

# 自來水會刊第30卷第3期目錄



## 特 載

知識經濟時代領導新思維.....陳福田..... 1

## 實務研究

降低高屏溪攔河堰原水濁度之研討.....楊品龍、曾浩雄..... 16

公館加壓站支援三重供水轄區變頻運用之探討.....

.....王銘搏、彭伊呂、李叔龍、黃仁正、朱健行..... 26

節能無負壓污染之馬達直接抽水設備改善案例探討.....江清蓮、張宏瑋..... 38

## 每期專題

### 自來水設備耐震

自來水管網系統之震後供水率推估.....劉季宇、葉錦勳、洪祥瑗、周光武..... 49

臺北地區自來水設施耐震評估與風險管理探討.....鄭錦澤、黃裕泰..... 59

自來水設施耐震評估與配水管網功能診斷技術研討.....康世芳、仇士愷..... 67

美國康乃爾大學地下管線地層錯動試驗研究簡介.....鍾立來、陳振豪、劉季宇..... 71

由東日本大震災探討耐震接頭延性鑄鐵管於軟弱地盤之應用需求.....王詠民..... 78

## 一般論述

檢測方法儀器及試劑影響自由有效餘氯準確度之研究.....許國樑..... 88

## 協會與你

中華民國自來水協會第17屆理、監事會第3次聯席會議紀錄..... 94

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 77

## 自來水會刊雜誌稿約

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

## 自來水會刊雜誌

**發行單位：中華民國自來水協會**

發行人：陳福田

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

**中華民國自來水協會編譯出版委員會**

**主任委員**

黃志彬

**副主任委員**

吳美惠

**委員**

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

**自來水會刊編輯部**

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

**總編輯：吳美惠**

**執行主編：李丁來**

**編審委員**

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

**執行編輯：林正隆**

電話：(04)22244191 轉 514

**行政助理：古蔡苓**

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區自強街 50 號

電話：(04)23607717

# 知識經濟時代領導新思維

文/陳福田

## 一、前言—心隨境轉

2002 年，93 歲高齡的一代管理宗師彼得·杜拉克(Peter Drucker)於其鉅著《下一個社會》(Managing in the Next Society)乙書中指稱，下一個社會將是知識型社會，知識的價值遠遠超過資本、設備、自然資源或土地，躍居經濟發展的關鍵要素。經濟發展從農業社會的勞力密集，工業社會的資本、技術密集，轉變為以「知識」為基礎的經濟型態，而「知識工作者」(Knowledge Worker)將成為社會的主導力量。

在知識經濟的運作過程中，人力資本扮演重要的角色。只有高素質的人力資本才能有效地產生知識，而這也說明高級人力的培育及羅致的重要性。知識經濟引發人力、工作性質和組織結構的迅速轉型，過去之成功領導者在未來知識經濟時代，未必是一位有效能的領導者(Effective Leader)。何以致之?美國哈佛商學院領導學講座教授約翰·科特(John P. Kotter)指稱，其癥結應在於「管理過度，而領導不足」(Over Managed but Under Led)。

近年來，台水公司面臨人力老化、經驗斷層等問題，為積極活化人力資源，經由甄選進用年輕、高學歷人員，知識工作者的質與量明顯提升。惟公司過去經營環境相對單純、穩定，強調內部效率的官僚文化根深蒂固；面對新一代工作者，若仍拘泥於傳統官

僚組織威權式領導，或將抱殘守缺，無法激勵其士氣。是故，如何領導、激勵與留任這群知識工作者，並提高他們的工作生產力，成為公司創造與維繫競爭優勢的重要議題。

本文前以「心隨境轉」啟言，後以「因勢利導」結語，隱寓世上無放諸四海皆準的領導模式，即領導思維須因「境」制宜、與「時」俱進。內文首由「權力、管理與領導」，闡釋「領導」之真諦；次就「領導理論評述」，剖析不同的時空，專家學者所提不同的見解；末依「知識工作者」之特質，就知識經濟時代「領導新思維」試抒芻議，以就教有方，冀期拋磚引玉。茲勾勒本文觀念架構如圖 1。

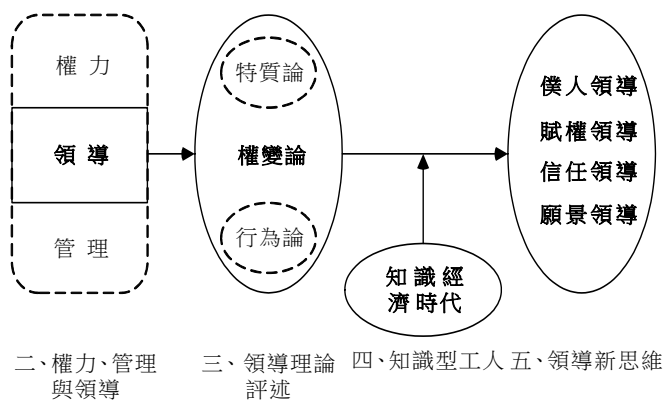


圖 1 本文觀念架構

## 二、權力、管理與領導

領導功能一直是許多學者致力研究議題之一。自管理的角度觀之，在個人與組織互動的過程，最具有動態影響作用的因素，便是領導(Leadership)。換言之，管理者欲求「群策群力、以竟事功」，有賴領導功能之發揮。

(一)領導之真諦

時至今日，學者們對「領導」或「領導

者」之詮釋，眾說紛紜，不一而足，茲彙示

如表 1。

表 1 中、外學者對領導(者)的詮釋

學 者	對領導(者)之詮釋
Robbins & Decenzo, 2001	領導者是能夠影響他人，而又同時擁有管理職權的人
Tannenbaum et al, 1961	領導是一種人際關係活動的程序，領導者經此程序影響他人行為，使其趨於達成既定的目標
Fred Fiedler, 1967	領導者是團體中被派任指揮與統合相關活動的人
許士軍, 1981	在一特定情境下，為影響一人或一群人之行為，使其趨向於達成某種群體目標之人際互動程序
郭崑謨, 1984	領導是用來刺激和激勵部屬達成指定工作的方法
林永順, 2000	領導是使用非強迫性影響力，以指導及協調組織成員之活動，嘗試去達成組織目標的過程。領導者是能獲得追隨者信任，並影響他們去達成目標的人

綜彙上述，筆者將領導定義為「影響一個人或一群人的程序，期使他們心甘情願地、熱誠地朝向群體或組織目標而努力。」析解之，領導之真諦繫於如下三項要件 (Requirement)。

1. 領導要能影響(Affect)他人，意即領導者「有心插花花不開」，卻無法影響他人行為，不能算是領導。
2. 領導要有意圖(Attempt)，意即領導者無所企圖，卻「無心插柳柳成蔭」，也不能算是領導。
3. 領導要有效果(Effect)，意即有效的領導必須達成群體或組織既定的目標。

(二)領導效能之測度

有效領導(Effective Leadership)不僅追求「組織目標」(Organizational Objective)之達成，亦且關心「個人目標」(Individual Objective)之滿足。易言之，領導效能之高低取決於「人」與「事」二項變數，亦即  $E = f(I, O)$ ，其中，E 為 Leadership Effectiveness；I 為 Individual

Objective；O 為 Organizational Objective。茲繪示有效領導之內涵如圖 2。

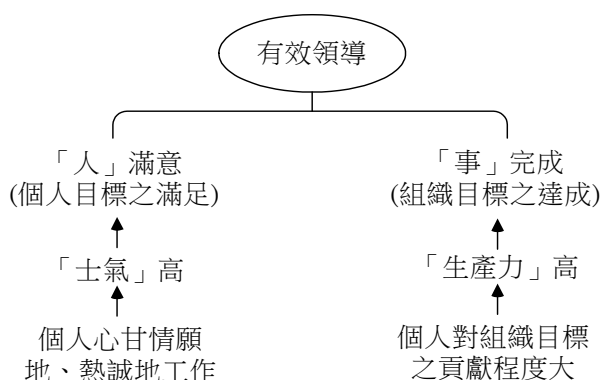


圖 2 有效領導之內涵

一般言之，個人目標與組織目標常非一致，甚或衝突。個人目標謂個人之欲求(涵括生理需求、安全需求、隸屬需求、自尊需求與自我實現需求之滿足)；組織目標係組織託付個人之任務(如生產量、利潤等生產力指標)。前者影響士氣(Morale)之高低，後者決定生產力(Productivity)。如何促使部屬高士氣、高生產力，在在考驗領導者之領導藝術。

### (三)權力與領導

權力(Power)乃某人影響他人執行命令、服從規範的力量。對一個領導者而言，為達成群體目標，領導者必須藉助權力來影響其部屬，因此權力是領導者影響部屬，達成群體目標之一種重要工具。其中，來自職位之影響力，謂之職權(Authority)，因此職權乃是權力來源之一。有職權的人常具有權力，但有權力的人未必有職權。

管理學者法蘭斯(French)和雷芬(Raven)將權力區分為五，即獎賞權、強制權、法職權、參照權與專家權，茲分述並繪圖如下。

- 1.獎賞權(Reward Power)：係藉由物質、精神的獎賞與鼓勵而取得的權力。
- 2.強制權(Coercive Power)：係藉由物質、精神的強迫或懲罰而取得的權力。
- 3.法制權(Legitimate Power)：係依法規而取得的權力。
- 4.參照權(Reference Power)：係因人格高尚使人產生認同而取得的權力。
- 5.專家權(Expert Power)：係藉由本身的專業知識而取得的權力。

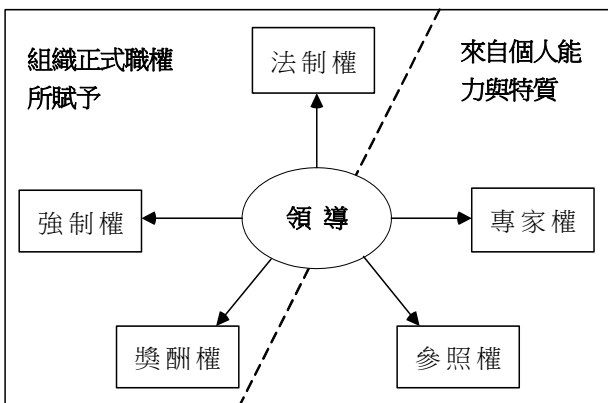


圖 3 領導之權力來源

許多成功的領導者，並不是藉助傳統的職位發揮作用。例如，印度國父甘地一生沒有任何職務，也從未以強硬的手段完成什麼事情。然而，正是這樣一位平凡者，卻以個人的魅力和影響力，成為偉大的領導者，並改變了整個國家的命運。

### (四)管理與領導

就廣義的觀點而言，「領導」為「管理」的一環節或一構面，所謂「管理程序」，包括規劃、組織、用人、領導以及控制等各種「管理功能」(Management Function)，彼此配合，發揮「管理效能」(Management Effectiveness)。這一觀念模式，可說是耳熟能詳。

晚近，將「領導」與「管理」予以區隔逐漸流行。亦即就狹義觀點而言，領導與管理看似相近，實則有別。例如當代管理學大師約翰·科特(John Kotter)指出，值此知識經濟時代，諸多企業「管理過度，而領導不足」；又，成功地將 IBM 轉型的前執行長葛斯納(Louis Gerstner)在《誰說大象不會跳舞》乙書中，指出：「偉大的機構不是靠管理，而是靠領導；不是靠行政控制，而是靠員工對於勝利的熱情。」領導似乎成為凌駕管理的妙方。

早期，管理針對之標的，主要是「物」的管理，如機器設備、原物料、資金或操作方法，彼等皆具機械性、重複性與數量性等屬性。因此，可透過科學的數量分析與實驗，發現「最佳方法」，訂定明確而具體的步驟，例如分工、標準化作業程序與規範等，從而要求工作者遵守實行。這套傳統的架構與程

序，多年來被認為就是「管理」，其追求的是穩定、效率和紀律。

然而，環境更迭，進入所謂「知識經濟時代」，其所追求的是，不斷應用知識以發掘新機會、開發新產品和運用新方法。換言之，在知識經濟時代，組織之生存和發展有賴「創新」，甚至要顛覆過去的想法和做法，其與傳統的管理觀念大相逕庭。此時，決定組織競爭力的要素不是「物」，而是「人」，一群能夠取得和應用知識的「知識工作者」。對於知識工作者的管理，乃是引導、鼓勵和支持他

們各盡所能，有效發揮其知識與能力，而非嚴格的限制、指揮和監督。這種針對「人」的管理，特以「領導」(Leadership)名之且卓然獨立，以別於傳統的「管理」(Management)，代表一種引領變革、支持創新的管理功能。

易言之，知識經濟時代，領導(者)係就企業發展長遠的觀點建構組織的方向與目標，鼓舞激勵員工向現況挑戰，期謀企業的發展與成長。另則，管理(者)則係遵循領導(者)規劃之方向、目標，擬定計劃時程、忠實執行並從事控制。茲彙示兩者主要區別如表 2。

表 2 領導(者) 與管理(者)的主要區別

構 面	領 導 ( 者 )	管 理 ( 者 )
組織層級	<ul style="list-style-type: none"> <li>●就某公司而言，董事長、總經理為領導者</li> <li>■就某部門而言，部門主管是領導者</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●就某公司而言，除董事長、總經理外，其餘主管是管理者</li> <li>■就某部門而言，除部門主管外，其所轄主管為管理者</li> </ul>
主要職責	引領願景	達成使命
工作焦點	做對的事(Do the Right Things)	把事做好(Do the Things Right)
工作內容	強調對「人」的影響，工作重點在於激勵與溝通，藝術成份多於科學成份	著重對「事」的管理，工作重點在於規劃與控制，科學成份重於藝術成份
環境導向	領導是「向外看」，為引領企業發展的方向，關注外在環境之變化	管理是「向內看」，係接受指令完成工作，較關心組織內部運作是否順暢
思考標的	重視內容(What)和原因(Why)	重視方法(How)和時間(When)
時間幅度	長遠觀點	短期觀點
權力來源	偏重「專家權與參考權」，引領組織成員朝向組織目標前進，成員較能心悅誠服	偏重「法制權、強制權與獎酬權」，故組織成員往往是臣服於管理者的職位權力

領導者和管理者的角色往往重疊。例如一家公司的最高主管，需要各部門主管執行管理工作，並貫徹經營理念；而部門主管對於所帶領的部屬，也需要具備一定的領導能力，才能帶領該部門同仁樂在工作、達成目標。換言之，不論是「領導者」或是「管理者」，「領導力」都是帶領同仁達成目標的重要能力。

實則，管理與領導，兩者缺一不可。缺乏管理的領導將引發混亂；缺乏領導的管理容易滋生僚氣。管理無法取代領導，同樣地，領導也不是管理的替代品，兩者存在互補的關係。組織需要好的管理者以達成使命(Mission)，但更需要好的領導者帶領組織實現願景(Vision)。

### 三、領導理論評述

我們常聽到「領導是藝術」這句話，正因為它是藝術，運用之妙存乎一心，所以沒有尺度，也難量化。雖然許多學者專家嘗試尋覓決定領導效能(Leadership Effectiveness)之變數，惟因領導者是人，被領導者也是人，其間存在相互影響(Interrelated)之程序，錯綜複雜且難以辨認。因此，決定「領導效能」之變數為何，百家爭鳴，莫衷一是。

然而，學者對領導效能的探討與辯證卻未曾稍歇。一般而言，領導理論約可分為(1)特質論(2)行為論(3)權變論等三者，茲就三者分別評述如下。

#### (一)特質論(Trait Approach)

特質論認為領導才能是「先天的」，領導者若具有聰慧、靈敏、自信等「人格特質」，其領導效能高，即所謂「英雄造時勢」。茲臚列特質論學者及其研究結論如表 3。

表 3 特質論學者及其研究結論

專家學者	高效能領導者之特質
Stogdill	(1)能力：包括智慧、機警、善於言詞、判斷 (2)成就：包括學識、知識及運動的成就 (3)責任：包括可信賴度、主動、堅忍、積極、自信，以及超越他人的欲望 (4)參與：包括參與活動、社交能力、與人合作、適應能力 (5)地位：包括社經地位以及聲望
Edwin & Ghiselli	(1)高人的智力 (2)強烈的自信心 (3)決斷力強 (4)高成就慾望 (5)整合管理能力 (6)自我實現能力
Warren Bennis	(1)他們對目標具有引人注目的願景及感覺 (2)能夠將此一願景以清楚明確字眼和部屬溝通並使其瞭解 (3)他們展現一致性並將焦點著重在追求願景 (4)他們知悉本身的優勢並善加利用
Conger & Kaunango	(1)自信(2)建立願景(3)闡明願景的能力(4)對於願景的強烈信仰(5)行為異於尋常(6)改革的推動者(7)對環境的敏感度高

不可否認的是，具有某些「偉人人格特質」之領導者常獲致較高之領導效能，惟卻無法適用所有情境(Situation)，即如一位戰功彪炳之將軍常非承平時卓越之首長，此類案例，俯拾皆是。

#### (二)行為論(Behavior Approach)

「特質論」認為領導者是天生

的，所以組織要找具有這些特質的人擔任領導工作；但是，「行為論」則認為一個優秀的領導者是可以經由後天訓練、學習培養，亦即經由有效模仿成功領導者的行為，無效能的領導者亦能變成有效能的領導者。茲臚列行為論學者及其研究結論如表 4。

表 4 行為論學者及其研究結論

領導理論	行為構面	結 論
三種領導方式理論 (White & Lippitt)	(1)專制型：命令、集權 (2)民主型：包容、授權及鼓勵參與 (3)放任型：讓部屬自行決策和完成工作	「民主型」領導方式之領導效能最佳
雙構面理論 (Ohio State)	(1)體恤(Consideration)：考量部屬的想法與感受 (2)體制(Initiation Structure)：對部屬的角色及工作方式訂有詳細的規範、程序	採取「高體恤，高體制」領導方式之領導效能最佳
「工作中心式」與「員工中心式」理論(Likert)	(1)員工導向：強調人際關係與關懷員工需求 (2)生產導向：強調任務達成	「員工導向」領導方式之領導效能最佳

「行為論」補充了「特質論」解釋上的不足，亦即缺乏偉人人格特質之領導者若能採取合適之領導方式，亦可獲得高效能領導。惟「行為論」仍無法適用所有情境(Situation)，即以「民主型領導方式」為例，其或適用於高素質之部屬，惟或不適用於低素質之部屬。

(三)權變論(Contingent Approach)

同一領導者、相同的領導方式，為什麼在某公司能創造出好的績效，但是在另一公司卻績效不佳，「特質論」與「行為論」皆無法解釋，因此，「權變論」應運而生。權變論者指出，身處不同的「情境」，應採取不同的領導方式。不同於特質論「英雄造時勢」的論調，權變論認為，應係「時勢造英雄」。茲臚列權變論學者及其研究結論如表 5。

表 5 權變論學者及其研究結論

領導理論	領導方式	情境因素	結 論
情境領導模式 (Hersey & Blanchard)	(1)告知型 (2)推銷型 (3)參與型 (4)授權型	部屬成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>■低度成熟之部屬適合採取「告知型」領導方式。</li> <li>■中低度成熟之部屬適合採取「推銷型」領導方式。</li> <li>■中高度成熟之部屬適合採取「參與型」領導方式。</li> <li>■高度成熟之部屬適合採取「授權型」領導方式。</li> </ul>
路徑目標領導模式 (House & Mitchell)	(1)指導式 (2)支持式 (3)參與式 (4)成就取向	(1)工作特性 (2)員工特性	領導風格需視工作特性、員工特性而調整。

其中，以賀賽與布蘭佳(Hersey & Blanchard)所提情境領導模式(Situational Leadership Model)廣受實務界的應用。情境領導模式指稱，一位有效領導者應依據部屬成熟度(Maturity)調整其領導方式。

Hersey、Blanchard 首先以「部屬成熟度」代表所面對的領導情境。所謂成熟度，係指部屬之「工作成熟度」(即能力，由知識、技能、經驗所構成)與「心理成熟度」(即意願，由動機、自信所構成)。根據這兩個構面可將部屬分為(1)低度成熟(M1，低能力、低意願)(2)中低度成熟(M2，低能力、高意願)(3)中高度成熟(M3，高能力、低意願)(4)高度成熟(M4，高能力、高意願)等四類。

Hersey、Blanchard 再以「任務導向」(Task-Oriented)、「關係導向」(Relationship-Oriented)為變數，架構出四種不同領導方式。其指出，對不同成熟度之員工宜採取不同之領導方式。茲闡述並圖示如下。

- 1.告知型領導方式(Telling, S1)：即「高任務導向、低關係導向」領導方式。因部屬處於低度的成熟狀態，領導者的重點應放在完成任務工作之引導，詳細地教導員工如何作業以達成目標。
- 2.推銷型領導方式(Selling, S2)：若員工沒有能力卻有意願，除了維持高任務導向來教導員工外，還須配以高度的支持與激勵，如

圖顯示即是沿著鐘形曲線往上，此時主管應以推銷型領導方式來領導員工。

- 3.參與型領導方式(Participating, S3)：若員工有能力完成任務，但是卻提不起意願，此時主管的任務導向可降低，因為員工已有能力；但是仍要維持高的關係導向，即激勵他們參與，讓員工願意提供其專業知識。
- 4.授權型領導方式(Delegating, S4)：若部屬成熟度高，既有能力、也有意願工作，主管不必給他們太多的指導與支持，反而信任與授權是最好的領導方式，此時，曲線即往下移。

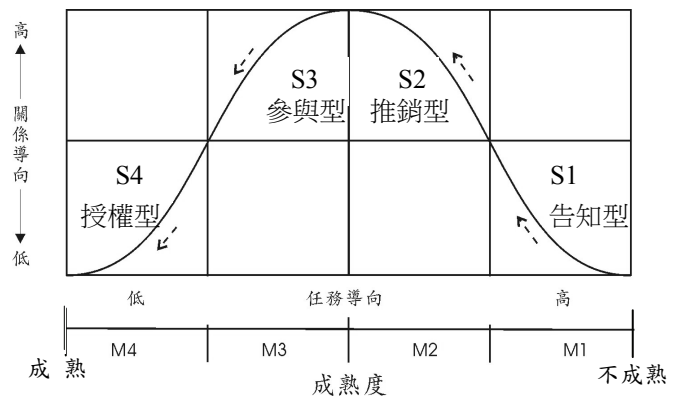


圖 4 Hersey & Blanchard 之情境領導模式

「權變論」確實彌補了「特質論」和「行為論」的不足，因為領導效能的高低不單取決於領導者的特質或領導方式，亦與當時的領導組織情境有關。是故，吾人可視權變論為領導之一般理論(General Theory)；而特質論、行為論為領導之局部理論(Partial Theory)。茲彙示比較如表 6。

表 6 特質論、行為論與權變論之比較

領導理論	「領導效能」函數	說明
特質論	$E = f(L)$ E : Leadership Effectiveness L : Leader	領導效能取決於「先天的」人格特質
行為論	$E = f(Ls)$ Ls : Leadership Style	領導效能取決於「後天的」學習與訓練
權變論	$E = f(L, Ls, S)$ S : Situation	領導效能除取決於領導者的人格特質與領導方式之外，尚受到部屬特性、工作特性等情境因素所影響

#### 四、知識工作者

##### (一)知識經濟

「知識工作者」(Knowledge Worker)的崛起，與「知識經濟」(Knowledge-Based Economics)當道息息相關。

1776 年以前，企業之競爭力取決於其擁有之「土地」，此即所謂「農業經濟時代」；及至 1776 年工業革命，機械取代人力，促使

生產效率提升，企業的競爭力取決於其所擁有的「資金」，此即「工業經濟時代」；及至 20 世紀末交通便利、資訊發達，「知識經濟時代」應運而生，組織愈來愈倚重無形智慧資本(Intellectual Capital)以增進其競爭力，進一步促使知識工作者的興起。茲以生產函數揭示不同產業階段，決定經營績效關鍵因素之演變如下。

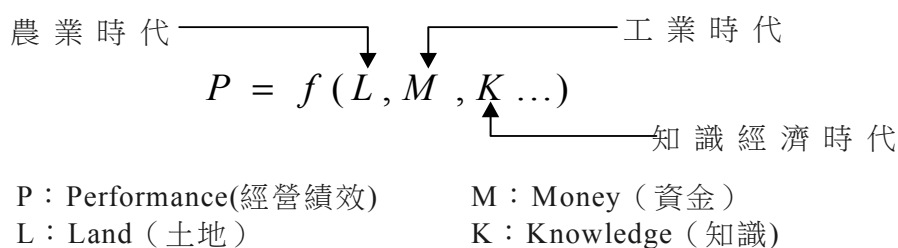


圖 5 經營績效關鍵因素之演變

根據經濟合作發展組織(OECD)於 1996 年所提出之定義，所謂「知識經濟」係以知識為基礎的新經濟模式。其與「工業經濟」之基本差異在於「價值創造」之源泉；後者來自財力與機器設備，而前者則來自知識和創新。換言之，工業經濟依賴「組織」和「規模」，而知識經濟則在於「個人」和「創意」。

這種知識應用具有「創新」性質，也和工業社會「標準化」和「大規模化」應用方式不同。

##### (二)知識工作者的界定

一般人認為「凡是不用體力，而只用腦力工作的人，便是知識工作者」，這是錯誤的觀念。例如，在辦公室中埋頭為顧客填寫訂

貨單、登記送貨地點，並紀錄顧客付帳事宜的業務員，雖然是腦力工作，但都只是例行事務，並沒有使用知識創造出新的知識，因此儘管這個員工從事非勞動的工作，但並不算知識工作者。

知識工作者必須把現有的知識，經過思考、判斷、重組等過程，產出新的知識，例如，行銷人員把市場調查及顧客的特性等資料加以整理，再加上其他知識，經過思考、判斷，最後擬出一套行銷策略，這才是知識工作者。

易言之，企業中的知識工作者就像是一個知識庫(Knowledge Store)，其工作內容係依其專業知識，不斷的提供知識服務給不同需求的人。例如，研發人員提供各種技術性資訊或知識給決策主管或同事，並且透過知識社群共同分享知識，或交換彼此的心得與經驗；同時透過工作的進行，持續地產生知識、應用知識。

### (三)知識工作者與傳統工作者的差異

知識工作者冀求彈性的工作環境、高度的獨立作業，也具有較高的判斷能力，對專業領域的忠誠度遠高於對組織的忠誠度。詳言之，知識工作者與傳統工作者具有下列的差異。

#### 1.工作時間價值的差別

傳統工作者的產出取決於機器生產和開工時間，產量增加即代表價值增加。然而，知識工作者的產出價值來自創新和策略應

用，所講求的不是數量，而是素質，其績效並非取決於工作時間長短。

#### 2.生產過程的差別

傳統工作者在生產過程中投入的是體力、材料與時間，產品則是實物；知識工作者投入的是知識（思考、判斷、創新），產品是無形的新知識。也就是說，知識工作者的日常工作並非依靠體力或簡單、機械的重複性勞動，他們憑藉專業知識，運用腦力進行創造性思維。

#### 3.職業生涯的差別

傳統工作者的職業生涯，多數會經過企業的在職訓練、工作經驗的累積，以及職位的調動與升遷；而知識工作者的職業生涯，大部份是受到企業外部的訓練，諸如書籍、雜誌的閱讀、學術會議的參與，以及導師的帶領等。

#### 4.組織忠誠度的差別

傳統工作者對組織之依賴高，故有較高的組織忠誠度。不同於機器設備係組織「固定」資產，知識造就了「移動」性資源，所以知識工作者能帶著他們頭腦中的專業知識四處移動，他們擁有自己的專業，可以獨立於組織之外，所以對於組織的忠誠度也較低。

#### 5.績效評估的差別

傳統工作者的焦點是對某一動作或是某一功能的完成，可以依照工作說明書照章行事，績效可以客觀衡量，例如每小時生產幾件產品。但知識工作者的產品是無形（如解

決問題)，行事無常規可循，產出也難以客觀評定，正如我們不宜以每小時或每週生產幾個行銷計畫，去衡量行銷人員的績效。

#### 6. 技術與知識改變速度的差別

傳統工作者的技術與知識變化不大，雖然近年來，新技術日新月異，但基本上他們的變化仍然不大，一種技術可以用三、五年，仍舊不會落伍。但是知識工作者則不然，他們使用的知識與技術，天天都在變化，改變的幅度也很大，因此終身學習對他們來說，非常的重要。

#### (四) 知識工作者之工作動機與需求

馬斯洛(Maslow)提出著名的「需求層級理論」(Needs Hierarchy Theory)指稱(一)人類的需求有五，即生理需求、安全需求、隸屬需求、自尊需求、自我實現需求(二)影響人類行為者，乃尚未滿足之需求。

準此觀之，早期的體力勞動者或藍領工人，他們重視基本需求，是出於維持個人基本「生存」的目的；他們的心理需求，是渴望獲得穩定收入的「安全感」。相對而言，知識工作者重視「自尊」(即追求受尊重及影響力)、「自我實現」(即追求成長、成就感)等高層次需求。

易言之，高薪名位只是知識工作者前來投效的誘因，驅動其工作動機和意願的力量，除了來自財務報酬，最主要還是來自工作本身所帶給他的成就感和樂趣。即使為求

生存而不得不屈就於某個企業或職位，他們「身在曹營心在漢」，只會無精打采地、應付地工作，時刻準備逃離現在的企業或職位，去尋找屬於自己熱愛的、具有挑戰的快樂工作。

近年來，諸多企業改採團隊或扁平化之組織結構，復且藉助工作豐富化(Job Enrichment)之工作設計，讓知識工作者有更大的彈性空間，而不是以組織去綁住他們。然而，公司這些激勵措施只能讓人留在公司，但不見得「買」得到員工的責任感，還得加上軟性力量，也就是主管的領導力。易言之，不能用傳統的管理方法去領導知識工作者，而要藉助人性、人情味，一旦感情夠濃，遊牧性格再強的知識人才，都會因為「人生難逢知己」，而落地生根。

### 五、領導新思維

本公司自民國 63 年成立迄今，即將邁入四十不惑之年，人力老化、經驗斷層等問題逐漸浮現。近年來，本公司積極活化人力資源，陸續進用年輕、高學歷人力。本(100)年度經濟部國營事業(台電、中油與台水)招考新進職員，碩士以上學歷錄取者比重逼近五成，創史上新高。隨著高學歷人才增長，知識工作者的質與量明顯提升(台水新進人力學歷結構如圖 6)，如何培育與留住這些具備「游牧民族」性格的知識工作者，乃是本公司必須思考、面對的課題。

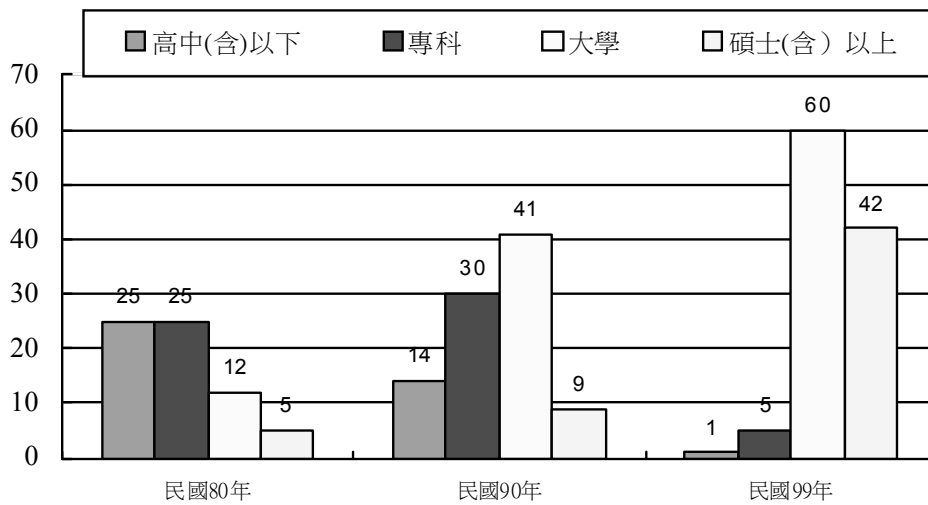


圖 6 台水新進人力學歷結構

多年來，台水為促進自來水公共工程之現代化，投入大量人力、物力於工程建設，以追求內部效率為重點，導致組織結構科層化，管理者自然地偏向任務導向領導方式，其或適用於傳統工作者，惟或難以激發「知識工作者」之士氣、滿足其自我實現的需求，因為知識工作者具專業素養，較重視工作成就、工作發展，能遂行自我管理。是故，如何領導這群工作動機、態度殊異的知識工作者，係本公司各級主管必須正視的新挑戰。

當代領導思維百家爭鳴，本文無法一一詳述。時值知識經濟時代，本文僅就有效領導知識工作者之方略，試抒芻議如下。

(一) 僕人領導（以「服務」取代「威權」）

1979 年，MIT 管理學院教授格林里夫 (Robert Greenleaf) 提出「僕人領導學」的想法，開創領導的新觀點。伊乃基督教貴格會 (Quaker) 信徒，認為人應如宗教信仰的僕人，提供僕人式服務，服務社會也接受他人提供的服務，在服務與被服務的交流過程中，人

們建立信任感、同理心，以此為基礎建構未來美好之社會。深思其言，有效領導者不是因為具有某種權力，而在於可以為他人做出多少貢獻，強調「服務」追隨者 (Followers) 將可提高領導效能。

在《僕人》一書中，Greenleaf 談到威權與威信之差別為：「威權 (Authority) 代表一種能力，運用你的權位，罔顧他人的意願，強迫他們照著你的決心行事；威信 (Prestige) 則代表一種技能，運用影響力，讓別人心甘情願地照著你的決心行事。」如果有人說「不做，就炒你魷魚」、「不做，就讓你好看」，這是在行使威權。如果有部屬說「只要你開口，一句話，我當赴湯蹈火在所不惜」，這位上司是有信譽的。

知識工作者富於才智、遇事執著，會為追求真理而蔑視任何「威權」，傳統組織的職位威權、命令指揮雖能達成某種程度的工作績效，卻難登「卓越」，而且可能會阻礙部屬潛能的發揮、降低其士氣，甚至加深反抗意

識。知識工作者從事的工作較不具結構性(Unstructured)，須要領導者之鼓勵、協助與關懷，尤其是初入職場者，雖然有創意與最新技術，但是畢竟對職場生活了解有限，此時領導者若能主動指點迷津，幫助調適職場壓力，解決他們的困難，像僕人一樣，透過全力服務建立領導「威信」，自然會對公司產生向心力。

## (二)賦權領導（以「分享」取代「專斷」）

往昔，權力為領導者獨享，部屬漸漸養成惰性，成為聽令行事、只負責執行的被動機器，反而喪失解決問題的能力。領導者若樂於與部屬分享權力、資訊、智識，會趨使其對組織有更強烈的認同感，他們願意主動貢獻想法，願意對績效結果負更多的責任，這就是賦權領導。尤其，對追求高層次需求的知識工作者，賦權可以滿足其「自尊」、「自我實現」需求，贏取金錢無法換得的激勵效果。

傳統管理所強調的「授權」(Delegation)，只是授予員工工作相關的決策權；「賦權」(Empowerment)則強調「授權」並且「授能」，意指除賦予員工制定決策的自由之外，尚且賦予執行決策所需之資訊、資源及技能，讓員工的力量與創意全然釋放。

面對知識工作者，領導者經由下列具體作為落實賦權，以「分享」取代「專斷」。

### 1.決策權賦予

知識工作者之貢獻來自其獨立思考之能力，而非奉命辦事的紀律；這種能力要在不受干擾、沒有制約的環境下，才能展現。因

此，在控制機制的設計上，必須使工作本身具有完整性和自主空間，決策權和工作者不可分開，如此，工作者才能根據本身的專長、知識和判斷，選擇其任務及達成任務的方法。

### 2.資訊公開

過去，資訊等同權力，誰擁有資訊，誰就擁有權力；如今，網路科技快速發展，資訊的擷取便利，資訊的分享也成為必然的趨勢。讓知識工作者了解公司經營資訊，如利潤、費用、產能、預算、市場佔有率等，將可產生同舟共濟的感覺，建立彼此的信任感，形成夥伴關係。

### 3.能力發展

知識工作者大多受過系統化專業教育，具有較高學歷，掌握一定的專業知識和技能；同時由於教育水平較高，知識工作者大多具有開闊的視野、強烈的求知慾、較強的學習能力，組織必須不斷給予成長、學習的機會，以保持其能力與價值。只要樂在學習，沈浸彼此經驗技術的交流，公司自然無須單靠考核來鞭策知識工作者。

## (三)信任領導（以「信任」取代「監督」）

傳統之想法是，部屬是否努力，要看主管對他的「監督」是否嚴密而定。是故，人們往往將「監督」視同「管理」，譬如，主管就被稱為「監督者」(Supervisor)，部屬為「服從者」(Subordinate)。如果部屬表現欠佳，很自然地就歸咎於主管的監督不力。

這種想法乃建立在「部屬既缺乏能力又缺乏工作意願」的前提，因此有賴上位者的

嚴密監督。然而，這樣的前提卻顯然不符知識經濟時代的發展趨勢。首先，知識經濟時代之「知識工作者」，他們各自擁有專業知識與能力；其次，他們能否應用這些知識與能力，並予以充分發揮，常係取決於自己的動機和意願，而這種動機和意願未曾經由嚴密的監督而增強，甚至反而因此削弱。

置身知識經濟時代，領導者所應扮演的角色，不是嚴密的監督，而是給予部屬達成任務所需要的信任(Trust)。「監督」與「信任」二者最大之不同，在於「信任」能賦予工作者充分的「自由度」，一旦缺乏這種「自由度」，不管知識工作者多麼有能力，也將無從發揮，反而變成一個奉命辦事的操作或執行工具而已，這和他們應有的角色可說是背道而馳。

信任可以說是領導力的核心，如果缺乏信任的氛圍，領導效能因而受限。面對知識工作者，領導者必須學習信任部屬，也要努力贏取部屬的信任，當別人不信任你時，你是無法有效領導他們。「說話算話」、「言出必行」、「說到做到」等名言，望之淺顯，卻是領導者贏得部屬信任的不二法門。

#### (四)願景領導(由「交易型」走向「轉換型」)

傳統的領導理論類屬「交易型領導」(Transactional Leadership)，其乃基於「人性本惡」之假定，希望藉由工具性心理制約，透過獎勵、懲罰等利益交換的手段來提高領導效能。亦即，領導者利用規劃、組織、溝通與控制等管理技能，釐清部屬角色及任務要

求，並利用職位上的權力(獎酬權、強制權)來交換員工的努力。

不過，交易型領導普遍存在「管理過度，領導不足」的缺憾，亦即，組織因聚焦眼前績效的提升，而輕忽前瞻性的未來。相反的，知識經濟時代強調「願景領導」(Vision Leadership)，重視企業未來的發展，領導的主要工作為建立願景、實現願景，讓組織成員看到未來，企盼達成目標後所分享的成就感及自我實現需求(Self-Actualization Need)的滿足。

願景領導是形而上的觀念，其具體實踐有賴「轉換型領導」(Transformational Leadership)之身體力行。轉換型領導係領導者藉由願景的建立，激勵與鼓舞部屬，提高對工作結果重要性之意識層次，引導部屬「超越私利」，使組織更好。知識工作者重視自我實現需求，其工作較具複雜性與模糊性，透過「轉換型領導」給予明確的指導方針、降低角色的模糊性、增加工作的成功機率，由而改變其心智模式並「樂在工作」，願意為組織犧牲奉獻，付出額外的努力，此與交易型領導造就部屬「錙銖必較」之景況迥異。茲闡述其相關作為如次。

#### 1.勾勒願景

拿破崙曾說：「領導者就是『交易希望』的人。」股王宏達電董事長王雪紅曾說：「I have a dream」。意即現代的領導者要有好的方向感，勾勒組織美好的未來，提出一個真實、可信及吸引人的願景，給予部屬一個「夢想」(Dream)，誘發知識工作者的認同感，進而願

意犧牲奉獻。

## 2. 個別關懷

韓信親為部屬吸出箭毒；拿破崙(Napoleon)熟記每一位士兵的名號，造就部屬願意兩肋插刀、拚死沙場的後世典範。其關鍵在於每個人的需求不同，領導者不應只是「一視同仁」看待部屬，而應主動「個別關懷」不同部屬之成長狀況、資源需求與工作困境，並承諾協助，才能擄獲其心。尤其，知識工作者的工作結構性低，主管與部屬間更需要雙向溝通與對話，方能營建高士氣(Morale)、高生產力(Productivity)的雙重效果。

## 3. 心智刺激

麻省理工學院組織學習中心主持人彼得·聖吉(Peter Senge)於其鉅著《第五項修練》(The Fifth Discipline)一書，指稱：「好的管理者不是在妥善調配人力資源，而是有能力改變部屬的心智模式。」因此，轉換型領導者協助知識工作者解決問題，不是直接給予答案，必須能引導其自我思考、激發潛能，用新的方法解決問題，嘗試培養部屬對既有觀點、甚至對領導者觀點批判的能力，進而使其獲得成長、成就感的激勵。

蘋果電腦的創始者史蒂文·賈伯斯(Steven Jobs)，便是願景領導最好的例子。他提出「使電腦被所有人接受」的願景以激勵員工。如果沒有員工的意願與熱誠，從而源源不斷地創造新穎的點子，蘋果電腦就無法執電腦產業之牛耳。

## 六、結語—因勢利導

《孫子兵法》虛實篇云：「水無常形，兵無常勢，能因敵變化而取勝者，謂之神。」意謂領兵打仗不能沿用一套作戰方法，應該依隨戰場形勢變化與敵我態勢，實事求是地靈活應變。面對人力多樣化(Workforce Diversity)時代，任何一種領導方式，無法一體適用於所有員工，必須因人、因時、因地而異。易言之，世上無放諸四海皆準的領導方式，領導者宜視情境，採取合適的(Adaptive)領導方式。

身處知識經濟之洪流，知識是卓越組織不可或缺的要素，成功的領導者必須培育並管理組織中的知識。如今，自主性較高的知識工作者，大多希望領導者不要給予過多的干涉或規範，而應給予適當的自主權，讓他們釋出所擁有的知識並凝聚成組織的競爭優勢。此時，領導者最重要的功能，已不是狹義的「管理」，而是「領導」，其角色是提出願景、激勵士氣，以及塑造有利於創新的組織文化。

值得一提的是，親身領導是領導者的不二法門，這並非表示要事必躬親，而是要能以身作則，為部屬的表率，起示範作用，從而提升領導效能。領導者若是說而不做，或是言而無信，欲求有效的領導，直如緣木求魚。

時代巨輪無情地向前滾動，唯有掌握時代脈動、與時俱進，企業方能不被時代洪流吞噬，反而歷久彌新。身處知識經濟時代，本公司面對日益增加的知識工作者，必須跳

脫傳統科層體制的窠臼，掌握時代脈動，適時調整領導方式，以贏取「事完成」、「人滿意」的最佳領導效能，由而上下一心、眾志成城。果然，「成為國際級自來水事業」之願景，不僅是天邊繽紛的彩霞，亦是眼前耀眼的鑽石。

## 參考文獻

- 1.許士軍，”許士軍談管理－洞悉84則管理新語”，天下遠見出版有限公司，民國93年。
- 2.陳衍宏，”知識經濟時代的管理趨勢探析”，玄奘管理學報，民國92年9月。
- 3.湯明哲、鄭家鐘，”知識工作者的管理”，策略評論，民國96年。
- 4.蘇美麗，”服務領導：領導者即追隨者的領導新視野”，慈濟大學教育研究學刊，民國95年。
- 5.Bass, B. and Riggio, R., “Transformational Leadership”, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey, 2006.
- 6.Meindl, J. R., Ehrlich, S. B. and Dukerich, J. M., “The Romance of Leadership”, Administrative Science Quarterly, 1985.
- 7.Yukl, G. A., “Leadership in Organizations”, Upper Saddle River, NJ:Prentice Hall, 2002.

## 作者簡介

### 陳福田 先生

現職：台灣自來水公司總經理

專長：工程管理、策略管理、績效管理

# 降低高屏溪攔河堰原水濁度之研討

文/楊品龍、曾浩雄

## 一、背景說明

台灣因其天然條件欠佳，每年的降雨量分佈不均，雨量都集中 5~10 月，全年豐枯水期雨量非常懸殊，尤其是高雄地區因其蓄水設施不足，無法做適當的調蓄，故枯水期其原水量必須靠鄰近之南化水庫補充供應；而豐水期雖有豐沛之水量，但常因季節性之颱風驟雨，使其原水濁度急速飆高，造成淨水處理設施難以運轉，甚至整個給水廠被迫關閉無法出水。因此該地區全年之供水，一直處於無法維持既正常且穩定之狀態。

目前高雄地區民生用水需水量約為 125 萬 CMD(含大社、仁武及楠梓工業區之用水)，其中絕大部分之原水量(100 至 110 萬 CMD 約 80%至 92%)，取自高屏溪攔河堰地面水，故其重要性不可言喻。但每年豐水期間，卻常因原水濁度偏高致無法取足所需之原水量。而該地區新水源之開發又極為不易，而老舊的水管又遲遲無法更換，在開源節流皆無法推動之情形下，如何確保高屏溪攔河堰原水之濁度在一定的標準之內，以穩定高雄地區現有之原水量，是水利署與台灣自來水公司(以下簡稱為台水公司)目前當務之急。

## 二、高屏溪攔河堰原水概況

作者等多年來在豐水期觀察高屏溪攔河堰取水之情況，認為除其上游河床亟待整治，以免大雨時沖下河床上的積泥流入攔河

堰取水口外，其兩岸駁坎仍須加高(莫拉克颱風所引發之大洪水，曾淹過河岸 2.89 公尺高(詳如照片 1)。另為釜底抽薪之計，建議在高屏溪攔河堰取水之前建造一座大型快濾沉砂池，用以大幅濾去溪水中之砂土，另應用氣洗設備將淤砂排至濾砂之上，再配合使用單軌式刮砂機及泥砂氣升泵，將淤泥排除。甚至再使用全自動過濾器，進一步降低原水中之濁度，以確保台水公司取用該溪水時，其原水濁度維持在 500NTU 以下(在水廠可處理的範圍內)。至於其效益，經計算結果，可使濁度在 10,000NTU 以下的高屏溪地面水在進入淨水場前降至 500NTU 以下。而取自快濾沉砂池之淤砂，經水洗處理，可將土砂分離，其中砂石則可作為土建材料；泥土則可藉由填加土固劑製成綠色環保建材(輕隔牆、天花板等)。其所得之利益不僅足以支應操作年費，又能兼顧溪床生態平衡，而數年後其營餘還可抵銷工程投資成本，一舉數得。

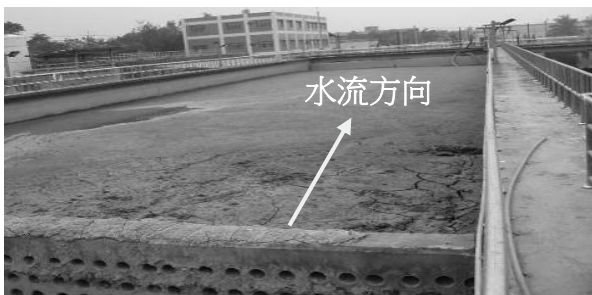


照片 1 高屏溪攔河堰沉砂池照片

## 三、台水公司在高屏溪攔河堰取水概況

台水公司第七區管理處於豐水期，在高屏溪攔河堰雖持有 120 萬立方公尺的水權量；但在枯水期其實際可取用的水量只約 100 萬 CMD。茲因每遇颱風侵襲台灣南部時，都會帶來豪雨而引發土石流，而該攔河堰下游雖設有沉砂池，但因其容量太小，故其所能發揮之功效不足以有效降低原水之濁度，且其池牆高度偏低，無法阻擋大洪水之溢流，民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風所引發之大洪水最高水位 24.5m，該沉砂池頂 21.61m[1]即慘遭滅頂，連帶使高雄給水廠內輸水泵全遭淹沒，使其抽水功能喪失殆盡，致使取用該水源之澄清湖、坪頂、拷潭(含翁公園淨水場)、鳳山、等四大給水廠的原水濁度太高致無法處理，嚴重影響該地區供水之安全。

目前拷潭給水廠所轄之翁公園淨水場雖設有 25 萬 CMD 沉砂池，而原設計時估計全年約 50%之原水濁度為 31.5 NTU；95%為 171.5 NTU。但在 95 年 5 月 16 日至~7 月 19 日珍珠颱風來襲期間，其原水濁度平均達 1,548 NTU<sup>[2]</sup>，結果該沉砂池完全喪失其功能(淤積情況如照片 2 所示)。



照片 2 翁公園沉砂池淤積照片

#### 四、降低高屏攔河堰原水濁度之構想

##### (一)加設快濾沉砂池

在目前高屏溪攔河堰上游西側沿岸，建造永久性的快濾沉砂池，詳如圖 1(地圖下載

自 Google map)。原水自其東側引入，經快濾沉砂池處理後，藉由 5000mm $\phi$  之鋼管放流至高屏攔河堰進水閘門後之進水池。

快濾沉砂池之規模為：長 40m $\times$ 寬 10.3 m $\times$ 高 5.5m，其上部(自現有路面高 EL21.61m 以上)，其上部以加築馬達機械室(內設刮泥機驅動機、反沖洗水、氣升泵、進出水閘門開關等馬達室及配電室各 5 間(以 10.3m $\times$ 6.3m 為一間)另設操作、監控室及辦公室、盥洗室及儲藏室等各兩間，外牆以安全玻璃窗採光(加裝不銹鋼擋木窗，以防漂流浮木撞擊)，屋頂加設通風管，以維持室內通風。每池設一人孔(內淨距 90 公分)讓人員可自機械室往下進入快濾沉砂池作年度清理，詳如圖 2、3 及 4 所示。

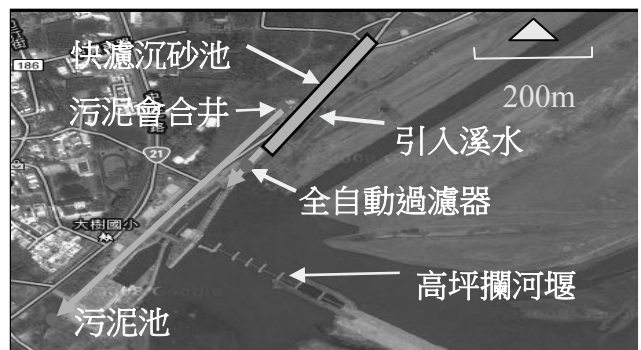


圖 1 高屏溪攔河堰快濾沉砂池位置圖

快濾沉砂池之設計：

- 1.池頂較堰頂 EL：EL：15m
- 2.水室：高 1.7m；濾板：0.1m 高；石英砂礫 0.4m 高，有效粒徑：2~5mm。
- 3.濾速：取 150 m/day(一般重力式快濾池之濾速為 120~150m/day)。
- 4.濾床上方設計使用單軌式刮砂機及淤砂氣升泵、下方水室做為氣洗裝置。其上方為濾板，板上設塑膠製濾水頭，濾頭之中心距為 15 公分。
- 5.每池流量：150m/day  $\times$ 40m  $\times$ 10 m

= 60,000CMD (1)

6.需求池數=1,200,000 CMD ÷60,000CMD/池 =20 池 (2)

7.20 池並聯，需求總寬度：20 池×(10m+0.3m +0.25m)/池+0.25m =211m (3)

8.需求長度：=40m + 2m(出泥渠) + 0.3m (牆厚)×2 + 0.5m(擋土牆平均厚度)=43.1m (4)

9.進水口：寬 3.2m×高 1.0m，其流速為  $1,100,000 \div 1.0 \times 3.20 \div 86400 = 0.099 \leq 0.1\text{m/sec}$

10.出水渠：寬 42m×高 1.7m (前端寬度減半)。

快濾沉砂池之濾砂層上方設置單軌式刮砂機(本季刊第 29 卷第 3 期曾提及，恕不再贅述)，收集後的淤砂採用氣升泵輸送至高雄給水廠做進一步之處理。另以鼓風機自濾板下打入空氣進行反沖洗砂，每日氣洗濾床一次，以確保水質之穩定及充足的進水量(其上視圖及其縱斷面略圖，如圖 2 至 4 所示)。

在枯水期高屏溪溪水之平均濁度經常在 200NTU 以下；豐水期大都在 1,000NTU 以上(94 年 7 月曾高達 24,000NTU)。為維持各給水廠之正常出水，其原水濁度宜保持在 1,500 NTU 以下。因此當溪水濁度達 1,500NTU 時，高屏溪攔河堰系統之進水閘門宜暫行關閉；改由本文所提之快濾沉砂池進水，經過濾後再流入上述閘門後之進水池(現

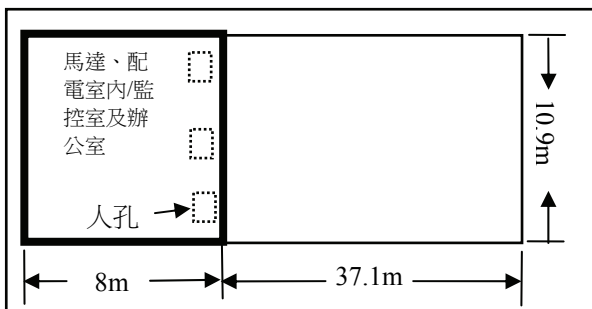


圖 2 快濾沉砂池(上層)上視示意圖

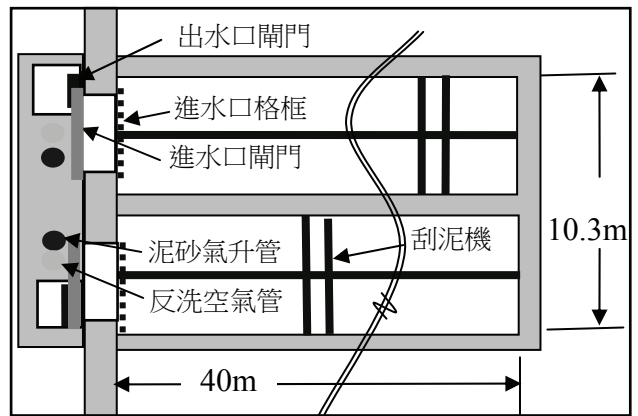


圖 3 快濾沉砂池(下層)上視示意圖

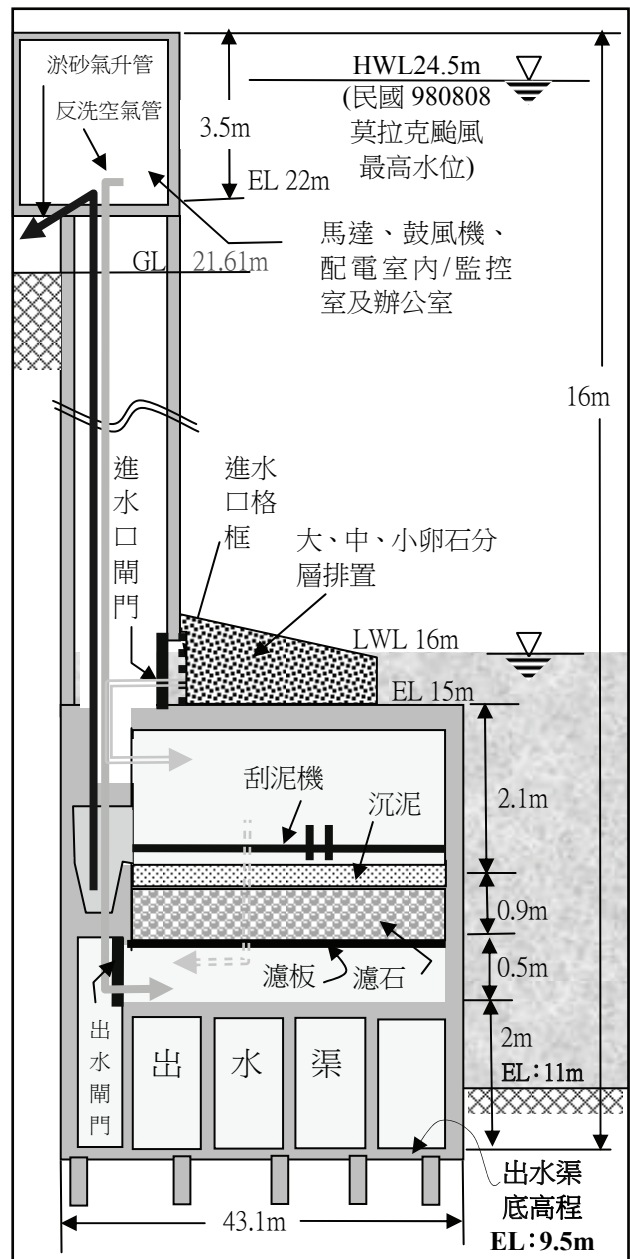
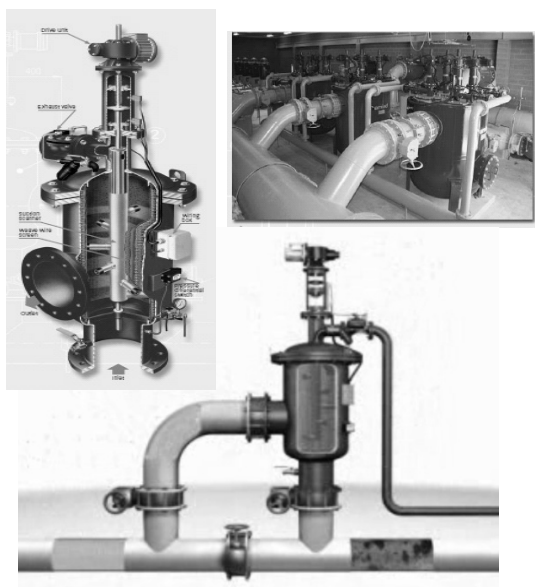


圖 4 快濾沉砂池縱斷面示意圖

有橡皮壩之壩頂高程為 EL:16.00m，因此溪水經快濾砂沉池過濾後(水頭損失 < 3m)其出水必仍高於進水池前端之池底(EL:11.50m)。

## (二)加裝全自動過濾器

在原水輸送管線上加裝全自動過濾器 (Automatic Self Clean Filter, 如照片 3<sup>[3]</sup>)，可再度降低原水濁度，以減輕水廠淨水負荷。內部過濾篩網目之粗細選擇與水頭損失有密切關係，原水濁度低(500NTU)時，可採直接流通，以減少水頭損失的動力費用。



照片 3 AMIAD 全自動過濾器構造相片

## 五、效益評估

快濾沉砂池的優點可以快速濾水，而濾石於氣洗時其膨脹性較濾砂少，在 25°C 反洗情況下，平均粒徑為 1.84mm 之濾砂，要達到 10% 膨脹之流速需要 100 m/h (1.7 m/min)<sup>[5]</sup>，而氣洗流速只要 0.6~0.8m/min 即可達到其目的；濾材粒徑較大則水的穿透性高，故採用濾石較不易讓上方單軌式刮砂機刮除，雖然在枯水期會使濁度的降低不會很明顯；但於豐水期可以達到無機顆粒(比重為 2.65)之去除率為 69.3%，此時之濁度 76% 為無機固

體(比重 2.557)；24% 為有機固體(比重為 1.096)<sup>[4]</sup>。

快濾砂池內設單軌刮泥機、氣升泵等氣洗機制，等於採用包括快濾池、沉澱池及晒乾床方式的綜合設施，並引用氣升泵以利沉砂池排泥砂之方式，免除快濾池需有廢水渠排放機制之必要性。如此設計可以將原水中占 76% 的無機固體，其去除率達到：

$$100\% - (76\% - 69.3\%) \div 76\% = 91\% \quad (5)$$

氣洗過程尚具有氣浮作用，可促使固液加速分離<sup>[4]</sup>。依統計 2004~2006 年間台水公司七區處坪頂給水場原水平均濁度 Tu 為 840 NTU<sup>[12]</sup>，估計高屏溪攔河堰進水量 Q 為 110 萬 CMD，依日本水道顧問公司計算污泥量<sup>[5]</sup>：設 Q<sub>s</sub> 為污泥乾固體重(T/day)；A 為混凝劑加藥量(mg/L)。

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

$$f_1 = S_{O_2} / T_u \times S.S. / S_{O_2} = 1.25 \times 1.2 = 1.5 \quad (7)$$

$$f_2 = Al_2O_3 \text{ 濃度} \times 2Al(OH)_3 \text{ 分子量} / Al_2O_3 \text{ 分子量} = 0.07 \times 2 \times 78 / 102 = 0.107 \quad (8)$$

帶入(7)式

$$Q_{S840} = 1,100,000 \times (840 \times 1.5 + 0 \times 0.107) \times 10^{-6} = 1,386T/day \quad (9)$$

2. 在進水濁度 840NTU 時，去除 69.3% 無機物質沉砂/泥量：

$$1,386T/day \times 69.3\% = 960T/day \quad (10)$$

河川濁度與 S.S. 之換算係數為 1.5<sup>[5]</sup>。

3. 流量 Q = 1,100,000CMD；濁度 Tu = 840NTU

4. 懸浮固體濃度 = 840 × 1.5 = 1,260mg/L (11)

5. S.S. 換算泥量：

$$1,100,000m^3/day \times 1,260mg/L \times T / 10^9mg \times 10^3L/m^3 = 1,386T/day = Q_{S840} \quad (12)$$

6. 由 840NTU 去除之濁度：

$$= 1,386T/day \times 69.3\% \div 1.5 = 640 (NTU) \quad (13)$$

$$7. \text{濁度去除率} = 640 \div 840 \times 100\% = 76\% \quad (14)$$

台水公司第二區管理處之平鎮給水廠日常處理水量 300,000CMD，其原水濁度 1.3 萬 NTU 時，總污泥產量 2,196,936 kg/day，單位污泥量 13kg/m<sup>3</sup>；原水濁度 2.3 萬 NTU 時，總污泥產量 2,003,796kg/day，單位污泥量 23 kg/m<sup>3</sup>。圖 5 顯示原水濁度及混凝劑所形成污泥量之比值應大於 1<sup>[6]</sup>。該比值隨沉澱單元濁度去除率增加而提高，而當去除率較極端時，如小於 10%或接近 100%，其曲線趨勢已近垂直於圖中座標橫軸，斜率趨近於無限大。原水濁度超過 1 萬 NTU 時，沉澱池污泥去除率高於 99%，此時污泥量多來自於原水濁度，而非混凝劑，原水濁度在 15NTU 以下時，沉澱單元濁度去除率可能低於 10%<sup>[7]</sup>。

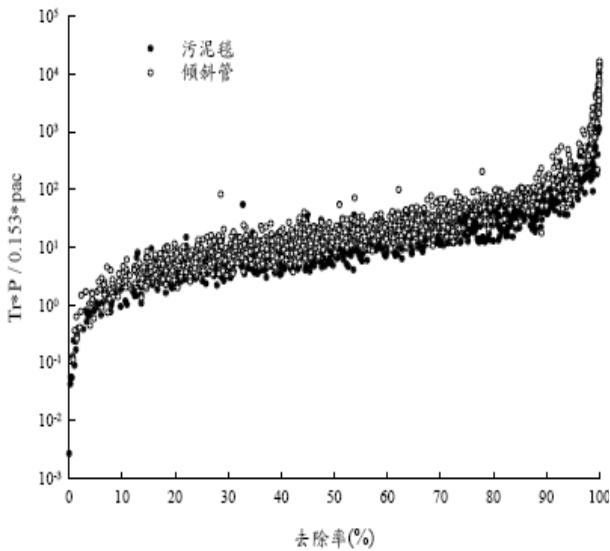


圖 5 原水濁度及混凝劑添加量產生污泥量比值圖<sup>[6]</sup>

依據上述實際操作結果，推論當原水濁度 30NTU 以下，無機顆粒與有機顆粒符合 76%：24%之比率；當濁度 10,000NTU 時，無機顆粒與有機顆粒之比率為 99%：1%，因此假設濁度 30NTU~10,000NTU 無機顆粒與有機顆粒之比率由 76%：24%變化至 99%：1%，呈現線性變化。因為濁度的增加

高於 50NTU 以上，此時無機顆粒增加比率會高於無機顆粒的增加，高濁度時會使有機顆粒附著於無機顆粒作用更加強烈。推論計算式如下，假設：當原水濁度為 30 NTU(N<sub>30</sub>)時無機物占 76%；原水濁度 10,000NTU (N<sub>10,000</sub>)無機物占 99%，推導：N<sub>9,000</sub>、N<sub>8,000</sub>、…等無機物所占百分比，計算式如下：

$$N_{9,000} = -[(10,000 - 9,000) \div (10,000 - 30) \times (99\% - 76\%) - 99\%] = 97\% \quad (15)$$

$$N_{8,000} = -[(10,000 - 8,000) \div (10,000 - 30) \times (99\% - 76\%) - 99\%] = 94\% \quad (16)$$

快濾沉砂池去除無機物比值 = 69.3% ÷ 76% = 0.91

計算結果詳如表 3；兩者之分配如圖 6 所示。

表 3 濁度與無機物百分比分配表

NTU N	無機物% P	NTU N <sub>1</sub> =N×(1-P)	NTU N <sub>2</sub> =N <sub>1</sub> ÷0.9
30	76%	7	8
10,000	99%	100	111
9,000	97%	298	331
8,000	94%	449	499
7,000	92%	554	616
6,000	90%	614	682
5,000	87%	627	696
4,000	85%	594	660
3,000	83%	514	572
2,000	81%	389	432
1,000	78%	218	242
900	78%	198	220
800	78%	178	198
700	78%	157	175
600	77%	136	151
500	77%	115	127
400	77%	93	103
300	77%	70	78
200	76%	47	52
100	76%	24	26
80	76%	19	21
50	76%	12	13
20	76%	4.8	5.3
10	76%	2.4	2.7
5	76%	1.2	1.3
1	76%	0.2	0.3



濁度在 3,000~7,000NTU 範圍的原水濁度，處理後濁度仍會超過 500NTU，此時，如能配合啟動全自動過濾器，即能達到淨水場原水濁度的進水標準要求。

目前台水公司設計大型淨水場之設置標準，可以負荷原水濁度 500 NTU 以下進水，若利用快濾沉砂池處理加以推論，原水濁度在 3,000~7,000NTU 範圍的原水濁度，處理後濁度仍會超過 500NTU，此時，如能配合啟動策略二全自動過濾器，即能達到淨水場原水濁度的進水標準要求。

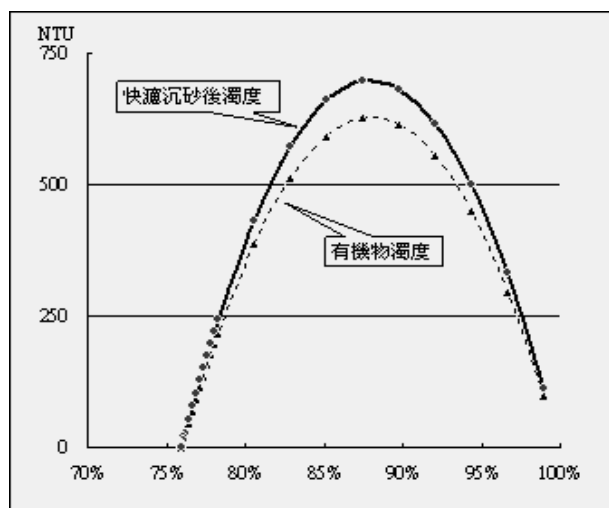


圖 6 有機物質濁度對照濁度散佈圖

## (二)加裝全自動過濾器

採用全自動過濾器可以利用水力壓差，以節省進水過濾的水頭損失(其裝置示意圖詳如 7)。透過濾網的調整，可以將經過快濾沉砂池後剩下 7~8%的無機固體物及 8~17%的有機固體物，合計 15~25%，因此只要再除去 10%即可達到原水濁度 500NTU 以下(進入淨水設備之要求)，其效果可調整或選擇配合篩之網目。

美國標準篩網(ASTM 篩號)規格，20 篩號(20mesh)，開口尺寸 0.85mm(850 $\mu$ m)、60 mesh，0.25mm、100mesh，0.15mm、200 mesh，

0.075mm。因快濾沉砂池採用濾砂之有效粒徑為 2~5mm，鋪設 40cm 厚，依沉砂池速度計算可以留置 0.10~0.15mm 顆粒，因此全自動過濾器篩網選擇需採用 200mesh。

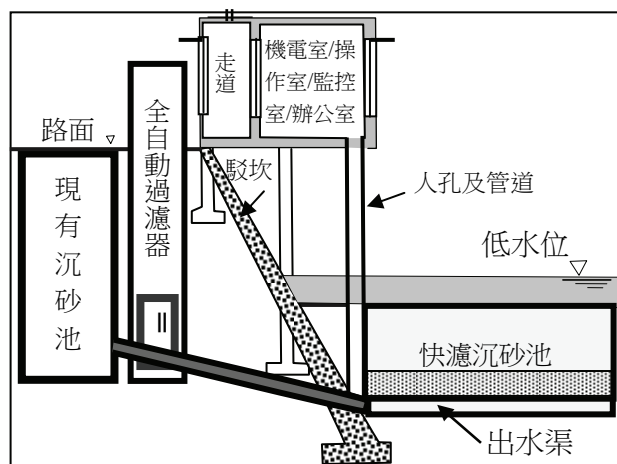


圖 7 裝置全自動過濾器示意圖

## 六、文獻驗證

根據「自組非線性系統應用於濁度預測」<sup>[7]</sup>論文中提及：濁度高的原水在淨水過濾程序會增加負荷，故砂濾無法達到其應有之效率，在慢濾池會增加刮砂次數，在高效濾快濾池則增加反洗沖洗次數甚而使濾池癱瘓。民國 85 年賀伯颱風南化給水廠之原水濁度高達 15,000 NTU，使該廠關場 3 天；90 年桃芝颱風來襲時，原水濁度約 2,400 NTU 南化給水廠關場 28 小時；民國 93 年艾莉颱風使石門水庫原水濁度高達 100,000 NTU 以上，使南桃園地區停止供水 16 天，北桃園地區停水 3 天後再輪流供水。同時高濁度原水也增加加藥量及污泥之產生。甲仙攔河堰沉砂池取水口濁度與河道濁度可用  $T_{\text{沉砂池前}} = 0.122 \times T_{\text{河道}}^{1.1247}$  公式計算獲得。流量與濁度可用  $T = 8.8 \times Q^{1.002}$  公式計算獲得。流量與含砂量可用  $S = 5.2 \times Q^{1.132}$  公式計算而得：流量為 180cms，含砂量為 1,850mg/L。

另據「過濾系統組合對原水濁度去除效能之研究」<sup>[8]</sup>論文中所述：以高雄縣古亭坑泥岩層之泥岩，通過 200mesh 篩網過濾，模擬高濁度原水 15g/L，10,000 NTU，使用之濾料其有效粒徑為 0.71mm~1.0mm 高程為 70 cm，濾速在 96m/day 之情況下，濁度去除率在 60 分鐘內降低至原有之 20%。

再就「沉砂池泥砂沉降特性之研究」<sup>[9]</sup>中所提：濁水溪集集攔河堰南岸取沉砂池水樣，採用機械篩分析法配合比重計分析法，作粒徑分析，沉砂前小於 0.075 mm，約占 10%，沉砂後小於 0.075 mm，約占 20%，試驗結果沉降粒徑大於 0.2 mm 累計通過百分比由沉砂前 61.5%，提高至沉砂後 99.80%；實測入池泥砂量僅 38.5%於沉砂池中沉降。現場泥砂濃度 ppm 與濁度 NTU 率可用  $Y_{ppm} = 2.0835X_{NTU} + 317.39$  公式換算，相關係數  $R^2 = 0.9157$ 。另提及流量大其化學風化產生率也跟隨著大，民國 91 年測得高屏溪下游萬大橋連續觀測之結果，物理風化產生率為 655.8 g/m<sup>2</sup>/yr，仍較全球平均 150g/m<sup>2</sup>/yr 高出許多。以矽酸岩及碳酸岩為成份計算，顯示高屏溪流域矽酸岩風化比例約為 97.09±2.41%。

又據甲仙攔河堰運轉效率之研究<sup>[10]</sup>文中指出：在旗山溪流量為 30~120cms 時，甲仙攔河堰沉砂池去除率為 37.89%。

根據「多孔隙混凝土應用於高濁度水流側向取水之研究」<sup>[11]</sup>，由渠槽試驗結果，平均濁度降低 33%~72%，取水效率於清水水樣試驗時達 0.87；混濁水樣試驗時達 0.78。

綜合以上所述，在在均足以驗證於高屏溪攔河堰設立快濾沉砂池設備，可以滿足豐水期間因暴雨產生高濁度時將原水中所占的 76%~99%無機物質中去除其 91%，高屏溪

底泥成份分析如表 4，及泥沙篩分析如表 5，如再配合上述之全自動過濾器，去除有機與無機物質 10%，即可達成淨水需求原水濁度 500NTU 以下的要求。

表 4 高屏溪底泥化學成分分析結果表

檢驗項目	檢驗結果	檢驗項目	檢驗結果
SiO <sub>2</sub>	60.47%	CaO	1.38%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.35%	TiO <sub>2</sub>	0.84%
Na <sub>2</sub> O	1.30%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.06%
K <sub>2</sub> O	3.30%	燒失量	2.85%
MgO	2.58%	Total	97.15%
含水率(100°C之重量損失率)			25.70%
可燃份(265°C之重量損失率-含水率)			2.85%
灰份(100%-265°C之重量損失率)			71.45%

送樣日期：96 年 5 月 22 日；報告日期：5 月 25 日

表 5 高屏溪攔河堰泥沙樣品篩分析表

篩網開孔尺寸(mm)	篩上物重量(g)		篩上物重量%	
	A	B	A	B
4.000	0.76	11.42	0.15%	2.29%
3.350	0.85	5.39	0.17%	1.08%
2.800	0.60	3.53	0.12%	0.71%
2.000	0.73	4.88	0.15%	0.98%
1.400	1.43	4.93	0.29%	0.99%
1.000	1.15	1.26	0.23%	0.25%
0.710	1.72	2.53	0.35%	0.51%
0.500	1.38	4.33	0.28%	0.87%
0.355	2.38	3.74	0.48%	0.75%
0.250	5.64	4.64	1.13%	0.93%
0.180	18.73	20.02	3.76%	4.02%
0.125	42.90	69.04	8.61%	13.87%
0.090	68.21	120.57	13.68%	24.23%
0.063	102.87	84.76	20.63%	17.03%
0.045	97.87	78.11	19.63%	15.70%
0.020	126.74	77.75	25.42%	15.62%
<0.020	24.58	0.75	4.93%	0.15%
Total	498.54	497.65	100%	
A 土壤損失試料			0.31%	
B 土壤損失試料			0.58%	

送樣日期：98 年 9 月 29 日；實驗日期：10 月 5 日

## 六、工程成本概估

### (一)快濾沉砂池建造費用

以作者等服務的尚潔公司在 96 年興建完成的翁公園 5 萬 CMD 快濾池(含快濾池、出水渠、機電設備暨機電室、傳訊及監控設備等。其結算金額為 8,500 萬元加以換算，其單價為 1,700 元/m<sup>3</sup>。至於辦公等室之造價，原則上以南部房屋建築單價約為 50,000 元/坪計算之。

- 1.圍堰(含挖方)：22,000 元/m(60m×2+211m+20m+10m) ≙ 8,000,000 元
- 2.打樁(600mm  $\phi$  RC×13m)：32,500 元/根×(48.75m×211m)/4m<sup>2</sup> ≙ 83,000,000 元
- 3.快濾沉砂池(含出水渠、機電及操作室)：1,700 元/CMD×1,200,000CMD =2,040,000,000 元
- 4.控制及辦公等室：(50,000 元/坪÷3.3m<sup>2</sup>/坪)×211m×8m ≙ 25,600,000 元
5.  $\phi$  3000mm 低壓鋼管(流速=1.8m/sec)：200,000 元/m×20m=4,000,000 元
- 6 氣升泵：50,000 元/台×4 台/池×20 池 =4,000,000 元
- 7.刮泥機：300,000 元/台×2 台/池×20 池 =12,000,000 元
- 8.輸泥設備( $\phi$  800mmPSCP×500m 及 10Hp 加壓泵兩台、會合併暨貯泥池)：50,000 元/m\*600m+30,000m 元/Hp×10 Hp×2 台+4,000 元/m<sup>3</sup>×(50+150)m<sup>3</sup> ≙ 26,400,000
- 9.假設工程及雜項費(以上述工程費之 1%計) =2,203,000,000×1% ≙ 2,20,300,000 元
- 10.快濾沉砂池建造費用：以上合計約為 2,423,000,000 元

### (二)全自動過濾器工程費

- 1.機電工程費用：20 組×5,500,000 元/組 =110,000,000 元
  - 2.土木工程費用：機電工程費用之 7/3 ≙ 256,700,000 元
  - 3.整地打樁及雜項費用：256,700,000 元×1% ≙ 2,300,000 元
  - 4.全自動過濾器建造費用：以上合計約 369,000,000 元
- (三)工程間接(含利潤及空污費等)費用：  
以上(一)+(二)工程費用之 20%計  
(2,423,000,000 元+369,000,000 元)×20% =558,400,000 元
- (四)以上(一)至(三)總計約 33.50 億元。  
(五)委託顧問公司施工規劃設計、工程地質鑽探、技師簽證、工程公開招標、工程監造等以 2.50 億元計(約總工程費 7.5%)。  
(五)總工程費：36 億元。

## 七、結語

快濾沉砂池，原水流經有效粒徑 2~5mm 高程 40cm 濾料，及 ABS 材質孔隙 0.25mm 濾頭進入水室，供後續淨水設備使用，因具備氣洗效果，可以 24 小時連續操作，保持穩定原水進水量。依黃振泰<sup>[10]</sup>實測集集攔河堰數據，對於溪流中 0.2mm 以上粒徑的沉砂效果，可得到 99%，比起一般沉砂池只有 38.5%效果狀況，實有天壤之別。與彭合營實測甲仙攔河堰沉砂池效果 37.89%非常接近。況且甲仙攔河堰屬高屏溪上游，與高屏溪攔河堰原水水質及成份均非常相同。顯而易見，由此推論高屏溪攔河堰沉砂池設計方式的效能頂多 40%，比起快濾沉砂池效能至少可達 69.3%以上，當然值得推行建造。

如上所述，興建高屏溪攔河堰快濾沉砂池工程成本概估約需 36 億元，而其取得的

沉砂，屬自然方式，平均每天約 600 m<sup>3</sup> 的沉砂，不再流入高屏溪。如規劃外售，以每 m<sup>3</sup> = 80 元淨利估算，每年約有 1,800 萬元淨利，售砂收入除了可以維持快濾沉砂池年度操作費用外，另外快濾沉砂池內所排出之泥砂經填加固化劑後，亦可作為綠色建材(輕隔牆、防火門、天花板、浪板、仿木材、仿花崗石塊等)，其利潤部份尚可分攤建造費用，不僅可以避免造成上、下游淤砂的禍害，也可防堵以往挖掘開採溪砂方式，過於集中或超量開採，造成上下游跨溪橋墩的損壞。

另因惟該快濾沉砂池係建於河床之下，施工時挖出之砂石數量相當龐大，若以目前之市價出售，尚可低銷部分工程費約 1,800 萬元(300 元/m<sup>3</sup>×211m×49 m×5.9m)。

高屏流域內平均雨量每年達 3,046 公釐，平均年逕流量高達 84 億 5,500 萬立方公尺。平均年輸砂量是 3,561 萬噸，每平方公里流域面積輸送 10,934 噸，居全世界第 11 位<sup>[12]</sup>。高屏溪自從民國 89 年 9 月 24 日高屏橋斷橋後，開始禁止開採高屏溪砂石，河床淤積每年積增的淤沙，造成民國 98 年莫拉克颱風高屏溪溪岸小林村、旗山、大樹、新園等鄉鎮慘遭高屏溪溢流泥砂嚴重淹沒，並沖毀雙園大橋。

## 八、建議

現有高屏溪攔河堰沉砂池，每遇豪雨其溪水之濁度經常會高於 2,000NTU 以上，而目前尚無任何機制可有效大幅降低其原水濁度，致使下游坪頂、澄清湖、拷潭(翁公園)、鳳山等給水廠淨水設施連帶遭殃。此時高雄地區供水僅能靠南化水庫支援或抽取地下水、取用高屏溪下游伏流水及抽取東港溪水等其他水源硬撐之，甚至減量供水。

本文研擬建造快濾沉砂池，應用空氣反沖洗，配合使用日本研發之單軌式刮砂機及泥砂氣升泵等設備，使其原水濁度去除率由 38.5% 提高至 69.3 % 以上，再配合全自動過濾器，將濁度去除率再提升 10%。據保守評估：濁度 10,000NTU 以下之地表水，經上述方式處理後，可以輕易達到進入淨水場之原水濁度須在 500NTU 以下之要求。

因此若能興建有效沉砂設施，則高雄地區於豪雨期間，限水機會便可大幅降低。甚至工程完工後，每年取快濾沉砂池上自然沉降河砂之利潤，不僅足以支應操作年費，而且若干年後還可抵銷工程投資成本，又能兼顧溪床生態平衡。

另建議水利署儘早清理該攔河堰上游之積砂，俾降低台水公司取用高屏溪攔河堰原水之濁度，並利本文所提快濾砂池之取水。另加高高屏攔河堰西岸護坡，以防大雨後雨水氾濫，淹沒台水公司高雄給水廠之現有抽水機房，亦可降低本案之建設成本(本案總工程費已計入此費用)。

在國外已有使用全自動過濾器即能解決高濁度原水之實例，惟因其耗損能量較快濾沉砂池高，故基於操作上之實質效益及成本上之考量，自動過濾器之設置仍以作為輔佐降低濁度為宜。

## 參考文獻

1. 劉建邦，「八八水災水利堰壩設施災損及改善對策」，曹華平，「水資源管理之課題與前瞻」，全華圖書，台北，第1-56、1-64頁(2010)。
2. 金棠科技股份有限公司，「拷潭及翁公園水場增設高級淨水處理設備工程改善計畫書」，高雄，第40~43頁(2006)，財團法人中華顧問工程司DHV WATER BV圖說審查認可(民國95

- 年)。
3. AMIAD FILTRATION SYSTEMS LTD.,  
<http://www.amiad.com/>台灣代理商鴻馳科技有限公司，”EBS”簡報。  
<http://www.clearwater.com.tw/>
  4. Ronald L. Droste，林正芳等譯，「水及廢水處理理論與實務」，六合出版社，台北，第281、408頁 (民國91年)。
  5. 中華民國自來水協會，「自來水設施操作維護手冊」，台北，第596、599頁(民國84年)。
  6. 姜佳伶，「淨水場沉澱及過濾單元濁度去除及其衍生廢污泥量之研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，桃園(民國96年)。
  7. 王英銘，「自組非線性系統應用於濁度預測」，碩士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所，台南(民國94年)。
  8. 姚仁泰，「過濾系統組合對原水濁度去除效能之研究」，碩士論文，國立成功大學地球科學研究所，台南(民國96年)。
  9. 黃振泰，「沉砂池泥砂沉降特性之研究」，碩士論文，逢甲大學水利工程學系，台中(民國96年)。
  10. 彭合營，「甲仙攔河堰運轉效率之研究」，碩士論文，國立屏東科技大學土木工程系，屏東(民國93年)。
  11. 張景森，「多孔隙混凝土應用於高濁度水流側向取水之研究」，碩士論文，逢甲大學水利工程學系，台中(民國95年)。
  12. 維基百科：[zh.wikipedia.org/zh-hant/Wikipedia](http://zh.wikipedia.org/zh-hant/Wikipedia):

**作者簡介**

**楊品龍先生**

現職：尚潔環境工程公司工程師  
 專長：機械、勞安、淨水設備改善

**曾浩雄先生**

現職：尚潔環境工程公司技師  
 專長：自來水工程

**30卷第2期勘誤聲明：**

1. 「微生物新工法應用於水處理之探討」乙篇，於P94頁中 (三)複合發酵循環，.....用菌的密度均達 $10^9/cm^3$ ，修正為 $10^9/cm^3$ ；(四)微生物新工法的精髓，...1cc的生菌數會增殖到107，108，然後109，此時微生物的形狀會縮小，並因凝集作用而呈固態化(偽死狀態)，但因為沒有細菌死亡，致使生菌數飛躍似增殖至1020、1030 甚至10n，上述數字修正為 $10^7$ ， $10^8$ ， $10^9$ 、 $10^{20}$ 、 $10^{30}$  及 $10^n$ 。

# 公館加壓站支援三重供水轄區變頻運用之探討

文/王銘博、彭伊呂、李叔龍、黃仁正、朱健行

## 一、前言

政府已實施新的高效率馬達政策，然而，高效率的馬達惟有適當的選用與調配控制配合，才能有效達成節省電力消耗及節能減碳之目的。直到 80 年代，由於電子電力技術突破且快速發展，帶動變頻控制器硬體的設計價格降低，且已完成取代早期電磁耦合(Magnetic Coupling)之變速方法；為達到提高能源使用效率，自來水事業積極重視與推廣，應用變頻調控技術，並於自來水機械創新所發展即時監視監控之變速操控技術，本文將就泵浦基本原理，來探討變頻控制對於泵浦運轉之必要性，與能源及水資源使用效率改善情形；並以大臺北供水轄區內實務上，公館-三重加壓站系統之 SCADA 供水調配雙變頻系統之適用經驗佐證。

## 二、公館加壓站現狀概述

### (一)公館加壓站

公館加壓站主要為管中加壓方式供水及部分重力流供水，進水由第一、第二清水幹線以重力式輸送直潭淨水場處理過之清水(如圖 1)至公館消壓塔，再經公館加壓站重力旁通(約在 02:00am ~ 09:00 pm 採抽水機停機重力旁通約 20 萬 CMD  $1.9 \text{ kg/cm}^2$ )。或抽水機加壓輸送至三重加壓站(如圖 2 公館加壓站管線流程圖)。

### (二)公館加壓站供水區域

公館加壓站供水系統示意圖(圖 3)

1.最大供水區域涵蓋新北市三重區(約 14 萬 5 千戶)及支援台水公司(新莊區及蘆洲區等

部分地區)，每日用水量共約 20-24 萬 CMD，本站總出水管  $\phi 1650\text{mm}$ ，其中約有 6 萬 CMD 流入三重加壓站配水池再加壓輸出，其餘 14-18 萬 CMD 採重力流直接旁通供應三重市等地區。

2.支援臺北市萬華區洛陽街、成都路一帶、部分大同區及中正區(忠孝西路二側)中華路等一帶用水，用戶數約 11,200 戶，每日用水量約 3 萬 CMD。

3.公館加壓站與公館淨水場新店線(出水壓範圍為  $2.5\sim 3.6\text{kg/cm}^2$  與本站略有差異，故需裝置變頻調壓。)分支與支援市區線  $\Psi 800\text{mm}$  接管連接，改由本站供應萬華區青年路一帶，每日用水量約增 2 萬 CMD。

4.公館淨水場  $\phi 1200\text{mm}$  市區線供應汀州路  $\phi 1200\text{mm}$  支管線(12-15 萬 CMD)，日後將進行維修，屆時可由本站支援汀州路及師大路等部份區域用水。

## 三、變頻器原理簡述

為調配供水力，需改變抽水機輸出功率，亦即改變感應馬達之轉速，依據同步轉速公式  $N = 120f/p$ ，可改變馬達極數  $p$  或電源頻率  $f$  兩種方法，來改變馬達轉速；然而馬達極數為硬體設施無法改變，而電源的頻率則可使用變頻器加以改變，即可使用變頻器將交流電源經整流器整流及濾波後變為直流電源，再經過變流器，變為交流電源；變流器由閘流體組成，控制閘極脈波觸發時間，即可決定輸出交流電源頻率，供應給感應馬達電源，達到改變輸出供水壓力之功能。

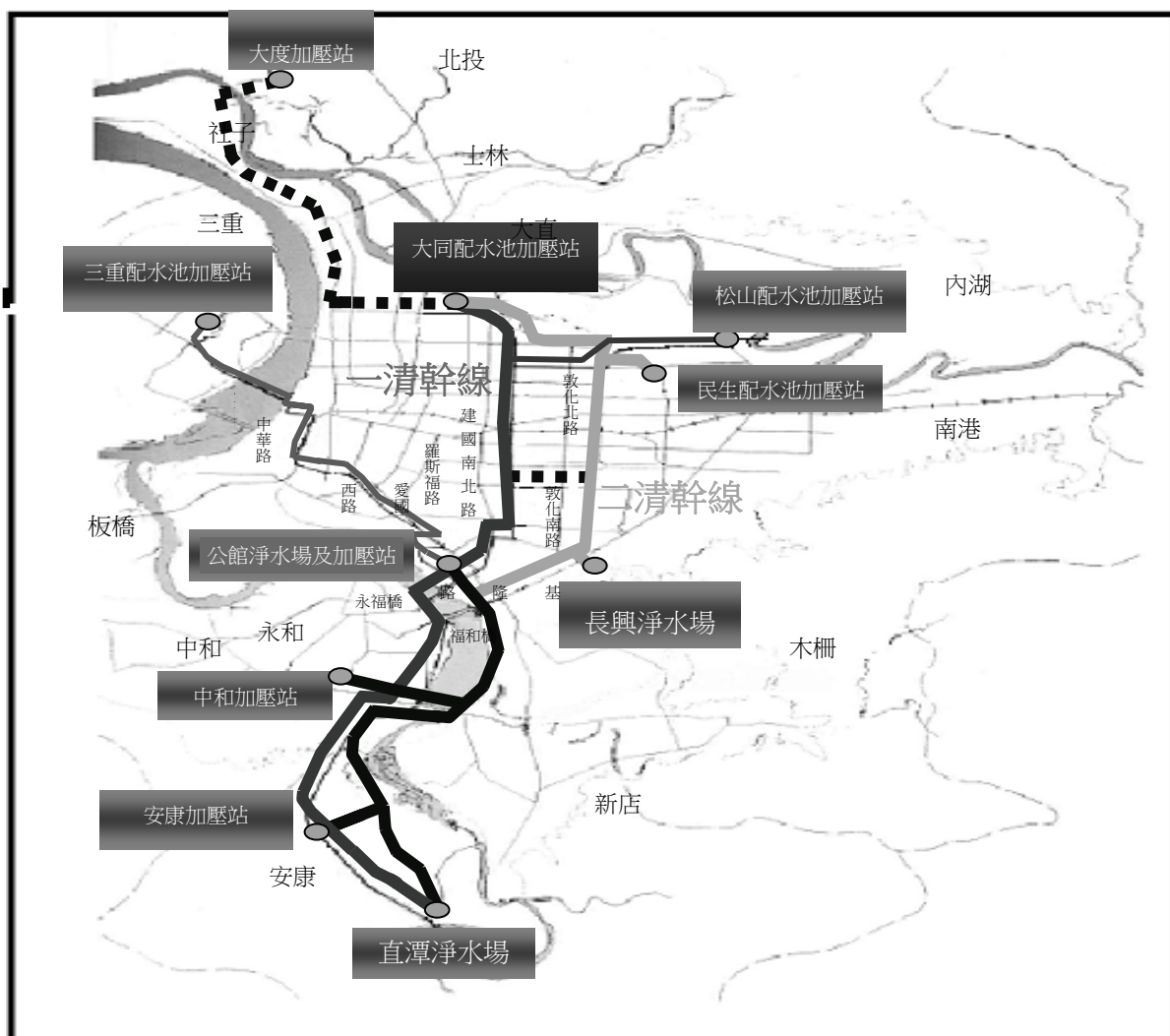


圖 1 第一清水及第二清水幹線圖



圖 2 公館加壓站管線流程圖

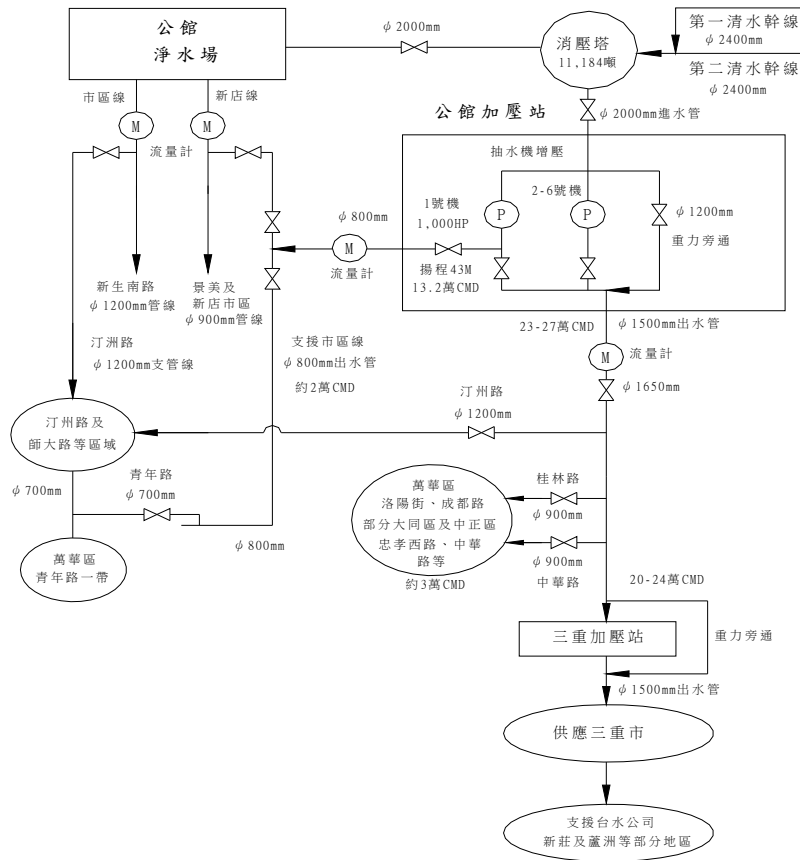


圖 3 公館加壓站供水系統示意圖

抽水機為供水系統加壓站之心臟，大致可歸類陸上型及沉水式兩大類，目前在北水處使用之抽水機，多採用三相交流感應電動機，其運轉關係式如下：

$$N = 120f(1 - S)/P \quad (1)$$

其中

N：電動機轉速(r.p.m) f：電源頻率(Hz)

P：電動機極數(Pole) S：轉差率(Slew rate)

因此，使用變頻器，即可改變電動機電源輸入頻率而達變速目的。已知電動機的軸馬力(W)與負載轉矩之乘積成正比，且負載轉矩與轉速(N)的 2 次方成正比，故軸馬力(W)與轉速(N)之 3 次方成正比。

假設抽水機全速運轉時之轉速為  $N_1$ ，輸出之軸馬力為  $W_1$ ，則利用變頻器將使得抽水機由  $N_1$  降速至  $N_2$ (r.p.m 降低)，以調節負載所

需之軸馬力為  $W_2$ ，則理論上可節省之軸馬力為：

$$W_1 - W_2 = W_1[1 - (N_2/N_1)^3] \quad (2)$$

根據相似定律，抽水轉速的變化對於輸出流量、揚程及軸馬力分別為線性、2 次方與 3 次方的函數關係。因此轉速的降低將可有效降低軸馬力。使用變頻器控制轉速以使用作調節抽水機流量及壓力之重要決策變數已成為主流。

以往臺北自來水事業處(簡稱北水處)的供水系統抽水機大都採用定速電動抽水機來加壓供水，一般採用 ON-OFF 開關控制或抽水機馬力搭配控制，唯依以往的操作經驗可知，因供水量、用水量需求隨四季、星期別、溫度變化呈現差異性，且每日供水量亦有尖、離峰時段、隨時間變化，使供水壓力

無法維持在一適當穩定的範圍，可能導致管網壓力過高，造成電能之浪費；或造成管末壓力過低，無法滿足用戶之需求因而造成民怨；因此如何將每日尖、離峰時段供水量問題作適當的 SCADA 監控調配調度，以期能夠達到供水系統之水壓調配最佳化。

#### 四、設置變頻器效益概述

(一)穩定管網壓力

(二)延長機具使用年限提高效率

(三)提高電源功率因數，降低運轉電流

3 相交流電源功率公式如下：

$$P = \sqrt{3}V \times I \times \cos \theta \quad \text{KW} \quad (3)$$

加壓站抽水機為採感應馬達，全速運轉功率因數介於 82-88%，全速運轉額定功率  $P_1$  運轉公式如下， $\cos \theta_1$ ， $I_1$  為全速運轉之功率因數及電流：

$$P_1 = \sqrt{3}V \times I_1 \times \cos \theta_1 \quad \text{-----} \quad (4)$$

提高電源功率因數後之功率  $P_2$  運轉公式如下， $\cos \theta_2$ ， $I_2$  為運轉改善功因後功率因數及電流：

$$P_2 = \sqrt{3}V \times I_2 \times \cos \theta_2 \quad \text{-----} \quad (5)$$

比較 A 式與 B 式得知，若為輸出同樣能量，則  $P_1$  與  $P_2$  (額定功率) 需相等，而  $V$  (電源電壓) 為固定值，改善之功率因數 ( $\cos \theta_2 > \cos \theta_1$ ) 大且接近 1，則其抽水機運轉電流 ( $I_2 < I_1$ ) 較小，故變頻器將電源之功率因數 ( $\cos \theta$ ) 提高至 99-100%，可降低抽水機運轉電流，即可降低電源線路損失及熱量。

(四)降低漏水率

(五)節能減碳

變頻器節能公式推導：

公館加壓站設有 1 台 440V700Hp 及 5 台 3.3KV 1,000HP 8 極 900 rpm. 大型感應馬達，其抽水機設計揚程 43M 及流量 132,000CMD 豎軸式陸上型抽水機，為由 3 $\phi$  感應電動馬達帶動，感應馬達轉速公式如下：

同步轉速  $N_s = \frac{120 f}{p}$  ;  $f$  為電源頻率， $p$  為馬達極數。 (6)

轉差率  $S = \frac{N_s - N}{N} \%$  (7)

感應馬達轉速  $N = N_s(1 - S)$  (8)

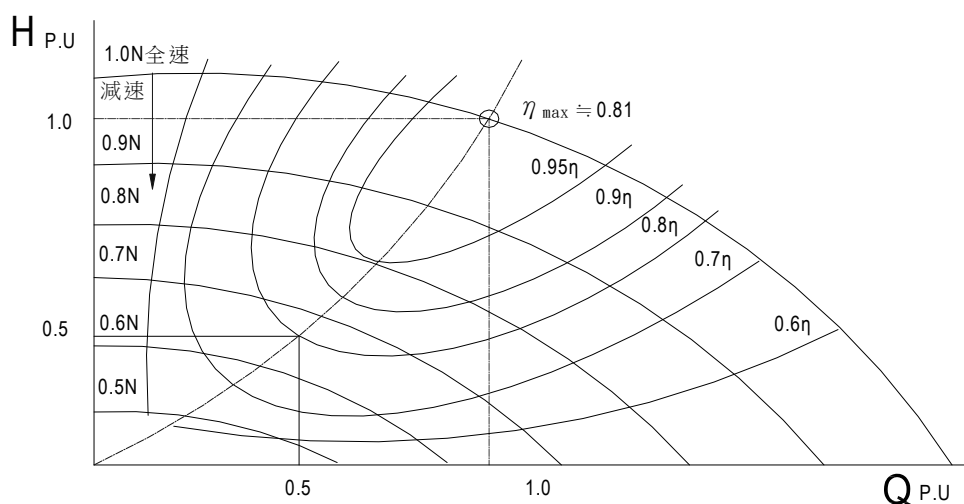


圖 4 泵浦之 H-Q 特性趨勢圖

由上述感應馬達轉速公式得知，若想要改變感應馬達之轉速，可改變馬達極數或電源頻率兩種方法，然而馬達極數為硬體設施無法改變，而電源頻率則可使用變頻器來加以改變，使用變頻器將電動機之轉速以  $N_1 \rightarrow N_2$  作減速變化時，則由泵浦之 H-Q 特性曲線圖（如圖 6），其所需之動力將隨轉速及揚程降低而減少，即可達到節能之效果。

因此在理論上感應電動機之轉速與水量、揚程及動力之關係如下：  
（依據抽水機之相似定理推導）

$$\text{水量}(Q) \quad \frac{Q_1}{Q_2} \cong \frac{N_1}{N_2} \quad (9)$$

$$\text{揚程}(H) \quad \frac{H_1}{H_2} \cong \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{N_1}{N_2} \cong \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (10)$$

$$\text{功率}(P) \quad \frac{P_1}{P_2} \cong \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{H_1}{H_2} \cong \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (11)$$

$$\text{功率與揚程} \quad \frac{P}{P_2} \cong \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \cong \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (12)$$

揚程與頻率之關係（若轉差率 S 不考慮，則  $N \cong N_s$ ，臺灣電源頻率  $f = 60\text{Hz}$ ）

$$\frac{H_1}{H_2} \cong \left(\frac{60}{f_2}\right)^2 \quad (13)$$

功率與頻率之關係（若轉差率 S 不考慮，則  $N \cong N_s$ ）

$$\frac{P_1}{P_2} \cong \left(\frac{60}{f_2}\right)^3 \quad (14)$$

所以利用變頻器作為轉速控制，以調節適當需求之壓力、流量之功率  $P_2$ ，與全速運轉所需要的功率  $P_1$  相比較，理論上可節省如下之功率：

$$P_1 - P_2 = P_1 \left[1 - \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3\right] \quad (15)$$

## 五、變頻器控制方式探討

### （一）以抽水機出口端壓力為回授值

變頻器使用 PID（比例積分微分器，因頻率與揚程及功率為 2 次方及 3 次方關係）控制，在讀取出水壓力值，取靠近抽水機端之出水壓力為回授參考值，來修正變頻器頻率調整輸出能量及壓力，故可使抽水機所輸出的功率降低，本案先期評估採 S134 為參考點（如圖 10 S134 成都路 12 號前，該點壓力值介於  $0.65 \sim 1.20 \text{kg/cm}^2$ ），S134 取平均約  $0.9 \text{kg/cm}^2$  應可滿足該區域用水需求，將該點定壓  $0.9 \text{kg/cm}^2$  後，若抽水機出水壓在  $3.6 \text{kg/cm}^2$  至  $3.0 \text{kg/cm}^2$  之間運轉變化，所節省的電力耗能應在 15% 至 35% 之間。

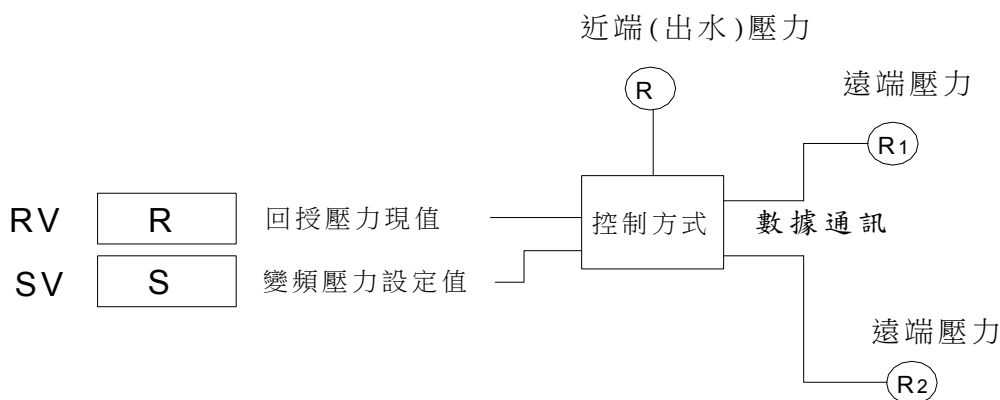


圖 5 變頻器控制方式

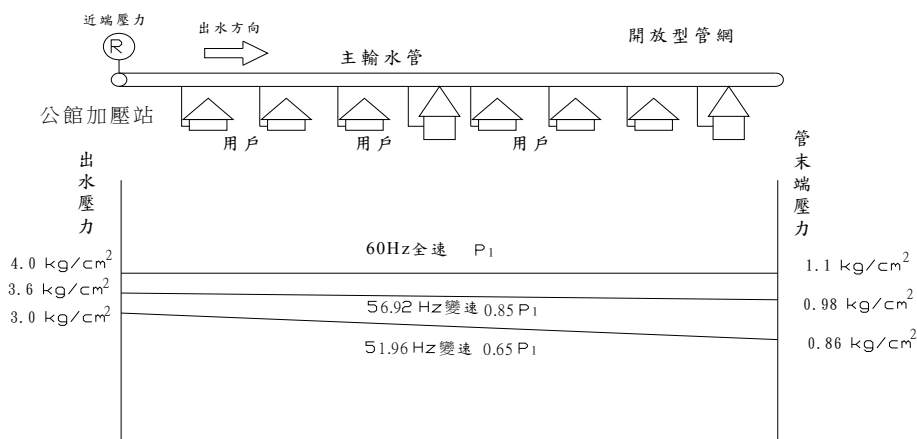


圖 6 以加壓站出口端壓力為回授值

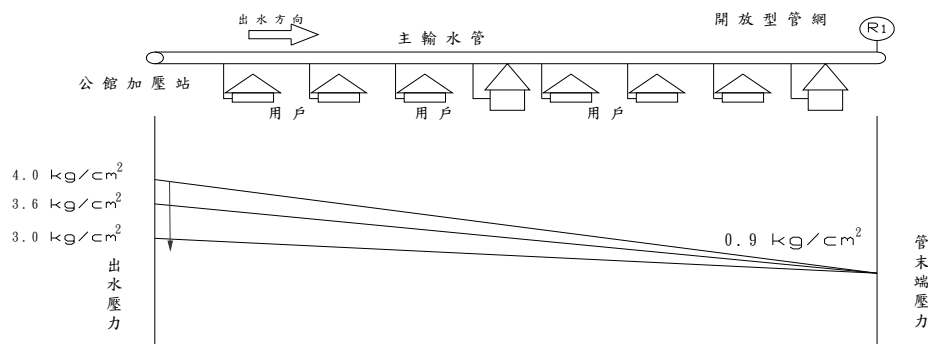


圖 7 以管網末端壓力為回授值

此種控制方式為最簡便之設置方法，優點僅須於加壓站出水口端取回授壓力值即可控制，在受限於小區域管網時，無其它監測壓力可運用，或監視點通訊故障時也可採本模式運轉，如三重、東湖、12 張、木柵 2 期 2 站及安康加壓站等，缺點為無法穩定管網末端壓力。

## (二)以管網末端壓力為回授值

變頻器 PID 讀取管網末端壓力為回授值，隨著用戶用水量大小變化，修正變頻器輸出能量，相對於抽水機端輸出壓力隨時在調整（可設定 5 分鐘回授調整一次），故輸出壓力上下變化較大，但管網末端壓力可維持定值，故能滿足所有用戶之需求；參考公

館加壓站 97 年度用電統計表，本站每月用電總度數介於 16.2 萬至 38.9 萬 KWH(度)，以 1,000HP 抽水機現每日運轉約 4 小時計算，每月耗能約 17.9 萬 KWH(度)，則每月約可節省 2.68 萬至 6.26 萬 KWH(度) 之間，又變頻器可將功率因數調高至 99-100%，進一步也節省可觀的功率因數調整費。近年來公館加壓站供應三重加壓站依順序以 S517、S513、S134 為優先回授壓力監視點，且實用性高。

以此方式之優點可滿足管網末端壓力，並可提高售水率及減少漏水率，例如公館加壓站及三重加壓站變頻採本種方式供水，缺點為遠端監視點壓力值可能受通訊品質影響，但若通訊中斷將自動切換到公館加

壓站抽水機出口端壓力為回授值，可減低供水風險。

### (三)公館—三重加壓站雙變頻供水系統

其運轉模式如後：日間重力流加變頻器(外旁通部分)當三重加壓站水池之水位下降至一定高度時(視季節及妥當用水情形而定)關閉三重加壓站進水閥，停止抽水機運轉(採取依據一定水位深度為準)，啟動運轉公館加壓站變頻器馬達，並視情況定出一定水壓或依遠方監視點水壓決定，其好處是：若像以往因為公館加壓站 2 台定速運轉時，無法精確掌握三重加壓站之蓄水池；當凌晨離峰用水時，公館加壓站停機，僅採用調整三重加壓站進水閥控制供水壓力，與進水流量，並停止抽水機馬達運轉，如此能達到節能的最佳效果。一般而言，現行的大型、小型加壓站加裝變頻器是非常普遍的事，但公館加壓站是一套結合三重加壓站，對供水運轉提供均壓、節能及最穩定管控的雙變頻器供水系統，已能達到省能且最佳節能減碳之效能。在凌晨時，因以前之定速運轉無法精確的讓三重加壓站水池水位保持在適當水位，如今減少抽水機之運作加裝變頻成此項有效且重要之任務。

### (四)公館加壓站每天 24 小時供水之操作行程

- 0130→0700 > 供水進入(三重加壓站)
- 0700→1800 > 公館加壓站重力供水至(三重加壓站)
- 1400→1800 > 視壓力調整公館旁通閥
  - > 三重加壓站啟動運轉 1 台
  - 2200 > 三重加壓站啟動運轉共 2 台
  - 2300 > 三重加壓站停機(水位降至低水位)(水位深度 2.3~2.5 公尺)
  - > 公館加壓站啟動抽水機馬

達 補足 三重 地區 供水 (1000Hpx 2)在定壓力下

- 0030 > 因三重地區用水需求降低，由公館加壓站開始重力供水
- 0130 > 三重加壓站蓄水池開始進水
- 0700 > 三重加壓站停止進水(滿水位 5.95 公尺)

圖 8 可知，三重加壓站於次尖峰時段，進水補足水池水位，因為如果水位未達到理想高度，則只有二種解決辦法：

- 1.開大進水閥開度(將影響轄區內供水壓力)
- 2.啟動公館加壓站供應流量補足水位(浪費電力)

如趨勢圖 9 所示，在接近凌晨用水量降低時，(供水端可以滿足用水端，又可以進水)，則可以開閥進水增加水位，達到理想水位，因為將水位降至低限再追加，是最佳模式。

(註解：所謂理想水位是隨每一季節、每一日溫度、周日、週末、節慶、管線、場站、維修制度，經過不同測試各有不同水位值，可得知理想水位)。

再經由雙變頻系統，將上游重力供水發揮到最大效率，而不會影響淨水場所需的供水壓力，達到最佳的管網調配。

### (五)三重加壓站外旁通與內旁通供水調配

以三重加壓站為例，運用大型加壓站的外旁通與內旁通(利用直潭重力流餘壓調配供水)來做調配，可發揮極大功效。三重加壓站開啟外旁通後，水壓提昇且當地用水習慣也改變，大樓聳立皆配置大型配水池改為間接供水，相對的減低尖峰時段水量需求，然而因外旁通開啟，能在離峰時段補足用戶水池。

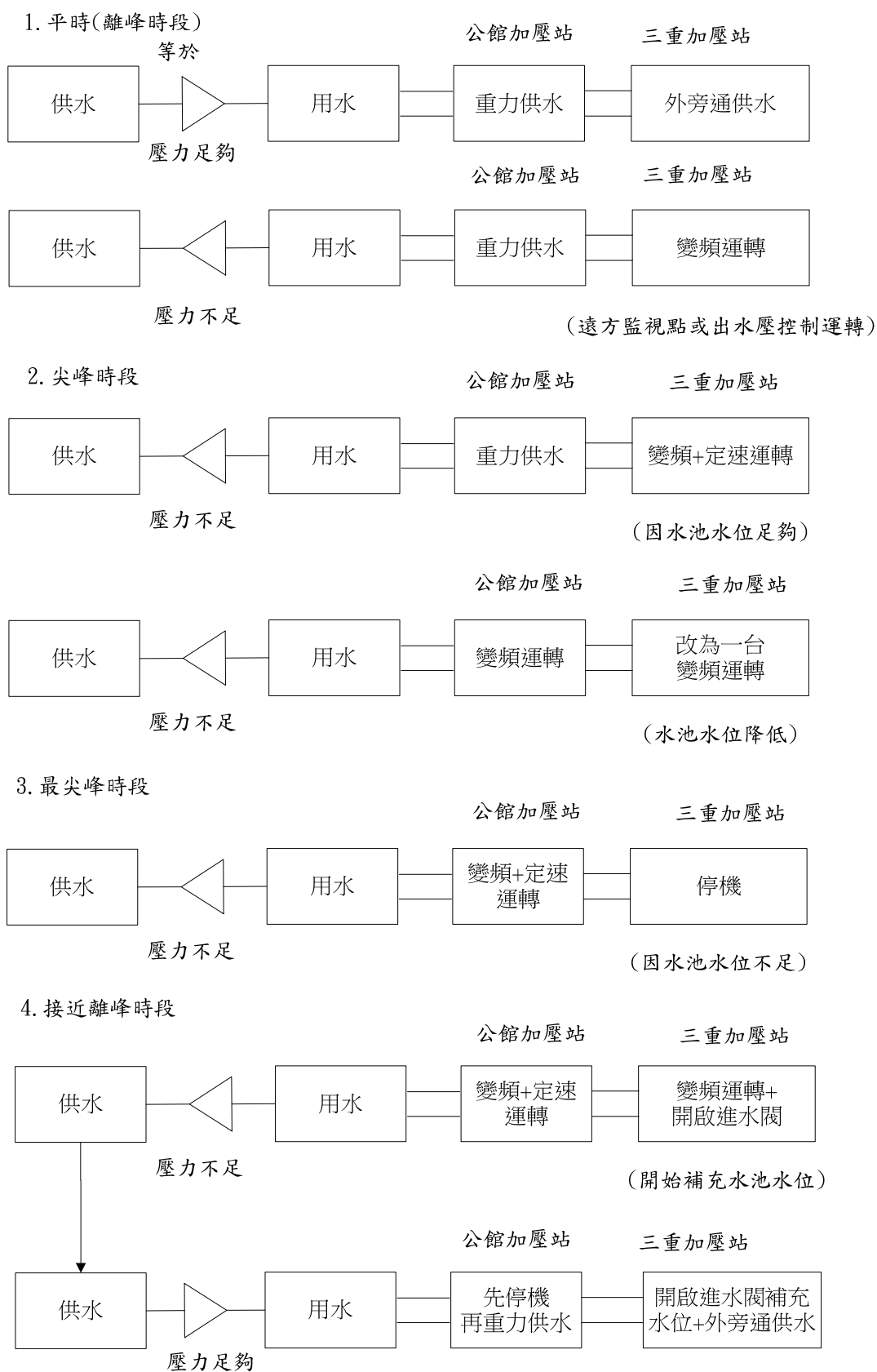


圖 8 SCADA 即時監控雙變頻供水系統

所謂內旁通是指在加壓站內部旁通閥打開，自來水由此流出，不經配水池。而所謂外旁通是指自來水未進加壓站，清水直接進入配水管網，並進入配水用戶給水管線。

公館加壓站利用重力供水，尖峰時段由公館加壓站供水，外旁通開啟後因進水與出水閥同壓力，故不論進水閥開至多少，其出水壓與進水壓皆是相等，如此整個離峰時段均可保持均壓，其原因是變頻器的定壓力出水，加上外旁通開啟，當外部水量滿足後，剩下的水全部都進入三重加壓站配水池。

因外部(三重地區需水要求已滿足時)上游端持續供水，由於外部負載端已飽和，故全部之水量改進入三重加壓站地配水池貯水，又因為是變頻器定壓出水，故出水壓力會維持在一定壓力，不會因進水閥的開度而變化。如此離峰時用戶蓄水池達到滿水位，加壓站配水池也會因外部飽滿而進水，當用

水需求量大時，關閉進水閥改由配水池與由上游供水即可。

### (六)後續運轉模式

公館加壓站原每日供水約 23 萬至 27 萬噸，除約有 6 萬 CMD 流入三重加壓站配水池再加壓輸出外，其餘屬於開放性管網直接供水給用戶，並視遠方監視點管網末端壓力變化，增減抽水機運轉台數，故常有水壓過高造成浪費電能及管網壓力不穩定等現象發生。

由於該站供水系統日趨複雜，供水量與抽水機運轉時數亦將同步增加，決定裝置高壓變頻器設備，以穩定管網壓力、並且提高供水品質，本處決定在 5 台 1,000Hp 高壓抽水機中，選擇 2 台變頻抽水機同時運轉，且採遠方監視點定壓控制為主要控制方式，如此操作模式將更精緻化，並可達到節能減碳，穩定供水系統品質。

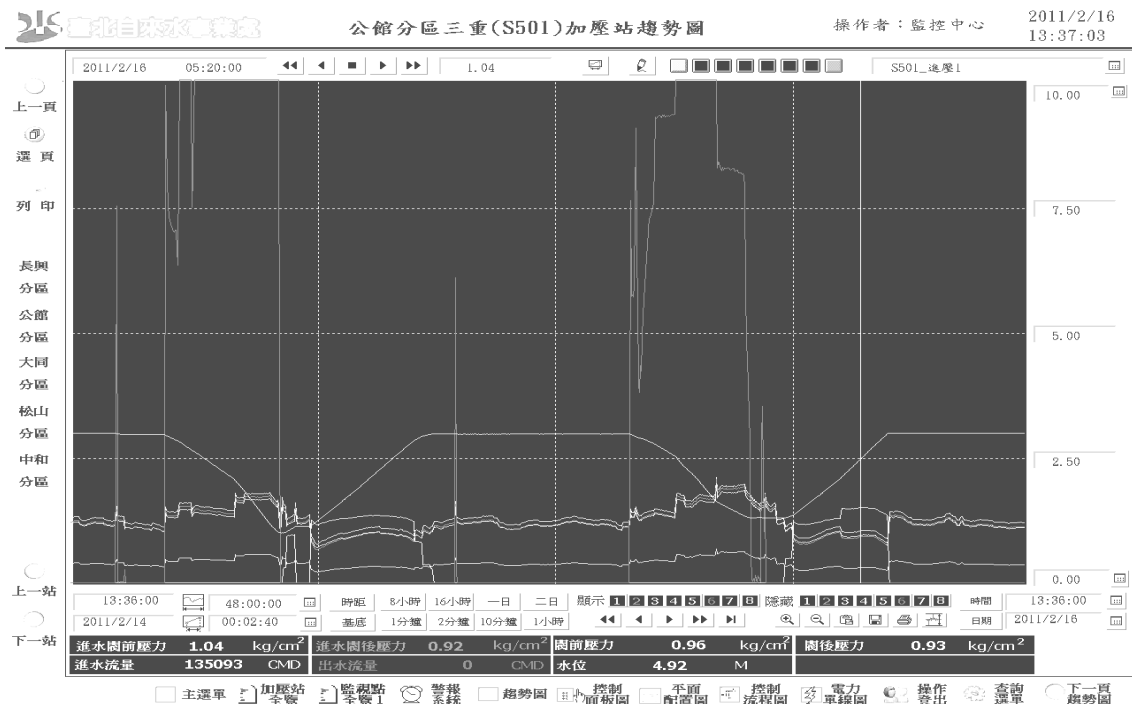


圖 9 公館分區三重加壓站趨勢圖

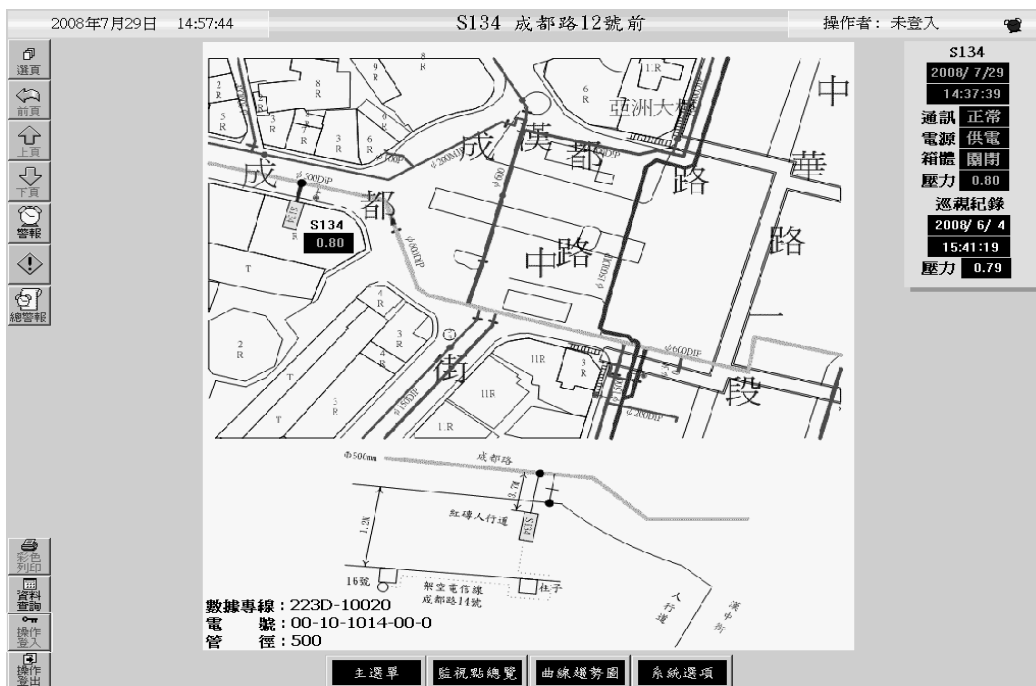


圖 10 監視點 S134 成都路 12 號前

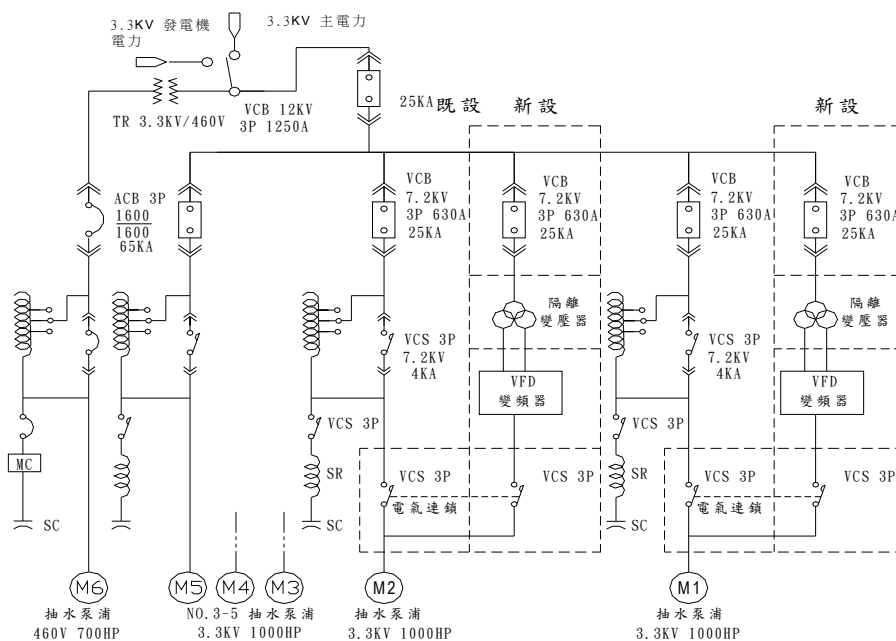


圖 11 公館加壓站變頻器電力系統圖

## 六、裝設變頻器經費概估

### (一)公館加壓站變頻器電力系統圖設計

於既設 2 台抽水機規劃設置 2 組變頻器機組。

### (二)變頻器裝設地點

本站 2 樓配電盤機房位置已滿，故設置於 1 樓機房，規劃出 11\*10M 空間加以隔間並設置空調設備，作為本案運轉之變頻器室。

### (三)工程經費發包款項

- 1.電力設備：約 358 萬元
  - 2.儀控設備：約 34 萬元
  - 3.空調及隔間：約 44 萬元
  - 4.變頻器(含正弦濾波器、低壓電源轉換器及外箱等)輸出 1000HP (含以上)：約 2,106 萬元
  - 5.隔離變壓器(模鑄型含外箱)：約 386 萬元。
- 本站工程經費共約 2,928 萬元。

### (四)裝置單台及雙台變頻器比較

單台變頻運轉之操作模式，以 1 台變頻抽水機運轉加 1 台全速抽水機運轉，依上述之泵浦之 H-Q 特性曲線圖，此單台變頻抽水機運轉約在 0.75N 至 0.85N (1.0N 為全速) 運轉，抽水機效率約介於  $0.75\eta \sim 0.85\eta$  (額定點  $\eta = 81\%$ )，即效率約 60%~68.9% 之間，若選雙台變頻運轉之操作模式，以 2 台變頻抽水機運轉，依泵浦之 H-Q 特性曲線圖，每台變頻抽水機運轉約在 0.85N 至 0.95N 運轉，抽水機效率約介於  $0.85\eta \sim 0.95\eta$ ，即效率提昇在約 68.9%~77% 之間(抽水機效率高較為省能)。

所以若以單台變頻運轉和以雙台變頻

器運轉比較，顯然以雙台變頻器運轉之操作為效率較佳之模式，又更為節省電能，雙台變頻器運轉操作之實用性較單台變頻運轉(抽水機無法換台操作)簡便，可輪流停機作抽水機及變頻器之維護保養。

## 七、結論與建議

### (一)結論

公館加壓站規劃在 5 台 3.3KV 1,000HP 高壓抽水機中，選 2 台抽水機裝置變頻器設備，運轉模式將以 2 台變頻抽水機運轉，設置變頻器初估約需 2,928 萬元預算，以採管網末端定壓為主要控制方式，並輔以抽水機出口端壓力值控制，可滿足管網末端壓力及降低漏水率，提昇本處供水品質，可延長昂貴高壓抽水機之壽命，節省保養及維護費用等有形及無形之效益。又本站之供水區域逐漸擴增，將支援公館淨水場之新店線市區支線  $\phi 800\text{mm}$  水量，及公館淨水場之市區線汀洲路  $\phi 1200\text{mm}$  支管部份水量，供水量與抽水機運轉時數亦將同步增加，操作模式亦須更精緻化，故裝置變頻節能穩壓為可行之方向。

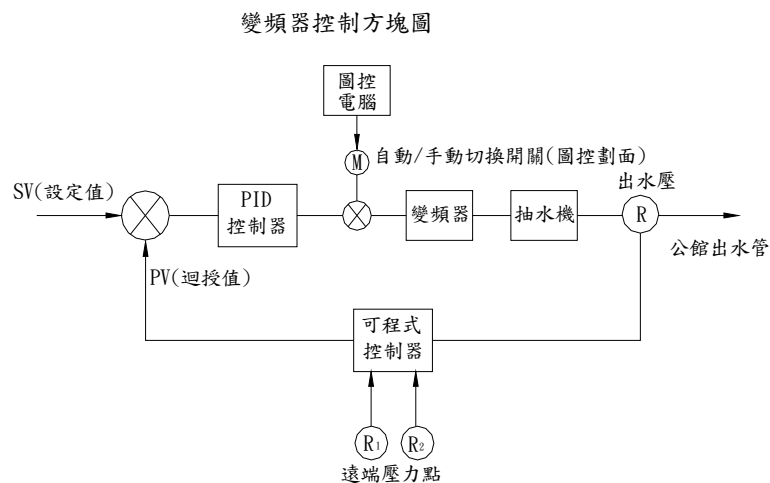


圖 12 變頻器控制方塊圖

## (二)建議

- 1.節省水資源與節省能源同樣重要,北水處為有效減少漏水,提升水資源利用率,以負責任態度及科學化分析,結合管網、圖資、物料、水質、監控等各項管理資訊系統,有效配合,發揮團隊精神畢竟其功。
- 2.在節省能源方面,以減少石油消耗,降低對環境污染,並建立加壓站節能之最佳操控模式,變頻器不但是節能利器,亦為水壓管理利器。
- 3.使用變頻器之無段變速特性,搭配抽水機在實施負載管理機制下,可有效精緻管理尖、離峰管網之水壓,且抑低用電量至最精準,節能成效大,建議有效充分應用。
- 4.同時因應現代化企業管理之潮流,自來水供水設施正邁向自動化目標,除可提高人力運用之彈性外,更可藉 SCADA 監視監控系統增進設備有效管理。

## 參考文獻

- 1.康晉宇宙科技公司,大台北區自來水監控系統系統手冊。
- 2.中華民國自來水協會,自來水供水設備及操作方式在節約能源運用上之探討,中華民國91年。
- 3.莊東漢,中央大學,變頻控制於流體機械節能之探討,馬達科技研究中心地61期,2004年。
- 4.謝玉盛,高雄區配水中心監控系統工程簡介,自來水會刊雜誌第22卷第4期,中華民國92年11月。
- 5.臺北自來水事業處,監控系統加壓站及監視點運轉測試報告,中華民國93年6月。
- 6.臺北市政府,加壓站供水運轉模式最佳化探討,96年12月。
- 7.台北自來水事業處供水科,公館及大同加壓站增設變頻器評估報告,中華民國97年12月。
- 8.朱健行,臺北自來水事業處,臺北區自來水安全輸配水管裡系統,第六屆海峽兩岸水質安全控制技術及管理研討會,2010年10月。

## 作者簡介

### 王銘博先生

現職：臺北自來水事業處供水科科长

專長：管線工程設計、施工、管理

### 彭伊呂先生

現職：臺北自來水事業處供水科股長

專長：管線工程規畫、設計、施工、水量調配及水壓管理

### 李叔龍先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司

專長：機電工程設計

### 黃仁正先生

現職：臺北自來水事業處供水科技術士

專長：供水調配、水壓監控

### 朱健行先生

現職：臺北自來水事業處供水科工程員

專長：自來水規劃、水壓管理、供水調配

# 節能無負壓污染之馬達直接抽水設備改善案例探討

文/江清蓮、張宏瑋

## 摘要

我國「自來水用戶用水設備標準」規定「用戶裝設之抽水機，不得由受水管直接抽水」，惟部分水壓偏低地區用戶不得已使用馬達直接抽水，導致在尖峰用水、減壓供水或停水等期間之水質有安全之虞。

本文介紹桃園市小型社區馬達直接抽水設備改善案例，該社區進水總表後端設置公共用水及 23 住戶共 24 只分表，其中公共用水由分表至一樓地上式水池(0.5M<sup>3</sup>)加壓間接供水；社區內 23 住戶均自設抽水機，經其分表自受水管直接抽水，至於其五樓頂水塔(2~3M<sup>3</sup>)儲存供水。

改善前在水壓低時有負壓進水及抽水機空轉之虞。改善後當水壓臨近負壓時由地上式公共小蓄水池自動補水，若該水池水位低於低限，自動中斷社區所有抽水機，迄水池水位回升至高限再恢復抽水機電源；另為確保復水時自動排氣，另於總表後鄰近分表處增設排氣閥。

本改善案例經一個月連續監測用戶端水壓，期間將總表進水閥開度微開模擬供水不足情況，也恰好遇到自來水管破管進行搶修事件，驗證大部分馬達直接抽水時段受水管維持正壓，有效利用受水管餘壓具節能減碳功效；在受水管短暫臨近負壓時，先由地上式水池補水屬直接間接並存之抽水方式，具負壓污染防制之功效。本方案兼具維持節能及無負壓污染之改善成果，可供國內修法參考，建議比照日本有條件允許自來水用戶自受水管直接抽水。

關鍵詞：用水設備，馬達直接抽水，排氣閥，吸氣閥，負壓污染，節能減碳

## 一、前言

我國自來水法第 50 條第二項規定「…用水設備標準…，由中央主管機關定之」，96 年 2 月 13 日經濟部水利署修正之「自來水用戶用水設備標準」第 14 條仍延續規定「用戶裝設之抽水機，不得由受水管直接抽水」。惟部分水壓偏低地區之用戶仍使用馬達直接抽水，導致在尖峰用水、減壓供水或停水等期間之水質有安全之虞。

民國 91 年北臺灣實施抗旱分區停水期間，發生嚴重管網水質污染，造成社會恐慌輿論譁然，其乃本處首度經驗之負壓污染震撼。在為期 54 日之分區停水期間，本處供水轄區水質申訴案高達 2000 餘件，幾乎為平時的數十倍之多，其中用戶因馬達直接抽水致水質污染者亦達 200 餘件。

本處為建立「馬達直接抽水」用水設備不合格用戶建檔，俾利後續管控作業進行，於 96 年 8-10 月針對本處轄區內用戶透過查抄用戶水表同時進行全面普查，確認用戶表後裝設馬達者共計 56,728 件，約占本次普查 348,796 總表數之 16.3%，其中以 25mm 以下 53,471 件最多，口徑 50mm 以上的大表亦有 316 件，本處所採措施僅止於發函通知用戶不得以馬達直接抽水，應恢復經由水池間接抽水；此外，新的違規馬達直接抽水案例在水電商擅自為用戶改裝下，仍在持續增加中。

日本有條件允許自來水用戶自受水管

直接抽水，兼具有效利用受水管餘壓(節能減碳)及負壓污染防治之功效。反觀國內面對無數馬達直接抽水用戶，既未取締違規，又任其存在水質污染風險，倘能修法並提供經濟改善對策，不僅可達節能減碳且防制負壓污染；另採經濟改善方案費用成本主要為工資，將可有效增加就業機會。

## 二、用戶加壓供水方式比較(詳如表1)

類型 1：抽水機間接抽水(受水管→水池→抽水機→水塔)

供水方式符合我國「自來水用戶用水設備標準」之規範，惟無法利用管線水壓欠缺節能減碳功效。另用戶面對管網水壓偏低、舊建物地面下水池水質污染或無空間設置地上式水池等難題，因而私自改採馬達直接抽水(類型 2)。

類型 2：定頻抽水機直接抽水(受水管→抽水機→水塔或水龍頭)

使用定頻抽水機自受水管直接抽水，大都忽略由進水水壓控制抽水機啟閉，遇水壓不足將有負壓污染及抽水機空轉之虞。本處曾於 95 年提出此類型之簡易型負壓污染防治方案，包括：1.於抽水機入口之高處管線增設吸氣閥 2.抽水機出口管線增設排氣閥 3.搭配過熱停機之抽水機，簡易型負壓污染防治方案適用於用戶無空間增設小蓄水池之情況，惟未增修法規前仍屬違法而未推廣。

類型 3：變頻抽水機由出水水壓訊號控制轉速

抽水機出水水壓接近高限才逐漸調

低轉數，惟市面產品大都忽略由受水管水壓控制抽水機轉數，遇水壓不足仍有負壓污染及抽水機有空轉之虞。

類型 4：變頻抽水機依出水水壓及進水水壓雙重訊號控制轉速

變頻抽水機需增設進水水壓訊號，抽水機進水水壓接近低限或出水水壓接近高限，逐漸調低轉數；抽水機出水水壓接近低限且抽水機進水水壓大於低限，逐漸調增轉數，因市面水電材料行尚無量產商品，屬個案設計施工，改善經費較高。

類型 5：定頻抽水機於水壓充足時自受水管直接抽水，臨近負壓時自地上儲水池間接補水，本類型係本文研擬並經測試成功之改善方案，兼具自動消除負壓及節能減碳之效能。

## 三、社區自來水設備

### (一)基本資料

- 1.社區總共 23 住戶，進住 16 戶，近 2 年總用水量約 10,000 噸，社區平均日用水量 13.7 噸，每戶平均日用水量 0.85 噸。
- 2.社區表後給水內線：不銹鋼、 $\phi 40$  mm。
- 3.給水管線水壓：0.1~2.2  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (100/05/22~100/06/23)。
- 4.社區公共用水地上式水池：容量 0.5 $\text{M}^3$ 。
- 5.五樓頂 23 套住戶水塔，每戶水塔儲水量平均約 2 噸，總容量約 69 $\text{m}^3$ 。
- 6.社區公共用水抽水機：2HP。
- 7.23 住戶自設抽水機：1HP、最大揚程 25M、抽水量 0.5~47 $\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 8.水質滯留期：平均每戶日用水量 0.86 噸，

平均滯留期 2.3 日。

(二)改善前：(詳如圖 1~2、表 2)

社區自來水經共用總表及 24 只分表，供應公共用水及 23 用戶，除公共用水自地

上水池間接加壓供水，餘 23 用戶各自於一樓設置抽水機直接抽水至五樓頂水塔，水壓大時可直供水塔具節能減碳功能；當供水不足有負壓污染或抽水機空轉之虞。

表 1 用戶加壓供水方式比較表

類型	控制參數	控制邏輯	效能分析
類型 1 抽水機 (間接抽水)	水池水位 水塔水位	1.受水管→水池→抽水機→水塔。 2.水池水位高於低限，水塔水位低於低限，啟動抽水機。	1.抽水機無空轉之虞。 2.水池若位於地下室，應增設持壓閥或進排氣閥，以避免負壓進水，確保水質安全。
類型 2 定頻抽水機 (直接抽水)	水塔水位或 抽水機出水 水壓控制	1.進水管→抽水機→水塔或水龍頭。 2.水塔達高水位或抽水機出水壓達高限，關閉抽水機。 3.水塔水位低於低限或抽水機出水壓達低限，啟動抽水機。	1.抽水機有空轉之虞。 2.自管線直接抽水時，水質有負壓污染之虞。 3.簡易型負壓污染防制方案：(1)抽水機入口之高處管線增設吸氣閥(2)抽水機出口管線增設排氣閥(3)搭配過熱自動停機之抽水機。
類型 3 變頻抽水機 (直/間接抽水)	抽水機出水 水壓訊號	1.進水管線或水池→變頻抽水機→水塔或水龍頭。 2.抽水機出水水壓接近高限，才逐漸調低轉數。 2.抽水機出水壓接近低限，逐漸調增轉數。	1.自管線直接抽水，水質有負壓污染之虞。 2.抽水機有空轉之虞。
類型 4 變頻抽水機 (直/間接抽水)	抽水機受/出水 壓雙重訊號	1.進水管線或水池→變頻抽水機→水塔或水龍頭。 2.抽水機受水水壓接近低限或出水水壓接近高限，逐漸調低轉數。 3.抽水機出水水壓接近低限且受水水壓大於低限，逐漸調增轉數。	1.水質無負壓污染之虞。 2.抽水機無空轉之虞。 3.自管線直接抽水，有效利用管線水壓，具節能減碳功效。 4.變頻抽水機增設受水水壓控制設備，屬個案設計施工，改善經費較高。
類型 5 定頻抽水機 (直/間接抽水)	水池/水塔水位 雙重訊號	1.受水管線及地上儲水池→抽水機→水塔。 2.水池消除低水位訊號，且水塔屬低水位，啟動抽水機；反之，關閉抽水機。	1.維持自受水管直接抽水，有效利用管線水壓，具節能減碳功效。 2.地上式小水池備援補充抽水機所需，消除負壓確保水質無負壓污染之虞。 3.地上式水池水位過低，自動關閉抽水機避免空轉。 4.充份利用舊建物既有設施，改善成本不高；推廣於新建物無需管線遷移成本，費用更低。



(三)改善方式：(詳如圖 1~2、表 2)

1.增設 3 組繼電器連結地上水池及每戶水塔之水位訊號，連動控制 23 用戶抽水機啟閉，並於一樓地上蓄水池增設回流管，臨近負壓時，自該水池回流補充抽水機所需，迄水池水位低於 1.2 米，考量避免位於較高處之分表後端抽水機空轉，而自動中

斷所有抽水機電源，俟水池恢復進水水位達 1.5 米滿水位，自動恢復抽水機電源。倘水池水位接點故障，蓄水池進水管及回流補水管線均具備負壓吸氣功能，可自動減少抽水量進而降低負壓污染風險。

2.分表連通管上方增設 2 只排氣閥，可排氣使復水更順暢。

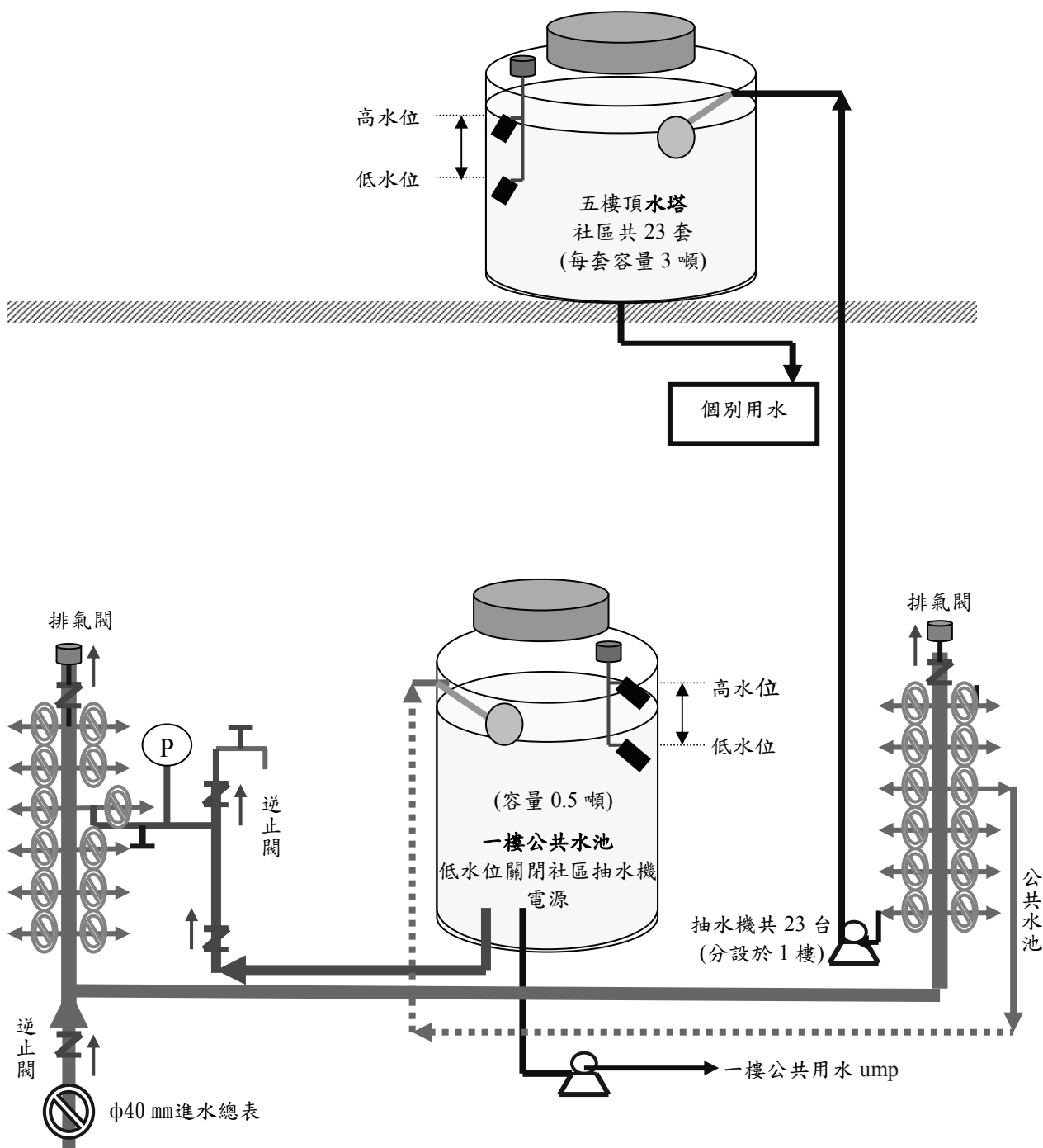


圖 1 社區改良式馬達直接抽水示意圖

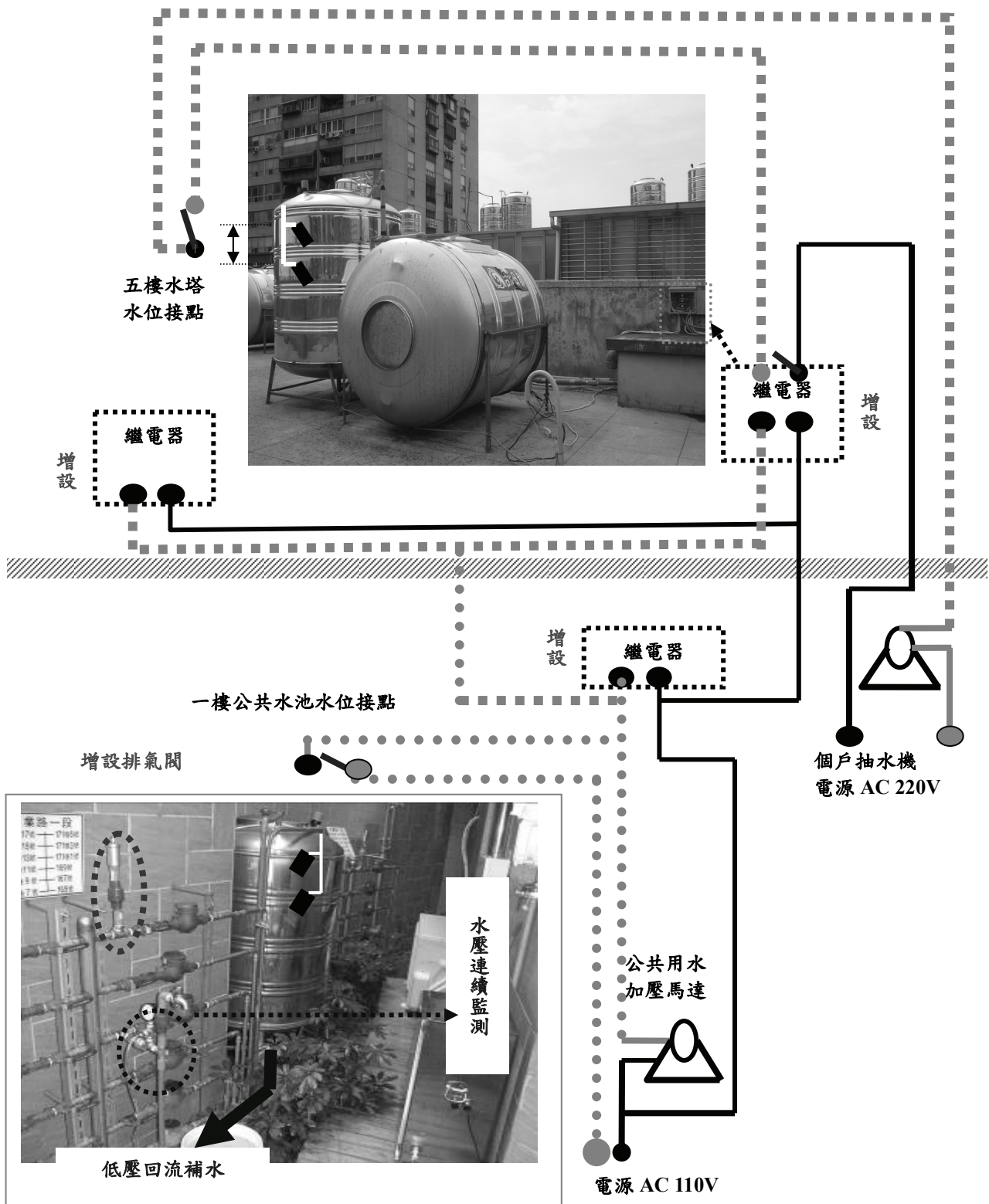


圖 2 社區改良式馬達直接抽水運轉控制線路圖

表 2 馬達直接抽水負壓污染防制改善前後對照表

供水流程	改善前	改善後(經費 NT 26,000 元)
總表←→分表	無排氣功能	設 2 只排氣閥，復水順暢。
分表←→一樓地上水池←→公共用水抽水機	公共水池出現低水位訊號，自動中斷公共用水抽水機電源。	水池水位低於 1.2 米，自動中斷公共用水抽水機電源；俟水池水位達 1.5 米，自動恢復抽水機電源。
23 分表←→五樓 23 個戶抽水機	水池儲水無法回流補充抽水機所需。	抽水機臨近負壓抽水，地上式水池可補水約 150 公升供抽水機所需。
23 個戶抽水機(1HP)←→五樓頂水塔	抽水機僅由水塔水位控制啟閉	增設 3 組繼電器連結地上水池及每戶水塔之水位訊號，連動控制 23 個戶抽水機啟閉。
綜評	23 用戶抽水機有空轉及負壓進水之虞。	1.抽水機無空轉之虞。 2.避免負壓污染。 3.復水順暢。

#### 四、水壓連續監測及抽水機啟閉頻率測試

僅由受水端水壓之壓力開關控制定頻抽水機啟動，當供水不足時常導致抽水機瞬間啟閉現象。為確認本改善方案之抽水機啟閉頻率，及抽水機進水端之水壓變化，100 年 5 月 22 日至 6 月 23 日於該社區進水總表←→給水分表間，進行水壓連續監測，期間 6 月 6 日 20:30 至 6 月 8 日 06:00 將總表處制水閥微開 30% 模擬供水不足，及 6 月 8 日 05:00 至 6 月 10 日清晨恰巧自來水管破管進行搶修及復水作業，由圖 3~圖 7 顯示大部分時段供水足供社區抽水機運轉所需，水壓介於 0.35 ~2.2 kg/cm<sup>2</sup>，此時負壓污染防制設備屬備用狀態，而前述兩時段抽水機啟動時水壓呈現異常(<0.2 kg/cm<sup>2</sup>)。

##### (一)抽水機啟閉頻率測試：

1.圖 8 係總表後之制水閥僅微開 30%，模擬供水不足，6 月 7 日下午觀測抽水機啟閉頻率，Pump 未啟動之靜水壓 > 1.0 kg/cm<sup>2</sup>，

Pump 啟動約 6 分鐘，期間公共水池降至低水位 1.2 米，使 Pump 自動停止運轉，俟公共水池補水 150 公升達高水位 1.5 米約需 6 分鐘，Pump 再自動恢復運轉。

2.圖 9 係比較供水充裕 vs.供水不足之水壓與抽水機之啟閉頻率。5 月 31 日供水充足，Pump 啟動期間水壓僅微降；6 月 7 日夜間供水不足，Pump 未啟動之靜水壓 0.5 kg/cm<sup>2</sup>，Pump 啟動約 10 分鐘公共水池即降至低水位 1.2 米，俟水池補水 150 公升約需 8 分鐘，Pump 再恢復運轉。

3.6 月 8 日 05:00~6 月 9 日下午附近自來水管破管進行搶修，出現供水不足現象，圖 10 係 6 月 9 日清晨靜水壓僅 0.3 kg/cm<sup>2</sup>，公共水池儲水量僅能支援 Pump 抽水約 4 分鐘，俟水池補水 150 公升約需 16 分鐘，Pump 再恢復運轉。

4.圖 11 係 6 月 23 日供水充足，平均水壓 0.7 kg/cm<sup>2</sup>，Pump 啟動約 15 分鐘供水塔進水，水壓僅微降約 0.2 kg/cm<sup>2</sup>，有效利用受水管餘壓供水至水塔。

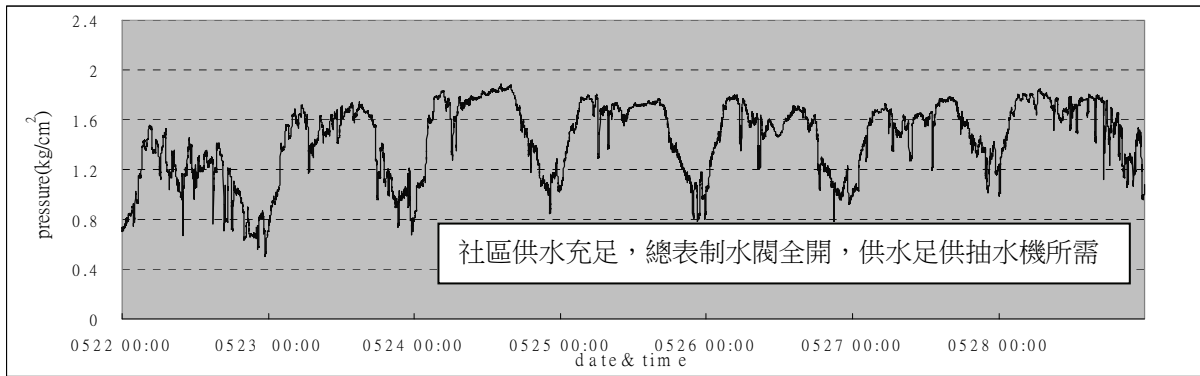


圖 3 水壓連續監測趨勢圖(第 1 週)

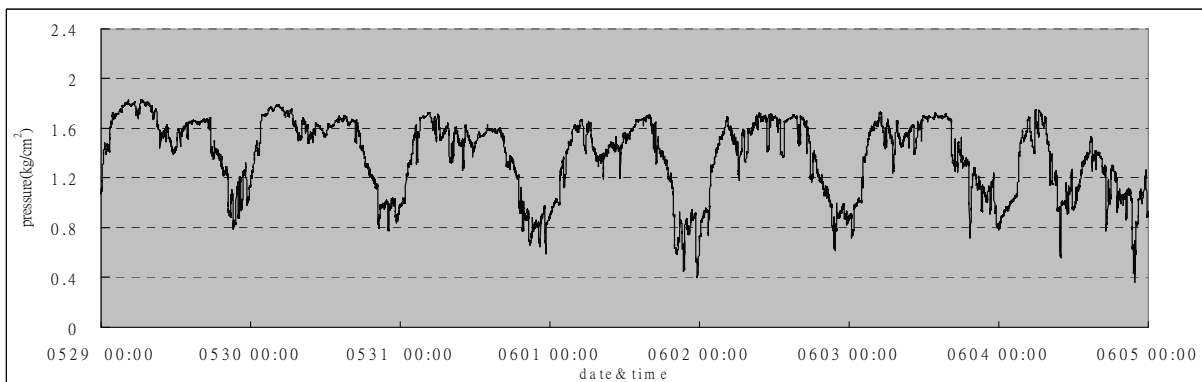


圖 4 水壓連續監測趨勢圖(第 2 週)

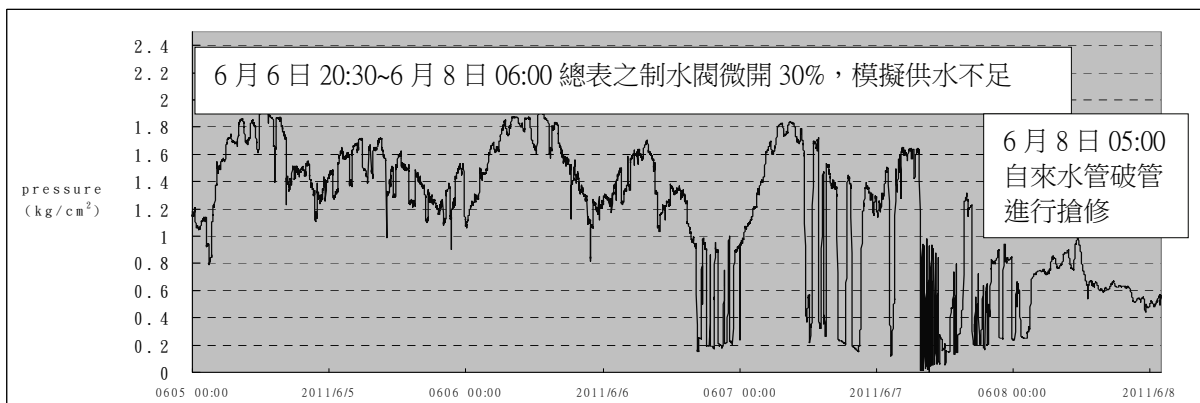


圖 5 水壓連續監測趨勢圖(第 15~18 天)

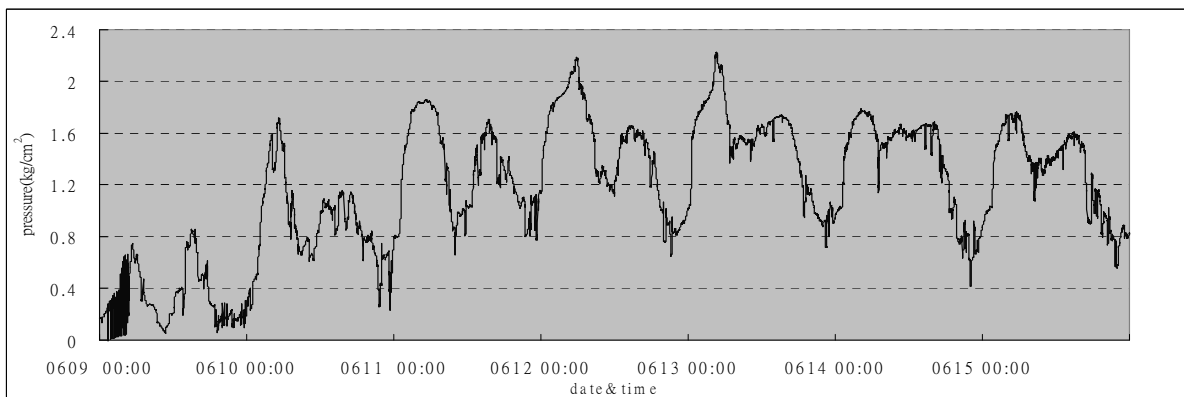


圖 6 水壓連續監測趨勢圖(第 3 週)

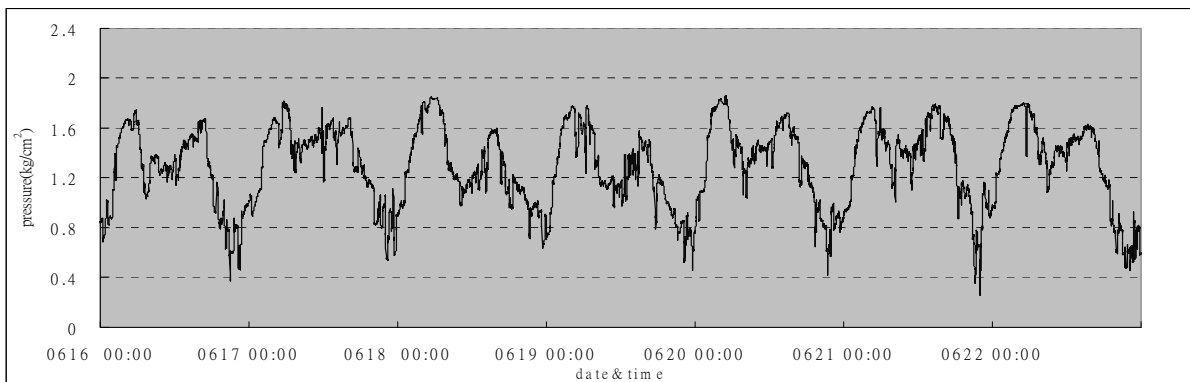


圖 7 水壓連續監測趨勢圖(第 4 週)

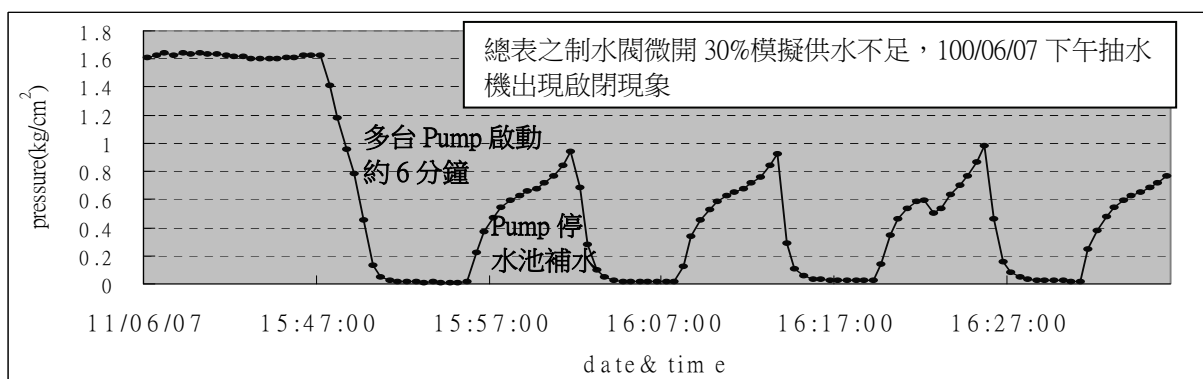


圖 8 模擬供水不足抽水機啟閉之水壓趨勢圖(第 17 天)

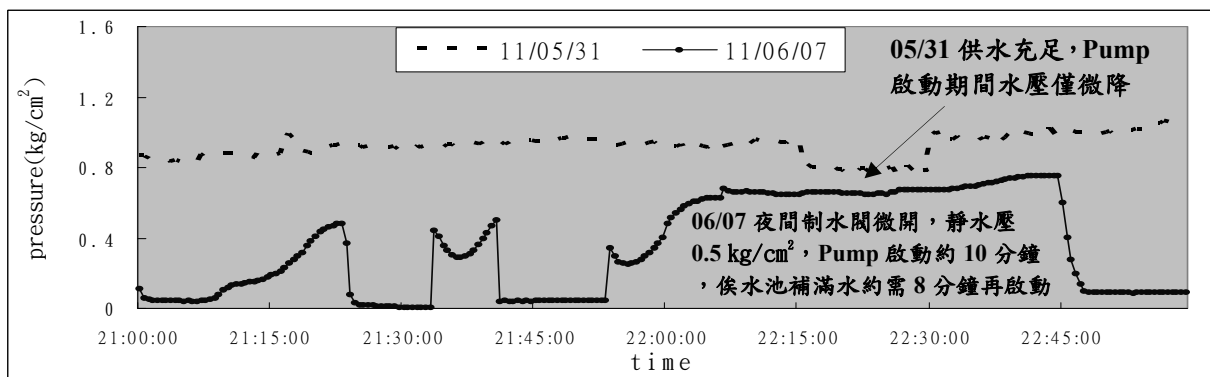


圖 9 供水充裕(第 10 天)vs.供水不足(第 17 天)水壓趨勢圖

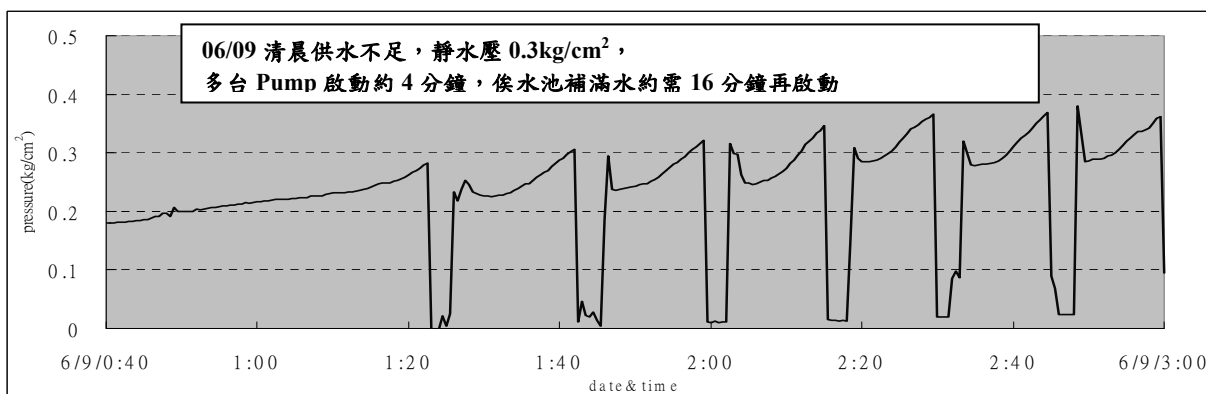


圖 10 供水不足時段抽水機啟動水壓趨勢圖(第 19 天)

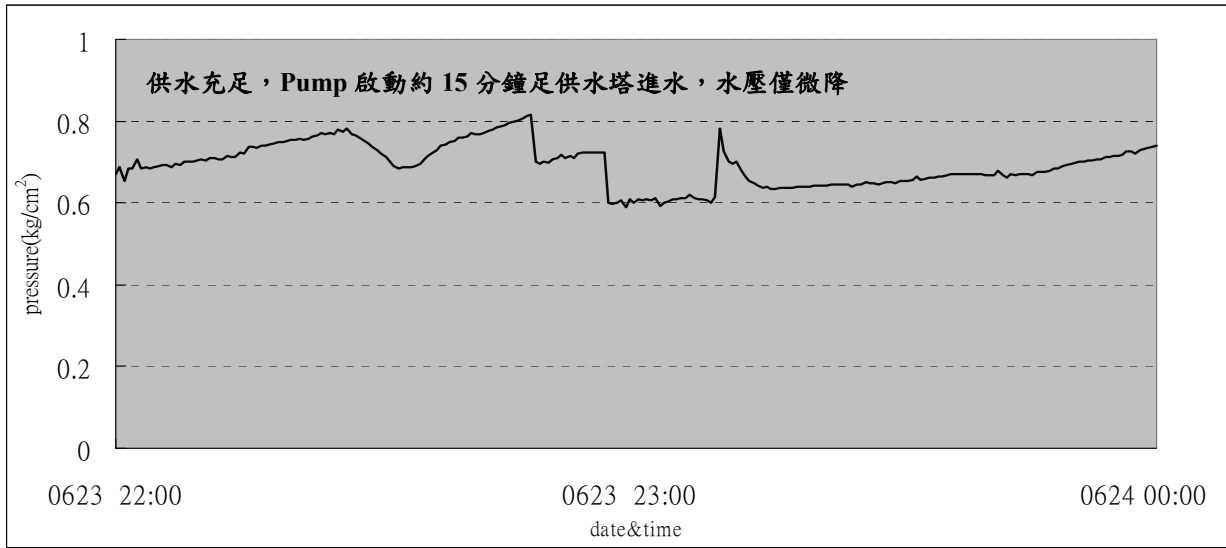


圖 11 供水充裕時段抽水機啟動水壓趨勢圖(第 4 週 06/23)

### (二)抽水機啟閉控制：

當多台 Pump 啟動抽水或受水管供水不足需求，可能導致受水管水壓不足，一樓公共水池最多可回流補水約 150 公升，此時該水池水位降至 1.2 米即自動中斷抽水機電源；Pump 停止運轉後水池恢復進水，迄水位上升至 1.5 米抽水機電源接通。本研究期間巧遇自來水管破管進行搶修及復水作業，在此情況下訪查用戶，其水塔儲水足供用戶飲用。

### (三)抽水機啟閉頻率分析：

國內「自來水用戶用水設備標準」第 6 條「…蓄水池容量應為設計用水量十分之二以上；其與水塔容量合計應為設計用水量十分之四以上至二日用水量以下…」。

本案例社區近 2 年總用水量約 10,000 噸，社區平均日用水量 13.7 噸，每戶平均日用水量 0.85 噸，每戶水塔容量約 2 M<sup>3</sup>。本研究將容量 0.5M<sup>3</sup> 噸之社區公共水池作為抽水機備源之用，水池容量僅佔社區日用水量之百分之四，遠低於現行法規規定之十分之二，惟水塔容量達日用水量之 2 倍以上。因

此影響社區供水穩定與水質安全之關鍵在於抽水機之啟閉控制。

由圖 8~10 係在供水不足抽水機未啟動情況，受水管靜水壓僅 0.3~0.8 kg/cm<sup>2</sup>，之供水不足情況，顯示抽水機運轉時間維持 4~10 分鐘，水池補水 150 公升約 6~16 分鐘(詳如表 3)，其啟閉頻率會隨供水情況彈性增減，優於以 Timer 之定時控制模式。

### 五、抽水機節能分析

若於社區一樓設置 3m<sup>3</sup>水池採間接加壓供水，雖可滿足尖峰抽水所需及消除負壓污染風險，惟此操作方式將浪費受水管達 1kg/cm<sup>2</sup> 水壓之能源。本案例社區住戶個別安裝之抽水機規格：1HP、最大揚程 25 米、流量 0.5~4.0 m<sup>3</sup>/h，抽水機操作趨線如圖 12。目前用戶自受水管直接抽水至五樓頂水塔(高程約 20 米)，扣除社區受水管平均水壓 1 kg/cm<sup>2</sup>，並考量流動摩擦水頭損失，推估抽水機揚程淨負荷約 15 米，抽水量為 3.3 m<sup>3</sup>/h 如圖 12(A 點)；若依「自來水用戶用水設備標準」，將抽水機改自一樓水池抽水至五樓



頂水塔，抽水機揚程淨負荷以 23 米計，抽水量降為 1.6 m<sup>3</sup>/h 如圖 12(B 點)。比較直接抽水量/間接抽水量為 3.3 m<sup>3</sup>/h /1.6 m<sup>3</sup>/h，保守推估採直接抽水方式約可節能 80%。

馬達直接抽水除需具備負壓防制設備及足夠水塔容量外，另為避免尖峰用水時段影響受水管之水壓，日後用戶汰換抽水機時，建議選用較低馬力(1/2 HP)之抽水機以緩和瞬間大量抽水。

### 六、結論與建議

(一)本案例社區於一樓設置公共用水蓄水

池，容量雖僅 0.5m<sup>3</sup>，平時提供公共用水，可避免水質滯留；蓄水池於受水管臨近負壓時自動回流補水，水位訊號連動控制社區 24 台抽水機電源，兼具負壓防制及防止抽水機空轉之功能。

(二)受水管靜水壓僅 0.3~0.8 kg/cm<sup>2</sup>，之供水不足情況，顯示抽水機運轉時間維持 4~10 分鐘，水池補水 150 公升約 6~16 分鐘，若選用較低馬力(1/2 HP)之抽水，抽水機啟閉頻率可再延長，此種隨供水情況自動調整抽水機啟閉頻率，優於以定時器之固定控制模式。

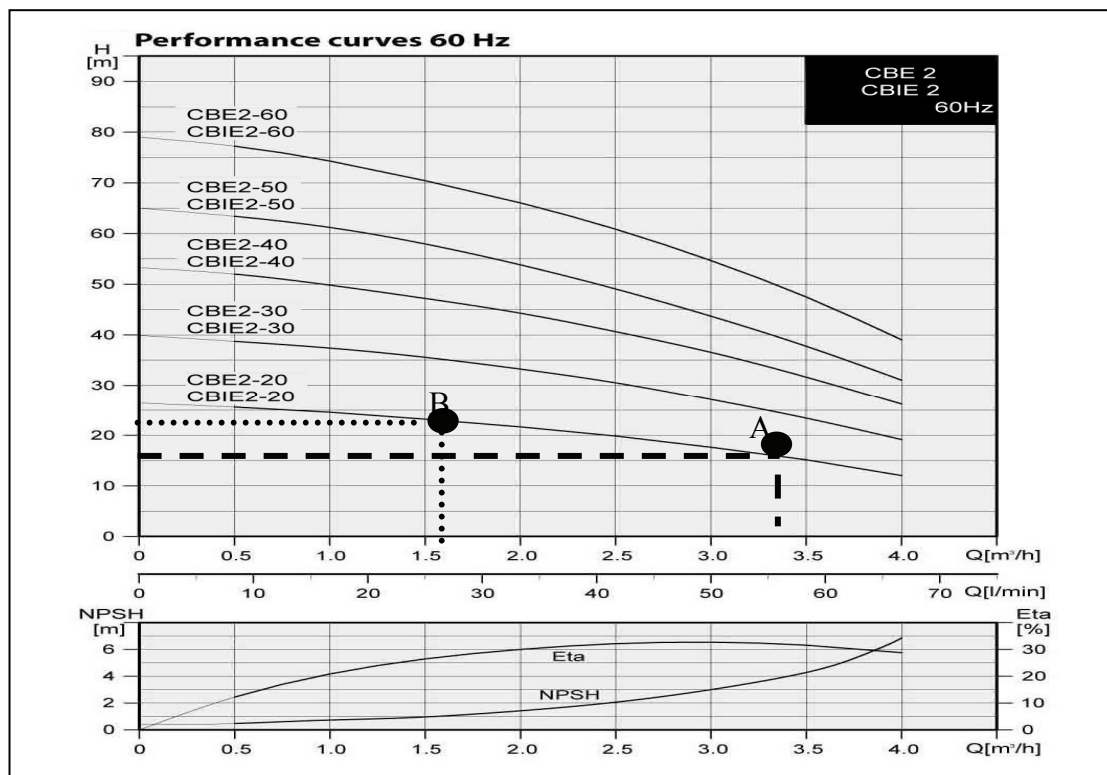


圖 12 抽水機操作趨線圖

表 3 抽水機於不同供水情況抽水機啟閉操作

日期時間	供水情況	Pump 暫停運轉之靜水壓	Pump 運轉時間	水池補水時間(水池水位過低)(Pump 暫停)	圖號
第 17 天 06/07 下午	制水閥微開 30%	0.8 kg/cm <sup>2</sup>	6 分鐘	6 分鐘	圖 8
第 17 天 06/07 夜間	制水閥微開 30%	0.5~0.7 kg/cm <sup>2</sup>	10 分鐘	8 分鐘	圖 9
第 19 天 06/09 清晨	供水不足	0.3~0.4kg/cm <sup>2</sup>	4 分鐘	16 分鐘	圖 10
第 4 週 06/23 深夜	正常非尖峰	0.7 kg/cm <sup>2</sup>	15 分鐘	無	圖 11

- (三)社區近 2 年平均日用水量 13.7 噸，若於一樓擴建 3m<sup>3</sup> 水池採間接加壓供水，雖可滿足尖峰抽水所需及消除負壓污染風險，惟此操作方式將浪費受水管達 1kg/cm<sup>2</sup> 水壓之能源。
- (四)社區可利用平均水壓 > 1kg/cm<sup>2</sup> (達 10M 水柱)，於受水管正壓時採直接抽水，短暫臨近負壓時自動由水池間接補水，相較於全部自地上蓄水池間接抽水方式推估可節能 80%。
- (五)本案例屬舊建物改善，因充份利用舊建物既有設施，經費僅 NT 26,000 元，平均每戶僅 NT 1,000 餘元，人力成本佔較大比例，多數花費於水池至水塔之水位訊號連動控制，日後若經修法推廣於新建物則成本更低，屬經濟改善方案費用成本主要為工資，將可有效增加就業機會。
- (六)其他注意事項：
1. 社區住戶抽水機位於住家一樓，距離分表旁公共用水蓄水池有長達 10~40 米不銹鋼地下管線，由於公共用水蓄水池僅能消除在其前端管線之負壓，因此仍應定期檢視水表以確認表後管線無漏水情況，以防止抽水機近端地下管線之負壓污染。
  2. 具進排氣或消除負壓功能之管件，現場應清礎標示啟閉狀態，以避免誤操作導致功能消失。
- (七)本處曾於 95 年提出簡易型負壓污染防制方案，適用於用戶無空間增設小蓄水池之情況，惟因未增修法規前仍屬違法而未推廣。有鑑於利用受水管水壓直接進水至水塔可達節能功效，建議參考「自來水用戶用水設備標準」第 8 條「採用沖水閥之便器應具有有效之消除真空設備」，將第 14 條「用戶裝設之抽水機，不得由受水管直接抽水」，修正如「用戶

裝設之抽水機，得自受水管直接抽水，惟應具有有效之消除真空設備及避免抽水機空轉過熱之設備」，有條件允許自來水用戶自受水管直接抽水。

- (八)本案例社區公共水池容量僅佔社區日用水量之百分之四，遠低於現行法規規定之十分之二，經測試結果並不會導致抽水機啟閉過於頻繁；當水塔容量達二日用水量，用戶無反映缺水。另為配合有條件開放馬達直接抽水，建議國內「自來水用戶用水設備標準」修法取消對蓄水池容量之規定，另對水塔容量之規定修正為設計日用水量之十分之四以上至二日用水量以下。

### 參考文獻

1. 水質管理，東京都水道局，(1998)。
2. 水道施設設計指針(2000年版)，日本水道協會
3. 城市供水行業 2010 年技術進步發展規劃及 2020 年遠景目標，中國建築工業出版社(2005)
4. 江清蓮，負壓污染防制技術研究，94 年 5 月中華民國自來水會刊 24 卷第 2 期。
5. 史午康等，供水管網負壓污染防制探討，臺北市政府 95 年度員工平時自行研究報告，臺北水事業處，95 年。
6. 江清蓮，負壓污染及錯接防制技術探討，第 25 屆自來水研究發表會論文集，中華民國自來水協會，97 年。
7. 水壓機型錄，重電行實業有限公司。

### 作者簡介

#### 江清蓮先生

現職：臺北自來水事業處水質科監測股股長  
專長：淨水處理、水質監控及用戶水質改善

#### 張宏璋先生

現職：勁貿科技有限公司資深工程師  
專長：供水及水質監控系統維護

# 自來水管網系統之震後供水率推估

文/劉季宇、葉錦勳、洪祥瑗、周光武

## 一、引言

自來水系統是現代社會中最重要的基礎建設之一，地震後若是發生供水中斷，除了會造成災區民眾日常生活的困難之外，其影響也會擴散到醫療、衛生、消防、工商活動等。自來水系統具有許多可能因地震而受損的地下管線，通常需要較長的作業時間才能夠恢復供水。台灣於 1999 年發生 921 集集地震，較為嚴重的自來水系統震害包括石岡壩的壩體跨越車籠埔斷層而隆起破壞、豐原第一淨水場嚴重毀損、附近的 $\phi 2000\text{mm}$ 輸水幹管亦因車籠埔斷層通過而嚴重挫屈變形，災區自來水全面恢復供水歷時超過一個月<sup>[1]</sup>。

日本於 1995 年 1 月 17 日發生阪神地震，曾造成自來水主幹管 1,757 處，以及用戶管 89,584 處的損壞，災區費時近三個月方能全面恢復供水<sup>[2]</sup>。今年 3 月 11 日東北地區外海發生震矩規模 9.0 的大地震與伴隨的海嘯事件，造成超過 23,000 人死亡或失蹤，東京電力位於福島縣的福島第一原發六座反應爐中，有四座發生嚴重的核子事故，汽車業與電子業的災損導致全球性的產業供應鏈危機；針對自來水系統的震害，日本土木學會已出版「土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書，第 10 章水道施設の被害」<sup>[3]</sup>；該報告除了總結自來水管線與設施損壞與損失之外，也針對災區的自來水系統，由構造面、機能面、震後應變復原等三個不同角度進行檢討。

近年來各國政府與研究機構為進一步強化都會區震災風險管理，莫不積極研發建物損壞及人員傷亡推估之外的其他維生線分析工具，推動地震損失評估與震後服務效能分析技術的研發，發展以境況模擬為基礎 (scenario-based) 之地震減災與緊急應變新思維。自來水系統震後服務效能分析之研究，必須以地震災害潛勢、自來水管線震損、自來水管網水理分析、地理資訊系統 GIS 分析等核心技術作為骨幹，也必須俟這些核心技術發展成熟後方為可行。因此，遲至 1980 年代方有先驅性研究成果的發表，以美國學者 Shinozuka et al.<sup>[4,5]</sup>、Ballantyne et al.<sup>[6]</sup>、Markov et al.<sup>[7]</sup>、Hwang et al.<sup>[8]</sup>等為主要代表人物，其技術演進確有一脈絡可循。

自來水管網水理分析為一定值法 (deterministic) 之過程，換言之，必須明確給定自來水系統的水理模型與所有水理參數，方能進行水理分析。目前學術界與實務界經常使用的水理分析工具，為美國環境保護署所研發的泛用型管網水理與水質分析軟體，稱為 EPANET<sup>[9]</sup>；目前商業套裝軟體中功能較強的 WaterCAD 與 MIKE NET，二者均具備水理水質計算功能、視窗化圖形介面，並與常用的資料庫格式相容，其水理計算核心亦為 EPANET。EPANET 提供開放程式碼，所有技術資料均可自美國環境保護署的官網下載。

美國康乃爾大學的研究團隊於 2006 年發表 GIRAFFE (Graphical Iterative Response

Analysis for Flow Following Earthquakes), 為一針對地震災害而發展的自來水系統服務效能分析與決策支援軟體<sup>[10]</sup>, 目前已技術轉移給洛杉磯水電部(LADWP)使用。GIRAFFE 軟體一樣使用 EPANET 作為其水理計算核心, 其自來水管網震損推估與水理模型的技術水準, 已成為相關研究與實務應用的新標竿, 惟其程式碼並不開放, 同時其地震動與管線災損推估模式與參數, 均係為美國環境而量身打造, 目前亦無可用之地表永久位移推估模式, 未能考慮其對於管線與設施造成的震損。因此, 即使能夠將 GIRAFFE 軟體引進國內使用, 其意義亦不大。

國家地震工程研究中心研究團隊目前正在進行經濟部水利署的兩年期委託研究計畫「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究」, 工作項目之一是自主研發自來水管網系統震後供水率推估技術。研究中結合本土化的地震災害潛勢(包含地震動與地表破壞)分析模式、自來水管網系統資料、加壓管流水理分析原理、921 地震管線災損率經驗公式, 以及管線災損點的水理模型與參數, 並參酌前述 GIRAFFE 軟體的自來水管線災損屬性與機率模型進行調整, 目前已完成自來水管網系統震後服務效能分析所需核心技術的整合<sup>[11,12]</sup>, 相關流程與核心技術如圖 1 所示, 並將於以下各節中陸續說明。

## 二、地震災害潛勢分析

所謂地震災害潛勢分析, 包含地震動強度參數(如最大地表加速度、長短週期譜加速度等)的推估, 以及土壤液化、山崩或斷層錯動引致地表永久位移的推估。進行地震災害潛勢分析的第一步驟, 為設定地震的震源參

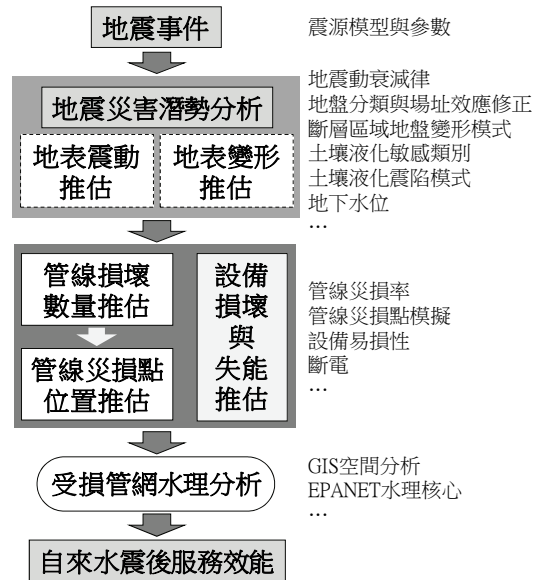


圖 1 自來水管網系統震後服務效能分析之流程與核心技術

數, 包含地震規模、震央位置、震源深度、活動斷層的位置、斷層開裂的長度、方向和斷層面的傾角、寬度等。常用的震源模型為點震源、線震源和面震源等三種, 亦即假設地震所釋放的能量由點、線或面向外傳遞。其中, 考慮遠域地震時, 採用點震源模型之模擬地震(亦即斷層開裂僅以一個點的位置作為震源代表)可以得到合理的近似結果。但是大規模地震發生時, 其對應的斷層開裂長度往往長達數十公里, 此時採用點震源地震往往會低估工址與實際斷層開裂之間的最短距離, 進而低估工址的地表震度, 導致錯誤的震災境況模擬結果。所以在考慮大規模地震時, 必須採用線震源甚至面震源模型之模擬地震, 以計算工址的震源距離。

傳統推估地震動強度的方法, 係先利用與地震規模和震源距離相關的震動強度衰減律, 概估在堅實地盤條件下的震動強度; 再利用各地區的地盤分類和震動強度等因素, 進行場址效應修正。自民國 80 年起, 中央氣象局之強地動觀測計畫已於台灣地

區安裝六百餘部自由場強震儀，獲得超過十萬筆地震紀錄。國家地震工程研究中心亦曾進行所有自由場強震紀錄的處理校正，並經由統計分析，獲得適用於台灣地區的地震動強度參數的衰減律<sup>[13]</sup>，以及各地區的場址效應修正係數<sup>[14]</sup>。

在強烈地震作用下，存在土壤液化引致土層破壞之可能，因此必須先行識別工址的土壤特性，例如在輕微擾動下即可能發生液化現象，屬高液化敏感類別；反之，需劇烈搖晃一段時間方可能引致液化現象，則屬低液化敏感類別。進行土壤液化引致的災害潛勢分析，概分為兩階段：第一階段依延時(地震規模)、震動幅度(最大地表加速度)和地下水位等，推估發生液化的可能性；第二階段則假設已發生液化現象，推估因液化而導致的震陷量或側移量。國家地震工程研究中心彙整國內數種工程地質鑽孔資料庫，得到近 11,000 孔的資料用於探討土壤液化敏感類別的定義和分區方法，並探討各液化敏感類別在不同地震規模、最大地表加速度和地下水位下，土壤液化潛能指數的變化，以統計迴歸的方法求得各液化敏感類別在不同條件下的液化機率，以及一旦液化後可能的震陷量或側移量的經驗公式<sup>[15]</sup>。

### 三、管線災損率及災損數量與位置模擬

地震實際引致的管線災損，必然需要經過震害查報與搶修派工的紀錄，方能確實掌握。然而，以震前防災與震後災情推估研判為目的時，透過震災境況模擬技術與管線災損率經驗公式的結合，並配合管線災損點位

置的模擬，仍然可以合理地推估地震情境作用下可能的自來水管線災損數量與空間分布，並輔助進行自來水系統水理分析，進而獲得自來水系統的震後供水能力。地下管線為地下的線型工程構造物，其長度、管徑、管材、管齡等屬性資料變化範圍極大，所處的地盤條件也各有不同，因此，極難採用類似建物或橋梁的單體工程構造物的震損評估方法，實務上多採災損率之概念為之。

管線災損率(repair rate, RR)，是指單位長度的地下管線發生的災損數或修理數，常用單位為「件數／公里」。地震引致之自來水地下管線災損率，通常為地震動或地表變形的函數，相關研究在國外起步甚早，並已各自發展災損率模式供其自來水系統地震防災使用。例如日本水道協會提出之災損率經驗公式<sup>[16]</sup>，係歸納未經液化的一般沖積平原的 100-150mm 鑄鐵管的歷史震害資料而得，並將之訂為標準被害率曲線，為最大地表加速度(PGA)或是最大地表速度(PGV)的函數。其次，在考慮不同管材、管徑、地形與地盤(如良質地盤、山地、丘陵地、舊河道、沖積平地等)、土壤液化可能性(如無、中、高等)的時候，可以分別乘以不同的修正係數以反映之。美國方面，Jeon<sup>[17]</sup>亦針對 1994 年加州北嶺地震的管線災損資料，得到災損率與地震動 PGV 的迴歸關係。

國內因基本資料的 GIS 數化工作推動相對緩慢，以及無大型致災性地震發生，因此遲至 921 地震之後方有學者進行相關研究。國家地震工程研究中心研究團隊曾根據當時中部 11 個受災鄉鎮市災損資料，進行自來水管線災損率的研究<sup>[18]</sup>。為了能夠將地震

動與地表變形二者引致的管線災損數量加以分離，該研究將主要受地震動影響的區域(如車籠埔斷層之下盤)，以及同時受地震動和地表變形影響的其他區域加以區分，進而分別獲得自來水地下管線災損率與地震動 PGA 以及地表應變的迴歸公式。該研究團隊最近又進一步重行檢視 15 個受災鄉鎮市自來水災損資料，摒除災損資料品質不良的區域，並就管徑進行更為合理的區分(小管徑： $20\text{mm} \leq \phi < 75\text{mm}$ 、中管徑： $75\text{mm} \leq \phi < 500\text{mm}$ 、大管徑： $\phi \geq 500\text{mm}$ )。其中，中管徑 PVC 管的資料較為充足，可與先前研究一樣分別考慮地震動 PGA 以及地表應變的影響，以迴歸方式得到新的管線災損率經驗公式；至於其他的管徑與管材，研究中亦援引日本水道協會所建議的修正係數分別予以推估<sup>[12]</sup>。由於 921 地震中部地區地震動與地表應變的變動範圍很大，因此該組新的管線災損率模式具有極高的可用性。

進行管線災損數量推估時，須先就所考慮的區域進行地震災害潛勢分析，根據給定的地震事件參數推估各地的地震動強度以及地表永久位移(地表應變)，並進而根據管線災損率模式計算不同管線的災損率推估值；其次，根據該區域的自來水管線 GIS 圖資，分割出各地的自來水管材與管徑的統計數量，將不同管線的總管長與災損率推估值相乘，即可加總得到管線災損總數的推估結果。

至於管線災損點位置的產生方式，一般均假設管線災損點之發生為一穩態泊松程序(stationary Poisson process)，如此可以透過亂數產生器，沿著任一管線依序隨機模擬並

產生符合泊松程序的災損點位置，直到其全長被用罄為止。此外，國家地震工程研究中心研究團隊亦曾另外建議一種產生管線災損點位置的方法<sup>[11]</sup>，其特色為：(1)對於較長之管線可以基本管段進行分割，允許其災損率隨長度方向變化，其結果更為合理、(2)進行管線災損點模擬時，各基本管段發生災損的機率與其期望值為完全一致。

#### 四、管線災損點屬性與水理模型

自來水管線損壞以滲漏(pipe leaks)與斷裂(pipe breaks)兩種型態為主，其水理現象各有不同，應予區分。Shi 等人<sup>[10]</sup>根據美國自來水管線歷史震害資料的研究，統計其常用管材發生滲漏與斷裂的機率。其次，其研究亦歸納出管線滲漏的五種主要型式，亦即：鬆脫、弧向裂縫、軸向裂縫、管壁局部脫落、管壁局部撕裂，如表 1 所列。不同自來水管材發生管線滲漏時，各種滲漏型式的發生機率，也很自然地會有所不同。針對這點，該研究整理歷史震害資料，也進一步提出不同管材受震發生不同滲漏型式的機率模型。

衡諸國內自來水管材使用概況與經驗，鑄鐵管(CIP)、延性鑄鐵管(DIP)、聚氯乙烯管(PVC)、焊接鋼管(SP)等，與國外一樣為常用管材，其餘如高密度聚乙烯管(HDPE)與預力鋼襯混凝土管(PCCP)，亦為國內現役自來水管材，其中 PVC 目前所佔比例仍高，而 SP、PCCP 則經常用於大口徑之輸水幹管。參酌 Shi 等人之研究，國家地震工程研究中心研究團隊對於國內不同管材發生斷裂或不同型式的滲漏，亦曾建議適用的機率模型<sup>[11]</sup>。

表 1 自來水管線滲漏的五種型式<sup>[10]</sup>

	圖例	說明
1		鬆脫(annular disengagement)
2		弧向裂縫(round crack)
3		軸向裂縫(longitudinal crack)
4		管壁局部脫落(local loss of pipe wall)
5		管壁局部撕裂(local tear of pipe wall at welded slip joint)

Shi 等人進一步提出管線斷裂以及滲漏的災損點水理模型<sup>[10]</sup>。當管線發生斷裂時，其等效水理模型如圖 2 所示，可以自斷點兩端分別接引二個水池(reservoirs)，並在斷點與水池之間放置止回閥(check valves)以確保管流為單一方向(自管線流至水池)，同時斷點處的高程可以由管線兩端節點的高程，以及其至管線斷點的距離按照比例決定之。當管線發生滲漏時，形同於滲漏處裝置一個灑水器(sprinkler)，其等效水理模型等同於一段虛擬管線以及一個制流閥，將原管線自滲漏處引流至空的水池，如圖 3 所示；虛擬管線的粗糙度與次要水頭損失係數(minor head loss coefficient)分別定為無限大以及 1，代表管線滲漏引致之能量損失只與這裡的次要水頭損失有關。Shi 的研究中，進一步給出五種滲漏型式相對應的等效虛擬管線的直徑的表示式以及其中參數的建議值，以符合相應灑水器的等效開孔面積<sup>[10]</sup>。

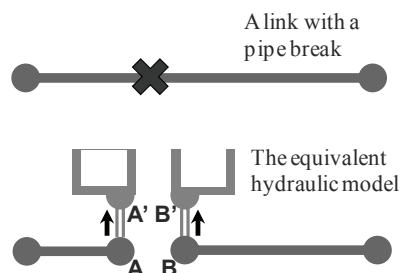


圖 2 管線斷裂點及其水理模型<sup>[10]</sup>

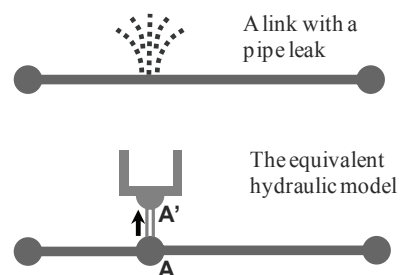


圖 3 管線滲漏點及其水理模型<sup>[10]</sup>

## 五、自來水系統震後服務效能分析

自來水系統震後服務效能的分析流程如圖 4 所示，可歸納為如下之步驟<sup>[11]</sup>：

1. 讀入自來水管網水理分析輸入資料：該資料須與 EPANET 軟體要求之格式相符，內含 Nodes, Pipes, Pumps, Tanks, Reservoirs 等自來水系統元件的完整屬性資料以及空間座標；
2. 模擬管線災損點、修改輸入資料：根據地震引致地震動與地表變形，由管線災損率公式推估管網的災損點分布，並利用管材與管徑等屬性資料，隨機決定其為管線斷裂或是何種型式之管線滲漏，之後修改自來水管網系統的水理分析輸入資料，使之與災損點的水理模型相符；
3. 判斷是否有部分自來水管網因為管線災損而被隔離？步驟(2)中在配置管線斷裂點

時，可能導致部分的自來水管網不再與系統相連接，必須進一步予以隔離；

4. 進行 EPANET 管網水力分析；
5. 查核是否有節點出現負水壓？若真，則根據 Ballantyne 等所建議的處理程序<sup>[6]</sup>，將這些節點上的流量予以扣除即可；
6. 計算系統供水能力：累計自來水系統中所有供水節點的 demand 總合，是為「受損自來水系統」的供水能力。

當自來水管線發生損壞時，進行管網系統水力分析，很容易在某些節點上得到負的水壓值。負水壓現象在學理上亦不無可能，這是因為在進行水力分析時，通常都作了管流為始終滿流且加壓(full and pressurized)的假設。然而，自來水管網在實務上不可能作到完全的氣密(air-tight)，因此上述假設不保證一定成立，尤其是當管線破損的時候，一定無法成立。此時，在分析上必須就負水壓節點作適當之處置，否則必會高估自來水管網系統的供水能力。如何合理地考慮負水壓，一直是探討(受損)自來水管網水力分析的核心問題，目前在文獻中亦有數種處理方法，其中最簡單的方法為 Ballantyne 等人所提出，即直接假設出現負水壓之節點沒有任何管流經過<sup>[6]</sup>。此外，Shinozuka 等人的方法，係將所有負水壓節點以及所有與之相連的管線全部移除，再重新執行水力分析，如此不斷重複，直到負水壓不再出現為止<sup>[4,5,8]</sup>。GIRAFFE 軟體目前採取的方法，則只從所有負水壓節點中選取負水壓最嚴重的一個節點，將之連同所有與之相連的管線一併移除，再重新執行水力分析，如此不斷重複，直到負水壓不再出現為止<sup>[10]</sup>。

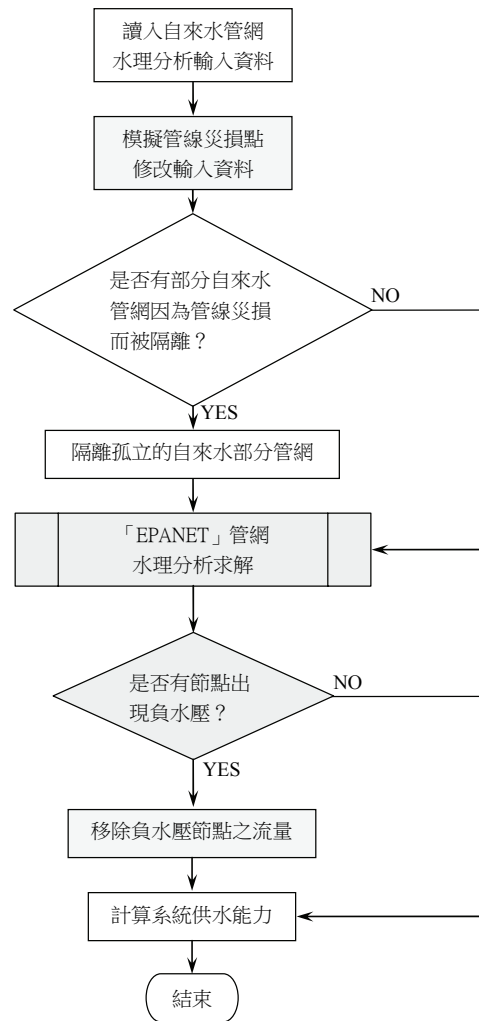


圖 4 自來水系統震後服務效能分析流程<sup>[11]</sup>

由於各自來水管網的 EPANET 水力模型，其管線詳細程度可能各不相同，進行其震後服務效能推估時，除了要分析輸水幹管損壞的影響之外，也應該進一步將 EPANET 管網水力模型中被忽略掉的部分配水管與所有給水管的損壞及其影響合理地予以補償，震後供水率的推估結果才會更具可信度。對此，大阪水道局的相良幸輝等人提出以下自來水管網分層分析的方法<sup>[19]</sup>：考慮圖 5 示自來水管網，其中上圖代表主要幹管(管徑大於等於 400mm)，下圖顯示了上圖的局部區域，除主要幹管之外，也包含了管徑小



於 400mm 之輸配水管。進行自來水系統震後供水率推估時，先只考慮 EPANET 管網水理模型中主要幹管發生災損，而輸配水管以下之管線則固定其災損率為 0 (不發生任何損壞)，如此可應用蒙地卡羅法(Monte Carlo method)，透過水理分析得到各供水節點的平均的震後供水率。其次，考慮各供水節點所對應之供水小區，該供水小區中的輸配水管的震後缺水率，又可假設為與其平均管線災損率有關之函數，可依歷史經驗公式進行折減。如此，計算該供水小區的供水時，最後可就得自於水理分析的震後供水率平均結果再作一次折減即可。

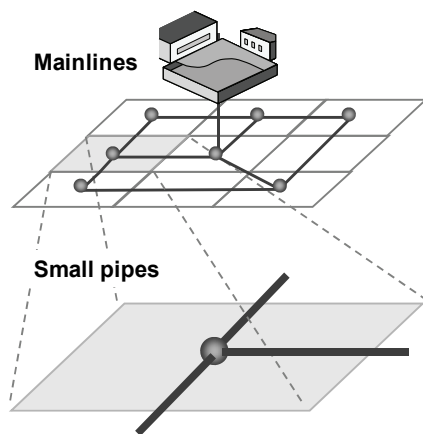


圖 5 自來水管網震後供水率之分層分析示意圖<sup>[19]</sup>

與上述方法的邏輯類似，康乃爾大學 GIRAFFE 軟體使用所謂多尺度技術 (multi-scale technique) 的方法處理同一問題<sup>[10]</sup>。以洛杉磯水電部(LADWP)轄下的自來水系統為例，其輸水主幹管全長 2,200Km，管徑介於 300mm 與 3850mm 之間，係直接進行災損點模擬與水理分析以求其震後供水率。至於剩下的 9,800Km 的配水管線，其震害的影響則透過輸水主幹管的管網水理模型中，所有供水節點的供水量的調升而予以反映。供水量的調升程度，與配水管線的水

壓以及災損率有關，也代表配水管線發生損壞而流失供水時，相應的輸水主幹管的供水節點上的供水量需要調升以滿足原始的需求量。為建立反映配水管線災損引致供水量調升與管線水壓及災損率的關係，康乃爾大學的研究團隊從洛杉磯水電部所建置的配水子網中，挑選 5 個具代表性子網的水理模型進行參數分析，求取其發生單一災損率時，在必須確保原需求量的條件下，其水源節點需要調升的供水量。這些子網的管徑介於 100 或 150mm 至 300mm 之間，並且平均水壓彼此不同。因此，利用輸水主幹管 EPANET 水理模型的供水節點的水壓，以及其所在地的管線災損率推估值，根據計算結果修正該供水節點的需求量，即可將其下配水子網的災損與漏水加以考慮。

## 六、案例分析—宜蘭外海模擬地震事件

應用水利署「蘭陽地區地面地下水調配及管理系統建置規劃」計畫所建置之宜蘭地區自來水輸水管網水理分析資料<sup>[20]</sup>，可進行其自來水系統的震後服務效能分析。根據該研究報告，宜蘭縣自來水系統之供水面積約有 814 平方公里(供水村里面積總和)，系統中有加壓站 11 處、配水池 18 處，供水管線總長度超過 126,520 公里。該計畫所建置之 EPANET 簡化管網模型，包含所有管徑大於 100mm 之輸水管與配水管，不包含取水管、導水管與用戶外線，但影響迴路形成以及偏遠地區或局部地區之小口徑管線均視需要納入。該模型包含 358 筆節點資料與 439 筆管線資料；358 筆節點資料中，有 85 筆指定有需求值(demand)，是為簡化模型中實際負

責供水的節點。因此，在進行震後服務效能分析時，係依鄉鎮市別累計這些節點在非負水壓情況下的需求量(供水能力)，再除以震前的正常值，以作為各區之震後供水率。

基於台灣地區具有地震災害潛勢的地域特性的考量，本研究選擇國家地震工程研究中心的台灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System，簡稱 TELES)進行地震災害潛勢推估<sup>[15]</sup>。考慮芮氏規模 7.1 之模擬地震發生於宜蘭近海區域，假設其震央位置為東經 121.88 度、北緯 24.48 度，震源深度為 20km，線震源開裂方向為南北向。應用 TELES 進行地震災害潛勢分析，可以得到模擬地震作用下的災害潛勢分析結果，包含 PGA 與土壤液化引致地表震陷量，如圖 6 所示。如此，可以進一步推估自來水管網系統震後供水率分布<sup>[11]</sup>，結果如圖 7 所示，為應用蒙地卡羅法進行 100 次隨機模擬之平均結果，其中頭城鎮之震後供水率平均降至 0.2380，最為嚴重，其次為礁溪鄉與五結鄉，分別降至 0.3897 與 0.4189。

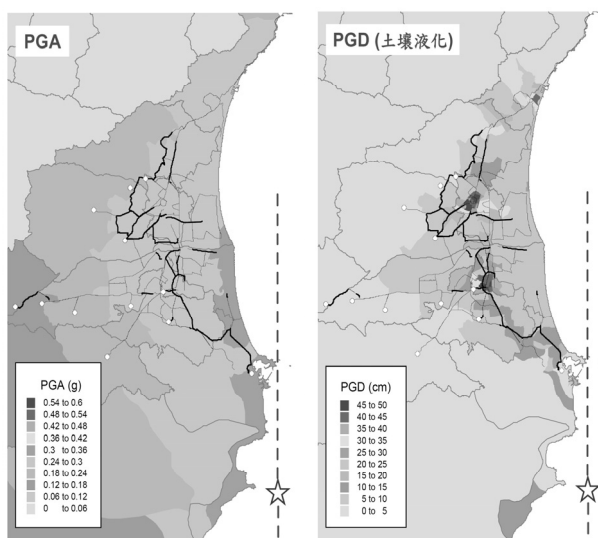


圖 6 宜蘭地區 M7.1 模擬地震作用下之地震災害潛勢推估(星號為震央位置)

## 七、展望

綜合而言，妥善運用震災境況模擬技術，已成為都會區自來水系統的地震減災與緊急應變作業，未來必然發展的趨勢。震災境況模擬技術可應用於震前整備與震後應變，二者均可協助政府與事業單位作好自來水系統的防救災工作。進行震前整備時，可以根據境況模擬與風險評估的結果，進行自來水系統耐震補強、防災整備、人員演訓等。進行緊急應變時，境況模擬技術可以在震後第一時間提供具參考價值的災損推估，例如推估管線災損個數、修復成本、所需人力與工時等需求，或是推估各地震後缺水情形，以及震後火災與消防用水避難民眾生活用水需求等，提供應變官員指揮調度的參考，舒緩民眾疑慮並降低可能二次災害的發生。

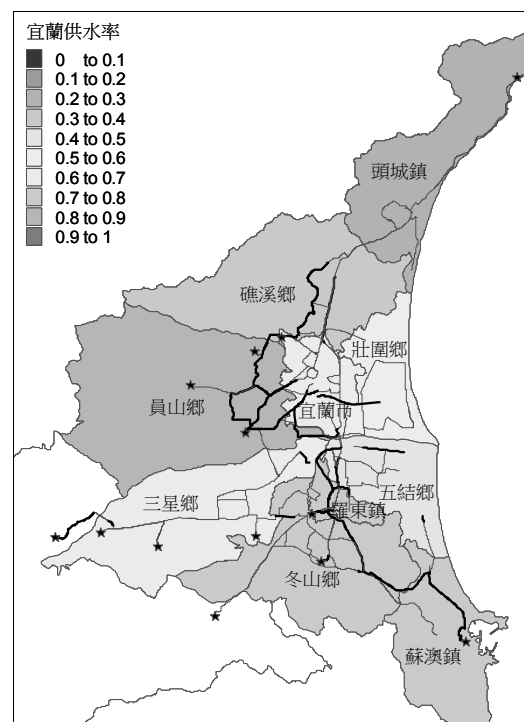


圖 7 宜蘭地區 M7.1 模擬地震作用下自來水系統震後供水率推估(星號為水庫或貯水池)

## 誌謝

感謝經濟部水利署 MOEA-WRA-0990095 與 MOEA-WRA-1000090 研究計畫經費補助，以及經濟部水利署水利規劃試驗所、台灣自來水公司第八區管理處(宜蘭)提供自來水系統相關資料，本研究得以順利進行。

## 參考文獻

1. 施邦築(1999),「九二一集集大地震全面勘災報告—維生線震害調查」,國家地震工程研究中心研究報告,NCREE-99-056,台北。
2. ALA (American Lifelines Alliance) (2001). Seismic Fragility Formulations for Water Systems.
3. 鎌田泰子、片桐信(2011),「土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書,第10章水道施設の被害」,日本土木学会地震工学委員会(日文)。
4. Shinozuka, M, Tan, R. Y. and Toike, T. (1981). "Serviceability of Water Transmission Systems under Seismic Risk," in Lifeline Earthquake Engineering, the Current State of Knowledge, ASCE, New York, NY.
5. Shinozuka, M., Hwang, H. H. M. and Murata, M. (1992). "Impacts on Water Supply of a Seismically Damaged Water Delivery System," in Lifeline Earthquake Engineering in the Central and Eastern U.S., pp.43-57, TCLEE Monograph No. 5, ASCE, Reston, VA.
6. Ballantyne, D. B., Berg, E., Kennedy, J., Reneau, R. and Wu, D. (1990). Earthquake Loss Estimation Modeling of the Seattle Water System, Technical Report, Kennedy/Jenks/Chilton, Federal Way, WA.
7. Markov, I. Grigoriu, M. D. and O'Rourke, T. D. (1994). "An Evaluation of Seismic Serviceability Water Supply Networks with Application to the San Francisco Auxiliary Water Supply System," Technical Report NCEER-94-0001, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
8. Hwang, H. H. M., Liu, M. and Shinozuka, M. (1998). "Seismic Performance Assessment of Water Delivery Systems," J. Infrastructure Systems, ASCE, 4(3), pp.183-200.
9. Rossman, L.A. (2000). EPANET 2 User's Manual, EPA, Cincinnati, OH.
10. Shi, P., O'Rourke, T. D. and Wang, Y. (2006). "Simulation of Earthquake Water Supply Performance," Proc. 8th U.S. Nat. Confer. Earthquake Eng., Paper No. 1295, San Francisco, CA.
11. 劉季宇、鍾立來、葉錦勳、王仁佐、周光武、洪祥瑗、陳筱安、陳振豪、尤信翰(2010),「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究(1/2)」研究報告,計畫編號MOEA-WRA-0990095,經濟部水利署,台北。
12. 劉季宇、鍾立來、黃仲偉、葉錦勳、周光武、洪祥瑗、陳振豪、周志雄(2011),「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究(2/2)」研究報告,計畫編號MOEA-WRA-1000090,經濟部水利署,台北(即出)。
13. 簡文郁(2001),「考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析」,國家地震工程研究中心報告,NCREE-01-036,台北。
14. 簡文郁、張毓文、溫國樑、羅俊雄(2002),台北盆地地盤效應分析,結構工程,第十七卷,第三期。
15. 葉錦勳(2003),「台灣地震損失評估系統-TELES」,國家地震工程研究中心研究報告,NCREE-03-002,台北。
16. 日本水道協會(1998),「地震による水道管路

の被害予測」(日文)。

17. Jeon, S.-S. (2002). "Earthquake Performance of Pipelines and Residential Buildings and Rehabilitation with Cast-in-Place Pipe Lining Systems," Ph.D. Dissert., Cornell Univ., Ithaca, NY.
18. 洪祥瑗、文慶霖、柯明淳、劉季宇、葉錦勳 (2007), 「自來水地下管線、輸電鐵塔與震後火災之災損推估模式研究」, 國家地震工程研究中心研究報告, NCREE-07-020, 台北。
19. Sagara, Y., Eguchi, K. and Yamashita, R. (2009). "Simulation of the Restoration Process Based on Estimation of Seismic Damage to Distribution Pipes," Proc. 6th Taiwan-US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices, pp.174-185, Taipei, Taiwan.
20. 經濟部水利署(2009), 「蘭陽地區地面地下水調配及管理系統建置規劃」成果報告, 執行機關: 中興工程顧問股份有限公司, 台中。

## 作者簡介

---

### 劉季宇先生

現職: 國家地震工程研究中心 副研究員

專長: 地震工程 維生線系統耐震分析

### 葉錦勳先生

現職: 國家地震工程研究中心 研究員、組長

專長: 地震工程 地震損失評估暨風險評估

### 洪祥瑗小姐

現職: 國家地震工程研究中心 助理研究員

專長: 地理資訊系統 空間分析

### 周光武先生

現職: 國家地震工程研究中心 副研究員

專長: 軟體工程 物件導向程式設計 結構工程

# 臺北地區自來水設施耐震評估與風險管理探討

文/鄭錦澤、黃裕泰

## 一、前言

日本于 2011 年 3 月 11 日，當地時間下午 2:46 分發生東北海域之超大地震，規模高達芮氏 9.0(日本氣象廳原計 8.8 後上修)，我國 921 地震規模為 7.3 相當於 46 顆原子彈，而日本此次主震則為 921 地震釋放能量之 355 倍！根據英國政經風險評估業者 Maplecroft 發表的《2011 天然災害風險地圖》(Natural Hazards Risk Atlas 2011)，該報告係根據國際貨幣基金(IMF)、世界銀行(World Bank)與美國中情局(CIA)資料，選出 11 項評估標準；報告統計 196 個國家地區，天災對台灣經濟的威脅程度名列全球第 4，是「極度危險」的國家之一，與美、日、中同等級。

地震是地殼急速變動所產生之地層振動現象，由於地震極具破壞力，會造成生命、財產之慘重損害。台灣位於環太平洋地震帶上，且位處菲律賓板塊及歐亞板塊交界處，前者每年約以 7 公分西北方向後者推移，因此地震不斷發生，前亦曾發生 921 大地震。該地震帶發生地震比率約佔全世界 80%，同屬帶上之日本因震災所受之損害，每次大地震均造成許多生命財產之損失，深值吾人警惕。

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)所轄供水範圍涵蓋國內主要政經中心，目前涵蓋台北市全部十二個行政區及新北市之新店、三重、中和及永和區等，並涵括汐止區之北山等七個里，用水人口數約為 380 萬

人，實際日間活動人口當在 400 萬人以上。此外，分水淡水區及三芝區，以及支援台灣自來水公司第十二區及第一區管理處等地區用水。然而台北盆地地質屬於軟弱沉積層，如遭受重大災變而無適當預防及應變措施，將造成臺灣地區重大衝擊。自來水系統具有複雜且龐大的地下管線，為都市之基礎建設，因此藉由適當之耐震評估擬具對策，以提昇自來水系統之耐震能力，為建構安全城市的必要條件。

自來水設施係維生系統中極重要的一環，人類如長期無水可喝，將無法生存。地震時如自來水設施遭受損壞，其損壞將不僅是構造物之破壞，更藉由震後災區生活用水缺乏或消防用水不足等障礙，進而引起火災擴大或疾病流行等二次災害，因此震災後自來水之維生供應能力，將直接或間接影響地震防災及救災工作之成效，另地震後如何應變、救急、持續供水等風險管理，是一項亟待深思之課題。

## 二、耐震與維生評估

### (一)管線耐震評估

以阪神大地震為例，自來水系統總損失金額相當驚人，約 290 億日圓，其中管線的損失金額就佔自來水系統總損失金額一半以上，由此知管線的重要性。北水處前曾委託國家地震中心研究利用地下管線在不同地表震動及永久位移下的災損率作為評估管線耐震能力及地震後修復人力和時間需求的基礎。因此，根據台灣中部地區如豐

原、東勢、石岡、霧峰、埔里等遭受到 921 集集地震較大影響的鄉鎮，其自來水地下管線災損情形，配合地表震動強度參數及 921 地震前後三角點位移資料之應用，來建立震後自來水地下管線災損回歸公式。再結合機率式地震危害度分析理論和震災境況模擬技術的研發成果，以臺北自來水事業處提供之管線資料，進行機率式震災境況模擬，以識別臺北地區自來水系統震害潛勢。

其主要發現有：1.清二水管橋經評估於受 PGA 為 0.23g 之地震作用下應具有足夠之抗震能力提供輸水幹管保護。2.依地下埋置延性鑄鐵管線分析結果，發現其主要破壞形式係以接頭彎折變形破壞為主，破壞範圍在 2 段管長以內。3.清水一號送水幹線建國南北路段地下 PCCP 管依力學分析結果，發現在地表相對變位達 75 cm 以上時，會發生接頭破壞並造成輸水功能喪失。4.根據地下管線災損潛勢分析結果（如圖 1），臺北市的士林區、大安區及新北市的新店區、中和區為災損潛勢較高的區域，應加強管線之耐震補強或汰舊換新。另依地表變位潛勢大小將北水處轄內行政區區分為 A、B、C 三區，每區並提出建議配合之耐震設計。此外，建議以適當回歸期之災害規模作為北水處自來水管線的備災設定基準，並藉由聯防機制以求備災資源的總和能夠符合更高防災需求。

## (二)場站設施耐震評估

依內政部函頒「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，以主要目標為一、強化防震業務整備，落實震災預防工作，減輕損失。二、加強地震災害預防宣導，提升應變能力，維護生命財產安全。三、推動公有建築物實施耐震能力評估及補強，以為民間表

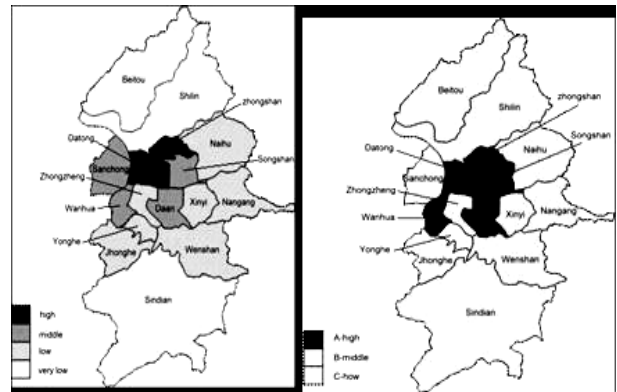


圖 1 臺北市液化潛能分布及管線災害潛勢圖

率，蔚成風氣。其中規定：地震災害發生後，必須繼續維持機能之重要公有建築物，用途係數  $I=1.5$ 。包含：發電廠、自來水廠與緊急供電、供水直接有關之廠房與建築物。另於建築物耐震能力評估及補強實施步驟中規定「建築物總樓地板面積達 2000 平方公尺，其補強設計有增減牆、柱或柱、梁須改修或涉有結構系統須動力分析之情事者，應委託具該項學識及經驗之公會或學術團體機關審查」。基此，北水處雖曾自行辦理評估，為期慎重並符合相關規定，仍陸續於 2010 年辦理 13 處主要場站建物耐震相關評估，並於 2011 年辦理詳細評估，以利辦理後續補強方案。

## (三)維生與風險評估

臺灣位處地震帶，臺北供水區供水範圍又涵蓋主要政經中心，用水人口數約為 380 萬人，實際日間活動人口當在 400 萬人以上，北水處前曾經自行研究，經統計方法得臺北盆地，可能在今後 20 年發生規模 7 以上地震之或然率約在 30%，故此區域發生強震之或然率仍屬相當高。而臺北盆地地質又屬軟弱沉積層，如遭受重大災變而無適當預防及應變措施，將造成臺灣地區重大衝擊。其主要探討若在臺北地區發生類似九二一大

地震之重大災害時，藉由國外經驗與相關研究經驗回顧、探討合理維生用水量及評析災後水源取得後，以有效規劃及運用大型防災公園內之防災深井及耐震配水池，並探討其聯合運用之可行性與效益，以提供災民必要維生用水量。就相關探討歸納初步結論如后：

- 1.推算台北地區發生強震之或然率達 30% 以上，應持續檢視自來水設施耐震能力及模擬因應措施，並配合都市耐震防災計畫及都市防災空間實質規劃，諸如自然地理條件、震災後可能形成之阻斷、台北市液化潛能地區、道路網路救援系統及防災避難圈及據點妥為評估規劃。
- 2.對於基本維生用水量每人每日建議仍以 3 公升為原則，再依都市開發程度、人口集中程度、供水規模及面積大小，研定採用之維生用水模式，初期採低標準（東京模式），再依續發展至高標準（神戶模式）。至於基本維生供水應考量震災後供水日數、維生供水人口及每日維生用水量。對於合理維生供水建議參考日本類似都會區等情形，再配合探討維生用水量標準、地震後相關供水設施修復速度及用戶設施留存量等不同機率組合，研擬合理維生用水推估架構，並探討其它水源施設供水等內在及外在條件等特性，進行交叉組合模式，並依維生用水量高低標準、設備修復速度、用戶設備留存量期望機率，訂定出幾種維生水量等級，以期在維生水源尚未完備情形下，分階段提昇維生供水可行性。
- 3.面對震災必須檢視維生水源，經由探討該來源之供應量及可靠性，以供自來水事業經營體因應須準備之維生供水。自來水

事業考量合理維生供水量，首先應參考上位之都市防災計畫及其區劃，其次參考現有供水區劃及供水概況，再其次評估該區劃之人口數及其發展情形，最後概算所需要之基本維生需水量。依防災空間配置規劃，應檢討各區遭受震災後本身能提供之維生供水量。將基本生活供水量扣減其它水源可供應量後，所得之數即為在實際供水系統在防災時應提供之量。

- 4.對於台北供水區而言，供水區用戶人口約 400 萬人，如考量 25 公升以下（A 級）之維生水量，全區約需提供 100,000 立方公尺維生供水量。依現有之設備設計考量，儲備量尚勉可供應。惟配合區域計畫及都市計畫等防災區劃及供水分區等規劃，部分地區因日間活動人口較多，因此維生供水量宜提高至 B 級（25 公升至 100 公升）；以提供每人每日 3 公升必要維生用水量。
- 5.自來水事業如何落實維生供水系統？將牽涉(1)須制定相關法規：概因所須經費龐大，須有適當法源籌措。(2)研究耐震等級及設施標準之訂定。(3)工程技術性。(4)經費支應須妥為因應。(5)用地事宜建議宜儘量利用都市計畫公共設施多目標使用方案，結合防災據點及公園，以利用地取得。(6)經營績效：事業經營須考量績效，宜尋求較佳化且合理化。(7)社會責任等諸多因素，需多方努力。對於維生供水較可行之方式研提如后：(1)評估現有供水設施之耐震能力。(2)評估災後可能留存之供水量。(3)評估其它可供應水源。(4)評估維生供水分年分期實施可行性。(5)研擬初步建議書(6)報奉憑辦。
- 6.在地層穩定的情況下，對一般中、小規模

的地震，台北供水區供水系統尚可承受，面對大規模之地震則系統的安全性仍有不足。自來水事業可藉由參考美日等先進國家地震災變防救之措施及經驗，檢討現有設施耐震能力，必要時應委託專業機構代檢，研擬如何減少設備損害，及強化之措施。持續增修完整之緊急災害處理準則，平時並模擬各種狀況，定期進行防災演練，配合宣導，以提高員工及市民緊急應變能力；研析如何維護市民基本維生所需，使市民之損失與不便減至最少。

7. 參考許多地震對地上式配水池的損壞，並非全為配水池的結構，尚包含進出管線因地質不均勻沉陷破壞，造成水量流失，因此除進出管線應加設可撓管外，出水管應設緊急遮斷閥以防止管線斷裂時水量的流失。針對現有台北地區配水池應持續進行安全性普查，包含進出水管的耐震性重新評估，以加強其耐震能力，避免二次災害的產生。

8. 鑒於台北供水區地震發生機率頗高之情形下，在自來水設施防災耐震法源、預算經費取得之尚未完備情形設施下，建議仍應研擬分期目標，以期減輕災害影響程度。有關耐震配水池之規劃設置仍應持續進行，另台北供水區整個系統對於數個加壓站同時損壞之應變能力、部分跨河段幹管及配水池須改善耐震程度及區位，宜再進一步探討。

其他尚包含：9. 以緊急救災觀點來看，地下水仍是良好的替代水源之一，建議可配合消防救災及市府防災據點的設立，持續檢

討以利配合防災開鑿，惟須注意水質之檢測及水井之維護。10. 對地層變化較大地區宜協商 DIP 製造商配合研究生產耐震型防脫接頭之管線及管件，以達到真正防脫效果，並期改善接頭易受損之情形。11. 機電設備除了建立供電的雙饋線系統及備用緊急發電機，建議應培訓及儲備部份人員，以進行較基礎或進階之緊急維修。目前監控設備及各場站之通訊設備，建議研究藉由衛星等無線系統通訊，以達到監控及緊急應變。12. 對於重要政、軍、交通及醫院等之供水，雖已模擬應變措施，惟災變發生時之規模可能超出模擬範圍，建議就對象及範圍，應再持續深入進一步研究。

### 三、風險管理對策

在有限的資源下，北水處進行推動相關風險管理主要對策，其重點包含 3 部分：1. 強化防災設施能力：提高備援及備載能力，以及強化整體供水設施系統。規劃辦理一系列計畫工程，投入 500 億元為 400 萬人建構降低風險之保單，該等工程陸續完成後有效提昇系統風險管理能力。2. 強化應變及復舊能力：提昇各場站監控以及指揮資訊系統（含備援）、準備復舊設備及材料，以及辦理相關年度訓練及應變演練。3. 整備維生用水：包含陸續建置維生儲水池、槽、幹管等，以及防災公園維生水池。茲摘錄主要工作說明如后：

#### (一) 強化防災設施備援備載能力：

近年來台灣地區對於水資源開發日趨困難，在有限水資源情形下，有效利用變成政府及相關事業機構重要工作之一。另一方面，颱風高濁度或其他災害將造成缺水危



機，從設施維護、危機應變及風險管理而言，備載能力是必要的。行政院於 94 年第 2943 次院會揭示：「行政機關推動整合性風險管理在國內係屬首創...，希望各機關能重視並積極配合辦理，並內化成為機關文化的一部分。...，各機關如能重視風險管理及危機處理，將會減少人民的焦慮及不信任感」。基此，自來水為民生必需品，為提升風險管理及成效，藉由參訪及蒐集調查國外大都市案例，從主要自來水設施備載能力均相當高，其中部分甚至高達 170% 以上。北水處相關設施備載能力原並不充裕（如圖 2），尚須緊急支援板新地區或基隆供水區，因此，北部都會區自來水供水備載能力整體而言非常低。

為提昇水資源有效應用及應變能力等風險管理能力，北水處規劃辦理一系列計畫工程，諸如臺北區自來水第五期建設給水計畫工程、臺北自來水供水管網改善計畫工程、板新供水改善計畫工程等，該等工程陸續完成後有效提昇系統調度應變風險管理之能力（如圖 3）。另可配合進行相關老舊設備汰換維護，諸如：青潭原水導水管路，以進一步改善整體供水機能。期間藉由相關系列測試及實際調度，進而衍化新的新店溪水系水資源供水調度模式，以期提昇整體自來水系統維護檢修、應變及支援能力，此外如能進一步強化板新與桃園間等相鄰供水區間，水資源設施調度備援備載能力，將有助於提昇改善颱風或其他災變等可能造成動輒數十億計之損害的風險效益。

**(二)提升管線風險管理能力：**

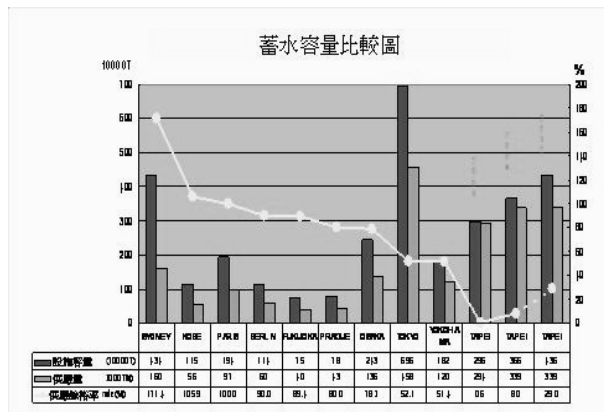


圖 2 世界各城市備載容量比較圖



圖 3 臺北五期計畫備援系統

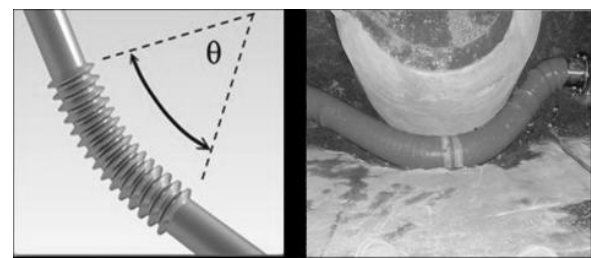
自來水管大多沿道路埋設，管線位於路面下受到車行荷重經年累月之反覆作用下，接頭施工品質好壞立見高下，接合施工不良之接頭處水密性易受影響，造成未來管線漏水之主因，故接頭施工為影響管線工程品質最重要之因素。惟因近來人民權益意識高漲，對於管線施工造成交通阻塞、噪音擾民、停水不便、路面不平等之忍受度降低，於此施工環境日益嚴苛之趨勢下，工程人員更須掌握施工重點。另外，台灣位處環太平洋地震帶上，如能藉由改進管材及接頭，運用於相關管線工程等，將有助於提昇風險管理能力。

北水處自民國 87 年起全面採用不銹鋼管材作為外線給水管，不銹鋼管性質優異，

可延長管線使用年限，提供優良水質。然不銹鋼管係剛性管材，為提升耐震性能，施工規定必須以防震 3 彎頭方式施工，若遇障礙物，則須以彎頭繞接，另為調整管線位置，亦需增加 S 型管之使用，無可避免將增加接頭數量。接頭數量增加不但施工效率降低，且增加漏水機率，且使用彎頭繞過障礙物，於有限空間施工非常不便。日本東京都水道局自 1980 年採用不銹鋼管亦遭遇同樣問題，且日本接頭另件價格昂貴，使用不銹鋼管在施工性及經濟性均有待改善。有鑑於此，日本研發出具有可撓性且接頭配件最少之波狀不銹鋼管(簡稱波狀管)，經過約 800 處試用測試及耐震性調查，結果顯示波狀管之施工便利性與耐震性皆優於一般不銹鋼管，且減少施工成本，因此自 1998 年起於東京都全面採用。

北水處管網改善每年汰換長度超過 150 公里，其中給水管約佔 60%。北水處於民國 98 年(2009 年)參採日本 JWVA 訂定波狀不銹鋼管材料規範，並逐步推廣採用。波狀不銹鋼管適用於工作水壓  $10\text{kgf/cm}^2$  以下，每支長度為 4M，波狀部有 8 節，其內徑不可小於直管部之內徑。推廣初期因採購數量較少，製造成本較高，採用波狀管施工成本約為傳統方式 2.5 倍以上。然而為降低採購成本，北水處採用大量採購方式，加上市場競爭機制，于 99 年初採購單價降至首次採購價 1/3，20mm 及 25mm 口徑波狀管成本為傳統方式之 0.83 倍(東京都水道局為 0.73 倍)，40mm 及 50mm 約為 0.91~0.95 倍，顯示波狀管成本已較傳統不銹鋼管施工方式成本低。基此，給水管部分北水處已全面推廣採用波狀不銹鋼管，取代傳統 3 彎頭及 S 管施

工，不但可提升施工效率、增加管線耐震性，亦因減少使用彎頭，降低未來漏水機率(如圖 4)。惟為避免施工人員錯誤施工，建議自來水施工人員培訓時應特別加強波狀不銹鋼管之施工訓練，惟有正確施工觀念才能將管材特性完全發揮，避免錯誤運用造成浪費。



彎曲適合的角度

輕易繞過障礙物

圖 4 波狀不銹鋼管使用情形

另在配水管部分，大型波狀管已於 99 年 1 月 29 日辦理擴大試用採購(口徑 75mm 至 300mm，長度 2m)，其主要可用於施工遇障礙物，施工空間有限處、管線連絡高程落差或水平位移較大處、配合衛工處遷移管線及消防栓移至人行道，管線由側溝底下穿越時使用(如圖 4)。大型波狀管可減少彎頭使用並提升管線耐震能力，惟因單價較高，僅適用於特殊場合，無法完全取代 DIP，對身處地震帶的臺灣及位於臺北軟弱地層的本處，為確保管線長期防漏、防震功能，將現行柔性接頭 DIP 提升至耐震接頭 DIP，仍應是最佳方案。

建立 NS 型 DIP 實務訓練場：目前在日本 NS 型 DIP 為耐震接頭 DIP 主流。依日本 DIP 協會研究報告，NS 型 DIP 較 S 或 S II 型 DIP 約可節省施工成本 20%，屬目前日規 DIP 中最佳耐震接頭管種，北水處推動使用耐震接頭，評估考量引進 NS 型 DIP，作為後續

推廣使用。NS 型 DIP 係日本 KUBOTA(久保田)公司專利產品，惟口徑 450mm 以下之專利年限即將屆滿，屆時將可直接引進臺灣使用，北水處現階段先辦理口徑 150mm 訓練場改裝為 NS 型 DIP，並辦理配管實務訓練(如圖 5)，先做好相關整備作業，以利後續提升耐震接頭 DIP 成效。



圖 5 本處 NS 型管線訓練場及人員訓練情形

### (三)整備維生用水

北水處藉由前述多項研究評估，為因應重大災害發生供水設施損壞，短期內無法正常供水，希能提供市民維持生存所需最基本飲用水，考量建置完成災後之緊急供水儲留設施及取水設備，因此擬具臺北地區緊急維生取水計畫。主要包含：北水處利用既有供水系統，規劃建置緊急供水儲留設施，並於防災公園新建維生貯水槽，供應轄區約 400 萬人災後維生飲用水。前者新建置 30 處緊急維生給水設施：自 2004 年起逐步推動建置緊急維生取水設施，截至 2008 年已完成 30 處，可自 11 處配水池及 19 處輸水幹管取用留存之水約 28 萬噸。後者於臺北市共有 12 處防災公園，規劃分別新建置 3 座管狀及 4 座鋼筋混凝土維生貯水槽，目前已完成松德及景華公園維生貯水槽(如圖 6)，將陸續於 2013 年前完成新建 7 座維生貯水槽；可留存水共約 1,850 噸。



圖 6 維生貯水槽及配水池取水站

有關於鋼筋混凝土維生貯水槽，其設計重點需注意：1.接頭方式：構造物減少接縫於進水管與結構介面間設置伸縮可撓管，用以提供吸收地震時變位。2.水密要求：結構須高水密性且進水管設置緊急遮斷閥，因緊急遮斷閥發揮之效用，於地震後配水池自成一蓄水池構造，避免地震時配水池漏水及蓄水自配水管流失。3.地震後取水方式：設置小型抽水機及發電機與簡易取水設備，配水池周遭須保留較大開放空間，供民眾取水使用。4.配水系統之連接：平時與一般配水系統連通維持水質安全，並採用加壓方式提高供水系統之穩定性。

此外，藉由與防災公園多次合作經驗，進一步配合規劃於公園設置時，經與社區民眾溝通討論後，決定與公園游泳池改造工程作整體之規劃設計，以建物共構方式，將防災維生水池與防災公園內之游泳池公共設施建物整併，建物外觀融入公園優美景觀，期能營造人文的、生態的、防災的與健康的都市公園。諸如：內湖區防災公園(大湖公園)維生貯水設施，其貯水池容量 1000 立方公尺，鋼筋混凝土構造，平時肩負日常用水任務，災時提供維生用水功能。

### 四、結語

最後，希望藉由相關耐震評估及推動風

險管理等作為，于面對相關災變時能有效因應，或降低災害衝擊之危害程度。當然，另須配合預算陸續建置防災公園、維生水池，以及配合防災生活圈提供取水站或防災應變盒等，將有助於提昇整體防災與應變管理能力。然而，從日本大地震演變所引發的火災、海嘯和核災等複合式災害，面對難以預測之災變，我們的因應作為仍須作更多檢討，應納入更多複合性災害的想定。未來仍將從多方面持續探討與改進，希望提升整體災害應變及風險管理之能力。

### 參考文獻

- 1.鄭錦澤(2011),「臺北自來水事業處自來水設施耐震性及其對策」,經濟部水利署「國際新興公共給水管理與處理技術」專題演講-「自來水設施耐震調查及其對策」。
- 2.曾景良、朱撼湘、陳維政、蔡秋蘭(2011),「臺北市防災公園維生水池與社區活動中心建物共構設計案例研究」,7th Taiwan-US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices。
- 3.詹焜耀、許敏能、黃裕泰(2010),「波狀不銹鋼管於自來水給水管之應用」中華民國自來水協會會刊,第29卷,第3期,第41-50頁。
- 4.鄭錦澤等,「From Chi-Chi Earthquake to Study about Aseismatic Measures and Disaster Crisis Management in Taipei」,6th Taiwan-US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices。
- 5.鄭錦澤等(2009),「Study about Aseismatic Measures and Disaster Prevention in Taipei Water Lifeline System」,「921地震十週年國際研討會(International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake)」。
- 6.鄭錦澤(2006),「參加「國際水協會第五屆世界水大會」談水危機管理、漏水改善及市場經濟」,中華民國自來水協會會刊,第25卷,第4期,第77-100頁。
- 7.鄭錦澤,「臺北自來水調度及備載能力探討」,第十五屆水利工程研討會,(2006)國立中央大學,經濟部水利署。
- 8.「台北區自來水第五期建設給水工程後續計畫」(2006),臺北自來水事業處。
- 9.陳曼莉,鄭錦澤等人(2005),「由青潭原水管檢修經驗探討臺北供水系統危機管理新模式」,第一屆水資源及水質管理研討會,中華民國環境工程學會,第B3-2-1-14頁
- 10.周乃昉等人,「北部地區水資源利用整體檢討規劃-北部地區水資源備用水源及管網之分析檢討」(2005),經濟部水利署。
- 11.「行政機關風險管理推動方案」,行政院(2005),行政院院授研管字第0940015433號函訂頒。
- 12.鄭錦澤等人(2003),「臺北區供水系統暨管網健全改善之研究」,台北市政府。
- 13.鄭錦澤等人(2002),「臺北地區供水系統合理調配暨危機管理之探討」,台北市政府。
- 14.王炳鑫(2002),臺灣九二一集集地震公共給水管線設備損壞報告,自來水會刊第十九卷第一期。
- 15.「板新供水改善計畫」(2001),經濟部水利署。

### 作者簡介

#### 鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處技術科科長

專長：供水調度及管理、淨水處理、技術研發、工程  
規劃與管理

#### 黃裕泰先生

現職：臺北自來水事業處技術科研發股幫工程師

專長：自來水管材、工法研發、預算單價

# 自來水設施耐震評估與配水管網功能診斷技術研討

文/康世芳、仇士愷

## 一、前言

今年 3 月 11 日日本發生東日本大地震，引發地震、海嘯與放射線污染之複合型災害，我國於 1999 年發生芮氏規模 7.3 級之 921 集集大地震，自來水維生系統之安全性造成重大衝擊。日本全國自來水配水系統漏水率平均約 7.1%，東京都與大阪市自來水漏水率分別約 3%與 6.0%，相對於我國自來水事業漏水率約 21%。近年來，台北自來水事業處與台灣自來水公司積極推動降低漏水率，近 5 年管線年汰換率為 2.46%-2.69%，高於國際水協會(International water association, IWA)建議管線年汰換率之 1.5%。漏水率改善須投入龐大經費，決定管網漏水改善優先順序與管網功能密切相關。此外，日本於 1996 年阪神淡路大地震後，加強自來水設施(取水設備、管網、淨水設備)耐震性，厚生勞動省於 2008 年 7 月所修訂之「自來水願景(Water Vision)」中，將管網耐震強化納入政策與自來水事業績效指標。我國被聯合國列為第 18 位缺水國家，興建水庫開發水源不易，且位於環太平洋地震帶，為提高自來水維生系統之安全，管網漏水改善與自來水設施耐震皆須依有足夠財源，才能循序漸進地推動「安全自來水維生系統」。

## 二、研討內容

經濟部水利署委託研究之「公共給水產業發展前瞻性之研究(2/2)」，其中工作項目之一(專題演講與教育訓練)，即由淡江大學水資源管理與政策研究中心籌辦「配水管

網功能診斷與自來水設施耐震評估技術研討會」(以下簡稱本研討會)，於 2011 年 8 月 25-26 日假台北自來水事業處演講廳舉行，邀請日本大阪市水道局、日本水道協會、日本水道服務公司(東京都轉投資公司)、台北自來水事業處與台灣自來水公司發表下列實務報告：

- (一)大阪市水道局自來水設施耐震調查及其對策(大阪市水道局)
- (二)臺北自來水事業處自來水設施耐震性及其對策(台北自來水事業處)
- (三)自來水管線耐震能力分析與系統震後服務效能推估(國家實驗研究院國家地震工程研究中心)
- (四)配水管網老舊度診斷技術(日本水道協會)
- (五)配水管網功能診所與評估技術及其實例(日本水道服務公司)
- (六)管網小區計量之規劃與成果(台灣自來水公司)

以推動台、日兩國自來水事業技術、經驗交流，同時借鏡日本經驗，供經濟部水利署、台北自來水事業處、台灣自來水公司等研擬管網漏水改善與自來水設施耐震政策之參考，各報告內容摘要如后。

## 三、大阪市水道局自來水設施耐震調查及其對策

介紹大阪市水道局迄今之地震對策相關配套措施、東日本大地震、已確認的課題及今後因應對策。1996 年 1 月發生芮氏規模

7.3 級陸地垂直型地震之阪神淡路大地震，大阪市水道局經歷該大震災之經驗，為於大規模震災後能早日恢復自來水，設施耐震化、震災相關設施之整備、緊急供水與緊急復原計畫之研擬，從軟體、硬體兩方面配套措施建置基本構想，擬定災害應變手冊(manual)，謀求防災時體制之充實。配水管、淨水場、給水廠設施整備之工程計畫擬定，導入資產管理(asset management)，控管老舊設施之更新時期，進行具戰略的且效率的設施整備。大阪市水道局供水人口 266 萬人，日平均供水量 121 萬 CMD(事業規模小於台北自來水事業處)，1996 年起至 2010 年投入自來水設施耐震經費約平均每年約 160 億日圓(約 50 億元)。此外，報告亦提出至東日本大地震災區之自來水設施破壞、強救、復原狀況之相關支援活動。尤其，海嘯受害區域之地層下陷嚴重、龐大廢棄土處置問題、對策，即使自來水設施復原、重建，因海嘯污染地下水、海嘯避難而居住區域轉移至高地，供水區域須重新檢討，水源複雜化、中小都市無技術者、龐大的財政負擔等，目前正確認各種應解決課題。

#### 四、台北自來水事業處自來水設施耐震性及其對策

台灣地區被英國政經風險評估，列為天災威脅程度名列全球第 4。介紹台北自來水事業處所轄供水範圍之自來水設施耐震性對策，以提昇自來水系統之耐震能力，為建構安全城市的必要條件，震後如何應變、救急、持續供水等風險管理。藉由委託專業機構及自行研究，辦理相關設施耐震與維生評估，評估項目包含：(一)管線耐震評估：清

二水管橋、清水一號送水幹線、及地下管線災損潛勢分析，(二)場站建物耐震評估：依內政部函頒「建築物實施耐震能力評估及補強方案」規定，辦理 13 處主要場站建物耐震相關評估，(三)維生評估：情境模擬九二一大地震重大災害時，探討合理維生用水量及評析災後水源取得後，以有效規劃及運用大型維生設施，並探討相關聯合運用之可行性與效益，以提供災民必要維生用水量。此外，推動相關風險管理主要對策包含：

- (一)強化防災設施能力：提高備援及備載能力，及強化整體供水設施系統，規劃投入 500 億元為 400 萬人建構降低風險，有效提昇系統風險管理能力。
- (二)強化應變及復舊能力：提昇各場站監控以及指揮資訊系統(含備援)、準備復舊設備及材料，及辦理相關年度訓練及應變演練。
- (三)整備維生用水：陸續建置維生儲水池、槽、幹管等，以及防災公園維生水池。今後，加強檢討複合性災害應變及風險管理之能力。

#### 五、自來水管線耐震能力分析與系統震後服務效能推估

介紹國家實驗研究院國家地震工程研究中心，於自來水管線耐震能力分析與系統震後服務效能推估之研發現況，及其可協助自來水事業處之技術能力。地震引致自來水地下管線的破壞，可歸因於(一)地震波作用引致地表震動位移與應變，進而造成地下管線的變形與破壞；及(二)斷層錯動、土壤液化或坡地破壞，直接導致地下管線的嚴重變形與破壞。台灣地區自來水系統通過地震地

質敏感(斷層通過或土壤液化高潛勢)的區域，目前已知多處輸水幹管為活動斷層所通過，同時亦有許多盆地與平原地區(含濱海工業地區)為容易發生土壤液化的沖積、回填區域。國家地震工程研究中心以數值模型探討自來水地下管線與圍束土壤之互制問題，發展管線大變形損壞之數值模擬技術，應用 ABAQUS 有限元素分析軟體中的薄殼元素模擬管體，配合 ASCE 土壤彈簧進行數值建模，藉由參數分析了解斷層錯動下連續管線的變形反應，同時比較不同管徑、土壤性質、埋設深度的影響，希冀獲得降低管線損害程度之耐震方案。自來水管網系統震後供水率推估技術研發，結合本土化的地震災害潛勢(包含地震動與地表破壞)分析模式、自來水管網系統資料、加壓管流水理分析原理、921 地震管線災損率經驗公式，以及管線災損點的水理模型與參數，並參酌美國康乃爾大學於 2006 年發表 GIRAFFE (Graphical Iterative Response Analysis for Flow Following Earthquakes) GIRAFFE 軟體，運用自來水管線災損屬性與機率模型、震災境況模擬技術，可應用於自來水系統的地震減災與緊急應變作業、震前整備與震後應變，協助政府與事業單位作好自來水系統的防救災工作。震前整備時，根據情境模擬與風險評估結果，進行自來水系統耐震補強、防災整備、人員演訓等。進行緊急應變時，情境模擬技術可以在震後第一時間提供具參考價值的災損推估(如管線災損個數、修復成本、所需人力與工時等需求、缺水情形，震後火災與消防用水避難民眾生活用水需求等)，提供應變官員指揮調度的參考，舒緩民眾疑慮並降

低可能二次災害的發生。

## 六、配水管網老舊度診斷技術

介紹配水管網老舊度診斷技術，以東京都水道局「初期球狀石墨鑄鐵管(DIP)老舊調查」為實例，介紹間接診斷方法。自來水資產之一半以上為管網，因長年劣化而降低功能與性能，須考量財政以計畫性且效率的執行管網更新，因此須掌握管網於何種狀況，管網之檢查、調查等日常護管理，管網強度與耐久性等狀況之診斷。「管網診斷」乃管網更新重要基本資料，大致可分為「直接診斷」與「間接診斷」，直接診斷的準確度、信賴性較高，而間接診斷之經費較低廉。間接診斷方法包含：(一)故障率診斷；(二)投訴率診斷；(三)漏水率診斷；(四)地震時受損率診斷；(五)使用年資等診斷；(六)綜合物理性診斷。直接診斷包含：(一)管內表面；(二)管外表面；(三)接頭處；(四)管本體；(五)通水斷面積；(六)管體周邊土壤及地下水；(七)管內水。

## 七、配水管網功能診斷與評估技術及其實例

東京水道服務公司為東京都水道局轉投資之企業，由東京都水道局卸任局長擔任社長。1987 年起接受東京都水道局管網設施委託維護管理業務，本報告為東京都水道局配水管網功能之調查與評估方法等之實例，介紹管網設施之功能診斷、評估技術，及應用於東京都水道局日常維護管理及管網之計畫性更新、整備。「管網功能之診斷、評估」主要內容包含：

### (一)管網狀況調查：

1. 配水管及附屬設備的調查(主要管線及其

支線)，針對主要管線及相關支線之設備位置、狀況及機能等進行詳細的調查。

- 2.橫斷管（跨越河川或鐵路的管線）調查，針對跨越河川或穿越鐵路的暗管、添架管（架設於橋樑上面的輸水管線）、專用管等管線情況，及橋台和支撐的金屬構造物等設施的調查。
- 3.管體環境調查，管體內外部腐蝕情形、土壤調查、土壤成分分析等。
- 4.水理、水質調查，針對管線內之水壓、水流量、水流向、殘留餘氯及導電率等數據進行分析調查。

(二)現狀分析、診斷及評估:依據調查結果進行現狀分析、及評估設備功能惡化情形，試著從中找出問題點並進行改善對策的檢討研議。

(三)提出診斷及評價結果之因應對策:報告內容包含提升管線系統健全度的補修計畫、每日維護管理計畫等。此外，執行過程中所蒐集的數據也可供日後管網更新計畫之用。

## 八、結論

本次研討會乃首次將日本配水管網老舊度診斷、功能診斷與評估技術介紹至國內，國內自來水事業尚未開使此方面業務與建立調查方法及技術；日本自來水設施耐震政策、評估技術與投入經費（財源、資產管理）等之實務經驗，皆值得我國自來水事業借鏡。研討會日文、中文簡報資料已收錄於光碟，並已分別寄送台北自來水事業處與台灣自來水公司，若自來水先進前輩與後起之秀參考引用之需，可逕行向其單位索取，以達知識與技術擴散效果，達到台日兩國自來水事業技術交流目的。

## 作者簡介

### 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

### 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

# 美國康乃爾大學地下管線地層錯動試驗研究簡介

文/鍾立來、陳振豪、劉季宇

## 一、引言

地震為台灣常見災害之一，對於通過斷層之地下自來水管線系統而言，其可能因地震所引致之地層錯動而產生損壞，由於水為日常生活之民生必需品，因此當地下自來水系統產生損壞，則勢必造成民生與衛生之問題，如火災之搶救與衛生清潔問題。有鑑於此，歷年來已有許多相關研究針對地下管線受斷層錯動之行為提出理論解<sup>[1,2]</sup>與數值模擬方法<sup>[3]</sup>，但不論是理論解或數值模擬方法所得到之結果，可能還是與真實世界中之管線受錯動行為有所差異，故近年來開始有研究以試驗來探討管線受地層錯動之行為，其中以美國之 NEESR-SG (Network for Earthquake Engineering Simulation Research-Small Group) 計畫之地層錯動試驗最為著名，此計畫為美國康乃爾大學(Cornell University，以下簡稱 CU)與王色列理工學院(Rensselaer Polytechnic Institute，以下簡稱 RPI)所合作之研究計劃<sup>[4,5,6]</sup>，其中 CU 以大型剪力箱試驗來探討地下管線受地層錯動之行為，RPI 則是以縮尺剪力箱搭配離心機探討管線受地層錯動之行為，經由地層錯動試驗，可對實際管線受斷層錯動之行為有進一步了解。本文之主旨為對 CU 之大型剪力箱試驗與相關成果作一介紹並供國內相關研究與工程單位作為參考，從科學研究角度上，地層錯動試驗可驗證相關理論與數值模擬方法，於工程實務上，工程師可經由地層錯動試驗了解不同管材甚至是管線接頭承受斷層錯動之耐震能力。

## 二、CU 試驗系統之架構介紹

一般斷層依其錯動型式可分為平移斷層與正逆斷層，當地表產生水平向錯動時稱之為平移斷層如圖 1(a)，其中當圖 1(a)中管線與平移斷層面交角  $\alpha$  大於零時，則管線受平移斷層錯動之行為便為彎矩與壓力控制，反之則為彎矩與拉力控制；當地表產生垂直向錯動時，則稱之為正、逆斷層如圖 1(b)與(c)，其中在正斷層作用下，管線受錯動之行為是拉力與彎矩控制，逆斷層則是壓力與彎矩控制。

CU 地層錯動試驗之概念為利用兩個剪力箱之相對運動來模擬斷層行為(圖 2)，其中每個剪力箱之尺寸均為：長 6m×寬 3.2m×高 2.3m，試驗時一個剪力箱固定，另一個剪力箱則以油壓致動器驅動，在此試驗加載下，埋設於剪力箱之管線便如同受到斷層錯動。

將 CU 之地層錯動試驗系統分為三個子系統作一介紹，分別為推力系統、地層錯動系統與量測系統。CU 剪力箱之推力系統主要用來提供試驗時所需之推力，其中 CU 試驗之推力系統具備型號為 243.40T 與 243.45T 各兩具之油壓致動器，其中型號 243.40T 之致動器具備  $\pm 0.93\text{m}$  之衝程，其最大出力則可達 295kN 之拉力與 498kN 之壓力，型號 243.45T 之致動器則具備  $\pm 0.63\text{m}$  之衝程，其最大出力則可達 445kN 之拉力與 649kN 之壓力，於 NEESR-SG 計畫之試驗中，CU 便使用了兩具型號 243.45T 致動器來提供試驗時所需之推力。

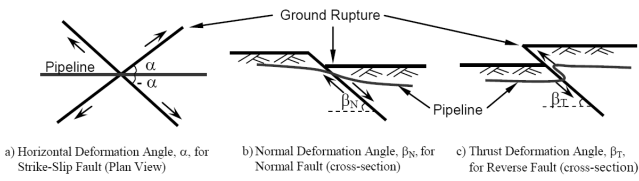


圖 1 管線通過不同斷層行為示意圖<sup>[6]</sup>

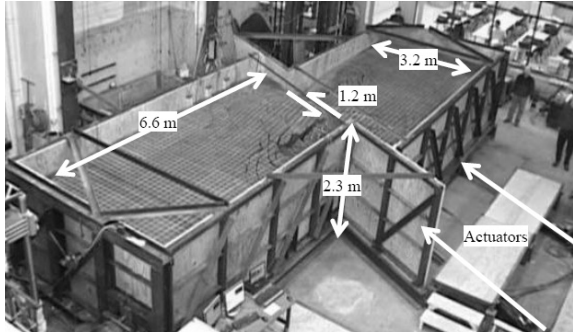


圖 2 CU 之大型剪力箱試驗架構示意圖<sup>[6]</sup>

CU 之地層錯動系統主要由大型剪力箱與土壤輸送系統組成，由上述說明可知每個剪力箱尺寸為：長 6m×寬 3.2m×高 2.3m，經由 CU 之結構設計，剪力箱與試驗管線連接處可承受約 670kN 之力量<sup>[4]</sup>，試驗時，NEESR-SG 計畫主要探討管線埋深為 1 公尺下之行為；由於試驗時需使用到大量土壤，為將此大量之土壤搬運至剪力箱內，因此 CU 使用了一套土壤輸送系統，此土壤輸送系統則是由一輸送機(conveyor)與溜槽(chute)組成。

在量測系統方面，除了一般實驗常使用到之應變計外，CU 另使用了 tactile sensor 來量測管線受錯動時所承受之土壓如圖 3，從圖 3 可看出此種 sensor 為許多小型 sensor 排列在一薄片上，因其柔度高，故佈設於管線上時，可以環繞管線之表面佈設，因此經由此種 sensor 之量測結果，可對管線受到地層錯動時，作用於管體上之土壓分布有一了解。在以上之試驗配置下，CU 之試驗容量如表 1<sup>[4,5,6]</sup>。

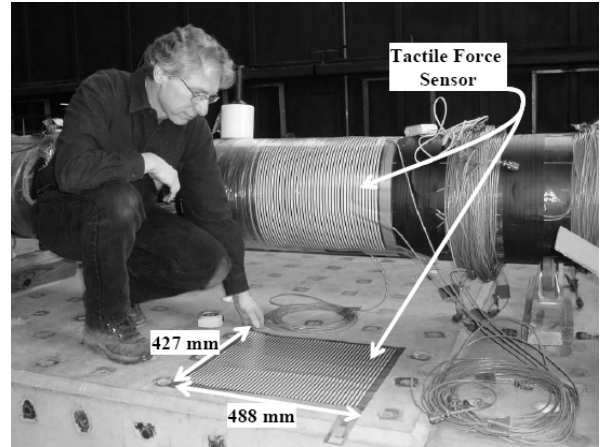


圖 3 tactile sensor 示意圖<sup>[6]</sup>

表 1 CU 之地層錯動試驗容量

管材直徑	100-600mm
管斷面之直徑對厚度比	10-120
試驗埋設深度	0.6-1.5m
試驗管長	15m
能模擬之管線與平移斷層之夾角	+30°-90° (-90°- -30°)
能模擬之正斷層傾角	30°-90°
能模擬之逆斷層傾角	≤ 30°
試驗之最大錯動量	1.8m
試驗之最大錯動率	0.1 m/s

在表 1 中可看出 NEESR-SG 之報告指出 CU 之試驗系統可模擬管線受正逆斷層錯動之行為，但在 NEESR-SG 計畫中，CU 之試驗系統僅探討了高密度聚氯乙烯管(以下簡稱 HDPE 管)與鋼管受平移斷層錯動之行為，其中僅有 RPI 以縮尺之離心機試驗探討管線受正逆斷層之行為。

### 三、CU地層錯動試驗之成果介紹

在 NEESR-SG 研究計畫之地層錯動試驗內容與研究成果中，CU 之試驗主要探討 HDPE 管與鋼管受平移斷層錯動之行為，其中對於 HDPE 管，CU 探討了兩種標稱管徑

400mm 與 250mm，且其管壁厚度分別為 24mm 與 25mm，對於鋼管，CU 僅探討了標稱管徑為 150mm 且管壁厚為 3mm 之斷面。

在試驗所使用之土壤方面，CU 僅探討管線與砂土之互制行為，試驗時選用了優良級配之砂土，其中土壤之乾單位重約為 15.7KN/m<sup>2</sup>，土壤含水量則控制在 4%至 6%，摩擦角則約為 40°，由於 CU 指出一般管線埋深約在 0.6m 至 1.5m，因此最後試驗探討管線在埋深 1m 下之行為。

於 NEESR-SG 研究計畫之大型錯動試驗中，CU 共進行了九次試驗，且九次試驗均是模擬平移斷層錯動，模擬之管線與平移斷層之交角  $\alpha$  則為 65°與-65°，其中前八次試驗所模擬之管線與平移斷層之交角為-65°，最後一次則為 65°，因此於前八次試驗中，管線之行為均為拉力與彎矩控制，第九次則為壓力與彎矩控制，以上九次所模擬之斷層錯動量均為 1.2m，此九次試驗共分三年進行，現將其整理於表 2 至表 4。

表 2 CU 於 2006 所進行之試驗

NO	時間	試驗簡要說明	管材
1	2005.12 2006.1	剪力箱不放置土壤只安裝管線，並藉此測試制動器性能與相關量測設備。	HDPE-D400
2	2006.3	完整地層錯動試驗。	HDPE-D400
3	2006.4	No2 之重複試驗，觀察卸載反應。	HDPE-D400

表 3 CU 於 2007 所進行之試驗

NO	時間	試驗簡要說明	管材
4	2006.7	完整地層錯動試驗，此外試驗使用	HDPE-D250

NO	時間	試驗簡要說明	管材
5	2006.7	了 tactile sensor。 No4 之重複試驗。	HDPE-D250
6	2006.10	同試驗 No4。	鋼管 D250
7	2007.3	同試驗 No2，但另使用了 tactile sensor。	HDPE-D400
8	2007.6	同試驗 No7，但管線另加壓至 500kPa。	HDPE-D400

表 4 CU 於 2008 所進行之試驗

NO	時間	試驗簡要說明	管材
9	2008.1	同試驗 No7，但管線之行為由壓力與彎矩主導。	HDPE-D400

從表 2 至表 4 可看出除了試驗 No1 並無於剪力箱中置入土壤外，其餘八次試驗均有置入土壤來完整模擬管線通過斷層之行為。為了瞭解管線產生變形後再受載之反應，因此 CU 安排了重複試驗，即將試驗後之剪力箱置於原位，並再度觀察管線反應，由重複試驗之結果，對於管線因地層錯動產生非線性行為後，卸載後之反應可有較深入之了解，此外亦可測試量測系統如應變計之耐用性(durability)。

在此一系列之試驗結果中，CU 主要探討了管線受錯動時之管體反應與作用於管體上之土壓分佈，管體反應主要由管線上所佈設之應變計得之，土壓則由前述所提及之 tactile sensor 得之，在管體之應變方面，CU 將其分為軸向應變與撓曲應變來探討，其分析之典型結果如圖 4，圖 4 為試驗 No2 至 No7 之斷層錯動量達 1.2m 時之管體應變，由於 CU 只探討平移斷層之行為，故理論上管線

頂部(crown)與底部(invert)應只有軸向效應，因此 CU 取管線頂部(crown)與底部(invert)之平均應變為軸向應變，在撓曲應變方面，由理論可知兩側中心線(springline)之應變值除了軸向應變外，還應包含因撓曲效應而產生之撓曲應變，且兩側中心線之總應變應分別為軸向應變與撓曲應變之和與差，因此在撓曲應變之求取上，CU 則是由管線兩側中心線(springline)之總應變值相減除以二得之。

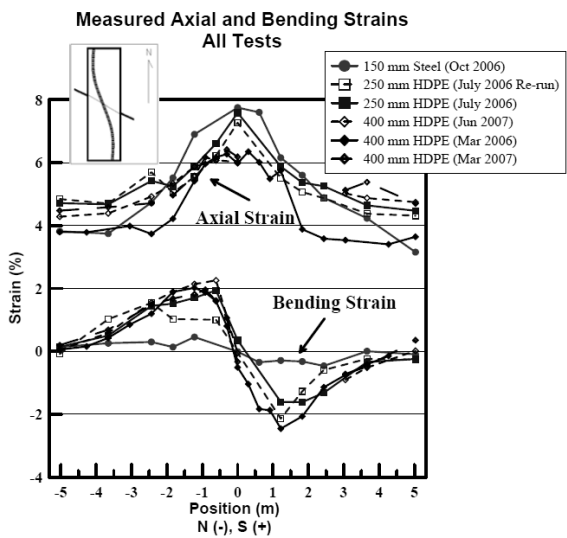


圖 4 CU 試驗所得之管體應變分佈圖<sup>[5]</sup>

由圖 4 之試驗 No2 至 No7 之應變分布圖可看出，對於軸向應變而言，其最大應變值發生於斷層處，即剪力箱可動端與固定端之交界處，此一分布亦符合理論上管線受斷層錯動時之軸向應變分布；對於撓曲應變而言，由圖 4 可看出試驗 No2 至 No7 所得到之撓曲應變分布幾乎呈反對稱，且可發現於斷層處之撓曲應變為零，這代表對於撓曲應變而言，其反曲點位於斷層處，且管線受平移斷層錯動之行為幾乎為反對稱，這也驗證多數研究假設管線受到平移斷層錯動之變形為反對稱是合理的。

在試驗結果之驗證方面，CU 以有限元軟體 ABAQUS 來驗證其試驗結果，其數值模型乃是以梁元素模擬管線，另外以側向土壤彈簧與軸向土壤彈簧來模擬管線與土壤間之互制行為，其中側向土壤彈簧之參數以 tactile sensor 之量測結果而得，軸向土壤彈簧參數則是由美國規範 ASCE1984 得之，其比較算例如圖 5，由圖 5 可看出 CU 之試驗結果與其模擬結果相比明顯是有差異的，但基本上 CU 之數值模擬技術所得到之結果並不會與其試驗結果相差太多，因此其模擬方式應可供相關研究與工程單位做一參考。

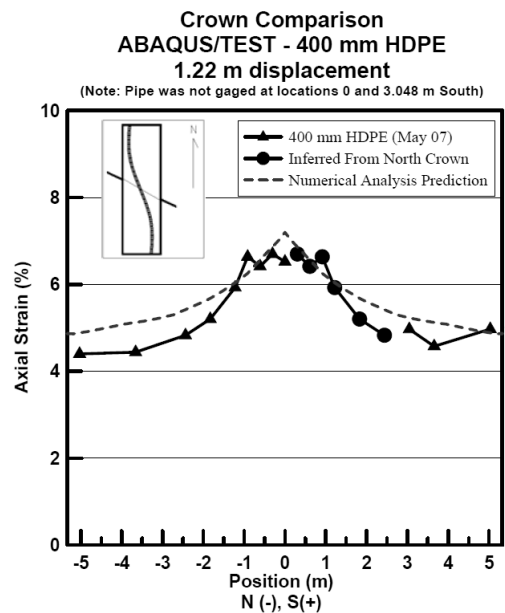


圖 5 CU 之試驗結果與模擬比較圖<sup>[5]</sup>

針對 CU 應用 tactile sensor 於量測土壓之方式與成果，首先介紹 CU 計算側向土壓之理論，CU 假設 tactile sensor 所量測到之土壓分布函數  $p(\theta)$  如圖 6 左側，得到土壓分布後，將其積分便求得土壓合力，但考量到管線受錯動過程中，土壤與管線介面會有一摩擦力  $f$ ，此一摩擦力可由作用於管線的土壓

$p(\theta)$  與土壤及管線間的摩擦係數  $\mu$  得之，又此一摩擦力亦有一分量作用於管線側向如圖六右側，因此實際上當管線受平移斷層錯動時，作用於管線上之側向力  $P_h$  除了由土壓貢獻外，摩擦力  $f$  之貢獻亦不可忽略，統整以上概念便可得管線受平移斷層錯動過程中，實際作用於管線上的側向力合力如式(1):

$$P_h = \int_0^{2\pi} Rp(\theta)\cos\theta d\theta + \int_0^{2\pi} \mu Rp(\theta)\sin\theta d\theta \quad (1)$$

其中  $R$  為管線半徑， $p(\theta)$  為作用於管線上之土壓， $\mu$  為土壤及管線間的摩擦係數。

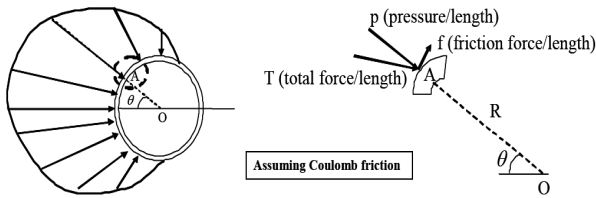


圖 6 tactile sensor 之土壓分布模型<sup>[5]</sup>

圖 7 便為 CU 在靠近剪力箱交界處由 tactile sensor 所量測之土壓分布，為驗證試驗結果之合理性，CU 將試驗所得之側向土壓合力正規化並與美國規範 ASCE1984<sup>[7]</sup>做一比較如圖 8，由圖 8 之比較結果可看出 CU 之試驗結果與 ASCE1984 相比，兩者間所得之趨勢非常接近，故由此可知 tactile sensor 之量測結果具有一定的準確性，未來相關研究或工程應該可考慮使用 tactile sensor，如基樁受側力之研究或許可嘗試由 tactile sensor 來探討基樁承受側力時之土壓分布，從一另角度來看，CU 之試驗結果也相對驗證了 ASCE1984 之合理性，因此國內地下管線工程亦可參考 ASCE1984 作為初步分析之用。

CU 之地層錯動試驗系統除了於 NEESR-SG 研究計畫中有著重要成果外，此一試驗設備亦曾用來協助美國舊金山政府

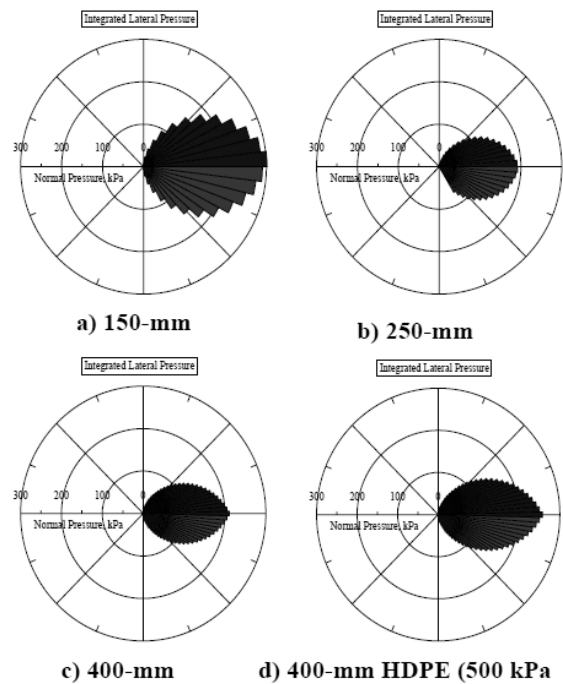


圖 7 tactile sensor 量測結果示意圖<sup>[5]</sup>

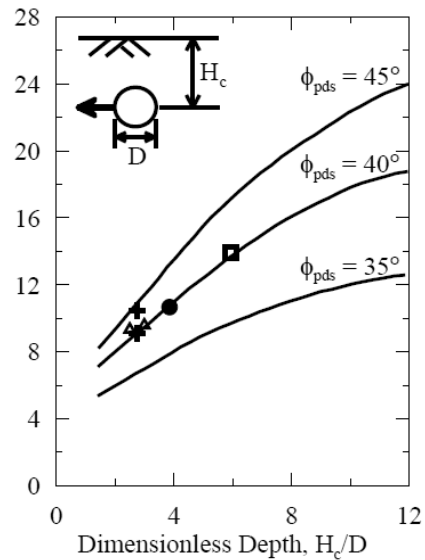


圖 8 tactile sensor 量測之正規化側向土壓與 ASCE1984 之比較<sup>[6]</sup>

探討其地下管線系統受地層錯動時之耐震能力<sup>[8]</sup>，由於舊金山地區有一管線系統通過當地之 Hayward 斷層，且此斷層為平移斷層，因舊金山政府在此一區域將其地下管線系統做一升級，此一升級之地下管線系統為在管線外圍包覆混凝土窖(vault)，如此當地

震來臨且 Hayward 斷層因此產生錯動時，便可經由管線外圍包覆之混凝土窖來幫忙抵抗地層錯動，因此可降低地下管線因地層錯動損壞之機率，故舊金山政府之相關單位便藉由 CU 之地層錯動試驗來探討此一升級後之地下管線系統的耐震能力。

#### 四、結論與建議

本文對於 CU 之地層錯動試驗系統與其研究成果有一簡要介紹，可發現經由大型地層錯動試驗結果，相關研究與工程單位可對於管線受地層錯動之行為有較深入之了解，如 CU 之研究結果便驗證了管線受平移斷層錯動時，其行為幾乎為反對稱；除此之外，CU 之試驗系統重要特色之一便是其使用了 tactile sensor 來量測管線受地層錯動時，作用於管體上之側向土壓分布，且經由試驗量測值與規範 ASCE1984<sup>[7]</sup>所建議之土壓值的比對，可發現 ASCE1984 之建議值屬合理，未來相關研究與工程設計建議可參考 ASCE1984 來初步定義相關土壤參數。

於本文之介紹可知 CU 之地層錯動試驗系統不僅是應用於學術研究上，此一試驗系統亦被用於協助地下管線工程單位了解其地下管線系統之耐震能力<sup>[8]</sup>，故本文建議國內相關單位亦可藉由地層錯動試驗來探討管線受地層錯動行為，此外亦可藉由此一試驗來驗證不同管材甚至是管線接頭之耐震能力，實際上目前國家地震工程研究中心已有研究團隊正進行經濟部水利署的兩年期委託研究計畫「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究」<sup>[9,10]</sup>，此兩年之委託計畫之工作項目之一便是地層錯動試驗系統之建置，由本文之介紹可知 CU 之試驗系統

宣稱其試驗系統可模擬正逆斷層，但就 CU 目前所公開之試驗成果中<sup>[11]</sup>，所有試驗均是模擬平移斷層，其中僅有 RPI 以其縮尺離心機試驗探討管線受正逆斷層之行為，國家地震工程研究中心之研究團隊目前已就正逆斷層之模擬提出試驗構想，目前進度已在細部設計階段，當此試驗系統完成建置後，未來國內相關研究與工程單位可經由此一系統探討管線過斷層行為。

#### 誌謝

感謝經濟部水利署 MOEA-WRA-0990095 與 MOEA-WRA-1000090 研究計畫經費補助本研究得以順利進行。

#### 參考文獻

- 1.Hall, W.J. and Newmark, N.M. (1975) "Pipeline design to resist large fault displacement," Proceeding of U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Ann Arbor, MI, USA, pp.416-425.
- 2.Wang, L.R.L. and Yeh, Y.H. (1985) "A refined seismic analysis and design of buried pipeline for fault movement," International Journal on Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 13(1), pp. 75-96.
- 3.Takada, S., Liang, J.W. and Li, T. (1998). "Shell-Mode Response of Buried Pipelines to Large Fault Movements," Journal of Structural Engineering, Vol.44A, pp. 1637-4646.
- 4.CU, RPI and Science Discovery Center, (2006). "NEESR-SG, Annual Report."
- 5.CU, RPI and Science Discovery Center, (2007). "NEESR-SG, Annual Report."
- 6.CU, RPI and Science Discovery Center, (2008). "NEESR-SG, Final Report."

7. ASCE(1984), "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems," Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines.
8. O'Rourke, T.D., Palmer, M.C., Stewart, H.E. and Olson, N.A. (2009). "Large-Scale Testing of Fault Rupture Effects, SFPUC CS-033, Final Report," Cornell University, Ithaca, NY.
9. 洪祥瑗、陳筱安、陳振豪、尤信翰(2010), 「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究(1/2)」研究報告, 計畫編號 MOEA-WRA-0990095, 經濟部水利署, 台北。
10. 劉季宇、鍾立來、黃仲偉、葉錦勳、周光武、洪祥瑗、陳振豪、周志雄(2011), 「自來水管線耐震分析及震後緊急應變措施之研究(2/2)」研究報告, 計畫編號 MOEA-WRA-1000090, 經濟部水利署, 台北(即出)。

11. Cornell University, <http://nees.cornell.edu/>.

### 作者簡介

#### 鍾立來先生

現職：國家地震工程研究中心研究員

專長：結構控制 地震工程 維生線系統耐震分析

#### 陳振豪先生

現職：國家地震工程研究中心研究助理

專長：結構分析

#### 劉季宇先生

現職：國家地震工程研究中心 副研究員

專長：地震工程 維生線系統耐震分析

## 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。

# 由東日本大震災探討耐震接頭延性鑄鐵管於軟弱地盤之應用需求

文/王詠民

## 一、前言

2011 年 3 月 11 日日本東北地方太平洋近海發生芮氏規模 9.0 大地震，最大震度 7 級，並連鎖引發了最大浪高 38 公尺的毀滅性大海嘯及福島第一核電廠的嚴重核災，震驚全球。

這種規模的災害發生在世界任何人口密集的地方，都免不了造成重大傷亡及設施損壞。311 東日本大地震造成以日本東北岩手縣、宮城縣及福島縣為中心的大範圍受災，至少 24,000 人死亡或失蹤、5,300 人輕重傷，296,000 棟房屋遭受破壞，自來水戶約 187 萬戶停水，災後一個月自來水停水戶數降為 62 萬戶，災後兩個月自來水停水戶數降為 27 萬戶，為日本二次世界大戰後傷亡最慘重的自然災害。

在這次災害的災區中，自來水管線亦遭

受嚴重損害，尤其在土壤液化、軟弱地層、道路填土崩壞等地盤差異沉陷大的區域，其管線損壞發生率較高。

值得注意的是，近年來日本自來水界大力推廣的鎖構造接頭延性鑄鐵管(常簡稱為耐震接頭延性鑄鐵管或耐震接頭 DIP, Ductile Iron Pipe)等耐震管，在這次重大災害中，損壞率為零，即便是地層差異變形較大的軟弱地盤，甚至在土壤液化區域，K 型接頭 DIP、鋼管及 PVC(Poly Vinyl chloride)管受損率更為嚴重的區域，官方報告中，NS 型 DIP 等耐震管損壞率也是幾乎為零。耐震管的耐震性能在日本近年大地震的災害中充分發揮出來，實證有效降低可能的災害損失(圖 1 及表 1)。

**關鍵字：**耐震、軟弱地盤、耐震管、延性鑄鐵管、球狀石墨延性鑄鐵管、鎖構造接頭延性鑄鐵管、耐震接頭延性鑄鐵管



圖 1 日本水道新聞報導 NS 型 DIP 等耐震管在東日本大震災效果顯著(資料來源:日本水道新聞)

表 1 日本近年地震自來水設施損壞狀況及耐震接頭 DIP 耐震實績

地震名稱	發生日期	最大震度	地震規模 (M)	停水戶數	最長停水日數	受災地點	耐震接頭 DIP 布設長度	耐震接頭 DIP 損害件數(件/Km)	耐震接頭 DIP 布設區域
阪神大地震	1995.1.17	7	7.2	約 1,300,000 戶	約 90 日	神戶市、西宮市、芦屋市	約 270Km	0	液化潛勢區、填土區、新生地、軟弱地層等
鳥取縣西部地震	2000.10.6	6 強	7.3	約 8,300 戶	約 11 日	米子市、境港市	約 11.8Km	0	
芸予地震	2001.3.24	6 強	6.7	約 48,500 戶	約 2 日	廣島市	約 504Km	0	
十勝沖地震	2003.9.26	6 弱	8.0	約 16,000 戶	約 8 日	釧路市等	約 30Km	0	
新潟縣中越地震	2004.10.23	7	6.8	約 130,000 戶	約 30 日	長岡市、十日町市、柏崎市	約 20Km	0	
能登半島地震	2007.3.25	6 強	6.9	約 13,000 戶	約 13 日	輪島市、志賀町、穴水町、七尾市	約 40Km	0	包含液化潛勢區、填土區、新生地、軟弱地層等不良地盤及優良地盤各區域
東日本大震災	2011.3.11	7	9.0	約 1,870,000 戶	超過 90 日	岩手、宮城、福島等 16 都縣，仙台等 187 市町村	>1,000Km	0	

(資料來源:日本鑄鐵管協會網頁等, 本文彙整)

## 二、各主要管種耐震性能比較

在日本近年阪神大地震及新潟中越等大地震中,震度 5 級以上災區 PVC(Poly Vinyl Chloride)管受損率約 0.8 件/Km; CIP(Cast Iron Pipe)受損率約 0.45 件/Km; K 型 DIP 受損率約 0.2 處/Km;電焊套接頭 HDPE(High Density Polyethylene)管受損率為零; NS 型等耐震接頭 DIP 受損率為零。另在土壤液化等軟弱地盤區域,早期埋設的 CIP 管受損率高達約 3.5 件/Km; PVC 管受損率約 1.5 件/Km; A 型

DIP 受損率約 1.4 件/Km; K 型 DIP 受損率約 0.45 件/Km, K 型 DIP 常見損壞形態為接頭鬆脫(圖 2);電焊套接頭 HDPE 管及 NS 型等耐震接頭 DIP 受損率則仍幾乎為零。電焊套接頭 HDPE 管在近年日本震災中耐震性能表現優異,但因電焊套接頭 HDPE 管在日本及臺灣自來水輸配水管使用比例尚低,仍非主要使用管種,本文暫不進行進一步比較探討。

目前國內自來水新設輸配水管以 K 型等柔性接頭 DIP 為最主要管種,耐震性能良

好的 NS 型等耐震接頭 DIP 則為目前日本自來水新設輸配水管主要管種。NS 型等耐震接頭 DIP 在日本應用得到優異的耐震實績，1995 年前，日本自來水輸配水管僅在軟弱地盤等差異沉陷潛勢大的區域採用耐震接頭 DIP，以克服管線可能的差異沉陷變形。在耐震接頭 DIP 於阪神大地震展現零損壞率的優異性能後，東京等主要都會區水道事業即就新設 DIP 直管全面改採用耐震接頭型式。目前，日本除少數以町村為單位的自來水事業，因財務、技術人力等資源極度缺乏，新設 DIP 直管仍採用 K 型等柔性接頭 DIP 外，主要自來水事業新設 DIP 直管大多已採用耐震接頭型式。今年日本耐震接頭型式 DIP 直管約佔日本整體新設 DIP 直管約近 80%，且使用比例每年仍持續增加。

### 三、DIP 接頭分類

DIP 接頭構造可區分為 3 大類：柔性接頭、剛性接頭及耐震接頭(或稱鎖構造接頭或防脫接頭)。目前 CNS 中柔性接頭種類包含：A 型、K 型(Kairyō，日文改良的意思)、T 型(Tyton；T type，美規 DIP 接頭種類名稱)、U 型(Uchigawa，日文內側的意思)及 PI 型(Pipe-in-pip)等；耐震接頭種類包含：S 型(Seismic，地震縮寫)、S II 型、US 型及 P II 型等；剛性接頭種類包含：KF 型(K + Fix)、UF 型(U + Fix)及凸緣(法蘭接頭)等。柔性接頭 A 型因容許變位較 K 型小，震災中受損率較高，目前中小型管徑 DIP 直管接頭，國內一般均採用柔性接頭 K 型，A 型接頭已不再使用。

臺灣國家標準 CNS、日規 JIS、JWWA、JDPA、美規 ANSI、AWWA 及國際標準 ISO(表 2)等均有耐震接頭 DIP 相關規格及規範(表 2)，國內規範 CNS 與日本規範 JIS、JWWA 及 JDPA 屬同一規範系統，日本新版 JDPA 規範中 DIP 耐震接頭型式另有施工較簡易的新型 NS(New Seismic)型及 GX 型接頭，NS 型 DIP 為日本目前新設中小型口徑輸配水管主要採用型式。

鑄鐵管從年代上分類(圖 3)，始於十七世紀法國至 1940 年代前，使用的普通鑄鐵管歸類為第一世代。1930~1971 年間接頭採用灌鉛的高級鑄鐵管則屬第二世代，現場接頭施工需由熟練的技工始能勝任。1954 年陸續開始的 A 型、K 型及 U 型等機械接頭(球狀石墨)延性鑄鐵管屬第三世代，機械接頭 K 型等的基本概念是用金屬壓圈緊壓橡膠圈，壓圈緊迫的壓力會讓橡膠圈將接頭縫隙全部密封止水，K 型 DIP 是臺灣目前最普及也最為人熟悉的輸配水管種類之一，第三代機械接頭施工性較第二世代灌鉛的高級鑄鐵管大幅提升，且因鑄造技術的進步，管材的韌性及強度也大幅提升。1978 年開始的耐震接頭型 DIP，被歸類為第四世代高機能 DIP，是日本目前最常用的輸配水管種。第四世代高機能 DIP 接頭除保有第三代柔性接頭優良的接頭容許變形能力外，可藉由接頭卡榫鎖構造機制，使接頭達容許變形上限後，提供一極大的防脫力(3D kN，D 為管徑，單位為 mm)，使管線在地層極大變形狀況下，仍能配合提供一接近鍊鎖狀況的變形能力，以保持管線不漏水的良好機能(圖 4~6)。

(K 型)

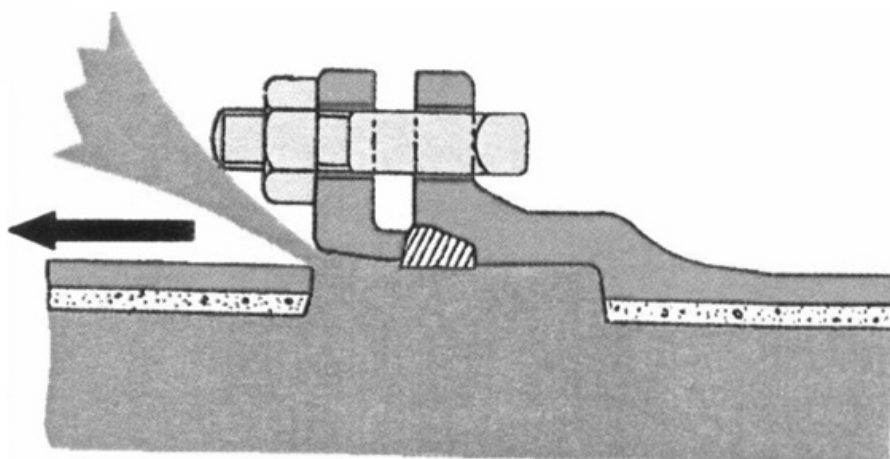


圖 2 DIP 柔性接頭(K 型、A 型)常見震災損壞型態(資料來源：日本東京都水道局網頁)

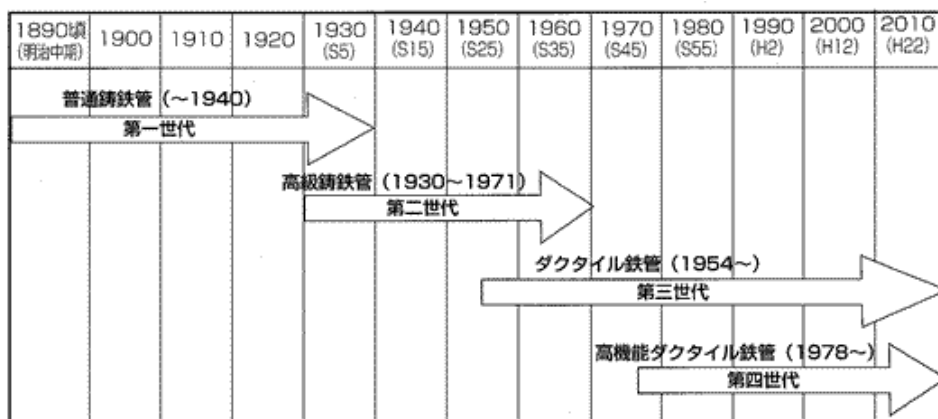


圖 3 鑄鐵管發展使用歷程(資料來源：日本鑄鐵管協會網頁)

表 2 ISO 16134 及日規耐震接頭 DIP 分類及特性

性質種類	ISO 16134 分類	構件性能	日規 NS 型 DIP 等類型特性**
接頭伸縮性	S-1	$\geq \pm 1\%$ 管長	$\pm 1\%$ 管長
	S-2	$\geq \pm 0.5\%$ , $< \pm 1\%$ 管長	
	S-3	$< \pm 0.5\%$ 管長	
防脫力	A	$\geq 3D$ kN*	3D kN
	B	$\geq 1.5D$ kN, $< 3D$ kN	
	C	$\geq 0.75D$ kN, $< 1.5D$ kN	
	D	$< 0.75$ kN	
地震地盤下陷時, 接頭最大撓曲角 度	M-1	$\geq \pm 15^\circ$	$8^\circ$ ( $\phi 75 \sim \phi 250$ mm)
	M-2	$\geq \pm 7.5^\circ$ , $< \pm 15^\circ$	$6^\circ$ ( $\phi 300 \sim \phi 450$ mm)
	M-3	$< \pm 7.5^\circ$	$7^\circ$ ( $\phi 500 \sim \phi 1,000$ mm) $7^\circ \sim 3'40''$ ( $\phi 1,100 \sim \phi 2,600$ mm)***

註\*: D 為管徑，單位為 mm。

(資料來源：ISO 16134 等，本文彙整)

註\*\*：包含日規 NS 型、S 型、SII 型及 US 型等型式 DIP，不含日規 PII 型等管中管類型。

註\*\*\*：地震地盤下陷時，接頭最大撓曲角度依管徑大小不同。另接頭配管施工時容許撓曲角度約為接頭最大撓曲角度 21-50%，依管徑及接頭類型不同。

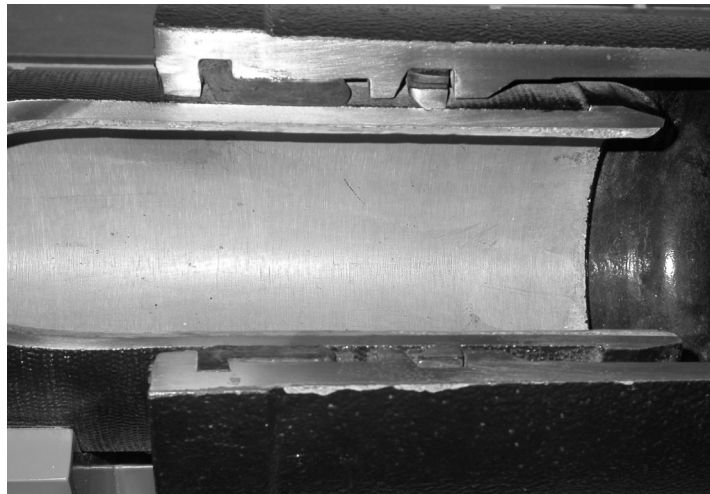


圖 4 NS 型 DIP 直管  $\phi 75\sim 450\text{mm}$  耐震接頭剖面模型(拍攝於東京都水道歷史館)

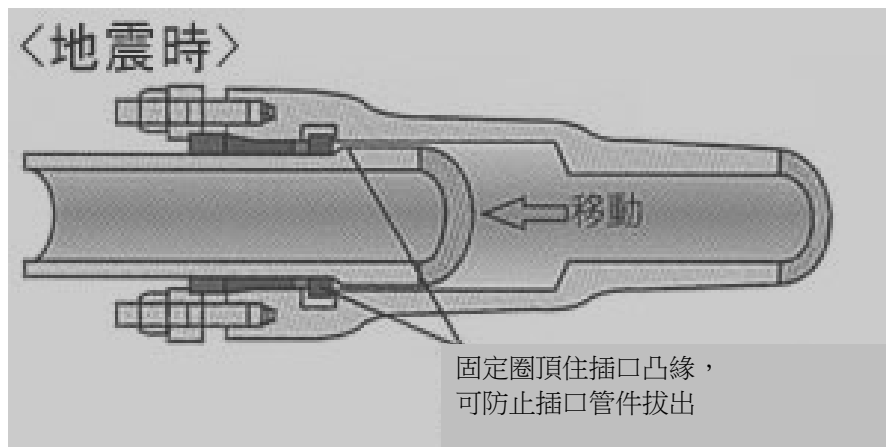


圖 5 耐震接頭 DIP 單一接頭因應地盤變動機制(資料來源：日本東京都水道局網頁)

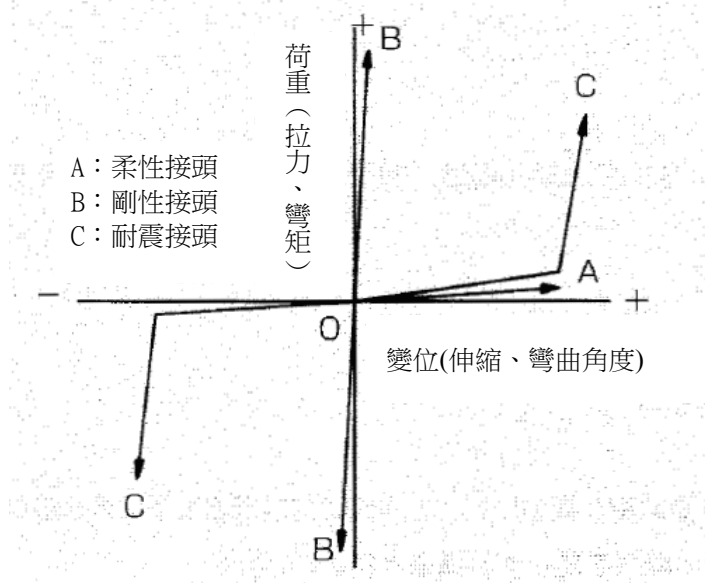


圖 6 DIP 耐震接頭、柔性接頭與剛性接頭外力與變位關係(資料來源：日本鑄鐵管協會網頁)

耐震接頭 DIP 與柔性接頭 DIP 的管體本身強度規範類似，耐震接頭與柔性接頭同樣具有可吸收地盤差異沉陷的容許變形，這種機構為地下管線所需具備最重要特性之一。接頭超過容許變形值前，兩者水密性均優。耐震接頭與柔性接頭最大差異在於，耐震接頭多一防脫機制。以口徑  $\phi 600\text{mm}$  DIP K 型接頭與 S 型接頭性質比較為例，K 型接頭配管施工時容許撓曲角度為  $2^{\circ} 50'$ ，S 型接頭配管施工時容許撓曲角度為  $2^{\circ} 50'$ ，兩者相當；K 型直管接頭最大伸縮量為  $69\text{mm}$ (可伸長量  $64\text{mm}$ ，可縮短量  $5\text{mm}$ )，S 型直管接頭實際最大伸縮量為  $154\text{mm}$ (可伸長量  $77\text{mm}$ ，可縮短量  $77\text{mm}$ )，兩者呈 2.2 倍；K 型接頭防脫力約為  $12\text{kN}$ ，S 型接頭防脫力約為  $1,800\text{kN}$ ( $3\text{D kN}$ )，兩者相差 150 倍。因耐震接頭具備防脫機能，使耐震接頭 DIP 具有連鎖效應(圖 7)，讓管線抵抗地層差異沉陷的能力為無防脫機制單一管線接頭能力的數倍，產生加乘效果。在震度 6 級軟弱地層的情形下仍維持供水功能幾乎不損漏。

#### 四、管線耐震化推動瓶頸

財源不足為自來水管線設施耐震化推動的主要瓶頸。受限自來水事業目前財務困境，若無額外穩定補助與援或水價合理調

整，新設輸配水管全面引進採用新一代耐震管材，勢必遭遇財務上的困難。但依新的技術規範引進採用性能優異耐震管材，以降低現有潛在風險、提升管線耐震性、健全管網，確有其需求，建議短期間可採漸進式作法，由土壤液化潛勢高等軟弱地盤區域及重要管線新設汰換時優先採用，除了可降低對自來水事業體財務的衝擊程度，也可有效提升軟弱地盤等風險較高區域的管網耐震性，亦可漸進提升厚植國內 DIP 產業技術。

耐震接頭 DIP 引進採用初期，因需分攤接頭技術及模具開發成本，管材費概估可能會較現有柔性接頭 DIP 高出約 50%。但以另外一個觀點，DIP 成本主要是依管材重量而定，故隨著應用時間的拉長，新設耐震接頭 DIP，其新型式接頭對材料成本的影響將遞減。以日本耐震接頭 DIP 使用狀況為例，目前新設管線工程採用耐震接頭 DIP 之連工帶料整體工程成本僅較柔性接頭 DIP 高約 1~10%(表 3)。且因耐震接頭 DIP 較柔性接頭 DIP 耐震性佳、耐久性佳，整體所需維護修漏成本較低。若以管材整個生命週期評估兩者成本差異，甚至可大膽預測在軟弱地層使用耐震接頭 DIP 可能較柔性接頭 DIP 節省費用。

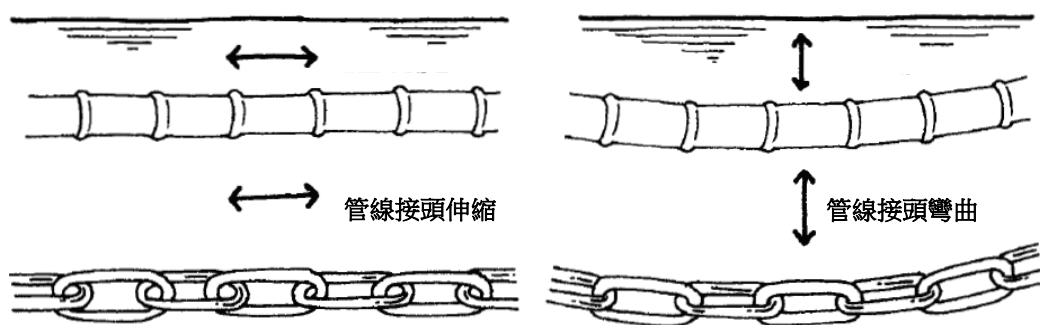


圖 7 耐震接頭 DIP 因應地盤變動連鎖效應示意圖(資料來源：日本鑄鐵管協會網頁)

表 3 日本 NS 型與 K 型 DIP 設置費用比較

口徑(mm)	項目	K 型 DIP(%)	NS 型 DIP(%)
150	材料費(a)	100	117.7
	接頭施工+管溝施工等土木施工費(b)	100	97.3
	機具使用等雜項費用(c)	100	100.6
	管線設置費用合計(a+b+c)	100	101.0
250	材料費(a)	100	116.1
	接頭施工+管溝施工等土木施工費(b)	100	96.5
	機具使用等雜項費用(c)	100	100.8
	管線設置費用合計(a+b+c)	100	101.3
400	材料費(a)	100	140.7
	接頭施工+管溝施工等土木施工費(b)	100	96.8
	機具使用等雜項費用(c)	100	108.7
	管線設置費用合計(a+b+c)	100	110.2

(資料來源：水道施設耐震化の課題と方策)

技術能力不足為採用新型耐震管另一個推動瓶頸。目前日本偏遠地區仍有為數眾多以村町為單位的小型水道事業體。以日本村町為單位的小型水道事業體為例，因其未達經濟規模，長期處於資源及人力不足，新的規範標準修訂後，理應配合引進採用新的技術材料，卻常處於落後狀況，仍延用舊技術圖說進行管線設施更新改善，部分主事人員並誤解，以為延用舊方法為保守的作法。延用舊方法在部分情況下或許是屬守成簡易。但若對既有管線設施已發現有某些潛在缺陷狀況應予以調整改善，而相關標準及規範也已依可能潛在的缺失狀況及可行技術能力等進行改變與提升後，卻仍逕行套用舊技術圖說，而據以新設的管線設施使用性能或安全性，實際上已是偏向不保守。

日本為解決村町等小型水道事業體未達經濟規模問題，近年大力推動將小型水道事業以流域為單位進行廣域化整合。有關自

來水組織的整合，臺灣較日本提早進行約三十年。

另日本就過去地震災損經驗，規納出管線震災受損分類及簡易預測公式(表 4~6)，可大幅降低及簡化既有管線及新設管線在進行耐震規劃初步設計評估時所須的技術門檻。

如同其它重大公共建設，主管機關、議會及公眾的支持與否為新型耐震管材能否順利引進採用的關鍵因素。以日本為例，為推廣對防脫耐震接頭 DIP 等耐震管的採用，除了持續教育相關工程技術人員外，讓主管機關、議會、用戶及公眾等，對新一代耐震管採用的必要性增加理解與認識，亦是不遺餘力的進行。

防脫耐震接頭 DIP 的採用目前國內仍屬起步階段，外界對防脫耐震接頭 DIP 能健全提升管網安全的效能仍不甚了解。若未獲外界的理解與支持，推動上將事倍功半，防脫

耐震接頭 DIP 的採用推廣，應持續尋求主管 機關、議會及公眾使用者的了解與支持。

表 4 K 型接頭 DIP 的耐震性能適用地質地形分類

地質地形分類	K 型接頭 DIP 耐震性能
不良地質地形: 軟弱地盤、土壤液化潛勢區、新生地、河川、湖泊、沙洲、三角洲、河川高灘地、舊湖泊盆地低地、舊河道、溼地、沼澤地、填土區、填土路基、地形經人工改造、挖填方交界、活斷層地帶、山坡坡面地帶、土石流區域等	不具耐震性能 (受損率較高)
優良地質地形: 砂礫質台地、丘陵地等	具初步耐震性能 (受損率較低)

(資料來源: K 形継手等を有するダクタイル鑄鉄管の耐震適合地盤判定支援ハンドブック等, 本文彙整)

表 5 各類地形土壤液化潛能分類

地質地形分類	土壤液化潛能
高地下水位的泥沙質河岸、河川高灘地、濱海地區、舊河道、舊沼澤地、沖積扇、沖積平原、新生地 (液化潛能指數 PL>15, 或曾發生土壤液化地區)	土壤液化可能性高
砂礫質河岸、海岸、沖積扇、沖積平原	土壤液化可能性低
台地、丘陵地、山地	不可能發生土壤液化

(資料來源: K 形継手等を有するダクタイル鑄鉄管の耐震適合地盤判定支援ハンドブック等, 本文彙整)

表 6 管線震災受損預測公式及補正係數

管線震災受損預測公式						
$R_m(v) = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$ $R_m(v)$ : 預測管線的受損率[件/km] $R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v-15)^{1.14}$ $v$ : 地震地表最大速度[cm/s] ( $15 \leq v \leq 120$ )						
補正係數						
管種 $C_p$	管徑 $C_d$	地型 $C_g$				
DIP(NS、S 型等)	0	$\phi$ 50~80mm	2.0	液化潛能	無	有
DIP(K、T 型等)	0.5	$\phi$ 100~150mm	1.0	火成岩山麓等	0.4	6.0 (液化可能性高)
DIP(A 型等)	1.0	$\phi$ 200~250mm	0.4	砂礫質台地等	0.8	
CIP	2.5	$\phi$ 300~450mm	0.2	沖積平原等	1.0	
SP	0.5	$\phi$ 500~900mm	0.1	舊河道、河川高灘地等	2.5	
PVC(TS 膠合接頭)	2.5			填土方區、河川湖泊、新生地等	5.0	
PVC(耐震型活套管)	0.8					

(資料來源: 水道新聞等)

## 五、結語

自來水管線需提供那些功能?一般認為需要的功能包括在經濟條件下能適當的維持低漏水率、低損壞率,提供足夠水量及水壓、能確保水質、使水資源有效利用、能確保火災滅火時所需的水源、在災難發生時能提供最基本維生供水等。簡單的說,自來水管線能夠在「經濟」、「安全」及讓人「安心」的狀態下輸送自來水到目的地。新設管線會隨著設置時間日趨老朽及因外在埋設環境的改變而加速劣化,且隨著時代的進步,管線被要求的機能標準將提高。新設管線選用管材種類時,有必要善用現有技術資源,未雨綢繆考量管線使用期限內可能的機能需求(圖 8)。

自來水是現代人維持生活不可或缺,發生類似東日本大地震時,各種維生管線設備發生損壞中斷實難以避免,自來水停水時對

災區災民生活的影響極大,遠大於電力、電信與瓦斯等其他維生管線中斷所造成的不便。臺灣同日本位處環太平洋地震帶,未來發生類似東日本大地震規模的地震機率或許極低,但類似九二一規模的大地震未來則是一定會再發生。

發生大地震時,自來水管線設施雖難免會發生異常或損壞,但有必要利用有限資源,在老舊管線設備進行更新汰換時,更換成耐震性能較好的管線設備,震災發生時,有效抑制管線損漏發生、縮短停水時間、降低受災範圍,減少因停水造成二次災害。更可降低或避免因災區管線耐震性能不足產生損漏,在無資源執行全面整修汰換下,形成日後管線漏水率長期偏高的情況。

K 型接頭等柔性接頭 DIP 因有其優點,為國內目前自來水輸配水管新設最主要管種之一,但由日本震災經驗可知,其在土壤液化等軟弱地盤區域受損率仍高。

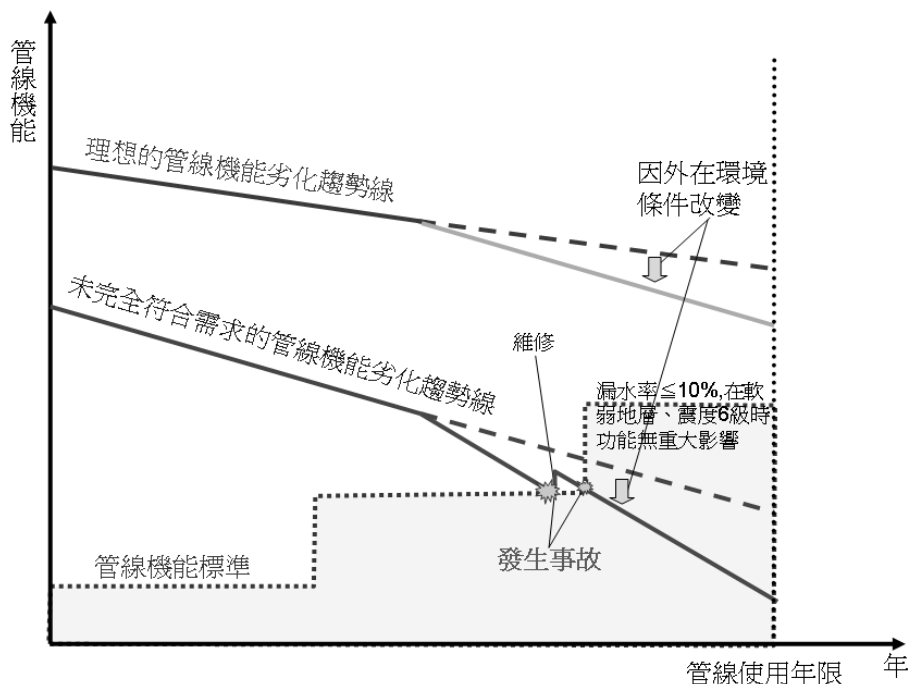


圖 8 管線機能老舊劣化趨勢圖

他山之石，可以攻錯，日本水道管線設施在東日本大震災等近年幾次大地震中遭受若干損害，在土壤液化等重災區中，K型、A型DIP等一般管線受損率均高時，NS型DIP等耐震管受損率居然仍幾乎為零，耐震效能驚人，已證實可有效降低大地震時管線受損率，抑制自來水停水受災範圍，值得國內自來水輸配水管材選用時參考。尤其在土壤液化潛勢高、軟弱地盤等地層發生差異沉陷機率高，一般管材受損率較高的區域，管線更新汰換時，DIP有必要優先採用與既有管種具有尺度相容延續性、良好施工性且符合ISO 16134 class S-1及A等級(容許伸縮變形 $\geq \pm 1\%$ 、防脫力 $\geq 3D$  kN)，並經實務驗證耐震性能優異的耐震接頭DIP。

## 參考文獻

1. <http://www.mhlw.go.jp/jishin/77-3-1.html>，日本厚生労働省網頁
2. <http://www.jwrc-net.or.jp>，日本水道技術研究中心網頁
3. <http://www.jwwa.or.jp>，日本水道協會網頁
4. <http://www.jdpa.gr.jp>，日本鑄鐵管協會網頁
5. <http://www.suido-gesuido.co.jp>，日本水道新聞網站
6. <http://www.waterworks.metro.tokyo.jp>，日本東京都水道局網頁
7. 水道管的分類與特性，日本水道技術研究中心，2008年7月。
8. 管路の耐震化に関する検討会報告書，日本厚生労働省，2007年3月。
9. 水道施設耐震化の課題と方策，日本水道協會，2008年12月。
10. K形継手等を有するダクタイル鑄鐵管の耐震適合地盤判定支援ハンドブック，日本水道技術研究中心，2010年12月。
11. 高機能ダクタイル鉄管の耐震性の検証と施工性向上等に関する研究，日本鑄鐵管協會。
12. 水道ビジョン実現に向けた管路施設の更新と機能向上，日本鑄鐵管協會。
13. 高機能ダクタイル鉄管の地滑りなど大規模な地盤変状における挙動の検証事例，日本鑄鐵管協會。
14. NS、SⅡ及S型接頭DIP管線設計，日本鑄鐵管協會。
15. 呼び径500～1000NS形ダクタイル鉄管の施工事例，日本鑄鐵管協會。
16. 小口径耐震継手ダクタイル管路の新しい一体化長さに関するQ&A，日本鑄鐵管協會。
17. 中口径耐震継手ダクタイル管路の一体化長さに関する研究，日本鑄鐵管協會。
18. 臺北區地下自來水管線地震危害度之研究，國家地震工程研究中心，2006年12月。
19. CNS 10808 G3219、CNS 13272 G3253、CNS 2869 B2118，經濟部標準檢驗局。
20. JIS G5526、JIS G5527、JIS G5528、JIS A5314，日本標準協會。
21. JWVA G113、JWVA G114、JWVA G112、JWVA A113，日本水道協會。
22. JDPA G1042，日本DIP協會。
23. ISO 16134:2006 Earthquake- and subsidence-resistant design of ductile iron pipeline, International Organization for Standardization, 2006年2月。

## 作者簡介

### 王詠民先生

現職:臺北自來水事業處陽明營業分處 幫工程司  
專長:自來水工程規劃、設計及施工

# 檢測方法儀器及試劑影響自由有效餘氯準確度之研究

文/許國樑

## 一、前言

自來水為安全起見，預防已處理好之自來水進入配水管線時，引起細菌性的污染，所以加入用藥量比實際需要量略多，以保持殺菌力。依「飲用水水質標準」<sup>[1]</sup>規定，自來水中自由有效餘氯應保持在 0.2~1.0 mg/L 濃度範圍內，就可確保水質的安全與衛生，因此自來水自由有效餘氯濃度控制愈顯重要。

依行政院環境保護署公告方法 NIEA W408.51A <sup>[2]</sup>檢測自由有效餘氯規定，應在採水樣現場以攜帶型餘氯比色計立即檢測，且攜帶型餘氯比色計使用前，需在檢驗室依上述公告方法校正比對合格後才可以使用，而攜帶型餘氯比色計檢測餘氯試劑藥包有不同品牌，是否會影響準確度，公告方法中均未予以詳細說明，因此有需要予以研究探討。

## 二、文獻回顧

### (一) DPD 呈色劑氧化後生成之化合物

DPD 呈色劑氧化後生成之化合物<sup>[3]</sup>如圖 1，共有呈色物種及無色物種二種，當相當氯原子濃度低時，在 pH 值中性時，呈色物種為主要生成物，隨著相當氯原子濃度增加，無色物種會生成，因無色物種不吸收 515nm 波長，吸光度會減少；Gorden 報告<sup>[4]</sup>提及相當氯原子濃度高於 1.0 mg/L，濃度與吸光度會有非線性的情形產生。因此，相當氯原子濃度高時，HACH 攜帶型分光光度計標準操作手冊建議<sup>[5]</sup>，採用水樣體積由 10.0ml

減少至 5.0ml 及使用 2 包自由有效餘氯試劑來增加 DPD 試劑濃度，可減少無色物種的生成，檢測結果可檢測至高濃度的自由有效餘氯。

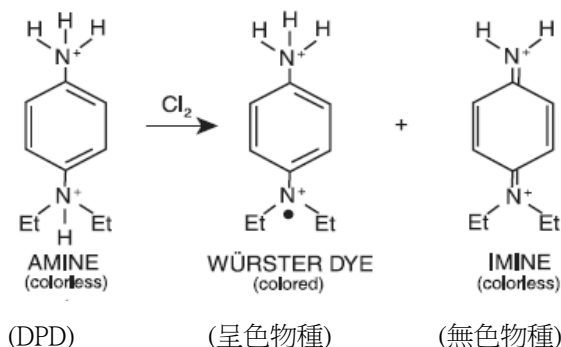


圖 1 DPD 呈色劑氧化生成之化合物

### (二) DPD 與氧化劑反應呈紅色圖譜

DPD 與氧化劑反應呈紅色後掃描圖譜<sup>[6]</sup>如圖 2。由圖 2 得知，DPD 與氧化劑反應呈紅色物種，在 490nm 至 555nm 有二峰存在，二峰之間最大靈敏度波長為 512nm 與 553nm，依公告方法可以選擇 515 nm 或其他特定波長處量測其吸光度。

## 三、實驗設備與方法

### (一)實驗設備

1. 分光光度計：使用波長 515 nm，樣品槽之光徑等於或大於 1 cm。
2. 分析天平：可精稱至 0.1 mg。
3. 三角燒瓶：250 ml。
4. 滴定管：25.00ml，準確度 0.05ml。
5. 磁石攪拌器：MS-90 Fargo 廠牌。
6. HACH 攜帶型分光光度計：使用波長 528 nm 測定自由有效氯濃度用。
7. Suntext pH 計：檢測 pH 用。

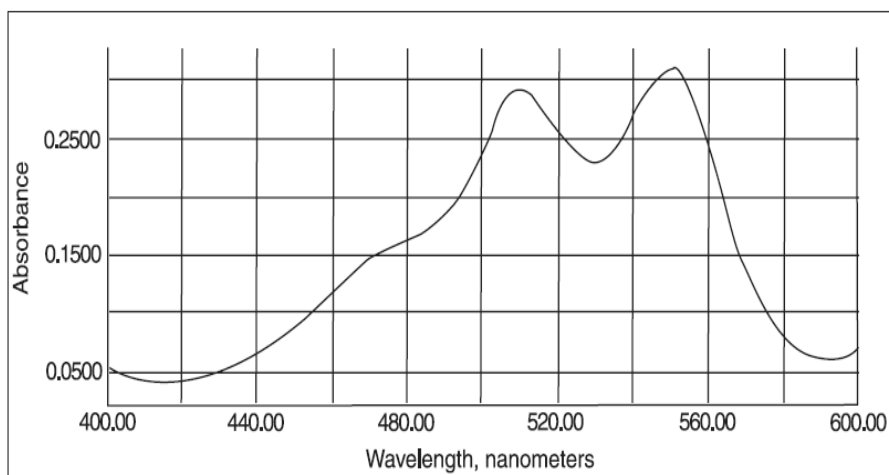


圖 2 DPD 與氧化劑反應呈紅色掃描圖譜

8.磷酸鹽緩衝溶液：溶解 24 g 無水磷酸氫二鈉及 46 g 無水磷酸二氫鉀於蒸餾水中，再與含 800 mg EDTA 鈉鹽之 100 ml 蒸餾水混合，以蒸餾水定容至 1 L。

9.DPD 顯色劑：溶解 1.1g 無水 DPD 硫酸鹽於含 8 ml 硫酸溶液(1 + 3)及 200 mg EDTA 二鈉鹽之蒸餾水中，並定容至 1L，貯存於棕色瓶子。配製之顯色劑溶液應貯存於有玻璃蓋之棕色瓶子，並保存於 4℃ 暗處。

10.高錳酸鉀儲備溶液 891 mg/L：高錳酸鉀應先放置於 103 - 105 °C 之烘箱烘乾兩小時，再放入乾燥器冷卻後方可稱取，溶解 891 mg 高錳酸鉀於蒸餾水中，定容至 1L。

11.磷酸鹽緩衝劑與 DPD 硫酸鹽呈色劑之混合劑粉狀藥包：有 3 種不同粉狀鋁箔包裝及錠狀包裝 1 種，每種重量介於 0.1 至 0.2 克。

## (二)實驗方法

實驗方法依行政院環境保護署公告方法 NIEA408.51A<sup>[2]</sup> 及攜帶型分光光度計 HACH 標準操作手冊檢驗<sup>[5]</sup>。

## 四、結果與討論

### (一)公告方法檢測自由有效餘氯線性分析探討

高錳酸鉀標準儲備溶液 891 mg/L 相當氯原子濃度 1000mg/L<sup>[7]</sup>，取 10.0 ml 891 mg/L 高錳酸鉀標準儲備溶液以蒸餾水稀釋至 1L。各取 1.0 ml、3.0 ml、5.0 ml、10.0 ml、15.0 ml 及 20.0 ml 前述稀釋液，再以蒸餾水稀釋至 100.0 ml，配成一系列高錳酸鉀標準溶液，其濃度範圍可視為相當氯原子濃度 0.10 至 2.0mg/L，依照公告方法檢測高錳酸鉀不同濃度與吸光度檢測結果如表 1。

參考文獻 2，DPD 呈色劑氧化後生成之化合物有呈色物種及無色物種二種，當相當氯原子濃度低時，在 pH 值中性時，呈色物種為主要生成物，隨著相當氯原子濃度增加，無色物種會生成，因無色物種不吸收 515nm 波長，吸光度會減少；Gorden 報告<sup>[4]</sup>提及相當氯原子濃度高於 1.0 mg/L，濃度與吸光度會有非線性的情形產生，上述可由表 1 得知在公告方法檢測相當氯原子濃度 0.50 mg/L 以下線性百分率 100%，而在 1.0 mg/L 時線性百分率已降低至 95% 可以得到證明。

### (二)攜帶型餘氯比色計檢測自由有效餘氯線性分析探討

取 10.0 ml 891 mg/L 高錳酸鉀標準儲備溶液以蒸餾水稀釋至 1L。各取 1.0 ml、2.0 ml、3.0 ml、4.0 ml、5.0 ml、6.0 ml、7.0 ml、8.0 ml、9.0 ml 及 10.0 ml 前述稀釋液，再以蒸餾水稀釋至 100.0 ml，配成一系列高錳酸鉀標準溶液，其濃度範圍可視為相當氯原子濃度 0.10 至 1.0mg/L。上述溶液使用 HACH 攜帶型分光光度計(檢測波長 528nm)及 A 品牌(鋁箔包裝)自由有效餘氯試劑檢測結果如表 2。

A 品牌(鋁箔包裝)自由有效餘氯藥包檢測由表 2 比對結果得知 0.10 至 0.60 mg/L 檢測誤差值 0 mg/L，線性百分率 100%；0.70 至 1.0 mg/L，線性百分率可達 97%，線性百分率良好可與公告方法可以相對照，分析原因為檢測方法規定 pH 最佳緩衝範圍 6.0 至 6.8，A 品牌(鋁箔包裝)自由有效餘氯藥包檢測後 pH 值均緩衝在  $6.3 \pm 0.1$  範圍，且表 2 檢測 10 支水樣 pH 值變化少，可以達到與公告方法相同良好之線性百分率。

表 1 高錳酸鉀不同濃度與吸光度檢測結果表

高錳酸鉀濃度 mg/L (1)	0.0891	0.267	0.446	0.891	1.337	1.782
相當氯原子濃度 mg/L (2)	0.10	0.30	0.50	1.0	1.5	2.0
吸光度 (3)	0.025	0.075	0.125	0.237	0.344	0.434
吸光度除以 0.025 (4) (4)=(3)/0.025	1.0	3.0	5.0	9.5	13.8	17.4
線性百分率(5)% (5) = (4) / 「(2)/0.1」 × 100%	100	100	100	95	92	87

表 2 攜帶型餘氯比色計使用 A 品牌(鋁箔包裝)自由有效餘氯試劑檢測相當氯原子濃度 0.10 至 1.0mg/L 結果表

氯原子濃度 mg/L(1)	檢測濃度 mg/L(2)	誤差值 mg/L(3) (3) = (2) - (1)	線性百分率(4) (4) = (2)/(1)*100%	pH 值
0.10	0.10	0	100	6.37
0.20	0.20	0	100	6.36
0.30	0.30	0	100	6.37
0.40	0.40	0	100	6.36
0.50	0.50	0	100	6.35
0.60	0.60	0	100	6.33
0.70	0.71	+0.01	101	6.37
0.80	0.81	+0.01	101	6.34
0.90	0.88	-0.02	98	6.36
1.00	0.97	-0.03	97	6.36

**(三)取 4 種品牌自由有效餘氯試劑檢測相當氯原子濃度 0.50 及 1.0mg/L 比對結果**

取 10.0 ml 891 mg/L 高錳酸鉀標準儲備溶液以蒸餾水稀釋至 1L。各取 5.0 ml 及 10.0 ml 前述稀釋液，再以蒸餾水稀釋至 100.0 ml，濃度可視為相當氯原子濃度 0.50 及 1.0 mg/L。上述溶液使用 HACH 攜帶型分光光度計及 4 種品牌自由有效餘氯試劑檢測 2 次重覆穩定性結果統計如表 3。

由表 3 比對結果得知 A 品牌(鋁箔包裝)

自由有效餘氯試劑比 B 品牌(鋁箔包裝)、C 品牌(鋁箔包裝)及 D 品牌(錠劑)回收率良好，依檢測方法規定 pH 最佳緩衝範圍 6.0 至 6.8，A 品牌(鋁箔包裝)自由有效餘氯試劑檢測後 pH 值均緩衝在  $6.3 \pm 0.1$  範圍，pH 值緩衝範圍變化少，是達到低誤差值的原因。

**(四)取 4 種品牌自由有效餘氯試劑檢測相當氯原子濃度 0.50 mg/L 重覆穩定性比對結果**

表 3 取 4 種品牌自由有效餘氯試劑相當氯原子濃度 0.50 mg/L 及 1.0 mg/L 比對結果表

自由有效餘氯試劑別	氯原子濃度(mg/L)	檢測濃度(mg/L)	誤差值(mg/L)	pH 值
A 品牌(鋁箔包裝)	0.50	0.50	0.00	6.35
	1.00	0.97	-0.03	6.36
B 品牌(鋁箔包裝)	0.50	0.46	-0.04	6.28
	1.00	0.89	-0.11	6.30
C 品牌(鋁箔包裝)	0.50	0.46	-0.04	6.29
	1.00	0.92	-0.08	6.22
D 品牌(錠劑)	0.50	0.45	-0.05	6.26
	1.00	0.90	-0.10	6.17

表 4 取 4 種品牌自由有效餘氯試劑檢測相當氯原子濃度 0.50 mg/L 重覆穩定性比對結果表

自由有效餘氯試劑別	檢驗次數	檢測濃度(mg/L)	誤差值(mg/L)	pH 值
A 品牌(鋁箔包裝)	1	0.50	0.00	6.34
	2	0.50	0.00	6.33
B 品牌(鋁箔包裝)	1	0.46	-0.04	6.28
	2	0.46	-0.04	6.36
C 品牌(鋁箔包裝)	1	0.46	-0.04	6.29
	2	0.49	-0.01	6.26
D 品牌(錠劑)	1	0.45	-0.05	6.26
	2	0.45	-0.05	6.17

取 10.0 ml 891 mg/L 高錳酸鉀標準儲備溶液以蒸餾水稀釋至 1L。取 5.0 ml 前述稀釋液，再以蒸餾水稀釋至 100.0 ml，濃度可視為相當氯原子濃度 0.50 mg/L，上述溶液使用 HACH 攜帶型分光光度計及 4 種品牌自由有效餘氯試劑檢測 2 次重覆穩定性比對結果如表 4。

由表 4 比對結果得知，自由有效餘氯試劑 A 品牌(鋁箔包裝)比 B 品牌(鋁箔包裝)、C 品牌(鋁箔包裝)及 D 品牌(錠劑) 檢測自由有效餘氯 2 次重覆穩定性良好，與表 3 相似是檢測自由有效餘氯後，溶液 pH 值均緩衝在  $6.3 \pm 0.1$  範圍，pH 值緩衝變化範圍少，是達到檢測自由有效餘氯 2 次重覆高穩定性的原因。

**(五)標準參考物質比對高錳酸鉀濃度及確認自由有效餘氯試劑準確度評估**

標準參考物質比對高錳酸鉀濃度及確認自由有效餘氯試劑準確度，首先由標準參考物質配製自由餘氯濃度 0.50 mg/L 及 0.60 mg/L，標準參考物質採用 HACH Free Chlorine Standard Voiuette Cat No.14268，相當自由餘氯濃度 65.68 mg/L，1 瓶 10 mL Ampules

(NIST)包裝，啟封後 10 mL 全量導入 20 mL 承接瓶，使用可調節式 1.000ml 吸量管，取 0.7613ml，以去離子水稀釋至 100.0ml，可得配製標準參考物質濃度為 0.50ppm。另取一同批次 1 瓶，10 mL 全量導入 20 mL 承接瓶，使用可調節式 1.000ml 吸量管取 0.9135ml 以去離子水稀釋至 100.0ml，可得配製標準參考物質濃度為 0.60ppm。

再配製高錳酸鉀相當氯原子濃度 0.50 mg/L，配製流程取 10.0 ml 891 mg/L 高錳酸鉀標準儲備溶液以蒸餾水稀釋至 1L。取 5.0 ml 前述稀釋液，再以蒸餾水稀釋至 100.0 ml，濃度可視為相當氯原子濃度 0.50 mg/L。

上述溶液使用 HACH 攜帶型分光光度計及 A 品牌自由有效餘氯試劑檢測結果統計如表 5。由表 5 結果得知，HACH 攜帶型分光光度計使用 A 品牌自由有效餘氯試劑，比對標準參考物質相當氯原子濃度 0.50 及 0.60 mg/L，檢測結果準確度達 100%；且高錳酸鉀相當氯原子濃度 0.50 mg/L 檢測結果與與標準參考物質相當氯原子濃度 0.50 mg/L 相同，高錳酸鉀標準儲備溶液 891 mg/L 相當氯原子濃度 1000mg/L<sup>[7]</sup> 可追溯至標準參考物質的準確度。

表 5 標準參考物質比對高錳酸鉀濃度及確認自由有效餘氯試劑準確度結果表

HACH 攜帶型分光光度計	標準參考物質 相當氯原子濃度 0.50 mg/L	標準參考物質 相當氯原子濃度 0.60 mg/L	高錳酸鉀 相當氯原子濃度 0.50 mg/L
A 品牌自由有效餘氯試劑 檢測自由有效餘氯濃度 (mg/L)	0.50	0.60	0.50
準確度%	100	100	100

## 五、結論

本研究對檢測方法儀器及試劑影響自由有效餘氯準確度因子加以研究探討結論如下：

- (一)公告方法檢測相當氯原子濃度低於 0.50 mg/L 以下，線性百分率 100%；而在 1.0 mg/L 時，線性百分率已逐漸降低至 95%。
- (二)攜帶型餘氯比色計使用 A 品牌(鋁箔包裝)自由有效餘氯試劑檢測相當氯原子濃度 0.10 至 0.60 mg/L 線性百分率 100%；相當氯原子濃度 0.70 至 1.0 mg/L 線性百分率已逐漸降低至 97%，線性百分率良好可以與公告方法相對照。
- (三)攜帶型餘氯比色計使用自由有效餘氯藥包檢測自由有效餘氯後，溶液 pH 值均緩衝在  $6.3 \pm 0.1$  範圍，pH 值變化少的自由有效餘氯藥包，檢測後可以達到與公告方法相同良好之線性百分率、低誤差值及檢測 2 次高穩定性的原因。
- (四)HACH 攜帶型分光光度計使用 pH 值均緩衝在  $6.3 \pm 0.1$  範圍，緩衝變化範圍小的自由有效餘氯試劑，比對標準參考物質相當氯原子濃度 0.50 及 0.60 mg/L，檢測結果準確度達 100%；且高錳酸鉀相當氯原子濃度 0.50 mg/L 檢測結果與與標準參考物質相當氯原子濃度 0.50 mg/L 相同，高錳酸鉀標準儲備溶液 891 mg/L 相當氯原子濃度 1000mg/L 可追溯至標準參考物質的準確度。

綜合上述，自由有效餘氯檢測要達到高準確度的結果，應參照公告方法檢驗，並依規定校正攜帶型餘氯比色計合格後，再攜至現場立即檢測，使用自由有效餘氯試劑檢測

後，溶液 pH 值能緩衝在最佳建議範圍 pH  $6.3 \pm 0.1$ ，且 2 次重覆檢測 pH 緩衝範圍變化小，應可以達到與公告方法相同良好之線性百分率、低誤差值及檢測 2 次重覆高穩定性結果，上述檢測流程應屬可行。

## 參考文獻

- 1.自來水法相關法規彙編，96年10月，P94
- 2.行政院環境保護署環境檢驗所，水中餘氯檢測方法—分光光度計/DPD法，<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W40851A.htm>
- 3.HACH Company，Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater Technical Information Series — Booklet No.17 By Danial L.Harp，p2
- 4.HACH Company，Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater Technical Information Series — Booklet No.17 By Danial L.Harp，p13
- 5.HACH Compamy POCKET COLORMETER™ Analysis System Chlorine (Cl<sub>2</sub>) Instruction Manual，2004. All right reserved. Print in the U.S.A
- 6.HACH Company，Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater Technical Information Series — Booklet No.17 By Danial L.Harp，p3
- 7.自來水公司第九區管理處，許國樑，91年度有效餘氯檢測檢量線最佳化及攜帶型分光光度計例行性比對準確度可行性研究

## 作者簡介

### 許國樑先生

現職：自來水公司第九區管理處檢驗室主任

專長：化學檢驗

## 中華民國自來水協會第 17 屆理、監事會第 3 次聯席會議紀錄

時 間：民國 100 年 5 月 27 日（星期五）下午 2 時

地 點：本會會議室(台北市長安東路二段 106 號 7 樓)

主 席：陳理事長福田

出席理事：陳福田 黃敏恭 胡南澤 郭瑞華 李公哲 王桑貴 籃炳樟 賴文正  
林 岳 王炳鑫 吳振欽 謝堯煌 陳曼莉 吳美惠 陳錦祥 駱尚廉  
王文龍 孫新惠

出席監事：張順莉 周盛華 康世芳 林建財 楊豐榮

請假理事：謝啟男 施澍育 蘇金龍 蔡茂麟 高文浩 張明欽 林連茂 吳陽龍  
黃志彬 葉宣顯 陳瑞忠 陳宏濤 王池田

請假監事：李錦地 賴永森 廖宗盛 呂崇德

列席人員：許培中 蔡麗嫻 李美娥 管惠嬋 謝雅婷 孫瑞嬪 施麗薰

記 錄：施麗薰

**一、主席致詞：**各位理、監事大家午安、大家好，謝謝各位出席今天的會議，爾後仍期各位理、監事繼續予以本會更多的支持、協助，使協會各項業務均能順利推展，謝謝！現在就依照議程進行會議，首先請祕書長報告。

### 二、報告事項：

(一)祕書長綜合報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

(二)各種委員會工作報告：

會務委員會報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

技術研究委員會報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

(三)會務組報告：第 17 屆理、監事會第 2 次聯席會議決議案執行情形

詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

### 三、討論事項：

第 1 案 類別 會務 提案人：第 44 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 2 次  
會員代表大會籌備委員會主任委員 吳陽龍

案由：擬聘第 44 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 2 次會員代表大會、第 28 屆自來水研究發表會籌備委員會委員，請討論通過俾便函聘。

決議：1.依據台灣自來水公司近來人事異動，將委員名單內第三區經理及北區工程處處長，分別修正為新任經理張明翰、新任處長劉吉祥擔任。

2.餘照案通過。

**第 2 案** 類別 會務 提案人：第 44 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 2 次會員代表大會籌備委員會主任委員 吳陽龍

案由：擬遴派第 44 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 2 次會員代表大會籌備會幹部暨工作項目，提請討論。

決議：通過。

**第 3 案** 類別 會務 提案人：第 44 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 2 次會員代表大會籌備委員會主任委員 吳陽龍

案由：中華民國自來水協會第 44 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 2 次會員代表大會擬定於 100 年 11 月 17 日(星期四)假台灣中油股份有限公司「國光會議廳」舉行，提請討論。

決議：通過。

**第 4 案** 類別 會務 提案人：理事長 陳福田

案由：本會因檢驗業務急需，自 100 年 4 月 6 日起服務組增聘檢驗員蔡孟家一名，以協助檢驗業務，提請追認。

決議：追認通過。

**第 5 案** 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：為鼓勵理、監事出席東京亞太會議，擬請准予參加者增加註冊費補助，提請討論。

決議：照案通過。

**第 6 案** 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：擬由本會向第四屆亞太會議主辦國日本承租 3m×3m 攤位 3 個，供本會產、官、學界參加展覽，並洽請當地台灣留學生一名擔任翻譯，

提請討論。

決議：通過。

**第 7 案** 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：論文經獲 IWA-ASPIRE 主辦國日本接受，並赴會發表之會員，擬由本會補助論文發表費，提請討論。

決議：1.補助會員人數由原 20 名，放寬為以 50 人為限，每人補助金額以 3 萬元為上限。

2.原提案說明 2，修正為：須入會為永久會員者，方具補助申請資格。

3.因今年投稿者人數眾多，補助對象為 4 頁以上之全文投稿者。

4.申請補助之會員，須於 2011 年 6 月 15 日前將全文送至本會國際事務委員會組成小組審查通過後補助之。

5.本項補助經費擬由本會 2009 亞太會議「基金-準備基金」項下支付，但該項經費用罄即停補助。

**第 8 案** 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：為提昇國內自來水施工品質，本會擬洽請日本水道服務社具有實務經驗者來台指導管線之設計、施工事宜，提請討論。

決議：通過。

**第 9 案** 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：擬依人民團體法「社會團體財務處理辦法」規定訂定會議出席費，提請討論。

決議：1.討論後採第一案，並將原方案修正如下：

(1)北部（新竹以北，含基隆、宜蘭）：會議出席費 1,500 元。

(2)中部：會議出席費 2,500 元。

(3)南部（嘉義以南）及外島（澎湖、金馬地區）：會議出席費 3,500 元。

(4)花東地區：會議出席費 4,500 元。

2.本會各種委員會委員、秘書比照決議辦理。

3.本補助出席費方案視本會財務狀況機動調整之。

**第 10 案** 類別 會務 提案人：祕書長 許培中

案由：為申請加入為本會個人會員案，提請追認備查。（團體會員、個人會員申請入會案名單如提案說明）。

決議：追認通過。

**第 11 案** 類別 會務 提案人：理事 謝啟男

案由：請速完成自來水誌，這是協會的歷史使命。

決議：1.迄至民國 100 年之自來水誌，請謝理事啟男負責召集台水、北水成立專案小組進行編撰。

2.協會參考往年預算，編列 101 年預算俾便執行後續計畫。

3.限於經費，不再製作 DVD，需要參考之會員或理、監事，可至原服務單位或協會調閱洽借。

#### 四、臨時提案：

提案人：常務理事 黃敏恭

案由：因本人已調離台灣自來水公司職務，謹請同意辭卸常務理事、理事二職，提請討論。

決議：經全體理、監事討論結果，因黃常務理事對協會貢獻良多，將全力慰留至年底本屆自來水節慶祝大會結束後再議。

#### 五、散會：下午 3 時 30 分