

自來水會刊第31卷第3期目錄



特 載

厚植人力資本芻議—台水公司實例.....陳福田..... 1

實務研究

鋼筋混凝土矩形平頂水池設計之探討.....曾浩雄..... 15

自來水管線工程改良式擋土支撐設計探討.....張正岳..... 27

每期專題

自來水管理

自來水品質安全與風險防控.....林正隆、吳美惠、施茂林..... 31

氣候變遷下自來水事業供水管理之挑戰.....王銘博、朱健行..... 43

淨水場清水鋁含量改善對策與措施.....甘其銓、唐俊成、樂育麟..... 50

一般論述

微量進水阻止器初討.....吳陽龍、許敏能..... 58

台灣自來水公司漏水率之探索.....江春盛..... 65

現有科技於自來水管漏水量估算之運用.....周國鼎..... 72

他山之石

參加Water Loss 2012國際會議與Miya公司參訪心得.....鄭國華、楊境維、黃欽稜..... 84

業務報導

日據時期蘭陽地區水道創建.....林建財..... 89

協會與你

中華民國自來水協會第17屆理、監事會第7次聯席會議暨紀錄..... 99

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 49

歡迎投稿101年第4季「每期專題」..... 30

封面照片：貢寮淨水場橡皮壩(吳祥永攝)

自來水會刊雜誌稿約

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

自來水會刊雜誌

發 行 單 位：中華民國自來水協會

發 行 人：陳福田

會 址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電 話：(02)25073832

傳 真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

吳美惠

委 員

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總 編 輯：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

執行編輯：林正隆

電 話：(04)22244191 轉 514

行政助理：古蔡苓

印 刷：松耀印刷企業有限公司

地 址：台中市北區自強街 50 號

電 話：(04)23607717

厚植人力資本芻議 — 台水公司實例

文/陳福田

一、前言—台水如揚帆之舟

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。對知識型企業而言，最重要的資本將不再是傳統的物力或財務資本，而是以員工及其知識為基礎的「人力資本」(Human Capital)。因此，組織對於能創造績效價值員工的渴求與依賴遠甚以往。

自二十世紀末，雖然將員工視為資源已成為企業主流觀點，然而，若僅將員工視為一種資源，因資源具備有限性、競合性的特質，人力裁減(Layoff)常為改善組織財務壓力最快速途徑，亦即不問組織之實際需要，不論裁減者是否具有發展潛力，先從數量上降低人力規模，係企業習以為常之做法。雖然公、私部門常宣稱「人才是最重要資源」，但每逢不景氣，企業或政府組織面臨績效或再造壓力時，組織員工往往是首先被犧牲的「最重要資源」，此種「口惠實不至」的劇情亦司空見慣。

實則，人力資本有別於其他資源。其他資源可以隨時地補充或取代，而人力資本則難以短時間獲致，須賴有計畫地長期投資。因此，組織運作順暢時，對人力的投資當隨

著績效優異而增加投資，以蓄積人力資本；組織運作不順時，則更應增加人力資本投資，冀期改善組織績效。因為，人力資本係組織生命之主體(Subject)而非客體(Object)，猶如根之於樹，強風來襲，雖折枝落葉，樹尚可活；若連根拔起，則樹亡矣！

近年來，本公司落實政府人力精簡政策，實施「專案優惠退離」。雖亦辦理「新進人員甄選」，填補部份人力空缺，然而，在「用人費」、「預算員額」的雙重控管下，卻無法配合業務新增或成長而增配人力，以支應實際需求，致部分職缺遇缺不補，各單位人力普遍吃緊。實則，面對知識經濟的浪潮，本公司除應合理化員額配置，更須將「人力資源」的觀念向上提升為「人力資本」的思維，冀期透過有效的人力管理，厚植台水人力資本，從而營造公司績效與個人成長雙贏之局。

本文之作，前以「台水如揚帆之舟」啟言，後以「人才係吹送之風」結語，除在隱寓清風吹帆，舟乃遠行，亦在彰顯本公司厚植人力資本之信念。內文首就「人力管理思潮」闡釋不同時空背景下，人力管理之焦點；其次，依序陳述「人力資源與人力資本」、「人力資本之定義與特性」、「人力資本主要面向」，用以說明人力資本內涵；其末，先就「現有人力」、「新進人力」、「資深人力」等面向，剖析「台水人力」，由而試提「厚植台水人力資本之道」，以就教有方，冀期拋磚引玉。

茲勾勒本文觀念架構如次。

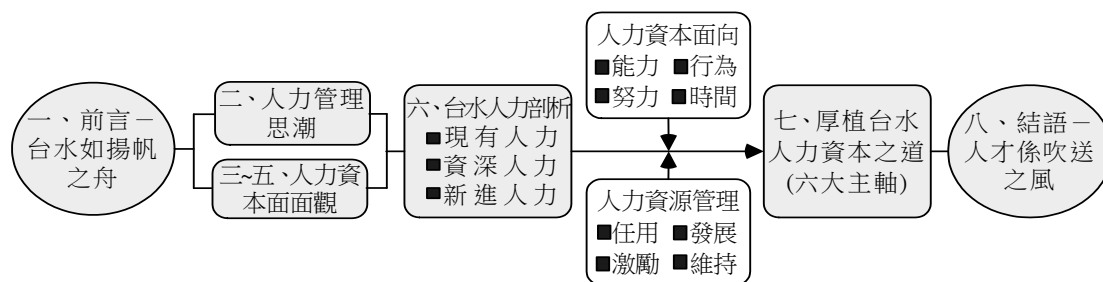


圖 1 本文觀念架構

二、人力管理思潮

自古，人類即有組織活動，而人力運用的議題亦相伴而生。1776 年，工業革命高舉「機器取代人力」大纛，對人類生活產生劃時代之改變，亦使人力管理受到廣泛之重視。時空更迭，員工需求(Needs)拾級登高，人力管理思潮亦漸次蛻變如下。

(一)勞工管理(Labor Management)

十八世紀初，英國科學家 James Watt 發明蒸汽機，引發工業革命。其後，生產型態有了巨大的改變，大批農村生產者從第一級產業中釋放出來，進入城市、工廠，從事生產工作。此時，商業組織漸漸成形，且由於專業分工的運作，致使企業主無法親自掌管所有的人事工作，於是專職的人事部門應運而生。當時，人事管理的動機在於維護資方片面利益，榨取勞工的勞動力，以謀求利潤。其結果是，勞工強烈反感，嚴重的勞資糾紛與衝突此起彼落。

(二)雇傭管理(Employment Management)

二十世紀初期，Taylor、Gilbreth 等為首之科學管理學派興起，除重視生產力之提高與利潤之增加，亦強調管理方法，即不再盲目壓榨勞工，經由勞資雙方權利義務之確定，以建立對等的契約關係。但是，對於如何改善員工的待遇及福利，以激勵員工的工

作熱誠，則尚未給予積極的重視。

(三)工業關係(Industrial Relationship)

二十世紀二〇年代至五〇年代間，Munsterberg、Mayo 等揭櫫人群關係理論，強調員工「希望受到重視」，除重視物質滿足，亦強調心理層次之滿足。在員工的激勵和報償方面強調財務性報償的有限性，以及非財務性報償的重要性，亦認為員工參與將導致員工的滿足。因此，特別注意勞資關係的調整，及各生產部門彼此間的合作與協調，冀期勞工獲得心理上的滿足，從而勞資雙方之關係更為和諧。

(四)人力資源管理(Human Resource Management)

二十世紀五〇年代至七〇年代間，經濟快速發展、企業規模持續地擴大，造成專業管理人才的嚴重不足，人力開始被視為組織之重要資源，因此企業開始重視人力資源規劃、執行與控制。除了慎重遴選、重視培育發展，並試圖以優渥的薪資、福利與工作環境吸引企業所期望的人才加入陣容，期能留住具有發展潛力的員工。

綜上所述得知，人力管理若強調「工作」(Work)績效，常易忽略「工作者」(Worker)需求；若過於重視「工作者」需求，則或有損「工作」績效，二者皆失之偏頗。晚近，人力管理思潮係從整體情境和組織層面來考



量，將員工個人需求(Individual Needs)和組織目標(Organizational Objectives)相結合。換言之，人力管理由早先注重「工作」效率，轉而重視「工作者」需求，進而兼顧「人與組織」的和諧、均衡，人力資本觀念於是生焉。

三、人力資源與人力資本

早在十八世紀，Adam Smith 於其鉅著《國富論》即曾提及人力資本的概念，認為勞動者會投資人力資本，直到其邊際報酬等於其邊際成本。但直至 1950 年代，Theodore W. Schultz 與 Gary S. Becker 等兩位諾貝爾經濟學獎得主才有系統且明確提出人力資本理論，「人力資本」觀點由此發軔。

及至 1999 年，Gooderman 等學者指出，人力資源管理活動可區分為兩類活動，並各自扮演不同的功能。第一類活動的主要功能在於「提供經濟誘因」，對於員工在特定任務的績效表現給予立即的、經濟的回報，諸如強調成果導向績效評估、績效本位薪資制度等。第二類活動則是「進行長期人力資本投資」，包括有計畫的訓練、發展性績效評估、完善的生涯規劃等，強調藉由人力資本的長期投資，以培植員工的核心技能、情感承諾，以及忠誠度，期使員工與組織間的交換關係中嵌入社會情感的要素。

上揭「人力資本觀點」著實補強了「人力資源觀點」對「人」看法之不足，亦即「人力資源」一詞意味著只要財源充足，員工似乎永不枯竭，今天解雇，明日聘用，招之即來，揮之即去。實則，員工有異於其他「物質資源」，他們應是「視投資付出、收益回饋而決定其價值」的「資本」，具有增益或減損組織價值之影響。是故，為正確地評價員工，

組織必須超越人力資源管理的概念，轉由人力資本觀點尋求補強與突破。

值得一提的是，知識經濟時代的來臨除強化人力資本觀點，亦產生推波助瀾的效果。1993 年，Skandia 公司除使用「智慧資本」(Intellectual Capital)統稱無形資產，以關係資本、結構資本及人力資本為構成企業價值的主要單元；另提出「導航者模型」，將財務、顧客、流程及更新與開發等項列為「成功關鍵要素」(Key Success Factors)，並以人力因素為貫穿整體架構之主軸(如圖 2)。易言之，在知識經濟體系中，組織所擁有的「智慧資本」係決定競爭優勢的關鍵因素，而組織智慧係以「人」為載體(Vehicle)，因此，「人力資本」(Human Capital)是智慧資本的核心。「導航者模型」之提出，引起學術界與實務界之共鳴，亦肯定人力資本之普世價值。

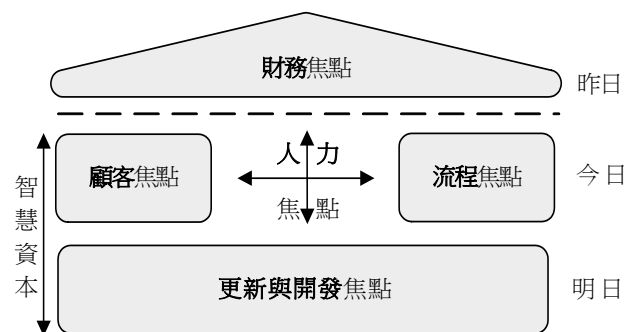


圖 2 Skandia 智慧資本導航者模型

資料來源：Edvinsson & Malone (林大容譯)，《智慧資本：如何衡量資訊時代無形資產的價值》，麥田出版社，民國 88 年。

深究其實，人力資本管理(Human Capital Management, HCM)不是一個全新的系統，而是建立在人力資源管理的基礎之上，綜合了「人」的管理與經濟學的「資本投資報酬」兩大維度(Dimension)，將企業中的人視為「資本」來進行投資與管理，並根據不斷變化的人力資本市場情況和投資收益率等資訊，及時調整管理措施，從而獲得長期的價值回報。茲比較兩者之間的差異如表 1。

表 1 人力資源管理與人力資本管理之差異

	人力資源管理	人力資本管理
基本假設	員工是具有高度潛能而尚未充分發揮運用的資源，因此必須重視人力資源潛能的發揮與運用，以提升組織績效為前提。	強調對「人」的投資與回報，不僅贊同員工藉教育、訓練等投資，創造員工個人財富，亦且提升組織績效，營造雙贏之局。
強調重點	較模糊的概念。	較具體的觀念。
	重視人力資源潛能的開發，偏重於激勵手段的運用。	重視透過培訓和激勵等多種「投資」手段來提高人的價值。
	僅關注短期人力資源之收益(Revenue)。	關注長期人力投資之效益(Effectiveness)。
兩者關係	「資源」意謂企業「消耗」後，即可能不復存在。	「資本」對企業而言，具有「累積」的意涵。
	人力資源管理活動是組織進行人力資本投資的主要途徑；人力資本觀點補強了人力資源觀點對人之看法不足。	

四、人力資本之定義與特性

學界對於人力資本的定義眾說紛紜、莫衷一

(一) 定義

是。茲臚列較有代表性學者所界定之定義如表 2。

表 2 人力資本之定義

年代	學者	重要論述
1961	Schultz	體現於人身的知識、能力和健康，包括經驗、技術與知識等要素。
1964	Becker	所謂人力資本是指人們利用教育與職業訓練來為自己投資，以增加自己的能力與累積更多財富。
1975	Dierkes & Coppock	個人未來貢獻的現有折扣價值，減去獲得、維護和利用組織中這些資源的成本。
1992	Snell & Dean	指具備對於企業而言有經濟價值的技能、經驗以及知識的人員。
1997	Stewart	人力資本是指企業中所有員工的知識、技術、能力、經驗、虛擬所有權、實務社群及隱性互動等等，乃指個人為顧客解決問題的才能，是創新與更新的源頭。
1998	Roos, Edvinsson & Dragonetti	主要涵括(1)才能(Competence)、知識、技能。(2)態度、動機、行為、品德等。(3)智慧敏捷性(Intellectual Agility)、創新、模仿、適應/調適。
1998	Ulrich	智慧資本即「能力」與「承諾」的相乘積。組織擁有優秀的員工並不代表擁有豐富的智慧資本，因為知識與智慧是隱藏於員工的想法與行為之中，因此，組織必須讓員工願意分享與貢獻其人力資本。
1999	Bassi & Buren	人力資本之所以不同於其他智慧資本的要素，是因為它是一種現今組織無法購買或銷售的資本類型。
1999	Knight	人力資本指企業無法永久擁有的員工之專業與技能。它顯示在(1)員工的流動率(2)員工的工作滿意度(3)新產品構思的數量(4)被採納的建議之數量。當組織僱用、發展、留住最佳人才時，人力資本會發揮價值。
2000	Dzinkowski	人力資本與組織內人員的Know-how、能力(Abilities)、技能(Skills)以及專業(Expertise)等。
1998	陳玉玲	包括整合的經驗、創意及問題解決能力、領導、創業家精神、管理技巧等項目。
2000	吳思華	1.人力資本是附著在個人的知識與能力之總合。 2.人力資本包括創造力，專業技能，向心力，經營團隊及非正式互動。
2001	陳美純	人力資本是公司全體員工與管理者的知識、技能與經驗，較重要的因素為員工的特質能力、知識交流、教育訓練、年資水準等。
2004	陳金貴	人力資本指組織中具有能貢獻於組織任務的知識、經驗和專業的員工。

資料來源：整理自張文菁，《企業特性、人力資本、產業環境與組織績效之相關性研究》，中山大學人力資源所管理所未出版碩士論文，民國 90 年。

上表顯示，大部分專家學者對於人力資本的定義，強調「才能型人力資本」，存在於公司成員的心智中，包括具有經濟價值的知識、技術、能力、經驗、創造力等，透過學校教育或是在職訓練等投資行為，以增加知識、技能或是經驗，可使個人或是組織得到投資報酬。

其中，Dave Ulrich (1998)指出，組織光是持有具備知識與技能的優秀員工還不夠，尚須確保這些員工能對組織保有熱情與向心力，組織才能享有人力資本帶來的競爭優勢。彼等員工對於組織及工作本身所付出的情感與心力，係屬「貢獻型人力資本」範疇。

此外，可由「個體」與「總體」的角度，區分「個人的人力資本管理」及「企業的人力資本管理」。茲分述如下。

1.個人的人力資本管理

指每個人對自己人力資源的投資、報酬（包括物質報酬與非物質報酬）組合的選擇與決策。每個人根據自己或他人的經驗，預期投入後可能獲得的報酬，決定自己在累積人力資本方面，所願投入的貨幣成本、時間成本和心理成本等。

2.企業的人力資本管理

指企業對其人力資本的合理配置和有效利用，既包含對員工知識、技能和體能的管理，也包括對擁有這些知識、技能和體能的人的管理，因為人力資本與其載體(Vehicle)不可分離。

(二)特性

人力資本觀點漸為學術界、產業界接受，源自彼等體認「人力有別於物力資產」，

亦即，人力資本具有如下特性。

1.重要性

人力資本的價值在於人是組織所有價值的轉換媒介，其重要性遠勝於其他有形資源，是一種可隨時間而增加價值的動態資本。Stewart(1997)指稱，組織對人力資本的投資，所能得到的邊際價值，約為對機器設備的投資所得到的邊際價值之三倍以上。

2.效益性

將人力視為一種「投資」，代表人力管理是一種審慎評估的理性過程，與人力的甄補、運用、發展等決策有關。人力資源投資將為公司帶來額外費用與機會成本，必須要通盤考量其「工作之必要性」、「策略之合理性」及「產出的效益性」，才能顯現其價值，茲分別詮釋其意義如表 3。

表 3 人力資本投資之價值

項 目	意 義
工作之 必要性	係指人力的進用，要以是否為組織推動工作必須具備者為考量，任何人其所具備的專業特質與組織工作的推動沒有相關時，均不應作為投資的標的。
策略之 合理性	代表組織人力的配置及運用，必須要與組織的策略及目標相結合，也就是要將適當的人力運用在適當的工作上，決不能發生人與事不能配合的情形。
產出的 效益性	代表對於人力的運用，唯有當其單位產出高於投入時，決策才具有合理性。因此，員額配置合理化講求報酬率高低而非成本多寡。

3.流動性

人力資本對於其他公司亦具有價值，也就是人力資本可流動於不同組織間，此乃與實體資本(Physical Capital)最大差異之處。即使員工留在公司，貢獻的多寡仍取決於他們工作熱誠。因此，留任、激勵員工的管理成本(如薪資福利)，皆須視為人力資本的投資。

4.關鍵性

人力資本具「80/20 法則」之特性，亦即人力資本涉及的對象並非組織的全體員工，而僅在於 20%的關鍵人力，專指不容易甄補與被替代，具有市場獨特性，以及對組織有核心價值的員工。因公司投資員工訓練，必須負擔直接費用與機會成本，所以只有在員工未來能提升生產力、回饋公司的情況下，方才適合人力資本投資。

彙言之，人力資本具有如下三種意涵。

- 1.資產意涵：意即人力是必須被妥善運用的資產，而不是應該被裁減的成本。
- 2.策略及績效意涵：組織所擁有人力資本的價值，必須以有助於達成策略目標、產生

績效的程度做為衡量基準。

- 3.管理意涵：強調組織必須採用有效的管理措施及方法，提升人力的可用性及價值。

五、人力資本主要面向

人力資本觀點強調員工是組織最關鍵要素(Vital Element)，因其係實現組織目標的策略性角色，能夠帶動組織總體生產力與績效的提升。而且，人力資本有別於組織運作時所需的其他資源，其他資源可以隨時的補充或取代，惟人力資本必須有計畫地持續投資與發展。是以，人力資本應該加以發展的面向有那些，就值得進一步探討。茲彙示有關學者所提人力資本之主要面向如表4。

表 4 人力資本的主要面向

年代	學者	主要面向
1961	Schultz	技能、知識等任何有助於生產力的能力。
1964	Becker	學校教育、職業訓練。
1981	Flamholtz & Lacey	技能、知識、經驗。
1996	Brooking	教育程度、職業證照資格、工作相關知識、職業的評價與心理測驗、工作相關職能。
1997	Stewart	對組織的附加價值、重置的難易程度。
1998	Ulrich	由員工所擁有之能力 (Competence) 與組織承諾 (Commitment)所構成。
1999	Davenport	(1)能力：知識、技能、才能(2)行為：過程的執行方式(3)努力：貢獻組織的意願(4)時間：投資的時間。
2000	LeBlanc、Rich & Mulvey	知識投資、動機投資、機會投資。
2006	韓志翔與陳怡靜	能力型的人力資本、情感性的人力資本、動機型的人力資本、人格特質傾向的人力資本、健康型的人力資本。

資料來源：整理自蔡秀涓，〈政府部門人力資本理論與應用〉，《東吳政治學報》，東吳大學，民國 91 年。

前期學者對人力資本面向較強調「才能型人力資本」，因此人力資本面向較聚焦於「能力面向」的探討。直至1998年，Ulrich提出，組織僅有具備知識與技能的優秀員工還不夠，尚須確保這些員工能對組織保有熱

情與向心力，組織才能享有人力資本所帶來的競爭優勢。其後，「貢獻型人力資本」(提高組織承諾)之「發展面向」漸成主流。

值得一提的是，Davenport (1999)提出如下「人力資本方程式」之觀念模型，認為人

力資本的投資應包括能力(Ability, 即知識、技能及才能)、行為(Behavior)表現、努力(Effort)意願及時間(Time)投入等內涵, 茲闡釋如次。

$$HC = [(K, S, Ta) + B] \times E \times T$$

HC: 人力資本能量

K: 員工的知識

S: 員工的技能

Ta: 員工從事某項工作的天賦才能

B: 員工從事某項工作的行為表現

E: 員工從事某項工作的努力意願

T: 員工投入某項工作的時間

圖3 人力資本方程式

資料來源: 李誠, 《人力資源管理的12堂課》, 天下文化出版公司, 民國91年。

(一)能力面向

員工能力涵括[1]所擁有的相關知識(K)的多寡、新舊[2]技能(S)的高低、新舊[3]個人從事某項工作天賦才能(Ta)的有無。知識是執行任務時可直接使用的資訊; 技能是一種可觀察到的操作能力, 用來應用知識以執行某特定任務; 天賦才能是潛在的、一致的個人特質, 比如某人即使擁有最佳的聲樂知識與技術, 假如他沒有天賦, 他仍然不可能成為張惠妹。

(二)行為面向

不同的職業需要具備不同的行為(B)表現, 比如教師常須口齒清晰, 行為端莊; 醫生常須穿著白袍, 身掛聽筒, 言語謹慎, 絕不戲言; 夜總會的演唱者則常須衣著花俏、花招百出。

(三)努力面向

一個員工即使具有豐富的知識、高超的技能、適當的行為、優異的天賦才能, 但是

如果他沒有努力(E)去使用這些知識、技能與天賦的意願, 他與沒有這些知識、技能與天賦的員工沒有差別, 一樣不具人力資本。

(四)時間面向

包括一個員工從事某項工作的年資長短, 以及每天實際投入工作時間(T)長短。員工在現職工作年資越久, 個人的知識、技術、能力與經驗累積愈高, 愈能展現個人的工作績效。實際投入工作的時間長短也會影響其人力資本, 因為即使具有所有上列的知識、技能與天賦, 但是不願意投入時間在工作上, 則他也與不具知識、技術與才能的人沒有分別, 不具人力資本。

茲依序列示蓄積人力資本之途徑如下。

- 先從發現個人的天賦(Ta)著手, 找到了他的天賦, 決定他適合發展之方向。
- 其次, 給予適當的知識(K)與技能(S)訓練。
- 再由組織提供員工願意努力(E)與投入時間(T)的誘因(涵括金錢物質與精神層次之報酬), 冀期彼等表現符合組織所期望的行為(B)。

六、台水人力剖析

近年來, 本公司為活化人力資源, 而積極推動相關作為, 諸如(1)為擲節用人費, 積極辦理「非核心業務委外」, 將無競爭優勢, 且無策略價值之非核心業務活動委外辦理(2)為促進人力新陳代謝, 辦理「專案精簡」, 甄選進用年輕、高素質人力(3)為避免人才斷層, 推動各級「主管人員培育計畫」(4)為提升從業人員專業技能, 辦理「員工訓練計畫」、「國外先進自來水事業觀摩學習計畫」(5)為期員額配置合理化, 配合經濟部員額評鑑作業, 辦理「人力評鑑計畫」。

藉由上揭人力精進作為，本公司整體人力運用效率已略具成效。然而，本公司即將邁入四十不惑之年，人力老化、經驗斷層等危機日亟，且囿於國營事業法規，人力增補不易，導致各單位人力普遍吃緊。茲分就「現有人力」、「資深人力」、「新進人力」等面向，說明相關人力資本減損之風險如次。

表 5 歷年員工人數及生產力

項目別	81 年	91 年	100 年	成長幅度	
				100 年較 81 年	100 年較 91 年
員工人數 (人)	7,064	6,174	5,474	-22.51 %	-11.34 %
平均每位員工營業 收入(千元/人)	1,803	3,854	4,837	168.28 %	25.51 %
售水量 (千立方公尺)	1,467,258	1,964,179	2,231,202	52.06 %	13.59 %
管線長度 (公里)	31,786	54,983	57,753	81.69 %	5.04 %

面對極端氣候威脅，缺水危機日亟，未來須持續辦理多項自來水重大建設，業務量有增無減，亟需補充新血輪以推動業務。然而，在「用人費」、「預算員額」的雙重控管下，卻無法配合業務新增或成長而增配人力，部分職缺遇缺不補，各單位人力普遍吃緊；部份人力的工作負擔大，經常加班。超量工作常使人力身心俱疲，影響工作士氣，亦使專業能力、創新能力逐漸降低。

(二)資深人力

截至101年6月，本公司員工平均年齡已達49.69歲，人力集中於中高年齡層，50歲以上達61.72%（如表6）。人力過於老化，導致經驗傳承或有斷層之虞；時值知識經濟時代，資深員工接受資訊化程度較低，專長轉換困難，致使人力資源無法充分運用。

(一)現有人力

本公司業務持續成長，就100年與81年做比較，平均每位員工營業收入增加168.28%、售水量增加52.06%、管線長度增加81.69%，而員工人數卻從81年的7,046人降至100年之5,474人，計減少1,572人，減少幅度達22.51%（如表5）。

表 6 員工年齡分析(截至 101 年 6 月)

年齡	34 歲以下	35~49 歲	50 歲以上	平均年齡
百分比	13.43%	24.85%	61.72%	49.69

值得注意的是，資深員工具有成熟的人力資本，他們長久的服務經驗，是穩定組織、解決問題的主力人員。一旦他們退休，其所有之知識經驗不是進用新人即可填補，致使企業人力資本減損。

(三)新進人力

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。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4），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。

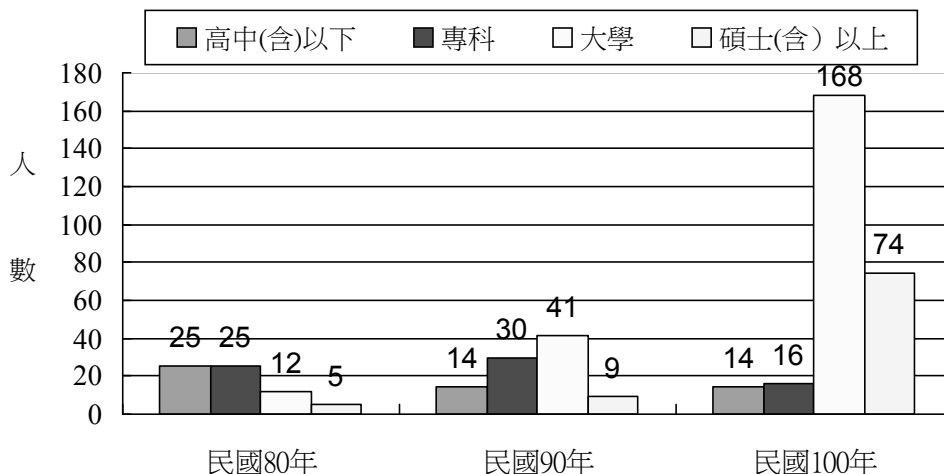


圖 4 台水新進人力學歷結構

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，繁複程序、層層節制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。是故，如何激勵這群較重視工作成就、工作發展、自主管理等特質的知識工作者，係本公司必須正視的人力課題。

七、厚植台水人力資本之道

時值知識經濟時代，只有高素質的人力才能有效地產生知識創新，在在顯示「人才是無可取代的資源」。如何活化人力資源、激勵員工士氣，為員工構築一個學習、成長的環境，把對的人放在對的位置，增益人力資本價值，皆係本公司必須認真以對的課題。

眾所週知，人力資源管理活動直接影響人力資本之形成。亦即，組織宜透過各項人力資源管理活動，從事人力資本的投資，以蓄積人力資本的價值。針對上揭「人力不足」、「經驗斷層」、「人才培育不及」等造成人力資本減損之風險，筆者植基前揭「人力資本主要面向」，遵循人力資源管理循環(人

力任用→人力發展→人力激勵→人力維持)，試提如下六大主軸策略(其中，第一項為「人力任用」；第二、三、四項為「人力發展」；第五項為「人力激勵」、第六項則為「人力維持」)。

(一)招募具核心職能的員工

組織應因事設人，而非因人設事，因此在人才招募前，即應先做好人力資源規劃。就人力資本管理角度而言，招聘甄選就是確定投資的對象，選「合適的人」做「合適的事」。因此，招募甄選具核心職能的人才，讓「職能」與「職位」匹配，才能「把對的人放在對的位置」(Right Person in the Right Job)，期能充分發揮所長，並從中學習、成長，實乃奠定組織人力資本成功的基礎。

「職能」(Competency)係一組與職務相關的個人知識、技能、特質、動機及自我概念等，係導致高績效工作行為的關鍵因素。在眾多職能理論中，以Spencer於1993年所提出「冰山模型」(Iceberg Model)最受到注目(如圖5)。其中，露出水面的知識、技能，係外顯可見且訓練可得；而水面下的特質、動機及自我概念，則是內在隱藏且不易改變。

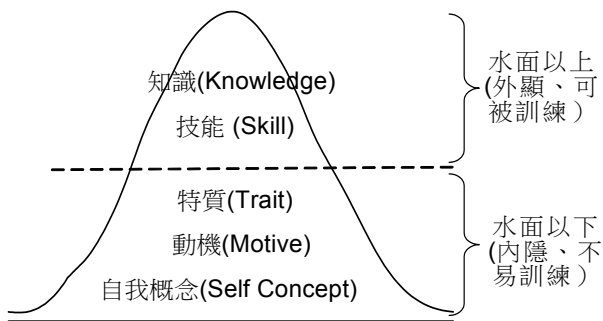


圖 5 職能冰山模型

資料來源：整理自于泳泓，〈現代財務長的新思維PARTII—策略性人力資源管理：職能盤點〉，《會計研究月刊》，會計研究發展基金會，民國96年。

即如動物園的訓練師可以訓練海豚打水球、跳圈圈、翻筋斗，但是他一定無法訓練海豚去捉老鼠，實係秉性使然。同理，企業若招募一個沒有具備特定職位所需核心職能的員工，而期望透過訓練，使該員工很稱職地擔任此份工作，無異緣木求魚。

Jim Collins於其所著「從A到A+」一書中提及，一家公司從好到卓越的第一步，並不是先設定新方向、願景及策略，而是先找「對的人」上車，然後要求「不對的人」下車。先找對的人上車，有三個重要的理由，第一，如果先思考「該找什麼人」而不是「該做什麼」，比較容易因應瞬息萬變的世界。第二，找對的人後，根本不太需要操心激勵員工和管理員工問題。第三，若找錯人，就算找到正確的方向也難有成效。

(二)建構學習型組織

「教育訓練」是人力資本最直接的投資工具。台灣企業由百廢待舉乃至略有所成，多數歷經此過程，深刻體認人才培育的必要性，亦投入大量培訓經費。然而，企業資源有限，無法讓每個員工都有完整的訓練計畫，因此，除了新人訓練，往後更多的還是在職訓練(On Job Training, OJT)。基於80/20法

則，對可以創造公司80%績效的20%核心人力，須特別加強他們特定的(Specific)培訓發展；至於其他員工則經由績效管理，施以一般性(General)訓練。

時值知識經濟時代，組織之知識蓄積、創新能力，有賴學習型組織(Learning Organization)之建構。經由知識創造、知識取得、知識傳遞，並且身體力行這些新知識和新見解，從而提升工作績效。易言之，學習型組織對蓄積人力資本的知識、技能，具有關鍵性的影響。

身處知識經濟洪流，台水欲求茁壯成長，必須積極形塑為學習型組織。除充實員工「終身學習」的理念，亦須提供員工一個可以隨時學習新知識與技能的環境，包括正規的進修機會、非正規的在職訓練，也包括員工願意分享知識與交換經驗，經由人員與知識在不同部門間流動循環，期使員工使用新知識、新技能，去解決瞬息萬變、層出不窮之新問題。

(三)落實人才儲備訓練

1969年，Laurence J. Peter於其鉅著《彼得原理》(Peter's Law)乙書中指稱，在層級分明的科層組織中，一個在原職位表現良好而獲得逐次升遷的員工，最後會升遷到他所無法勝任的職位(如圖6)。舉例言之，某組長在現職表現稱職，未經儲備訓練，即予調升副理，他仍以原有之智能處理副理業務，則將產生「彼得癥候」(A'C線段)，無法勝任升遷後之職位。反之，若在組長職位即施予「儲備訓練」(AB線段)，則其晉升為副理時，其管理能力恰好滿足實際需要，可以勝任升遷後職位，足見儲備訓練之必要性。

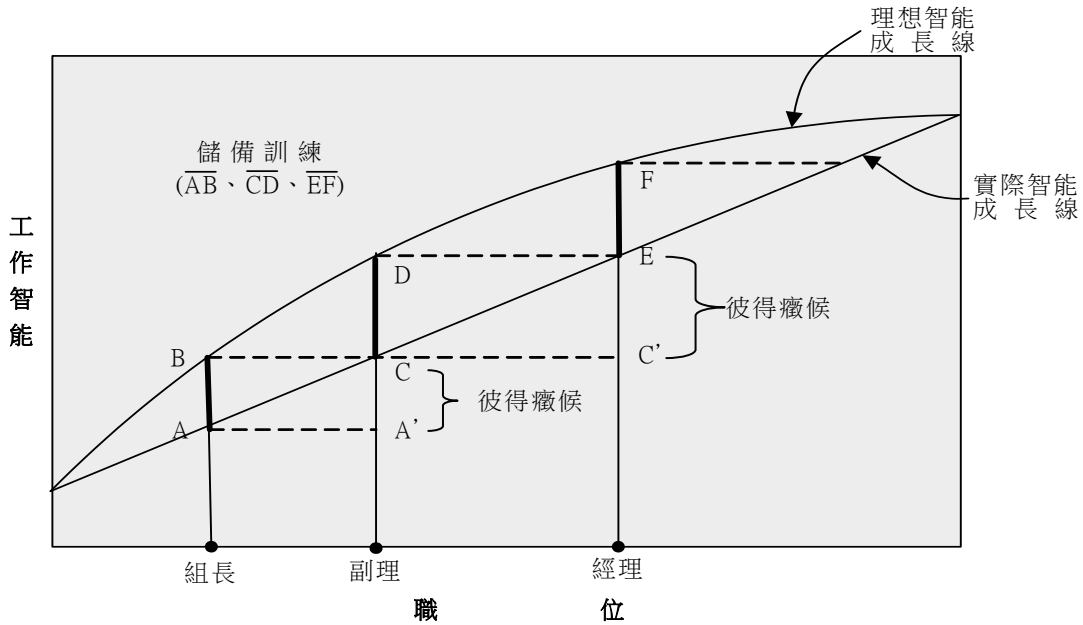


圖 6 彼得現象示意圖

本公司人力老化，尤其民國105年至110年間屆退人員在1,600人以上，佔公司員額約28%，出現經驗斷層之疑慮日亟，爰須未雨綢繆，加速主管人員之培育。

員工之升遷，除考慮其原有職位表現，尚須兼顧其是否具備勝任未來職位的能力，故各級主管儲備訓練尤應落實。否則，不僅產生主管外行領導內行、劣幣驅逐良幣之人力反淘汰現象；「彼得癥候」亦將在所難免。

(四)培養第二專長與工作輪調

科層組織強調分工專業化，往往造成員工於特定部門久任其職，雖具有一技之長之「專業」技能，能在單位內發揮所長；然而當面臨平調或調升時，因未具備其他單位之知識，復因學習惰性及焦慮感，致常抗拒調職。易言之，於特定部門工作如魚得水，握有「黃金」般技能；當離開該部門，專技即無用武之地，猶如拘限於「牢籠」內，此即學者Evans & Farquhar 於1989年提出的「黃金牢籠」(Golden Cage)現象(如圖7)。

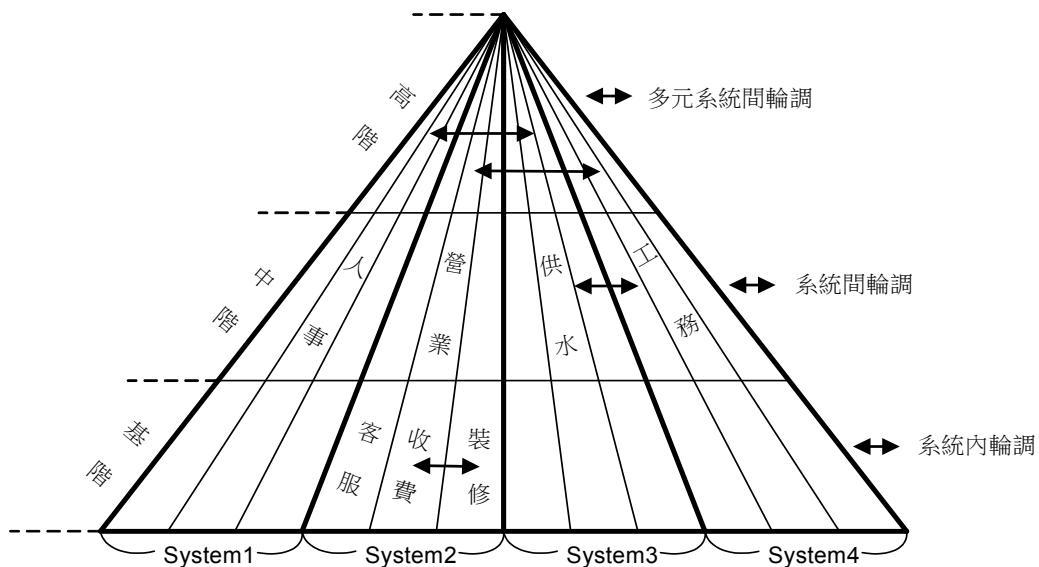


圖 7 黃金牢籠示意圖

為減除「黃金牢籠」現象，「工作輪調」(Job Rotation)係常見之有效手段。亦即，基層人力先於系統內進行輪調，如營業系統內之裝修業務調收費業務，由於工作同質性高，調動較易，並設定為基層升遷之必要條件；中階人力則採取性質接近之跨系統輪調，如工務系統調供水系統；高階人力則需有多元性質之系統間輪調，如營業系統調工務系統。如此，方能避免落入「黃金牢籠」，無法振翅高翔。是故，企業須不斷實施多元的教育訓練方案，培育員工第二專長；員工也須自我精進，成為日本策略大師大前研一所說的「多工」且「專業」的 π 型工作者，方能得心應手、勝任愉快。

本公司深明其理，為協助員工發展第二專長，增進其適應環境變動的利基寬度(Niche Width)，故加強落實「員工職務遷調實施要點」，依規定辦理相關輪調作業，俾充實行政歷練、工作知能，並經由工作擴大化(Job Enlargement)，增益員工之工作滿足。

(五)極大化人力資本投資報酬

深藏員工內在的人力資本並非企業所獨佔，因為其對其他公司而言，亦具有價值，在在顯示人力資本之「流動性」。因此，企業必須設法吸引並留任高素質的人力資本，將它蓄積在組織內，才能將員工的知識能力轉化為企業的競爭優勢。

與物力資本(Material Capital)不同，人力資本的載體是「人」。是故，人力資本的發揮與個人本身的欲求(需要物質激勵和精神激勵)密切相關。一般而言，個人努力提升人力資本後，期望獲得之投資報酬有四類形式，即

「金錢的報酬」、「工作的滿足」、「成長的機會」、「肯定與讚賞」等(繪示如圖8)。值得一提的是，由於每一類報酬均具有邊際效用遞減(Diminishing Marginal Utility)的特性，因此，不宜僅採單一類報酬，而應兼採四類報酬，予以適當組合、彈性運用，期求人力資本投資報酬之極大化。

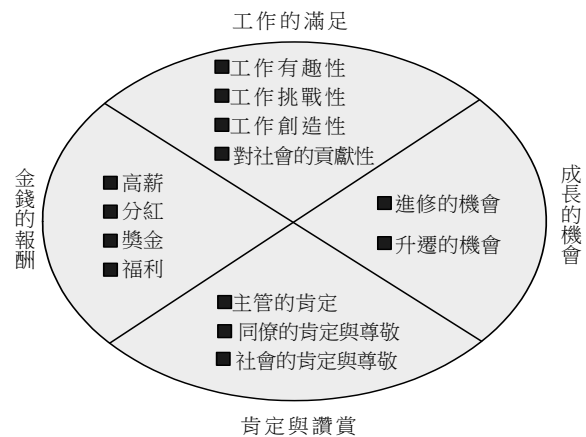


圖 8 人力資本投資的四類報酬

資料來源：李誠，《人力資源管理的12堂課》，天下文化出版公司，民國91年。

近年來，本公司進用之高學歷人才日增，知識工作者的質與量明顯提升。財務報酬或許是知識工作者前來投效的誘因，然而，真正驅動其工作動機與意願的力量，應係工作本身帶給他的成長與成就感。國營事業囿於法規，「金錢報酬」較難任意變更，惟提供之薪資報酬、穩定的工作，大抵已具有相當程度的「保健」(Hygiene)效用；本公司若能加強彈性運用「工作的滿足」、「成長的機會」、「肯定與讚賞」等投資報酬，或許更能投其所好，產生「激勵」(Motivation)效用，強化其對組織之認同感及忠誠度。

(六)實施不適任人力之「下車」機制

為避免人力資本減損，組織須藉助「人力評鑑」與「績效管理」等人力投資效率回

饋指標，透過持續定期的分析，適時調整人力資本投資策略。

當某員工之人力資本淨值持續遞減，就表示該員經過相當一段時間，都未能提升自我的人力資本，其原因或係知識、技能不足，抑或努力不夠。組織需視個別員工情況，採取合適的人力資本投資策略（如圖9），期使人力發揮最高效用。

工 作 意 願	高	利用教育訓練， 提高工作能力	強調員工 生涯發展
	低	人力重新調整	加強員工激勵， 激發工作意願
		低	高
		工作 能力	

圖 9 人力資本投資策略

易言之，組織對人力資本遞減的員工，須先瞭解其原因（能力不足或意願不夠），再施以相關增強(Reinforce)措施，而不輕易汰換員工。惟對不適任之人力仍應破除情面，實施「下車」機制，俾免人力資本減損，而利組織新陳代謝。然而，進行最終淘汰之前，應有一套警示與矯正措施(如表7)，以提供改正的機會。

表 7 人力汰換之警示與矯正措施

順序	階段	警示與矯正措施
1	諮商 管理	與員工討論研商、發現問題點，以謀改進。
2	紀律 管理	進行獎懲，以維持組織紀律；並給予適當訓練，以配合公司工作需要。
3	異動 管理	重新指派工作，新的工作或許可以激發其工作潛能、激發其工作意願。
4	離職 管理	若以上方法皆無法改進，則應破除情面，依法予以遣退，以促進人力新陳代謝。

八、結語—人才係吹送之風

2004年起，執房仲業牛耳之信義房屋公司，為提升服務品質而啟動人才投資計畫。在招募方面，就是要找到「對的員工」，藉由「體驗日」實際的體驗，避免因彼此選擇錯誤而造成損失；在培訓方面，提高人力教育訓練經費，新進員工須先通過完善的職前訓練，才能單獨服務顧客；在薪資方面，改採「高底薪、低獎金」制度，冀期塑造員工的忠誠、激發團隊意識；在留才方面，秉持「有多少店長，開多少店」的展店策略，用以獎勵有貢獻的員工。由於信義房屋公司懂得對員工付出，使員工願意為企業打拼，在不景氣的年代裡仍然屹立不搖、屢創佳績。

近年來，諸多企業往往將「精簡人力」、「裁減人事預算」視為提升組織績效的首要手段，惟常獲致「削足適履」反效果。實則，人力素質與數量之間具有相互影響的關連性。是故，有效的人力精簡，必須以人力配置的合理化為前提；否則，為精簡而精簡，可能使組織失去必要之人力資本，反而不利組織未來發展。易言之，有效的人力精簡，必須遵循「找合適的人上車、讓不合適的人下車」原則，讓人力資本成為企業永續發展的關鍵動力。

眾所週知，成功的經營管理必須同時兼具「效能」(Effectiveness)與「效率」(Efficiency)。「效能」可為企業創造競爭優勢；「效率」則可縮短競爭優勢形成所需時間，以制敵機先。由於「人」是企業生存成長不可或缺的關鍵要素，因此，人力資本所扮演的角色，即在於提升企業競爭優勢，期能有

效能地(Effectively)、有效率地(Efficiently)達成企業目標。

《尚書》云：「民為邦本，本固邦寧」，本公司奉為圭臬，拳拳服膺。申言之，本公司深諳「人才是公司的關鍵要素，猶如樹之根、水之源」，自當遵循人力資源管理循環，精進人力之任用、發展、激勵、維持，以厚植人力資本。果然，本公司當能乘風破浪、揚帆遠行，一如鄭愁予的新詩：「東風來了，三月的柳絮飛揚。」

參考文獻

- 1.王偉權、林杰熙、梁立衡，〈人力資本之結構性探討與展望〉，《全球商管研究》，清雲科技大學，民國96年。
- 2.王曉麟，〈政府人力資本之探討〉，《T&D飛訊》，國家文官學院，民國97年。
- 3.李誠，《人力資源管理的12堂課》，天下文化出版公司，民國91年。
- 4.陳玉玲，《組織內人力資本的蓄積—智慧資本管理之觀點》，中央大學人力資源管理研究所未出版碩士論文，民國88年。
- 5.蔡秀涓，〈政府部門人力資本理論與應用〉，《東吳政治學報》，東吳大學，民國91年。
- 6.Berkowitz, S., "Measuring and Reporting Human Capital", *The Journal of Government Financial Management*, Association of Government Accountants, 2001.
- 7.Scherroetel, AL., "The Human Capital Challenge in Acquisition", *The Public Manager*, The Bureaucrat, Inc., 2001.
- 8.Stewart, Thomas A., J.U., *Intellectual Capital : The New Wealth of Organizations*, New York : Bantam Doubleday Dell Publishing Group, Inc., 1997.

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

鋼筋混凝土矩形平頂水池設計之探討

文/曾浩雄

一、前言

台灣自來水公司前總經理陳榮藏先生所編著之水池設計(一)---矩形鋼筋混凝土水池^[1](以下簡稱為書 1)，為目前台水公司土木工程人員據以設計各種水池之藍本。本文可謂集材料力學、建築結構學及鋼筋混凝土學之大成，坊間並無水池設計之書籍可供參考(因市場太小)。前陳總經理榮藏所編著之水池設計(含矩形及圓形)，迄今仍是自來水公司土木人員學習水池設計之最佳藍本。但書上並未提及「無預力鋼筋混凝土高牆拱頂圓形水池設計」計算實例，也未述及「鋼筋混凝土矩形平頂水池之設計」方法。有幾位老同事曾跟作者提及他們想學，但找不到相關的書籍，請教曾經做過這類設計者，所得到的回答是：「這要查表，令人深感無奈！」，爰以該書對大型矩形水池之設計原則為基礎，將其中未提及之矩形平頂大水池，進一步以梁版柱方式設計之方法加以探討。

二、採用矩形水池之原因

鋼筋混凝土水池原則上分為圓形及矩形兩大類。在結構觀點上固然採用圓形水池比同容量之矩形水池較為經濟。但有時因場地配置或功能上之需求，例如有數座水池必須連成一組以減少水池間之配管，並免重複建造池牆，或為節省占地面積，均宜採用矩形或方形之構造。矩形水池之設計因池牆長度與池深之比例不同而異。茲以設計一座 $1,500\text{m}^3$ 矩形平頂水池為實例，詳細探討其設

計要點、步驟及其應注意之事項。

三、水池各主要構件之尺寸

假設水池各主要構件之尺寸如下：池深(高)=5 m，有效水深=4.85m(出水高=0.48m)，牆厚=35cm，頂版厚=12cm，內柱(寬*長)=0.55m*0.55m，外柱及角隅柱=0.5m*0.5m 及 0.45m*0.45m。柱與柱之淨距=6m，水池以三跨度剛架構成，其每一邊之總長 20.0 m，池外土深=0.7 m，水池底版厚度=40cm。水池之容量=1,544 m^3 。水池之平面配置詳如圖 1 所示。

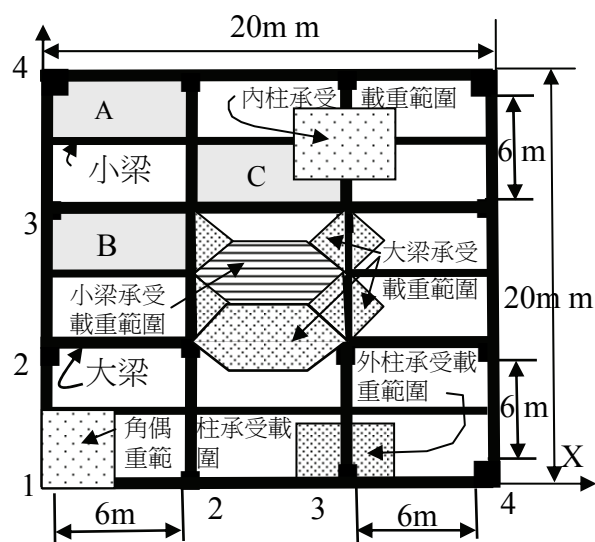


圖 1 矩形水池平面配置圖

四、承受活荷重之規定

1. 蓄水池頂版上部之荷重均視為均佈荷重(不管有無覆土)；但池頂若考慮作為停車場時，則另須就車之重量以集中荷重考慮之。
2. 依照我國建築法令，在計算構件之強度時，對各種用途之樓版其活載重係採列舉

式之規定。水池頂版之荷重並未在列舉之範圍內，依其規定：在列舉範圍外者，一律採用 300kg/m^2 。

3. 另在計算各構件之強度時，其活荷重 ω 須按下列係數加以修正：(1) 樓版之活荷重 $=\alpha * \omega$ ；(2) 大梁或小梁 $=\beta * \omega$ ；(3) 地震力 $=\gamma * \omega$ 。上述 α 、 β 及 γ 分別為 1.0；0.8 及 0.5。

五、頂版之設計

(一) 使用材料之容許應力

- 長期：(1) 鋼筋： $f_s=1,410\text{kgf/cm}^2$ ，(2) 混凝土： $f_c=110\text{kgf/cm}^2$ ，依照相關公式計算 $k=0.413$ 、 $j=0.8623$ 、 $a=0.012158$ 、 $K=19.62$ 。
- 短期：上述容許應力之 1.33 倍。

(二) 樓版之應力

- 樓版單位面積之荷重=靜載重($\omega=2.4\text{ T/m}^3 * 0.12\text{m}$) + 活載重(0.3 T/m^2) = 0.588 T/m^2 。
- 由池牆及小梁支撐之頂版可分為：(1) 兩邊自由端；兩邊固定端(如圖 1 之 A)、(2) 一邊自由端；三邊固定端(如圖 1 之 B)及(3) 四邊固定端(如圖 1 之 C)。本文以四邊均為固定端設計之(否則須就以上三種型式分別計算其應力)。
- 頂版之設計一般係採用美國規範，先求頂版短邊與長邊(淨跨)之比值 $\lambda = l_y/l_x = 3\text{m}/6\text{m} = 0.5$ 。再以此值查圖表(任何有關結構設計之書籍均可查得)，分別查得雙向版短邊之正、負力矩係數 C 分別為 0.025 及 -0.033，將此值乘上 ωl^2 ，即為該邊之力矩 $M=C * \omega l^2$ 。
- 由上述係數，進而求得短邊之正、負力矩分別為 $M=0.132\text{ T-m/m}$ ； $M=-0.175\text{ T-m/m}$ 。
- 同理，長邊之正、負力矩之求法與上述相同。
- $A_s=M/ad$ (長期)可求得每 m 所需之鋼筋

量。短邊柱帶上層 $A_t=3.70\text{ cm}^2$ ，採用 $13\text{ mm } \phi @20\text{cm}$ 。

- 中間帶中央下層照上述方法求出 $M=0.132\text{ T-m/m}$ 。長邊柱帶之上層及中間帶中央之下層，其配筋也可比照上述方法求得。
- 當 $f_y \leq 2,800\text{ kgf/cm}^2$ 時，其溫度鋼筋量 $\rho \geq 0.002b * h$ 。 $A_{s_{\min}}=0.002 * 100\text{cm} * 12\text{cm}=2.4\text{ cm}^2$ 採用 $9\text{ mm } \phi @25\text{ cm}$ 。

六、小梁之設計

- 小梁負擔荷重之範圍及其長方形面積 $A=(3+6)\text{ m} * 1.5\text{m}/2 * 2$ 面 = 13.5 m^2 (如圖 2)。
- 活載重 $=0.3\text{ T/m}^2 * 0.8 = 0.24\text{ T/m}^2$ 。
- 設梁高 $=l/12=0.5\text{ m}$ ，寬 30 cm ，梁自重 $=0.274\text{ T/m}$ 。

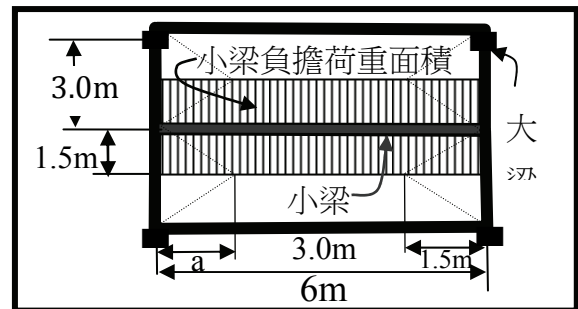


圖 2 小梁承受垂直荷重面積示意圖

- 計算 C 、 M_0 及 Q_0 ：依據梁上之荷重情形(均佈、集中；三角形或梯形)及其支撐之情況，計算其端點之力矩 C 。另以簡支梁求中央之力矩 M_0 及反力(剪力) Q_0 (力學書上可查得)。
- 小梁端點之矩：三跨度連續梁固定端之力矩可依三力矩公式： $Ma * l_1 + 2M_b * (l_1 + l_2) + Mc * l_2 = -6A_1 * a_1 / l_1 - 6A_2 * a_2 / l_1$ 求得。式中 A_1 是假設 AB 梁為簡支梁所引發之力矩面積 $A_1 = 2/3 * \omega l_1^3 / 8$ 。 a_1 是 AB 梁力矩面積 A_1 之重心與端點之距離(詳如圖 3)， $a_1 = l_1 / 2$ 。以等跨度、等均佈荷重而言

$\ell_1=\ell_2=\ell_3$, $a_1=a_2=a_3$, $M_a=M_d$, $M_b=M_c$, $2V_a=2V_d=V_b=V_c$ 。因此上述公式可簡化為 $M_a+6M_b=-\omega \ell_1^2/4$ ---(1);另假想 A 端點左側有固定端 A' , 其跨距=0 , 則其三力矩公式為 $2M_a+M_b=-\omega \ell_1^2/4$ ---(2) 。解上述兩方程式, 得 $M_a=\omega \ell_1^2/12$; $M_a=-1.0 * C$; $M_b=-\omega \ell_1^2/12=-1.0 * C$ 。 $C= 4.75 \text{ T}\cdot\text{m}$ 。(3) 計算中央力矩: 簡支梁之 $M_0=1.5 C$ 。內、外端力矩= $1.0C=4.75 \text{ T}\cdot\text{m}$; 中央為= $0.5C$; 中央力矩= $2.38 \text{ T}\cdot\text{m}$ 。(4)計算兩端之剪力 $Q_0=4.39 \text{ T}$ 。

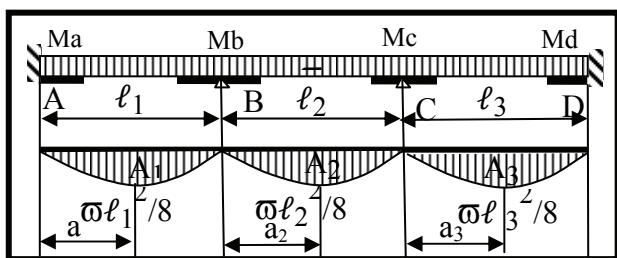


圖 3 三跨度梁固定端之力矩示意圖

6. 兩端需要鋼筋量 $a_t = 8.37 \text{ cm}^2$, 採用 5-16 mm ϕ ($a_t=9.9 \text{ cm}^2$; 周長=25 cm) 。
7. 肋筋之間距 $x = a_t f_t / Q / j d = 81.94 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$ 採用 30cm 。
8. 核算剪應力: $v = \bar{V} / j b d = 3.77 \text{ kgf/cm}^2 < 5.37 \text{ kgf/cm}^2$, OK 。
9. 核算握裹力: $f_u = \bar{V} / O j d = 4.52 \text{ kgf/cm}^2 < 7 \text{ kgf/cm}^2$, OK

七、大梁與柱之應力分析

大梁與柱子結合在一起, 其接點之力矩會因兩者剛度之比值而互異。而且其所受之應力除了垂直荷重外, 尚承受因地震所產生之水平力。因此大梁與柱子所承受之應力須以剛架(Rigid Frame)加以分析。

(一)構成剛架梁柱之種類

1. 依梁柱在剛架所占的位置可分為: 外梁、內梁、外內柱及角隅柱。
2. 依方向(縱、橫向)及形狀: T 形梁、L 形梁、┌ 形柱、└ 形角隅柱及正方形柱 ■ , 分別如圖 4 之①、②、③、④及⑤。

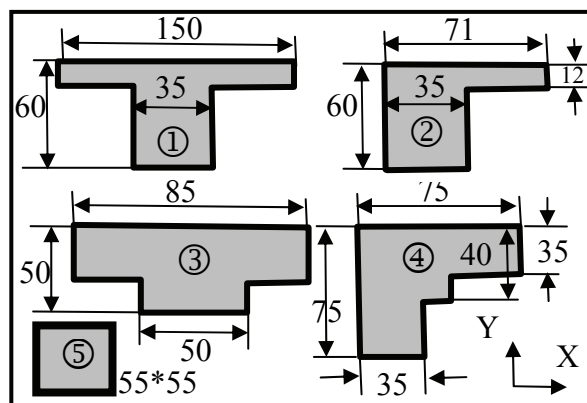


圖 4 梁與柱之斷面示意圖(單位: cm)

(二)構件之基本資料

分析剛架應力所需之基本資料如下: 剛度 $I(\phi_0 * I_0)$ 、剛比 κ 、有效剛比 κ_e 、力矩之分配分數 DF(Distribution Factor) 。

(三)梁、柱之 I_0 值

1. 矩形之梁柱其 $I_0 = b * D^3 / 12$ (忽略鋼筋之影響)。梁之 $I_0 = 630,000 \text{ cm}^4$; 內柱之 $I_0 = 762,552 \text{ cm}^4$; 外柱 T、┌形及角隅柱之 $I_0 = 213,333 \text{ cm}^4$ 。
2. T 形梁及具有牆壁、柱等各種形狀之外柱, 其構件斷面力矩之精確算法, 須加計其樓版或牆壁部分之有效淨寬 B (各先進國家都有其特定之規範)。本文採用美國 A.C.I. 之規範: (1) $B = 16t + b = 227 \text{ cm}$; (2) $B = \ell_y$ (兩側版之中心距離) = 600 cm ; (3) $B = \ell_x / 4$ (構件之長度) $B = 150 \text{ cm}$, 三者中取其最小值 $B = 150 \text{ cm}$ 。(詳如「鋼筋混凝土建築結構時用計算法」^[2], 第二章)。

(四)梁、柱之 ϕ_0 值

1. T 形梁：B=150， $b_1=B/b=150/35=4.286$ ； $t_1=t/D=12/60=0.2$ 。可用下列公式求得 $\phi_0=4\alpha-3\beta^2/\gamma$ ， $\alpha=1+(b_1-1)*t_1^3=1.62$ ， $\beta=1+(b_1-1)*t_1^2=1.13$ ， $\gamma=1+(b_1-1)*t_1=1.66$ 。 $\phi_0=4*1.62-3*1.13^2/1.66=1.79$ 。也可查書 2 之圖 2•7，得 ϕ_0 值=1.79。

L 形梁之 B=3t+b=71 cm， $b_1=B/b=2.43$ ， $t_1=t/D=0.7$ ， $\phi_0=4\alpha-3\beta^2/\gamma$ ，其中 $\alpha=1+(b_1-1)*t_1^3$ ， $\beta=1+(b_1-1)*t_1^2$ ， $\gamma=1+(b_1-1)*t_1$ ，求得 ϕ_0 值 = 3.52。⊥形 X 梁之 B = 3*12+35=71cm，b = 35cm， $b_1=B/b=2.028$ ， $t_1=0.2$ 代入上述公式求得其 ϕ_0 值 = 1.336。正方形柱之 ϕ_0 值=1。T 形柱之 B=3*35+50=155cm，b=50cm， $b_1=B/b=3.1$ ， $t_1=0.7$ 代入上述公式求得其 ϕ_0 值 = 2.42。⊥形柱之 B=2*35+50=85 cm，b=50cm， $b_1=B/b=2.43$ ， $t_1=1$ ，代入公式： $\phi_0=1+(b_1^3-1)*t_1$ 求得其 ϕ_0 值 10.33。角柱 X、Y 向之 B = 40+35 = 75cm，b = 40cm， $b_1=B/b=1.857$ ， $t_1=0.857$ 代入公式 $\phi_0=4\alpha-3\beta^2/\gamma$ ，其中 $\alpha=1+(b_1-1)*t_1^3+(b_1^3-1)*t_1$ ， $\beta=1+(b_1-1)*t_1^2+(b_1^2-1)*t_1$ ， $\gamma=1+2*(b_1-1)*t_1$ ，求得 $\phi_0=8.155$ 。

2. 梁、柱之 I 值(單位： cm^4)及剛度之其剛度(柱之 $K=I/h$ ；梁之 $K=I/l$ ，其單位均為 cm^3)。

3. 梁與柱之剛比常以一定值作為標準剛度 (K_0)，通常 $K_0=1,000\text{cm}^3$ ，整合如表 1。

(六)有效剛比

當構件固定端受力後；另一端亦為固定時；其兩端之撓角在同一側者，其有效剛比 $k_e=1$ (力矩分配後對另一端之到達率(carry over ratio)=0.5；若構件之另一端為絞接者其撓角=0，其有效剛比 k_e 只為其原有剛比之 0.75 倍，到達率=0；若構件兩端之撓角不在

同一側者，其有效剛比 $k_e=0.5$ ，到達率= -1。

表 1 梁柱之 K 值整合表

註別	ϕ_0 值	I ₀ 值	I 值	K 值
方形柱	1	762,552	762,552	1,525
T 形柱	1.88	520,833	979,681	1,959
⊥形柱	10.33	520,833	6505714	13,011
角偶柱	8.16	213,333	1739859	3,480
T 形梁	1.79	630,000	2217123	1,877
L 形梁	3.52	630,000	1739857	3,695
⊥形梁	1.34	630,000	841561	1,403

(七)簡化剛比

1. 進一步將方形內柱之剛比 k 定為 1；則(1)T 形柱之 $\bar{k}=1.28$ ；(2)⊥形柱 $\bar{k}=8.53$ ；(3)角偶柱 $\bar{k}=2.28$ 。(4)T 形梁之 $\bar{k}=1.23$ ；(5)L 形梁 $\bar{k}=2.42$ 。(6)⊥形梁之 $\bar{k}=0.92$ 。梁對柱之剛比至少在 1.00 以上；最好使 \bar{k} 在 2.00 左右。

(八)剛架力矩分配分數

剛架某一接點上各構件之力矩分配分數(比率)=該構件之剛比(k)與該點左右梁及柱剛比之總合 $\sum k$ 之比 k 值($k/\sum k$)。如圖 6 之 E 點，梁 EF 之 $\bar{k}_b=1.23$ 、柱 EA 之 $k_c=1.28$ ，則 E 點之力矩分配係數為：梁 EF= $1.23/(1.23+1.28)=0.49$ ；柱 EA= $1-0.49=0.51$ 。同理在 F 點，梁 FE 之 $\bar{k}_b=1.23$ 、梁 FG 之 $\bar{k}=1.23$ 、柱 FC 之 $k_c=1.0$ ，則 F 點之力矩分配係數為：柱=0.29，梁 FE 及 FG = $1.23/3.46=0.355$ 。

八、剛架之應力分析

(一)因垂直荷重產生之應力

1. 本例之剛架其跨度及梁之尺寸均相同；柱之尺寸及高度也都一樣，但其上部頂版之荷重因分配給小梁承擔之面積有所不同，

致整個水池之在 X 與 Y 向之應力完全不對稱，而且各構件之剛比(K 值)也因其方向之不同而互異。故計算剛架上各構件之應力時，須分為 X 向及 Y 向剛架加以分析。

2. 一般平頂矩形水池之設計並不加設外柱，但本文為說明固定力矩分配法之計算法，乃刻意加上外柱，以利讀者了解其算法。
3. 剛架上受垂直荷重而產生之應力，其計算方法有：固定力矩分配法(Fix End Moment Distribution Method)、二次迴轉法(Two Cycle Method)及圖解法。本例剛架各接點力矩之計算，採用固定力矩分配法。其方法如下：
4. 大梁 X 向承受垂直荷重之範圍為梯形，其面積 $A=13.5m^2$ (詳如圖 5)。

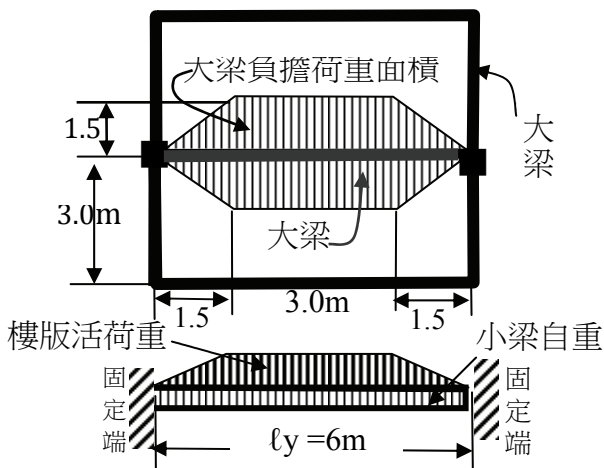


圖 5 X 向大梁承受垂直荷重示意圖

5. 計算剛架之應力時，依照規範其活荷重應採 $0.3T/m^2 * 0.8 = 0.24T/m^2$ ，因此剛架所承受之載重 $\omega = (0.288 + 0.24) T/m^2 = 0.528 T/m^2$ 。
6. 凡跨度、荷重及梁、柱之剛比略為相等者稱為均等剛架(相鄰 2 跨度中，長者在短者之 1.2 倍以下，活荷重在靜載重之 2 倍以下)。

7. 左右對稱之剛架，其相對應之梁、柱之剪斷力大小相同，但梁之方向相同；柱則相反。故剛架結構對稱者只計算其一半即可。
8. X 向剛架之大梁之端點力矩 $C = \text{樓板梯荷重如圖 7} \omega * (\ell^3 - 2 * a^2 \ell + a^3) / 12 \ell + \text{大梁自重 (矩形均佈荷重)} = \omega' \ell^2 / 12 = 3.86 T \cdot m$ 。
9. Y 向剛架之荷重：三角形荷重 $\omega' = 2.38 T/m$ ；小梁荷重 $P = 8.77 T$ 。
10. X 向剛架之梁兩端負力矩 $C = -\omega / 12 \ell * (\ell^3 - 2a \ell^2 + a^3) - \omega' \ell^2 / 12 = 2.84 T \cdot m$ 。
11. Y 向剛架之端點力矩 $C = -17/384 * \omega' \ell^2 - P * \ell / 8 - \omega'' \ell^2 / 12 = -28.98 T \cdot m$ 。
12. 先就 Y 內剛架各構件之力矩依固定力矩分配法加以分析。表 2 中之 DF、FEM、 D_1 、 C_1 及 Σ ，分別表示：力矩分配比率；固定端力矩、分配得之力矩(須變號)、到達力矩及總計。C 及 D 值應計算到數值甚小時才停止。其結果詳如表 2。

表 2 Y 向剛架承受垂直荷重之力矩表

	E	F	G
EA	EF	FE	FB(柱)
DF 0.51	0.49	0.355	0.29
FEM	-28.98	28.98	-28.98
D_1 14.78	14.20	0.0	0.0
C_1	0.0	7.1	7.1
D_2	0.0	-5.05	-4.1
C_2	-2.53	0.0	0.0
D_3 1.29	1.24	0.0	0.0
C_3	0.0	0.62	0.62
D_4 -0.0	-0.0	-0.44	-0.36
C_3	-0.22	0.0	0.0
D_5 0.11	0.11	0.0	0.0
Σ 16.18	-16.18	31.21	-4.46
AE	A	B	B
C_1 8.09		-2.23	
Σ 8.09		-2.23	

13. $M_0 = 1.41 * 7/384 * \omega' \ell^2 + P * \ell / 4 + \omega'' \ell^2 / 8 = 39.79 T \cdot m$ 。

14. 中央力矩：外梁 $M=M_0-(M_{左}+M_{右})/2$ (如圖 10)=16.1T-m；內梁 $M=13.04T-m$ 。
15. 梁之剪斷力 Q_0 ：a. 因樓版之荷重=7.13T。
b. 因大梁自重=3.76 T。c. 合計 $Q=(7.13+3.76)T/2=5.45 T$ (各梁同值)。
16. 柱之剪斷力： $|Q|=|(M_{柱頭}+M_{柱腳})/h|$ (詳如圖 6，M 係其絕對值)。(1) 外柱剪力=4.85T。(2) 內柱之剪力=1.34T。

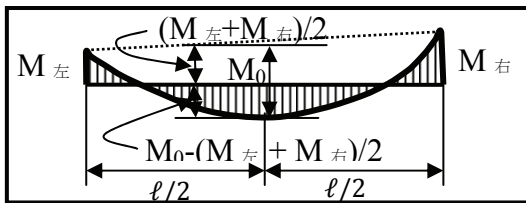


圖 6 柱之剪斷力及梁中央力矩圖

17. X 外鋼架之大梁兩端之固定力矩為 Y 向剛架之 0.0979 (2.84/28.98)，故 X 外鋼架各構件之力矩，可依此比率乘上 Y 外剛架之力矩即可求得。

(二)因地震水平力產生之應力

- 剛架設計之水平震度 $K_{h1}=C_z * K * K_{h01}$ (第一級地震)，若剛架之自然震動週期為 0.24s，從「自來水設施耐震設計指南及解說」^[4]之 1.3.2 可求得 $K_{h01}=0.25$ ，若水池建在高雄市三民區，由該書之表 1.3.2 可查得其區域修正係數 $C_z=1.0$ ，因此其 $K_{h1}=1.0 * 0.25=0.25$ 。
- 剛架因地震所受之總水平力= $K_{h1} * W$ (水池之梁版柱之總重+活荷重之 0.5 倍)。
- 由於 X 及 Y 構架之梁柱左右對稱，因此無論 X 或 Y 向之剛架因地震所承受之水平力，兩方向之支柱都會承擔同樣的水平力。故計算各支柱之水平力分擔係數 Dc 時，只須計算 X 或 Y 單向即可。
- 各柱之水平力分擔係數 Dc 以剛比之略算

法，分別計算對應於 X/Y 向之水平力時，各柱之 \bar{k}_c 值 (\bar{k} =上下左右梁平均剛比與柱剛比之比值，但最下層之柱為固定時 $\bar{k}=(k_1+k_2)/k_c$)，再由書 2 第 71 頁 4 • 1 圖查得 a 值；或以 $a=(0.5+\bar{k})/2\bar{k}$ 。最後由 a 及 k_c 值之乘積求得 Dc ($Dc=a * k_c$)。

- 茲就 Y 向各柱之 Dc 值如下：(1) 內柱： $\bar{k}_c=2.46$ ， $a=0.66$ ， $Dc=1.63$ 。(2) \perp 形外柱 $\bar{k}_c=0.22$ ， $a=0.32$ ， $Dc=2.77$ 。(3) T 形外柱 $\bar{k}_c=1.44$ ， $a=0.92$ ， $Dc=1.18$ 。(4) 角隅柱之 $\bar{k}_c=0.41$ ， $a=0.38$ ， $Dc=0.87$ 。
- 雖然壁體之剛度大於內柱數十倍，但依日本武藤博士之略算法：剛架所包圍之壁體其分擔量 (不論是垂直或平行於水平力) 最多只可取標準內柱水平力分擔量之 5 倍，通常為不使建築物之震動發生困難者，約取 2 倍為宜。故牆之分擔係數 $D_w=1.63 * 2=3.26$ 。
- 依其略算法，可求得 X 向各柱之水平力分擔係數之總 D 值= $(1.63+2.77+1.18+0.87)/支 * 4 支 + 3.26/面 * 12 面=64.92$ 。
- 水池之總重量，包括樓版、小梁、剛架、筏式基礎 (含柱冠暨柱頭版) 及水 $W=2.4 T/m^3 * (版) (0.12 m * 20.0 m * 20.0 m + (小梁) 0.3 m * (0.5 - 0.12) m * (20.0 - 0.5 * 4) m / 排 * 3 排 + (大梁) 0.35 m * (0.6 - 0.12) m * (20.0 - 4 * 0.5) m / 排 * 4 排 + (內柱) (0.55 * 0.55 * 5) m^3 / 支 * 4 支 + (外柱) (0.5 * 0.5 * 5) m^3 / 支 * 8 支 + 角隅柱 (0.4 * 0.4 * 5) m^3 / 支 * 4 支 + (牆) (0.35 * 5 * 6) m^3 / 面 * 12 面 + (底版) 0.4 m * 20 m * 20 m + (柱頭版) 0.1 m * (1.2 m * 1.2 m * 4 + 1 * 1 * 12) 個 + (柱冠) ((0.55 + 1.10) m / 2)^2 * 0.35 m * 4 個 + ((0.35 + 0.7) m / 2)^2 * 0.35 m * 12 個) + (水) 1,544 T + (活載重) 0.5 * 0.3 T/m^2 * 20 m * 20 m$

- = 2,506 T，以 2,510 T 計。
9. 水平震力 $P=K_{h1} * W=0.25 * 2,510 = 628T$ 。
10. 水平剪力 Q_C ：內柱之 $Q_C = 15.77T$ ； \perp 形外柱之 $Q_C = 26.80 T$ ；T 形外柱之 $Q_C = 11.41 T$ ；角柱之 $Q_C = 8.42 T$ ；牆之 $Q_w = 31.54 T$ 。
11. 牆之剪斷力對外柱所產生之軸力 $P_C=Q_w * H/L=26.28T$ ，地震時牆所受之橫力，時左時右(詳如圖 14 所示)，故其所產生之軸力忽為壓力；忽為張力，結果必增加柱之受力(絕不可正負相抵)。
12. 由水平力所產生之總力矩 $\Sigma M = h * \Sigma Q = 3,140 T\cdot m$ 。水平力導致柱承受之力矩為 $M_{內柱} = \Sigma M * D_C / \Sigma D = 78.84 T\cdot m$ 。T 形 $M_{外柱} = 133.98 T\cdot m$ 。 \perp 形 $M_{外柱} = 57.07 T\cdot m$ 。 $M_{角偶柱} = 42.08 T\cdot m$ 。牆 = $157.68 T\cdot m$ ，每公尺之力矩 = $26.28 T\cdot m/m$ 。
13. 各柱之柱腳及柱頭之力矩分別為 $M * y$ 及 $M * (1-y)$ 。剛架只有一層時， $y=y_0$ ，而 y_0 可由該柱之 \bar{k} 值從書 2 第 74 頁之表 4 • 3 查得，當 $\bar{k}=1.0 \sim 5.0$ 時， y_0 均等於 0.55。
14. (1) 內柱腳之 $M = 43.36T\cdot m$ ；柱頭 $M = 35.48T\cdot m$ 。(2) 外柱腳(取 T 形與 \perp 形較大者)之 $M = 73.69T\cdot m$ ；柱頭之 $M = 60.29T\cdot m$ ；(4) 角偶柱腳之 $M = 23.14T\cdot m$ ；柱頭之 $M = 18.94T\cdot m$ 。
15. 梁端之力矩：由集在一節點之($M_{柱頭} + M_{柱腳}$) * 該梁之剛比 / 上下左右梁剛比之和。
16. 內梁前後左右端之 $M = 17.74 T\cdot m$ 。T 形外梁左右端之 $M = 30.15 T\cdot m$ 。角偶柱上左右梁之 $M = 18.94 T\cdot m$ 。
17. X、Y 向外剛架中央正彎曲力矩 M_0 ：(1) 外梁 = $5.61 T\cdot m$ ；(2) 內梁 = $0.0 T\cdot m$ 。
18. X、Y 向內剛架中央正彎曲力矩 M_0 ：(1)

- 外梁 = $21.28T\cdot m$ ；(2) 內梁 = $0.0 T\cdot m$ 。
19. X 向外剛架梁之剪斷力：(1) 外梁左右端 = $7.98T$ 。(2) 內梁左右端 = $5.91T$ 。
20. Y 向內剛架：(1) 外梁左右端 = $7.98T$ 。(2) 外梁左右端 = $10.05T$ 。
21. Y 向外剛架：(1) 外梁左右端 = $9.04T$ 。(2) 內梁左右端 = $6.03T$ 。
22. 柱之軸力 = 梁左右端剪斷力之代數和。
23. Y 向外剛架柱之軸力：(1) 角偶柱 = $0 + 8.53 = 8.53T$ ；(2) 外柱 = $8.53 + 6.03 = 14.56T$ 。(2) Y 向內剛架：(1) 外柱 = $(0 + 8.53)T = 8.53T$ 。(2) 內柱 = $(8.53 + 6.03)T = 14.56T$ 。X、Y 向外剛架：(1) 角偶柱 = $0 + 9.04 = 9.04T$ ；(2) 內柱 = $9.04 + 6.03 = 15.07T$ 。

九、大梁之應力與設計

1. 大梁之長/短期力矩整合如表 3。由表 3 可知外梁端點及中央之短期力矩 > 長期力矩 / 3，故均應採用短期應力及短期容許應力。

表 3 Y 向內跨大梁力矩整合表

長/短期力矩(T-m)		左端	中央	右端
長期	垂直荷重	26.75	13.04	26.75
短期	地震力	18.98	5.61	30.15
	合計	45.73	18.65	56.90

註：內梁之應力與上表之左端與右端相反。

2. T 形梁斷面所需拉力鋼筋之計算：梁右端之短期力矩 = $30.15 >$ 短期力矩 $26.75/3 = 8.91$ ，故由短期力矩控制。依短期應力 $f_s/n/f_c' = 1,880 / 9/147$ 由公式計算 $K=26.18$ ，另以 $b/d=120/55 = 2.18$ ，由「鋼筋混凝土設計手冊工作應力法」^[4]之表 4 查得 $F=3.63$ (該表所列 b 值之上限為 120)。 $KF= 26.18 * 3.63 = 95.03T\cdot m > 56.90T\cdot m$

(大梁所受之最大力矩)，表示混凝土之抵抗彎矩大於作用彎矩，故不需受壓鋼筋。

3. 若混凝土之抵抗彎矩小於作用彎矩，則需受壓鋼筋。假設其力矩差為 ΔM 。 $a_c = \Delta M / ad$ 。
4. 拉力鋼筋 $a_t = M / ad = 47.5 \text{ cm}^2$ 。採用 5-25 mm ϕ +4-29 mm ϕ ， $A_s = 50.99 \text{ cm}^2$ 。(梁之兩端採用托肩，高 100cm)。
5. 其他梁左右端及中央所需之鋼筋量，可照上述方法求出。肋筋之間距可由 $a_t * jd / Q$ 求得或由其 Q / jd 之值從書 2 之圖 8 • 14 查得。大梁之配筋、剪應力與握裹應力之核算，比照小梁之計算方法辦理。

十、柱之應力及設計

(一)柱之荷重

1. 柱上部之荷重($0.528 \text{ T/m}^2 * \text{負擔面積}$)。牆上牆上大梁自重 = 2.42T。內柱之自重 = 3.63T。外柱 = 3T 及角偶柱 = 2.43T。
2. 外柱之荷重： $0.528 \text{ T/m}^2 * 6\text{m} * 3\text{m} + 2.42\text{T} * 1.5 \text{ 支} + 3\text{T} = 16.13 \text{ T}$ 。內柱之荷重 = $0.528\text{T/m}^2 * 6\text{m} * 6 \text{ m} + 2.42\text{T} * 2 \text{ 支} + 3.63 \text{ T} = 27.48\text{T}$ 。角偶柱上部之荷重 = $0.528\text{T/m}^2 * 3\text{m} * 3\text{m} + 2.42\text{T} * 1 \text{ 支} + 2.43\text{T} = 9.60\text{T}$ 。

表 4 Y 向柱之長短期應力整合表

Y 向之長短期應力		角柱	內柱	外柱	
軸力 P_Y (T)	長期	荷重	9.60	27.48	16.13
	短期 (地震)	力矩	8.18	13.89	14.09
		因牆	26.28	---	26.28
	合計		44.06	40.37	56.50
力矩 M_Y (T-m)	長期	荷重	10.42	26.75	16.18
	短期	地震	18.98	35.48	60.29
	合計		29.40	62.23	76.47
力矩 M_x (T-m)	長期	荷重	36.15	36.15	33.07
	短期	地震	18.98	35.48	25.68
	合計		55.13	71.63	58.75

3. 柱應力之整合：內、外及角偶柱之長期及短期應力(柱頭，柱腳 M 中採用較大者)，詳如表 4。

(二)柱斷面配筋之決定

1. 角柱之短期軸向力 $52.45\text{T} > \text{長期軸向力 } 9.6/3 = 3.2 \text{ T}$ ，故採用短期應力及短期容許應力加以設計。其他內柱及外柱均全。
2. 將表 4 所列角偶柱之短期應力、柱之尺寸、 f_c' 、 f_s' 等資料，分別輸入「雙軸彎曲矩形柱校核程式---程式使用手冊」^[6]，但該程式所採用之 f_c' 有 210、280 及 350 kgf/cm^2 ，沒有本例所欲採用短期應力 326.7 kgf/cm^2 (長期應力 245 kgf/cm^2 之 1.33 倍)，若採用 $f_c' = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 。經電腦程式計算結果，得知其所需之鋼筋量 = 181.26cm^2 ($p_t = 5.9921\%$)，超過鋼筋比之上限，故改採用 350 kgf/cm^2 ，並將柱之四周加上環氧樹脂(Epoxy)塗裝，以減小保護層(一邊少 1 公分)。結果其所需之鋼筋量減為 170.26 cm^2 ，(由載重控制)採用 18-36 mm ϕ ， $A_s = 181.26\text{cm}^2$ 。其餘之內、外柱均可比照上述方式辦理，若其斷面不足需求，則須放大後從剛架之基本資料重新計算。

十一、池牆之設計

(一)牆身之應力(池牆承受之力矩圖如圖 7)：

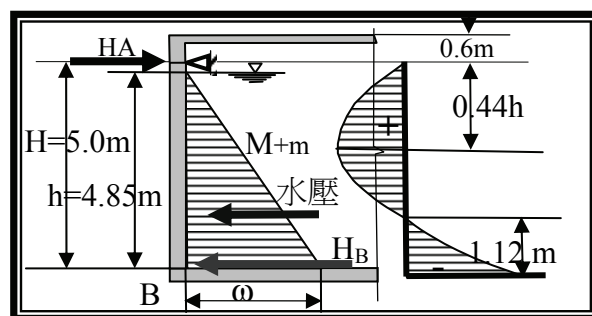


圖 7 牆身受力及其力矩示意圖

1. 牆頂交接：牆腳固定之水池建於地下時，其池牆之設計須同時考慮池內之水壓力及池外土壓或地下水及土壓之聯合壓力。
2. 池牆受水壓力：(1) $P_A = \omega \cdot h^2 / 10 = 2.35 \text{ T/m}$ ；(2) $P_B = 4 \cdot \omega \cdot h^2 / 10 = 9.41 \text{ T/m}$ 。(3) $M_{+\max} = 0.03 \cdot \omega \cdot h^3 = 3.42 \text{ T-m/m}$ 。(4) $M_{-\max} = -\omega \cdot h^3 / 15 = -7.61 \text{ T-m}$ 。
3. 地震時因池水產生之應力：(1) $H_A = 7/45 \cdot a/g \cdot \omega \cdot h^2 = 0.37 \text{ T/m}$ ；(2) $H_B = 77/180 \cdot a/g \cdot \omega \cdot h^2 = 1.01 \text{ T/m}$ 。(3) $M_{+\max} = -0.039 \cdot a/g \cdot \omega \cdot h^3 = +0.44 \text{ T-m}$ 。(4) $M_{-\max} = -0.078 \cdot a/g \cdot \omega \cdot h^3 = -0.89 \text{ T-m}$ 。
4. 地震時因牆身產生之應力：(1) $H_A = 3/8 \cdot a/g \cdot W_c = 0.16 \text{ T/m}$ 。(2) $H_B = 5/8 \cdot a/g \cdot W_c \cdot H^2 = 0.26 \text{ T-m}$ 。(3) $M_{\max} = 9/128 \cdot a/g \cdot W_c \cdot H = 0.74 \text{ T-m}$ 。
5. 池水及牆身因地震產生之力矩： $M = -(0.89 + 0.74) \text{ T-m/m} = -1.61 \text{ T-m/m} > -2.52 \text{ T-m/m}$
6. 因整個水池受地震水平力所產生之力矩 $M_e = -39.95 \text{ T-m/m} > -2.52 \text{ T-m/m}$ ，由整個水池受地震產生之力矩控制。
7. 池牆長度大於池深之 3 倍者，池牆本身之水平因素對其承受水壓幾乎無什助益。故應特別考慮牆角水平筋，牆角之水平負力矩 $M = 0.07 \cdot 1 \text{ T/m}^3 \cdot 4.85 \text{ m}^2 = 1.65 \text{ T-m/m}$ 。
 $A_s = 1.65 / 0.01261 / 22.5 = 5.82 \text{ cm}^2$ 。
8. 由於牆底之力矩與底版會產生誘發力矩。故須先計算底版應力，再做進一步之計算。

十二、底版之設計

(一)設計學理之依據

1. 近年來由於池牆與池底之接縫經常發生漏水現象，因此台水公司規定池底必須採用

筏式基礎。為此池底端得假設為固定端，同時應考慮池牆底端傳來之版邊力矩。此類基礎之設計一般都採用類似連續平版 (flat slab analogy) 設計法。它可視為一種逆轉 (continuous flat slab) 的平版，其版上承受構造物之支柱及牆壁；並由底部之均佈地基反力所承擔，將柱視為支撐；均佈的地基反力視為荷重。但這種方法只適用於各支柱之間距與荷重近乎相等，荷重中心與基腳重心相重合。

2. 這種平版分為：無柱冠無柱頭版、有柱冠無柱頭版及有柱冠有柱頭版等三種。一般均採用有柱冠有柱頭版。本例之柱冠採上底為柱寬；下底為柱寬之 2 倍，高度均為 50cm。內柱及外柱、角隅柱之柱頭版分別為 1.2m*1.2m 及 1.0m*1.0m。

(二)基本應力

1. 底版之彎矩 M_0 分佈係數，可由鋼筋混凝土設計規範或由「鋼筋混凝土計算法實例」^[7]之表 3 • 11b 查得。
2. 底版淨反力 $p' = (\text{梁版柱之靜載重及活載重}) = 339.1 \text{ T} + (\text{牆重}) 2.4 \text{ T/m}^3 \cdot 0.35 \text{ m} \cdot (20 - 4 \cdot 0.5) \text{ m} \cdot 5 \text{ m} / (20 \text{ m} \cdot 20 \text{ m}) = 1.04 \text{ T/m}^2$ 。
3. 依照規定有柱頭也有柱冠時，其 C 值取同方向之柱寬 0.55m。 $F = 1.15 - C/l = 1.058$ 。隔間內底版總荷重 $W = 37.44 \text{ T}$ 。
4. $M_0 = 0.09 \cdot W \cdot l \cdot F \cdot (1 - 2C/3l)^2 = 0.09 \cdot 37.44 \text{ T} \cdot 6 \text{ m} \cdot 1.06 \cdot (1 - 2 \cdot 0.55/3 \cdot 6)^2 = 18.86 \text{ T-m}$ 。
5. 平版格間之力矩係數由書 7 之第 129 頁查得 (詳如表 5)。

(三)外格間之應力

1. 靠牆半柱帶外格間：(1) 正力矩 $= 18 \cdot M_0 =$

- 3.395T-m。(2)負力矩=-3%*M₀= -0.57T-m。
 2. 外格間內側之負力矩 =-72%*M₀ =-17.58T-m。其餘依此類推。

表 5 平版格間之力矩係數表

帶別	外隔間			內格間	
	外負	正	內負	正	負
柱帶	-6	36	-72	20	-50
中帶	-6	26	-22*	15	-15*
靠牆半柱帶	-3	18	-36	10	-25

註：單位：%，表中有「*」記號者，其中帶連續通過支承時，該處之負力矩須增加 30%。

- 3.牆與底版之誘發力矩：(1)池牆之相對剛性 $H^2/t = 10.42$ ；(2)底版每一格間(中間無支承)之剛性係數 =0.104，其相對剛性 =0.104*t³/l=11.09。(3)牆之分配係數 =10.42/((10.42+ 11.09)=0.484；底版之分配係數 = 11.09/(10.42 +11.09)=0.516。
 4.池牆與底版之原有力矩經重新分配後，牆底之力矩 =-13.54T-m；底版之力矩 =13.54T-m (如表 6)。柱腳與底版之力矩亦須照此原則重新分配。

表 6 池牆與底版之力矩分配表

項目	池牆	底版
分配係數	0.484	0.516
固定端力矩	-26.78	-0.57
誘發力矩	13.24	14.11
最終力矩	-13.54	13.54

- 5.由以上之分析，底版靠牆半柱帶外隔間之力矩 =13.54 T-m/m，其所需之鋼筋量 =34.26 cm²，採用 25 mm ϕ @14 cm。其餘恕不贅述。

- 6.內外隔間柱帶或中間帶之最小鋼筋量 $As_{min} = 0.002 * 100cm * 40cm / 2 = 4.0 \text{ cm}^2$ 。
 7.均可比照小梁之計算方式辦理。但鋼筋之排列其上下層與小梁顛倒，負鋼筋在下層；正鋼筋在上層。

(四)核算剪力及握裹力

- 1.有柱頭版之最小版厚： $t = 6m, C = 0.2 * t = 1.2m$
 (1) $t \geq l/36 = 16.7cm$ 。(2) $t = 0.106 * t * (1 - 2 * C/3t) * (p' / f_c' * 141)^{0.5} + 2.54 = 16.03 \text{ cm}$ 。(3) $d = (0.56 * M_0 / K_b * 3/4)^{0.5} = 22.64 \text{ cm} < 40 \text{ cm}$ ，OK。
 2. $\bar{V} = 1.04 \text{ T/m}^2 * (6.55 \text{ m}^2 - 1.2 \text{ m}^2) = 43.12 \text{ T}$ 。
 $v = \bar{V} / jbd = 6.41 \text{ kg/cm}^2 < 7.89 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

十三、牆底之底版設計

- 1.底版受力情形詳如圖 8。

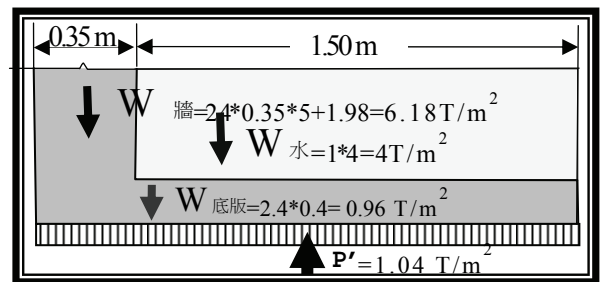


圖 8 底版受力情形示意圖

- 2.空池時之應力： $M = p' l^2 / 2 = 3.15 \text{ T-m}$ ； $\bar{V} = p' l = 3.04$
 3.滿池時之應力： $M = p' l^2 / 2 = 5.54 \text{ T-m}$ 。 $\bar{V} = 6.18 \text{ T/m} + 0.96 \text{ T/m}^2 * 1.85 \text{ m} + 4 \text{ T/m}^2 * 1.5 \text{ m} - 1.84 \text{ T/m}^2 * 1.85 \text{ m} = 10.65 \text{ T}$ 。
 4.底版最小厚度(長期應力)： $t \geq (M / bK * 3/4)^{0.5} = 19.40 \text{ cm} < 40 \text{ cm}$ ，OK。
 5. $v = \bar{V} / bjd = 3.8 \text{ kg/cm}^2 < 7.89 \text{ kg/cm}^2$ ，(OK)。
 6.底版全部載重 $P = 3.0 \text{ T/m}^2 < 10.0 \text{ T/cm}^2$ ，(OK)。
 7.底版之反力 P 若大於基地之土壤容許承載

力，除可加大底版之面積外，也可加打基樁，其方法作者曾於本刊 31 卷第 1 期高牆拱頂圓形水池設計之研討中詳述過，另外頂版受地震水平力之影響，以及固定底版抵抗力矩暨牆基滑動力之演算，書 1 已詳予分析，因限於篇幅，恕不予贅述。

十四、池牆之設計

1. 由以上之分析，得知牆底之力矩 $= -13.54T \cdot m > 5.45 T \cdot m / 3 = 1.82 T \cdot m$ ，故由地震力控制，此時所需之鋼筋量 $= Me / ad * 3/4$ 。
2. 垂直正筋 $As = 3.42T \cdot m / m / 0.0126 / 35cm * 3/4 = 7.40cm^2$ 。採用 16mm $\phi @ 25cm$ (O.F.)。
3. 垂直負筋 $As = 13.54 T \cdot m / m / 0.0122 / (35-7.5) cm * 3/4 = 30.37 cm^2$ 。採用 25 mm $\phi @ 16.0 m$ (I.F.)。
4. $As_{min} = 0.002 * 100cm * (35cm / 2) = 3.5cm^2$ 。
5. 校核牆厚： $M_{max} = (7.61 + 13.28) = 20.89 T \cdot m / m$ ， $d_{min} = \sqrt{M/K} = (20.89 * 1000 / 26.18)^{0.5} = 28.25 cm$ 。28.25 + 7.5 = 35.75 cm > 35 cm，故池牆底厚度自池底 1.0m 以下需加大為 36 cm，其所增加之水平力 $= 0.25 * (2.4-1) T / m^3 * 1.0 m * 0.01 m * 6 m * 12 = 0.25T$ ，其影響甚小可略而不計。
6. 牆底因地震所產生之水平力(與牆平行) $\bar{V} = 26.28T > (1.01 + 0.263)T / m / 3 = 0.424 T / m$ ，故由整體水池因地震產生之剪力控制。
7. $v = \bar{V} / jbd = 26.28T / m * 1000kg / T / 600cm / (36-7.5)cm = 1.54kg / cm^2 < 8.98kg / cm^2$ ，OK。
8. 牆底因整體水池地震所產生之水平力(與牆垂直) $= 26.28T / m >$ 因水壓力所產生之 $P_{max} = 9.41T / m / 3 = 3.14 T / m$ ，故由地震所產生之水平力控制。牆之最小厚度 $d_{min} =$

$V / jvb = 15.77cm$ ， $t = (15.77 + 7.5)cm = 23.27cm < 40cm$ ，牆頂至牆腳水平方向須加腰筋則 OK；否則池底需全面加上環氧樹脂(Epoxy)塗裝，以減小保護層(減少 1.5 公分)， $d_{min} = 15.8cm$ ， $t = (15.8 + 6)cm = 21.8cm < 40 cm$ ，OK。

十五、結論與建議

1. 其實這類水池之設計係依據建築結構設計之學理，其主要的步驟須先求出梁柱之慣性力矩 I 值，而其最精確的算法，必須考慮梁柱皆受樓版或壁體之協力，依協力後之斷面(如圖 4 所示)算出 ϕ_0 值，再進而算出 $I = \phi_0 * I_0$ ；但若都不考慮梁柱受到樓版或壁體之協力，直接以 $I = I_0$ 計算之，其結果雖略有誤差，惟仍在容許範圍內，因其算法非常簡單故在剛架應力計算上多被採用。
2. 加大牆之水平力分擔係數 D_c 會增加其所承擔之水平力；相對的會減少柱之負擔，兩者互為消長。由於池牆與支柱之體積在水池工程中約為 5 比 1，為了節省工程費不一加大池牆的負擔，亦即其 D_c 值不宜太大。
3. 由於大樓建築之牆壁都在 15cm 左右，但矩形水池只要其長度 \geq 水深 3 倍，其池牆厚度就不得小於 30cm。而外柱加上池牆後，若考慮池牆之協力會使外柱之 ϕ_0 值大增，且其值無法直接從一般建築結構設計書上之圖表查得(t/D 值超出圖表之極限)，因此本文刻意將其協力之有效梁寬 B，從 $2t+b$ 改為 $t+b$ 。
4. 各結構技師事務所均已備有以 EXCEL 計算類似矩形平頂大水池，以梁版柱方式設計

方法之軟體，甚至連所需要之建築材料都能不費吹毛之力一氣呵成。但只知其然卻不其所以然，只能成為一名工匠；不能成為工程師。

5. 不久前曾有一位營造廠的監工人員當面告訴作者說：「數年前擔任某營造廠的監工，在施打樓版混凝土時，業主(政府機關)主辦人員蒞場巡視，當他發現鋼筋排列之間距有一處大於設計間距 1 公分(其鄰側當然小 1 公分)，當下即勒令營造廠的監工將已施打的混凝土全部拆掉重來」。他說：「或許甲方也有刁難的心態，最後因雙方協調不成，只好真的全部打掉」，這是因為雙方都只具備工匠的智能，才會做出如此荒唐的決定，聽了實在令人惋惜。
6. 建議台水公司員工訓練所就本文之計算方法開班授課，以培育更多的土木工程師。
7. 塗上防水劑後，混凝土之保護層究竟可減少多少公分，尚無資料可資遵循，建議專家學者就此進行研究與試驗，若證實塗上防水劑後，只要混凝土之保護層可減少 1 公分以上，則對所有混凝土構造物降低鋼筋或混凝土之使用量，必將是一大福音。

參考文獻

1. 水池設計(一)—矩形鋼筋混凝土水池，陳榮藏編著，台灣自來水公司員工訓練所編印，民國 74 年 12 月。
2. 鋼筋混凝土建築結構實用計算法，鄭茂川編著，基隆書店印行，民國 57 年 9 月。
3. 結構力學設計手冊，清田清司、高須治男原著，江新煌及蔡振邦編譯，P171，民國 67 年，7 月。
4. 自來水設施耐震設計指南及解說 P1-28，中華民國自來水協會，2002 年。

5. 鋼筋混凝土設備手冊工作應力法，混凝土工程研究會報告(四)，P105，中國土木工程學會混凝土工程研究會，1969 年。
6. 雙軸彎曲矩形柱校核程式，混凝土工程設計規範之應用(土木 404-94) PART II 設計圖表、程式使用手冊，中國土木工程學會混凝土工程研究會，王承順、林聰悟，2011 年 6 月修正。其網址為：seminar.sinotech.com.tw/RC_download/download/Biaxial.pdf
7. 鋼筋混凝土計算法實例，蘇棋福編著，有志出版社印行，民國 64 年 4 月。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師

專長：自來水工程

31 卷第 1 期勘誤聲明：

「無預力鋼筋混凝土高牆拱頂圓形水池設計探討」乙篇，於 P63 頁最後一行：0.104(中央支柱)修正為 0.104(中央無支柱)。

自來水管線工程改良式擋土支撐設計探討

文/張正岳

摘要

自來水管線工程於市區道路施工，路證管制時間多限制於交通離峰時間（9:30~16:00）施工，惟扣除交維佈設、路面切割及 CLSM 凝固等時間，實際管溝開挖、佈管、埋設時間約只剩 4 小時。若遇埋設管徑 $\Phi 300\text{mm}$ 以上管線工程（管溝開挖深度大於一·五公尺），依「臺北市政府所屬各機關公共工程施工安全衛生須知」規定需設置擋土支撐；再扣除設置擋土支撐時間，所剩無幾，進而影響工程進度。

本研究因地制宜，所設計之擋土支撐，因擋板免貫入溝底不僅縮短擋土支撐架設時間；針對支撐端改良為鉸接的設置，於接頭處理或鞍帶裝設接水時提供無障礙的作業空間，有效地提升工作效率。

關鍵字：自來水管網改善工程、擋土支撐、鉸接、可調鋼管支柱

一、前言

本文主要目的為設計製作一種適合自來水管線工程的改良式臨時擋土支撐系統。檢視目前管線工程，因傳統擋土支撐受限於狹窄管溝及影響施工人員操作空間，致現場查核、督導時發現偶有未設擋土支撐，或不合規定或缺少符合安全性措施。鑑此，透過創意開發，改良臨時擋土支撐系統，因所選用之可調鋼管支柱(由底管、接管、調整螺紋等組成)作為支撐，為營建、土木工程常用材料取得方便，且符合 CNS 國家標準，性能穩定、構造尺度規定明確，主辦機關、監

造單位、廠商三方易達成三贏，所提供相對應之容許載重更可提供作為擋土支撐分析、檢核的依據，有效提升擋土措施機能，為進行中小型管徑($< \Phi 400\text{mm}$)管線工程時，或引用或作為編撰擋土支撐計畫的參考。

二、改良式擋土支撐規劃

改良式擋土支撐，以 CNS5644 可調鋼管支柱為主，針對支撐端改良為鉸接的設置(如圖 1、2 所示)，於接頭處理或鞍帶裝設接水時提供無障礙的作業空間，藉以提升工作效率。

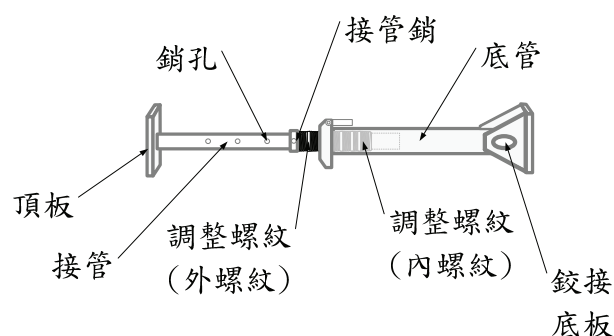


圖 1 改良式可調鋼管支撐示意圖



圖 2 改良式可調鋼管支撐現場組裝

三、架設方式與步驟

(一)擋板架設:

擋板以杉木或柳安為材(或其他等值強度材質)，長度 1.8m、寬度 30cmX5(板底上 60cm、140cm 以萬用角鋼組合)、厚度 3cm，依開挖作業安放置管溝兩側。(如圖 3(1)所示)

(二)可調鋼管支撐架設:

擋板底上 60cm、140cm 配置可調鋼管支撐，間距 2m。(如圖 3(2)所示)

(三)鉸接端處懸起鋼管支撐:

於接頭處理或鞍帶裝設接水作業時，由接管端向鉸接端處懸起鋼管支撐，可保持 4m 長的無障礙空間。(如圖 4(3)、圖 5 所示)

(四)收回擋板:

管線組裝完成，隨回填作業懸起鋼管支撐，收回擋板。(如圖 4(4)所示)

四、改良式擋土支撐安全檢核

本提案收集臺北盆地地質資料，作為擋土支撐所受土壓力的依據。另檢核擋土板、支撐架相關容許應力及變形以確保擋土支撐系統的穩定安全。

(一)擋板安全檢核:

依 Terzaghi-Peck 視土壓力圖(如圖 6)，計算擋土板所承受視土壓力 $p=0.65 * \gamma * H * \tan^2(45-\Phi/2)=0.71t/m^2$ 。

其中：

$D=1.63\text{ M}$, $L1=0.23\text{ M}$

$L2=0.80\text{ M}$, $L3=0.60\text{ M}$

計算擋板剪力圖、彎矩圖如圖 7、8 所示。

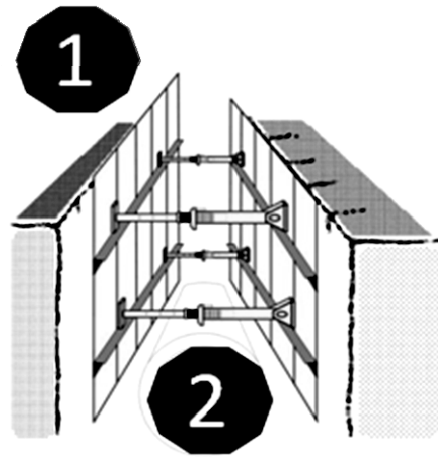


圖 3 架設方式與步驟(1)、(2)

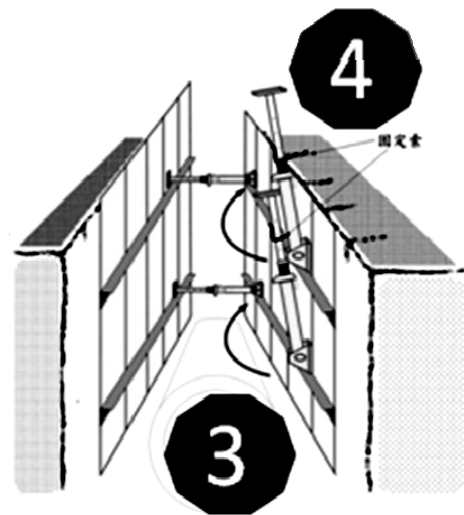


圖 4 架設方式與步驟(3)、(4)



圖 5 鉸接端處懸起鋼管支撐

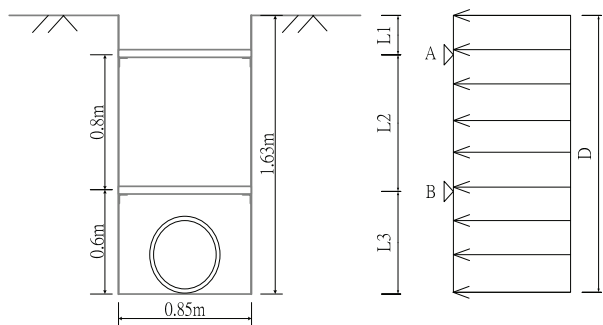


圖 6 Terzaghi-Peck 視土壓力圖計算

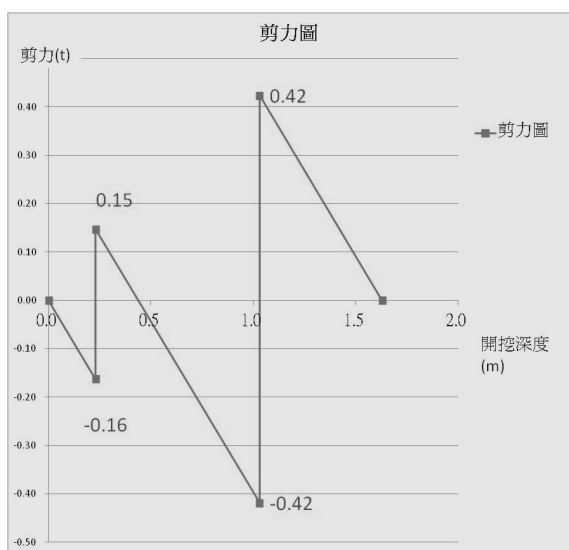


圖 7 擋板剪力分析圖

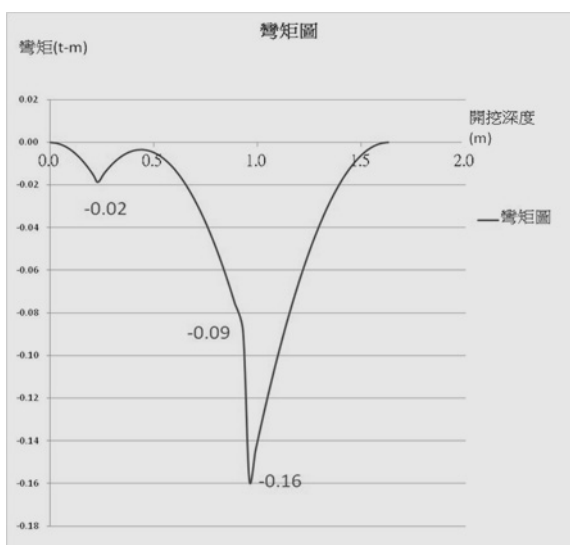


圖 8 擋板彎矩分析圖

擋板以杉木或柳安為材(或其他等值強度材質)：

擋板容許彎曲應力強度 $F_b = 2400 \text{ t/m}^2$ ，
 擋板容許剪應力強度 $F_v = 120 \text{ t/m}^2$ ，取板厚 =
 0.03 m，木板 E 值 = 700000 t/m^2 ，計算擋板 1m
 寬其斷面慣性矩 $I = 0.000002250 \text{ m}^4$ ，擋板 1m
 寬其斷面模數 $S = 0.000150000 \text{ m}^3$ 。

分析擋板彎曲應力：

$$f_b = -1056.91 \text{ t/m}^2 < F_b, \text{OK}$$

擋板剪應力：

$$f_v = 20.00 \text{ t/m}^2 < F_v, \text{OK}$$

擋板變形分析：

$$\Delta = 0.23918 \text{ cm} < 0.3 \text{ cm}, \text{OK}$$

(二)可調鋼管支柱安全檢核:

可調鋼管支柱抗壓強度 $F_{adb} = 3.8t$ ，取支
 撐間距 = 4m，採用螺栓口徑 = 2.2cm，鉸接螺
 栓抗剪強度 $F_{adv} = 3.36 \text{ t/cm}^2$ (A325) 鉸接螺栓
 剪應力 $f_{adv} = 0.44 \text{ t/cm}^2 \leq 0.75 F_{adv}, \text{OK}$
 使用 A36 ($F_y = 2.5, F_u = 4.1; \text{t/cm}^2$)，鉸接螺栓孔承
 板厚度 3mm。

鉸接螺栓孔承壓強度 $F_{adp} = 11.47t$ 。

鉸接螺栓孔承壓強度 $f_{adp} = 3.37t \leq F_{adp}, \text{OK}$ 。

五、改善成果及效益

茲因擋板免貫入溝底，支撐架直接放置
 角鋼及支撐端鉸接的設置，並可依工進懸起
 鋼管支撐，保持 4m 長的無障礙空間等提升
 工作效率的考量，估計較傳統支撐縮短架設
 時間 1~2 工時/工作天；若依每年埋設 Φ
 300mm ~ Φ 400mm 口徑管線工程長度約
 10,000 公尺分析，每年約節省 332~664 工時，
 以木條工、生產體力工每工時合計 480 元分
 析，節省工程經費約 159,360 元~318,720 元。

六、結論與建議

式擋土支撐系統，適用於狹窄管溝佈設，並可提供工作人員於接頭或分水栓處理時之無障礙空間。若遇擋板材質、厚度不同，透過安全檢核分析，可適時調整支撐間距，確保施工人員安全。

參考文獻

- 1.行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所(2000)，「管溝開挖」，IOSH 安全資料表，類號：SDS-P-017，總號：0065。
- 2.陳正平(2007)，「高強度螺栓鎖固之原理及應用介紹」，中華民國鋼結構協會，技術資訊。
- 3.內政部營建署(2008)，「木構造建築物設計及施工技術規範」。
- 4.內政部營建署，「建築物基礎構造設計規範」，第八章 基礎開挖。
- 5.內政部營建署，「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」。

作者簡介

張正岳先生

現職：臺北自來水事業處技術科幫工程司

專長：自來水工程規劃、設計、施工及管考、研發



本刊 101 年預定「每期專題」

31 卷第 4 期：能源管理

(101 年 11 月出刊)

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

自來水品質安全與風險防控

文/林正隆、吳美惠、施茂林

一、前言

民國 100 年爆出食物用起雲劑中違法添加塑化劑 DEHP、DBP 等環境荷爾蒙，進而引爆食品業大災難，且全民受害，此事件不但造成廣大消費者人心惶惶，也讓社會大眾對於產業製造與消費者風險更加的重視。

水佔體重的 60~70%，是構成生命的三要素之一，亦是維持生命所不可缺少的物質，自來水更為民眾日常生活所不可獲缺的必需品，在國內幾乎都以自來水做為飲用水。因自來水產業扮演著環境衛生與經濟發展的重要角色，自來水的供水品質，更與民眾健康息息相關，故各國對於自來水產業均訂有嚴格的法令及標準加以規範，在國內規範自來水產業的法令主要為「自來水法」及「飲用水管理條例」二大類，其子法有針對水源方面的飲用水水源水質標準、淨水方面亦有設備單元規定及淨水用藥規範；供水方面則有飲用水水質標準進行把關，從取水至供水均有嚴格的法令加以管制，以確保自來水產業提供安全無虞的優質自來水供民眾安心飲用。本文即以國內對自來水安全與法律風險識別來加以闡述。

二、自來水產業

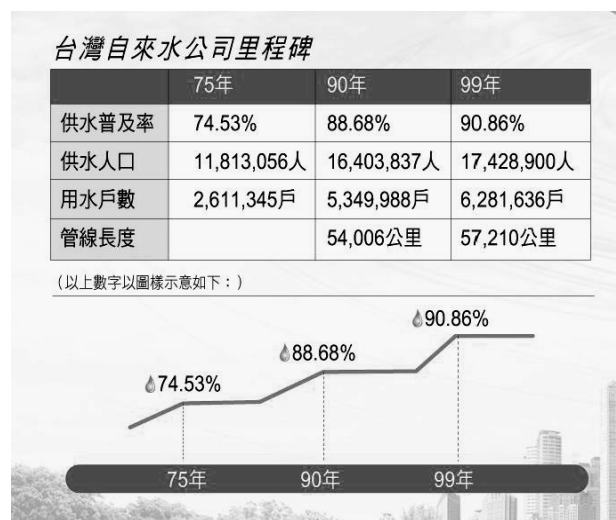
(一)自來水供應系統

國內自來水供應單位大概可分為台灣自來水股份有限公司（簡稱台水公司）、台北自來水事業處（簡稱北水處）、金門縣自來水廠、連江縣自來水廠四個單位，後兩者

僅限於金門及馬祖地區。北水處以翡翠水庫為主，供應台北市及台北縣部分地區，99 年每日配水量約為 241.8 萬 CMD；台水公司為國營事業，99 年平均每日配水量約為 848 萬 CMD，供應國內約有百分之七十八，本文主要以台水公司進行說明。

台水公司成立至今，除了促進供水普及率達 90.86%(99 年)，還建置了 160 個供水系統，以及 21 座自有水庫及 35 座每日五萬噸以上的淨水場，平均每日配水量達 848 萬噸。為國內最大的自來水產業，其規模在國際上也是數一數二^(1,3)，台水公司里程碑如表 1 所示。

表 1 台灣自來水公司里程碑



(摘錄自遠見雜誌，100 年 6 月)

(二)自來水生產流程

自來水由水源地送到家戶需要經過很多流程，然後才能到達消費者家中提供安全又方便的飲用水，自來水的處理程序分為取水、導水、淨水及送水等過程。取水係指自

水源地（河川、湖泊或水庫）利用抽水機或自然重力方式將原水送至（取水口）導水渠道；導水則是將取到的原水經由導水渠道導入淨水場；進入淨水場的原水經過混和、膠凝、沈澱、過濾、消毒等淨水程序，以去除水中的雜質及病菌，淨化的程序後變成自來水，稱為淨水；最後再將自來水以輸水管線配送至用戶處的過程，即為送水。一般淨水場淨水流程為如圖 1。

三、自來水相關法令規定

俗云：「工欲善其事，必先利其器」，規範自來水產業的法令，主要為「自來水法」及「飲用水管理條例」及其相關子法，簡要說明如下：

(一)自來水法

頒訂於民國 55 年，經多次修正，最近

於於 99 年 1 月 27 日修正發布，共計八章 113 條條文，主要針對自來水產業經營及運作進行規範，如自來水事業專營權、工程及設備、營業、自用自來水設備及罰則等，第 1 條即開宗明義地闡示立法目的：「為策進自來水事業之合理發展，加強其營運之有效管理，以供應充裕而合於衛生之用水，改善國民生活環境，促進工商業發達，特制定本法。」，第 10 條則規定自來水事業所供應之自來水水質，應以清澈、無色、無臭、無味、酸鹼度適當，不含有超過容許量之化合物、微生物、礦物質及放射性物質為準⁽¹⁰⁾；此即法令上所稱自來水有無瑕疵之基準，否則涉及品質與安全問題，而有法律責任，因之第十條，亦為自來水從事人員具備法律風險意識之關鍵點。

一般淨水場處理流程 Water Treatment Process

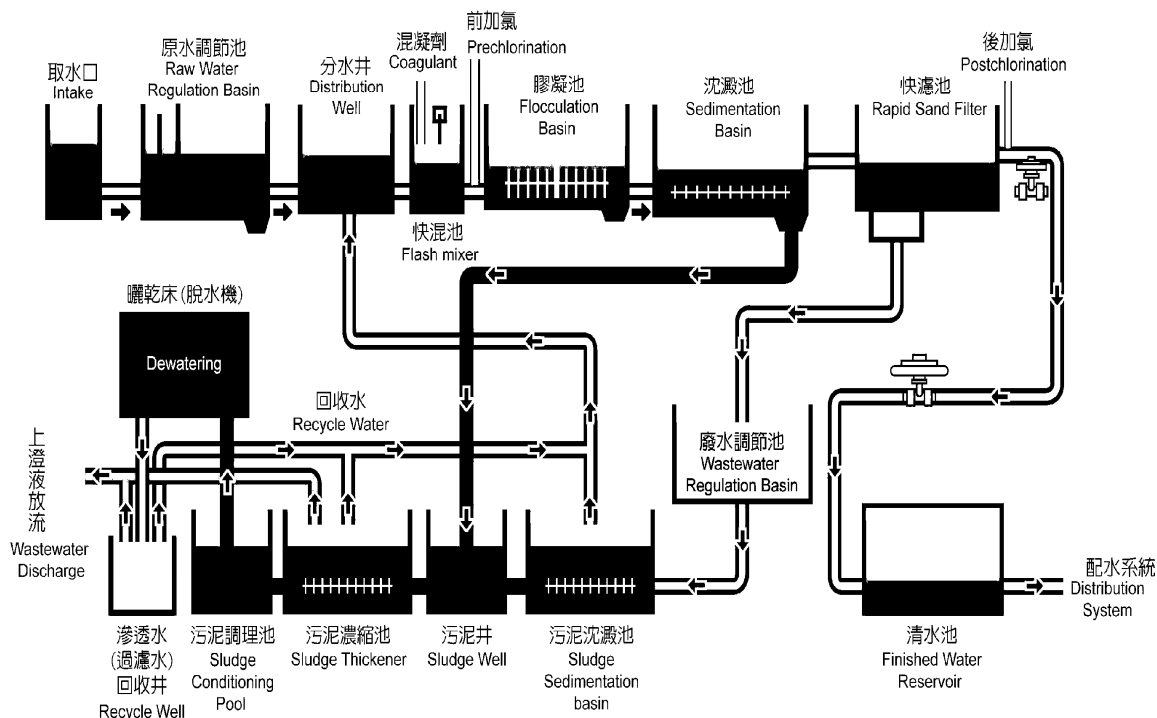


圖 1 一般淨水場處理流程

自來水法第 101 條明定，自來水事業供應之水，不合第十條規定，可處以行政罰鍰，又第 102、103、104 條業規定，自來水事業擅自停業，停止供水對於主管機關限令更換主要設備而不遵從，或違規收費者，亦均得處以罰鍰。

自來水事業需供應水質清潔之自來水，如果負責人、代理人、從業人員明知用水不合上述第十條標準，而仍繼續供水，致引發病患、災患者，可處五年以下徒刑，要特別說明的是應注意、能注意而不注意，而過失供應不合標準之自來水以致引發疾病災患者，可處二年以下徒刑、罰金或拘役（第 101 條 1、2 項），此故意、過失犯罪行為，需發生疾病災害之結果，為結果犯，適用時，應予注意。又自來水事業違反第 32 條、第 62 條規定，停止供水以致發生公共危險或引起災患者，不論故意或過失行為均構成犯罪（第 102 條）。

(二)飲用水管理條例^(5,6)

「飲用水管理條例」環保署在 86 年 5 月 21 日公布施行，對於提昇飲用水的品質，有很大的影響，條例中分別對飲用水水源、設備、處理藥劑以及飲用水水質，訂定管理事項，並且督導各項相關規定的執行⁽¹⁴⁾，主要措施如下：

(1)劃定飲用水水源水質保護區，加強水源保護

飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之地區，禁止產生污染行為，違者可處新台幣 10 萬元至 100 萬元的罰鍰，並通知禁止該行為，如果不遵行繼續違反，可處以徒刑、拘役，及併科罰金。

(2)飲用水水源水質標準鎮守前鋒

自來水事業單位取用地面水(如河川、湖泊、水庫等)及地下水進入淨水場，在未經淨化處理之前，其水質必須符合「飲用水水源水質標準」，否則不得作為飲用水水源，除非提出改善計畫書，找尋替代水源、增設處理設備或提昇淨水功能，並經環保署核准後，才可以繼續使用該水源。

(3)飲用水水質標準防守後衛

所謂「飲用水水質標準」係指自來水事業單位將原水淨化處理後供人飲用時所應符合之標準。新頒布的「飲用水水質標準」管制項目已達 59 項，大致分類如表 2。飲用水水質標準除管制影響健康的物質項目外，亦管制影響口感的適飲性物質，希望符合飲用水水質標準的飲用水或自來水，不只是安全，更要口感好。目前公告的飲用水水質標準中，有害物質的容許範圍，是以個人 70 公斤體重，每天飲水二公升，至少在 70 年壽命不會造成健康危害的評估結果。上述對於飲用水之安全與品質，法令規定甚為明確，如飲用水超過標準，不論故意或過失，對於用戶涉有契約不履行問題，故自來水從業人員應有高度法律風險認識⁽²¹⁾。

(4)加強自來水的水質抽驗

每個月環保局均會派員前往自來水配水系統的管線前端、中段及末端，依淨水場的供水人口，選取多個地點作為採樣點。檢驗結果除公布於當地得新聞媒體外，對於水質違反飲用水水質標準者，將處罰供水單位新台幣 6 萬元以上 60 萬元以下罰款，並限期改善，屆期未完成改善者，將按日連續處罰。

表 2 飲用水水質標準分類

1	細菌性標準 2 項：大腸桿菌、總菌落數。
2	物理性標準 3 項：臭度、濁度、色度。
3	化學性標準 52 項，又可細分成以下 3 類：
(1)	影響健康物質 36 項：砷、鉛、硒、鉻、鎘、鋇、鎳、汞、氰鹽、亞硝酸鹽氮、總三鹵甲烷、溴酸鹽、亞氯酸鹽、8 項揮發性有機物及 13 項農藥、戴奧辛。
(2)	可能影響健康物質 5 項：氟鹽、硝酸鹽氮、銀、銻、鉍。
(3)	影響適飲性物質 11 項：鐵、錳、銅、鋅、硫酸鹽、酚類、陰離子界面活性劑、氯鹽、氨氮、總硬度、總溶解固體量。
4	其他物質 2 項：自由有效餘氯、pH 值

(三)其他法令規範

由於自來水涉及用戶飲用水之安全，不能有品質之瑕疵，且自來水雖屬公用事業，但供水與用戶，仍屬買賣性質，此方面涉及民法買賣關係，亦不能忽略消費者保護法之供水責任。又故意或過失，不法傷害他人之權利，亦應負損害賠償責任（民法第 184 條）。另外刑法公共危險、傷害等罪，亦需注意有刑事責任⁽²⁵⁾。

四、自來水產業存在的風險與管控

安全的飲用水的先決條件為良好的水源、完善的淨水處理及健全的輸配水系統及妥善的用水設備，自來水存在的風險與管控可以從幾方面進行討論：

(一)水源的風險與管控

自來水產業的水源主要區分為地面水和地下水兩種，所謂地面水是指河川或水庫水，地下水是指鑿井抽取地層中水層的水，台水公司在選擇水源時都先作過水量與水

源水質的調查，必須符合飲用水管理條例第六條第六項規定：「地面水體及地下水體符合飲用水水源之水質標準者，始得做為飲用水之水源。」^(1,6)。

1.地面水源風險與管控

甲、存在風險：

隨著社會的進步，人為活動漸向河川流域上游擴張，不當之開發活動改變地貌、增加土壤流失率、降低水源涵容能力、並產生廢污水、廢氣及廢棄物，致水源保護地區遭受污染日益嚴重。飲用水水源被污染之案件時有所聞，如 89 年 7 月 13 日發生高屏溪上游之旗山溪遭不肖業者傾倒有害事業廢溶劑事件，91 年 3 月 15 日發生的板新水源區疑遭油污染案件等等，所幸台水公司緊急處理得宜，方能確保供應飲用水安全無虞。

若地面水體因污染較為嚴重，水源水質已不符合飲用水水源水質標準時，依規定將無法當作飲用水的水源，如高雄鳳山淨水場原取自東港溪水源，因東港溪受畜牧業污染嚴重，氨氮超過水源水質標準，故於 83 年暫停供民生用水的水源，只能供應工業用水，而民生用水部分則改取自高屏溪。

地面水存有不潔與受污染之危險，在引用地面水時，應存有危機意識，評量其因之帶來法律責任之風險，對各地水源有充分之瞭解，鑑識其使用之風險，採取法律風險預防措施⁽²⁴⁾。

乙、法律風險管控：

法律風險管控主要針對法律風險，經由評估後，採取法律風險迴避與控管對策。

(1)加強水源保護，除環保單位巡查外，台水公司本身亦加強水源水質巡查工作，並依

飲用水管理例規定，於劃設飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之區域，禁止各種污染水源水質之行為。如發現不法則向環保單位舉發，減少污染水源發生的可能性。⁽²⁾

- (2) 針對取水設施管理、水質變化，細心加以注意，當水源突發水質污染時，嚴密加以巡視或同其他自來水事業或環保機關間周密連絡，以求早期發現，而能迅速採取因應措施。目前台水公司取用地面水體者，均有生物養魚監測，因應水質異常時，得以迅速謀求必要的措施。⁽⁷⁾
- (3) 不符合飲用水水源水質標準之水源，如同前述，如仍提供與客戶含有損害身體健康之飲用水，容易帶來法律責任，本法律風險防範原則，應予停用。

2. 地下水質風險與管控

甲. 存在風險：

地下水水文複雜，影響水質的因素很多，部分地下水源中因人為污染或天然因素含有不同的污染物質，而導致飲用水的風險增高，其相對亦帶來法律風險問題。

- (1) 人為污染方面：農業地區常因化學肥料過量使用，造成地下水井遭硝酸鹽氮污染。硝酸鹽氮在人體內會轉換成亞硝酸鹽氮，繼而和血紅素結合，使血紅素失去正常的攜氧能力，尤其對嬰孩危害性最鉅，會造成嬰兒全身缺氧致膚色呈現藍紫色，俗稱藍嬰症。
- (2) 天然地質因素：國內雲林、嘉義、台南、高雄、屏東及宜蘭等沿海地區，因地質因素井水中含有砷，砷對於民眾健康的影響不會立刻顯現，而累積在體內，逐

漸引發著名的「烏腳病」，讓患者皮膚潰爛壞死，最後不得不截肢。醫學研究亦指出，長期暴露在無機砷中會引發胃癌、腦癌、泌尿道癌等疾病，此一現象早期曾發生在上述地區，然近年來改飲用自來水後已無現象。

乙. 風險管控對策：

- (1) 針對硝酸鹽氮超出水源水質標準的地下水體，如南投、民間部分地下水井，台水公司目前均予以停用，並改由其他地面水源進行供水調配。
- (2) 天然背景中含砷量較高的水井，原則予以停用或封井，供水量不足部分由其他水源供水調配。部分雲嘉沿海地區如麥寮、新興、四湖等地區因無替代水源，故陸續投入大量的人力物力改善淨水場的硬體設備，增設除砷設備、去除原水中的含砷量。另採用「延管工程」，由林內淨水場支援供水，確保符合飲用水水質標準。待 104 年湖山淨水場完工後，即可全面停抽地下水，改由湖山淨水場供給，更可確保水質安全無虞。

3. 環境荷爾蒙污染風險與管控

甲. 存在風險：

環境荷爾蒙即指存在於周遭環境中的微量化學物質，通常經由食物鏈進入體內，形成假性荷爾蒙，傳送假性化學訊號，進而干擾內分泌之原本機制，造成內分泌失調，特別是在生殖機能或引發與荷爾蒙相關之惡性腫瘤方面。對懷孕期胚胎或成長初期影響頗大，易導致雌雄不分，終致絕其子嗣⁽¹⁶⁾。國內主要的環境荷爾蒙，主要為壬基酚 (Nonylphenol, 簡稱 NP) 和雙酚 A (Bisphenol

A, 簡稱 BPA)及最近在國內鬧的沸沸揚揚的鄰苯二甲酸酯 (di-(2-ethyl hexyl) phthalate, 簡稱 DEHP) 等三種環境荷爾蒙。

理論上,這些環境荷爾蒙會在工業用或民生用廢污水處理廠中被分解處理,但由於國內目前之廢污水處理廠不足甚或未經處理直接排放河川,導致河川及水庫污染,因而造成飲用水水源中不安全的風險,如不正視而造成所供自來水品質與安全有問題,將會有民刑事責任,水公司應備具法律風險防控認識。

乙.法律風險防控措施：

目前環保署已將「壬基酚、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、雙酚A」等環境荷爾蒙,列為28項國內飲用水現階段尚未列管的新興污染物候選名單之一,台水公司於97年即委託朝陽科技大學進行「自來水中有機物致突變性調查分析」針對壬基酚、雙酚A進行自來水體調查,亦於99年度針對鳳山、新山、大湳、東興、澄清湖、南化、豐原、板新等8個給水廠委託中環科技公司進行壬基酚檢測,分析結果大部為ND,少部分測得到濃度亦<0.005mg/L⁽¹⁷⁾。另為進一步明瞭環境荷爾蒙對淨水系統的影響,如進行「自來水中環境荷爾蒙調查與研究」,以積極瞭解飲用水中環境荷爾蒙污染概況,提出可行的監測方案,以維護民眾飲用水安全。

4.優養化、藻毒威脅風險與管控

甲.存在風險：

水庫集水區的營養鹽物質隨著工業以及人口的快速發展急遽增加,造成部分水庫之氮、磷含量增加,使得水庫承載量超過其自淨能力,發生「優養現象」(eutrophication)。

某些藻類之代謝物,如 geosmin、Methylisoborneol(MIB)),會使水中含有土霉味或魚腥味等不良之味道。另水質優養化亦會造成藻華現象產生,水中藍綠菌藻在生長過程中會釋放對於人體有害的藻毒,如微囊藻毒等,而造成危害,此項危害即為危機,負責人員應有法律風險之觀念。

乙.法律風險之預防作為：

為維護民眾飲用水安全,掌握水源情況,自來水公司自95年起對21座水庫水源進行優養化監測,另對於水庫水源及相關21座淨水場原、清水辦理微囊藻毒檢測,經檢測結果微囊藻毒素濃度皆低於世界衛生組織建議每公升飲用水水質中微囊藻毒素之指引值1微克(1 μ g/L),大部分甚至在0.16 μ g/L(最低檢測值)以下⁽¹⁹⁾,其風險已大大降低。

(二)淨水程序產生的風險與管控

一般的淨水流程為混凝、沈澱、過濾及消毒等處理單元,最常用的混凝劑為硫酸鋁或聚合氯化鋁,而消毒藥劑則為氯氣或次氯酸鹽等。

1.消毒副產物-加氯風險與管控

甲.存在風險：

西元1908年,美國開始使用氯來消毒自來水,供應衛生、安全的自來水,加氯消毒也為各國採用。西元1974年荷蘭鹿特丹水廠之J.J. Rook發現加氯消毒後之自來水中,含有微量之致癌性物質三鹵甲烷(Trihalomethane, THM),隨後各國之研究顯示三鹵甲烷及其他鹵化有機物(統稱消毒副產物(disinfection by-products, DBPs)),普遍存在於加氯之自來水系統內,其中三鹵甲烷

(Trihalomethanes, THMs) 為最主要的消毒副產物物種，包括 CHCl_3 (氯仿)、 CHBrCl_2 、 CHBr_2Cl 、 CHBr_3 (溴仿)等四者，其中氯仿經細菌和動物實驗發現有致突變性和致癌性的可能⁽¹³⁾。另一消毒副性物則為鹵乙酸 (Haloacetic Acids, HAAs)，一般以 HAA_5 表示，包括MCAA、DCAA、TCAA、MBAA、DBAA等濃度之總和。研究指出部分含鹵乙酸可引起肝毒性、基因毒性、神經毒性、胚胎毒性、生殖危害等多種毒性，更可引起人類最為關心的致突變性或致癌性等⁽²⁰⁾。

台灣由於地處亞熱帶，常年氣溫偏高，且日照光足，使用傳統淨水程序之淨水廠，常在原水進入水廠之時，即加氯，以抑制廠內微生物之生長，但因此時水未經處理，尚含有許多有機物質，不免增加三鹵甲烷等有機鹵化物生成之機會。⁽⁸⁾

乙.風險管控策略：

(1) THM 的控制：根據研究，這些可能致癌之鹵化有機物是由水中之有機前質 (precursors)，如腐植質等，與氯反應所生成者⁽⁸⁾。因此對於氯在飲用水處理上為加氯之前儘可能先將有機前質去除，或降低前加氯用量，改為二段式加藥，以減少消毒副產物的產生。國內飲用水水源及水質標準，規定三鹵甲烷的最大限值為 80ppb，台水公司經長期監測，THM 幾乎全遠低於標準，僅澎湖、綠島地區因水庫前趨物質 (TOC) 較高，THMs 偶有偏高，為求解決綠島已於 101 年新鑿二口井補充較佳的水源，且酬勤水庫也預計進行大規模底泥清除工作；而澎湖經建立鹽淡廠及海水淡化廠後，均已遠低於標準值。另透過宣導教育開水煮沸後打

開蓋子 3~5 分鐘，能有效降低三鹵甲烷對人體的潛在危險。

- (2) HAAs 的控制，國內現階段雖仍未針對含鹵乙酸制訂管制標準，尚無標準，惟本項列為新興污染物名單之一。台水早已注意此一問題，委託台灣大學進行二年期的「自來水公司各淨水場清水、配水鹵化乙酸含量背景資料調查建立研究暨淨水處理技術與處理成本之評估」，針對 85 座淨水場分夏冬兩季進行清水與配水採樣分析工作，採樣分析結果顯示，清水樣本中 HAA_5 濃度大約分佈在 0.4-49.3 $\mu\text{g/L}$ 之間， HAA_9 濃度約為 0.5-84.4 $\mu\text{g/L}$ ；而配水樣本中 HAA_5 濃度大約分佈在 0.6-48.5 $\mu\text{g/L}$ 之間， HAA_9 濃度則約為 0.7-84.3 $\mu\text{g/L}$ 。若以美國環保署之管制標準評量，不論清水或是配水水樣，採樣結果皆能符合五種含鹵乙酸總濃度 60 $\mu\text{g/L}$ 以下之管制標準⁽²⁰⁾，今後仍應定期追蹤，並建置 HAA_5 分析技術，針對淨水場供水進行自我監測。
- (3) 同時，水利署近年來推行 CPE (淨水場效能評鑑)、台水公司推動 OPEE (廠所自我營運效能評估及提昇)，及加藥種子教育訓練等工作，以提升操作能力，降低過量加藥產生的危險與風險。

2.淨水藥劑存在之風險與管控

飲用水管理條例中第十三條規定，飲用水水質處理所使用之藥劑，以經中央主管機關公告者為限⁽⁶⁾。

國內淨水處理過程最常加入的混凝劑為聚氯化鋁 (PACl)，作用為將水中顆粒物質膠凝成大顆粒而沉澱去除；另亦需加入氯

或次氯酸鈉等藥劑主要係作為消毒滅菌用途，也兼作氧化劑使用，以確保供水符合飲用水水質標準，保障飲水之衛生安全。

甲.存在風險：

混凝劑PACl製造方法有鹽酸法（鹽酸+氫氧化鋁高熱合成）及硫酸法（氫氧化鈉+硫酸+鹽酸，再加石灰脫酸）二種，製造程序中，均需要加入鹽酸或硫酸，曾經發生不良廠商使用工業廢酸進行合成製造，試圖蒙混過關的案例；另次氯酸鈉溶液則因其原料之一的濃鹽水中含有溴離子，經電解程序會產生溴酸鹽，如次氯酸鈉溶液含有溴酸鹽偏高，會因添加該消毒藥劑而將溴酸鹽帶入清水中，進而增加其危害風險⁽¹¹⁾。

乙.法律風險控制作法：

為有效確保淨水用藥品質符合法令規定，台水公司訂定更為嚴苛的採購規範及驗收標準，讓明確的品質需求見諸法令條文及文字，同時要有易於分析判定的驗證程序，做到不使黑心供應商有魚目混珠的可趁之機。

(1)PACl 淨水藥劑管理安全化

為確保淨水用藥品質，嚴禁使用廢酸、廢鹼等廢液為淨水藥劑製造原料，影響民眾用水安全，特別將不純物檢項增加一項「銅」，為防漏網之魚，藥劑之主成分及不純物每批都要檢驗，以確保淨水用藥品質。其具體做法如下：

- 主成分由檢驗室辦理檢驗，總管理處訂定品質管制標準，應進行相關查核工作。
- 聚氯化鋁之驗收檢驗--不純物檢驗部份，由每合約檢驗 10 次以上，修訂為每批次皆須檢驗，以確保使用藥劑之安全

- 訂定合宜內控管制標準--如 PACl 標準增訂銅 8ppm、錳 25ppm 修訂為 23ppm，餘以法規八成作為內控標準。

(2)購置低溴酸鹽的次氯酸鈉淨水用藥

環保署為降低淨水用藥次氯酸鈉中溴酸鹽濃度過高如問題，於96年12月26日公告淨水用藥次氯酸鈉增列不純物項目溴酸鹽，上限值為50mg/kg，並於98年12月26日正式施行。同時擴大規範所有飲用水之水質標準中溴酸鹽含量不得超過0.01 mg/L，自99年1月2日正式施行^(5,6)。

為符合法令規定，並降低因添加次氯酸鈉而增加清水中溴酸鹽含量，經台水公司與製造商共同研討，業者同意採用純化氯氣（本身溴含量少），再適時減除溴後與氫氧化鈉反應以產製低溴酸鹽含量之次氯酸鈉液，供國內自來水業者使用⁽¹¹⁾，台水公司並將溴酸鹽濃度納入檢驗規範，以降低其危險機率之發生。

(三)供配水程序風險與管控

甲.存在風險：

1.配水系統問題

自來水由淨水場送出時，水質均達到飲用水水質標準，但輸送到用戶水龍頭的過程，必須流經管網系統及用戶的用水設備。而自來水的管線埋入地下後可能隨著時間老化鏽蝕，而逐漸漏水，除了流失寶貴水資源，也會影響用水品質，例如鏽水滲出、壓力洩漏等，當停水時民眾如果繼續抽水將會造成負壓污染現象⁽¹⁵⁾，此方面水公司應有風險防範作法，加速更新管線。

2.用戶端二次污染

自來水原本安全衛生無虞，但如家戶的

水池、水塔等自來水用戶設備設計不當不符標準時，或未定期清洗與維護、管線老舊或使用不當等，甚至因地震造成管線破損或因房舍改建造成管線錯接時，均可能發生自來水二次污染的問題，而民眾常在不自知的情況下，把水質責任歸責於自來水水質。

乙.法律風險評量與決策執行：

1.加強管線汰舊換新小區管網檢測，降低漏水率

建置可獨立計量之小區管網，藉由分區計量，有效掌握自來水管線之漏水情況，挑選弱點及漏水嚴重區域優先抽換，並搭配管網改善水壓、水壓管理、提升修漏效率與品質等多項措施，降低其漏水率。⁽¹⁵⁾

台水公司為增加管線汰換降低漏水率，擬具「加速辦理降低自來水漏水率及穩定供水計畫」(98~101年)，挹注共272億元經費，積極辦理建置地理資訊系統、分區計量管網建置、加強檢修漏、加強管線汰換等計畫，全力加速降低漏水。⁽⁹⁾

2.加強用戶教育宣導

要喝到安全飲用水，除了仰賴自來水專業嚴謹監控淨水處理及環保機關推動水質稽查管制外，更需民眾配合，包括共同維護飲用水源、勿任意抽取下水飲用、防止自來水二次污染並定期維護飲用水設備（如飲水機），方能確保飲用水安全。故用戶端的配合相當的重要，近年來積極加強用戶宣導預防水質二次污染工作，如利用繳費通知單、里民大會、與民有約、公司網站宣導、刊登各種報刊雜誌及用水宣導活動等等，冀望可以降低自來水質二次污染的產生⁽²⁾，減少水質污染造成危害之風險。

五、提昇自來水安全品質，做好法律風險管理作為

自來水與人民生活、經濟發展息息相關，提供質優量足之自來水，為所有自來水公司主要重點工作，而優良之水質有賴於完善之『水質管理』，為因應日益嚴苛的挑戰，亟需以用戶服務為導向之觀念，積極建立從原水、淨水、供水至廢水之水質管理策略及目標，以達成自來水供應符合『質優、量足』之終極目標。

風險之類別很多，不論成本、營運、市場財務等風險，一發生必帶來損失與危害，但從實質面探討，最後必以法律風險之結果出現，甚且帶來嚴重之法律責任⁽²²⁾，無可諱言，要避免法律風險結果發生，應重視前端事務之處理，與前置或先期作業有良好風險管理決策，認真執行，相信必能直接降低法律風險之危害性⁽²³⁾，因之本文亦一併將供應自來水來預測評量、控制等作法詳予論述，以求週全。

(一)完善水質檢驗制度為水質安全把關

為確保飲用水安全衛生可靠，需有一嚴謹可靠的品保品管單位為水品質把關。台水公司所轄 12 區管理處檢驗室於 84 年即陸續取得環保署認證，並持續辦理證照到期展延認證，努力維持品保品管認證能力，確保水質檢驗數據品質公信力，透過建立完善之檢驗制度，達到保障民眾飲水安全之目標⁽¹⁸⁾。

(二)配合水質標準增修，提升供水品質

1.配合飲用水水源水質標準進行改善：

配合行政院環保署「飲用水水源水質標

準」訂定，提出「飲用水水源水質整體改善計畫」，陸續完成水源水質改善，並依計畫書內容加強淨水操作、維護及管理、水源區污染巡查舉發工作、水質檢驗等，以確保取用水源水質安全。

2.配合飲用水水質標準，進行淨水程序提升

配合行政院環保署「飲用水水質標準」修定，針對不符水質標準之各區處淨水場，辦理各項水質改善工程，以確保供水安全，例如：

- (1)行政院環保署於 94 年 5 月 30 日修正公告飲用水水質標準，其中總溶解固體量及總硬度標準由 600 及 400 毫克/公升加嚴為 500 及 300 毫克/公升。台水公司為落實「質優量足」之供水目標，針對總溶解固體量及總硬度之改善，以延管供水及增設高級淨水處理設備改善因應，提升民眾生活用水品質。
- (2)加強辦理各項淨水設備改善及水質改善工程，如澎湖七美、馬公一帶總溶解固體量及氯鹽偏高部份，辦理鹽井水淡化逆滲透或海水淡化機組興建等。
- (3)為提昇大高雄地區自來水，除由環保署及農委會辦理高屏溪攔河堰上游之離牧政策，並成立高屏溪管理委員會，經濟部水利署完成南化水庫與高屏溪攔河堰連通管計畫，台水公司亦將取水口上移至高屏溪攔河堰後，水源水質已明顯提昇，原水水質氨氮含量與淨水場加氯率同步降低，並辦理「大高雄地區自來水後續改善工程計畫」，包括澄清湖、拷潭、翁公園、鳳山等淨水場增設臭氧、活性碳及結晶軟化或薄膜等高級處理設備、澄清湖底泥清除、供

水管線抽換清洗、清水池清洗、用戶水表清洗等其他配合措施，更進一步提昇大高雄地區的自來水品質。

3.因應未來飲用水標準的增訂預做籌備

因應日益多變的水質污染，及愈來愈精密的分析儀器及分析技術，行政院環保署考量飲水途徑暴露於污染物引起的健康風險增加，自96年起執行為期3年的「飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫」，共篩選「壬基酚、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、雙酚A」等28項國內飲用水現階段尚未列管的新興污染物候選名單⁽⁵⁾。

雖然目前此 28 項新興污染物尚未列入現階段 59 項飲用水水質標準項目內，台水公司於數年前即開始提前因應，除分析技術的建立外，亦進行全公司水源及淨水場背景調查，95 年開始即陸續委託國內各大專院校及研究單位，進行相關新興污染物的調查及分析技術，如「台水公司各淨水場清水配水鹵化乙酸含量背景資料調查建立暨淨水處理技術與處理成本之評估分析」、「自來水中有機物致突變性調查分析」、「水庫水質優氧化相關參數合理性研究」、「水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究」、「飲用水水質標準未列管之農藥檢驗計畫」、「飲用水中揮發性有機物含量分析研究」、「自來水中環境荷爾蒙調查研究計畫」等。

(三)監測設備現代化，促尊水質安全多重屏障

展望未來因應環境污染日趨嚴重，新闢優良之水源勢必更加不易，藉由水源污染、淨水處理及供水系統的現代化水質監測系統，做到即時監測、即時應變，建立多重屏

障(Multiple Barriers)之觀念將更為重要，方能確保供應之自來水安全衛生。⁽¹⁸⁾

1. 引進水源端及時自動監測生物養魚箱

為有效保障飲用水水源避免受到污染，乃參考國外先進國家引進水源端及時自動監測生物養魚箱即「生物監測系統」，此系統以魚作為生物監測儀主角，魚在監測槽內呼吸活動所產生之生物電流經由感應電極傳送至電腦判斷，若電腦判斷呼吸波圖呈現異常狀態，即時發出警報，達到預警效果。此外亦附加水溫、溶氧、導電度、濁度、酸鹼度等連續監測儀做連續性之水質監測，瞭解水質變化情形。

2. 地面水源自動監測設備之建置

針對各地面水源淨水場均設置有原水濁度監測儀，用以迅速掌握原水濁度變化，俾立即採取適當之淨水處理模式，提高處理效果。又為因應水源受污染情形，除分別依各水源污染情況之不同，設置各種特殊監測儀器（如碳氫、化學需氧量）加以監測水源受污染情況外，並為確保國內重要經濟發展特針對科學園區用水品質增設總有機碳(TOC)連續自動分析儀監測水質。

3. 淨水處理系統監測設備現代化

為掌握淨水處理流程各單元之水質變化狀況，於各主要淨水場沉澱池、過濾池等處理單元及清水池等位置設置現代化之濁度與餘氯監測儀，隨時掌握淨水場處理流程水質濁度與餘氯狀況，做為適時調整加藥量及變更處理程序之參考，以確保出水水質符合飲用水水質標準。

4. 供水系統監測設備現代科技化

於供水轄區之重要地點設置濁度、餘氯

、導電度及pH等監測儀，並將上述監測連線至廠所分區控制室中心內。確實掌握供水轄區水質變化，適時採取應變措施(如破管修理等)，確保供水轄區水質安全。

六、結語

自來水產業為提供人民飲用水的最主要來源，對廣大消費者極具有其社會責任與義務，而對民眾權利意識日漸高漲，自來水從業人員必需具備法律風險管理觀念，隨時注意供應優質量足的自來水，而正本清源的做法為水質管理與水源保育並進，在水質管理方面建置現代化處理設備、強化水質監測、檢測與內控管理；水源保育則「從源頭著手」，加強集水區保育、治理與污染防治，減少水源污染，以確保飲用水水源之安全與衛生，防阻品質瑕疵帶來之法律責任。

台水公司除依法符合現有的各項水質標準規定外，更進一步自許以朝向更佳優質的自來水質為自主管理目標，強力要求同仁有風險管理觀念，防範法律責任發生，本「供水優質，用水安心」策略⁽²⁰⁾，提供給民眾安全衛生、可口適飲及健康的飲用水。

參考文獻

1. 台灣自來水股份有限公司，台水三十週年專輯。
2. 行政院環境保護署，安全飲用水手冊第四版。
3. 台灣自來水公司網站/用水宣導，http://www.water.gov.tw/05know/kno_b_list.asp
4. 台北自來水事業處網站/水知識，<http://www.twd.gov.tw/np.asp?ctNode=23151&mp=114001>

5. 行政院環保署飲用水全球資訊網，
<http://tsm.epa.gov.tw/drinkwater/index-7.htm>
6. 行政院環境保護署，飲用水管理相關法彙編。
7. 中華民國自來水協會，自來水設施維護管理指南上冊、下冊。
8. 葉宣顯，漫談國內淨水程序，國立成功大學校刊第 211 期，p11。
9. 黃敏恭，台水經營理念之認知與實踐，自來水協會會刊，115 期，p10，99 年 8 月
10. 陳福田，自來水法修正芻議，自來水協會會刊、115 期，p14，99 年 8 月。
11. 江弘斌，飲用水水質處理藥劑次氯酸鈉不純物品質管制項目增列溴酸鹽，自來水協會會刊 2010.11，116 期，p50，99 年 11 月。
12. 趙浩然、張簡國平、陳福安、鄒粹軍、陳冠中，自來水中環境荷爾蒙調查研究服務建議書，本公司委託研究案，100 年 5 月。
13. 張碧芬、邱子權，「論飲用水安全管理」，環檢通訊雜誌，第 25 期，88 年 7 月
14. 張怡怡，安全飲用水的要件，環檢通訊雜誌，第 27 期，95 年 10 月
15. 吳陽龍，防堵水資源浪費、從管理做起，經濟日報，100 年 5 月。
16. 吳建誼、丁望賢，環境荷爾蒙 - 壬基苯酚與雙酚 A 在臺灣水環境中之分析與流布調查，環境檢驗雙月刊，第 39 期，89 年 11 月。
17. 羅煌木、王順成，自來水中有機物致突變性調查分析，台灣自來水公司委託研究案，98 年。
18. 吳美惠，水質環保業務興革策略，96 年
19. 李貞慧，水公司水庫表水及其淨水場原、清水中微囊藻毒之調查研究，台灣自來水司，98 年。
20. 王根樹，自來水公司各淨水場清水、配水鹵化乙酸含量背景資料調查建立，台灣自來水公司委託研究案，97 年。
21. 蘇文斌，現代風險管理，朝陽科技大學，98 年 11 月。
22. 宋明哲，現代風險管理，五南圖書公司，89 年 10 月，第 5 版。
23. 鄭燦堂，風險管理理論與實務，五南圖書公司，99 年 10 月，第 3 版。
24. 臺灣管理科學學會，企業的危機應變與風險管理，同上學會，81 年 11 月。
25. 施茂林，法律風險管理，亞洲大學財經法律系教材大綱，97 年 10 月。
26. 施茂林，控管法律風險，優質處理公務策略，中興大學國家政策與公共行政研究所，99 年 5 月 22 日。
27. 施茂林，最新實用六法全書，世一文化公司，100 年 4 月。

作者簡介

林正隆先生

現職：台灣自來水股份有限公司 工程師

專長：環境工程、淨水處理

吳美惠女士

現職：台灣自來水股份有限公司 水質處處長

專長：水質管理

施茂林先生

現職：中華法律風險管理學會 理事長

亞洲大學及逢甲大學講座教授

專長：綜合法學、法律風險管理

氣候變遷下自來水事業供水管理之挑戰

文/王銘博、朱健行

摘要

臺灣地區百年來氣溫持續上升，劇烈氣候變遷嚴重影響社會經濟、水資源、環境生態；面對極端氣象事件發生，嚴重衝擊自來水供給與災害防治。臺灣四面環海，氣候溫暖潮濕，雨量雖豐每人年平均降水量僅及世界平均值 1/7，而且降雨時空不均，水庫庫容不大，且雨季集中於梅雨、颱風季；年總降雨日數減少，日降雨強度增加。

自來水事業為了供應用戶質優量足飲用水，為避免水庫水源匱乏、淨水備載及供水備援能力不足，應有完善管理措施。影響自來水供水管理之災害有核災、旱災、地震、颱風強降雨、暴雨··等。面對災難危急時，吾等應抱著化危機為轉機、風雨同舟之信念；我國為已開發國家，已能負擔氣候變遷調適過程淨水、供水所需成本，並有效運用資金與管理技術；減緩災情影響，達成水資源永續經營之目標。

關鍵字：氣候變遷、極端氣象事件、備載、備援、供水管理

一、氣候變遷

氣候正在改變嗎？記錄說明一切。過去一百年，台灣地區氣溫持續上升，夏季溫度高而持續，冬季則低溫漸升且寒流不持久；同時，年總降雨量變化緩且不顯著，但年總降雨日數顯然減少，降雨強度則近 30 年明顯上升，不斷出現超記錄之短期累積降雨量。不僅台灣如此，世界各地也正不斷創紀錄中，全球年平均溫過去百年已上升 0.74°C，且持續上升中。令人憂心的極端旱澇不

斷出現，亦即是破紀錄的熱浪、乾旱、暴雨、強風豪雨等不斷發生，造成全球各地生命財產損失，令人憂心。

全球暖化使得地球的大氣和海洋溫度上升，排放二氧化碳，科學家證實是由於人類生活活動的溫室氣體(二氧化碳、甲烷、氧化亞氮)排放過多造成。隨著全球溫度升高，冰原融解海洋中水的體積將會大增。

二、臺灣近年非澇即旱現象顯現

臺灣位於歐亞大陸與太平洋交界處的海島，也是受全球暖化影響的高敏感地區，劇烈的氣候變遷會直接衝擊全島之水文、水資源運用、生態環境、農業生產。面對未來熱浪、颱風、乾旱、暴雨頻率、洪水及海平面上升將加速與頻繁的發生；臺灣受持續暖化所引發的氣候變遷，真正要擔憂的是暴雨和酷旱交互更迭；臺灣近年來氣候變異極大，不是水太多，就是水太少；這些怪現象，一年水災、一年旱災，甚至前一季乾旱隔一天就鬧水災，未來可能變為常態；台灣除了過去 100 年平均溫度增加 1.1°C 之外，因受空氣污染及熱島效應影響，日照減少，降雨機率減低，降雨強度卻增加 20%，降雨區也在改變，使臺灣「非澇即旱」的機率大增。

極端氣象事件如颱風和洪災、乾旱所造成的災害頻繁，對水資源供給與災害防治均造成極大衝擊和挑戰。臺灣水源主要依靠梅雨（26%）及颱風（54%），一但發生極端事件，非澇即旱；水利署推估台灣自來水資源開發總量上限為每年 200 億噸，目前國內年

用水量已達 190 億噸，如再不積極節約用水，最壞則 10 年後台灣將陷入水不夠用的困境，有關單位應審慎規劃。

三、水資源問題

氣候暖化之結果造成水蒸發量大，但並不會使得全球總降雨量增加，而是改變降雨的時間與空間分布。如熱浪來臨侵襲時間拉長，降雨時間就縮短，帶來極端強降雨之豪大雨、颱風頻率增加，乾旱機會也增加。熱帶甚至亞熱帶地區，降雨量可能增加 10% 至 40%，部分地區造成淹水災難，其他地區降雨量反而減少了 10% 至 30%，而帶來乾旱問題。因此幾乎所有地區在水資源管理方面，均皆會遭遇困難。

台灣四面環海，又屬亞熱帶季風區之氣候，氣候溫暖潮濕，年平均雨量達 2510mm，為台灣水資源之主要來源；雨量雖豐但因地狹人稠，平均每人每年獲得之降雨量僅 4,290 立方公尺，僅及世界平均值七分之一。降雨量在時間及空間之分布極不均勻，五月至十月之雨量即佔全年 78%(約四分之三)，枯水期長達六個月，加上河川坡陡流急，逕流量被攔蓄利用的僅約 177.54 億立方公尺，約佔年總逕流量之 18%，其餘均奔流入海。年降雨量以東北部山區、中央山脈最多，並向東西沿海遞減，且以西部沿海最少，約只有 1,250 公釐。蒸發量分布特性與降雨相反，因西部沿海中南部地區年蒸發量大於年降雨量，因此台灣地區乾旱大多發生於中南部。台灣目前大小水庫約 40 座，庫容均不大，水庫總容量約 22.43 億立方公尺，由於淤積因而有效容量大為減少。

台灣地形陡峭，河川不長，因此落差相

當大，雨季集中在梅雨、颱風季，一旦山區大雨，河水暴漲迅速急流入海。一到乾季河川多乾涸，不利水資源儲存及利用，加上近年來全球暖化與氣候變遷、森林涵養水分功能已破壞，雨量呈現極端化，水資源的運用與調配更加困難。

四、自來水供水風險

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）提供用戶質優量足之飲用水，為其主要的使命，但為達使命，有下列供水風險需予以克服。1.無法開發新水源-新店溪水源供應大台北供水量達 97%，水源開發不易，無法興建新水庫儲蓄原水；2.淨水設施備載不足-無法處理極端氣候下，因颱風暴雨造成及帶來之高濁度原水；3.供水無法有效調配-備援系統建置不全，各分區供水系統無備援管線，當輸配水幹線發生狀況時無法相互支援。

因此穩定供水之目標主要是增進平日供水備援、淨水備載量，以降低供水風險。另外在備載方面，國外先進自來水事業體約定為正常供水 30%~80%，北水處尚需加速建設提升備載餘裕，目前尚待積極建立備援系統，以及建立災情預警系統及災後快速復舊搶險體系，降低減損及減少供水系統衝擊。因此強化淨水設施備載量及各供水分區供水備援系統，為北水處當前之最重要任務。

五、自來水事業供水減災管理

(一)經營環境變化

北水處面對氣候暖化、氣候變遷等不佳環境，如何經營環境劣化，有下列問題亟待解決：1.有降雨量不均且旱澇不定、供水風險提升；2.十八年水價未調整，事業盈餘不

足，造成財務惡化情形；3.通貨膨脹，物價指數年增 5.45%、自來水工程之工程費漲，建設成本增加 5.02%；4.水情好時，支援板新地區水量反而大減，設備投資備載增加；5.城市綠色評比，為了降低每人每日之用水量，推動節水，售水量逐年減少。因此如何有效改善經營環境及財務狀況，為當前之第一要務。另 2002 年的一場乾旱，造成大台北供水區大缺水，並實施分區供水，當年降雨量不足為主因外，供水管網高達 28% 漏水率亦是成因之一。另供應大台北地區 500 萬人口之翡翠水庫待板新二期相關工程完成，支援新北市板新地區，每日供水量將由 53 萬噸提昇至 101 萬噸時，供水將面臨更嚴峻之挑戰。

(二)供水災害類型

大台北供水區 97% 之水源主要來自新店溪，面對單一水源且須擴大支援台水公司板新地區之高風險供水能量，需探討可能造成之災害，災害之類型有 1.天然災害：颱風強降雨、水災、暴雨濁度、旱災、地震；2.意外事故：輸配水管線被挖損、淨水場或加壓站設備損害、輻射污染等災害名稱發生機率及影響範圍(如表 1)。為減少災害發生及減輕災損，供水轄區須建構完備且齊全有效妥善的供水減災系統，確保飲用水安全可口衛生。

(三)災害成因及改善方式

1.颱風、暴雨：

災害成因：原水濁度暴增、停電根據世界銀行「全球自然災害風險分析」2005 年報告指出，臺灣同時暴露於三項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為 73%，

而暴露於兩項以上面臨災害威脅之人口為 99%。而 1970~2009 年侵台之 195 個颱風中，發生強降雨的頻率，最近 10 年是過去的 3 倍，乃將台灣列為「高風險島嶼」。暴雨造成原水濁度遽升，淨水系統備載不足造成出水能力降低，颱風來襲停電將使淨水場無法運轉。

改善方式：提升淨水設備備載能力，運用備載容量處理高濁度原水，以維持民眾用水需求，另設置緊急發電系統以維持淨水運轉功能。成效案例：凡那比颱風來襲，原水濁度瞬間超過 10,000NTU，北水處採取聯合直潭淨水場五座淨水設備，聯合長興、公館淨水場共同運作，發揮備載功能，不僅大台北供水區民眾用水未受影響，還能正常支援台水公司板新地區。

表 1 各類災害對供水的影響

名稱	發生機率	影響範圍
核災	小	整體
旱災	中	局部
地震	中	中度
颱風強降雨	中	局部
暴雨	中	局部
意外故障	中	局部
輸配水管損	小	中度
水質劣化	小	局部

2.旱災

災害成因：水源不足；北水處之水源 97% 來自新店溪之上游南勢溪逕流及北勢溪翡翠水庫，近年來受氣候變遷影響，降雨豐枯不一，正面臨河川水源逕流量不足及水庫貯水不足日益嚴重情況。

改善方式：治本方式以節約用水及漏水管理著手，建立長期旱季預警制度，加強節約用水宣導；並決定改變供水管網建設方向，積極面對管網老化、漏水偏高問題，自隔年起開始推動中長期管網改善計畫，汰換管線，逐年減少漏水（如表 2），當 2009 年又逢乾旱，北水處安然渡過，甚至還有餘裕水量支援板新地區，關鍵就在漏水率下降了 6%。找回 9 千萬噸之原水，7 年的努力終得回報-同樣的旱象，台北不缺水！近年因氣候變遷造成水資源豐枯不定及颱風暴雨後原水濁度暴增，以及自然災害不時發生，藉由提升自來水供水配水系統與用戶用水設備，以提升供水減災加強安全飲用水。

表 2 水處漏水率及水量分配比較表 單位:萬噸

年	2002	2009	差異
翡翠水庫 降雨量	1313 (1月-7月)	1325 (1月-7月)	+0.9 %
漏水率	28.44%	22.03%	-6.41%
日配水量	242	215	-27
日支援板 新水量	26	39	+13

另為改善陽明山山區枯水期水源不足之情形，已進行陽明山山區管網汰換工作，降低山區之漏水量，將山上水源留於山上用，並改善鹿角坑淨水及送水系統作業，以減低供水耗能，其次取用新店溪水源，北水處陸續完成至善、華興、永嶺及下竹林等四個配水池及新建新安配水池中，並建置陽明山五段加壓管線，利用新店溪水源建立備援系統。

3.地震災害

災害因素：建物損害、停電；日本 2011

年 311 地震導致配水池及加壓站建物損壞及電力中斷造成無法加壓供水，更由於局部輸配水管線斷裂，而無法供給受災戶用水。

改善方式：

(1)建物、水池及管網耐震能力分析：在淨水場耐震能力評估方面，辦理建物及水池耐震評估，優先進行長興、公館淨水場自來水設備設施安全評估，以提升耐震強度，對結構體變位及主結構梁、柱之鋼筋腐蝕、混凝土抗壓強度等，提出維護檢查報告以利執行資產延壽工程計畫，提升耐震能力達到建築物耐震設計規範之規定，並儘速編列相關後續補強經費。另對供水管網系統中之老舊輸配水幹線，定期進行維護管理工作，以提升管線耐震能力及管線妥適率以降低漏水。

(2)建置緊急發電機及儲油槽：檢討淨水場及加壓站設置之緊急發電機發電量及儲油槽儲油量是否足夠備載量，以備緊急狀況時發電供水用。

(3)採用耐震管材：推動輸配水及給水管材耐震化，以避免地震後，供水管線耐震強度不夠而造成淨水、供水系統損害，無法供水。

(4)維生系統：建置防災維生系統提供每人每日 3 公升持續 28 天最基本飲用水，供災民取用；北水處已建置完成送水管、取水站、維生儲水槽及配水池取水站 13 處，可提供 31.7 萬噸維生飲用水，供轄區 377 萬民眾維持 28 天緊急使用。

4.水災

災害因素：淹水；暴雨來襲因堤防高度不夠、市區抽水站抽水機故障或排水不及，將造成淨水場、配水池暨加壓站淹水，影響

淨水及供水功能造成人民無水可用。

改善方式：檢討淨水場、配水池暨加壓站防洪排水能力，並設置防洪閘門，以保障緊急發電機及抽水機組維持正常運轉功能。

5. 意外事故

災害因素：停水；供水系統老舊與支援性不足造成風險，且取水缺乏替代性及支援性。以往直潭淨水場依賴單一原水管，無法停水維修。兩條清水輸水幹線間雖已能互相支援，但全面備援性能尚嫌不足；各供水分區配水系統備援管網不足。

改善方式：建立備援機制；興建直潭淨水場第二原水幹管，與第一原水幹管相互備援。興建兩條清水輸水幹線間橫向聯絡管線，已完成安康、中和、公館、長興及民生五條支線，信義支線興建中，利用支線供水將連成管網，確保輸水功能減低供水風險。檢討支援各供水分區之備援管網，建立輸水幹線搶修機制，於緊急狀況發生時，提供安全供水。

6. 核災

災害因素：核能事故對自來水影響可分為輻射塵及放射性物質污染；自日本 311 地震造成福島核電廠發生核災後，放射性物質飄散大氣影響公共用水。

改善方式：其中輻射塵污染水源部份，依目前淨水場之淨水處理方式，可有效過濾，如緊急時可加活性炭處理，對人體不會產生影響，亦不致造成災後無水可用情形；而對於放射性物質之去除方式，淨水設施適用性尚須研究。因此當水源輻射監測結果超過危害量時，北水處應評估及立即執行淨水處理，以降低放射性物質含量，如無法降低

立即關閉相關供水設施，並啟動緊急維生系統及設立臨時供水站供水，並妥善利用陽明湧泉系統提供維生飲用水。

(四) 確保完備輸配水系統

完善供水系統為確保全面發展都市機能重要生命線；然而在氣候變遷、極端旱澇衝擊下，北水已盡全力執行漏水管理四大主軸之管線汰換與水壓管理，漏水率已顯著下降；整個輸配水系統透過監控中心 24 小時，統一集中管理運用；應用電腦遙測搖控科技設備及電腦網際網路，即時調配水壓水量，使得配水效率精進提升，利用資訊科技有效安定管控輸配水，提升水資源產業高效率維護管理，達到節能減碳的時代使命。

目前北水處各加壓站均使用變頻器調控尖、離峰時段抽水機運轉，已達精確水壓管理，減少輸配水過程之耗能。經審慎測試部分加壓供水分區，於離峰時段可直接由直潭淨水場清水池位能，運用旁通管線重力供水，再搭配加壓站變頻運轉調度，已有效精簡尖峰用電可節省耗能。有效應用 GIS 管理資訊及監視監控系統，使供水轄區保持安全水壓，因而建立一套具有安全管理及可供防患旱澇災害之緊急應變輸配水系統，並且降低供水風險，確保自來水供水永續發展。

(五) 緊急應變及防災準備

北水處制定災害防救業務執行緊急應變計畫、防災宣導及演練。檢討現行旱災防救業務計畫，以及豪大雨造成出水濁度驟升，影響正常供水；建立明確的預警標準作業程序，加強監控系統及供水資訊化，落實供水分區與計量系統計劃。確立自來水事業支援系統（板新計畫－自來水事業體互

援)，建制自來水支援設施，此為進行中有
效計畫。

六、結論與建議

(一)由於全球氣候變遷，無法在短期內緩
和，自來水事業面對供水安全之管理應
從減災、救災之運作方式，做好調適，
將災害造成之影響降至最低。

(二)台灣近年來非澇即旱現象顯現，自來水
事業更應以專業、專精角度研究探討「台
灣氣候變遷，對水資源、供水管理範疇
將面臨之問題及對自來水事業可能造成
之災損」。

(三)持續推動淨水備載、供水備援及維生系
統等政策，各項既定工程應如期、如質
進行，完工後立即併入運轉，對各供水
分區研創不同運用模式，以達成完善供
水之目標。

(四)自來水事業提供用戶質優量足之飲用水
為其永續經營之主要目標，但為達成前
述目標，應深思有哪些供水風險須予以
克服，妥善因應方能降低供水風險。

(五)以風險管理層面去辨識風險、分析風
險、處理風險、控制風險，綜合各項資
源建立完善供水及防災系統，進行事前
整備演練，當風險發生時將危機降至最
低，並朝「災後可迅速供水」的目標努
力。

(六)「小處著手」的省水訣竅，號召大家盡
世界公民一份子的義務，省下「涓滴」
之水，就能幫助地球生態系留下「大江
大河」的寶貴自然資源。

(七)氣候變遷下，旱澇不均、旱澇急轉或交

替出現可能是大家必須確實面對的真
相，必須確切節能減碳，才能延緩氣候
變遷的腳步。

(八)北水處大力推動備援備載、管網改善、
節約用水、耐震防災等措施，管控人力
資源及財務能量（籌措財源、降低財務
負荷），確保人力委外質量提升，降低生
產成本增益營收，使實收利益增加，雖
然 100 年整體漏水率已降至 20.51%；但
隨油電、原物料價格上揚後，使事業盈
餘逐年減少，將面臨經營環境更嚴峻考
驗。

參考文獻

- 1.臺北自來水事業處，臺北區供水系統既管網健
全改善之研究，92年12月28日。
- 2.臺北自來水事業處，供水系統線上監控與相關
系統整合與運用，93年12月28日。
- 3.中興工程顧問社，旱災防救決策支援系統講習
會，93年4月14日至16日。
- 4.歐陽嶠暉等著，水世紀，水資源永續發展研討
會論文集，84年12月25日。
- 5.鄭麗文譯，全球新政-氣候變遷下的世界經濟改
造計畫，2009年12月。
- 6.樓基中，水資源與環境保育SOS環保救地球，
2010。
- 7.張泉湧，全球氣候變遷危機與轉機，2011年9
月。
- 8.莫德·巴洛等，高寶書版，水資源戰爭，2011.4
。
- 9.經濟部水利署，公共給水配水管網管理維護技
術國際研討會，100年9月29日。
- 10.台大校友雙月刊，極端氣候專題，2010年May
No. 69。

- 11.譚家瑜譯，改變世界的6°C，天下雜誌，2010年4月1日。
- 12.艾爾·高爾，不願面對的真相，2007.4。
- 13.鄭錦澤、黃裕泰，臺北地區自來水設施耐震評估與風險管理探討，自來水會刊第30卷地3期2011年8月。
- 14.朱健行，臺北區自來水安全輸配水管理系統，第六屆海峽兩岸水質安全控制技術及管理研討會論文集，2010鄭州。
- 15.朱健行，極端旱災氣候變遷衝擊下自來水因應對策之探討，第十五屆海峽兩岸水利科技交流研討會論文集，2011武漢。
- 16.林杰熙、王藝峰，由日本福島核電場廠事變看台灣地區公共給水對輻射災害之因應，自來水會刊第30卷第2期，2011年5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：自來水供水管理、施工管理

朱健行先生

現職：臺北自來水事業處供水科工程師

專長：自來水規劃、水資源管理

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

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

一、目的

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

二、獎勵對象

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

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

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

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

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

淨水場清水鋁含量改善對策與措施

文/甘其銓、唐俊成、樂育麟

摘要

有鑑於世界各國相繼訂定飲用水中鋁含量標準或建議值，雖然目前臺灣飲用水水質標準目前未訂定飲用水中「鋁」含量之限值，但行政院環保署日前亦已將其列入飲用水水質即將列管的標的之一。台灣自來水公司在提供「量足質優」的自來水生產政策下，對供應的自來水水中「鋁」之含量實應建立基本資料，以作為相關單位參考，自來水公司目前即透過研究計畫的執行，針對選定之淨水場為對象，研擬淨水場內清水中含鋁量之改善對策。

首先透過淨水場現場各處理單元的採樣與分析，以研析從原水、沉澱水、過濾水、清水與反洗廢水中的總鋁、溶解鋁及顆粒鋁，結果顯示大部分的淨水場內的清水之中的溶解鋁已落於 0.17~0.40 mg/L，且溶解性鋁應為淨水場所加的鋁系混凝劑所貢獻，而部分淨水場的清水中因存在顆粒鋁導致總鋁明顯超標，研判為水中的氫氧化鋁顆粒穿透濾池所致，或因過濾水至清水池之後因為 pH 值的上升而又形成氫氧化鋁顆粒。

之後，再針對各淨水場採取原水於實驗室進行瓶杯試驗，第一階段乃結合殘餘濁度及殘餘鋁的混凝加藥曲線進行評估混凝劑量，結果顯示，淨水場若考量殘餘鋁的控制應先針對其鋁系的混凝劑進行減量，但於現場須特別注意沉澱水與過濾水濁度的控管；第二階段，進行 pH 值的調整與高聚合度的 PACl 混凝劑於瓶杯試驗中，結果顯示

皆有降低水中鋁濃度的效果；最後，進行鐵系混凝劑的評估，結果顯示於氯化鐵最適加藥量下，在濁度去除與鋁的殘留皆有達到標準之表現，但仍有色度增加的情形，研判應為氯化鐵的添加所引起，因此建議未來採用氯化鐵混凝之淨水場，可考量搭配聚矽酸鐵進行助凝輔助，亦或於過濾池中增加些許錳砂，以增加水中色度的移除。

一、前言

鋁是地殼中分佈廣含量多的金屬元素之一，其含量僅次於氧和矽，鋁具有銀白色金屬光澤，熔點為 660.37 °C，沸點為 2467 °C，密度為 2.7 g/cm³，屬於輕金屬，質較軟，有良好的延展性及傳熱、導電性，與某些金屬能生成合金。鋁的性質比較活潑，故自然界中無游離離子的鋁，大部分的鋁在自然界中以鋁矽酸鹽的形式存在，如鋁土礦 $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ 、長石 $KAlSi_3O_8$ 、雲母 $KAl_2(AlSi_3)(OH)_2$ 、黏土 $H_2Al_2(SiO_4)_2 \cdot 2H_2O$ 等，其中鋁土礦是工業上冶煉鋁的重要原料。鋁是親氧元素，其表面與空氣或氧氣接觸後，立即生成一層致密的 Al_2O_3 薄膜，可阻止內層的鋁被進一步氧化，同時也阻止了鋁與水或空氣的作用，由於 Al_2O_3 在空氣或水中都很穩定且質地輕，因此鋁常被用來製造成日用器皿。

人體對於鋁的主要吸收來源來自食物，食用含鋁的食品，口服或注射含鋁藥物，飲茶、吃油條、加工乳酪、烘焙食品、穀類製品和油炸食品等，例如：油炸食品即採用大量明礬 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 作為添加劑，

以及一些食品添加劑⁽¹⁾。而根據國外文獻指出，一般的成年人每天藉由食物而進入人體的鋁的劑量大約是 5 mg⁽²⁾。人體攝入鋁的另一途徑之是飲用水，然而自然水體之中鋁的來源比較複雜，主要是土壤中鋁元素溶解進入天然水體中，鋁約佔地殼元素總量的 8%，所以天然水體或多或少含有一定的鋁，且由於鋁的兩性化學特性，當水體的 pH 值高於 8.2 或低於 6.5 時，土壤中的鋁矽酸鹽便會溶解進入自然水體之中⁽³⁾；此外，有色冶金、化工製藥、油漆工業、合成橡膠等工業的生產廢水中也存在大量鋁，這些廢水的排放對環境造成了嚴重的鋁害；或是經由酸雨、酸霧的溶解，亦會使土壤中鋁轉變為溶解態鋁⁽³⁾。

相關研究⁽⁴⁾指出淡水水體中平均鋁含量為 0.24mg/L；海水中平均鋁含量則為 0.01mg/L；而地下水中鋁的含量則受地層深度、地理位置、土壤性質等因素的影響而不同。一些的研究並指出在給水處理中，鋁鹽混凝劑的使用是出水殘餘鋁升高的直接原因^(5,6,7)，「原水中的鋁」以及「鋁鹽混凝劑的鋁」在經過混凝、沉澱、過濾後仍會殘留於清水中，而採用鋁鹽混凝的淨水場中，其清水的鋁含量升高 0.01~2.37mg/L。此外，有時淨水場投加石灰調節 pH 值，亦會使清水中的含鋁量增加。

台灣自來水公司的淨水場大多是以聚氯化鋁與硫酸鋁為主要混凝劑，近日來，由於飲用水中鋁含量與中樞神經系統病變間的議題陸續被媒體報導，雖然目前臺灣飲用水水質標準尚未訂定飲用水中「鋁」含量之限值，但有鑑於世界各國相繼訂定飲用水中鋁含量標準或建議值，行政院環保署亦已將

其列入飲用水水質即將列管目標之一。而在台灣自來水公司提供「量足質優」的自來水生產政策下，對供應的自來水水中鋁之含量實應建立基本資料，以作為相關單位參考，因此台灣自來水公司於 98 與 99 年度即委辦相關調查計畫，結果發現部分淨水場於清水中的總鋁濃度有超過 0.2 mg/L 的情況，面對未來可能的水質標準，自來水公司目前即委託嘉南藥理科技大學研究團隊透過研究計畫的執行，針對第五區及第六區處的淨水場為對象，研擬淨水場內清水中含鋁量之改善對策。

二、研究內容

首先蒐集整理國內外有關淨水場清水中鋁含量降低之文獻，之後針對選定之淨水場進行現場的採樣檢測（原水至廢水）各主要處理單元水中鋁（含溶解鋁及總鋁）含量，以了解各處理單元對於水中鋁的變化情形，並研析造成清水中鋁含量過高原因。接下來，先研析文獻中適用於台灣自來水公司之改善對策，並搭配進行杯瓶試驗，以確認各項可行對策之成效與可能衍生之問題，並提出可行的配套措施。水質分析部分則是以感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)進行分析，並分析水樣中之總鋁、顆粒鋁與溶解鋁(NIEA W311.52C)，過程中並確實依照品質保證與品質管制(QA/QC)標準之規定。

三、結果與討論

(一)相關文獻研析

透過文獻整理分析，清水中殘餘鋁改善策略建議，包含：

- 最適化鋁鹽混凝操作
- pH 調控

- 提高過濾效率
- 改用不含鋁鹽之混凝劑

針對最適化鋁鹽混凝操作，由於影響混凝程序的因子包括原水組成、濁度、pH、劑量、前加氯、水溫、膠體特性、快慢混攪拌等。而鋁鹽混凝劑用於淨水程序中，主要的去穩定機制有⁽¹⁾吸附及電性中和⁽²⁾沉澱掃除兩種，前者藉由吸附作用將溶解性的物種吸附到膠體表面；後者則是鋁鹽的投入濃度超過鋁的氫氧化物溶解度積，則加入的鋁鹽最終會形成金屬氫氧化物沉澱 $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ ，並包覆膠體顆粒形成膠羽，當膠羽形成後可藉由沉澱掃除的機制去除濁度顆粒。

而目前國內常被使用之鋁系混凝劑為多元氯化鋁(Polymeric aluminum chloride, PACl)，而 PACl 混凝劑成分依其水解聚合型態可分成單體鋁(Ala)、聚合鋁(Alb)、膠體鋁(Alc)等組成，研究指出 PACl 的混凝後殘餘溶解性鋁主要來源為 Ala，而 Alb、Alc 因具有較大分子量及聚合度，於水中充分反應後殘餘鋁量最低⁽⁸⁾，因此採用聚合度較高之 PACl 亦可減少清水中含鋁量。而原水中若含天然有機物(NOMs)，因有機物易與鋁鹽混凝劑進行錯合反應，所以當水中 NOMs 濃度增加時，殘餘溶解性鋁及總鋁含量皆隨之增加，而文獻指出可進行原水的前氧化操作，可有效減少後續的鋁鹽混凝劑劑量添加^(9,10)。除此之外，同一混凝劑的分段加藥操作與快混最適操作以減少鋁鹽混凝劑劑量，以及慢混最適操作以利顆粒聚集成膠羽並減少其膠羽破壞，亦有文獻指出可降低清水中含鋁量⁽⁵⁾。

不同的 pH 值不但會改變鋁氧化物的溶解度，也會影響膠羽形成的動力。鋁離子在

不同 pH 值條件下會形成不同種類的水合物種，在高 pH 值下鋁型態是以溶解性鋁物種 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 為主。在高 pH 值條件下，所添加的鋁鹽混凝劑有相當程度的量會以溶解性鋁物種存在，也就是會減少混凝所必要的鋁離子濃度。為增加高 pH 值原水的混膠凝效率，可藉由調整 pH 值將使鋁離子形成易沉降之 $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ ，降低溶解性鋁物種的濃度。Amirtharajah 的研究⁽¹¹⁾指出，當水體 pH 7 的鋁溶解度為 0.05 mg/L，但當水體 pH 升高到 8 時，鋁溶解度增高為 0.64 mg/L，兩者差距高達 13 倍。郭氏⁽¹²⁾以實場淨水場之原水為處理對象，藉由實驗室和模場試驗探討淨水程序中之殘餘鋁含量，發現無論以 Alum 或 PACl 進行混凝程序，控制水中殘餘鋁的主要參數是 pH。低殘餘鋁含量的 pH 落在 6.8–7.5 之間，當 pH 值低於或超過此範圍，水中鋁含量即超過 0.16 mg/L。

由於顆粒性鋁亦為清水的總鋁之中主要來源，顆粒性鋁可藉由沉澱與過濾進行移除，由於 $\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$ 與 $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ 皆屬較輕之顆粒，所以適當的過濾操作更形重要。研究發現過濾池的顆粒物質和水中的總鋁濃度成正相關；也就是濁度越低時，水中的總鋁濃度越少。另外，文獻亦指出水中殘餘鋁濃度小於 0.1 mg/L 的條件是過濾水的濁度控制在小於 0.15 NTU 且混凝程序的 pH 維持在 6.5 至 8.0 之間^(13,14,15)。

Qureshi 等人於 Minneapolis 的淨水場進行模場和實場試驗，結果顯示使用氯化鐵(ferric chloride)取代 Alum 可以有效降低高 pH 原水中殘餘鋁濃度，且延長過濾池之濾程。實場試驗顯示，氯化鐵混凝劑的添加劑量(也就是藥劑成本)不到原來施用 PACl 劑量的一

半，可大幅度降低淨水場混凝劑的藥劑成本⁽¹⁶⁾。氯化鐵形成的膠羽密度會大於使用 PACl 所形成的膠羽，也就是氯化鐵之膠羽會比 PACl 更容易沉降。此外，在高 pH 原水條件下，氯化鐵所形成的膠羽並不會有溶解作用產生，氯化鐵適合用在處理高 pH 值的原水。劉氏⁽¹⁷⁾研究探討鐵鹽(氯化鐵)和鋁鹽混凝劑對低濁度原水和殘餘鋁含量之影響，發現鐵鹽的濁度去除效果較佳，且在低添加劑量和高 pH 值條件下，具有較高的濁度與有機物去除效果。而除了傳統的鐵鹽混凝劑之外，一新型的無機高分子混凝劑-聚矽酸鐵(polysilicate iron, $Fem(SiO_2)_n$)，已經被證實對於低濁度原水具有良好處理效果，尤其是小顆粒聚集及藻類移除且具有降低過濾後水體中鋁的含量等優點⁽¹⁸⁾。相對於其他高分子凝聚劑，聚矽酸鐵對人體無毒且具環境友善優點，可避免有機高分子可能對人體健康和自然環境構成威脅的問題^(19,20)。目前環保署已經在民國 99 年 3 月公告聚矽酸鐵為飲用水水質處理藥劑，但相對於氯化鐵混凝劑，聚矽酸鐵藥劑製作及採購成本較高。

(二)淨水場主要單元含鋁分析

圖 1 為淨水場各主要單元現場採樣後進行鋁含量之分析，原水的總鋁含量最高為 1.13 mg/L，且 98% 為顆粒性鋁，之後雖然總鋁濃度隨著淨水的處理程序呈現濃度減少的趨勢，但溶解性鋁卻呈現增加之趨勢，此一趨勢亦為此研究調查之中總共 12 處淨水場之共通現象。於此案例數據之中，沉澱池出水的總鋁含量為 0.843 mg/L；過濾池和清水池的總鋁濃度分別為 0.212 和 0.197 mg/L。比較鋁型態分佈可發現，原水中的總鋁大都以顆粒性鋁為主(98%)；沉澱池出水則是顆粒

性鋁占 84%；過濾池和清水池出水則是以溶解性鋁為主(>87%)。溶解性鋁在過濾池和清水池出水的濃度類似，分別為 0.193 和 0.171 mg/L。

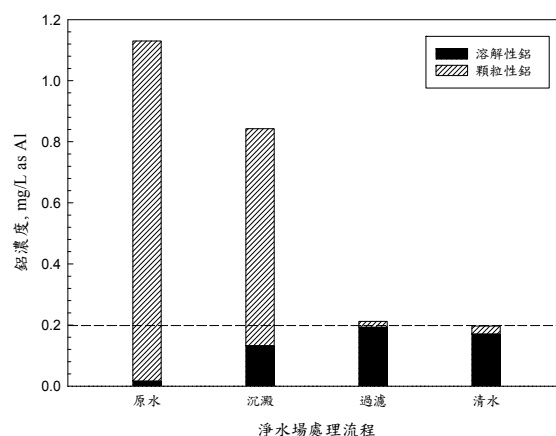


圖 1 淨水場各主要單元鋁含量之分析
(淨水場編號 NY)

彙整 12 處淨水場內的清水之中的溶解鋁落於 0.17~0.40 mg/L，由於原水中並無顯著的溶解鋁之存在，因此研析各淨水場之清水溶解鋁應為淨水場所加的鋁鹽混凝劑所導致，並且有部分淨水場的清水中因存在顆粒鋁導致總鋁上升，如圖二所示，研判為水中的氫氧化鋁顆粒穿透濾池或清水池池底沉積物揚起所致，或因過濾水至清水池之後，因為 pH 值的上升而又形成氫氧化鋁顆粒。

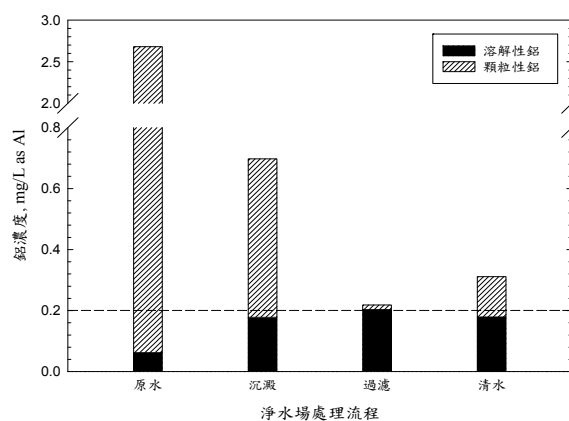


圖 2 淨水場各主要單元鋁含量之分析
(淨水場編號 LN)

(三)清水殘餘鋁量改善策略評估

此一部分為研析上述文獻中之改善對策，並搭配淨水場現場原水採樣後進行杯瓶試驗，以確認各項可行對策之可行性與可能衍生之問題，其初步結果彙整於表 1。

(四)殘餘鋁控制措施

依上述淨水場現調之結果可知，大部分的淨水場其淨水流程中，鋁含量的分布及濃度。若以其現調結果，初步研擬混凝加藥時可採取之控制措施，其控制措施可依各場之需求研擬最適之控制方法，其內容如表 2 所示。

表 1 以瓶杯試驗評估殘餘鋁改善策略之初步結果

改善策略	瓶杯試驗評估之初步結果	成本分析	注意事項
減少混凝劑劑量	須減量至少 30% 以上的原劑量，部份水場更需減量至 80% 以上，殘餘鋁才能控制於 0.2 mg/L 以下。	可減少混凝劑的支出 (硫酸鋁:2~3 元/公斤)	減少加藥量會導致沉澱出流水濁度升高，增加濾池負荷。
加強前氧化	原水於前加氯後，經 1 分鐘的充分的攪拌混合反應，依殘餘濁度評估，可減少最適混凝劑量 20~50%。	可減少混凝劑的支出	前加氯可能會導致 DBP 的生成。
分段混凝加藥	水中殘餘總鋁並無明顯減少	----	----
改變慢混操作	水中殘餘總鋁些微下降，但溶解鋁並無下降，研判為膠羽形成較佳，顆粒鋁移除較佳	----	各淨水場之慢混操作進行調整。
高聚合度 PACl 的使用	較高聚合度之 PACl (13%) 可減少約 25% 之殘餘鋁。	PACl(10%):3~4 元/公斤 PACl(13%):5~6 元/公斤	需搭配良好的快混，較不適用低濁度之原水。
pH 值調整	使用硫酸進行調整，將處理水的 pH 值控制於 6.8~7.2，可將殘餘鋁的溶解鋁控制在 0.1mg/L。	硫酸:4~9(離島)元/公斤	須注意顆粒性鋁貫穿濾池，濾水濁度須控制在 0.2 NTU 以下。
加強過濾操作	水中殘餘總鋁些微下降，但溶解鋁並無下降，研判為過濾操作只對顆粒鋁移除有效	濾料增加或改變	可搭配 pH 值調整進行殘餘鋁控制。
鐵鹽混凝劑的使用	利用氯化鐵進行混凝，可有效減少原水中的顆粒性鋁，濾水中並無溶解鋁被量測到。	氯化鐵:7~9 元/公斤 PSI:100~150 元/公斤	須注意濾水的色度，現場可搭配 PSI，或於濾池填補錳砂，可加強處理水中鐵的捕集。

表 2 殘餘鋁控制措施

	控制措施	注意事項	使用限制	成本考量
鋁系 混凝劑	在不改變混凝劑量的操作限制下，於慢混池第一池中， 添加硫酸 調整 pH 值至 6.8~7.2，須適當控制各階段慢混轉速，避免形成的 $Al(OH)_3(s)$ 膠羽被破壞，導致形成細微 $Al(OH)_3(s)$ 顆粒，無法於沉澱與過濾池之中被移除，因此須於沉澱池與過濾池進行連續的濁度與 pH 值監測，亦須控制過濾池出流水的濁度皆能維持在 0.2NTU 以下。	濾出水濁度須嚴格規定 0.2 NTU 以下，pH 值控制在 7 左右，嚴格控管清水 pH 值 7.3 以下，後加氯亦會造成 pH 值的上升。	原水含鐵、錳或硬度物質之淨水場	增加硫酸添加成本
	在不改變混凝劑種類的操作限制下，混凝劑量以 殘餘鋁控制劑量 為主，可放寬沉澱出流水濁度，但須控制過濾池出流水的濁度皆能維持在 0.5NTU 以下。	可減少過濾濾速，延長過濾時間。殘餘鋁控制劑量需以瓶杯試驗進行評估，須同時考量殘餘濁度及殘餘鋁濃度	運轉率 90% 以上之淨水場	混凝藥劑成本減少 20~50%，但需延長處理時間
	改用 聚氯化鋁 ，建議聚合度 13% 以上，以瓶杯試驗的 濁度去除效率 評估 最適加藥量 ，並於慢混池第一池中， 添加硫酸 調整 pH 值至 6.8~7.2，須於沉澱池與過濾池進行連續的濁度與 pH 值監測，亦須控制過濾池出流水的濁度皆能維持在 0.5NTU 以下。	濾出水濁度須嚴格規定 0.5NTU 以下，pH 值控制在 7 左右，嚴格控管清水 pH 值 7.3 以下	原水含鐵、錳或硬度物質之淨水場	
	在不改變混凝劑種類的操作限制下，混凝劑量以 殘餘鋁控制劑量 為主，再於快混池出口酌量使用 聚矽酸鐵(PSI) 或 聚丙烯胺(PAM) ，以控制過濾池出流水的濁度皆能維持在 0.5NTU 以下。	主混凝劑及 高分子聚合物 的添加量需以瓶杯試驗進行評估，在快混階段須先加主混凝劑，在快混結束後隨即加入 高分子聚合物 ，考量殘餘濁度決定 高分子聚合物 的添加量	---	混凝藥劑成本減少 20~50%，但 高分子聚合物 增加成本
鐵系 混凝劑	改變混凝劑種類，建議為 氯化鐵 為主混凝劑，混凝劑量以 鐵鹽最佳劑量 為主，注意色度須控制在 3 以下。	鐵鹽最佳劑量 需以瓶杯試驗進行評估，須同時考量殘餘濁度及殘餘色度	---	鐵鹽混凝藥劑成本
	改變混凝劑種類並添加助凝劑，建議為 氯化鐵 為主混凝劑， 聚矽酸鐵 為助凝劑， 最佳劑量配比 需以瓶杯試驗進行評估。	氯化鐵 建議為上述 鐵鹽最佳劑量 之一半，再透過瓶杯試驗評估 聚矽酸鐵 最適加藥量	---	鐵鹽混凝藥劑與 高分子聚合物 成本

結論

目前已初步完成 12 個淨水場各主要單元的鋁型態分析，可以發現，大部分的淨水

場原水有著低濁高 pH 值的特性，原水中亦含有 0.3-3.0 mg/L 的鋁濃度，大都為顆粒鋁，但於沉澱池初流水、濾出水與清水中溶

解鋁的濃度為 0.15-0.4mg/L，顯示混凝劑的添加導致溶解鋁的濃度明顯升高。而部分淨水場清水殘餘鋁濃度偏高，分析總鋁型態，發現其顆粒鋁與溶解鋁皆超出標準，若依殘餘鋁濃度推判，其原因皆為混凝劑過量加藥之故，因此建議淨水場應重新審視原有的加藥經驗曲線，應將殘餘鋁與殘餘濁度一同列為加藥控制的評估因子。淨水單元中，須注意沉澱與過濾的濁度去除情形，特別是混凝膠羽的破壞，其細小的氫氧化鋁顆粒亦可能穿透濾床，導致清水的總鋁濃度超標。

在 pH 值調整、使用高聚合度的 PACI 皆有降低殘餘鋁之效果，但較適用於中高濁度之原水處理，低濁度原水若欲維持鋁系的混凝劑添加，除減少混凝劑量之外，應特別注意濾出水的濁度應控制在 0.2 NTU 以下。鐵鹽的混凝加藥於實驗室表現良好的濁度去除效果，其殘餘鋁亦可有效被移除，但未來若應用於現場操作應注意水中鐵離子的濃度與色度量測。

參考文獻

- 1.Soni, M.G., White, S.M., Flamm, W.G. and Burdock, G.A. (2001) Safety evaluation of dietary aluminum. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 33, pp. 66-79.
- 2.World Health Organization. (2003) Aluminium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. [cited 2012 04/23/2012]; Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/aluminium.pdf
- 3.王明光，鋁的環境化學，國立編譯館，1999。
- 4.Reijnen G. K., (1991) Aluminum in ground water, origin, sampling, analysis and removed. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, 9, pp. 4-8.
- 5.肖定華，供水系統中鋁的影響因素與控制措施研究，湖南大學碩士論文，2007。
- 6.Gao, Baoyu, Yue, Qinyan, and Wang, Bingjian, (2004) Coagulation efficiency and residual aluminum content of polyaluminum silicate chloride in water treatment. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 32 (2), 125-130.
- 7.Jekel, M.R. and Heinzmann, B., (1989) Residual aluminum in drinking-water treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, 38, pp.281-288.
- 8.M.Q. Yan, D.S. Wang, J.H. Qu, W.J. He, C. Chow. (2007) Relative importance of hydrolyzed Al(III) species (Ala, Alb and Alc) during coagulation with polyaluminum chloride: a case study with the typical micro-polluted source waters. *J. Colloid Interface Sci.*, 316, pp. 482 - 489.
- 9.Steynberg, M.C., Pieterse, A. J. H. and Geldenhuys, J. C. (1996) Improved Coagulation and Filtration of Algae as a Result of Morphological and Behavioural Changes due to Pre-Oxidation. *J. Water Supply Res. T.*, 45 (6), pp.292 - 298.
- 10.顏肇毅，加氯除藻對於混凝效率及消毒副產物生成之影響，國立交通大學環境工程所碩士論文，2009。
- 11.Amirtharajah, P. Mills. (1982) Rapid mix design for mechanism of alum coagulation. *Journal of American Water Works Association*, 4, pp. 210 - 216.
- 12.郭輔仁，淨水程序操作參數之改變以控制殘餘鋁量之研究，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1992。
- 13.Van Benschoten, J.E. and Edzwald, J.K., (1990)

- Measuring aluminum during water treatment : methodology and application, Journal of Japan Water Works Association, 82(3), pp.84-91.
14. Letterman, R. D. and Driscoll, C. T., (1988) "Survey of residual aluminum in filtered water", Journal of American Water Works Association, 80(4), pp.154-158.
15. Letterman, R. D. and Driscoll, Ch. T., (1994) Control of residual aluminum in filtered water, AWWA Research Foundation and American Water Work Association, Denver.
16. Qureshi, N. and Malmberg, R.H., (1985) Reducing aluminum residuals in finished water, Journal of American Water Works Association, 74, pp.101-108.
17. 劉嘉宏，「混凝劑種類對低濁度原水混凝影響之研究」，國立成功大學環境工程學系碩士論文，2007。
18. Tetsuji, O., Deevanhxay, P., Takao, H., Wataru, N., Mitsumasa, O., (2004) The Performance of Poly-silicate Iron Coagulant in Conventional Drinking Water Treatment, Journal of Japan Water Works Association, 73(11), pp.2-10 (in Japanese).
19. Xu, Xia, Yu, Shuili, Shi, Wenxia, Shi, Jiang, Z.-Q., Wu, Chao, (2009) Effect of acid medium on the coagulation efficiency of polysilicate-ferric (PSF)-A new kind of inorganic polymer coagulant, Separation and Purification Technology, 2(6), pp.486-491.
20. 吳智仁、高衛民、邵青、徐崗，「給水原水處理中的混凝技術」，工業水處理，第30卷，第5期，第16頁 (2010)。

作者簡介

甘其銓先生

現職：嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

專長：飲用水及廢水處理、溫泉資源管理、污染評估與分析

唐俊成先生

現職：台灣自來水公司供水處生產組 工程師

專長：淨水處理技術

樂育麟先生

現職：台灣自來水公司供水處生產組 組長

專長：淨水處理技術

微量進水阻止器初討

文/吳陽龍、許敏能

一、前言

國際自來水協會(International Water Association)在 2001 年柏林國際自來水會議(Berlin Water Congress)的水量損失之管理與技術國際報告(International Report, Water Losses Management and Techniques)提出水量計算平衡表後,國際間各自來水事業無不奉為圭臬,各自來水事業也以降低 NRW(Non Revenue Water)為努力的目標,而 NRW 含括未計費合法水量、帳面損失以及實際損失三大部分,尤其是帳面損失及實際損失是關注的焦點,而實際漏水是指淨水配送過程中滲漏的水量,包括管線漏水、配水池溢流或漏水等,帳面損失包括事業本身未計費用水、表差、竊水及帳面錯誤等(如表 1);因此,近

年國際自來水協會及世界各自來水事業皆以 NRW 作為漏控指標,而不再沿用過去的漏水率。水處為推動國際化,並將近年執行漏水改善及帳面漏損成果與國際間自來水事業分享,於 101 年 2 月份啟動 NRW 改善小組整併執行多年漏水改善小組及帳面漏損小組,以擴大漏控成效,陳現方式與國際間自來水事業一致。

水處從 2003 年開始推動漏水改善,以「小區計量」評估「管網改善」成效,平均 1 年汰換 160 公里的老舊管網,成效十分良好,而「小區計量工法執行漏水防制與管理」獲得 IWA「2010 年工程革新獎」東亞區規劃組首獎,在 2010 年 5 月獲邀出席東南亞地區

表 1 水量計算平衡表

System Input Volume	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water
			Billed Unmetered Consumption	
		Unbilled Authorised Consumption	Unbilled Metered Consumption	
			Unbilled Unmetered Consumption	
	Water Losses	Apparent Losses	Unauthorised Consumption	Non Revenue Water
			Customer Meter Inaccuracies	
		Real Losses	Leakage on Transmission and Distribution Mains	
			Leakage from Overflows at Storage Tanks	
		Leakage on Service Connections up to point of Customer Meter		

的水連結論壇 (Water Links Forum) 擔任指導者，提供相關技術，協助亞洲城市的自來水事業體，在實質漏水控制已有具體成果可與國際間自來水事業分享。

帳面漏損 (Apparent Losses) 是有時亦稱為商業漏水 (Commerical Losses) 原因係水表計量不夠精準或用戶使用未經收費之水量而造成水公司的「帳面損失」。由於帳面漏損不同於實質漏損可透過漏出路面或經由檢測量出，往往是自來水事業所忽略而造成營收損失，減少帳面漏損是直接增加自來水事業的收益，而減少實質漏水則是減少自來水事業生產成本。依據國際自來水協會提出帳面漏損構成的因素有四大主軸：1. 水表誤差。2. 非法用水。3. 抄表錯誤。4. 資料處理及帳面錯誤。(如圖 1)

至於降低帳面漏損四大主軸，可以透過下列方法達成：

1. 消除水表誤差: 適時檢驗水表、選擇適合水表及正確的換表時間。

2. 防止竊水: 教育著手、法律措施及流量控制。
3. 防止抄表錯誤: 技術訓練、推動標準化及審核制度。
4. 資料處理及帳面錯誤: 檢核制度、建立分析系統及提升應用軟體。

二、水量計特性

對於水表誤差部分是值得自來水事業單位及製造廠研討，各家水量計製造廠應用流體動力學原理，產生如容積式，單噴式，多噴嘴式，電磁式，超音波式等各式各樣的水量計，基本上這些水量計，是自來水公司利用來計量用戶用水行為及營收的準則。

任何類型的水量計在沿流量範圍之計量行為表現可分成 5 個主要分類點。依據 CNS14866-1「七閉導管內水流量之量測-冷飲水用水量計-第 1 部規範」各點定義如下：第一點是啟動流量 QS，超過這一點流量值表示水量計已開始運行，換言之為水量計最小

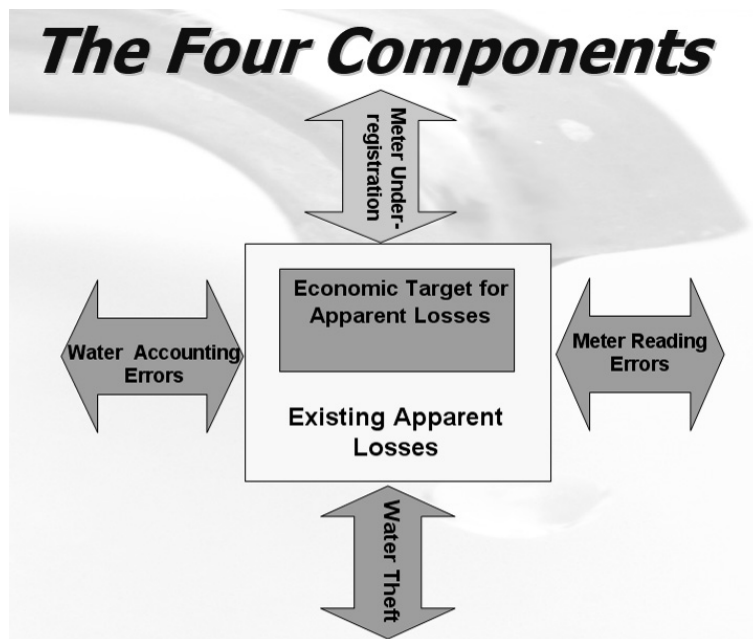


圖 1 國際自來水協會提出帳面漏損構成的因素有四大主軸

運轉流量；惟水量計在此計量範圍的精度是不可靠。第二點是準確的最小流量 Q_{min} ，超過此點流量，水量計的運轉將達到一定誤差精度，通常在正負 5% 範圍。第三點是分界流量 Q_t ，發生在超載流量及最小流量間的一個流量值，流量範圍在此分為兩區，”上區”及”下區”，每區各訂定有最大許可誤差。超過此流量值，水量計的流量精度必須在誤差值的正負 2% 內，水量計的運轉最為平順。第四點是水量計常設流量 Q_n ，水量計在正常使用下以適當的方式操作時的流量。第五點為超載流量 Q_{max} ，水量計在短期間內不劣化而以適當的方式操作時的流量，是常設流量的 2 倍。從水量計運轉本質上講，常設流量 Q_n 是水量計性能曲線(圖 2)的中點。在理想情況下，用水戶的用水量模式都應該是落在 Q_t 與 Q_{max} 的範圍內，水量計的用水計量為最佳精度，其用戶用水行為並非如此。

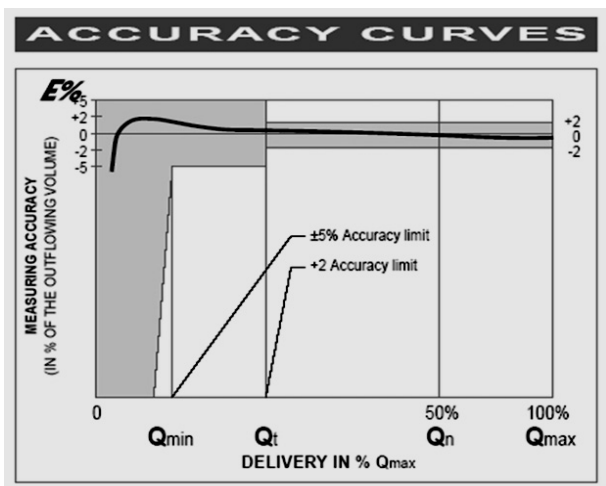


圖 2 水量計性能曲線

因此，當用戶端的用水量落在水量計的 Q_{min} 以下，水量計就無法準確的計量，甚至會發生水量計不感的情形，造成自來水事業

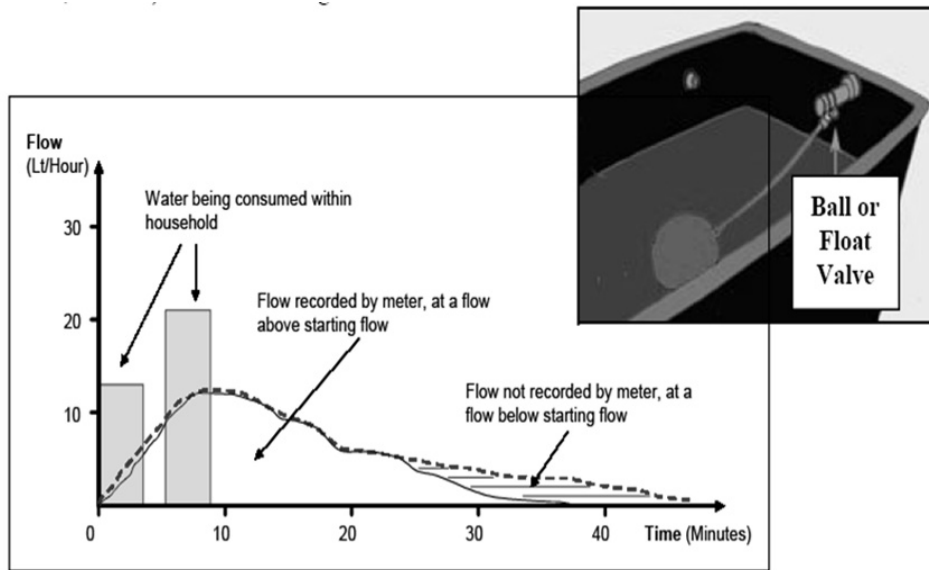
不費水量，而引起水量計不感的因素如下：用戶端的用水設備微量滲水、用戶端的衛生設備補水末期的微量補水、設置水池、水塔的末端微量補水(圖 3)及水量計使用後隨著水量計使用年限自然衰退(圖 4)。

三、微量進水阻止器介紹

以色列是一個缺水的國家，對水資源的管理必須斤斤計較，A.R.I.公司是一個超過 40 年的專業閥類開發公司產品包括進排閥、排氣閥及微量進水阻止器(UFR-Unmeasured Flow Reducer)等用水設備，現在於美國、德國、俄羅斯、中國及南非等國家，另於在全球 90 多個國家設有分支機構並通過 ISO9001 和 ISO14001 認證。A.R.I.公司為克服水量計先天的計量障礙，成功研發完成 UFR 行銷全球，UFR 的工作方式當用戶進水管的進水量低於 30 升/小時或壓力小於 0.4BAR 時，UFR 就發揮功效即阻隔進水，因為進水量低於 30 升/小時已接近 C 級水量計準確的 Q_{min} (25 升/小時)，故將低流量進水阻隔以免水計量未準確計量或不感情形如圖 5。

UFR 基本原理是應用上、下游的壓力差來調節進水流量，由持續的進水量模式改變為脈沖進水模式，使每個脈沖進水模式皆在水量計準確計量的範圍內圖 6，每個用水設備流失的水量、衛生設備及水池、水塔的微量補水與水量計自然衰退有所計量，找回水量計不準及不感的水量。UFR 的動作模式如下所示：

- 1.當 UFR 上、下游的壓力平衡時，下游端 UFR 內部設有彈簧裝置，因此下游端推動柱塞頂住可阻隔兩端。(圖 7)



The effect of a roof tank on meter under-registration

Rizzo, A., S. John G., (2006), *Apparent Water Loss Control: A Case Study Focusing on Reducing On-Site Meter Under-Registration*, Conference: Skopje, Republic of Macedonia.

圖 3 2006 年研究浮球補水對水量計計量的影響

Source: **Integrated Water Meter Management**
Arregui, F., Cabrera J.E., Cobacho R. (2006), IWA Publishing,

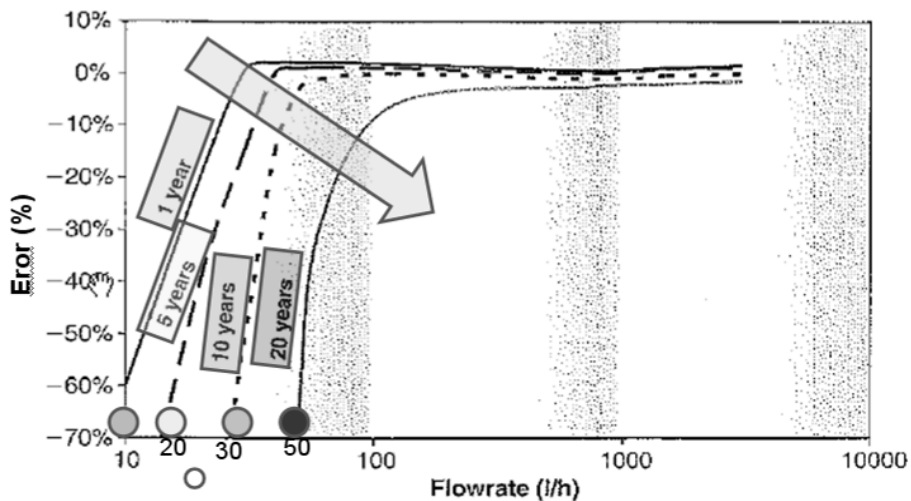


圖 4 2006 年 IWA 出版水量計管理-衰退現象

- 2.當下游端有微量滲水，導致下游端的壓力下降，兩端即產生有壓力差，柱塞向前發展，拉動了密封橡膠。(圖 8)
- 3.橡膠密封條脫離瞬間，柱塞動作迅速向

- 前，脈沖式水流量通過該系統，通過的水量落水量計準確量範圍內。(圖 9)
- 4.當水量充滿下游端，UFR 兩端的壓力相等時彈簧又推動柱塞回的“封閉”的位置。

(圖 10)

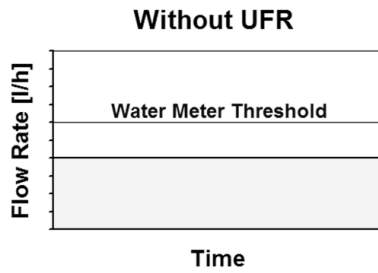


圖 5 微進水水量計未準確或不感計量

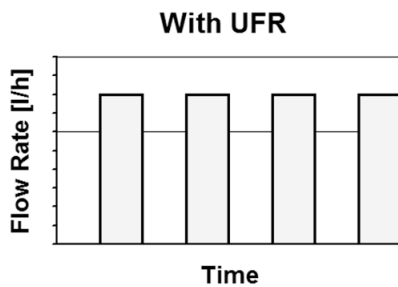


圖 6 裝設 UFR 後脈沖進水模式

在用戶端裝設 UFR 的具體成效如下所示：

- 1.減少不可測量流，降低帳面損失。
- 2.大幅提高自來水事業的收入，依國外經驗可增加 10%。
- 3.UFR 不僅可找回水量計不感的水量，本身也是一個高品質的逆止閥，可防止用戶不明的水源，倒流而污染主要管道。
- 4.在間接供水系統，總表度數與各樓層家戶水表間分表和的差為公共用水分擔，設置 UFR 可以使計費更公平。
- 5.找回因水量計先天障礙的無費水量。
- 6.縮小總表計量度數與家戶水表計量總和之間的測量差異。

四、國內產品研討

以色列為強化民眾對水資源珍惜，除努力宣導以外，提高水價每度約新臺幣 80 元，並在用戶端設置微量進水阻止器防制用戶

漏水未被計量，造成水資源浪費，該項產品原理簡單，成效卓著，不僅增加水公司營收，亦可降低 NRW。

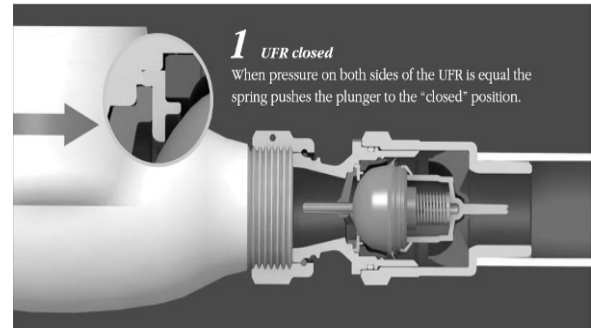


圖 7 上下游兩端壓力平衡柱塞室封閉

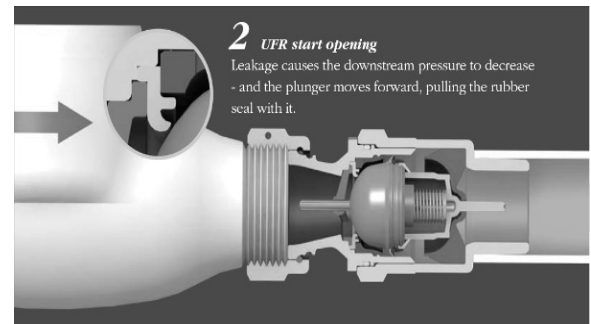


圖 8 滲水致下游端壓力下降，牽動密封橡膠

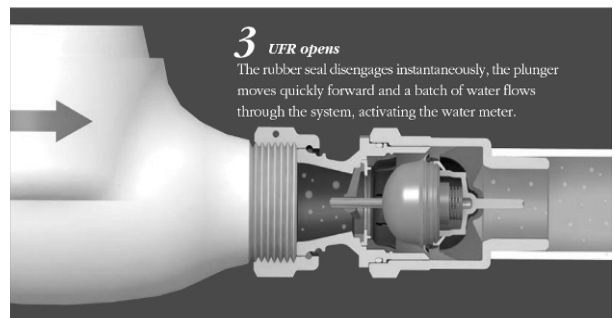


圖 9 橡膠密封脫離瞬間，脈沖式水流量通過

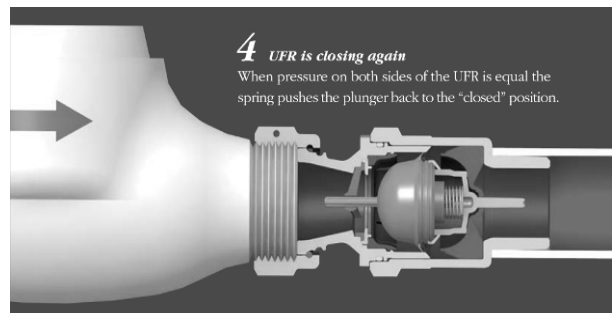


圖 10 水量充滿下游端，兩端的壓力相等時彈簧又推動柱塞回的封閉

經蒐集國內相關資料亦有類似產品，生產此項設備的國內廠商僅將視為逆止閥功能，並未對微量進水阻止功能進行研討、設定，另國內具有微量進水阻止功能的設備(圖 11)，皆整合其他閥類為一體，以下就設置的位置分類，敘述如下：

1. 止水栓球閥：在球型閥的前端裝設彈性式逆止閥，由於彈性功能即可律定球型閥前後壓力差，大於設定壓力差(彈簧的彈力)，使得進水，進水量恰似脈沖進水，使進水量落於水量計準確計量的範圍。
2. 水量計出口端：水量計出口端按裝彈性式逆止閥，預防通過水量計的自來水逆流回配水管，防止配水管受污染的風險，亦可使水量計無法準確計量的微量進水量，改變為落於水量計準確計量範圍內的脈沖式進水(圖 13 及 14)。
3. 表後設置抽水馬達：目前市面上家戶自來水用流控恆壓抽水馬達圖 15 為主，主要的啟動機制係以抽水馬達前後壓力差小於設定值後，自動啟動、運轉送水；抽水馬達主要的啟動機制係以壓力差的設定值為準與前述二種設備及以色列開發 UFR 有異曲同工之處。

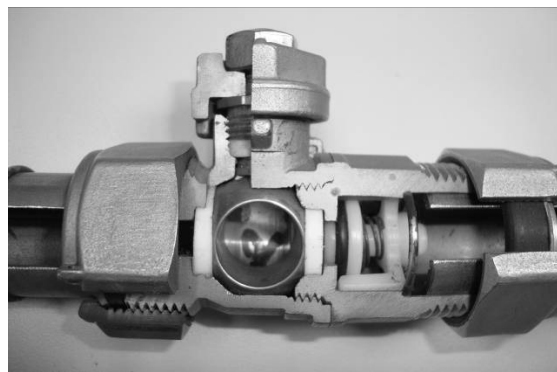


圖 12 整合球型閥的部面圖

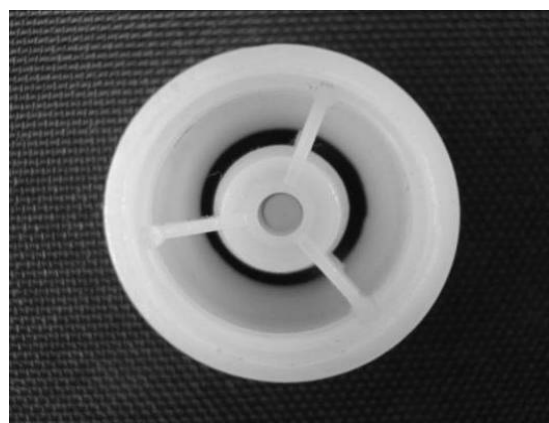


圖 13 彈性式逆止閥正面



圖 14 水量計出口端按裝彈性式逆止閥



圖 11 止水栓具逆止及微進水阻止功能



圖 15 流控恆壓抽水馬達

五、結論

全球水資源日益匱乏，降低 NRW 又是各國自來水事業的責任，而水量計是量測用戶端的用水量，惟水量計如電磁、超音波、容積、奧特曼、單噴嘴及多噴嘴等各種型式皆有啟動流量的問題，只要用戶進水量小於水量計最小流量時，水量計是無法準確計量，因而造成 NRW 上升；以色列是一個極端缺水的國家，對水量計長期投入研究，瞭解水量計先天的障礙，因此研發微量進水阻止器(UFR)，利用彈簧及壓力差原理將持續微量進水模式改變為超過水量計最小流量的脈沖進水方式，使水量計準確計量。

以色列 ARI 公司的微量進水阻止器產品有三種價格(台幣)，銅質外殼每只為 1000 元，塑膠外殼每約為 600 元，僅購買核心構件約為 200 元；經探詢國內的整合止水栓球閥有逆止功能，其逆止功能亦有微量進水阻隔的能力，廠商的價格每只約 480 元，此項產品在台水公司已大量採用於立式表架如圖 11，已是一項成熟的產品；北水處 100 年採購口徑 20mm 不銹鋼伸縮止水栓每只單價為 537 元，另市面銅製口徑 20mm 逆止閥約 270 元，兩者合計約 807 元，約前述整合止水栓球閥的價格 1.67 倍，又欠缺微量進水阻隔功能。

北水處施作一樓表位時，立式表位亦為一種標準的態樣如圖 16，惟此項施作工率高且所佔的間空較大，功能性稍有不足，未來於建築物緊鄰水溝、無適當位置裝設表位時，可思考改為整合型立式表架，以健全表位各項功能；至於不銹鋼伸縮止水栓部分亦可考量納入整合性逆止閥的功能，以杜絕用戶的微量進水而影響 NRW 的計算。

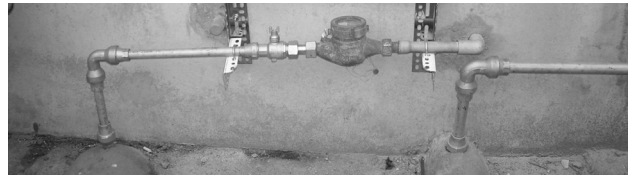


圖 16 立式表架

參考文獻

- 1.Sharon Yaniv, "Reduction of Apparent Losses Using the UFR" -Case Studies.
- 2.A Rizzo*, J Cilia "Quantifying Meter Under-Registration Caused by the Ball Valves of Roof Tanks"。
- 3.Sharon Yaniv, "Reduction of Apparent Losses Using the Unmeasured-Flow Reducer (UFR)" (20120325)
- 4.經濟部標準檢驗局，CNS14866-1「完全充滿的密閉導管內水流量之量測-冷飲水及熱手用水量計-第1部規範」(101/2/14)
- 5.台灣自來水公司，止水栓(含立式表位使用)檢驗規範(91/3/20)及圖面。
- 6.吳陽龍、許敏能(2012)，"赴以色列參訪水量計流量試驗場建置及水量計附屬設備維護作業"考察報告。

作者簡介

吳陽龍先生

現職：臺北自來水事業處處長

專長：自來水事業經營與管理、水利工程、自來水工程

許敏能先生

現職：臺北自來水事業處供水科股長

專長：漏水防制、自來水工程、自來水管材、用水設備規範

台灣自來水公司漏水率之探索

文/江春盛

一、緣起

台灣地區年雨量平均值 2500 毫米為世界年平均之 2.6 倍，惟台灣高山陡峻，每逢大雨即迅流入海，蓄水不易，故台灣每人每年平均可分配的水量為 4500 立方公尺卻僅為世界各國平均值的六分之一，屬水資源貧乏地區，為世界第 18 缺水國。又由於工商社會進步，經濟快速成長，所需之水資源日益增加，而水庫之開發在環保意識高張的今天，不易興建，經濟部水利署有鑑於此，在開源不易之情況下，轉而要求自來水事業單位應擬定節流計劃，檢討如何降低漏水率，提升用水效率及售水率，以緩和 water 資源開發的壓力。

台灣自來水公司成立於民國 63 年，依 99 年台灣自來水事業統計年報當年售水率為 68.26% (詳表 1)，而民國 100 年售水率為 71.71%，期間斥巨資於抽換舊漏管線，惟售水率僅提升 3.45%，而漏水率降低多少並無數據，又值得一提的是民國 83、84 及 85 年售水率分別為 76.47% 及 79.88% 及 81.30%，短短兩年售水率驟升 4.83%；而 88 年及 89 年售水率分別為 75.56% 及 89 年 68.7%，短短一年售水率驟降 6.86%，這兩處戲劇性之轉折，不禁讓人對台灣自來水公司歷年來售水率數據之信賴度及 38 年來降低漏水率之成效產生質疑，到底台灣自來水公司於售水率及漏水率之計算基準是否有值得檢討改進之處？及如何讓售水率及漏水率之數據具

信賴度，並檢討如何降低漏水率，提升用水效率及售水率，以緩和 water 資源開發的壓力，為本文探討之重點。

二、台灣自來水公司售水率及漏水率之計算基準

台灣自來水公司在售水率之計算基準一般係以年配水量為分母，年售水量為分子所得之數值，故年配水量及年售水量之正確性影響其信賴度甚具；另漏水率之計算係以 100% 減去售水率再減去消防用水、工程事業用水、其他用水、水表不感度量及未查獲違章竊水量等之有效無計費水量而得，由於涉及之項目甚多，而每一項目之信賴度均影響漏水率之計算，故更值得去深思漏水率之信賴度，其中最值得一提的，消防用水、工程事業用水、其他用水、水表不感度量及未查獲違章竊水量等之有效無計費水量，台灣自來水公司均係以推估值計算。而一般所稱漏水率所指即為配水系統自來水管線破漏流失之水量比率，台灣自來水公司為讓漏水率及售水率逐年有改善，一般會設定年度漏水率及售水率目標值，然後藉由降低漏水率及提升售水率各項措施進行管控。

三、如何提升台灣自來水公司售水率及漏水率之信賴度

(一) 正確計算售水率及漏水率

因售水量之計算其分母是年配水量，故若配水量降低，售水率自可提升。

表 1 台灣自來水公司歷年供水量、售水量、售水率概況

項目	供水量(m ³)	售水量(m ³)	售水率(%)
年度	a	b	c=b/a
63 年	423,384,502	289,012,366	68.26%
64 年	456,733,547	304,351,457	66.64%
65 年	486,641,970	331,830,538	68.19%
66 年	551,052,131	384,630,881	69.80%
67 年	651,925,230	472,585,950	72.49%
68 年	727,644,563	544,957,993	74.89%
69 年	782,900,812	583,341,611	74.51%
70 年	853,480,779	644,563,139	75.52%
71 年	942,414,123	718,505,308	76.24%
72 年	1,031,206,336	792,986,589	76.90%
73 年	1,083,904,966	844,893,420	77.95%
74 年	1,176,534,442	905,694,148	76.98%
75 年	1,243,916,916	983,685,515	79.08%
76 年	1,347,399,718	1,064,838,159	79.03%
77 年	1,483,392,954	1,168,275,356	78.76%
78 年	1,605,463,323	1,251,920,914	77.98%
79 年	1,705,602,227	1,338,244,514	78.46%
80 年	1,817,857,010	1,422,513,799	78.25%
81 年	1,952,799,874	1,467,258,226	75.14%
82 年	2,056,485,560	1,564,919,759	76.10%
83 年	2,126,372,015	1,626,103,519	76.47%
84 年	2,139,027,452	1,708,556,524	79.88%
85 年	2,195,113,081	1,784,521,568	81.30%
86 年	2,293,765,435	1,826,299,531	79.62%
87 年	2,378,114,042	1,828,362,684	76.88%
88 年	2,494,432,792	1,884,793,532	75.56%
89 年	2,845,438,541	1,954,891,602	68.70%
90 年	2,931,265,573	1,991,751,339	67.95%
91 年	2,880,050,003	1,964,179,173	68.20%
92 年	2,959,327,403	2,004,898,544	67.75%
93 年	2,981,172,447	2,056,610,319	68.99%
94 年	3,047,219,999	2,094,279,812	68.73%
95 年	3,115,321,070	2,160,291,286	69.34%
96 年	3,149,709,952	2,194,917,288	69.69%
97 年	3,101,414,351	2,203,242,019	71.04%
98 年	3,032,267,573	2,110,707,987	69.61%
99 年	3,095,423,908	2,209,619,278	71.38%
100 年	3,111,306,169	2,231,201,828	71.71%

依據台灣自來水公司 99 年度統計年報，第四區管理處之售水率為 62.14%，若漏水率以 30%計(即有效無計費水量假設為 7.86%)，而大台中系統配水量估約每日 120 萬立方公尺，若其漏失之水量估約可能達每日 36 萬立方公尺，每年漏失水量為 1.314 億立方公尺，近乎 1 個石門水庫之水量，若以每立方公尺水量從水源開發至售水成本以 30 元計，則其漏失水量之成本效益將達 39.42 億元。自來水公司應及早重視大台中供水系統之管線之漏水及場內水資源之流失問題。

(二)提升管理用水表之準確度

所謂管理用水錶，係指淨水場內原水流量計、原廢水流量計、回收水流量計、放流水流量計、清水流量計及支受援清水流量計之總稱，該等流量計之準確性，影響售水率及漏水率之準確性甚巨，目前台灣自來水公司所採用者均非形式認證者，故無公信力可言，又各種水質條件不同，亦有其適用之表種，更值得一提的是，各種不同表種，前後直管距離要求亦不同，若無法滿足其要求，將影響其準確度甚巨，台灣自來水公司目前甚多管理用水表，因有於淨水場內空間狹窄及腹地有限，往往無法滿足其前後直管距離之要求，故亟需辦理表位改善，以提高其準確度；又對於逾齡管理用水表亦需按時予以汰換；另對於未逾齡者亦需委以第三公正單位予以定期校正。

(三)提升不收費合法取水量及表面流失量之準確度

台灣自來水公司對於消防用水、工程事業用水、其他用水、水表不感度量及未查獲

違章竊水量等合計稱為有效無計費水量，均係以推估值計算，據悉係以 7-9%估算，是否合理有待商榷，其中消防用水及工程事業用水依照國際水協(IWA)定義稱為不收費合法取水量；而水表不感度量及未查獲違章竊水量依照國際水協(IWA)定義稱為表面流失量(apparent loss)，依照國際水協(IWA)調查本項水量應僅佔水平衡(Water Balance)之極少部分，一般而言不收費合法取水量應少於系統載入量之 1%；而表面流失量於管理良好之系統亦約小於系統載入量之 1%，故兩項合計僅約 2%，而台灣自來水公司竟高達 7-9% (詳表 2)，可見尚有很多改進之空間，建議對於消防用水及工程事業用水應裝設計量水表；而對於用戶水表不感度量部分，係指實際流量與測定流量間之差異，此等不感水量因受水表特性之影響，將因水表之種類、口徑及使用年限不同而有所不同。為此，從更換新舊水表所撤換之水中隨意抽出若干水表就不同種類、口徑及使用年限各項實施誤差之測定。此外因流量之多寡亦有不同之誤差會產生，因此就不同流量進行測定調查，亦可推估水表平均使用量別之誤差。建議可參考先進國家作法如日本對不同水表之種類、口徑、使用年限及流量普做統計研究調查，並應注意統計之樣品數及代表性應具可信度，若台灣自來水公司之不收費合法取水量及表面流失量經精確調查後比 7-9%估算少甚多，則其漏水率自會高出很多，若參考先進國家，供水系統管理良好者，可以 2%估之。

表 2 台灣自來水公司 90-100 年度售水率、有效無費水率及漏水率統計表

年度	供水量 (百萬 M ³)	有效水量(百萬 M ³)							管線漏水量(百萬 M ³) (含不明水量) 漏水率(%)
		計收水量	未計收水量						
		售水量 售水率(%)	水表不 感度量	違章竊 水量	消防用 水量	工程事 業用量	其他用 水量	小計	
90	2,931	1,980	57.2	8.8	56.5	52.4	55.1	230	721
	100%	67.55%	1.95%	0.30%	1.93%	1.79%	1.88%	7.85%	24.60%
91	2,880	1,955	55.4	5.57	55.4	48.77	52.54	217.38	707.62
	100%	67.88%	1.92%	0.19%	1.92%	1.69%	1.81%	7.53%	24.57%
92	2,959	2,000	56.81	5.62	62.73	52.97	53.56	231.69	727.31
	100%	67.59%	1.92%	0.19%	2.12%	1.79%	1.81%	7.83%	24.58%
93	2,981	2,055	56.34	4.47	58.43	47.1	50.88	217.22	708.78
	100%	68.93%	1.89%	0.15%	1.96%	1.58%	1.71%	7.29%	23.78%
94	3,047	2,093	58.9	5.49	59.45	54.24	54.85	232.93	721.07
	100%	68.70%	1.93%	0.18%	1.95%	1.78%	1.80%	7.64%	23.66%
95	3,115	2,159	58.56	5.3	60.43	50.15	50.8	225.21	730.79
	100%	69.32%	1.88%	0.17%	1.94%	1.61%	1.63%	7.23%	23.45%
96	3,149.71	2,194.92	63.01	5.89	60.08	50.19	47.71	226.88	727.91
	100%	69.69%	2.00%	0.19%	1.91%	1.59%	1.51%	7.20%	23.11%
97	3,101.41	2,203.24	60.78	5.58	57.07	47.45	46.52	217.40	680.77
	100%	71.04%	1.96%	0.18%	1.84%	1.53%	1.50%	7.01%	21.95%
98	3,032.27	2,110.71	60.04	5.76	59.43	104.92	40.94	271.09	650.47
	100%	69.61%	1.98%	0.19%	1.96%	3.46%	1.35%	8.94%	21.45%
99	3,095.42	2,209.62	61.91	5.02	60.67	108.65	14.74	250.99	634.81
	100%	71.38%	2.00%	0.16%	1.96%	3.51%	0.48%	8.11%	20.51%
100	3,111.31	2,231.20	62.23	4.79	38.40	144.40	2.38	252.20	627.91
	100%	71.71%	2.00%	0.15%	1.23%	4.64%	0.08%	8.10%	20.19%

註：89 年漏水率 24.58%

(四)依照國際水協(IWA)定義之年水平衡 (AWB)計算售水率及漏水率

為能降低管網水量損失並統一定義與績效指標，以利世界各自來水機構可互相比較與學習，國際水協會(IWA)提出年水平衡(AWB)理念之標準定義與績效指標，並於國際會議研討會時獲得許多國家之認同並予實行，依 IWA 之定義，供水系統配水管網內各項水量去向之分類計有系統載入量、合法

取水量及水流失量，依年水平衡(AWB)理念，其中系統載入量係為合法取水量及水流失量之合計，而合法取水量含收費合法取水量及不收費合法取水量，另水流失量則含表面流失量及真正流失量，又系統載入量與收費合法取水量之差值即為無計費水量(Non-Revenue Water :NRW)，上述各項水量名詞均有其定義內涵。在這裡真正流失量等同台灣自來水公司之漏水量，而收費合法取水

量即為售水量。

一般而言，無計費水量(Non-Revenue Water :NRW)是衡量事業水資源管理成效之重要指標，IWA 針對如何計算 NRW 亦提出四步驟供遵循，步驟一:決定系統載入量，步驟二:決定合法取水量，步驟三:估算表面流失量，步驟四:計算真正流失量，同時亦可依 Liemberger 所開發之軟體 WB-EasyCalc 來計算 NRW，本計算軟體為世界銀行所支持，並有 95%之信賴區間。

四、總結

經查台灣自來水公司 100 年配(供)水量 31.1 億立方公尺，若漏水率以 20.19%計，則等於每年漏掉 6 億多立方公尺的水量，等於漏掉 4 個石門水庫的水量，這是屬於配水系統之漏水量，另若消防用水、工程事業用水、其他用水、水表不感度量及未查獲違章竊水量等之不收費合法取水量及表面流失量(兩項合計台灣自來水公司稱為有效無計費水量)以 2%計(與目前 7-9%之差距達 7%)，則推算台灣自來水公司 100 年底從水源至配水系統之水量差損將達 27%(20.19% + 7%=27%)，等於每年差損約 8.397 億立方公尺水量，若以每立方公尺水量從水源開發至售水成本以 30 元計，則其差損之成本效益將達 251.91 億元，應非水公司對外公佈之漏水率僅 20.19%，故建議台灣自來水公司應及早依照國際水協(IWA)定義之年水平衡(AWB)計算售水率及漏水率。

台灣自來水公司 101 年編列 80 億元汰換老舊管線，預計可降低漏水率 1.6% (詳圖 1); 並預計於 102 至 111 年度 10 年內將再投入 1125 億元，辦理汰換舊漏管線 9,700 公

里，建置 2,000 個分區計量管網，預估 10 年可降低漏水率 3.9% (詳圖 2)，花費如此巨資卻僅能降低漏水率 3.9%，以目前鄰近日本而言卻能將漏水率降至 3%以下，簡直不能同日而語，若果台灣自來水公司漏水率之計算不早日制度化，則花巨資之成本效益將無法去衡量，另台灣自來水公司 100 年花費 50.26 億元辦理管線汰換 796 公里，漏水率從 20.51%降為 20.19%計降低 0.32%；又依該公司統計 100 年檢修漏作業費用約為 1.17 億元(詳表 4)，97-100 年平均檢出漏水量為 355,823CMD (詳表 5)，依此推算年檢出漏水量達 129,875,395 立方公尺，約佔年配水量 31.1 億立方公尺之 4.18%，其檢出效益可達 13 億元(詳表五)，就 100 年度而言，漏水率之降低，究是管線汰換所致，亦或檢修漏造成，依上論述，已顯而易見，檢修漏之經濟效益遠大於管線汰換。102-111 年自來水公司將辦理汰換舊漏管線 9700 公里及建置 2000 個分區計量管網之依據及先後次序為何？更值得去深思探討，為如何降低漏水率，提升用水效率及售水率，台灣自來水公司應可及早依照國際水協(IWA)建議建立漏水防治績效指標及漏水防治策略；並結合地理資訊系統(GIS)有效規畫分區計量管網(DMA)及依據分區計量管網(DMA)有效辦理檢修漏及管線汰換，而在對漏水防制之成效而言應以檢修漏較有經濟效益，另在檢修漏方面依照美國自來水協會之研究漏水的生命週期約為兩年故至少須採兩年一循環方能讓漏水率不再下降，而目前台灣自來水公司漏水率居高不下(某些地區可能超過 50%)，故建議應採三年兩循環，以降低漏水率，惟依台灣自來水公司目前檢修漏人力逐漸老化又無

表 3 經濟部台灣自來水公司 101 年 6 月降低漏水率計畫概要

年度	汰換經費(億元)	汰換長度 (公里)	預估當年度 管線總長(公里)	汰換率 (%)
102	99	950	57,900	1.64
103	97	940	58,130	1.62
104	98	950	58,360	1.63
105	106	990	58,590	1.69
106	108	990	58,820	1.68
107	106	980	59,060	1.66
108	106	970	59,300	1.64
109	117	980	59,540	1.65
110	119	960	59,780	1.61
111	124	990	60,020	1.65
合計	1,080	9,700	58,950(平均)	1.65(平均)

() : 預算

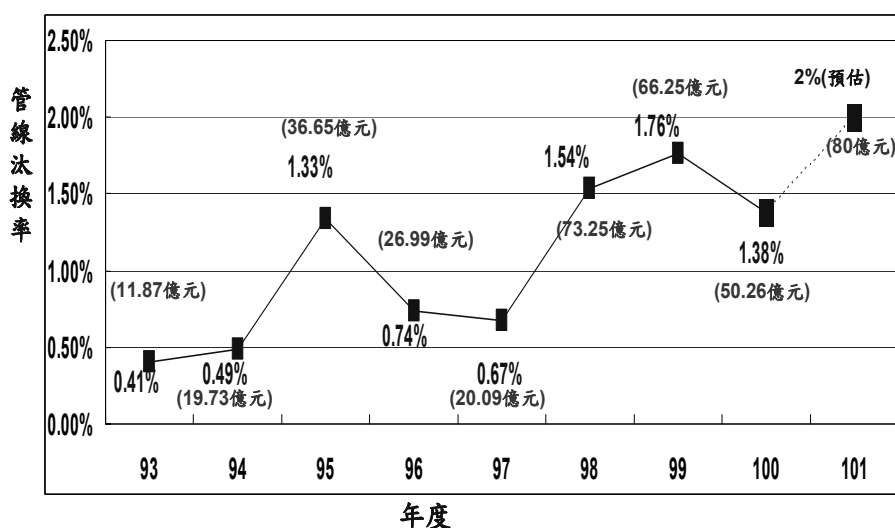


圖 1 93-100 年及 101 年(預估)管線汰換率

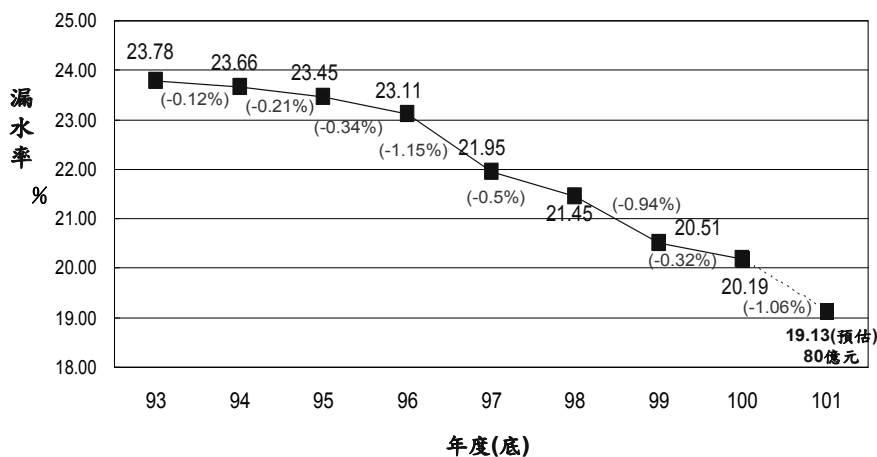


圖 2 93-100 年及 101 年(預估)管線漏水率

新進人員，其每年檢修漏件數卻逐年增加，顯有人為造假之嫌，故為達到前述三年兩循

環之要求，確有需要加強辦理檢修漏作業，以有效降低漏水率。

表 4 100 年度管線檢修漏費用統計表

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

表 5 97-100 年度管線檢漏成果統計表

年度	檢漏長度(公里)	檢漏件數(件)			檢出漏水量(CMD)	備註
		合計	地下	地上		
97	31,971	7,093	4,939	2,154	331,564	
98	33,626	7,157	4,432	2,725	328,439	
99	31,608	8,094	4,412	3,682	466,968	
100	34,043	8,698	4,264	4,434	296,321	
合計	131,248	31,042	18,047	12,995		
平均檢出漏水密度(件/公里)		0.24				
平均檢出漏水量(CMD)					355,823	
平均年檢出漏水量(立方公尺)					129,875,395	
平均年檢出效益(元/年)					1,298,753,950	每 CMD 以 10 元計
年配水量(立方公尺)					3,110,000,000	以 100 年度計算
檢出效益(%)					4.18	檢出漏水量/配水量

參考文獻

- 1.台灣自來水公司歷年供水量、售水量、售水率一覽表
- 2.台灣自來水公司90-100年度售水率、有效無費水率及漏水率統計表
- 3.經濟部台灣自來水公司101年6月降低漏水率計畫現況報告
- 4.台灣自來水公司100年度管線檢修漏費用統計表

5.台灣自來水公司97~100年度管線檢漏成果統計

作者簡介

江春盛先生

現職：南華大學兼任講師 江春盛

專長：自來水經營與管理(自來水管線漏水檢修、水質改善、水源開發與海水淡化、人力資源管理)、行銷管理、物流管理、人力資源管理

現有科技於自來水管漏水量估算之運用

文/周國鼎

摘要

社會各界不時詬病台灣地區自來水管網漏水量過高，卻鮮少有人思考漏水量之數值是如何求得。目前部分自來水事業單位執行分區計量管網(District Metering Area, DMA)計畫時，將管網系統中之供水量（或配水量、系統進水量）扣除抄見量（或收費水量）者視為漏水量。然而根據國際水協會(International Water Association, IWA)水平衡表(Water Balance)，該數值應是「無收費水量」(Non-Revenue Water, NRW)，而不是漏水量。如果使用此種方法估算，漏水量將有高估之虞。

漏水量在實務上無法直接量測，僅能運用不同方法盡量的準確估算之。根據國際水協會損失水量專案小組(Water Losses Task Force, WLTF)之建議，估算漏水量的方法有三種，包括「由上而下法」(Top-down)、「由下而上法」(Bottom-up)及「成份分析法」(Component Analysis)。這些方法估算漏水量之難易度及準確度不一，自來水事業單位應視其需要選擇適當之方法。

本文將詳述三種估算漏水量之方法，希望藉此協助自來水從業人員及政府相關主管機關正確認知估算漏水量之方法，進而達到降低漏水量及提高供水效率之目的。

關鍵字：漏水量、實際損失水量、分區計量管網、計量管網

一、前言

根據周國鼎(2012)編譯之國際水協會(International Water Association, IWA)中文標

準用語水平衡表（中英對照版見表 1），「損失水量」(Water Losses)包括「實際損失水量」(Real Losses)以及「帳面損失水量」(Apparent Losses)，其中「實際損失水量」就是一般人常說的自來水漏水量。社會各界不時詬病台灣地區自來水管網漏水量過高，卻鮮少有人思考漏水量之數值是如何求得。

目前部分自來水事業單位執行分區計量管網(District Metering Area, DMA)計畫時，將管網系統中之供水量（或配水量、系統進水量）扣除抄見量（或收費水量）者視為漏水量。然而根據國際水協會水平衡表(Water Balance)，該數值應是「無收費水量」(Non-Revenue Water, NRW)，而不是漏水量。「無收費水量」包括「實際損失水量」、「帳面損失水量」及「無計費合法用水量」(Unbilled Authorized Consumption)，其數值大於漏水量，如果使用前述作法估算，漏水量將有高估之虞。

供水量（或配水量、系統進水量）之計量可藉由在輸水幹管之前端設置流量計，並記錄經過之總水量而得知；漏水量則無法比照該方式在漏水點裝設流量計直接量測，因為漏水點通常不僅是不易發現的，何時發生的也是無法預先知道，遑論裝設流量計。即使可預知漏水發生之時間與地點，所需流量計之數量也會龐大到在實務上並不可行；況且如果可預知漏水，就應該及早防治，不致任其發生才對，這樣的話，漏水量即為零。實際上，即使是自來水管網效能最優良之自來水事業單位，也無法完全避免漏水之發生，問題只是漏水量多寡而已。

究竟漏水量應該如何估算呢？漏水量在實務上無法直接量測，僅能運用各種不同方法盡量地準確估算之。根據國際水協會損失水量專案小組(Water Losses Task Force, WLTF)之建議，漏水量可利用三種方法來估算，包括「由上而下法」(Top-down)、「由下而上法」(Bottom-up)及「成份分析法」(Component Analysis)。這些方法之難易度及準確度不一，自來水事業單位應視其需要選擇適當之方法。

如果自來水事業單位無法充分了解各種估算漏水量之方法，勢必無法釐清問題所

在及正確研擬降低漏水量之對策；若是政府相關主管機關不甚明瞭估算漏水量之方法，也就無法充分掌握自來水事業單位提報數據之正確性，遑論要如何確認是否達到預期改善成效。

本文除將闡明漏水量之定義及其範疇，釐清漏水量與無收費水量之差別，並將詳述以上三種估算漏水量之方法，希望藉此協助自來水從業人員及政府相關主管機關正確認知估算漏水量之方法，進而達到降低漏水量及提高供水效率之目的。

表 1 國際水協會水平衡表中英對照版

System Input Volume 系統進水量	Authorized Consumption 合法用水量	Billed Authorized Consumption 計費合法用水量	Billed Metered Consumption 計費計量用水量	Revenue Water 收費水量
			Billed Unmetered Consumption 計費無計量用水量	
		Unbilled Authorized Consumption 無計費合法用水量	Unbilled Metered Consumption 無計費計量用水量	Non-Revenue Water (NRW) 無收費水量
			Unbilled Unmetered Consumption 無計費無計量用水量	
	Water Losses 損失水量	Apparent Losses 帳面損失水量	Unauthorized Consumption 非法用水量	
			Metering Inaccuracies and Data Handling Errors 水錶不準度與資料處理誤差	
		Real Losses 實際損失水量	Leakage on Transmission and/or Distribution Mains 送水幹管及(或)配水幹管之漏水量	
			Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks 配水池之漏水量及溢流量	
Leakage on Service Connections up to Point of Customer Metering 接管點至用戶水錶間之漏水量				

編譯人：周國鼎

二、漏水量

(一)漏水量定義

估算漏水量之前，應該先將漏水量予以明確定義。我國自來水產銷分析方式及損失水量等相關項目之定義迄今仍無一套共同之規範可供各自來水事業單位遵循，在考量能與國際接軌之前提下，國際水協會在 2000 年所公布有關損失水量之基本標準用語以及定義不啻為我國自來水事業單位的最佳選擇。

對於漏水量而言，也就是國際水協會水平衡表所稱之「實際損失水量」，國際水協會將其定義為「年度中自送、配水系統至用戶水錶間經由幹管、配水池及用戶接管之各類型漏水、爆管及溢流等方式而實際流失之水量」。值得注意的是，一般人總是認為漏水量僅限於自來水管線或管網設施因破損而流失之水量，但是國際水協會將溢流造成之損失水量亦列入實際損失水量之範疇。實際上，根據國際水協會水平衡表，「實際損失水量」總共包括 3 個項目，分別是「送水幹管及（或）配水幹管之漏水量」、「配水池之漏水量及溢流量」以及「接管點至用戶水錶間（在我國俗稱用戶外線）之漏水量」。

(二)國際水協會水平衡表

國際水協會損失水量專案小組收集了包括法國、德國、日本、英國與美國等國家的水平衡國家標準程序及專用術語（各國版本可能不同），再由這些已經使用在大量文獻中之專用術語，彙整挑選其中的最佳者，並在 2000 年 10 月發表了國際水協會水平衡表，且隨即建議各國自來水事業單位採用。國際水協會之水平衡分析係依據是否有水

費收入，將「系統進水量」分成「收費水量」(Revenue Water)與「無收費水量」，此種分類方式是日前大多數國家採用的產銷分析方式，其主要優點是出水量只分成「收費」與「無收費」二大類，相當簡單明瞭，加上使用的國家較多，無須經過其它計算或調整就可直接比較。目前我國主要的 2 個自來水事業單位，台北自來水事業處及台灣自來水股份有限公司分別採用不同的產銷分析方式，前者所採用者大致與國際水協會水平衡表類似，後者則是與日本自來水事業單位所使用者近似。

日本自來水事業單位現行之自來水產銷分析方式係依據「配水量」是否有效被使用，分類成「有效水量」與「無效水量」。此種分類方式的優點是可以突顯出部份自來水管網系統損失水量雖然沒有計收水費，但已受到有效的利用，而不同於漏水量等一般的無謂損失。然而依據該分類方式，無效水量項下之「漏水量」並未收取水費，卻不屬於未計收水量，容易造成混淆，現在僅有巴西與日本等少數國家採用。

水平衡分析通常以 12 個月為計算周期，因此常稱之為年度水平衡，沒有硬性規定必須自 1 月 1 日開始及 12 月 31 日結束；至於水平衡分析中之各種用水量及損失水量則以體積為單位，例如立方公尺(m³)或百萬立方公尺(10⁶ m³)等方式皆為可行。

(三)國際水協會水平衡表標準用語及定義

在作任何有關損失水量之討論前，水平衡表中之各項目以及補充資訊都應該先明確定義，接下來之討論才具有意義。

1.國際水協會水平衡表中文標準用語

由於國際水協會水平衡表標準用語係以英文撰寫，目前我國並無標準中文版本，往往同一項目被不同人士或單位轉譯為中文時可能會產生各種不同的說法。單以「帳面損失水量」(Apparent Losses)一詞為例，其他曾見的不同譯法就包括「表觀損失水量」、「表面損失水量」、「假漏損量」或「帳面漏水量」等 5 種之多。為避免用語混淆不清，徒生困擾，本文中之相關專業用語將採用周國鼎(2012)編譯之國計水協會水平衡表中文標準用語(中英對照版見表 1)，該譯文遵從原文直譯之原則，部分主要用語之中文轉譯如下：

- Authorized：合法；Unauthorized：非法
- Consumption：用水量；Losses：損失水量
- Billed：計費；Unbilled：無計費
- Metered：計量；Unmetered：無計量
- Revenue：收費；Non-Revenue：無收費

2. 國際水協會水平衡表標準用語之定義

國際水協會水平衡表標準用語之定義詳述於表 2，筆者並藉該表闡述說明各標準用語之內涵，以利讀者深入了解。此外，對於國際水協會水平衡表標準用語轉譯為中文時之不同譯法，該表也作了部份說明及評論。

表 2 國際水協會水平衡表標準用語之定義及中文用語

國際水協會標準用語	中文標準用語	定義	說明	備註
System Input Volume	系統進水量	進入送水系統或配水系統之水量。	「System Input Volume」直譯為「系統進水量」，係由「自有出水量」及「其他自來水事業單位躉售或支援」之水量所組成，其供水標的包括供給轄區用水之「配(供)水量」及「躉售或支援其他自來水事業單位」之水量。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 部份專業人士或單位稱「System Input Volume」為「出水量」、「配水量」、或「供水量」，此種用語忽略了與其他自來水事業單位相互「躉售或支援」之水量，故語意上略顯狹隘。 2. 在我國，「出水量」係指自淨水場之生產水量，以出水總水量計計量，日本則稱之為「配水量」，應避免混淆。 3. 在我國，配(供)水量係指供水系統為滿足轄區用水需要之全年供應水量。

國際水協會 標準用語	中文 標準用語	定義	說明	備註
Authorized Consumption	合法用水量	包括經計量及（或）未經計量供予用戶、自來水業者自身及其他經明文或未明文授權使用之水量，以作為家戶、商業及工業等目的使用。也包括支援或售出給其他自來水業者之水量。	「合法用水量」包括救火及訓練、幹管或汙水管清洗、街道清洗、公園澆灌、公共噴水池等項目之用水量，這些用水量之計費及計量與否可能因地不同。	用戶水錶後端之漏水量及溢流量亦屬於「合法用水量」。
Billed Authorized Consumption	計費合法用水量	「合法用水量」中需計費之用水量。	「計費合法用水量」包括「計費計量用水量」及「計費無計量用水量」。	1. Billed 為開立帳單之意，意即須付費使用。 2. 用戶水錶端以後之漏水量，即用戶內線之漏水量，屬於計費計量用水量。 3. 部份專業人士及自來水事業機構將其譯為「售水量」，
Unbilled Authorized Consumption	無計費合法用水量	「合法用水量」中無需計費之用水量。	「無計費合法用水量」包括「無計費計量用水量」及「無計費無計量用水量」。	1. Unbilled 為無須開立帳單之意，意即可免費使用。 2. 在國際間，市政用水多屬於「無計費合法用水量」，而在我國則歸類於「計費合法用水量」。
Water Losses	損失水量	「系統進水量」扣除「合法用水量」後之水量。	「損失水量」可以整個系統為計算範疇，亦可以單就部份系統為之，例如原水幹管、送（導）水或配水等系統。而納入水平衡計算之組成可依照各種情況適作調整。「損失水量」包括「實際損失水量」及「帳面損失水量」，「損失水量」實際上與以往國際間常用之「流向不明水量」（UFW）一辭同義。	由於水給予人的印象是流動的，曾有部份專業人士將其譯為「流失水量」，然而「水錶不準度」及「抄表資料錯誤」等造成自來水事業單位營業損失之項目非關水量「流失」，因此不宜譯為「流失水量」，而以「損失水量」為佳。



國際水協會 標準用語	中文 標準用語	定義	說明	備註
Real Losses	實際 損失水量	加壓系統至用戶水錶間實際流失之水量。	這些經由各類漏水、爆管及溢流之水量多寡取決於發生頻率、流量及平均漏水延時。Real Losses 與世界銀行 (World Bank) 慣用之 Physical Losses 同義。	1. 用戶水錶端以後之漏水量屬於「計費計量用水量」，不屬於「實際損失水量」。 2. 部份專業人士將其譯為「真漏損量」。
Apparent Losses	帳面 損失水量	包括「非法用水量」(竊水或非法使用) 及各種與產水計量及用戶計量有關之不準度。	自來水事業單位產水計量用水錶負偏差以及用戶計量之水錶正偏差將會導致低估「實際損失水量」；而產水計量用水錶正偏差以及用戶計量之水錶負偏差將會導致高估「實際損失水量」。「Apparent Losses」與世界銀行慣用之「Commercial Losses」同義。	1. Apparent 即為 Real 之反義字，以對應損失水量中非因自來水供水設施漏水而造成之損失水量。 2. 部份專業人士將其譯為「表面損失水量」或「表觀損失水量」。 3. 另有專業人士將其譯為「假漏損量」，北水處則稱其為「帳面漏水量」，惟「水錶不準度」、「資料處理誤差」及「非法用水量」等均與「漏水量」無涉，因此該類用語恐有高度誤導之可能。 4. 曾有部分人士及自來水事業機構將上述「水錶不準度」誤認為「水錶不感度」，實際上不感度類似儀器之最小偵測極限，不準度則是水錶整體之誤差程度。換言之，不準度包含不感度，不感度原則上不等於不準度。
Non-Revenue Water	無收費水量	「系統進水量」與「計費合法用水量」之差值。	「無收費水量」(NRW) 不同於「流向不明水量」(Unaccounted for Water, UFW)，因各國對於 UFW 之定義不同，國際水協會已呼籲停止使用 UFW 之用語。	部份專業人士及自來水事業機構將其譯為「無費水量」，惟該用語易與「無計費合法用水量」(Unbilled Authorized Consumption) 混淆，故應稱之為「無收費水量」，以利明確區分。

製表人：周國鼎

三、由上而下法(Top-down)估算漏水量

「由上而下法」又可稱之為水平衡法，此乃因為「實際損失水量」可以利用國際水協會之年度水平衡表來估算。將水平衡表中之「系統進水量」扣除「合法用水量」及「帳面損失水量」，所得之水量即是「實際損失水量」。

(一)「由上而下法」估算漏水量之步驟

發展損失水量防治策略的首要工作應該是建立水平衡表，不過唯有確保相關水量之查核是正確的，所得之水平衡表才有意義。然而有時要完成一個具有合理準確度之水平衡表是困難的一件事，例如某些國家的用戶水量並沒有裝設水錶加以計量，而是採取住戶人口數、房屋面積、甚至是家中裝設之馬桶數量為計量依據。在此情況下，該合法未計量用水量應在足夠樣本數的條件下，藉由不同接管口徑、級別之數據，經統計分析獲致其代表性計量，及（或）藉由量測進入相同用水習慣區域之水量而得之（相關數據應配合漏水量及夜間水壓變化作調整）。

以下依序說明運用國際水協會水平衡表估算漏水量之步驟：

- 步驟 1：明確定義「系統進水量」，並將其數值輸入 A 欄。
- 步驟 2：明確定義 D 欄中之「計費計量水量」，並將其數值輸入該欄位。
- 步驟 3：明確定義 D 欄中之「計費無計量水量」，並將其數值輸入該欄位。
- 步驟 4：將 D 欄中之「計費計量水量」及「計費無計量水量」加總之數值輸入 C 欄之「計費合法用水量」及 E 欄之

「收費水量」。

- 步驟 5：將 A 欄之「系統進水量」減掉 E 欄之「收費水量」，即可計算出 E 欄之「無收費水量」。
 - 步驟 6：明確定義 D 欄中之「無計費計量水量」，並將其數值輸入該欄位。
 - 步驟 7：明確定義 D 欄中之「無計費無計量水量」，並將其數值輸入該欄位。
 - 步驟 8：將 D 欄中之「無計費計量水量」及「無計費無計量水量」加總之數值輸入 C 欄之「無計費合法用水量」。
 - 步驟 9：將 C 欄之「計費合法用水量」及「無計費合法用水量」加總之數值輸入 B 欄上半部之「合法用水量」。
 - 步驟 10：A 欄之「系統進水量」與 B 欄之「合法用水量」間之差額即是 B 欄之「損失水量」。
 - 步驟 11：藉由可能之方法估算 D 欄中之「非法用水量」，並將其數值輸入該欄位。
 - 步驟 12：藉由可能之方法估算 D 欄中之「計量不準度（含數據處理誤差）」，並將其數值輸入該欄位。
 - 步驟 13：將 D 欄中之「非法用水量」及「計量不準度（含數據處理誤差）」加總之數值輸入 C 欄之「帳面損失水量」。
 - 步驟 14：將 B 欄之「損失水量」減掉 C 欄之「帳面損失水量」，即可計算出 C 欄之「實際損失水量」。
- 表 3 係標示估算漏水量之步驟順序編號國際水協會水平衡表，藉此可快速及簡易的說明上述運用國際水協會水平衡表估算漏水量之步驟。

表3 國際水協會水平衡表估算漏水量之步驟

A	B	C	D	E	
① 系統進水量	⑨ 合法用水量	④ 計費合法用水量	② 計費計量用水量	④ 收費水量	
			③ 計費無計量用水量		
	⑩ 損失水量	⑧ 無計費合法用水量		⑥ 無計費計量用水量	⑤ 無收費水量
				⑦ 無計費無計量用水量	
		⑬ 帳面損失水量	⑪ 非法用水量		
			⑫ 水錶不準度與資料處理誤差		
⑭ 實際損失水量		送水幹管及(或)配水幹管之漏水量			
		配水池之漏水量及溢流量			
		接管點至用戶水錶間之漏水量			

(二)「由上而下法」之缺點

「由上而下法」可求得實際損失水量之總數量，無法獲得任何有關該總數量組成成份之資訊，例如可檢測出之破管案件（可藉由修漏速度、品質及主動漏水防治加以控制者）或由背景損失水量（唯有藉由水壓管理及設施更新始得改善者）所造成之實際損失水量之相關資訊就無法得知。這就類似一般連鎖零售業者執行年度存貨清點作業，清點結果僅提供損耗品之總數量，無法說明損耗品是因為例行營運或是偷竊所造成，甚至有時也無法知道發生地點是在展售中心或是倉庫。

如果自來水事業單位無法充分了解漏水量之來源，勢必難以釐清問題所在及正確研擬對策，因此自來水事業單位必須藉由其他方法分析漏水量之組成，例如「由下而上

法」或「成份分析法」。

四、「由下而上法」(Bottom-up)估算漏水量

「由下而上法」又可稱之為夜間流量法。藉「由上而下法」獲得之實際損失水量可利用「由下而上法」之估算結果加以核對，該估算結果係根據配水管網中區域管網之夜間流量分析而得之。配水管網中之區域管網可以是原有已建置完成之設備，亦可以是為執行夜間流量分析而暫時性設置之區域管網。

(一)夜間流量分析

在都會型區域，夜間最小流量(Minimum Night Flow, MNF)常會發生在早晨階段，通常介於凌晨2時至4時之間，不過實際發生時間每個區域管網會略有不同。在夜間最小流

量之階段，實際損失水量會占總流量之最大比例。

(二)夜間流量測量方法

夜間流量測量方法依據作業方式之難易程度分為「直接量測法」及「間接量測法」，前者之準確度高於後者。「直接量測法」依照實施範圍之大小可分為「全區測量法」及「局部測量法」，而「間接量測法」則根據關閉大用戶止水栓與否區分為「傳統式間接測量法」及「修正式間接測量法」。該 4 種夜間流量測量方法之作業方式及優缺點詳見表 4，自來水事業單位應視其需要而選擇適合之測量法。

(三)水壓與漏水量

在夜間最小流量時，實際損失水量之估算係以夜間最小流量扣除區域管網中接管用水戶之夜間合法用水量（估計或量測得之）而得之，該計算值可作為夜間最小流量階段時實際損失水量之估計值。如要將該估計值轉化為全日之實際損失水量，就必須將全日系統水壓（小時／日係數，通常小於 24，與水壓管理之程度息息相關）之變化納入考量。夜間合法用水量係估計而得之，而且實際上每夜之用水量也都會不同，因此前述計算值也會含有誤差及不確定性。

表 4 漏水量測量方法優缺點比較表

測量方法		作業方式	優點	缺點
直接測量法	全區測量法	關閉計量管網內所有止水栓，並且停止用水，以測量漏水量。	<ul style="list-style-type: none"> • 準確性最高 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要大量人力 • 事前準備作業多 • 費時 • 影響民眾用水
	局部測量法	關閉計量管網內部分區域(3~5%)內之止水栓，並且停止用水，以測量該部分區域內之漏水量，藉此推算該小區域管網內全部區域之漏水量。	<ul style="list-style-type: none"> • 準確性次高 • 節省人力 • 縮小停水區域 • 減少受影響之用水民眾 	<ul style="list-style-type: none"> • 準確性較全區測量法為低 • 需事前準備作業 • 區域選擇需要高度技巧
間接測量法	傳統式間接測量法	不關閉計量管網內的止水栓，並在用水量少的時段（用水空窗期），測量漏水量。	<ul style="list-style-type: none"> • 大幅節省人力 • 完全不影響民眾用水 	<ul style="list-style-type: none"> • 準確性不高 • 大用水戶嚴重影響準確性 • 社會生活型態影響準確性 • 測量區域內人口數不宜過多
	修正式間接測量法	僅關閉計量管網內大用戶的止水栓，並在用水量少的時段（用水空窗期）測量漏水量。	<ul style="list-style-type: none"> • 準確性較不關閉小區域管網內的止水栓者略為提高 • 所需人力較不關閉小區域管網內的止水栓者為多 • 縮小停水區域 • 減少受影響之用水民眾 	<ul style="list-style-type: none"> • 準確性不高 • 社會生活型態影響準確性 • 測量區域內人口數不宜過多

(四)「由下而上法」之優點

「由下而上法」之好處是它可以提供一項獨立判斷實際損失水量之方法，如果這個方法在全部配水系統都實施的話，具有高實際損失水量之區域就可被篩選出，進而優先執行主動漏水防治作業。同時這個方法可供水平衡計算之結果作再次覆核，二者之計算結果應該相等（然而由於每一個方法之計算過程會累積誤差，通常是不會相等的）。「由下而上法」之現場作業也可幫助收集計算水壓／漏水量關係式(N1)以及設施狀況係數 (Infrastructure Condition Factor, ICF)所需之現場數據。

五、「成份分析法」(Component Analysis)估算漏水量

(一)「成份分析法」原理

總實際損失水量就是將所有漏水案件的損失水量加總，每一次漏水案件之損失水量取決於其漏水流量及持續時間，這就是成份分析法估算實際損失水量之原理。該方法依據配水管網之不同部位（幹管、配水池及用戶接管等）所發生不同類型之地下管線漏水或爆管（背景漏水、報案及未報案漏水案件）之數量、平均流量及平均延時來估算實際損失水量，執行一個完整的實際損失水量成份分析所需之數據包括基本設施數據（幹管長度、接管數、房屋邊界至用戶水錶之管線長度）、背景漏水量之設施狀況係數、報案與未報案漏水案件數量及其平均延時、平均系統水壓及水壓／漏水量關係式（使用適當 N1 值）。

(二)BABE 分析法

利用修漏案件之統計數據來估計實際

損失水量中某些成份之原理已廣為周知。該原理係將年度修漏案件的數量假定為代表年度新的漏水及爆管案件的總數，這些爆管及漏水案件並依照不同的典型流量加以分類。如果每一類型漏水及爆管案件可以根據各個自來水事業單位有關於完成檢、修漏時間之規定，合理估計出其平均漏水延時，那麼每一種漏水類型的年度損失水量就可以被估算出。根據這個基本理論架構，Allan Lambert 先生在 1993 年發展出一項國際通用之概念，稱之為「背景漏水與爆管漏水量估計法」(Background and Bursts Estimates)，國際上常簡稱為 BABE 分析法。

在 BABE 分析法中，被認為是實際損失水量之成份者包括以下三項：

- 發生在接頭與配件處之背景漏水量，如果無法由肉眼觀得，由於該漏水流量過低，以致無法利用聲音探測法檢測得之。
- 報案的漏水與爆管漏水量，通常這部分漏水之流量較高且漏水延時短。
- 未報案的漏水與爆管漏水量，通常這部分漏水之流量屬於中等，而其漏水延時之長短取決於主動漏水防治之方法。

依照發生時間之先後順序，將可檢測出之漏水案件及爆管案件之平均漏水延時分為以下三段：漏水察覺時間、漏水點定位時間及完成修漏時間，不論自來水事業單位具有何種的政策及服務標準，BABE 的概念都可應用。典型爆管流量係根據某個特定的水壓所估計出來的，如果使用有關水壓對流量關係式 (FAVAD 原理) 之適當假設，即可估算出實際水壓下之爆管流量。被認為會影響基礎設施實際損失水量成份之典型參數詳見表 5。

表 5 成份分析法估計實際損失水量之參數

基礎設施	背景漏水 (無法偵測者)	報案之 爆管與溢流	未報案之 爆管與溢流
幹管	長度	次數／年	次數／年
	水壓	水壓	水壓
	最小損失水量率／公里*	平均流量*	平均流量*
		平均延時	平均延時
配水池	發生在結構之漏水(每日漏水量占其容量之百分比)	已知溢流次數／年	未知溢流次數／年
		平均流量	平均流量
		平均延時	平均延時
幹管至地界間之 管線	接管數量	次數／年	次數／年
	水壓	水壓	水壓
	最小損失水量率／接頭*	平均流量*	平均流量*
		平均延時	平均延時
地界至水錶間之 管線	長度	次數／年	次數／年
	水壓	水壓	水壓
	最小損失水量率／公里*	平均流量*	平均流量*
		平均延時	平均延時

*特定水壓下，可利用 FAVAD 原理估算出實際水壓下之爆管流量

BABE 分析法將地界至水錶間之管線漏水量列為實際損失水量之一部份，其管線長度為估計實際損失水量之重要參數之一，該基礎設施可以用戶水錶與地界之相對位置區分為二種類型。圖 1 所示為用戶水錶恰巧位於地界處，地界至水錶間之管線長度即為 0；圖 2 所示為用戶水錶位於地界內，此時地界至水錶間之管線長度即為 L_p 。

BABE 估計法可視為一種統計模式，漏水事件之數量愈多，所計算漏水量之準確性就會愈高，通常在超過 5,000 個接管數之供水系統，BABE 估計法的表現都不錯。

六、結論與建議

- 漏水量之定義應明確，而損失水量相關中文用語宜統一。
- 準確的計量水量對於準確的估算漏水量是不可或缺的。
- 計量用之總流量計應定期校正，並由稽核單位不定期查核，以掌握計量之準確性。
- 水平衡分析應以年為單位並且每年實施，並附上區域管網之夜間流量分析。
- 三種估算漏水量方法之難易度及準確度不一，自來水事業單位應視其需要選擇適當之方法。
- 自來水事業單位提報漏水量數據時應說明估算方法及推估資料之依據，以確實掌握數據之可靠度。

- 為提高「由下而上法」估算漏水量之準確度，自來水事業單位應加強推估水壓與流量之關係式 (FAVAD 原理)，求得具有代表性之 N1 值。
- 加強自來水從業人員有關漏水量與無收費水量(NRW)、流向不明水量(UFW)及損失水量(Water Losses)異同之教育宣導，以免混淆不清。

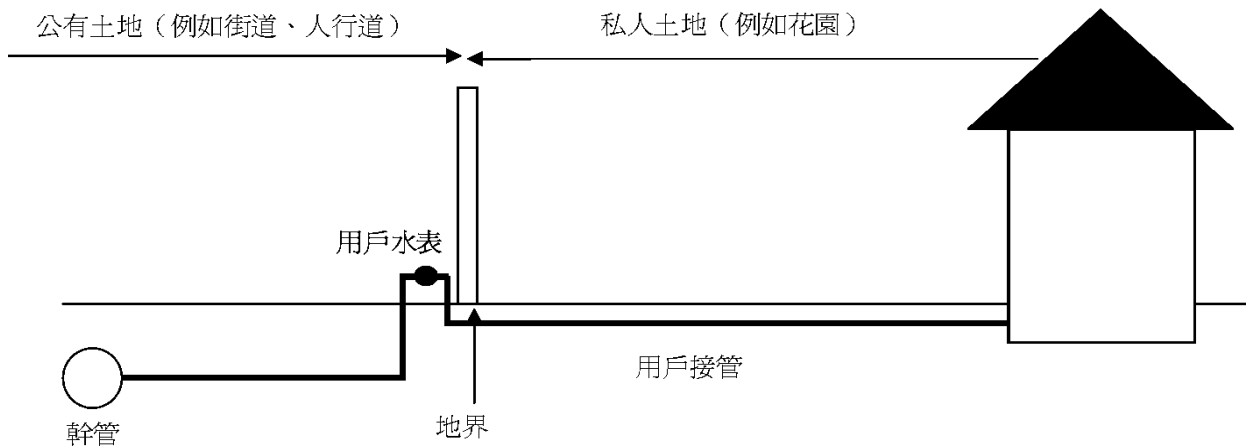


圖 1 用戶水錶恰巧位於地界處

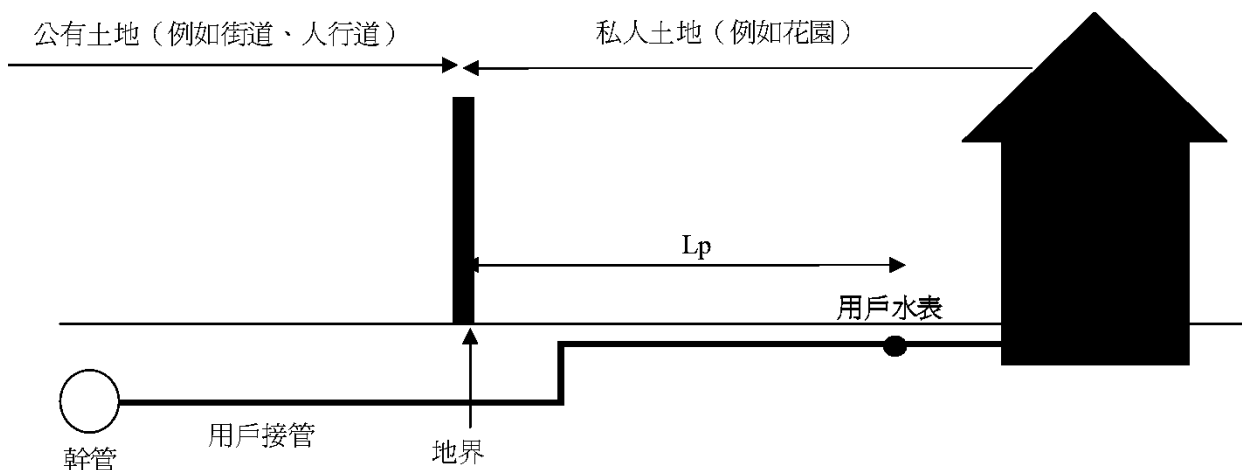


圖 2 用戶水錶位於地界內

參考文獻

- 1.周國鼎，2012，我國自來水事業產銷平衡表之芻議，自來水會刊第 31 卷第 1 期
- 2.Fanner P., 2004, Assessing Real Water Losses: a Practical Approach, Water 21
- 3.Farley M., Trow S., 2003, Losses in Water Distribution Networks, IWA
- 4.Lambert A., Hirner W., 2000, Losses from Water Supply Systems - Standard Terminology and

- Recommended Performance Measures. IWA - The blue pages, International Water Association
- 5.Thornton J., 2002, Water Loss Control Manual, McGraw-Hill

作者簡介

周國鼎先生

現職：台灣自來水公司組長、環工技師

專長：水處理、漏水防治、空氣污染防治

參加 Water Loss 2012 國際會議與 Miya 公司參訪心得

文/鄭國華、楊境維、黃欽稜

一、前言

國際自來水協會 (International Water Association 以下簡稱為 IWA) 所舉辦的 Water Loss Conference 是目前全世界最大的漏水防治會議，自 2002 年起每兩年召開一次。本次 Water Loss 2012 會議首次於亞洲舉辦，臺北自來水事業處 (以下簡稱為北水處) 除派代表參加外，亦把握此行於菲律賓馬尼拉之機會，順道參訪主辦單位 Maynilad 水公司技術顧問以色列 Miya 公司，希望能夠藉此與 Miya 公司於無計費水量 (Non Revenue Water, NRW) 管理與漏水防治的經驗上進行技術交流。

二、Water Loss 2012 會議

IWA 為目前全球水環境領域的最高學術組織，技術服務範圍涵蓋飲用水、污水、再生水和雨水等領域，透過邀集全世界各方面的自來水從業專家，進行相關研究開發、實用技術、政策諮詢、項目管理等全方位協助和指導，以幫助全球自來水事業尋求實用和可持續的解決水危機和水需求的方法。

Water Loss 會議係由 IWA 轄下之 Water Loss Specialist Group 所主導，並廣邀各國的漏水防治專家、學者、水公司、顧問公司，於會中發表各項最新的技術、策略、應用與漏控理論的發展，並介紹國際間許多漏水防治的成功案例，互相分享經驗。

根據近期亞洲發展銀行的最新研究顯

示，在亞洲每年概估約有 90 億美元的供水漏損，因此，提升供水效率是亞洲各地區亟需解決的問題。本次 Water Loss 2012 會議是近十年來 IWA 針對全球日益嚴重的自來水漏損議題首次在亞洲召開的專題會議，於 2012 年 2 月 26 日在菲律賓馬尼拉隆重舉辦，共有來自全世界 54 個不同國家的 600 多名專家，就目前國際自來水漏水管理的最新發展、策略和技術及其成功應用經驗進行了詳細交流和討論。該會議受到了國際水協會和菲律賓政府的高度重視，菲律賓總統艾奎諾三世 (Benigno Aquino III) 還應邀參加此次大會，並做了相關的專題演講。

本次會議議程共分為 4 天 (2 月 26 日至 29 日)，首日為 NRW 管理專案會議，IWA 邀請多位國際知名專家及學者針對 NRW 管控議題發表專題演說，並以圓桌會議方式與列席代表討論。接下來 3 天除了開幕大會外，另以 3 場次同時發表論文方式進行討論，主題包括以下漏控議題：

- (一) 帳面漏控：包括資料分析及水表管理。
- (二) 實質漏控：包括管線汰換、漏水檢修、壓力管理、流量分析。
- (三) 其他：策略規劃、目標設定、水理模型、管網分析、技術應用及案例檢討等。

此外，主辦東道主菲律賓馬尼拉兩大自來水營業單位 Maynilad 及 Manila Water 也利用此次機會，大力宣揚近幾年降低 NRW 的執行成果。(會場相關照片如圖 1~圖 6)



圖 1 Water Loss 2012 開幕大會盛況



圖 4 NRW 管理專案會議



圖 2 菲律賓總統艾奎諾三世於 Water Loss 2012 開幕大會致詞



圖 5 北水處代表於 Water Loss 2012 開幕晚宴與會議主席 Mr. Waldron 寒暄致意



圖 3 Water Loss 2012 開幕大會國旗進場



圖 6 Water Loss 2012 論文發表會場

三、Miya 公司參訪

藉由本次參加國際會議之機會，北水處代表一行順道與主辦單位 Maynilad 水公司的 NRW 管理技術顧問-Miya 公司進行漏水防制技術交流，並藉此觀摩 Miya 公司在 NRW 管理與漏水防治的成功經驗。

(一)技術合作緣由

菲律賓馬尼拉地區自來水事業於 1997 年開始私營，東部為 Manila Water 公司，西部為 Maynilad 公司。由於西部 Maynilad 公司經營不善，於 2008 年初與 Miya 公司簽訂專業技術顧問契約，聘請協助解決財務日益惡化之問題。

Miya 公司隸屬於 Arison 國際投資集團，主要業務係從事降低 NRW 之專業管理顧問工作，並且透過統包或專業顧問契約合作之方式，解決全球各水務機關淨水處理、配送、財物營收等問題，以提高營收及增加利潤。

雙方自 2008 起訂定雙方技術服務合作協議計畫，2008 年 3 月正式簽署技術顧問合約，訂定各年度具體的 NRW 執行目標，其收費結構包括：固定費用、可償還費用以及達到年度的規定目標之績效費等。

Miya 公司擔任專業技術顧問後，了解 Maynilad 正積極投資 7 億美元改善管線系統，然而卻發現有下列問題：

1. 缺乏完善的 NRW 管理策略。
2. 無專責單位負責計畫。
3. 計畫無參考其他國際專案或聘請國際專業顧問。
4. 不重視專業人力資源的培訓。
5. 缺乏經營成本考量的概念。

(二)NRW 改善歷程

經由 Miya 公司建議，要降低 NRW 不單單只有管線汰換，而需導入整體性策略，並包括知識技術的培訓與移轉以及引進最新的設備和軟體系統。此外，專業技術顧問 Miya 公司讓業主 Maynilad 了解減少 NRW 是自來水經營事業單位成功的關鍵，透過降低 NRW 所節省下來的水量，除可增加轄區用戶人口數約 3 百萬人使用，並達到供水轄區管網覆蓋率 100% 的目標。由於收入增加，服務水準亦可提高，並可有更充足之資金投入降低 NRW 之工作。

Miya 公司以專業技術顧問立場，建議 Maynilad 改善策略如下：

1. 建立 NRW 管理專責單位

首先 Miya 公司建議必須先建立負責管控 NRW 之專責部門，並將其工作分成水表管理、NRW 計畫、分析、操作、工程與建設等，此外，Maynilad 負責 NRW 工程人員亦逐步從 2008 年 1 月的 5 名員工逐步擴增到目前超過 400 名，從上而下，全力投入降低 NRW 工作，管理部門組織如圖 7。

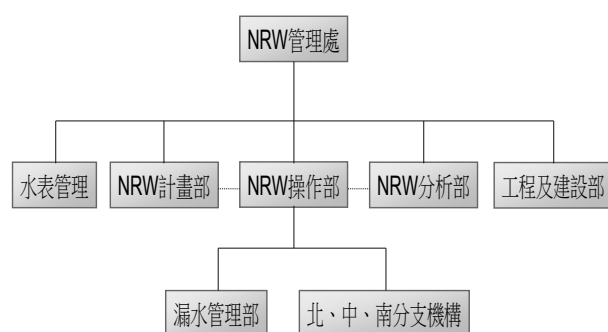


圖 7 Maynilad NRW 管理部門組織

2. 劃設獨立供水區域

Miya 公司建議將 Maynilad 總體用戶約 900,000 戶，每 20,000-50,000 戶切割為獨立供水區域，再將 500-2,000 用戶劃分成 DMA，總共建置 800 小區，如圖 8。

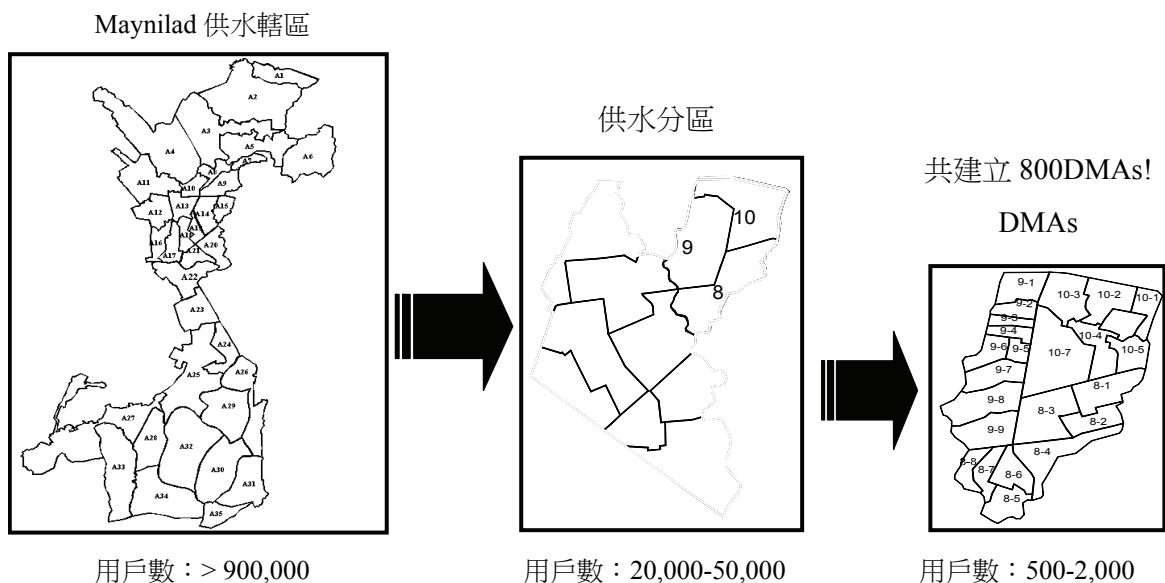


圖 8 Maynilad 供水轄區內供水分區及 DMA 建立示意圖

3. 整合水表管理

將原來水表裝設、汰換、檢測試驗等工作項目整併設置水表專責管理部門，並針對數量 7% 之大表用戶特別加以管理及分析水表口徑是否適用，因為這些大表戶所佔用水量達 25%，佔營收比例更高達 48%，水代表試驗場如圖 9 所示。



圖 9 Maynilad 水公司水表試驗場

4. 整合各項資訊管理

自來水事業應有完善的管理工具，來整合產、供、銷等各項資訊。Miya 公司應用 Netbase 這套水務管理套裝軟體將各項管網資訊、地理資訊圖資系統、客戶與帳單資料、物料及各項財務、會計等作業管理系統進行整合，並落實分析統計各項數據，以便利有效管理，如圖 10。

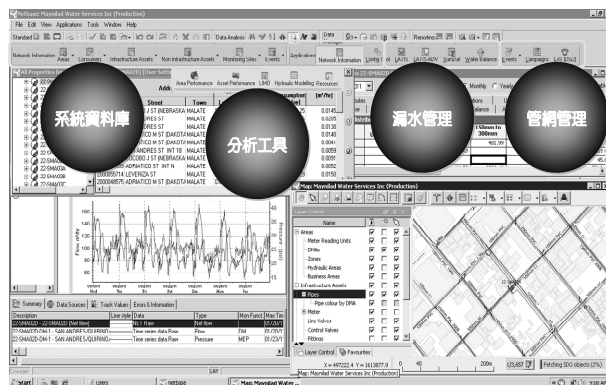


圖 10 Miya 公司所引進 Netbase 資訊管理整合系統

5. 人員培訓及技術移轉

Miya 專業顧問的角色不僅僅是解決業主技術問題，更協助業主進行人員培訓，以更深入方式進行技術移轉，在透過 4 個階段的專業技術的培訓課程後，加以檢定，以強化技術移轉，如圖 11。



圖 11 Miya 公司代為培訓 Maynilad 員工

(三)NRW 改善成果

統計 2011 年 Maynilad 各項數據與 2007 年相較，NRW 由 67% (1,530 百萬升/天) 降至 48% (1,025 百萬升/天)，系統間歇性供水比例由 54% 降低至 30%，系統平均壓力小於 0.5Kg/cm² 比例由 47% 降低至 15%，用戶數由 70 萬戶增加到 95 萬戶。此外，Maynilad 收入及淨所得亦由 2008 年 4,200 萬美元逐年提升至 2011 年 13,900 萬美元。

四、心得

面對氣候變遷、全球暖化，維護水資源是全人類共同神聖的使命，唯有降低無計量水費 (NRW)，才是自來水事業體永續經營之道，也是無旁貸的責任。

本次 Water Loss 2012 會議來自世界各國與會代表無不大聲疾呼，強調降低 NRW 之重要性。北水處近年亦積極投入相關工作，並將降低 NRW 列入重點工作項目。自 2006 年以來，執行「管網改善及管理計畫」，預計將以 20 年期間投入超過新台幣 207 億元，全面改善供水管網並汰換老舊管線。此外，擴大成立「NRW 改善小組」，除原有漏水改善小組工程人員參與外，另納入相關業務人員。其目的即是將原本實質漏控及漏水改善執行工作，擴大涵蓋帳面漏控等管理之範疇。

菲律賓 2010 年國民所得僅 3,300 美元，為台灣 16,432 美元的 1/5，然而，藉由本次機會，傾國家之全力，爭取 Water Loss 國際會議首次在亞洲國家舉行，並成功引進國外資金及技術，值得我們學習與敬佩。

作者簡介

鄭國華先生

現職：臺北自來水事業處副總工程司

專長：水表管理、自來水工程。

楊境維先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司

專長：漏水防制管理。

黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處供水科副工程司

專長：漏水防制管理、數值分析。

日據時期蘭陽地區水道創建

文/林建財

一、前言

水為生命之源，蘭陽地區自來水創設已屆百年，目前供水普及率已達 93%，在量足、質優、顧客服務卓越之同時，當思回頭來時路，緬懷前輩輩路藍縷草創之艱辛。仍不揣簡陋，將百年前日治時期日本人創設蘭陽各自來水系統之時空背景與歷史軌跡，秉持證據法則做研究探討。

二、開廳報告・重視飲水

1894 年（清光緒 20 年）（日明治 27 年）清朝與日本為朝鮮農民暴動於當年 8 月發生中日甲午戰爭。1895 年（清光緒 21 年）（日明治 28 年）兩國兵力懸殊，清朝戰敗，4 月 17 日由清朝欽差大臣李鴻章與日本首相伊藤博文，簽訂馬關條約，割台灣、澎湖給日本。

當年 6 月份，宜蘭支廳開廳，代理支廳長河野主一郎，陳報「宜蘭開廳狀況報告書」稱「宜蘭轄內井水既少又混濁，不適飲用，飲水困難」

三、始政初期・以鑿井應急

(一)首次開鑿深井水量豐沛

明治 30 年（1897 年）宜蘭廳長中田，於距宜蘭廳 500 公尺東北向之宜蘭南館市場內開鑿第一口深井供公共汲取，由於是噴泉流量豐沛，因開鑿成功，仍逐年增鑿。至 1908 年共鑿深井 9 處，寬口井 20 處，大正 2 年又於台銀宜蘭支店前及北館市場開二口井。

(二)比較寬口井與深井水質

明治 35 年（1902 年），宜蘭廳著手調查溫泉井水衛生概況，該調查報告指出，礁溪溫泉及其附近之水質良好，包括內員山溫泉、蘇澳碳酸泉。同時，針對先前宜蘭街鑽井及掘井進行水質試驗比較，結果詳如表 1 日據時期宜蘭街鑽井及掘井水質比較表。

由該表顯示，該試驗就清濁度、臭味、格魯兒、硝酸等數據比較，14 口鑽井水質顯然比 117 口掘井好，此調查具有推廣鑽井飲用之意涵。

(三)頒布深井管理規則

自宜蘭廳推廣並鼓勵以深井（鑽井）取代掘井（寬口井）後，宜蘭地區鑽井增加快速，官廳開始加強管制，大正元年（1911 年）元月，宜蘭廳公布「鑽井取締規則」規定，凡鑽井地點須向官廳申請許可，並限制在原有水井之 48 公尺內不准開鑿，若鑽井 3.6 公尺內有污水池或廁所，則不准開鑿，及鑽井宜以石材磚瓦或水泥建造水槽蓄水，水槽容積宜在 200 公升以上（但公共使用者須 500 公升以上），水槽宜設覆蓋，水槽宜設排水設備以接「公共下水」。

違反規定者以拘留或罰金，並指定施行地區在本城堡宜蘭街、員山堡金六結、民壯圍堡壯一庄、四圍堡二結庄等地。

四、始政中期・開始水道

(一)三星水道之創建

1.三星（叭哩沙）設治之演變

明治 28~29 年（西元 1895~1896 年）沿續清朝於三星設叭哩沙撫墾署，進行三星住民農地開墾，山區原住民之調查與安撫。

明治 30 年（西元 1897 年），改在宜蘭廳下設頭圍、羅東、叭哩沙、坪林尾、南澳五支廳。

表 1 日據時期宜蘭街鑽井及掘井水質比較表

檢驗號	清濁	臭味	反應	固體	Gro	硝酸	亞硝酸	Amo	過錳	硬度
鑽井 1	清	○	中	224	6.000	○	○	微	1.200	1.275
鑽井 2	微濁	○	中	233	6.000	微	○	微	1.200	1.400
鑽井 3	清	○	中	225	5.500	微	○	微	1.500	1.400
鑽井 4	近清	○	中	234	7.000	微	○	微	1.200	1.000
鑽井 5	清	○	中	243	6.500	微	○	微	1.800	0.500
鑽井 6	近清	○	中	225	5.500	微	○	微	1.900	1.000
鑽井 7	清	○	中	198	5.000	微	○	微	1.100	1.025
鑽井 8	近清	○	中	189	5.350	微	○	微	1.100	1.025
鑽井 9	清	微	中	234	5.000	微	○	微	1.900	1.000
鑽井 10	清	清	中	234	6.000	○	○	微	1.900	1.150
鑽井 11	近清	○	中	198	5.500	○	○	微	1.500	1.650
鑽井 12	清	○	中	216	7.500	微	○	微	2.000	1.000
鑽井 13	清	○	中	230	4.000	微	○	微	0.900	1.300
鑽井 14	清	微	中	220	6.500	微	○	微	1.750	0.650
南門街 1	清	鹹	中		120	少量	○	少量	0.679	1.5
掘井 2	清	臭鹹	中		158	微	○	少量	0.873	1.775
掘井 3	清	○	中		138	微	○	多	0.776	2.15
掘井 4	清	臭鹹	中		208	少量	○	微	0.847	1.4
掘井 5	略清	臭鹹	中		219	微	○	少量	0.873	1.275
掘井 6	略清	微臭	中		159	微	○	少量	1.86	1.4
掘井 7	黃濁	臭鹹	中		175	微	○	多	2.621	1.275
掘井 8	略清	鹹	中		195	少量	○	微	0.873	1.025
掘井 9	黃濁	鹹	中		161	微	○	少量	1.26	1.7
掘井 10	黃濁	臭鹹	中		220	多	○	多	1.747	1.125
掘井 11	黃濁	臭鹹	中		159	多	○	多	3.009	1.0
南門頂街 1	微黃	臭鹹	中		243	微	○	少量	1.067	0.975
掘井 1	黃濁	臭鹹	中		199	微	○	少量	0.676	1.275
掘井 2	清	○	中		110	微	○	少量	1.1	2.0

說明：1. 固體總量以不超過 200 為佳。 2. 過錳：指錳酸鉀脫色量。 3. 此次掘井水質試驗共 117 口，本表僅取 14 口與鑽井做比較。

資料來源：村井瀧太郎，〈宜蘭礦泉175. 水質〉，宜蘭，1904。

明治 34 年（西元 1901 年）由宜蘭廳長西鄉菊次郎向日本總督建議，改在宜蘭廳下設頭圍、羅東、叭哩沙三支廳。

2.三星(叭哩沙)於日治之關鍵重要性

(1)三星農產豐饒，貿易興盛(註 1)「叭哩沙原野土地肥沃，勝於奇萊（花蓮）原野數第一，更以文明而先進農耕，開拓農……天送坡一帶易物之鹿革、鹿骨、鹿角、麻織物、茯苓、藤、木耳等交易塩、棉織、赤色毛織物等……貿易隆盛……」

(2)由三星通往太平山開發樟腦與檜木，於羅東竹林及太平山修築鐵道，為應鐵道上山前水源補給之需求。

(3)三星位蘭陽平原西邊，蘭陽平原與山地接觸點，為通往山區之咽喉，自古即是山地原民與平原居民貿易，及族群文化衝突與交流重地。由於業務繁雜地位重要，已自 4 月 1 日開辦電信興建支廳官舍。

3.三星水道興辦時間，為總督府對原住民政策轉變之第 3 期。

(1)日治時代原住政策約分三期：

第一期：西元 1895~1901 年總督府對原住民政策以消極防範為原則。

第二期：西元 1902~1909 年則為包圍鎮壓。

第三期：1910~1914 年進入武力討伐期。

(2)大正 2 年宜蘭方面陸軍討伐隊戰鬥員達 2400 名，由總督陸軍大將佐久間左恩率軍進駐。

綜上原因，三星(叭哩沙)自來水之興設優於宜蘭、羅東、蘇澳等城鎮，揭開蘭陽地區首創自來水之先河。

4.大正 2 年由總督府派八田國富技手於元月 23 日赴現場勘設。

引取三星市區南向出麓柑仔坑溪地面

水源，原水未經處理，以自然動力流下，每日供水量 450 立方公尺，設公共給水栓供村民挑用外，並供水支廳辦公廳，工程於大正 3 年 3 月 31 日完成，計耗資 1 萬 2537 圓，由總督府公共衛生項下撥支 1 萬圓，餘由居民樂捐支應。

其後，因雨季水質混濁，枯水期水位降低無法取水等問題，在原設取水口上游 100 公尺處，增設攔河堰堤，以口徑 100 公厘鐵管，導水經沉砂過濾後使用，工程於大正 12 年 12 月完成，耗資 2000 圓，由州廳與地方各負擔一半。

管理單位新設時為叭哩沙支廳，於大正 10 年 4 月 1 日移由三星庄（現稱為鄉公所）接管。

(二)蘇澳水道之創建

1.因蘇澳船舶之需創建水道

蘇澳港因位在台灣東北部，為台灣最接近西太平洋漁場之漁港，供日本本島水產與一般產業發展之需興建，總預算 66 萬圓於大正 10 年設至大正 12 年完工。

日據時期蘇澳在明治 32 年（1899 年）屬利澤簡堡，明治 33 年（1900 年）為宜蘭廳利澤簡辦務署，明治 37 年（1904 年）歸屬羅東支廳，大正 9 年（1920 年）改為台北州蘇澳郡蘇澳庄，大 12 年（1923 年）蘇澳漁港（今南方澳港）築港完成後，來往船舶日增隨之遷居之漁民日眾，為供應船舶及居民之需，由港務當局於大正 13 年（1924 年）興辦簡易自來水設備，於南方澳西北方 550 公尺及西南方 900 公尺處溪谷中設取水口二處集取山澗水以自然法供應南方澳地區，計劃供水人口 1000 人，每日供水包括船舶用水為 270 立方公尺，工程費 20,000 圓。通水 6

個月即後因水質濁度高，飲用困難雖計劃處理改善，但由日本進口管材馬達淨水設施無法運達，故延後辦理改善工程。

2.宜蘭線鐵路通車後，迅即辦理水道改善工程

宜蘭線鐵路於大正 6 年(1917 年)6 月全段分瑞芳、宜蘭二建設事務所，自八堵、蘇澳二端南北施工，迄大正 13 年(1924 年)10 月 9 日完工，全線通車。配合鐵路通車各項水道工程材料迅即運抵，故水道改善工程得於大正 13 年(1924 年)11 月開工。主要工程為取水口二處、集水井、慢濾池三座、120 噸配水池及口徑 250、150、80CIP 配水管線等，迄昭和 2 年 3 月完工。總工程費 27,800 日元，其 9,000 元由漁港附屬工程費撥支，餘由台北州庫支應。

3.山澗水夏日枯竭供水不足，漁民北上陳情

據昭和 8 年(1933 年)「南方澳水道乏水，不但飲用水為難，並影響漁業，擬對州陳情」，蘇澳郡蘇澳庄南方澳水道，每屆夏季輒為旱魃所苦，自去夏以來滴雨全無，致水源枯濁，住民為水而事，乃由蘇澳庄當局訓諭節約用水，並設輪番供水，由於天氣酷熱，船舶無法供水，致漁船不能出海捕魚，水產業受嚴重影響庄民十分焦慮，乃聯袂向庄當局陳情，提出請願書，對蘇澳水道擴建工事，應儘早實現。

水道自大正 13 年完成供水 10 年來，雖經數度維修及檢漏，但設備因配水池嚴重漏水，鐵管破損供水嚴重不足，部落居民供水已難也停止船舶供水，水道價值不存，民間爭水四起，已演變為嚴重社會問題，於昭和 8 年(1933 年)8 月 17 日派漁村代表北上台

北州政府陳情。

4.水道擴建經費七萬，州補半額

為年年夏季苦於缺水，數年未敷設水道懸案，經費 67,000 元，屢對州申請補助金，至昭和 9 年(1934 年)始承州許可，補助半額，於五月動工。

配水池置於砲台山上，由白米溪上流引水，水源豐富工事順利，昭和 9 年 12 月可完工，屆時將可滿足蘇澳及南方澳民生及船舶給水，居民雀躍期待早日完成。並於昭和 10 年(1935 年)3 月 31 日上午 10 時於水源地舉開盛大竣工式。

5.水道收費各有巧妙

蘇澳水道竣工以來，對水費收費標準與宜蘭、羅東之差異，公司、工廠、理髮廳、料理店及其他大量之營業用水戶均強制裝置計量器計費，口徑 13mm 用水底度 15 度以內，水費為 1 圓，水表租金 50 錢合為 1 圓 50 錢，超過則每度 5 錢。未裝計量器用戶，與用栓一只者，家族 5 人每月以 1 圓計，每增一人加計 20 錢，支栓一只加計 30 錢。與宜蘭、羅東街比較計量器制，13mm 均以 1 圓 30 錢，蘇澳 1 圓 50 錢雖較高，但超底度者羅東一度計 6 錢，宜蘭一度計 8 錢，蘇澳因一度僅 5 錢顯然較廉。

(三)羅東水道之創建

1.羅東設治之演變

明治 30 年(1897 年)設宜蘭廳轄設頭圍、羅東、叭哩沙、坪林尾、南澳等支廳。大正 9 年(1920 年)隸屬台北州羅東郡與宜蘭、蘇澳習稱為「蘭陽三郡」，先後設置救民局，堡務取據所、郡役所、公會堂、街役場、支廳等官署，逐步確認羅東在溪南的重

要地位。

日治初期羅東為溪南農產品集散地，日人將之視為討伐原住民的根據地，大正 10 年（1921 年）人口僅及萬人，自太平山林業開發築修森林鐵路，同年底街長陳純精等取營林所（今之林務局羅東林區管理處）設置在羅東，大正 13 年（1924 年）1 月羅東至土場森林鐵路開通後，人口財貨流通更為順暢，羅東由農業社會走向工商社會，人口遽增各重要工場陸續設立，需水更形迫切。

2. 木材業興盛人口遽增水道興設為鎮務之首要

早期羅東居民均取灌溉圳水或井水飲用，隨著太平山林場鐵路開闢通車，木材業帶動下百業勃興，人口劇增，市街繁榮，對公共給水需求殷切，大正 11 年 9 月 30 日羅東街大火，燒燬民宅 23 戶，自來水系統之興辦成為鎮務之首要，乃勘查水源，籌措財源。

3. 宜蘭線鐵道通車促成水道興設

大正 13 年（1924 年 10 月 9 日）宜蘭線鐵路完工通車，各項管材馬達由日本運達於昭和元年（1926 年）12 月 25 日上午 10 時於第一水源地，舉行地鎮祭兼開工式，昭和 3 年（1928 年）1 月 27 日於羅東公會堂舉行竣工式，其順序為 1. 修祓、2. 水源地視察、3. 竣工式、4. 開宴，由內務部酒井督府派井澤技師及蘭陽三郡重要官民均蒞臨竣工式，由陳街長主持致賀詞，同時於羅東公會堂舉開盛宴，邀約 200 名藝妓表演節目，場面盛況空前，迄午後 3 時散會。

水道設計供水人口 1 萬人，於市區西方 2 公里處之三星公路旁，開集水井 2 口，以

10 馬力抽水機送入 150 噸高架配水池，藉重力自然流供水市區，計耗資 12 萬日元，由州補助 4 萬 5 千元。

4. 公共給水栓閉鎖，原因為申請裝設者少

昭和 3 年（1928 年），羅東街水道於舉開竣工啟用後給水量充沛，街民大喜，然至昨天，市內各要所安置之 11 處公共水栓忽然全部關閉，街民不得使用一滴水，民眾相當不滿意。據羅東街陳街長表示，近日發現居民多在入夜 12 時過後，事先到公共水栓提水，而各戶申請新裝者少，將使水道營運維持困難，暫時封閉公共水栓乃不得已措施。

5. 因濫用水懸賞節水標語

昭和 6 年（1931 年）為防止濫用水，自 5 月 26 日起向各界懸賞募集標語，至 6 月 15 日止計 383 人參加，經委託 10 名審查員開會選定：

第一等 從缺

第二等 用水方便・節約當然

錢寶水亦寶・水栓著愛鎖（羅東街錢廷桂氏）

第三等 水道是寶・用好著愛鎖

水道濫用・宛如散財（羅東街徐植槐氏）

水道愛寶重・充足大家用（羅東街汪文圳氏）

6. 啟用 4 年後採派員收水費

昭和 7 年（1932 年）6 月，羅東街經營之水道，原水源湧水豐富，自昭和 3 年啟用以來，夏季與冬季湧水無差。當時（昭和 7 年）供水概況，專用戶 500 戶、共用戶 225 戶，合計 725 戶，給水人口 4,900 人，供水率達 55%，年收水費 1 萬 2,400 元，每月有千餘元，為利用戶方便，定自 7 月起，標派員收費制

度，置專任收費員，按月赴各用戶收水費。

7.昭和 9 年裝置計量器

昭和 9 年（1934 年）4 月，羅東水道裝設用戶計量器，費用 1 萬 3,000 元，由日本遞信省簡易保險金運用委員會決定，以 5 分 2 厘利貸款予羅東街，因水道課無設計量器制度，故居民濫用自來水水量，造成夏季羅東營業所缺水之窘境將可望解決，全部裝設工程預計於同年 7 月中旬完成，昭和 9 年 7 月，羅東水道為勸導新設自來水，自 7 月 11 日至 9 月 5 日新裝戶實施優惠部份工程費。

(四)宜蘭水道之創建

1.大正 4 年由八田與一派遣調查

宜蘭廳小松廳長自明治 42 年（1909 年）到任，至大正 9 年（1920 年）任期 11 年為宜蘭設廳最久任之廳長，任內所提建設大宜蘭即含規設水道系統，並於大正 4 年（1915 年）6 月 3 日由八田與一技師派遣水源與敷設費調查，不料大正 9 年遭廢廳而停頓。

2.大正 11 年續勘查

宜蘭廳廢廳後合於台北州置宜蘭郡，由重藤幹一任宜蘭郡守，於大正 11 年（1922 年）續勘查研究，並完成初步計畫，但均因工程費太大且財源無著，更因鐵路未通，由日本進口各項管線、馬達等重要給水設備無法運抵，而未能及時施設，但對水源水質調查仍持續評估。

3.大正 12 年（1923 年）擬定水源三方案

大正 12 年（1923 年）宜蘭街人口 2 萬 1,000 人靠 12 處公共井及民井取水，僱工挑水每月工資為 2-3 圓，井水水質據宜蘭醫院森滋太郎院長指稱因各井均係 6 公尺上下之地下水，雖經煮沸，仍無法確保公共衛生，故醫

院用水均採嚴格標準之蒸餾水，復發現各井湧水漸減為長遠之計仍需有自來水之設置。宜蘭醫院森院長對於員山庄圓山上建設宜蘭神社，大表反對意見，因為該地乃將來宜蘭水道建設工程，唯一設置配水池之地點，營造神社應選定他處較妥。現任宜蘭街長重松也為設自來水而大費苦心，其所計畫有三案：

第一方案：

為引用距宜蘭街約 5 哩之大礁溪，設舊水池甚易，但管線通過宜蘭川需設跨橋或由河底通過其工程難度較高，工程經費約 60 萬圓。

第二方案：

以動力汲取宜蘭川水供給，配水池設於圓山宜蘭神社後面，工程費約 35 萬圓，若循使用者收費核算仍屬不可能，必須待國庫補助，以長期街債付年息可行。

第三方案：

係於宜蘭川對岸距街約一公里之大坡山地，亦有豐富湧泉為水源。

4.社會菁英挺身請願，爭取水道施設

日本統治台灣 20 餘年後，總督府的政經體制逐漸完成，政權日益穩固，相對台民愈來愈深刻感受到日本的殖民統治，台灣已逐漸浮現現代社會的基本型態，現代社會的價值觀念逐漸傳佈到社會菁英以外的一般民眾，台民開始嘗試推展各項社會運動，地方士紳、知識分子挺身帶領民眾爭取公共權益。

大正 13 年（1924 年）宜蘭仕紳陳金波醫師加入台灣民眾黨並膺選首屆台北州議會議員，兼任醫師公會會長、水利委員，帶

領地方請願總督府，對居民均以鑽井為唯一水源之不便，謂之地方不幸。純以民意代表立場為公益而奮鬥，反映蘭陽各郡面臨自來水工程迫切需求，亟力爭取。

大正 14 年(1925 年)又為水道計畫案迄未施設，地方再次向總督府請願，同時更因無線電台設置宜蘭，地方強烈要求水道工程也應同時建設，水源地選在大礁溪上流，蓄水池計畫設於員山庄枕頭山，其湧出量夏季亦達每日一萬噸，經費約 70 萬圓。即著手進行宜蘭水道之細部規劃與測量。

5. 水源方案歷經 5 年定案，擇定內湖(今深溝)

昭和 2 年(1927 年)由岩瀨州土木係長，郡八丁郡守，前神庶務課長、內山技手、岡村街長、松平助役、石橋書記、谷口技正，水組吳炎樹、谷口電氣興業所長等 11 名于昭和 2 年 8 月 21 日下午 1 時，分乘汽車經宜蘭神社前道路至三鬮埤圳入口後，徒步赴三鬮湧泉地帶調查結局以員山庄內湖 17 番地為水源地，逐假名為內湖水源地。歸途橫跨甘蔗園，出三星道路沿途預測自來水鐵管敷設道路，自內湖水源地至宜蘭街 4 公里。至此多年懸案之宜蘭水道終於當日確定水源，據岩瀨係長表示，前所調查之小礁溪水源，距離雖近水量亦豐，但宜蘭川之河川整理尚待先決，故實現不易，不得已中止，內湖水源無所障礙工事亦易，工程費約 30 萬圓已足矣。

6. 確定配水池位置工期提前

昭和 3 年(1928 年)宜蘭水道於本年度預算編列上水道調查費 800 圓，由州土木課派調查員往宜蘭，總督府亦派伊澤技師調查，將農試場後之配水池變更在宜蘭神社山

後。昭和 4 年(1929 年)宜蘭街年懸案之水道敷設案漸有曙光，同年 12 月確定興辦原則。原以三年度繼續事業計畫。總督府以確保居民健康為要務，將以二年期完成，工程費 39 萬圓，由總督府補助 13 萬圓、台北州費 11 萬圓、宜蘭街負擔 15 萬圓，將於明年(指昭和 5 年)，全街現有(指昭和 4 年)人口 2 萬 3,000 人，預計供水人口增加至 3 萬 5,000 人亦足量供水。

昭和 5 年(1930 年)12 月 1 日小島街長接到總督府認可興建之電報，宜蘭街鋪設自來水之問題終獲總督府許可，街當局及街民均表歡欣，配水池採用新修正第三案。

7. 據台 36 年後，水道施工

昭和 6 年(1931 年)3 月 28 日上午 11 時於宜蘭郡員山庄，大三鬮(ㄩ一又)舉行「宜蘭水道」起工式，設計供水人口 3 萬 5,000 人，計畫供水量每日 5,845 立於公尺，伏流水經三鬮二以口徑 600mm 之 RCP 導集抽上員山高地(員山忠烈祠)後方 3,650 立方公尺配水池後，以自然流方式供水。工程於施工中，昭和 7 年(1932 年)7 月 23 日上午 10 時宜蘭郡橫田郡守及各界四十餘人，由小島街長帶領，赴貯水池一百馬力電動唧筒試運轉。

宜蘭水道總工程費計 32 萬 8,215 圓，由國庫補助 11 萬 2,215 圓，州庫補助 10 萬 8,000 圓，宜蘭街負擔 10 萬 8,000 圓。

8. 慶賀通水高呼萬歲

工事於昭和 7 年(1932 年)10 月 15 日 10 時半舉行通水儀式，由總督府派內務局長代理，小野技師主持、中瀨知事、橫山、梅谷兩郡守、小松吉久代及三郡以下重要官民列

席舉開，由岩佐技士報告工程概況，小島街長致謝詞，最後由街長帶領大家高呼三聲萬歲後於下午 2 時半結束。

至於用戶接水方面，據查昭和 7 年(1932 年)8 月水道工程施工中，市役所派區街委員傳達優惠獎勵接水措施，鼓勵市民速提申請手續，宜蘭水道自昭和 7 年 12 月 30 日竣工迄昭和 9 年 10 月 30 日止共有 1,153 戶接水，日本人專用戶 594 戶，共用戶 18 戶，台灣人專用戶 446 戶，共用戶 95 戶。

五、各治理階段與水道建設

(一)前期以軍事及港口用水為先

台灣是日本第一個海外殖民地，日治前期 1895~1915 年期間，面臨台民武裝抗日，總督府治理以懷柔利誘，軟硬兼施政策，穩定台民抗日活動為主，因此日據初期之水道建設，從 1898 年首以淡水，至 1910 年完成基隆、台北、彰化、北投、金山、野吉等，均以軍事及港口用水需要為主。

在蘭陽地區，日治初期重要城鎮為宜蘭、羅東、蘇澳、頭城等，但日本人在當時之水道建設亦相同以軍事及港口用水為主，首以三星(1914 年)次以蘇澳港(1924 年)為先。

(二)中期面臨金融恐慌，仍以理性統治，積極建設蘭陽水道

1914 年發生第一次世界大戰，死亡人數達 1 億 8,000 萬人，因戰禍規模太大，1919 年結束後，雖曾讓日本進入「大戰景氣」的經濟熱潮，但不久即受歐洲經濟復甦影響，日本迅於 1920 年陷入「戰後不景氣」，金融經營惡化，金融擠兌，32 家銀行歇業，受大蕭條風暴，日本國內倒閉與裁員，失業者充

斥街頭，1929 年續受「世界金融恐慌」更捲入世界性恐慌浪潮，1931 年失業人口達 200 萬人，日本政府財務惡化，社會不安擴大。

對蘭陽地區，三星水道於 1914 年首建，續於 1923 年辦理改善工程。蘇澳水道於 1924 年首建，於 1926 年、1934 年二度辦理改善。羅東水道創設於 1926 年，宜蘭水道創設於 1931 年。各水道首建或改善均在財務惡化期，顯見對公共衛生供水之重視。

(三)末期因擴張軍備，發動戰事，水道建設停頓

宜蘭水道於 1931 年 3 月 28 日舉行起工式，當年 9 月發生九一八事變，日本旋為擴張軍備發動戰爭，實行統制經濟及總動員計劃，日本宣佈進入戰時體制，至第二次世界大戰末期，日本國力消耗殆盡，無法顧及建設，蘭陽地區各地水道建設全面停頓，迄 1945 年台灣光復後進入整頓期，始再重整與建設。

六、宜蘭廳水道計劃之改變探討

(一)優先頭圍水道遭停辦

大正 4 年宜蘭廳治(註 21)，重視衛生第六項，明列水道計劃，除大正 2 年完成叭哩沙水道外，將來計劃以宜蘭及頭圍(今頭城鎮)水道為優先。

頭圍是宜蘭廳內最早開發之城鎮，為與台北、基隆間物資輸出入重鎮，蘇澳港未建前，舊頭城港(今烏石港)為蘭陽地區重要轉運樞紐，雖於 1878 年淤積，但在未有其他港口前，仍具有經濟與軍事重要地位，雖然當時人口僅有 3,000 人，但日人仍列為優於蘇澳、羅東水道興設，預計取用北門溪水源，以重力供水，工程費 4 萬元。

但隨著蘇澳港(今南方澳漁港)於大正 12 年興建完成，正式取代淤塞嚴重之頭城港後，頭城水道興設遽告停頓，並且一停歷經 94 年，迄民國 98 年利用雪山隧道通車後，取用雪隧湧水始興建金面淨水場。

(二)宜蘭水道興辦延後

最早之宜蘭水道興設案係大正 4 年提出，但迄昭和元年(1926 年)日治已歷 31 年，蘭陽地區已先後完成三星、蘇澳、羅東自來水系統，但首善廳治-宜蘭水道則一再延後，致宜蘭街民情憤慨。

1.延後原因

(1)地域平衡之政情因素

蘭陽地區因蘭陽濁水溪(今蘭陽溪)貫穿東西,致明顯區隔溪北與溪南二區域,並各擁宜蘭、羅東主要城市,自古以來即相互要求政情之平衡。

* 重大建設均重北輕南態勢下,引起溪南地方士紳不滿,因此由羅東郡長陳純精領銜,要求雙方均尚未建設之「水道工程」應由羅東先興辦。因此,羅東水道於昭和元年 12 月開工,較宜蘭之昭和 5 年 3 月,確提前 4 年完工通水。

2.歷經改變之水源因素

改變 4 次歷程

(1)大正 4 年 6 月 3 日由總督府八田與一技師派遣,調查宜蘭地區地下水源,擬定動力抽取地下水,經高架水塔以自然供水,工事費 21 萬圓之方案一。另於員山堡大礁溪上流地面水,經過濾後,以自然流供水,工事費 40 萬圓之方案二。

(2)大正 12 年擬定三方案

- 引用大礁溪水源,工程費 60 萬圓

- 動力抽宜蘭川河水,工程費 35 萬圓

- 於大坡(今龍潭)湧泉水源

(3)大正 14 年確定方案,以大礁溪為水源,蓄水池設於枕頭山,每日取水一萬噸,經費 70 萬圓,並即著手宜蘭水道之細部規劃與測量。

(4)昭和 2 年 8 月 21 日再改方案,組成勘察隊,確定改以員山內湖,今深溝為水源,並由伊澤技師規設。

2.延後結果

(1)時間點比較

延後期間大正 12~15 年為宜蘭廳積極辦理蘭陽溪改道期間,大正 14 年雖著手宜蘭大礁溪水源之細部規劃與測量,但尚未完成前,大正 15 年已延因延長再建堤防,將清濁分流結果,使原河道河床浮現 3500 甲新生地後,使得大礁溪水源計畫乍停。

昭和 2 年(1927 年)8 月 21 日由八丁邵守率隊勘察,確定改內湖為水源。

(2)工程費比較

大礁溪水源-70 萬圓

內湖(今深溝)水源-30 萬圓

(3)計劃完成時程比較

大礁溪水源-3 年

內湖(今深溝)水源-2 年

3.因改變,獲深溝水源

蘭陽溪全長 74 公里,源出南湖大山,於再連出平原後,分流為今「冬山河之濁水」與「宜蘭河之清水」,早期由於清濁同源,故通淤不定造成連年水患,日本人於 1901 年開始治河,1912 年因大水淹百里災情擴大,仍於 1926 年延長堤防,將清濁分流結果,使得早期蘭陽溪與宜蘭河,河川襲奪、

併水、改道的範圍因而浮現出 3500 甲新生地，尤以最低窪地區稱為「內湖」，因再連堤防使該地區河道穩定，地下伏流及湧泉流量穩定，發現是不可多得的水源，乃劃定 23 公頃為「宜蘭水道水源地」，目前之深溝水源於焉誕生。

(三)配水池有碍神社神威而變更設計

1.神社與威權

日本統治台灣後，為顯統治者之威權，於重要廳治普設統治與歸向意涵之台灣神社，除祭祀日本開國神「造化三神」之外，還祭祀當年代表日本天皇領軍來台接受台灣而去世的日本皇族北白川宮能久親王，並為尊崇均以官幣神社，即由日本國庫支應祭祀費用。

2.配水池因碍神威，震撼當局

昭和 5 年(1930 年)初，水道預算通過街協議會(註 22)，但配水池預定設在宜蘭神社山頂，引起將有碍神威之議，希望位置變更，當局以此舉影響甚大，指示再行慎重調查研究，更改計劃案。

3.召開變更設計磋商會議

昭和 5 年(1930 年)7 月 4 日上午 9 時 50 分，在宜蘭街役場樓上，召開變更設計磋商會議，由水道設計者伊澤技師主持，蘇澳、羅東、宜蘭三郡郡守、街庄長協議會員，地方仕紳等 20 餘人出席，對 2000 噸配水池應以不傷及神社神威研提二方案。結果，第二案距離 11 公尺並造擋土但須增數萬圓工程費，獲與會三郡守及藤崎神社祭司金子及黃再壽氏均贊同，經表決一致通過，並喜見圓滿解決，數年來懸案之宜蘭水道終告段落，會議至 12 圓滿結束。

七、各水道營運成長迅速

台北州轄設宜蘭、羅東、蘇澳三街，均完成自來水建設且在完成供水 13~21 年後，普及率達 50%。

八、結論

(一)日治時期之蘭陽地區在地方精英爭取下，重要城市均能完成自來水建設，且普及率達 50%左右，以台灣當時 328 萬人，供水 20 萬人，普及率僅 6.1%比較確遙遙領先各地區。

(二)日人規劃宜蘭、羅東、蘇澳及三星供水系統，自水源至供水經妥慎規劃、設計、施工，致四個系統反供水方式均能沿用迄今。

(三)宜蘭水道歷經四次改變，慎選後之深溝水源，由當天計劃供水人口 35,000 人，日配水量 5,845M³，迄今已成為供水 225,000 人，日出水量 70,000 噸之淨水場。更以寬廣 23 公頃面積，以濕地涵養水源，形成今日獨樹全國之水源生態園區，對日人規劃與遠見，令人感懷與讚佩。

參考文獻

- 1.台灣新報1896年-1934年各版。
- 2.宜蘭廳治(第373至第377頁)
- 3.台灣省行政長官公署《台灣省51年來計提要》第1282頁
- 4.台灣日日新報1913年-1934年各版。

作者簡介

林建財 先生

現職：台灣自來水股份有限公司第八區管理處經理
專長：自來水管理與研發

中華民國自來水協會第 17 屆理、監事會第 7 次聯席會議紀錄

時 間：民國 101 年 5 月 25 日（星期五）下午 2 時 30 分

地 點：本會會議室(台北市長安東路二段 106 號 7 樓)

主 席：陳理事長福田

出席理事：陳福田 胡南澤 李公哲 籃炳樟 賴文正 林 岳 王炳鑫 施澍育
高文浩 林連茂 吳美惠 陳錦祥 葉宣顯 王文龍 孫新惠 陳瑞忠

出席監事：李錦地 賴永森 廖宗盛 周盛華 林建財 楊豐榮 呂崇德

請假理事：黃敏恭 郭瑞華 王桑貴 謝啟男 吳振欽 蔡茂麟 張明欽 謝堯煌
吳陽龍 陳曼莉 黃志彬 駱尚廉 陳宏濤 王池田

請假監事：張順莉 康世芳

缺席理事：蘇金龍

列席人員：許培中 蔡麗嫻 李美娥 管惠嬋 謝雅婷 孫瑞嬪 施麗薰

記 錄：施麗薰

一、主席致詞：

各位理、監事大家午安，謝謝各位出席今天的會議，本日的會議主要有兩大重點，一是有關本年度第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員代表大會、第 29 屆自來水研究發表會的各项籌備事宜，希望各位理、監事共同集思廣益，踴躍抒發已見，期使本次的大會更圓滿、成功。另一個重點項目，是今年 9 月 16~21 日在韓國釜山舉行的 2012 國際水協會 IWA 雙年會，凡是本會永久會員獲主辦國韓國接受赴會發論文者，本會將提供 5 位名額，補助論文發表費，詳細補助辦法也將在今天的會議中討論，另外也歡迎有意參與本屆 IWA 雙年會的理、監事同仁，自行前往報名參加，謝謝大家！現在就依照議程進行會議，首先請祕書長報告。

二、報告事項：

(一)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：

技術研究委員會報告：報告人 主任委員 葉宣顯 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。

會計組報告：詳如議程書面資料(略)

結論：洽悉。

三、討論事項：

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

案由：擬聘第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員代表大會、第 29 屆自來水
研究發表會籌備委員會委員，請審議。

決議：通過，由本會函聘副主任委員、總幹事及各委員。

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

案由：中華民國自來水協會第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員代表大會擬
定於 101 年 11 月 16 日(星期五)假文英館「圓夢廳」舉行，提請討論。

決議：通過，請籌委會辦理後續事宜。

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

案由：擬遴派第 45 屆自來水節慶祝大會暨第 17 屆第 3 次會員代表大會籌備委員會幹部
暨工作職掌表，提請討論。

決議：照案通過。

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

案由：配合本次慶祝大會，邀請自來水業界廠商，於大會召開期間，同時展覽先進(新式)
自來水相關設備及器材攤位，藉以增長會員見聞，提請討論。

決議：通過。

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

案由：中華民國自來水協會第 29 屆自來水研究發表會擬定於 101 年 11 月 16 日(星期五)
下午假救國團台中市團委會舉行，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：論文經獲 2012 國際水協會 IWA 雙年會 (World Water Congress & Exhibition) 主
辦國韓國接受，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：通過，本項補助經費擬由本會 98 年度「基金-準備基金」動支辦理。

四、臨時提案：

五、散會：下午 3 時 20 分