

# 自來水會刊第 31 卷第 4 期目錄



## 特 載

學習型組織之理想與現實—台水公司為例.....陳福田..... 1

## 實務研究

屏東縣供水系統聯合運用計畫之研討.....曾浩雄..... 15

管線汰換困難解決方案—大型可撓不銹鋼波紋管.....許敏敏、黃裕泰..... 27

## 每期專題 能源管理

從日本自來水設施節能對策實務探討臺北地區經驗與發展.....鄭錦澤、林哲生..... 34

板新給水廠自來水碳足跡盤查及節能減碳策略研析.....

.....林志麟、康世芳、黃冠綸、陳淑芬、杭子樵、黃永富..... 48

## 一般論述

自來水事業國際績效指標之探討.....李丁來、陳光辰..... 57

應用催化臭氧程序提升自來水消毒殺菌效率之研究.....黃文鑑、洪麗茶..... 65

石墨烯於水處理的應用.....何佳樺、洪仁陽、黃盟舜、蕭碧蓮..... 72

氣候暖化台灣水資源危機風險與挑戰.....朱健行、呂慶元、李叔龍..... 79

## 他山之石

2012第五屆亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議紀實.....

.....蔡博淵、彭郁馨、陳奐男..... 84

## 法規櫥窗

我國地方政府就水質水量保護區之管制與補償制定自治條例之可行性.....徐良維..... 92

## 協會與你

中華民國自來水協會第17屆理、監事會第8次聯席會議暨紀錄 ..... 103

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 91

刊登啟示..... 83

封面照片：南化水庫一隅

## 自來水會刊雜誌稿約

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

## 自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：陳福田

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

吳美惠

委員

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

執行編輯：林正隆

電話：(04)22244191 轉 514

行政助理：古蓁苓

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

# 學習型組織之理想與現實

## — 台水公司為例

文/陳福田

### 一、前言—諸相非相

生態學有個公式： $L \geq C$ ，意指一個有機體欲求生存、發展，其學習(L)的速度必須大於或等於環境變化(C)的速度；否則，難以發展，甚或死亡。

《金剛經》開示：「凡所有相，皆是虛妄，若見諸相非相，則見如來。」意謂「世上唯一不變的真理便是『變』。」組織欲求生存、發展，必須考量所處的產業環境、所面對的利害關係人及內部組織特性，隨時檢視、調整組織運作方式。然而，組織惰性(Organizational Inertia)常使組織運作趨於官僚化、僵固化，不易因應環境變動而改變其思維、作為，以致難以立足於時代洪流中，即如《三國演義》楔子所云：「滾滾長江東逝水，浪花淘盡英雄。」

知識爆炸、資訊半衰期縮短的衝擊日甚一日，二十一世紀不但是知識經濟時代，亦是學習型社會的新時代。誠如《第三波》作者托弗勒(Toffler)所言「未來的文盲不是不識字的人，而是不懂學習的人。」值此知識經濟時代，企業致勝之道在於「知識」與「創新」，兩者都離不開「學習」。易言之，環境瞬息萬變，企業必須迅速地順變、應變。要順變，就必須體察時代潮流，順勢而行；要應變，就必須隨時調整經營策略，隨機應變。這些都需要新思維，而要有新思維，企業就必須不斷地「學習」。

1990年，彼得聖吉(Peter Senge)巨著「第五項修練—學習型組織的藝術與實務」乙書問世，一時風起雲湧，不論在公家機關或私人企業，都以談論學習型組織為時尚。在這波熱熱

鬧鬧學習過程中，大家對學習型組織的五項修練：自我超越、改善心智模式、建立共同願景、團隊學習、系統思考，都能琅琅上口。然而，真正實踐彼得聖吉(Peter Senge)五項修練，將之融入於日常管理工作，讓組織學習精神浸漬組織成員的互動行為，卻非易事。彼得聖吉(Peter Senge)的修練模式雖非建構學習型組織唯一途徑，惟對企業之組織學習提供了重要的基礎架構與遵循的藍圖。

台水公司成立之初，肩負著加速提高全省自來水普及率之重大使命，因經營環境相對單純、穩定，故強調「內部效率」的官僚體制即能順利推展業務。近年來，自來水經營環境丕變，諸如消費者意識抬頭，用戶要求更高服務品質；又如氣候異常，天災頻仍，台水必須強化彈性應變能力，以提升「外部效能」。面對當前環境的挑戰，傳統官僚體制著實難以因應彈性、創新的需求；反之，能夠迅速順變、應變的學習型組織，適逢時需。

本文之作，前以「諸相非相」啟言，旨在彰顯現代經營環境之詭譎多變；後以「相由心生」結語，旨在隱寓組織能否適應多變的環境，繫乎一「心」，即組織成員之心靈轉變。內文首依學理闡釋理想的學習型組織；其次，申明學習型組織的源頭活水—組織學習與學習修練之金字塔；末就實務觀點，剖析「台水之學習障礙」，試抒「台水學習修練之韜略」，以勾勒台水邁向學習型組織之圖像，冀期拋磚引玉、就教有方。茲繪示本文觀念架構圖如次。

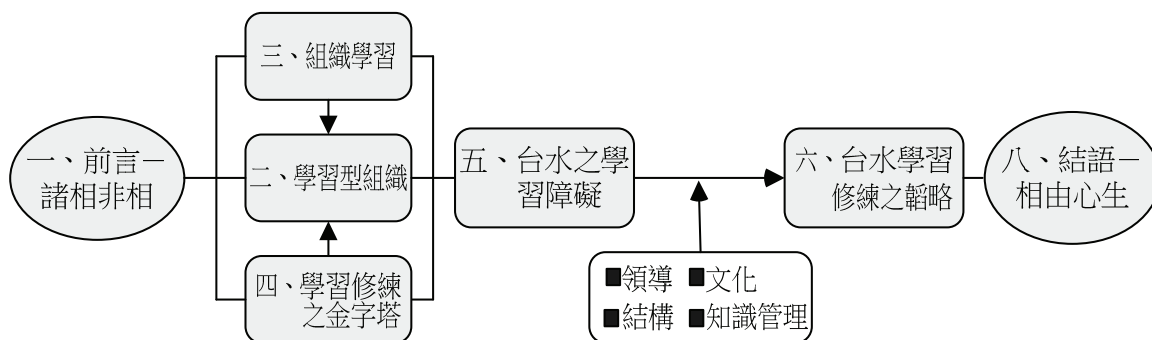


圖 1 本文觀念架構

## 二、學習型組織

學習型組織的定義一直是莫衷一是，有謂「經由改善個人心智模式以改變組織」，或謂「藉由不同方法以取得創新知識」，或謂「個人與組織間系統思維的改變」，眾說紛紜。不

同學門對於學習型組織之定義均以自我觀念說明。因此，有人說學習型組織有如「變色龍」目標，有人視它為一種訓練課程，亦有人說它是一種心靈轉變。茲臚列國內外學者對學習型組織的詮釋，舉其犖犖大者如表 1。

表 1 學習型組織之定義

時間	學者	定義
民 84 年	孫本初	學習型組織是一種全體動員的學習，其學習的層次從個人、團隊擴至組織全體，而學習型組織是動態的、持續的，並無終止的極境。
民 86 年	吳清山	學習型組織是指一個組織能夠持續不斷的學習，以及運用系統思考從事各種不同的實驗與問題解決，進而增強個人知識與經驗和改變整個組織行為，以強化組織變革和創新能力。
民 87 年	楊國德	學習型組織係指組織能支持成員學習活動，同時組織的功能、結構與文化亦能繼續的創新與成長，最終目的在導致成員與組織能同時進步與發展發展。
民 89 年	黃富順	學習型組織是指組織具有加強個體與團體的學習氣氛，採取有效的策略促進個人在組織目的下達成持續地學習，因而使個人不斷地成長與進步；同時組織的功能、結構與文化亦不斷的創新與成長，而導致成員與組織同步發展。
民 92 年	劉兆岩	在變化快速、競爭激烈的環境當中，只有能夠不斷創新學習的組織，才能夠脫穎而出，不斷具備新的競爭優勢，並將資訊轉換成高價值的服務、產品、技術等，這種二十一世紀的新典範，即稱為學習型組織。
民 95 年	魏惠娟	學習型組織講求持續學習、轉化與改變。是一種發展與演進的過程，並不是結束的狀態。其核心概念為改變。所倡議的學習，首重「知行合一」。
民 95 年	林怡秀	學習型組織的核心概念是學習與改變，係指組織營造學習的氣氛，鼓勵組織成員不斷持續學習，並有效地創造知識、獲取知識與轉化知識的一種演進過程，個人與團體不斷地尋找自我超越，進而而使組織達到共同的目標。
1990	Senge	學習型組織的真諦，是組織透過學習來重新創造自我，重新認知這個世界及我們跟它的關係，以及擴展創造未來的能量。
1993	Garvin	學習型組織是一個精於創造知識，獲得新知、運用知識的組織，能夠根據知識所得之洞見來修正行為反應。
1993	Watkins & Marsick	學習型組織是一種不斷在學習與轉化的組織，而學習是一種策略性的且與實際工作相結合的過程，從成員個人、工作團隊一直到組織全體；學習的結果將引起知識、信念與行為的改變，強化組織創新和成長的能力。

時 間	學 者	定 義
1994	Bennett & O'Brien	學習型組織為一種能將學習、調適及變革等能力深植於組織文化的組織，是以組織文化所涵蓋之價值、政策、體制、結構及其實踐均能支持人員進行學習。
1996	Marquardt	學習型組織是個集體學習、強而有力的組織，藉此能持續使組織能更有效的蒐集知識、管理和使用，以使公司能達成目標。
2001	Robbins	學習型組織乃指一個組織已經發展出對環境適應與持續創新的能力。

資料來源：主要整理自徐玉珊，《國內國民小學教師學習型組織、教師專業成長與學校效能關係之研究》，銘傳大學應用統計資訊學系未出版碩士論文，民國 96 年。

上揭學者提出不同之定義，其所強調 茲彙整有關學者分述之學習型組織特徵的重點亦有所異，進而呈現不同的特徵。 如表 2。

表 2 學習型組織之特徵

時 間	學 者	特 徵
民 86 年	吳清山	1.持續的學習。 2.系統的思考。 3.開放的文化。 4.工作的激勵。 5.不斷的嘗試。
民 87 年	秦夢群	1.學習方面：包括不斷的學習、團隊學習及終身學習。 2.組織方面：包括良好組織文化、進步的文化、開放的文化、免除恐懼、支持的氣氛。 3.個人方面：包括成就動機、專業能力提升、自我超越、改善心智模式、系統思考等。 4.環境方面：包括資訊流通、感應環境、資源的利用。
民 88 年	黃清海	1.具有持續學習的組織文化。 2.是一種持續轉型的組織模式。
民 95 年	魏惠娟	1.重視改進。 2.不斷的實驗，不是在尋找最後的答案。 3.尋找並思考設計行動的新方案，而不是防衛傳統的做法。 4.組織成員寧可有爭論，卻不保持沈默。 5.鼓勵懷疑並發現組織行為或運作中的矛盾，而不是除去或者掩蓋這些矛盾。 6.視策略性的改變為學習必經之路。
1993	Watkins & Marsick	學習型組織 7C 特徵： 1.繼續不斷(Continuous)的學習。 2.親密合作(Collaborative)的關係。 3.彼此連繫(Connected)的網路。 4.集體共享(Collective)的觀念。 5.創新發展(Creative)的精神。 6.系統存取(Captured and Codified)的方法。 7.建立能力(Capacity Building)的目的。
1995	O'Neil	1.經驗方面：強調以學習為導向的創造知識，以因應外界變革的環境。 2.結構方面：強調組織的開放系統。 3.文化方面：強調追求卓越的文化。 4.資訊方面：強調利用資訊科技的能力。
2001	Alan Clarke	1.團隊工作與學習。 2.跨組織工作的文化。 3.分享信念、目標的系統。 4.個人、團隊和組織能從經驗中學習。 5.重視個人、團隊和組織的學習。 6.鼓勵新的創意和做法。 7.鼓勵冒險。 8.充分授權。 9.每位員工都被鼓勵做最大的表現。

資料來源：主要整理自張中亮，《員工對學習型組織特徵認知與績效認知—以大陸民營企業與台商企業為例》，國立中央大學企業管理學系未出版碩士論文，民國 93 年。

綜上所述得知，「學習型組織」的核心概 滿學習文化的組織，具有鼓勵成員學習與發  
念是「學習」和「改變」。一個富於創造、充 展的氣氛，培養其成員創造思考能力，因而

使個人不斷地成長、進步；同時，組織的功能、結構與文化亦不斷的創新與成長，形成組織與成員同時進步、發展的動態系統。其結果是，個人與組織經由團隊學習、系統思考與知識的創新、轉換，亦步亦趨成就了「共同願景」。

進而言之，學習型組織不僅要能迅速瞭解組織所面臨的環境，更須隨時偵測環境，從而迅速地做出正確的決策。學習型組織不是形式上的加強訓練、鼓勵進修或知識成長而已，因為學習型組織不但要落實在個人的知識成長，也要落實在組織的內部運作，讓組織「向外看」，而非只是注重「內部」效率與管理。茲彙示傳統機械式組織與學習型組織之差異如表 3。

表 3 傳統機械式組織與學習型組織之差異

項 目	傳統機械式組織	學習型組織
組織結構的隱喻	機械式的組織、封閉的系統	有機式的組織、開放的系統
學習體系 的構成	由「硬性」的組織目標、部門層級分工、控制機制和法規命令所組成	由「軟性」的共同願景、自發的動機、開放的心靈、與團隊精神來維繫
學習的著 眼	規避風險、尋求穩定、「效率」至上	嘗試冒險、鼓勵創新、著重「效果」

實則，學習型組織並不是什麼特別的組織設計，不宜指涉為一種靜態的組織型態，反而宜視為一種持續演變的組織動態過程。詳言之，學習型組織傳達「一種影響組織設計的思維或哲學」之觀念，講求「持續」的學習、轉化與改變，是一種「演進的過程」，而非終結的狀態。學習型組織只有程度上的差別，沒有絕對的「是」或「不是」的界線，意即沒有一個組織完全沒有學習功能，也沒

有一個組織能說「我們已成為最完善的學習型組織」，因為學得愈多，愈能清楚地發覺到自己的無知或是不足，即如《禮記》學記篇所提：「學然後知不足。」

### 三、組織學習

「組織學習」(Organizational Learning)之定義，人言言殊。阿吉利斯(Chris Argyris)與熊恩(Donald Schon)認為「是一種偵測與糾正錯誤的過程」；佛瑞思特(Forrester)和彼得聖吉(Peter Senge)則認為「為組織處於複雜系統中的應變與創新能力」。成人教育知名學者吳明烈教授整合各家說法，提出「組織學習是組織透過持續且有效的個人學習、團隊學習、整體組織學習，期能解決組織所面臨的問題，進而提升組織創新與應變的能力，以促進組織成員與整體組織的發展」。

組織學習絕非個人學習的總和，因為當組織某成員離開時，組織的學習能力並不會因此下降。相對地，組織學習會對「組織記憶」(Organizational Memory)發揮巨大的貢獻作用。因此，透過組織學習所累積的組織歷史、組織經驗、組織規則，以及組織故事，組織學習不僅影響當前的組織成員，而且會對未來成員發生影響。茲分由「組織學習模式」、「學習之輪」及「組織學習與學習型組織」詮釋如下。

#### (一) 組織學習模式

1978 年，阿吉利斯(Chris Argyris)與熊恩(Donald Schon)二位組織行為大師發表《組織學習》一書，以「是否涉及改變既有價值觀及規範」準則，將組織學習區分為單圈學習與雙圈學習等二種模式，茲分述並圖示如下。

### 1.單圈學習(Single-loop Learning)

為適應性組織(Adaptive Organization)所採行，指組織透過「偵測錯誤－矯正錯誤」的過程來學習，只是著眼於解決當前的問題，依循過去的例行方式或現有政策，做為矯正之道，並不會主動積極去改變重要的組織要素。

### 2.雙圈學習(Double-loop Learning)

為自發性組織(Generative Organization)所採行，組織不僅透過「偵測錯誤－矯正錯誤」的單環過程去學習，會再進一步檢視重要的組織元素，例如規範、政策與目標有無錯誤，而加以調整、修正，藉以增強組織學習與創新的能力，而不只是被動地、小幅度地適應外在環境的變化。學習型組織即屬於這種雙迴路的自發性組織。

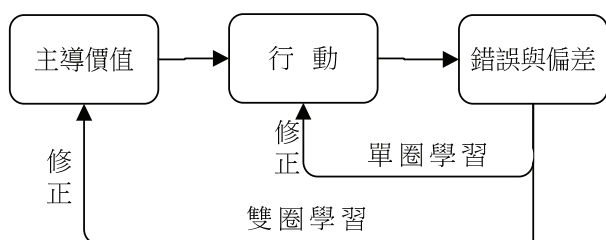


圖 2 單圈學習與雙圈學習

### (二)學習之輪

俗云：「犯錯是最好的學習途徑。」因為犯錯會讓人們停下來思考，如何不再重蹈覆轍。學習雖然未必來自犯錯，但無論個人或組織的學習，常有「行動→停下來反思→再快速行動」的節奏。該如何打造個人學習或團隊學習的節奏呢？學習型組織的倡議者彼得聖吉(Peter Senge)修改了教育理論學者大衛科伯(David Kolb)提出的經驗學習理論，另提出「學習之輪」(Wheel of Learning)的工具，

亦即以「反思→問題→見解→行動」等四步驟的循環過程(如圖 3)，構成個人與組織學習的基本架構，讓我們了解自己成敗的源由，終使下次的行動比以前更好。

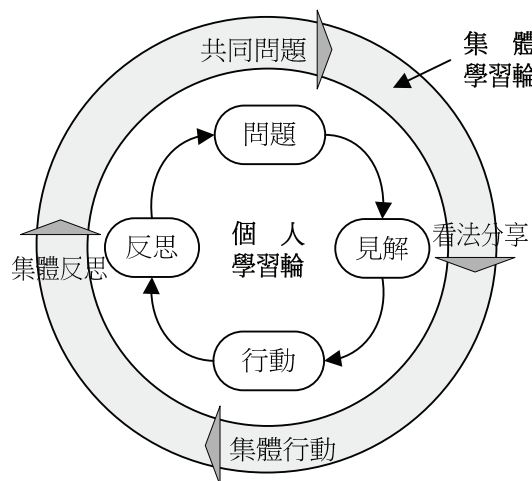


圖 3 學習之輪

### (三)組織學習與學習型組織

「組織學習」是「學習型組織」的必要條件，但非充份條件。組織學習是組織創造、獲得與轉移知識並進而修正其行為，以反應新的知識與看法的「過程」。而學習型組織是組織學習的「結果」，但組織學習並不保證此一組織即為學習型組織，因為「過程」並不能保證如意之「結果」。易言之，組織學習是學習型組織的必要條件，唯有促進組織學習，才能形塑學習型組織。

### 四、學習修練之金字塔

混沌理論(Chaos Theory)認為，混沌環境中充滿混亂的、難以預測的本質，亦即現實社會充滿無序、不穩定、多樣性、非線性關係，因此，以傳統機械式組織傾向穩定、有序、統一、平衡、線性關係的觀點，意欲「鑒往而知來」，解釋混沌無序的社會系統，恐將失之偏頗、緣木求魚。

1965 年，美國麻州理工學院教授、隨機存取記憶體(RAM)發明人佛瑞思特(Jay W. Forrester) 擷取「系統動力學」(System Dynamics)之有關概念，結合系統理論、控制論、資訊論，發展出「電腦模擬模型」，詮釋混沌、失序的環境系統下，為解決問題，應先釐清糾纏的、複雜的相關變數，再做整體且深入的診斷，從而尋求最佳方案。「系統動力學」類似中國《易經》，兩者的目的都是研究「變」，認為「亂中有序」，「變」的背後都隱藏簡單的結構，即如「黃河九曲，終必東流」。援此思維，佛瑞思特(Jay W. Forrester)於其所著《企業的新設計》中指稱，因應混沌多變的環境，未來理想組織型態應是經由學習熱忱之激發，讓舊組織成為新的「學習型組織」。學習型組織理論由此發軔、萌芽。

1990 年，其高足彼得聖吉(Peter Senge)發表「第五項修練－學習型組織的藝術與實務」(The Fifth Discipline—The Art and Practice of Learning Organization)乙書，提出「七項學習障礙」，以及克服這七項障礙的「五項修鍊」，以釋放組織巨大能量，為組織生命注入學習活水，促使組織順變、應變，進而生存、成長。彼得聖吉(Peter Senge)青出於藍而勝於藍，為「學習型組織」提供了重要的基礎架構與遵循的藍圖，帶動了學習型組織的風潮，一躍而為組織理論之巨擘。

### (一)學習障礙

彼得聖吉(Peter Senge)在進行組織行為研究的過程中，發現「在許多團體中，每個成員的智商都在 120 以上，而整體智商卻只

有 62」，深究其理，概因「存在於組織中的若干障礙妨礙了組織的學習與成長，使組織被一種看不見的巨大力量侵蝕，甚至吞沒了」，他列舉出下列七項常見的組織學習障礙(Learning Disability)。

#### 1.侷限思考(I am My Position)

諸多組織強調專業分工，致使組織成員常只關注自己的工作內容，形成侷限一隅的思考模式。

#### 2.歸咎於外(the Enemy is out There)

由於組織成員慣以片段思考推斷整體，當任務無法達成時，常歸咎於外在原因所造成，而不會先檢討自己。

#### 3.自負的幻想(the Illusion of Taking Charge)

組織領導者常認為自己能洞察先機，也應對危險提出解決方案以示負責，惟忽略與其它成員共同思考解決問題。這種自負的幻覺，因缺乏整體思考而無法解決複雜的問題。

#### 4.專注於個別事件(the Fixation on Events)

問題產生時，大家通常只專注於事件或問題本身，而忽略深究事件或問題的前因後果，猶如「鋸箭療傷」，看不到問題的癥結，只看到粉飾的太平。

#### 5.煮蛙效應(the Parable of the Boiled Frog)

企業往往忽略漸近而至的危機，但它常是致命的關鍵。例如把一隻青蛙放進沸水中，它會立刻警覺跳出來。相對地，如果把青蛙放進溫水中，慢慢加溫，青蛙顯得若無其事，可悲的是，當溫度慢慢上升，青蛙將變得愈虛弱，直到被煮熟。

#### 6.「經驗」學習的錯覺(the Delusion of Learning from Experience)

組織學習需要不斷檢驗過去的經驗，並把經驗轉換成知識，而且轉換的知識必須要能為組織所用，與組織之目的相符。然而，員工通常從經驗看過去，而非從經驗看未來，缺乏將經驗類推於未來類似事件的解決能力，猶如傷口痊愈，常忘了昨日的「痛」。

#### 7.「團隊」管理的迷思(the Myth of Team Management)

團隊係由不同的部門及具有專業能力的成員所組成。有時為標榜團隊凝聚力的表象，在遇到可能使人為難或具威脅性的複雜議題時，某人即使心存異議，囿於團隊無形的壓力，為避免戴上「異議分子」(Devil's Advocate)之頭冠，常背叛自己的良知而改採「從眾」(Conformity)的行為，久而久之，團隊成員即易喪失學習的能力。

### (二)五項修練

彼得聖吉(Peter Senge)認為，真正的學習是透過心靈轉變，重新創造自我、創造未來的能力。為了克服上揭七項學習障礙，彼得聖吉(Peter Senge)提出形塑學習型組織的「五項修練」。其中，「自我超越」、「改善心智模式」為個人層次的修練；「團隊學習」、「建立共同願景」係團體層次的修練；「系統思考」為所有修練的基石，故稱之為第五項修練，茲分述如下。

#### 1.自我超越(Personal Mastery)

面對多變、巨變的環境，企業為求生存、發展，不再是終身雇用的組織，而是必須終身學習的組織。自我超越乃是終身學習的具體實踐，也是其他修練的前提。經由自己想要創造的願景與真實世界間的差距，所產生的創造性張力(Creative Tension)，促使其不斷

學習、精進並全力投入，逐步實現內心深處企求實現的願望，期使「昨天的我比昨天的我好，明天的我比今天的我好」，不斷地「精益求精」。

#### 2.改善心智模式(Improving Mental Models)

心智模式是根深蒂固於心中，影響我們瞭解這個世界，以及如何採取行動的諸多假設、成見、印象。組織障礙多來自個人的舊思維，例如固執己見、本位主義，就像大象從小被枷鎖束縛而不能遠行，久而久之，便適應了被縛的狀態，即使移除枷鎖，它仍呆立在從前被束縛之地，不願遠行。改善心智模式必先反觀自省，跳脫框架思考(Think out of the Box)，才能有所創新；同時鼓勵成員對話互動，學習以開放的心靈，接納各種不同的論見。

#### 3.團隊學習(Team Learning)

團隊學習之所以重要，是因為現代組織中，學習的基本單位是團隊，而非個人。個人學習並不代表組織有在學習，但團隊學習常能趨使組織學習。團隊學習係指組織成員相互學習、分享交流，發展團隊成員合作精神與實現共同目標的過程。當團隊真正在學習，不僅組織產生出色的成果，成員成長的速度也比其他的學習方式更快。團隊學習有賴成員間的「深度匯談」(Dialogue)，彼此的經驗交流，相互激盪、集思廣益，將可萃取出高於「個人智力」總和的「組織智力」。

#### 4.建立共同願景(Building Shared Vision)

共同願景的建立是一套引導學習的原則，培養成員主動而真誠地奉獻和投入，而非被動地遵從。其融合個人目標與組織目

標，策劃團隊的共同願景，使成員的注意力集中於同一個焦點，進而產生強烈實現願景的希望與動力，使每位成員均能表達其對組織的期許，透過彼此互動與參與，激發團體智慧、凝聚共識。

### 5.系統思考(Systems Thinking)

為解決問題，決策者須觀照全貌，綜合考量各項變數之互動關係，而非斷章取義、片斷思考，否則將落入「見樹不見林」或頭痛醫頭、治標不治本之窘境。古代「刻舟求劍」的寓言故事，隱寓用局部、靜止的眼光去看待不斷發展變化的事物，必然犯下脫離實際的錯誤。唯有透過系統思考，整體考量前因後果和相互關連，方能認清整體變化的形態；一旦發現影響組織效能之因素，則須加以修復該破窗，避免造成破窗連鎖、擴大，才能掌握變化、開創新局。

對於學習型組織，五項修練缺一不可，因為組織不可能達到永恆的卓越，它必須不斷地學習。融合五項修練方能使組織日新又新，不斷創造未來。學習型組織的真諦在於透過學習，重新創造自我、重新認知群己關係，以及不斷擴展、厚植未來的能量。

五項修練的學習如同一座三層樓的五角尖塔。其中，每一項修練可由三個不同層次來看，第一層為「演練」－具體的練習；第二層為「原理」－指引練習背後的概念；第三層為「精髓」－修練純熟的人所處的情境，由「演練」、「原理」到「精髓」，視野從部分(Partial)變整體(Integral)。易言之，要建立學習型組織，須先具備此五種基本修練，並使之成熟精進。茲繪示意圖如圖 4。

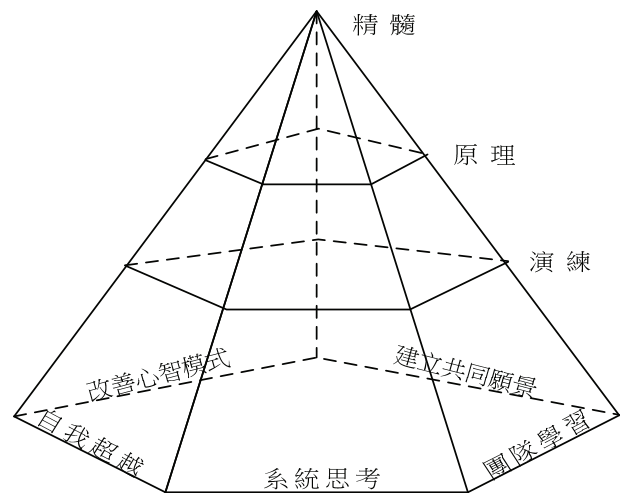


圖 4 學習修練之金字塔

資料來源：郭進隆譯(Peter Senge 著)，《第五項修練：學習型組織的藝術與實務》，天下文化出版社，民國 83 年。

然而，憑藉抽象的概念，如系統思考、建立共同願景等，去詮釋所有組織進行組織學習所必須的修練，雖具「普遍性」(Universality)，惟易於漠視個別組織之「特殊性」(Particularity)。實則，欲發展學習型組織，並沒有一套可供共同依循的模式。每一個組織性質殊異，必須參酌組織自身的環境背景與核心價值觀，採用妥適的配套措施，並將五項修練的功夫融入組織各項策略之中，方為上策。

### (三)奇異公司的實例

傑克威爾許(Jack Welch)帶領奇異公司(GE)的二十年，奇異的市場價值由 1981 年的 130 億美金成長到他退休時(2001 年)的 5500 億美金。威爾許經營奇異公司之道，除了為人津津樂道的「不斷地找對的人上車，請不對的人下車」，為公司培育人才之外，更重要的是，他要求奇異公司所有的管理者應是「專業的變革者」(Professional Changers)，而不只是循規蹈矩、奉令行事的經理人而已。

奇異公司快速地回應環境變化的能力，源自於其已經具備整合的學習流程，不但讓所有員工投入學習與變革過程，還讓顧客、合夥人、供應商加入，以尋找締造雙贏的行動方案。他們能從公司內外發掘「最佳實務」(Best Practice)，快速傳遞到奇異公司的每一角落，引發員工放棄舊有的觀念，自行設計新做法，展現變革與創新的力量。

奇異公司整合流程的學習力量，不是一、二年即可建立，而是從1981年起，經歷二十年逐漸演化而來。經過廿年的努力之後，奇異公司仍然在不斷的演化、改進，「演化」成了奇異公司組織學習與企業變革的DNA，終能「向下紮根，往上結果」。

## 五、台水之學習障礙

為有效推動組織學習，必先消除組織中的學習障礙，並進而擴展組織成員吸收新知識、新經驗的管道。如同諸多政府機構一般，台水公司係以官僚組織型態為主體，它雖有一定的正面功能，但也有積習已久的官僚文化、僵化的組織階層及分工、依法行政的繁文縟節等，形成如下第一~三項屬於官僚體系「先天」的障礙；此外，「人力老化與不足」(第四項)則係「後天」衍生的障礙，其皆為束縛台水公司有效學習的障礙，茲分別闡釋如下。

### (一)科層化的組織結構

科層機制下的政策、規章和工作往往固定而僵化，難以改變，因此，組織學習無由產生。其次，本位主義是科層組織強調「分工專業化」的結果，它會在部門與部門之間築起一道圍牆或鴻溝，使得各部門各自為政，無法獲得知識分享的效益。長久以來，在科層體制系統普遍存在「官大學問大」的

現象，養成員工習於聽命行事的被動消極行為，無形中桎梏了創意與進取的企圖心。

### (二)迴避錯誤的組織文化

政府機構普遍存在「多做多錯，少做少錯，不做不錯，如果有錯，錯不在我」的觀念，此種害怕失敗、迴避錯誤的文化特質，造成員工「等因奉此、但求無過」的工作態度，致使組織成員常避免公開討論錯誤，反而在發生錯誤時試圖遮掩。不願誠實面對錯誤或討論其真正的想法與感受，致使從錯誤中學習到的知識難以擴散到其他成員。其結果是，組織學習的推動變成一種形式化儀式。

### (三)僵化的思考模式

長期以來，官僚體系行為流於僵化，似乎已成為政府機構常見的一項屬性。為使組織績效維持一定程度的穩定性、可預測性與可控制性，政府機構經由制度，將各種作業程序轉化為常規，俾組織成員知所遵行。雖然，因襲舊規的體制有助於維持穩定，但往往形成慣性行為，促使組織成員習於僵化而缺乏彈性的思考模式，致「單圈學習」根深蒂固，相對地，亦成為「雙圈學習」(強調創新理念與行動)之障礙。

### (四)人力老化與不足

台水公司即將邁入四十不惑之年，人力老化、經驗斷層等危機日亟，且囿於國營事業法規，人力增補不易，導致各單位人力普遍吃緊。就「人力老化」而言，因年齡偏高，對事物見解已有定見，對於學習新事物，易生排斥心理；再就「人力不足」而觀，部份人力的工作負擔大，忙於政策指示、困於例行業務，並無多餘心力主動探討工作缺失、思索改善之方；超量工作常使人力身心俱

疲，諉稱「沒有時間學習」，造就人力專業能力、創新能力難以滋長，甚或降低之困境。

## 六、台水學習修練之韜略

學習型組織重視「自我超越」，因為成員之學習意願是「組織學習」的前提，而「人力資源」之良窳復且攸關組織學習成效。學習型組織需要能夠思考、善於學習、富創造能力的人，所以必須將有礙個人學習意願、創造力的因素予以減除。此外，美國組織行為大師葛文(Garvin)於 1993 年指稱，「組織學習環境」係發展組織學習的重要基礎，便捷而良好之學習環境，不僅鼓舞成員之學習熱忱，亦增強組織競爭優勢。

近年來，台水「人力老化」、「人力不足」等課題日益嚴峻，如何優化「人力資源」，提振員工學習效能，實為當務之急，惟囿於篇幅，將另文探討，本文不予闡述。

本節除援引國立中正大學魏惠娟教授之論述，由「領導」、「結構」、「文化」等層面之改善，以建構有利之「組織學習環境」；另因沒有資訊就無法學習，故組織學習亦須強化「知識管理」，期使資訊為所有員工分享、利用。茲分由前揭四構面，試提建構台水學習修練之韜略如次。

### (一)實踐轉換型領導

多年來，台水投入大量人力、物力於工程建設，以追求內部效率為重點，導致組織結構科層化，領導方式類屬「交易型領導」(Transactional Leadership)，其乃基於「人性本惡」之假定，希望藉由工具性心理制約，透過獎勵、懲罰等利益交換的手段來提高領導效能。值此知識經濟時代，知識創新與分享

攸關組織成敗，「守成有餘、開創不足」的交易型領導實難激發「創意」、「新點子」以因應詭譎多變的環境。

相對於交易型領導，「轉換型領導」(Transformational Leadership)強調用「心」而非用「力」與「利」來領導，係藉由願景的建立，激勵與鼓舞部屬，引導部屬「超越私利」，使組織更好。此種領導模式之目的在於「轉變」組織舊有的價值觀念、組織文化、人際關係與行為模式，因此稱為「轉換型領導」，其與重視「持續學習、轉化與成長」的學習型組織相互輝映、相得益彰。

輔仁大學蔡進雄教授綜合各家說法，將轉換型領導歸納為「建立願景」、「領導魅力」、「鼓舞激勵」、「心智啟發」和「個別關懷」等五個行為面向，本文引為「實踐轉換型領導之要方」如下。

#### 1. 建立願景(Vision Building)

領導者須能藉助比喻語言、符號及象徵、隱喻等技巧，將共同願景的意念善予傳達，並取得組織成員的瞭解(Understanding)、接受(Acceptance)，由而建立大家共同能接受的願景，以激發承諾、加速學習。

#### 2. 領導魅力(Charismatic Leadership)

領導者除須言行一致，亦須具備氣度恢弘、親和力等個人特質，以獲取部屬的信任和尊敬，由而引領組織全面變革和持續成長。

#### 3. 鼓舞激勵(Inspirational Motivation)

領導者除須以身作則、樂於學習，以「鼓舞」各級主管與同仁一齊投入學習；亦宜「激勵」部屬，增進他們的信心，逐漸將他們需求層級由生理、安全等低層次需求提升到成長、成就感等高層次需求。

4.心智啟發(Intellectual Stimulation)

領導者除須「協助」部屬解決問題，更須「引導」部屬改善其心智模式，亦即摒棄舊陋思維，以新思維、新觀念自行思索解決方案。

5.個別關懷(Individualized Consideration)

領導者除須落實走動式管理，深入實地查察，傾聽部屬的心聲，關心個人的需求、願望及所需要的協助；尚須考量部屬個別差異、情況不同，分別給予培訓和指導。

(二)採行矩陣式結構

學習型組織中的員工，常可藉由減少或去除現有組織結構中之藩籬或疆界(Boundary)，以分享資訊並協調彼此的工作。奇異公司前董事長傑克威爾許(Jack Welch)倡導的「無疆界組織」(Boundaryless Organization)，除藉由「跨功能別工作團隊」取代功能別部門，消除奇異公司部門間之疆界(即所謂「水平無障礙」)；亦經由「組織扁平化」、「跨層級的參與管理」，消除層級間之隔閡(即所謂「垂直無障礙」)，期求「溝通無障礙」、「知識共同分享」。員工以團隊方式執行每一個任務，且在工作與解決問題上享有充分的授

權，在在激發彼等自動自發、分工合作之熱忱。

台水係屬功能別之科層結構，在以工程建設為重、強調內部效率的時代，具有一定的正面功能，惟分工專業化、層級節制的結果，導致組織缺乏彈性而阻礙了資訊流通與學習。值此知識經濟時代，台水組織結構實應趨於扁平、精簡，以減少層級的節制與部門的隔閡，促成有效知識的流通、累積與分享，此種無疆界組織誠係台水公司順變、應變之終極理想。

然而，囿於國營事業法規與本質，要改變台水組織架構，調整為無疆界組織，有其實質上的困難。「矩陣式結構」常是組織變大且複雜時，為提高彈性、避免僵化採取之組織結構。亦即不改變原有組織結構，在原來功能別結構之外，針對特殊性、臨時性的任務，成立跨功能別的「專案小組」或「工作團隊」，專業人員彈性支援各專案所需的專業人力，同時兼具原功能別部門的「效率」與專案小組的「彈性」，強化水平資訊連結之效益，其或為台水現階段權宜的組織型態。茲繪示台水總處矩陣式結構如圖 5。

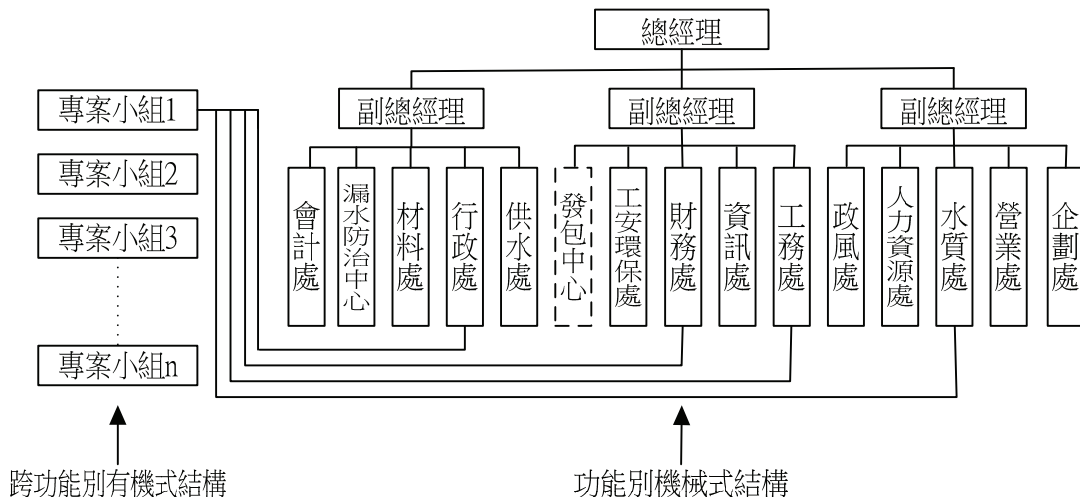


圖 5 台水總處矩陣式結構示意圖

### (三)形塑適應性文化

學習型組織的文化鼓勵勇於實驗、承擔風險及不怕犯錯，以及持續改進與變革，組織充滿合作、融合的意識，重視與外在環境的交互作用，此乃所謂「適應性文化」(Adaptive Culture)。以往，台水公司在相對穩定的經營環境中，「埋首耕耘」的官僚文化(Bureaucratic Culture)根深蒂固，恐將無法契合現今多變環境所需。為逐步邁向「望向窗外」之適應性文化，實宜強化學習型組織所必要的「互信」、「創新」、「溝通」等文化特質，茲分述如下。

#### 1.建立互信

在學習型組織中，知識分享的基礎就是信任，也就是組織必須建立信任的文化。信任也是一種自我實現的預言(Self-fulfilling Prophecy)，如果組織信任同仁能善盡職責，同仁常會如此；反之，亦然。在堅實的信任基礎上，組織成員才可能產生高度承諾，願意以開放的心胸和領導者及其他同事分享其知識與經驗，從而提高團隊學習效果。

#### 2.鼓勵創新

新點子、新創意是「組織學習」的催化劑。組織應建構一個鼓勵員工提出新想法的創新文化，例如可設置興革意見箱、交流網站，並對提出卓見、樂於改進者，予以獎勉。為了激發員工創意，企業應該讓員工有多一點的思考時間，同時，適度容忍錯誤。以 3M 公司為例，員工每週有半天的時間可自由運用、嘗試創新，也不會有人會因實驗失敗而

被解雇，反而常因提出創意而受到獎勵，其結果是，員工創意源源不絕。

#### 3.重視溝通

在邁向學習型組織的過程中，促進組織層級間、部門間的對話是非常重要的，因為良好的溝通與資訊是「建立互信」、「激發創新」必要的潤滑劑。資訊溝通的管道可以善用組織的網路系統、公佈欄、定期的員工聚會、經營管理會議等，尤其組織有重大訊息時，應優先讓員工瞭解，不要造成耳語流傳。欲暢通溝通管道，主管的門戶應隨時為員工開放，員工可以隨時陳述問題、隨時解決問題。

台灣微軟公司在組織內推動「團隊學習之輪」的企業文化，個人學習之輪的每一點都對應於團隊的學習，「反思」階段是「公開」的，人們會談到他們的心智模式和信念，溫和但毫不放鬆地挑戰彼此的看法。每年 7 月和 12 月的兩次績效評估，每位微軟專業人員和他們的上司至少要懇談兩小時的「深度匯談」。主管要引導部屬講出真正的心聲，才能達到「改善心智模式」，乃至和員工「共享願景」，才能在輔導部屬生涯規劃時，協助其「自我超越」。

### (四)強化知識管理

沒有資訊就無法學習。欲提升組織學習效果，必須強化知識管理(Knowledge Management)，亦即組織要有公開、及時的資訊可以共享。

知識的「吸收」與「移轉」是學習型組

織的重要工作之一，因此在學習組織的建構過程中，應促使知識的快速流動，並將學習的成果加以保留，記錄於組織記憶中，以防止學習結果的遺失。為強化知識管理，台水公司宜推動如下相關作為，藉以促進知識之「吸收」與「移轉」。

### 1.發展學習社群

閱讀是學習捷徑之一，有系統的閱讀更能提昇員工之專業知識，匯集眾人的智慧成為力量。由同仁自發性設立「讀書會」，進行學習或工作心得觀摩交流，提供部屬專業成長的訓練機會等。另，為鼓勵同仁參與建言，積極改善、創新業務，由各單位組成自願性「工作圈」，藉由團隊學習方式，透過溝通與交流，釐清問題本質，由而提出前瞻性、積極性解決方案。

「教育訓練」是直接促進知識吸收與移轉的利器之一。台水員工訓練所係公司「教育訓練」學習的樞紐，每年超過5千人次前往受訓，各級主管及非主管人員參與其中，有利建立對話機制。藉由培養內部講師的方式，鼓勵組織內「同仁」自我學習與成長；並輔以外聘講師的主題式教學，為組織傳遞新知識，當有利於「組織」自我學習與成長。

### 2.進行標竿學習

標竿學習是對優異組織或部門的實務作為，進行有系統地界定、分析與比較，汲取其優點，從而提升自己的競爭優勢。標竿學習可分為內部標竿(如模範員工、績優單位等)、外部標竿(向其他的組織學習等)。例如

每年持續辦理責任中心績優單位表揚；為汲取國外先進自來水事業經營經驗與新知，每年持續辦理國外研習、觀摩及交流。

### 3.建置知識管理平台

台水知識管理系統於去(100)年建置完成，透過網路資源的共享，有效儲存組織經驗與智慧資產，將學習的成果加以保留，並記錄於組織記憶中，避免因組織調整及員工離退，所衍生的經驗、知識斷層問題。為提升該平台使用效益，達到全員參與，當持續充實知識庫之豐富性、多元性及實用性，例如設立心智補給站，提供各種溫馨小品、健康操、減壓法等，以促進員工身心靈成長，成為台水知識取得與分享的引擎。

## 七、結語—相由心生

歷史上總不乏一些食古不化的大型企業，由於無法適時進行組織更新而付出慘痛的代價，例如柯達(Kodak)、新力索尼(Sony)、希爾斯(Sears)、通用汽車(GM)等。反之，百年老店殼牌(Shell)公司不斷地學習新思維、新觀念，如同不斷地注入活水，不因百年的歷史而老態龍鍾。殼牌公司企劃主管阿德基(Arie de Geus)在他的《活組織》(The Living Company)書中指出：「一個公司要存活，就必須有學習的能力，才能適應環境的改變。充滿生命力的有機體才有學習能力，一個公司必須是個活的組織，才能不斷學習而持續存活。」

組織沒有所謂永恆的卓越，它必須不斷實踐學習修練，以求精進。彼得聖吉(Peter

Senge)認為「學習型組織的真諦在活出生命的意義，而所有的學習修練皆關係著心靈轉變。」易言之，所有的轉變都必須由人的內心出發，因為若無內在心靈、價值觀的轉化，組織外在改變就算發生也無法持久。佛法言：「相由心生。」意即所有世間幻變皆因內心意念而起，申言之，組織能否適應多變的環境，繫乎一「心」，即組織成員之心靈轉變。

笛卡兒(Descartes)之千古名言：「我思故我在。」意謂人往往會迷惑在不知為何而存在的情境，然而藉由創造力與能力的展現，會讓人感受到本身的價值，生活得更有意義。創造力與能力需要不斷地學習、精進，因此，在持續學習的環境中，當能不斷地衝撞出豐富的創造力，由而提升競爭優勢。

如同諸多政府機構，台水公司囿於科層體制與文化保守性，致形塑學習型組織之過程中，有其障礙與迷思。「組織學習」已在企業界風起雲湧，形成一種「不學習即落伍」之壓力，背負人民高度期望的國營事業，實不能淹沒於此浪潮中而不自知。對政府機構而言，學習型組織的境界雖高，卻非遙不可及，只要在共同願景的導引下，在互相信任、公開交流、樂於分享、相互學習的良性循環中，必能逐步邁向學習型組織。站在歷史的轉捩點，台水公司當跳脫傳統窠臼，進而與時代共呼吸，形塑學習型組織，冀期開創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、歷久彌新。

## 參考文獻

- 1.朱楠賢，〈學習型組織－願景或幻影〉，《人事月刊》，人事月刊雜誌社，民國89年。
- 2.吳明烈，〈知識管理與學習型組織〉，《教育資料與研究》，教育資源及出版中心，民國91年。
- 3.李彥慶，《警察分局局長轉型領導與組織氣氛關係之研究》，國立高雄師範大學成人教育研究所未出版碩士論文，民國94年。
- 4.徐玉珊，《國內國民小學教師學習型組織、教師專業成長與學校效能關係之研究》，銘傳大學應用統計資訊學系未出版碩士論文，民國96年。
- 5.張中亮，《員工對學習型組織特徵認知與績效認知—以大陸民營企業與台商企業為例》，國立中央大學企業管理學系未出版碩士論文，民國93年。
- 6.郭進隆譯(Peter Senge著)，《第五項修練：學習型組織的藝術與實務》，天下文化出版社，民國83年。
- 7.蔣玉嬋，〈學習型組織與組織文化之探討〉，《國家教育研究院》，天下文化出版公司，民國90年。
- 8.Argyris, C. & D. Schon, *Organizational learning II : Theory, method and practice*, MA : Addison-Wesley, 1996.
- 9.Kotter, J.P. & Cohen, D. S., *The heart of change : Real-life stories of how people change their organizations*, Boston : Harvard Business School, 2002.
- 10.Wardman, K., *Reflections on creating learning organizations*, MA : Pegasus Communication, Inc., 1994.

## 作者簡介

### 陳福田 先生

現職：台灣自來水公司總經理

專長：工程管理、策略管理、績效管理

# 屏東縣供水系統聯合運用計畫之研討

文/曾浩雄

## 一、緣起

最近親聆丁澈士教授<sup>[1]</sup>提及屏東縣來義鄉二峰圳對屏東地區農業用水之貢獻。他說到過台灣考察的荷蘭水利專家認為台灣將抽取地下水造成地層下陷之事實妖魔化，因而陷入水源開發不足之窘境。他們認為台灣也應朝此方向努力，藉由地下廊道開發伏流水，以充裕國內之需水量。

屏東縣西部平原因地下水豐沛，故其居民大都賴此為生，故截至民國 100 年 12 月底屏東縣的自來水供水普及率只達 45.18%，可見使用自來水的人口不及其全縣人口之半數，是國內普及率最低的縣市，也只有最高的台南市已逾 9 成之一半。

目前屏東縣最主要的供水系統：屏東及牡丹兩系統，由於其出水量均已供不應求，故亟須增加出水量以充裕其供水區所有用戶之需求，但前者之水源完全抽自淨水場附近之地下水，近年來雖多方設法開發新水源，但因其附近居民強烈反對，致迄今仍一事無成。水利署為此乃委外研擬「屏東平原地面地下水聯合運用個案工程規劃(2)」期末報告<sup>[2]</sup> (以下簡稱報告 1)，及「隘寮溪下游集水工暨輸水工程計畫」規劃補充調查報告<sup>[3]</sup> (以下簡稱報告 2)。期以隘寮溪下游之地面水與屏東系統現有地下水水源聯合運用，解決此問題。但台水公司第七區管理處屏東營運所認為該水源已遭受上游野溪養鴨戶嚴重之污染，故取用該水源之意願並不高；反之，取用牡丹水庫地面水的牡丹系統，雖然

牡丹水庫常因滿水位而洩洪，卻因限於其淨水場及出水管之規模，無法增加出水量，造成其供水區在最大用水時段經常發生缺水現象，尤其是夏季人潮湧進墾丁地區時，其情況更為嚴重。為長遠永續經營之計，亟須就該兩系統之水源量及出水設備做通盤性之檢討，另綜觀水利署之計畫，深感尚有多項值得商榷之處，爰撰此文俾供相關機關決定其擴建計畫時之參考。

## 二、東港溪簡介

東港溪長度 44.00 km 流域面積約 472.20km<sup>2</sup>，標高均在海拔 500 公尺以下，平地約佔全流域 82%，除暴雨期外，溪水流速平緩。其主流上游為萬安溪，發源於屏東縣泰武鄉的日湯真山，最後注入台灣海峽。早年潮州斷層崖西側，包括荖濃溪、隘寮溪、林邊溪、力力溪、率芒溪等大型沖積扇，將經過其上部之河水收入地下，有些碰到較細泥沙地質時，便無法再往下滲漏，故又流出地面，形成水質潔淨的伏流水。

東港溪可謂集隘寮溪及林邊溪伏流水之大成，1938 年（日治昭和十三年）修築完成隘寮溪南岸長堤，導引溪水向西北流入荖濃溪；其後又一連串的興建堤防，以切斷隘寮溪南側各分流。從此隘寮溪變成荖濃溪的支流，東港溪遂改以萬安溪為主要源流<sup>[4]</sup>。多年前又在內埔鄉水門一帶，構築昌基堤防，連同鹽埔、里港的堤防連結，將古隘寮溪改道注入高屏溪，使隘寮溪與東港溪分離，但東港溪雖因此被斷頭，卻仍透過沖積

扇，讓伏流水連綿不斷，致使屏東平原水資源無虞。

其實 100 年前其主流為隘寮溪，由東北向西南流至東港溪，古隘寮溪為今之麟洛排水，沿途流經多處湧泉區。其山區集水域面積並不大，匯集流量很有限，相關之研究顯示逕流係數大於 1，印證地下水經由古河道流入東港溪中下游。東港溪中段河面鳥瞰圖如圖 1(載自水利署全球資訊網)。



圖 1 東港溪中段河面鳥瞰圖

屏東平原地下水流由於隘寮溪堤防之設置，隘寮沖積扇水源伏流至地下水，再於東港溪伏流出地面水，故東港溪為一條得水河川(gaining river)，東港溪北側上游地下流向大致與河道流向平行，顯現伏流量少，所伏流出之河段大多為東港溪中下游(港西)河段。東港溪另一重要地面水源為林邊沖積扇之地下水所伏流出。

屏東平原之伏流水與地下水均於東港溪下游之興社橋與港西間河段，北側伏流出東港溪，故此處之水源甚為豐沛(此處曾取水 70~80 萬 CMD 即可得到印證)。於尚未流入受污染的東港溪水源前，截取其伏流水，其水質可較目前港西抽水站所取得之東港溪地面水更為潔淨。故未來取用該水源之可行性相當高。

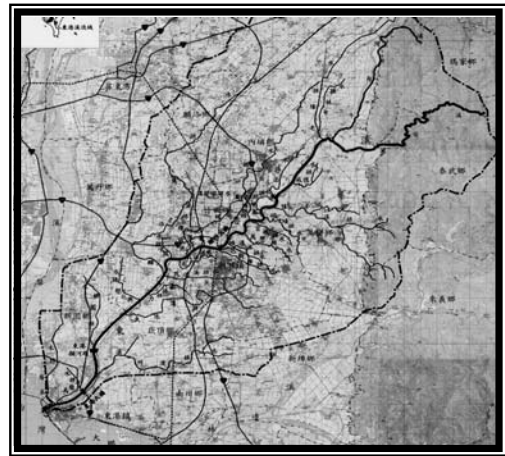


圖 2 東港河流域平面位置圖

### 三、屏東縣供水系統

#### (一)屏東系統概況

屏東系統之淨水場位於屏東市林森路，其水源取自其附近之地下水。原設計出水能力只有 5 萬 CMD。其供水範圍以屏東市區為主，另以少數水量補充供應其鄰近之長治、麟洛、竹田及萬丹等鄉。近年來該等市鄉之用水量與日俱增，目前已增至 6.5 至 7 萬 CMD。主要送水管<sup>[5]</sup>為 800mm $\phi$ 及 500mm $\phi$ 各一條。末端管線則只有 100 mm  $\phi$ 。其供水區域包括：屏東市全市、營區二處、工業區包括屏東工業區、屏東汽車專業區、華山工業用地、安鎮工業用地及清溪工業用地及屏東加工出口區等 6 處、長治鄉火燒、三座尾、單座屋、新潭頭、外庄、庄尾、香揚腳、河唇、老潭頭等 9 個社區、以及萬丹鄉社上、社中、社皮、磚寮、廈北、崙頂、後村村、灣內、廈南(部分)、香社(部分)、田厝(部分)、上村村(部分)、社口(部分)、加興(部分)。

#### (二)牡丹系統概況

牡丹水庫位於牡丹鄉四重溪上游，於民國 84 年興建完成，從此成為屏東地區最重

要之水源。牡丹淨水場設於水庫下游約 2.04 公里處。依水利署相關文獻之探討，牡丹水庫供應公共給水量可達 10 萬 CMD。又依水庫運用出水經驗，豐水期時，水庫常有大量溢流，若調配得當，豐水期之公共給水出水量應可超過 10 萬 CMD，另可再協調移撥農業灌溉水權量，豐水期時水庫供應公共給水供水量應可達 12 萬 CMD 左右。

其出水管沿著 199 號公路至車城鄉中心長約 11 公里。然後分南北兩路，一路往南送 4 萬 CMD 到恆春(約 6.7 公里)及墾丁地區(16.5 公里)；另一路將剩餘水量往北經竹坑中途加壓後送到新園鄉(送水管為 800mm $\phi$  CIP，長約 57 公里，詳如圖 3)。



圖 3 牡丹系統送水管線平面圖

其供水區域包括：南州鄉、東港鎮、佳冬鄉、新園鄉、崁頂鄉、琉球鄉、牡丹鄉、車城鄉、滿洲鄉、恆春鎮、枋山鄉、獅子鄉全鄉鎮及春日鄉、枋寮鄉，林邊鄉部分地區。因送水距離太遠故所耗費之動力相當大；而南送至墾丁地區之水量亦已漸趨供不應求。

因此台水公司計劃籌資辦理牡丹系統

擴建計畫<sup>[6]</sup> (尚未定案，以下簡稱為報告 3)，準備將其最大出水量提高到 12.8 萬 CMD，以充分供應該地區用水之需求。該計畫區仍以上述地區為主，其總面積約 742 平方公里，佔屏東縣面積 26.83%，該計畫供水區內總人口 266,907 人，佔屏東縣人口 29.87%。民國 90 年之後，牡丹淨水場出水量介於 7~8 萬 CMD，單日最大出水量甚至超出 8 萬 CMD，牡丹淨水場之現有導、送水管線之輸水功能亦已達飽和。

### (三)零星系統

屏東縣目前除上述兩大供水系統外，尚有餉潭、高樹、高士、三地、南和、四春、信國、崙東、枋寮、瑪家、萬安、武潭、來義、北勢、霧台及牡丹等 16 個小供水系統。前者之供水範圍包括屏東市全部、萬丹、長治、麟洛、內埔、竹田等鄉鎮之部分地區(總人口 234,640 人，佔全縣總人口數之 26.58%) 其供水普及率除屏東市達 78.89% 外，萬丹、長治在 8 至 10% 左右(包括當地之簡易自來水系統)；其餘都只有 1 至 2%(有的則自引山澗水使用)；後者之供水區域包括潮州鎮、東港鎮、新園鄉、崁頂鄉、林邊鄉、南州鄉、佳冬鄉、枋寮鄉、車城鄉、恆春鎮及牡丹鄉，其行政區總人口數為 175,556 人；供水人口為 33,133 人，佔全縣供水人口(牡丹鄉除外)之 6.309%。該區域內尚有部分村落依賴其自助式的簡易自來水維生。但親山區之自來水普及率約 51.70%，高於屏東縣全縣平均值 44.58%。

## 四、牡丹系統送水管擴建計畫

### (一)送水管線

台水公司南區工程處針對牡丹系統增加出水量及往北送水之能力，已研擬「牡丹系統擴建規劃報告」<sup>[6]</sup>。根據該報告，目前牡丹系統送水管自海口村北送至枋寮地區現有  $\phi 800$  mm 幹管，枋寮至東港地區現有雙線  $\phi 600$  mm 幹管，東港至新園地區埋有 1,000 mm  $\phi$  幹管，自車城鄉竹坑加壓站至新園地區，全線既設聯絡管線長度達 57 公里。

為滿足 120 年牡丹系統北送地區之需水量，擬自海口往北沿台 26 線及台 1 線增埋 1,000 mm  $\phi$  幹管 19,520M 至枋山，又枋山以北約 14.4 公里處之枋寮增設加壓站 1 處，自加壓站起再往北沿台 1 線及台 17 線增埋 1,000 mm  $\phi$  幹管 4,960m 至東海（台 17 線與屏 136 線交會口）總工程費為 9.9 億元。由此可知台水公司未來將為牡丹系統北送至新園鄉再埋設一條 1000 mm  $\phi$  之送水管。

## (二)配水池

港西淨水場 18,000m<sup>3</sup>（含計畫增建之 1 萬 m<sup>3</sup> 配水池）、東港高架水池 1,500 m<sup>3</sup> 及林邊淨水場 1,000m<sup>3</sup> 清水池，合計 20,500m<sup>3</sup>。

## 五、水源聯合運用

### (一)地表及地下水聯合運用原則

1. 今(101)年 8 月 1 日位於屏東縣南端之牡丹水庫庫水已達最高水位而洩洪；而位於北端的屏東系統卻仍須照樣抽取寶貴的地下水供應其用戶，無法讓扇央地區之地下水資源喘息涵養。因此本區最佳水資源的運用模式乃是「地表水與地下水聯合運用」。

2. 山地門由於五溝位於大武山下的一個沖積扇平原扇頂，是伏流水大量湧出的區域，終年不斷但保存不易。近年來由於山坡地屢遭濫墾及知本主山西側水源區遭石礦業

及運礦產業道路破壞，部分水源早已枯竭，使隘寮溪流量不若往年豐沛，枯水期出水量只約每日 20 至 30 萬 CMD，但一出山地門後，因河床滲透力極強，大抵皆補注為地下水或成為東港溪伏流水。

3. 屏東平原早年大多以灌溉用水占大部分，其水資源運用已具地表地下聯合運用之機制，即豐水期以引用地表水為主；當地表水不足時則以地下水補充。由於地下水蘊藏量豐富及灌溉用水之耐旱性高，故供需尚可維持平衡。為使平原內水資源能永續利用，地面與地下水聯合運用之原則，應以地面水為主、地下水為輔。豐水期儘量使用地面水，減少地下水使用量；水源不足時才用地下水。
4. 伏流水水源之開發為國內多元化水資源利用重要之一環，而屏東地區之水資源仍需配合推動減漏、廢污水回收再利用及伏流水利用等等措施多管齊下。水利署南區水資源局於今年四月間已完成「高屏溪伏流水及傍河取水先期調查試驗計畫」<sup>[7]</sup>，也已完成取用伏流水計畫之規劃作業，(在高屏堰上游 6.8 公里，佛光山附近的興田村高屏溪的右岸佈設輻射井，於河槽下約 10m 處集取伏流水)。另將先在高屏攔河堰上游大泉營區附近設置一口輻射井試驗模場，並進行相關之水文地質參數及輻射井出水性能之測試，以做為未來伏流水取水工程之參考依據。
5. 由於位於北端的屏東系統其每天所需之水源量已有短缺之現象，若在上述兩大系統之間增設一座新淨水場，其原水取自東港溪或高屏溪伏流水，經處理後之清水與現



有兩系統聯合運用，並增設一座大型蓄水池，藉以發揮聯合運用時之調蓄功能，則不僅可解決屏東營運所缺少水源之困境，還可節省牡丹系統北送之動力費。確不失為解決上述問題之一大良策。

## (二)計畫原則

- 1.由於屏東及牡丹兩系統之水源量均已供不應求，故本文所研討的水資源聯合運用計畫，必須增加新水源。但新設之水源除須補充屏東系統之水量外，為能減少牡丹系統北送供應新園、東港及林邊等鄉鎮用水之動力費，應以補充該等鄉鎮之用水為主，因此新水源之淨水場宜盡量靠近該等鄉鎮；但又不能太接近出海口以免抽到被海水入侵之伏流水，故宜設在新園鄉之北方，萬大橋以南，萬安鄉以西，高屏以東，如圖 4 所示之處。該水源以抽取東港溪之伏流水為其水源。
- 2.為取得東港溪伏流水，須先就該水源之水量與水質作長期之觀測；若因故無法取得，則改在高屏溪左岸取用高屏溪之伏流水。
- 3.綜合以上所述，在屏東地區要開發新水源最大的可能性有三種：(1)在東港溪中游段抽取其伏流水(暫稱為興安系統)。(2)在高屏溪斜張橋下游左岸佛光山對面至新園鄉興田村抽取其伏流水(暫稱為興田系統)。(3)水利署所研議之第二水源(在隘寮溪上南華大橋與高樹大橋之間南岸抽取其地面水(暫稱為隘寮系統)。

## (三)聯通管

- 1.本文所研討之聯合運用計畫不管採用任何方案，必須先將牡丹系統北送至新園鄉之

送水管沿著台 27 號公路延長至屏東市(自由路與公園路交叉口(公園橋前)，讓牡丹與屏東兩系統之送水管相連通(如圖 5)。



圖 4 建議增設淨水場位置圖

- 2.因此不論是興安或興田系統之送水管均須先埋至台 27 號公路，與上述之聯通管相接。俾由此分別往北送供屏東市區；往南送供新園鄉等鄉，其中自萬丹鄉大學路與台 27 線交叉口已埋有 800mm  $\phi$  DIP 至仙吉路與後厝路交叉口(長 5.2 公里)，然後接原有 200mm  $\phi$  DIP 管至港西抽水站並連接新園鄉之用戶管線。



圖 5 興安至屏東市聯通管路線圖

3. 上述聯通管若往南及往北各送 5 萬 CMD，則其經濟管徑按經驗公式計算， $D = (43200 * C - 1.85 * Q^{2.85} * S * r^{-1})^{1/6.36}$ 。式中之  $S =$  電費單價  $= (2.9 * 4 + 2.81 * 8) / 12 * 0.7 = 1.988$  元/度<sup>[8]</sup>； $r =$  年利率  $= 3\%$ 。 $D = (43200 * 110^{-1.85} * (50000/86400)^{2.85} * 1.988 * 3^{-1})^{1/6.36} = 0.158\text{m}$ ，採用 200 mm $\phi$  之 DIP 即可。但為因應未來緊急調水之需，其送水量宜以 10 萬 CMD 為準，則其管徑  $D = (43200 * 110^{-1.85} * (100000/86400)^{2.85} * 1.988 * 3^{-1})^{1/6.36} = 1.14\text{m}$  採用 1200 mm $\phi$  之 DIP。
4. 上述聯通管自興安淨水場經台 27 線至屏東市，長 17.1 公里，其中既有之 5.2 公里，為減少水頭損失，尚需加埋一條 900mm $\phi$  DIP 管線。另為維持施工期間台 27 線之交通，預計全線之 5% 以推進工法施工。

## 六、計畫方案

茲以取用上述三水分別擬定甲、乙及丙三個計畫方案，詳述如下：

### (一) 甲案(興安系統)

- (1) 屏東科技大學丁澈士教授曾表示：屏東地區之地下水位近年來已有逐漸上昇之趨勢。在東港溪興安地區(屏東農田水利會大波圳下游)抽取其伏流水之可行性相當高，但開發前須就其水質及水量做長期之觀察與檢測。(2) 本計畫預計取用東港系之伏流水(10 萬 CMD)，淨水場設於東港溪港西抽水站對(東)岸興安附近(場內加設蓄水池)，用地約 4.5 公頃。

### (二) 乙案(興田系統)

- (1) 在高屏溪會結抽水站對岸上述地點抽取該溪之伏流水(10 萬 CMD)，淨水場也儘量設於取水口附近與其東邊 27 號公路之

間，以儘量縮短其送水管之長度為原則。

### (三) 丙案(隘寮系統)

- (1) 本案係由水利署所研擬中之第二水源(暫稱為隘寮淨水場)，第一階段取隘寮溪之伏流水 5 萬 CMD 為其水源；第二階段再取用經長期補注後之地下水 5 萬 CMD。

## 七、工程內容

### (一) 甲方案(興安系統)

1. 集水管：本計畫擬抽取東港溪之伏流水 10 萬 CMD，採用 1000mm $\phi$  不銹鋼過濾管(stainless-steel strainer)，外加一層鍍鋅鐵絲網(或其他可保護過濾管之材料)以確保過濾管施工時免遭砂礫磨損。埋管方式可先建造抽水井，再從井下部預留之集水孔，以推進工法將過濾管推入河床下 10m 左右。集水管每公尺進水量約 100CMD，因此所需之長度  $= 1,000\text{m}$ 。
2. 抽水站：抽水井內徑  $= 10\text{m}$  井底之  $EL = -7\text{m}$ ，井內地板之  $EL = 2\text{m}$ ，井深  $= 9\text{m}$ ，地面上之牆高 5m(以利加設吊車)，其體積  $= 3.14 * 10^2 / 4 * 14 = 1,100\text{m}^3$ 。
3. 導水管<sup>[5]</sup>：自抽水站至淨水場埋設 1 條管徑為 800 mm $\phi$  DIP 管，長約 1 公里。其水頭損失  $hf = 10.66 * (100,000/86,400/110)\text{cms}^{1.85} * 1000\text{m}/0.8\text{m}^{4.87} = 1.87\text{m}$ ，以 2.0m 計。管內平均流速  $= 0.35464 * 110 * 0.8^{0.63} * (2/1000)^{0.54} = 1.18\text{m/s} \leq 3\text{m/s}$ ，OK。
4. 抽水機 A：自抽水站最低水位  $LWL = (-6.0\text{m})$ ，抽送至淨水場(假設分水井最高水位為  $EL = 6\text{m}$ )，則其淨揚程  $= 12(6+6)\text{m}$ ，水頭損失  $hf = 10.66 * (100,000/86,400/110)\text{cms}^{1.85} * 1000\text{m}/0.8\text{m}^{4.87} = 1.87\text{m}$ ，以 2.0m 計，總揚程  $= 14\text{m}$ 。HP  $= 100,000$

$CMD * 14m / (6480 * 0.85) * 1.15 = 292.3$  馬力以 300 馬力計。採用 4 台 100 馬力抽水機(其中一台備用)。

5.淨水場：依每 1CMD 淨水場需用地及其總面積分別為  $0.45 m^2$  計，則淨水場整場所需面積淨水場整場所需面積  $= 0.45m^2 / CMD * 100,000 = 45,000 m^2$ 。若原水濁度在 5NTU 左右，則可不必設沉澱池。依照規定原水在混合池加明礬後，沉澱池之滯留時間需達 3 小時以上(未加藥者須達 8 小時)，滯留時間  $t = V/Q \geq 3hr.$ ，假設沉澱池有效水深 = 4m，則  $A = 100,000CMD / 4 * 3hr. / 24 hr.$ ， $A = 3,125m^2$ ，空地比 = 60%，沉澱池需要總面積 =  $5,210m^2$  若不設沉澱池，則淨水場需要總面積可減少 5 千  $m^2$  (含曝氣塔所需增加之面積)，故實際需要 4 萬  $m^2$ 。

6.送水管：按經驗公式計算其經濟管徑  $D = (43200 * 110^{-1.85} * (100000 / 86400)^{2.85} * 1.988 * 3^{-1})^{1/6.36} = 1.14m$ ，採用 1200 mm  $\phi$  DIP，長 1,000m 接上連通管。

7.抽水機 B：自淨水場沿著至台 27 號省道至新園鄉與屏東市之通管接水點，估計管線長度為 18.1(1.0+17.1)公里。自淨水場清水池 LWL = 1.0m (一般淨水場內之水頭總損失 = 5m)至屏東市區地盤高 30m+動水頭(15m)，送水管水頭損失  $hf = 10.66 * (100000 / 86400 / 120)^{1.85} * 18,100 m / 1.2m^{4.87} = 14.82m$ ，另加次要損失約 1.2m，合計 16m。再加氣曝所需之高程 6 m，其總揚程 =  $(-1+5+6+30+15) = 55m$ 。HP =  $100,000 CMD * 55 m / (6480 * 0.85) * 1.15 = 1,148.33$  馬力，採用 5 台 300 馬力抽水機(其中一台備用)。

8.蓄水池：屏東系統目前之供水量加上未來開發興安惑星田新水源後，合計供水量達 16.5 萬 CMD，依照 Fair 之建議：配水池容量應達供水量之 1/4，未來之配水池容量需達  $16.5 / 4$  萬  $\div 4.13$  萬  $m^3$ ，而現有配水池容量加上未來計劃增建 1.3 萬  $m^3$ ，合計 2.05 萬  $m^3$ ，故仍不足 2.08 萬  $m^3$  (4.13-2.05) 萬  $m^3$  之配水池。若池深以 4.5 m 計，則需用地  $2.08 / 4.5 / 0.6 = 8,000 m^2$ 。

## (二)乙案(興田系統)：

本計畫擬抽取高屏溪之伏流水 10 萬 CMD，與甲案相同需新設(1)河川攔水設施、取水口及抽水站(含加壓設備)、(2)導水管、(3)淨水場(暫稱為興田淨水場)及(4)送水管(1000 mm  $\phi$  CIP)\*1.3Km。

## (三)隘寮系統：

依水利署委外研擬之報告 1 及報告 2，其主要內容為在高樹及南華大橋之間設置集水廊道(淨寬 1.2m，淨高 2.4m 之斜頂屋脊斷面型式，頂面佈設預鑄透水材料，兩側面配置集水孔，全長 630 m，第一階段先由左岸向河心佈設 300m；第二階段再延伸 320m 至右岸灘地外緣)、抽水井(收集伏流水並利用抽水機將收集到的伏流水抽至井旁增設之調節池(池底 EL：57.8m)、蓄水池(兩池總容量 = 3,600  $m^3$  及用地約 0.1 公頃，另為改善原水水質，須增設初級處理設施之用，並於蓄水池旁增購 1.0 公頃之土地)；DIP 導水管線(管徑 1350 mm  $\phi$  DIP，長 = 18,000 m)，以重力流方式流至現有屏東淨水場。其水源擬取用隘寮溪 10 萬 CMD 之伏流水作為屏東地區之第二水源(第一期先取 5 萬 CMD，俟地下水補注工程見效後再抽取 5 萬 CMD，以供應

未來屏北地區之需水量)。原水順著 27 號公路送至屏東淨水場處理，另埋設新管線接入現有屏東系統配水管網(如圖 6，下載自報告 1)。

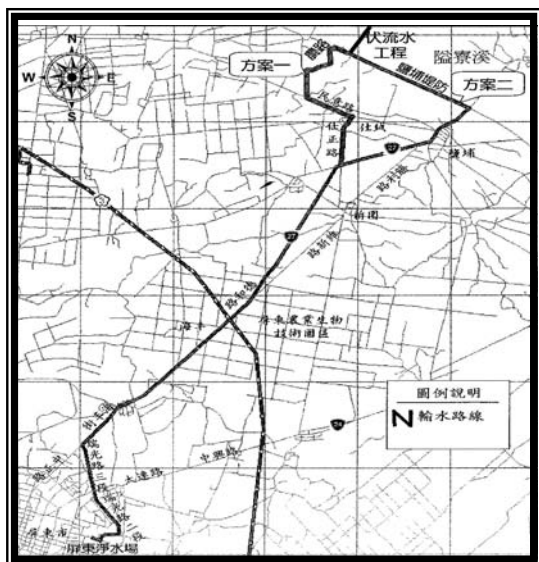


圖 6 導水管埋設路線圖

另根據報告 1 所述：在計劃建造伏流水集水工之場只進行伏流水水質監測結果，其氨氮濃度達  $2.19\text{mg/l}$ 。高於地下水或地面水作飲用水水源之水質值標準第五條之規定：地面水體或地下水體作為自來水及簡易自來水之飲用水水源者，其水質應符合下列規定：氨氮（以  $\text{NH}_3\text{-N}$  表示）1 毫克/公升。為此建議至少需要 1 公頃土地以配置初級處理設施。

其實依「自來水設備工程設施標準解說」<sup>[9]</sup>所述：瀑布式(Cascad type)氣曝係利用台階及水體之重力使水流呈瀑布形依次下降，讓空氣隨水流帶入原水中，並藉由衝擊次一層氣曝盤時激起水花，使水與氣得以充分混合。其台階或版面積，一般以負荷率設計(所需之面積約  $1\sim 2\text{ m}^2/1,000\text{ CMD}$ )，並以最大處理水量算定，操作水頭約需 5~10

m。台階或氣曝盤上下約 3~5 層，每層高約 30~60cm，並須保持適當的水深，其總高度需 2~4m，以促使原水落下時與空氣充分混合。另依 Oesten 氏之論述：在負荷率為  $1\sim 2\text{ m}^2/1,000\text{ CMD}$  之條件下，10 萬 CMD 之原水只要設置  $400\text{ m}^2$  之氣曝盤(若分為 5 層則約需土地  $100\text{ m}^2$ )。水滴自空氣中落下時，其吸氣量之飽和點為  $7.68\text{ cc/l}$ ，依前所述：要硝化  $1\text{ mg}$  之氮，需  $3.7\text{ mg}$  之氧(兩者之比值 = 1 : 3.7)。在標準狀態(溫度  $26.7^\circ\text{C}$ ，壓力 760mm 汞柱)下，氧的密度 =  $1.3\text{ kg/m}^3$ 。本方案若設瀑布式氣曝盤則原水經氣曝塔後，可去除之氮量 =  $7.68\text{ cc/l} * 1.3\text{ mg/cc} / 3.7 = 2.70\text{ mg/l}$ 。

## 八、聯通管工程費：

### (一)新園鄉至屏東市區

1. 埋設一條  $1200\text{ mm}\phi$  DIP : 4.5 萬元 /m\*17,100m = 77,950 萬元。
2. 埋設一條  $900\text{ mm}\phi$  DIP : 3.1 萬元/m\*5,200 m = 16,120 萬元。
3. 以推進工法施工，所增加之工程費： $17,100\text{ m} * 5\% * [1.5\text{ 萬元/m} + (200\text{ 萬元/工作坑} + 20\text{ 萬元/到達坑}) / 100\text{ m/坑}] = 3,170\text{ 萬元}$ 。
4. 路面修復費： $740\text{ 元/m}^2 * 4\text{ m} * (17,100 * 0.9)\text{ m} = 4,600\text{ 萬元}$ (寬度以分向島至外緣之 1/2 寬計)。
5. 合計：101,840 萬元，以 102,000 萬元計。

### (二)新園鄉至枋寮鄉

根據報告 3 台水公司南區工程處，未來將就牡丹系統北送管線，自車城鄉海口村增埋  $1000\text{ mm}\phi$  管線之新園鄉，故本案不必再另行增設管線。

## 九、方案計畫工程費

### (一)甲方案(興安系統)

- 1.取水工程：30 萬元/m\*1,000m=30,000 萬元。
- 2.抽水站工程：2 萬元/m<sup>3</sup>\*1,100=2,200 萬元。
- 3.機電工程：2.0 萬元/馬力\*4\*100 馬力+1.5 萬元/馬力\*1,500 馬力=3,050 萬元。
- 4.導水管工程：3 萬元/m\*1,000m=3,000 萬元。
- 5.淨水場工程：0.5 萬元/CMD\*100,000 CMD =50,000 萬元。
- 6.蓄水池工程：0.4 萬元/m<sup>3</sup>\*20,800m=8,320 萬元。
- 7.送水管工程：3.8 萬元/m\*1,000m=3,8000 萬元。
- 8.路修費：(530+740)元/m<sup>2</sup>\*4m\*1,000m=510 萬元。
- 9.其他：1,120 萬元。
- 9.工程費合計：102,000 萬元。
- 10.淨水場用地：2,000 元/m<sup>2</sup>\*40000 m<sup>2</sup> = 8,000 萬元。
- 11.蓄水池工程用地：2,000 元/m<sup>2</sup>\*8,000m<sup>2</sup> = 1,600 萬元。
- 12.拆遷補償費：1,400 萬元。
- 13.用地拆遷補償費合計：10,000 萬元。

### (二)乙方案(興田系統)

甲乙兩案只是取水地點不同，其他工程內容大致相同。但乙案之送水工程比甲案增加 300m，故其工程費增加：3.8 萬元/m\*300 m =1,140 萬元。其總工程費= 102,000+1,140 萬元=103,140 萬元，以 103,000 萬元計。

### (三)丙方案(隘寮系統)

依據水利署之報告 1，該計畫兩階段所需之總工程費約 43.4 億元(第一階段約需 20.71 億元；第二階段約需 22.69 億元(但均未加計淨水場用地購置費及其建造工程費等)。

## 十、工程成本分析

- (一)設計階段作業費：約 7,100 萬元(直接工程費之 3.5%計)。
- (二)用地取得及拆遷補償費：(8,000+ 16,00 +1,400)萬元=11,000 萬元。
- (三)工程建造費
  - 1.直接工程費：方案計畫工程費 102,000 萬元 +聯通管工程費 102,000=204,000 萬元。
  - 2.間接工程費：約 30,600 萬元(直接工程費之 15%)。
  - 3.工程預備費：約 20,400 萬元(工程費之 10%)。
  - 4.物價調整費：約 7,100 萬元( 3.5%)。
  - 5.合計：262,100 萬元。
- (四)工程建造費：280,200 萬元(一+二+三)。
- (五)施工期利息(3%)：16,810 萬元(以 2 年計)。
- (六)計畫成本：298,010 萬元，以 298,000 萬元計。註：以上算法係依照自來水係工程規劃乙書<sup>[10]</sup>所列之原則辦理。

## 十一、方案評估

甲乙兩案之內容大致相同，茲以乙案丙案相比，丙案有下列缺點：

- (一)總工程費約高出 13.6(43.4-29.8)億元，且仍未計淨水場(含用地)及聯通管等工程費。
- (二)無法跟牡丹系統聯合運用，因此牡丹系統仍需北送至東港鎮及新園鄉，對節省能源毫無幫助。
- (三)依自來水設計標準之規定，採用地下水為水源者，可不設沉澱池，惟仍須設置快濾池。尤其是取用隘寮溪伏流水，因其原水中含氨氮量達 2.19mg/l，已違反飲用水水源水質標準(1.0mg/l 以下)，如未經

處理依法不得作為飲用水水源。若將原水引至現有屏東淨水場，因現有淨水場廢水處理設備不足，有時會將其廢水逕予排放，致遭屏東縣政府環保局提及須加設處理設備，但因其場內用地已嫌不足，故迄未照辦，故不可能在場內再加設淨水處理設備。因此新水源地必須加設淨水場(含氣曝塔)，其所需之工程費將近 6 億元(含間接工程費)。

(四)依照自來水配水池設置原則，蓄水池若設在淨水場內，則整條送水管之容量均須以最大時配水量設計，除徒增工程費外，還長期浪費動力費只能視為清水池。

(五)在場內設置 3,600m<sup>3</sup> 之蓄水池，只約未來供水量之  $3600/100000 = 0.036$  對整個系統之配水功能幫助不大，也對供水區之最大時配水量非常不利。

(六)若蓄水池之容量提高到 10 萬 m<sup>3</sup>/4 = 2.5 m<sup>3</sup>，則比原只計劃建 3,600 m<sup>3</sup> 尚需增加 21,400 m<sup>3</sup>，其所增加之工程建造費需 8,560 萬元，再加用地購置費 0.2 萬元/m<sup>2</sup>\* (21,400 m<sup>3</sup>/4.5m/0.6) = 1,600 萬元，合計約需 10,160 萬元。

(七)另外因該管線之送水量須滿足最大時供水量，若最大時與最大日供水量之比值以 1.3 倍計，則其送水量將加大為 13 萬 CMD，(原計劃量只送 10 萬 CMD)，故其管徑須改為  $D = (43200 * 110^{-1.85} * (130,000 / 86400)^{2.85} * 1.988 * 3^{-1})^{1/6.36} = 2.41\text{m}$ ，採用 2400 mm $\phi$  DIP。其水頭損失  $hf = 10.66 * (130,000 / 86,400 / 110) \text{ cms}^{1.85} * 18,000\text{m}/2.4\text{m}^{4.87} = 0.96 \text{ m}$ ，以 1.5m 計。管內平均流速 =  $0.35464 * 110 * 2.4^{0.63} *$

$(1.5/1000)^{0.54} = 2.02 \text{ m/s} \leq 3 \text{ m/s}$ ，OK。

(八)加大管徑所增加之工程費 =  $(11-4.8)\text{萬元} / \text{m} * 18,000\text{m} = 111,600 \text{ 萬元}$ 。

(九)擬取用隘寮溪伏流水之上游有野溪，目前已有多數養鴨戶，依照飲用水水源保護區之相關法令，這些養鴨戶依法必須驅離，屆時勢必引發養鴨戶激烈之抗爭。

## 十二、定案計畫

若丙案加計聯通管工程費並提高蓄水池容量、加大送水管管徑及必要興建之淨水場及增加水池容量等工程建造費，則比甲案高出 30.78(13.8+5.0+1.016 +11.16)億元，另再加上前述之第 9 項需排除養鴨戶之抗爭，可確定丙案與甲乙兩案之優缺點差異至為懸殊，故不必再經年費分析就可確定丙案並不值得採行。至於就應採用甲案或乙案則需再經一段時期的觀測，確定東港溪或高屏溪伏流水之水質與水量後再做進一步之決定。

## 十三、年費分析

(一)原水費：自行開發故免費。

(二)折舊費及維修費：1.管線工程 =  $[30,000 + 3000 + (102,000 - 4,600) + 50,000 * 10\%]$  萬元 \* 4% = 5,416 萬元、2.土建工程 =  $(2,200 + 8,320 + 50,000 * 25\%)$  萬元 \* 4% = 921 萬元、3.機電工程： $(2,700 + 50,000 * 65\%)$  萬元 \* 9.5% = 3,350 萬元、4.合計約 9,700 萬元。

(三)利息：298,000 萬元 \* 3% = 8,940 萬億元。

(四)人事費：以增加一個出水量 10 萬 CMD 給水廠之整廠人力計，12 名技術士及 4 名員級計，其每年之人事費約 =  $(3 \text{ 萬元/人/月} * 12 \text{ 人} + 5 \text{ 萬元/人/月} * 4 \text{ 人}) * 15 \text{ 月/人} = 840 \text{ 萬元}$ 。

(五)業務費：1 元/CMD\*100,000 CMD=10 萬元。

(六)動力費：(1)固定電費：137.5 元/KW/月×12 月/年×1,500KW \* 70% = 173 萬元。(2)流動電費：2.84 元/KW/hr \* 1500 \* 24hr/day \* 365day /年\*0.7 = 3,732 萬元。(3)合計 3,905 萬元。

(七)藥品費：12 元/公斤 \* 3ppm \* 100000CMD \* 365 天 = 132 萬元。

(八)污泥處理費：原水以 5NTU 計，處理費 = 800 元/Ton \* 100,000CMD \* 5NTU \* 10<sup>-6</sup> \* 365 天/年 = 146 萬元。

(九)合計：23,673 萬元，以 23,700 萬元計。

#### 十四、出水及售成本

(一)本計劃之出水成本=23,70 萬元/10 萬 CMD /365 天=6.493 元/m<sup>3</sup> (含原水成本+淨水成本+供水成本)。

(二)售水率已 75%計，純售水成本=6.493/75%=8.66 元/m<sup>3</sup>，另加分攤貸款利息支出與分攤不具生產力單位(總處、工程處、水表場、員訓所)之人事費，分別為 0.169 元/m<sup>3</sup>及 1.202 元/m<sup>3</sup>(參考台灣自來水公司 99 年度各供水系統成本報告<sup>[11]</sup>)，故售水成本為 8.66+0.169+1.202 = 10.03 元/m<sup>3</sup>。低於 100 年台水公司之平均售價 0.86 元/m<sup>3</sup> (10.89-10.03)。

#### 十五、結論與建議

(一)將屏東及牡丹兩大供水系統之間埋設一條連通管，並在兩座淨水場之間(新園鄉靠近東港溪或高屏溪)增設一座新水場，而以該兩溪中之一為其水源，除充裕屏東地區之供水量外，尚可與使兩系統之

水源聯合運用。

(二)增設一座大型蓄水池，藉以發揮聯合運用之調蓄功能，則可解決屏東營運所缺少水源之困境，又可遠在屏東南端之牡丹淨水場不必再耗費龐大動力將水送至 75 公里外之新園地區，從此可大幅節省動力。是解決屏東地區供水量不足之最佳方案。

(三)水利署研議方案之工程成本為 43.4 億元，若按本文之年費換算成為售水成本約為=(43.4/29.6\*3.37)\*10<sup>4</sup>萬元/75%/10 萬 CMD /365 天+0.169+1.202 =19.42 元/m<sup>3</sup>。

(四)若再加上連通管、淨水場、蓄水池及送水管等差異費 = (10.2+5+0.8+1.016+11.16 =28.18 億元，則其售水成本 = 19.42 元/m<sup>3</sup> + (28.18/ 29.6\*3.37) \* 10<sup>4</sup>萬元/75%/10 萬 CMD/365 天+0.169+1.202 = 32.51 元/m<sup>3</sup>。

(五)本計畫付諸實施後，牡丹系統不必再遠送至枋寮以北至新園鄉。目前竹坑加壓站北水量平均日約為 4.8 萬 CMD，其中約為 4 萬 CMD 送往枋寮鄉以北地區，為此竹坑加壓站須起動 3 台抽水機(145 馬力/台)，其揚程達 65m；若加開 1 台抽水機，其所增加之水量只約 2,000 CMD。因此將來送水管增埋後，若不再供應枋寮以北各鄉鎮，則竹坑加壓站可減少啟動 3 台抽水機(145 馬力/台)，其揚程達 65m，動力費約需(137.5 元/月/KW \*12 月+2.81 元//KW/時\*24 時/天\*365 天)\*145 馬力/台 \*3 台 = 127 萬元/年= 0.034 元/m<sup>3</sup>，則售水成本可降為 10.00 元/m<sup>3</sup>。但仍比水利署研議中之方案便宜 9.42 元/m<sup>3</sup>；若兩者以

相同基準相比則更便宜 22.51 元/m<sup>3</sup>。

- (六)水利署研議中之方案(在高樹橋下游抽取隘寮溪之伏流水)有 9 大缺點，除其所需之工程費遠高於本文所擬定之甲乙兩案外，尚有養鴨戶污染水源且須於啟用前驅離養鴨戶之困惑，由蓄水池建於屏東市之北端，違反蓄水池須靠近供水區或建在供水區下游之原則，調配屏東市之最大時需水量非常不利。
- (七)未來豐水期宜儘量使用牡丹水庫之儲水；枯水期才抽取地下水或伏流水，俾利其休養，此乃本文所提水源聯合運用之真諦。
- (八)建議在東港溪左岸興安地區及高屏溪左岸興田地區就其水質做長期之檢測時須特別注意水中含氨氮及游離氯離子之含量。

### 參考文獻

- 1.丁澈士，國立屏東科技大學土木工程系教授。
- 2.屏東平原地面地下水聯合運用個案工程規劃(2)期末報告：水利署南區水資源局，民國96年11月。
- 3.隘寮溪下游集水工暨輸水工程計畫規劃補充調查報告：水利署南區水資源局，民國97年3月。
- 4.東港溪：台灣環境 第96期 (p.19-20)。
- 5.送水管、導水管---等名詞，不稱為輸水管，係依水利署委由中華民國自來水協會編撰之「自來水專門名詞」辦理，絕非作者自行杜撰。
- 6.牡丹系統擴建規劃報告：台灣自來水公司南區工程處，民國97年3月。
- 7.水利署南區水資源局，「高屏溪伏流水及傍河取水先期調查試驗」，101年4月。
- 8.台灣電力公司電價表：台灣電力公司，101年5

月15日起實施。

- 9.自來水設備工程設施標準解說：中華民國自來水協會，民國85年。
- 10.自來水係工程規劃：台灣自來水公司民國100年3月。
- 11.台灣自來水公司99年度各供水系統成本報告：台灣自來水公司。

### 作者簡介

#### 曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師

專長：自來水工程



# 管線汰換困難解決方案-大型可撓不銹鋼波紋管

文/許敏能、黃裕泰

## 一、前言

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）所轄供水範圍涵蓋國內主要政經中心，包括台北市全部十二個行政區及新北市之新店、三重、中和及永和區等，並涵括汐止區等七個里，用水人口數約為 380 萬人，實際日間活動人口在 400 萬人以上。供水普及率已達 99.54%，輸配水管線長度達 450 餘萬公尺。大部分管線為 1970 至 1980 年代埋設，至今已超過 3、40 年，早期不論給、配水管材質及施工技術以現今標準而言均甚為落後，常年下來管線老化漏水問題日趨嚴重(如圖 1)。為提供更穩定供水，打造不缺水城市，近年來積極以小區計量方式推動管網改善計畫，期以 20 年時間，預訂至 2025 年將漏水率降低到 10% 以下，推展至今由 2002 年漏水率 28.44% 降至 2011 年之 20.51%，已有顯著成效。



MJP 鏽蝕

圖 1 早期 MJP 配水管鏽蝕情形

1990 年代起許多原本在地上的線路如電力、電信開始逐漸埋入地下，近年再加上瓦斯、污水、雨水、光纖等線路普遍埋設，

整個地下管線十分擁擠，增加自來水管線汰換困難度(圖 2)。管網汰換往往因某些路段無法汰換而影響整體績效。為此北水處積極尋求各種解決方案，在給水管部分已全面採用不銹鋼波狀管取代傳統不銹鋼管，除可減少接頭數量及降低漏水機率，亦增加配管靈活性；在配水管部分參採國外作法，嘗試引進大型可撓不銹鋼波紋管，作為穿越地下障礙物配管使用，本文即針對此種新型管材相關技術層面、材料特性及本處試用情形進行研析，期能提供後續採用之參考。



圖 2 地下管障眾多施工困難

## 二、可撓性波紋管簡介

可撓性波紋管(flexible pipe，或稱軟管、蛇管)泛指可隨需要自由彎曲之波紋狀管件，用於需隨現場狀況自由調整管線位置或增加管線整體耐震或減震需求之處，廣泛運用於日常生活中，例如蓮蓬頭金屬軟管、洗衣機排水管等，另外在各種工廠、機械、船舶、醫學等各個層面均普遍使用，作為排水軟管、空調風管、馬達後方減震軟管、油槽輸送管、機械化工廠輸送管、醫學內視鏡管

等。

可撓性波紋管材質較常見者為塑膠類及不銹鋼類(如圖 3、圖 4)，其外層視需要可包覆金屬織網加以保護。另外依使用條件，可選擇耐腐蝕、耐高壓等特性，可撓性波紋管尺寸由內視鏡用 5 毫米至大型輸送油管用 2 公尺不等，彈性非常大，可視需求靈活運用。



圖 3 塑膠材質可撓波紋管



圖 4 不銹鋼材質可撓波紋管

### 三、大型可撓不銹鋼波紋管於自來水管之應用

#### (一)SDF(Stainless Dynamic Flexible Pipe)工法

大型可撓不銹鋼波紋管用於輸送自來水，最早發展係作為管中管使用，利用不銹鋼金屬軟管可隨意撓轉之特性，穿過既有老舊管線，取代成為新的輸配水管。在日本將此種工法稱為 SDF 工法(Stainless Dynamic Flexible Pipe)，適用口徑為 75mm 至 300mm，其施作方式如圖 5 所示，由窰井處將成捲之

不銹鋼金屬軟管穿入舊管，其施工長度可達 100 公尺以上。此種工法優點如下：

- 大幅減少管線開挖及路面復舊面積。
- 減少其他管線遷移數量。
- 工期短、施工費低。
- 減少施工擾民及交通衝擊。



圖 5 SDF 工法現場施工情形

SDF 工法對於地下管線複雜，開挖抽換困難之處有極佳之適用性。然而此種工法使用上亦有其限制性，例如管線分歧處或用戶給水管接水處即無法使用，以北水處管線特性而言，分歧管及用戶給水管密集，並不適合北水處目前推動之小區計量管網汰換。另外若舊管內部結瘤或腐蝕過於嚴重，將造成不易穿管，穿管後管徑縮小，水頭摩擦損失增大，亦須加以評估，避免影響更新後供水品質。

#### (二)大型可撓不銹鋼波紋短管

大型可撓不銹鋼波紋管除作為管中管使用外，亦可採用短管(長度 9 公尺以下)型式銜接球狀石墨鑄鐵管(DIP)，作為閃避地下障礙物或空間侷限之處使用。此種管材優點包括：

- 具伸縮可撓性，遇障礙物時能任意迴繞、改變方向。



- 施工快速，節省工時。
- 減少管網接頭數量，降低漏水機率。
- 具極佳耐震性能，並且不受地盤下陷影響。
- 具有多種接頭型式，可依現場狀況選擇。

此種管材非常適合都會區地下管線複雜、空間有限造成施工困難之處使用，目前北水處管網改善常因地下管線障礙阻隔而功虧一簣，此種管材適可解決施工不易之困境，非常值得引進使用，以下將詳細說明其管材特性及應用情形。

#### 四、可撓不銹鋼波紋短管介紹

可撓性不銹鋼波紋管其接頭形式包括法蘭接頭、K 型接頭等型式(如圖 6)，使用壓力最高可達  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 。管徑一般由 75mm 至 300mm，超過 300mm 管徑因管身強度不足，不適合於地下管限使用；短管長度由 1 公尺至 9 公尺視需求定製。以法蘭接頭型式為例，其構造如圖 7 所示。最內層為波狀部管身，其材質一般係採用 316L 不銹鋼(L 代表低碳不銹鋼，焊接後無須熱處理，抗晶間腐蝕能力及延展性能均優於 316 不銹鋼)，波狀部位(Bellows)可採 U 型或  $\Omega$  型，厚度依口徑及各公司產品不同，約由 0.4mm 至 0.7mm 不等；因為管身厚度相當薄，加工成波狀後易於彎曲；波狀部外側包覆一層金屬織網，以保護波狀部並增加管身強度，金屬編織保護層為全包覆式，均勻包覆於管身，金屬織網型式依需求可採平織帶網型(Wire Braids，強度較低)或編帶辮索網型(Braided Braids，強度較高)(如圖 8)，材質一般採用 304 不銹鋼。

為延長使用壽命，金屬織網外側包覆防蝕保護層，為不影響波紋管之可撓性，一般

採用柔軟性且耐腐蝕合成纖維製造之不織布浸置於石油脂 (Petrolatum)、矽材及腐蝕抑制劑所組成混合物製成之冷包型(cold applied)防蝕帶；防蝕保護層纏繞時每圈重疊部分至少 50% 以上；作為地下管線使用之波紋管，通常防蝕保護層外側再包覆一層防水保護層，目的在防止砂土及水分侵入，一般採用自融性(self fusion)聚乙烯(PE)膠帶包覆，其粘著層可融化為一體，以達到密封保護之功能，纏繞時每圈重疊部分至少 50% 以上。斷面示意如圖 9 所示。



圖 6 可撓不銹鋼波紋管接頭型式

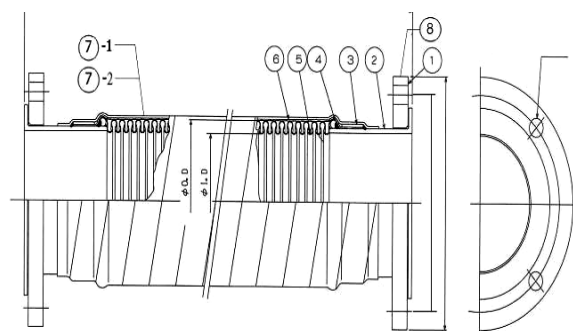


圖 7 可撓不銹鋼波紋管構造圖

可撓不銹鋼波紋管雖可於任意方向彎曲，惟因波狀部位管壁較薄，如過度彎曲將使波紋管承受外力之能力降低，尤其埋設於地下之管線，易因車輛載重而承受較大外力；為避免過度彎折造成破損，一般規範均

有規定波紋管之最小彎曲半徑(圖 10)，不同口徑波紋管其彎曲半徑不同，常見彎曲半徑規定如表 1 所示。

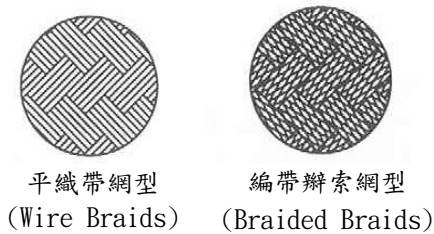


圖 8 金屬織網型式

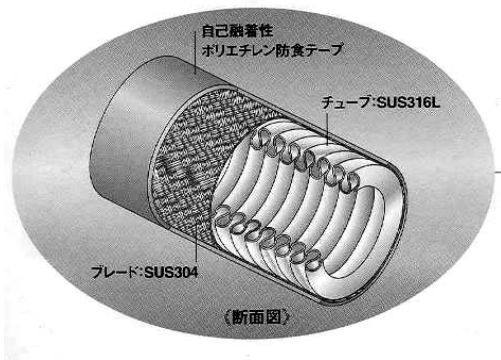


圖 9 可撓性不銹鋼波紋管斷面圖

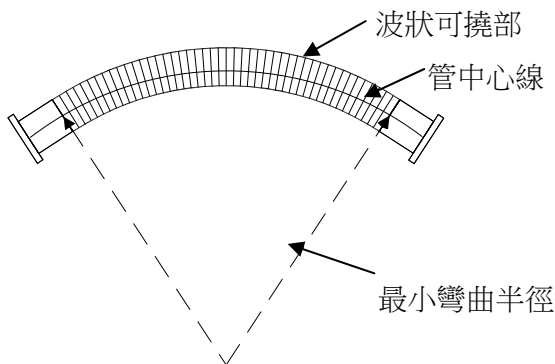


圖 10 波狀可撓部最小彎曲半徑示意圖

表 1 波狀可撓部最小彎曲半徑表

管口徑 (mm)	75	100	150	200	250	300
最小彎曲 半徑(mm)	310	400	560	750	880	1200

## 五、北水處試用實例

為確認可撓不銹鋼波紋管施工特性及讓北水處同仁瞭解此一新型管材，特辦理組裝展示及現場試辦施工，說明如下：

### (一)組裝展示

配合北水處工程總隊辦理大口徑不斷水增設蝶閥工程組裝測試，於 2009 年 2 月間於北水處簡報室旁展示大型可撓不銹鋼管組裝情形(如圖 11)，展示不銹鋼波紋管口徑為 150mm，長度為 2 公尺。經由本次展示，充分表現出大型可撓不銹鋼管施工之便利性。

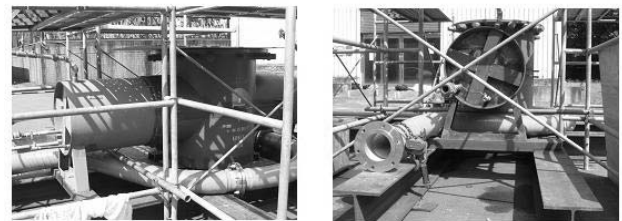


圖 11 大型可撓不銹鋼波紋管組裝測試情形

### (二)現場試辦施工

為進一步瞭解大型可撓不銹鋼波紋管於現場施工之適用性，共擇定 2 處適合地點進行試辦，試辦情形說明如下：

#### 1. 芝玉路二段管線汰換

北水處陽明分處於芝玉路二段進行小區計量 $\phi 150\text{mm}$  管線汰換，因芝玉路道路狹小，寬僅約 4M，道路上除舊有自來水管(2 支)，尚有污水、瓦斯、電信等管線，施工空間有限。



2009 年 5 月間進行新設管線與預留管線銜接施工，開挖後新舊管線位於不同管溝，高程不同，且有污水井等障礙物，如採傳統彎頭方式施工，預估施工時間約為 1.5 小時(不含開挖及回填)，經採用大型可撓不銹鋼波紋管施工，施工時間約 0.5 小時，大幅縮短施工時間，且相關轉接組件可於道路上先組裝完成，再吊入管溝施工，縮短管溝內作業時間。組裝示意圖及施工照片如圖 12、圖 13 所示。

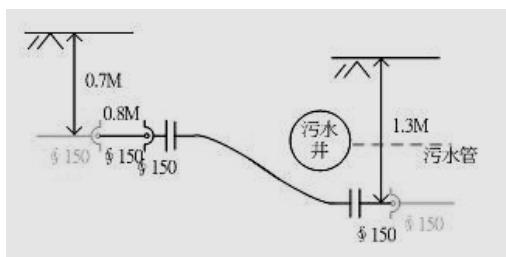


圖 12 不銹鋼波紋管組裝示意圖(芝玉路)



圖 13 不銹鋼波紋管施工照片(芝玉路)

## 2. 泉源路二井水池管線遷移

臺北市政府水利處於北投泉源路進行排水溝工程，由北水處泉源路二井蓄水池旁經過。本處二井蓄水池現有進出管線必須配合調降深度，以利水利處排水溝工程施工。二井蓄水池係作為北投一帶高地供水之蓄水池，四周管線眾多，施工空間有限，採用大型可撓不銹鋼波紋管施工為一極佳選擇。2009 年 7 月間於現場進行按裝，施工時間僅約 40 分鐘，預估較傳統 DIP 彎頭施工

方式節省一半以上時間，組裝示意圖及施工照片如圖 14 及圖 15 所示。

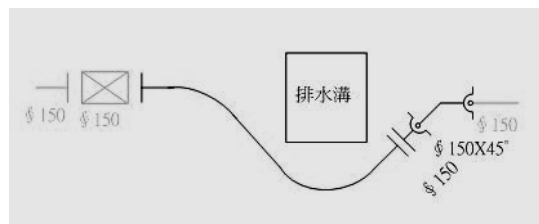


圖 14 不銹鋼波紋管組裝示意圖(泉源路)

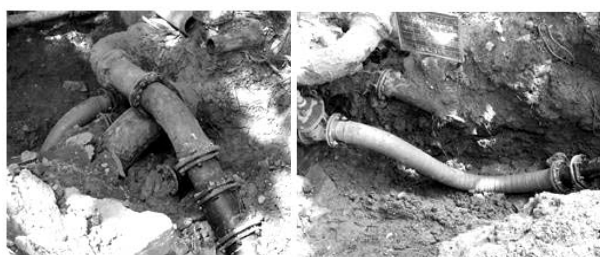


圖 15 不銹鋼波紋管施工照片(泉源路)

## 六、效益評估及施工注意事項

### (一) 試用效益評估

1. 提昇施工效率：經由現場實作，施工時間較傳統 DIP 另件施工至少可縮短一半以上。目前臺北市政府嚴格管制道路挖掘施工時間，承商施工時間較以往縮短，採用大型可撓不銹鋼波紋管可提升施工效率，避免超過規定時間而受罰。
2. 施工方法簡易：不須經由特殊訓練也不需準備特殊施工機具，傳統自來水管施工從業人員，即可輕易完成按裝作業。
3. 適合各種作業空間：傳統施工方式，承商必須準備各種角度彎頭、套筒等零件，以便應付各種障礙物及穿越有限施工空間，因傳統管材角度固定，有時無法符合現場各種空間狀況，大型可撓不銹鋼波紋管角度可無段式調整，適合各種作業空間。
4. 簡化材料管理：採用大型可撓不銹鋼波紋

管可取代傳統彎頭，簡化材料之使用及管理。

- 5.降低漏水機率：以往施工為穿越障礙物及調整高程，經常使用許多彎頭及另件，這些增加的接頭，即增加未來漏水機率。以泉源路二井蓄水池試辦案例為例，如採傳統 DIP 方式施工，管件接合方式如圖 16 所示，接頭數量高達 10 處，而採不銹鋼波紋管接頭數僅 4 處(圖 14)，大幅減少接頭數及漏水機率。

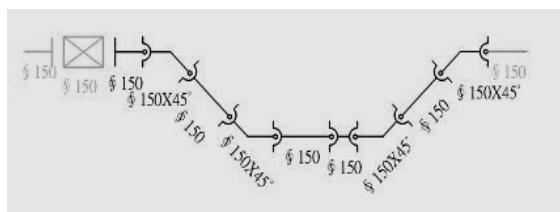


圖 16 傳統 DIP 另件接合方式

- 6.增加耐震能力：傳統接頭耐震能力不佳，易因地震或車輛震動造成管線漏水，大型可撓不銹鋼波紋管因管體本身具有可撓及伸縮性，為極佳之耐震管材，佈設於管線中，可提高管線整體耐震能力，避免接頭鬆脫及漏水。
- 7.多種接頭形式，適合各種現場狀況：接頭形式可依現場需求選擇，包括法蘭型、K 型、直管等，亦可依需求訂製，無需額外轉接頭，增加施工便利性。

## (二)施工注意事項

大型可撓不銹鋼波紋管最常用之接頭型式為法蘭接頭，且一般多為活動型，以利現場各種角度法蘭接頭銜接，接頭施工依平口接頭施工步驟辦理。其他施工應注意事項包括：

- 1.於倉庫儲藏、裝卸及搬送時，應避免於上

方堆置重物。管材吊掛時應以塑膠製、布製或其他非金屬吊繩繫於法蘭端，避免吊掛於波狀部位。

- 2.配管按裝前不得隨意彎曲，按裝時中心線最小彎曲半徑不得超過表 1 規定，並依現場障礙物狀況妥適規劃彎曲方向及距離。
- 3.現場按裝時應注意避免與銳利構造物接觸，並注意勿按裝於承受外在衝擊力之地點。
- 4.不銹鋼波紋管施工回填與一般自來水管相同，應先以砂質土壤回填，再依規定回填 CLSM 或級配粒料。砂質土壤不得含有礫石或異物，以免損傷防水防蝕保護層。
- 5.外層防水保護層如局部損傷，應以相同防水膠帶修補後再進行按裝。

## 七、結論與建議

### (一)結論

本處管網汰換、臨遷管線及新舊管銜接時，常因施工空間有限、銜接距離太短，且制式管件長度角度固定，施工時為調整高程及角度，常需耗費大量工時，亦常因接頭施工不良，造成通水後發生滲漏情形。傳統施工方式開挖面積大、施工時間長，對用戶生活影響亦大，在民意高漲趨勢下，如何縮短工時、安全、快速完成工程，是本處責無旁貸之責。

由本處試辦使用經驗可知，大型可撓不銹鋼波紋管可克服施工空間侷限問題，提升施工效率，管線施工時間至少可縮短一半以上，且因為減少接頭數量，大幅降低漏水機率；大型可撓不銹鋼波紋管具有可撓及伸縮性，為極佳之耐震管材，佈設於管線中，可提高管線整體耐震能力，避免接頭鬆脫及漏

水，提升管線之安全性。大型可撓不銹鋼波紋管材料單價目前仍高於傳統鑄鐵管另件，惟此種管材國內已具有製造能力，經由大量使用及市場競爭機制，大型可撓不銹鋼波紋管單價應可降低，值得後續積極推廣採用。

## (二)建議

- 1.大型可撓不銹鋼波紋管具有多種接頭型式，考量國內自來水管材型式，建議採用活動型法蘭型接頭，以銜接現有鑄鐵管。因相同壓力等級之法蘭接頭型式固定，不論進口或國內生產均可與本處現有鑄鐵管法蘭接頭管件銜接，且法蘭接頭施工容易，銜接後接頭固定，耐震力佳，不易漏水。法蘭接頭採活動型，可依現場條件調整法蘭螺絲孔角度，方便施工。
- 2.大型可撓不銹鋼波紋管建議採用於以下時機：
  - 配合衛生下水道施工遷移自來水管線，取代傳統採 90 度彎頭(π字型)施工方式。
  - 自來水管線連絡工程施工，高程落差或水平位移較大時。
  - 配合市府政策將消防栓移至人行道，自來水管線需由側溝底下穿越且空間有限時。
  - 自來水管線施工遇障礙物阻隔，施工空間有限，經工地工程司同意後使用。

## 參考文獻

- 1.臺北自來水事業處，「大型可撓不銹鋼管試辦分析報告」，2009。
- 2.臺北自來水事業處網站，程式漏水防治專欄。

## 作者簡介

### 許敏能先生

現職：臺北自來水事業處供水科防漏股股長

專長：漏水檢測、小區計量、管網分析

### 黃裕泰先生

現職：臺北自來水事業處南區營業分處副工程司

專長：自來水管材、工法研發、預算單價

# 從日本自來水設施節能對策實務探討臺北地區經驗與發展

文/鄭錦澤、林哲生

## 一、前言

自工業革命開始，世界經濟驟然起飛，百年來的發展使得人類物質生活大幅提昇，但產生的溫室氣體所造成全球暖化及氣候變遷的效應卻日益明顯。根據資料，全球平均表面溫度在過去百餘年來約上升  $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ，近 50 年的暖化速度是過去百年來的兩倍，且極端溫度出現頻繁。IPCC 聯合國跨政府氣候變遷小組) 2007 年提出史無前例的確定結論：「過去半世紀的暖化極可能是人為溫室效應造成。」，世界各國前在巴西里約通過的「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)，在 1994 年正式生效，目前已有約 190 個締約國同意「將大氣中溫室氣體的濃度穩定在防止氣候系統受到人為危險干擾的水平上」。

面對地球逐漸暖化及氣候異常變遷，勢將影響環境及水資源，進而造成自來水事業的極大威脅，98 年 11 月 20 日總統聽取「節能減碳專案報告－我國推動節能減碳政策措施與發展遠景」簡報會議指示：行政院應強化現有跨部會專案小組整合功能，規劃我國「節能減碳總計畫」，訂定國家總目標，並定期提出檢討報告，發表節能減碳白皮書。各部會依國家總目標訂定業管部門之分年目標、期程、分工及執行與宣導溝通計畫，藉由各部門分年目標的實踐，累積達成我國溫室氣體減量目標。配合行政院節能減碳十大宣言，以環保署公布二氧化碳換算標準為基礎，在各主要自來水事業體積極因應

之際，建立環境管理系統，逐步提升節能減碳之環保意識，落實員工環保生活，達到善盡社會責任、珍愛地球的永續使命。

日本的自來水事業亦具有能源消耗的產業性質，消耗該國約 0.9% 的電力。這使得自來水事業等業者，被要求擔負保護環境的社會責任，因此自來水事業的願景，將強化環境保護與能源對策作為主要施行策略方針。尤其是在機械與電力設備方面導入節能對策、以及新能源的措施，對於自來水事業的能源對策而言，佔有極大的比重。基於以上背景日本自來水協會「機械、電氣(力)、儀控設備專業委員會」針對相關議題進行探討，希望為能對環境保護有所貢獻，依據節能與新能源活用案例，整理出能源對策的概念與注意要點等，以利自來水事業實施能源對策時，有合宜且必要的資料。歷經約兩年的具體作業後，於 2009 完成《自來水設施節能對策實務》。除了彙編自來水事業實施能源對策時所需的能源對策相關法律體系、能源對策基本須考量觀念方法、能源診斷等必要事項之外，同時整理出自來水事業的能源對策推動狀況調查結果。甚至記載了自來水事業的各種相關實施案例，列舉出該案例之目的、推動方法、檢討事項、設備概要、效果、專業知識等，期待能有效應用於推動今後的能源對策。

筆者前曾參與自來水設施節能對策實務編譯與審查工作，本文亦希望進一步能從旁協助，藉由衍引日本相關之經驗，整理臺北地區相關節能對策實務經驗，並就相關發

展進行探討，為減少環境負擔，珍惜自然資源共襄盛舉，並供相關從業人員及有興趣人士知識管理運用參考。

## 二、自來水環境與節能策略願景

隨著全球暖化問題日益嚴峻及傳統能源加速耗竭，世界主要國家莫不將「節能減碳」納為施政新思維，進行能源戰略佈局、施行綠色新政、發展綠能產業，以營造永續之低碳社會與發展低碳經濟。行政院奉總統指示，成立「行政院節能減碳推動會」，以綜整目前各級機關相關節能減碳計畫，結合相關部會規劃我國「國家節能減碳總計畫」，訂定國家節能減碳總目標，加速落實各部門節能減碳策略措施並實踐分年目標，藉由政策全面引導低碳經濟發展，並形塑節能減碳社會。

「行政院節能減碳推動會」為行政部門推動「國家節能減碳總計畫」的最高指導單位。由經濟部擔任秘書處統籌規劃。推動會依任務規劃設有「低碳能源系統」、「綠色運輸推廣」、「綠色景觀與綠建築」、「低碳社區與社會」、「低碳公共工程」、「節能減碳科技」、「低碳產業結構」、「節能減碳教育」、「宣導與溝通」及「方案與指標管理」等 10 個工作組未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20% 以上；並藉由技術突破及配套措施，2025 年下降 50% 以上。全國二氧化碳排放減量，於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量。

北水處除了維持優良用水品質外，亦注意相關環境永續維護與經營之課題，自民國 86 年邀請經濟部節能小組協助，檢視診斷北

水處相關設施及營運措施提供建議外，並爭取經費辦理自來水節能減碳研討會。近年來亦積極落實節能減碳政策，以 96 年為環境元年成立環保及節能推動委員會，其下分設四個小組：營運環保小組、工程小組、庶務小組及節約用水小組。結合國際規範與環境管理實務經驗，建置環境管理系統 (EMS)，從「降低耗能綠化環境」、「提升水資源利用效能」、「降低事業活動對環境影響」3 個面向著手推動環保節能。一方面宣示戮力企業環保的決心，更期望喚起全民珍惜地球之心，藉由習慣與觀念的改變，共同打造一個清新美麗的家園。

## 三、節能對策之推動方法

推動節能對策時，必須確立組織化的節能管理體制，讓所有人員皆秉持著節能意識，透過全員參與的方式進行推動相當重要。檢討具體對策時，必須從掌握目前使用能源的「使用時機」、「使用地點」、「使用量」等狀況開始進行。實施節能對策時之要點：  
1. 備與工程的能源使用量等現狀，並將其可視化，藉以釐清改善重點。  
2. 掌握需進行改善的設備與工程後，首先必須從能夠立即實施的對策開始進行，例如重新檢討運用方式與強化管理等。如有無法依此方式解決的問題，則檢討成本效益等，就具有成本效益的部分實施改良或更新等的整建設施措施。  
3. 設備實施對策後，仍可透過定期測定與記錄資料的方式，及早掌握機器效率下降等情況，並可藉由適當的整備維護管理作業，將運轉效率維持在良好狀態，進而降低耗電量。以下將分別從：設施整備、設施管理維護、職場文化、環境管理與知識管理系統(軟

體面)等層面,簡略說明推動節能對策時考量的觀念方法。

### (一)設施整備探討

設施整備主要進行下列幾項探討:(1)建設新設施時,除了必須儘量利用地形起伏等的高低落差,檢討最有效率的設施配置方式外,還需考慮有效活用新能源。因自來水供水範圍擴大,而需與其他業者共用設施時,必須充分檢討各業者的實際需要水量、配水類型以及各設施的能力等,找出整體運用型態,建構具備最佳能源消耗效率的高效率系統。(2)更新設施時,必須詳細檢討更新後的運用狀況,考慮導入高效率機器等的節能對策,最好還能尋找導入新能源對策的可行性探討,並希望儘可能地加以採用。(3)改良既有設備時,可能會出現一些情況,像是需要水量較當初興建設施時少,或原本的運用方法已變更的場合等。此時須重新檢討抽水機容量、設置變頻器等機器規格以及變更系統等,一併檢討包含有效活用其他設備的閒置效能與採用高效率機器等。(4)關於節能對策,摘錄具體規定各主要工程在各項設備、系統、技術上的具體內容,並認定依此內容實施的節能對策為有效對策。如下表所示。(5)關於導入新能源的部分,除了須有效活用設施內的空間之外,還需檢討如何充分活用目前被忽視的能源,例如:配合過濾池等處的加蓋作業設置太陽能發電設備、或是在流入配水池的管線上加裝小型水力發電設備,有效活用閒置能源等。

導入新能源時,成本效益往往不符合經濟效益,然而由公益性服務的提供者必須率先履行社會責任(Corporate Social

Responsibility 簡稱 CSR)的觀點來看,亦須考慮到對民眾的宣導效果。

### (二)設施管理維護

設施管理維護主要進行下列幾項探討:(1)管理體制:能源不僅被使用於取水場(廠)與淨配水場(廠),也被用於包含公家建築等辦公大樓在內的所有領域中。若所有人皆沒有節能意識時,即使每個人僅使用些微能源,也會積少成多,消耗大量能源。因此必須在整體組織中,確立起有效的節能管理體制,除了選出主導活動的中心節能管理者(負責人)之外,還須設置由各單位代表組成的推動委員會(推動小組),透過全員參加的方式,推動改革員工節能意識等活動相當重要。(2)維護體制:詳細測定與記錄相關資料,持續掌握各項設備與工程的電力使用量與變動情況等。藉由掌握能源使用狀況的方式,可儘早發現機器效率降低與運用範圍偏移等狀況,進而施予適當的維護管理與重新檢討運用方式,降低能源耗用量。

### (三)職場文化

自來水事業係利用水這種資源循環進行營運,所有從業人員不僅須瞭解為水循環系統的構成要素之一,以及維護地球環境對於建構健全的水資源循環系統非常重要,並致力推動節能對策,還需培養出每個人都能珍惜能源的職場文化相當重要。

### (四)環境管理系統

以讓自來水事業自發性推動節能對策為目的,設定環境方針與目標等,設法積極達成該目標的組織體制以及計畫/執行/評估/改善(PDCA 循環)的架構,稱為「環境管理系統」,且具有 ISO14001 的國際規

格。ISO14001 並未制定具體的目標值與水準，僅制定環境管理系統的建構方式與管理手法等。其基本構造沿用 PDCA 循環的形式，要求持續改善環境管理。依據 ISO14001 完成系統建構時，必須接受認證機構的審查並取得其認證，方能有效運用系統，亦才會獲得社會的認可。此外，還有一種名為「環境會計」的方式係儘可能定量評估節能對策與防止地球暖化對策的相關成本、以及實施活動所獲得的效果。至於環境報告書，則能透過公對環保的推動措施與環境會計成果，對利害關係人同時宣傳推動節能對策等的努力，以及具體因應方式等的總體環境資訊。

#### (五)知識管理系統

知識管理系統主要目的，為鼓勵使用者透過知識分享，持續進行知識回饋、創造及再利用。北水處建置該系統具備新知、策略、專案、SOP、學習、創意六大平台。透過激勵、引導機制讓單位同仁主動分享顯性、隱性知識；同時，讓需要資訊的同仁即時取得，讓企業獲得持續創新的競爭力。同時增加總各種統計數據，以了解當下知識管理系統各平台活絡程度。並提供使用者針對其需求找到合適的專家加以詢問或進行意見交流。以及加強引導式操作設計，提供使用者可先依照業務需求快捷的找到需要資訊。節能對策之推動有賴各領域不同經驗之交流與累積，所以建立及運用知識管理系統至為重要，透過此系統可快速累積有效對策，去蕪存菁，讓節能成效快速呈現。

#### 四、節能對策之概要與案例

在自來水設施節能對策藉由介紹日本

方面相關採取的措施，同時整理北水處近年來在節能減碳議題上實際執行的實務經驗，以供相關人員知識管理參考運用。

#### (一)日本節能對策調查探討

日本由全國的自來水事業中抽選出其中 277 家，針對自來水設備導入節能對策與新能源之實施狀況，進行問卷調查，並取得 219 家自來水事業的回函(回覆率:約 79%)。在這 219 家自來水事業中，有 190 家(約 81%)已實施節能對策，另有 52 家(約 24%)已導入新能源，問卷內容概述如下：

##### 1.調查內容

##### (1)對象事業

以符合以下項目的自來水事業作為調查對象。(277 家自來水事業)

- 直轄市省縣市政府或鄉鎮公所轄屬都市的自來水事業。
- 擁有每日處理能力超過 10,000m<sup>3</sup>之淨水場(廠)的自來水事業。
- 已具有實施節能對策與導入新能源等成績的自來水事業。(根據自來水事業環境對策入門(2004 年(平成 16 年)3 月日本自來水協會)等資料)。

##### (2)節能對策之分類及調查

針對節能對策部分予以分類，其後依問卷調查結果，彙整各節能對策的實施狀況如表 1，表格中標註各項實施對策的自來水事業數量、設施數量、主要目的、主要效果以及補助金活用數量等。同時針對實施各項節能對策的自來水事業數量，繪製統計圖如圖 1 所示。

##### 2.調查結果

(1)關於節能對策部分，在回覆問卷的 219 家

自來水事業中，有 190 家已實施，實施率為 87%。

- (2)各節能項目的對策狀況中，以回覆「有效率的能源管理」為最多，之後依序為「抽水機的轉速控制」、「有效率的水資源運用方式」、「有效率的水處理控制／方式」。
- (3)主要目的依序為「節省成本」與「環境保護」。
- (4)主要效果與目的相同，依序為「節省成本」與「環境保護」。
- (5)補助金部分，活用於導入精密處理設備作為「有效率的水處理控制／方式」以及活用於導入變頻器等作為「抽水機轉速控制」等項目上。

### 3.各類自來水事業規模之實施概況分析

為瞭解自來水事業規模與節能對策實施間的關係，依計畫供水人口數將各自來水事業進行分類，如表 2，其後統計各類自來水事業規模的節能對策實施情形，結果如表

3 與圖 2 所示。而各類自來水事業規模與各節能項目之實施對策的自來水事業數量，如表 4 所示。從統計結果可得知，在節能對策方面，大多數自來水事業不論規模大小，皆已實施節能對策，尤其規模越大的業者，實施率越高，從以上的分析可見，節能對策的推行，對自來水事業永續經營的重要性。

### 4.注意事項

日本針對自來水事業實施節能對策時面臨的困難點，以及對今後推動節能對策的自來水事業提出之建議等的主要內容，如表 5 所示，由此表中可看出各項節能對策在實施時，也會產生一些負面或不利的結果，例如對設施耐震性能提升的排擠、較少運轉抽水機絕緣劣化問題，以及淤泥曬乾場冬季曬乾效率降低問題等，以上諸多情形都是各事業單位在推行節能對策前須加以考量的，否則恐將大幅降低推行成效。

表 1 節能對策實施狀況一覽表

項目	實施對策的事業數量	設施數量	主要目的	主要效果	補助金活用數量
抽水機的轉速控制	131	255	節省成本	節省成本	5
抽水機容量適當化	65	91	節省成本	節省成本	0
可動翼輪抽水機	6	7	環保 節省成本	環保 節省成本	0
高效率機器	65	148	節省成本	節省成本	0
儲存電力	5	5	環保 節省成本	環保 節省成本	0
有效率的能源管理	140	430	節省成本	節省成本	1
有效率的水資源運用方式	94	168	節省成本	節省成本	0
有效率的水處理控制／方式	91	230	節省成本	節省成本	8
建築物附屬設備	70	166	節省成本	節省成本	1
其他（取得 ISO14001 等）	9	14	環保	環保	0
合計	190	1,514	節省成本	節省成本	15

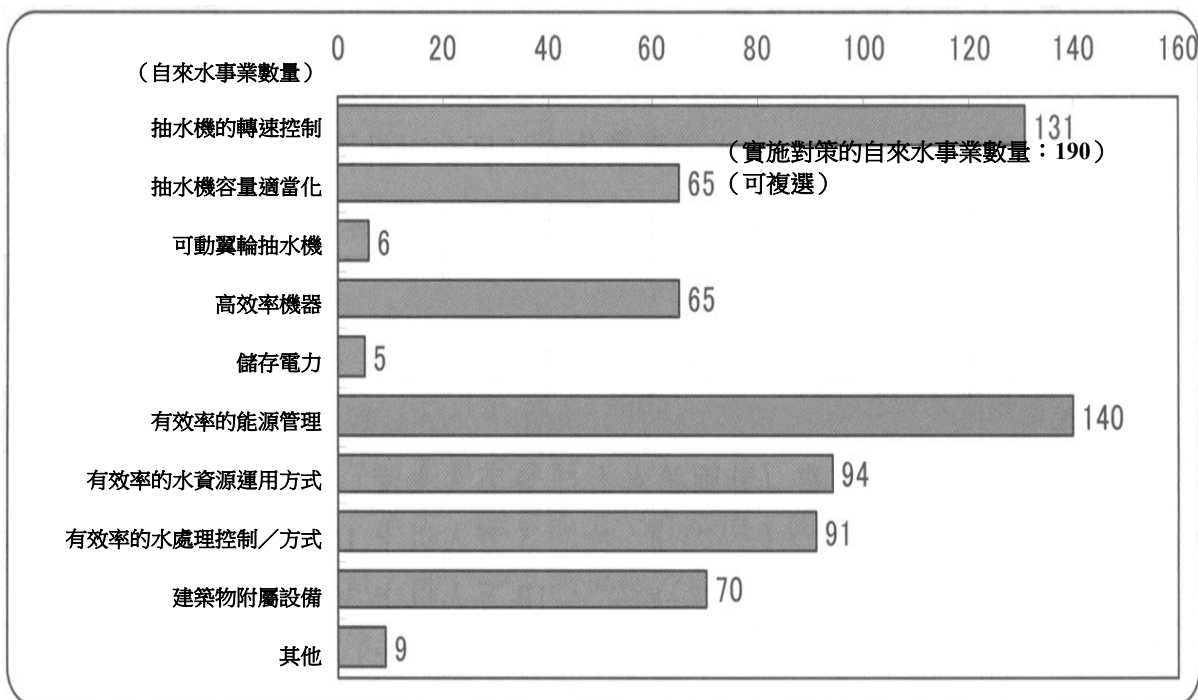


圖 1 節能實施對策與自來水事業數量統計圖

表 2 自來水事業規模分類

5	摘要
I	上水道事業 (計畫供水人口 5 萬人以下)
II	上水道事業 (計畫供水人口 5 萬人以上 10 萬人以下)
III	上水道事業 (計畫供水人口 10 萬人以上 30 萬人以下)
IV	上水道事業 (計畫供水人口 30 萬人以上)
V	自來水供應事業

表 3 自來水事業規模之節能對策一覽表

自來水事業規模類別	I	II	III	IV	V	(整體)
調查的自來水事業數量(a)	45	60	67	64	41	277
回覆的自來水事業數量(b)	25	49	52	58	35	219
實施對策的自來水事業數量(c)	17	37	49	57	30	190
對策實施率(c/b)	68%	76%	94%	98%	86%	87%

表 4 事業規模與節能項目之實施數量一覽表

各種自來水事業規模區分		I	II	III	IV	V	(整體)
實施對策的自來水事業數量		17	37	49	57	30	190
(節能項目)	抽水機的轉速控制	11	18	38	45	19	131
	抽水機容量適當化	3	7	21	26	8	65
	可動翼輪抽水機	1	0	0	3	2	6
	高效率機器	3	10	11	29	12	65
	儲存電力	0	0	0	5	0	5
	有效率的能源管理	8	25	38	46	23	140
	有效率的水資源運用方式	3	14	25	38	14	94
	有效率的水處理控制／方式	9	15	17	32	18	91
	建築物附屬設備	1	8	17	25	19	70
	其他(取得 ISO 等)	0	1	2	5	1	9

表 5 實施節能對策時之注意事項等

項目	注意事項等
抽水機的轉速控制	● 雖然於更新抽水機時檢討導入，卻以原本的預算執行，因此難以決定該對策與設施耐震對策的優先順序。
抽水機容量適當化	● 對該設施內的局部抽水機，以改造翼輪等方式進行適當化，卻造成未改造的抽水機幾乎不運轉，需注意較少運轉的抽水機是否有絕緣劣化的情況。
有效率的水資源運用	● 檢討設置加壓抽水機時，在檢討如何確保進水(吸入)壓力時面臨困難。
有效率的水處理控制／方式	● 對於如何避免淤泥曬乾場的冬季曬乾效率降低(凍結)一事，面臨困難。
其他(取得 ISO 等)	● 申請 ISO14001 認證時，必須耗費大量時間與勞力於製作相關文件等作業上。
整體	● 於更新設施時併實施環境對策，但降低二氧化碳排放量對策的成本效益很低。 ● 檢查驗證節能效果時，必須對條件的設定方式、以及預估導入後的運用狀況(運轉時間、運轉台數、水量等)進行充分檢討。若檢討內容不確實，甚至可能出現無法獲得預估節能效果的情況，尤其對於申請國庫補助金等作業，更須特別注意。

表 6 今後預定實施之事業等一覽表

項目	內容	自來水事業數量
高效率機器	● 抽水機、受變電設備、電動機、不斷電裝置等	10
建築物附屬設備	● 照明設備、空調設備、牆面綠化等	6
抽水機轉速控制	● 變頻器等	4
抽水機容量適當化	● 翼輪改造、抽水機更新時將容量適當化	3
儲存電力	● NaS 電池等	2
有效率的水處理控制 ／方式	● 排水處理設施效率化	2
有效率的能源管理	● 導入需求量控制系統	1

### 5. 今後推動之內容

日本亦針對各自來水事業於 2012 年(平成 24 年)為止導入或正在檢討的對策，製作一覽表，如表 6 所示，可以看出提升抽水機、受變電設備等硬體機械設備的效率(包含轉速控制等)，以及改善建築物附屬設備耗能情形(照明設備、空調設備、牆面綠化等)，是各自來水事業單位規劃在未來最主要推行的節能對策。

#### (二) 北水處節能對策：

北水處近年來除持續努力提供質優量足的優質自來水之外，亦積極配合「國家節能減碳總計畫」之進程，落實推動各項節能減碳政策，並以 96 年為環境元年，成立環保及節能推動委員會，並依各項節能業務之特性，向下分設營運環保小組、工程小組、庶務小組及節約用水小組等，各小組的工作執掌，節能目標與對策，以及面臨困難與未來作為等，分別概述如下：

#### 1. 工作執掌

(1) 營運環保小組：負責降低供(淨)水耗能、降低管網漏水率、淤泥回收再利用等節能對策之推行，前述工作為北水處節能減碳

計畫之核心業務，此小組推行之成果，決定了整個計畫之成效。另外，除了在節能減碳之外，北水處亦於本小組中，探討如何降低管線工程與加壓站所生噪音對民眾之干擾。

(2) 工程小組：負責探討、使用不同工法、管材與建物節能設計等，來達到節能減碳的目的。

(3) 庶務小組：負責用水、用電、用紙、用油等庶務性耗品的降低工作。

(4) 節約用水小組：負責一般民眾家戶用水節約的宣導工作。

#### 2. 節能目標與對策

北水處配合行政院整體環境政策，訂定明確且量化的節能目標，並透過定期召開會議檢視與控管各項目標執行情形。而各執行單位為達到年度目標，便需不斷地構思、採取各種的節能對策，以下將各主要環境節能目標與執行對策，彙整如表 7，以供參考。將北水處近年來所執行的節能對策與日本所推行者作一個對照可以發現，「抽水機的轉速控制」也就是「水壓管理(變頻器)」，不

論在北水處或是在日本，都是最重要的一個節能手法。管網漏水情形會隨著水壓提高而加劇，而過高的無效水壓亦會導致供水耗能與成本的虛擲，所以如何透過水壓管理，消弭離峰時間水壓不均化的現象，同時降低整體管網壓力，是國內外不同自來水事業在節能對策中，共同奉行的方法。而在水壓管理上，傳統上多採用「閥門開度控制」與「多台抽水機併聯操作」的方式，但是這 2 類操作方式存在有壓損過高、設備損耗、水壓突變以及水錘嚴重等不利因素，且均無法對管網壓力進行精確調控，但「變頻設備控制」的方式，因為具有無段變速功能，且能依據

管網用水需求，精確的控制輸出水壓及水量，維持管網最佳之水壓，除可降低管網漏水量外，亦因有效降低功率，減少供水耗能進而達到節能減碳的目的，同時因可避免抽水機瞬間啟動對管網造成之衝擊，可大幅延長整體管網系統的使用壽命，如表 8。在設備效率的提升方面，亦為各單位推行的重點項目，北水處近期擇定加壓場站，將傳統閥盤式閥門改為多噴孔控制閥即為一例，多噴孔控制閥除可有效降低震動、噪音之外，且可大幅減少水流通過閥體的壓力損失，如此便可有效地將管網壓力向後端延展，提昇整體設備效能。

表 7 北水處各主要環境節能目標與執行對策一覽表

環境政策	環境節能目標	小組別	主要執行對策
減少耗能&綠化環境	降低單位供(淨)水耗能	營運小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■水壓管理(變頻器)</li> <li>■精進淨水流程</li> <li>■供水調配(管網壓力最適化)</li> </ul>
	降低辦公室耗電	庶務小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■選用節能燈具</li> <li>■訂定年度目標</li> <li>■加強查核</li> </ul>
	發展及使用低碳能源，減少溫室氣體排放	營運小組 庶務小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■發展太陽能等綠色能源</li> <li>■選用酒精汽油等低碳能源</li> </ul>
	增加場站植栽提升綠敷率	庶務小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■訂定年度目標</li> <li>■加強管控</li> </ul>
	建置節能設計準則	工程小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■制訂節能設計標準</li> <li>■工程規劃納入節能作為</li> </ul>
提升水資源利用效能	改善管網降低漏水率	營運小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■管線汰換</li> <li>■小區計量</li> <li>■加強漏水檢測</li> </ul>
	每人每日及家庭用水量	節約用水小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■社區節水宣導</li> <li>■發放節水墊片</li> </ul>
降低事業活動對環境影響	淤泥回收再利用	營運小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■淤泥製磚</li> </ul>
	提升資源回收率&減少影印紙及辦公用水	庶務小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■訂定年度目標</li> <li>■加強查核</li> </ul>
	施工環保&加壓站噪音監測作業	營運小組	<ul style="list-style-type: none"> <li>■引進工程降噪設備</li> <li>■加強噪音監測</li> </ul>

在活用配水池以及適當管理水壓，也就是「有效率的水資源運用方式」方面，北水處近來也針對「區域水壓均化」進行研究，前面所述加壓站利用變頻器來消彌壓力駝峰，是針對不同供水時段（尖、離峰）水壓均化的作為，除此之外，過往在整體供水區域內常存在不同地區水壓不平均的現象，也就是加壓站在出水壓力設定時，往往為了要滿足管末用戶用水需求，而導致靠近加壓站的地區有水壓過高情形，北水處近來針對如何克服此一情形進行多方嘗試，而其中之一的的方法，就是活化配水池、管網水壓調控，並搭配局部改善工程，讓管網壓力弱點地區可以在不靠加壓站提高出水壓力下，水壓即獲得改善，如此就可減輕加壓站出水負荷，進而嘗試降低出水壓力，達到整體區域均壓的目的。

在提升水處理效能，也就是「有效率的水處理控制/方式」上，北水處持續針對各處理流程研商精進作為，近期即透過反沖洗操

作模式的改變，搭配淤泥處理廠作業流程的調整，在維持相同淨水效能情形下，有效降低淨水廠出水壓力，同時達到節能、減漏等多項目標。另外，北水處近年投注大量人、物力所執行的老舊管線汰換工程，並未納入在日本各項節能對策中，推測應與日本低漏水率有關，但就我國而言，改善漏水實至關重要，而為確保管線汰換的成效，北水處近年來透過「小區計量」作業，以量化的「售水率」為指標，對管線汰換作業進行有效的評估與管控，杜絕了以往無法評估管線汰換作業有無成效的缺失，已使整體漏水率有效下降（漏水率由 95 年 25.77%，下降到 100 年的 20.51%），汰換老舊管線應為自來水單位推動節能對策的最根本作為，唯有健全不漏水的管網，節能作為才能收長久之效，所以長遠來看，以「小區計量」為管控機制的管線汰換工程，實應納入各自來水單位所推行的節能對策之中。

表 8 常用水壓控制方法一覽表

控制方式	閘門開度控制	多台抽水機併聯操作	變頻設備控制
說明	藉由調整抽水機出水口閘開度，控制出水壓力及出水量	數台抽水機以並聯方式操作，依使用需求水壓、水量控制運轉台數	無段變速之特性，能依據管網用水需求，精確的控制輸出水壓及水量
特性	1.被視為最簡單的壓力控制方法，最廣為運用	1.抽水機加、減台時，易造成水壓或水量突升突降之情形	1.可維持管網最佳之水壓，降低漏水量
	2.管路壓損提高，閘開度動作頻繁，器材及能源耗損大	2.啟動電流大，且有水錘現象產生	2.避免抽水機瞬間啟動造成之衝擊，延長系統使用壽命
		3.當運轉於臨界值時，無法精確控制	3.具無段變速功能，可降低功率，節能減碳
投資成本	初期投資最低廉	價格居中	初期投資成本雖高，但後續可回收之效益最大

### 3.面臨的挑戰課題

- (1)經費：各項軟硬體改善措施，都需要投入經費方得以施行，在水費無法調漲情形下，如何在有限的預算內，選擇最直接有效的改善措施至為重要，所以各項對策推行之前，均應審慎評估，以免造成經費的虛擲。
- (2)政策的配合：在整體節能對策推行過程中，常常會發生因外部政策而改變專業判斷的情形，這一點以老舊管線改善最為嚴重。在管線汰換過程中，自來水事業會先經過評估，將有限的經費投入漏水較嚴重的區域進行管線汰新，但是除了評估判斷外，往往會因外在政策因素而改變執行方向，如路平專案、道路管制、甚至民意代表交辦事項等，這些都會嚴重影響節能對策的推動成效。
- (3)民意反映：在水壓管理與最適化過程中，常會碰到用戶因為水壓下降導致用水不便，而產生的投訴與抱怨，而儘管是因為用戶端用水設備維護不當所致，仍將影響水壓調配的規劃，最後甚至成為決定性的因素，另外，在執行各項改善工程時，也會碰到民眾異議甚或抗爭的情事，所以這類非系統的外在因素是各自來水單位在做水壓管理與規劃時，容易忽略卻必須面對的困難。
- (4)同仁反對：在單位內部用水、用電、用紙等日常辦公用品的節約部分，最常碰到的困難就是因為改變同仁作業習性所造成的反彈，這就有賴主事者貫徹執行的決心與溝通，並建立查核機制，方能推行。

## 五、導入新能源之概要與案例

### (一)日本新能源導入概況

上述是日本與北水處在節能對策上推行的概況，在既有能源的節約之外，開發並導入新能源亦逐漸為各自來水事業所重視，接下來介紹日本在新能源導入的概要，同時介紹北水處近年來在此議題上的推行經驗，以供相關人員參考。

#### 1.現況調查

針對新能源導入此一議題，日本併同節能對策一起做了問卷調查，依據問卷調查結果，彙整了日本目前新能源導入的狀況。而針對調查中有導入、實施各新能源項目分類的自來水事業數量，繪製如圖 2 所示，而調查結果概述如下：

- (1)在導入新能源方面，回覆問卷的 219 家自來水事業中，有 52 家已實施，實施率為 24%。
- (2)各新能源項目的導入狀況中，以導入「太陽能發電」與「小型水力發電」的事業體為最多。
- (3)主要目的的情況與節能對策不同，回覆「環境保護」的比例較「節省成本」高，回覆「事業體方針」的事業體也較多。
- (4)主要效果以「環境保護」與「公關宣傳」為最多。
- (5)補助金部分，於導入新能源時，大多已開始活用補助事業。

各種設施分類與各新能源項目分類的導入設施數間的相對應關係，如表 9 所示。此外，各種設施的導入新能源設施數量，可看出下列 2 項結果：

- (1)「小型水力發電」項目方面，大多被導入至設有管線的「導水設施」與「送／配水設施」等設施中。

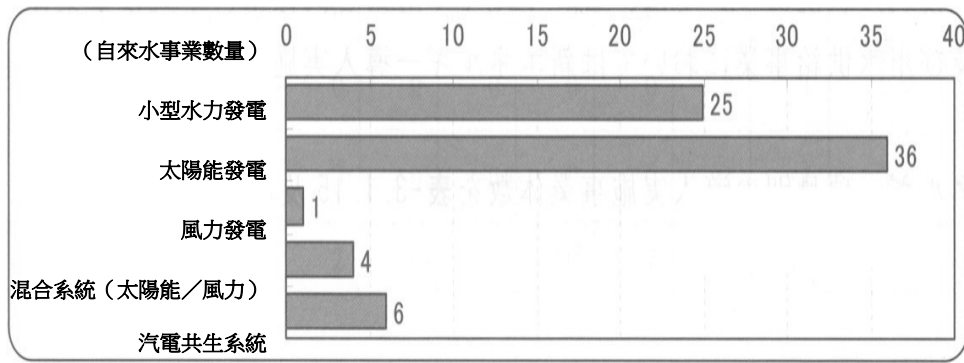


圖 2 新能源導入自來水事業數量統計圖

表 9 設施分類與新能源導入設施數量一覽表

分類	取水設施	貯水設施	導水設施	混凝沉澱池	過濾池	淨(清)水池	配水池 (淨水廠(場)內)	管理大樓	設施	排水(淤泥)處理	送水設施	配水設施	其他
小型水力發電	2	0	6	0	0	2	4	1	0	6	6	2	
太陽能發電	0	2	0	7	10	5	9	8	1	1	4	7	
風力發電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
太陽能與風力混合發電系統	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	
汽電共生系統	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	
合計	2	2	6	7	10	7	16	11	4	7	10	12	

表 10 導入新能源之目的與效果一覽表

分類	實施對策的自來水事業數量	目的				效果				
		環境保護	節省成本	事業方針	其他	環境保護	節省成本	公關宣傳	無	
調查的自來水事業數量	277	—	—	—	—	—	—	—	—	
回覆的自來水事業數量	219	—	—	—	—	—	—	—	—	
實施節能對策的自來水事業數量	52	70	25	38	4	64	31	53	0	
自來水事業規模類別	I	3	3	2	3	0	3	2	3	0
	II	2	2	1	1	0	2	1	2	0
	III	5	5	3	3	0	5	2	3	0
	IV	25	37	10	20	2	34	14	30	0
	V	17	23	9	11	2	20	12	15	0

(2)「太陽能發電」項目方面，大多被導入至設有池型結構體的「混凝沉澱池」與「過濾池」等設施中。

## 2.目的與效果

導入新能源的目的與效果，如表 10 所示。問卷調查時因目的與效果項目允許複選，會有合計值與實施對策的自來水事業數量不一致的情況。此外，有部分自來水事業實施複數對策，合計值為各對策的回覆數量合計值，因此可能會有超過實施對策的自來水事業數量的情況，此部分在探討調查結果前先予說明。

(1)導入新能源的目的部分與節能對策情況不同，回覆「環境保護」最多，超過「節省成本」的情況。此外，回覆「事業方針」的數量也較多。

(2)研判在導入新能源時，因成本效益性的因素，難以將節省成本作為目的，故改以推動環境保護的事業方針，來導入新能源。

(3)效果部分與目的情況相同，以「環境保護」最多，其次為「公關宣傳」。

## 3.面臨困難與後續作為

針對導入新能源時面臨的困難點，以及對今後導入新能源的自來水事業提出之主要建議，如表 11 所示。而在今後推動之內容方面，日本自來水事業公司預定至 2012 年（平成 24 年）為止導入或正在檢討的對策一覽表，如表 12 所示。

### (二)北水處新能源導入

北水處在發展及使用低碳能源，也就是新能源導入方面，相關業務係納入「營運小組」予以管控，而主要推行的是在淨水廠裝

設太陽能發電設施，此部分與日本實施方式相同，顯見此一方法是國內外共同施行且有效的新能源導入方式，北水處近年來透過淨水廠太陽能發電的導入，每年約可產生 200,000 度的電，成果斐然。另外，北水處也嘗試風力發電的可行性，惟因風場不佳，風速無法達到風力發電機實際運轉發電之基本需求，所以目前尚難以達到實際發電規模效能。

平心而論，不論是太陽能發電或是風力發電，若單純以投資的成本分析來看，效益並不明顯，但是就如同日本自來水事業一般，北水處在基於「環境保護與企業社會責任」以及環境教育的角度，仍將持續並積極投入相關低碳能源的推展。

## 六、結語

節能減碳是每一個地球公民都該切身關注的議題，本文衍引日本各自來水事業單位實際推動節能對策調查結果與經驗，以瞭解日本目前所採行之各項措施，並進一步整理北水處近年來相關節能減碳對策的實務作為，以 96-100 年而言減碳量為 100,000 噸，相當於 274 座大安森林公園的吸碳量；同時比較日本與北水處在節能對策推行上之異同，希望對相關從業人員及有興趣人士能有所幫助。

## 參考文獻

- 1.「自來水設施節能對策實務」，2011，中華民國自來水協會。
- 2.臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫—長程策略方針」，2006。
- 3.陳明州、吳奕均、楊境維，「小區計量工法於

管網系統漏水管理之應用」，2008。 統節約能源方案之探討」，民國87年6月（1998  
4.吳陽龍、鄭錦澤、蔡文清，「台北地區供水系 ）」台北市政府。

表 11 導入新能源時之注意事項

項目	注意事項等（困難點、建議）
小型水力發電	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 有關水力發電的水利權，必須與國土交通省等單位協商。</li> <li>● 除了電力事業法規定的電力主任技師（技術者）之外，還須選出水庫（堰壩）水路主任技師（技術者）等。</li> <li>● 以與民間企業合作的方式來導入新能源，活用民間企業的技術能力與資金，雖然不需管理設施的運轉情況與負擔費用，但在調整契約等相關事項時曾面臨困難。</li> </ul>
太陽能發電	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 必須充分檢討設施設置後的運用狀況。</li> <li>● 於既有結構體上設置設施時，必須計算結構體的強度。</li> <li>● 可能因為發電方式與規模因素，須設置高效能保護裝置，故希望能在初期階段，即與電力公司進行協商。</li> </ul>
整體	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 導入新能源時可申請多種補助金，因此最好能有效活用。</li> <li>● 新能源的成本效益性極低，且無法確定一定能通過補助單位審核，因此在確保預算等的內部調整上面臨困難。</li> <li>● 因採用通過補助審核後再執行的方式，因此工期極短，在相關工程的調整上遭遇困難。</li> <li>● 在調查各種補助金制度與決定能符合申請條件的規格上，費盡心思。</li> </ul>

表 12 今後預定實施之對策等一覽表

項目	內容	自來水事業數量
小型水力發電	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 預定導入小型水力發電、微型水力發電</li> <li>● 檢討導入小型水力發電</li> </ul>	21
太陽能發電	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 預定導入與增設太陽能發電設備</li> <li>● 檢討導入太陽能發電設備</li> </ul>	15
混合系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 導入太陽能與風力混合發電系統（向淨水廠（場）參觀者說明用的面板電源）</li> </ul>	1

### 作者簡介

#### 鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處技術科科長

專長：供水調度及管理、淨水處理、技術研發、工程

規劃與管理、圖資應用

#### 林哲生先生

現職：臺北自來水事業處技術科研發股副工程司

專長：自來水管材、工法研發、工程施工與管理

# 板新給水廠自來水碳足跡盤查及節能減碳策略研析

文/林志麟、康世芳、黃冠綸、陳淑芬、杭子樵、黃永富

## 一、前言

近年來，溫室氣體造成全球暖化及氣候變遷日益嚴重，因此減少溫室氣體排放已成為國際共同努力的目標。世界各國依照京都議定書(kyoto protocol)致力於溫室氣體減量，目標為工業化國家自 2008 到 2012 年間，使溫室氣體排放量與 1990 年相比至少削減 5%。我國行政院環保署亦於 2011 年提出「黃金十年，永續環境」政策<sup>(1)</sup>，其中綠能減碳項目之目標為 2020 年全國碳排放量回到 2005 年排放量。

為達到節能減碳目標，建立完善之能源管理系統為當前國際上各企業或組織推動減碳工作之首要任務，國際標準化組織(International Organization for Standardization, ISO)公告能源管理相關標準 ISO 14001 與 ISO 50001 已成為全球各企業或組織首要認證之目標<sup>(2,3)</sup>，其中 ISO 14001 目的為提供一套組織及社會需求之環境管理系統，以達成環境保護與污染預防之目標；ISO 50001 主要為工業廠房、商業設施或全部組織的能源管理制定框架，此標準具體說明能源管理系統的各项要求，讓企業透過政策執行，找出重大能源消耗之領域，並制訂降低能源使用之目標，以減少溫室氣體之排放量。溫室氣體計量主要以二氧化碳當量為代表，並以碳足跡(carbon footprint)計算因人為活動而釋放之溫室氣體量，是目前最常使用之碳排放指標。目前國際上主要依據 PAS 2050 及 ISO14067-1 中之規範進行產品碳足跡計算，臺灣行政院環境保護署亦參考此兩套準則，制定「產品

與服務碳足跡計算指引」<sup>(6)</sup>，並於 2010 年 2 月公告，為國內業者申請碳標籤之依據。

近年來，歐、美、日等先進國家自來水事業單位，已著手建立自來水碳足跡數據，並以碳足跡結果推行後續自來水事業能源管理政策，如日本自來水廠採用再生能源搭配機電設備改善，透過減少能源消耗達到減碳之目標<sup>(7)</sup>。自來水事業單位為國內促進經濟發展及社會繁榮之重要國營單位，因此為配合國家推動節能減碳之政策，我國自來水事業應加速建置自來水碳足跡及溫室氣體盤查之管理系統，並建立自來水廠相關之能源管理制度，以達節能減碳之目的。

有鑑於此，本研究以北臺灣大型淨水場之板新給水廠為對象，計算板新給水廠自來水碳足跡，並藉此分析碳排放熱點，從排放熱點導入能效管理精神，研析板新給水廠之節能減碳策略，並建構適合國內水廠營運之能源管理制度。

## 二、板新給水廠自來水碳足跡之盤查

本研究碳足跡計算係以 PAS 2050 商品和服務生命週期溫室氣體排放評估規範(specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services)以及臺灣行政院環境保護署 2010 年制定之產品與服務碳足跡計算指引為依據。於 PAS 2050 中產品碳足跡評估流程分為建立製程地圖、檢視邊界及優先順序、數據收集、計算碳足跡及確認不確定性等五個步驟，如圖 1 所示，本研究依此步驟計算板新給水廠之自來水碳足跡。

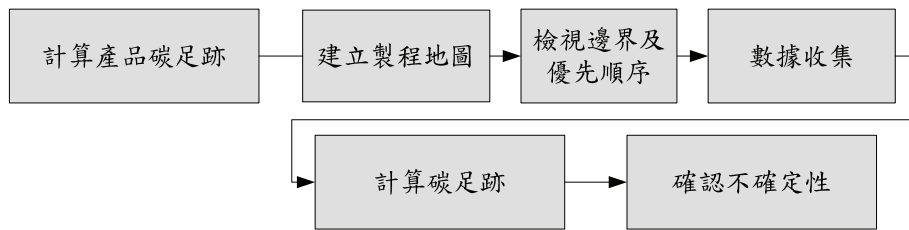


圖 1 產品碳足跡評估流程

### (一)板新給水廠簡介

板新給水廠成立於民國六十五年五月，隸屬於臺灣自來水公司十二區管理處，於民國七十一年及八十五年完成第二期及第三期擴建工程，其中第二期亦屬於傳統式處理設備，第三期則為快速凝集沉澱設備。板新給水廠原水大部分取自石門水庫放流於大漢溪之原水，再由三峽區鳶山地區設攔河堰取水，採重力引水方式送至板新給水廠，另不足之原水則由三峽河置抽水站取水補充及由購買臺北自來水事業處直潭淨水場清水支應，取得原水經快混、膠羽、沉澱及快濾池等淨水單元，產出之清水供應轄區內包括新北市之板橋區、新莊區、蘆洲區、五股區、泰山區、八里區、樹林區、土城區、三峽區、鶯歌區等十區及中和、三重部分地區。

### (二)板新給水廠自來水碳足跡盤查

本研究計算板新給水廠碳足跡以每噸水為功能單位，評估結果以每噸售水及配水所產生之二氧化碳當量表示。首先，碳足跡計算須先繪製板新給水廠自來水製程地圖，其自來水製程中碳盤查項目均羅列於圖 2。依據 PAS 2050 及產品與服務碳足跡計算指引，自來水碳足跡屬於企業對企業 (business to business, B2B) 之評估範疇，因此

界定本研究之系統邊界為水源從取水口以下至用戶端前(轄區服務所加壓站)，如圖 3 所示，涵蓋取水階段、淨水(含廢水處理)階段以及輸配水階段，這些過程中的原物料投入、能源使用、廢棄物處置以及製程外溫室氣體排放所造成之碳排放均納入計算，另依據 PAS 2050 指引，基礎土木建設部分不需納入碳足跡計算範疇。

本研究依據系統邊界及製程地圖確認盤查項目，蒐集各盤查項目自民國 100 年 1 月 1 日至 12 月 31 日之活動數據，並將數據彙整為每噸售水使用量，輸入生命週期評估軟體計算出各項目之碳排放量。生命週期評估軟體為工研院自行開發之 DoITPro，相關係數引用自本土環境資料庫 data-2012，內容涵蓋水泥、橡膠、半導體、石化上游、塑膠單體、化學原料、金屬、鋁、電力、燃料、道路運輸和給水等資料庫。使用者僅需勾選物料名稱或組成，並設定預算層數，即可算出該物料之環境負荷<sup>(8)</sup>。DoITPro 軟體的計算邏輯為將某個專案之盤查結果，透過彼此間的關係層層交互串連，直至銜接到基本流為止，以將其中任一盤查結果整理歸納為基本流，即生命週期盤查(life cycle inventory, LCI)之結果。之後再將 LCI 之結果引用 Eco-indicator 95 之邏輯與分類方法；考慮具溫室氣體潛勢的物質；並搭配跨政府氣候變

化委員會(intergovernmental panel on climate change, IPCC)2007 年 AR4 氣候變遷評估報告所建議之 100 年的全球暖化潛勢(global warming potential, GWP)，進行歸納、整理，

換算成碳足跡數據。Eco-indicator 95 對於造成生態系統及人體健康之環境影響所使用之權重方法(weighting method)採用歐洲規模(European scale)，其架構如圖 4。

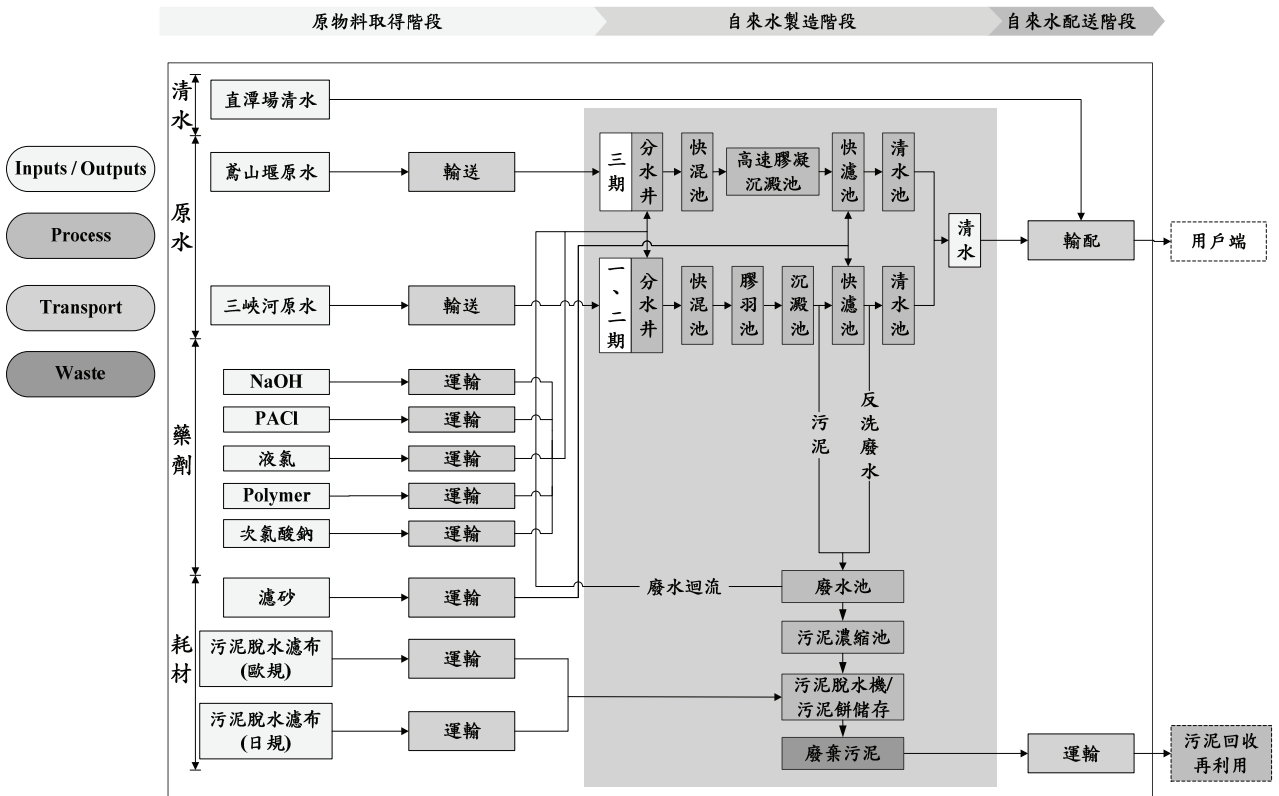


圖 2 板新給水廠自來水製程地圖

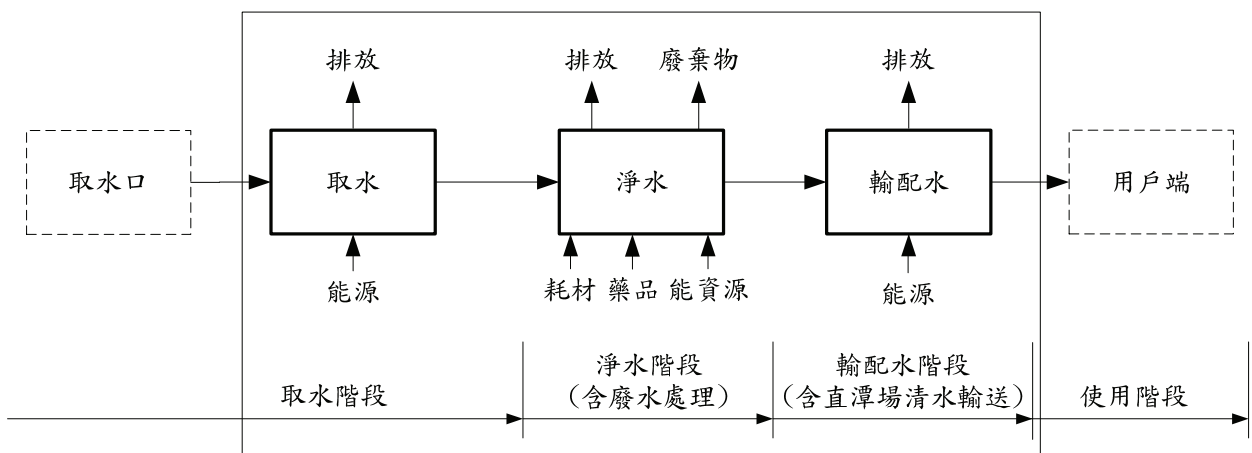


圖 3 板新給水廠自來水碳足跡系統邊界

### (三)板新給水廠碳足跡計算

#### 1.取水階段碳排放量

調查取水階段造成之碳排放，包含三峽河抽水站、鳶山堰抽水所使用之馬達用電造成間接碳排放，取水階段碳排放為 3.21E-02 kg CO<sub>2e</sub>/噸。板新給水廠機電股提供之 100 年取水階段用電量為 9,388,300 度，100 年板新給水廠售水量為 228,491,192 噸，計算得每噸售水抽水站用電量為 0.041 度，輸入 DoITPro 計算得碳排放量。

#### 2.淨水(含廢水處理)階段碳排放量

淨水(含廢水處理)階段之碳排放量，係針對碳排放源包含藥劑、耗材投入、能源使用、廢棄物處置以及製程外溫室氣體排放進行活動數據調查，調查得數據換算為每噸售水用量後，輸入 DoITPro 進行碳排放計算。各項碳排放源佔比如圖 5 所示，淨水(含廢水處理)階段碳排放為 1.96E-02 kg CO<sub>2e</sub>/噸，其中，64%的碳排放源自於能源，35%的碳排放源自藥劑使用。

#### 3.輸配水階段碳排放量

輸配階段之碳排放源主要為自北水處外購清水之碳排放(含公館淨水場淨水階段碳排放及直潭淨水場清水經五處接水點輸送之用電間接碳排放)、廠內加壓配水泵浦及廠外加壓配水站加壓馬達用電，蒐集以上項目活動數據，代入碳排放係數，分配到每噸自來水，求得輸配水階段碳排放為 3.07E-01 kgCO<sub>2e</sub>/噸。廠內加壓馬達用電活動數據蒐集，係調查板新廠內用電量，再根據廠內製程用電結構比例推估計算。

#### 4.板新給水廠碳足跡

板新給水廠自來水生命週期階段碳足跡評估計算結果彙整如表 1。板新給水廠自來水碳足跡計算結果如表 2 所示，自來水生命週期之碳排放總量以售水量及配水量表示分別為 0.36 kgCO<sub>2e</sub>/噸及 0.32 kgCO<sub>2e</sub>/噸；取水、淨水(含廢水處理)以及輸配水各階段之碳排放量分別為 3.21E-02 kgCO<sub>2e</sub>/噸、1.96E-02 kgCO<sub>2e</sub>/噸、3.07E-01 kgCO<sub>2e</sub>/噸，自來水生命週期各階段碳排放量比如圖 6。

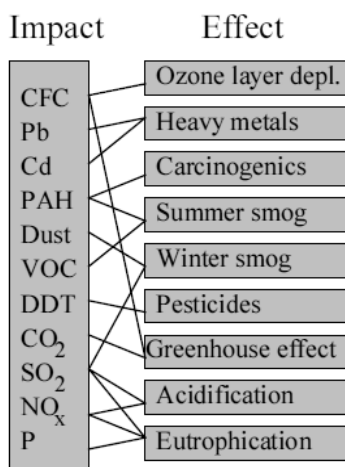


圖 4 Eco-indicator 95 權重方法架構圖(局部)

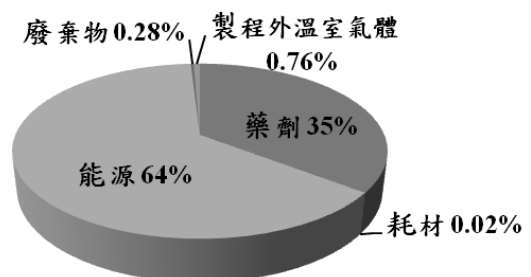


圖 5 淨水(含廢水處理)階段各項碳排放源佔比

表 1 板新給水廠自來水生命週期階段碳足跡評估計算表

一、取水階段			
原水輸送	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
原水輸送用電	4.11E-02	度	3.21E-02
取水階段碳排放量			3.21E-02
二、淨水階段			
藥劑及耗材使用種類	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
液氯	3.47E-03	kg	3.67E-03
氫氧化鈉45%	3.84E-04	kg	3.62E-04
淨水用混凝劑	3.99E-02	kg	2.56E-03
污泥脫水機濾布	4.81E-07	kg	2.56E-06
濾砂	1.68E-05	kg	7.99E-07
藥劑及耗材運輸	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
液氯運輸	3.24E-05	km	1.92E-05
氫氧化鈉運輸	2.28E-06	km	1.40E-06
聚氯化鋁運輸	5.42E-04	km	3.32E-04
濾布運輸	4.53E-06	ton-km	3.11E-08
濾砂運輸	2.84E-05	ton-km	1.95E-07
能源使用	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
淨水及廢水處理用電	1.58E-02	度	1.25E-02
廢棄物運輸及處置	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
污泥清運	3.49E-04	ton-km	5.45E-05
生活垃圾清運	8.89E-06	ton-km	1.39E-06
生活垃圾焚化	6.26E-07	MJ	1.34E-07
製程外溫室氣體排放	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
化糞池逸散甲烷當量	-	-	2.86E-05
空調逸散冷媒當量	3.17E-03	mg	5.74E-06
公務車用柴油	3.16E-05	MJ	3.11E-06
公務車用汽油	9.48E-04	MJ	8.97E-05
緊急發電機用柴油	6.16E-05	MJ	6.01E-06
淨水階段碳排放量			1.96E-02
三、輸配水階段			
清水配送	每噸售水用量	單位	kgCO <sub>2</sub> e/噸
清水配送用電(廠內、外加壓)	2.86E-01	度	2.22E-01
外購清水輸送	3.47E-02	度	2.70E-02
外購清水碳足跡			5.82E-02
輸配水階段碳排放量			3.07E-01

表 2 板新給水廠自來水碳足跡評估計算結果

自來水生命週期之 碳排放總量	0.36 kgCO <sub>2</sub> e/噸	
階段	排放量( kgCO <sub>2</sub> e/噸)	佔比
取水階段	3.21E-02	9%
淨水階段(含廢水處理)	1.96E-02	5%
輸配水階段	3.07E-01	86%

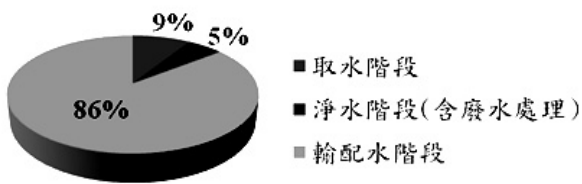


圖 6 板新給水廠自來水生命週期各階段碳排放量比

綜合上述，板新給水廠碳足跡以售水量計算為 0.36 kgCO<sub>2</sub>e/噸，以配水量計算為 0.32 kgCO<sub>2</sub>e/噸。另外，板新給水廠輸配水階段碳排放量占整體碳排放量之 86%，主要來自抽、送水用電之間接碳排放，淨水及廢水處理階段僅占約 5%，其中淨水及廢水處理階段排碳量，主要來自電力使用，約佔 64%碳排放量，其次為藥劑使用，約佔 35%碳排放量。

### 三、板新給水廠節能減碳策略之研析

世界各國水廠為因應全球節能減碳趨勢，相繼提出各種節能減碳策略，不僅落實政府環境保護之政策，同時也為水廠節省下不必要之開銷。經由上述板新給水廠自來水碳足跡分析後，可知水廠主要能耗為取水及輸配水所需之抽水機及馬達運轉電力，佔總碳排放九成以上，顯見水廠節能減碳策略應當從設備及能源方面著手，方能達到最大節能減碳之效益。經參考國內外水廠節能減碳策略，並將適用於板新給水廠之策略彙整為

短、中、長期三階段描述，短期策略係針對設備操作方面，包含設備更換、新設備引進以及設備操作手法優化，中期策略為建立水廠能效管理系統，導入 ISO 14001 及 ISO 50001 之概念，以期能持續優化水廠設備之能效，長期策略則為推行水廠政策，建立規範以落實水廠節能減碳策略。各節能減碳面向之細部執行策略詳述如下

#### (一)操作面

依據國內外水廠節能經驗，操作面之節能減碳策略主要在於提升廠內能源使用之效益，以降低整體能源之耗用，另針對水處理設備、抽水機設備、受配電設備與空調或照明等建築物附屬設備，採用高效率馬達或機器、變頻控制並檢討抽水機之容量適當性。同時，透過契約容量與最大需量之調整控制，輔以能源管理監控系統，提升能源使用效率，或依據需求調整供水與水處理方式，減少系統壓力與抽水需求。以台北自來水事業處加壓站節能措施為例(如表 3 所示)，其創新的管網末端壓力回授變頻控制，可維持管網最佳之水壓降低漏水量，避免抽水機瞬間啟動壓力突變對系統之破壞，同時利用變頻器無段變速提高節能效益。抽水機汰換時，檢討額定揚程與現有管網實際供水需求，提升抽水機運轉效率 5~15%。輔以離峰時段採幹管餘壓旁通供水、三段式時間電

價、計畫性負載管理、增設電容器提高功因、建置用電與抽水機能效管理系統等措施，年用電量可降低 12.7%，動力費節約達 5000 萬元，節能績效顯著足以作為水廠之表率。雖然目前臺灣自來水公司各淨水場持續進行能耗設備汰換，如板新給水廠近期正著手加裝抽水機變頻設備，但缺乏全面性的設備能耗控管系統，無法即時且有效掌握水廠重大能耗設備(如抽水機)之用電效率。因此，板新給水廠可參考台北自來水事業處供水操作系統之節能措施，建置自我操作設備能耗監控系統，以迅速及確切掌握整體供水能耗設備之能效動態，在符合供水需求下，使供水操作系統用電效率達到最佳化。

## (二)管理面

水廠建立能效管理系統是持續節能減碳之關鍵，能效管理系統透過系統化之方法進行水廠運作過程中能耗檢視及分析，使水廠節能最佳化。水廠能效管理系統之建立可參照 ISO 14001 及 ISO 50001 之規範，目前國內外水廠已通過 ISO 14001 的認證者已具相

當數量，但尚無導入 ISO 50001 能源管理體系之水廠。國際上能源管理標準目前以 EN 16001(10)最為普及，且 EN 16001 的條文架構與 ISO 14001 相似，對於已完成 ISO 14001 建置的廠商，直接推動與落實 EN 16001 並不困難，2011 年 6 月 ISO 組織頒布的 ISO 50001(CNS 50001)標準也是植基於 EN 16001 基礎上。ISO 50001(CNS 50001)標準提供一套全面性的能源管理制度，最主要目的在幫助組織或企業提高能源效率並建立其所需的程序和制度。

依據能源管理之精神，水廠執行節能對策之基本流程與程序步驟大致上可分為兩階段，如圖 7 所示。第一階段包括建構節能管理體制、依據廠內節能現況自我檢核、盤查水廠內處理程序與設備之能源使用現況與釐清節能對策之目的與方針。同時希望藉由現況的評估與盤查，建立 ISO 50001 能源管理系統之架構，作為後續能源管理與持續改善之基礎。第二階段則依據水廠能源審視

表 3 台北自來水事業處加壓站節能措施與績效

項次	措施	作為	績效
1	購置節約能源設備、設備自動控制	變頻器創新之控制模式(管網末端壓力控制)	節能成效 8.7~59.5%
2	採用高效率抽水機	使揚程與管網實際需求契合	運轉效率提高 5~15%
3	生產管理改善	離峰時段採幹管餘壓旁通供水	節省 2450Hp 抽水機電能
4	轉移抑低尖峰時段用電	計劃性負載管理	節省電量 650 萬度/年，優減基本電費 840 萬元/年
5	能源管理監控	供水用電監控程式	避免超約用電及提高優惠電價達成率
6	時間電價變更	採最有利之三段式時間電價	節省流動電費 1350 萬元/年
7	改善功率因數	增設電容器，功因提高至 95%	節省電費 360 萬元/年
8	抽水機效率監控	建置效率管理程式	降低耗能及精進設備管理

資料來源：經濟部水利署，自來水事業碳足跡評估與減碳發展實務技術應用交流之研討會，供水加壓站節能經驗之分享<sup>(9)</sup>

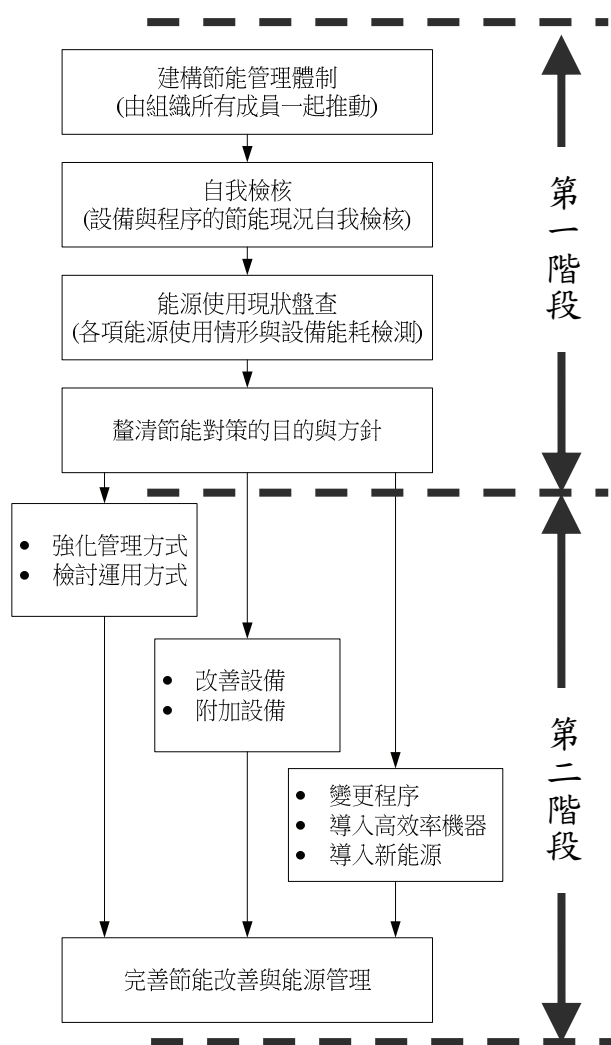


圖 7 水廠能源管理推動架構及流程

結果以及所研擬之節能改善對策，進行水廠管理方式、使用設備之改善或新能源之導入，並依循 ISO 50001 能源管理系統之精神，透過 P、D、C、A (規劃、執行、查核、改善) 持續改進能源管理，促使水廠採取系統化的方法進行能源績效、能源效率、能源使用及能源消費的改善。

### (三)政策面

#### 1.減碳目標制定

水廠須制定明確之減碳目標，制定目標時需考量水廠之實際條件，並設定短、中、長程各階段之減碳量，以階段性方式來達成

最終排碳量水準。美國第 13423 執行命令即要求聯邦政府機構每年降低 2% 水強度(加侖/每平方呎)，並期望於 2015 年減少 16%<sup>(11)</sup>。日本自來水施政策略目標要求，將淨水污泥有效使用率提升至 100%，將每單位水量消耗的用電量降低 10%(以 2001 年為比較基準)，將使用再生能源事業的比例提高至 100%。

#### 2.定期執行水廠自來水碳足跡盤查

因單一年度之碳足跡盤查資訊不足以反映出水廠可行之節能減碳熱點(hot spot)，水廠每年應定期進行自來水碳足跡盤查及提出節能減碳報告，報告中須分析水廠耗能結構趨勢及節能減碳措施之成效，並訂定年度水廠節能減碳方案，以逐年減少淨水場正常運作下之碳排放量。

#### 3.漏水率改善

國內自來水廠因供水管線老舊或設計、施工不良造成之漏水情形普遍存在，管線漏水不僅造成水資源的浪費，也會增加電力使用量，提高水廠單位產水之碳排放量，因此國內自來水事業單位需要逐步制定漏水率改善目標，系統性的降低自來水供水系統之漏水率。如日本東京都水道局降低管線漏水率可有效達到節能減碳，漏水率由 1955 年 20% 降至 2009 年 3.3%，節省水量為 3.4 億 m<sup>3</sup>/年，節省電力達 1.7 億 kWh/年<sup>(12)</sup>。

#### 4.綠色能源導入

水廠電力消耗是碳足跡之主要來源，因此許多國家嘗試導入綠色能源以減少電力使用所產生之碳排放，綠色能源如太陽能發電、小型水力發電、風力發電、汽電共生，皆有導入水廠之使用案例。臺灣目前僅有公

館淨水場安裝太陽能電板之案例，綠色能源尚未廣泛應用，因新能源設備成本回收年限高且保養不易，然世界各國仍持續有水廠導入綠色能源之案例，皆因新能源對環境友善且可降低電力使用產生之碳排放量。目前許多國家透過再生能源或綠色能源法案的訂定，有相當多的水廠均使用綠色能源替代傳統石化能源，如日本東京都自來水局於東村山淨水場導入小型水力發電系統，回收殘存水頭，回收電力可供場內使用，全年約可發電 116 萬 kWh<sup>(7)</sup>。

### 參考文獻

- 1.行政院環境保護署，"黃金十年 永續環境"，永續能源政策願景，2011年。
- 2.ISO, ISO 14001 Environmental management systems - Requirements with guidance for use, 2004
- 3.ISO, ISO 50001 Environmental management systems - Requirements with guidance for use, 2011
- 4.BSI, Guide to PAS 2050 - How to assess the carbon footprint of goods and services, British Standards, London, 2008
- 5.ISO, ISO/CD 14067-1 Carbon footprint of products - Part1: Quantification, 2010
- 6.行政院環境保護署，"產品與服務碳足跡計算指引"，2010年。
- 7.日本水道協會，"自來水設施節能對策實務"，2009年。
- 8.行政院環保署台灣產品碳足跡資訊網，網址：<http://cfp.epa.gov.tw>。
- 9.經濟部水利署，供水加壓站節能經驗之分享，自來水事業碳足跡評估與減碳發展實務技術應用交流之研討會，2011年。
- 10.BSI, BS EN 16001 Environmental management systems - Requirements with guidance for use, 2009。
- 11.經濟部水利署，"自來水事業碳足跡評估與減碳策略之先期研究"，委託研究報告，2011年。
- 12.日本東京水道局環境報告書，2010年。

### 作者簡介

#### 林志麟先生

現職：交通大學防災與水環境研究中心博士後研究員  
專長：水及廢水處理、混凝技術、水廠操作管理

#### 康世芳先生

現職：淡江大學水資源及環境工程學系 教授  
專長：自來水工程、水質管理、水污染防治

#### 黃冠綸先生

現職：國立交通大學碩士班 研究生  
專長：統計分析

#### 陳淑芬女士

現職：穎塘永續服務股份有限公司 總經理  
專長：能源管理、知識管理

#### 杭子樵先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處 秘書  
專長：淨水處理、水質管理

#### 黃永富先生

現職：台灣自來水公司板新給水廠 廠長  
專長：淨水處理、水廠操作管理

# 自來水事業國際績效指標之探討

文/李丁來、陳光辰

## 一、前言

台灣自來水事業肩負國家重要供水任務，其績效良窳對於我國經濟發展、社稷民生具有莫大之影響，然國內自來水事業囿於公營型態之故，其經營績效輒受民眾質疑，經常出現許多負面評價，致國營事業形象下滑，責難之聲迭起，員工挫折感增加，水價偏低雖已是公認事實，但歷經十餘年仍無法取得政府及民眾支持，而獲得合理調整，對國內自來水事業之財務負擔形成莫大之壓力。

再者，國內自來水事業在官網上自許之願景為「成為國際級自來水事業」或「成為世界一流的自來水事業」之願景，然何謂「國際級自來水事業」？或「世界一流的自來水事業」？缺乏具體比較基準。因此，若能透過國際間相對客觀而適當的指標，來進行自來水事業績效評量，則國內自來水事業，將可以獲知其在國際間之排名，以作為自來水事業對內宣傳經營效能，對外爭取政府及民眾支持、提升國際知名度與競爭力的有效工具，而如能將評比結果優秀者列為標竿學習對象，將可作為未來釐訂經營策略、計畫與提升競爭力之依據。

## 二、研究目的

在全球化之時代潮流下，有那些國際自來水事業績效指標值得學習，俾使國內自來水事業經營效能與國際接軌，達到自來水事業體對外所宣示之願景，故本研究目的如下：

- 1.就國內外自來水事業已建立之績效評估指標，進行分析及檢討。
- 2.建立國際自來水事業核心績效指標及重要績效指標，供國內發展與國際接軌的績效指標之參考。

## 三、研究方法

本研究利用文獻探討法，探討績效指標應用於國內外自來水事業之概況，包括績效指標面向及指標項目。

## 四、研究範圍及限制

本研究力求客觀與完善，但受限於時間、初級資料取得及跨國研究資料取得不易等因素，研究範圍及限制如下：

- (一)僅限於各國自來水事業可公開取得之計量(Metric)績效資料。
- (二)國際自來水事業績效指標參考資料來源，僅包含較具代表性之中國城鎮供水協會(CUWA)供水事業績效指標、中國北方城市供水事業績效指標、中國供水服務評級指標體系、新加坡供水事業績效指標、日本水道協會(Japan Water Works Association, JWWA)、美國自來水協會(American Water Works Association, AWWA)、英國水務辦公室(Office of Water Services, OFWAT)、歐洲標竿合作(European Benchmarking Co-operation, EBC)、國際水及衛生事業標竿網絡(International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities,

IBNET)、國際水協會(International Water Association, IWA)等，無法擴及全球自來水事業。

## 五、國際自來水事業績效指標選擇

### (一)績效指標構面選擇

從國際自來水事業績效指標參考資料來源所彙整之國內外自來水事業績效指標構面，如表 1 所示。而自來水供應系統組成，包括原水蓄存及取水、導水、淨水、送配水至用戶、用戶使用等過程分為五個階段，如圖 1 所示。可看出國際自來水事業不僅重視從生產到銷售間之資源投入與產出之績效管理，也重視環境保護及永續發展，表 1 及圖 1 顯示，現代自來水事業經營管理系統是一個複雜的多目標的系統，既要提高自來水服務及資本營運質與量，又要降低成本、提高效益及資本盈利，更要達成公用事業所獨特之公益目的等多重目標。自來水供應每一階段的營運重點可分為二大經營主軸，即非財務之供水服務及財務，分述如下：

#### 1.供水服務面向

供水服務面向係指自來水事業從原水蓄存及取水、導水、淨水、送配水至用戶一系列過程中，所需要投注之技術、設備與服務。因自來水事業屬公用事業，其營運管理應同時考量營利及服務，故需具備一般企業所要求之經營效率、品質、顧客服務等，因此供水服務面向包括：營運能力、生產管理、自來水操作、供水質量信賴度、供水穩定度、可靠性及可用性、供水與售水、供水質量信賴度、供水管道、供水服務、生產經營、供水普及率、生產及消耗、產銷差、水表計量、管網性能、供水需求、水質服務、供水能力、供水績效、服務普及率、消費與

生產、無費水量、裝表作業、流程指標、水質、可靠性、水資源、設施操作、人力資源、人事管理、業務經營、企劃管理、組織發展、客戶關係、企業經營、經營永續性、環境保全、設備管理、顧客經驗、環境衝擊、服務品質、資產管理、用戶服務、永續性、人員、設施、操作、服務品質等構面。

#### 2.財務面向

財務面向係指自來水事業根據營運的需要，對資金加以適當的規劃，考量如何籌措資金，進而進行資金管理與運用，期能以最低的融資成本，獲得營業上所需資金，創造自來水事業的獲利能力、降低經營風險，使自來水事業的營運產生最大效益，即供水過程中投入之財務成本與產生之財務效益之管理，包括營業收入、獲利能力、財務管理、經營永續性、財務、經營支出、資本投資、財務經濟、供水價格、收入和水費回收、財務績效、財務、成本及人力、帳單與收費、財務績效、服務之可負擔能力、財務與效率、經濟與財務等構面。

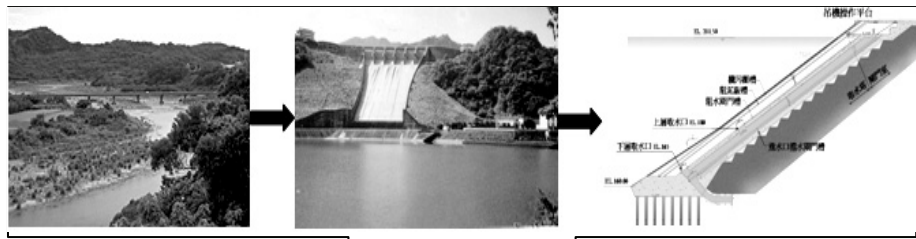
因為自來水事業為自然獨占，固定資產投資龐大，但單位資本投入收益相較其他公用事業為低(如圖 2 所示)，價格調整又受政府管制，致投資回收期長，在公用事業要求財務管理效率下，從原水到用戶都需要有效率的運用資金及控管成本。公用事業雖無法同民營企業一樣，以營利為唯一目標，但追求合理盈餘獲利，「以事業養事業」，累積投資財源，才得以建設新廠擴充生產、進行供水設備改良及更新維持正常營運必須之資本支出，以確保用戶用水權益，綜觀表 1 顯示，幾乎每一個自來水事業都納入財務面向，故為各國自來水事業績效管理所必備。

表1 國內外自來水事業績效指標構面彙整表

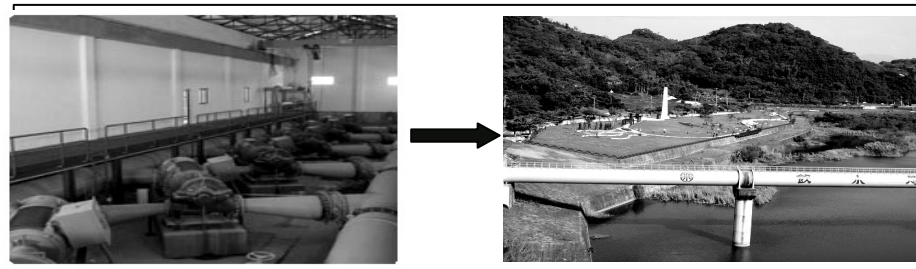
台水公司	北水處	美國 AWWA	英國 OFWAT	日本 JWWA	中國 CUWA	中國 北方城市	中國供水服務指標體系	新加坡 PUB	世界銀行 IBNET	歐洲標準合作組織 EBC	國際水協會 IWA
營業收入	業務經營	組織發展	顧客經驗	可靠性	供水與售水	供水普及率	用戶服務	用戶服務	服務普及率	水質	水資源
獲利能力	財務管理	客戶關係	可靠性及可用性	穩定性	供水管道	生產及消耗	水質服務	財務	消費與生產	可靠性	人員
財務管理	生產管理	商業運作	環境衝擊	永續性	供水服務	產銷差	供水能力	供水績效	無費水量	服務	設施
營運能力	人事管理	水操作	財務	環境	供水生產經營管理	水錶計量	供水績效		裝表作業	永續性	操作
人力資源	企劃管理		經營支出	水道管理	供水財務經濟	管網性能			管網性能	財務與效率	服務品質
國家政策	其他		資本投資		供水價格	營運與人工成本			成本及人力		經濟與財務
						服務品質			服務品質		
						收入和水費回收			帳單與收費		
						財務績效			財務績效		
						資產管理			資產		
						供水需求			服務之可負擔能力		
									流程指標		
六構面 25項指標	六構面 26項指標	四構面 17項指標	五構面 91項指標	五構面 12項指標	六構面 31項指標	十構面 41項指標	四構面 10項指標	三構面 13項指標	十二構面 47項指標	五構面 26項指標	六構面 170項指標

資料來源：參考文獻1~11及13~21，經本研究整理

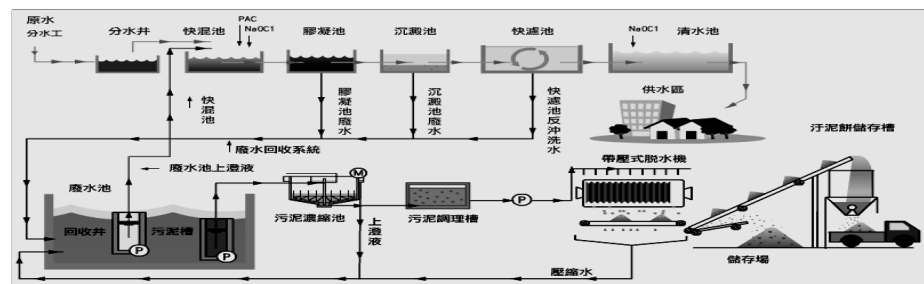
階段 1  
原水蓄存及取水



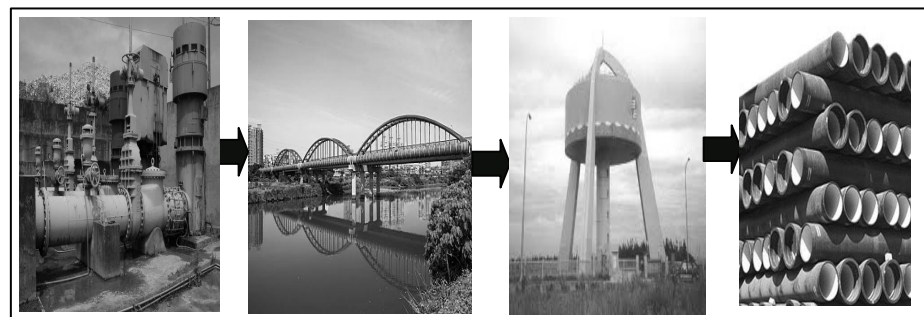
階段 2  
導水



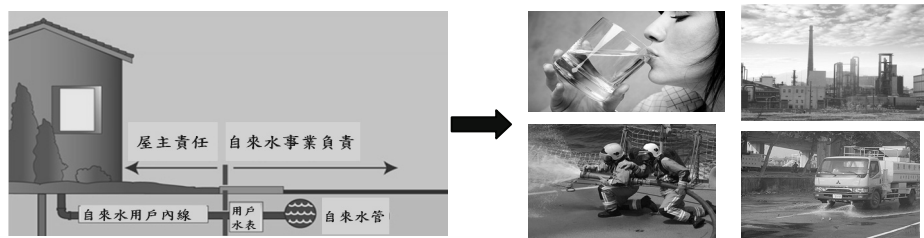
階段 3  
淨水



階段 4  
送配水至用戶

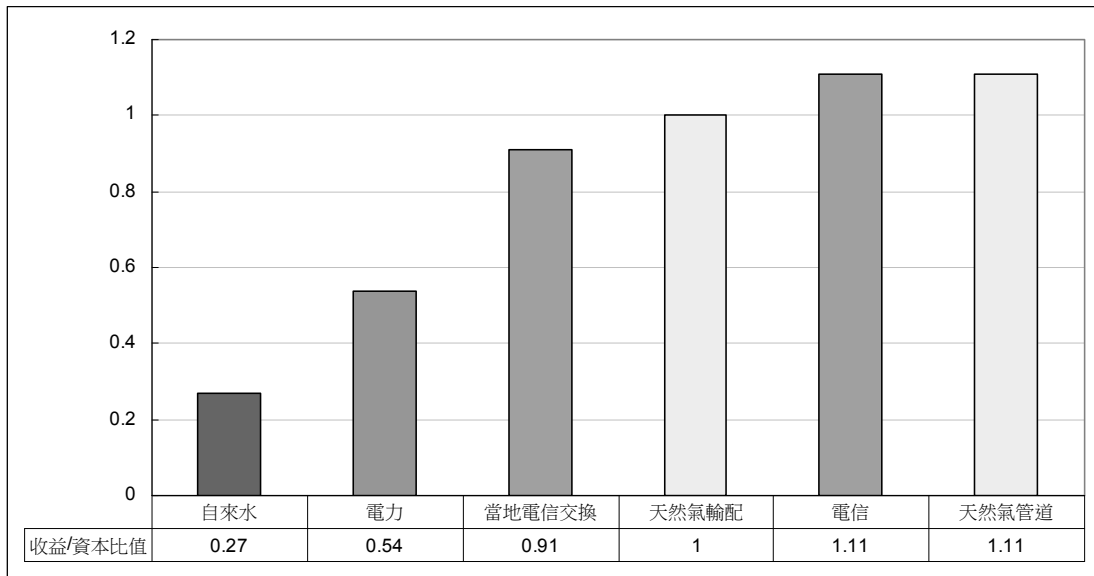


階段 5  
用戶使用



資料來源: 本研究整理

圖 1 自來水供應系統組成



資料來源：本研究數據取自 TaKaDu(2011)

圖 2 各類公用事業資本/營收比值

供水服務及財務二大面向可謂涵蓋自來水事業從生產端至消費端之經營績效管理，表 1 中所列國內外自來水事業績效指標構面共計 73 項，依據前述二個面向合併統計如表 2 所示。如將表 2 中，篩選指標構面相同或屬性相近，並被本研究之 12 個國內外自來事業單位或組織中有半數以上，採用做為指標構面者，即選為本研究之指標構面。因此，可發現在「供水服務」面向中，「供水操作」及「顧客服務」，可充分涵蓋各國自來事業單位或組織所採用之指標構面；至於「財務」面向中，則是「財務控制」及「財務績效」，可充分涵蓋各國自來事業單位或組織所採用之指標構面，故予以彙整如表 3 所示，本研究即選定上述構面做為自來水事業績效指標構面。

**(二)績效指標之選擇**

由表 1~表 2 可知，各國自來水事業於各績效指標構面下，均訂定了明確且便於衡量之績效指標，而表 1 顯示本研究之 12 個國

內外自來事業單位或組織績效指標共有 509 項，因此依據表 3 所選定之績效構面，並將各國自來水事業或機構之績效指標中，篩選指標相同或屬性相近者，分列為「核心」績效指標及「重要」績效指標。

「核心」績效指標係指被本研究之 12 個國內外自來事業單位或組織中，有半數以上採用做為績效指標項目者，以「指標採用率」(採用之國內外自來事業單位或組織數總數除以 12) 表示，則可篩選列為本研究之國際自來水事業「核心」績效指標，包括供水損失、水質合格率、每員工供水量、每員工服務用戶數、每員工之營收、供水管線故障率、單位生產成本、平均售水單價、管線汰換率、經營比率、總資產報酬率，共 11 項，彙整分類如表 4 所示。

「重要」績效指標係指被本研究之 12 個國內外自來事業單位或組織中，指標採用率在 1/3 以上者，則可篩選列為本研究之國

際自來水事業「重要」績效指標，包括供水服務中斷次數、供水普及率、用人費率、用戶抱怨、職災發生率、售水率、管網壓力、營業利益率，共 8 項，彙整分類如表 5 所示。

表 2 國內外自來水事業績效指標構面彙整

績效面向	績效構面
供水服務	營運能力、生產管理、水操作、信賴度、穩定度、可靠性及可用性、供水與售水、供水管道、供水服務、生產經營、供水普及率、生產及消耗、產銷差、水表計量、管網性能、供水需求、水質服務、供水能力、供水績效、服務普及率、消費與生產、無費水量、裝表作業、流程指標、水質、可靠性、水資源、設施操作、人力資源、人事管理、業務經營、企劃管理、組織發展、客戶關係、商業運營、永續性、環境、水道管理、顧客經驗、環境衝擊、服務品質、資產管理、用戶服務、服務普及率、永續性、人員、服務品質、資產、設施
財務	營業收入、獲利能力、財務管理、經營永續性、財務、經營支出、資本投資、財務經濟、供水價格、收入和水費回收、財務績效、財務、成本及人力、帳單與收費、服務之可負擔能力、財務與效率、經濟與財務

資料來源:本研究整理

表 3 本研究選定之自來水事業績效指標構面

績效面向	績效構面
供水服務	供水操作、顧客服務
財務	財務控制、財務績效

資料來源:本研究整理

表 4 國際自來水事業核心績效指標構面暨項目

指標面向	指標構面	指標項目(指標採用率)
供水服務	供水操作	供水損失(100%)、水質合格率(92%)、每員工供水量(67%)、供水管線故障率(58%)、管線汰換率(50%)
	顧客服務	每員工服務用戶數(67%)
財務	財務控制	每員工之營收( 67%)、單位售水成本(58%)、平均售水單價(58%)、經營比率(50%)
	財務績效	總資產報酬率(50%)

資料來源:本研究整理

表 5 國際自來水事業重要績效指標構面暨項目

指標面向	指標構面	指標項目(指標採用率)
供水服務	供水操作	職災發生率(33%)、售水率(33%)、管網壓力(33%)
	顧客服務	供水服務中斷次數(42%)、用戶抱怨(42%)
財務	財務控制	用人費率(42%)
	財務績效	營業利益率(42%)

資料來源:本研究整理

## 六、結論

- (一)本研究經參考國內外文獻，歸納篩選出國際間最常使用於自來水事業之「核心」績效指標，包括「供水操作」構面之「供水損失」、「水質合格率」、「每職工供水量」、「供水管線故障率」、「管線汰換率」，「顧客服務」構面之「每職工服務用戶數」，「財務控制」構面之「每職工之營收」、「單位售水成本」、「平均售水單價」、「營運比率」及「財務績效」構面之「總資產報酬率」等十一項指標。
- (二)最常使用於自來水事業之「重要」績效指標，包括「供水操作」構面(職災發生率、售水率、管網壓力)，「顧客服務」構面(供水服務中斷次數、用戶抱怨)，財務控制構面(用人費率)，財務績效構面(營業利益率)等七項指標。
- (三)上述核心及重要績效指標項目，可供自來水事業運用標竿學習原則，與國際自來水事業或組織進行評比之參考，協助自來水事業建立具體而長期性的願景展望，以持續提升其經營效能，促使事業員工更能有共識與意願追求更上一層的目標，激勵組織活力往卓越邁進。

## 參考文獻

1. Alegre, H.; Baptista, J.M.; Cabrera JR., E., Cubillo, F.; Duarte, P.; Hirner, W.; Merkel, W.; Parena, R. (2006). Performance indicators for water supply services, second edition, Manual of Best Practice Series, IWA Publishing, London,
2. AWWA(2012). <http://www.awwa.org/About/index.cfm?&navItemNumber=1420>
3. Caroline van den Berg and Alexander Danilenko (2011). The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.
4. EBC(2009) .International Benchmark 2008-Project overview. [http://www.waterbenchmark.org/content/pdf/IntBM08\\_EBC\\_Project\\_Overview\\_v1.0.pdf](http://www.waterbenchmark.org/content/pdf/IntBM08_EBC_Project_Overview_v1.0.pdf),
5. Enrique Cabrera Jr., Peter Dane, Scott Haskins, Heimo Theuretzbacher-Fritz (2011). Benchmarking Water Services Guiding water utilities to excellence, IWA Publishing, London, UK.
6. International Water Association(2012), <http://www.iwahq.org/1nb/home.html>
7. Japan Water Research Center (2009), Analysis of Performance Indicators

- (PI) in Guidelines for the Management and Assessment of Drinking Water Services in F.Y.2009.  
<http://www.jwrc-net.or.jp/english/pi-FY2009/pi-e09.pdf>
8. John Anderson(2007). Benchmarking Performance Indicators for Water and Wastewater Utilities: 2007 Annual Survey Data and Analysis Report. AWWA
9. Ofwat (2012). <http://www.ofwat.gov.uk>
10. Ofwat (2011). Service and delivery – performance of the water companies in England and Wales 2009-10.  
[http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt\\_los\\_2009-10.pdf](http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt_los_2009-10.pdf)
11. Ofwat (2011). Financial performance and expenditure of the water companies in England and Wales 2009-10.  
[http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt\\_fpe\\_2009-10.pdf](http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt_fpe_2009-10.pdf)
12. TaKaDu(2011), The Connection between Water Prices and Water Network Efficiency, [http://www.takadu.com/files/The\\_Connection\\_between\\_Water\\_Prices\\_and\\_Water\\_Network\\_Efficiency\\_2011.pdf](http://www.takadu.com/files/The_Connection_between_Water_Prices_and_Water_Network_Efficiency_2011.pdf)
13. The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (2012), <http://www.ib-net.org/>
14. 中國水網(2012), 中国供水服务评级指标体系(1.0)。  
[http://news.h2o-china.com/html/2012/03/1011332568673\\_1.shtml](http://news.h2o-china.com/html/2012/03/1011332568673_1.shtml),
15. 中國城鎮供水排水協會(2009), 中國城鎮供水排水協會《城市供水統計年鑒》指標解釋,  
<http://www.cuwa.org.cn>
16. 台灣自來水公司(2010), 台灣自來水事業統計年報。
17. 行政院研考會(2012), 國營事業工作考成。  
<http://www.rdec.gov.tw/lp.asp?ctNode=12252&CtUnit=1683&BaseDSD=7&mp=100>
18. 行政院研考會(2010), 經濟部所屬事業99年度工作考成實施要點。  
<http://www.rdec.gov.tw/DO/DownloadControllerNDO.asp?fileType>
19. 行政院研考會(2011), 國營事業績效管理制度之研究。
20. 臺北自來水事業處(2010), 臺北自來水事業處統計年報。<http://www.twd.gov.tw>
21. 臺北市政府(1997), 臺北市政府所屬市營事業機構年度經營績效考核要點。  
<http://www.rdec.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=1206756&ctNode=6214&mp=120011>

#### 作者簡介

##### 李丁來先生

現職：台灣自來水公司供水處處長

專長：自來水工程規劃、設計、營運管理及研究

##### 陳光辰先生

現職：國立清華大學工業工程與工程管理學系副教授

專長：工程經濟、工廠改善方法、JIT 生產方式

# 應用催化臭氧程序提升自來水消毒殺菌效率之研究

文/黃文鑑、洪麗茶

## 摘要

催化臭氧程序 Catalytic Ozonation Process (COP) 主要是應用金屬氧化物的吸附及氧化力在室溫條件增強臭氧之消毒及氧化能力。本研究將催化臭氧程序應用於飲用水之消毒單元，針對水中常見之病原菌：大腸桿菌(E-coli)及沙門氏菌(Salmonella typhimurium) 為試驗對象，探討催化劑對提升臭氧消毒效率的可行性。實驗設計是利用二氧化鈦 ( $\text{TiO}_2$ ) 觸媒催化臭氧，增加臭氧對水中大腸桿菌及沙門氏菌之殺菌力，藉由設計連續流填充式反應槽(Continuous flow packing reactor)，將人工配製原水(以地下水作為背景水樣)，以連續流方式通入至槽內，藉此評估未來應用於實廠之可行性。實驗設計  $\text{TiO}_2$  覆膜在填充載體的方式是利用電弧離子鍍(Arc ion plating)的方式，於真空狀態下將  $\text{TiO}_2$  沉積在填充式濾材拉西環(Raschig ring)表面形成  $\text{TiO}_2$  薄膜，接著將拉西環填充於本實驗設計之連續流式填充反應槽內。結果顯示以 COP 針對水中初始 E-coli 濃度  $C_0 = 4.8 \times 10^5$  CFU/100mL 之殺菌能力在  $\text{O}_3 = 0.5$  mg/L 及反應時間 30 分鐘條件下，E-coli 可被殺菌 99.9%、相較於單獨  $\text{O}_3$  在相同條件 99% 之消毒效率，約可提升一個對數級數，本實驗中亦針對 Salmonella 經 COP 之殺菌效率進行探討，結果顯示在起始濃度  $C_0 = 7.6 \times 10^6$  CFU/100 mL 原水條件，以同 E-coli 之 COP 操作條件約可殺滅 99% salmonella 病原菌，另提高菌種濃度至  $5.13 \times 10^8$  CFU/100 mL，

COP 之殺菌力亦可達 99.5%，此結果均高於應用單獨臭氧者，本研究亦發現 COP 消毒效率隨接觸時間增加而提高，在 10 min 即有較佳之殺菌效果，而在單獨以  $\text{TiO}_2$  進行殺菌的試驗組中則發現對 E-coli 及 Salmonella 其效果僅有約 35% 及 22% 殺菌力，主因是  $\text{TiO}_2$  對試驗之菌種僅有吸附功效，而非以氧化破壞菌細胞之方式移除，此結果在經  $\text{TiO}_2$  接觸試驗之菌種培養皿中發現菌種有再度繁殖之現象可得到證實。

## 一、前言

在水處理程序為提高  $\text{O}_3$  的殺菌力/氧化力或降低操作劑量， $\text{O}_3$  消毒/氧化程序中可加入催化劑增加  $\text{O}_3$  解離出之自由基，其反應介質型態一般分成  $\text{O}_3$  之均相催化(Homogeneous catalytic ozonation) 及非均相催化(Heterogeneous catalytic ozonation)。一般而言，單獨使用臭氧時，因其高操作成本及在水處理過程可能因高濃度臭氧劑量而衍生消毒副產物(例如溴酸鹽離子及醛、酮類有機物)的考量，及臭氧本身在水中的低溶解度與較短半衰期等，因此在添加劑量上無法在高濃度下操作，若水中含有原生動物、難分解或高濃度的有機污染物，以目前水廠的臭氧施加劑量及接觸反應時間，可能尚無法將此類污染物完全分解破壞或去除至要求的濃度目標。有鑑於此，本研究嘗試以催化臭氧程序，藉由在臭氧反應系統中添加覆膜催化劑之金屬氧化物顆粒，藉提高臭氧生成高氧化力之自由基進行對飲用水中微生物之破

壞殺菌力，同時研判是否可提高臭氧消毒之反應速率、降低臭氧施加劑量及減少臭氧消毒副產物之生成。

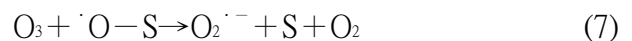
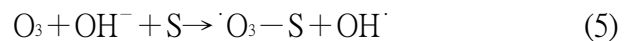
水中存在之大腸桿菌(學名：Escherichia coli，通常簡寫為 E-coli)是生活在溫血動物大腸中的重要細菌種類，對食物正常消化具有重要作用。我國飲用水標準規定大腸桿菌群的最大限值為 6 CFU/100mL、總菌落數的最大限值為 100 CFU/mL。地下水中大腸桿菌的存在標誌糞便污染，其屬名埃希氏菌 (Escherichia) 來源於其發現者 Theodor Escherich，大腸桿菌是腸桿菌科的一員，經常作為細菌的模式生物廣泛用於科學研究 (黃志彬，許昺慕，1998)。在水淨化和污水處理領域，大腸桿菌很早就被選作水污染程度的指示性物種，標誌著有多少人類糞便存在於水中，其測量標準為大腸菌群指數，利用大腸桿菌作為標準的主要理由在於人糞便中大腸菌群的數目遠高於致病菌 (如可引起傷寒的傷寒桿菌，學名 Salmonella typhi) (陳芳茹，2008)。再者，致病細菌若存在於環境水體中會造成極大之健康風險；沙門氏桿菌(Salmonella typhimurium)、志賀氏桿菌以及其他腸道病原菌是重要的水媒疾病。其中沙門氏桿菌為感染人類消化道之重要細菌性病源，並經由受污染的環境而持續造成宿主的感染。目前因為台灣地區的供水水管偶有破裂或滲漏的情形，造成微生物進入管路中，或使一些微生物可利用的基質進入管線，提供為生物在管線中生長的必需營養鹽等，都可能造成大腸桿菌等微生物的污染 (郭詠琪，2004)。臭氧消毒在 19 世紀初就被應用於自來水消毒，其氧化殺菌效果較氯

消毒有效，且不易生成三鹵甲烷類 (THMs) 的副產物，然而其操作成本高。近年來有研究人員將催化劑添加至 O<sub>3</sub> 反應中，例如添加 TiO<sub>2</sub>、ZnO 等，藉此提高 O<sub>3</sub> 氧化力及降低 O<sub>3</sub> 添加量。針對催化臭氧的機制，根據文獻報導 (Morris, 1975; Legube and Karpel, 1999) 主要有三種可能的假說，分別為：固相催化劑與 O<sub>3</sub> 行化學性吸附 (Chemisorption) 並激發生成高活性物 (如 OH· 自由基)，此高氧化物在與液相中之有機分子進行反應。液相中有機物以化學鍵結方式吸附 O<sub>3</sub> 及有機物並在催化劑表面行氧化分解。催化劑同時以化學鍵結方式吸附 O<sub>3</sub> 及有機物並在催化劑表面行氧化分解。至於 O<sub>3</sub> 在催化劑表面之解離，文獻中 (Andreozzi et al., 2000; Tong et al., 2003; Pines and Reckhow, 2002) 假設如下：

$$\text{pH} = 2 \sim 6$$



$$\text{pH} > 6$$



式中 S 表示催化劑表面活性點位置。

有關上述提出的可能反應機制，由於目前尚無足夠的實驗數據得以證實，因此在此相關研究領域中，仍需藉由反應控制條件及對金屬氧化的物化性質作進一步的瞭解。

## 二、實驗設備與方法

本實驗於連續流反應槽所採用的填充介質為拉西環(Raschig ring)(ID: 1.0 cm, Surface



area : 7.5 cm<sup>2</sup>), 材料是以陶瓷為主, 構造簡單、製造成本低且適用於高溫及腐蝕性高的系統, 置入反應槽中, 可有效增加氣液兩相接觸時間, 拉西環製造材料主要以 SiO<sub>2</sub> 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 為主, 本身亦有微量的 TiO<sub>2</sub> 成份, 圖 1(a) 為未鍍膜 TiO<sub>2</sub> 拉西環及 EDS 分析之元素組成。

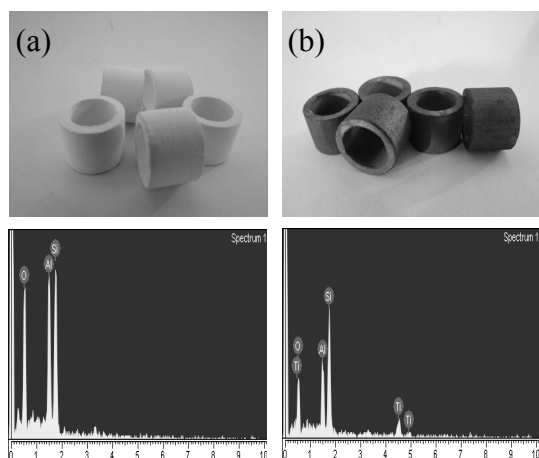


圖 1 拉西環鍍膜前(a)、後(b)及 EDS 分析之元素組成

圖 1(b) 為鍍膜 TiO<sub>2</sub> 拉西環及 EDS 分析之元素組成顯示在表面發現有 Ti 之元素存在, 在真空的狀態下將 TiO<sub>2</sub> 沉積在拉西環表面, 在電子顯微鏡下可見陶瓷環表面, 形成薄膜。

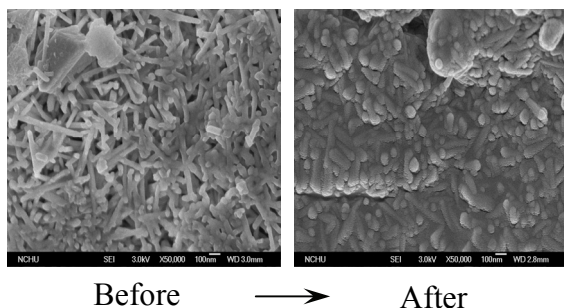


圖 2 為拉西環鍍膜前、後的 FE-SEM 圖, 圖中顯見本實驗利用電弧離子鍍的方式 (Arc ion plating)

再者, 本實驗亦利用 X-ray 繞射儀分析

鍍膜前、後之晶相(圖 3), 發現在 TiO<sub>2</sub> 鍍膜後, 拉西環內、外側之 X-ray 光譜均有相當強度的銳鈦礦晶相波峰出現。

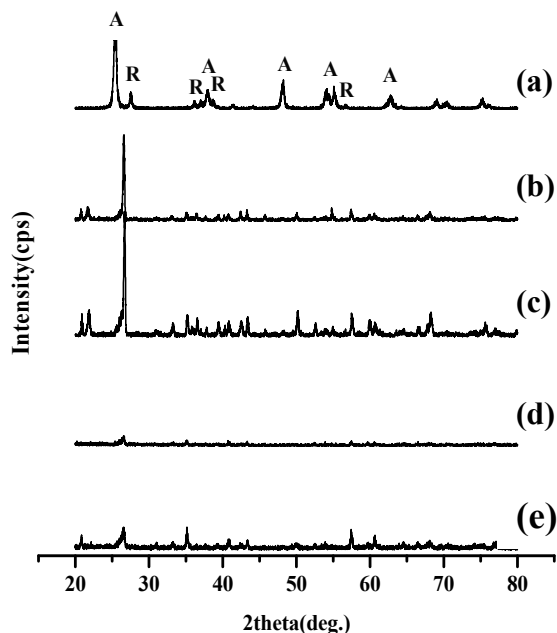


圖 3 鍍膜及未鍍膜 TiO<sub>2</sub> 拉西環之 SAXS 圖譜。

A : anatase ; R : rutile ;

(a) DegussaP25 ; (b) LC- TiO<sub>2</sub>-Inside ;

(c) LC- TiO<sub>2</sub>-Outside ;

(d) LC-Inside ; (e) LC- Outside

連續流填充式反應槽是將表面鍍 TiO<sub>2</sub> 的拉西環介質填充於槽體(ID:7.0 cm, H:40.0 cm), 同時將含 E-coli 及 Salmonella 的人工原水及臭氧在控制各種氣/液比、臭氧劑量、水力停留時間等條件下, 進行對細菌的氧化反應。

首先人工水樣及氣相臭氧的接觸是利用文氏管(ID : 1.5 cm, H : 9.0 cm)將臭氧溶入水中, 將混合之水樣以上流式導入反應槽體, 流量控制則是根據實驗所需之水力停留時間而定, 反應後之出流水經一氣液分離槽後, 取樣分析水中之 2-MIB、pH、液相臭氧濃度及各項水質參數, 氣相殘留臭氧則在氣

相分離槽後，連接一氣相臭氧連續偵測器並再利用 KI 吸收瓶進行分析。圖 4 為本實驗連續流反應槽流程圖。

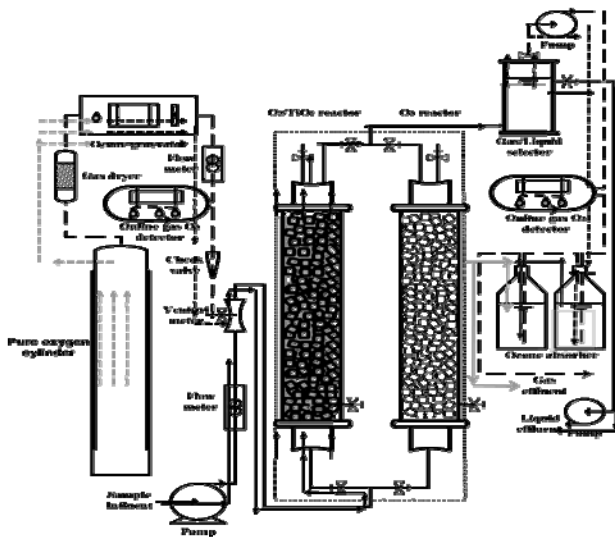


圖 4 連續流填充式反應槽流程圖

水中大腸桿菌群檢測方法－濾膜法，(NIEA E202.53B)，本方法係用濾膜檢測水中好氧或兼性厭氧、革蘭氏染色陰性、不產芽孢之大腸桿菌群（Coliform group）細菌。該群細菌在含有乳糖的 Endo 培養基上，於  $35 \pm 1^\circ\text{C}$  培養  $24 \pm 2$  小時會產生紅色色素具金屬光澤菌落。所有缺乏金屬光澤的菌落，均判定為非大腸桿菌群。再者，水中沙門氏桿菌檢驗流程是自濾膜法濃縮水樣，經過 SBG 增菌，復以 MSR/V 運動性篩選，再純化於選擇性培養基 SS agar，並以 VITEK 自動生化鑑定出沙門氏桿菌屬。

### 三、結果與討論

針對單獨臭氧試程對 E-coli 之去除效率，控制反應時間 0-30 分鐘，臭氧濃度分別為 0.2 mg/L 及 0.5 mg/L 條件下，實驗結果顯示(圖 5)，O<sub>3</sub> 對於 E-coli 有相當好的去除效率，其中以臭氧濃度在 0.5 mg/L 的去除效果明顯較 0.2 mg/L 為佳。

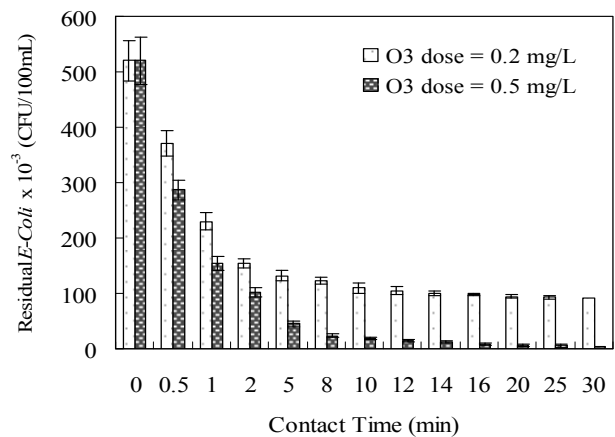


圖 5 不同濃度臭氧對 E-coli 去除率比較

控制臭氧濃度 0.2 mg/L 及 0.5 mg/L，原水 E-coli 濃度為  $5.2 \times 10^5$  CFU/100mL 在反應期間 5 分鐘時對 E-coli 的去除效率分別約 72% 及 86%，經反應 30 分鐘後分別殘留約  $8.7 \times 10^4$ 、 $4.5 \times 10^4$  CFU/100mL，去除率分別約 83.3%、91.3%。

再者，圖 6 是臭氧量固定為 0.5 mg/L，pH 控制在 7.0，比較有、無接觸 TiO<sub>2</sub> 條件對 E-coli 的去除效率

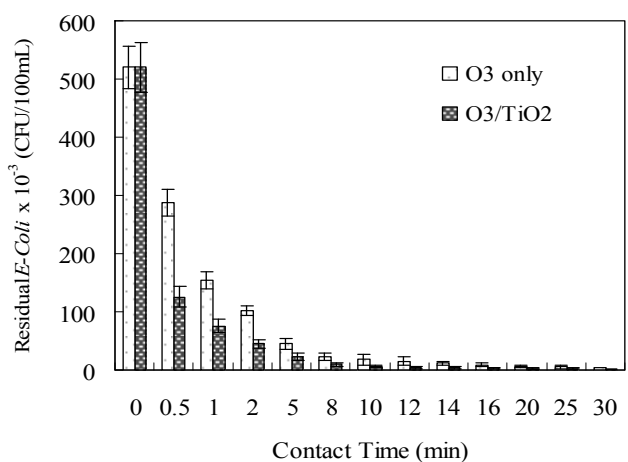


圖 6 各試程對 E-coli 之去除率 (O<sub>3</sub> dose = 0.5 mg/L)

圖 6 中顯見，O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 試程對 E-coli 在 10 秒反應時間即可達 99 % 去除率，而單獨 O<sub>3</sub> 試程顯示在約 10 分鐘反應後方可達到 99 % E-coli 去除效率。另針對 O<sub>3</sub> 量降低至 0.2 mg/L

試驗組(圖 7)發現 O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>在約 15 min 接觸時間可達到 99 %去除效果，然單獨 O<sub>3</sub>者於 30 min 反應時間後，僅有約 83 %去除率。

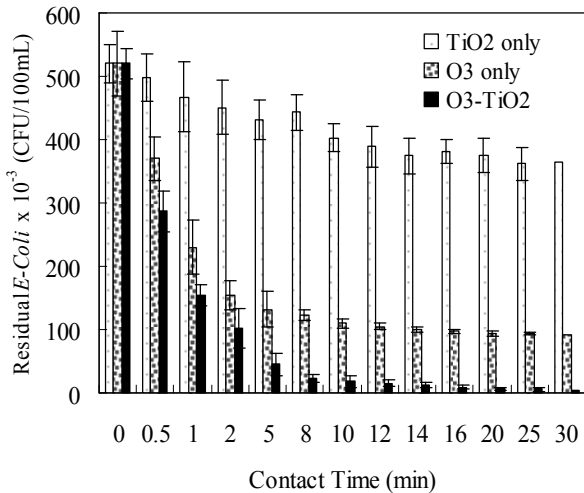


圖 7 各試程對 E-coli 之去除率 (O<sub>3</sub> dose = 0.2 mg/L)

再者，本實驗針對水中存在普遍存在之天然有機物腐植酸 (Humic acids 簡稱 HS)，探討其在 COP 試程中對 E-coli 殺菌效率，圖 8 顯示水中存在 1.0 mg/L 之 HS 對 E-coli 之去除有明顯負面效果，且存在濃度愈高，愈不利 COP 試程對 E-coli 的去除，原因推測是屬大分子有機質之 HS 與 O<sub>3</sub> 及催化衍生之自由基有較快之反應速率，在水中能消耗大部份 O<sub>3</sub>，導致 E-coli 與 O<sub>3</sub> 接觸機會降低，此結果在相關文獻亦有類似報導。

針對 O<sub>3</sub> 及 COP 試程對水中另一類病菌 Salmonella 之消毒效率。首先本實驗以同 E-coli 的原水條件，試驗三種不同濃度 O<sub>3</sub> 劑量及控制 Salmonella 濃度在 7.6×10<sup>6</sup>~5.13×10<sup>8</sup>CFL/100mL 進行反應，結果顯示(圖 9)在低臭氧劑量(0.15 mg/L)又對 Salmonella 之殺菌效率僅達 62%(接觸 30 min)，提高臭氧量至 0.5 mg/L，殺菌效率亦僅達 81%，要達到 99.9 %殺菌率之 O<sub>3</sub> 量須提升至

1.0mg/L，此結果與 E-coli 之殺菌率相比，可見 O<sub>3</sub> 對 Salmonella 之去活性化較低於 E-coli。

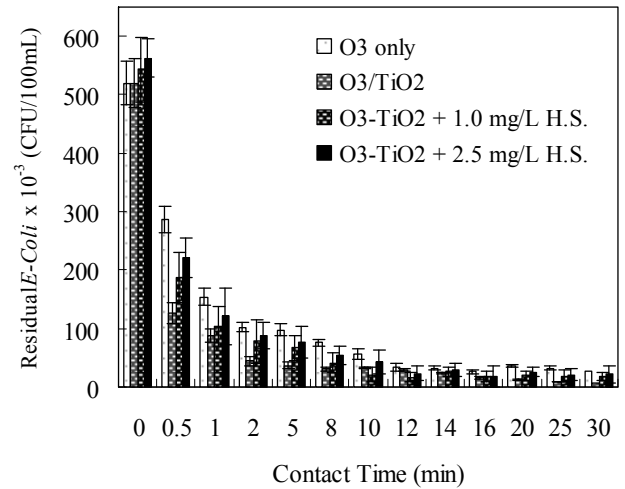


圖 8 試驗原水中 Humic acids 對催化臭氧試程去除 E-coli 之影響(O<sub>3</sub> dose = 0.5mg/L)

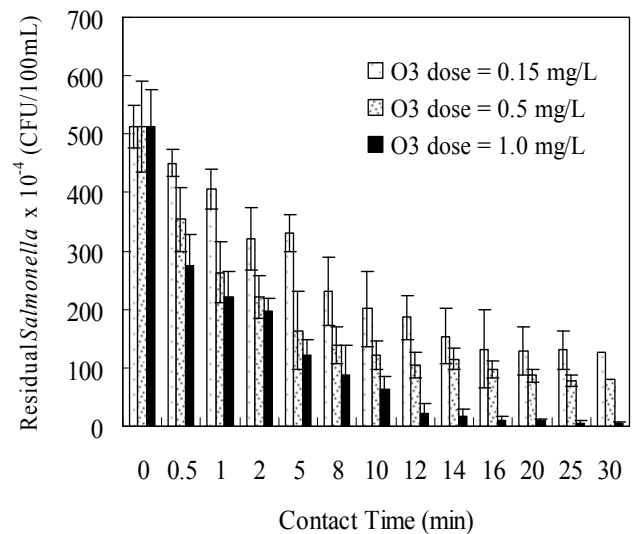


圖 9 單獨臭氧試程對 Salmonella 去除率

另圖 10 是 COP 試程中控制 O<sub>3</sub> 劑量在 0.15 mg/L 對 Salmonella 之殺菌效率，顯示 COP 試程對細菌之去活性能力略較單獨 O<sub>3</sub> 者高，推測是在低臭氧劑量下，COP 衍生之自由基仍無法抑制 Salmonella 之活性。

另由圖 11 顯示者 O<sub>3</sub> 提升至 0.5 mg/L，則明顯看出 Salmonella 去除率由單獨臭氧之 81%提高至 99.9%，此結果表示催化臭氧程

序雖增強臭氧氧化力，但仍需有足量的臭氧與 TiO<sub>2</sub>反應，方足以衍生出更多的自由基氧化物。

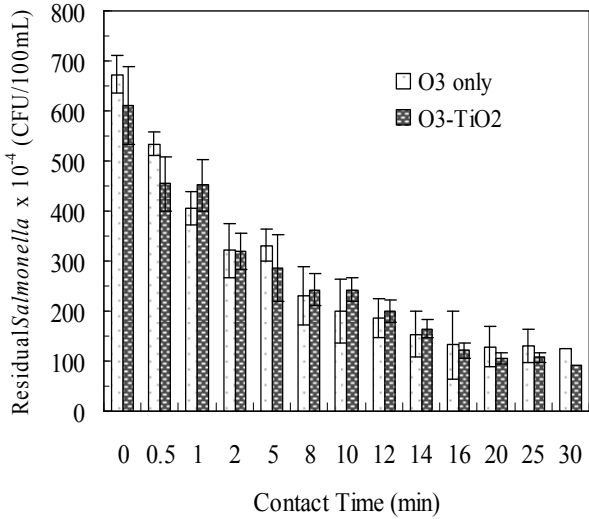


圖 10 各試程對 Salmonella 去除率 (O<sub>3</sub> dose = 0.15 mg/L)

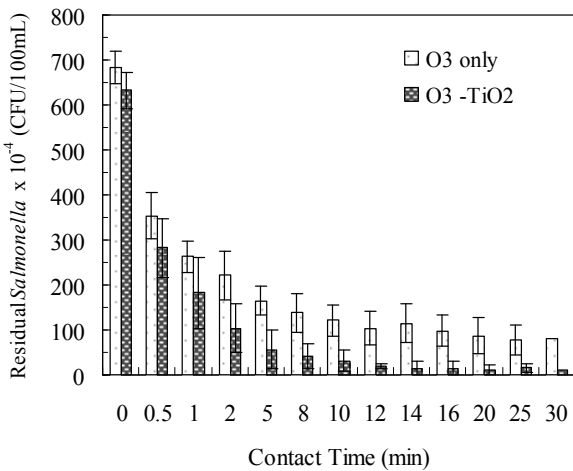


圖 11 各試程對 Salmonella 去除率 (O<sub>3</sub> dose = 0.5 mg/L)

本實驗針對單獨 O<sub>3</sub> 及 O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> 試程中可生成 OH 自由基，利用電子順磁共振儀 (Electron Paramagnetic Resonance, 簡稱 EPR) 配合 spin-trap (5,5-Dimethyl-pyrroline-N-oxide, DMPO) 自由基捕捉劑進行觀察。圖 12 為 EPR 於各種不同反應條件下量測之 OH<sup>·</sup> 訊號(標示 \* 之波峰)。首先由圖 12(a) 顯示 DMPO 試

劑在 EPR 量測出之 OH<sup>·</sup> 自由基僅有少量存在，同時由直接量測 TiO<sub>2</sub> 奈米粉末亦可見其 OH<sup>·</sup> 自由基圖譜與 DMPO 類似，僅有少量感應波峰。

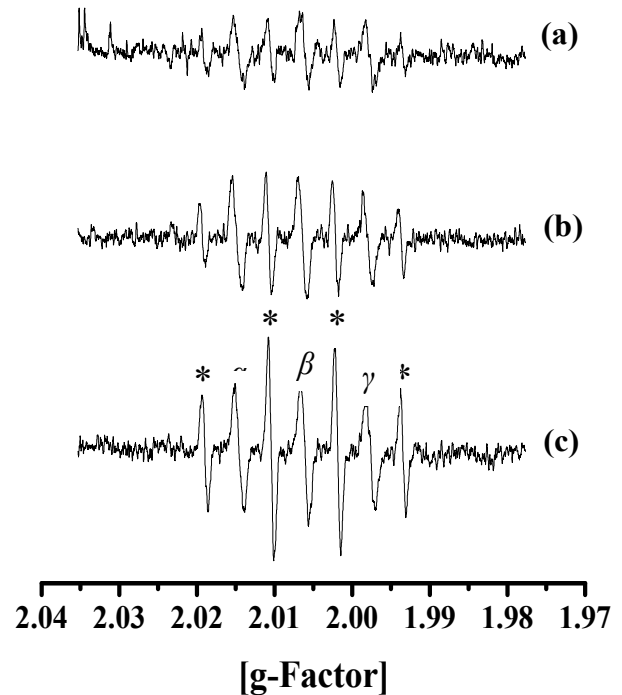


圖 12 EPR 圖譜 (a) DMPO blank, (b) DMPO -ozone, and (c) DMPO-ozone with TiO<sub>2</sub> (O<sub>3</sub> dose = 1.0 mg/L, TiO<sub>2</sub> powder 25-40 nano meter)=250 mg/L

另由量測 O<sub>3</sub> (pH=7.0) 在 EPR 的圖譜(圖 12(b)) 則可見有明顯的 OH<sup>·</sup> 波峰出現，其強度高於 DMPO 及 TiO<sub>2</sub> 顆粒測值，顯示 O<sub>3</sub> 在水相中可轉換成 OH<sup>·</sup> 型態的氧化物。再者，在 O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> (pH=7.0) 程序中所測量的 EPR 圖譜(12(c)) 則顯見有相當強度的 OH<sup>·</sup> 波峰出現，且其強度高於單獨 O<sub>3</sub> 者，據此研判 O<sub>3</sub> 反應過程添加 TiO<sub>2</sub> 有助於增加水相 O<sub>3</sub> 解離 OH<sup>·</sup> 強氧化物，同時能增強對水中污染物的氧化力。

#### 四、結論與建議

(一) 催化臭氧程序 (COP) 利用低劑量臭氧

(0.2~0.5 mg/L) 在 TiO<sub>2</sub> 的催化條件對水中 E-coli 的消毒效率可提升 1 個對數級數，且處理後水質符合飲用水水質標準之細菌性指標。

(二)水中存在的天然有機物腐植酸 (HS) 對 COP 試程去除 E-coli 活性有負面影響，且濃度愈高影響愈顯著，主因是 HS 具有競爭 O<sub>3</sub> 或 OH<sup>·</sup> 之作用，導致降低 O<sub>3</sub> 與微生物接觸反應。

(三)COP 程序對水中致病菌 Salmonella 具有良好殺菌功效，唯操作條件與 E-coli 相比，需有較高的臭氧劑量(>0.5mg/L)。

(四)本研究以 EPR 偵測 O<sub>3</sub> 及 O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> 程序下生成之自由基，發現後者生成之 OH<sup>·</sup> 明顯較高，表示 O<sub>3</sub> 經 TiO<sub>2</sub> 催化作用，有助於生成更多氧化力較強之自由基。

(五)催化臭氧程序可降低自來水消毒之需臭氧量，並間接減少消毒副產物生成，唯在未來自來水廠之實務應用仍須考量原水濁度是否會阻礙催化臭氧反應槽內之催化劑與液相臭氧之接觸反應，減少殺菌及氧化力。

## 參考文獻

- 1.Andreozzi, R., Simona Lo Casale, M., Marotta, R. , Pinto, G., Pollio, A., N-methyl-p-aminophenol (metol) Ozonation in Aqueous Solution: Kinetics, Mechanism and Toxicological Characterization of Ozonized Samples, Water Res. Wat. Res. Vol. 34, pp.4419-4429, 2000.D., Chung, Y., Choi, Y., Kim, J., Park, Y., and Kum, H., "Assessment of disinfection by-products in drinking water in Korea," Expo Anal Environ Epidemiol, Vol. 9, pp. 192-9.1999.
- 2.Legube, B., Karpel Vel Leitner, N., Catalytic

Ozonation: a Promising Advanced Oxidation Technology for Water Treatment, Catalysis Today Vol.53, pp.61-72, 1999.

- 3.Morris, J. C., Aspects of the Quantitative Assessment of Germicidal Efficiency, in Chapter 1 J. D. Johnson (Ed.), Water and Wastewater, Ann Arbor, MI.,1975.
- 4.Pines, D.S., Reckhow, D.A., Effect of Dissolved Cobalt(II) on the Ozonation of Oxalic Acid, Environ. Sci. Technol. Vol.36, pp.4046-4051, 2002.
- 5.Tong, S.-P. , Liu, W.-P., Leng,W.-H., Zhang, Q.-Q., Characteristics of MnO<sub>2</sub> Catalytic Ozonation of Sulfosalicylic Acid and Propionic Acid in Water, Chemosphere. Vol.50, pp.1359-1364, 2003.
- 6.陳芳茹，大腸桿菌中第一類Integron移動能力分析，碩士論文，高雄醫學大學醫學研究所，2008年。
- 7.郭詠琪，飲用水中非結核性分枝桿菌分析方法之研究，碩士論文，中興大學環境工程研究所，2004年。
- 8.黃志彬、許昺慕、許永華，飲用水安全之標準微生物及其管制標準，自來水會刊，第十七卷，第二期，1998年。

## 作者簡介

### 黃文鑑教授

現職：弘光科技大學環境與安全衛生工程系(所)教授  
專長：自來水處理技術、優養化水源評估及水質分析

### 洪麗茶小姐

現職：弘光科技大學環境與安全衛生工程系－專研  
專長：自來水處理技術、臭氧操作技術

## 石墨烯於水處理的應用

文/何佳樺、洪仁陽、黃盟舜、蕭碧蓮

### 摘要

新穎材料-石墨烯 (graphene)，自從 2004 年被發現以來，因其獨特材料特性引起各領域專家學者的矚目，而成為近期研究與應用上的焦點。基於石墨烯的特殊結構特性以及物理與化學性質，本研究顯示石墨烯不僅對於 E. coli 具備抑菌效果且其抑菌效率可達 96%。因此，本文除了闡述石墨烯的材料特性，亦將進一步探究其於抑菌、薄膜與其他水處理領域的應用潛力。

### 一、前言

隨著全球水資源與淨水品質需求的提升，傳統的淨水處理單元越來越受挑戰。其中薄膜程序因具備良好的處理效果，有效提昇水質、節省空間、操作簡易、節省化學藥劑及減少污泥產生等優點，因此廣泛應用於淨水及廢污水的處理。薄膜分離技術是利用不同成分穿透薄膜速率的差異來進行分離，而物質透過膜的驅動力可分為濃度差、電位差、溫度差與壓力差。其中，濃度差、電位差與溫度差薄膜分離程序分別是透析 (Dialysis)、電透析 (Electrodialysis, ED) 及薄膜蒸餾 (Membrane Distillation, MD)。而以壓力差為驅動力的薄膜分離程序則有微過濾 (Microfiltration, MF)、超過濾 (Ultrafiltration, UF)、奈米過濾 (Nanofiltration, NF) 及逆滲透 (Reverse Osmosis, RO)，此亦是常用於廢水處理的薄膜程序。

薄膜分離技術已被證明有許多優點，近年來，由於製膜技術的發展，膜的價格大幅降低，於實際應用上卻常因膜壽命短需要更換，而造成操作上不便且不合經濟效益，這是目前極需突破的瓶頸。然而，導致膜壽命縮短主要原因有二，一是廢水中的有機溶劑或 pH 值超過膜材適用範圍。另一個原因是廢水中的成分複雜，污染物或微生物吸附於膜面或膜孔造成堵塞。堵塞的種類依堵塞物之組成性質來分為膠體或微粒堵塞 (Colloids or particle fouling)、無機堵塞 (Inorganic fouling 如沉積在薄膜表面的無機鹽類)、有機堵塞 (Organic fouling 如天然有機物，腐質酸) 及生物堵塞 (Biofouling 如微生物附著和生長)<sup>[1]</sup>。因此，除了設計適當的處理系統外，開發具有更佳抗化性及抗垢性的薄膜以提升其使用壽命，乃是研發的重要方向。

石墨烯 (graphene)-以單層碳原子以 sp<sup>2</sup> 軌域互相鍵結而成的二維蜂窩狀晶格結構 (圖 1)，因其獨特材料特性，如高機械強度、高導電性、良好導熱性、熱穩定性、化學穩定性及高比表面積等特性，引起各領域專家學者的矚目，而成為近期研究上的焦點且證實可利用在透明電極，生化感測器，超高電容器及太陽能電池等應用<sup>[2-4]</sup>。基於石墨烯的特殊結構特性以及物理與化學性質，本文將敘述石墨烯的材料特性，並進一步探究其於水資源領域的發展前景。

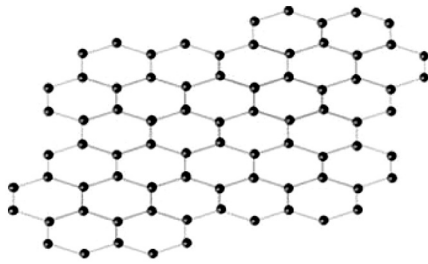


圖 1 石墨烯之結構圖<sup>[3]</sup>

## 二、石墨烯之製程技術與材料特性

目前石墨烯製備方法主要有：a.機械剝離法 (Mechanical Exfoliation)，此法是以膠帶 (Scotch tape) 反覆操作撕裂石墨而成，因此又稱 Scotch tape 或 peel-off 法；b.化學氣相沈積法 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 或磊晶成長法 (Epitaxial Growth)，例如通入乙烯氣體熱裂解沉積在金屬片上；c.電化學剝離法 (Electrochemical Exfoliation)，此法係以電化學方式利用石墨與鉑金屬線為電極，藉由通入一電位差使石墨塊剝離成石墨烯；d.化學剝離法 (Chemical Exfoliation)，以石墨為原料，經由強酸或強氧化劑將其氧化並脫層為石墨烯氧化物 (graphene oxide)，之後再利用強還原劑 (例如：聯氨或硼氫化鈉等) 還原形成石墨烯 (圖 2)<sup>[2,4,5]</sup>。以化學法製備石墨烯具有規模化量產、溶液式製程且容易進行後續的化學改質與可調控的表面化性等優勢，因此具有多樣性的應用前景。

石墨烯為單層原子二維結構，不僅具有高比表面積的特性 (理論可達  $2,600 \text{ m}^2/\text{g}$ )，且其對稱性的六角環狀碳原子結構，使之具備高導熱、熱穩定與導電的性質。研究顯示石墨烯的導熱系數 $\sim 5,300 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，其於空氣中的熱穩定性亦高達  $450\text{-}650 \text{ }^\circ\text{C}$ 。而石墨烯的電阻 $\sim 10\text{-}6 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ ，比銅或銀金屬更低，是

目前於室溫下最低電阻的材料。室溫下，石墨烯的電子遷移率 $\sim 200,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，為矽晶的 10 倍以上。此外，其強韌的碳-碳鍵結亦使石墨烯擁有極高的機械強度 ( $100\text{-}400 \text{ Gpa}$ )<sup>[6]</sup>。因此，針對石墨烯具備之高比表面積、低電阻、高電子遷移率、高機械強度以及材料易於改質等特性，本文將闡述其於抑菌、濾膜與水處理材料的相關應用。

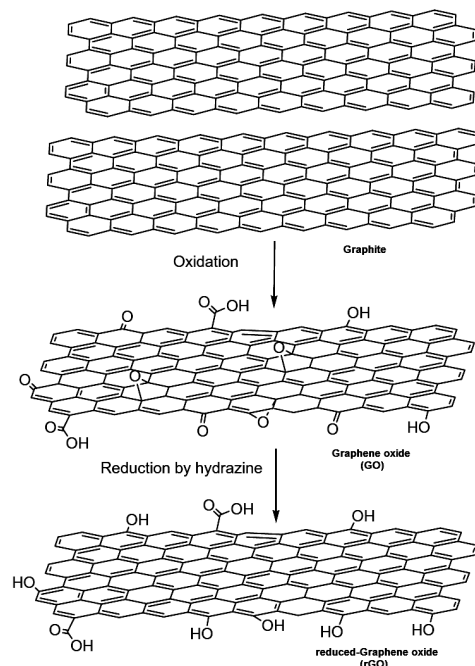


圖 2 化學剝離法製備石墨烯之反應圖<sup>[5]</sup>

## 三、石墨烯於水處理的應用趨勢

### (一) 石墨烯於抑菌與薄膜材料的應用

#### 1. 抑菌材料的應用

近年研究發現石墨烯或其衍生物對於抑制大腸桿菌生長有顯著的效果，而且不會傷害人體細胞<sup>[7,8]</sup>。本研究以化學還原法之石墨烯為材料，進行不同濃度石墨烯對 *E. coli* 的抑菌效果。當石墨烯的濃度由  $120 \text{ mg/L}$  提升至  $480 \text{ mg/L}$ ，其對 *E. coli* 的抑菌效果由 31% 上升至 96%，顯示石墨烯對 *E. coli* 具有良好的抑菌效果 (圖 3)。經文獻分析，推測其殺菌

機制有二：(1) 細菌的細胞吸附於石墨烯表面的殘餘官能基，造成膜壓力 (membrane stress) 使細胞的細胞膜被破壞，細胞質中的內質體流出，導致細菌失去活性，此結果可由 *E. coli* 的 TEM 圖證實 (圖 4)<sup>[7]</sup>。(2) 藉由石墨烯良好的傳導電子性質，破壞菌體的抗氧化機制造成氧化壓力 (oxidation stress)，導致細菌失去活性。Glutathione (GSH) 為細胞抗氧化自由基系統的總樞紐，當其與石墨烯反應時，GSH 被氧化失效的效率達~95%與  $H_2O_2$  的效果相近 (圖 5)。然推測 GSH 失效機制為 GSH 釋放電子 ( $GSH \rightarrow GSSG + 2e^- + 2H^+$ ) 後，電

子再透過石墨烯傳遞至周界環境與  $O_2$  反應形成  $H_2O_2$  ( $O_2 + 2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2$ )<sup>[8]</sup>。

目前薄膜操作面臨堵塞的最大問題就是生物積垢。以往曾有少許低生物結垢薄膜的研究，多半以摻和、共聚合或表面鍵結方式，例如將薄膜塗佈具抑菌性質的幾丁聚醣 (chitosan)，但長期使用下效果不彰。因此，基於石墨烯的化學穩定性與抑菌性，結合石墨烯之抑菌薄膜不僅具備抗化性及抗生物積垢以延長薄膜壽命的潛力，且因其對於人體細胞無害，亦有運用於自來水淨水的潛能。

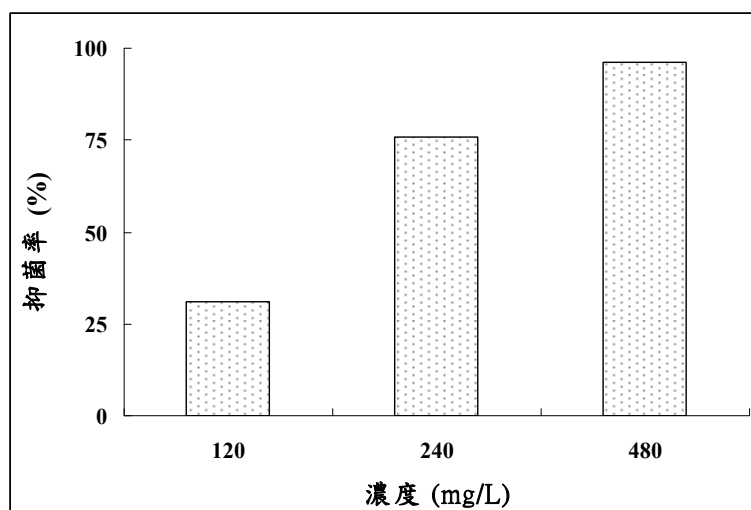


圖 3 不同濃度之石墨烯對 *E. coli* 的抑菌能力

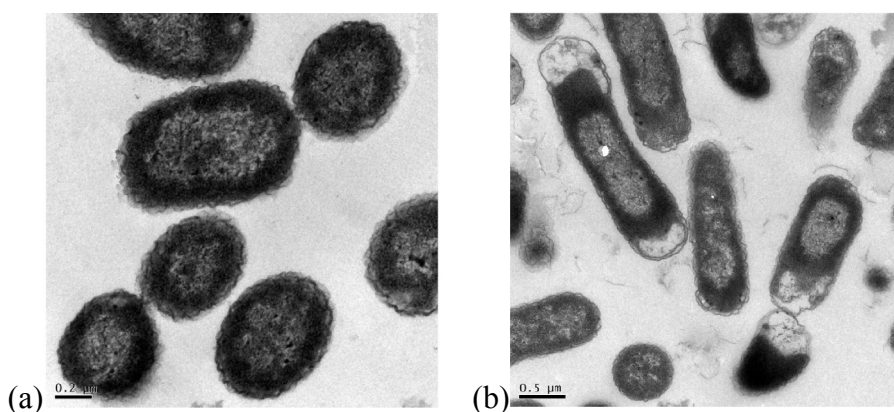


圖 4 (a) *E. coli* 與 (b) 其在石墨烯溶液下兩小時的 TEM 圖<sup>[7]</sup>

## 2. 濾膜材料的應用

石墨烯氧化物為類似石墨烯的六角晶格結構，其基面與邊界含有大量的含氧官能基團，主要包括環氧基(epoxy, C-O)、羥基(hydroxyl, C-OH)、羧基(carboxyl, COOH)與羰基(carbonyl, C=O) (圖 2)<sup>[5]</sup>，而當石墨烯氧化物還原後，殘餘的官能基及結構缺陷會導致石墨烯的平面結構變成皺折構形<sup>[9]</sup>。近期研究利用化學還原法將石墨烯氧化物於不同溫度條件下還原可形成不同皺折度的石

墨烯，且藉由石墨烯之間的  $\pi-\pi$  吸引力可堆疊成膜。SEM 顯示當還原溫度越高，石墨烯之皺折度會越高 (圖 6)。然而當製備成膜時所形成膜的孔洞越大 (表 1)，因此使薄膜的水通量亦明顯提升 (圖 7)<sup>[10]</sup>。控制石墨烯氧化物還原的程度因殘餘官能基不同，將可調控薄膜的親、疏水性。因此，適當控制石墨烯製程，石墨烯將具備應用於高通量親、疏水性濾膜材料的潛力。

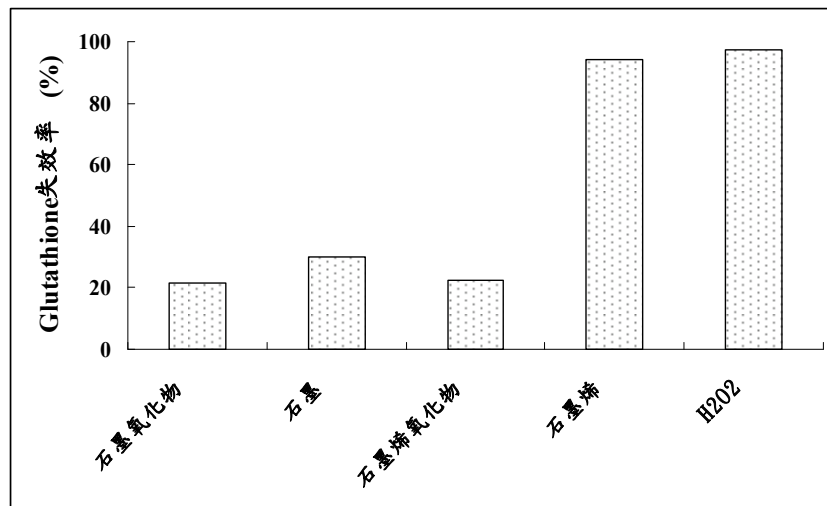


圖 5 石墨烯與其他材料氧化 Glutathione 的結果<sup>[8]</sup>

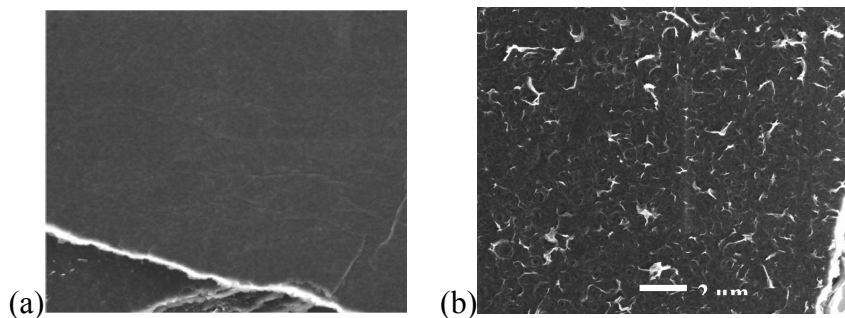


圖 6 (a) 90 °C 與 (b) 80 °C 還原之石墨烯薄膜的 SEM 圖<sup>[10]</sup>

表 1 石墨烯薄膜的孔洞分布<sup>[10]</sup>

還原溫度 (°C)	90	100	120	150
孔洞大小 (nm)	<3	3-13	3-13	>13

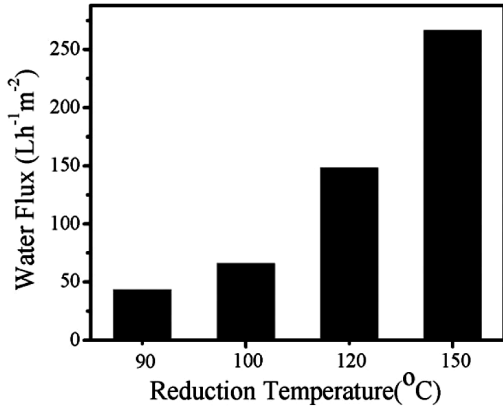


圖 7 不同還原溫度石墨烯膜的水通量<sup>[10]</sup>

## (二) 石墨烯於其他水處理的應用

### 1. 高敏感度水質檢測器

場效電晶體(field-effect transistor, FET)是一種控制訊號造成載體通道附近電場改變，使通道特性發生變化，導致電流改變。由於石墨烯具有高載子遷移率且能夠偵測微小的電阻，因此以石墨烯薄膜為載子傳輸層的場效電晶體(graphene field-effect transistor, GFET) 在水中離子或生物的偵測成為電子原件之外重要的應用<sup>[11]</sup>。圖 8 顯示於固定電壓下(- 0.6V)不同離子與濃度的水溶液滴至 GFET 時會反應出不同電流變化，藉此分析水中微量的不同離子。因此，具備檢測水質中的微量重金屬離子或新興污染物的潛力。

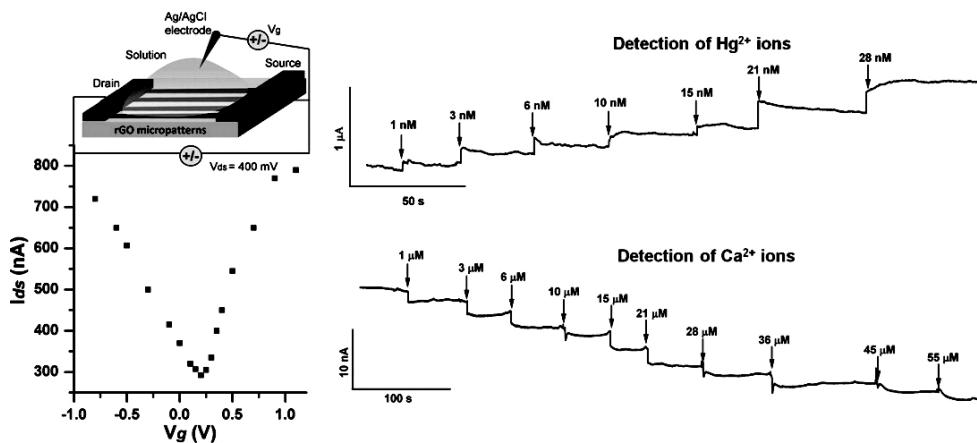


圖 8 GFET 對 Hg<sup>2+</sup> 離子與 Ca<sup>2+</sup> 離子偵測的結果<sup>[11]</sup>

### 2. 光觸媒材料

光觸媒降解技術是石墨烯於淨水處理中引人注目的應用之一。光催化氧化法乃以太陽光為輻射源，激發半導體催化劑產生空穴-電子對 ( $h^+VB-e^-CB$ )的一種高級氧化技術，其中常用的半導體以 TiO<sub>2</sub> 為主。然而，為提高光催化效率，降低光觸媒之空穴-電子複合仍是一大課題。石墨烯因具備高透明度、高電子遷移率及化學穩定性，因此成為應用於提升光催化效能的重要材料。然而，近幾年研究結果顯示光催化反應中，石墨烯-TiO<sub>2</sub> 複合材料不僅具有降解水中難分解的有機物之外，石墨烯之傳導電子能力可有效抑制 TiO<sub>2</sub> 的空穴-電子複合 (圖 9)<sup>[12]</sup>。圖九顯示石墨烯藉由表面未還原的極性官能機或  $\pi-\pi$  吸引力吸附水中有機物，而當紫外光照射石墨烯-TiO<sub>2</sub> 複合材料時，TiO<sub>2</sub> 導電帶的電子會被激發躍至傳導帶，進而傳遞至石墨烯並與水中的 O<sub>2</sub> 反應生成超氧陰離子自由基( $e^-CB + O_2 \rightarrow O_2 \cdot^-$ )。而 TiO<sub>2</sub> 所生成的空穴 ( $h^+$ ) 亦會與水反應生成氫氧自由基 ( $h^+VB + H_2O \rightarrow \cdot OH + H^+$ )，然而，O<sub>2</sub>·<sup>-</sup> 與·OH 則可進一步與有機物或微量污染物反應使之氧化降解 (圖 10)。

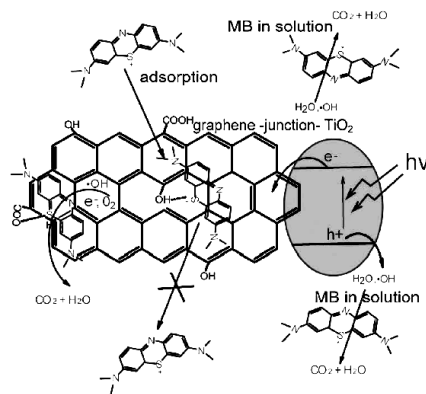


圖 9 石墨烯-TiO<sub>2</sub> 複合材料降解水中 methylene blue 機制的示意圖<sup>[12]</sup>

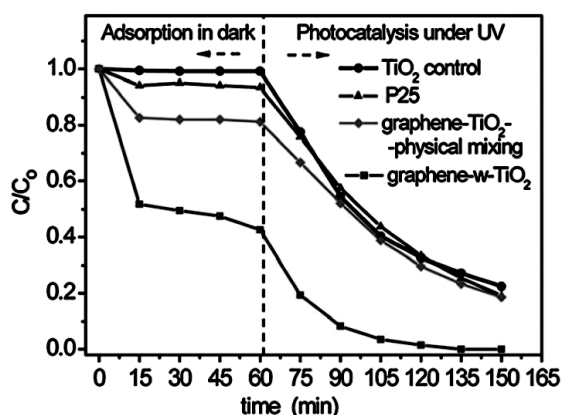


圖 10 石墨烯-TiO<sub>2</sub> 複合材料降解水中 methylene blue 的結果<sup>[12]</sup>

### 3. 吸附材料

石墨烯是單層碳結構，高比表面積為此材料的一大特性。其結構的碳原子乃以 sp<sup>2</sup> 軌域互相鍵結而成，因此，可利用π-π作用力吸引具芳香性的化學物質<sup>[13]</sup>。此外，石墨烯可利用化學法來進行表面改質或官能基化，並進一步調控其表面化性。然而，藉由調控其表面化性，石墨烯不僅可用來吸附芳香性化學物質，還可選擇性吸附極性有機污染物或重金屬離子，例如：石墨烯表面利用 4-胺基硫酚(4-aminothiophenol)改質，改質後石墨烯可應用於吸附 Hg<sup>2+</sup>等金屬離子或染料<sup>[14]</sup>。此外，將石墨烯衍生物酸化後，其表面極性官能基(-O-H 或 -C=O)可藉由氫鍵或凡得瓦力吸附水中三鹵甲烷<sup>[15]</sup>。

### 四、結語

石墨烯除了電子材料或電容器等方面的應用，本文章闡述其於抑菌、薄膜、光觸媒、吸附材料與檢測器亦有顯著的應用潛力。且近年來隨著許多製程的開發，使石墨烯的成本不斷下降，因此提高了材料商業化的可行性與水處理市場的應用契機。

### 致謝

感謝經濟部能源局的支持，使得本研究得以順利進行。

### 參考文獻

1. Yee, K.W.K.; Wiley, D.E.; Bao, J. A unified model of the time dependence of flux decline for the long-term ultrafiltration of whey, *J. Membrane Sci.* 332 (2009) 69-80.

2. Avouris, P.; Dimitrakopoulos, C. Graphene: synthesis and applications, *Mater. Today* 15 (2012) 86-97.
3. Luo, B.; Liu, S.; Zhi, L. Chemical approaches toward graphene-based nanomaterials and their applications in energy-related areas, *Small* 8 (2012) 630-646.
4. Choi, W.; Lahiri, I.; Seelaboyina, R.; Kang, Y.S. Synthesis of Graphene and Its Applications: A Review, *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 35 (2010) 52-71.
5. Singh, V.; Joung, D.; Zhai, L.; Das, S.; Khondaker, S.I.; Seal, S. Graphene based materials: Past, present and future, *Prog. Mater. Sci.* 56 (2011) 1178-1271.
6. Zhu, Y.; Murali, S. Cai, W.; Li, X.; Suk, J.W.; Potts, J.R.; Ruoff, R.S. Graphene and graphene oxide: synthesis, properties, and applications, *Adv. Mater.* 22 (2010) 3906-3924.
7. Hu, W.; Peng, C.; Luo, W.; Lv, M.; Li, X.; Li, D.; Huang, Q.; Fan, C. Graphene-based antibacterial paper, *ACS Nano* 4 (2010) 4317-4323.
8. Liu, S.; Zeng, T.H.; Hofmann, M.; Burcombe, E.; Wei, J.; Jiang, R.; Kong, J.; Chen, Y. Antibacterial activity of graphite, graphite oxide, graphene oxide, and reduced graphene oxide: membrane and oxidative stress, *ACS Nano* 5 (2011) 6971-6980.
9. Loh, K.P.; Bao, Q.; Eda, G.; Chhowalla, M. Graphene oxide as a chemically tunable platform for optical applications, *Nature Chem.* 2010, 2, 1015-1024.
10. Qiu, L.; Zhang, X.; Yang, W.; Wang, Y.; Simona, G.P.; Li, D. Controllable corrugation of chemically converted graphene sheets in water and potential application for nanofiltration, *Chem. Commun.* 47 (2011) 5810-5812.
11. Sudibya, H.G.; He, Q.; Zhang, H.; Chen, P. Electrical detection of metal ions using field-effect transistors based on micropatterned reduced graphene oxide films, *ACS Nano* 5 (2011) 1990-1994.
12. Liu, J.; Wang, Z.; Liu, L.; Chen, W. Reduced graphene oxide as capturer of dyes and electrons during photocatalysis: surface wrapping and capture promoted efficiency, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 13 (2011) 13216-13221.
13. Ion, A.C.; Alpatova, A.; Ion, I.; Culetu, A. Study on phenol adsorption from aqueous solutions on exfoliated graphitic nanoplatelets, *Mater. Sci. Eng., B* 176 (2011) 588-595.
14. Gao, W.; Majumder, M.; Alemany, L.B.; Narayanan, T.N.; Ibarra, M.A.; Pradhan, B.K.; Ajayan, P.M. Engineered graphite oxide materials for application in water purification, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 3 (2011) 1821-1826.
15. Lu, C.; Chung, Y.-L.; Chang, K.-F. Adsorption of trihalomethanes from water with carbon nanotubes, *Water Res.* 39 (2005) 1183-1189.

## 作者簡介

### 何佳樺 小姐

現職：工研院材化所水科技組 研究員

專長：水及廢水處理材料開發與應用

### 洪仁陽 先生

現職：工研院材化所水科技組 研究主任

專長：水處理技術

### 黃盟舜 先生

現職：工研院材化所水科技組 研究員

專長：水及廢水處理材料開發與應用

### 蕭碧蓮 小姐

現職：工研院材化所水科技組 副研究員

專長：水處理技術與水質分析

# 氣候暖化台灣水資源危機風險與挑戰

文/朱健行、呂慶元、李叔龍

## 一、前言

台灣過去一百年來的平均溫上升了攝氏 1 度以上，暖化現象明顯，其重要原因就是全球溫室效應及台灣區域人為積極開發的影響。

日數全島性降低；以及三、各區降雨強度逐漸增強。亦即是：氣候暖化所造成的極端水文變化（極端豪大雨、颱風豪雨、長期乾旱等），使得台灣在新竹及花蓮之間形成一條隱形的乾濕水文分隔線，北側降雨量還在增多，南側則逐漸減少，是台灣水資源管理最大危機及隱憂。

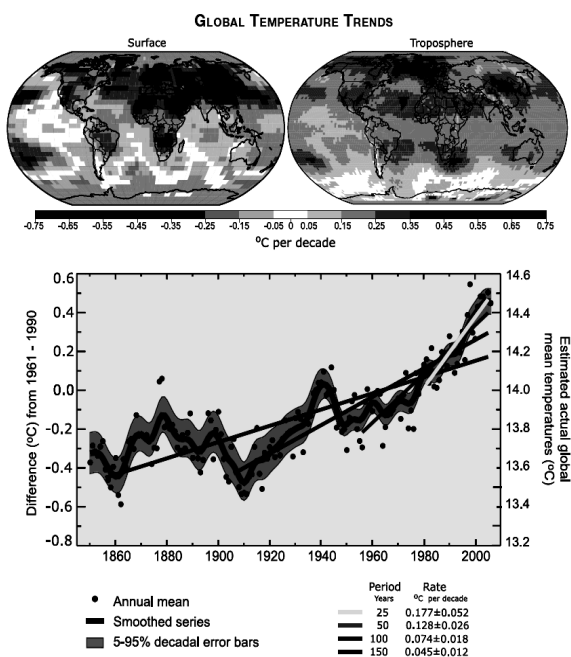


圖 1 全球氣溫趨勢

1950 年代暖化程度跨過百年平均值門檻後，水文明顯變化及氣候降雨型態不穩定的演變，不只是幅度逐漸增大，或是乾旱期增長，而且降雨強度也從 1980 年代以後快速增高，顯示地球的自然地理作用，以快速且極端的交互變遷，在回應並且調節地球表面溫度的揚升時，也對台灣水資源挑戰影響深遠。

自 1950 年台灣氣候暖化後，降雨型態明顯的特點有：一、降雨量時空變化趨向兩極發展，南北區域性差異逐漸擴大；二、降雨

Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming

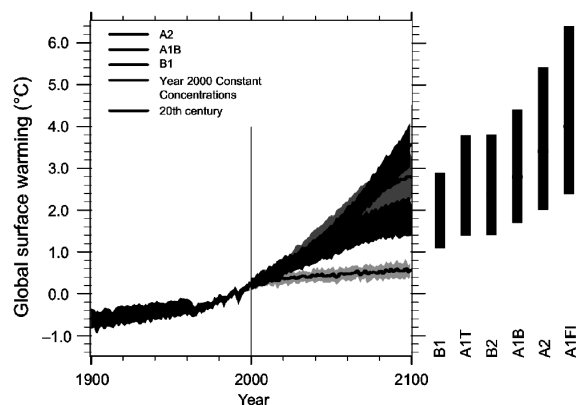


圖 2 地表暖化多重模式平均評估範圍

## 二、降雨日數與強度

更煩惱的是暖化快速增溫日夜溫差遞減，降低大氣溼度，也使得結霜、起霧的日數減少，進一步縮減每年的降雨日數。因而整個台灣的年平均降雨日數自 1950 年以來，呈現遞減態勢。以區域而言，北部地區相對和緩，西南部及東部地區則是明顯且快速的減少，尤其 1990 年之後，西南部及東部地區的年降雨日數比 1950 年代以前都整整降低了一個月以上。

另一方面，台灣平均降雨強度與降雨日數的變化型態剛好相反，尤其豐雨期的降雨

強度，北部地區由於降雨量之增加，降雨強度上升率是東部 2 倍，西南部地區近年更不斷增高，屢破紀錄，成為防災噩夢。

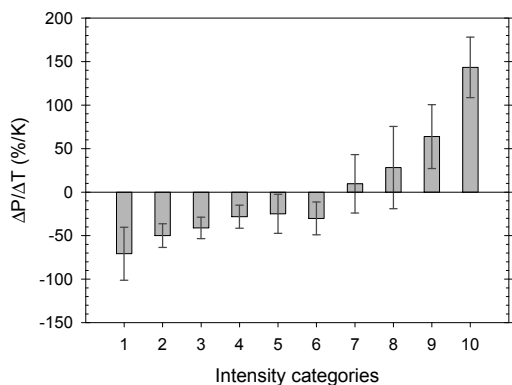


圖 3 全球氣溫若已知，這些值可預測未來極端降雨

### 三、水資源運用衝擊

台灣水資源的來源包含了地表水及地下水 2 個主要部分，半世紀以來不利之降雨趨勢變化，的確已經對台灣水資源運用造成幾方面之衝擊：

- (一)地表水的可引用量日漸降低
- (二)地下水超限的比重居高不下
- (三)因地理地質不佳水庫淤積快速升高。

台灣年用水量自 1950 年逐漸成長，到 1980 年之後就呈現停滯的狀態，大體上仍維持在每年供水 180 億噸左右的範圍。但其中地表水（含河川及水庫的總和）所佔的比例，自 1980 年以後，則呈現降低趨勢。此情形基本上反映台灣降雨量長期以來南北差異性擴大，以及降雨日數全面降低的影響；加上近三十年來河川因人為汙染嚴重，又進一步縮減可用的地表水量，因而造成近年來台灣地表水引用量，難以按需求增長的困境。

相對的地下水抽取量自 1980 年代以後

就不得不大幅增加，以因應各項標的用水(農業用水、民生用水、工業用水)的需求。但地下水的抽取量已開始超越安全抽取界線(約為年供水量的 20%)，尤以 1990 年代初期最嚴重，每年抽取地下水約 70 億噸，(高達年用水量的 40%)。

由於地下水抽取以農業灌溉為主，超限區域就都集中在抽取量最大的西南部。地下水資源長期透支下來，已造成地下水位下降、沿海地區地層下陷、海水入侵、地下水質惡化等許多問題。

### 四、地下水超限使用

近年來夏季豐水期的水患，除了都市地區排水系統承受不了又急又大的降雨而淹水外，從彰化、雲林、嘉義、台南、高雄到屏東的淹水地區，大部分都位於超抽地下水的地層下陷區，下陷累積面積已達 2,600 平方公里，其平時就排水不良，豪雨時更是只進不出，這些不只是永久性的國土損害，除了是地下水超限使用的後果，更使得國家每年必須耗費數百億進行修補的工作。

台灣是歐亞板塊與菲律賓海板塊相互擠壓造成，地質作用原本就相當活躍，由於近年來降雨強度逐漸升高，加上 1980 年代以後的鬆綁政策，山坡地的開發日趨普遍，山區水土侵蝕作用大幅增強，對台灣 44 個重要水庫帶來激烈的沖刷與淤積。2004 年艾利颱風及 2009 年莫拉克颱風所帶來超強豪雨，分別給北部的石門水庫，以及南部的曾文、南化水庫造成嚴重淤積；未來降雨強度還可能會進一步增高，此危機仍將持續威脅台灣水庫之壽命，進一步降低地表水質的穩

定供應與水質的安全。

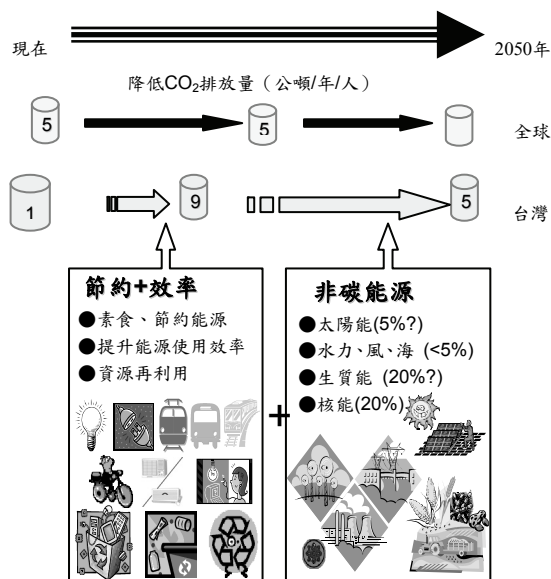


圖 4 節能減碳之效果

## 五、極端旱澇與因應

氣候暖化對全世界所帶來的水文極端性升高的趨勢（旱澇災害或是大陸地區發生之旱澇急轉），將使台灣旱澇更趨頻繁發生，防災工作也相對更棘手。

未來除了氣候會繼續加速暖化，帶來更極端旱澇的氣候變遷外，海平面上升更是跨越百年以上的持久威脅，不但將會逐漸淹沒沿海低平地區，影響產業及身家安全，也會縮減水資源(包括地表水及地下水)的有效使用，對台灣衍生的威脅不可輕忽。對此挑戰，我們必須用全新的思維去面對；因此我國當前最重要之工作與目標、因應與準備。

- a. 開拓多元化的水源，減少浪費水資源。
- b. 加強區域性水源調配，增設備援的供水系統。
- c. 充分利用山麓區河川的伏流水，進行地下水人工補注。
- d. 預防海平面上升的衝擊，即刻開始進行沿海低窪區的遷移規劃。

要解決未來缺水的問題，除了「開源」以外，「節流」及「減少耗損」更是管理上不可缺少的重要考量。因為不節制無謂的浪費，加上提昇用水效率，即使開發再多的水，也是不夠飲用的。

在開源方面：

- a. 推廣雨水儲蓄貯留系統；
- b. 開發海水資源，降低淡化成本；
- c. 加強多元化水源開發。

在節流方面：

- a. 要提高灌溉效率；
- b. 加強廢水回收使用；
- c. 建立合理水價及有價水權制度；
- d. 雨季、旱季「差別水價」；
- e. 降低自來水漏水率。以上都是要努力推動的工作。

台灣豐水期河川流量豐沛，然而受到降雨強度及濁度的影響，每年降雨量之整體使用率只有 15% 以下，絕大部分都平白流失。若能大規模開發河川位於山麓區的伏流水，不但水量穩定，水質良好，且可大幅度提高河川引用率。同時，利用豐沛之伏流水進行地下水人工補注，是結合地表水及地下水聯合運用的方式；可充分利用台灣平原地區地表下，目前透支的蓄水空間，加速天然地下水庫的貯存水量，擴大蓄水效益，延長地表及地下水的使用期，則可突破蓄水瓶頸及有效調節水資源的困境。

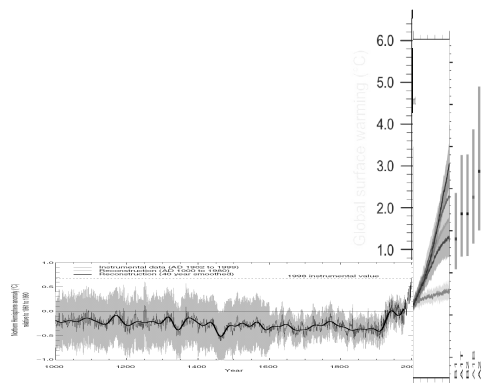


圖 5 相對 20 世紀的 0.6 度增溫約 3-6 倍，即 1.8~4.0 度

## 六、多元化水源開發

積極進行多元化水源之開發利用，以符合國際間水資源發展趨勢，並在生活環境的改善、生產環境的建設及生態環境維護等取得是當平衡，俾達水資源永續發展的總體目標；需辦理「多元化水源開發綱領計畫」，作為最高指導原則。

### (一)未來水資源對策：

1.既有設施永續經營；2.多元化水源開發；3.國土規劃；4.綠建築；5.二元供水系統；6.節約用水；7.虛擬水；8.農業用水有效利用；9.地下水利用；10.水利產業；11.民眾參與；12.水權合理分配；13.水價合理調整。

### (二)多元化具體措施概述：

1.完成「多元化水源開發綱領計畫草案」。  
2.積極推動平地水庫之興建。  
3.推動都市污水及工業廢水回收再利用。  
4.推動海水淡化。  
5.雨水回收貯留。

並且有效加強供水量分配原則之探討，即要求水源開發計畫之優先規劃推動實施，已逐步落實多元化水源之開發利用，並加速地方繁榮與國家經濟之發展。

## 七、結論與建議

面對氣候暖化加速演變的緊迫情勢，我們不但要重新規劃台灣的城鄉發展與資源配置；未雨綢繆、嚴肅審視國土資源的長期規劃，有效利用可用的水土資源及能源資源，這是我們無法迴避的重要課題。世界氣象組織已發出警訊：在全球暖化過程中，異常的高溫、乾旱、颱風、豪雨、寒潮、暴風雪等，都將在世界各地頻繁的出現；除了氣候變遷日趨極端，海平面上升也無可避免，如同聯合國所說，這是全球性的「水炸彈」危機，將會影響世界的穩定，以及各大、小

國家的永續發展。

面對這些外在不利情勢之挑戰，不論是有關台灣生態環境的風險保護，國土及水資源的管理與規劃，防災工程設計的準則；如此之迫切需求，大有為的政府實應積極加緊腳步，大刀闊斧的採取更有效的對策因應，率同民眾努力建構一個節水、省能、低碳的國家，不但可將氣候暖化所帶來衝擊降至最低，進而扭轉劣勢，導引台灣邁向永續經營且健康積極有效之水資源策略。

## 參考文獻

- 1.環境委員會，話水，1994年。
- 2.歐陽峽暉等著，水世紀，1995年。
- 3.海賀信好，世界的水道，2002年。
- 4.虞國興、蔡宜樺譯，21世紀水資源管理，2004年5月。
- 5.鄭麗文譯，全球新政，2009年。
- 6.朱健行，極端旱災氣候變遷衝擊下自來水因應對策之探討，2011年。
- 7.高寶書版，水資源戰爭，2011年4月。
- 8.陳福田，極端氣候、缺水危機與策略彈性，自來水協會會刊30卷2期。
- 9.艾爾·高爾，不願面對的真相，2007年。

## 作者簡介

### 朱健行先生

現職：臺北自來水事業處供水科工程員  
專長：氣候變遷、水資源管理

### 呂慶元先生

現職：臺北自來水事業處供水科幫工程司  
專長：機電工程設計、工程及水資源管理

### 李叔龍先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司  
專長：機電工程設計、水壓管理



### 「自來水」會刊31卷第4期(124期)啓事

本刊31卷第3期(123期)「台灣自來水公司漏水率之探索」乙篇，作者江春盛先生於101年10月來函表示，P69頁部分內容與P71頁附表4與原著不同，要求刊登其原著內容，特此刊出。

原71頁刊登內容：

表4 100年度管線檢修漏費用統計表

項目	檢漏經費(元)	備註
一、人事費用(含薪資、獎金、加班費及差旅費)	86,544,370	檢漏作業人員費用
二、檢出件數	8,698	含地上檢出件數 4434 件
三、檢漏成本(元/件)	9,950	
四、修漏費用	30,863,705	
五、總費用(一+四)	117,408,075	檢修漏加總費用

作者江春盛先生原著內容如下：

100年度管線檢修漏費用統計表

(表四)

項目	檢漏經費(元)	備註
一、人事費用(含薪資獎金)	78,611,232	作業人員實際薪資
二、直接薪資(人事費用加30%)	102,194,602	保險費及退休金
三、管理費用(直接薪資50%)	51,097,301	依採購法計費辦法上限為100%
四、其他費用(直接薪資及管理費用合計之20%)	30,658,380	依採購法計費辦法上限為30%
五、檢漏費用小計(二+三+四)	183,950,283	檢漏作業費用
六、檢出件數	8,698	含地上檢出件數4434件
七、檢漏成本(元/件)	21,149	
八、修漏費用	30,863,705	
九、總費用(五+八)	214,813,988	檢修漏加總費用

第69頁第四、總結第一段第5行原著應為：「...統之漏水量，若加計淨水場內原水量及出水量之差損以12%計，另若...」，第10行原著應為：「...則推算台灣自來水公司100年底從水源至配水系統之水量差損將達39%(20.19%+12%+7%=39.19%)，等於每年差損約12.19億立方公尺水量...」，第14行原著應為「...則其差損之成本效益將達366億元，應非水公司對外公佈之漏水率僅20.19%」。

第69頁第四、總結第二段第14行原著應為：「...又依該公司統計100年檢修漏作業費用約為2.1億元(詳表4)，...」

「台灣自來水公司漏水率之探索」作者同意刊登啓事簽署：

江春盛

101-11-14

#### 【本刊聲明】

作者刊登內容一切文責由作者自負，與本刊無涉，作者之意見不代表本刊立場。

## 2012 第五屆亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議紀實

文/蔡博淵、彭郁馨、陳奐男

### 一、「亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議」簡介

於 2007 年，東京都水道局(The Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government) 為使亞洲各城市自來水事業機構在人力資源運用方面，能有經驗交流、知識共享的機會與平台，發起了「亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議」(Asian Waterworks Utilities Network of Human Resource Development)，並以各單字第一個字母簡稱為 A1(WUN)-HRD，期能藉此平台提升亞洲自來水事業整體之技術層次。

自 2008 年第一屆「亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議」由東京都水道局於東京舉辦以來，A1-HRD 以每年一次的方式在亞洲各城市舉辦，2009 年第二屆移師至韓國首爾，2010 年第三及 2011 年第四屆則分別於台北及東京舉行，透過每屆不同的主題分享，各會員國得以面對面研討在辦理人力資源業務或訓練計畫上所面臨之問題及經驗分享。而 2012 年則由台灣自來水公司邀請各國至美麗的高雄澄清湖畔，參與第五屆亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議（以下簡稱第五屆會議）。

### 二、有關第五屆「亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議」

2012 年 10 月由本公司（台灣自來水股份有限公司，Taiwan Water Corporation）主辦

之第五屆會議中（5th Asian Water Utility Human Resource Development Network Meeting, October 17-19, 2012 in Kaohsiung），邀請了臺北自來水事業處（Taipei Water Department）、韓國首爾大都會政府自來水辦事處（Seoul Metropolitan Government, Creativity Division of Waterworks）、韓國 K-water 公司(Korea Water Resources Corporation)、日本東京都水道局（Tokyo Metropolitan Government, Bureau of Waterworks）、泰國大都會自來水管理局（Metropolitan Waterworks Authority of Thailand）、澳門自來水公司（Macao Water Supply Company）等，共計 5 個國家 7 個自來水事業單位共襄盛舉。

本次會議研討重點為「無費水量管理」（Non-Revenue Water Management）之人才培育及訓練，並延伸分享各國在降低漏水率方面的各種技術及經驗。第五屆會議為期三日，由 10 月 17 日的開幕晚宴揭幕、10 月 18 日為會議重點、10 月 19 日則在帶領外賓參訪澄清湖觀光區及淨水場後落幕。

身為第五屆 A1-HRD 的主辦單位，本公司陳總經理福田在 17 日的開幕晚宴致辭中，特別提及近年來亞洲各國經濟快速發展，對自來水之需求壓力龐大，如何確保供水系統之有效管理相當重要如圖 1。為強化對漏水控制之能力，台灣自來水公司陸續投入大量經費執行降低漏水的長期計畫，雖然逐漸獲得相當的成效，但仍自許在技術及控

制方法上力求精進。希望藉由本次會議，得以透過持續性之國際交流如圖 2，相互學習成長以提昇技術，亦期許台灣自來水公司能經由此次辦理國際性研討會的經驗，在未來更與國際接軌，逐步朝「成為國際級自來水事業」之願景邁進。



圖 1 台水公司陳總經理於開幕式致詞



圖 2 與會人員合影致詞

### 三、各與會自來水事業近年來在「無收費水量」之管理策略及成果

經彙整各與會自來水事業近年來在「無收費水量 (Non-Revenue Water)」之管理策略及成果，在與會單位發表的簡報中，可以看出各國之自來水事業，基於節約水資源、避免二次災害、降低二氧化碳排放量或降低供水成本等目的，近年來對於自來水之管理作為，都已由以往僅重視「實際損失水量 (Real

Losses)」，逐漸朝向整體「無收費水量 (Non-Revenue Water Management)」之管理。以下分別簡介各與會自來水事業近年來在「無收費水量 (Non-Revenue Water)」之管理策略及成果：

#### (一)臺北自來水事業處

1.漏水管理四大主軸：(如圖 3)

- (1)管線汰換：配水管線 DIP 化、用戶給水管線 SSP 化。
- (2)修漏品質：修漏系統管制提升施工品質。
- (3)漏水檢測：主動漏水控制。
- (4)水壓管理：加壓站操作最佳化。

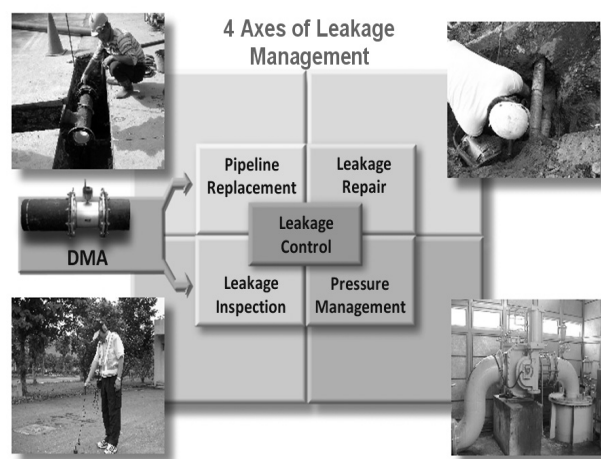


圖 3 臺北自來水事業處漏水管理四大主

2.以小區計量作為檢核的工具：管網改善集中在小區內執行，並以小區計量檢視管網改善成效，且由漏水嚴重的小區優先施作。

(1)斷除早期遺留之不明管。

- ①巷口整理。
- ②全面開挖。

(2)快速鎖定漏水區域與估算漏水量。

- ①分割次區。
- ②最小流法。
- ③機率法。

(3)加速小區施作與管理。

- ①弱點分析。
- ②長期管理模組。

(4)提升用戶供水服務。

- ①穩定管網水壓。
- ②加強施工宣導。
- ③)落實路平專案。

3.前開策略可綜合為以下幾個要項：全線開挖、優質管材(給水管使用不鏽鋼波狀管、配水管使用 NS 接頭及 DIP)、評核廠商施工的品質、提高效率—由弱點著手(利用漏水潛能圖，於弱點密集區優先執行小區與抽換)、長期管理—避免漏水復發。

4.帳面漏損控制措施：

- (1)推動 C 級水表之採用。
- (2)開發異常水栓預測資訊系統。
- (3)分析用水設備對於計量之影響。
- (4)大用水戶及大表之用水管理。
- (5)水表使用年限之探討。

5.成果：

(1)漏水率由 91 年的 28.44%降低至 100 年的 20.51%，共降低 7.93%。

(2)無收費水量每年降低約 42,000CMD。

6.另北水處近年來在降低漏水方面表現卓越，在本次會議中也和各國分享人才培育及辦理職務輪調(Job Rotation)的成果：

(1)北水處強調其重視人才素質，鼓勵員工擁有多種職業證照，並且設置降低漏水率的硬體訓練場所，以培養處理及防治漏水之人才，更以一年兩次的 NRW 研討會提供適度壓力讓員工加速成長。除國內研討會外，為能更加擷取新知識、新技術，北水處每年派員至國外考查，同時也邀請各國

到國內做實務經驗交流。

(2)為使員工能力多元化，北水處定期辦理職務輪調，並掌握二大原則：第一、先了解員工能力之差異性。北水處在其內部知識網當中提供一個平台讓員工發表各種工作上的創意或提案，並且每月評審一次，以激發員工潛能、分辨員工能力。第二、是建立四年輪調一次的體制，讓員工藉此制度培養多方面之綜合能力，也更能洞悉單位業務之整體性及全面性。

當然，輪調範圍和工作內容事先已作分類，在性質相近之工作範圍內進行輪調，並且分批調動，可減低因職務輪調造成的不便。另針對中高階主管部份，則委託外部人力資源管理專家上課，以增進中高階主管管理及領導之能力。

北水處亦強調，唯有培養員工創新的能力以及給予適度的壓力，員工及單位才能不斷進步，否則日復一日相同的工作只會消磨掉優秀人才，這也是其積極辦理職務輪調的主因。

## (二)韓國首爾大都會政府自來水辦公室

1.其降低 NRW 作為，包括快速維修、專業訓練、設施維護、建立系統等 4 大方向，其下並有 8 個執行策略：

- (1)建立分區系統。
- (2)移除廢棄管線。
- (3)提升管線管理效率。
- (4)系統化的檢修漏。
- (5)管線圖資整備。
- (6)歷史資料管理。
- (7)水壓管理。
- (8)即時監控系統。

2.擬定降低 NRW 專案，內容如下：

(1)特殊的降低 NRW 專案：

- ①管線汰換：自從 1984 起持續推動長期計畫，已汰換超過所有管線的 95%(13,034km)。
- ②夜間最小流量測法。
- ③增建配水池 (間接供水)：持續建置間接供水系統取代直接供水系統，確保緊急停水時能穩定供水安全 (供水錯誤、電力錯誤等)，藉由增建間接供水系統提供適當的管線水壓，以提升售水率。

(2)一般的降低 NRW 專案：

- ①移除未使用管線。
- ②系統化的尋找與修理漏水。
- ③都市重建地區的巡查。
- ④注意竊水。

3.帳面損失管理：水表檢測數量 1,919,000 個，每隔一個月檢測一次，以確保水表準確度。

4.教育訓練：每年舉辦 NRW 研討會及論壇，尋找降低 Non-Revenue Water 的新技術。

5.成果：售水率由 1995 年的 61.9% 提升至 2006 年的 90%，最近 2011 年的統計結果為 93.5% (亦即 NRW 僅 6.5%)。

### (三)韓國 K-water 公司

1.NRW 管理策略：有效率及具成本效益的配水管網操作維護能藉由相關作業改善供水系統及減少漏水。

2.降低 NRW 的主要工作：

- (1)配水系統的調查。
- (2)圖資數化與更新。
- (3)配水管網的量測與分析。

(4)DMA 的建置。

(5)NRW 的評估與優先性：

- ①利用每月從 DMA 的供水量與用水需求得到的流量資料進行 NRW 與 MNF (夜間最小流) 分析。
- ②藉由年度水平衡表及 MNF 分析評估漏水損失。
- ③漏水降低策略中以 DMA 優先。
- (6)降低 NRW 主要計畫的擬定：主要計畫內容包括管線與附屬設施的長／短期汰換、更新、維修，以及配水管網操作的改善。

(7)降低 NRW 的行動方案。

3.成立 K-water Academy 學院，進行 NRW 訓練課程：

(1)K-water 員工訓練課程 (課程主題為「降低無收費水量 (Non-revenue Water Reduction, NWR)」，課程天數：5 日)：

- ①NWR 策略(2h)。
- ②配水系統管理(2h)。
- ③)NWR 研討(2h)。
- ④)配水系統水壓管理(2h)。
- ⑤)配水系統水質(2h)。
- ⑥)市政供水系統實地考察 (8h)。
- ⑦)NWR 案例簡報(2h)。
- ⑧)漏水偵測技術介紹與練習(2h)。
- ⑨)分區系統(2h)。

(2)國際訓練課程 (課程主題為「降低無收費水量及自動化」，課程天數：5 日)：

- ①管線更新的新技術(3h)。
- ②管線更新案例分析(2h)。
- ③NRW 降低技術 (2h)。
- ④)NRW 降低案例分析(1h)。

⑤)行動計畫的發展(2h)。

4.成果：K-water 公司參與 ROT 的城市中，多數之 NRW 率皆明顯降低。

#### (四)日本東京都水道局

1.漏水防治策略：

(1)汰換管線及改善管線使用材質

①配水管汰換(逾齡管線、早期的 DIP 管等)。

②用戶給水管的材質改善作業。

(2)漏水的及早偵測與維修

①例行性檢查(巡查作業、漏水量量測作業等)。

②行動作業。

(3)獲取防止嚴重漏水的技術

①訓練及發展中心；訓練如圖 4。

②東京水道技術專家認證。

2.採用不銹鋼用戶給水管施工後，漏水率由 1980 年的 85%降低至 2010 年的 2.7%。

3.成果：售水率約為 96.3% (亦即 NRW 僅 3.7%)，其中漏水率僅 2.7%。

#### (五)泰國大都會自來水管理局

1.擬定 2012-2017 的主要計畫，內容包括以下

幾個面向：

(1)設施改善。

(2)人力發展。

(3)程序發展。

(4)創新科技發展。

(5)組織化架構與管理。

2.漏水損失管理基礎：

(1)知識倉儲。

(2)管理報告。

(3)設施資訊管理。

(4)水壓管理。

(5)年度水平衡表。

(6)漏水的經濟規模。

(7)夜間流量分析。

(8)現場服務與支援系統。

3.教育訓練：

(1)新進檢漏人員的供水損失管理基礎(Basic Level)課程

①供水損失的定義。

②大都會自來水管理局(MWA)的目標。

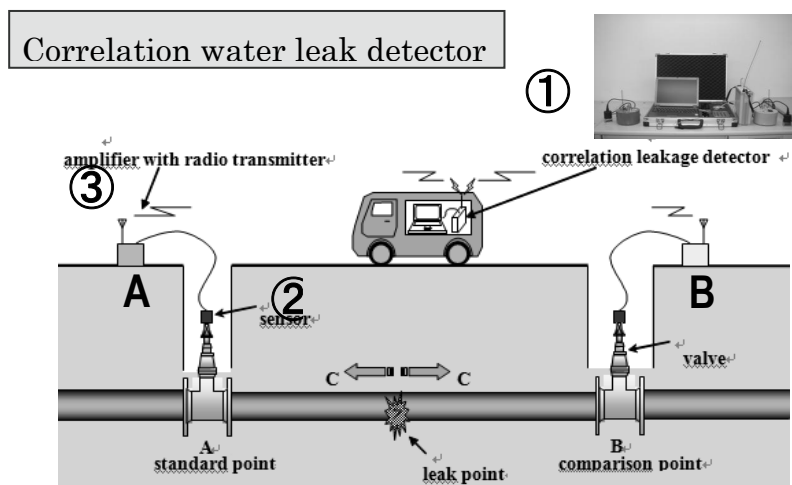


圖 4 東京都水道局檢漏訓練

- ③降低實際損失水量。
- ④DMA 設計概念。
- ⑤DMA 優先性。
- ⑥漏水偵測設備操作與維護。
- (2)資深檢漏人員的供水損失管理進階 (Advance Level)課程
  - ①漏水的原理。
  - ②技術人員在供水損失管理的作為。
  - ③WLMA 系統概要。
  - ④減壓閥概念。
  - ⑤地理資訊系統。
  - ⑥如何使用 MPS。
  - ⑦DMA 內的壓力管理。
  - ⑧階段測試、零水壓測試研習。
- (3)工程師的供水損失管理工程師(Engineer Level)課程
  - ①MWA 供水損失目標與政策。
  - ②工程師在供水損失管理的作為。
  - ③漏水的原理。
  - ④水平衡表。
  - ⑤DMA 優先性。
  - ⑥RTU 知識。
  - ⑦階段測試、零水壓測試研習。

- ⑧MNF 分析。
- ⑨階段測試分析。
- 4.泰國大都會自來水管理局的最佳創新：網路測漏實習場 (Leakage yard on Cyber)
  - (1) 選擇您想要測試您檢漏技術的測驗。
  - (2)網路測漏實習場將隨機設定漏水點、漏水聲及頻率。
  - (3)結果將顯示你的分數、百分比與分類等級。
- 5.檢漏訓練場 (Leakage Survey Training Yard)，如圖 5 及圖 6 所示。
  - (1)於檢漏訓練場預埋管線，並隨機鑽孔作為假設漏水點。
  - (2)覆土後即可作為員工訓練測漏技術之訓練場。

**(六)台灣自來水股份有限公司**

- 1.降低漏水率執行方案：
  - (1)自來水管網基本資料建置 (GIS)。
  - (2)分區計量管網規劃、擬訂、建置、分析。
  - (3)檢修漏作業。
  - (4)汰換舊漏管線。
  - (5)水壓管理。
  - (6)提升工程技術與品質。



圖 5 泰國大都會自來水管理局網路測漏實習場 (Leakage yard on Cyber)



圖 6 泰國大都會自來水管理局檢漏訓練場 (Leakage Survey Training Yard)

## 2. 檢漏現行作法：

逐年編列年度檢漏計畫，原則以選擇「高漏水區域」及「高漏水潛勢區域」列入年度計畫型檢測漏工作並加強密集辦理檢測及防漏，配合實際需求另有機動型、專案檢漏計畫、DMA 小區檢漏控管及雲端資訊化控制防漏等具體作為藉以找出漏水點，有效降低漏水率。

## 3. 成果：

漏水率由 93 年的 23.78% 降至 100 年的 20.19%。

## 四、結論

在本次會議的尾聲，除確定第六屆會議將由韓國 K-water 公司主辦外，會議主題並定為「Expert Training Course for Waterworks」，各與會單位將在來年分享培養專業人才的經驗，並透過此會議持續性地交流及學習，提昇自來水技術。

總結來說，經由本次會議中亞洲各國自來水事業之研討與交流，可獲得許多寶貴經驗，對未來台灣地區相關自來水事業進行 NRW 研究、主要計畫研擬時，均為重要之參考方向：

(一)無論漏水率降低之成效是否顯著，管線

設備資產之妥善管理及維護(包括管種選擇、管線施工、管線維護、管線更新及汰換)為與會各國降低漏水損失的一項重要工作，且由東京都水道局及臺北自來水事業處的經驗顯示，搭配 DMA 檢測及優質管材的選擇(給水管使用不鏽鋼波狀管、配水管使用 NS 接頭及 DIP)，更能提升其執行成效。

(二)為降低整體 NRW，自來水事業的管理策略，應從以往僅重視「實際損失水量」朝向兼顧「無計費合法用水量」及「帳面損失水量」，其中應予以加強改善的部份即在於水表的經常性與定期性檢核、維護，以及計量技術的提升(例如換裝 C 級表)。

(三)東京都的 24 小時修漏作業，能有效及快速的控制漏水損失，也使得漏水率能控制在傲視國際的 2.7%，雖然可能背後可能須有大量的人力與經費支持，但其無形的效益有助於提昇自來水事業的形象。

(四)專業人才的教育訓練為所有降低 NRW 作業中最重要的一環，各國均致力於設置專業培訓機構及建立教育訓練機制，

其中日本東京都水道局建立的水道技術專家認證制度與泰國大都會自來水管理局的分級訓練制度（基礎、進階、工程師）、網路學習機制（Leakage yard on Cyber）等，均為我國自來水事業未來推動專業人才培訓可參考之作法。

(五)為提供創新及本土化之技術，以及建立長期自來水研究資料倉儲系統，結合自來水事業相關之產官學界，成立專業研究、教育訓練機構或實驗室，亦為我國可參考辦理之作法。

## 作者簡介

### 蔡博淵先生

現職：台灣自來水公司供水處工程師

專長：管線管理

### 彭郁馨小姐

現職：台灣自來水公司人力資源處組員

專長：人力規劃、人力資源管理

### 陳奐男先生

現職：台灣自來水公司人力資源處課員

專長：人力規劃、人力資源管理

## 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(99 年 5 月部分修正)

### 一、目的

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

### 二、獎勵對象

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

### 三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

### 四、評獎辦法

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

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

### 五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

# 我國地方政府就水質水量保護區之管制與 補償制定自治條例之可行性

文/徐良維

## 摘要

現行自來水法第 11 條所稱之「水質水量保護區」，因保護區劃設面積過大，多數面積範圍之管制並不影響水質水量，再加上我國中央政府並未就水質水量保護區之設置「分級分區管制制度」，及廢止保護區之困難，致使保護區之管制已不符合現況，亦導致過度限制該地區居民之權益，實非妥適。本文即在不以廢止該保護區之前提下，借鏡於日本之經驗，思考地方政府在法制上有無其他方案可供解決，具體而言即探討地方政府就水質水量保護區之管制與補償可否制定專門的自治條例以資因應之問題。

## 一、源起

有關玉峰堰上游之曾文溪自來水水質水量保護區自 72 年起即長期限編，位處流域中游段的玉峰堰每日實際供水量僅 4-5 萬噸，劃設面積卻高達 417 平方公里，佔臺南市面積的五分之一，受限人口為 5 萬餘人，相較於附近之曾文、烏山頭及南化等三大水庫供水量與劃設面積相比，縱水質水量保護區有保護水質、水量為正當理由（司法院大法官釋字第 542 號解釋理由書參照），但因該保護區劃設面積過大，多數面積範圍之管制並不影響水質水量，再加上我國中央政府並未就水質水量保護區之設置「分級分區管制制度」，導致保護區之管制已不符合現況，

該地區之限制似有不合比例侵犯人民財產權之嫌。另或因中央水源保育與回饋費之不足，又或因地方政府或鄉鎮市區公所之執行不力，導致因水質水量保護區之劃設，土地受限制使用之土地所有權人或相關權利人，多無法獲得合理之補償金，因而引發不少民怨。

因此，將曾文溪自來水水質水量保護區全部水源（亦即用水標的）不再作為自來水用途，係屬現行法令有關廢止水質水量保護區（即「解編」）之唯一事由，為此臺南市政府係考慮將玉峰堰用之用水標的從公共用水調整為工業用水並形式上另設工業專管方案（民生工業分隔）以茲解決。但本文認為，該方案因恐有花費高額成本及無法提供南科園區廠商挹注資金之誘因等缺點，甚最終亦可能無法達成解編之目的，實應思考其他解決方案。基此，本文乃以臺南市政府此個案為基礎，介紹我國現行水質水量保護區之管制與補償法制，並借鏡日本法之經驗，探討地方政府就水質水量保護區之管制與補償制定自治條例之可行性。

## 二、水質水量保護區之劃定與劃定程序

按現行自來水法第 11 條前段係明定：「自來水事業對其水源之保護，除依水利法之規定向水利主管機關申請辦理外，得視事

實需要，申請主管機關會商有關機關，劃定公布水質水量保護區」。立法理由係為保護供應家用即公共等民生用水之水源，依經濟部之見解，因目前由水庫供應自來水水源者，並不以自來水事業所興建之水庫為限，是上開條文之規定，並無以自來水事業為唯一得申請劃定者之限制，而係為維護民生用水安全，乃特定於自來水法中明定賦予其劃定之權責。故水庫主管機關就所興建有供應自來水水源之水庫或其他有供應自來水水源之水庫管理機構，為維護水庫之水源水質，自得依職權或申請劃定保護區（經濟部 97 年經授水字第 09720221060 號函參照）。因此水庫主管機關（即水利主管機關）自得依職權或依自來水法之申請劃定水質水源保護區。

而有關水質水量保護區之劃定原則，依現行「水質水量保護區劃定、變更及廢止作業要點」第 3 點之規定參照：「以自來水水源取水口以上之天然排水所匯集地區為範圍。」、「自來水水源來自離槽水庫或越域引水者，其導水路如屬開放式明渠有受污染之虞者，其劃入範圍依個案實際狀況劃定；如屬封閉式之輸水管線無污染之虞者，則免劃入。」、「自來水水源為湧泉或地下水等特殊情形者，依個案實際狀況劃定。」在此基礎下，如自來水事業依自來水法第 11 條第 1 項規定，申請主管機關會商有關機關劃定公布水質水量保護區時，應填具申請書，載明水源概況、保護區範圍及劃定之理由，並檢附標示地上建物及界限之地形圖為之（平地比例尺不小於五千分之一，山地比例尺不小於一萬分之一）（自來水法施行細則第 2 條

第 1 項規定參照）。另如有「自來水水源取水口位置異動」、「水質水量保護區內部分水源不再作自來水用途」、「水質水量保護區有其他水源引入者，該引入水源經檢討有需要保護者」、「水質水量保護區重疊者」等情形時，自來水事業尚得申請變更為水質水量保護區（水質水量保護區劃定、變更及廢止作業要點第 4 點規定參照）。

至關水質水量保護區之劃定、變更程序係應經過三階段：第一階段為「擬議階段」。申請單位應針對水質水量保護區進行劃定、變更或廢止前後水質與水量、保護區管理、周遭環境衝擊及自來水事業經營之影響等進行檢討評估，經徵詢相關單位或專家學者意見，並視需要辦理民意調查及說明會，評估其可行性後提出申請書。第二階段為「審議階段」。申請書送達經濟部後，先由水利署就書面資料之完整性進程序審查後，再送由經濟部自來水水質水量保護區審議會（以下簡稱審議會）工作小組進行初步審查，必要時得進行現場勘查。工作小組完成審查後，水利署應將該小組之審查意見提報審議會審議。最後階段為「審定階段」。經審議會會議決議後應簽報經濟部核定，再依程序辦理相關公告及通知事項」（水質水量保護區劃定、變更及廢止作業要點第 6 點第 1 項規定參照）。而有關水質水量保護區之「廢止」即「解編」，與水質水量保護區之劃定與變更相同，皆依「水質水量保護區劃定、變更及廢止作業要點」第 6 點規定辦理。惟有關廢止之事由，僅於同要點第 5 點明定：「水質水量保護區全部水源不再作為自來水用途，應廢止該水質水量保護區」，

除此之外並無其他法令規定之明文。

惟依現行自來水法施行細則第 3 條之規定，為審議水質水量保護區之劃定、變更或廢止，各級主管機關得要求機關代表及專家學者組成審議會審議之。然實際決定水質水量保護區之劃定，則係由經濟部水利屬提報中央審議會決議後由經濟部核定，亦即係為中央政府而非地方政府說了算。

### 三、水質水量保護區劃定後之限制

當水質水量保護區依自來水法及相關規定劃定即被「限編」後，所受之法令限制主要有三：「自來水法第 11 條第 1 項後段各款之限制」、「飲用水管理條例第 5 條及飲用水管理條例施行細則第 7 條至第 11 條有關不得有下列污染水源水質行為之限制」及「非都市土地開發審議作業規範之限制」。

(一)有關「自來水法第 11 條第 1 項後段各款之限制」，若依「自來水法第 11 條自來水水質水量保護區禁止或限制事項補充規定」，係指下列有害水質與水量之行為：

- 1.濫伐林木或濫墾土地。即包括違反水土保持法第 8 條、第 12 條、第 19 條或第 22 條規定、違反山坡地保育利用條例第 32 條之 1 規定、違反森林法第 30 條規定及違反風景特定區管理規則第 14 條規定而言。
- 2.變更河道足以影響水之自淨能力。即指違反水利法第 9 條或第 61 條規定及違反水污染防治法第 5 條規定而言。係指土石採取或採礦、採礦所排放之廢水違反水污染防治法第 7 條規定而言。
- 3.土石採取或採礦、採礦致污染水源。係指違反水污染防治法第 7 條或第 9 條規定而

言。

- 4.污染性工廠。係指開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準第 3 條第 1 項第 1 款附表一、第 3 款附表二、第 31 條第 1 項第 24 款第 1 目附表三及第 2 目附表四所列各業別之工廠而言。
  - 5.傾倒、施放或棄置垃圾、灰渣、污泥、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍骸。係指屬於廢棄物清理法所稱之廢棄物，而未依該法排出、貯存、清除及處理者而言。而所稱傾倒、施放或棄置土石，則係指下列情形之一：「屬於廢棄物清理法所稱之廢棄物，而未依該法排出、貯存、清除及處理者」、「屬於營建剩餘土石方處理方案所稱之營建工程剩餘土石方，而違反該方案或其他有關營建剩餘土石方處理之法令者」而言。至所稱之傾倒、施放或棄置其他足以污染水源水質物品，指另經主管機關公告者而言。
  - 6.以營利為目的之飼養家畜、家禽。係指飼養規模達畜牧法第 4 條規定之應申請畜牧場登記者而言。
  - 7.高爾夫球場之擴建。係指飲用水管理條例施行細則第 11 條規定所稱之擴建者而言。
  - 8.其他能源。指飲用水管理條例施行細則第 8 條規定所稱之其他能源而言。
  - 9.其他足以其他足以貽害水質、水量，經中央主管機關會商目的事業主管機關公告之行為。
- (二)有關「飲用水管理條例第 5 條及飲用水管理條例施行細則第 7 條至第 11 條有關不得有下列污染水源水質行為之限制」，主要係依飲用水管理條例第 5 條第 4 項規定，就「飲用水水源水質保護區」

之範圍及飲用水取水口之一定距離，由直轄市、縣（市）主管機關擬訂，報請中央主管機關核定後公告之。其涉及二直轄市、縣（市）以上者，由中央主管機關訂定公告之。雖與「水質水量保護區」之劃定程序有所不同，且此時係由地方主管機關主動劃定而非透過自來水事業向中央申請，但因地方政府擬訂時多會參照水質水量保護區之劃定範圍，而多與其範圍重疊，因此本文認為下列限制幾乎等同於水質水量保護區之限制：

- 1.非法砍伐林木或開墾土地。
- 2.工業區之開發或污染性工廠之設立。所稱污染性工廠，係指依開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準所列各業別之工廠而言。
- 3.核能及其他能源之開發及放射性核廢料儲存或處理場所之興建。所稱其他能源之開發，係指火力發電廠及專業汽電共生發電廠之興建或擴建而言。
- 4.傾倒、施放或棄置垃圾、灰渣、土石、污泥、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍骸或其他足以污染水源水質之物品。
- 5.以營利為目的之飼養家畜、家禽。
- 6.新社區之開發。但原住民部落因人口自然增加形成之社區，不在此限。所稱新社區之開發，係指規模在二十戶以上社區之開發。
- 7.高爾夫球場之興、修建或擴建。所稱高爾夫球場之修建，係指下列情形之一者：「高爾夫球場現有建築物之基礎、樑柱、承重牆壁、樓地板、屋架或屋頂，其中任何一種有過半之修理或變更者」、「高爾夫球場

現有球道之變更地形者」而言。而所稱高爾夫球場之擴建，係指高爾夫球場面積建築基地面積或球洞數增加者而言。

- 8.土石採取及探礦、採礦。
- 9.規模及範圍達應實施環境影響評估之鐵路、大眾捷運系統、港灣及機場之開發。
- 10.河道變更足以影響水質自淨能力，且未經主管機關及目的事業主管機關同意者。
- 11.道路及運動場地之開發，未經主管機關及目的事業主管機關同意者。
- 12.其他經中央主管機關公告禁止之行為。

(三)所謂「非都市土地開發審議作業規範之限制」，即係依區域計畫法第 15 條之 2 第 2 項所訂定之「非都市土地開發審議作業規範」下列規定之限制：

- 1.申請開發之基地，如位於自來水水質水量保護區之範圍者，其開發應依自來水法之規定管制。其基地污水排放之承受水體未能達到環境保護主管機關公告該水體分類之水質標準或河川水體之容納污染量已超過主管機關依該水體之涵容能力所定之管制總量者或經水利主管機關認為對河防安全堪虞者，不得開發。但經區域計畫委員會同意興辦之各項供公眾使用之設施，不在此限（非都市土地開發審議作業規範，壹、總編，第 10 點第 1 項規定參照）。
- 2.開發基地所在之自來水水質水量保護區已依法公告飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之地區者，其開發應依前項規定及飲用水管理條例相關規定辦理，不受第 3 項規定之限制。但如開發基地未位於該自來水水質水量保護區已公告之飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之地區，並經飲用水主管機關

說明該自來水水質水量保護區內不再另外劃設其他飲用水水源水質保護區者，其開發僅依第 1 項規定辦理，不受第 3 項規定之限制（非都市土地開發審議作業規範，壹、總編，第 10 點第 2 項規定參照）。

3.第項基地所在之自來水水質水量保護區，於尚未依法公告飲用水水源水質保護區之範圍或飲用水取水口一定距離前，其開發除應依第 1 項規定辦理外，並應符合下列規定。但有特殊情形，基於國家社會經濟發展需要者且無污染或貽害水源、水質與水量行為之虞者，經提出廢水三級處理及其他工程技術改善措施，並經飲用水及自來水主管機關審查同意後，送經區域計畫委員會審查通過者，得不受本項第 1 款及第 2 款規定之限制。(1)距離豐水期水體岸邊水平距離一千公尺之範圍，區內禁止水土保持以外之一切開發整地行為。(2)取水口上游半徑一公里內集水區及下游半徑四百公尺，區內禁止水土保持以外之一切開發整地行為。(3)距離豐水期水體岸邊水平距離一千公尺以外之水源保護區，其開發管制應依自來水法之規定管制。(4)各主管機關依本編第六點審查有關書圖文件，且各該主管機關同意者（非都市土地開發審議作業規範，壹、總編，第 10 點第 3 項規定參照）。

4.申請開發之基地位於自來水淨水廠取水口上游半徑一公里集水區內，且基地尚無銜接至淨水廠取水口下游之專用污水下水道系統者，暫停核發開發許可。但提出上述系統之設置計畫，且已解決該系統所經地區之土地問題者，不在此限，其設置計畫應列於第一期施工完成（非都市土地開發

審議作業規範，壹、總編，第 12 點第 1 項規定參照）。前項基地如位於自來水水質水量保護區之範圍者，則依第 10 點規定辦理，免依本點規定辦理（非都市土地開發審議作業規範，壹、總編，第 12 點第 2 項規定參照）。

#### 四、水質水量保護區無「分區管制」之困境與補償制度

鑒於曾文溪水質水量保護區之劃設範圍過大及玉峰堰之供水量係屬有限之情形下，實有放寬管制之必要及於保護區內引進各種減輕人民限制之必要手段。經查現行「限制發展地區救助、迴愧、補償、處理原則」第 2 點係將「水源保護區」視為「公益性限制發展地區」，並於第 5 點「配合措施」中強調各目的事業主管機關應確實根據「安全最小標準」原則，就環境、資源、生態之保護及防災之需要，重新檢討現有限制發展地區之範圍，並予以「分級分區」管制。惟事實上，截至目前為止，我國尚無針對水質水量保護區設置分級分區管制制度之其他相關法令，以致前揭規定僅係宣示性質，並導致一旦某一地區被劃設為水質水源保護區時，即受前揭法令之多重限制，實使該地區居民之財產權持續遭到不合比例性之限制。

另一方面，我國針對水質水量保護區受限居民之補償主要分為兩部分，一係依自來水法第 12 條規定，於水質水量保護區內之原有建築物及土地使用，經主管機關會商有關機關認定有貽害水源時，得通知所有權人或使用人於一定期間拆除、改善或改變使用等造成損失之補償，並由自來水事業為之。

另一則係依自來水第12條之2之規定，經由水質水量保護區內取用地面水或地下水者向中央主管機關所繳交之「水源保育與回饋費」，於納入中央主管機關水資源基金管理運用後，除可用來支應保護區內非營利之家用自來水水費減半收取，亦可用來發放因水質水量保護區之劃設，土地受限使用之土地所有權人或相對權利人補償金之事項，該補償會視土地使用現況、使用面積及受限制程度發給補償金，由中央主管機關與地所有權人或相關權利人締結行政契約，並以私有土地所有權人或相關權利人為優先補償之對象，至於主管機關辦理補償之順序，依「水質水量保護區土地受限補償金發放標準」第4條第2項之規定為水質水量保護區內受限制使用之私有土地、鄉（鎮、市）有土地、縣（市）有土地、直轄市有土地、國有土地之土地所有權人或相關權利人。

惟依自來水法施行細則第3條之2之規定，依自來水法第12條之2有關水源保育費之徵收、締結受限補償行政契約及發放補償金，中央得委任所屬機關、委託相關法人、團體或委辦地方政府辦理。因此目前受限土地所有權人有關受限補償之申請，依「水質水量保護區土地受限補償金發放標準」第5條之規定向當地鄉、鎮、市、區公所為之，並由該公所納入年度水源保育與回饋計畫中，且由其辦理受理締結行政契約公告、契約造冊、查核、締結行政契約及發放補償金等事項。因此可知目前有關各地公所辦理補償金發放業務係屬地方制度法第2條第3款所稱之「委辦事務」，亦即指地方自治團體依法律、上級法規或規章規定，在上級政府指揮監督下，執行上級政府交付辦理之非屬

該團體事務，而負其行政執行責任之事項。

在地方各公所執行有關補償之「委辦事務」下，因此有關經費來源勢必受制於中央。並且依「水質水量保護區專戶運用小組設置要點」第9點之規定，水質水量保護區專戶運用小組行政機關每至少一次會同保護區內相關直轄市、縣（市）政府就撥付鄉（鎮、市、區）公所執行水源保育與回饋計畫款項之支用情形，派員查核；經查核為依核定計畫運用者，應通知鄉（鎮、市、區）公所限期改正；逾期未改正者，報專戶運用小組同意，停止專撥予該鄉（鎮、市、區）之水源保育與回饋經費，並追回已撥付經費，繳回專戶運用小組之專戶。因此本文認為，在現行制度下，因「水源保育與回饋費」除支用於自來水水費減半收取與補償金之發放外，依自來水法第12條之2尚支用於「辦理水資源保育、排水、生態遊憩觀光設施及其他水利設施維護管理事項」、「辦理居民就業輔導、具公益性之水資源涵養與保育之地方產業輔導、教育獎助學金、醫療健保及電費、非營利之家用自來水水費補貼等公共福利回饋事項」、「原住民族地區租稅補助事項」、「供緊急使用之準備金」、「徵收水源保育與回饋費之相關費用事項」、「使用水源保育與回饋費之必要執行事項」、「其他有關居民公益及水資源教育、研究與保育事項」。因此或恐造成中央水源保育與回饋費支用於補償金之不足，或因各地區公所之執行不力，若再加上當前玉峰堰地區水源因供水量少及曾文溪保護區辦理水費徵收成本過高，將導致因水質水量保護區之劃設，土地受限制使用之土地所有權人或相關權利人，多無法獲得合理之補償金，縱使有該地

區居民與政府機關簽訂「行政契約」之無關，但因無「事前協議」制度之設計，該居民簽訂行政契約形同強制，致使該地區居民之財產權仍持續遭到不合理之限制，更無法填補其損失。實有針對水質水量保護區之管制與補償，尋找其他解決之道。

### 五、日本地方政府制定有關「水道水源保護條例」之借鏡

日本在 1960 年代經濟開始起飛以後，隨著城市建設與工業發展導致用水量需求大增，開始意識到水源地域之管制與受限居民補償之重要性，而於 1961 年制定「水資源開發促進法」及相關補償基準，並要求自來水供水事業實施者對因該事業之實施措施而遭受損害之居民為公平合理之補償。隨後在水源地域受害居民因無法從自來水事業實施者手中得到合理之補償金額，而開始向政府表達不滿之訴求。在這樣的時空背景下，1972 年所制定之「琵琶湖總和開發特別措施法」，係為該地區水資源開發事業之促進所制定之專法，中央政府開始提高對水源地域之開發與整治之經費比例，並開始建立由自來水事業實施者外之補償機制。此後為了適用於其他地區，1973 年制定了「水源地域對策特別措施法」，並依據該法第 9 條由中央與地方共同負擔設立「水源地域基金」以作為促進受限居民生活安全之用。除此之外，地方政府亦有建立「水源保全基金」，以用來支應維護上游水源之涵養與水土之保持，例如愛知縣豐田市於 1994 年修正「豐田市基金條例」時，即特別增訂「豐田市水道水源保全基金」而開啟了先例。

另一方面，日本於水道法第 2 條強調鑑

於水為寶貴之資源，直接關係到人民之日常生活，為了維護人民之健康，使人民能適當及合理之使用水資源，國家與地方自治團體應採取必要對策，致力於保護並維持水源與自來水供水設施及周邊清潔。並要求人民於配合國家及地方公共團體的採取必要對策的同時，亦必須對水源與自來水供水設施及週邊清潔努力保持水的適當及合理使用。同法第 2 條之 2 更明示地方自治團體，必須依照該地域的自然及社會的諸條件，制定有關自來水整備計劃對策及實施相關措施，並努力於維護自來水事業之合理且有效率之營運。而國家則必須致力於制定有關水源開發、其他有關自來水基本整備及綜合性對策，並強調國家對地方自治團體、自來水經營者及自來水供水經營者進行必要的技術及財政之援助。又同法第 43 條規定，自來水事業者必要時得向相關行政機關首長及地方自治團體市長提出水污染防治意見及請求採取適當措施。

但因水道法之前揭規定僅制定相關原則性之規定，因此各地方自治團體多對此另行制定「條例」以為補充，並將水道水源保護視為地方自治法之「自治事務」。以三重縣津市為例，該市另行制定有「津市水道水源保護條例」以填補中央法律之不足，藉以展現出地方政府（津市役所）對水源保護政策之重視度。依據該條例第 1 條之規定，開宗名義即強調本條例係本於水道法第 2 條第 1 項之宗旨，以防止自來水水質之混濁、確保乾淨之水源為目的。而為了達此目的，必須保護水源地之涵養，以守護居民之生命與健康為宗旨。同時於同條例第 3 條明定地方

政府有保護水源並採取必要措施之義務、於同條例第 4 條明定居民必須努力加深有關水源保護的理解，共同實現本市有關水源保護之相關對策。第 5 條則為透過同條例第 11 條及地方自治法第 138 條之 4 第 3 項規定成立的「津市水道水源保護審議會」，以決定水源地之「指定」（劃定）、「變更」及「解除」（廢止）。惟若涉及其他地方自治團體之廣域水源之相互合作事項，依同條例第 10 條及地方自治法第 252 條之 2 第 1 項規定設置「協議會」，以協調相關合作措施。同時，同條例第 10 條尚訂有「事前協議程序」，亦即在水源保護區域內實施開發之業者，事前須和自來水業者為事前協議，而該協議內容並應聽取「津市水道水源保護審議會」之意見。

觀察日本地方自治團體之條例制定權限，主要係來自憲法第 94 條：「地方公共團體具有管理財產，處理事務及執行行政之權能，在法律範圍內，得制定條例。」以及地方自治法第 2 條第 2 項：「普通地方公共團體，處理法律或基於法律之政令所定之地區事務及其他事務」、地方自治法第 14 條：「普通地方公共團體在不違反法令之範圍內，關於第 2 條第 2 項之事務，得制定條例（第 1 項）。除法令另有特別規定者外，普通公共團體對於課予義務或權利限制事項，應制定條例（第 2 項）。因此，如法律規定地方公共團體有制定條例之義務，則當然應以條例定之，即使法律未明確規定地方公共團體有制定條例之義務，若地方公共團體認為屬重要事項，亦可制定自治條例。甚至是「自治事務」以外之「法定受託事務」（亦即來應

由國家擔當之事務，因便利性、效率性、總合性等之考量，而將之交由地方公共團體負責處理），如地方自治團體認為重要者，在不抵觸中央法令之下，亦可制定自治條例。另外地方自治法亦明定地方自治團體應負責實施自主性與綜合性之地區性行政幅廣性事務（地方自治法第 1 條之 2 第 1 項），並要求國家關於地方公共團體制度之擬定及政策之實施時，應充分尊重地方公共團體之自主性及自立性（地方自治法第 1 條之 2 第 2 項）。因此只要涉及地方自治團體之制度、政策及營運的基礎性法律，多會以地方自治團體為制度規劃進行時的立法為準，且有關地方自治團體處理事務時的法令解釋與運用基準之擬定，國家亦多會考量地方自治團體之自主性而受一定之限制。

至日本有關條例與中央法令間之關係，早期實務上以憲法第 94 條及地方自治法第 14 條為依據而站在「嚴格的法令先占」或「法律專占」角度來看待條例與法律間之關係，尤其在機關委任制度存在之時代，地方之自治立法權實受到嚴格之限制，不容許任何「上乘條例」（較法律更嚴格之管制）或「橫出條例」（法律管制對象外之事務），甚至是給付行政領域較法令優渥給付金之「福祉條例」的存在空間。但在 1970 年代以後，因公害、環境等問題致使學說上出現不少修正理論，而開始思考是否將中央之法令規定視為是「最低限度基準」，或就「地方自治之本質」、「基本人權」之角度以建構條例之自主空間。而受到最高法院 1975 年 9 月 10 日大法庭判決明示：「條例是否違反國家法令，不應僅將兩者適用對象之事項與條

文就文義為比對，還必須就各自的宗旨、目的、內容與效果，就兩者間是否發生矛盾牴觸來作出決定。」致使目前各地方自治團體就條例制定之法制實務上，多以此基礎從「對象」、「目的」、「宗旨」、「效果」及「內容」建構了避免與法律正面衝突之「立法技術」。

若從條例制定權之角度來看，日本地方法規實務上多從「事務」之角度出發，以「條例化義務」之高低（若條例化義務較低，地方公共團體即有不致定條例之裁量空間）來區分成「必須條例化之事項」（包括「與自治體經營事項存立基礎相關之事項」、「法律實施的具體化規定為義務，並與法律一體並隨之變動之事項」）、「執行業務時必須條例化之事項」（包括「限制權利、課予義務之事項」、「依據法律規定授權，並依地域實情設置限制規定之事項」、「其他與自治體經營之相關事項」）、「任意條例化事項」（住民接近地方自治團體之事項）三大項，以判斷某類事項是否應制定自治條例。其中，有關「水道水源保護條例」，若位屬水源地管轄之地方自治團體，多會因劃設水源保護區涉及居民限制權利與課予義務事務，而將之視為有「執行業務時必須條例化之事項」，因此地方政府對於水源保護區之管制，包括限編、變更或解編，即享有一定程度之裁量與政策決定權，而能因地制宜的判斷水源保護區之範圍，藉以能在兼顧管制之公益與受限居民之最小侵害性下作出合時合宜之判斷。同時，在「水源保全基金」之外，地方自治團體若認有必要，亦容許設置「水源保全基金」，用以充分補償受限居民之損失，以降低民怨以如前述。凡此，皆值吾國所借鏡。

## 六、代結語-我國地方政府就水質水量保護區之管制與補償制定自治條例之可行性

誠如國內法律學者所言，水源保護區之劃設若過於浮濫，將不符合經濟效益，若採無分級分區管制，不無過度干預相關人民財產權，因而建議於區內建立不同管制程度之分區，並積極採行各種降低管制強制的措施，以期符合財產權之「存續保障」。另有論者指出，分級分區管制署於較具彈性，相對於最嚴格等級之區域，其他區域因獲得某一程度之發展，對土地使用限制程度減低，並較易讓民眾接受。但問題是我國現行中央相關法令並無建立出分級分區管制之制度，因此實因思索其他解決方案。

按水源保護區現行法令之限制規定，係採取「原則禁止、例外不受限制」之立法模式，亦即自來水法第 11 條第 2 項、飲用水管理條例第 5 條第 2 項、及前揭非都市土地開發審議作業規範第 10 點第 1 項但書分別規定：「前項各款之行為，為居民生活或地方公共建設所必要，且經主管機關核准者，不在此限」、「前項第 1 款至第 9 款之行為，為居民所必要，且經主管機關核准者，不在此限」、「但經區域計畫委員會同意興辦之各項供公眾使用之設施，不在此限」。是以，鑑於我國各地方政府皆為水質水量保護區相關法令限制之主管機關，亦即自來水法第 2 條第 1 項、飲水管理條例第 2 條、區域計畫法（非都市土地開發審議作業規範之母法）第 2 條第 1 項、水土保持法第 2 條、山坡地保育利用條例第 2 條第 1 項、森林法第 2 條、發展觀光條例（風景特定區管理規則之母

法)第 3 條、水利法第 4 條、水污染防治法第 3 條、環境影響評估法第 2 條(開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準之母法)、廢棄物清理法第 4 條、畜牧法第 2 條、土石採取法第 2 條均規定本府為主管機關,從而地方政府實可藉由統合前揭法令賦予主管機關取消或放寬管制之核准權限,藉以產生分區管制之實質效果,以達保障居民財產權之最終目的。

次按「自治事項:指地方自治團體依憲法或本法規定,得自為立法並執行,或法律規定應由該團體辦理之事務,而負其政策規劃及行政執行責任之事項」、「下列各款為直轄市自治事項:八、關於水利事項:(2)直轄市集水區保育及管理」、「下列各款為縣市自治事項:八、關於水利事項:(2)縣市集水區保育及管理」、「下列事項以自治條例定之:二、創設、剝奪或限制地方自治團體居民之權利義務者。」地方制度法第 2 條第 2 款、第 18 條第 8 款第 2 目、第 19 條第 8 款第 2 目、第 28 條分別定有明文。基此,地方政府對於「水質水量保護區之管制」制定自治條例,並無違反現行地方制度法之規定。

但如何在不牴觸中央法令之前提下制定「水質水量保護區自治條例」,則宜參考日本法制,考量規範「對象」、「目的」、「宗旨」、「效果」及「內容」,在兼顧「基本人權」與「地方自治」之憲法保障之前下,建構不予中央法令牴觸之規範設計。從前揭有關日本三重縣津市與愛知縣豐田市之經驗,及考量我國中央法令規範之不足,本文認為該自治條例之規範設計至少應包括:

「地方自治團體與居民對於水源保護之義務」、「將相關法令對於居民之限制予以統合羅列」、「放寬管制之例外事由」、「與受限居民或企業之事前協議條款」、「組成地方水質水量保護區審議會,藉以專門審議水質水量保護區之管制有無符合放寬管制之例外事由」等。

至有關目前由地方政府發放補償金乙節,因現行相關法令之設計,係業屬地方制度法第 2 條第 3 款所稱之「委辦事項」,依我國現行地方制度法之「自治法規」體系,地方政府就「非自治事項」無法制定自治條例,僅能依地方制度法第 29 條第 1 項之規定訂定「委辦規則」,亦即直轄市政府、縣(市)政府、鄉(鎮、市)公所為辦理上級機關委辦事項,得依其法定職權或基於法律、中央法規之授權,訂定委辦規則,且目前自來水法第 12 條之 2 之「補償金」來源係來自中央「水質水量保護區專戶」之支應或補助,並非地方政府所能置喙。惟按「屬法定損失補償以外之給付,而認其內容係規範人民生存照護之給付行政事項,且補助金額有限,於不違反法律強制或禁止規定及一般法律原則,應由機關自行斟酌財力狀況及實際情形,編列預算並經民意機關同意支應。惟考量國家之經濟及財政狀況,依資源有效利用之原則,並斟酌受益個案之必要性,非該同一個案之其他個素不得率以地段相近或情形類似為主張應比照辦理之唯一依據,自屬當然」(法務部 99 年法律字第 0999053978 號函、最高法院 91 年度判字第 2305 號判決參照)。因此,為因應現行法由地方政府之負責管制但卻無損失補償裁量權之困境,本文

認為可將水源水量保護區之受限居民在無法透過自來水法之規定合理補償其損失時，另以法定損失補償以外之「給付」作為人民生存照護之用，只要能夠經地方議會審議通過，且不另涉及公共利益之重大事項（釋字第 443 號解釋理由書參照），形式上即與自治條例案相當（釋字第 520 號解釋理由書參照），因此另行成立「基金」方式支應法定損失補償外之給付，因非法之所不許。另外，國內有學者提出另行以補償金以外之方式來替代土地受限制之損失，例如給予水質水量保護區外其他土地之開發權利作為補償之見解，亦可作為未來思考及改革之方向，俾使真正「環境正義」之理念，得以實現。

### 參考文獻

1. 人見剛、須藤陽子，ホーンブック地方自治法，日本東京都：北樹，2010 年。
2. 川崎政司，地方自治法基本概說，日本東京都：法學書院，2011 年。
3. 內藤悟，「水道水源保護條例に關する－考察」，北大法學研究第 3 期，1996 年 10 月，頁 205-531。
4. 宇賀克也，地方自治法概說，日本東京都：有斐閣，2011 年。
5. 張景森，水源保護區的成長與管理制度（一）：兼論以開發協議為主軸的日本水源保護條例，中國環保第 16 期，1993 年 6 月，頁 11-19。
6. 許明華、黃妙如，我國水源保護區劃設現況與因應對策，自來水會刊雜誌第 21 卷第 4 期，2002 年 11 月，頁 26-52。
7. 許惠琳、吳景明、李許耀華，「國內引用水源的保育與規劃管理」，環境與生態學報第 1 卷第 1 期，2008 年，頁 13-30。
8. 陳明燦，「土地是用限制補償之法制經濟分析」，收錄於同氏著，國土政策與法律，臺北：漢蘆，2006 年 3 月，頁 49-78。
9. 陳明燦，「制度、授權、以及協商交易：兼評我國水源開發與回饋法制」，國立中正大學法學集刊第 9 期，2002 年 10 月，頁 123-159。
10. 黃錦堂，「財產權保障與水源保護區之管理：德國法的比較」，臺大法學論叢第 37 卷第 3 期，2008 年 9 月，頁 1-46。
11. 葉俊榮，「環境理性與制度抉擇」，臺北：三民，1997，頁 155 年。
12. 劉筱蕾，「環境治理機制之初探：以臺北水源特定區範圍劃定為例」，台灣土地研究第 11 卷第 2 期，2008 年 11 月，頁 37-60。
13. 蔡秀卿，地方自治法，臺北：三民，2009 年。

### 作者簡介

#### 徐良維先生

現職：臺南市政府法制處科員、國立中山大學中國與亞太區域研究所(法律組)博士候選人  
專長：憲法、行政法、憲法訴訟、地方自治

## 中華民國自來水協會第 17 屆理、監事會第 8 次聯席會議紀錄

時間：民國 101 年 8 月 22 日（星期三）下午 2 時 30 分

地點：本會會議室(台北市長安東路二段 106 號 7 樓)

主席：陳理事長福田

出席理事：陳福田 胡南澤 郭瑞華 李公哲 王桑貴 賴文正 林 岳 謝啟男

王炳鑫 施澍育 吳振欽 蔡茂麟 高文浩 張明欽 謝堯煌 陳曼莉

林連茂 吳美惠 吳陽龍 陳錦祥 黃志彬 駱尚廉 葉宜顯 陳瑞忠

陳宏濤

出席監事：李錦地 賴永森 張順莉 廖宗盛 康世芳 楊豐榮 呂崇德

請假理事：黃敏恭 籃炳樟 王文龍 孫新惠 王池田

請假監事：周盛華 林建財

缺席理事：蘇金龍

列席人員：許培中 蔡麗嫻 李美娥 管惠嬋 謝雅婷 孫瑞嬪

記 錄：施麗薰

### 一、主席致詞：

各位理、監事午安，本次會議正巧遇到颱風來襲，感謝大家風雨無阻踴躍出席，可見水協會的向心力是很強的，希望大家繼續凝聚這種向心力，齊心盡力推動會務發展，務使本會業務能蒸蒸日上，謝謝大家！現在就開始進行會議，首先由祕書長進行綜合報告。

### 二、報告事項：

(一)祕書長綜合報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

(二)各種委員會工作報告：

諮議委員會報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

國際事務委員會報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

財務委員會報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

(三)會務組報告：第 17 屆理、監事會第 7 次聯席會議決議案執行情形

詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

會計組報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

### 三、討論事項：

**第 1 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：本屆慶祝大會活動日程表暨典禮程序表，提請討論。

決議：典禮程序表部分，因本屆並無單位推薦績優廠商，故刪除「壹、自來水節慶祝大會典禮」程序第 11 條「表揚績優廠商」，餘照案通過。

**第 2 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：市政建設技術觀摩活動及地點。

決議：通過，請籌委會辦理後續事宜。

**第 3 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：大會專題演講題目，提請審議。

決議：照案通過。

**第 4 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：國內外貴賓之邀請名單，提請審議。

決議：1. 「中央部會貴賓」部分，「經濟部水利署」增加邀請楊豐榮、吳約西、田巧玲三位副署長及王瑞德總工程司，「國營會」補上主任委員姓名施顏祥。

2. 「臺灣區水管工程工業同業公會」邀請名單增加副理事長陳燦隆、監事會召集人林丕昌、總幹事王玉麟及常務理事林友仁、謝肇明。

3. 「臺北自來水事業處貴賓」邀請名單增加科室以上一級主管，詳細名單請北水處協助提供。

4. 「台灣自來水股份有限公司各單位經理」部分，「工務處」處長更正為施澍育。

5. 新增邀請金門縣自來水廠廠長王登緯、副廠長翁文貴，連江縣自來水廠廠長陳美金。

6. 新增邀請彰化農田水利會會長呂爐山。

7. 餘照案通過。

**第 5 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：發布新聞稿草案，提請審議。

決議：新聞稿及新修正 logo 照案通過。

**第 6 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：自來水節慶祝大會暨會員代表大會與自來水研究發表會經費預算案，提請討論。

決議：照案通過。

**第 7 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：籌備委員會工作計畫管控表，提請討論。

決議：通過，請籌委會依照計畫辦理後續事宜。

**第 8 案** 類別 會務 提案人：第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員  
代表大會籌備委員會主任委員賴永森

案由：本年度自來水節慶祝大會會員紀念品提請選擇。

決議：經全體出席理、監事討論通過餐碗組（含筷子兩雙及湯匙兩支）為本年度大會會員紀念品。

**第 9 案** 類別 會務 提案人：諮議委員會召集人陳福田

案由：本會本（101）年度各項表彰案，經本委員會審議結果，詳如說明，提請審定，  
俾於本（101）年度自來水節大會典禮中頒獎表揚。

決議：1.照案通過。

2.有關臨時推薦「學術研究類」具特殊重大貢獻表彰案，經本會理、監事會議反映，明（102）年度起須依照程序事先連署推薦表彰人員，勿再動用臨時提案，  
下不為例。

**第 10 案** 類別 會務 提案人：財務委員會主任委員黃慶四

案由：為本會 102 度事業計劃(工作綱要)草案及本會 102 度歲入、歲出預算草案各一份，  
提請審議。

決議：照案通過，提本會第 17 屆第 3 次會員代表大會討論通過陳報主管機關核准實施。

**第 11 案** 類別 會務 提案人：祕書長許培中

案由：2012 國際水協會 IWA 雙年會訂於 2012 年 9 月 16~21 日在韓國釜山舉行，論文  
經獲主辦國韓國接受，並申請通過本會補助赴會發表之會員共 4 名，擬由本會補

助論文發表費，估算約新台幣 195,000 元，該項經費擬動支本會 98 年度「基金-準備基金」辦理，提請討論。

決議：照案通過。

**第 12 案** 類別 會務 提案人：理事長陳福田

案由：本會因業務需要，自 101 年 9 月 1 日起增聘組員楊宗偉一名，經辦器材檢驗實驗室測試業務相關事宜，提請討論。

決議：通過，本人事案自 101 年 9 月 1 日起晉用。

#### 四、臨時提案：

提案人：編譯出版委員會主任委員黃志彬

案由：本會 101 年度「自來水協會會刊論文獎」之給獎論文名單，提請審議，俾於本（101）年度自來水節大會典禮中頒獎表揚。

說明：1.本會 101 年度「自來水協會會刊論文獎」之得獎論文名單，經本委員會於 101 年 8 月 22 日召開第 17 屆編譯出版委員會第 2 次委員會議完成複評作業，最後共評選出以下 3 篇得獎論文：1.供水漏損與水價關係之探討(張敬悅、李丁來、藍炳樟)、2.供水加壓系統節能之最佳化操作及管理(王銘博、李育樟)、3.淨水污泥產製輕質骨材之可行性研究(王順元、陳豪吉、顏聰等)。

2.經出席各委員熱烈討論，本（101）年度得獎名單，分別來自台水、北水及學界各一篇，擬提經理、監事會通過後於自來水節慶祝大會中表揚。

決議：照案通過。

#### 五、散會：下午 3 時 30 分