

## 自來水會刊第 32 卷第 4 期目錄



### 特 載

自來水事業資產管理觀念及國際發展趨勢……………陳維政、吳陽龍…… 1

### 實務研究

北水處人手孔蓋抗滑性能之研究……………曾喜彩、林哲生…… 14

### 每期專題 永續利用

臺北舊城區之自來水漏水改善策略……………李中彥…… 24

以計劃性行為理論驗證屏東縣原住民家庭節水行為結構模式……………

……………何鳳月、黃大榮、林耀堅、台邦撒沙勒、曹靜雯、賴文亮…… 33

全球暖化氣候變遷臺灣水資源之衝擊……………朱健行、李叔龍…… 46

亞熱帶分層水庫以底層曝氣改善水質之方案分析：以CE-QUAL-W2模式模擬新山水庫為例…

……………吳先琪、吳俊宗、簡鈺晴、王永昇、莊鎮維、姚重愷、吳美惠、林彥宏…… 55

### 一般論述

高架水塔支撐體結構設計之研討……………曾浩雄…… 66

水量計無線傳輸技術對用水管理強化之研究……………蔡易廷、康世芳、劉世翔、仇士愷…… 78

### 法規櫥窗

淺論水源保護之回饋與補償規範……………徐良維…… 90

### 協會與你

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 32

歡迎投稿 103年「每期專題」…………… 89

封面照片：自來水園區—水鄉庭園（臺北自來水事業處提供，蕭慶良攝影）

## 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、本刊原則上不轉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 824

行政助理：古藜苓

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

# 自來水事業資產管理觀念及國際發展趨勢

文/陳維政、吳陽龍

## 摘要

近年資產管理觀念在歐美先進國家水事業體經營引發風潮，本文藉由參與國際水協會資產管理研討會，綜整各國資訊，並探討比較北水處自來水事業經營及水資源管理情況。自來水業屬資產生命期長之經營，應有資產管理觀念，由國際趨勢來看，日常操作管理面，著重提升基礎設施效率，精準而即時管理加壓設備，並且善用管網重力供水來降低能源成本，北水處以加壓站精緻管理降低動力成本，順應地勢擴大重力餘壓供水；投資策略面，則藉最適成本原則，在操作成本、修復或更新投資之間做出適當決策，北水處未來重大投資工程導入全生命週期成本評估，確保經濟及財務永續經營。另外，水資源本身也可視為資產，提升家庭污水水質處理技術，讓污水轉為再生水充分利用，這種策略已在世界各國逐漸形成趨勢，對於水資源匱乏之地區為不得已之選擇，但是操作成本與耗能特性等經濟問題為其永續經營之關鍵，殷鑑於此，北水處應持續推動管網減漏、精進壓力管理等資產管理策略，以提高水資源利用率及節約用水為預防缺水的主要對策。

## 一、資產管理觀念崛起

近年來因全球性經濟衰退，先進國家水事業體著重以永續經營長期管理來定位事業建設及決策，故興起強化資產管理、提升設施運作效率之風潮，歐洲地區更為此潮流之先驅。就狹義面來看資產管理(Asset

Management)，似乎僅僅以事業經營所需之財產為管理標的，然而，先進國家水事業體在此領域之探討研究，遠遠超過此狹義範圍，其囊括範疇從供水設備及管網管線的維護汰換、設施重建投資、加壓操作運作效率、設備效能指標、事業規模與整併，甚至水資源本身也被視為資產，而提出再生水利用技術發展與解決缺水策略。此外，透過資產設備運作效率提升，也可減少碳足跡，達成目前節能減碳之主流政策目標。

今(2013)年四月底國際水協會(International Water Association, IWA)策略資產專家小組與希臘 DEMOCRITUS 大學在西班牙聯合主辦「提高自來水系統能源效率的資產管理」研討會。藉由強化資產管理方式來提升能源效率，為歐洲近年來水事業的新興議題，事實上，2009年7月，希臘 DEMOCRITUS 大學針對中、小型公用事業資產管理議題，曾首次舉辦與資產管理相關之研討會，此次「提高自來水系統能源效率的資產管理」研討會屬於後續發展之研討會。同時，該研討會也獲國際水協會策略資產管理專家小組(Specialist Group of Strategic asset management)支持，並共同主辦，規模也因此擴大為國際級研討會。與此同時，國際水協會統計經濟專家小組(Specialist Group of Statistics and Economics)與西班牙 Valencia 大學水經濟小組(Water Economics Group)也同時同會場分場舉辦第3屆「水經濟統計及財務國際研討會」(The 3rd International Conference on Water Economics, Statistics, and

Finance)。

現階段國內自來水業正值管網改善計畫大力執行之際，為事業經營精益求精永續發展，應掌握世界自來水界之脈動，了解世界水事業領域資產管理潮流與趨勢，本文係將參與上述國際資產管理研討會所聞及獲致寶貴資訊，撰文與國內自來水業相關領域之先進分享。該研討會參與者來自世界各地 45 個國家，共計有 160 餘人，論文發表共計 92 篇，大會設定 6 項主題，如表 1。其中又區分為自來水公用事業管理、農業灌溉用水、最佳水資源管理、水資源需求及供應、水價結構與訂價、衛生經濟與廢水管理及 EU FP7 創始計畫專案會議等 7 項議題，內容相當豐富多元。

## 二、藉基礎設施能源效率管理降低成本

廣義上，只要與財務相關的議題均可視為資產管理的研究對象，但如何選擇基礎設施投資更新與修繕維護方式來提高經濟效率的研究，已成為目前資產管理主要議題。自來水事業屬於長期經營事業，其資產管理必須有最適成本觀念，同時考慮設備運轉操作成本及修繕投資攤提折舊，以資產管理手

段確保事業體經濟及財務的永續經營。國際自來水協會策略資產管理專家小組的副主席葡萄牙籍 Helena Alegre 博士，同時也是葡萄牙國家土木實驗室(LNEC)研究員，她認為基礎設施資產管理 (Infrastructures Asset Management, IAM) 是都市水資源系統高效節能的關鍵，長期經營即基礎設施需長期存有，以 2013-2050 時間之窗來看，經營者由他人之手承接這些資產設施，利用及管理它們，未來又將交給下一棒，IAM 及能源效能非常重要，例如自來水管網設施修復的作法屬於機會性改善，而加壓設施、操作節點及管線管徑配置等等則屬於技術性對策，然而長期分析需要更有效率及更完備的對策。2005 年 Brown Humphray <IAM 關鍵原則>，提出 IAM 定義：(管網)以長程經營而言，資產管理是取得績效、成本及風險間平衡的一種藝術。以 IAM SG 立方體模式來看(如圖 1)，規劃決策層次由低而高可分為操作層級、戰術層級及戰略層級；知識及人力廣度可分為工程、資訊及管理；長期經營面向應考量績效、成本及風險。IAM 成功執行的關鍵則包括運用策略觀點、正視使用者需求及期望、流程明確及良好數據、確保決策間的

表 1 2013 年「提高自來水系統能源效率的資產管理」研討會 6 大主題

項次	主 題 內 容
1	提高水及廢水系統操作效能儀控與即時監控之策略
2	水及廢水系統高效能生物處理程序
3	既有水及廢水系統提高效率達最低碳足跡之最佳化再設計
4	基礎設施成本及能源效率
5	能源稽核與績效評估
6	廢水處理廠生物氣體產生

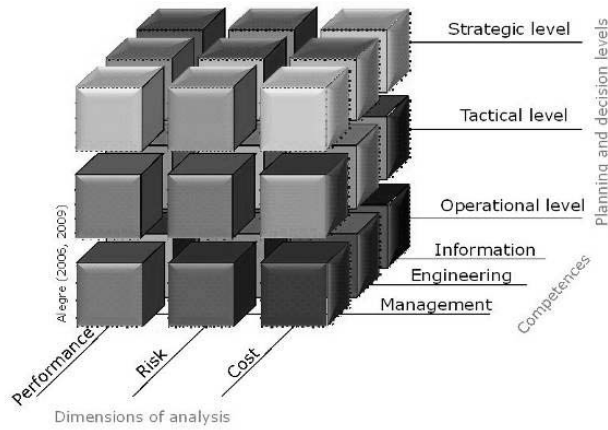


圖 1 IAM SG 立方體模式(1)

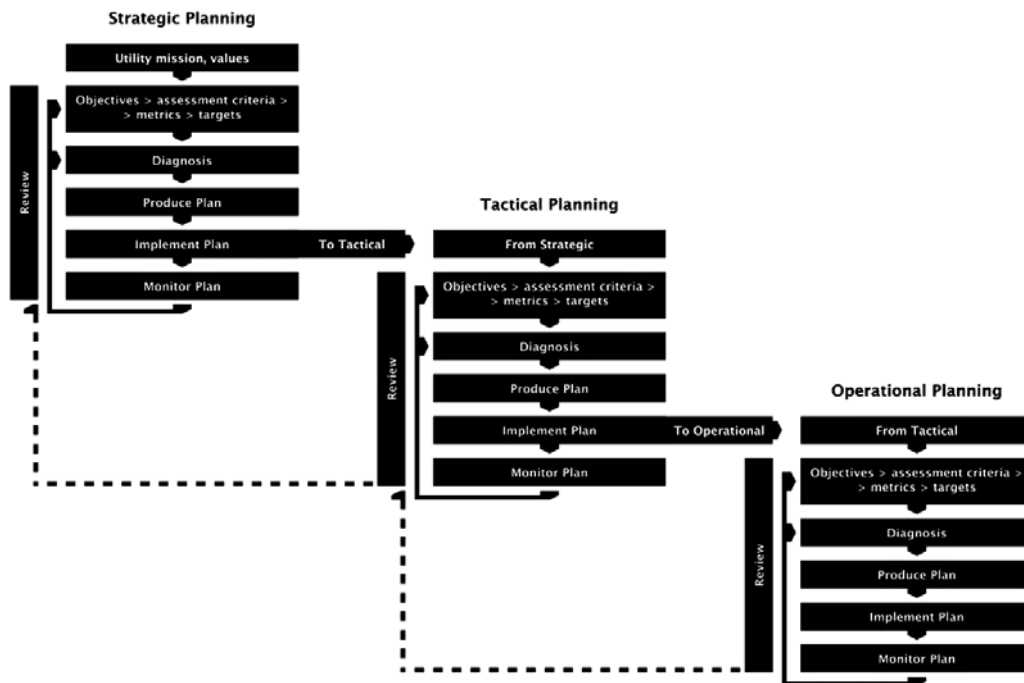


圖 2 IAM 各層作業流程轉進循環圖(1)

準確及回饋(戰略、戰術及經營)及確保管理程序間準確，各項作業流程分別在戰略、戰術及經營層次轉進循環，如圖 2 所顯示<sup>[1]</sup>。以管網設施為例，資產管理不需細項，因為自來水管線基礎設施幾乎都埋在地下，無時無刻提供服務，可視為整體不可更替，屬於各單元相互依存之系統行為(修漏是頭痛醫

頭腳痛醫腳)。

2012 年葡萄牙在自來水業資產管理方面已有實際推行案例，由國家土木實驗室 LNEC 主導推動一項共同合作計畫 iGPI，參與者包括 LNEC、IST(The Technical University of Lisbon)、Addition 公司及 20 餘家水及廢水事業體，目標以資產管理觀念建設自來水公

共設施，由參與單位研擬資產管理計畫，相關成本由參與者分攤，主要運用工具為自行研發之 AWARE-P 軟體。一個結構化的 IAM 方法可以廣泛支持各家自來水公用事業，確保足夠服務水平的可持續性，使投資計畫重點和理由明確，平衡短期和長期的風險和成本，水資源和能源可永續利用，並盡量減少碳足跡，為適應氣候變化規劃，強調可行性，採行修復既有或建立新的資產均可，因此促進投資和營運效率收益。由葡萄牙資產管理案例可知，取得城市自來水經營權之事業體，無論國營或民營均試圖在基礎設施改善投資計畫降低成本，但並非事業體各自研發，而是由國家整合資源共同開發軟體，除了符合現在成本節省趨勢外，未來也可能技術或軟體商品對外技術輸出增加獲益。

自來水業資產管理最基本的核心標的，莫過於自來水生產供應設備，透過管理策略將設備利用效率提高，最直接的效益就是降低成本，尤其是動力能源利用效率，雖然在淨水處理流程多數設計已採重力流，但加藥攪拌和快濾池反沖洗處理方面仍須藉助電力動能，管網加壓供水更具能源依賴性。因此不論單一機電設施改善，或是系統性操作模式改變，均能達到降低能源消耗，提升生產供應效率目的，這種概念正好符合節能減碳趨勢，對經營管理可視為自然經濟誘因，此次研討會世界各國水事業體關於提升能源利用效率的策略包括供水分區管網即時監控管理、設備節能減碳操作及指標、重力供水經濟水壓、管網管線汰換策略選擇等等。以下就本次研討會觀察涉略分述如後：

### 1. 供水管網分區即時監控管理

本次研討會技術參訪實地走訪西班牙巴塞隆納市自來水監控中心，整個巴塞隆納市加泰隆尼亞地區自來水供應普及率已達 100%，自 1995 年起 ACCIONA AGUA 公司承攬經營巴塞隆納自來水供應，將供水管網劃分為 214 個 DMA 供水計量區，管網分區大小不一，每區用水戶約 2,000 戶，供水壓力約  $4\text{kg/cm}^2$ ，因巴塞隆納市包含山區地形，影響輸配水之水壓變化，所以供水管網分區順應地勢高度劃設，沿山區高程等高線劃設成長條狀供水區，節省加壓動能，也容易達供水分區內之均壓控制。巴塞隆納市 DMA 供水區大小並不均等，每個管網分區都設置監視點隨時掌握供水變化，監控中心 SCADA 可以蒐集管網中監控點水量、水壓及水質數據，比對歷史累積資料，進行分析做出供水配水量之預測值，每小時配水量變化均在事前控制之下運作。管網服務監控中心平時配置兩位值班人員，負責監視運作及操作各項管網設施，前方面板螢幕可以顯示監控系統所有資訊，結合 GIS 深入獲取管網各管段圖資資料屬性，資訊建置相當細緻，管網監視系統不只提供水壓水量資訊，也包括水質餘氯資訊。管網分區所有閥栓均由監控中心負責管理操作，供水區整體管網幹線及設施以圖像顯示，管網供水調配設施可以分層切換顯示，並作線上即時操作，例如系統中配署所有加壓站配水池圖像，如需查閱該加壓站或配水池運作狀態，可經由點選圖像進入，獲取該水池之即時水位、進水量、出水量及控制閥栓狀態等完整資訊。

因此，完善的管網系統必須具備即時監

視與調控設備的能力，對於平時用水變化，可經由比對歷史資料庫做適時微度操作，降低動力成本支出，管網任何一處發生突發性供水異常狀況，也能立即察覺做出處置反映，降低災害損失，因此供水分區間之流量計與閥栓即時控制至為重要，所有操作管理準則納入提升設施運作效率及降低成本觀念。

## 2.設備操作節能減碳

荷蘭 DELF 大學以波蘭 Poznan 城市 55 萬人口供水系統實務案例，發展主動壓力控制模組 DPCM(Dynamic Pressure Control Module)，增加 9 個壓力監測點，依據配水流量及加壓站與測點間的壓降等訊號回饋，經比較所有獨立監測點最低臨界壓力值，來預測其他地點壓力值，改善結果節省管網加壓動力成本 31%(237,200kWh/年或 14,300€/年)，減少 20%漏水<sup>[2]</sup>。

英國 Exeter 大學研究者提出配水管網中壓力與能源整合管理之新方法論，以加壓耗能及抽水閥控等成本為成本組合，運用 PaVLOS 及 EPANET 軟體，尋求管網節能(最低操作總成本)及最小漏水量之最佳化管理，並以義大利 Langhirano 城市作為演算示範。最佳化程序是藉由抽水機最佳排程與降低管網整體水壓使漏水量減少，達直接或間接節能成果，另外以降低維護成本角度來看，閥類及抽水機狀態改變最小化也可以設定為次要目的<sup>[3]</sup>。但是實務上自來水管網加壓設施系統操作管理並非以最小漏水量為管理目標，追求加壓站動力成本降低，應該由加壓站抽水機效率管理著手，臺北自來水事業處加壓抽水機為最大之耗能設備，佔總

用電量 90%以上，經開發建置抽水機效率管理及用電管理軟體程式，整合於既設監控系統平台，強化監控系統功能導入「抽水機效率管理」及「用電負載管理」操作管理機制，自動化全程監控加壓抽水機運轉效率及耗能狀況，2011 年已建置抽水機效率及用電自動監測程式 60 餘站，2012 年加壓站用電量降低了 19.2%，節省動力成本 6,610 萬元，相當二氧化碳排碳量減少 16,891 噸。除了全程運轉追蹤機制，也具備即時預警功能，化被動式故障維修為主動預防保養，提升應變速度，降低供水風險及耗能，並可藉以比對抽水機汰換及維修前後性能之差異，作為後續設備汰換性能評估之資料庫，使未來選用抽水機性能更契合管網需求，提升運轉效能。

對於加壓站抽水機效率量測，傳統方式為量測出水流量  $Q$ ，經抽水機效率公式計算出效率值  $\eta_p$ ，因為新設抽水機無法得知精確流量，因此加拿大提出以熱力學方法精確測量液體溫度及總水頭壓力 TDH(Total Dynamic Head)，計算現址 BEP(Best Efficiency Point) 與出廠值比較，該研究以加拿大 Ontario 省 8 個自來水系統 152 座 30Hp 至 4000Hp 大馬力抽水機做測試，無效能量轉為熱能，其平均效率損失為 9.3%，平均整體落差為 12.7%<sup>[4]</sup>。該研究提出「比能量」(Specific Energy)及「抽水機耗量指標」(Pump Energy Indicator, PEI) kWh/Mm<sup>3</sup>/mH<sub>2</sub>O 兩項標竿指數，比能量 kWh/m<sup>3</sup> 常與單位供水耗能比對參用，而 PEI 可做為標竿指數，由整年耗能量落差來決策最佳汰換時機點，達最佳資產管理。

## 3.善用重力供水(經濟水壓)

每座城市水源分布及地勢變化均不相同，輸配水管網配置型式也不盡相同，由於自來水管網屬壓力管流，為達輸送及水壓維持目的，必須持續加壓，加壓動力成本為主要成本支出，美國水處理及輸配水成本中電力成本占 75%，且 91~99% 電力使用於抽水機加壓，而臺北自來水事業處加壓抽水機用電佔總電量 90%，與其它水事業相當，因此近年來利用供水地勢高程優勢，不斷嘗試輸水幹管重力餘壓直接供應管網需求。本次研討會日本橫濱水道局統計原水取水、淨水處理至配水池及配水池加壓至管網用戶端所需總電力，依據供水區塊分別計算其單位出水量耗電量 kWh/m<sup>3</sup>，建立供水轄區基本能源單位地圖，若為重力流供水其耗能值設定為零，供水區塊耗能愈大標示顏色愈深，經計算後全流程動力抽水區耗能 1322.3Wh/m<sup>3</sup>，為重力供水區 49.6Wh/m<sup>3</sup> 之 37 倍，目前推出節能長程計畫，增加夜間操作及重力供水，預計 2020 年可較 2010 年減少 22.9% 耗電量<sup>[5]</sup>。

#### 4. 管網管線汰換策略選擇

西班牙夏季是最熱最乾旱時期，觀光熱潮東部及南部用水人口膨脹 5~10 倍，部分地區每年都會面臨乾旱缺水，因供水設備不良及灌溉方法不佳浪費水資源，使缺水問題加劇，缺水期間地方主管機關可能嚴格限制用水，甚至全區停水數天，因此用戶自行設置配水池儲水現象日益普遍。西班牙 Valencia 大學研究提出西班牙供水管網建設進度不及都市發展，家戶配水池因運而生，家戶設置配水池缺點包括水質衛生風險、洩壓浪費能量、漏水控制更困難及表差變大等等。以長期及整體經濟角度探討，獲致家戶

配水池管理方案成本約為管網汰換管線方案 3 倍，選擇正確管網管理所付出成本會遠低於其他策略總和<sup>[6]</sup>。加拿大 Queens 大學提出採用生命週期能量分析(Life Cycle Energy Analysis, LCEA) 管網汰換管線策略選擇，研究認為在北美典型管網漏水率範圍為 5~20%，2008 年歐洲整體管網漏水率 30-40%，東歐國家更高達 50% 以上，當管網管線老舊，除直接漏水損失外，也會造成高摩擦損失，增加不必要的能量損耗。對不同管線汰換程序，可對應其減少之漏水量及摩擦損失而計算其能量變化，LCEA 包括汰換管線所需材料及施工、漏水量、管網摩擦損失及加壓操作等耗能因素，以三種模式進行策略評估，A 模式超過破管率低限值即汰換、B 模式達破管率高限值才汰換、C 模式達使用年限 75 年再汰換。研究認為管線汰換前，雖隨時間因整體摩擦增加，系統所需加壓操作能量需求逐漸增加，但是高頻率汰換配水管網管線，汰換管線本身能量消耗將遠高於配水系統加壓操作能量，該研究以美國一處水事業體 5,900km 輸配水管汰換成延性鑄鐵管做實例演算，結果以 B 模式管網管線達破管率高限值才汰換為最佳策略<sup>[7]</sup>。綜觀本次研討會對汰換管線之研究，似乎並無一致之觀點，管網老舊汰換應該是一種策略選擇，若該地區水資源十分缺乏，降低漏水率成為主要追求目標，縱使汰換管線本身耗能較大，也會以此為取向，另外飲用水資源之取得轉換為一種機會能量概念，例如由海水淡化取得飲用水補充不足水源，或是水源不足需興建一座水庫，此時全週期能量分析耗能統計將會有不同結論。

### 三、資產管理在水資源領域發展趨勢

在全球氣候異常的大環境下，澇旱幅度及頻率加遽，對於水資源匱乏地區或國家，不得不思考如何提高水資源利用率。水資源利用率提升一般著重在水文水量面向，例如興建水庫調節枯旱、水源共同聯合調度、農業回歸水利用、減少管線漏水量、推行節約用水降低每人每日用水量等，但在世界先進國家尚有另一種策略正在發展，將水資源視為一種環境資產，甚至是一種環境使用成本，必須妥善管理與利用，延長水資源利用生命期，提升水質處理技術，讓污水再轉為再生水(used water)充分利用，延長自然水資源循環週期，將生活污水處理水質要求提高，轉換取代農業用水，而釋出天然水源供做飲用水水源，或是提高至飲用水標準直接供應。在此次研討會澳洲雪梨大學 Tihomir Ancev 教授提出水資源利用經濟與環境效能的權衡評價觀念，使用水資源時將視為一種環境使用成本，生態系統提供服務應計算其產值來和經濟產品產值比較，因此可由理論邏輯提出環境使用成本，推估影子價格，藉以取得平衡，另外必須提高效率值，降低產品不符需求的產出之產值，如廢污排放。

比利時 Ghent 大學 Willy Verstraete 教授對於既有都市污水處理廠如何改造以因應再生水供應，提出流程改造建議規劃再生水處理廠，其研究顯示水處理工業耗電約總電量 1%，而且水處理公司能源成本持續增加，將提高到約 20%，其中以活性污泥處理費成本佔大宗，以提升能源效率角度而言必須進行流程改善，利用污水作為水資源，以比利時 Koksijde 個案案例說明，家庭污水經活性

污泥處理後，將 90%之放流水再經微篩及逆滲透高級處理回收為原水使用。該演講指出家庭污水處理可以零廢污觀念規劃，除了水資源可以再生水回收利用外，污泥也可以回收其營養鹽及能量，先厭氧產生具熱能的甲烷生物氣體，二氧化碳可以提供藻類養殖場作為碳源，污泥壓濾液含高濃度氮可移為農業肥料來源，至於乾燥之污泥餅可經熱解產生能量利用，整體資源能量利用概念如下圖 3，其中決定性關鍵步驟為預先濃縮單元，其目的在於製造 UF/RO 可輕易處理的進流水，同時兼顧可將污水濃縮成 10~20 倍以上 COD/M<sup>3</sup> 的廢棄物，例如物理化學處理可選擇直接過濾(未經混凝)，如動力砂濾 Dynamic Filtration (DSF)、膜濾 Membrane Filtration FMX VSEP、Dissolved Air Flotation DAF 浮除法等。由此可知，污水可視為一種多元資源。依據 C2C 考慮污水回收技術成本，主流量直接回收使用，副流量(濃縮液)由植物產量進入，主要為能源及肥料的進階回收，其總成本計算為 0.61~1.25 €/M<sup>3</sup>。

美國 California-Riverside 大學 Ariel Dinar 教授認為在水資源缺乏地區已興起增加都市廢水處理量及放流水水質，將廢水再生使用，尤其是提供給農業灌溉用水，再將原本灌溉使用之水資源轉為民生用水水源，水資源主要政策目標為效能(經濟合理性)、公平(社會正義平等)及營收自給自足(成本回收)，水資源政策施行必須採取普遍性控制，包括標準配額、收費(平地灌溉按戶收費)及用量價格，此項政策必須透過制度建立其經濟誘因。Ariel Dinar 教授指出推動再生水計畫發展之關鍵觀念，應包括提高廢水處理

量、提升高品質再生水處理系統之生產技術、制度環境聚焦在再生水法規、固定價格時，將再生水水質水量特性必須納入考量。對再生水而言，廢水處理管理與替代水源實為一體兩面、必須考慮外界之使用情形等。經濟誘因是利用財物及制度刺激使用者，改變使用行為使水資源有效率地運用，其內化與消耗量決定外部負面衝擊，但經濟誘因不必然是經濟工具，例如對於污染環境者應要求由他們投資興建設施，減少廢污排放降低健康及環境風險，對於抽取地下水灌溉者需考量抽水聚集，用戶方面應強制節約用水。西班牙水務局 Leonard Carcolé 總經理認為再生水可視為一種替代資源，其利用價值視其屬性而定，某些營養成分對農業灌溉有益，使水資源的保證可用性，而長期保證相當重要，讓使用者對再生水產生認同，願意付費使用，而再生水費率須依市場而論，不需將水處理成本納入考量，為了促進再生水使用，費率必須遠低於飲用水，例如澳洲雪梨 Olympic Park 為增進再生水的使用，再生水

價格維持在 0.11 美元/M3，遠低於飲用水，但採取大量補貼政策的缺點會造成水資源利用率不佳或不利鼓勵節約用水。提升家庭污水水質處理技術，讓污水轉為再生水充分利用，延長自然水資源循環週期，這種策略已經在世界各國逐漸形成趨勢，對於水資源匱乏之國家地區為不得已之選擇，例如新加坡強行行銷其 New Water，透過技術與政策解決自然資源之不足，再生水的利用是一種選擇，在台灣推動再生水會因管理工作跨越不同機關，難以整合一致，諸如再生水的製造技術與成本、使用對象與限制、使用者心理障礙因素、水價經濟誘因等等，未來對於再生水可以更關心各國發展趨勢。

#### 四、事業投資經營決策與資產管理之關聯

自來水事業經營無庸置疑屬於長期經營，甚至以永續經營觀念作為決策依據，但是在歐美地區很多都市將其自來水事業以特許經營權外包經營，例如西班牙 ACCIONA

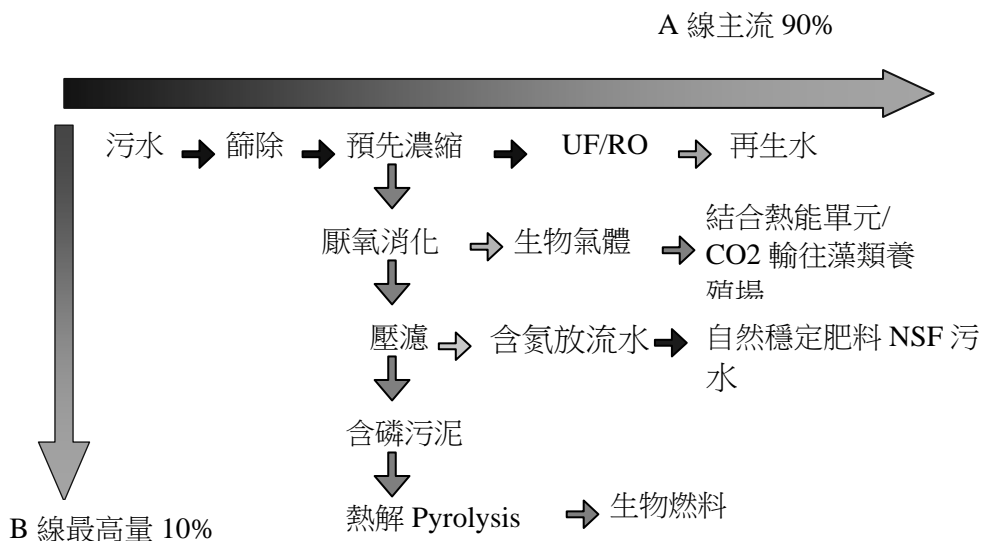


圖 3 再生水處理廠零廢污概念圖

AGUA 公司和巴西投資銀行 BTG Pactual 取得的整個巴塞隆納市加泰隆尼亞地區飲用水基礎設施 50 年特許經營權，包括管理、營運和設備改善，設備改善包括興建 Llobregat 供應網絡，兩座海水淡化廠水處理、儲存和運輸設施，該特許經營權契約總價為 9 億 9,550 萬歐元，簽約時支付巴塞隆納市政府 2 億 9,860 萬歐元，其餘 6 億 9,680 萬歐元依 50 年分期支付，所以所有重大投資都必須考慮投資效益及回收年限。西班牙 Valencia 大學的研究提出以全生命週期成本 LCC(Life Cycle Costing)投資評估整個都市水資源管理決策，認為 LCC 已成為評估整體成本非常有用的方法，但 LCC 評估時有許多元素及干擾因子，將會影響決策過程<sup>[8]</sup>。生命週期成本法是一種計算發生在生命週期內的全部成本的方法，通常運用在產品生產以此來量化產品生命週期內的所有成本，但是企業生產體系設計核心通常會將產品、資產和勞動力等生產要素納入系統，並組成一體化的功能單元，因此對於資產和勞動力，同樣可以採用生命週期成本法來分析其成本構成<sup>[9]</sup>。此外澳洲 CSIRO 也以 LICAN(Life cycle cost analysis of networks system)軟體研究 PVC、DI、PE 不同管材管線在管網中之總成本，該研究總成本包括初設成本、修漏成本、漏水成本、汰換成本，但不包括加壓效率成本、腐蝕成本及用戶服務成本，經設定 100 年週期，以 10 萬用戶之實際管網案例統計結果修漏成本佔 70~80%，而 PE 管材的損管率最低，因此以全生命週期成本而言，PE 管成本最低<sup>[10]</sup>。全生命週期成本法雖然被認為是非常有效的成本評估方法，但是由目

前研究案例來看，研究所設定之條件是否契合實際營運狀況，會影響評估最終結果，例如材料成本及勞動力成本因地區而異，管線施工也因都市道路條件而產生不同時間成本，不可否認的是 LCC 概念已成為自來水業資產管理的一種趨勢，未來將會日益成熟，甚至發展出商業軟體系統。

事業經營規模常會影響其成本結構，為降低資產管理成本，本次研討會不乏國家提出小型自來水事業之整併或 OT 案建言，法國對歐洲地區自來水經營認為水源分配不均、衛生適法性及組織設立仍是歐洲水資源主要問題，就觀察歐洲近十餘年結構性改革，提出 4 項主管機關及法規工作關鍵議題：1.供水服務管理及績效應透明化，以標竿及良性競爭角度發展。2.水平及垂直整併，使經濟規模及範圍達較佳管理與法令實務 3.正視承包契約與法規意見衝突 4.供水服務公營私營狀態決策<sup>[11]</sup>。西班牙學者研究葡萄牙 2002-2008 年水處理市場經濟規模及結構，發現透過垂直整併水及污水處理小規模零售業，對水事業體經營有其優點，因此，鼓勵垂直整合組成聯合公司，使飲用水量達 16Mm<sup>3</sup>/年以上，用戶約 12 萬之經營規模<sup>[12]</sup>。在日本自來水業包括許多小型事業供水設施及服務區，目前正面臨巨大財物及人資困境，雖 1965 年起即推動事業體整併，有些成功案例，但近年也遭障礙進展不順，而提出漸進式逐步整併計畫，藉以發揮其經濟效應<sup>[13]</sup>。

## 五、北水處資產管理觀念運用與推展

### 1.管網中區規劃與管理

資產管理最基本的作法就是善用管理

策略，促使基礎設施充分發揮效能，提高能源效率，降低生產及供應成本。對於自來水事業耗能最大、供水成本最高的管網配水作業，北水處近年逐步推動中區劃設及管理策略，平時供水區週邊封閉，僅由進流端平衡供水，邊界閥栓可隨時機動開啟跨區支援，每個中區供水區設一、兩處進水點，進水端設管理水表計量，區內設置 2-3 點監測點包括水量、水壓、水質，可隨時掌握區內供、需水量變化，只要掌握關鍵閥栓操作就可以精準管理用水調度，改善目前需大量人力操作制水閥才能達到管網管理目的。再者，透過等壓線管理，改善管網水壓高低差過大現象，可趨向均壓分布，降低不必要的動力成本，但仍須保有機動性跨區緊急調度機能，因此邊界關鍵閥栓管理維護及功能保證相當重要。

中區計量區規劃未來將可即時監測區內壓力及日夜流量變化，其均壓控制原則採壓力變化容許在 100%~80% 間變動，若區內水壓偏低，因應對策為擴大管徑，如屬短期需求變化，可調整鄰區供應量及水壓支援。世界先進國家自來水監控中心對管網掌控與定位，已導入科技發展出功能強大之智慧型 SCADA，並持續發展創新，未來善用此項科技可大幅改善管網管理效率。但是，任何智慧型監控系統，必須仰賴充足之管網資訊回饋，正確掌握管線條件、水壓變化、漏水狀況、水質變動等資訊，因此，基礎工作為正確的將跨越多個運作部門之數據和知識加以整合，然後才能藉助智慧型系統分析提供決策的資訊。北水處監控中心負責控管管網運作，為使管網供水管理更精緻，未來

SCADA 功能必須精進強大，以圖層、圖像顯示每個供水區數據，掌握即時供水狀況，並直接引用數據進行統計分析立即決策，管理範圍擴增包括用戶資訊掌握，垂直整合監控服務功能。因此智慧型 SCADA 系統建置及軟體功能提升為未來管網管理之關鍵設備。

## 2. 加壓站精緻管理降低動力成本

加壓站抽水機為自來水供水最耗能部分，北水處 2010 年成功研發遠端變頻壓力回授操作模式，運用供水區遠端壓力訊號回饋給加壓站變頻器，因應用水變化量所衍生之壓力訊號，改變抽水機運轉出水量，有效降低動力成本，並保持管網適當水壓服務，此項管網實務操作模式也獲得國家專利。此外，北水處自行創新開發抽水機效率管理及用電管理軟體程式，建立抽水機運轉效率管控機制，精進設備及用電管理，整合及強化監控系統功能，節省硬體設備投資費用，以 2007 年為基準，2011 年單位供水耗能平均降低 11.28%，整體平均單位供水耗能降至 0.14567kWh/m<sup>3</sup>，而各加壓供水區漏水率降低 13~28.5%，單位供水耗能(KWh/m<sup>3</sup>)降幅為 9.58~42.63%，相較之下，成本降低幅度並不亞於世界各國改善績效，未來應持續精進，並將成效於國際研討會公開發表。

大台北地區屬盆地地形，北水處供水區劃設無法避免邊緣或末端局部高地，自來水供應因高程增加而水壓不足，若整個供水區提高出水水壓，將浪費加壓動力，因此，北水處採取以小型加壓站改善供水區域邊緣地帶，有些採管中加壓設備，有些改善末端小型加壓設備，調整服務範圍，降低主加

壓站之動力支出，以精緻管理提供用戶更佳的水壓品質，同時降低管網整體動力成本。再者，善用中繼加壓夜間離峰低價電費成本，調蓄高地配水池水量，再因應用水變化，滿足管網供水需求。總之，提高基礎資產設備利用率，力求降低操作維護成本之下，仍能創造更好的供水服務水準，這也是台北好水的內涵。

### 3. 順應地勢擴大重力餘壓供水

臺北自來水事業處加壓抽水機用電佔總電量 90%，與其它水事業相當，近年北水處成立 EMS 委員會推動節能減碳工作，鑑於北水處的水源約 70% 來自直潭淨水場，水源供應由高地而下盆地，因此近年來利用供水地勢高程優勢，不斷嘗試輸水幹管重力餘壓直接供應管網需求。日本橫濱市水道局統計研究供水區動力抽水區之耗能為重力供水區之 37 倍，也採行增加夜間操作順應離峰電價作法。事實上，北水處早期已規劃建設完成兩條清水輸送幹管，自直潭淨水場一路重力輸送到台北市新生公園大同配水池加壓站。兩條清水幹線平行而下，當中有安康、中和、公館、信義支線等橫向幹管連通，由分支幹線進入供水管網，與加壓站加壓區分割，可規劃獨立重力供水區，配合用戶水池、水塔為必備之建築設備，利用幹管餘壓調配尖、離峰時段供水，滿足供水區最適壓力，經實施多年成果顯著，每日可停止 2,450Hp 抽水機運轉 14 小時以上，年約節省 450 餘萬度電量。近年來，一清、二清幹線輸送末端大同及民生加壓站配水池，也可利用之關渡、民生幹線再延長重力供水區域，充分利用高程優勢，併同中區管理重新劃設

供水區，提升重力供水比例，減少耗能加壓送水，降低操作成本。

### 4. 汰換管線採用最適策略選擇

世界都市自來水供應不乏將經營權委託給財團或專業公司特許經營，管網管線可接受漏水率範圍所對應之管損率限值因地而異，經營者常必須在修漏與汰舊換新之間作出投資決策，加拿大 Queens 大學以生命週期能量分析(Life Cycle Energy Analysis, LCEA)作為管網汰換管線策略選擇，認為汰換管線本身能量消耗將遠高於配水系統加壓操作能量，管網管線達管損率達高限值才汰換為最佳策略。但是，台灣地區汰換管線策略選擇的關鍵，在於事業體財務資產管理及水資源取得之機會成本，前者與自來水長期經營成本有關，後者與國家水資源政策息息相關。澳洲 CSIRO 以 LICAN(Life cycle cost analysis of networks system)軟體研究管網管理總成本包括初設成本、修漏成本、漏水成本、汰換成本，以 10 萬用戶之管網實際案例統計結果修漏成本占 70~80%，以長期資產管理而言，採取汰換老舊管線總成本反而較經濟。北水處在 2003 年啟動 20 年的長程管網改善計畫，計畫性的汰換老舊管線，尤其是漏水點占 90% 以上的用戶給水外線，原則全面採用耐久性佳的管材，即「配水管 DIP 化、給水管 SSP 化」，不只延長管線壽命，也降低生命週期間的修漏成本。此外，DIP 配水管線管接頭具一定之耐震功能，外部再包覆 PE 防蝕套膜，未來管線內襯密封塗層方面再精進加強，即可以些微的成本增加，有效延長資產使用年限，進而反映攤提折舊，降低經營成本；用戶給水外線用採波

狀不銹鋼管，大幅減少接頭數，且具耐震性，在臺灣潮濕腐蝕的土壤環境下可增加耐久性，當完成後計量小區汰換管線改善後，該區售水率達 90% 以上，且大幅降低漏水件數，不但使事業收益穩定，漏水修復成本也會逐漸降低。北水處管網改善長程計畫，歷經兩次中程計畫執行，年汰換約 160 公里管線，整體管網漏水率已由初始 2002 年的 28.44%，降低至 2013 年 9 月的 18.20%，每日轄區管網配水量減少達 41.7 萬立方公尺，且隨計畫推動持續增加節餘量，這些找回來的水資源，足以支援供應鄰近地區缺水需求，減緩國家開發水資源投資之水庫建設支出。

#### 5. 導入全生命週期成本評估重大投資

以資產管理趨勢來看，重大資產投資決策不單純以最低初始購買成本為選擇方案，需以整個設施之生命週期成本進行評估，包括初始投資成本、操作維護成本和最終報廢處置成本，其中操作維護成本往往是關鍵因子。再者，不僅要考慮不同時期成本結構，還要考慮週期跨度和折現，因為週期跨度和貼現率是資產生命週期成本法的關鍵。雖然全生命週期成本已成為評估整體成本非常有用的方法，但評估時仍有許多元素及干擾因子。北水處對大台北地區自來水供水設施建設，向來均依據都市計畫發展預先擬訂長程計畫，供水設施建設配合都市發展與時俱進，昔日人口成長快速期幾乎為必要之公共建設，但近年來則呈現人口成長緩慢，普及率已達 99.99%，用戶數僅微幅增加，在此之際，北水處目前正執行第五期供水建設計畫第二階段，重大工程投資雖無法直接提升營業收益，卻可以降低維護成本、

減少人力成本支出，並改善供水品質。因此，北水處未來工程投資決策更需藉助財務專業評估，以全生命週期成本考量，採取經濟年齡使用年限攤提折舊成本，用永續經營理念建設供水基礎公共設施，形塑台北好水品牌。

## 六、結語

自來水供水屬資產生命期長之事業經營，必須有資產管理觀念，目前國際發展趨勢，基本作法採取強化日常操作管理，藉提升基礎設施效率，精準而即時管理加壓設備，並且善用管網重力供水來降低能源成本；至於投資策略方面，藉最適成本原則，在操作成本、修復或更新投資之間做出適當決策，確保經濟及財務永續經營。然而，不論是日常操作管理或是更新維修投資，基礎工作應該系統化建立數據蒐集方式，運用操作維修完整的數據，才能支援後續正確診斷及決策需求。此外水資源利用及管理也可以由資產管理觀念出發，例如歐洲、澳洲等地區因應缺水嚴重問題，提出再生水替代水源策略，積極發展都市污水處理技術，以提高放流水標準，使其能作為農業灌溉水源或飲用水源，但是操作成本與耗能特性等經濟問題已成為永續經營關鍵，殷鑑於此，北水處應持續推動管網減漏、精進壓力管理等資產管理策略，以提高水資源利用率及節約用水為預防缺水的主要對策。

## 參考文獻

1. Helena Alegre and Sérgio T. Coelho (2012), Infrastructure Asset Management of Urban Water Systems,

- (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)
- 2.M.Bakker,T.Rajewicz,H.Kien,J.Vreeburg,L.Rietveld (2013),” Reducing energy consumption and leakage by active pressure control in a water supply system” , Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems Conference p.83
  - 3.M.Morley,A.Bello-Dambatta,Z.Kapelan,” Integrated energy and pressure management optimization for water distribution systems” , (2013)Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems Conference p.161
  - 4.F.Papa,D.Radulj,B.Karnemy,M.Robertson,” (2013) Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems Conference p.63
  - 5.D.Kimura,O.Maruyma,A.Toyama,” Evaluation and enhancement of energy efficiency in Yokohama” , (2013) Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems Conference p.191
  - 6.E.Cabrera,R.Cobacho,V.Espert,J.Soriano,” Assessing the full economic impact of domestic water tanks” , (2013) Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems Conference p.73
  - 7.M.Prosser,V.Speight,Y.Filion,” Life-cycle Energy Analysis to Assess the Energy Use Implications of Pipe Replacement Schedules” , (2013) Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems Conference p.137
  - 8.M.ReyesGaldon,M.MolinosSenante,M.Termesrife,F.HernandezSancho(2013),” The Role of Life Cycle Costing in Urban Water Cycle” ,3rd International Conference on Water Economics, Statistics and Finance, p.39
  9. 廣東財經大學 MBAlib 智庫百科 , <http://wiki.mbalib.com/wiki/>
  - 10.M.Ambrose,S.Burn,D.DeSilva,M.Rahilly,” Life Cycle Analysis of Water Networks” (2008) <http://pepipe.org/uploads>
  - 11.Jean-Francois VERGES ,” Governance & regulation and institution set-ups for water & sanitation services in Europe” , 3rd International Conference on Water Economics, Statistics and Finance, p.45
  - 12.Rui Marques, Pedro Carvalho ,” Market Structure of Water Services in Portugal” , 3rd International Conference on Water Economics, Statistics and Finance, p.58
  - 13.Massao Shibuya ,Francesc Hernandez Sancho,” Economic Effects of Consolidation of Water Utilities in Japa” , 3rd International Conference on Water Economics, Statistics and Finance,

## 作者簡介

### 陳維政先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊 副總隊長

專長：自來水工程規劃與施工、淨水處理技術、管網分析與調度

### 吳陽龍先生

現職：臺北自來水事業處 處長

專長：自來水事業經營管理、自來水工程規劃與管理

# 北水處人手孔蓋抗滑性能之研究

文/曾喜彩、林哲生

## 一、前言

國內的人手孔蓋多屬電信、瓦斯、自來水等各民生管線單位，長久以來人孔蓋表面多僅以凹凸規則來提供基本防滑幾何圖形，以及隸屬單位名稱之識別功能，樣式簡單，缺乏特殊性，近年來有越來越多單位投注心力在人孔蓋之美化設計上，嘗試將孔蓋與地方特色結合，諸如基隆市政府「2009 污水下水道人孔蓋圖案」、工務局水利處「臺北市雨水人孔蓋美化設計公開上網徵圖徵選活動」等，期由全民創意、共同參與，來活化人孔蓋，擺脫枯燥單調的一面，進而達到美化市容的目的。

但是人手孔蓋除了是城市與事業單位的外在表徵之外，因為其設置在道路上，所以更與用路人的安全有直接的關係，但雖如此，國內對孔蓋的抗滑性能卻少有著墨。近幾年來，不論是行人或騎士因為人手孔設置或維護不當，而發生人車損傷的國賠事件時有所聞，而這些意外事件不但造成民眾身體與設備之損失，更對機關形象造成莫大傷害。近年來路權單位在執行路平專案時，都儘可能將閘栓箱下地，以達到孔蓋減量目的，但因自來水閘栓負有救災功能，無需配合下地，所以如何確保自來水人手孔蓋不致因抗滑性能不足而導致用路人發生滑倒意外，也就是針對孔蓋的抗滑性能予以規範就顯得格外重要。

目前國內僅針對道路上的標線訂有抗滑性能的標準（潮濕 BPN 值為 45），而針對

設置於道路上為數眾多之各類人手孔蓋，則無相關抗滑性能之規範，此一議題已引起立法單位的注意，日前已有立法委員要求相關單位儘速研議將孔蓋抗滑係數納入工程規範之中，以確保用路民眾安全。

長久以來北水處對所用孔蓋之抗滑性能未曾進行相關探討，而為瞭解北水處現有人手孔蓋之抗滑性能，本研究透過實地測試方式來蒐集相關數據，並進一步探討影響孔蓋抗滑性能的可能原因，期盼能透過相關測試結果不斷的累積，找出決定孔蓋抗滑性能的要因，最終能建立完整的孔蓋設計與維管機制，以確保北水處各類孔蓋之使用安全。

## 二、人手孔蓋抗滑能力探討回顧

電力、電信、自來水等公共維生管線設施隨著都市發展不斷增加，而為了日後維護管理之需，各管線單位在各自的管線網絡中均設置有不同型式與目的之人手孔，以利營運階段相關維管作業之遂行，隨著建設的推展，路面上越來越多的各類人手孔蓋遂成為交通安全上的隱形殺手。孔蓋為用路人與車輛輪胎在路面上直接碰觸到的表面，其「抗滑性能」直接影響車輛行駛與行人安全，惟目前國內各單位針對孔蓋所制訂之各項規範多限於尺寸大小、材料及強度等，並未針對抗滑性能訂定相關的測試方法與標準，但當人手孔蓋之抗滑能力不足時，常導致車輛於行駛過程中產生打滑現象。

針對國內人手孔蓋抗滑能力之研究甚少，主要研究成果係由臺灣大學土木工程學

系周教授家蓓研究團隊所提的 2 篇研究論文與報告，分別為「國內道路人手孔蓋之抗滑能力標準委託研究」（周家蓓，交通部公路總局材料試驗所委託研究報告，2010.11）以及「人孔蓋花紋設計對抗滑能力影響之研究」（黃君凱，國立臺灣大學土木工程學碩士論文，2010.06），以下摘錄這二篇研究的主要內容與結論，以便對此議題建立基本認識：

### (一)測試方法：

其研究中主要以英式擺錘測試儀（British Pendulum Tester, BPT，圖 1）與動態摩擦測試儀（Dynamic Friction Tester, DFT，圖 2），來進行抗滑測試，此兩種均屬於定點式抗滑量測儀器，其中英式擺錘儀係交通部交通工程手冊中規定用於量測標線抗滑值之儀器，而動態摩擦測試儀則為日本孔蓋抗滑規範中規定使用的主要儀器，這兩種儀器的測試原理係藉著測試用橡膠片在鋪面上滑動時的動能損失來評估鋪面可提供的抗滑能力，優點為輕量、搬動方便、操作容易，且量測結果較為直觀。其中，英式擺錘所量得之抗滑值稱為「英式擺錘數 (British Pendulum Number, BPN 值)」或稱為「抗滑值 (Skid Resistance Value, SRV)」，而動態摩擦測試儀所記錄下的測試數據為動態摩擦數 (DFTv Number)，以 0 到 1 之間的數值表示，V 為當時橡膠滑片之滑動速度(kph)，通常會記錄圓盤切線速度為 20、40、60、80 kph 時之讀值。

### (二)測試結果：

1.若以潮濕狀況下的 BPN 值為 45，以及 DFT60 為 0.45 做為人手孔蓋基本抗滑性能要求的最低標準值，則目前國內各單位所

使用的孔蓋，約 90%的孔蓋新品可達到此要求。但是已使用中的孔蓋則僅有 10%可符合 BPN 值標準和 25%可符合 DFT60 標準，亦即目前各管線單位已設置於道路上的人手孔蓋大多數都不符合基本抗滑標準。



圖 1 英式擺錘 (BPT)

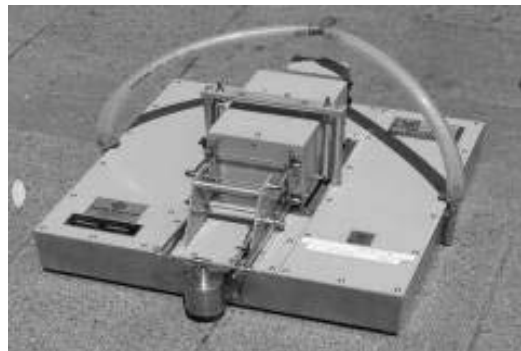


圖 2 動態摩擦測試儀 (DFT)

- 2.孔蓋新品雖可通過基本抗滑門檻的要求，但同一花紋之孔蓋其抗滑值分佈範圍過大，也就是即便是新品，孔蓋在抗滑性能的品質表現上仍顯良莠不齊，代表製造廠商品管不一。
- 3.孔蓋表面以塗佈瀝青柏油漆來進行防鏽處理後，孔蓋的抗滑性能明顯不佳，而目前北水處之人手孔蓋都是以此類塗漆的方式進行防鏽處理，所以這個結果相當值得北水處重視。

4.孔蓋表面花紋之平均深度對高速動態下所提供之抗滑能力具有相當程度之影響。

綜合以上結論可發現，孔蓋表面花紋之平均深度對抗滑性能有直接影響，而使用中的孔蓋，則因為各管線單位沒有針對孔蓋花紋磨耗或抗滑值過低訂定孔蓋汰換標準，導致孔蓋使用時間過長，紋路磨損進而導致使用中的孔蓋普遍無法達到基本的抗滑性能標準的結果，所以訂出孔蓋紋路臨界磨耗值與汰新的標準，是確保人手孔蓋維管安全無虞的重要關鍵。

### 三、北水處人手孔蓋抗滑測試

北水處目前於道路上所設置之人手孔依設備種類的不同，分別有「人孔-蝶閥」、「手孔-制水閥與排泥閥」、「消防栓箱-地下式消防栓」、「排氣閥箱-排氣閥」、「表箱(大、中、小)-水表」等，而北水處長久以來對所屬孔蓋之抗滑性能並未進行過相關研究與探討，僅於民國 99 年，配合周教授家蓓執行公路總局材料試驗所委託之研究計畫「國內道路人手孔蓋之抗滑能力標準委託研究」時，提供 14 只磨耗程度不同之人手孔蓋，供其進行測試，而北水處透過該項測試，方得以對所用人手孔蓋的抗滑性能有最初步的瞭解，相關測試結果於 3.1 節有完整說明。

北水處雖未曾對此議題進行深入研析，惟已就提升孔蓋抗滑性能進行嘗試。民國 99 年，北水處曾針對孔蓋圖紋委外辦理公開徵圖與評選作業，其後並於 100 年選擇臺北市公館地區，以優勝作品作為孔蓋新式圖紋，辦理新型美化人孔蓋、制水閥蓋之採購與實際安裝作業。而在該次採購中，北水處即增加刻紋深度(3mm 增加至 6mm)，嘗

試來提升新式孔蓋之抗滑性能。

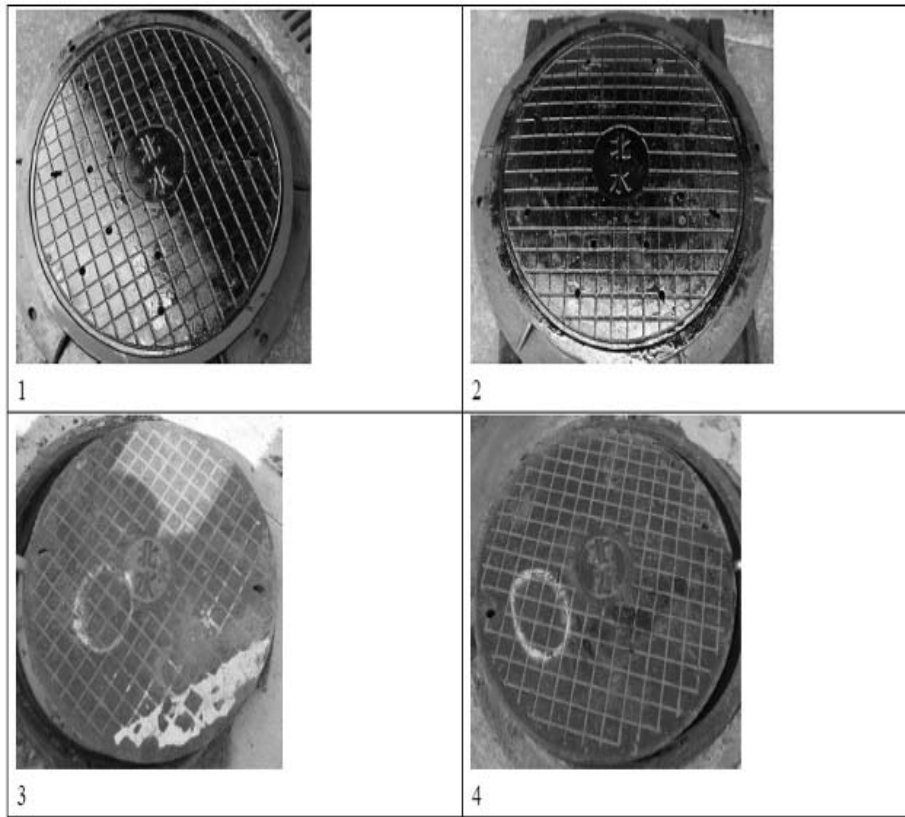
為對北水處各類孔蓋之抗滑性能建立較全面性的認識，北水處於 101 年委請具 TAF 認證之交通部公路總局材料試驗所來執行現地量測作業，而在測試孔蓋的選擇上，特別將前述新型美化孔蓋納入，以瞭解改善成效。

接下來就分別針對周教授家蓓 99 年研究中有關北水處的部分，以及 101 年委請交通部公路總局材料試驗所進行實地測試的結果進行說明。

#### (一) 99 年配合周教授家蓓測試結果：

北水處在 99 年提供各種花紋、型式之孔蓋全新品、輕度磨耗舊品、中度磨耗舊品，以及撤換下已不堪使用之舊品共計 14 只，供周教授團隊進行抗滑性能測試。該研究中，將北水處箱蓋依尺寸概分為「小型孔蓋」以及「大型孔蓋」，其中「小型孔蓋」泛指制水閥箱蓋、消防栓箱蓋、水表箱蓋等，而「大型孔蓋」即為 80cm 人孔蓋。研究中共測試了 6 只已裝設於現地使用的小型孔蓋，以及 8 只大型孔蓋。

而針對「大型孔蓋」部分，區分為「路上檢測」與「路外檢測」兩種，所謂「路上檢測」就是針對目前實際裝設在道路上的人孔蓋進行量測，此一部分共測試了 4 只，另外，「路外檢測」則是針對並非裝設在道路上的人孔蓋進行量測，此一部分共測試了 4 只，分別有 2 只是新品，2 只是從現場拆回來的報廢品。而針對大型孔蓋，除了以英式擺槌(BPT)進行乾、濕狀態下的量測之外，亦針對合適的孔蓋加作動態摩擦儀的測試，結果概述如下：



編號	種類	BPN 乾		BPN 濕		DFT				備註
		縱	橫	縱	橫	20	40	50	60	
1	北水圓形新品	102	93	29	36	0.20	0.16	0.17	n/a	防鏽處理
2	北水圓形新品	90	85	40	24	0.15	0.14	0.14	n/a	防鏽處理
3	北水圓形報廢品	67	69	48	50	0.50	0.31	0.27	n/a	
4	北水圓形報廢品	87	87	42	50	0.62	0.43	0.38	0.26	

圖 3 大型孔蓋量測結果 (路外)

若以潮濕 BPN 值為 45 以及 DFT60 為 0.45 做為孔蓋抗滑性能最低標準值，研究結果顯示使用中的 6 只「小型孔蓋」以及 4 只「大型孔蓋」均未達標準，而特別值得注意的是「路外檢測」部分，2 只報廢品在潮濕狀態下的 BPN 值接近甚至超過 BPN 值為 45 的標準，見圖 3，此一「報廢品的抗滑性能優於新品」特殊現象，是否係新品孔蓋上的防鏽塗裝導致孔蓋抗滑性能降低所致，以及是否代表防鏽塗裝對孔蓋抗滑性能的影響大於花紋深度？後續應深入探究。

### (二)101 年委請公路總局現地測試：

為了對北水處所用孔蓋的抗滑性能有較完整的認識，同時評估 100 年所購置的新型美化人手孔蓋，抗滑性能是否因為增加刻紋深度而有所提升，北水處於 101 年委請交通部公路總局材料試驗所，針對北水處目前所採用的各類人手孔蓋（包括人孔蓋、制水閥蓋…等），以英式擺錘進行抗滑性能的現地測試，以下分別就測試過程與結果進行說明：

#### 1. 實地測試：

本次測試係依循周教授的研究模式來進行，並將不同種類、不同磨損程度以及新型美化的人手孔蓋都納入測試，以期能建立北水處孔蓋較全面、完整的抗滑性能資料。

在測試方法上，周教授家蓓於 99 年的研究計畫中，建議需將「英式擺錘」與「動態摩擦儀」並重，惟考量目前國內針對道路標線的抗滑性能係以「英式擺錘」的測試結果來進行規範（潮濕狀態 BPN 值大於 45），且動態摩擦儀目前尚非普遍、通用的測試方式，故本研究係以「英式擺錘」來進行測試。

另外，每個孔蓋實際應測試的位置亦依循周教授於研究中所採用的方式，其中，80cm 人孔蓋需分別針對圖 4 所標示的 4 個位置點，量測在乾燥與潮濕狀態下的 BPN 值。而針對制水閥蓋、地下式消防栓蓋以及中、小型水表箱蓋等小型孔蓋，則需分別測試縱向與橫向的 BPN 值。在縱向與橫向的定義方面，理論上，與車行方向平行者為縱向（標記為 L）、與車行方向垂直者為橫向（標記為 T），但是實際上，孔蓋裝設到路上時並無一定的方向性，且車輛通過孔蓋時也不會有固定的方向與路徑，所以本研究同樣遵循周教授於其研究中所採用的方式，統一定義與孔蓋表面文字方向平行者為 L（縱向），垂直者為 T（橫向），如圖 5 所示。與周教授採用一致的資料定義，也有助於本研究所作測試資料與 99 年周教授研究報告相關測試數據的整合。

本研究希望對各類孔蓋在不同磨損狀態下的抗滑性能進行瞭解，所以在實地測試前，必須先就「磨損狀態」予以定義，本研究稱的「磨損狀態」是指孔蓋表面圖紋磨耗的程度，刻紋越淺，磨損越嚴重。當然，要瞭解刻紋深淺，最嚴謹的作法，是依照周

教授研究報告中所採，以「改良式鋪砂法」量取孔蓋真正花紋深度，再來跟 BPN 值作比對分析，但是因為北水處對所用孔蓋的抗滑性能從未有過任何研析，本研究希望能先對孔蓋抗滑性能建立初步的瞭解，所以在實地測試時，概略地將各類孔蓋之磨損情形，以目視觀察孔蓋表面圖紋狀態的方式，區分為「新品」、「輕度磨損」、「中度磨損」與「嚴重磨損」4 類，如圖 6，其中，「輕度磨損」指的是孔蓋圖紋清晰，刻紋深度幾與「新品」無異者，而「中度磨損」是指孔蓋刻紋深度雖已明顯磨耗，但是圖紋仍清晰、完整可辨者，最後，孔蓋刻紋已嚴重磨耗，導致圖紋模糊或有殘缺者，則歸類為「嚴重磨損」，有了統一的磨損歸類方式後，即可針對孔蓋抗滑性能進行後續實地測試與相關定性的分析。

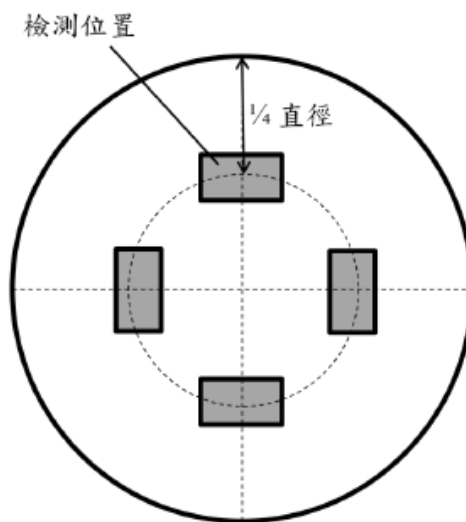


圖 4 人孔蓋(80cm)應檢測位置

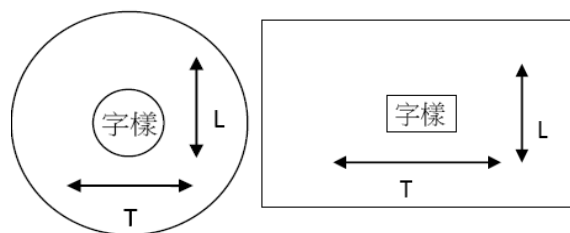


圖 5 小型箱蓋縱、橫向定義

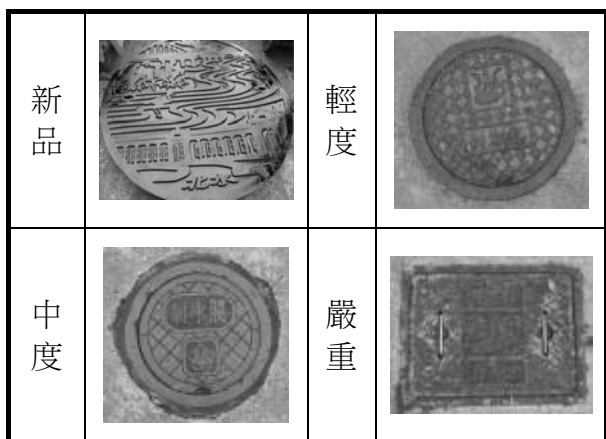


圖 6 孔蓋不同磨損程度

本研究希望能廣泛地取得北水處各類孔蓋在不同磨損狀況下的抗滑性能數據 (BPN 值)，所以在實地施測點位的選擇上，考量納入 99 年周教授家蓓研究中已做的孔蓋部分後，實地測試了各式人手孔與水表箱蓋共計 28 只，各只均依照前述規定 (縱、橫、位置等) 來進行相關測試，如圖 7、圖 8，測試結果彙整如下：



圖 7 實地測試(新型人孔蓋-第 2 點)



圖 8 實地測試(新型制水閥蓋-縱向)

## 2. 測試結果與分析

所有資料彙整如表 1，從此表中即可得到北水處各類孔蓋在不同磨損情況下的抗滑性能如下：

(1) 人孔蓋使用新型美化圖紋，抗滑性能優於舊式：

由表 1 可以看出，採用新型美化圖紋所製作的人孔蓋，抗滑性能確較舊式圖紋為高，並已相當接近潮濕 BPN 值為 45 的建議標準，研判應為美化孔蓋將刻紋深度由舊式 3mm 加深至 6mm 所產生之效果。

至於水表箱蓋的部分，測試結果顯示中型與小型表箱蓋的潮濕 BPN 值尚未達建議標準 (小型：35、中型：33)，惟因表箱係設置在建築線內的私有土地上，對用路人、車較無安全上的疑慮。

在表 1 中，特別值得注意的是，針對「嚴重磨損」「大型水表箱蓋」的測試結果，其平均潮濕 BPN 值達 50，而且表箱蓋上縱向與橫向的 4 個測試點，潮濕 BPN 值都超過 45，是什麼原因讓該只表箱蓋能呈現出較平均值更高的抗滑性能？這些將於本章後段進行探討。

(2) 制水閥蓋使用新型美化圖紋，抗滑性能未見提升：

同樣由表 1 中發現，採用新型美化圖紋所製作的制水閥蓋，其抗滑性能與舊式圖紋無異，推判是因為制水閥蓋面積較小，美化圖紋遭壓縮，導致雖然刻紋較深，卻沒有提升效果。

(3) 磨損程度與抗滑性能間並未能發現明顯且一致的關係：

觀察表 1 及圖 9~圖 11 可以發現，孔蓋磨損程度與抗滑性能間並未呈現出一致的

表 1 北水處各類孔蓋抗滑測試數據(BPN 值)

孔蓋種類		磨損狀態				BPN 值(乾)			BPN 值(濕)		
		新品	輕度	中度	嚴重	縱	橫	平均	縱	橫	平均
人孔	既有	v				96	89	93	35	30	32
				v		91	88	90	35	39	37
					v	77	85	81	38	36	37
	美化	v				82	85	83	40	38	39
			v			88	92	90	40	44	42
				v		98	95	97	42	41	42
制水閥	既有	v				91	90	91	39	32	36
			v			64	82	73	32	40	36
				v		93	93	93	30	31	31
					v	95	90	93	45	45	45
	美化	v				95	92	94	31	32	32
			v			94	96	95	35	34	35
				v		98	95	97	33	32	33
地下式消防栓	既有	v				87	90	89	26	21	24
			v			93	94	94	33	33	33
				v		92	95	94	36	32	34
					v	88	81	85	37	40	39
表箱蓋	大型				v	80	82	81	47	52	50
	中型(既有)		v			80	90	85	30	35	33
	小型(既有)		v			108	101	105	40	32	36
	小型(既有)			v		85	91	88	32	37	35

關係，是測試數量不足？所選孔蓋代表性不夠？還是測試方法(英式擺錘)無法呈現此類特性？有賴後續進一步研究。

(4)乾燥 BPN 值越高，潮濕 BPN 值有越低的現象：

觀察 99 年周教授家蓓研究報告中，針對北水處人孔蓋所作測試數據發現一個現象，就是在相同的磨損程度、相同測試方向下，乾燥 BPN 值較高的孔蓋，潮濕 BPN 值較低，如圖 12 所示，而本研究在執行實地測試時，也發現有類似情況，如圖 13，此結果顯示孔蓋乾燥與潮濕 BPN 值的決定因素並不相同（甚或相反），這一點在往後相關研究或孔蓋改善規劃中，需要特別注意。

(5)新型美化人孔蓋第 2、3 點的潮濕 BPN 值高於第 1、4 點：

本研究選擇了 8 只新型美化人孔蓋進行實地抗滑測試，而相關測試作業執行時，均依照周教授家蓓所建議，針對每 1 只人孔蓋的 4 個位置點進行測試（如圖 14），彙整各點位測試數據後發現，8 只人孔蓋第 2、3 點的潮濕 BPN 值均明顯高於第 1、4 點，如圖 15 所示。

圖 16 是 4 個測試點在美化孔蓋上的位置與相片，由圖中可以觀察到，潮濕 BPN 值較高的第 2、3 點，是刻紋較多較密的部分，反觀第 1、4 點，則刻紋較少，擺錘上膠片實際接觸者多是鑄鐵平面，由此觀之，孔蓋圖紋上刻紋密度的多寡，與潮濕 BPN 值有直接且密切的關係。

(6)「鏽蝕」、「表面異物」會提升孔蓋潮濕 BPN 值？

最後，此次測試過程中發現一個特別的現象，就是多只屬於「嚴重磨損」之孔蓋，

其潮濕 BPN 值，明顯比同類型孔蓋為高，此一現象明顯與「刻紋深度越淺（磨耗越嚴重），抗滑效果越差」互相違背，而周教授家蓓在 99 年的研究報告中，也測試出已報廢的人孔蓋，潮濕 BPN 值反而最好的情形（圖 3）。

是何種原因造成前述孔蓋潮濕 BPN 值的優異表現？實地觀察，發現這些孔蓋都有 2 個共有的特點：「鏽蝕」與「表面異物」，所以推判這些孔蓋係因「鏽蝕」與「表面異物」造成表面凹凸粗糙，進而使潮濕 BPN 值較其他孔蓋為高，而這也對應出「防鏽處理」導致孔蓋表面光滑，潮濕 BPN 值下降的現象。

所以，如何在維持孔蓋正常功能下，提高其表面粗糙度應是後續研究的重點。

#### 四、結論

影響孔蓋抗滑性能之變因眾多，如材質、圖紋密度、凹槽寬度與深度等，實地測試作業後發現，刻紋較深的新型美化人孔蓋，其抗滑性能優於舊式，並已接近建議值，而在同 1 只新型美化孔蓋上，第 2、3 點的潮濕 BPN 值明顯高於第 1、4 點，推判孔蓋上「刻紋密度」，也就是圖紋多寡，應與潮濕 BPN 值有直接且密切的關係。

另外，本研究也發現孔蓋有乾燥 BPN 值越高，潮濕 BPN 值越低的趨勢，初步評估代表孔蓋乾燥與潮濕 BPN 值的決定因素並不相同（甚或相反），以及「鏽蝕」與「表面異物」讓「嚴重磨損」的孔蓋潮濕 BPN 值反而較高的特殊情形，這二點在往後提升孔蓋抗滑性能的相關研究與設計過程中，需要特別注意。

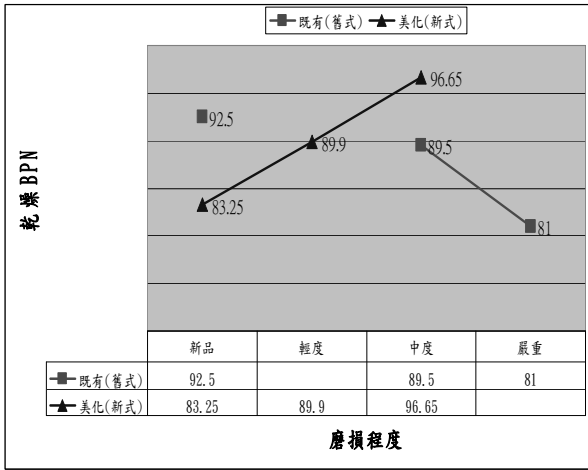


圖 9 人孔蓋磨損程度 v.s.乾燥 BPN

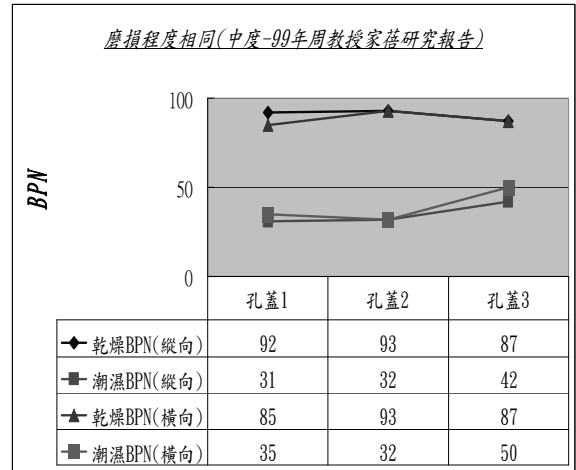


圖 12 BPN 值(乾燥 v.s.潮濕)

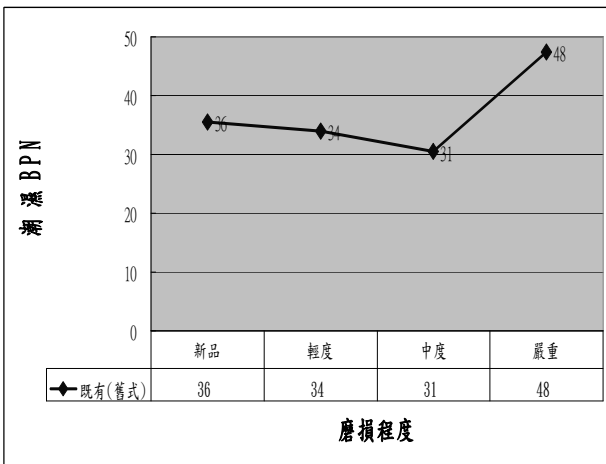


圖 10 舊式制水閥蓋磨損 v.s.潮濕 BPN

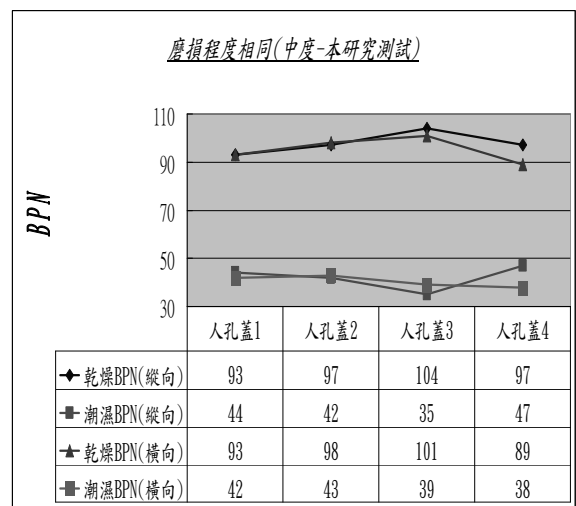


圖 13 乾燥 v.s.潮濕=>中度磨損

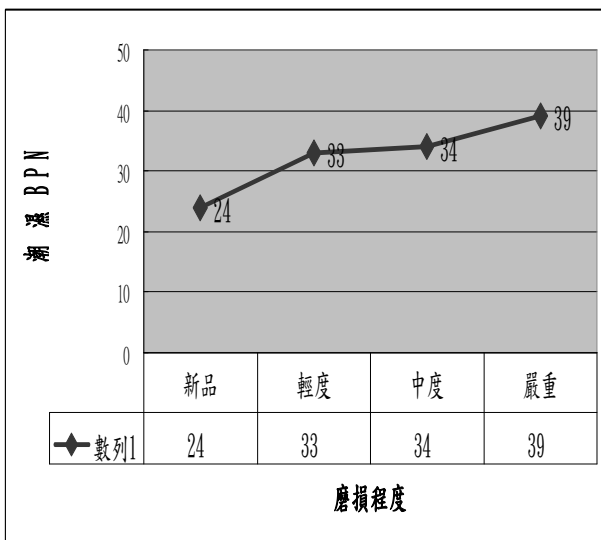


圖 11 地下消防栓蓋磨損 v.s.潮濕 BPN

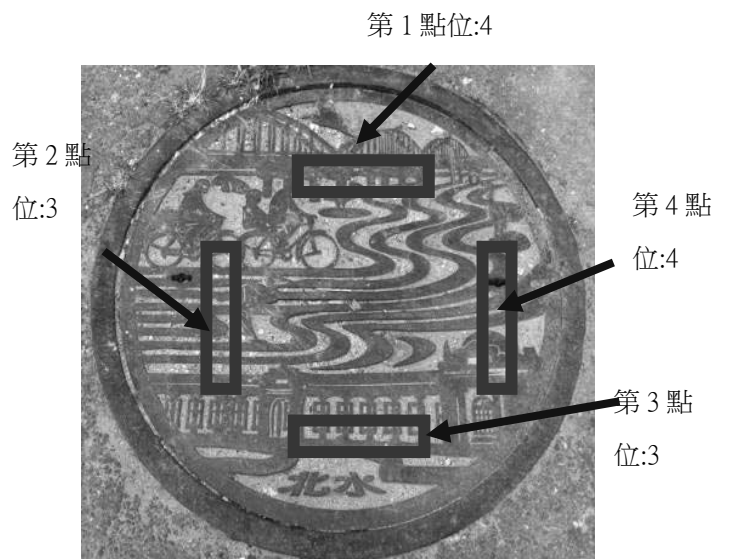


圖 14 新型美化人孔蓋測試點位置

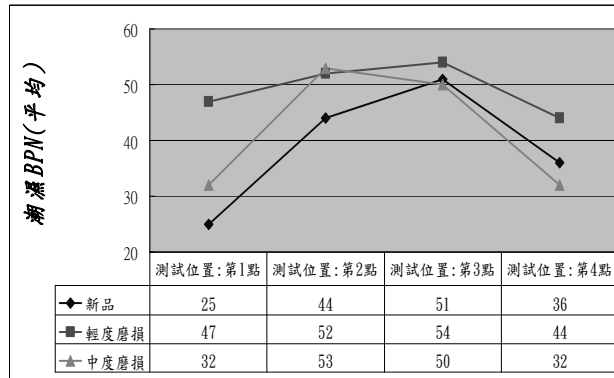


圖 15 潮濕 BPN 值 v.s. 測試點位

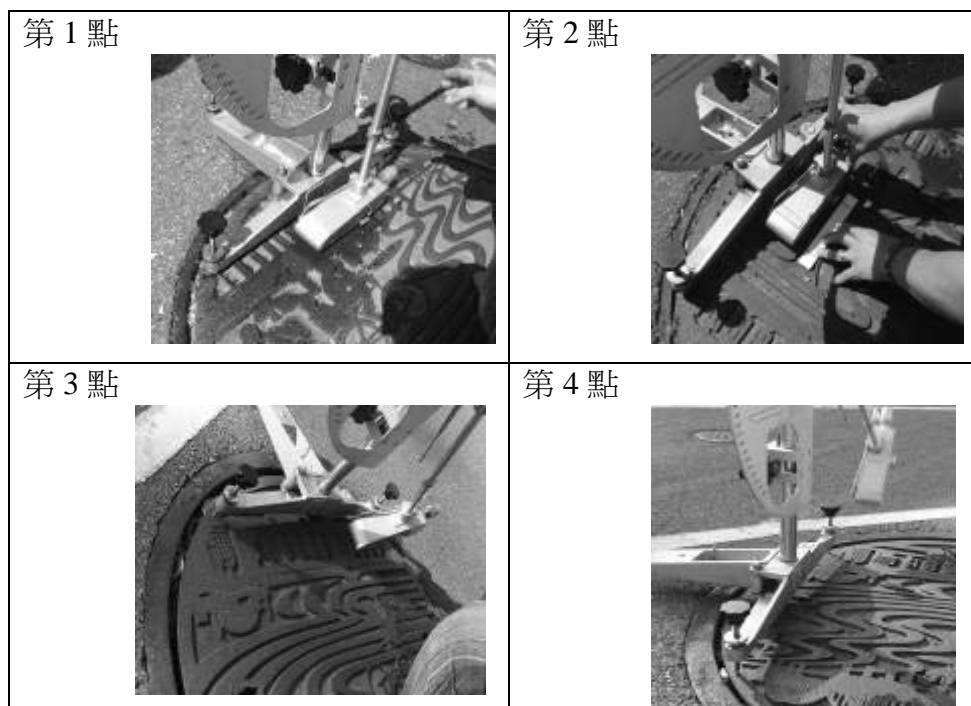


圖 16 美化人孔蓋不同點位測試相片

如何在維持孔蓋正常功能下，提升其表面粗糙度，並選用妥適的防鏽處理方式以增加摩擦力，並訂出孔蓋紋路臨界磨耗值與汰新的標準，是後續研究的重點。

### 參考文獻

1. 周家蓓，國內道路人手孔蓋之抗滑能力標準委託研究，交通部公路總局材料試驗所委託研究報告，2010.11。
2. 黃君凱，人孔蓋花紋設計對抗滑能力影響之研究，國立臺灣大學土木工程學碩士論文，

2010.06。

3. 臺北自來水事業處，鑄鐵人孔蓋、昇高圈及與基座物料規範，2012。

### 作者簡介

#### 曾喜彩先生

現職：臺北自來水事業處技術科股長  
專長：供水調配、自來水技術研發、工程規劃與管理

#### 林哲生先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處副工程司  
專長：自來水管材、工法研發、工程施工與管理

# 臺北舊城區之自來水漏水改善策略

文/李中彥

## 摘要

自 1882 年起，臺北城建城已逾一百三十年，隨著時代的演變及城市區段的發展，公共自來水管網逐漸延伸至每一個城市居民的家中，市區內自來水普及率已接近百分之百。然而，隨著城市的變遷，舊城區之自來水管線已普遍老舊且漏水嚴重，導致售水率偏低；此外，各類管線層層密佈，加上道路狹小，自來水管線汰換不易，成為漏水改善之盲點。

本文針對台北舊城區自來水管線特性進行分析，研擬可行之規劃設計步驟。並依臺北市萬華舊城區內自來水管線汰換之實際經驗，提出各項施工關鍵項目之精進作法，期使未來進行舊市區漏水改善時，有所依循和參考。

關鍵字：舊城區漏水改善、小區計量、防火巷管線屋後改屋前接水

## 一、前言

臺北盆地，最早為凱達格蘭人的生活聚居地。明代初期，漢人開始跨海移民至臺灣。從 17 世紀初西班牙人佔領台灣北海岸開始，臺北盆地先後經歷荷蘭東印度公司、鄭氏王朝及清代的統治，漢人移民的數量逐步增加。但是，在清代初期，臺北盆地還是處於荒蕪的狀態，未有大規模的開拓和墾殖。隨著漢人移民的腳步，19 世紀中葉，淡水河流域的物產貿易開始興起，先是艋舺（今萬華）成為重要貿易據點，然後是大稻

埕後來居上，臺灣經濟重心逐漸北移。此後，官方決定在艋舺與大稻埕間興建臺北府城作為臺灣北部的行政中心。光緒八年（1882），臺北城正式興工，由臺灣兵備道劉璈負責。劉璈專精勘輿風水之學，又有修築恆春城的實務經驗，於是更改城基方向，將整座城廓向東旋轉 13 度，使北城牆後方有七星山可做為倚靠，臺北城的城座方向變為向東北、西南傾斜，這也造就了臺北市舊城區的街廓走向。

臺灣建省後，西元 1885 年，清代首任巡撫劉銘傳力行新政且重視飲水衛生，於臺北城之北門街（今衡陽路）、石坊街（今博愛路）、西門街等處，開鑿深井供應民生用水，此為臺北公共給水之開始。1895 年，甲午戰敗，臺灣被割讓給日本。1900 年起，日本總督府逐步拆除臺北府城城牆及西門，以原臺北城範圍內的區域（日人稱為「城內」）作為官方廳舍集中地，以及來臺日裔人士的商業活動地區。此外，日人又利用拆除後的城牆原址闢築 4 條 3 線道路，並興建自來水及下水道系統。

日據時代之自來水管線建設多集中於臺北舊城區中，現存之用戶給水台帳（用戶給水裝置設計書），橫跨明治、大正、昭和三個時代，共 50 多年，前後累積的資料可謂相當豐富。相關表單格式甚至沿用至今，無多大變動。然而，隨著臺北城市的發展，越來越多外鄉移民來到臺北工作或是定居，導致臺北城的範圍日益擴大，處處可見

新蓋的大樓、社區或是公寓。舊城區裡高樓與平房櫛比鱗次，管線新舊交雜，加重了管線的漏水程度，也增加施工的困難度，成為自來水事業經營與維護上的盲點。

為減少漏水，提昇供水效能，臺北自來水事業處（以下簡稱本處）近年來持續推動管線汰換工程。民國 92 年起，本處進一步導入「小區計量」觀念，透過區塊規劃、裝表計量、管網改善及長期管理等四大步驟，全面投入大臺北地區之漏水改善作業。本文將以位於臺北舊城區之萬華五區（長沙街 2 段以南、昆明街以西、桂林路以北、康定路以東）之漏水改善經驗，歸納整理舊城區管網之特性、規劃設計及施工作業之注意事項，俾使後續進行舊城區漏水改善作業時，有所依循和參考。

## 二、舊城區之管網特性

舊城區由於發展較早，隨著都市發展，自來水管線也逐漸遍佈到各建物內。隨著都市的變遷，道路與建物不斷翻新，自來水管線的材質也隨著管材的演進不斷更迭。新舊建物與道路交雜的結果，也導致同一地區出現不同時代管線並存的困境。不同時空背景遺留下來的殘缺老舊及不明管線，又增加自來水事業營運上的難題。更甚者，早期之輸配水管及用戶給水外線，材質大多不佳，耐震、抗壓和耐蝕能力均不足，一旦超過使用年限，極易產生漏水現象。根據施工的實際狀況，舊城區管網之特性可分為五類：

### (一)防火巷管線老舊、維修困難

早期建物用戶給水外線多從屋後防火巷進水，然用戶多在防火巷內搭設違建，增建廚房或是後院，致埋設於防火巷之自來水管線既難維修，又無法汰換，容易衍伸出漏

水和竊水問題。同樣地，施工中也容易錯接其他管線，造成水源交叉污染，影響用戶用水之品質。本處雖已於 1977 年以後禁止在防火巷內埋設管線，惟舊城區由於發展較早，給水外線多位於屋後防火巷內，水表表位亦位於屋後廚房、浴室甚至臥室床板下方，不但不易抄表計量，一旦漏水亦難以檢視維修。

此外，近年來市區普遍布設污水下水道設施，其管線位置多從屋後防火巷經過。早期在防火巷布設的自來水管線，因使用年限已久且管材材質不佳，一但管線發生漏水，極易與鄰近之污水管線產生副壓污染，嚴重影響用戶之用水品質。

### (二)使用管材及口徑紛雜

舊城區因開發時間較早，早期日據時代配水管使用灌鉛白口接頭鑄鐵管（CIP），給水管則以鉛管（LP）為主。因經年使用，有水質污染之虞，故逐漸調整給配水管管材為機械接頭鑄鐵管（MJP），給水管則改為塑膠管（PVCP）或聚丁烯管（PB）。現行配水管已全面使用球狀石墨延性鑄鐵管（DIP），給水管則使用不銹鋼管（SSP）。

舊城區因開發早，且未有大幅度之都市更新，仍有部份建築物為日據時代建置安裝之給水管線。即使曾汰換配水管線，部分給水管仍為早期安裝之鉛管，且因早期管線未汰換至表位，部份鉛管至今未能消除。鉛管雖韌性較佳不易漏水，但遇重壓易產生變形，減少通水斷面，亦有水質污染之虞，早為用戶所詬病。另早期使用之 CIP 及 MJP 鑄鐵管，較不耐衝擊且不適合埋設在街道下方，經年使用或位處交通量大之區域，長年重壓，也容易造成大量漏水。如漏水點附近

有排水系統，漏水更不易察覺。如上所言，管材使用紛雜問題，造成舊城區漏水嚴重，也增加修漏之困難度。

水管越多，漏水就越多。1988 年以前，部分巷道未埋設配水管，用戶申請接水，均個別埋設用戶給水管，致同一巷道存在多條小口徑材質不佳之給水外線，增加漏水機會。以萬華區康定路 101 巷為例，該巷原有 8 戶直接用水及總表，其給水外線皆由康定路接水，故有 8 條給水外線，口徑由  $\phi 13$  至  $\phi 40$ ，材質有 PB 管、GIP 管、LP 管、PVC 管等管材，不但導致康定路  $\phi 400$  配水管上有多處接水點，且不同材質管材延伸進入巷內，增加漏水機會且維修不易。

### (三)管線圖面資料不全

本處供水系統建置至今已有九十餘年歷史，自來水管長達 6,180 公里，管網錯綜複雜。早期由人工繪製之管線圖面資料，精確度不佳，加上時空環境的變遷、地形地物的改變，圖面資料往往與現況不符，造成查閱上的困難。加上紙張保存不易，容易被蟲蛀或是潮濕沾黏，導致部分資料不全。隨著時代進步，本處嘗試利用電腦繪圖技術，將管線資料逐步儲存於電腦硬體中，重整舊有的管線配置資料。然數位化工程相當浩大，加上先後歷經不同時代、不同管材之更替、建物與地形地貌之改變，如何將數量龐大的管線竣工圖及用戶給水裝置資料全數轉換成數位資料，並建置於圖資系統，相當不易。不正確的圖資，容易導致規劃設計失誤及增加未來施工的難度。

### (四)殘存管斷管不易

埋設給水外線時，或因圖面資料不全，或因時空環境及地形地物變化，造成定位參

考點變動，不僅不易尋獲接水點位置，施工人員廢棄給水管線時，也難以確實封管。房屋改建時，如未及時拆除原有給水管，亦容易造成殘存管漏水問題。另早期施作配水管時，因未能一併更新給水管至表位，以致配水管施工時，為避免部份給水管未接水導致用戶無水可用，施工時往往發現給水管即予以接水，致使殘存之舊有給水管失去從源頭斷除之機會。由於殘存管未與水表連接，漏水不易察覺，成為檢修作業之盲點，有待根本解決。

### (五)用戶型態與供水模式差異大

舊城區因歷經長期發展，區域內老舊房屋及新建大樓雜處，常發生日據時代平房及高樓大廈並存之現象。部分平房甚至沿用日據時代之鉛管，水表口徑普遍較小（仍存在大量  $\phi 13\text{mm}$  水表），且未設水池、水塔等蓄水設施。

臺灣光復後，開始興建大量公寓式住宅或 2-3 層樓透天厝。早期法令不完備，加上用戶私自改裝，許多用戶拆除或未設地下水池，由馬達直接抽水至屋頂水塔，不利穩定供水，也有造成負壓污染之危險。

## 三、舊城區管線汰換規劃與設計

管線汰換規劃與設計是執行漏水改善成敗之重要關鍵，以小區計量方式執行舊城區之漏水改善特別應注意下列事項：

### (一)街廓完整性及是否可能有潛在的區外用水。

舊城區由於發展較早，早期之用戶給水可能從較遠之配水管接水使用，後來才於建物附近興建計畫道路及新的配水管。然圖資並未即時修正，致使小區規劃時，在邊界地區之建物可能由區外接水，或區外之建物由



區內接水使用，由於小區之初期規劃設計皆以既有圖資為參考依據，致使計算初始售水率時產生錯誤。此項問題除須靠詳查用戶原始給水台帳外，亦須待後續施工時查明回饋修正初始售水率，以反應真實狀況。

## (二)直接用水及總表戶數。

小區的規劃，一般以用水戶數作為劃區大小的依據。惟舊城區之建物以低矮之公寓或平房為主，較少多分表之高樓社區，故規劃舊城區小區時，宜以直接用水表加總表之數量作為劃區依據，以免劃區過大造成施工及封閉之困擾。

## (三)現況水壓大小，並考量進水點計量表數量。

小區規劃，多採用單一進水點。完成區域封閉後，宜先量測區域內水壓，以了解封閉後水區內水壓分布是否均勻，管網末端水壓是否足夠，以避免影響用戶正常用水；此外，於小區施工完成後，可藉由區內水壓分布，初步判斷改善之成果是否良好。圖 1 係萬華五區改善前後水壓之變化，改善前水壓由進水處長沙街 2 段之  $0.7\text{kg}/\text{cm}^2$ ，過貴陽街 2 段後有明顯洩降至  $0.3\text{ kg}/\text{cm}^2$ ，藉此可判斷該路段管線漏水嚴重，施工時需特別注意；施工後本區水壓均勻維持至  $0.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ，可初步判斷改善效果良好。

## (四)規劃次分區，以利分別單獨計量及檢討改善成效。

小區施作完成後，如售水率無法達到預期目標，尋找漏水點將是非常耗費人力物力的作業。為利小區執行完成後分區、分段檢討漏水原因，次分區之規劃，須考量各次分區可否分別由小區計量表單獨計量、流量計是否可雙向計量、是否可利用鄰近小區之計

量表作分區計量以及夜間最小流設施是否足夠等因素。



圖 1 萬華五區改善前後水壓對照圖

## (五)舊城區小區計量規劃與設計

舊城區小區計量規劃圖與設計圖之繪製，可依下列步驟製作：

### 1.小區規劃圖繪製步驟（詳圖 2）：

- (1)使用 A1 設計圖，下載地形、管線圖作為底圖。
- (2)檢討小區計量進水點，規劃計量表設置位置
- (3)檢討邊界制水閥，以利長時間封閉及獨立計量。
- (4)規劃次分區以利分別單獨計量檢討改善成效。
- (5)規劃次分區制水閥之設置
- (6)利用圖資系統框選圍籬，求出全區及各次分區之「總表數」、「直接用水表數」、「用戶數」、「原始配水管長度及材質」、「原始給水管長度及材質」等數據，作為評估日後改善成效之基礎。
- (7)小區規劃圖之陳核、審查與修正。



圖 2 萬華五區規劃圖繪製步驟

## 2.小區設計圖繪製步驟：

- (1)使用 A1 設計圖，下載地形、管線圖作為底圖。
- (2)詳查區域內配水管竣工圖。
- (3)詳查區域內所有用戶給水台帳圖。
- (4)現場勘查因地制宜加以設計。
- (5)繪製設計平面圖，將水表設計於屋前。屋前巷弄無配水管者，新設 DIP 配水管，如巷弄狹隘或用戶不多時，依直接用水及總表口徑及數量，檢討設置  $\phi 40$  或  $\phi 50$  之 SSP 管。
- (6)依規劃圖所擬定之小區、分區、次分區區劃配置制水閘。
- (7)檢討消防栓之位置（每 60 至 100 公尺設置一處）
- (8)將配水管件連絡處、制水閘、消防栓之節點加以編號，並繪製節點處之管件圖。
- (9)統計圖面各口徑配水管、給水管、消防栓、制水閘之新設及拆除數量，標注於圖面備註內，已提供施工者參考。
- (10)小區設計圖之陳核與審查修改。

## 四、舊城區漏水改善施工

### (一)召開施工前說明會

施工前說明會可凝聚施工區域居民之共識，對於日後施工推動有相當之助益。施工前，應先調查施工區域的行政區劃，了解工區之行政區及里別，並先行拜訪里長、里幹事，向其說明辦理自來水管網改善之目的及對里民之好處，以爭取里長之支持。其次，選擇區域內較大空間之聚會場所（如里民活動中心），利用夜間或假日召開施工說明會。說明會召開前，可於施工區域內用戶門口及鄰里公佈欄張貼說明會訊息，並請里長於會前代為廣播以提高用戶出席率。

說明會的內容，係向用戶宣達管網改善之目的，即提升用戶之用水品質。為了確保優良水質，從取水、淨水、輸配水，到用戶用水設備，每個環節環環相扣，改善現有的管網基礎建設，汰換材質不良及腐蝕之老舊管材，實為必須且不可或缺之工作。其次，則向用戶說明水表由屋後改接至屋前的作業方式，徹底解決防火巷供水可能造成不同水源交叉污染的情形。說明會將告知用戶，表前給水管線係免費汰換為不銹鋼管線，用戶僅需配合自行委託水電行裝設屋內管線即可。由於「防火巷表位遷移至屋前」一事，為舊城區執行小區計量成敗之重要關鍵，除於說明會說明外，建議施工者可針對區域內防火巷管線集中區域，予以現場說明（詳圖 3），以增加用戶之配合程度。

### (二)區塊路證以利施工斷管

路證之排程，與工程進度息息相關。以自來水管線施工為例，良好的施工排程應是具有一定長度之施工期間，在一定的區域內以多個工作面同時展開施作。如此施作方式的優點，是各工班可互相支援機具及材料、熟悉區域環境與用戶生態，並加強與其他相



關工程單位之連結度與合作。一旦發生斷除不明管造成之緊急停水狀況，可以迅速解決，即時恢復供水。



圖 3 施工說明會及現場溝通協調

以往臺北市現行之路證核發許可制度，須分期分段施作，每完成兩期路證施工範圍（約 200 公尺）並辦理結案後，再申請後續兩期路證。現行核發路證制度，容易造成施工中斷，拉長工期，且增加安排工班之困難，故如能整合施作區塊內其他工程單位，取得一次不分時段、不分路段之連續路證，對施工排程與縮短工期，有相當的助益。

萬華五區之路證共分為 9 期，依分期分段約需 6 個月方可施作完畢，耗時曠久。惟本處得知衛工處將於該地區銑刨加鋪之訊息後，立即協調新工處等相關單位，除避免本區因銑鋪後遭禁挖之後果外，更取得新工處一次核發 1 個半月的連續路證，使原需 6 個月方可完成之工程，僅花 1 個月多月即完成，大幅縮短施工時程。

區塊路證之優點為：工程進度之掌控更為靈活，區塊內管線抽換的施工時程具彈性，可避免因分期分段申請之繁瑣程序，造

成工期之延宕，另發現疑似不明管可立即斷除，若因此造成區塊內遠端用戶無水時，廠商可立即進行就近改接，無需另行申請挖路許可路，有效減少用戶抱怨。

### (三)全面汰換老舊給配水管線

舊城區之特性係發展較早，區域內給配水管線之管材種類繁多，尤其是配水管更為複雜。自 1978 年起，本處配水管改採用 DIP 管材，故新市區小區面臨的主要問題是給水管之抽換及 DIP 管材上不明管之斷除，舊城區除上述問題外，尚須面對配水管線老舊生鏽，導致通水斷面變小，管材接合處鬆脫或舊有管材延性較差產生裂縫等問題。

萬華五區施工時，即發現貴陽街 2 段 80 號附近污水人孔旁有大量清水由人孔縫隙湧出至地面。因舊有  $\phi 200$ MJP 管位於道路側溝下方，難以拆除維修，經抽換配水管為 DIP 管，並將舊有 MJP 管就地廢棄後，改善了上述漏水問題。另本區長沙街 2 段，配水管為老舊之 MJP 管材，本處原為理教公所老舊聚落，原給水管為鉛管，後拆除改建為萬華 406 號空地，舊有給水管眾多且未予斷除，造成區域水壓弱點。經本次施工拆除舊有 MJP 管，發現舊管內部銹蝕嚴重（詳圖 4），於其上發現 10 處舊有接水點，現已抽換為 DIP 管，並將舊有接水點全數斷除（詳圖 5）。

### (四)防火巷老舊管線由屋後改接至屋前

防火巷表由屋後改接至屋前，最重要的關鍵是用戶須全數配合改接內線，並將防火巷舊有管線從源頭斷除，若原防火巷內管線用戶有一戶不願意遷移，舊有管線（或系統）無法斷除，則無法根絕漏水問題。



圖 4 長沙街萬華 406 號空地前舊有 MJP 管鏽蝕情形



圖 5 長沙街萬華 406 號空地前 MJP 管舊有鉛管接水點

用戶內線由屋後改接至屋前最大的問題，是須經過一樓樓地板，用戶為避免內線改裝損及內部裝潢，多半拒絕配合遷移，改善效果甚為有限。現行的做法，除於施工說明會詳細說明外，可建議住戶委請合格之水管承裝商，利用建物邊間的空間裝設多條管線，亦可將內線架高或走明管的方式，經建築裝修手法遮蔽管線。此外，多位用戶找同一水管承裝商施作內線亦可壓低改裝成本，提高用戶改接意願。

萬華五區因屬老舊社區，其中貴陽街 2 段 82 巷、96 巷內多數用戶水表位於屋後，屋後防火巷又遭違建覆蓋，無法就地進行改善，故勸導用戶將管線由屋後改成屋前為本區漏水改善之重要作業。施工前，必須先調

查本區各種用戶管線位於屋後之態樣（如係總表或直接用水表、是否有設水池、是否位於邊間、屋前是否有水龍頭等），製作各種改善策略說帖（圖 6）。並藉由以往成功屋後改屋前案例之照片製作圖冊（圖 7），逐戶向用戶說明、溝通，勸導用戶自行改接內線，另為配合用戶生活作息，需利用夜間進行溝通。經多次溝通努力，終於克服萬難，圓滿完成屋後改屋前接水之任務。

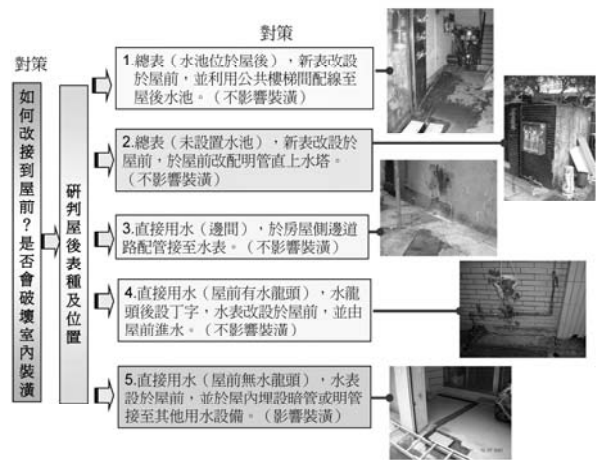


圖 6 屋後改接屋前改善對策說帖

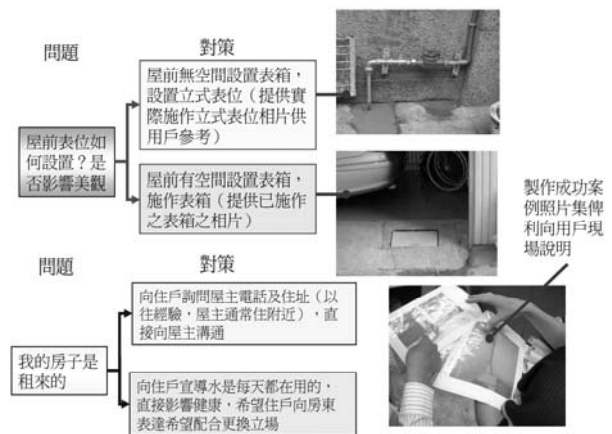


圖 7 屋後改接屋前說明圖冊

### (五) 遇管障建立標準作業程序

舊城區因發展早，早期本處配水管管線埋設較深，後其上遭各類管線障礙覆蓋，如地下有設置排水箱涵，因各類管線集中於道路一側，管線抽換施工將更為困難（圖 8）



早期施工遇管障時，承商往往便宜行事，逕自以聯絡舊管方式施作。如舊管上有不明接水點或漏水現象，將導致施工完成後售水率仍無法達成預期改善目標，成為改善漏水之施工盲點。為改善此現象，施工遇管障時，應進行現場擴挖及橫向探挖，研擬改善對策。如無法於管障下方抽換管線時，應考慮以改管埋設新管等替代方案辦理。圖 9 為施工遇管障建議之改善評估作業流程，依相關流程進行評估，可避免個別廠商或監工差異造成舊管未徹底抽換，以致售水率無法提升。

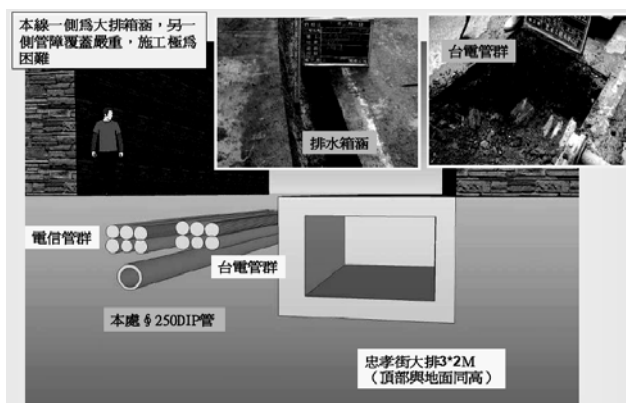


圖 8 配水管遭地下管障覆蓋示意圖

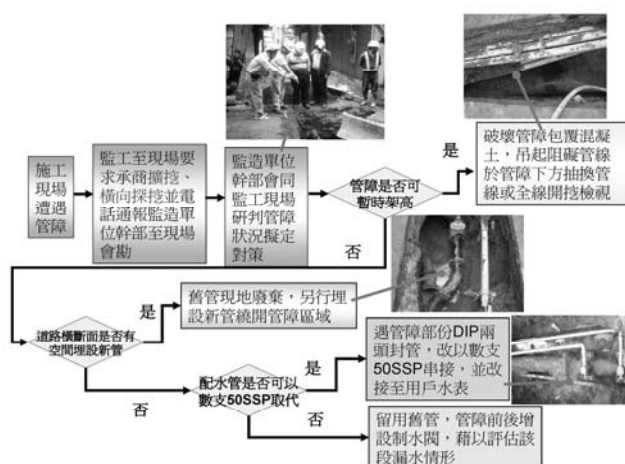


圖 9 施工遇管障建議之改善評估作業流程

## (六)配水管全線開挖

對於給水管未 SSP 化但配水管已 DIP 化

之區域，施工上面臨以下問題：

1. 施工面域較零散，路證取得困難，施工工期較長。
2. 因未全面抽換配水管，可能難以發現漏水點及不明管，售水率成效可能受到影響。

為消弭此長久以來之問題，本處已明訂 DIP 配水管以全線開挖為原則。倘有特殊因素無法全面開挖時，應於竣工圖上註明原因。以萬華五區為例，區內永福街 83-101 號原為老舊平房，後經拆除改建為停車場，故於小區施工前即研判永福街  $\phi$  200DIP 管上應有許多未斷除之接水點，經現場進行全線開挖，共開挖 115 公尺，斷除 14 處不明管。全線開挖工法可徹底斷除殘存管，有效改善漏水，並且於都會區管線密集處將有較佳之投資報酬率。

全線開挖固然有上述優點，惟配水管僅開挖不抽換，施工時經常遭致民眾誤解，故應於施工說明會事先向用戶解釋為何要進行全線開挖，以免民眾誤以為偷工減料。此外，老舊市區因管障嚴重，配水管常被其他管線壓埋覆蓋，加上早期竣工圖資精確度不高，切割開挖常無法正確找到配水管位置，故施作全線開挖工法時，建議先對配水管走向先行檢測定位，或局部橫向探挖確定配水管位置，並應加強監造作業，督促承商確實開挖至配水管管頂，以期徹底斷除不明管。

## 五、結論與建議

臺北舊城區自來水管線之特性為「防火巷管線維修困難」、「使用管材及口徑紛雜」、「管線圖面資料不全」、「殘存管斷管不實」、「用戶型態與供水模式差異大」等五大類型，依此特性，進行舊城區自來水管線汰換規劃設計時，應先注意街廓的完整性，並

考量是否有潛在的區外用水、直接用水及總表戶數、現況水壓大小。此外，還需考量進水點計量表數量、規劃次分區，以利分別單獨計量、檢討改善成效。

舊城區進行自來水管線汰換施工，首先應先召開施工前說明會以尋求居民的共識。其次，申請區塊路證施工，俾利管線汰換及後續斷管作業。防火巷屋後改屋前是舊城區斷除舊管及提升售水率之關鍵，藉由成功案例圖冊及各種樣態之改善說帖，對於完成舊城區漏水改善有相當程度之幫助。

舊城區管障嚴重，施工困難，如以區塊路證進場施工，並建立遇管障之改善標準作業流程，可避免因留用舊管或斷管不確實，造成漏水改善之盲點。

## 參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計

畫」，2003。

2. 臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫—長程策略方針」，2006。

3. 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。

4. 郭志東、林哲生、李中彥，「小區售水率提昇之瓶頸與突破」，自來水會刊第28卷第3期，2009。

5. 廖于恒、邱嘉南、文其正，「小區計量於舊市區之應用」，「漏水防制與管理」研討會論文集，2009。

6. 李中彥、林永芳、時佳麟，「山坡地社區NRW過高時之標準化改善作業—以新北市潭之鄉社區為例」，自來水會刊第32卷第1期，2013。

## 作者簡介

### 李中彥先生

現職：臺北自來水事業處技術科幫工程司

專長：自來水工程設計、施工及契約法規。

## 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

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

### 一、目的

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

### 二、獎勵對象

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

### 三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

### 四、評獎辦法

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

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

### 五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

# 以計劃性行為理論驗證屏東縣原住民家庭節水行為結構模式

文/何鳳月、黃大榮、林耀堅、台邦撒沙勒、曹靜雯、賴文亮

## 摘要

本研究以屏東縣原住民居住鄉鎮為研究對象，採隨機抽樣方式，取得有效樣本為 499 份(有效回收率 68.4%)，隨之利用計畫行為理論(Theory of Planned Behavior)，配合結構方程模式(Structural equation modeling)進行原住民家庭節水行為模式驗證。現有資料分析顯示原住民家庭用水來源主要為山泉水，節水訊息來源以電視居多。家庭節水行為結構模式具區別效度(Discriminant validity)、收斂效度(Convergent validity)、良好的適配度(Goodness of fit)及交叉效度(Cross Validity)，此意謂計畫行為理論適用於原住民家庭節水行為結構模式。

關鍵字：交叉效度、計畫行為理論、結構方程模式、家庭節水行為模式

## 一、前言

台灣地區近年因氣候變遷，導致春冬乾旱、夏季暴雨集中，自來水供水品質亦受影響，家庭約佔自來水供水系統總供水量六成，故家庭能做好節水，則可有效紓解自來水供水壓力。家庭用水包括浴室、廚房、洗衣、植栽澆灌及洗車等用水，如能經常檢查管線漏水並止漏、換裝省水型水龍頭、馬桶、洗衣機、蓮蓬頭等省水器材，或收集雨水、善用回收水等家庭節水行為，就可輕鬆達到節水、省錢之目的。88 水災後，屏東縣原住民鄉鎮位處地質不穩定帶，缺水或無水

均是常見之問題，故無法開拓水源之前提下，瞭解居民用水行為模式，進而提出節約用水宣導，為一值得研究之課題。

## (一)計畫行為理論

社會科學要預測一個人是否會從事某項行為，必須瞭解他對該行為的意圖，因此尋找影響意圖的潛在因素就相當重要。有許多學者提出意圖模式來建構行為意圖與態度、信念、情感等個人心裡因素之間的關係，其中以 Ajzen(Ajzen, 1991)提出的計畫行為理論(Theory of Planned Behavior, TPB)最著名。TPB 明確指出行為態度 (Attitude Toward the Behavior, ATB)、主觀規範(Subjective Norm, SN)、知覺行為控制 (Perceived Behavioral Control, PBC)三個構面會影響行為意圖(Behavioral Intention, BI)，行為意圖再影響行為(Behavior, B)，如圖 1。

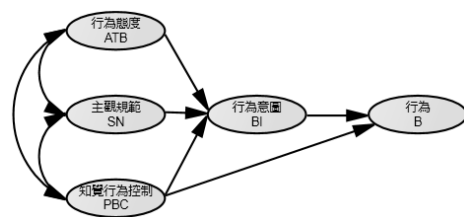


圖 1 計畫行為理論架構圖(Ajzen, 1991)

「行為態度」指個人對行為持有的態度，當個人對某一行為所抱持的態度越強烈，從事該行為的意圖會越強。態度是指一個人對人、事、物或行為所抱持的正面或負面的評價，反映了個人對人、事、物或行為

的好惡感覺。態度會影響行為一直是許多行為研究學者一貫的立場，態度與行為若越具體特定，其間相關程度越明顯(Ajzen, 1991)。本研究之行為態度表示屏東縣原住民對家庭生活節約用水行為持有的態度。

「主觀規範」是指社會壓力或是團體規範，團體成員以本身價值觀、道德規範、訊息等影響他人價值觀、態度與信念，也影響他人所為。個人行為除了受內在自我歷程（如動機、情緒、自我成長等）影響外，亦受外在與個人接觸、互動密切團體（如家人、朋友、親戚、同儕等）所影響，個人參與行為多數受「參考團體」影響(Ajzen, 1991)。本研究之主觀規範表示屏東縣原住民對生活節約用水受到旁人或影響旁人的情形。

「知覺行為控制」由二個因素組成：一為個人對表現某一行為便利狀態(facilitating condition)之認知，是指個人擁有表現或參與某一行為所需資源或機會多寡（如個人財富、時間、健康情况等）之認知；另一為個人須表現某一行為所需具備能力的自我效能(self-efficacy)，是指個人對於完成或參與某一行為之能力的自我評估(Ajzen and Manstead, 2007)。本研究之知覺行為控制表示屏東縣原住民於家庭節水情形的認知和自我評估。

「行為意圖」指從事特定行為的自發性計畫之強度，是計畫行為理論認為預測個人行為的最佳變數(Ajzen, 1991)。本研究之行為意圖表示屏東縣原住民對於家庭生活節約用水的意願強度。

「行為」在心理學上分廣義與狹義的解

釋，從狹義觀來看，行為是指個體的外顯動作，例如：吃飯、睡覺、工作等，可由感官直接觀察或由儀器記錄，加以分析處理的活動。從廣義觀來看，行為除了外顯動作外，亦包含內在的心理，如：動機、思考、意識、信念與價值觀，這些都是外顯行為的驅動力，具有決定行為的可能性和趨向(張春興, 2007)，其內涵與行為意圖相近。本研究之行為指心理學上的狹義觀，表示屏東縣原住民在家庭節水所採取的行動或日常表現。

## (二)結構方程模式

結構方程模式 (Structural Equation Modeling, SEM) 主要運用於實證資料，驗證假設模式或理論模式是否真實存在，主要概念為結合傳統路徑分析(Path Analysis)及驗證性因素分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA)兩種方法，進行全面性且為估計較精確之統計分析，也是一種以迴歸為基礎的多變量技術，結合徑路分析，屬於驗證性實證研究的資料分析法，能同時處理多組變項間的關係，並探究變數間的因徑關係以驗證理論，故可稱為因徑模式分析技術(Bollen and Long, 1993)。

SEM 近十年已被廣範應用在各領域，包括醫學、管理學、經濟學、社會學、心理學、教育學及環境管理學等，因此工具可探討無法直接量測之潛在變項間影響之因素或潛在變項間之關係。在社會科學的研究領域中，研究變項常無法直接衡量潛在變項(Latent variables)，如 TPB 理論中個人的行為態度、主觀規範、知覺行為控制與行為意圖。透過 SEM 分析的方式，可以經由觀察變項(Observed variables) 的數據，測量潛在變

項間相互影響的關係及因果關係(Jorgensen et al., 2013)。

SEM 之優點可同時考慮及處理多個依變項(Endogenous /dependent variable) ,可容許自變項(Exogenous / independent variable)及依變項含測量誤差,與因素分析類同,容許潛在變項(如:社經地位)由多個觀察指標變項(如:父母職業、收入)構成,並可同時估計指標變項的信度及效度(Reliability and validity),可採用比傳統方法更有彈性的測量模型(Measurement model),可依研究者假設潛在變項間的關係,估計整個模式是否與資料擬合(Kline, 2011)。

交叉效度(Cross Validity)是驗證測量恆等性常用的統計方法,指測量結果具有跨樣本-跨情境的有效性。在 SEM 結構模式中,一個理想模型在不同樣本、不同情境下的穩定性檢驗,也反映效度一般化(Validity generalization)的能力,是由不同樣本上重複獲得證據,證明量表有效性的一個動態性、累積性的過程。它的基本概念及為在樣本數夠大的狀況下,將母群體隨機切割為測定樣本(calibration sample)與效度樣本(Validation sample)兩群組,我們希望所得的結果是來自同母群體的二樣本具有相似的特質(Cudeck and Browne, 1983)。

## 二、動機與目的

屏東縣原住民鄉內共有 80 多條溪流,面對氣候變遷暴雨頻率增加,也提高洪水成災風險,2009 年莫拉克颱風重創屏東地區,重建過程原住民災區遠比平地災區複雜困難,涉及原因包括國土規劃、水土保持等,顯出水資源保護的重要性。在生活上原住民

逐漸平地化,除了深居山裡的原住民仍過著傳統的生活方式外,年輕一輩的生活模式已與平地漢人沒有太大差異。在家庭節水上若能瞭解原住民用水行為,可提供區域性水源開發及掌握屏東縣居民用水行為的雛形。

依據前述文獻說明,態度是影響行為的顯著因子(Dolnicar and Hurlimann, 2010),之前本研究團隊以節水知覺、態度、行為結構模式也驗證了節水態度對節水行為有正向的影響關係(何鳳月等, 2013; 黃大榮, 2013),國內少見學者使用計畫行為理論作為研究模式,因此本研究提出修正 TPB 模式,探究 1.節水態度行為、主觀規範、知覺行為控制、行為意圖對節水行為的影響關係; 2.探討影響節水行為的變數,和變數構面間的關係; 3.驗證本研究模式期望共變數矩陣與實際樣本共變數矩陣無差異及測量恆等性。

## 三、研究方法

### (一)研究架構及假設

本研究以計畫行為理論為基礎,運用 SEM 分析驗證家庭節水行為假設結構模式如圖 2(Ajzen, 1991; Kideghesho et al., 2006),潛在變項分別為節水行為態度(Water Conservation Attitude Toward the Behavior, WCATB)、節水主觀規範(Water Conservation Subjective Norm, WCSN)、節水知覺行為控制(Water Conservation Perceived Behavioral Control, WCPBC)、節水行為意圖(Water Conservation Behavioral Intention, WCBI)與節水行為(Water Conservation Behavior, WC B)。

本研究假設 H1、H2、H3、H4、H5、H6、H7、H8、H9 皆大於 0,即 WCATB 對 WCBI

及 WCB 是正向影響；WCSN 對 WCBI 是正向影響；WCBI 對 WCB 是正向影響；WCPBC 對 WCBI 及 WCB 是正向影響；WCATB、WCSN 與 WCPBC 彼此間為正相關。

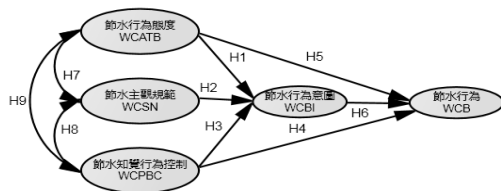


圖 2 家庭節水行為假設結構模式 (Ajzen, 1991; Kideghesho et al., 2006)

## (二)問卷設計、樣本數估計

問卷參考不同研究者之報告修正 (Kideghesho et al., 2006)，經編製後分成二部份，並依專家效度，據研究目的、適切性、需要性及內容涵蓋量適度修改問卷，經預試問卷(2012 年 8 月 1 日至 15 日，抽樣 60 位)項目分析，刪除無鑑別力(t 絕對值小於 1.96)和信效度不良(項目刪除時的 Cronbach's Alpha 值大於各構面的 Cronbach's Alpha 值)(吳明隆，2009)試題形成正式問卷，分別為：家庭節水行為量表與個人基本資料。

### 1.家庭節水行為量表

此部份量表有五個潛在構面，共 25 題，採用李克特氏的七點量表：選項有“非常同意”，“同意”，“稍微同意”，“沒意見”，“稍微不同意”，“不同意”和“非常不同意”，每個選項的數值分別從 7 至 1。每一構面先進行一階 CFA，刪除因素負荷量過低(如低於.5)的變數，並依 SEM 軟體提供的修正指標(Modification Index, MI)刪除有共線性和殘差不獨立的觀察變數，最後剩下 19 題進行結構模式分析，問卷內容整理如表 1。

### 2.個人基本資料

此部份包含水源變量(如家庭主要基本用水來源、次要用水來源、飲用水來源)和個人變量(如性別、年齡、族群、教育程度、職業、收入、訊息來源、居住地)共 11 個問題，全是固定選項。

SEM 驗證式因素分析進行模式配適度檢驗，若研究模式低於(包含)5 個因素，每一因素超過(包含)3 個題目，且題目的共同性高於.6 時，所需樣本數需大於 100 人；估計參數與人數比的最小樣本要求為 1：10，即每個估計參數至少需要 10 個以上的受試者 (Kline, 2011)。

## (三)調查對象及問卷回收率

本次調查對象為居住於屏東縣之原住民 44,524 人(屏東縣政府, 2012)。正式問卷(2012 年 9 月 1 至 9 月 30 日)採簡單隨機抽樣，730 份問卷，回收 651 份，扣除無效問卷後，有效樣本為 499 份(有效回收率 68.35%)，樣本數均高於上述之建議值。

## 四、結果與討論

本研究使用社會科學的統計軟體 SPSS 18.0 和 AMOS 18.0 進行描述性統計分析、SEM 適配度檢定及交叉效度檢定。

### (一)描述性統計

性別以女性居多(63.53%)，年齡以 31-40 歲最多(37.88%)，教育程度以國中最多(51.30%)，族群以排灣族最多(84.97%)，職業以工人最多(33.07%)，家庭月平均收入以 2-4 萬元最多(66.93%)，資料來源以泰武鄉最多(21.24%)。從家庭本資料中之原住民教育水平，職業，家庭月收入等項目衡量，是屬於低社經地位的一群，需要更多社會的關懷。家庭主要基本用水(如烹煮、盥洗等)、家庭次要基本用水(如沖廁、拖地等)及家庭飲用

水之來源，三者最主要來源皆為山泉水，分別為 50.81%、40.72%、41.02%，因原住民認為山泉水是老天所賜予人最好的天然水源，且屏東縣自來水接管率約只有 45%，均是可能之因素。節水來源信息主要是電視(43.78%)，電視是原住民平日休閒的娛樂工具，也是接受外界信息的主要管道。

## (二)家庭節水行為結構模式之量測及驗證

### 1.觀察變數之量測

各觀察變數的平均值、標準差和相關係數整理於表 2。所有觀察變數的平均值都在 5.18 至 5.45 之間，所有變量之間的相關係數為.35 到.72，均達到.01 的統計顯著性水準，表示觀察變數沒有共線性問題。

### 2.區別效度檢定(Discriminat Validity)

區別效度分析是驗證兩個構面在統計上是否有差異，不同構面的題目不該有高度相關(相關係數大於.85)，表 2 已說明本研究相關係數並未超過.85，符合區別效度中的相關係數法檢定，但此法較為主觀，只可作為初步檢查(張偉豪，2011)。另使用信賴區間法分析，利用 bootstrap 法重複估計 2,000 次，計算構面間 95%信賴區間的相關係數，若信賴區間不包含 1，則拒絕虛無假設，稱此兩構面具有區別效度；反之，則無區別效度(Torkzadeh et al., 2003)。表 3 資料說明本研究 bootstrap 之 95% 信賴區間不管在 Bias-corrected percentile method 或 percentile method 信賴區間皆不包含 1，表示本研究模式具區別效度。

表 1 家庭節水行為量表題項

構面	學術定義	題 目
節水知覺行為控制	家庭生活節約用水情形的認知和自我評估	x1 我會關心屏東居民用水水質好壞的問題(Russell and Fielding, 2010)
		x2 我會關心屏東地區是否缺水的問題(莊英慧, 2007)
		x3 我會關心屏東水資源永續利用問題(孫玲瑛, 2008)
節水主觀規範	家庭生活節約用水受到旁人或影響旁人的情形	x4 看到家人浪費水時，我會加以勸導(Fishbein and Ajzen, 2010)
		x5 看到他人偷接自來水時，我會通知相關單位(張敬悅、李丁來、籃炳樟, 2012)
		x6 看到用水管線漏水，我會通知相關單位(張淑娟, 2002)
節水行為態度	對於家庭生活節約用水行為持有的態度	x7 我覺得我還可以更努力的節約用水(Randolph and Troy, 2008)
		x8 我覺得在經濟許可下，我會考慮購買省水器材(蔡義發, 2012)
		x9 我覺得使用過後的水，可以再回收利用(朱健行 et al., 2012)
		x10 我覺得目前自來水的水價偏低，造成生活用水浪費(陳仁宗, 2011)
		x11 我覺得對用水量大的用戶，水價應該提高(廖宗盛、周國鼎, 2008)
節水行為意圖	對於家庭生活節約用水的意願強度	x12 我會儘可能用最少的水清洗物品(Dolnicar and Hurlimann, 2010)
		x13 我會儘可能減少淋浴沖洗時間(石舒淇, 2010)
		x14 我會儘可能減少沖洗馬桶的次數(石舒淇, 2010)
		x15 我會使用安裝省水裝置的水龍頭/蓮蓬頭(陳福田, 2012)
節水行為	家庭節水所採取的行動或日常表現	x16 我會用水杯裝水再刷牙(Gilbertson et al., 2011)
		x17 我會用回收水沖洗馬桶、澆灌花木(Millock and Nauges, 2010)
		x18 我會教育家中的小朋友不要浪費水(Fishbein and Ajzen, 2010)
		x19 我會建議家人，降低洗衣機使用次數，以減少用水量(楊賢英, 2011)

表 2 觀察變數資料(對角線下半部為相關係數)

	x19	x18	x17	x16	x15	x14	x13	x12	x7	x8	x9	x10	x11	x4	x5	x6	x1	x2	x3
x19	1																		
x18	.61*	1																	
x17	.61*	.66*	1																
x16	.60*	.65*	.65*	1															
x15	.60*	.64*	.64*	.63*	1														
x14	.42*	.44*	.44*	.44*	.44*	1													
x13	.43*	.45*	.46*	.45*	.45*	.69*	1												
x12	.44*	.47*	.47*	.46*	.46*	.71*	.72*	1											
x7	.47*	.51*	.51*	.50*	.50*	.51*	.52*	.53*	1										
x8	.46*	.49*	.49*	.49*	.48*	.50*	.51*	.52*	.70*	1									
x9	.46*	.49*	.49*	.48*	.48*	.49*	.50*	.52*	.69*	.67*	1								
x10	.45*	.48*	.48*	.47*	.47*	.48*	.49*	.50*	.67*	.66*	.65*	1							
x11	.46*	.49*	.49*	.49*	.48*	.50*	.51*	.52*	.70*	.68*	.67*	.66*	1						
x4	.38*	.41*	.41*	.40*	.40*	.47*	.49*	.50*	.52*	.51*	.51*	.49*	.51*	1					
x5	.35*	.37*	.37*	.37*	.36*	.43*	.44*	.45*	.47*	.46*	.46*	.45*	.46*	.66*	1				
x6	.35*	.38*	.38*	.37*	.37*	.44*	.45*	.46*	.48*	.47*	.47*	.46*	.47*	.67*	.61*	1			
x1	.38*	.41*	.41*	.40*	.40*	.46*	.47*	.48*	.47*	.46*	.45*	.44*	.46*	.44*	.40*	.41*	1		
x2	.41*	.43*	.43*	.43*	.43*	.49*	.51*	.52*	.50*	.49*	.49*	.47*	.49*	.47*	.43*	.44*	.60*	1	
x3	.41*	.44*	.44*	.43*	.43*	.50*	.51*	.52*	.51*	.49*	.49*	.48*	.49*	.48*	.43*	.44*	.60*	.64*	1
M	5.23	5.19	5.25	5.18	5.24	5.31	5.31	5.25	5.38	5.36	5.43	5.43	5.37	5.37	5.38	5.29	5.41	5.38	5.45
SD	.98	.97	.96	.99	.97	1.08	1.04	1.05	1.00	.99	1.02	.93	1.01	1.02	1.01	1.01	.92	.90	.94

### 3. 各構面之驗證性因素分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA)

CFA 用來檢核觀察變項可以解釋潛在變項的程度，並考驗研究模型期望共變異數矩陣與實際樣本共變異數矩陣間的適配度(Hu and Bentler, 1999; Hair et al., 2010)。結構模式配適度模型的估計係數，須符合：不能有負或不顯著的誤差變異數；標準化係數不可大於或非常接近 1.0；不可有非常大的標準誤差或任何的估計係數(Hair et al., 1998)。本研究節水行為態度、節水主觀規範、節水知覺行為控制、節水行為意圖與節水行為等

五構面進行 CFA 檢定，各項指標詳如表 4。五個構面分別執行 CFA 後，其模型參數估計值皆達到統計量的顯著水準，且沒有很大的標準誤。五個構面的標準化因素負荷量皆大於.7，符合建議檢定值(Hair et al., 2010)。組成信度(Composite Reliability, CR)表示潛在變項的內部一致性，其值愈高顯示信度的一致性愈高，觀察變項愈能測出該潛在變項，建議值為.60 以上(Fornell and Larcker, 1981)，本研究之潛在變項組成信度介於.83 至.91，符合前述之建議值。平均變異數抽取量(Average Variance Extracted, AVE)為潛在變項

所解釋的變異量中有多少變異量來自觀察變項，平均變異數抽取量越大，表示指標變異數可解釋潛在變數的程度越高，平均變異數抽取量大於.50，表示模式的內部品質很好(榮泰生，2011)，本研究之平均變異數抽取量介於.62 至.71，符合前述之建議值。綜合以上結果說明本模式具有收斂效度(Convergent Validity)。

「節水知覺行為控制」、「節水主觀規範」、「節水行為意圖」三個構面皆為三題，自由度等於估計參數，模型屬於恰好辨識，符合理論上模型正定的要求。「節水行為態度」、「節水行為」二構面的模型適配度指標除了「節水行為態度」之卡方值 ( $\chi^2$ ) 達顯著 ( $p < .05$ )， $\chi^2$  愈小表示整體模式之因果徑路圖與實際資料愈適配，一個不顯著 ( $p > .05$ ) 的卡方值表示模式與實際資料相適配(Hair et al., 2010)。但卡方統計量易受樣本

的大小和模型的複雜性影響，所以不應該被用作為單獨的測試指標，應該再參考其他的指標，GFI(Goodness-of-Fit Index)皆為.99 符合推薦的臨界值 ( $\geq .90$ ) (Hair et al., 1998);AGFI(Adjusted Goodness-of-Fit Index)分別為.97、.98 大於推薦的臨界值 ( $\geq .90$ ) (Hu and Bentler, 1999); RMSEA(Root Mean Square Error of Approximation) 為漸進殘差均方和平方根，在進行適配度評鑑時，其值比其它指標值為佳，分別為.06、.04 符合建議值 ( $\leq .08$ ) (Browne and Cudeck, 1992)，因此各構面的 CFA 是符合標準，本研究之  $p < .05$  係由過多之樣本數所造成，而非模式界定上的問題。  
4. 整體模式之 CFA

本研究以節水行為態度、節水主觀規範、節水知覺行為控制、節水行為意圖與節水行為等五構面進行整體 CFA 檢定，各項指標詳如表 4。

表 3 bootstrap 法估計相關係數 95%信賴區間表

Parameter	Estimate	Bias-corrected		percentile method	
		Lower	Upper	Lower	Upper
節水知覺行為控制 <--> 節水主觀規範	.676	.573	.763	.573	.763
節水主觀規範 <--> 節水行為態度	.707	.626	.779	.625	.779
節水知覺行為控制 <--> 節水行為態度	.744	.661	.813	.66	.811
節水行為態度 <--> 節水行為意圖	.733	.669	.794	.667	.793
節水行為意圖 <--> 節水行為	.657	.573	.729	.569	.728
節水知覺行為控制 <--> 節水行為意圖	.751	.669	.821	.667	.821
節水知覺行為控制 <--> 節水行為	.65	.548	.741	.544	.736
節水主觀規範 <--> 節水行為意圖	.666	.575	.738	.576	.742
節水主觀規範 <--> 節水行為	.807	.743	.857	.741	.857
節水行為態度 <--> 節水行為	.724	.65	.788	.644	.785

表 4 驗證式因素分析彙整表

構面	指標	模型參數估計值				收斂效率				模型配適度指標					
		非標準化因素負荷	S.E.	C.R. (t-value)	P	標準化因素負荷	SMC	CR 組成信度	AVE 變異數萃取量	$\chi^2$	DF	$\chi^2/DF$	GFI	AGFI	RMSEA
節水知覺行為控制	x3	1				.78	.61								
	x2	1	.06	15.9	***	.82	.67	.83	.62	0	0	-	-	-	-
	x1	.94	.06	15.5	***	.75	.56								
節水主觀規範	x6	1				.78	.61								
	x5	.99	.06	16.6	***	.77	.59	.85	.65	0	0	-	-	-	-
	x4	1.13	.07	17.2	***	.86	.75								
節水行為態度	x11	1				.83	.69								
	x10	.89	.04	20.3	***	.8	.64			12.8					
	x9	.98	.05	20.6	***	.8	.64	.91	.68	5	2.56	.99	.97	.06	
	x8	.98	.05	21.9	***	.83	.69			(p=.02)					
	x7	1.02	.05	22.7	***	.85	.73								
節水行為意圖	x13	.95	.05	21.2	***	.84	.77								
	x12	1				.88	.7	.88	.71	0	0	-	-	-	-
	x14	.95	.05	20.6	***	.81	.66								
節水行為	x15	1				.79	.62								
	x16	1.03	.06	18.6	***	.8	.63			8.4					
	x17	1.01	.05	19	***	.8	.65	.89	.63	5	1.69	.99	.98	.04	
	x18	1.05	.05	19.5	***	.83	.69			(p=.13)					
	x19	.96	.06	17.5	***	.75	.56								
整體構面	$\chi^2$	DF	$\chi^2/DF$	P	CFI	GFI	AGFI	PGFI	PNFI	TLI	NFI	IFI	RFI	RMSEA	
建議值			1~3	>.05	>.9	>.9	>.9	>.5	>.5	>.9	>.9	>.9	>.9	<.08	
測量值	305.67	143	2.14	0	.97	.94	.92	.71	.80	.97	.95	.97	.99	.048	
結果			符合	不符	符合	符合	符合	符合	符合	符合	符合	符合	符合	符合	

整體模式之  $\chi^2$  為 305.67，p 值為 0，為排除模式不適應之疑慮，再以 Bollen-Stine p 值校正法檢驗。在 SEM 分析的過程中，過多的樣本數容易造成卡方值的增加，使 p 值顯著進而拒絕「本研究模式期望共變異數矩陣與實際樣本共變異數矩陣無差異」之假設。利用 bootstrap 的方法進行 p 值檢驗 (Bollen and Stine, 1992)，以 bootstrap 重新進行 2,000 個模式檢驗，結果取得 2,000 個

bootstrap 的有效樣本，0 個無效樣本，顯見本研究假設模式良好。進一步分析，bootstrap 所得的 2,000 筆資料，卡方值( $\chi^2=217.5$ )優於原樣本的有 1993 個樣本，Bollen-Stine bootstrap p=0.004，拒絕「Bootstrap 樣本模式卡方值與原始樣本模式卡方值無差異」之虛無假設。說明原始模式之 p 值顯著導因於研究樣本數過大，而非模式設定之問題(張偉豪，2011)。



其餘指標卡方自由度比( $\chi^2/DF$ ) 為 2.14、RMSEA 值為 0.06、AGFI 值為 .92，符合文獻建議值。簡約適配統計量是判斷模式精簡程度的一個指標，通常以 PNFI (Parsimonious Normal Fit Index) 與 PGFI(Parsimonious Goodness-of-Fit Index)為代表，本研究值分別為 .80、.71，大於建議值 .50 (Bagozzi and Yi, 1988; Hair et al., 1998)。增值適配度統計量是將待檢驗的假設理論模式與基準線模式的適配度相互比較，以判別模式的契合度如何，通常以 CFI (Comparative-of-Fit Index)、NFI (Normal Fit Index)、RFI (Relative Fit Index) 值為 .99、IFI(Incremental Fit Index) 及 TLI(Tacker-Lewis Index) 為代表，本研究值分別為 .97、.95、.97、.97，均大於建議標準 .90(Hu and Bentler, 1995)。

綜合上述配適度檢驗值，驗證本研究假設模型的參數估計值、收斂效度及配適度皆

符合標準。

### 5.結構模式分析與假設檢定

結構方程模式，每個內生變數被其他變異數解釋力為  $R^2$ ， $R^2$  值愈大解釋力愈好，一般  $R^2$  大於 .3 表示解釋力佳(陳順宇，2007)。圖 3 顯示模式中行為意圖對整體模式的變異解釋力為 .65，行為對整體模式的變異解釋力為 .59，而其它每個內生變數被其它變異數解釋力  $R^2$  值在 .57~.74 之間，顯示本模式對於屏東縣原住民家庭節水行為具有良好解釋力(吳明隆，2009; 榮泰生，2011)。

圖 3 驗證本研究提出的假設由  $H1=.40$ 、 $H2=.18$ 、 $H3=.31$ 、 $H4=.46$ 、 $H5=.18$ 、 $H6=.19$ 、 $H7=.69$ 、 $H8=.73$ 、 $H9=.74$  皆大於 0，且達顯著水準，即 WCATB 對 WCBI 及 WCB 是正向影響；WCSN 對 WCBI 是正向影響；WCBI 對 WCB 是正向影響；WCPBC 對 WCBI 及 WCB 是正向影響；WCATB、WCSN 與 WCPBC 彼此間為正相關。

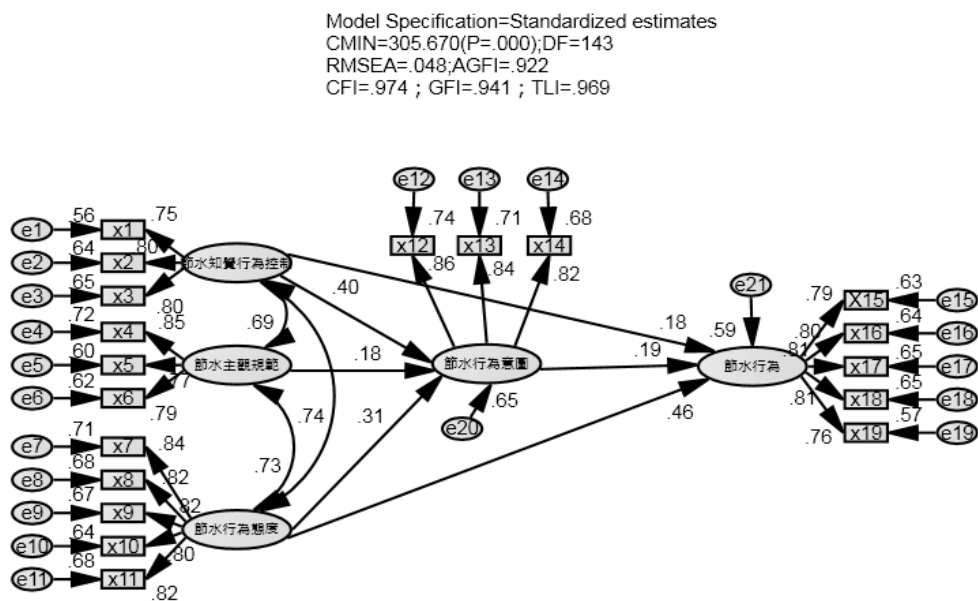


圖 3 屏東縣原住民家庭節水行為結構模式

6.測量恆等性驗證

為說明假設模型是否也可以適用於其它樣本，進行交叉效度(Cross Validity)檢定，以驗證本研究模式之測量恆等性(Hoyle and Panter, 1995)。本研究將母群體隨機分為兩樣本(N1=253, N2=246)，以交叉效度驗證研究模式之測量恆等性，結果如表 5。

- a.先將兩樣本的因素負荷量設定等同，節水行為結構模式共計有 14 個因素負荷量設計等同 ( $\Delta DF=14$ )，卡方值 ( $\chi^2$ )增加 6.588，檢定結果  $p=.949$ ，未達統計上.05 的顯著水準，表示這 14 個因素負荷量給予設定等同是可以接受的。
- b.維持測量模式的限制外，再加上 6 個結構路徑係數的設定( $\Delta DF=6$ )， $\chi^2$  增加 5.154，檢定結果  $p=.524$ ，未達統計上.05 的顯著水準，表示這 6 個結構路徑係數給予設定等同是可以接受的。
- c.維持結構係數模式的限制外，再加上 6 個變異數及共變異數係數的設定( $\Delta DF=6$ )， $\chi^2$  增加 3.259，檢定結果  $p=.776$ ，未達統計上.05 的顯著水準，表示這 6 個變異數及

共變異數係數給予設定等同是可以接受的。

- d.維持結構共變異數係數模式的限制外，再加上 2 個結構構面殘差係數的設定 ( $\Delta DF=2$ )， $\chi^2$  增加 1.852，檢定結果  $p=.396$ ，未達統計上.05 的顯著水準，表示這 2 個結構構面殘差係數給予設定等同是可以接受的。
- e.維持結構構面殘差係數模式的限制外，再加上 19 個測量殘差係數的設定 ( $\Delta DF=19$ )， $\chi^2$  增加 12.01，檢定結果  $p=.885$ ，未達統計上.05 的顯著水準，表示這 19 個測量殘差係數給予設定等同是可以接受的。

以上檢定結果表示，若是虛無假設被接受 ( $p >.05$ )，則模式之測量恆等性成立；再檢定  $\Delta TLI$  值，若小於.05，則可接受群組模式無差異的假設，驗證模式有實質之測量恆等性(Byrne, 2010)。本研究  $\Delta TLI$  值均小於.05，因此可判定本研究模式具有實質上之測量恆等性。綜合上述研究結果，驗證本研究模型具有穩定性，符合交叉效度的標準。

表 5 節水行為群組恆等性彙整表

Model	$\chi^2$	DF	$\Delta DF$	$\Delta \chi^2$	P	CFI	$\Delta TLI$	RMSEA
Unconstrained	425	286	-	-	-	.978	-	0.031
Measurement weights	431.6	300	14	6.588	.949	.979	-.003	0.03
Structural weights	436.7	306	6	5.154	.524	.979	-.001	0.029
Structural covariances	440	312	6	3.259	.776	.980	-.001	0.029
Structural residuals	441.8	314	2	1.852	.396	.980	0	0.029
Measurement residuals	453.8	333	19	12.01	.885	.981	-.002	0.027

## 五、結論與建議

### (一)結論

本研究以計畫行為理論為基礎，建構「屏東縣原住民家庭節水行為」模式，問卷調查經描述性統計和 SEM 分析下結論：

- 1.從家庭本資料中之原住民教育水平，職業，家庭月收入等項目衡量，是屬於低社經地位的一群。家庭主要基本用水(如烹煮、盥洗等)、家庭次要基本用水(如沖廁、拖地等)及家庭飲用水之來源，三者最主要來源皆為山泉水。
- 2.利用 bootstrap 之 95%信賴區間，不管在 Bias-corrected percentile method 或 percentile method 信賴區間皆不包含 1，表示研究模式具區別效度。
- 3.卡方自由度比為 2.14；AGFI 值為.92；PGFI 值為.71；CFI 值為.97；PNFI 值為.80；TLI 值為.97；NFI 值為.95；RFI 值為.99；IFI 值為.97；RMSEA 值為.048，均符合模式配適度之建議值。
- 4.以交叉效度考驗的方式驗證模式之測量恆等性，在五種模式假設條件下(表 5)，顯著性皆大於.05，TLI 值差異均小於.01，均可說明本研究模型具有測量恆等性。
- 5.原住民家庭生活「節水行為意圖」受到「節水知覺行為控制」、「節水社會規範」與「節水行為態度」之正向影響(路徑係數分別為.40、.18、.31 皆達顯著水準)。「節水行為意圖」能有效預測「節水行為」(路徑係數為.19 達顯著水準)，「節水行為態度」與「節水知覺行為控制」也可直接影響節水行為的發生(路徑係數分別為.46、.18 皆達顯著水準)。

### (二)建議

- 1.原住民在節水行為態度構面影響節水行為最多(路徑係數.46)，此構面之觀察變數原住民認為可以更努力的節約用水、會考慮購買省水器材、可以回收利用使用過的水、支持水價偏低應該提高水價，因此建議相關單位更多宣導節約用水的方法甚至示範操作家庭如何節水，補助換裝省水器材或鼓勵研發經濟實惠的省水器材，舉辦社區水資源回收利用觀摩激勵更多民眾回收利用水資源，制定合理的水價以免浪費。
- 2.對於本研究的資料可能產生共同方法變異而高估，因此建議後續研究作事前的預防措施，如增加資料來源的管道，除本研究的現場紙本問卷外再增加網路問卷或電話訪問。

### 誌謝

本計畫之完成感謝國科會計畫 (NSC-NSC99-2632-H-127-001-MY3) 在經費上的提供。

### 參考文獻

- 1.Ajzen, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, 179-211.
- 2.Ajzen, I., Manstead, A.S.R., 2007. *Changing health-related behaviors: An approach based on the theory of planned behavior*. Psychology Press, New York.
- 3.Bagozzi, R.P., Yi, Y., 1988. On the evaluation for structural equation models. *Journal of the Academy of Marketing Science* 16, 74-94.
- 4.Bollen, K.A., Long, S.J., 1993. *Testing structural equation models*. SAGE Publications.

5. Bollen, K.A., Stine, R.A., 1992. Bootstrapping goodness-of-fit measure in structural equation models. *Sociological Methods and Research* 21, 205-229.
6. Browne, M.W., Cudeck, R., 1992. Alternative ways of assessing model fit. *Sociological Methods Research* 21, 230-258.
7. Byrne, B.M., 2010. *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming*, Second ed. Routledge, New York.
8. Cudeck, R., Browne, M.W., 1983. Cross-Validation Of Covariance Structures. *Multivariate Behavioral Research* 18, 147-167.
9. Dolnicar, S., Hurlimann, A., 2010. Australians' Water Conservation Behaviours and Attitudes. *Australian Journal of Water Resources* 14, 43-53.
10. Fishbein, M., Ajzen, I., 2010. *Predicting and changing behavior: The reasoned action approach*. Psychology Press(Taylor & Francis), New York.
11. Fornell, C., Larcker, D.F., 1981. Evaluating structural equation models with un-observables and measurement error. *Journal of Marketing Research* 18, 39-50.
12. Gilbertson, M., Hurlimann, A., Dolnicar, S., 2011. Does water context influence behaviour and attitudes to water conservation. *Australasian Journal of Environmental Management* 18, 47-60.
13. Hair, J., Black, W., Babin, B., Anderson, R., 2010. *Multivariate data analysis: A global perspective*, 7 ed. Person Prentice Hall, NJ.
14. Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, L., R., Black, W.C., 1998. *Multivariate data analysis*, 5th ed. Prentice-Hall International, Upper Saddle River, New Jersey.
15. Hoyle, R.H., Panter, A.T., 1995. *Writing about structural equation models*. Sage, Thousand Oaks, CA.
16. Hu, L.T., Bentler, P.M., 1995. *Evaluation model fit*. Sage, Thousand Oaks, CA.
17. Hu, L.t., Bentler, P.M., 1999. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* 6, 1-55.
18. Jorgensen, B.S., Martin, J.F., Pearce, M., Willis, E., 2013. Some difficulties and inconsistencies when using habit strength and reasoned action variables in models of metered household water conservation. *Journal of environmental management* 115, 124-135.
19. Kideghesho, J.R., Røskoft, E., Kaltenborn, B.P., 2006. Factors influencing conservation attitudes of local people in Western Serengeti, Tanzania. *Biodiversity and Conservation* 16, 2213-2230.
20. Kline, R.B., 2011. *Principles and practice of structural equation modeling*, 3 ed. Guilford Press, New York.
21. Millock, K., Nauges, C., 2010. Household Adoption of Water-Efficient Equipment: The Role of Socio-Economic Factors, Environmental Attitudes and Policy. *Environmental and Resource Economics* 46, 539-565.
22. Randolph, B., Troy, P., 2008. Attitudes to conservation and water consumption. *Environmental Science & Policy* 11, 441-455.
23. Russell, S., Fielding, K., 2010. Water demand management research: a psychological perspective. *Water Resources Research* 46.
24. Torkezadeh, G., Koufteros, X., Pflughoeft, K., 2003. Confirmatory analysis of computer self-efficacy. *Structural Equation Modeling* 10, 263-212.

- 25.石舒淇, 2010. 彰化縣國小六年級學童水資源知識、節水態度、節水行為之研究. 大葉大學
- 26.朱健行, 呂慶元, 李叔龍, 2012. 氣候暖化台灣水資源危機風險與挑戰. 自來水會刊 31, 79-82.
- 27.何鳳月, 黃大榮, 林耀堅, 曹靜雯, 賴文亮, 2013. 屏東縣原住民用用水知覺、態度與行為之結構方程模式. 廢水處理技術研討會. 中華民國環境工程學會, 高雄大學,台灣.
- 28.吳明隆, 2009. 結構方程模式AMOS的操作與應用. 五南, 臺北市.
- 29.屏東縣政府, 2012. 101年7月屏東縣人口統計表.
- 30.孫玲瑛, 2008. 都會區國小高年級學童節水行為影響因素之研究－以台中縣某國小為例. 立德大學, 台南市.
- 31.張春興, 2007. 張氏心理學辭典. 東華, 臺北市.
- 32.張偉豪, 2011. SEM 論文寫作不求人. 三星統計, 高雄市.
- 33.張淑娟, 2002. 國小學童「生活用水」知識、態度與使用現況之研究. 臺中師範學院, 臺中市.
- 34.張敬悅、李丁來、籃炳樟, 2012. 供水漏損與水價關係之探討. 自來水會刊 31, 35-45.
- 35.莊英慧, 2007. 台北縣國小六年級學童水的知識理解、水資源保育態度與行為之相關研究. 國立臺北教育大學, 臺北.
- 36.陳仁宗, 2011. 校園節水達人 每年省水近百萬元. 節水紀實 1, 16.
- 37.陳順宇, 2007. 結構方程模式Amos 操作. 心理, 臺北市.
- 38.陳福田, 2012. 水資源環境教育之思維與作為－宜蘭深溝水源生態園區案例. 自來水會刊 31, 1-9.
- 39.黃大榮, 2013. 民眾用水知覺、態度及行為之

- 結構方程模式-以屏東原住民為例. 環境管理研究所. 大仁科技大學, 屏東, p. 129.
- 40.楊賢英, 2011. 家庭節水創意加動力省水成效聚沙成塔. 節水紀實 2, 16.
- 41.廖宗盛、周國鼎, 2008. 國際水價現況解析. 自來水會刊 27, 14-23.
- 42.榮泰生, 2011. AMOS 與研究方法. 五南, 臺北市.
- 43.蔡義發, 2012. 民間與政府合力共創節水型社會. 節水紀實 6, 10.

### 作者簡介

#### 何鳳月女士

現職：屏東科技大學環境工程與科學系博士班研究生  
專長：環境統計、問卷調查及結構方程模式

#### 黃大榮先生

現職：大仁科技大學環境管理研究所碩士  
專長：問卷調查及結構方程模式

#### 林耀堅先生

現職：屏東科技大學環境工程與科學系教授  
專長：光解反應、問卷調查

#### 台邦撒沙勒

現職：義守大學休閒事業學系助理教授  
專長：原住民文化、人類學

#### 曹靜雯女士

現職：大仁科技大學環境管理研究所專任助理  
專長：光譜分析、化學計量學

#### 賴文亮先生

現職：大仁科技大學環境管理研究所教授  
專長：水資源管理、水物化處理技術、環境統計

# 全球暖化氣候變遷臺灣水資源之衝擊

文/朱健行、李叔龍

## 一、前言

適度的溫室效應，對於生物的存活，以至於文明，都是莫大的恩惠。但是，過度的溫室效應，會超過我們所需的「適溫」，造成暖化嚴重的問題。首先，學者預測在海洋或沿岸地區，蒸發量的增加，也會使降水量增加。因此，在熱帶地區颱風、颶風、氣旋等，熱帶性低氣壓的威力將會增大。

颱風的原理發生與發展如下：在濕暖海面，水蒸氣大量蒸發；溫暖的水蒸氣較輕，所以急速上升；然後上升後，周圍的氣溫變低，所以水蒸氣凝結成水滴；發現膨脹的熱（凝結熱），它再度捲起上生氣流。

總之颱風的威力，簡單地說就是以海水的蒸發熱量為原動力。所以，一旦暖化使海水溫度上升，其蒸發就會增加颱風威力。

2005 年，巨大颶風卡翠納侵襲美國南部的經過記憶猶新，科學家認為未來巨型颶風或颱風會更多。同時預測每個風暴威力雖增大，但發生次數應該會減少。但在世界性的氣候變遷影響下，以往從來沒有颱風、颶風的地區，也將有可能受害。

降雨量的增加會幫助部分地區的森林成長、復原，但在其他更多地區，卻會加速侵蝕，讓土壤流失，連帶破壞森林。內陸地區，暖化雖可增加蒸發量，但因原本水分供給就不足，因而蒸發會令土地更乾燥；預計沙漠化的地區也會增加。台灣西部、南部因溫度逐漸增加，導致蒸發量增加，降雨日數減少，因此乾旱日數也增加。

## 二、暖化過程相當複雜

暖化過程中會發生各種狀況，而且不確定因素很多，以下歸納幾個重點：

### (一)暖化並不是氣溫持續上升

暖化，是目前人類的重大威脅，但事實上在 1980 年代中期，當時學界都認為「地球會趨於寒冷」。數十年後的現在，大家憂慮的事卻完全反過來了。氣候變遷的機制如此複雜，導致氣候預測本身不確定性。

從現在這個時點來看，人類活動的影響大於其他因素。一般認為，今後一百年地球暖化的大趨勢，應該是不會有錯的。科學家預測，氣溫會以幾年為一週期，來回上下微幅移動，並在長期趨勢下持續上升。

### (二)現在的地球處於兩個冰河期中間之間冰期

1940 年到 70 年代中期，平均氣溫有降低的傾向。當時，人們認為可能冷化有兩主因。一是冰河期的週期，人們認為主要是地球公轉軌道的變動所導致。

此外媒體誤解學者意見，也是造成騷動的原因。根據所謂「冰河學」的學問定義，地球南、北半球都有冰河時期，稱作「冰河時代」。現在南極、格陵蘭、部分高山地帶都有冰河，因此根據該定義，現在就是「冰河期」。而冰河期中又分為兩種時期，地球表面冰河覆蓋廣大面積稱作「冰期」，較溫暖的時期稱作「間冰期」，現在的地球就是處於「冰河期」之間的「間冰期」。

另一個原因冷化的說法，就是科學家認



為大氣中懸浮微粒增加，會造成太陽光線減少。學者的理論認為懸浮微粒不只是會遮陽光，且是雲形成的核心，所以雲霧量增加，進而反射太陽光線，如此加乘作用下造成冷化。

### (三)只差一度的冷化，也比暖化恐怖

中世紀溫暖期之後，馬上進入人稱「小冰期」的寒冷時期，長達數世紀。從小冰期中，我們得著幾項重要教訓：

1. 氣溫降低不到一度，就帶來如此嚴重災難。從此事實可知 IPCC 報告中 1.1 至 6.4°C 的溫度上升，會造成多麼可怕的結果。
2. 同樣是一度的氣候變遷，下降比上升帶來的影響更大。這次的地球暖化，是 21 世紀人類的最大試煉，但我們應將它視為不幸中的大幸，如圖 1。



圖 1 大氣層溫室效應

### (四)輕暖洋流與冷重洋流繞行地球

一般來說，洋流發生原因有兩個：

1. 是風吹起的「表層洋流」。
2. 海水密度產生「深層洋流」。

簡言之，極地附近冷而重的海水沉入海底後，會向熱帶移動；反之熱帶海面附近輕而暖的海水通過海洋表面，向極地移動，故而形成全球性的洋流。這稱作「溫鹽環流」

(THC)。溫鹽環流再加上其「支流」，幾乎遍行地球上所有海域。海水在海底的流動極其緩慢，溫鹽環流帶動熱與物質循環整個地球，從長期來看，其變化對地球的氣候具有重大影響。如今，人們擔憂在地球暖化的影響下，溫鹽環流會停止或降低速度，恐怕會造成極大的問題，絕非空穴來風。

### (五)電影【明天過後】有可能發生

把冷化視為地球長期趨勢的說法，在目前幾乎完全消失了，但學者仍認為冷化很可能是「暖化的結果」。這部電影據說是根據「地球暖化」的科學考察拍攝而成，整體而言，電影出現暖化現象是不可能發生。但【明天過後】告訴我們：「暖化不單只是地球大氣平均氣溫升高，還有可能帶來極大難以預料的影響。」

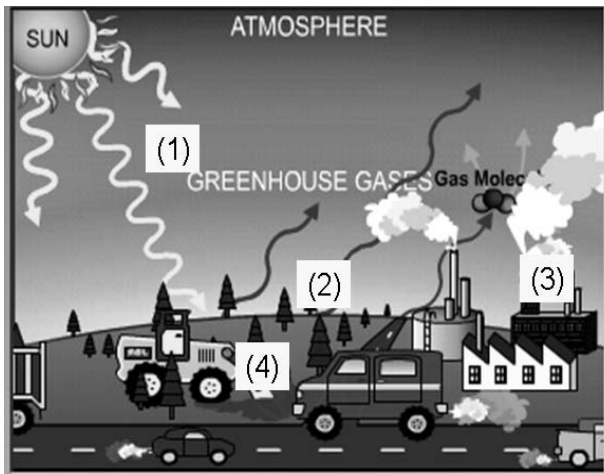
### (六)深海海底大量釋放溫室效應高的甲烷氣體

甲烷水合物是一種冰的物質，含有甲烷，目前埋藏在海底。當暖化因某原因而超乎預期的加速時，海水溫度異常上升，可能溶解甲烷水合物，冒出劇烈的甲烷。甲烷造成的溫室效應比二氧化碳高 20 倍，因此大量生成會更加快暖化的進展。有研究指出，甲烷釋放不只會改變氣溫，其影響的規模會破壞整個地球，目前還不確定滅絕性現象可能性有多大，如圖 2 溫室綜合效應。

### 三、暖化主因是人為溫室效應氣體

2007 年 2 月，「跨政府氣候變遷小組」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的第四次報告出爐。內容主旨是說，在二氧化碳等溫室效應氣體無法消滅的狀況下，到本世紀結束前，氣溫將比 20 世紀末增高 1.1 至 6.4°C，海面將上升 19 至 58 公

分；IPCC 成立於 1988 年，屬於聯合國之下的組織，目的在於「評估人類活動對氣候變遷所造成的影響」。如果該組織預測正確，對於我們的實際生活會有哪些影響呢？首先，就預測的精確度來說，雖然他們是根據許多國家所開發的氣候模式來做預測，但準確度到什麼程度呢？IPCC 認為：全球氣溫持續上升，(機率大於九十百分比)，是因為 1750 年以來人類大量釋放溫室氣體，造成全球溫室效應加強所致。



- (1) Solar rays 太陽輻射
- (2) Infrared rays 地球表面紅外線
- (3) Emission 人為排放
- (4) Deforestation 砍伐森林

圖 2 溫室綜合效應

### (一)確定大氣中的二氧化碳濃度增加

因為使用石化燃料所排放的二氧化碳量已超過地球的吸引力。目前，已知過去 100 年內二氧化碳排放量增加了 30%。

### (二)幾乎可確定溫室效應造成暖化

地球若是沒有大氣，推測地表溫度可能是負 18 度。也就是說，大氣層使氣溫保持在適合生物生存的溫度，尤其是以二氧化碳為主的「溫室效應氣體」，可讓太陽放射的

可視光線穿透地表，而把地表反射的紅外線吸收，儲存在地表附近。

適度的溫室效應，對於生物的存活，以至於文明，都是莫大恩惠。但是，過度溫室效應，將會超過我們所需的適溫，造成暖化嚴重的問題。

### (三)關於暖化的速度，很多部份無法確定

極地或高山冰雪融化，暴露出地面，使太陽熱能吸收增大，進而再造成暖化，這種「加乘作用」是促使暖化加速的重要因素之一。相反地，因為蒸發量增加，雲量變多，太陽能的反射也增加，反而有了抑制暖化的「減量效果」。因此，唯一可確定，目前暖化影響較嚴重地區是極地地區。

### (四)確定海平面會上升

生活的種種影響，最令人擔心的莫過於「海平面上升」。看似氣象穩定的地球，其實過去海面的高度也曾數次大幅升降過。約 12 萬年前，地球進入溫暖時代，海平面如果按照 IPCC 的預測，地球暖化對我們的海平面高度約與現在相同。但是之後漸漸變寒冷，許多地方都開始下雪，雪無法融化，變成冰堆積起來，形成厚實的冰河。於是造成海洋減少水量減少，海面大幅下降。

寒冷氣候持續十萬年，至約一萬八千年前達到顛峰(最近一次冰河最盛期)，當時海面比現在低了 130 公尺。在此之後，地球再度溫暖，而到達現在的環境。在最後一次冰期之後，6000 年前海面終於不再上升，一直到 19 世紀初期，海面高度均維持穩定。然而，進入 20 世紀後，海面一年以 1 至 2mm 速度上升中。IPCC 第四次報告中，推測到 2100 年，海平面會上升 19 至 58 公分。



### (五)別再相信錯誤而且偏頗的全球暖化知識了

停止砍罰森林，則二氧化碳真的會減少嗎？成熟的森林，已經成為「爆滿的二氧化碳儲藏庫」，對於削減二氧化碳是毫無功效的。因此，有效的森林管理，讓森林進行「植林→成長→採伐」的循環，才能讓森林真正發揮持續吸收二氧化碳的功能。

### (六)北極的冰山融化，真的會造成海平面上升嗎？如圖 3。

南極大陸的冰棚、高山上的冰河和積雪的融化等等，才會造成全球海平面的上昇！至於北極海面上的冰山融化，因為冰一融化體積就會收縮，比重就會變重，(回復水的比重)，整個冰山便會回復到原本在水面下的部分，海平面並不會因此上升，如圖 3。

#### 南、北極冰山融化



圖 3 溫室效應對南北極影響

### (七)全球暖化只有壞處沒有好處嗎？

暖化可能使得美國阿拉斯加、俄羅斯的西伯利亞，成為新的世界糧食穀倉。而北極冰山的大量消失，將使得北冰洋航道被充分利用，大大縮短區域間航道距離。對於高緯度的國家，暖化可說好處多多。不過全球現在因為暖化的因素，異常的氣候已造成各國嚴重災情，未蒙其利先受其害，全球暖化的

好處，可能得先持保留態度才是。

正確的全球暖化知識，是我們積極面對全球暖化時代的基本態度！理性討論是解決問題的唯一途徑，實際上暖化已是進行式，再怎麼感嘆也沒用，必須適應新狀況，甚至還要懂得應用，有三項重點：

- 1.坦然承認益處存在的可能性。
- 2.雖然對 1.有點潑冷水，但大家必須意識到，負面結果已是在所難免，但益處卻還是未定數。
- 3.前面也曾提到，變化本身就是個負數。

台灣地勢高低起伏豐水時，雨水又多又急，雨量過多除了釀成洪水，或因大量雨水挾帶泥沙，使原水濁度驟升，導致「有水而不能用」，加上高山地勢陡峭，河流短促湍急，降雨短時間流入大海，攔截利用有困難。

枯水期，降水量不足，又面臨缺水難題，水患以及旱災的危機，不時交替發生。溫室效應使得降水型態生變化，原有降雨時空不均，雨量大小強弱不定時，使得不少地區缺水愈趨嚴重。

水是生命的泉源，陽光、空氣、水是上蒼賜給人最好的禮物，但絕非取之不竭、用之不盡，尤其是水，沒有石油還可活，沒有水，只有滅絕。

## 四、全球暖化或區域危機

第一個常犯的錯誤是：水不是石油，水是一種可再生資源。想了解水，不必了解存量，但必須了解週期。所以風險不在於存量是否枯竭，而是在於週期是否紊亂。例如：砍伐森林，它會擾亂週期，會降低降雨。

第二個錯誤，也是常犯的錯誤：全球暖化將不會減少可以使用的用水量，反而增加用水量。溫室效應的加劇將會增加地球表面的太

陽輻射。因此，蒸發量將趨於增加，空氣中包含愈多的水分，將會導致更多的降水。

第三和第四個錯誤：相信規律性，相信均等。由於道德感，也由於懶於思考，人們會以為降雨將會在一整年當中規律地出現，在整個地球上均勻分布。

有一些複雜的機制，它們影響了大氣中氣流的相互作用，以致結果與上述所言不同。暴力和非正義，它們獲得了勝利。熱浪與洪水將輪流上場演出。已充分灌溉的地區將被淹沒，乾燥不毛的地區將更乾燥。

全球性的觀點並沒有辦法提供任何有用的資訊內容，任何一項分析都必須參照當地的實際情況。例如：所謂的季節，地球這一端與另一端的季節，都不一樣，不可一概而論。

唯一可能持續進展的就是：全球乾季天數增加，以及兩個半球各自出現及換地的情形。

## 五、關於全球暖化的十大迷思

**(一)迷思「科學家對於人類是否正在造成地球氣候變遷,仍有爭議。」**

事實上，科學界對於人類活動正在造成地球氣候改變有很強的共識----科學家一面倒的支持地球的氣候正在變暖，並認為人類正是造成這項改變的元凶。倘若我們不斷排放溫室效應氣體到大氣裡，持續暖化結果將為人類帶來莫大的災難，如圖 4。

**(二)迷思「影響氣候的原因有多項，我們不必要將矛頭指向二氧化碳，為它的增加而憂心。」**

二氧化碳確實只是導致氣候變遷之一因素,但是，這不正是解釋必須留意人為製造的二氧化碳溫室效應氣體嗎？並反省我們

正在製造史無前例的巨大改變。

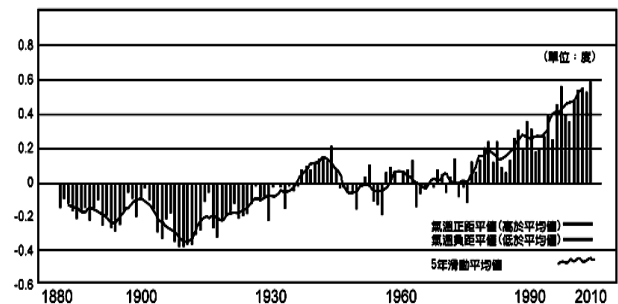


圖 4 全球平均溫度趨勢

**(三)迷思「氣候原本就會隨時間而異動，我們現在所見到的改變不過是自然循環的一部分而已。」**

氣候在自然狀況確實會有異動，然而在過去發生生物界與自然界的眾多變化時，二氧化碳的濃度從未像現在這麼高過，我們早已脫離了氣候自然異動範圍，大氣層中二氧化碳濃度愈高，氣溫就愈高。

**(四)迷思「是臭氧層的破洞導致全球暖化的現象。」**

臭氧層的破洞與氣候變遷唯一的因果關係與上述迷思恰好相反，全球暖化雖不會直接破壞臭氧層，但卻會使臭氧層自然修復工作遲緩。主要原因是全球暖化會使大氣層底層的溫度上升，但是對於位於上層的平流層有冷卻效果，這樣的結果反而會使平流層流失更為嚴重。

**(五)迷思「一切都已經太遲，我們對氣候變遷早已素手無策。」**

這是關於氣候危機的所有誤解中，最糟的一項。消極的對事情感到絕望，更是無濟於事，其實，我們可以努力的地方還有許多，重點在於我們是否願意付諸行動，也不能再無視於氣候變遷所帶來的衝擊。

**(六)迷思「既然南極的冰層仍在持續擴大，**

那麼，全球暖化正在造成冰河及海冰融化的論調顯然是錯誤的。」

在南極，部分地區冰層確實有擴大趨勢；但是，其他南極冰層卻逐年融化。資料顯示，目前全球有 85% 的冰河是在消退中。同樣地，區域性的氣候變遷也不足以抵消科學家們所觀察到的全球性氣候變遷。從美國太空總署觀測的衛星影像顯示，格陵蘭島的冰帽，每一年都在縮減，並且進而導致海平面的上升，光是 2005 年格陵蘭島喪失的結冰量就達 50 立方公里之多。

**(七)迷思「全球暖化其實是件好事，它不但可以為我們驅走寒冬，還可以讓植物長得更好。」**

由於地域性差異，全球暖化確實為某些地區帶來較舒適宜人的冬天，但是，與氣候變遷帶來的其他負面衝擊比起來，實在是微不足道。此外海洋生物食物鏈受損，甚至包含人類重要食物來源與棲身地。此外冰層融化會使海平面上升，一旦大量冰層融化了，世界上許多沿岸城市將被水淹沒。其他可能衝擊還包括愈來愈漫長的乾旱及水患，愈強大之暴風及熱浪。

**(八)迷思「科學家所觀察到的暖化現象，不過是都市裡的熱島效應，與溫室效應氣體無關。」**

所謂的熱島效應是指都市裡因為建築物多、再加上柏油路面容易吸熱的關係，導致都市裡的熱氣不易散去，由於這些科學研究通常是在公園裡進行溫度測量，而這些地方往往是都市熱島相對較低的地方。大部分的科學家都相信「都市熱島效應」對於全球性暖化現象的影響，是可以被忽略的。

**(九)迷思「全球暖化是在 20 世紀初，降落在**

**西伯利亞的隕石所引發的現象。」**

該隕石撞擊時，並未留下任何關於氣候暖化或冷卻的紀錄。隕石撞擊所帶來的影響主要是藉著水氣發生的，而這些水氣頂多只會在大氣層上停留幾年時間，它造成影響是短期的，不會過了這麼久後的今日，還讓我們看見它所殘留的效應。

**(十)迷思「有某些地區的溫度並沒有上升，因此全球化仍是個謎。」**

沒錯，並非世界上每一點溫度都上升，且全球暖化指的是「整個」的地球表面受溫室效應氣體增加的影響，而導致整體「平均」溫度上升的現象。

氣候是極為複雜的系統，氣候變遷所造成的影響在各地不盡相同，例如北歐甚至出現氣候變冷的情形。但是，這不會改變整個地表的平均溫度和海洋溫度都在上升的事實。衛星資料及許多測量結果，都顯示此相同結果。

## 六、台灣的暖化現象有多嚴重？

近十幾年來，氣候變遷的極端反常現象，一般人在日常生活中早已感受到。以 2001 年為例，台灣在該年度便遭受了 7 個颱風(例如有造成嚴重災情的納莉颱風)的傾襲，水災頻傳，而且在納莉風災過後，又連續 2 年旱災使得人們不免懷疑是全球暖化的結果。

根據聯合國跨政府氣候變遷研究小組 IPCC 所公布的報告，台灣屬於氣候變遷的高危險群，百年以來，平均溫度增加了攝氏 1.3 度 C，是全球平均值的 2 倍。

許多長期監測台灣氣候變遷學者預測，包括旱澇、強降雨、高溫日數增加等等；

而氣候異常則是會導致生態異常、物種遷徙等等；顯著的氣候變遷造成水資源衝擊，嚴重影響身家財務康健安全。

雖然有的人質疑台灣偏高的暖化數據，可能是受到中國大陸燃煤和工業生產的影響，但是台灣近年來溫室氣體排放有增無減的趨勢，仍是不爭的事實。

根據 2006 年國際能源總署報導，從 1990 到 2004 年，台灣二氧化碳總排放量的成長率，是全球成長率的 4 倍，每人平均年排放量超過 12 噸，是全球平均值的 3 倍。且平均用電成長率，15 年來每人平均用電量成長了 3 倍。這些人為因素，無疑均對氣候暖化有加成作用。

### (一)被迫因應還是防患未然？

關於全球暖化，其實有個基本問題：大氣溫度真的在升高嗎？這是自然變遷抑或人為造成？全球暖化所可能衍生的天然災害，真的會發生嗎？關於大氣溫度是否真的持續在升高，尚難有定論。固然我們必須體認氣候變遷預測的不確定性，不能全盤否定氣候變遷的可能性。這是一種風險的概念，也是重新省思人與自然關係的關鍵時刻，目的在於防患未然，而非確知災難或不幸必然發生。

過去一、兩百年來，人類已經為自己的未來埋下許多不可預測的危機；與其落入氣溫升高與否的論證，不如起而行動，維護地球的健康。人與自然的互動應該是相互融合，而後的適應與療傷。相信任何維護地球的投資（無論有形或無形）都是值得。重要的是，地球環境在人類活動影響下，已經變得更脆弱。天災人禍的影響仍會更加嚴重。何況若是全球氣溫確實正趨於暖化，則將有可能會造成顯著的氣候變遷，屆時對地球環境

的衝擊，也將更形嚴重。

人類面臨的問題是，過多的人造溫室氣體的排放，是否已經或即將破壞大自然的韻律，留給後代子孫一個毀滅的未來。

### (二)氣候變遷威脅台灣水資源

台灣雖有豐沛雨量，每年約 2510 公厘，是全球平均降雨量的 2.6 倍，但每個人每年平均可得的水資源約 4500 立方公尺，卻只有全球平均的六分之一，被列為缺水國家。臺灣河川特性均短且陡，降雨迅速排入海中，擷取利用頗為不易；而降雨季節乾溼分明、降雨區域不平均，造成水資源儲存不易且調配困難。此外極端氣候如颱風和洪災、乾旱所造成的災害頻繁，往往對水資源供給面造成極大的衝擊和挑戰。

自 1960 年以來，平均年雨量並無顯著變化，總降雨時間卻顯著下降，豪大雨頻率則呈現上升趨勢，但部分區域反而可能有缺水危機。以中央山脈為分水嶺，山脈以東的北區和東區，多雨趨勢可能性較高；而山脈以西，則不確定性高；沿山脈水源區的降雨減少，特別是在中部地區，對人口密集的西部平原水資源供應，影響極大。面對氣候變遷衝擊，極端氣候頻率增加，降雨強度和雨量也增加，雖然水庫水資源得以補注，但大量泥沙沖刷注入水庫，不僅影響其蓄水量，對水庫壽命亦是一大威脅。泥沙造成原水濁度飆升，供水系統無法正常操作，導致不缺水卻停水的窘境。氣候變遷對於水資源的影響，原則上在於集水區的降雨量與蒸發散量，二者皆均受氣候變化影響，導致河川流量、地下水補注量等亦受氣候變遷衝擊，然後進一步影響水資源供水能力。不只是氣候變遷亦可能增加極端豪大雨及高河川逕流



量的頻率，而導致洪水風險增加等。

我國在水資源利用上，每年都在慎重追蹤水資源分配數據，如圖 5。包括如：全年降雨量、蒸發量、河川逕流量、地下水滲透量、水庫調節水量、引用河水量、入海水量、地下水用水量、利用總水量、農業用水量、生活用水量、工業用水量等。水是非常寶貴的資源，陸地淡水又約僅占全球水資源的 6%，其餘 94% 為海洋。而在陸地淡水中，又有 77% 以結冰方式儲存在南北極，22% 儲存在地下深處，約僅有 1% 以下(有的估算認為僅 0.4%) 的淡水，可供人類使用。

### (三)台灣水資源危機

人民有「權利」享有水資源，政府應保障人民這項權利，並倡導水資源的「去私有化」，公部門應介入水資源的管理；台灣本身由於氣候、地理環境等因素、縱為海島卻缺水，是多雨的缺水國，生活在這裡的人普遍能感受水資源的緊張與匱乏；傳統上普遍認為是水源缺乏、水汙染等。然而，隨氣候異常現象加劇，水資源問題早轉向成相互影響的綜合型危機，如圖 6，從局部性問題轉向流域型和區域性，甚或環境困境，且限制地區的經濟發展。危機最主要仍肇因於，水資源管理體制的不健全；台灣的水資源管理，乍看下沒有水資源管理「去私有化」問題，因為我國的水資源管理是由政府操控；然而水資源問題卻仍日趨突出，整體態勢越發嚴峻。我們也該付出更多關注，避免國家不夠周延，或不足以因應現有環境的政策，導致公部門反而無力扭轉水環境趨劣，而成為虛耗珍貴水資源的組織體！水資源管理體制不足、技術落後和思維未更新，這些綜合性的缺失，導致各類水資源問題更趨嚴重。

我國現行的水資源管理體制基本上是一套自上而下的行政管理體制，無法完全適應新時世的治水需求。大體而言，存在流域管理機制不健全、各部門合作機制未臻成熟、利益相關方面和公眾參與意願不高等問題。隨市場經濟和水權的改革的推進，自上而下的水資源管理體系可預見的將遇逢挑戰。我國正面臨前所未有的水資源問題轉型，水資源、水環境、水生態、水災害、水資源管理等問題相互形成多重水資源危機，將成為政府面臨的嚴峻挑戰，影響國家競爭力與人民的居住安全，因此及早著手解決相關問題舒緩危機，乃當務之急。在全球氣候暖化趨勢下，要處理「水」問題必須以治本的方式，從整體流域的視角來正視現實並提應對方案，以構建水安全體系，才能徹底解決生活、生態、生產等基本民生問題。

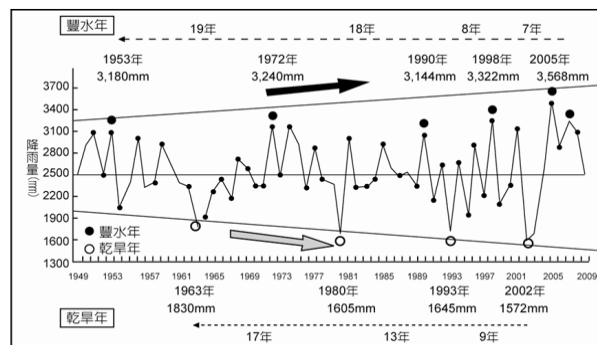


圖 5 台灣歷年降雨量趨勢

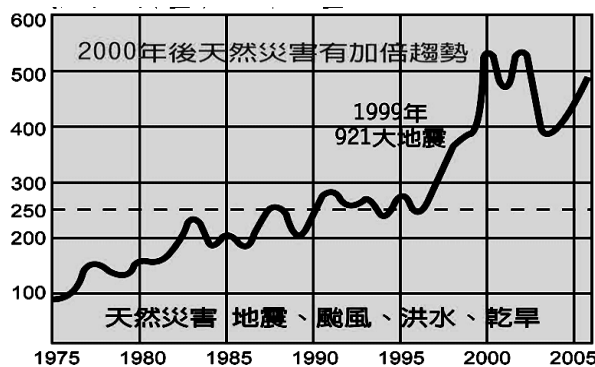


圖 6 全球天然災害趨勢(1975-2006)

## 七、結語

水是確保生命的基礎，然而從 20 世紀初期開始快速發展的氣候暖化，因為地表熱能不斷累積，促使水文日趨激烈與極端，已經讓水資源成為 21 世紀面對的重大難題；對台灣而言降雨為維生命脈，強度直接影響島上的生態環境及生活品質，因此我們也有嚴重的危機與挑戰。自 1950 年暖化程度跨越百年平均值的門檻後降雨型態及水文變化開始呈現截然不同型態，不僅幅度逐漸增大，乾旱期增長，降雨強度也快速增加，對我們的水源帶來深遠的影響。氣候暖化所造成極端水文變化，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隱憂。台灣水資源的來源包括地表水及地下水兩大部分，不利的降雨趨勢變化，造成幾方面的衝擊：(一)地表水的飲用量日漸降低；(二)地下水比重居高不下；(三)水庫淤積快速升高。

面對未來水資源的艱鉅挑戰，我們必須用全新的思維去面對，我們國家最重要的工作與目標：(一)開拓多元化的水源，減少浪費；(二)加強區域性的水源調配，增設備援的供水系統；(三)充分利用山麓區河川的伏流水，進行地下水人工補注；(四)預防海平面上升的衝擊，盡速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，節流跟減少浪費是管理的重點。我們的政府實在需要加緊腳步，大刀闊斧地採取更有效的對策去因應，開始努力建構一個節水、省能、低碳的社會型態，不但減輕氣候暖化所帶來的衝擊降到最低；還可扭轉劣勢，引導台灣邁向永續經營國富民強的方

向。

## 參考文獻

- 1.蔡勳雄、郭博堯，全球氣候變遷加劇的現象，民國90年8月10日。
- 2.柳中明，全球氣候變遷之衝擊與調適策略探討，科技發展政策報導，2008年7月1日
- 3.陳仲賢，因應全球氣候變遷之我國水利公共設施與挑戰，民國98年7月10日。
- 4.高寶書版，水資源戰爭，2011年4月。
- 5.陳嫻若譯，你的全球暖化知識正確？，2010年4月。
- 6.柳中明，臺灣環境變遷解密，2010年10月。
- 7.王惟芬譯，水資源地圖，2012年6月。
- 8.王惟芬譯，氣候變遷地圖，2012年7月。
- 9.柳中明，全球環境變遷，2010年7月。
- 10.高寶書版，水資源戰爭，2011年4月。
- 11.艾爾·高爾，不願面對的真相，2007年4月25日。
- 12.丁惠民譯，氣候變遷的關鍵報告，2013年4月1日。

## 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：自來水資源管理、氣候變遷

### 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

# 亞熱帶分層水庫以底層曝氣改善水質之方案分析： 以 CE-QUAL-W2 模式模擬新山水庫為例

文/吳先琪、吳俊宗、簡鈺晴、王永昇、莊鎮維、姚重愷、吳美惠、林彥宏

## 摘要

每年 5-8 月間微囊藻在台灣亞熱帶分層水庫中形成藻華。以新山水庫為例，藍綠藻及綠藻是水庫中主要及次要優勢種，藍綠藻是夏季優勢藻種，冬季時綠藻和矽藻所佔比例增加。2009 年至 2011 年卡爾森優養指標 (CTSI) 值介於優養至中養之間。2011 年夏天 CTSI 曾高達 65，優養相當明顯。

本研究於 2009 年至 2012 年進行新山水庫水體垂直剖面調查，發現水體每年有一次翻轉，且約在 4 月份開始逐漸形成分層，至 10 月份之後水體又漸漸混合，8、9 月為水庫分層最明顯的時期，且在分層明顯時水庫底部溶氧幾乎低於 2 mg/L。

為了評估以底層曝氣之方法改善底層缺氧、底泥磷釋出及優養狀況，本研究以實測數據校正過之水質模式 (CE-QUAL-W2) 模擬水庫水質之結果顯示：模式可以預測葉綠素 a 之時間變化；不同情境之模擬顯示底層曝氣可以改善新山水庫底層水缺氧之問題，總磷濃度及分層水庫之優養狀況；而改善進流水 (基隆河) 水質，亦可以明顯改善水庫優養之狀況。

關鍵字：亞熱帶水庫、水溫分層、優養、微囊藻、藻種歧異度

## 一、前言

新山水庫為屬於自來水公司之單一目標 (公共給水) 之離槽水庫，其滿水位的面積為 56 公頃，平均深度為 30 公尺左右。主

要水源來自八堵抽水站，所抽基隆河河水經 3.2 公里導管送新山淨水場處理分配，餘水再經 0.9 公里導管送到水庫儲存；水庫供水則反向由該導管送至新山淨水場。

由於此水庫近年來屢出現輕微優養之現象，因此在相關藻類資料缺乏之情況下，有必要對於水庫優養的狀況、藻種的分佈、水質的變化等，進行較長期的監測；進一步對於優養之成因及可能之改善策略提出分析及建議。

為了分析水庫優養之原因，並評估不同水質改善策略之效果，必須建立水庫之水質模式，進行各種情境之模擬。因此，本研究定期之調查水質，並利用監測所得到之水質數據進行模式參數之校正與模式驗證，建立新山水庫之水質模式；將利用驗證過之模式，預測在上游水質改善及水庫增設底層水曝氣等不同情境下之水質改善狀況。

## 二、背景與原理

### (一) 亞熱帶深層水庫之特性

亞熱帶稍微深的水庫會在夏季時出現水溫分層之特性，底層水溫較低且密度高，相反的上層水溫較高密度較低，形成密度梯度，使得表層高溶氧之水無法進入底層。而水庫底層則因為有來自上層藻類及外來有機物死亡沉降，水庫中的微生物將這些沉降之含營養鹽之有機物進行好氧分解，消耗水中溶氧量，稱為深層水耗氧量 (hypolimnetic

oxygen demand, HOD)。而未完全分解的有機物及營養鹽進入底泥，也使得底泥需氧量(sediment oxygen demand, SOD)大增。以上因素造成水庫底層在夏季長時間處於缺氧之狀態(summertime hypolimnetic anoxia)。當水庫底層水之溶氧消耗殆盡時，底泥之金屬氧化物被還原，而將與其結合之磷酸鹽溶出回到水體，成為主要之內部營養鹽來源。當這些底部磷酸鹽進入上層水，造成優養化的問題。

## (二)水庫水質模式

除了實施現地調查以瞭解水質之變化之外，水質模式可用來模擬水質的狀況，幫助我們預測在不同的條件下水體水質的變化，提供我們做為改善、解決問題之參考依據。1970 年代初期，Chen(1970)和 Di Toro et al.(1971)等人系統化的將前人的各種研究加以整合，並且加入水文、水理及藻類生化反應機制，包含藻類攝取營養鹽、受光強度及水溫影響等現象。1978 年，Stanley 等人(1978)和美國陸軍兵工團都分別對複雜之優養及生態環境問題進行分析與模式之發展。而 Kuo and Thomann(1983)更發展出三維優養模式運用於美國安大略湖(Lake Ontario)。Martin(1988)利用 CE-QUAL-W2 模擬美國阿肯色州 DeGray 湖之各項水質時間及空間上之變化(Chapra, 1977; Di Toro, et al., 1971; Markofsky and Harleman, 1973; 余, 2002)。

在國內也有相當多學者利用水質模式進行研究，包含像郭等(1985)利用美國陸軍工程師團發展的 WQRRS 水庫一維模式，建立德基水庫的水質預測及管理方法。其缺點為無法考慮水質在縱向的變化。在零維方面

有郭 (1989) 利用 Vollenweider 模式應用在鳳山水庫，模擬各種流量、水位狀況下的允許入流含磷量及取水口附近的總磷與正磷酸鹽含量。在二維方面有吳 (1987)利用 Buchak and Edinger (1982)所發展的二維水理模式(LARM-2)與二維水質模式(WASP3)加以結合，用來模擬德基水庫之水質。唐 (2001)、趙 (2001)分別以 CE-QUAL-W2 探討曾文水庫與德基水庫之水質與優養風險評估。余 (2002)、謝 (2003)亦以石門水庫為模擬對象，利用 CE-QUA-W2 模式進行水質模擬水質探討，其中謝 (2003)曾以 2002 年 2~ 6 月間，台灣面臨乾旱時，水庫水位急遽下降時期的水體進行模擬，其模擬結果與實測數據有不錯的相關性。以上之研究顯示 CE-QUAL-W2 相當適合用於水庫水質之模擬。

## (三)水庫優養改善之方法

絕大多數淡水湖泊水庫中，磷是藻類生長的限制因素，因此控制磷進入水體是改善水庫優養最根本的方法。水庫中磷的來源可分為外部來源與內部來源。新山水庫中磷之外部來源主要是從抽入水庫之基隆河河水，因此削減基隆河水中之總磷濃度，應為改善水庫水質之重要方法之一。在某些季節，由於前述的水庫底層缺氧，而將結合性之磷酸鹽釋出回到水體，對於水庫優養化亦有相當之影響。在水庫底部增加溶氧，例如配置曝氣增氧(hypolimnetic aeration)設備，被視為一項有效的水質改善策略。此二種優養改善策略在實施之前，均需要利用模式模擬方法，預測及檢討其效率。

### 三、研究方法

#### (一)水質及藻類監測

本研究針對新山水庫三個採樣點，每個採樣點分上(水下 2 m)、中(水下 10 m)、下層(第一點水下 30 m，其餘水下 20 m)採樣。採樣點位置圖如圖 1 所示。第一點包括新山水庫取水口及新山水庫進水口。採樣原則按照「河川、湖泊及水庫水質採樣通則」(NIEA W104.51C)。採集所得之樣品之分析項目包括：pH、水溫、溶氧量、比導電度、濁度、懸浮固體量、藻毒、水中透明度、總溶解性有機碳、總磷、氨氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、鈣、鎂、葉綠素 a 與藻類相變化等。水質分析之水樣保存根據「水質檢測方法總則」(NIEA W102.51C)。藻類相之分析則是採用鏡檢法(吳，2008)。



圖 1 採樣點位置圖

#### (二)水庫水質模式校正與模擬

本研究利用 CE-QUAL-W2 模式來模擬

新山水庫之水質，以 2010 年之實測資料做為模式參數校正的依據，而以 2009 年之資料作驗證。繼而用校正之模式模擬夏季底層缺氧時，進行底層曝氣(hypolimnetic aeration)之效果，探討其對水庫優養化之影響及不同曝氣量造成水庫水體水理、水質之變化情形。本模式在模擬曝氣量對水質之影響時亦考慮底水及底泥耗氧量影響(Gantzer et al., 2009; Moore, 2003)。此外，亦利用校正過之模式，模擬進水(基隆河河水)中總磷濃度被削減之情境下，水庫水質相對應之變化。

### 四、結果與討論

#### (一)亞熱帶水庫之水文與水質特性

研究發現新山水庫水體每年有一次翻轉，且約在 4 月份開始逐漸形成分層，至 10 月份之後水體又漸漸混合，8、9 月為新山水庫分層最明顯的時期，且在分層明顯時新山水庫底部溶氧幾乎低於 2 mg/L。溶氧低的情形除了造成底泥營養鹽釋出，底層水營養鹽累積，間接造成每年 6 月至 9 月藻類濃度的高峰，亦對於迴游動物及底棲生物之生存造成威脅，是不容忽視的問題。

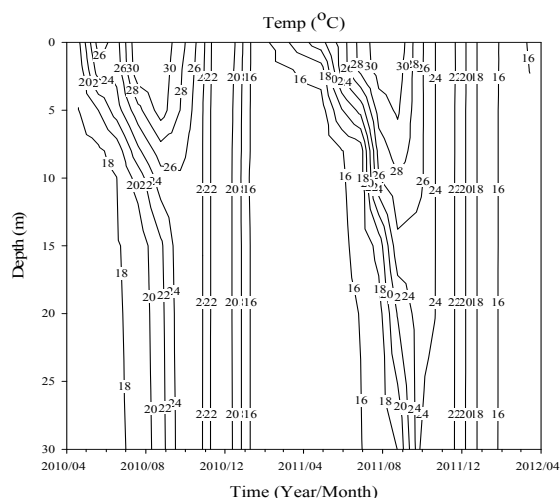


圖 2 2010 年 4 月至 2012 年 3 月 Site1 之溫度隨時間之垂直剖面圖

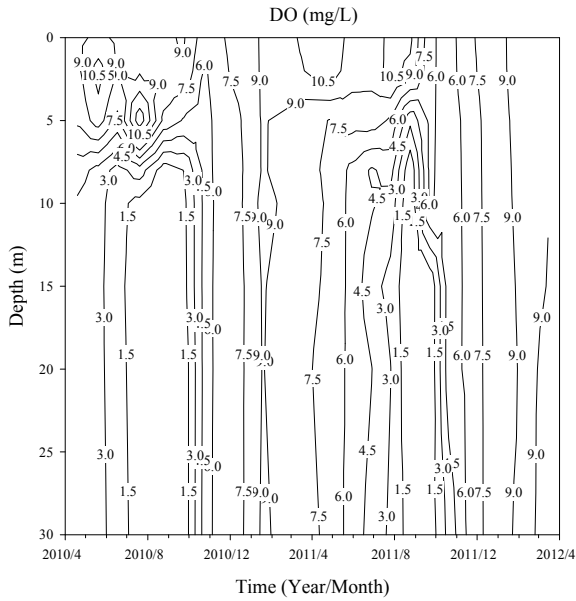


圖 3 2010 年 4 月至 2012 年 3 月 Site1 之溶氧隨時間之垂直剖面圖

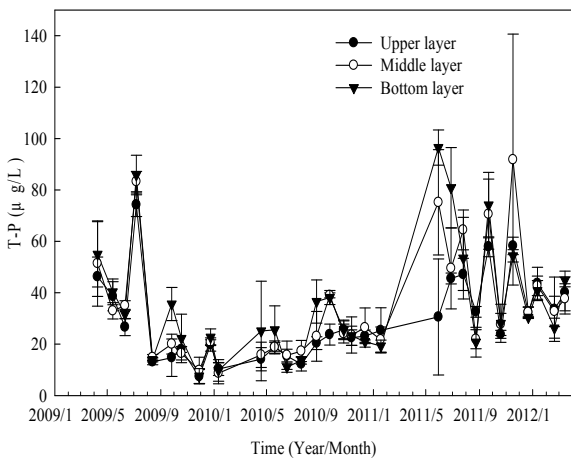


圖 4 歷年來各層總磷濃度隨時間之變化圖

## (二) 優養指標及藻類分佈

2009 年至 2011 年卡爾森優養指標(CTSI)值介於優養至中養之間。2011 年夏天 CTSI 曾高達 65(見圖 5)，優養相當明顯。分析 CTSI 之組成，發現 CTSI 由總磷、沙奇盤深度及葉綠素 a 三者平均貢獻而得，而葉綠素 a 與沙其盤之 TSI 值有不錯之一致性，表示水中濁度及固體物主要貢獻來自於藻類。每年 5-8

月間微囊藻在水庫中形成藻華。在微囊藻華發生時，圖 6 顯示歷年新山水庫出現之各群藻類之相對比率變化情形。藍綠藻及綠藻是新山水庫中主要及次要優勢種，藍綠藻是夏季優勢藻種，冬季時綠藻和矽藻所佔比例增加。

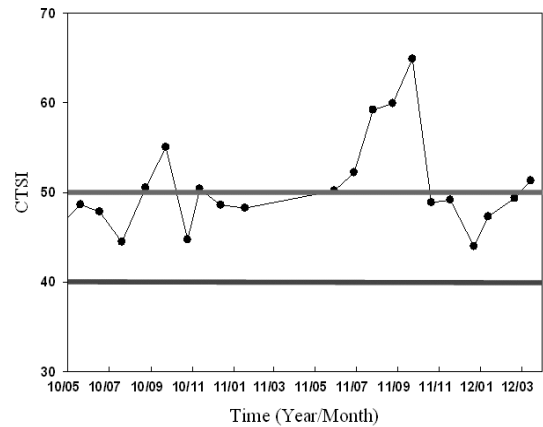


圖 5 新山水庫 2010 年至 2012 年平均之卡爾森指數(CTSI)變化圖

## (三) 模式校正與水質改善策略模擬分析

本研究以實測數據校正水質模式(CE-QUAL-W2)，校正後之相關參數值如表 1。由於藻類之生長受到光線之限制，因此藻濃度最密集的地方均集中在表水層附近，故葉綠素 a 之校正與驗證是取位在距離水表面 2~3 公尺處的數據來進行校正與驗證。圖 8 與圖 9 分別為 2010 年(校正)與 2009 年(驗證)模擬值與實測值之比較圖。由此兩圖可看出，葉綠素 a 模擬值與實測值大致吻合，但在 2010 年的 9 月份與 2009 年的 8、9 月份均出現模擬值低估之情形，尤其於 2009 年 8 月時之葉綠素 a 模擬值與實測值之差值將近  $60 \mu\text{g/L}$ 。其於模式校正與驗證之其他各月份葉綠素 a 的模擬值均與實測值密合。

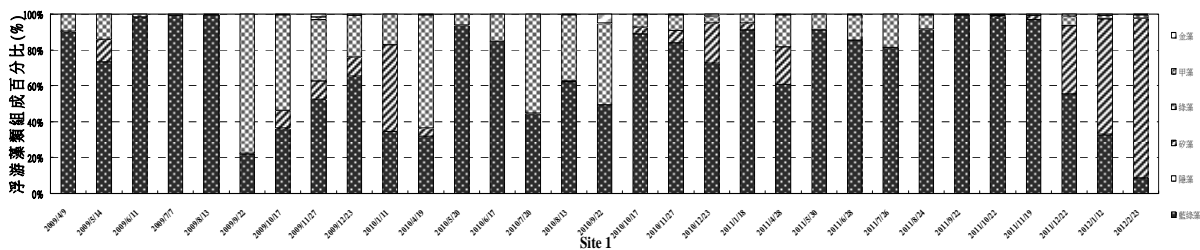


圖 6 新山水庫歷次採樣出現之各群藻類之相對比率變化情形(圖中由下往上依序：深藍色為藍綠藻，褐色為隱藻，淺藍色為矽藻，淺綠色為綠藻，紅色格紋為甲藻，紅色斜紋為金藻)

表 1 新山水庫之相關參數校正值

參數項目說明	單位	校正值	參數範圍
水平黏滯係數	m <sup>2</sup> /sec	1.0	1.0
水平擴散係數	m <sup>2</sup> /sec	1.0	1.0
底泥溫度	°C	24.0	14.0
光消滅係數	1/m	0.45	0.18-4.0
顆粒沉降速度	m/day	1.0	1.0
藻類飽和生長率	1/day	2.0	1.1-2.5
藻類呼吸率	1/day	0.04	0.01-0.92
藻類代謝死亡率	1/day	0.04	0.014-0.044
藻類死亡率	1/day	0.1	0.005-0.41
藻類沉降率	1/day	0.1	0.1-0.2
磷半飽和常數	mg/L	0.003	0.001-0.05
氮半飽和常數	mg/L	0.014	0.01-0.4
飽和日光強度	W/m <sup>2</sup>	450	100-400
底泥磷釋放率	g/m <sup>2</sup> /day	0.015	0.0022-0.0194
氨氮遞減率	1/day	0.05	0.02-0.2
硝酸氮遞減率	1/day	0.05	0.05-0.5

(參數範圍來源：謝, 2003; Cole and Wells, 2010)

#### (四)以模式模擬分析底層曝氣對改善優養狀況之效果

本研究所使用之模式，CE-QUAL-W2 在 Version3.7 中首度可以對水庫曝氣(aeration)進行模擬，其輸入檔可輸入曝氣位置、每日氧氣之曝氣量(kg O<sub>2</sub>/day)、起始時間、終止時間、啟動與關閉曝氣之溶氧濃度上下限值各

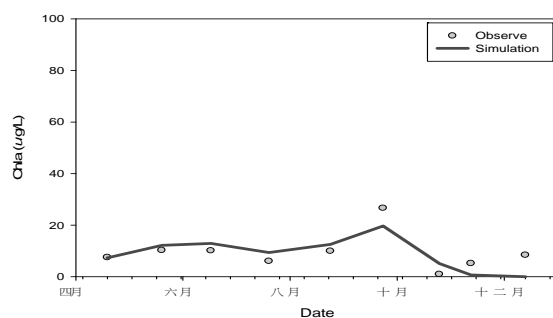


圖 8 新山水庫 2010 年葉綠素 a 之實測值與模擬值比較(校正)

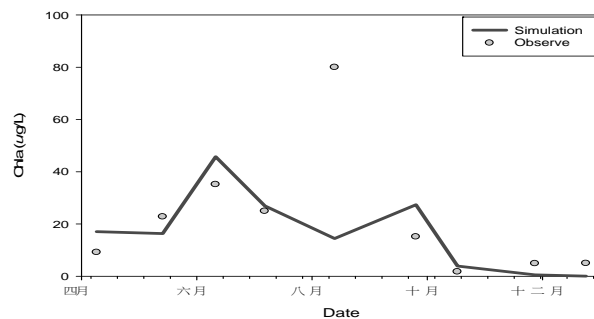


圖 9 新山水庫 2009 年葉綠素 a 之實測值與模擬值比較(驗證)

一，當低於下限值即啟動、反之則關閉，以及偵測啟動與關閉限制之溶氧濃度值的偵測探針所在位置。本研究對新山水庫進行底層曝氣之探討，再比較曝氣前後溶氧、總磷、硝酸鹽及葉綠素 a 之差異後，可了解曝氣對水庫優養化改善之成效。

本研究所建立之曝氣輸入情境分別

為：曝氣的位置是位於水庫的正中央，劃分網格裡的第 3 段與第 30 至 35 層，即從水庫底部往上約 5 至 10 公尺處；曝氣時間是從第 180 天(約七月初)至第 300 天(約 10 月底)，時間正處夏秋之季，是水庫底層缺氧最嚴重的時期。而關閉與啟動曝氣之上下限制分別為，上限值之溶氧濃度是 12.5 mg/L，下限值則是 11.0 mg/L。此種限制方式是為了強迫模式將每日之該曝氣氧氣的量都輸入水庫，再依結果進行討論。若不依此做設定，則會有以下兩種行情發生，第一是因水庫底層溶氧濃度未低於啟動曝氣之下限值，因此均無曝氣，第二是曝氣啟動後，溶氧濃度雖未達關閉曝氣之上限值，但因每日曝氣量已用完而停止曝氣，以上兩種行情會造成每日的曝氣量均不一致，且每日底層溶氧濃度亦不一致。因此初步模擬試驗調高曝氣啟動與關閉之上下限值，強迫其將每日曝氣量均輸入水庫。如此調整雖亦會造成每日底層溶氧濃度不一致，但至少每日曝氣量是一致的。而偵測溶氧濃度之探針的位置是在劃分網格裡的第 3 段與第 35 層。模擬時以兩種不同曝氣量供氧，分別是每日供給 150 公斤(小量曝氣)與每日供給 300 公斤(大量曝氣)之純氧，其換算成氣體體積分別約為 115 與 230 立方公尺的純氧及約 547 與 1094 立方公尺的空氣。本研究藉由兩種不同之曝氣量來探討其差異性，並尋找較佳之方式。

圖 10 為新山水庫 2010 年曝氣前溶氧隨深度及時間變化情形。由圖可明顯看出，從 7 月份開始，水庫中底層因夏季表面水受太陽輻射照射溫度迅速上升，使得水庫產生分層現象，讓水中之溶氧濃度一直處於 2 mg/L

以下，甚至到 8 月中旬時，水中幾乎測不到溶氧存在，直到約 11 月時才又因氣溫下降，水體分層消失、逐漸翻轉混和後，底層水之溶氧才又回到 4 mg/L 以上。

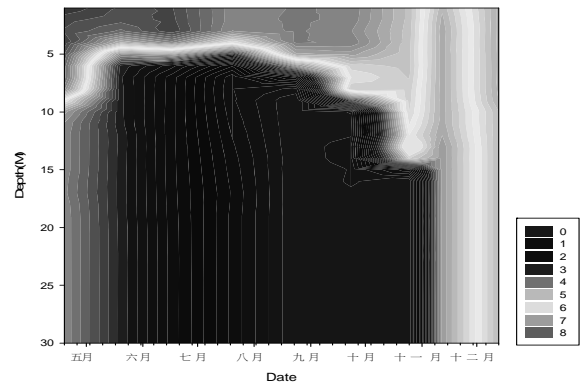


圖 10 新山水庫 2010 年無曝氣狀況下溶氧(mg/L)隨深度及時間變化情形

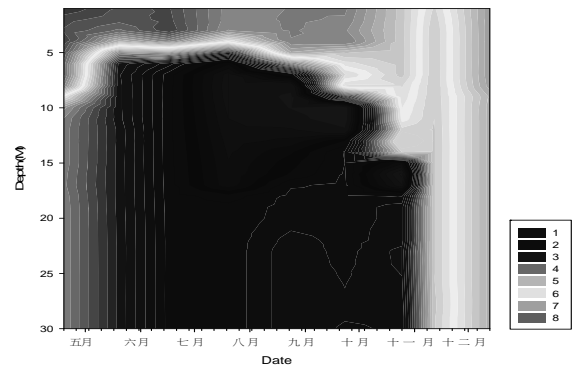


圖 11 新山水庫 2010 年小量曝氣後溶氧(mg/L)隨深度及時間變化情形

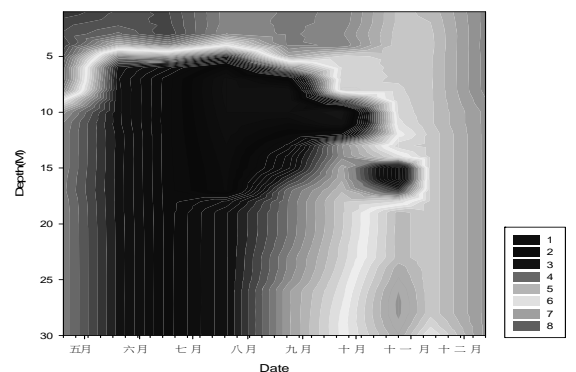


圖 12 新山水庫 2010 年大量曝氣後溶氧(mg/L)隨深度及時間變化情形



底層曝氣後，最直接的影響即為水中的溶氧濃度的提升。圖 11 與圖 12 分別為新山水庫 2010 年小量與大量曝氣後溶氧隨深度及時間變化情形。由圖 11 可看出，經小量曝氣後，水庫底層之溶氧濃度從 7 月份開始皆可以維持在 3 mg/L 左右，尤其在 8 月中旬過後，水庫底層之溶氧已從曝氣前幾乎測不到溶氧的狀態，到曝氣後已有明顯之改善。在曝氣的期間、水深約 7 至 17 公尺的地方溶氧濃度仍未上升，似乎是曝氣量不夠所導致。

圖 12 顯示曝氣量加大後，水庫底層之溶氧從 7 月份的 3 mg/L 左右逐漸上升至 11 月份的 7 mg/L 左右，可明顯看出曝氣量的多寡將直接影響到水中的溶氧濃度。在與圖 11 比較後，在水深約 7 至 17 公尺的地方溶氧濃度仍然沒有提高的跡象，推測原因為水庫水體中，垂直向的渦流粘度(vertical eddy viscosity)似乎過小，導致即使底層溶氧濃度因曝氣量增加而上升，但中層的溶氧濃度仍然沒有增加。

圖 13 為新山水庫 2010 年曝氣前葉綠素 a 濃度隨深度及時間變化情形。如同章節所述，葉綠素 a 濃度是先藉由模式模擬藻類濃度、進而得知每單位體積下藻類之乾重，再經由一固定比值轉換才到葉綠素 a 濃度。因此，由圖可明顯看出，因藻類受陽光所影響，所以藻類濃度均集中在表水層，造成葉綠素 a 濃度也集中在表水層，從 5 月份開始至 10 月底，皆可在表水層測到葉綠素 a 的存在，尤其在 9、10 兩個月份，模擬的葉綠素 a 值較高，達 20  $\mu$  g/L，而在 11 月過後，水體中葉綠素 a 的濃度皆在 5  $\mu$  g/L 以下。

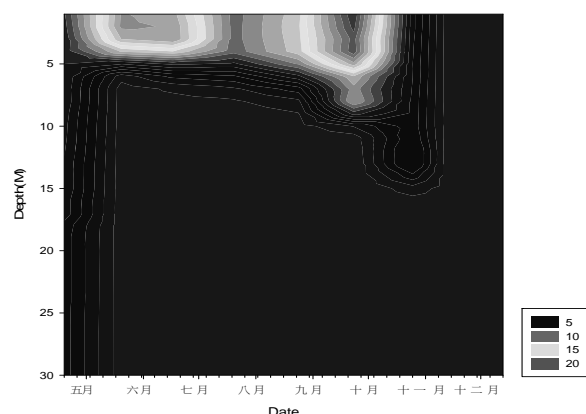


圖 13 新山水庫 2010 年無曝氣狀況下葉綠素 a ( $\mu$  g/L)隨深度及時間變化情形

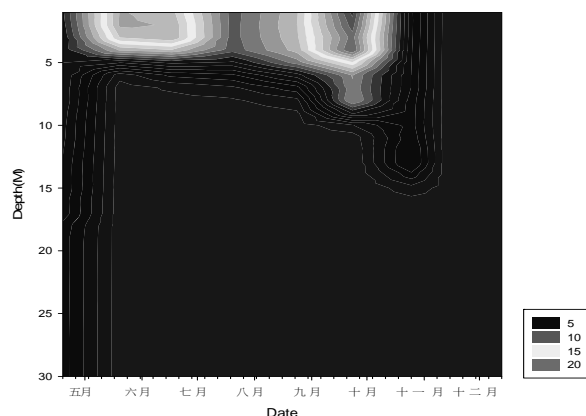


圖 14 新山水庫 2010 年小量曝氣後葉綠素 a ( $\mu$  g/L)隨深度及時間變化情形

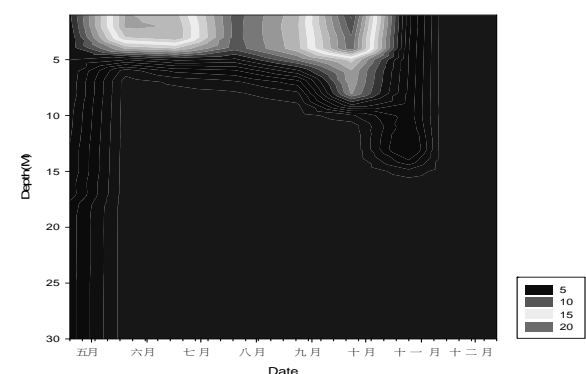


圖 15 新山水庫 2010 年大量曝氣後葉綠素 a ( $\mu$  g/L)隨深度及時間變化情形

圖 14 與圖 15 分別為水庫內 2010 年小量與大量曝氣後葉綠素 a 濃度隨深度及時間變化情形。不論小量曝氣或大量曝氣，全年表

層水之葉綠素 a 下降幅度並不明顯，下降濃度均不到  $1 \mu\text{g/L}$ ，推測可能原因為：在模擬期間總水體總磷濃度皆小於  $20 \mu\text{g/L}$ ，經過底層曝氣後，僅改善底層水總磷濃度，但表層水總磷濃度並未有太大的改變，故不會影響到藻類之生長，因此葉綠素 a 的濃度無法下降。

再延長曝氣時間之模擬，比較 2010 年及 2011 年均無曝氣，及 2010 及 2011 均曝氣之情境，看看底層曝氣之效果是否會在曝氣後之第二年才顯現。圖 16 為延續無曝氣第二年之葉綠素 a 濃度隨深度與時間之變化；圖 17 為延續第一年有曝氣之情況，繼續第二年曝氣之葉綠素 a 濃度隨深度與時間之變化。

由圖 16 與圖 17 之比較可看出，新山水庫於第一年少量曝氣後，底層水中的總磷濃度就已經降低，但是其對於上層水中之磷濃度沒有影響，直到水庫經過冬季反轉，水體完全混合之後，磷的削減對第二年上層水中磷濃度才發生作用，因此也減少了第二年藻類的濃度。

#### (五)以模式模擬分析改變進流水總磷濃度對水庫優養狀況改善之效果

圖 18 與圖 19 分別為 2009 年進流水總磷濃度調整前、後總磷濃度隨深度及時間變化情形。顯示 4 月份開始至 8 月份左右，水庫底層之總磷濃度皆約在  $50 \mu\text{g/L}$  以內；在水庫上層總磷濃度則有  $100\sim 150 \mu\text{g/L}$ ；而在表水層總磷濃度亦在  $50 \mu\text{g/L}$  以內，在 5 月至 7 月份期間表水層總磷濃度甚至接近  $50 \mu\text{g/L}$  以內，但從 9 月份開始至 11 月份左右，水體總磷濃度由  $50 \mu\text{g/L}$  逐漸上升至  $150 \mu\text{g/L}$ ，甚至在水庫中層的總磷濃度可達  $250 \mu\text{g/L}$ ，直到 11 月水體開始混合後，總

磷濃度才又下降。

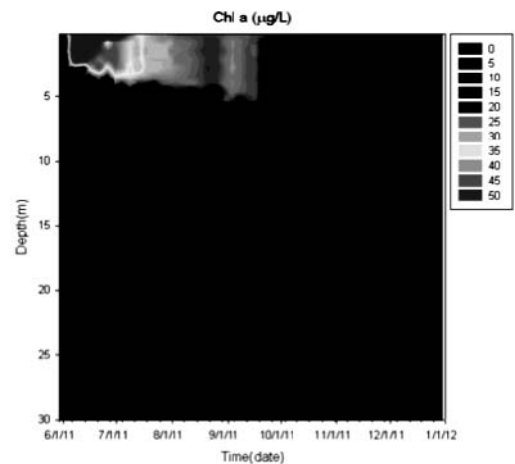


圖 16 新山水庫 2011 年接著兩年無曝氣後葉綠素 a ( $\mu\text{g/L}$ ) 隨深度及時間變化情形

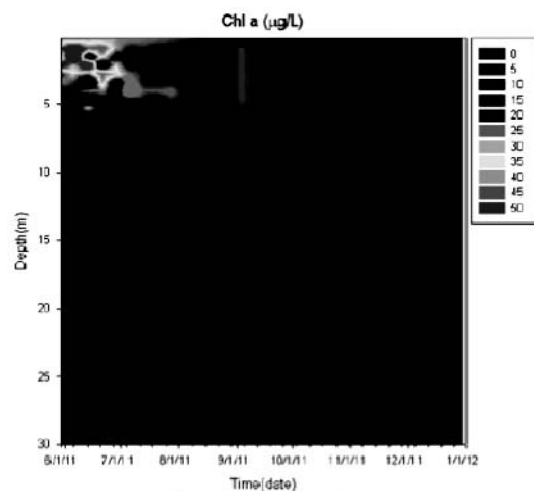


圖 17 新山水庫 2011 年接著兩年少量曝氣後葉綠素 a ( $\mu\text{g/L}$ ) 隨深度及時間變化情形

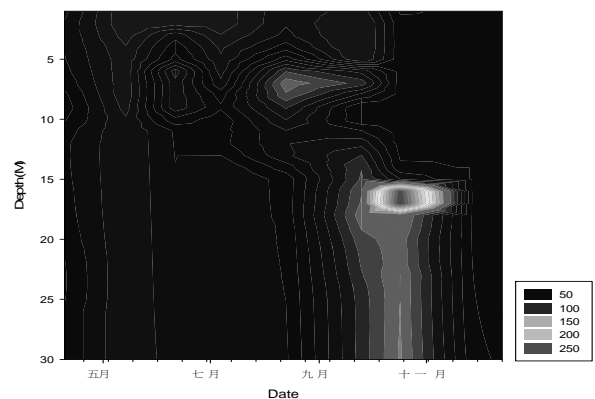


圖 18 新山水庫 2009 年調整總磷進流濃度前之總磷 ( $\mu\text{g/L}$ ) 隨深度及時間變化情形



在調整進流水總磷濃度後，可看出從 4 月份開始至 8 月份左右，水庫底層之總磷濃度亦皆約在  $50 \mu\text{g/L}$  以內，並無太大變化(圖 19)。水庫上層(水深 5~10 公尺間)之總磷濃度則略為下降至  $80 \mu\text{g/L}$  左右。在表水層的位置總磷濃度亦略為下降至  $20 \mu\text{g/L}$  以內。但最明顯之差別在於，從 9 月份開始至 11 月份左右，水體中總磷濃度皆有大幅下降之趨勢，尤其在 10 月底左右，水庫中層總磷濃度從原來的  $250 \mu\text{g/L}$  下降至  $180 \mu\text{g/L}$  以下，減少約  $70 \mu\text{g/L}$ 。

由圖 18 與圖 19 比較後得知，在調整進流水之總磷濃度後，已明顯改善了水庫水體的水質，水體中之總磷濃度在各時期與各分層皆有下降的趨勢，尤其在 10 月與 11 月時，水庫中層的改變最為明顯。圖 20 與圖 21 分別為新山水庫 2009 年進流水總磷濃度調整前與調整後葉綠素 a 濃度隨深度及時間變化情形。由圖 20 模擬結果可以看出，葉綠素 a 濃度大約出現在 5 月份至 10 月份，且因受到光線所影響，所以皆集中在表水層附近。6 月份左右葉綠素 a 濃度達到最高之  $50 \mu\text{g/L}$ ，之後便隨時間減少至 8 月份的  $30 \mu\text{g/L}$  左右，然後在 9、10 月份才又上升至  $40 \mu\text{g/L}$ 。相較無調整進流水總磷濃度，調整總磷濃度後葉綠素 a 一樣大約出現在 5 月份至 10 月份左右(圖 21)，但整體葉綠素 a 的濃度大約都可下降  $10 \mu\text{g/L}$  左右，甚至在 7 月份時葉綠素 a 濃度從原先的  $44.72 \mu\text{g/L}$  下降至  $27.34 \mu\text{g/L}$ ，減少了  $17 \mu\text{g/L}$  以上，而之後在 9、10 月份亦從原  $40 \mu\text{g/L}$  下降至  $30 \mu\text{g/L}$  左右。比較圖 20 與圖 21 可知，調整進流水之總磷濃度，可明顯改善水庫水體的水質。水體表水層中葉綠素 a 濃度在夏秋之季

(約 5 月份至 10 月份之間)皆有明顯的改善，尤其在 7 月份時改變最為明顯。

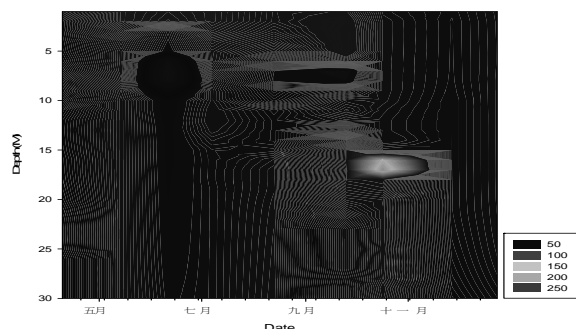


圖 19 新山水庫 2009 年調整總磷進流濃度後之總磷( $\mu\text{g/L}$ )隨深度及時間變化情形

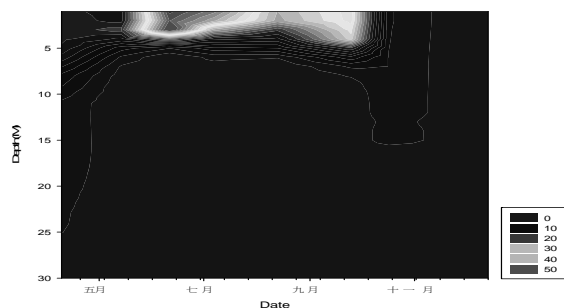


圖 20 新山水庫 2009 年調整總磷進流濃度前之葉綠素 a 濃度( $\mu\text{g/L}$ )隨深度及時間變化情形

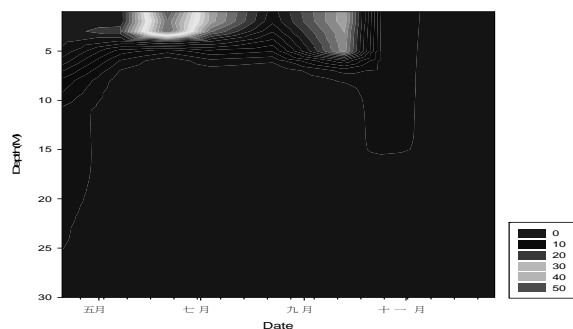


圖 21 新山水庫 2009 年調整總磷進流濃度後之葉綠素 a 濃度( $\mu\text{g/L}$ )隨深度及時間變化情形

## 五、結論與建議

新山水庫水質調查結果顯示水體每年有一次翻轉，且約在 4-9 月份形成分層，在分層明顯時水庫底部溶氧幾乎低於  $2 \text{mg/L}$ 。

低溶氧造成底泥營養鹽釋出，底層水營養鹽累積，間接造成每年 6 月至 9 月間藻類濃度的高峰。藍綠藻及綠藻是新山水庫中主要及次要優勢種，藍綠藻是夏季優勢藻種，應與水體分層時，藍綠藻取得生長優勢有關。建議自來水公司對於新山水庫之水文、水質及生態繼續進行監測，並且進一步建立水質生態模式，做為未來水庫水質管理之工具。建議維持水體之分層，由底層進水；修改進水口，將開口降低；保持水庫在高水位；基隆河水質混濁或營養鹽濃度高時暫停進水，以免注入過多的營養鹽。關於水庫內優養改善措施，可採用深層進水及取水及底層水曝氣。微囊藻華的形成與水中之有機汙染及營養鹽有關，建議評估於取水口設置前處理設施之可行性，以便削減水庫水源之有機汙染及營養鹽負荷量。

### 誌謝

本論文內容所根據之研究工作承台灣自來水公司於新山水庫現場之全力協助，行政院國家科學委員會及台灣自來水公司之部分經費補助，及國立台灣大學與中央研究院提供研究所需之設備與儀器，在此謹誌最深之謝忱。

### 參考文獻

1. Buchak, E.M., Edinger, J.E., 1982, User Guide for LARM2: A Longitudinal-Vertical, Time-Varying Hydrodynamic Reservoir Model. Instruction Report E-82-3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Hydraulics Laboratory.
2. Carlson, R.E., 1977, A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography* 22, 361-369.
3. Chen, C. W., 1970, Concepts and Utilities of Ecologic Model. *Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE*, 96(5), 1085-1097.
4. Di Toro, D. M., O'Connor, D. J., Thomann, R. V., 1971, A Dynamic Model of the Phytoplankton Population in the Sacramento San Joaquin Delta, *Nonequilibrium Systems in Natural Water Chemistry*. American Chemical Society, pp. 131-180.
5. Gantzer, P.A., Bryant, L.D., Little, J.C., 2009, Effect of hypolimnetic oxygenation on oxygen depletion rates in two water-supply reservoirs. *Water Research* 43, 1700-1710.
6. Kuo, J. T. and Thomann, R. V., 1983, Phytoplankton Modeling in the Embayments of Lakes. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol.109, No.6, pp.1311-1322.
7. Markofsky, M., Harleman, D.R.F., 1973, Prediction of Water Quality in a Stratified Reservoir, *Journal of the Hydraulics Division* 99, 729-745.
8. Martin, J. L., 1988, Application of Two-Dimensional Water Quality Model. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 114, No 2, pp.317-336.
9. Moore, B., 2003, Downflow Bubble Contact Aeration Technology (Speece Cone) for Sediment Oxygenation, Remediation of Contaminated Sediments. In: *Proceedings of the Second International Conference on Remediation of Contaminated Sediments*.
10. Oliver, R. L., Ganf, G. G., 2000, Freshwater blooms. In Whitton, B. A. and M. Potts (eds), *The Ecology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 149-194. Vollenweider (1975)
11. 余岱環, 2002, 石門水庫水質模擬與水理探討, 中央大學土木工程學研究所碩士論文. 中央

大學。

12. 吳俊宗，陳弘成，吳先琪，朱達仁等，2008，以生物鏈淨化水庫水質實證研究計畫，中央研究院執行，行政院環境保護署委託，EPA-97-U1G1-02-102。
13. 吳先琪，吳俊宗，張美玲等，2010，99年新山水庫藻類優養指標與水庫水質相關性之研究計畫，國立台灣大學執行，自來水股份有限公司委託。
14. 吳先琪，吳俊宗，張美玲等，2011，100年新山水庫藻類優養指標與水庫水質相關性之研究計畫，國立台灣大學執行，自來水股份有限公司委託。
15. 吳建鉉，1987，德基水庫二維水理與水質之模擬，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。台灣大學。
16. 唐太山，2001，曾文水庫二維水理水質之模擬與風險分析，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。台灣大學。
17. 謝文雄，2003，水庫水位激烈變化下之水理水質模擬，中央大學土木工程學研究所碩士論文。中央大學。
18. 趙美英，2001，德基水庫二維水理水質之模擬與風險分析，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。台灣大學。
19. 郭振泰，1989，鳳山水庫優養之探討與模擬（一）、（二），國立臺灣大學土木工程學研究所執行，省環保處及環保署委託。
20. 郭振泰，楊德良，何政儒，1985，德基水庫水質模擬與探討（一）、（二）、（三），水資會/國立臺灣大學土木工程研究所。

## 作者簡介

---

### 吳先琪先生

現職：國立台灣大學環境工程學研究所教授

專長：環境工程

### 吳俊宗先生

現職：中央研究院生物多樣性研究中心研究員

專長：藻類學與湖沼學

### 簡鈺晴女士

現職：國立台灣大學環境工程學研究所博士後研究員

專長：環境工程

### 王永昇先生

現職：中央研究院生物多樣性研究中心助理

專長：湖沼學

### 莊鎮維、姚重愷先生

現職：國立台灣大學環境工程學研究所碩士

專長：環境工程

### 吳美惠女士

現職：台灣自來水公司水質處處長

專長：化學及水質管理

### 林彥宏先生

現職：台灣自來水公司水質處技術士

專長：自來水水質分析

# 高架水塔支撐體結構設計之研討

文/曾浩雄

## 一、由柱子支撐之高架水塔

水塔由 8 根支柱支撐，其垂直長度為 18.0m(其中 2.0m 伸入地下，不含其上部之曲形環梁 B<sub>3</sub> 之高度)，斜長 18.11m(斜率為 1.0 : 18)，自地面起每 4m 設一道 45cm\*70cm 之橫撐(Brace)，共分為 4 層(3 道橫撐)。

## 二、各構件之結構設計

前已述及水塔上方之茵積式水池包括：拱頂、上環梁、池牆、中環梁、椎形拱之設計與本刊上期(第 32 卷 3 期)之「高架水塔結構設計之研討」所述完全相同，恕不再贅述。至於前所述及之「拱底曲形梁(B3)之設計」其下方原為支撐牆改為支柱，故該梁下方由完全由強體支撐，改為只有 8 根支柱支撐，沒有柱子支撐處完全懸空，成為力學上所稱之曲形梁(Curved Beam)，故須改以曲形梁力學原理加以設計。

### (一)拱底曲形梁(B3)之設計

1. 設曲形梁為 0.6m\*1.0m，全部曲形梁圍成之圓圈其直徑=12.6m(心至心)，圓圈由 8 根圓柱等距支撐，相鄰 2 根柱與圓心之夾角  $2\theta = 360^\circ/8 = 45^\circ/180^\circ * \pi = \pi/4, \theta = 22.5^\circ = \pi/8 \text{rad}$ 。
2. 依據前文所述：茵積式水池之椎形拱，其經向推力  $T_0 = 24.31 \text{ T/m}$ ；另由底拱傳來之經向推力  $T_2' = 15.07 * \cos 33.4^\circ = 12.58 \text{ T/m}$ 。因此曲形梁承受之淨推力 =  $24.31 - 12.58 = 11.73 \text{ T/m}$ 。環壓力 =  $11.73 * 12/2 = 70.4 \text{ T}$ 。
3. 環壓應力 =  $70.4 / (0.6 * 1.0) = 11.73 \text{ kg/cm}^2 < 110 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。
4. 曲形梁承受單位荷重  $W = T_0 * \cos 33.4^\circ +$

$$T_2' * \sin 33.4^\circ = 24.31 * 0.835 + 12.58 * 0.55 = 27.22 \text{ T/m}$$

曲形梁之自重 =  $2.4 * 0.6 * 1.0 = 1.44 \text{ T/m}$

。曲形梁之荷重  $\omega = 27.22 + 1.44 = 28.66 \text{ T/m}$ 。

5. 由「REINFORCED CONCRETE STRUCTURES」乙書<sup>[1]</sup>(以下簡稱書 1)所述：支柱之最大負力矩  $M_0 = -C_1 * \omega * R^2 * (2\theta)$ -----(1)  
支柱之最大正力矩  $M_c = C_2 * \omega * R^2 * (2\theta)$ -----(2)  
支柱之最大扭矩  $M_m' = C_3 * \omega * R^2 * (2\theta)$ -----(3)
6. 曲形梁之彎矩及扭矩係數如表 1 所示(載自書 1 之表 1-1)。

表 1 曲形梁之彎矩及扭矩係數表

柱數	$2\theta$	C1	C2	C3	$\phi_m$
4	90°	0.137	0.070	0.021	19.25°
5	72°	0.108	0.054	0.014	15.25°
6	60°	0.089	0.045	0.009	12.75°
7	51 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> °	0.077	0.037	0.007	10.75°
8	45°	0.066	0.030	0.005	9.5°
9	40°	0.060	0.027	0.004	8.5°
10	36°	0.054	0.023	0.003	7.25°
12	30°	0.045	0.017	0.002	6.25°

7. 當曲形梁由 8 根支柱支撐時，由表 1 可查得其  $C_1 = 0.066$ ； $C_2 = 0.03$ ； $C_3 = 0.005$ 。其發生最大扭力處與支柱之夾角  $\phi_m = 9.5^\circ$ 。而式中之  $\omega * R^2 * (2\theta) = 28.66 * 6.3^2 * \pi/4 = 893 \text{ T-m}$ 。
8. 支柱之最大負力矩  $M_0 = -0.066 * 893 = -58.93 \text{ T-m}$ ；支柱之最大正力矩  $M_c = 0.03 * 893 = 26.79 \text{ T-m}$ ；最大扭矩  $M_m' = 0.005 * 893 = 4.46 \text{ T-m}$ 。最小厚度  $d = \sqrt{58.93 * 1000 / 19.58} = 54.86 \text{ cm}$ ，曲形梁之有效深度  $100 - 6 = 94 \text{ cm} > 54.86 \text{ cm}$ ，OK。
9. 支柱之最大剪力  $F_0 = \omega * R * \theta$ -----(4)

$F_0=28.66*6*3.14/8=67.49T$ 。任何一點之剪力  $V=\omega*R*(\theta-\phi)$ ------(5)

，當  $\phi=\phi_m=9.5^\circ$  時， $V=28.66*10.9*(22.5-9.5)*3.14/180=71.152T$ 。

10.在最大扭矩點之力矩  $M_\phi=\omega*R^2*(\theta\sin\phi+\theta\cot\theta*\cos\phi-1)$ ------(6)

$M_\phi=28.66*6^2*(3.14/8*\sin9.5^\circ+3.14/8*\cot22.5^\circ*\cos9.5^\circ-1)=-1.04T\cdot m$  (下垂)； $1.04T\cdot m$  (拱起)。

11.在任一點之力矩  $M_\phi'=\omega*R^2*(\theta\cos\phi+\theta\cot\theta*\sin\phi-(\theta-\phi))$ ------(7)

當  $\phi=0$  時， $M_0'=28.66*6^2*0=0$ 。

12.在梁之中點  $\phi=0=22.5^\circ=\pi/12$  rad.， $M_\phi'=\omega*R^2*(\theta\cos\theta-\theta*\cos\theta/\sin\phi*\sin\phi)$ ------(8)

$M_\phi'=28.66*6^2*0=0$ ，在支點  $\phi=0$ ， $M_0'=0$ 。

13.因此可求得力矩與扭距之組合如下：(1)在梁之支點  $M_0=-58.94T\cdot m$ ； $M_0'=0$ 。(2)在中點： $M_c=26.79T\cdot m$ ； $M_0'=0$ 。(3)在最大扭矩處  $\phi=0=9.5^\circ$ ， $M_m=4.46T\cdot m$ ； $M_\phi=\pm 1.04T\cdot m$  (下垂或拱起)。

14.縱向鋼筋(主筋)：(1)在最大扭矩斷面處  $T=M_{max}=M_m=4.46T\cdot m$ 。 $M_0'=0$ ，在兩柱跨距間之中點斷面處  $M_\phi'=0$ ，故力矩與扭距之組合：(a)在支點： $M_0=58.94T\cdot m$ ； $M_0'=0$ ；(b)在兩柱間之中點斷面處  $M_0'=0$ ；(c)在最大扭矩斷面處  $M_m=4.46T\cdot m$ 。 $M_\phi=\pm 1.04T\cdot m$  (下垂或拱起)。 $M_\phi=T=4.46T\cdot m$ ； $M_T=T*[(1+D/b)/1.7]=4.46*[(1+1.0/0.6)/1.7]=7.0T\cdot m$ 。 $M_{C1}=M_m'+M_T=4.46+7=11.46T\cdot m$ 。 $A_{st1}=11.46/94/0.01207=10.1cm^2$ 。採用4支19mm  $\phi$ ，實際  $A_{st1}=11.46cm^2$ 。因為  $M_T>M$ ； $M_{C2}=M_T-M=7-4.46=2.54T\cdot m$ 。 $A_{st2}=2.54/0.01207/94=2.24cm^2$ 。梁上下端均採用2支16mm  $\phi$ 。(2)在最大負力矩處  $M_0=-58.93T\cdot m$ ； $M_0'=$

$0$ 。 $A_{st}=58.93/0.01207/94=73.78m^2$ 。梁上側第一層及第二層均採用4支29mm  $\phi$ 。(3)在最大正力矩處， $M_c=24.30T\cdot m$ ； $M_c'=0$ 。 $A_{st}=24.30/0.01207/96=20.97cm^2$ 。曲形梁之最下層及其上一層均採用3支22mm  $\phi$  實際  $A_s=6*3.871=23.23cm^2$ 。

15.橫向鋼(副)筋：(1)在最大扭矩斷面處之剪力  $V=S.F.=71.152T$ ， $V_c=V+1.6T/b=71.152+1.6*4.46/0.6=83.05T$ ，剪應力  $\tau_{vc}=83.05/0.6/1.0=13.84<22.5kg/cm^2$ ，OK。

16.當  $100A_s/bd=100*23.23/(60*100)=0.387$ ，由書1之表1.7，查得容許剪應力  $\tau_c=0.354N/mm^2$  (插入法)，換算成  $\tau_c=0.354*100/9.8=3.61kg/cm^2$ 。因  $\tau_{vc}=13.61>\tau_c(3.61)$ ，故須配置剪力鋼筋。鋼箍之斷面積  $A_{sv}=T*s_v/(b_1*d_1*f_{st})+V*s_v/(2.5*d_1*f_{st})$ 。亦即  $A_{sv}/s_v*f_{st}=T*(b_1*d_1)+V/(2.5*d_1)$ ------(9)

式中之  $T$  為扭矩  $=4.46T\cdot m$ ， $b_1=60-4*2-2.5=49.5cm$ ； $d_1=100-4*2*2.5=80cm$ 。 $V$  = 剪力  $=71.152T$ ， $S_v$  = 鋼箍之間距， $f_{st}$  = 鋼箍之抗剪應力  $=1,400kgf/cm^2$ 。 $A_{sv}/S_v=4.46*1000/1,400/[(67.49*49.5*80)+67.49*(2.5*80)]=1.03$ 。但最小配筋量  $A_{sv}/S_v \geq (\tau_{vc}-\tau_c)/\sigma_{sv}*b$ ------(10)  
 $A_{sv}/S_v=(13.61-3.61)/1,400*60=0.43$ ，故  $S_v=4*1.267/0.43=12.44cm$ ，採用10mm  $\phi$ ，但依規定鋼箍之間距須小於30cm、 $x_1$  或  $\ell=(x_1+y_1)/4$ ； $x_1$  為鋼箍之短邊長度  $=60-(2.5+1.2+4)*2=44.6cm$ ； $y_1$  為鋼箍之長邊長度  $=100-(2.5+1.2+4)*2=84.62cm$ ； $\ell=(44.6+84.6)/4=32.3cm$ ，故採用12cm。(2)在最大剪力處及(3)在兩柱跨距中端之鋼筋量(含鋼箍量及其間距)均可比照上述方式求得，恕不再贅述。

17.另依「結構力學設計手冊」<sup>[2]</sup>，曲形梁在均佈荷重下，其應力(詳如圖 1 所示)亦可由下列公式計算而得(詳細計算恕不贅述)

$$(1) \text{力矩 } M_{\phi} = (1/\alpha_n - 1/2 * \cot \alpha_n / 2) * \omega R \text{-----}(11)$$

$$(2) \text{扭矩 } T_{\phi} = (\alpha_n \sin \alpha_n) * \sin \alpha - \alpha_n * \omega R \text{-----}(12)$$

$$(3) \text{剪力 } V_{\phi} = \omega R_{\phi} \text{-----}(13)$$

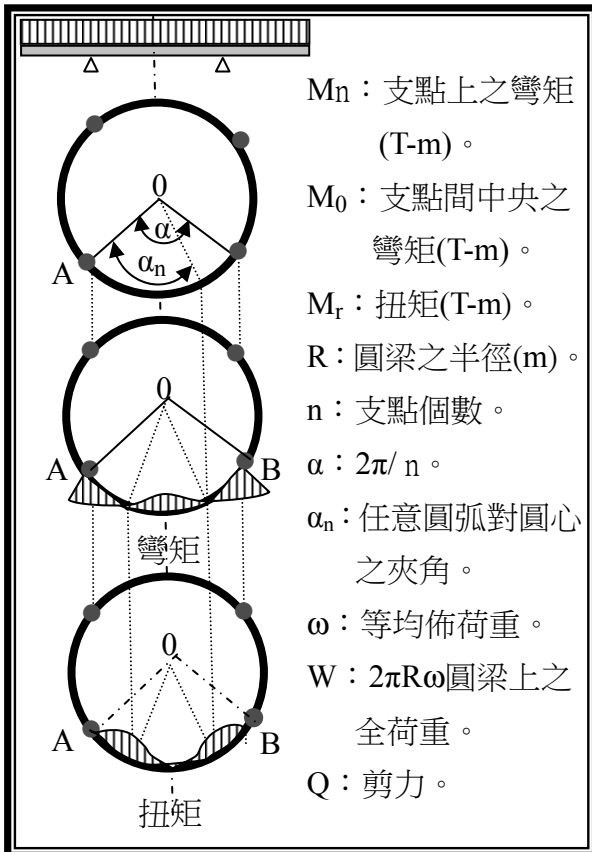


圖 1 曲形梁應力示意圖

(二) 支柱之設計

1. 依前文範例計算之結果：水池靜重+滿水重 = 1,087.71T，則每一支柱所承受之荷重 = 1,087.71/8 ≃ 135.96 以 136T 計。設支柱為 50\*70cm，每根支柱之自重 = 2.4\*0.5\*0.7 = 0.84T/m。

2. 橫撐之長度  $L = r * \sin(2 * \pi / n) / (\cos \pi / n) \text{-----}(14)$   
故(1)第一道(CD)橫撐之長度 =  $(12.6/2 + 4 * 1.0/18) * \sin(\pi/4) / (\cos \pi/8) \approx 4.99\text{m}$ ，其淨長

= 4.99 - 0.7 = 4.29m。若直接以其圓周長計算，則  $L = 3.14 * (12.6 + 4 * 1.0/18) / 8 = 5.03\text{m}$ ，但此乃圓弧長度；而非直線長度。橫撐為 45cm\*70cm，其自重 = 2.4\*0.45\*0.7\*4.29 = 3.24T，同樣(2)第二道(EF)橫撐之淨長經計算結果 = 4.46m，其自重 = 3.37T。(3)第三道(GH)橫撐之淨長 = 4.63m，其自重 = 3.50T。

3. 水池所受之地震橫力 = 0.428(水池靜荷重+滿池水重) = 0.428\*(315.31+740) = 415.67T。

4. 各層橫撐所承受之地震橫力為：(1)最上層(AB)及最下層(地面 IJ) = 0.428\*(4\*0.84) = 1.44T。(2)第一道(CD)橫撐層 = 0.428\*(4\*0.84+3.24) = 2.83T。(3)第二道(EF)橫撐層 = 0.428\*(4\*0.84+3.37) = 2.88T。(4)第三道(GH)橫撐層 = 0.428\*(4\*0.84+3.50) = 2.94T。(5)最下層(基礎頂面 KL) = 0.428\*(2\*0.84) = 0.72T。

5. 由上而下各層支柱暨橫撐所承受之地震力繪製如圖 2 所示。

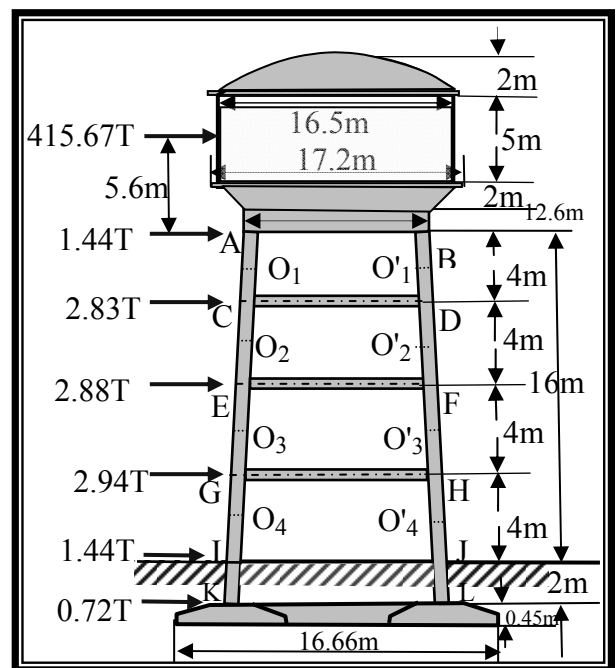


圖 2 高架水塔承受地震力示意圖

6.每根支柱所承受之重量  $W$  為： $O_1$  上部之支柱=136+0.84\*2=138.3T。 $O_2$  上部之支柱=138.3+0.84\*4+3.24=144.90T。 $O_3$  上部之支柱=144.90+0.84\*4+3.37=151.63T。 $O_4$  上部之支柱=151.63+0.84\*4+3.50=158.49T。地面 IJ 上部之支柱=158.49+0.84\*2=160.17 T。基礎頂 KL=160.17+(0.84\*2)=161.85T。

7. $O_1$  層支柱所承受之剪力  $Q_w$  為= 415.67+1.44=417.11T， $O_2$  層=417.11+2.83 =419.94 T， $O_3$  層=419.94+2.88=422.82T， $O_4$  層=422.82+2.94=425.76T，地面=425.76 +1.44=427.2T，基礎層=427.2+0.72=427.92 T。

8.  $O_1$  層支柱所承受之力矩  $M_w=415.67*(5.6+2)+1.44*2=3,162T\cdot m$ ， $O_2$  層=415.67\*(7.6+4)+1.44\*(2+4)+2.83\*2= 4,836.07T-m， $O_3$  層=415.67\*(11.6+4)+1.44\*(6+4)+2.83\*(6+2)+2.88\*2=6,527.25T-m， $O_4$  層=415.67\*(4+15.6)+1.44\*(10+4)+2.83\*(8+4)+2.88\*(2+4)+2.94\*2=8,224.41T-m，地面層=415.67\*(2+20.6)+1.44\*(14+2)+2.83\*12+2)+2.88\*(8+2)+2.94\*(2+2)=9,497.36 T-m，基礎頂面層=415.67\*(20.6+2)+1.44\*(16+2)+2.83\*(14+2)+2.88\*(10+2)+2.94\*(4+2)+1.44\*2=9,520.4 T-m。

9.由書 1 可知：背地震方向最遠端支柱之應力：(1)最大軸向力  $V_{max}=4M_w/(n*D_0)$ ---(15) 當  $n=8$  時， $V_{max}=1/2D_0*M_w$ 。(2)最大剪力  $S_{max}=2Q_w/n$ ----- (16) 當  $n=8$  時， $S_{max}=0.25Q_w$ 。(3)力矩  $M=S_{max}*h/2$ ----- (17)

10.第一( $O_1$ )層之  $V_{max}=1/2*12.6*(1+2*1/18)*3162=125.48T$ ， $S_{max}=0.25*418.26=104.57$ ， $M=104.57*4/2=209.13T\cdot m$ 。其他各層之  $V_{max}$ 、 $S_{max}$  及  $M$ ，詳如表 2 所列。

表 2 支柱承受長短期應力表

層次	長期	短期		
	軸向力 $Q_w$	最大軸向力 $V_{max}$ (T)	最大剪力 $S_{max}$ (T)	力矩 $M(T\cdot m)$
$O_1$	138.3	112.93	104.28	208.56
$O_2$	144.9	143.93	104.99	209.97
$O_3$	151.63	166.51	105.71	211.41
$O_4$	158.49	183.58	106.44	212.88
地面	160.17	199.52	106.80	213.60
基礎頂	161.85	188.90	106.98	213.96

11.背地震方最遠端之支柱因地震力所產生之  $V_{max}=188.90T$  約為軸向總荷重 1,087.71 T 之 17.37%，故地震力對背地震方向最遠端支柱之影響不可忽略；且須考慮因受地震力所產生軸向力進而引發之力矩是否對最底層支柱之軸向力矩 213.96T-m 有所影響。

12.假設每根支柱採用 18 支 25mm  $\phi$  之鋼筋，其  $A_s=5.067*18=91.21cm^2$ ，則每根支柱之相當面積=50\*70+(8.94-1)\*6.469\*18=4,224.55cm<sup>2</sup>。相當之慣性力矩=50\*(70-2\*4)^3+(8.94-1)\*6.469\*18\*62^2/8=12360646 cm<sup>4</sup>。

13.支柱承受之一次應力  $sc'=(161.85+188.90)*1000/4,224.55=83.23kg/cm^2 < 110*(1+1/3)146.67 kg/cm^2$ ，OK；二次應力=213.96\*1000/12,360,646\*35=0.61 kg/cm<sup>2</sup>。 $s_c'/f_c+s_{cm}'/f_{cs}^{[3]}=(135.68/110+0.61/24.5)/1.33=0.94 < 1$ ，OK。因此採用 18 支 25mm  $\phi$  之鋼筋合乎要求。另採用 10 mm  $\phi$  之鋼箍 @25 cm。由於支柱為 50cm\*70cm，故其上部之底拱曲形梁亦宜配合改為 70cm 寬

(三)橫撐之設計

- 基本上當高架水塔受地震橫力時，其垂直方向必然發生向前傾倒之趨勢，致使橫撐因水塔上部之移位而產生剪力、扭力及彎曲力矩如圖 3(參照書 1 之圖 3.31 繪製)。
- 同樣在水平方向受地震橫力時，也會對支柱之軸心發生一轉角  $\theta$ ，其所產生之應力情形如圖 4 所示(參照書 1 之圖 3.32 繪製)。

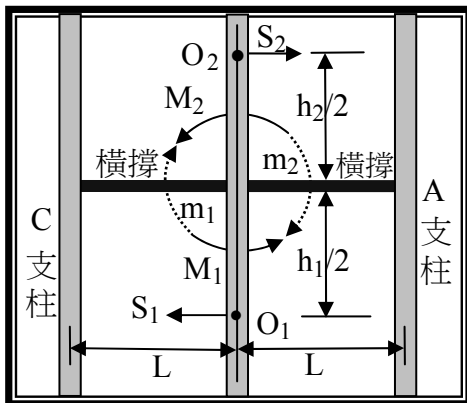


圖 3 橫撐之立面應力分析圖

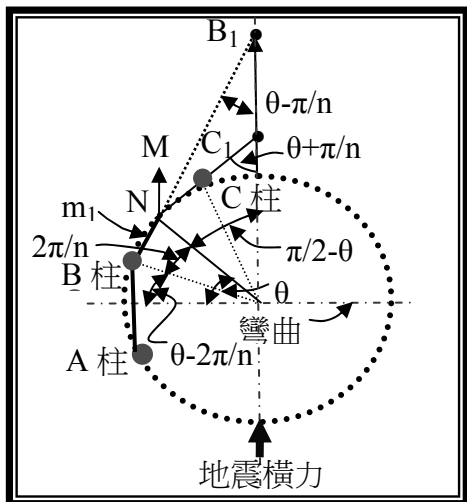


圖 4 橫撐之平面應力分析圖

- 依書 1 所述並由圖 3 及圖 4 可知，橫撐之力矩  $m_1 = \tan(\theta + \pi/8) = \cot\theta/2$ -----(18) 從而解得  $\theta = 24.8^\circ$ ， $m_{1max} = (Q_{W4} * h_4 + Q_{W3} * h_3) / (n * \sin(2\pi/n) * \cos 2\theta * \sin(\theta + \pi/n))$ -----(19) 。由於最下層之  $h_4 = 5m$ ，次下層  $h_3 = 4m$ ，

- $\therefore m_{1max} = (36.51 * 5 + 34.74 * 4) / (8 * \sin(2\pi/8) * \cos(24.8^\circ)^2 * \sin(24.8^\circ + \pi/8)) = 34.26T/m$ 。
- 最大剪力  $S_b = (Q_{W4} * h_1 + Q_{W3} * h_2) / (L * n * \sin(2\pi/n) * \cos^2(\pi/4) * \sin(2\pi/n))$ ----- (20) 當  $\theta = \pi/8$ ， $S_{bmax} = (36.51 * 5 + 34.74 * 4) / (4.6 * 8 * \sin\pi/4) * [2\cos^2(\pi/8) * \sin(\pi/4)] = 14.91T$ 。
- 當  $\theta = 24.8^\circ$ ， $(m_1)_\theta = (36.51 * 5 + 34.74 * 4) / (8 * \sin(2\pi/8) * \cos(\pi/8)^2 * \sin(\pi/8 + \pi/8)) = 34.30T/m$ 。在  $\theta = \pi/8$  處之扭距  $M' = 4 / (8 * 12.6) * m_1 = 4 / 100.8 * 4.30 = 1.36T-m$ 。
- 另由斷面力矩之原理， $A_{sc} = \rho * bd$ ， $d_c = 0.1d$ ，由  $k = 0.413d$ ，橫撐為  $45cm * 70cm$ ，對中立軸之力矩等於  $b/2 * (jd)^2 + (n-1) * \rho * bd * (jd - d_c) = n * \rho * bd * (1-j) * d$ ----- (21)  $= 45/2 * (0.413 * 70)^2 + (8.94 - 1) * \rho * 45 * 70 * (0.413 - 0.1) * 70 = 8.94 * \rho * 45 * 70 * (1 - 0.413) * 70$ ，解得  $\rho = 0.031$ 。上述公式等號兩側各項均可取消  $bd$ ，故  $\rho$  值與其  $bd$  值無關。
- 「鋼筋混凝土最新規範題型解析」乙書<sup>[4]</sup>，提及 Rüşh 等學者經研究後認為：梁構件之強度等值矩形應力塊，其平衡鋼筋比  $\rho_b = A_{sb} / bd = 0.85 f_c' \beta_1 / f_y * (6120 / 6120 f_y)$  (22) 式中之  $\beta_1 = 0.85$ 。 $\rho_b = 0.85 * 245 * 0.85 / 2,800 * (6,120 / (6,120 + 2,800)) = 0.4337$ 。若混凝土之強度改用  $210kgf/cm^2$ ；鋼筋之強度改為  $4,200 kgf/cm^2$  (SD42)，則  $\rho_b = 0.85 * 210 * 0.85 / 4200 * [6,120 / (6,120 + 4,200)] = 0.02141$ 。由於橫撐之應力不大，故  $\rho_b$  乃以採用  $0.02141 = 2.141\%$  為宜。
- 當地震方向與橫撐平行(即  $\theta = \pi/8$ )時，橫撐承受最大剪力  $S_{bmax}$  與扭距  $M'$  之組合應力。 $M_e = M + M_T$ ， $M = m_{1max} = 34.26T-m$ ， $M_T = T * (1 + D/b) / 1.7$ ，而  $T = M' = 4.46T-m$ ， $D = 70cm$ ， $b = 45cm$ ， $M_T = 4.46 * (1 + 70/45) / 1.7 =$



6.70T-m。

- 8.因內部力矩等於外部力矩，故  $b \cdot j d \cdot f_c / 2 \cdot (d - j d / 3) + (m_c - 1) \cdot A_{sc} \cdot f_{ct} \cdot (d - d_c) = M e_1$ ----- (23)  
 ，式中之  $f_c = 110 \cdot 1.33 = 146.3 \text{ kg/cm}^2$ ； $f_{ct} = 24.5 \cdot 1.33 = 32.59 \text{ kg/cm}^2$ ， $m_c = 1.5 \cdot n = 1.5 \cdot 8.94 = 13.41$ 。代入上式， $45 \cdot 0.413 \cdot d \cdot 146.3 / 2 \cdot (1 - 0.413 / 3) \cdot d + (13.41 - 1) \cdot (0.02141 \cdot 30 \cdot d) \cdot 24.5 \cdot (1 - 0.1) \cdot d = 42.2 \cdot 100,000$ 。求得  $d = 55.95 \text{ cm}$  (藉由 Excel 試算)，採用  $D = 70 \text{ cm}$ ， $d = 70 - 2.5 - 1 = 66.5 \text{ cm} > 55.95 \text{ cm}$ ，OK。 $A_{sc} = 0.024141 \cdot 70 \cdot 45 = 76.04 \text{ cm}^2$ ，由於地震方向隨時在變，故橫撐之配筋須上下層均同樣採用 6 支 29mm  $\phi$ 。 $100 A_s / b d = 100 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 6.469 / (45 \cdot 70) = 2.46\% > 2.141\%$ ，OK。
- 9.最大剪力  $S_{bmax} = 14.91 \text{ T}$ ， $V_c = V + 1.6 T / b = 14.91 + 1.6 \cdot 4.46 / 0.3 = 36.51 \text{ T}$ ，剪應力  $\tau_{vc}' = 36.51 / (0.3 \cdot 0.7) = 17.39 \text{ kg/cm}^2 > 4.9 \text{ kgf/cm}^2$ ，故需加腰筋。其算法與上述二之(一)節之 16 相同，故不再贅述。

#### (四)曲形地中梁(B<sub>4</sub>)之設計

- 1.水池靜載重+活載重+水重=1,087.71T，8根支柱總重=0.84\*18\*8=120.96T，橫撐之總重=(3.24+3.37+3.50)\*8=80.88T，則水塔之總重=1,087.71+120.96+80.88=1,289.55T，地中梁設計單位荷重=1,289.55/(3.14\*14.6)=28.13T/m<sup>2</sup>；此值為上述二之(一)之4節所述曲形梁之設計荷重28.66 T/m<sup>2</sup>之0.98倍(28.13/28.66)。其餘之設計方法與上述二之(一)節：「拱底曲形梁(B<sub>3</sub>)之設計」相同，故只須將相關數據乘以0.98即可，恕不再贅述。
- 2.支柱下端之地中梁因須承受支柱之重量，故其承受之荷重必然大於支柱上端之曲形梁，但因其圓周長較大故單位荷重較輕。

#### (五)筏式基礎之設計

- 1.水池靜載重+水重=1,055.31T，而因地震力所產生之垂直荷重  $V_{max} = 396.68 \cdot 8 / 1.33 = 2,386.05 \text{ T} > 1,055.31 \text{ T}$ 。故基礎之設計必須加計因地震力所產生之短期荷重。
- 2.暫設筏式基礎之自重為水塔總重之10%，兩者之總重=(1,087.71+120.96+80.88)\*110% = 1,418.5T，假設工址之土壤承载力為15 T/m<sup>2</sup>，則基礎所需之面積=1,418.5/15 = 94.57m<sup>2</sup>。8根支柱之周長=3.14\*14.6=45.84 m，基礎所需之寬度=94.57/45.84 = 2.06 m。因此其內徑為14.6-2.06=12.54m；外徑為14.6+2.06=16.66m。 $I = 3.14 / 64 \cdot (16.66^4 - 12.4^4) = 3,781.72 \text{ m}^4$ 。
- 3.支柱所承受之被動土壓力  $P = \gamma \cdot K_p \cdot h^2 / 2 \cdot d = 1.96 \cdot 1.732 \cdot 2^2 / 2 \cdot 0.7 \cdot 8 = 38.02 \text{ T}$ ；基礎所承受之被動土壓力=1.96\*1.732\*(2+2+0.45)/2\*0.45\*16.66=56.63T。
- 4.基礎上方之土壤重量=1.96\*2\*3.14/4\*(16.66^2-12.54^2)\*0.7\*8=348.78T。
- 5.地下構物因被動土壓及土壤重量所產生之抵抗力矩  $M = 38.02 \cdot (2/3 + 0.45) + 56.63 \cdot 0.45 / 2 + 348.78 \cdot 16.66 / 2 = 3,431.49 \text{ T-m}$ 。
- 6.地震橫力對基礎底之力矩，(1)滿池時  $M = 415.67 \cdot (5.6 + 18 + 0.45) + 1.44 \cdot (18 + 0.45) + 2.83 \cdot (14 + 0.45) + 2.88 \cdot (10 + 0.45) + 2.94 \cdot (6 + 0.45) + 1.44 \cdot (2 + 0.45) = 10,116.9 \text{ T-m}$ 。(2)空池時 = 0.428\*315.31\*(5.6+18+0.45)+1.44\*(18+0.45)+2.83\*(14+0.45)+2.88\*(10+0.45)+2.94\*(6+0.45)+1.44\*(2+0.45)=3,365.66T-m。
- 7.基礎外緣土壤所受之壓應力，(1)滿池時=(1,087.71+120.96+80.88)/94.57 ± (10,116.9-3,431.49)/2570.27/16.66\*2=13.95 或 13.32 T/m<sup>2</sup> < 15\*(1+1/3)=20T/m<sup>2</sup>，OK。(2)空池時

$$=(1,087.71+120.96+80.88)/94.57\pm(3358.3-3431.49)/2,570.27/16.66*2=13.63\text{T/m}^2 < 15*(1+1/3)=20\text{T/m}^2, \text{OK}。$$

#### (六)剪斷力之核算

水池滿水時，支柱承受之剪應力 =  $0.428 * (1,087.71 + 120.96 + 80.88) * 1,000 / (8 * 4,116.46) = 16.76 \text{ kg/cm} < 22.3 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。空池時 =  $0.428 * (315.31 + 120.96 + 80.88) * 1,000 / (4,116.46 * 8) = 6.72 \text{ kg/cm}^2 < 22.3 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

#### (七)高架水塔之安全性：

- 1.滑動性：混凝土與土壤接觸面之摩擦係數一般均假定為 0.5，故池牆基礎之抗滑動力為基礎土壤表面之正壓力之 0.5(實際數值以工址土壤試驗結果為準)。其值於不計地震力時應不小於地震橫力所引起滑動力之 1.25 倍；計地震力時應不小於池牆剪力之 1.0 倍。
- 2.傾倒性：以基礎底外側為軸心計算抗傾倒力矩  $M_r$ ，其值於不計地震力時應不小於地震橫力所引起傾倒力矩  $M_e$  之 1.5 倍；計地震力時應不小於傾倒力矩  $M_e$  之 1.25 倍。

#### (八)核算安全係數

- 1.基礎重= $2.4*0.45*94.57=90.79\text{T}$ 。
- 2.土壤阻止滑動之安全係數：(1)滿水時  $SF=0.5*(1,289.55+90.79)/[0.428*(1,289.55+90.79)]=1.168>1.0$ ，OK。(2)空池時  $SF=0.5*(549.55+90.79)/[0.428*(549.55+90.79)]=1.168>1.0$ ，OK。
- 3.整座水塔對基礎底外端之抵抗傾倒力矩，(1)滿水時， $M_r=(1,055.31+0.84*18*8+80.88+90.79)*16.66/2+3,431.49=14,929.7\text{T-m}$ ；(2)空池時， $M_r=(315.31+201.84+95.06)*16.67/2+3,431.49=8,534.26\text{T-m}$ 。

- 4.水塔對基礎底外端阻止傾倒之安全係數：水池滿水時  $S.F.=14,929.7/10,116.9=1.47>1.25$ ，OK。空池時  $S.F.=8,534.26/3,365.66=2.53>1.25$ ，OK。

#### (九)核算基礎厚度及配筋

- 1.支柱及橫撐之總重= $(0.84*18+3.24+3.37+3.50)*8=201.84\text{T}$ 。
- 2.基礎下土壤之反力= $(1,087.71+201.84)/94.57=13.64\text{T/m}^2 < 15\text{T/m}^2$ ，OK。
- 3.基礎突出支撐牆外緣之長度  $x = [(16.67 - 12.44) - 0.7*2]/4 = 0.71\text{m}$ ，對 e 點之力矩= $13.64*0.71^2/2 = 3.28\text{T-m}$ ， $d = (3.28*1000/19.58)^{0.5} = 12.95\text{cm}$ ， $t=12.95+7.5=20.45 < 45\text{cm}$ ，OK。
4. $A_s=3.28/0.01207/(40-7.5)=8.36 \text{ cm}^2$ ，弦向下層採用  $16\text{m} \text{ } \phi @20\text{cm}$ 。上層採用溫度鋼筋= $0.25\%*100*40/2=6.25\text{cm}^2$ ，採用  $13 \text{ mm } \phi$  間距= $100*1.267/6.25=20.27\text{cm}$ ，取  $20 \text{ cm}$ 。環向上下層溫度鋼筋同樣各採用  $13 \text{ mm } \phi$   $20\text{cm}=0.25\%*100*40/2=6.25\text{cm}^2$ 。
- 5.基礎承受之剪應力= $13.64*1.0*0.71/(0.45*1.0)=21.52\text{kg/cm}^2 < 22.5\text{kg/cm}^2$ ，OK。基礎外緣之力矩與剪力均等於 0，故其厚度可減為  $30\text{cm}$ ，溫度鋼筋之間距可增為  $30\text{cm}$ 。

### 三、由支柱及牆支撐之高架水塔

若 RC 造高架水塔上方之茵積式水池，其直徑太大，則高架水塔宜採用支柱及支撐牆組合而成之支撐體，本文採用直徑為  $20.0 \text{ m}$ 。頂拱之拱高提高為  $3\text{m}$ ，設頂拱之曲率半徑為  $R$ ，則  $10^2 = (2R_1 - 3)^2 * 3$ ， $R=50.4 \text{ m}$ 。

#### (一)茵積式水池

- 1.水池有效(滿池)容量： $V=3.14*[(20^2-16^2)/4 * (4.7-2/2)+16^2*4.7/4-2.0^2/3*(3*10.9-2.0)] = 1,234\text{m}^3$ 。

- 前所採用之底拱維持不變。頂拱之  $\phi_1 = \sin^{-1}(10/5) = 11.43^\circ$ ， $\cos 11.43^\circ = 0.98$ 。  
 $\phi_0 = \sin^{-1}(0.5/5) = 0.568^\circ$ 。
- 頂拱版中心開孔為  $1.0\text{m } \phi$ ，其表面積為  $A$ ，  
 $= 2 * 3.14 * 5^2 * (\cos 1.68^\circ - \cos 11.43^\circ) \doteq 319\text{m}^2$ 。  
設頂拱之厚度  $t = 12\text{cm}$ 。則頂拱單位自重  
 $= 0.12 * 2,400 = 288\text{kg/m}^2$ 。頂拱靜載重  $= 0.288 * 319 = 91.88\text{T}$ 。頂部之活荷重以  $150\text{ kg/m}^2$   
計，頂拱總活載重  $= 0.150 * 319.02 = 47.85\text{T}$ 。  
頂拱單位靜載重及活載重  $\omega = 288 + 150 = 423\text{kg/m}^2$ 。
- 底拱之  $\phi_2 = \sin^{-1}(6/10.9) = 33.4^\circ$ ， $\cos 33.4^\circ = 0.835$ ， $\sin 33.4^\circ = 0.55$ 。設拱厚  $= 20\text{cm}$ ，其自重  
 $= \gamma_c * 2\pi * R_2 * h_2 * t_2 = 2.4 * 2 * 3.14 * 10.9 * 1.8 * 0.2 = 59.14\text{T}$ 。
- 菌積式水池由支柱及支撐牆組成之支撐體之外觀如照片 1(下載自 Google map)。



圖 1 高架水塔外觀照片

(二)水塔之重量

- 水池靜荷重為：頂拱  $91.88 +$  上環梁  $2.4 * 0.25 * 0.30 * 3.14 * 20.1 = 11.36 +$  池牆  $2.4 * 0.25 * 2.7 * 3.14 * 20.25 = 103.01 +$  中環梁  $2.4 * 0.25$

- $* 0.30 * 3.14 * 20.25 = 11.45 +$  椎形牆  $2.4 * 0.25 * 2 * \sqrt{2} * 3.14 * 18.25 = 97.24 +$  曲形梁  $2.4 * 0.3 * 0.60 * 3.14 * 16.6 = 22.52 +$  底拱  $59.14$ ，合計  $396.6\text{T}$ 。水池靜重及活荷重  $= 396.6 + 47.85 \doteq 444.45\text{T}$ 。水池靜荷重+滿水重  $= 444.45 + 1 * 1234 \doteq 1,678.45\text{T}$ 。水池靜及活荷重+滿水重  $= 47.85 + 1,678.45 = 1,726.3\text{T}$ 。
- 設支柱之直徑為  $70\text{cm } \phi$ ，每根柱之斷面積  $= 3.14/4 * 0.7^2 = 0.385\text{m}^2$ ，每根支柱之自重  $= 2.4 * 0.385 * 18 = 16.62\text{T}$ 。
- 設支撐牆頂端之厚度為  $0.25\text{m}$ ；底端之厚度為  $0.35\text{m}$ 。地面以上支撐牆之重  $= 2.4 * 3.14/4 * [(12.5^2 - 12^2) + (12.7^2 - 12^2)]/2 * (18 - 2) \doteq 445.23\text{T}$ 。基礎頂以上之全重  $= 2.4 * 18 * 3.14/4 * [(12.5^2 - 12^2) + (12.7^2 - 12^2)]/2 \doteq 500.88\text{T}$ 。
- 菌積式水池由支柱及支撐牆組成支撐體之結構圖詳如圖 5。

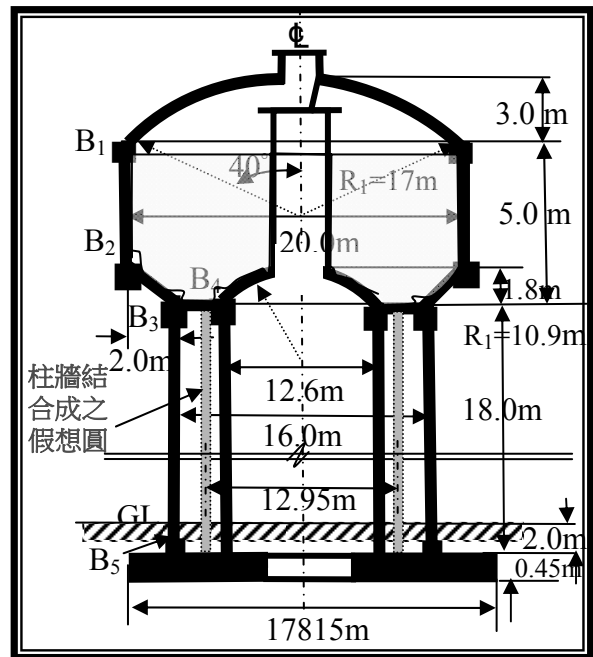


圖 5 高架水塔縱斷面示意圖

(三)頂拱上中環梁及池牆之設計

頂拱、上、中環梁及池牆仍均比照本刊上期(第 32 卷 3 期)之「高架水塔結構設計之研討」所述完全相同，恕不再贅述。

#### (四)曲形梁之設計

水池係以支柱及牆支撐，故支柱上方之下環梁(B<sub>3</sub>)應改按上述拱底曲形梁 B<sub>3</sub> 之方式設計。而其荷重須另按實際情況計算外，其餘均比照上述 B<sub>3</sub> 之方式辦理。

#### (五)池底平版之設計

1.池底平版以單向版兩端固定設計之，其承受之水壓 $p=1*4.7=4.7T/m^2$ ，設版厚=20cm，其自重 $=2.4*0.20=0.48T/m^2$ ，版承受之單位荷重 $\omega=4.7+0.48=5.18T/m^2$ ，其最大正負力矩 $M=-M=5.18*2^2/12=1.73T-m/m$ ， $Z=20^3/6=1,333.3m^3/m$ ，彎曲應力 $s_t=1.73*1000/1,333.3=1.30\text{ kg/cm}^2/m <24.5\text{ kg/cm}^2$ ，OK。

2.所需鋼筋量  $A_s=1.73/0.01224/(20-7)=10.87\text{ cm}^2/m$ ，上下兩層均採用 16mm  $\phi$  @18cm (外圍間距)。

#### (六)支柱與支撐牆之設計

1.滿池時地震橫力對基礎頂之力矩 $=0.428*(396.6+1234)*(5.6+18)+16.62*8*18/2+500.88*(18+1.0-0.3)/2=22,350T-m$ 。

2.假設每根支柱採用 16 支 16mm  $\phi$ ，則  $A_s=16*3.871=61.93\text{ cm}^2$ 。每根支柱之相當面積 $=0.385+(8.94-1)*61.93/10,000=0.434\text{ m}^2$ 。

3.支柱之  $I_p=(0.385*16.25^2+(8.94-1)*0.434*(0.7-2*0.04)^2/8)*8=812.59\text{ m}^4$ 。 $I_x$  與  $I_y$  對稱，故  $I_x=I_y=I_p/2=812.59/2=406.3\text{ m}^4$ 。

4.支撐牆扣除開口後之斷面積 $=3.14*(12.7^2-12^2)/4-1*0.35=13.22\text{ m}^2$ 。設  $t$  為支撐牆扣除開口後之相當牆厚， $t=[(4*13.22/3.14+12^2)^{0.5}-12]/2=0.3412\text{ cm}$ 。

5.假設採用 16mm  $\phi$  內外兩排@20cm，實際  $A_s=1.986/100*3.14*12.35/0.2=7.70\text{ cm}^2$ 。

6.支撐牆扣除開口後之相當面積 $=13.22+(8.94-1)*7.70=74.37\text{ m}^2$ 。

7.支撐牆扣除開口後之相當 I 值 $=3.14/64*[(12+0.34*2)^4-12^4]+(8.91-1)*7.70*(12+0.34*2-0.04)^2/8=1467.58\text{ m}^4$ 。

8.由於構件之剛度  $K=12EI/L^3$ ，故支柱與支撐牆剛度比 $=I_x/18^3 : I/(18+1.0-0.3)^3=406.3/18^3 : 1467.58/18.7^3=0.24 : 0.76$ 。

9.每根支柱所承受之力矩 $=22,350*0.24/8=5281.72T-m$ ；支撐牆所承受之力矩 $=22,350*0.76=17,068.29T-m$ 。

10.水池靜、活荷重+滿水重+柱重+支撐牆重 $=(1726.3+12.21*8+500.88)=2,324.86T$ ，每一支柱與支撐牆所承受之荷重 $=2,324.86/(0.434*8+74.37)=2.99\text{ kg/cm}^2 <110*1.33=146.37\text{ kg/cm}^2$ ，OK 計。

11.每根支柱所承受之二次應力 $=5297.68/406.03*8/(0.70-0.04)^2=31.63\text{ kg/m} <24.5*1.33=32.58\text{ kg/cm}^2$ ，OK。

12.支撐牆承受之二次應力 $=17068.29/1467.6/(12.68-0.04)^2=0.18\text{ kg/m} <24.5\text{ kg/cm}^2 * 1.33=32.58\text{ kg/cm}^2$ ，OK。

13.支柱之  $s_c'/f_c+s_{cm}'/f_{cs}=(3.03/110+31.51/24.5)/1.33=0.99 <1$ ，OK；而支撐牆之  $s_c'/f_c+s_{cm}'/f_c=(3.03/110+0.18/24.5)/1.33=0.026 <1$ ，OK。

#### (七)基礎曲形地中梁(B<sub>3</sub>)之設計

基礎地中梁之設計荷重 $=2,324.86/(3.14*16.6)=44.60T/m^2$ ；此值為上述二之(一)之 4 節，曲形梁設計荷重  $28.66\text{ T/m}^2$  之 1.56 倍  $(44.60/28.66)=1.56$  倍。基礎曲形地中梁之設計與池底曲形梁之設計步驟完全相同，只是

其荷重增為原來之 1.56 倍，但前者之作用力方向與後者完全相反，故其鋼筋之配置也應相反。

### (八) 筏式基礎之設計

1. 筏式基礎之自重暫以水塔總重之 10% 計，則筏式基礎所承受總重  $= (1,726.3 + 97.68 + 500.88) * 110\% = 2557.35T$ ，以 2,560T 計，假設工址之土壤承载力  $15T/m^2$ ，則基礎所需之面積  $= 2,560/15 = 170.67m^2$ 。
2. 設由 8 根直徑為 70cm 之支柱支撐。並假設 8 根支柱圍成一假想圓筒，其直徑為 16.25m，則假想圓筒厚度  $= 3.14/4 * 0.7^2 * 8 / (3.14 * 16.25) = 0.06m$ 。若將 8 根支柱圍成之假想圓筒及支撐牆合而為一空心圓牆，則其直徑  $D = [(0.06 * 18 * 16.25 + 0.35 * (18 + 1 - 0.3) * 12.4)] / [(0.06 * 18 + 0.35 * (18 + 1 - 0.3))] = 12.95m$ ，其周長  $= 3.14 * 12.95 = 40.66m$ 。
3. 筏式基礎所需之寬度  $= 170.67/40.66 \approx 4.2m$ 。因此其內徑為  $12.95 - 4.2 = 8.75m$ ；外徑為  $12.95 + 4.2 = 17.15m$ ，其面積  $= 3.14/4 * (17.33^2 - 8.38^2) = 170.78m^2$ 。I 值  $= 3.14/64 * (17.15^4 - 8.75^4) = 3,956.71m^4$ 。
4. 支柱所承受之被動土壓力  $P = \gamma * K_p * h^2/2 * d = 1.96 * 1.732 * 2^2/2 * 0.7 * 8 = 38.02T$ ；支撐牆所承受之被動土壓力  $P = 1.96 * 1.732 * 2^2/2 * 17.15 = 116.44T$ ；基礎所承受之被動土壓力  $= 1.96 * 1.732 * (2 + 2 + 0.45)/2 * 0.45 * 17.15 = 58.29T$ 。
5. 基礎上方之土壤重量  $= 1.96 * 2 * [(3.14/4 * (17.15^2 - 8.75^2) - 0.7 * 8)] = 647.52T$ 。
6. 地下構物因被動土壓及土壤重量所產生之抵抗力矩  $M = 38.02 * (2/2 + 0.45) + 116.44 * (2/2 + 0.45) + 58.29 * 0.45/2 + 647.52 * 17.15/2 \approx 7,752.31T-m$ 。

7. 地震橫力對基礎底之力矩，(1) 滿池時  $= 0.428 * [1,678.45 * (5.6 + 18 + 0.45) + 16.62 * 8 * (18/2 + 0.45) + 500.88 * ((18 + 1.0 - 0.3)/2 + 0.45) + 106.94 * 0.45/2] \approx 19,925.9T-m$ 。(2) 空池時  $= 0.428 * [315.31 * (5.6 + 18 + 0.45) + 1.44 * (18 + 0.45) + 2.83 * (14 + 0.45) + 2.88 * (10 + 0.45) + 2.94 * (6 + 0.4) + 1.44 * (2 + 0.45)] \approx 3,297T-m$ 。
8. 基礎外緣土壤之壓應力(1) 滿池時  $= 2,560/170.78 \pm (19,925.9 - 7751.28)/3,956.71/17.15 * 2 = 15.35T/m^2 < 15 * 1.33 = 19.95T/m^2$  或  $14.63T/m^2$ ，OK，(2) 空池時  $= 1440/178.78 \pm (3297 - 7,752.31)/3956.71/17.15 * 2 = 8.19T/m^2$  或  $7.92T/m^2 < 19.95T/m^2$ ，OK。

### (九) 剪斷力之核算

1. 水池滿水時，支柱及支撐牆承受之剪應力  $= 0.428 * (1,087.71 + 120.96 + 80.88) / (0.434 * 8 + 74.37) = 0.71kg/cm < 22.3 kg/cm^2$ ，OK。空池時  $= 0.428 * (315.31 + 120.96 + 80.88) / (0.434 * 8 + 74.37) = 0.284kg/cm^2 < 22.3kg/cm^2$ ，OK。

### (十) 核算安全性：

1. 阻止滑動之安全係數：基礎重  $= 2.4 * 0.45 * 170.78 \approx 184.45T$ 。
2. 土壤阻止滑動之安全係數：(1) 滿水時  $SF = 0.5 * (1,289.55 + 184.45) / [0.428 * (1,289.55 + 184.45)] = 1.16 > 1.0$ ，OK。(2) 空池時  $SF = 0.5 * (549.55 + 184.45) / [0.428 * (549.55 + 184.45)] = 1.16 > 1.0$ ，OK。
3. 整座水塔對基礎底外端之抵抗傾倒力矩，(1) 滿水時， $M_r = (1,678.45 + 0.84 * 18 * 8 + 80.88 + 184.45) * 17.33/2 + 7752.31 = 25,643.3T-m$ ；(2) 空池時， $M_r' = (444.45 + 201.84 + 184.45) * 17.15/2 + 7752.31 \approx 14,875.9T-m$ 。
4. 水塔對基礎底外端阻止傾倒之安全係數：水池滿水時  $S.F. = 25,643.3/19,925.9 = 1.28$

$>1.25$ ，OK。空池時  $S.F.=14,875.9/3,297=4.51>1.25$ ，OK。

#### (十一)核算基礎厚度及配筋

1. 基礎下土壤之反力 $=2,674/180.36=14.83$  T/m<sup>2</sup> $<15$  T/m<sup>2</sup>，OK。

2. 基礎突出支撐牆外緣之長度  $x=[(17.25-8.39)-0.7*2]/4=1.865$ m，其剪應力 $=14.83*1.865/0.4=6.91$ kg/cm<sup>2</sup> $<22.5$ kg/cm<sup>2</sup>，OK。

3. 對 e 點之力矩 $=14.83*1.865^2/2=25.79$ T-m， $d=\sqrt{26.89*1000/19.58} \doteq 37.06$ cm，總厚度 $t=37.06+7.5=44.56<45$ cm，採用 45cm。OK。 $A_s=26.89/0.01207/(45-7.5)=28.47$ cm<sup>2</sup>，弦向下層採用 25m  $\phi$  @8cm。上層採用溫度鋼筋 $=0.25\%*100*40/2=6.25$ cm<sup>2</sup>，採用 13 mm  $\phi$  間距 $=100*1.267/6.25=20.27$ cm，取 20 cm。環向上下層溫度鋼筋同樣各採用 13 mm  $\phi$  20cm  $=0.25\%*100*40/2=6.25$ cm<sup>2</sup>。

4. 基礎承受之剪應力 $=14.83*1.0*1.865/(0.45*1.0)=6.15$ kg/cm<sup>2</sup> $<22.5$ kg/cm<sup>2</sup>，OK。基礎外緣之力矩與剪力均等於 0，故其厚度可減為 30cm，溫度鋼筋之間距可增為 30cm。

5. 基礎實際重 $=2.4*3.14/4*(17.15^2-8.75^2)*0.45=184.45$ T，小於原假設之重量 $=2,560/110\%*0.1=232.73$ T，OK。

#### 四、結論與建議

##### (一)橫撐配筋及厚度之決定

1. 依「鋼筋混凝土最新規範題型解析」乙書所述：橫撐屬於梁構件之一，其強度之等值矩形應力塊，係假設混凝土壓應力之分佈為矩形。並以  $0.85f_c'$  均佈於壓力區；此壓力區以一條與中立軸平行，並距最大壓縮變纖維  $a=\beta_1x$  之直線為界。x 為最大壓

應變線至中立軸之距離。若混凝土強度  $f_c'$  不超過 280kgf/cm<sup>2</sup>， $\beta_1=0.85$ ；若超過 280 kgf/cm<sup>2</sup> 時，則每超過 70kgf/cm<sup>2</sup>， $\beta_1$  值減少 0.05，但  $\beta_1$  不得小於 0.65。由上述公式 (22)： $\rho_b=0.85f_c'\beta_1/f_y*(6120/6120f_y)$ ，可知：梁構件之鋼筋比與混凝土之強度成正比；與鋼筋之強度成反比。因此在建造橫撐(可視為非水工結構)時，混凝土之強度可降為 210kgf/cm<sup>2</sup>(台水公司規定混凝土構造物所使用混凝土強度之下限)，以節省其鋼筋之使用量；但因施工時支柱與橫撐一般都是同時灌注混凝土，此時若兩者採用不同強度之混凝土，多少會造成施工時之不便。不過若將水池(水工結構)與其下部之支柱、橫撐及基礎(非水工結構)分別採用不同強度之鋼筋及混凝土就可避免發生此困擾。

2. 上述二之(三)節，只計算最下層之橫撐(因其承受之應力為最大)。但就力學觀點而言，最上層及次上層橫撐之厚度及配筋量必然小於最下層。故以經濟觀點而言，該等橫撐之厚度及配筋量應依上述方式，分別計算其真正所需之厚度及配筋量。

3. 支柱(矩形或方形)之配筋可於算出其所承受之荷重與力矩後，利用中國土木水利工程學會研發之「混凝土工程設計規範之應用 PART II 設計圖表」<sup>[4]</sup>，將程式所需之相關變數例如：支柱之尺寸、荷重及力矩等鍵入其欄位，再藉由電腦進行程式之運轉，求得其所需之配筋量。但該程式並未對採用  $f_c'=245$ kgf/cm<sup>2</sup> 加以設計，故本範例並無法使用，此乃其最大之缺憾。

4. 另外矩形、圓形支柱或空心圓筒支撐牆也

可採用圖解法，利用圖表查得其所需之鋼筋與斷面比  $\rho$ 。即於求得支柱或支撐牆之荷重  $P$  與力矩  $M$  後，以支柱之  $P/D^2$  及  $M/D^3$  或支撐牆之  $P/Dt$  及  $M/D^2t$  ( $D$  與  $t$  分別為支柱與支撐牆之直徑及牆厚)，由「鋼筋混凝土設計手冊」<sup>[3]</sup> 及「鋼筋混凝土建築結構實用計算法」<sup>[5]</sup> 之相關圖面即可查得其鋼筋與斷面比。但該等書籍相關圖面之製作，並無  $f_c'=245 \text{ kgf/cm}^2$  及  $f_s'=2800 \text{ kgf/cm}^2$  之配對，故使用上仍有其盲點。本文因上述方法均無法適用，因此乃採用書 1 所採用之方法，直接假設其所需之鋼筋量，再據以計算其一次應力  $s_c'$  及二次應力  $s_{cm}'$  是否都在容許應力範圍內，且  $s_c'/f_c + s_{cm}'/f_c$  是否小於 1，若是，則原假設之鋼筋量合理而且適用。

5. 高架水塔由支柱及支撐牆一起支撐時，由於前者之剛度比後者小很多(支撐牆之直徑較大， $I$  值也較大)，若因支柱所承受之二次應力超過其容許張應力，可增加其直徑以增加其  $I$  值，或調整支柱及支撐牆之配筋量(應維持在  $\rho = 1\% \sim 4\%$  之間)，再以 Excel 程式試算求出最佳之組合。
6. 一般在高架水塔興建完成後，均會將地面整平並施打 10 至 20cm 厚之  $141 \text{ kgf/cm}^2$  混凝土地坪，以淨化環境並利於日後工作人員之進出。該地坪無形中會增加水塔之止滑功能，尤其是地坪下外圍若再加築深約 10cm 以上；寬約 20cm 之止滑楔，更可發揮止滑甚至抗傾倒之效果。
7. 基礎外緣土壤之壓應力，係以假設基礎重量為其上部總重量之 10% 加以計算。但實際計算結果約只占 7.92%。若將原先基礎重量所占之比例從 10% 降為 8%，則可減少基礎所需之面積，雖然多少會降低整座水塔之抗傾

倒力矩，但影響不大且仍屬安全。故建議應予重算(藉由 Excel 計算可在數秒鐘內獲得正確的答案)，以節省工程費。

## 參考文獻

1. REINFORCED CONCRETE STRUCTURES  
: B.C. PUNMIA, ASHOK K. JAIN & ARUN K. JAIN, LAXMI 出版社 2003 年 8 月。
2. 結構力學設計手冊：清田清司及高須治男原著，江新煌及蔡振邦編譯，1978 年，第. 102 頁。
3. 鋼筋混凝土設計手冊：中國土木水利工程學會，混凝土工程研究會報告(四)，P.50 及 P.155 至 P.238。
4. 混凝土工程設計規範之應用(土木 404-94) PART II 設計圖表、程式使用手冊：中國土木水利工程學會，[http://seminar.sinotech.com.tw/RC\\_download/download/Biaxial.pdf](http://seminar.sinotech.com.tw/RC_download/download/Biaxial.pdf)
5. 鋼筋混凝土建築結構實用計算法：鄭茂川編著，第 186 至 199 頁，1968 年 9 月台隆書局出版。
6. 基礎工程題解：施國欽編著，2006 年 9 月，文笙書局出版，第 1-4 頁至 1-36 頁。
7. 鋼筋混凝土最新規範題型解析(增修七版)  
：李文海編著，文笙書局，2006 年 9 月，第 3-5 至 3-8 頁。

## 作者簡介

### 曾浩雄先生

曾任：台水公司第七區管理處經理及南區工程處處長  
現職：尚潔環境工程公司技師  
專長：自來水工程規劃、設計及施工

# 水量計無線傳輸技術對用水管理強化之研究

文/蔡易廷、康世芳、劉世翔、仇士愷

## 摘要

隨著量測技術、傳感技術和資訊網路技術日益成熟，水量計之發展除不斷提升計量精確度，亦已朝向無線傳輸之讀表技術發展，以強化水資源用水管理，進行有效的水資源利用。為能瞭解無線傳輸技術之運用可行性，本研究首先針對美國、以色列與中國大陸之推行情形進行探討；其次以 B 級或 C 級小型配備電子裝置之機械式水量計搭配整合封包無線電服務(General Packet Radio Service, GPRS)或無線射頻(Radio Frequency, RF)結合 GPRS 之無線傳輸技術，於兩處住宅社區實施 4 個月之測試，並進一步評估其增值服務功能、成本效益及使用風險。研究結果顯示，提升水量計精確度，僅能降低「表差」，但若搭配無線傳輸技術，可提供即時用水資訊等增值服務功能。就成本效益面，本研究僅考量水量計精確度提升，所增加之水費收益，未考量增值服務功能效益之情況下，因無線傳輸架構成本較高，導致整體淨效益皆呈負值，其中 GPRS 較 RF 結合 GPRS 之成本差異約 3.34 倍。另從現地測試結果顯示，使用 GPRS 之無線傳輸方式，於資料回傳時，可能受到突波影響；使用 RF 結合 GPRS，則可能受到載波頻率干擾，造成數值產生異常或缺漏之情形。故未來自來水事業單位是否推行小型配備電子裝置之機械式水量計搭配無線傳輸技術，除鑑於政府政策制定方向，本研究亦建議應仍持續實施小型建置示範計畫，以評估其實際應用之可行

性。

關鍵字：水資源管理、配備電子裝置之機械式水量計、無線傳輸技術

## 一、前言

精確計量是水資源管理重要的一環，計量數據係為自來水事業單位進行售水營收與水源供水調配管理之基礎。然隨著量測技術、傳感技術和資訊網路技術的進步，水量計在計量精確度上不斷的提升，且已朝向無線傳輸技術之發展。目前各國諸如美國、以色列、中國大陸等主要城市已針對一般小口徑用戶，逐步推行將傳統機械式水量計更換為配備電子裝置之機械式水量計，並搭配無線傳輸技術，除提升計量之準確度，亦可藉由即時用水訊息，協助用水管理，如用水量管控、漏水訊息提供等增值性功能。我國雖已針對大口徑用戶之水量計，全面換裝為電子式水量計，但在一般小口徑家庭用戶之水量計，仍採用傳統機械式水量計。有鑑於無線傳輸技術日益成熟，且能同時具備漏水監測等附加功能，近年我國自來水事業單位亦積極推動相關建置示範案。

雖水量計精確度的提升，對於自來水事業水源管理上，佔有其一定重要性，但各水量計計量精度技術上之差異，並非本研究探討之課題。本研究僅就小口徑之一般用戶水量計，針對國內外使用概況、使用成本與風險等議題進行探討，並透過現地測試，瞭解實際使用情形，以作為未來政府針對全面

推動水量計搭配無線傳輸技術政策，制定時之參考。

## 二、水量計與讀表型式說明

### (一)水量計定義

水量計俗稱水表，在各種流量計中屬於結構簡單的流量儀表，亦是重要的法制計量儀表。依中華民國國家標準 CNS 14866：2012「完全充滿的密閉導管內水流量之量測-冷飲水及熱水用水量計」將水量計定義為「依電氣或電子原理及依機械原理結合電子裝置，用以計量冷飲水及熱水實際體積流量之水量計」<sup>[7]</sup>。CNS 14866：2004「密閉導管內水流量之量測-冷飲水用水量計」亦將水量計區分為 A、B、C、D 四個等級，其度量等級越高（A 級最低、D 級最高），即表示水量計量測精確度越佳且與真實流量值之誤差越小。目前全球水量計運用類型主要可分為機械式水量計與電子式水量計兩種。機械式水量計係指利用一種直接的機械程序，包括使用具有可移動壁的體積容器（容積型水量計）或利用水流作用在運動機件的旋轉速率（速度型水量計）來量測<sup>[8]</sup>；「電子式水量計」應視為「依電氣或電子原理計量水實際體積流量之水量計」，「依機械原理結合電子裝置計量水實際體積流量之水量計」則視為「配備電子裝置之機械式水量計」<sup>[7]</sup>。

然電子式水量計或配備電子裝置之機械式水量計，除可計量水實際體積流量，亦可搭配使用遠端傳輸功能，又可稱為「智慧型水量計（Smart Water Metering）」<sup>[9]</sup>。目前智慧型水量計尚無明確之定義，在相關文獻中提及智慧型水量計係指「以先進的水表提供更多且詳細的用水資訊，並透過訊息傳輸網

絡將用水資訊提供給自來水事業單位作為監控與水費帳單之依據」<sup>[11]</sup>；智慧型儀表（Smart Metering）具有可測量特定時間間隔之使用量與傳輸功用，如電表其計量間隔為 10 或 15 分鐘，水表其計量間隔為 30-60 分鐘或更長，即可提供足夠的用水或用電訊息<sup>[15]</sup>。相較其他產業如電力產業，將智慧電網（Smart Grid）定義為「一個現代化的電力傳輸系統，具有監控、保護與自動化操作等複合性功能，並具備雙向資訊獲取與大範圍傳輸網絡，可提供即時的資訊等」<sup>[10]</sup>。

### (二)讀表型式

目前全球水量計讀表型式除人工抄表外，大致依傳輸技術的不同，分為卡式智慧水表系統、自動讀表系統（Automated Meter Reading, AMR）與先進讀表基礎建設（Advanced Metering Infrastructure, AMI）三種。

#### 1.卡式智慧水表系統

係透過智慧卡(IC Card)進行管理者與用戶間之雙向溝通，即管理者可透過讀寫卡和數據處理軟體獲悉用戶消費行為等相關資訊，同時用戶亦可透過讀寫卡和水表的顯示界面了解管理者的管理和服務行為等相關資訊，但訊息提供之即時性較為不足。然居民須在自來水公司指定售卡點預購水後刷卡使用，故具有限量用水、解決用水收費糾紛之功能。

#### 2.自動讀表系統

為單向資訊獲取，透過接收器（access point）裝置儲存各用戶水表資料，再利用車子或人經過接收器讀取用水資料，再透過水表資料管理系統（Meter Data Management System, MDMS）處理取得的用戶總用水量，

以提供水公司用戶用水資訊，但用戶無法透過該系統即時獲取資訊。

### 3.先進讀表基礎建設

為雙向資訊交流，係利用現有通訊網路（如電信網路）或傳輸網路（如有線電視）為媒介，進行整個地區甚至全國性的讀表工作。由於資料可即時取得，自來水事業單位即可針對用戶用水模式、客戶選擇、竊水及漏水改善等進行管理；消費者則可獲取如超額用水示警、即時用水資訊等功能。此讀表方式不需負擔人工抄表成本，但需支付通訊費用。

傳輸技術的採用，需視通訊範圍及各地區環境差異而有所不同，區分為廣域區域網路（Wide Area Network, WAN），為可長距離通訊之技術，以行動通訊技術為優先（如全球行動通訊系統（Global System for Mobile Communication, GSM）、整合封包無線電服務（General Packet Radio Service, GPRS 與第三代行動通訊技術（3rd-generation, 3G）等）；

及區域網路（Local Area Network, LAN），為短距離通訊，分為有線/無線通訊技術（如無線射頻（Radio Frequency, RF）、無線高保真（Wireless Fidelity, Wi-Fi）等）<sup>[1]</sup>。

就整體傳輸技術而言（如表 1），無線傳輸因不需佈線，故較不受地理環境限制，雖具安裝週期短、維護方便、擴張能力強、組網靈活、不需要為新建傳輸鋪設網路、維護費用較低、運用靈活等優勢外，仍有其缺點，如短距離傳輸（像是 RF、WiFi）仍需設資料集中器或需手持裝置的接收器以收集資料，較無法達到雙向通訊的 AMI 要求；若為蜂窩通信則需建立基地台，建造價格昂貴且地點取得為一大問題，此外無線傳輸需考量因死角或遮蔽物影響傳輸效果，造成通訊干擾及頻譜不敷使用等問題。反觀，有線傳輸在佈線工程上，雖易受山地、港口等地理環境影響，且會增加施工成本。但可靠性相較無線傳輸穩定，且不需要考慮訊號傳輸失誤的問題，是資訊傳輸比較可靠的方式。

表 1 傳輸技術優缺點比較<sup>[6]</sup>

傳輸技術	優點	缺點
無線傳輸	不需佈線，適合如山地，港口等特殊地理環境。 安裝週期短。 維護方便、維護費用較低。 擴張能力強、運用靈活。 不需要為新建傳輸鋪設網路。	成本較高。 需考量電池壽命及更換問題 無線傳輸需考量因死角或遮蔽物影響傳輸效果造成通訊干擾及頻譜不敷使用等問題。 傳輸速度較有線慢。
有線傳輸	不需無線模組。 傳輸速度快。 不需要考慮訊號傳輸失誤的問題。 用戶普及性高。	於佈線困難之區域(如山地)會增加施工及維護成本。 用戶可移動性低。

### 三、國內外推行概況

#### (一)美國

美國政府為改善過去因水表抄表困難、漏水情形嚴重及水表老舊（造成讀表不精確）等問題，及因應水費調漲對民眾負擔的增加，如紐約市水費自 2007 年以來已達漲幅 70%<sup>[13]</sup>，因此為使其計費更為精確，以減少與用戶間之紛爭，紐約市環境保護局於 2011 年前，全市將計畫裝設 82 萬 6 千只小型配備電子裝置之機械式水量計搭配無線傳輸技術之水表<sup>[14]</sup>，透過自動讀表系統減少人工讀表與避免人工抄表受環境之限制，及透過用水查詢網頁使用戶獲得即時用水資訊與即時發現住宅管線漏水情形。

#### (二)以色列

以色列政府為解決水資源嚴重缺乏之情況，除調高水費、興建海水淡化廠與興建廢污水回收再利用系統，及增加可用水量及提升水的使用效率外，更全面裝設智能水表，目前以色列約近六成用戶皆已裝設全自動讀表系統之水量計，約 120 萬只，運用 3G 傳輸技術，每 30 秒回傳一次水流量、水溫、酸鹼值等數據，每天回傳近千筆數據資料，且當偵測到數據出現異常時，程式就會發出警報，並推算異常發生的地區，水公司亦可即時掌握異常流量，即時處理。舉例而言，以色列靠近特拉維夫週邊的貝達蒂克法是第一個全面裝設無線電水表的城鎮，在裝設無線電水表後，漏水率從原先的 30%降至 10%<sup>[2]</sup>。

#### (三)中國大陸

中國大陸於 2005 年底前統一實行居民

生活用水階梯式計量水價之政策，且為能取得更正確及更即時的用水資料，推行「一家一水量計」政策，此舉必然增加抄表人力與成本。因此中國政府係透過遠端智慧讀表、室外資料收集及預付水表等技術建立自動讀表網絡，來減少所需的抄表人力，以及避免過去因人工抄表所可能造成的居家安全問題。智能水表技術為大陸實行階梯水價的關鍵之一，期獲得精確水量值，並及時傳送用水資訊，如廈門市於 2011 年 7 月 1 日起，經其市政府批准，廈門全市新申報用水之所有新建建設項目都需安裝智能水表，已興建之建築物則按照自願原則逐步進行換裝之作業<sup>[3]</sup>。

#### (四)台灣

近年國內自來水事業積極推動示範或試用，以具有無線傳輸功能之水表，應用於「建置用戶用水模式」及「配合實施分區計量」，達到漏水改善與用戶用水模式之掌握與監控，提升水資源使用效率，及提高自來水事業單位售水率及降低營運成本等經營目標。在此目標之下，國內目前在口徑 50mm 以上收費計量用表或供水管理用表皆已採 B 級電子式水表，且臺北自來水事業處已逐年配合水表使用壽命，逐戶藉由用戶用水模式紀錄與分析，全部將口徑 50mm 以上收費計量用表或供水管理用表，汰換為 C 級電子式水表或一併採行大改小之策略；台灣自來水公司計畫自 2013 年起逐年將現有大型 B 級水量計汰換為 C 級水量計。反觀在小口徑水表部分，國內尚處測試階段，如臺北自來水事業處於 2012 年採購 100 只口徑 40mm 之 C 級配備電子裝置之機械式水量計辦理研究

測試（係針對計量誤差原因之研究，非主要測試其對營收之貢獻）；台灣自來水公司亦表示可先擇故障率較高之 40mm 機械式水量計，局部更換為 C 級配備電子裝置之機械式水量計，並將蒐集可能有總分表小流不轉情形之水表，更換為 C 級表，以評估其使用效益。

### 三、推動之可行性分析

#### (一) 加值服務功能分析

電子式水量計（或配備電子裝置之機械式水量計）搭配無線傳輸技術之加值服務功能，係指即時的用水資訊所能提供的加值功能，及水表所能提供非僅限於計量之功能，如用水異常警示、故障診斷與漏水天數紀錄及可紀錄特定日期與時刻的用水資料等功能，作為用戶檢查內線或用水設備是否有漏水現象之資訊，或提供給自來水事業單位作為相關水管理或運用於分區計量（District Meter Areas, DMA）之基礎資料，其加值服務功能，如表 2 所示。

#### (二) 無線傳輸使用風險分析

電子式水量計（或配備電子裝置之機械式水量計）搭配無線傳輸技術，雖具有其加值服務功能，但美國智慧儀表反對聯盟（American Coalition Against Smart Meters, ACASM）卻也指出智慧儀表的裝置會涉及/影響個人或團體組織的健康、安全、隱私與保障，包括電磁輻射、資訊安全與個人用水。世界衛生組織雖也表示，電磁波可能會導致罹癌機率升高<sup>[6]</sup>，但醫學及科學界對此仍未有定論。另一方面，歐美國家多為獨立住宅，智能表裝設點距離民眾生活起居處所較近。反觀，台灣則是以公寓、大樓等集合

住宅為主，水表多裝設於頂樓或是樓層間之管線間，距離居民日常活動區域較遠，是否會出現影響人體健康仍待進一步研究。本研究彙整國內外在使用或推行配備電子裝置之機械式水量計搭配無線傳輸技術，所可能遭遇之風險，從圖 1 研究結果發現，國內相關專家學者認為，推動小型配備電子裝置之機械式水量計搭配無線傳輸技術之關鍵風險因子為「廠商進駐意願低」、「相關規範不完善」、「營運成本增加」、「用水資料易外洩」與「電磁波影響」及「公共安全危害」，其中電磁波影響係屬低發生頻率與高影響程度之風險因子。

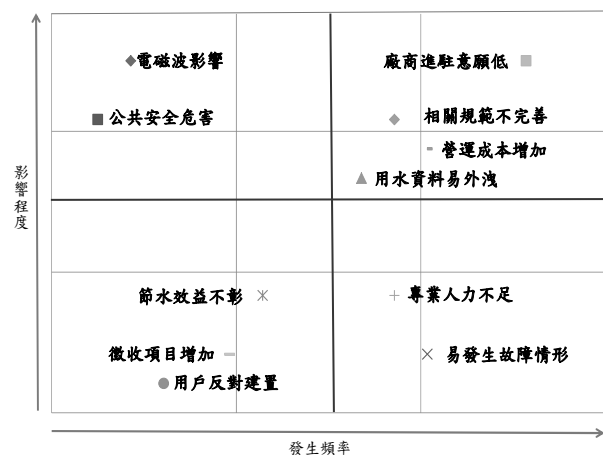


圖 1 推動小型配備電子裝置之機械式水量計搭配無線傳輸技術之風險圖像

#### (三) 成本效益評估

為瞭解小型水量計搭配不同之傳輸技術所需之成本與效益，本研究以台灣自來水公司為例，分別就 B 級與 C 級配備電子裝置之機械式水量計搭配 GPRS 傳輸技術、B 級與 C 級配備電子裝置之機械式水量計搭配 RF 結合 GPRS 傳輸技術、機械式水量計搭配人工抄表方式等 5 種方案進行成本效益之評估，以作為未來政府推動之參考。

1. 成本

本研究僅考量推動配置電子裝置之小型機械式水量計必須投入之基礎元件與傳輸設備之設置，即分為「初始成本」、「使用成本」與「維護成本」（如表 3）。初始成本係指配置電子裝置之小型機械式水量計裝置成本與傳輸設備裝置成本；使用成本則指自來水事業單位對每一用戶水

表抄表所需的成本；維護成本是指資料管理系統所需之維護費用，以確保功能穩定。(1)小型配備電子裝置之機械式水量計建置成本

小型配備電子裝置之機械式水量計建置成本主要考量價格、設置數量及安裝成本。依「水量計檢定檢查技術規範 CNMV 49」規定水量計之檢定合格期限為 8 年<sup>[9]</sup>，並根

表 2 具計量訊號傳輸功能之水表加值服務功能

項目	加值服務功能	對象
水資源管理	提供即時用水資訊	自來水事業單位/用戶
	節約用水	自來水事業單位/用戶
	減少用戶住宅漏水或區域漏水（如配合 DMA）	自來水事業單位/用戶
	減少竊水	自來水事業單位/用戶
	水壓力管理	自來水事業單位
	降低尖峰負載	自來水事業單位
抄表管理	提高讀表頻率與正確性（即減少客戶抱怨）	自來水事業單位
	提升客戶服務品質	自來水事業單位
	抄表人員安全	自來水事業單位
	提升維護效率	自來水事業單位
其他	獨居老人安全警報	用戶

表 3 成本與效益分析項目說明

項目	次項目	定義
初始成本	小型水量計硬體採購成本	為機械式水量計與配置電子裝置之機械式水量計之價格。
	傳輸設備採購成本	傳輸設備採購價格，包含收集器（collector）、資料接收裝置（access point）等。
	設備安裝成本	為廠商運送與設備安裝成本，包含水量計與傳輸設備。
使用成本	抄表成本	為水表讀數抄表成本，以人工抄表成本為主。
	傳輸成本	為自動讀表所需的傳輸費用（SIM 卡月租費）。
維護成本	設備維護管理成本	為水表資料管理系統成本。
效益	增加水費收入	透過水量計等級之準確度差異與平均每戶用水量，估算因水表準確度的提升所增加的水費收入。

據民國 84 年至 95 年止，台灣自來水公司平均每年小型水表新裝數量與汰換數量約 80 萬台<sup>[5]</sup>。因此本研究以 8 年為汰換週期，預計總裝置數量達 640 萬只。另水量計價格部分，依民國 98 年台灣自來水公司採購小口徑之機械式水量計之平均價格約 784 元新台幣/只；水量計廠商提供 B 級與 C 級配置電子裝置之小型機械式水量計之平均價格分別為 1,249 元新台幣/只及 1,269 元新台幣/只。

## (2) 傳輸設備建置成本

傳輸設備建置成本主要考量傳輸設備成本、傳輸費用與設置數量及設備維護管理費用。本研究考量兩種傳輸方式，第一種為整合封包無線電服務 (General Packet Radio Service, GPRS) (需裝設 SIM 卡)，係以一只水表配置一台 GPRS 傳輸設備，運用「封包交換」(Packet Switch) 技術進行資料傳輸，其成本為一只 12,000 元；第二種為無線射頻 (Radio Frequency, RF) 結合 GPRS，以建立或附加在水表上之傳送訊號裝置，將訊號發送至收集器 (collector) 進行各水表用水資料的收集 (每只約可收集 50 戶資料)，再傳送至接收器 (access point) 以 GPRS 方式傳輸資料至遠端系統 (一次最高可傳送 1,200 戶資料)，本研究考量裝設環境不同 (如集合住宅、偏遠地區等住宅形式) 使得收集器與接收器設置數量有所差異，假設平均一只收集器可收集約 20 戶資料，而一只接收器平均可傳送 480 戶資料，其成本為一只 4,552 元。

通訊費用部分，使用 GPRS 無線傳輸係採 10 分鐘紀錄一筆資料，每 2 小時回傳資料至遠端系統一次，其月租費用為 338 元，故

1 年每只通訊成本為 4,056 元；使用 RF 結合 GPRS 無線傳輸係採每小時紀錄一筆資料，每天回傳前一天資料一次，因接收器 (access point) 收集到的資料量較高，其採用高月租費 1,138 元，故 1 年每只通訊成本為 28.5 元。

## 2. 效益

水表的可計量範圍是與水表的精確度有關，與其搭配的傳輸方式並無直接關聯，且傳輸功能所附加之加值服務功能較難以量化，故不予考慮，因此本研究僅考量售水率提升之效益。B 級配備電子裝置之機械式水量計因精度不變，無法提高水費收取率。反觀，C 級配備電子裝置之機械式水量計因精度提高 (即可偵測到較小流量值)，故可提高水費收取率。

因此本研究以每年設置數量、每戶平均用水量、平均水價、水費增收率等四項參數計算可能的增加水費收入，其計算方式如式 (a)。

$$\begin{aligned} \text{增加水費收入 (元)} &= \text{每年設置數量 (只/年)} \\ &\times \text{每戶平均用水量 (度/年)} \times \text{平均水價 (元/度)} \\ &\times \text{水費增收率 (\%)} \dots\dots\dots (a) \end{aligned}$$

式 (a) 中，每年設置數量係指台灣自來水公司每年所需設置數量為 80 萬只；每戶平均用水量則依目前台灣自來水公司供水轄區於民國 100 年每戶平均用水量約為 254 (度/年)；平均水價依民國 100 年台灣自來水公司之平均水價為 10.9 元/度；水費增收率則依研究指出 B 級水表更換 C 級水表可提高 5% 的售水率<sup>[12]</sup>，但考量水表計量精確度會因使用年限與使用環境，使其精度逐年下降，然目前尚無相關研究指出其下降比例，故本研究以 5% 為基礎，假設平均每年皆可

提高 5%、4%、3%、2%、1%之售水率，並分別計算其效益，如表 4。

### 3.評估公式

本研究設定水表汰換週期為 8 年，計算 8 年的總裝置週期所需投入的成本與效益，並考量貨幣的時間價值，以淨現值法 (Net Present Value, NPV) 計算第 1 年至第 8 年之現值 (Present Value)，其計算方式如式(b)、式(c)。

$$PV_C(i) = F_{C_0}(1+i)^0 + F_{C_1}(1+i)^{-1} + F_{C_2}(1+i)^{-2} + \dots + F_{C_N}(1+i)^{-N}$$

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

式 (b) 中，FC<sub>t</sub> 為第 t 年的水量計或通訊設備設置等成本項；N 為汰換週期以 8 年表示之；i 為折現率，1.875%<sup>[4]</sup>；PVC(i) 為各年 FC<sub>i</sub> 考量折現率 i 之水量計或通訊設備設置成本現值總和。

$$PV_B(i) = F_{B_0}(1+i)^0 + F_{B_1}(1+i)^{-1} + F_{B_2}(1+i)^{-2} + \dots + F_{B_N}(1+i)^{-N}$$

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

式 (c) 中，FB<sub>t</sub> 為第 t 年的增加水費收入；N 為汰換週期以 8 年表示之；i 為折現率，1.875%<sup>[4]</sup>；PVB(i) 為各年 FB<sub>t</sub> 考量折現率 i 增加水費收入現值總和。

### 4.分析結果

從表 4 分析結果得知，台灣自來水公司如以 8 年全面汰換 640 萬只小型機械式水量計，在水量計建置成本，以機械式水量計所需成本最低為 55.84 億元，其次為 B 級配置電子裝置之小型機械式水量計 80.97 億元，最高為 C 級配置電子裝置之小型機械式水量計 82.17 億元；在傳輸成本部分，以機械式水量計所採用之人工抄表成本最低為 2.78 億

元，其次為配置電子裝置之小型機械式水量計採用之 RF 結合 GPRS 傳輸技術達 293.83 億元，最高為配置電子裝置之小型機械式水量計採用之 GPRS 傳輸技術達 982.71 億元。

整體而言，在不考慮其他加值服務功能等潛在效益下，使用機械式水量計搭配人工抄表之淨效益，遠高於 B 級或 C 級配置電子裝置之小型機械式水量計搭配 GPRS 或 RF 結合 GPRS 之傳輸技術，如表 5。其中 B 級小型機械式水量計所需總成本 (含人工抄表成本) 為 55.84 億元，若採用 B 級或 C 級配置電子裝置之小型機械式水量計搭配 GPRS 傳輸技術，其總成本分別為 1,063.68 億元與 1,064.88 億元，而搭配 RF 結合 GPRS 傳輸技術，其總成本為 374.8 億元與 376 億元。若納入效益考量，其整體淨效益皆呈負值，其中以 B 級配置電子裝置之小型機械式水量計搭配 GPRS 傳輸技術之淨效益最低為負 1,064.88 億元，最高為 C 級配置電子裝置之小型機械式水量計搭配 RF 結合 GPRS 傳輸技術為負 339.42 億元。

### 四、現地測試

為能取得用戶使用之意見回饋，強化管理層面之資訊，本研究針對兩處各 40 戶公寓型住宅用戶進行實際使用測試，以 B 級與 C 級配備電子裝置之小型機械式水量計搭配兩種無線傳輸方式進行 4 個月測試，分別為 GPRS，每 10 分鐘紀錄一筆用水資料，每 1 小時回傳資料至遠端管理系統；及 RF 結合 GPRS，以建立或附加在水表上之傳送訊號裝置，為每 1 小時紀錄一筆用水資料，每一天回傳前一天資料至遠端管理系統。

表 4 小型配備電子裝置之機械式水量計與機械式水量計建置成本與效益-以台水公司為例

單位：億元

類型	水量計 成本 (1)	傳輸成本(2)			總成本(3)=(1)+(2)			效益				
		GPRS	RF 結合 GPRS	人工抄 表	電子式- GPRS	電子式- RF 結合 GPRS	機械- 人工	售水率 提高 5%	售水率 提高 4%	售水率 提高 3%	售水率 提高 2%	售水率 提高 1%
機械式	53.06	-	-	2.78	-	-	55.84	-	-	-	-	-
B 級 電子式*	80.97	982.71	0	-	1,063.68	374.80	-	-	-	-	-	-
C 級 電子式*	82.17	982.71	293.83	-	1,064.88	376.00	-	36.58	29.27	21.95	14.63	7.32

註：\*電子式係指配置電子裝置之機械式水量計。

表 5 小型配備電子裝置之機械式水量計與機械式水量計建置淨效益-台水公司為例

類型	淨效益 <sup>1</sup>		
	GPRS	RF 結合 GPRS	機械-人工
機械式	-	-	-55.84
B 級電子式 <sup>2</sup>	-1,063.68	-374.80	-
C 級電子式 <sup>2</sup>	-1,028.30	-339.42	-

註：1.淨效益=效益－總成本，係以 C 級表提高 5% 售水率之效益為計算基礎。  
2.電子式係指配置電子裝置之機械式水量計。

### (一)測試結果說明

#### 1.資料傳輸穩定度分析

在資料傳輸穩定性方面，本研究在測試期間所遭遇資料傳輸問題有：1.現場用戶用水資料未回傳至遠端系統，導致某特定時段資料缺漏；2.回傳之用水資料發生數值偏誤與實際用水情況不符（如數值暴增數百倍），造成某特定時段資料無法使用。因此本研究為進一步瞭解資料傳輸穩定性與完整性，即針對總資料量、已接收資料量與未接收資料量及錯誤資料量等 4 項資料，依每小時為 1 次紀錄筆數進行統計，即 GPRS 與

RF 兩種傳輸頻率為 1 小時紀錄 1 筆，1 天共計 24 筆用水資料。從表 6 統計結果得知，本次現地測試案採用 GPRS 傳輸技術資料，其接收比例可達 99.877%（A 社區）與 99.748%（B 社區）；採用 RF 傳輸技術，在資料接收比例可達 91.87%（B 社區）。然 A 社區所使用的 GPRS 傳輸技術，在測試期間未接收資料比例約占總資料量 0.123%，並無錯誤資料情形發生（如表 6）；在 B 社區使用的 GPRS 傳輸技術，在測試期間未接收資料量比例約占總資料量 0.231%，錯誤資料量約占 0.020%。使用 RF 傳輸技術，在測試期間未

接收資料量比例約占 8.13%，並無錯誤資料情形發生（如表 6）。使用 GPRS 傳輸技術所發生的資料無法接收或數值偏誤之主要可能原因為「突波干擾」（突波係指受打雷閃電或電路開閉所造成的電波干擾，造成異樣波形或雜訊）導致數值產生異常或無法回傳至遠端系統；另 RF 傳輸技術所造成資料無法接收的可能原因為載波頻率受到干擾，造成訊號無法接收，以致資料無法回傳至遠端系統。故依本次測試結果，使用無線傳輸技術，尚無法達到 100%的資料接收比例，仍需依賴人工抄表進行缺漏或數值偏誤之資料進行檢核。

然在 GPRS 傳輸方式之錯誤資料部分，可在水表及通訊介面上，加裝檢查碼之機制，以降低突波干擾造成資料數值之異常情形，且於管理系統亦可進行錯誤資料管理等因應措施，但因裝表環境的突波強度狀況不同，僅能降低其發生率，尚無法做到 100%的濾除；但在未接收資料部分，為實質缺漏。反觀，在 RF 結合 GPRS 傳輸方式，僅部分資料受載波頻率干擾，使頻率受到覆蓋，以致資料無法接收，但經頻道更換後，即回復資料之接收，故本研究建議未來若採行 RF 結合 GPRS 傳輸方式，應申請固定頻道，作為資料傳輸之用。

## 五、結論與建議

### (一)結論

雖水量計精確度的提升，能降低「表差」（即減少無感計量之水量），提升自來水事業營運收益，且能採用具計量訊號傳輸功能

之水表，透過即時的傳輸技術，配合分區計量之推動，瞭解用戶用水模式，協助判識是否有漏水情形發生，以利進行修漏。故水量計準確度優劣與否，並不會直接影響漏水率之改善成效，但會影響自來水事業單位營運收益。但從成本效益面而言，傳輸設備建置成本遠高於水量計建置成本，其中以使用 GPRS 傳輸技術之成本相較於 RF 結合 GPRS 高約 3.34 倍。主要在於 GPRS 傳輸技術是採一只水表配置一只 GPRS 傳輸設備，故需設置數量多，其成本亦然提高；RF 結合 GPRS 傳輸技術則可透過收集器收集多用戶資料，故設置數量較少，其成本亦可降低。

另於現地測試之資料傳輸穩定度部分，使用 GPRS 之無線傳輸方式，於資料回傳時，可能受到突波影響；使用 RF 結合 GPRS，則可能受到載波頻率干擾，造成數值產生異常或缺漏之情形。但就 GPRS 傳輸方式，可藉由加裝檢查碼之機制，以降低突波干擾造成資料數值之異常情形；RF 結合 GPRS 傳輸方式，則應申請固定頻道，避免頻率遭到覆蓋。雖依本案測試結果，使用無線傳輸方式尚無法達到 100%之資料接收，但因本次測試統計傳輸頻率為每小時 1 筆用水紀錄資料，其極少比例之缺漏是否會對自來水事業單位造成水費收取之困難，將有待自來水事業單位進一步評估。且依需考量採用無線傳輸方式，仍具有其間接效益如可獲得即時用水資訊、提高讀表頻率與正確性、提升客戶服務品質與維護效率等加值服務功能，可提升整體用水管理效率。

表 6 現地測試之接收資料彙整表

測試社區	傳輸方式	總回傳資料量(筆)	已接收資料量(筆)	比例(%)	未接收資料量(筆)	比例(%)	錯誤資料量(筆)	比例(%)
A 社區	GPRS	118,080	117,935	99.877	145	0.123	0	0
B 社區	GPRS	88,560	88,337	99.748	205	0.231	18	0.020
	RF 結合 GPRS	29,520	27,120	91.87	2,400	8.13	0	0

**(二)建議**

- 1.建議自來水事業單位先實施小型示範點推動計畫，以確實掌握其推行效益，及可能面臨之問題，作為未來政府建設之可行與應用方向之參考。
- 2.建置具無線傳輸技術之水表，其具有電磁波影響人體健康之疑慮，建議納入行政院環境保護署於 101 年 11 月 30 日公告之「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」，將其列為管制項目之一。未來更應與行政院環境保護署共同商議，以求周延。

**參考文獻**

- 1.工業技術研究院，2010，智慧電網產業的先鋒部隊-先進讀表系統發展概況。
- 2.今週刊，2011，以色列荒漠奇蹟。
- 3.中金在線，2011，智慧水表 7 月 1 日起推行，網址：[http:// www5. cnfol.com / big5 / hy .stock.cnfol.com/110615/124,1469,10068037,00. shtml](http://www5.cnfol.com/big5/hy.stock.cnfol.com/110615/124,1469,10068037,00.shtml)。
- 4.中央銀行，2012，民國 100 年 7 月 1 日公告之重貼現率。
- 5.台灣自來水公司，2008，自製小型水量計可行性研究分析。

- 6.台灣自來水公司，2010，小型水表改採電子式可行性評估。
- 7.經濟部標準檢驗局，2012，中國國家標準 CNS 14866。
- 8.經濟部標準檢驗局，2004，中國國家標準 CNS 14866。
- 9.經濟部標準檢驗局，2008，水量計檢定檢查技術規範 CNMV 49。
- 10.EPRI, 2011, Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resulant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid.
- 11.Kenna, B., 2008, Water Metering and Revenue Protection, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying.
- 12.MHC, 2009, A Repot for the Department of Treasury and Finace.
- 13.NYC Water Board, 2012, Available at:[http://www.nyc.gov/html/nycwaterboard/html/ra te\\_schedule/index.shtml](http://www.nyc.gov/html/nycwaterboard/html/ra te_schedule/index.shtml).
- 14.NYC Environment Protection, 2009, Available at: [http://www.nyc.gov/html/dep/html/water\\_and\\_sew er\\_bills/amr\\_faqs.shtml](http://www.nyc.gov/html/dep/html/water_and_sew er_bills/amr_faqs.shtml).
- 15.Oracle, 2009, Smart Metering for Water Utilities, Oracle White Paper.

16.WHO/IARC, 2011, IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans, Press Release No. 208.

**作者簡介**

**蔡易廷先生**

現職：淡江大學水資源管理與政策研究中心研究專員  
專長：環境管理

**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：水質管理、自來水工程

**劉世翔先生**

現職：淡江大學水資源管理與政策研究中心 研究員  
專長：區域經濟學分析與國際貿易、環境政策與管理、風險評估、決策輔助系統

**仇士愷先生**

現職：淡江大學水資源管理與政策研究中心 組長  
專長：水資源管理

**本刊 103 年「每期專題」**

期別	專題主題名稱	副主題項目	時程
33 卷第 1 期	輸配水系統規劃管理及供水穩定之探討	輸配水系統規劃管理、供水管線、水壓控制、供水穩定、分區計量、洩漏檢測、非開挖技術、防蝕控制、漏水防制	2 月
33 卷第 2 期	淨水處理與再利用技術	淨水高級處理、供水系統、廢水處理、消毒技術、過濾等、廢水回收再利用、淨水污泥再利用	5 月
33 卷第 3 期	氣候變遷與調適	氣候變遷、全球暖化、水源調度、災害應變、供水應變、水源污染與保護、抗旱準備、緊急應變及危機管理	8 月
33 卷第 4 期	自來水營運管理	供水設施及資產管理、資訊管理與應用、供水管網、自來水營運、客戶服務、人力需求、收費、水量與水壓、能源管理	11 月

歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優

## 淺論水源保護之回饋與補償規範

文/徐良維

### 一、前言

我國在諸多法制中，對於土地限制使用所造成居民損失，多透過「肇因（污染）者付費」之手段，並成立專案基金，透過該基金之支出藉以補償居民之各項損失，而水源保護之回饋制度即屬一例。延續本文過去對於「水質水量保護區管制」之簡介，以下本文乃簡介自來水法有關水源保護之回饋制度，包括：「水源保護與回饋費徵收之依據」、「水源保護與回饋費徵收之法律性質」、「水源保護與回饋費之支用依據」，並於結論中檢討現行之水源保護回饋制度及提出初步建議。

### 二、「水源保護與回饋費」徵收之依據

按自來水法第 12 條之 2 第 1 項、第 2 項規定：「於水質水量保護區內取用地面水或地下水者，除該區內非營利之家用及公共給水外，應向中央主管機關繳交水源保育與回饋費。其為工業用水或公共給水之公用事業，得報經中央主管機關同意後，於其公用事業費用外附徵百分之五以上百分之十五以下之費額。供農業使用者，中央主管機關及中央農業主管機關應編列預算補助。補助對象及方式之辦法，由中央主管機關會同中央農業主管機關定之。」、「前項水源保育與回饋費之徵收項目、對象、計算方式、費率、徵收方式、繳費流程、繳納期限、繳費金額不足之追補繳、取用水資源量之計算方法及其他應遵行事項之收費辦法，由中央主管機關會商有關機關依水源或用水標的分別定

之。」乃係我國「水源保護與回饋費」徵收之法律依據。

中央主管機關依據前揭自來水法第 12 條之 2 第 2 項之規定訂有「水源保護與回饋費收費辦法」，依據前揭辦法第 10 條之規定：「水源保護與回饋費之徵收，中央主管機關得依作業時程分區及用水標的別實施，並得擇區試辦（第 1 項）。中央主管機關依前項規定實施或試辦前，應將適用之區域、對象及其他有關事項公告並刊登政府公佈（第 2 項）」，並經中央主管機關以經濟部 95 年 3 月 6 日經授水字第 09520225680 號函公告「水源保育與回饋費」自 95 年 1 月 1 日起開始徵收，而適用對象依據前揭辦法第 2 條及第 6 條之規定，係包括：「水質水量保護區內取用地面水或地下水之水權人或臨時使用權人」、「受水權人或臨時使用權人引取之水量直接供應之公用事業或農田水利會」及「取自水質水量保護區之水源的工業用水或公共給水之公用事業」（依自來水法第 12 條之 2 第 1 項規定報經中央水利主管機關同意於費用外附徵時），前二者之繳費金額，由中央主管機關每年計費一次，寄發繳費通知單向繳費人徵收，後者之繳費金額，則由公共事業併其繳費人用水費附徵後二個月內繳至中央主管機關。另中央水利主管機關與農業主管機關依據前揭自來水法第 12 條第 1 項之規定尚訂有「水源保育與回饋費補助辦法」，依據該辦法第 4 條之規定：「補助對象所需補助經費，由中央主管機關及中央農業主管機關編列預算補助之（第 1 項）。

前項補助經費應撥入中央主管機關設置之水資源相關基金（第 2 項）。」可知「水源保育與回饋費」之補助費的來源係來自中央水利主管機關與中央農業主管機關所編列之一般預算，並撥入水資源相關基金統籌進行「水源保育與回饋費」之合理運用。

按自來水法第 12 條之 2 規定，係於民國（下同）93 年 6 月 30 日修法時所增訂，其立法理由若觀之立法院公報（立法院公報第 93 卷第 4 期，頁 217~218 參照）之說明：「水質水量保護區之劃設，為維護水質涵養與保育之重要措施，惟區域內居民卻因全體國民用水之公益，而使其土地之利用遭受限制，目前僅得依第 12 條第 1 項獲得補償，並依第 12 條之 1 對水源特定區內之土地給予賦稅之減免與地方建設之協助。為落實『受益者付費、受限者得償』原則，維護區內居民權益，並促進公共福祉，爰增訂本條…」，其中自來水法第 12 條之 2 第 1 項除明定水資源保育費之繳納義務人為利用水資源保育區內地面水或地下水之人外，鑒於公用事業或農田水利會，其事業之經營往往負有政策與社會責任，其經營成本往往無法逕由公用事業費用或農田水利會相關費用支應，其盈虧常由政府之稅捐補貼，為避免水質水源保育費之繳交，使政府需增加賦稅補貼金額，因而訂定准其得經報中央主管機關同意於其公共事業費用或農田水利會相關費用外附徵。是以，有關自來水法「水源保護與回饋費」之徵收，實可視為將「用水人」與「土地開發者」之「受益」，回饋於「土地受限者」損失之手段，藉以落實「環境公平」與「環境正義」。

### 三、「水源保護與回饋費」之法律性質

有關「水源保護與回饋費」之法律性質，依據自來水法第 12 條之 2 立法理由之說明：「按水資源保育費之收取，涉及人民權益，依司法院釋字第 426 號解釋，其性質屬特別公課，其徵收目的、對象及用途應以法律定之，爰於本條明定水資源保育費徵收之法源」可知立法者係將其法律性質定性為「特別公課」，至於何謂「特別公課」，則有必要參酌釋字第 426 號解釋之意旨為進一步之說明。

按釋字第 426 號解釋大法官主要就依據「空氣污染防制法」第 10 條及其授權訂定之「空氣污染防制費收費辦法」所徵收之「空氣污染防制費」，將其法律性質定性為「特別公課」。大法官於該號解釋強調，國家基於維護生活環境及自然生態之憲法義務，藉由制定空氣污染防制法並徵收「空氣污染防制費」係本於污染者付費之原則，對具有造成空氣污染共同特性之污染源，徵收一定之費用，俾經由此種付費制度，達成行為制約之功能，減少空氣中污染之程度；並以徵收所得之金錢，在環保主管機關之下成立空氣污染防制基金，專供改善空氣品質、維護國民健康之用途。此項防制費既係國家為一定政策目標之需要，對於有特定關係之國民所課徵之公法上負擔，並限定其課徵所得之用途，稱之為「特別公課」，乃現代工業先進國家常用之工具。另外，大法官亦強調特別公課與稅捐不同，稅捐係以支應國家普通或特別施政支出為目的，以一般國民為對象，課稅構成要件須由法律明確規定，凡合乎要件者，一律由稅捐稽徵機關徵收，並以之歸入公庫，其支出則按通常預算程序辦理；特別公課之性質雖與稅捐有異，惟特別公課既

係對義務人課予繳納金錢之負擔，故其徵收目的、對象、用途應由法律予以規定，其由法律授權命令訂定者，如授權符合具體明確之標準，亦為憲法之所許。所謂授權須具體明確應就該授權法律整體所表現之關聯意義為判斷，而非拘泥於特定法條之文字（參照司法院釋字第 394 號解釋理由書）。大法官進而認為，空氣污染防制法第 10 條第 1 項：「各級主管機關應依污染源排放空氣污染物之種類及排放量，徵收空氣污染防制費用」及第 2 項：「前項污染源之類別及收費辦法，由中央主管機關會商有關機關定之」規定，其徵收目的、對象、場所及用途等項，並無欠具體明確之處。另司法院釋字第 593 號解釋大法官更一步強調：「國家基於一定之公益目的，對特定人民課予繳納租稅以外之金錢義務，涉及人民受憲法第 15 條保障之財產權，其課徵之目的、對象、額度應以法律定之，或依法律具體明確授權，由主管機關以命令為必要之規範。而有關繳納金錢之義務，則應本於正當之立法目的，在必要範圍內對適當之對象以合理之方式、額度予以課徵，以符合憲法所規定之平等原則與比例原則。」。

惟將「空氣污染防制費」界定為「特別公課」，及「空氣污染防制費」之徵收是否合乎法律保留原則之要求，大法官亦非無不同意見。如戴東雄大法官於釋字第 426 號解釋提出部分不同意見書中指出：「特別公課之合憲性較稅捐薄弱，但因其所受立法監督較稅捐不嚴，故為避免行政機關假課徵公課之名，而達增加財政收入之實，並防止財政憲法遭受破壞與架空，公課之徵收仍應有法律保留之正當性，以確保人民之財產權。有

鑑於此，公課徵收之目的、用途、對象、費率評定之原則與期限等項，應以法律予以規定。其由法律授權命令訂定者，其授權應符合具體明確始可。空氣污染防制法第 10 條授權各級主管機關應依污染源排放空氣污染物之種類及排放量徵收空氣污染防制費…即使從整體所表現之關聯性觀察，尚有不明確之處，如費率之評定及徵收期限，應一併於授權母法中明定為當。」亦即強調特別公課並無如稅捐般擁有憲法授權，因此有關公課徵收之目的、用途、對象、費率評定之原則與期限，均應於法律中明定，以符法律保留原則。再如蘇俊雄大法官於釋字第 426 號解釋提出不同意見書中強調以「隨油徵收」之方式就「移動污染源」所開徵的「空氣污染防制費」，無異是一種加諸於一般人民之具有「普遍性」與「強制性」的公法上負擔，若無嚴格控制其合法性要件，及就專款專用之「特別基金」之使用方式及其使用進行嚴格規範，恐造成「假行為制約之名，行財政收入之實」之常態。

事實上，我國現行環境法領域除上述之「空氣污染防制費」，尚有為數不少之「特別公課」之例，諸如依土壤及地下水污染整治法第 28 條及土壤及地下水污染整治費收費辦法所課徵之「土壤及地下水污染整治費」、依森林法第 48 條之 1 及山坡地開發利用回饋金繳交辦法所課徵之「山坡地開發利用回饋金繳交辦法」、依廢棄物清理法第 16 條及行政院環境保護署資源回收費率審議委員會設置辦法所課徵之「資源回收費」、依民用航空法第 37 條所課徵之「噪音防制費」等。基此，自來水法第 12 條之 2 之「水源保護與回饋費」不但為國家基於一定之公

益目的，對特定人民課予繳納租稅以外之金錢義務，因其法律性質既已被立法者定性為「特別公課」，則該費用勢必具有「專款專用」之性質，並支用於以下之特定項目：

#### 四、「水源保護與回饋費」之支用依據

事實上，在自來水法第 12 條之 2 增訂前，行政院於 91 年 8 月 5 日已有發布「限制發展地區救助、回饋、補償、處理原則」，依據該原則第 2 點之規定，限制發展地區分為：「災害性」、「公益性」及「嫌惡性設施或土地使用影響區域」三類，而水源保護區係被列為「公益性」類型。有關公益性限制發展地區之回饋與補償，依據該原則第 3 點之規定，一方面對特定之個別公益提供者，依其損失之大小或付出成本之大小，給予適當補償，他方面則強調回饋與補償之處理，以協商方式決定。基此，現行自來水法係以上述規定為基礎於第 12 條之 2 第 3 項、第 4 項分別規定：「第 1 項水源保育與回饋費得納入中央主管機關水資源相關基金管理運用，專供水質水量保護區內辦理水資源保育與環境生態保育基礎設施、居民公共福利回饋及受限土地補償之用，其支用項目如下：

- (一)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。
- (二)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。
- (三)發放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補償金事項。
- (四)原住民族地區租稅補助事項。

(五)供緊急使用之準備金。

(六)徵收水源保育與回饋費之相關費用事項。

(七)使用水源保育與回饋費之必要執行事項。

(八)其他有關居民公益及水資源教育、研究與保育事項。

「前項第 3 款之補償應視土地使用現況、使用面積及受限制程度，發給補償金，並由主管機關與土地所有權人或相關權利人締結行政契約。補償對象以私有土地所有權人或相關權利人為優先，其發放標準及契約範本，由中央主管機關會同行政院原住民族委員會及相關部會定之。其行政契約應明訂所有權人或相關權利人土地容許使用項目、違約處罰方式等。」。其立法理由係為：「水資源保育費之支用範圍，已辦理水資源與環境生態保育基礎設施、居民公共福利回饋及受限制土地補償為限，爰於第 3 項明定之。水資源保育區內之水資源保育、自來水、排水、其他水利設施、造林、保林、水源涵養、水土保持措施、污水下水道、廢污水處理、垃圾處理、公園及其他環境保護或生態保育措施等設施，原均由目的事業依其法規辦理之，惟為強化水資源保育功能，得由水資源保育費之用以加速其工作之推展。為有效運用經費，避免浮濫，且促使目的事業主管機關持續編列相關經費積極辦理法定權責，爰於第 4 項明定目的事業主管機關依其權責負擔一定比例之配合款，並授權中央主管機關會商目的事業主管機關訂定其辦理項目、數量、決定程序及地方目的事業主管機關應負擔配合款之比例。第 4 項前段明定因水資源保育區之劃設，致土地使

用受限制時之補償發放，應由主管機關以行政契約…發給，並授權中央主管機關依土地使用現況、使用面積及受限制程度訂定發放標準及契約範本，俾供依循。第 4 項後段規範政府與補償金領取人訂定之契約要項。」。是以，有關「水源保護與回饋費」，不但應納入中央主管機關水資源相關基金進行管理運用，其支用項目除用於辦理水資源與環境生態保育基礎設施外，主要係用於「居民公共福利回饋」及「受限制土地補償」上，其中補償金之發放尚要求主管機關應與土地所有權人或相關權利人締結行政契約，以確保土地受限者之權益。

對此，中央主管機關除訂有「水質水量保護區土地受限補償行政契約範本」外，尚訂有「水質水量保護區土地受限補償金發放標準」，依據前揭標準之規定，補償對象，為位於水質水量保護區內受限制使用之土地，並於申請受限補償之日，土地登記簿記載之土地所有權人或相關權利人（第 4 條第 1 項）。補償之順序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（第 4 條第 2 項）；土地所有權人得向當地鄉（鎮、市、區）公所申請土地受限補償，由鄉（鎮、市、區）公所納入年度水源保育與回饋計畫。鄉（鎮、市、區）公所於計畫核定後，辦理受理締結行政契約公告（公告期間為 30 日）、契約造冊、查核及締結行政契約事項（第 5 條第 1 項、第 6 項）。契約締結後，雙方當事人共同填具土地登記申請書，並由土地所有權人代表向地政機關申請辦理註記後，土地所有權人或相關權利人始得向受理土地

受限補償之鄉（鎮、市、區）公所領取補償金（第 6 條、第 7 條），並要求公所應於公庫設置土地受限補償金保管專用帳戶，而土地受限補償金保管專用帳戶所生之孳息，納入其水源保育與回饋費專戶管理運用（第 8 條）。

另一方面，因自來水法第 12 條之 3 第 1 項及第 4 項係分別明定：「水資源相關基金應依各水質水量保護區分別設置專戶，各專戶並設置運用小組管理運用。專戶運用小組成員由相關中央主管機關、水質水量保護區與其用水地區地方主管機關、民意機關代表、居民代表及社會公正人士組成；其設置要點由水資源相關基金管理委員會定之。」、「水源保育與回饋費徵收後，原依本法附徵之水源特定區協助地方建設費用，納入水源特定區專戶管理運用。」對此，中央主管機關訂有「水質水量保護區專戶運用小組設置要點」，依據該要點之規定，水質水量保護區專戶運用小組（下稱專戶運用小組）之任務包括：「審查水源保育與回饋計畫」、「審查與協調水源保育與回饋費運用事宜」、「審查與協調水源保育與回饋費支用項目」、「督導與檢討水源保育與回饋計畫執行及成果」及「審查其他有關水源保育與回饋事項」（第 2 點）。而水質水量保護區位於單一直轄市或縣（市）者，專戶運用小組之召集人由該直轄市或縣（市）政府委員代表擔任之；保護區跨直轄市與縣（市）或二縣（市）以上者，由保護區內面積最大之直轄市或縣（市）政府委員代表擔任之（惟若原依本法附徵協助地方建設費用之水源特定區，其專戶運用小組之召集人則由委員互選之（第 4

點)。專戶運用小組之行政工作（下稱小組行政機關），係由召集人代表之直轄市或縣（市）政府辦理（第 5 點）。至「水源保育與回饋計劃」之提出與審查程序，按前揭要點第 7 點及第 8 點係分別明定：「水質水量保護區內所在鄉（鎮、市、區）公所，應於每年 9 月底前依據自來水法第 12 條之 2 第 3 項各款水源保育與回饋費支用項目提出次年度鄉（鎮、市、區）公所水源保育與回饋計畫，由小組行政機關彙整成水質水量保護區之水源保育與回饋計畫，提送專戶運用小組審查（第 1 項）。水質水量保護區跨直轄市與縣（市）或二縣（市）以上者，鄉（鎮、市、區）公所提出前項計畫時，應函知所屬之直轄市、縣（市）政府（第 2 項）。第 1 項水質水量保護區之水源保育與回饋計畫，經專戶運用小組審查核定後，應於次年 4 月底前提報水資源作業基金管理會備查；逾期未提報者，於下年度再行提報。（第 3 項）」、「小組行政機關應依審查核定之水源保育與回饋計畫經費，檢附收據及執行計畫之直轄市、縣（市）政府與鄉（鎮、市、區）公所納入預算證明向經濟部水利署申請撥付，該項撥付經費屬鄉（鎮、市、區）所執行部分，由小組行政機關代收代付，轉撥予執行計畫之鄉（鎮、市、區）公所，其餘經費為專戶運用小組行政費（第 1 項）。原依本法附徵協助地方建設費用之水源特定區，由水源特定區管理機關依審查核定之水源保育與回饋計畫經費，檢附收據及鄉（鎮、市、區）公所納入預算證明向經濟部水利署申請撥付（第 2 項）。專戶運用小組行政費之支出範圍以房舍建造及車輛購置

以外之辦公設備費、加班費及業務費為限，並不得高於其水質水量保護區該年度徵收所得水源保育與回饋費之百分之三·五（第 3 項）。」由此可知「水源保育與回饋計劃」須由水質水量保護區所在之公所提出，經專戶處理小組核定後，始能向經濟部水利署申請撥付。另依據前揭要點第 9 點之規定，專戶運用小組每年至少一次應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，有權停止轉撥予該鄉（鎮、市、區）之水源保育與回饋經費，與追回已撥付經費。

除此之外，經濟部更於 99 年 3 月 18 日經水字第 09904601630 號函給各地方政府要求：「有關水源保育與回饋費辦理個人直接回饋項目（以個人利益為出發點或目的，並以金錢或有價證券發放於個人者），請依下列原則辦理：

- (一)個人直接回饋事項之經費編列與運用，應保持保育與回饋並重之立法意旨辦理。
- (二)個人直接回饋事項經費發放原則：
  - 1.應依直轄市、縣（市）政府既有相關規定辦理。
  - 2.應訂定執行之配套措施（如補助依據、程序、對象資格、辦理事項、發放額度之計算標準、經費核銷方式、執行事項成果審核與監督考核等），且應遵照相關主計、會計等規定。
  - 3.有關會計核銷方式除應檢附所補助之保護區內居民（設有戶籍且有居住事實）名冊外，應依辦理事項檢附其他證明文件。
  - 4.補助方式應避免造成民眾浪費之情形，例

如水電費補助事項以定額（如基本費）方式補助，不宜予以全額補助，以避免民眾浪費資源。

5.不得藉由辦理相關活動發放現金或有價證券予參與對象或保護區內居民。

(三)個人直接回饋事項範疇（每 2 年檢討 1 次）：

- 1.教育獎助學金額：獎助學金、營養午餐。
- 2.醫療保健類：健保費、意外保險費、老人津貼、生育補助、喪葬補助、傷殘補助。
- 3.水電費類：水費、電費、圾垃清潔費、電話費、有線電視費。
- 4.急難救助類：急難救助金。
- 5.保育事項獎勵類：清潔比賽獎勵金、保育工作傑出人士獎勵金、保護區內居民至保護區外之水資源教育觀摩事項。」可視為辦理個人直接回饋項目之細節性事項規定，具有行政程序法第 159 條行政規則之性質。

值得一提的是，自來水法第 12 條之 2 於 93 年增訂後，期間經過兩次修正，皆係涉及「水源保護與回饋費之「支用」問題。詳言之，自來水法第 12 條之 2 第 5 項原係規定：「水質水量保護區內非營利之家用自來水水費減半收取，其減收費額由水源保育與回饋費支應」，立法理由係認配合第 12 條之 2 第 3 項第 2 款之水電費部分，增列第 5 項條文。惟於 99 年 1 月 27 日修正時，卻將該項刪除，並就特定項目之經費分配與考量原住民之權益於第 5 項增訂：「支用第 3 項第 1 款至第 5 款、第 7 款、第 8 款之經費，由水質水量保護區專戶運用小組依其區內土地面積及居民人口比例，分配運用於區內各鄉（鎮、市、區）。但原住民族鄉應從優考量」，

但刪除原第 5 項條文不但引發水質水源保護區民眾之質疑，更因經費恐被地方政府挪用至他處使用而遭批評，因而於 99 年 6 月 15 日修正時，除維持 99 年 1 月 27 日修正前之第 5 項之規定外，另於第 6 項增訂：「水質水量保護區內非營利之家用自來水水費減半收取，其減收費額由水源保育與回饋費支應。保護區內原住民地區非屬自來水供水系統之簡易供水設施，應加速辦理。」立法理由認為居民公共福利回饋及受限土地補償方式，以自來水水費補貼最符合公平受益原則，並能具體實現回饋居民之宗旨，同時為解決原住民部落供水問題，行政院委員會已依據年度預算程序，編列預算辦理「原住民族部落水資源規劃及供水計畫」，因此保護區原住民供水系統，應依據該項計畫加速辦理之。又此次修正尚增訂第 7 項：「同一鄉（鎮、市、區）公所跨二以上保護區者，其水源保育與回饋費，得經各該保護區之運用小組協調及審議通過後運用之。」而成為現行之條文架構。

## 五、代結論：對於水源保護回饋制度之我見

綜合以上之論述可得知，「水源保護與回饋費」之法律性質係為「特別公課」，其納入中央主管機關水資源相關基金管理運用，並專供水質水量保護區內辦理水資源保育與環境生態保育基礎設施、居民公共福利回饋及受限土地補償使用，可視為損失補償之一種變體及環境法上「原因者付費原則」之體現。惟無論在該費用定性為「特別公課」之妥適性，以及該水資源相關基金是否有被合理運用，其討論的關鍵點在於水源保護與

回饋費」之支用是否公平、合理。

以個案來看，臺南地區過去曾有位於水質水量保護區之多位居民分別向水利署、區公所及議員陳請有關南化水庫之回饋費發放不公、執行回饋費發放進度不夠積極、各項補助項目需附單據且有的項目尚須辦理訪視（以了解有無實際居住）實為擾民、部分支出無法補助、個人補助款項設定上限不合理並未有「中央、地方標準不一」等疑義，雖此部分係屬執行層面之問題，但若配合前文之論述，本文認為現行水源保護回饋制度至少有以下待檢討之處：

- (一)特別公課與租稅並不相同，水源保護有關環境生態之維護及受限居民之補償，是否在一般租稅亦即一般預算中難以達成，以及有關水源保護與回饋費之徵收及支用是否符合法律保留原則，因涉及特別公課之合憲性，容有更深入討論之必要。
- (二)補償金給付由協商決定而非採取法定義務性補償方式妥適性，由其在公權力與居民間若處於上下之不對等關係，則容易發生包著協商外衣之實質片面決定補償金額之情形，亦有違「補償法定主義」之要求，建議宜修改為義務性補償之方式。另除金錢補償外，其他補償方式（如交換土地）亦可考慮。
- (三)將費用回饋於水質水量保護區全體居民這種通通有獎之作法，恐造成費用支出不公平。且位於水質水量保護區內之原住民地區與非原住民地區，其回饋費之支出運用宜由政府進行完善之整體規劃。
- (四)經費動支由基層公所實質決定之妥適

性。詳言之，依據自來水法施行細則第 3-2 條規定：「本法第 12 條之 2 有關水源保育與回饋費之徵收、締結受限補償行政契約與發放補助金，中央主管機關得…委辦地方政府辦理」可知，自來水法與該法施行細則係將水源保育與回饋費之徵收與發放補償金視為是「委辦事項」，亦即地方制度法第 2 條第 3 款所稱之「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」，地方政府辦理委辦事項，其地方立法權僅限於依地方制度法第 29 條定訂「委辦規則」，且必須函報委辦核定後始能發布實施。同時依據前述之「水質水量保護區土地受限補償金發放標準」與「水質水量保護區專戶運用小組設置要點」之相關規定可得知，不但要求公所應於公庫設置土地受限補償金保管專用帳戶，實際動支亦交由公所實質決定，這些不但在自來水法中無明文，地方政府(直轄市政府、地方政府)在此反而僅扮演僅有小組行政機關及配合稽查之角色，亦與前述施行細則之規定有違，若再搭配前述補償金係透過「協商」而非「義務性補償」之方式，恐造成公所間發放比例之差異。對此，受到釋字第 426 號解釋理由書有關：「空氣污染防治費之徵收尚涉及地方政府之權限，基金支出尤與地方環保工作攸關，預算案受形式及內容之限制，規定難期周全，有關機關對費率類別、支出項目等，如何為因地制宜之考量，仍須檢討改進，逕以法律為必要

之規範」之啟示，本文認為，水源保育與回饋費之徵收與發放補償金亦涉及地方政府之權限，基金支出亦與地方行政工作攸關，因此建議若進行小幅改革，除可將補償改為「義務性補償」外，併可考慮於自來水法第 12 條之 2 中明定補償金之回饋可由地方政府依地區之需要，訂定委辦規則決定該地區發放補償金之標準；大幅改革可考慮將水源保育與回饋費之徵收與發放補償金定位為「自治事項」，若涉及兩行政區域以上之事務，則可視為地方自治團體間之合作事務，但這還涉及相關法制之配套，乃非易事。但無論如何，皆宜由地方政府扮演要角，而非基層之公所。

(五)水質水量保護區之劃設，相關法令對於在地居民土地之種種限制，係直接、嚴重限制人民財產權及居民自由（司法院釋字第 709 號解釋參照），但自來水法卻無相關民眾參與機制作為配套，易造成人民與政府機關之衝突與對立，因此站在以「強化民眾參與」藉以降低紛爭之角度來看，於自來水法中明定主管機關應舉辦聽證程序，防止公權力措施片面決定，尚無不可。

總之，有關水源保護之回饋與補償，仍有諸多問題待進一步深入討論，本文礙於篇幅，僅能就現行法令進行粗淺之介紹並提出初步之後續研究及改革方向，至有關更入之理論面及實務爭議，容於他文中再繼續進行更進一步之討論。

## 參考文獻

1.李震山，「行政損失補償請求權-以行政程序法之補償規定為例」，收錄於氏著，多元寬容與

人權保障-以憲法未列舉權之保障為中心，臺北：元照，2007年，頁321-386。

2.柯格鍾，「特別公課之概念及爭議-以釋字第426號解釋所討論之空氣污染費為例」，月旦法學第163期，2008年12月，頁194-215。

3.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9期，2002年10月，頁123-159。

4.黃俊杰，「公課之性質」，月旦法學教室第40期，2006年2月，頁20-21。

5.黃琮逢，「水質水量保護區水源保育與回饋費查核管控制度之檢討及建議」，水利第21期，2011年12月，頁161-166。

6.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。

7.葉俊榮，「集水區保護與開發的衝突與調和：永續發展理念下的改革方案」，收錄於氏著，環境理性與制度抉擇，臺北：三民，1997年，頁123-164。

8.葉俊榮，「環保自力救濟的制度因應-解決紛爭或強化參與」，收錄於氏著，環境政策與法律，臺北：元照，2010年，頁315-342。

9.葛克昌，「特別公課與地方財政工具」，台灣法學第213期，2012年12月1日，頁146-156。

10.劉筱蕾，「環境治理機制之探討：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。

## 作者簡介

### 徐良維先生

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