

自來水會刊第 30 卷第 2 期目錄



專門論述

- 極端氣候、缺水危機與策略彈性.....陳福田..... 1
自來水公司近年來各水源水庫優養化、藻類與淨水處理相關性探討.....張嬉麗..... 14

實務研究

- 台灣地區全面建置分區計量管網之策略.....周國鼎..... 25
管線工程減碳量分析.....張正岳..... 33

每期專題

核災供水應變

- 淨水處理去除放射性污染物之方法.....李育輯、康文賢..... 43
飲用水中放射性方面準則.....轉載自WHO飲用水水質準則三版..... 49
日本自來水受輻射污染相關作法.....本刊編輯小組..... 60
由日本福島核電廠事變看台灣地區公共給水對輻射災害之因應.....林杰熙、王藝峰..... 66

一般論述

- 飲用水總硬度在不同溫度及離子強度沉澱析出潛能之研究.....許國樑..... 74
花蓮自來水生飲之推行.....蔡政翰..... 82
核能電廠之安與危.....謝發清..... 87

他山之石

- 微生物新工法應用於水處理之探討.....曾浩雄、吳萬益..... 90

IWA 活動園地

- 國際自來水瞭望台.....范家瑋..... 101

協會與你

- 中華民國自來水協會第17屆理、監事會第2次聯席會議紀錄..... 105
中華民國自來水協會第17屆第1次臨時理事會會議紀錄..... 108
中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 24

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

極端氣候、缺水危機與策略彈性

文/陳福田

一、前言—不連續的時代

早在 1968 年，一代管理宗師彼得·杜拉克(Peter F. Drucker)憑其敏銳的觀察力，於其鉅著《不連續的時代》(The Age of Discontinuity)提出，未來將大大不同於過去，而是個不連續、跳躍式變動的時代。今天，我們真正活在一個氣候極端的「不連續的時代」，各地發生暴雨、洪水、嚴寒，以及熱浪等極端天氣的情況越來越多，極端氣候使春季、秋季可能消失，而夏季、冬季將越來越明顯。氣候變化速度太快、強度太高，跳脫以往的法則、模式，若僅憑過去的經驗值做預測，常失之千里。

全球氣候變遷，旱澇災害發生頻率提高，而災害規模亦有擴大趨勢。以地表水為主要水源的台灣而言，降雨時間之分佈不均日趨嚴重。夏季豐水期，洪水挾帶土石流，使原水濁度驟增，導致「有水不能用」的窘境；而冬季枯水期，降雨量不足，造就部份地區缺水情事。氣候變遷，不只在於變得極端，更在於它變得極快，不是水太多，就是水太少，旱澇迅速交替的劇本，近年來不斷在台灣重複上演，常常是水災過後三、四個月，就傳出水庫蓄水量逼近下限，迫使稻作休耕、夜間減壓供水。「一手抗旱、一手防汛」之場景，看起來矛盾，卻是事實。

環境瞬息萬變，即使嚴謹地規劃、落實地執行，卻難保證組織策略伴隨美好的成效

(Performance)，因為我們無法預知捉摸不定、千變萬化之未來。欲求美好之成效，企業必須保有一項重要的能力，那就是「創造策略彈性」，亦即，企業策略如能保有適當的彈性，較能應付詭譎多變的危機情境。「颱風來時，大樹連根拔起，小草卻能隨風起舞」就是組織以彈性因應環境變動的最好寫照。

本文旨在探討，面對極端氣候，自來水事業如何藉助策略彈性，以增強缺水危機之調適能力，由而穩定供水。本文先以「不連續的年代」啟言，隱寓近年氣候極端，已跳脫以往的法則、模式；後以「以變應變」結語，意謂缺水危機日亟，自不能以不變應萬變，而須以變(策略彈性)制變(極端氣候)。內文首言「台灣水資源環境」與「極端氣候」，探討其對穩定供水之衝擊；其次，闡釋「危機管理與策略彈性」之相關學理，以架構全文之撰述邏輯；其末，分由「提升產品彈性」、「增益產量彈性」、「強化配送彈性」、「擴展協調彈性」，論述自來水事業穩定供水之「策略彈性」實務。茲勾勒本文觀念架構如圖 1。

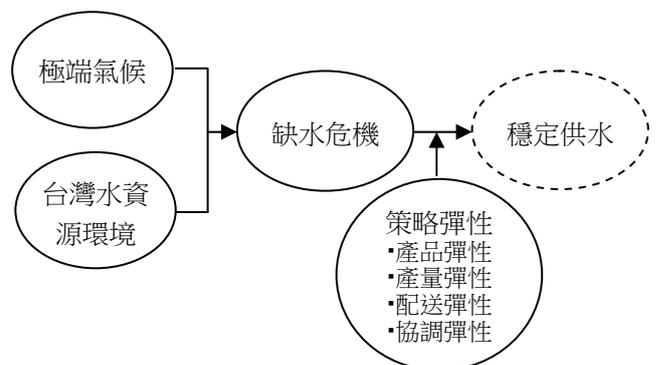


圖 1 本文觀念架構

二、極端氣候下之缺水危機

(一)台灣水資源環境

台水公司現階段(99年)供水量每日約841萬噸，依水源別，取用水源概分為地下水約15.19%、地表水約84.81%(含河川水32.71%、水庫水約52.10%)。地表水占水源大宗，常受台灣特殊的「水文」、「地形」與「地質」條件所左右，致不利穩定供水，茲分述如下。

1.水文條件

降雨量豐枯懸殊，不僅空間分布不均(山區最高達3,000mm，平原最低不及1,200mm)，復且時間分布不均(根據水利署95年資料顯示，北部區域豐、枯水季逕流量比大約為六：四；南部區域約為九：一；中部與東部區域約為八：二)。在水資源滿足度較高的北部區域，卻可能因為水資源調度彈性低，在冬季降雨低於平均值或颱風豪雨高濁度期間造成局部缺水。中部與南部區域則因水資源之滿足度不夠，缺水機率更是大增，尤以南部區域的水資源供需不平衡，一直是台灣各區域潛在缺水危機最高的地區。

2.地形條件

台灣之地形亦不利於水資源之貯蓄利用，最主要原因在於地平面坡度陡峭，從中央山脈分向東西兩側到海岸線均只有數十公里，高度卻從3千餘公尺遽降至海平面，坡度之大可想而知，造成河流短淺流急，降雨之後，雨水無法蓄積於平原地區，經常順著地勢匯聚入河，迅速奔流入海。雨過不久，河水也幾乎逕流殆盡，無法細水長流供乾季時使用；且河谷狹窄，庫容有限，故水庫雖多，總容量卻不大。

3.地質條件

集水地區地質不佳，沖蝕量大；地質年淺質弱，易遭沖刷，適合建壩地點受限。921大地震後，集水區的地質結構脆弱，豪大雨沖蝕土壤、增加裸露地，致涵養水源能力降低。近年來，氣候變遷，降雨集中，對集水區衝擊更加顯著，造成泥砂流入河川及水庫，衍生水質惡化、原水濁度遽增及水庫庫容減少等問題，影響供水穩定度。

(二)極端氣候

1.定義

本質上，氣候的定義與某種天氣事件的概率分佈有關。當某地氣候狀態嚴重偏離其平均態，就可認為是不易發生的事件。在統計意義上，不容易發生的事件就可以稱為極端事件。近幾年，異常的熱浪、寒流、乾旱與強降雨頻繁出現，且強度亦增，嚴重威脅人民生命財產。這樣的極端天候事件稱之為「極端氣候」，是一種不規則的氣候模式。

2.成因

溫室效應原即不可避免，也是地球物種生存必要的自然現象。沒有大氣層溫室氣體留住一部份太陽輻射熱能，地球將寒冷無比。

然而，當人類產生「過多」的溫室氣體（例如汽機車的石化燃料、發電廠產生的二氧化碳、工業污染廢氣等）進入大氣層，或是因砍伐森林、農地流失，使得愈來愈少植物能夠進行光合作用，將讓大氣層的CO₂濃度大幅增加，愈來愈多的熱能將無法反射回太空，此時，溫室效應將讓地球變成悶燒鍋，愈燒愈嚴重，五十年來，全球溫度因而急遽持續上升。

3.影響

全球暖化造成之威脅，「至少」我們已看到(1)威力強大的颶風、颱風愈來愈多，過去

數十年，全球四、五級颱風的次數幾乎加倍(2)由於降雨天數減少，惟雨量集中、強度更強，因此提高水災與旱災發生機會(3)冰河融化，根據統計，北極圈以每十年約 9% 的速度縮小(4)海平面上升，低窪海島國家逐步淪沒(5)氣候模式驟變，破壞生態食物鏈，愈來愈多動植物面臨滅絕危機。台灣，也不例外。

(三)對穩定供水之衝擊

受到極端氣候影響，水文不確定性增高，全台降雨日數全面性降低，降雨強度卻不斷升高。降雨量的不平均，造就旱澇反覆現象；復以台灣特殊的水資源環境，導致缺水危機加劇，影響區域供水系統之穩定性。茲引述楊錦釧教授等人發表之文獻，依據不同面向臚列極端氣候對水資源之衝擊如下。

1. 水文衝擊

過去研究結果顯示，未來台灣降雨量、逕流量及蒸發散量受氣候變遷影響而有增加的趨勢。值得一提的是，逕流量與蒸發散量增加的幅度大於降雨量增加幅度，因此地下水入滲量呈漸減的趨勢。

2. 河川流量豐枯差異更加明顯

氣候變遷造成河川豐枯差異更加明顯。豐水期(夏季)流量多為逐年遞增；枯水期(冬季與春季)流量明顯逐年遞減。

3. 降低供水系統蓄水、淨水能力

豐枯期差異的增加影響水庫供水及調節能力，而暴雨洪水沖蝕之土石淤積於水庫，水庫之有效庫容不僅因而大幅減少，降低了現有蓄水設施調節現有水資源之能力，亦縮短水庫之使用年限。尤其是，每遇暴雨，原水濁度驟增，超過淨水場 3,000NTU 處理能力上限，致需減量出水，造成「下大雨時反

而沒水喝」的窘境。

舉例言之，南化水庫係台水公司供應大台南地區及提供支援高雄地區之主要水源。97 年卡玫基風災及 98 年莫拉克颱風重創南部地區，水庫上游集水區分別出現 800 及 2000 毫米以上之豪大雨量，大量雨水於極短時間內挾帶泥砂沖入庫區，水庫原水濁度驟升高達 60,000~70,000NTU，遠遠超出淨水處理能力，導致南化淨水場停止供水，瞬間影響台南及北高雄地區民生及產業用水的正常供應。

4. 複合型災害風險提高

在臺灣，氣候變遷帶來的災害已不是單一的水災、旱災，而已逐漸轉為複合型的災害 (Multi-Hazards)。由於臺灣地表環境脆弱，在颱風帶來超大雨量後，山區、河道與集水區極易發生大量土砂崩塌與淤砂，造成河道淤積與水庫蓄水量減少，也因水庫原水濁度過高而引發水質不穩定與供水危機；復因考量壩體安全進行水量調節，不但無法有效蓄水，反而浪費水資源，由而提高了下游低窪地區淹水風險；又上游大量漂流木堆積出水口，不僅影響水庫正常運作，亦且衝毀重要聯外道路、橋樑或維生管線。

5. 河川污染嚴重

氣候變遷影響下，臺灣地區河川流量都呈現極端化的趨勢。枯水期時，污染物質排入河川中，但河川僅具備較低的流量，無法稀釋、淨化污染物質，導致污染濃度增加，河川自淨力也因而降低，涵容能力亦隨之下降；豐水期時，河川雖然擁有較大的涵容污染能力，惟因暴雨引發泥沙沖刷、土石崩坍等現象，且增大的流量也加強了河床沖蝕，致使河川濁度遞增，超出淨水場之處理能力。

三、危機管理與策略彈性

(一)危機

韋氏(Weber's)大辭典將危機(Crisis)定義為：「一件事情的轉機或惡化的分水嶺(Turning Point)，是決定性與關鍵性的一刻，也是生死存亡的關頭；它是一段不穩定的時間和不穩定的狀態，迫使人們必須在最短的時間做出決定與處理。」申言之，危機具有如下特性。

- 威脅性：危機威脅到組織的主要價值或利益。
- 時間緊迫性：危機突然發生時，由於無法循平時的標準作業程序予以處理，決策者須立即面對情境做出適當的反應，常因時間短促、資訊不足，以致決策品質不佳。
- 不確定性：危機具有混沌(Chaos)的特質，且有高度的蔓延性，於一連串的發展過程中，不斷地扭轉與變化，致使危機趨向更不規則、無法預測的狀態。
- 雙面效果性：危機隱含「危險」與「機會」雙層意義。有效管理將可促進制度的革新、適應力的提升等；反之，組織將遭致生命、

財產的損失。

危機可簡單分為「人禍」與「天災」，前者可藉由制度規範與管理作為予以防範與減災，後者則難逆。尤其，極端氣候肇致的災害，更是難以逆料，例如 2009 年 8 月 8 日莫拉克風災，西南氣流伴隨颱風帶來豐沛雨水，沖刷土壤、土石崩落，海水倒灌、洪水氾濫，釀成南台灣許多民眾流離失所，損失生命財產，在在說明極端氣候潛在的、強大的破壞力，遠遠逾越經驗法則。

(二)危機管理

危機管理(Crisis Management)意謂組織為減輕或避免危機造成的損害，所從事規劃(Planning)、執行(Doing)、管控(Controlling)的動態性、持續性調整過程。

危機管理是一動態的管理過程，其過程包括(1)事前預防(2)事中回應(3)事後處理。本文擷取美國聯邦危機管理署(FEMA)研訂之「整合性危機管理系統」(Integrated Emergency Management System, IEMS)有關論述，臚列危機管理三階段應遵循之政策及其內涵如表 1。

表 1 危機管理三階段應遵循之政策及其內涵

階段	政策	內 涵
事前	舒緩政策 (Mitigation Policy)	對未來可能發生的災變進行偵測並加以預防。亦即，除透過強化法規、整備各項組織資源及相關教育等，減少災害發生機率，並對於無法控制的自然災害，則是力求減輕生命、財產的損失。
	準備政策 (Preparedness Policy)	釐訂因應危機的運作計畫，包含(1)設計危機運作計畫(2)建立危機資訊溝通網路(3)建立緊急事件處理中心(4)設立危機警報系統(5)緊急事件相關人員訓練計畫及模擬(6)資源管理計畫。
事中	回應政策 (Response Policy)	當危機已無可避免地轉換成災難時，所應採取的行動，包括(1)醫療救援系統(2)緊急事件處理中心的運作(3)救難及撤離計畫(4)災民收容(5)可能發生第二波災難之預防措施等。
事後	復原政策 (Recovery Policy)	短程復原政策包括重建基本民生支援系統，例如將水源、電力恢復至最起碼的運轉程度；長期復原政策應重建交通運輸系統、污染放射物的控制、疾病衛生控制等。

由上表得知，因應危機有不同的層次，「危機處理」係指危機爆發時，所做的立即性、決定性措施，冀期消弭危機或減少損害，偏重於事後「點」的處理；而「危機管理」尚包括事前的規劃作為與事後的評估、學習。因此，危機處理僅是危機管理的一部份。

(三)策略彈性之意義及其類型

國內知名企管學者、政治大學校長吳思華教授於其鉅著「策略九說」中，將策略彈性(Strategic Flexibility)定義為「組織策略在因應詭譎多變、捉摸不定方面的能力。」

在傳統的策略規劃中，預測是一項基本

工作，根據預測來選擇某種策略。然而，其間往往存在極大的矛盾，亦即，花越多工夫做預測，越是具有高度信心地投入於一項策略，惟越容易忽略環境不確定性的本質，致失敗的風險越高，因為未來充滿不確定性。對抗不確定的絕佳方法，就是預先建立「策略彈性」。簡言之，就是設想多種可能的情境，針對不同情境準備多種不同招數，屆時再根據實際發生情況來決定要使用的招數。

策略彈性之類型，人言言殊，茲將相關專家、學者依不同面向所提之策略彈性類型臚列如表 2。

表 2 策略彈性之類型

年代	專家、學者	策略彈性之類型
1994	Upton	<p>策略彈性可分為「外部彈性」與「內部彈性」兩種。</p> <p>(1)「外部彈性」是以市場為導向的彈性，也就是企業因應市場改變的調整能力。</p> <p>(2)「內部彈性」是以製造為導向的彈性，涵括「生產管理」、「合作夥伴關係」。</p>
1996	Lau	<p>當公司面臨不確定性的威脅時，「市場導向」及「資源導向」的策略可提供更佳的彈性。</p> <p>(1)「市場導向」係指由外而內的「事前先發能力」(Proactive)，在預期會有不確定性的威脅時，藉著降低市場不確定性或影響顧客的期望，公司可以有較多的策略選擇，並且採取更積極主動的步驟。</p> <p>(2)「資源導向」係指由內而外之「事後反應能力」(Reactive)，就是在市場的波動已經產生之後，組織的生產系統能快速地反應，做出適當的調整。</p>
1997	Sanchez	<p>策略彈性係指擁有策略選擇的條件，由組織的「資源彈性」與「協調彈性」結合而成。</p> <p>(1)「資源彈性」指資源有較多的利用可能性，如可利用在不同產品的開發、製造、配送或行銷階段。「資源彈性」高，資源在用途轉換時，產生的轉換成本及困難度較小。</p> <p>(2)「協調彈性」係組織將資源連接成網路，彼此支援以創造出有增值能力的生產、行銷等活動。「協調彈性」高，透過組織系統及流程，將可動用之資源配置到最需要的地方，反映出組織能否有效地管理旗下資源。</p>
1999	Vickery	<p>為提升供應鏈對顧客需求的反應能力，提出「產品彈性」、「產量彈性」與「配送彈性」三種策略彈性。</p> <p>(1)「產品彈性」係有能力處理困難的、非標準化的訂單，以滿足多樣特定的規格，並生產出具多樣特徵、尺寸及顏色的產品。</p> <p>(2)「產量彈性」係有效率地增加或減少產品產量，以回應顧客需求的改變。</p> <p>(3)「配送彈性」係有能力提供廣泛區域且密集的配送，讓消費者能輕易地接觸。</p>

綜閱上表，得知(1)策略彈性可歸類為「外部彈性」與「內部彈性」(2)「市場彈性」相當於「外部」彈性；「資源彈性」相當於「內部」彈性(3) Sanchez 所提之「資源彈性」、「協調彈性」，以及 Vickery 所提之「產品彈性」、「產量彈性」、「配送彈性」均歸屬內部彈性。本文旨在探討缺水危機下供水系統之應變彈性，爰將策略彈性聚焦於「內部彈性」。

依自來水事業經營之特質，本文採納 Vickery 所提出之三種策略(內部)彈性類型，即「產品彈性」、「產量彈性」與「配送彈性」(三者或可合稱為資源彈性)；再納入 Sanchez 所提「協調彈性」，據以研析供水系統應變彈性提升之道(彙示如表 3)，分於下揭四~七闡述。

表 3 策略彈性類型與缺水危機下之策略作為

策略彈性類型	對穩定供水之助益	缺水危機下之策略作為
產品彈性	提升研發能力，進行產品創新，將有助於擴展自來水事業適應環境變動之 利基寬度(Niche Breadth) 。	(1)強化淨水技術研究發展
產量彈性	透過多元化水源開發，建置「備源系統」；提升淨水場的「備載能量」，以保持相當的 組織寬裕度(Organizational Slack) ，在滿足利益關係人需求之後，尚有餘裕的資源，以備不時之需。	(2)多元化水源開發 (3)充實供水系統備載能量
配送彈性	透過備援管線設置，在乾旱、暴雨或其他特殊情況下，進行區域性水源及水利設施的調配運用，冀期 調豐濟枯 。	(4)建置跨系統或區域備援管線
協調彈性	強化內在資源調度彈性、外在夥伴 溝通協調 ，冀求提升預防、整備、應變及復原等各階段能力。	(5)製作緊急應變之多套劇本 (6)建立防災應變之網路型組織

四、提升產品彈性

當企業的核心業務面臨不確定時，應變的避險措施不可或缺，亦即除專注核心領域，也應該發展不同領域的技術。易言之，企業應該擁有多種技術基礎，並進行產品創新，例如宏達電已是微軟智慧型手機作業系統的領導廠商，但仍佈局 Google Android 的 G Phone，這是因應「不確定」的必要管理措施。就自來水事業而言，藉由累積雄厚的研發能力，強化淨水技術研究發展，其對極端氣候的因應較具彈性，而且有效。

以新加坡新生水(New Water)經驗為借鏡。1965年，新加坡獨立建國，經濟快速成長，但水源的缺乏一直是一大隱憂，因為當地地勢平坦，少山丘，空有豐沛雨量卻留不住，長久以來，仰賴馬來西亞供水。近年，新加坡靠著研發海水淡化和薄膜技術，以薄膜分子科技回收的新生水，號稱使用全世界最好的廢水處理技術，可以處理各種污水，變成飲用水，終於結束了向馬來西亞買水的惡夢。如今，新加坡不但不用花錢買水，甚至還將新生水技術，整廠輸出亞洲各個國家，賺進大把鈔票。

本公司成立近四十年，其間，為善盡「提供量足、質優自來水」之使命，不斷引用先進自來水工程與淨水技術，透過不斷的學習，累積雄厚的自來水工程與處理技術，提升對抗水資源環境變化的能力。例如，本公司七區處為改善大高雄地區水質，斥資以結晶軟化、生物活性碳吸附、臭氧或奈米薄膜等方式生產高級水，大大提升自來水品質；另，為改善澎湖地區供水緊絀的情況，建置海水淡化廠，本公司與廠商合作的過程中，也不斷地茁壯自己的技術實力。

值此自然環境轉變之際，未來水資源之取得將越來越難，潔淨水的價值會越來越高，故污水可能再利用，舉世皆然。累積這些突破性技術，諸如海水淡化技術、高級淨水處理的薄膜技術，甚至新生水的研究發展，將可為公司擴展適應環境變動之利基寬度（Niche Breadth），以備不時之需。

五、增益產量彈性

面對極端氣候導致缺水危機日亟的壓力，本公司除應加速海水淡化、加強廢污水再生利用等產品創新與技術研發，亦應提升水資源的運用效率、調度能力。一方面「增益產量彈性」，讓淨水場有足夠的「備源」、「備載」能量【分於下（一）、（二）闡釋】，以增加可用資源之寬裕度；另一方面「強化配送彈性」，供水設施須有「備援」管線（將於下揭六論述），方能調豐濟枯、以有餘補不足。

（一）多元化水源開發

因應多變的情勢，企業對生產所需的原料，應擁有多元供應的來源。同理，隨著氣候越來越極端，天氣越來越難預測，與其看老天爺的臉色，不如求諸水源多元化。水資源的建設可分成主要水源、替代水源及補充水源等三

種。主要水源屬於第一級，指的是水庫及攔河堰的建設，其為水資源供給的主力；第二級是替代水源，指的是不同標的間的水資源移用；第三級是補充水源，指的是地下水、海水淡化、回收再利用水等，後二種水源用以「輔助」主要水源。過去，台灣的水資源建設大都以第一級為主，較為忽略第二、三級水源之建設及其輔助功能。

台灣降雨量十分豐沛，年降雨量平均高達 2,500 公釐，是世界平均值的 2.6 倍，惟降雨在地域及季節性的分配不均，於地狹人稠、地勢陡峭的地理環境，大部分降雨迅速流入海洋；復因地質年輕脆弱的台灣，河川輸沙量非常大，全台 42 座主要水庫淤積嚴重，例如曾文、南化、烏山頭水庫淤積率已達 20%到 30%，導致蓄水量減少，造成以地表水為主要水源的台灣，飽受缺水的威脅。替代水源與輔助水源在台灣水資源管理的角色與功能日益重要。

台灣地區現有最大的「替代水源」是農業用水，但大多數的農業用水權仍屬於農田水利會所有，水資源的移用必須以「談判」方式進行，尚未建立法制化的制度，故「輔助」主要水源的角色扮演尚待琢磨。目前，「補充水源」以地下水為主，惟因過度利用，造成地層下陷等不可逆的缺憾。回收水再利用目前僅止於工業用水，與先進國家差距尚遠；海水淡化因產量少、成本高，仍無法發揮「補充」主要水源的功能。

為彌補傳統水源穩定性不足之缺憾，本公司積極落實多元化水源開發政策。一方面配合水利署水源開發計畫為前導計畫，與水庫聯合調配運用，加強水庫清淤，以增加供水能力。本公司按各地區用水需求配合辦理相關下游供水工程，諸如配合辦理板新地區

供水改善二期計畫、大安溪與大甲溪水源聯合運用輸水工程、湖山水庫下游自來水工程、海水淡化廠興建、烏溪大度堰等，透過區域性整體水利設施聯合運用，以提升水資源調度能力。另一方面本公司積極充裕自有水源，例如攔河堰及取水設施更新、加強海水淡化技術研發、增加伏流水開發等，以提升水資源運用效率。

(二)充實供水系統備載能量

雖然部分人士提出「南水北調或北水南調」之議，惟考量輸水管線加壓操作、漏水損失及成本效益等因素，現階段原則上仍以提升各區域內之供水調配能力為主，而將進行全面跨區域的調度列為長程穩定供水之終

極理想。

植基「分區規劃、區域調配」之理念，本公司中、長程經營計畫將供水轄區分為四大區域(北、中、南、東)。依各區域生產、銷售水量與供水能力，規劃未來供水能力之擴(增)建計畫。

民國99年本公司設計供水能力為39億4,504萬 m^3 /年，惟受限於水質及水源量，實際供水能力可能略低。比較民國99年淨水場出水能力與用水需求，得知淨水場設備及相關設施能力尚不足以因應未來生活與產業用水需求。配合水利署水資源開發計畫，本公司研訂各區域99~102年增加供水能力分年擴(增)建計畫如表4。

表 4 99 年至 102 年增加供水能力擴(增)建計畫

單位：千 m^3 /年

區域別	未來增加供水能力擴(增)建計畫	99 年	100 年	101 年	102 年	99~102 年 增供水量
北區	板新地區供水改善計畫(二期)					0
	石門水庫及其集水區整治計畫 — 穩定供水及幹管改善					0
	員峴淨水場擴建工程					0
小 計		0	0	0	0	0
中區	后里第一淨水場					0
	后里 60 萬立方公尺/日第二淨水場 及下游送水幹管計畫					0
	湖山水庫下游供水計畫					0
	集集淨水場二期擴建工程計畫		16,425			16,425
小 計		0	16,425	0	0	16,425
南區	南科及南科液晶園區短中程供水計畫					0
	阿公店水庫更新計畫		36,500			36,500
	中埔系統擴建修正規劃	2,738				2,738
	澎湖地區水資源後續開發修正計畫		3,924			3,924
小 計		2,738	40,424	0	0	43,162
東區	台東成功供水系統擴建			5,110		5,110
	羅東堰下游供水計畫					0
小 計		0	0	5,110	0	5,110
年增供水量合計		2,738	56,849	5,110	0	64,697
推估年度系統供水能力		3,936,569	3,993,418	3,998,528	3,998,528	-

備註：北區涵括十二區、一區、二區、三區；中區涵括四區、十一區、五區；南區涵括六區、七區；東區涵括八區、九區、十區。

鑑於氣候異常、缺水危機日亟，為提升台灣地區用水之穩定度、滿足中長程產業發展，本公司經由上揭擴(增)建工程之辦理，調適各區域備載能量。為確保用戶可獲得充裕水量，通常配水率須維持在 65%~70%，若高於此，即需辦理系統擴建。

因自規劃、設計、施工至完成供水，平均約需 2~3 年時間，故配水率高於 65% 即須評估與規劃系統擴建。預計民國 102 年系統供水能力應達 39 億 98,528 千立方公尺/年，據以核算各區域配水率及預估供水能力如表 5。

表 5 99 年至 102 年配水率及預估供水能力

單位：千 m³/年

區域別		年度	99	100	101	102
北區	供水量預估數		1,147,254	1,135,572	1,132,361	1,130,143
	系統供水能力		1,383,084 (222,650)	1,383,084 (222,650)	1,383,084 (222,650)	1,383,084 (222,650)
	配水率預估數		71.45%	70.72%	70.52%	70.38%
中區	供水量預估數		859,683	852,191	849,197	847,108
	系統供水能力預估數		1,207,530	1,223,955	1,223,955	1,223,955
	配水率預估數		71.19%	69.63%	69.38%	69.21%
南區	供水量預估數		956,896	936,737	934,528	933,027
	系統供水能力預估數		1,136,822	1,177,246	1,177,246	1,177,246
	配水率預估數		84.17%	79.57%	79.38%	79.26%
東區	供水量預估數		131,591	129,893	129,439	129,123
	系統供水能力預估數		209,134	209,134	214,244	214,244
	配水率預估數		62.92%	62.11%	60.42%	60.27%
總計	供水量預估數		3,095,424	3,054,393	3,045,525	3,039,401
	系統供水能力預估數		3,936,569 (222,650)	3,993,418 (222,650)	3,998,528 (222,650)	3,998,528 (222,650)
	配水率預估數		74.42%	72.45%	72.15%	72.00%

備註：北區各年度系統供水能力以()列示之數量，係台北自來水事業處可供應本公司板新地區 53 萬 CMD、支援汐止 1 萬 CMD、淡水 7 萬 CMD 之能力，合計每年約 222,650 千 m³。

由上揭各區域配水率顯示，東區有較高的機率趨向於供水量大於需求量，而台灣西半部（北區、中區、南區）將面臨限水危機，且越往南部，缺水危機越嚴重，仍須持續辦理各項擴(增)建工程，以充實備載能量。其中，南部地區配水率由 99 年之 84.17% 降為 102 年之 79.26%，雖略有改善，惟仍緩不濟急。爰針對台南、高雄等高缺水風險潛勢地區，99 年奉行政院核定「曾文、南化、烏山頭水

庫治理及穩定南部地區供水計畫」，藉由提升現有水源之調度及備援系統、增加南化水庫庫容及尋求新的替代水源等策略，冀期穩定南部地區供水。

另，本公司持續規劃在每個淨水場設置初沉設備，諸如辦理豐原場新設初沈池工程（食水料溪右岸），冀期經過重力沉澱、添加藥劑，讓雜質沉澱於池中，將乾淨的水源導入淨水場，在颱風來臨前可以將池子續滿乾

淨的水，當作一個備用水源，除可降低對環境之衝擊，並可提升高濁度時期之出水能力及供水穩定性。

六、強化配送彈性

為加強水資源備援，本公司設置「跨系統或區域間備援管線」，在乾旱、暴雨或其他特殊情況下，進行區域性水源及水利設施的調配運用，冀期調豐濟枯。囿於

輸水管線加壓操作、漏水損失及成本效益等因素，水資源之運用應以流域內調度為優先，即先以流域內水源聯合運用，如有盈餘或缺乏，再以跨區聯通管網進行跨區調度，以加強現有水資源之運用效率。茲列舉本公司近年配合各水源開發計畫，規劃或辦理中之跨系統或區域間備援管線工程如表 6。

表 6 跨系統或區域間備援管線之重大工程

項次	工程名稱	穩定供水效益
一	板新地區供水改善計畫二期工程（新店溪—大漢溪）	利用新店溪及大漢溪水源聯合運用，期能將新店溪水源南調板新地區，而大漢溪水源南調桃園，以降低缺水風險。
二	穩定供水設施及幹管改善之「桃竹雙向供水改善工程」（桃園平鎮—新竹湖口）	當桃園或新竹任一供水區發生枯旱或原水濁度飆高，影響淨水場出水能量以致發生區域性缺水時，可利用現有桃園與新竹兩供水區間之管線調配調度。
三	貢寮—基隆第二條送水管計畫（貢寮—基隆）	因貢寮送基隆輸水現有管線老舊，應儘速辦理第二條輸水管線工程。目前規劃辦理中，主要引用雙溪水為基隆地區水源，以穩定基隆地區供水。
四	鯉魚潭場至苗栗地區送水管計畫（大安溪—苗栗）	將鯉魚潭水庫水庫水源量供送苗栗地區，以備新竹、苗栗調度供水。
五	湖山水庫下游自來水工程（濁水溪—清水溪）	目前雲林地區以地下水源為主，分設小型淨水場處理後，以小區域供水系統供水，各系統間尚無聯通。湖山水庫完工後，將與集集南岸聯絡渠道水源聯合運用，以地表水取代地下水，不足部份由林內及湖山淨水場以送水管線連接至各分區既設供水網，而各分區間亦以幹管聯通，俾利水源調配。
六	后里 60 萬 CMD 第二淨水場及下游送水幹管（大安溪—大甲溪）	充份利用大安溪、大甲溪水源，以建構第三套供水系統，冀期降低大台中地區供水風險。

另，本公司配合行政院「振興經濟新方案」，奉行政院核定「加速辦理降低自來水漏水率及穩定供水計畫」（98~101 年），挹注特別預算 152 億元，其中穩定供水部份為 53 億元，加上公司自籌 107 億元，合計 160 億元。主要針對北、中、南地區（新北市、桃竹苗、南投、草屯、雲林台西沿海及台南、高雄、屏東等地區）之「單一」、「重要」、「脆弱」維生

管線，例如南化 2,400m/m 送水管、新竹寶山支援竹北、芎林 1,350m/m，均為供應大台南高雄及新竹地區數十萬戶民生及工業園區用水，不可一日或缺；每當颱風挾帶豪雨，沖蝕河床致水管流失、地震震斷管線或工程施工挖損管路等造成停水，修復期限長，易遭致民怨。爰奉行政院核定於重要管段設置備援維生管線，共計辦理 17 項工程如表 7。

表 7 「振興經濟新方案」—備援維生管線工程

區域別	備援維生管線工程
北部	(1)板新廠板橋線三峽橫溪橋段送水幹管替代管線工程 (2)五股至八里幹管聯通工程 (3)泰山 25,000 噸配水池及管線設計工程 (4)寶山支援竹北、芎林管線工程 (5)新竹二場至竹科供水管線改善工程 (6)香山地區供水改善工程 (7)龍潭至平鎮至八德供水改善工程 (8)平鎮至湖口送水管改善工程(湖口鐵騎路段) (9)芎林竹 120 線 8k+000~14k+500 管線工程 (10)頭前溪隆恩堰至涌雅場原水備援管線工程
中部	(11)南投至草屯送水管工程 (12)西螺至台西延管工程
南部	(13)南化場至豐德配水池複線送水幹管工程(左鎮至豐德段) (14)南化原水延送拷潭廠導水管工程(竹寮至磚仔窯) (15)關廟鄉布袋、田中、龜洞三村供水改善工程 (16)關廟南北松加壓站進水管工程 (17)坪頂淨水場供水改善工程

七、擴展協調彈性

(一)製作落實緊急應變之多套劇本

一份完整周延且具體可行的計畫，可使危機處理不至失序，亦可避免貽誤時機。危機應變計畫越詳細，則決策者面臨危機情境，即能迅速地、正確地決策，執行過程也會更加順利。

應變計畫之制定，應具備如下內涵。

- 平日對缺水危機發生潛勢進行分析，評估其危險度與危機影響的對象與範圍，針對各項危機狀況規劃危機所需的資源並預做準備。
- 詳述執行流程與步驟，並明確規定危機管理小組的職責、任務、與授權範圍。
- 對於內部與外部組織的可能支援協助，應先取得互助協議，明確訂定支援的時機、項目、步驟，以確保危機發生時能獲得協助。

- 時常按危機計畫進行演練，根據演練情況更新危機應變計畫，讓危機計畫能符合實情並保持計畫的有效性。

應變計畫應視災害之類型（旱、澇等），撰擬不同的劇本。亦即，植基「劇本規劃」（Scenario Planning）之理念，預測未來可能發生之多種情況，針對每一情況訂定相關的因應策略，冀期增加應變的彈性。

為綜理各類災害及緊急事故之指揮、督導、協調、資料蒐集及傳遞等有關災害緊急應變作業事項，本公司業已訂定「災害緊急應變小組作業要點」，並基於前揭「劇本規劃」理念，分別針對各種災變危機擬具供水應變對策。茲就極端氣候下「高濁度」及「枯旱」等缺水危機，摘述本公司應變策略如表 8。

表8 高濁度期間與枯旱期間供水應變策略

高濁度期間	枯旱期間
(1)汛前完成各項整備及緊急應變計畫。	(1)配合水利署原水調配、抗旱會議滾動式水情檢討，研訂「各地區枯旱期間自來水停止及限制供水執行計畫」，據以實施各階段限水措施。
(2)發佈訊息通知用戶儲水。	(2)擴大宣導用戶節約用水。
(3)暢通緊急聯絡管道及應變作業。	(3)暢通緊急聯絡管道及應變作業。
(4)調配低濁度原水或備用地下水。	(4)調配農業用水及啟動備用地下水。
(5)採二段式加藥或增設沉砂池/初沉池前處理設備。	(5)加強監控原水/前加氯/高錳酸鉀/粉狀活性碳/加強混凝/增加快濾池反洗頻率等淨水處理應變措施。
(6)聯通跨系統或區域支援供水管網。	(6)聯通跨系統或區域支援供水管網。

根據總管理處全盤性、系統觀釐訂之「災害防救業務計畫」，各區管理處依其供水轄區特性，因地制宜訂定專屬的應變計畫，雖各區處應變計畫不盡相同，惟應涵括(1)供水系統概要(2)潛在危險因子分析及檢討(3)各項危險因子緊急應變計畫與標準程序(4)緊急應變小組架構與職掌(5)緊急供水執行計畫等，每年定期辦理供水緊急應變演練等，建構合宜的應變計畫。

另，在重大災難發生後，新聞傳媒不斷地重複報導，甚至誇大渲染，因此，利害關係人溝通計畫之擬定也是必要的。溝通是危機管理重要的一環，良好的溝通可將阻力轉化為助力。本公司除須「講清楚，說明白」，尤其要貫徹「發言人制度」，由發言人統一發言，避免「一人一把號，各吹各的調」。

(二)建立防災應變之網路型組織

廣泛的人際或企業網路乃是處理各種突發事件重要的武器。應變計畫應將所有可能共同協助防災、救災的組織納入，一同針對可能的潛在危機，事先詳加討論並擬定應變準則，並與各相關單位建立一套完善的合作

機制，詳細規劃彼此間之相互支援。

由於組織資源有限，無法憑一己之力整備所有救災資源。為因應災變所須之龐大救災資源需求，平日須與中央災害應變中心、縣市政府、協力合約廠商、民間救難組織、國軍、甚至媒體等，建立雙向聯繫管道，以利危機發生時的整合與運作，此即組織「外在資源系統」。

公共事務管理專家Hult & Walcott(1990)提及，在公共問題的實務運作上，公部門、私部門、非營利組織與民間社會部門往往會形成一複雜之網絡關係。災害預防與救助有賴災難發生前建立的網絡關係，才能促成災害防救行動順利進行。網絡關係可以連結不同層級的政府、公、私部門中之個人、團體及組織，促使這些單位彼此分工、共同合作，進而形成一政策網絡或政策社群。

本公司當以信任為基礎，經由價值分享、資訊與資源共享，與相關機關建立特定網絡關係，期求救災行動中相互支援，構成具有開放(Open)、虛擬(Virtual)及機動(Dynamic)等特性「網路型組織」(Network Organization)，從而提升本公司之應變彈性。

八、結語—以變應變

2008年，哈佛企管博士 Michael E. Raynor 於其新著「策略的兩難」(The Strategy Paradox)中指出：「策略需要承諾，而未來卻不可知」，意謂策略的兩難。面對詭譎多變的未來，必須建立「多種策略」避險佈局，因應未來的不同面貌；若只以「一種策略」來應對的話，基於單一策略係建立在對未來的明確信念上，一旦「信念與承諾」和「未來的不確定性」之間顯現矛盾，往往會使企業徹底失敗或深陷泥沼。易言之，企業應創造「策略彈性」，針對不同未來情境，研擬多種策略，不宜「一頭栽進去」、被動地守株待兔。

英國前首相邱吉爾曾說：「所有預言者都是傻瓜。」因為我們無法預知未來，是故「多面下注」(Hedge Your Bets)是因應「不確定」的法寶。微軟公司(Microsoft)身處驚濤駭浪、變幻莫測的資通產業，能幾十年維持長久不墜，其要訣之一是微軟永不預測未來，只是預想各種情境，並以公司內部創投機制(Corporate Venturing)進行必要的佈局。我們不應該問：「微軟的策略是什麼？」而是要問：「微軟的策略有哪些？」

近年來，氣候越來越極端，天氣越來越難預測，台灣，亦不例外。面對變化莫測的水文環境，「策略彈性」扮演穩定供水的角色日趨重要，亦即必須建立「多種」應變策略，靈活地調整策略選項(Alternative)，才能迅速應變。惟建構策略彈性所須之策略作為，將伴隨著投資成本之提升，兩者存在正相關(Positive Correlation)。申言之，面對極端氣候，本公司須創造「策略彈性」以降低缺水風險、穩定供水，惟建構「策略彈性」所需龐大之投資經費，有賴自來水事業健全之財

務以為支撐，方能竟其功。因此，改善本公司目前財務窘境，避免策略計畫「應辦而無足夠經費辦理」之憾，實為「創造策略彈性以穩定供水」重要且必要的一環。

俗語說：「人能三日無糧，不可一天缺水。」雖然受限於主、客觀等諸多不利因素，台水公司仍當秉持「毋恃敵之不來，正恃吾有以待之」的信念，創造「策略彈性」，以變應變，克服極端氣候之挑戰。畢竟，提供量足、質優、服務好之自來水是台水人責無旁貸之神聖使命。

參考文獻

- 1.吳天瑛，”自來水事業天然災害危機管理之研究—以臺北自來水事業處為例”，國立政治大學行政管理研究所碩士論文，民國93年。
- 1.吳思華，”策略九說—策略思考的本質”，臉譜文化事業，民國87年。
- 2.陳昱清，”台灣自來水公司缺水危機管理機制之研究—以第三區管理處為例”，中華大學在職專班未出版碩士論文，民國95年。
- 3.蔡泰生，”策略彈性化危機為轉機”，管理雜誌第329期，民國90年。
- 4.Berton, L., “Crisis in Organizations: Managing and Communicating in the Heart of Chaos”, Cincinnati, OH: College Divisions South-Western, 1993.
- 5.Dutton, J. E., “The Processing of Crisis and Non-crisis Strategic Issues”, Journal of Management Studies, 1986.
- 6.Mitroff, I. I., “Crisis Management: Cutting through the Confusion”, Sloan Management Review, 1988.

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

自來水公司近年來各水源水庫優養化、藻類與淨水處理相關性探討

文/張嬉麗

摘要

台水公司以水庫為水源之淨水場所遭遇的問題，以淨水場濾床阻塞的影響最為嚴重，其次是影響清水適飲性的臭味問題。從藻類藻種監測發現，目前台水公司所有水庫皆有阻塞濾床的藻類繁殖為優勢種的潛能；各水庫亦皆有產臭藻種的存在。因此，所有使用水庫水為原水的淨水場，皆須備有發生濾床阻塞或原水發生臭味的緊急應變處理措施。

至於大家所關心的藻毒問題，經過台水公司三年來原水及清水中藻毒的監測數據顯示，台水公司所使用的水庫，目前皆無藻毒的問題。為了解各水庫產生藻毒危害的風險，進行各水庫藻類之檢視，由所檢視各水庫的藻種數據，篩除 11 座水庫存在產生藻毒藻種的可能性；惟日後仍需繼續篩選與監測，以確切掌握水質之安全。針對藻毒的控制，由新山水庫 98 年藻類優養化嚴重的案例為例，水公司建立針對藻毒的緊急應變措施，其中除加強原水藻毒監測，確保藻毒濃度低於 1 微克/升外，採取水庫分層取水是最為重要的安全措施，建議各水庫管理單位及早因應，備妥水庫分層取水之可行性設施。

藉由新山水庫於 98 年雖發生嚴重藻華，但卻無藻毒問題的案例，說明水庫「優養化」不能與「藻毒」劃上等號；從所監測到的藻類藻屬、藻種變化，建議各水庫管理單位，應了解『水庫生態』對水庫永續利用

的重要性，水庫管理對水庫內各種藻類藻種的消長不可掉以輕心，監測各水庫藻類的消長是刻不容緩的事。水庫的維護及其原水利用實施計劃，需要更精準，考量水庫生態及水中生態物種消、長的影響，並依水庫原水水質狀況進行淨水場最佳化操作。

綜上探討，認為全省各水庫優養化、藻類繁殖對台水公司，在現階段是淨水處理問題而非水質問題。

一、前言

本報告主要將台灣自來水公司（台水公司）近年來各水源水庫發生藻華，藻類所引起的水質變化，及藻類對淨水處理的影響實例與大家分享。台水公司供應全台灣除大台北地區以外的自來水，每日平均供水量約為 860 萬噸，其中約有三分之二的原水來自台水公司所使用的 21 座水庫（本報告水庫數依採樣當時種況不同而異）。儘管台水公司所供應自來水的水質合格率近乎百分之百（99 年度為 99.93%），然而，水庫的優養化問題、藻毒問題卻是新聞媒體寵兒，每年在媒體新聞上皆至少會出現一次以上「台灣水庫嚴重優養化！」的報導，讓消費者心中；「水庫優養化必會影響台水公司所供應的自來水水質」的疑慮一直揮之不去，事實上狀況如何？希望藉此機會加以說明。

水庫優養化是水庫藻類大量繁殖形成藻華（Algal bloom）的現象，是「水體富營養化」的呈現，是水體中氮、磷含量過高導

致藻類過度增殖的結果。「優養化」雖是滄海變桑田的一種自然界生態交替現象，但以水庫蓄水作為公共給水的目的而言，並非所樂見；更何況由於某些藻類形成優勢種後，會衍生出藻類的代謝物質增加而影響水質。水庫因豐富的營養源及環境因素而造成優勢藻種大量繁殖，優勢藻種的繁殖衍生出特殊的水體水質。優養化水庫的水質，依其所含的優勢藻類不同而有所不同，也因而對淨水場淨水處理形成不同的影響。藻類增生所引起的水質問題（Mouchet, et 1998），如餘氯的消耗、三氯甲烷前驅物的生成、藻類腐敗所產生的臭與味、甚至藻類代謝所生成的物質都亦會影響水質，如臭味物質 2-MIB 即是藻類代謝所產生的物質，再再都影響原水水質。

由上說明，水庫優養化影響水庫原水水質的事實確實存在，然而台水公司又如何確保水質安全？為確保飲用水安全無疑，水公司自成立以來即定期及不定期對水源水質、各淨水程序水質、配水管網水質作監測，而對水庫永續利用的優養化及藻類問題，自民國 68 年起台水公司即自行或委託研究，對所使用水庫進行藻類的調查與研究。從民國 88 年至 99 年間，長期監測所使用水庫的卡爾森優養指標數據顯示，全省水庫的優養化是有改善的，民國 95 年，甚至有「普養」的水庫數比「優養」的水庫數多的情形。

惟自 921 地震後，各水庫原水濁度升高，導致卡爾森指數的優養化評估無法反應水庫是否真正的營養源過高！也因此「優養化」成為困擾的名詞。本文利用台水公司長期監測各水庫原水水質的結果，與委託計劃

的數據進行交叉探討求證，希望對水公司目前所使用水庫藻類及優養化的實際情形作確認。

二、背景資料

(一)各水源水庫優養化情形

自來水公司自民國 62 年成立以後，即致力於全省水源及供水水質的管理與控制，自民國 85 年後全省 12 個區管理處檢驗室陸續分別取得環保署認證後，水質數據品質進入新的里程碑，台水公司對水庫原水水質的監測亦趨於完整。利用環保署評定國內水庫優養化程度的指標「多變數卡爾森優養指數（Carlson's trophic state index, CTSI）」進行評量各水庫^[3]。民國 88 年至 99 年間，水公司 20 座水庫的歷年平均優養化指數（各水庫每季檢測 1 次，4 季平均即為年平均），皆以鳳山水庫及澄清湖之優養指數較高，然其優養化指數有逐年下降的趨勢，其他原已是優養化的水庫亦漸漸成為普養狀況。圖 1 顯示，台水公司所使用水庫，其水庫優養化從民國 88 年的 21 座水庫有 13 座優養，7 座為普養，至民國 99 年三月，全省水庫優養的水庫數下降，成為 7 座為優養，普養的水庫數則增加，成為 13 座，而貧營養化水庫則維持為 1 座。

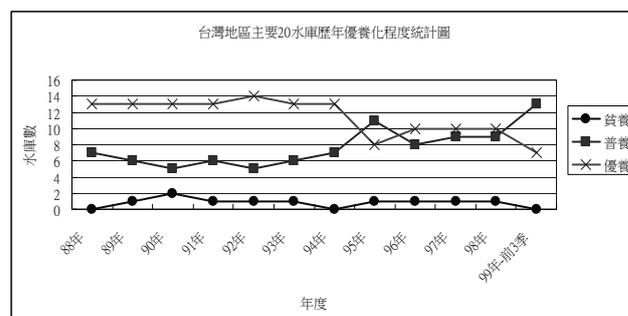


圖 1 台水公司作為原水來源的水庫(20 座)優養化(卡爾森指數)趨勢

台水公司所使用水庫有三分之一以上屬於「優養」，水庫優養化會讓淨水處理更為困難是不爭的事實！然而由台水公司各淨水場例行監測的水源水質資料顯示，原水水質皆相當穩定良好（颱風暴雨除外），各淨水場亦皆能掌控處理，全公司歷年來供水水質合格率皆達百分之九十九以上（圖 2），證明水公司分層取水及淨水場淨水處理有很好的效果，此種供水水質合格率與水庫優養化兩者間的明顯落差，有加以說明的必要。

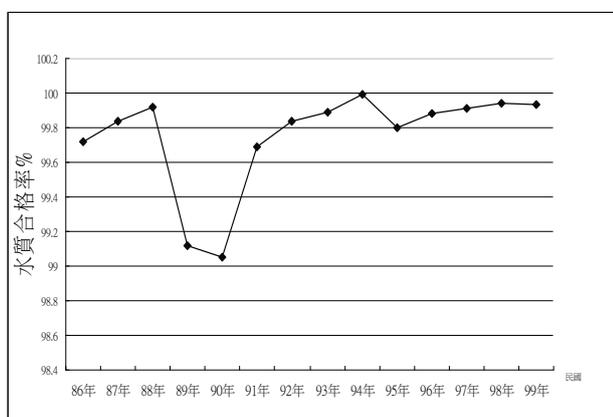


圖 2 歷年水質合格率

以台水公司未受任何人為污染問題之西勢水庫為例^[6]，將西勢水庫 97 及 98 年水公司季檢測之檢項值，分別以多變數卡爾森優養化指數及國際經濟合作暨發展組織（OECD）的單一參數優養化判定標準葉綠素 a 或總磷單一指數計算比較（表 1），水庫本身既使無污染源流入如西勢水庫，仍有機

會達普養甚至優養化的狀態，顯示其自然崩塌對水庫仍有不小的影響^[6]，應對水庫水土保持多加關心外，而多變數卡爾森優養化指數對水庫優養的評定都比單一參數葉綠素 a 或總磷的評定來得嚴重，不同評價標準出現不同的結果顯示，所謂「優養化」的判定並不是那麼嚴謹。98 年第二季的評價以葉綠素 a 來評量，得西勢水庫為優養化狀態，但以總磷評價卻貧養，而 CTSI 評價卻是普養。因此，以藻類監測才是較直接、精確的評價方式。而『水庫優養化』只是水庫是否營養源過多的趨勢表現，無法與自來水事業將原水適當處理後所供應的自來水水質畫上等號。

(二)藻類監測

水庫優養化是終結水庫的重要原因之一。以台水公司而言，永續經營的核心任務就是避免水庫優養化。水庫因營養源流入造成藻類滋生，衍生成水庫優養化，優勢種藻類呈現時，如產生藻毒的微囊藻，或阻塞濾床的針杆藻屬、小環藻屬，或產生臭味的顫藻屬、角星鼓藻屬、等等對水庫水質或淨水處理產生影響，因此監測水庫原水中藻類含量，是為證明水庫水質是否優良的直接證據。

台水公司自成立以來即對各個水庫進行藻類的監測，至民國 95 年起始將藻類監

表 1 西勢水庫卡爾森多變數優養指數（CTSI）與 OECD 單一參數優養化判定比較

	2008/2/12	2008/5/5	2008/8/4	2008/11/3	2009/1/5	2009/4/6	2009/7/6	2009/10/5
CTSI	普養	優養	普養	優養	普養	普養	普養	普養
總磷	貧養	普養	普養	普養	普養	貧養	普養	普養
葉綠素 a	貧養	普養	普養	普養	普養	優養	普養	貧養

測列為例行工作。藻類鏡檢是為非常專業、吃重、人才不易培養的工作，目前更積極利用委託計劃提昇藻類監測及鑑定能力。建立水庫藻類藻種的生態變化資料庫為當務之急，而如何配合藻類鏡檢、鑑定技術，確定不同菌株的存在，掌控水庫生態系變化，利用生化技術(PCR, 聚合酶連鎖反應)將不可避免。

(三)藻毒監測

民國 94 報載水庫首次驗出藻類產生肝毒素，牡丹及曾文水庫表面水曾驗出大量微囊藻（每毫升達 10528 個）^[3]，惟 94 年度環保署環境檢驗所就台、澎、金、馬所有水庫（包括曾文、牡丹水庫）執行水庫水源水質微囊藻毒檢測，水庫原水微囊藻毒濃度均小於世界衛生組織（WHO）建議飲用中微囊藻毒濃度的 1ppb（ $\mu\text{g/L}$ ），而淨水場處理後的清水，其水中微囊藻毒則均未檢出。經此案件，台水公司即自 95 年起針對水源水庫原水及相關淨水場原、清水進行微囊藻毒檢測，並擬定台水公司水庫藻毒之應變措施。

台水公司微囊藻毒的 4 級管制警戒如下：

第一級警戒：水公司水庫管理人員目測巡視發現水庫中有疑似藻類水華產生即刻採樣，水公司總管理處以顯微鏡鏡檢藻類相及檢驗微囊藻毒素濃度。

第二級警戒：若檢驗結果，水庫表水水體微囊藻毒素濃度高於偵測極限(0.16 $\mu\text{g/L}$)以上，而原水未檢出時，立即再次採樣進行確認，同時請淨水場人員注意取水水層位置，藻毒檢驗頻率增加為

每月至少 1 次，視現場情況增加，加強檢驗，持續監控。

第三級警戒：若檢驗結果，原水水體微囊藻濃度高於偵測極限(0.16 $\mu\text{g/L}$)以上，以電話通知環保署環檢所，並增加檢驗頻率為每週 1 次以上，進行追蹤，分析各取水層之水質，視各水庫狀況改變取水層位置，加強淨水處理操作，持續監控，確保原水避免取用含有微囊藻毒之虞之水體。

第四級警戒：若檢驗結果，清水微囊藻毒素高於世界衛生組織建議之每公升飲用水水質中微囊藻毒之指引值 1 微克（1 $\mu\text{g/L}$ ）以上，必要時改變水源，使用代替水源。

自 95 年起微囊藻毒監測迄 99 年底，台水公司新山水庫雖曾於 98 年 3 月至 7 月期間，原水藻毒監測曾依「台水公司水庫藻毒應變措施」進入第二級警戒，而台水公司所使用各水庫淨水場原水及清水均未檢出微囊藻毒，這說明台水公司微囊藻毒的風險性相當的低^[3,5]，此觀點更由微囊藻鏡檢監測得以驗證。

(四)水庫產生藻華對淨水的影響

經統計台水公司在 96 年與 99 年間全省淨水場 10 件較嚴重的淨水場處理困難的問題中，由藻類所引起有 5 件是針杵藻所引起的濾床阻塞，2 件臭味問題，2 件外觀問題，1 件為乾旱水引起的鐵錳問題。其中新山水庫的嚴重藻華並不是藻毒問題，而是在水庫外觀，引起民眾擔憂的問題。

由上述的概略的統計了解，水庫藻類對台水公司的影響是引起淨水處理不易處理的問題，而非水質問題。因此必須針對引起濾床阻塞的藻類、引起臭味的藻類進行監測，確認是否有成為優勢種的趨勢。

三、檢驗方法

本報告收集自 95 年至 99 年間藻類檢測、藻毒、葉綠素 a、臭味物質等水公司例行監測數據作為討論的依據，藻類鑑定部分則以水公司委託計畫的數據為依據（委託計畫新山水庫 4 點採樣點如圖 2）。各檢項所使用之檢驗方法皆為台水公司總管理處水質處例行工作所使用之方法^[1]，茲簡述如下：

(一)藻類鏡檢技術

本研究藻類的鏡檢之方法係參考環保署公告 NIEA E504.41T 方法，由各區處依期採集水庫等水樣，以冰箱保存寄至總管理處，檢驗人員以過濾濃縮方式進行濃縮後，以顯微鏡做藻類觀察紀錄、拍照存檔。

(二)微囊藻毒檢測

微囊藻毒所使用之分析方法為酵素免疫分析法 (ELISA)，主要以微囊藻毒 LR 型 (Microcystin-LR；化學式/結構式： $C_{49}H_{74}N_{10}O_{12}$) 為主。SDI 品牌：偵測極限 0.1ppb，或 EVIROLOGIX 品牌：偵測極限 0.147ppb。(註：因微囊藻毒酵素免疫分析法於民國 100 年 3 月 11 日始公告，故公告前之檢測皆依藥劑供應商所提供之資料進行分析。)

(三)葉綠素 a 檢測

水中葉綠素 a 檢測分析方法係參考環保署公告方法 (NIEA) 進行。

(四)土霉味物質檢測

本報告檢測水中土霉味物質方法主要依環保署公告方法之分析方法 NIEA537.51B。主要檢測水中土霉味物質 2-MIB (2-Methylisoborneol，2-甲基冰片) 及 Geosmin (trans-1,10-dimethyl-trans-9-decalol, 反-1,10-二甲基-反-9-萘烷醇)。

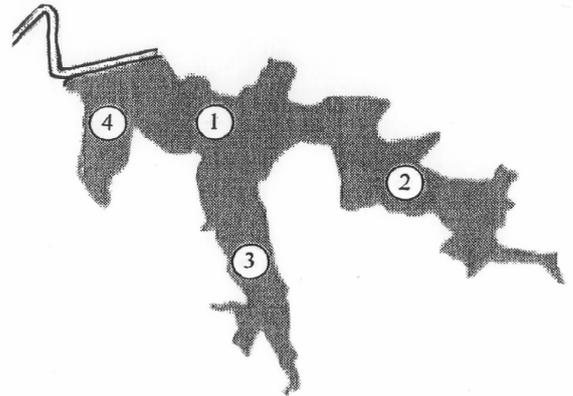


圖 3 台水公司委託台大團隊計畫新山水庫採樣點位置示意

表 2 台水公司 96 年~99 年間水庫藻類引起的問題

發生日期	水庫名稱	發生情形
96.07.	石門水庫	水庫產生藻華
97.05.	寶山水庫	寶山淨水場濾床堵塞
97.08.	南化水庫	臭味
97.11.	鯉魚潭水庫	鯉魚潭給水場濾床堵塞
98.02.	鯉魚潭水庫	鯉魚潭給水場濾床堵塞
98.03.	焉山堰	水色由綠色轉褐色變臭
98.03	寶山水庫	原水鐵、錳含量高
98.03	寶二水庫	出水量減少
98.03	新山水庫	藻華,水庫優養化
99.03.	石門水庫	平鎮淨水場濾床堵塞

本資料統計至民國 99 年 5 月底止

四、結果與討論

(一)優養化與藻毒

A.新山水庫優養化與藻毒相關性之驗證



新山水庫是台水公司所使用水庫中，以藻類監測及葉綠素 a 監測，優養化最為嚴重的水庫。98 年 3 月季檢監測發現新山水庫取水口表水葉綠素 a 濃度急劇飆升，台水公司開始依程序（前述台水公司微囊藻毒 4 級管制警戒），將葉綠素 a 與藻毒監測從季檢（每季檢驗 1 次），增加檢驗頻率成為月檢，再成為每兩個禮拜檢驗 1 次，到每週，嚴密監控藻華的形成，此同時並監測藻毒含量。圖 4 顯示新山水庫取水口表水葉綠素 a 濃度於三月開始升高，葉綠素 a 濃度於 7 月份及 8 月份已近乎 200ug/L，至八月達到最高峰，直到八月八日的莫拉克颱風來襲帶來大量水量致藻華開始瓦解。此時期所監測的新山水庫表水（圖 3 全水庫分 4 個採樣點）、取水層原水、淨水場原水及清水等微囊藻毒監測數據顯示（表 3），僅 7 月份水庫表水之藻毒較高，水庫藻毒濃度完全無法找到相對應於高濃度藻華的藻毒濃度。

此種優養化形成藻華但卻未形成微囊藻毒危害的原因主要在藻種的不同。依委託計畫^[4]鑑定出新山水庫有 4 種微囊藻（表 4、

圖 5），即銅綠微囊藻、藻華微囊藻、衣其微囊藻、威森微囊藻，其中產毒藻種銅綠微囊藻藻數在 98 年 4 月份達最高峰為每毫升 4 千個，表 3 中台水公司檢測之原水藻毒含量為 ND(不可檢出)；7 月份藻華微囊藻成為優勢種達每毫升 26 萬個微囊藻，台水公司所監測水庫葉綠素 a 濃度高達每毫升 200 毫克，7 月份（表 3）的微囊藻毒監測數據最高值為 0.75ug/L，8 月份藻華微囊藻仍為優勢種，藻數仍達每毫升 18 萬個，而 8 月份微囊藻毒監測數值卻為小於偵測極限，因此認為新山水庫藻華微囊藻應是不產毒的藻種。然而依 Michael D Burch 於 99 年水利署所舉辦的專題報告中認為藻華微囊藻及銅綠微囊藻均為可產生微囊藻毒^[2]。此種差異或可認為新山水庫之藻華微囊藻應為非產毒之菌株 (strain)？要突破此疑惑只有利用分子生物技術聚合酶連鎖反應(PCR)檢驗來鑑定產毒藻種，在菌株尚未確認之前，我們所得到的警訊是，如何維護水庫生態平衡，避免產毒菌株成為優勢藻種，是水庫維護必須謹慎處理的問題。

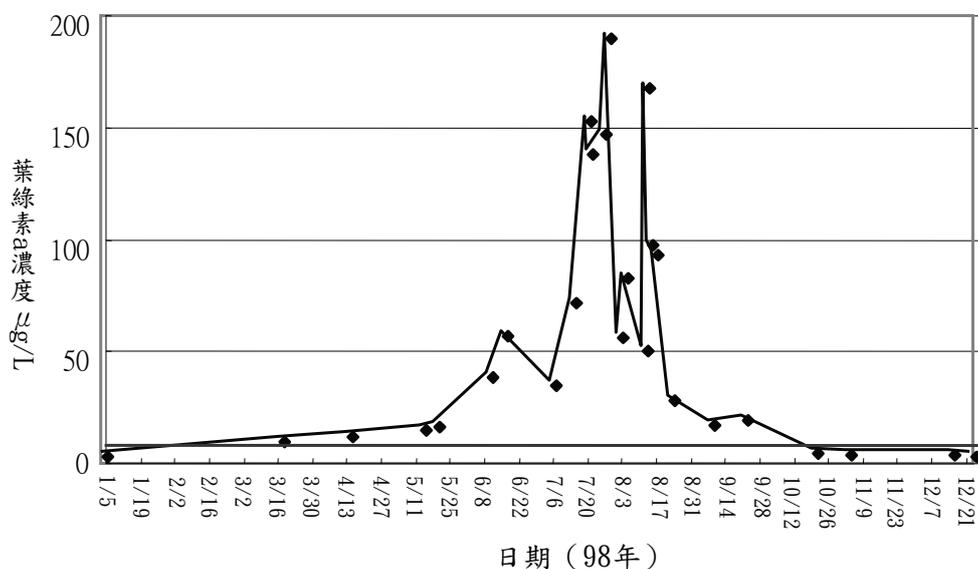


圖 4 98 年度新山水庫取水口表水葉綠素 a 濃度變化趨勢

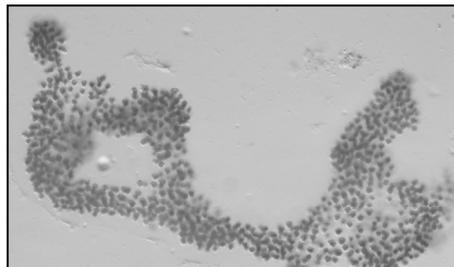
表 3 新山水庫 98 年微囊藻毒監測結果($\mu\text{g/L}$)

採樣地點	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
新山水庫取水口表水	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
新山水庫取水層水	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
新山水庫碼頭邊表水	—	—	ND	ND	0.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
新山水庫表水 1	—	—	—	—	ND	ND	0.22	ND	ND	ND	ND	ND
新山水庫表水 2	—	—	—	—	ND	ND	0.54	ND	ND	ND	ND	ND
新山水庫表水 3	—	—	—	—	ND	ND	0.75	ND	ND	ND	ND	ND
新山水庫表水 4	—	—	—	—	ND	0.192	0.34	ND	ND	ND	ND	ND
新山淨水場原水	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
新山淨水場清水	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

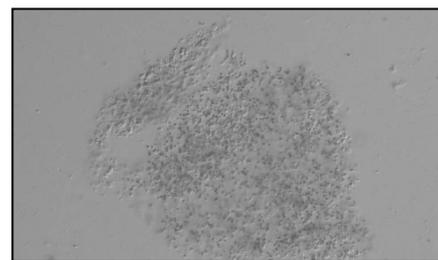
註：MDL=0.16 $\mu\text{g/L}$

表 4 第 2 採樣點 4 種微囊藻藻數消長情形

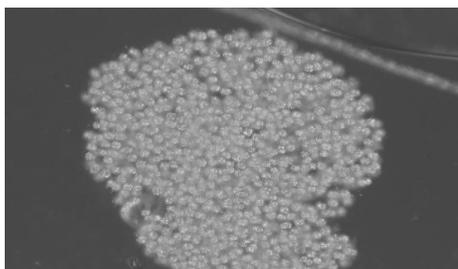
單位:個/毫升	4/9	5/14	6/11	7/7	8/13	9/26	10/18	11/28	12/24	1/11
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kuetzing var. <i>aeruginosa</i> (銅綠微囊藻)	4,095	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittr.) Kirchn.(藻華微囊藻)	10,043	22,629	36,138	261,685	181,244	11,856	912	1,504	921	107
<i>Microcystis ichthyoblabe</i> KG. (衣其微囊藻)	1,170	1,937	1,419	0	0	0	0	0	56	0
<i>Microcystis wesenbergii</i> Komarek(威森微囊藻)	0	0	0	0	0	0	4	0	56	0



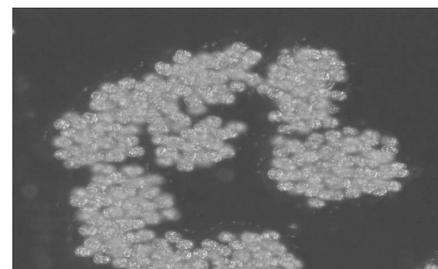
Microcystis aeruginosa 銅綠微囊藻



Microcystis ichthyoblabe 衣其微囊藻



Microcystis flos-aquae 藻華微囊藻



Microcystis wesenbergii 威森微囊藻

圖 5 新山水庫四種微囊藻 (中央研究院吳俊宗博士提供)

表5 98年6月-99年5月水庫鏡檢結果-濾床阻塞藻類

水庫 藻類	新山	西勢	石門	永和山	明德	寶山	寶二	石岡壩	鯉魚潭	日月潭	仁義潭	蘭潭	烏山頭	南化	白河	鏡面	澄清湖	鳳山	牡丹	成功	鳶山堰
魚腥藻屬	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
微囊藻屬	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
顫藻屬	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
小環藻屬	+	-	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
直鏈藻屬	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+
舟行藻屬	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
針杆藻屬	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
新月藻屬	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-
多芒藻屬	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+
球囊藻屬	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
角星鼓藻	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+

註：+檢出該屬藻類 -未檢出

表6 98年6月-99年5月水庫鏡檢結果

水庫 藻類		新山	西勢	石門	永和山	明德	寶山	寶二	石岡壩	鯉魚潭	日月潭	仁義潭	蘭潭	烏山頭	南化	白河	鏡面	澄清湖	鳳山	牡丹	成功	鳶山堰
產生臭味	Anabaena 魚腥藻屬	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
	Microcystis 微囊藻屬	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
	Oscillatoria 顫藻屬	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Closterium 新月藻屬	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-
	Scendesmaccae 柵藻屬	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Staurastrum 角星鼓藻屬	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
藻毒	Microcystis 微囊藻屬	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+

註：+檢出該屬藻類 -未檢出

B.由表 6 資料顯示，經一年的藻種篩檢，全省 21 座水庫(鏡面水庫清底泥中)，有 8 座水庫沒有檢測到微囊藻（這有可能是機率問題），而藉由委託計畫的鑑定技術，亦確認寶山水庫、新山水庫及鯉魚潭水庫三座水庫沒有產毒之微囊藻（均為藻華微囊藻），因此，可以說 21 座水庫中有 11 座水庫目前產毒的風險。為能百分之百的確認本結論，長期的監測藻種與鑑定，甚至利用 PCR 檢定菌株仍是需要的。

(二)優養化與濾床阻塞

阻塞濾床的藻類有魚腥藻、微囊藻、顫藻、小環藻、直鏈藻、舟行藻、針杆藻、新月藻、多芒藻、球囊藻、角星鼓藻等藻類，由表 5 顯示全省 21 座台水公司所使用水庫存在著不同阻塞濾床的藻類，由於各種藻類繁殖季節不同，如矽藻可能溫度適宜，營養源豐富時，即會大量繁殖形成優勢種，而造成淨水處理困難。表 5 數據顯示，各水庫皆有阻塞濾床藻類增生的潛能，也因此各淨水場皆有濾床阻塞的風險存在，監測此些藻類的消長及備妥緊急處理措施為各淨水場重要的課題。

(三)現有藻類對淨水臭味的影響

在表 2 的藻類所引起的淨水問題中，臭味問題只有兩次。以個人觀察，臭味問題較易被忽略，臭味問題因與處理水量較無關不易查覺，短暫的臭味發生，淨水處理人員比較不會反映到台水公司總處，因此臭味案件數有被低估的情形。由表 7 水庫臭味調查鳳山水庫是經常有臭味問題的水庫，但白河水庫、澄清湖水庫、焉山堰皆有臭味物質超過恕限值的形態，而其他水庫雖臭味物質並未

超過恕限值，但依表 6 水庫藻類鏡檢，發現各水庫皆有產生臭味的藻類存在，尤其顫藻屬及柵藻屬，全省水庫皆有此兩種產臭的藻類。

(四)水庫的維護

水庫的維護保養，需考慮水庫藻種的消長與平衡，實施更精準、更慎重之水庫集水區維護保養，如在集水區或水庫內化學藥劑的使用需要審慎，避免影響生物生態的失去平衡。此外，以西勢水庫為例，西勢水庫雖無任何人為汙染，然而其 97 及 98 年各季檢測的優養化指標值，以葉綠素 a 單一參數優養化判定標準來看，只有兩季為貧營養，其餘季節為普養狀況，98 春季更呈現為優養狀況。由集水區保育治理報告了解，自然崩塌為主因，西勢水庫有 7 處崩塌地及野溪蝕溝須處理，因此，除汙染行為之制止外，在台灣保護水源中『集水區水土保持』是為「水質安全計劃」中非常重要的一環。

五、建議

由以上的探討，認為對台水公司而言，全省各水庫優養化是淨水處理問題而非水質問題，為水庫的永續利用，已有下列幾點建議提供自來水業及水庫管理單位參考。

- 1.由於環境因素全省各淨水場皆有濾床阻塞或發生臭味藻種存在，因此備妥針對產生濾床阻塞或發生臭味的緊急應變處理措施。
- 2.水庫管理單位對水庫分層取水設計應加以思考。
- 3.淨水場應依藻類監測結果進行操作最佳化，考慮藻類所引起的酸鹼值高、低，優勢藻種可能引起的問題採取因應措施。

4.水庫的維護保養及集水區治理考慮「生態的平衡」，水庫才能永續利用。

5.微囊藻毒於台灣的風險性相當的低，但水公司需加強藻類的鑑定能力的培養，持續監測各水原水庫藻類的消長，以為水處理預警及水庫維護參考。

六、致謝

- 1.感謝中央研究院植物與微生物研究中心研究員吳俊宗博士及台灣大學吳先琪博士的協助。
- 2.感謝水公司同仁李貞惠、吳美炷、黃瑞聰、吳若瑜、許惠佳、林彥宏的協助。

表 7 98 年各水庫臭味調查

水庫	月份	2-MIB (ng/L)	Geosmin (ng/L)	月份	2-MIB (ng/L)	Geosmin (ng/L)
恕限值		9~42	4~10		9~42	4~10
新山水庫	4	ND	ND	10	3.86	ND
西勢水庫	4	ND	ND	10	ND	ND
永和山水庫	3	ND	ND	9	ND	2.49
明德水庫	3	4.59	ND		ND	2.93
寶山水庫	3	ND	1.36	9	1.83	3.61
寶二水庫	3	ND	ND	9	ND	2.52
石門水庫	2	ND	ND		-	-
日月潭水庫		-	-	6	ND	3.28
石岡壩水庫		-	-	5	ND	ND
鯉魚潭水庫	3	ND	2.24	5	ND	ND
蘭潭水庫	6	7.09	ND	12	ND	ND
白河水庫	2	16.70	1.94	7	9.28	3.28
仁義潭水庫	6	3.70	2.63		-	-
烏山頭水庫	2	ND	ND	9	2.76	2.33
南化水庫	4	ND	ND	9	1.43	ND
澄清湖水庫	7	4.26	4.60	11	ND	ND
鳳山水庫	7	145.50	4.53	9	10.01	3.52
成功水庫		-	-	12	ND	1.95
鳶山堰水庫	5	ND	ND	7	328.10	3.92
方法偵測極限 (MDL)		2.41	0.95			

參考文獻

1. Mouchet p. and V. Bonnelye, Societe Degremont, Solving algae problems: French expertise and world-wide. J. Water SRT Aqua Vol.47, No. 3 pp.1-17.
2. Michael D Burch, New Developments in Water Treatment and Reservoir Management for Control of Cyanobacteria (Blue-green algae) in Drinking Water Supplies, 2010, 經濟部水利署國際新興公共給水與處理技術專題演講 P.29-79, 經濟部水利署
3. 李貞慧、吳美惠、張嬉麗、廖福全、黃瑞聰、吳美炷、林彥宏、許惠佳, 2009。台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, 第五屆海峽兩制水質安全技術與管理研

討會。

4. 吳俊宗、吳先琪, 2010。水庫水質優養化相關參數合理性研究, 台灣自來水公司。
5. 能邦科技顧問股份有限公司, 2009, 新山及西勢水庫集水區保育治理之研究委託專業服務, 台灣自來水公司第一區管理處。

作者簡介

張嬉麗女士

現職：自來水公司總管理處水質處副處長

專長：水質管理

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。

台灣地區全面建置分區計量管網之策略

文/周國鼎

一、前言

政府在民國 63 年合併各地水廠成立台灣省自來水公司(96 年 5 月 1 日起更名為台灣自來水公司,以下簡稱台水公司),當時自來水用戶只有 73 萬 5,000 戶,自來水普及率僅達 42%,遠遠落後於已開發國家。為加速提高自來水之普及率,不得不大量採用經濟管種,迄今已 30 餘年。因預算拮据,台水公司無法依照規定汰換逾齡管線,83 至 97 年間之管線平均年汰換率僅 0.88% (國際水協會之建議標準為不小於 1.5%),不僅與日本 5%、美國 3.5%及香港之 2.63%相去甚遠,即使與國內另一個主要自來水事業機構臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)97 年度管線汰換率之 2.61%相較,也相差近 3 倍,充分顯示台灣地區管線汰換率過低,以致漏水率居高不下。尤其在水資源日漸枯乏的影響下,漏水問題更顯得格外嚴重,因此政府將降低自來水管線漏水率視為重要課題,計劃在 2,015 年前降低 5%之漏水率。

根據先進國家之經驗,建置可獨立計量之區域管網,藉由分區計量,可有效掌握自來水管線之漏水情況,進而視需要執行檢漏及修漏作業,達到降低漏水率之目的,此步驟即所謂之 District Metering Areas,簡稱 DMA,中文直譯為「分區計量管網」,或可再簡化稱之為「計量管網」。以往在台灣地區常俗稱分區計量管網為「小區管網」,易使閱聽者對其意義產生錯誤認知,有必要予以更正。

截至 97 年底,台水公司 50 釐米以上之自來水管線長度合計為 55,789 公里,供水戶數 603 萬戶。如以每 1,000 至 1,200 戶建置 1 個分區計量管網來估計,全台灣地區(不包含北水處供水區域)應將自來水管網分割建置分區計量管網之總數量約為 5,000 至 6,000 個,台水公司並計劃在民國 115 年前完成 5,000 個分區計量管網之建置。如果以每個分區計量管網建置費用約新台幣 150 至 300 萬元來計算,總經費約需 75 至 150 億元。

如果經費充裕,台灣地區全面完成總數 5,000 至 6,000 個分區計量管網之建置後,不僅可大幅縮短檢漏時間,有效提升漏水防治成效;對於縮小停水範圍,減少受影響戶數同樣會有正面效益。

惟限於水價長期以來受到抑制,無法合理調整,台水公司無法逐年編列足夠預算進行降低漏水率相關工程,93 至 95 年平均每年投入分區計量管網建置之費用僅新台幣 1,800 餘萬元。為加速改善自來水管線漏水狀況,台水公司自 96 年起大幅增撥經費,連續三年平均值為每年 1.16 億元,已超出原有額度許多。即使以此規模計算,建置 5,000 個分區計量管網的時間至少需長達 65 年,根本無法在民國 115 年前之預定期程完成。

因此,在無法立即改善財務結構及獲得政府公務預算大量補助之前提下,台水公司就必須研擬更有效率之建置策略,將有限之經費發揮最大之功效,於最短時間內達到可行之降低漏水率最大值,否則,所訂之目標將只是空談。

二、目的

本文希望藉由闡明分區計量管網之意義，釐清目前部分自來水從業人員之錯誤認知，進而研擬目前台水公司全面推動建置分區計量管網最為經濟可行且有效之策略。

三、傳統分區計量管網作業流程

(一)自來水管網基本資料建置

分區計量管網之規劃是一項龐雜費時且實施困難的作業，分區規劃完成後即進行分割作業，其間可能面臨現有管線需截斷取水、設置截流閥門或擴大取水管徑，以達分區之配水需求，因此更需仰賴自來水管網基本資料建置完整，否則恐怕會影響管網監測的正確性。

分區計量管網之選定以面積、行政區界、道路或河川、操作管理及營運區域劃分等為分區考量原則。分區選定後，即進行分區行政區界、道路寬度、分類標示管材、管徑、埋設年度、位置、深度、維修記錄、用戶資料與人口等基本資料，進行調查與建置作業，作為分區管線之基礎及統計分析之依據，方得以正確篩選汰換之管線與設備。基本資料並同步進行數化工作，以配合地理資訊系統(GIS)之建置。

(二)分區計量管網規劃分析、建置

配水管網為供水必備基礎建設，包含水管、控制閥、加壓設備及配水池等配置而成，管網概依循道路交錯埋設而成，形式大致可分為封閉管網及開放管網兩種（見圖 1）。

(三)分區總水表設置

計量管網分區規劃、建置完成後，即依各管網規劃之取水點設置窰井並安裝流量

計，以供長期監測及分析管網內配水量與用水量差異，以及判斷漏水可能性之用；甚至可供竊水、違章用水之稽查，及研擬降低漏水率對策之參考。流量計口徑之選擇必需考量取水點經水力分析後之取水量多寡，計量表之最高、最低流量不得超出或低於其正常流量範圍。此外，依照流量計設置規範，其設置點之前後端需有足夠直線長度，以降低亂流之對於計量準確度之影響。

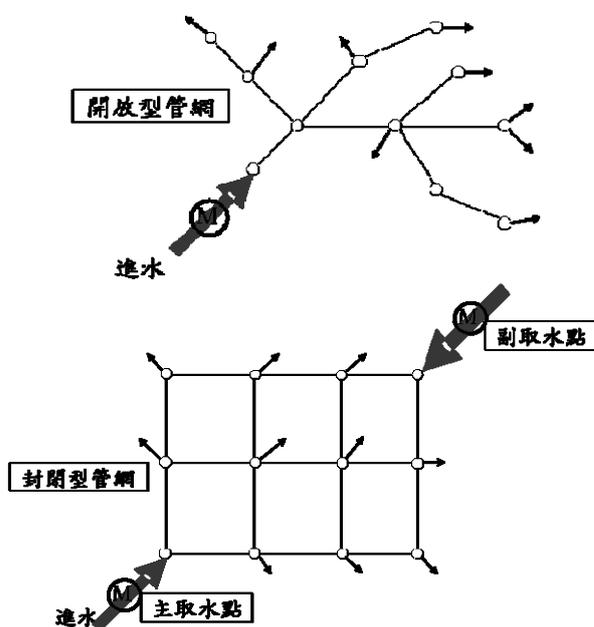


圖 1 管網形式

(四)抄表作業及計量

分區總水表設置完成，應獨立為單一抄表區，即配合用戶抄表作業進行分表抄表。分區計量管網抄表前，應先行抄錄分區總水表，包含水量資料、時間，再進行各該分區計量管網之用戶抄表作業；用戶抄表完成後，應再即抄錄分區總水表，以取得兩次總水表之差異，進行平差，藉以減少配、用水量之間因抄表時差所造成之誤差。

抄表人員抄表時發現水表故障不走或失靈亂行或損壞無法計量時，隨即在抄表機

內註記故障資料。翌日由水表管理人員簽收並列印故障水表處理單交由換表人員立即換裝。抄表人員必須逐戶抄表，遇無法抄表之用戶，如用戶表淹沒、表位不當等，應記錄其原因，並通報改善，至全部均能正常抄表，不得僅以推估計量。

(五)配、用水量差異分析

分區計量管網漏水率之計算，係以分區配水總表之計量值為分母，分區用戶水量計抄表之總量為分子，計算出其百分比，即為抄見率，再以 1 減去抄見率百分比，所得即

為漏水率，惟此計算方式將水表不感度、違章竊水、消防用水、事業用水等項目均納入漏水量之計算，其總和約占配水量之 7.3%~8.6%，嚴重影響其準確度。

除上述推估法外，漏水率之計算另有許多方法，包括直接量測法及間接量測法等。準確度最高者為直接量測法，最低者則為推估法，惟各有利弊，使用者應視需要而選擇適合之量測法。各種量測漏水量方法之優缺點比較列表如表 1。

表 1 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水戶的止水栓，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
推估法		推估「有效水量」和「配水量」的差為漏水量，將「售水量」與「無計費水量」(表差/事業用水等)視為有效水量，其他不明水量推定為漏水量。	<ul style="list-style-type: none"> ◆省時 ◆節省人力 ◆完全不影響民眾用水 	<ul style="list-style-type: none"> ◆準確性最低 ◆需要大量資料辦理推估 ◆大用水戶嚴重影響準確性 ◆有效無費水量之推估準確性不高

四、分區計量管網之意義

(一)係「診斷」方法，非「治療」工具

根據前述分區計量管網作業流程，可得知建置分區計量管網後可了解該獨立計量管網內之漏水率，進而判斷是否具有採取檢修漏作業之必要性。因此，對於漏水防治而言，分區計量管網屬於「診斷」之方法，而非「治療」之工具。分區計量管網作業就如同初步人體健康檢查，可讓自來水事業單位了解自來水管網病情（即漏水率）之嚴重性，至於病因在何處（漏水點）仍有待後續進一步之檢驗。如果初步健康檢查之結果為一切正常，也就沒有進一步細項檢驗之必要。

社會上乃至政府相關主管機關之部分人士常誤以為一旦完成分區計量管網之建置，自來水管網之漏水率隨即就可降低之觀念並不正確，因為光是健康檢查僅能得知病因，並無法完成治療，遑論自來水管線尚且具有「漏水復原」之現象。分區計量管網之建置有利於篩選高漏水率之管網，惟確實漏水地點之定位則有賴檢測漏作業，降低漏水率更須藉由修漏作業予以改善，光是管網分區計量作業是無法降低漏水率的，而該檢測漏作業之實施僅限於最小規模之分區計量管網，其他規模者則僅執行監測比對作業。

(二)避免無謂檢漏，提高效率

分區計量管網作業方式可讓自來水事業單位先診斷病因發生之大略部位，再逐步篩分，縮小範圍，最後藉由精密儀器確認病因所在。換言之，分區計量管網作業可使檢測漏作業只在漏水情況嚴重的區域執行，讓經費有效利用，並提高檢漏效率，避免無謂

浪費。監測比對作業後如發覺自來水管網並無漏水，或漏水程度並不嚴重，該區域之管網即無漏水檢測之必要，因為檢測漏作業需耗費龐大人力以及時間，並且所費不貲。如圖 2 中之管網之漏水情況嚴重與否，可藉由安裝於該自來水管網進流點、及出流點之流量計，與用戶水表之計量比對後而得知。

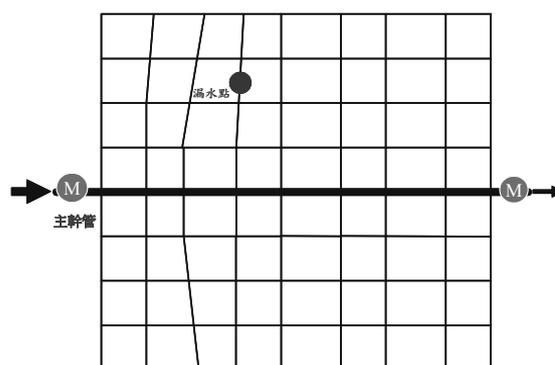


圖 2 初步診斷管網漏水區域

監測比對後如發覺並無漏水，或漏水程度並不嚴重，該區域之自來水管網即無檢測之必要，因為如前述檢測漏作業需耗費龐大人力以及時間，成本不貲；如發現漏水率偏高，則將管網再細部分割，如圖 3 將原管網分割為 4 個小的管網（A、B、C、及 D 區），並分別於其進流點、及出流點處安裝流量計，再與區域內用戶水表之計量比對後得知漏水情況。如此就可得知漏水點發生之區域為 4 區中之哪一區，之後再就該區管網進行細部分割或直接實施檢測漏作業，即可發現漏水點之確切位置。

就圖 3 而言，自來水事業單位僅需針對 A 區域內之自來水管網詳細檢測漏水點，而無須對 B、C、D 等三區實施檢測作業。如此一來，人力、經費、及時間均節省了 3 倍，效率亦提高 3 倍。像這樣由大而小、縮小範

圍，逐步診斷之作法將可提高作業效率，避免無謂浪費，將經費確實花在刀口上，在漏水防治經費有限之困境下，此種作業方式顯的格外重要。

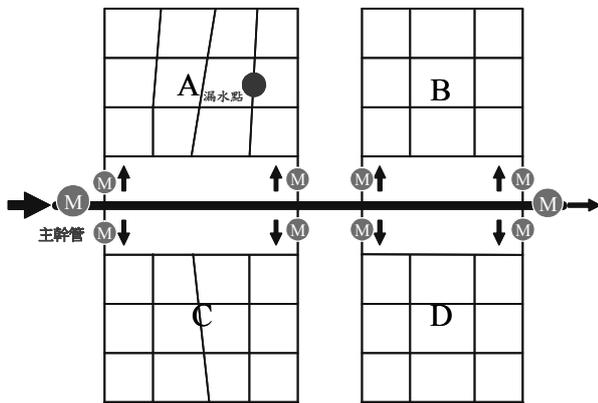


圖 3 細部分割管網診斷漏水區域

五、分區計量管網(DMA)之劃分

分區計量管網得視管網漏水之嚴重性進一步將管網細部分割，其層級多寡及規模詳述如下。

(一)層級

前述章節指出「分區計量管網之建置就如同初步人體健康檢查，可讓自來水事業單位了解自來水管網病情（即漏水率）之嚴重性，至於病因在何處（漏水點）仍有待後續進一步之檢驗」。因此，為查出確實病因，自來水事業單位就類似醫生之作法，先診斷病因發生之大略部位，再根據當地特性及經費多寡逐步篩分，縮小範圍，藉由精密儀器確認病因所在。如果初步健康檢查之結果為一切正常，也就沒有進一步細項檢驗之必要，自來水事業單位就無須進一步分割管網，縮小範圍了。

分區計量管網之規模及層次應視需要性、當地特性及經費多寡而定，經費充裕者計量管網可分割愈細，相對之層次愈多，因

此將實施檢測漏作業之最小分區計量管網之規模愈小，計量管網之數量自然也就愈多。在分區計量管網數量愈多、最小分區計量管網之規模愈小的條件下，所形成的監測網絡愈綿密，愈可快速定位出漏水區域，以利後續檢漏、修漏作業之進行。分區計量管網之層次較少者，所需投入經費較少，相對的最小分區計量管網之規模會較大，後續檢測漏作業所需的時間也就愈多。不過，檢測漏作業之實施應僅限於最小規模之分區計量管網，因此該管網亦可稱為「檢漏計量管網」或簡稱「檢漏管網」。

台水公司奉上級機關指示每年應建置 100 至 150 個分區計量管網，惟不論何種層級之管網，其數量均可列入計算。部份人士以為僅檢漏管網得以列入數量之計算乃一大誤解。

(二)最小分區計量管網之規模

目前在台灣地區執行分區計量管網作業時，最為人爭論的乃最小分區計量管網之規模，也就是執行檢測漏作業之分區計量管網之大小；此外，對於該規模究竟應以管網內配水管線總長度或是接管用戶數為依據也是莫衷一是。部份人士堅持分區計量管網應嚴格以配水管線總長度不可超過 2.5 公里或者 3.5 公里為原則，有些人則認為用水戶數（總表加上獨立表之數量）應以 300~500 個或 500~1,000 個為上限，也有人認為應將配水管線總長度及用水戶數二者同時列入考量。

實際上，檢漏管網之規模因國情差異、地方特性、生活型態、及經費多寡而會有所不同。同一國家內，甚至同一城市內之檢漏管網之規模，不論是以配水管線總長度或是

以接管用水戶數計算也都會不一樣。

周（2008 年）指出，最小分區計量管網也就是檢漏管網，其規模應取決於停水作業之方式、投入人力之多寡及漏水量量測之方法。

六、發展策略

考量台水公司因水價長期未能合理調整以致財務拮据，總長度 55,789 公里之自來水管線應優先選擇高漏水率且人口密集之區域，根據前述劃分方式逐步建置分區計量管網。將有限預算投入在漏水嚴重且用水量之大區域，避免齊頭式之平等而將建置經費「平均分配」於各地區，才可以提高成本效益。

此外，為促使各級自來水事業單位主動積極地推動漏水防治工作，台水公司應先行將各區管理處間及各廠所間之自來水管網確實切割成可獨立計量之管網，其相互支援之水量亦應準確計算，以建立明確之責任劃分，確認各級單位漏水防治之執行成效。

在經費有限之前提下，台灣地區目前無法也無必要全面建置最小分區計量管網，唯有未達目標漏水率者才因檢漏作業之需要而逐步建置，其餘者則以分區計量管網之型式加以監控即可；而該目標漏水率則應分階段、分層級訂定，以免好高騖遠、不切實際，或者目標過低，以致毫無成效。

綜上所述，台灣地區建置分區計量管網之發展策略如下。

(一)明確之責任劃分

1.確實將各級自來水事業單位間之自來水管網分割，且連接點之數量應儘量減少，以降低計量誤差。

2.各級自來水事業單位間之管網連接點應裝設固定式流量計，其相互支援之水量亦應準確計算，以有效掌握各自總配水量，俾利責任釐清。

3.各級自來水事業單位應定期向上級單位提報漏水率，以利漏水防治成效之管控。例如台水公司各區管理處每季應向總管理處提報，而各廠所則每月向所屬之區管理處提報。

(二)目標漏水率之訂定應合理

漏水防治工作無法一蹴可幾，目標漏水率之訂定應合理適當，不宜過高，達到目標漏水率之計量管網即無須進一步分割，未達者就持續分割，直至檢漏計量管網（即最小分區計量管網）為止，續以檢修漏作業、甚至管線汰換之方式來降低漏水率。當鄰近之計量管網均達到原訂目標漏水率後，即可再行逐步提高標準，訂定更嚴格之目標漏水率。

目標漏水率之訂定應注意以下事項：

- 1.目標漏水率應由上級單位訂定，並逐年檢討。
- (1)區管理處之目標漏水率由總管理處訂定。
- (2)各廠所之目標漏水率由所屬區管理處為求達到總管理處所訂定之目標下，依照各廠所之管網現況、地理人文條件之不同而分別訂定。
- (3)各廠所以達成區管理處訂定之目標為前提，得依照各區域管網之不同而分別訂定目標漏水率。
- 2.目標漏水率不宜與管網現有漏水率差距過大，以免造成所有自來水管線均分割建置成檢漏計量管網，喪失篩選出漏水最嚴重區域，將資源花在刀口上之目的。例如某

廠所轄區之管網總漏水率為 35%，若分區計量管網之目標漏水率訂為 15%，二者差距高達 20%，極有可能為達到該目標漏水率，該轄區自來水管線全數細分建置成檢漏計量管網，形成資源的浪費。不同管網漏水率之目標漏水率建議值詳見表 2。

3. 分區計量管網之目標漏水率可依管網層級不同而分別訂定，愈內層管網之目標漏水率可相對較低；惟如為簡化上級單位之管理，各層級管網之目標漏水率除檢漏管網者(10%)外，亦可完全一致。
4. 最小分區計量管網（即檢漏管網）之漏水率應以直接量測法計算者為準，並以 10% 為上限；其餘分區計量管網之漏水率則可以視需要選擇其他適合之漏水量測量法計算。

表 2 目標漏水率之建議值

管網漏水率	目標漏水率
40%以上	35%
30%~40%	30%
20%~30%	20%
20%以下	15%
檢漏計量管網	10%

(三)篩選高漏水率地區

考量經費之侷限性，建置分區計量管網之優先順序應依照漏水率之高低並兼顧人口密集等因素予以排定，俾使政府有限預算發揮最大效益。建議篩選方式如下：

1. 台水公司各區管理處間之管網明確分割，自成可獨立計量之管網，在此稱為「第一級計量管網」或「區處計量管網」。
2. 未達目標漏水率之「區處計量管網」續以各區管理處所轄廠所之供水轄區為一單

位，各廠所間之管網明確分割，在此稱為「第二級計量管網」或「廠所計量管網」，總計台灣地區之自來水管線可劃分為 123 個「第二級計量管網」。

3. 「廠所計量管網」未達目標漏水率者，區管理處可依據漏水率之高低及兼顧人口密集之因素優先擇定部分「廠所計量管網」，依照供水範圍大小及區域給水之原則再行分割為 10~25 個「第三級計量管網」，其分割數量由各廠所提報，並經所屬區管理處核定後據以實施。
4. 「第三級計量管網」未達目標漏水率者，各廠所可依據漏水率之高低及兼顧人口密集之因素優先擇定部分「第三級計量管網」，依照供水範圍大小及區域給水之原則分割為 10~25 個「第四級計量管網」，再以此類推依序分割為「第五級計量管網」、「第六級計量管網」等，直至管網規模符合「檢漏計量管網（即最小分區計量管網）」者為止，前述分割數量由各廠所提報所屬區管理處核定後據以實施。
5. 「檢漏計量管網」應辦理檢修漏作業、甚至管線汰換之方式來降低漏水率，直到符合檢漏管網之目標漏水率 10% 為止。

七、結論

台水公司為降低自來水管線漏水率，自 93 年起每年建置 100 至 150 個分區計量管網，年度預定建置管網之總數量依據地區特性不等量分配至各區管理處，並要求其於年度內建置完成。自 93 年至 97 年間，台灣地區合計已建置完成 304 個分區計量管網，當時各區管理處建置之分區計量管網數量係由各區管理處將不等數量分配予所轄各廠

所，各廠所再自行選定建置區域。惟各廠所自行選定區域內之管網或許未經分割，尚無法獨立計量，換言之，並無客觀數據證明該管網較其他管網更為迫切需要建置分區計量管網。

分區計量管網之建置應由面至點、由大而小，有計畫性地分層級逐步建置，而原有作業方式卻反向而行，形成由點至面之作法，勢必造成有限經費無法發揮最大效益之情形。

台灣地區自來水價格自民國 83 年起即未曾調整過，迄今已 17 年，近年國際物價高漲，自來水價格早已無法反映成本，以致自來水事業單位入不敷出，無法逐年編列足夠預算進行降低漏水率相關工程。因此，囿於現實自來水事業單位必須依照更為科學及有效率之策略推動建置分區計量管網計畫，將有限之漏水防治經費使用在漏水量最大或漏水最嚴重之區域，以期發揮最大之功效，並於最短時間內達到可行之降低漏水率最大值。

參考文獻

- 1.S Tooms, JAE Morrison (2005), DMA Management Manual by the Water Losses Task Force: Progress., Leakage 2005 - Conference Proceedings.
- 2.台灣自來水公司，降低漏水率實施計畫—試辦小區管網計畫成果報告，2007年1月。
- 3.東京水道服務社，東京都小區防漏對策，臺北自來水供水管網改善計畫第二次研討會議
- 4.周國鼎，最小分區計量管網規模之探討，2008水利產業研討會論文集，2008年11月。

作者簡介

周國鼎先生

現職：台灣自來水公司工安環保處組長

專長：環境工程

管線工程減碳量分析

文/張正岳

摘要

本研究將節能減碳原則納入管線工程設計、施工及維護管理等階段，減碳具體措施包括：全線開挖至管頂、不斷水連絡、不斷水增設制水閥、使用波狀管、斷除不明管、管材抽換為不銹鋼管、石墨鑄鐵管及以 CLSM 作為管溝回填材料等方式來計算減少二氧化碳量，並藉此反推本處各營業分處 99 年度節能減碳量，估計減碳量 792,316 公斤重。

關鍵字：節能減碳、全線開挖、不斷水連絡、不斷水增設制水閥、波狀管、不銹鋼管、石墨鑄鐵管、CLSM

一、前言

減少二氧化碳排放量為減緩地球暖化最有效的方式，因此節能減碳為世界各國，責無旁貸的義務與責任。行政院公共工程委員會特編訂「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，並鎖定軌道、道路橋梁、水利（含自來水工程）、建築等四類工程為現階段加強落實節能減碳政策推動之對象。為了解本處自來水管線工程，施工後可以減少多少 CO₂ 量、減碳執行效果如何？是本次研究的緣由。

為估算管線工程之減碳量，除以油、水、土等 3 項為原始減碳量基準外，另經分析彙整，建置各個措施減碳量的基準，以作為評估減碳效能的依據。

二、管線工程減碳手法

建置管線工程導入節能減碳方法，是期望藉提高「工程所採取減碳措施所能減少之

CO₂ 量」及降低「工程施作所排放 CO₂ 量」，來提高減碳的效能。

所採取減碳措施，不外以減少漏水量及工程施作時之工程用水量、棄方量為目標。檢視目前管線工程減少漏水量、工程用水量的方法，主要有：不斷水連絡、不斷水增設制水閥，斷除不明管等 3 項；管線工程施工中減少棄方量的方法，主要有：全線開挖至管頂，使用波狀管，抽換為不銹鋼管、抽換為石墨鑄鐵管，以及以 CLSM 為管溝回填材料等 4 項，以上 7 項工作，作為分析管線工程減碳效能的手法。

三、全線開挖至管頂減少棄方量分析

當某地區售水率過低或修漏頻率過高時，抽換管線為最有效的方法。但當原有管材未達使用年限，此時如採用全線開挖至管頂，為斷除不明管、檢測漏水最可行的方法，並可減少原採用抽換管線方法之配水管頂下棄方量。依據本處工程契約管線施工說明，管溝開挖標準斷面圖：

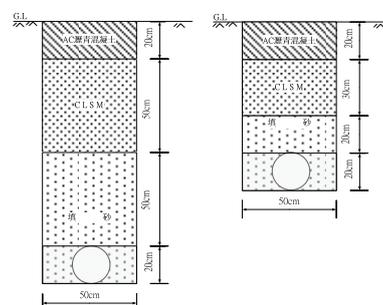


圖 1 管溝開挖標準斷面

採用全線開挖至管頂，因節省開挖至管底的開挖量，每公尺約可減少棄方量：

$$0.2\text{m} * 0.5\text{m} * 1\text{m} = 0.1\text{m}^3/\text{m}$$

據此，分析 99 年度本處各營業分處採用全線控可減少棄方量，計算整理如表所示：

表 1 98 年度本處各營業分處採用全線開挖至管頂可減少 CO₂ 量

分處	長度 m	減少棄方 m ³	減碳量(KG)
東區	9,548	955	69,061
西區	5,767	577	41,713
南區	6,166	617	44,599
北區	13,493	1349	97,595
陽明	9,167	917	66,305
總計：		319,273	

四、不斷水連絡、不斷水增設制水閥減少工程用水量計算

採不斷水連絡、不斷水增設制水閥工法（裝置如圖 2 所示），因施工時可免剪管而直接裝置等特點，可節省相關的工程用水量。有關配、給水管工程用水量計算，係依據本處 89 年 2 月 25 日「工程用水計費標準事宜研討會」決議實施。研討會」決議實施。

工程用水量計算包括：洗管用水量 Q₁、試壓水用量 Q₂、連絡處排水量 Q₃ 等 3 部分計算，分述如下：

洗管用水量 Q₁，依口徑訂定洗管用水量 (m³/分)、洗管歷時（分）如表 2 所示。

試壓用水量(Q₂)：係指新設管線範圍內所有管線體積乘 1.5 倍所得之水量：

$$Q_2 = (\pi d^2/4) \times L \times 1.5$$

連絡處排水量 Q₃，如表 3 所示依口徑訂定關閉制水閥範圍內所有管線長度，並依其算整理如表 4 所示。體積乘 1.5 倍所得之水量。據此，分析 98 年度本處各營業分處施作不斷水連絡、不斷水增設制水閥等工程所減少之工程用水量，計算整理如表 4 所示。

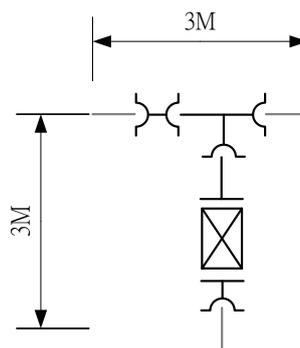


圖 2 不斷水連絡裝置示意

表 2 洗管用水量計算表

管徑	洗管用水量(m ³ /分)	分
75mm	1.57	20
100mm	3.24	20
150mm	8.72	20
200mm	17.36	20
250mm	29.4	20
300mm	45.56	20
400mm	86.34	20
500mm	102.65	20

表 3 連絡處排水量計算表

管徑	預估關閉制水閥範圍內所有管線長度	管面積
75mm	50	0.004
100mm	50	0.008
150mm	50	0.018
200mm	100	0.031
250mm	100	0.049
300mm	100	0.071
400mm	100	0.126
500mm	200	0.196

表 4 98 年度各營業分處施作不斷水連絡、不斷水增設制水閥等工程所減少之工程用水量

單位	節能減碳方法	口徑 mm	處	減少工程用水量 m ³
東區	不斷水連絡	100 x 200	4	1,668
		100x250	1	660
		100x300	2	1,974
		100x400	1	1,811
		150x150	1	352
		150x300	1	1,097
		200x500	1	2,460
西區	不斷水連絡	100x150	1	241
		100x200	1	417
		100x400	1	1,811
		150x400	1	1,921
		200x300	1	1,270
		200x400	2	4,188
	不斷水增設制水閥	200	1	352
南區	不斷水連絡	100x150	1	241
		100x200	3	1,251
		100x250	1	660
		100x300	1	987
		100x400	1	1,811
		150x150	1	352
		200x200	1	704
		200x500	2	4,920
	400x500	1	3,840	
	不斷水增設制水閥	400	3	5,238
北區	不斷水連絡	100x200	1	417
		100x250	1	660
		300x300	1	1,844
	不斷水增設制水閥	250	1	596
陽明	不斷水連絡	100x200	1	417
		100x250	1	660
		150x150	2	704
		150x200	1	526
		150x400	1	1,921
		200x400	3	6,282
		400x400	2	6,984
	不斷水增設制水閥	150	1	176
		200	2	704
		300	1	922
		400	2	3,492

為利往後各監造單位方便填列，不斷水連絡減少工程用水量：取平均Φ300 以下 483 m³/處；Φ300 以上(含) 2081 m³/處。不斷

水增設制水閥減少工程用水量：取平均Φ300 以下 374 m³/處；Φ300 以上(含) 1334 m³/處分析所得結果如表 5 所示。

比較精算與簡算所減少工程用水量結果，分別為 66,531m³、66,282m³，相差不大。

簡算 99 年度各營業分處採用不斷水連絡及不斷水增設制水閥，共可減少 1,884 公斤 CO₂排放量。

表 5 施作不斷水連絡、不斷水增設制水閥等工程所減少之工程用水量簡化計算表

單位	節能減碳方法	口徑 mm	處	減少工程用水量 m ³
東區	不斷水連絡	300 以下	6	2898
		300(含)以上	5	10405
	不斷水增設制水閥	300 以下	0	0
		300(含)以上	0	0
西區	不斷水連絡	300 以下	2	966
		300(含)以上	5	10405
	不斷水增設制水閥	300 以下	1	374
		300(含)以上	0	0
南區	不斷水連絡	300 以下	7	3381
		300(含)以上	5	10405
	不斷水增設制水閥	300 以下	0	0
		300(含)以上	3	4002
北區	不斷水連絡	300 以下	2	966
		300(含)以上	1	2081
	不斷水增設制水閥	300 以下	1	374
		300(含)以上	0	0
陽明	不斷水連絡	300 以下	5	2415
		300(含)以上	6	12486
	不斷水增設制水閥	300 以下	3	1122
		300(含)以上	3	4002
總計:				66,282 m ³

五、採用波浪管減少棄方量分析

採用波浪管可減少接頭零件的耗用，可免設置 90°彎頭。另依本處工程契約施工規範，第 02505 章自來水管理設，「波狀管用餘

管應妥善保存及使用，施工中如僅需使用不銹鋼直管時，不得以波狀管或波狀管用餘管

替代」。依據本處工程契約管線施工說明，給水外線裝置圖（圖 3、圖 4）：

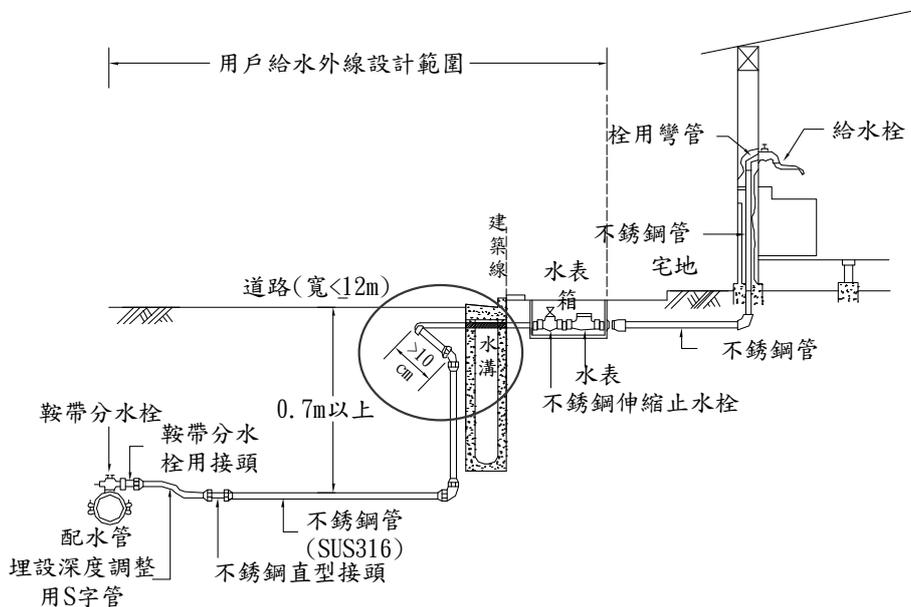


圖 3 給水外線裝置示意

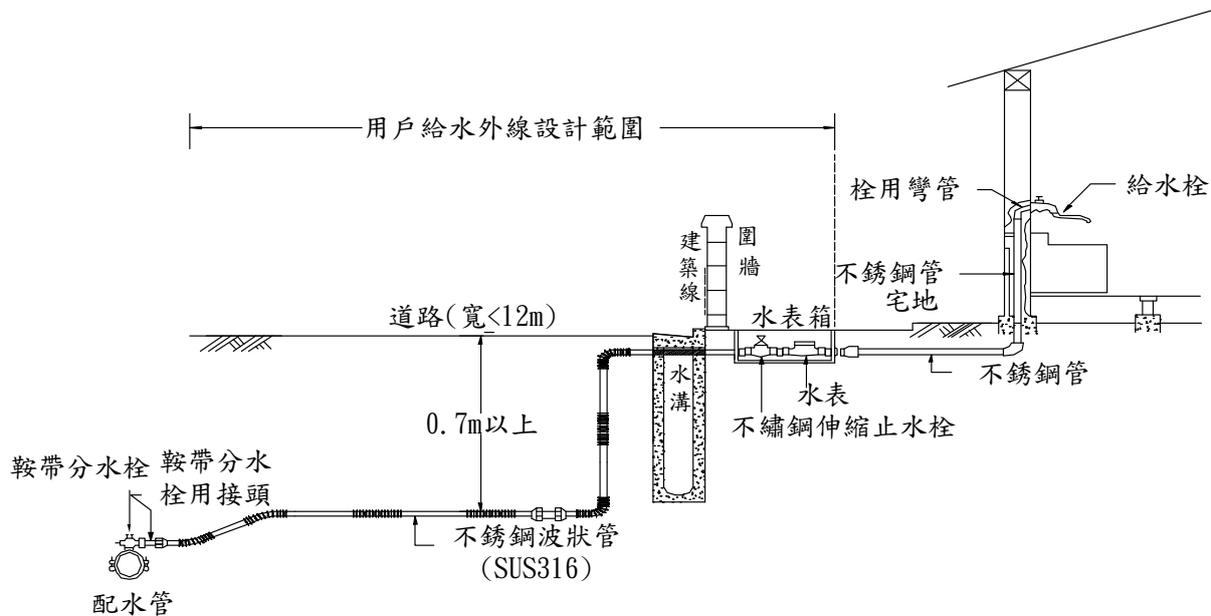


圖 4 波狀不銹鋼管示意

比較使用耐震三彎頭開挖與波狀管開挖，開挖平面如圖 5 所示。若採用波狀管，每處給水裝置開挖約可減少棄方量：

$$0.45\text{m} * 0.1\text{m} * 0.7\text{m} = 0.0315\text{m}^3/\text{處}$$

經分析 99 年度本處各營業分處採用波浪管減少棄方量，計算整理如表 6 所示。

總計 99 年度各營業分處採用波浪管，共可減少 15,550 公斤 CO₂ 排放量。

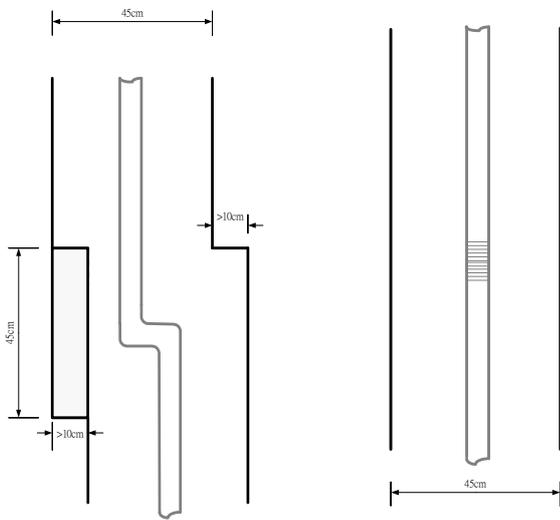


圖 5 使用耐震三彎頭、波狀管開挖平面

表 6 99 年度本處各營業分處採用波浪管減少棄方量

單位	處	減少棄方 m ³	減碳量(KG)
東區	1525	48	3475
西區	756	24	1722
南區	2217	70	5051
北區	1473	46	3356
陽明	854	27	1946
總計：			15,550

六、斷除不明管減少漏水量分析

斷除不明管為本處管網改善，重要政策之一，可有效斷除潛在漏水。有關減少漏水

量分析，係參照本處 91.4.3 擬訂之「修漏案件紀錄表」內有關漏水量估算，依管件損壞之狀況概分全斷、半斷、破洞三類，由提供指定壓力下各口徑流量表列流失水量數據。依此原則製訂表 7 漏水量估算表。

檢視本處各營業分處所斷除不明管，大部分為 Φ50mm 以下給水管線，現取 Φ25mm 口徑依破洞狀況，流失水量 10CMD，以 1 年期計，估計斷除不明管，每年每處可減少 CO₂ 量：10 (CMD) * 365 (日/年) * 0.0984 (kg CO₂/度水) = 359.16 (Kg CO₂/年/處)。分析 99 年度本處各營業分處斷除不明管減少漏水量，計算整理如表 8 所示：總計 99 年度各營業分處斷除不明管，共可減少 295,228 公斤 CO₂ 排放量。

表 7 漏水量估算表

漏水量估算表					
口徑 (mm)	水壓 (kg/cm ²)	流量 (m ³ /hr)	流失水量(CMD)		
			全斷	半斷	破洞
13	0.6	1	25	12	2
20	0.6	3	75	37	7
25	0.6	4	100	50	10
40	0.6	9	210	105	21
50	0.6	12	280	140	28
75	1.0	21	510	255	51
100	1.0	60	1,450	725	145
150	1.0	113	2,710	1,355	271
200	1.0	375	9,000	4,500	900
250	1.0	538	12,900	6,450	1,290
300	1.0	613	14,700	7,350	1,470
350	1.0	738	17,700	8,850	1,770
400	1.0	913	21,900	10,950	2,190
500	1.0	1342	32,200	16,100	3,220

表 8 99 年度本處各營業分處斷除不明管減少漏水量

分處	斷除不明管處	減少漏水量 m ³	減碳量(KG)
東區	151	551,150	54,233
西區	184	671,600	66,085
南區	153	558,450	54,951
北區	175	638,750	62,853
陽明	159	580,350	57,106
總計：		295,228	

七、抽換管材為DIP、SSP管分析

優先採用耐久性管線材料，可延長管材使用年限，並能減少維修或更新施工時開挖道路之次數以節省資源。參考「行政院財物標準分類」之機械及設備分類明細表，如以石墨鑄鐵管、不銹鋼管（兩者最低使用年限為 40 年），取代原有鑄鐵管（最低使用年限為 20 年）、塑膠管（最低使用年限為 15 年）為節能減碳有效對策。

為利分析，首先將時間域轉換為頻率域分析：

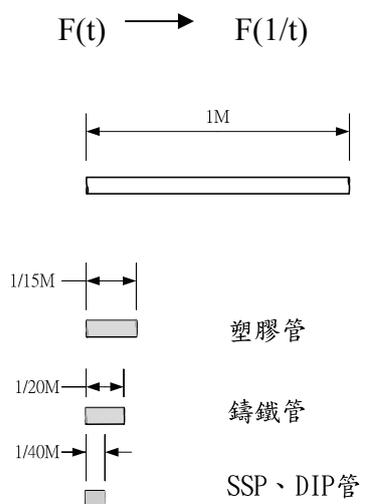
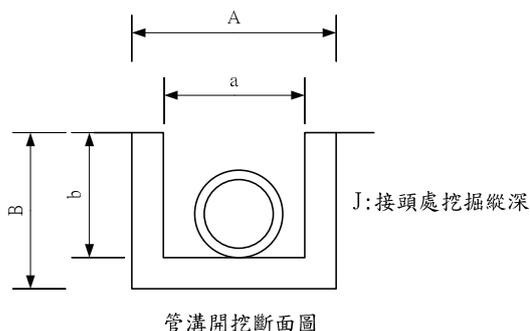


圖 6 各種管材年汰換率

即以 1m 長鑄鐵管、石墨鑄鐵管分析，每年需汰換 1/20m、1/40m；若原鑄鐵管抽換為石墨鑄鐵管則每公尺可節省(1/20-1/40)m 管線長開挖量。同理，若原塑膠管抽換為不銹鋼管則每公尺可節省(1/15-1/40)m 管線長開挖量。另依本處工程契約管線施工說明，管溝開挖斷面(如表 9 所示)，現取 $\Phi 200\text{mm}$ 口徑 DIP 管管溝斷面積 $0.6\text{m} \times 1.42\text{m}$ ；SSP 管管溝斷面積 $0.45\text{m} \times 0.7\text{m}$ 分析。

表 9 管溝開挖斷面尺寸一覽表

管徑 (mm)	直管處		接頭處			管溝 體積 m ³ /m	接頭增 加土方 m ³ /處
	寬(a) (m)	深(b) (m)	寬(A) (m)	深(B) (m)	長(J) (m)		
75	0.45	1.29	0.65	1.49	0.70	0.581	0.272
100	0.50	1.32	0.65	1.52	0.70	0.660	0.230
150	0.55	1.37	0.70	1.57	0.70	0.754	0.242
200	0.60	1.42	0.75	1.62	0.70	0.852	0.254
250	0.65	1.47	0.87	1.72	0.80	0.956	0.433
300	0.70	1.52	0.92	1.87	0.80	1.064	0.525
350	0.75	1.57	1.17	1.97	0.80	1.178	0.902
400	0.85	1.63	1.23	2.03	0.90	1.386	1.000
500	0.95	1.73	1.33	2.13	0.90	1.644	1.070



若原鑄鐵管抽換為石墨鑄鐵管，則依其使用年限估算可減少棄方量為： $(1/20-1/40)m * 0.6 \times 1.42 = 0.0213M^3/M$ 。同理，若原塑膠管抽換為不銹鋼管則估算可減少棄方量為： $(1/15-1/40)m * 0.45 \times 0.7 = 0.013125M^3/M$ 。

據此分析 99 年度本處各營業分處抽換管材為 DIP、SSP 管可減少棄方量，計算整理如表 10 所示。

總計 99 度各營業分處抽換管材為 DIP、SSP 管，共可減少 155,907 公斤 CO₂ 排放量。

表 10 99 年度本處各營業分處抽換管材為 DIP、SSP 管可減少棄方量一覽表

分處	節能減碳措施	長度 m	減少棄方 m ³	減碳量(KG)
東區	抽換為不銹鋼管	7310	96	6,940
	抽換為石墨鑄鐵管	7133	152	10,989
西區	抽換為不銹鋼管	16453	216	15,619
	抽換為石墨鑄鐵管	11067	236	17,050
南區	抽換為不銹鋼管	15759	207	14,961
	抽換為石墨鑄鐵管	15295	326	23,564
北區	抽換為不銹鋼管	17700	232	16,803
	抽換為石墨鑄鐵管	12346	263	19,021
陽明	抽換為不銹鋼管	12842	169	12,191
	抽換為石墨鑄鐵管	12183	259	18,769

八、以 CLSM 為管溝回填材料減少 CO₂ 量分析

「控制性(高性能)低強度材料」(Controlled Low Strength Material, CLSM) 為一具有自充填特性，施作過程毋需任何額外夯實設備，即可自動填充於管線周遭且其水泥質材料的凝結特性可滿足鋪面基底層承載力需求之回填材料。

依本處工程契約施工規範，第 02726 章級配粒料底層，「每層壓實度視滾壓機具之能量而異，除契約圖說另有規定或工程司核准外，每層最大壓實厚度不得超過 15cm 但如使用震動壓路機滾壓時，每層壓實後厚度可增為 20cm。(通常鬆鋪厚度約為壓實厚度之 1.3 倍)，及最小壓實厚度不得小於粒料最大標稱尺度之 2 倍。」規定，管溝以每 15 cm 至 20 公分分層回填夯壓，用 66 kg 跳躍式夯壓機(如圖 7)分析，每公升耗油量約可施作 50m 管線長度。

若以 CLSM 為管溝回填材料分析，則每公尺可減少減少 CO₂ 量：

$$1/50 \times 2.34 = 0.0469 \text{ kg CO}_2/\text{m}$$

據此，分析 99 年度本處各營業分處以 CLSM 為管溝回填材料所能減少 CO₂ 量，計算整理如表 11 所示：



圖 7 跳躍式夯壓機

表 11 99 年度本處各營業分處以 CLSM 為管溝回填材料所能減少 CO₂ 量一覽表

分處	長度 m	減少汽油量(L)	減碳量(KG)
東區	20537	411	961
西區	20470	409	958
南區	21461	429	1004
北區	8080	162	378
陽明	25025	501	1171
總計：			4,472

總計 99 年度各營業分處以 CLSM 為管溝回填材料，共可減少 4,472 公斤 CO₂ 排放量。

九、建置管線工程導入節能減碳方法，減少二氧化碳量計算表

利用水、棄方、汽油等 3 項原始減碳量基準，經上述分析，可建置各個減碳工法減碳量的基準，彙整如表 12 所示，以作為評估減碳效能的依據。

據此基準，再依本處各單位管線工程執行情形，製作節能減碳量計算表（如表 13 所示）。

在節能減碳量計算表中，於反白空欄位，填寫各單位管線工程施作數量，即可計算出各工作及單位之減碳量。彙整 99 年度各單位減碳量資料，經分析以全線開挖至管頂措施最具減碳成效，減碳量達 319,272(KG)，佔整體減碳量 40.3%，其次為斷除不明管，減碳量達 295,230(KG)，佔整體減碳量 37.26%，抽換為 DIP、SSP 管排序在後減碳量達 155,907(KG)佔整體減碳量 19.68%；三者減碳

效能共佔整體減碳量 97.24%。分析結果如圖 8 所示：

表 12 減碳工法減碳量基準

編號	節能項目	減碳量基準
1	水	0.0984 kg CO ₂ /度水(98 年北水)
2	棄方	72.33 kg CO ₂ /m ³ 棄方
3	汽油	2.34 kg CO ₂ /L 汽油
4	全線開挖至管頂	7.233 kg CO ₂ /m
5	使用波狀管	2.278 kg CO ₂ /處
6	斷除不明管	359.16 (kg CO ₂ /年/處)
7	不斷水連絡，主配水管 Φ300 以下	47.527 kg CO ₂ /處
8	不斷水連絡，主配水管 Φ300 以上(含)	204.77 kg CO ₂ /處
9	不斷水增設制水閥，配水管 Φ300 以下	36.802 kg CO ₂ /處
10	不斷水增設制水閥，配水管 Φ300 以上(含)	131.266 kg CO ₂ /處
11	抽換為不銹鋼	0.949 kg CO ₂ /m
12	抽換為石墨鑄鐵管	1.541kg CO ₂ /m
13	以 CLSM 作為管溝回填之材料	0.1 kg CO ₂ /m

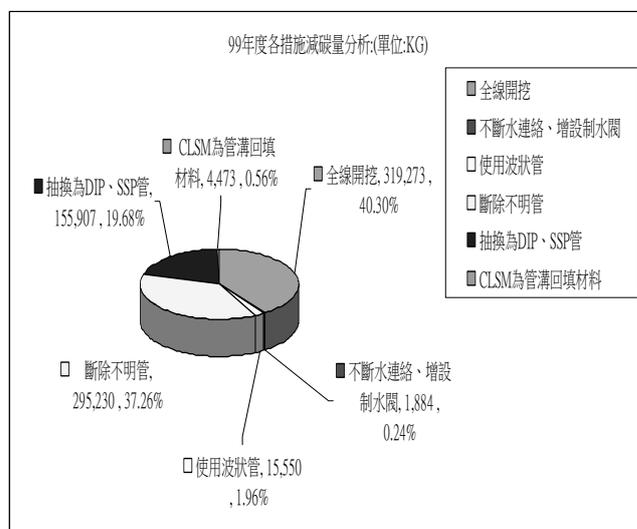


圖 8 99 年度各措施減碳量分析

表 13 節能減碳量計算表

單位	節能減碳方法	口徑 mm	長度 m	減少棄方 m ³	處	減少工程用水量 m ³	減碳量 (KG)
東區分處	全線開挖	-	9,548	955	-	-	69,061
	不斷水連絡	300 以下	-	-	4	1,932	190
		300(含)以上	-	-	-	-	0
	不斷水增設制水閥	300 以下	-	-	1	374	37
		300(含)以上	-	-	-	-	0
	使用波狀管	-	-	48	1,525	-	3,475
	斷除不明管	-	-	-	151	551,150	54,233
	抽換為不銹鋼管	-	7,310	96	-	-	6,940
	抽換為石墨鑄鐵管	-	7,133	152	-	-	10,989
	CLSM 為管溝回填材料	-	20,537	-	-	-	961
小計東區減碳量(KG)				145,885			

十、減碳效能評估

在減碳效能評估方面，依各單位工程施作所排放之 CO₂ 量及依所採取減碳措施所能減少之 CO₂ 量資料，依式 11-1 進行減碳效能評估。藉提高工程採取減碳措施所能減少 CO₂ 量及降低工程施作所排放 CO₂ 量，來提高減碳效能。評估 96~99 年度減碳效能，相關資料彙整於表 14、15、16、17 所示：16、17 所示：

$$\text{減碳效能} = \frac{\text{工程採取減碳措施所能減少CO}_2\text{量}}{\text{工程施作所排放CO}_2\text{量}}$$

式 11-1

表 14 96 年度分處管線工程減碳效能一覽表

96 年度	所能減碳量(kg)	所做增碳量(kg)	效能
東區分處	94,182	1,679,674	5.61%
西區分處	69,101	1,522,902	4.54%
南區分處	87,706	1,486,522	5.90%
北區分處	91,788	1,428,965	6.42%
陽明分處	39,499	1,162,368	3.40%
總計	382,276	7,280,432	5.25%

表 15 97 年度分處管線工程減碳效能一覽表

97 年度	所能減碳量(kg)	所做增碳量(kg)	效能
東區分處	91,217	1,664,378	5.48%
西區分處	79,495	1,440,594	5.52%
南區分處	122,342	1,559,610	7.84%
北區分處	162,051	1,493,023	10.85%
陽明分處	57,335	1,023,449	5.60%
總計	512,440	7,181,054	7.14%

表 16 98 年度分處管線工程減碳效能一覽表

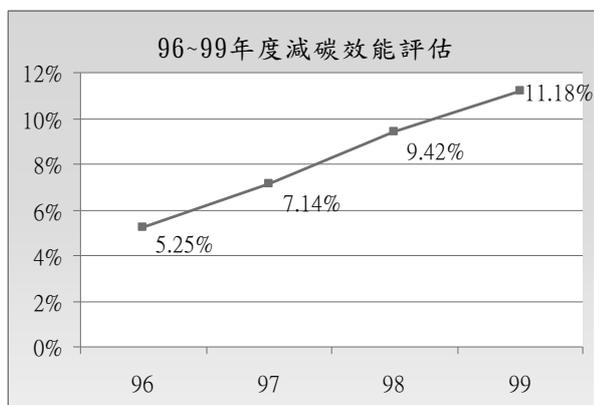
98 年度	所能減碳量(kg)	所做增碳量(kg)	效能
東區分處	130,290	1,390,181	9.37%
西區分處	150,148	1,625,020	9.24%
南區分處	134,974	1,555,457	8.68%
北區分處	145,879	1,326,199	11.00%
陽明分處	100,301	1,123,404	8.93%
總計	661,592	7,020,261	9.42%

表 17 99 年度分處管線工程減碳效能一覽表

99 年度	所能減碳量(kg)	所做增碳量(kg)	效能
東區分處	145,885	1,020,487	14.30%
西區分處	144,183	1,307,146	11.03%
南區分處	87,706	1,569,201	9.181%
北區分處	200,422	17498,6695	11.45%
陽明分處	157,695	1441,200	10.94%
總計	792,315	7,087,704	11.18%

在統計圖表 18 中顯示減碳效能呈線性成長，數據驗證所採節能減碳措施，的確得到成效。

表 18 96~99 年度減碳效能評估



十一、結語

本文係遵循行政院公共工程委員會「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，落實節能減碳政策。綜觀管線工程目前減碳研究，多以採用綠色材料中耐久性材料所佔總經費比例、及以替代性材料等方法來評估減碳成果；而採綠色工法作為評估手段則闕如。本文採綠色工法作為評估手段，所製作之減碳量計算表因採基本資料填入方式，簡捷、明確，並可依各單位節能減碳執行成果，訂定管控目標值，以利查核評鑑。

參考文獻

1. 行政院公共工程委員會，「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，2009。

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

淨水處理去除輻射性污染物之方法

文/李育輯、康文賢

摘要

輻射塵中輻射同位元素(radioisotopes)如碘¹³¹ (Iodine-131)與銫¹³⁷ (Cesium-137)在傳統淨水廠混凝、沈澱與過濾的處理效能不佳,去除效率分別只有 17%與 56%,造成水處理單元對輻射污染物去除方法的隱憂。因此研究對於各種不同的輻射同位元素的處理單元效能與相關的改進方式作探討,其中包括了淨水場處理程序常見之混凝、沈澱、過濾、離子交換法與軟化等處理方法效能,在改進強化淨水單元之去除效率的方式則有金屬粉末法、磷酸混凝法、黏土添加法與活性炭添加法。以淨水模廠去除模擬核子爆炸之輻射塵的輻射污染物,則發現約有 70%的總去除率。

關鍵字：輻射、輻射同位元素、沈澱、過濾、活性炭

一、前言

2011 年 3 月 11 日日本發生芮氏 9.0 級地震,引發海嘯同時導致福島核電廠發生事故,核子反應爐的輻射物質向外洩散,不但福島縣當地的自來水輻射物質含量超過標準,不適合人體飲用,甚至遠在 250 公里外的東京都,自來水中也檢測出輻射性物質碘¹³¹含量偏高,不適合孕婦與嬰幼兒飲用。雖然淨水場對輻射塵顆粒的去除率頗佳,但對不同的輻射核(如同位元素; radioisotopes)的去除率則不盡相同。輻射同位元素離子化的輻射主要來自不穩定的原子核的銳變(disintegration),造成生物組織的傷害,最典型釋出的輻射以(alpha, beta, or gamma)射線

為主。而飲用水中的輻射物質對人體的傷害,則對不同的輻射同位元素訂定了不同的“最大允許濃度” Maximum permissible concentration (MPC),主要是以不影響人體 70 年壽命前提下計算得出。因此不同的同位元素有不同的 MPC, strontium-89 為例, MPC 值即為 promethium-147 的 14000 倍,下列探討原水中的輻射污染物初始濃度,即以該元素之 MPC 試驗。同位元素的銳變現象(放出輻射),目前所知無法以任何物理、化學或生物的方法改變,而輻射同位元素本身仍保有元素原本具有之揮發、溶解或沈澱等的物理相變化的能力。

二、傳統淨水單元之去除效率

(一) 混凝沈澱 (coagulation)

傳統淨水場處理程序常包含混凝、沈澱、過濾、離子交換法與軟化等處理單元,研究發現其中以混凝的化學沈澱較具去除效率,如下表 1 混凝處理的混凝劑以硫酸鋁、硫酸鐵與氯化鐵為主, pH 也在一般處理常見的範圍,大多有 60-90%的混凝掃除(Sweep)的高去除率,尤其是當 Phosphorus-32 存在水體中時,可以增加部分同位元素的去除率到 98%。而試驗添加黏土的主要在模擬較高濁度下,無機礦物增加時對污染物的影響,發覺在添加 100ppm 的黏土後,對輻射污染物的去除率確有明顯的增加。但其中以 Cesium-137 與 Iodine-131 為最低,去除率不到 40%, Iodine-131 在水體中以水溶性的陰離子存在,幾乎無法以混凝沈

澱去除。但根據文獻可以添加少量活性碳、硫酸銅或硝酸銀，會增加去除率至 76%，混凝沈澱主要是利用去除濁度物質的同時，讓吸附在上面的同位元素一併去除，一定程度的較高濁度有助於放射性同位元素的去除。

表 1 混凝杯瓶試驗去除各種輻射核物種比較

輻射核物種 Radioisotope	黏土添加量 (p.p.m.)	混凝劑添加量 (g.p.g.)	最終 pH 值	去除率 百分比 (%)
Cesium-137	0	1	—	0-6
	100	1	—	35-65
Iodine-131	100	0.5-2	6.9-9.0	0-10
Strontium-89	0	1.5	6.7-7.8	0-6
	100	0.5-6	6.7-10.7	0-51
Cadmium-115	0	1	—	40-60
	100	1-5	—	60-95
Barium-140	100	1-6	7.5-8.2	28-84
Scandium-46	100	1-5	6.5-8.2	66-98
Yttrium-91	0	1-5	6.8-7.1	83-93
	100	1	7.0-10.2	34-99
Zirconium-95	0	1-5	—	70-98
	100	1	—	95-98
Phosphorus-32	100	0.5-1.5	6.8-8.8	97-99
Chromium-51	100	1-6	7.6-8.8	73-98
Tungsten-185	100	1-6	7.5-8.4	5-91
Cerium-144	0	1-1.5	7.2-8.8	81-94
	100	0.5-2.5	7.0-7.8	85-96

(二)過濾 (Filtration)

砂濾對輻射同位元素的去除效果並不佳(如下表 2)，主要機制是吸附或沈澱於濾砂表面的作用，但效果並不明顯，反而主要的去除作用在於攔截與篩除，前一混凝沈澱單元去除於膠羽(flocs)粒子中的同位元素。

表 2 砂濾試驗去除各種輻射核物種比較

輻射核物種 Radioisotope	初始活度 (c./m./ml.)	過濾 體積 (ml.)	出流水 pH 值	去除率 百分比 (%)
Cesium-137	800	500	8.3	10-30
Strontium-89	2700	750	8.3	1-13
Cadmium-115	1200	500	8.1	60-99
Barium-140	1300	750	7.6	39-99
Scandium-46	1500	750	8.3	94-99
Yttrium-91	5700	750	7.0	84-89
Zirconium-95	3400	500	7.8	91-96
Tungsten-185	2200	750	7.1	3-18

(三)離子交換法 (Ion Exchange)

離子交換對輻射同位元素的去除效果極佳(如下表 3)，包含了陰離子、陽離子、混合床與綠砂(Greensand) 離子交換形式作探討，其中又以混合床對同位元素的去除效最佳，去除效可達 97.6-99.8%，應是水處理中最具效果的去除同位元素污染物的方法，特別是對水處理難以去除的 Cesium-137 具有極佳的去除效果。

表 3 離子交換法對各種輻射核種去除率百分比

輻射核物種 Radioisotope	陰離子 交換床	陽離子 交換床	混合 交換床	綠砂 交換床
Cesium-137	99.8	9	99.8	—
Strontium-89	99.1-99.8	5-7	99.8-99.9	99.8
Cadmium-115	98.5	0	99.2	—
Barium-140	98.3-99.0	36-42	99.5-99.6	96.3
Scandium-46	95.7-97.2	98.8-99.0	98.5-98.7	96.4
Yttrium-91	86-94	94-98	97-99	75
Zirconium-95	58-75	96-99	90-99	—
Tungsten-185	12-16	97-99	98.9	9

(四)軟化 (Softening)

軟化主要是利用石灰(lime)與蘇打(Soda)沈澱的淨化水質方法，軟化對同位元素的去除效果並不差(如下表 4)，在良好操作下的軟化程序對同位元素的去除效可以高達 95-99%，其去除污染物的機制與混凝的化學沈澱相似，特別是對 strontium-89 同位元素，利用超量石灰蘇打法可以得到極佳的去除率，但對於水溶性較高的 Cesium-137 與 Iodine-131 去除效率仍然不高。

三、改進淨水去除效率之方法

(一)金屬粉末法(Metallic dusts)

試驗添加 1000ppm 的鐵、鋅、銅或鋁等 4 種金屬粉末，在混凝沈澱的過程，接觸時間 90 分鐘後，由過濾後的清水測得到列表 5 的各種輻射活性污染物的去除率，發覺以鐵粉與鋅粉的去除率為最佳，值得一提的是對於水溶性極高而難以去除的 Iodine-131 的去除率有提升至 30-40%。

表 4 不同石灰與蘇打的劑量組合下對各種輻射核種去除比較

輻射核物種 Radioisotope	50%的去除率		75%的去除率		90%的去除率		95%的去除率		99%的去除率	
	石灰 (g.p.g)	蘇打 (g.p.g)								
Strontium-89	4	3	5	5	7	9	20	20	—	—
Cadmium-115	2	2	3	3	4	4	4	4	6	4
Barium-140	2	2	4	2	6	4	—	—	—	—
Scandium-46	3	3	3	3	5	5	—	—	—	—
Yttrium-91	2	2	4	4	6	6	12	6	—	—
Zirconium-95	2	0	5	0	12	0	17	0	22	0
Cesium-137	48	48	—	—	—	—	—	—	—	—
Tungsten-185	48	48	—	—	—	—	—	—	—	—

註：g.p.g 指每加侖(gallon)加入每克的藥量

表 5 添加不同金屬粉末對各種輻射核種去除比較

輻射核物種 Radioisotope	初始原水之 pH	初始原水之 活度(c./m./ml.)	去除率%			
			鐵	鋅	銅	鋁
Ruthenium-106	8.0-8.2	1975-3950	99.6	98.4	93.7	92.8
Phosphorus-32	7.8-8.4	128-12000	99.8	98.1	—	84.2
Barium-140	7.9-8.2	4644-10205	94.8	74.5	65.7	73.8
Iodine-131	6.5-8.2	4288-6689	37.2	45.7	42.2	23.2
Yttrium-91	7.9-8.0	1610-3230	98.0	98.0	—	—
Zirconium-95	7.2-8.3	1210-4470	99.1	97.9	99.1	99.8
Cerium-144	7.9-8.1	3915-4491	99.9	99.9	99.5	99.8
Cobalt-60	8.0-8.2	1571-4792	92.2	—	47.8	30.2
Cesium-137	8.0	13085	8.6	—	—	—

(二)磷酸混凝法(phosphate coagulation)

混凝改進方法其中效果良好的而被推薦的是磷酸混凝法，對同位元素的污染物的去除率如下表 6，既使對 strontium-89 仍有 81.3% 的去除率，但在操作時必須非常注意 pH 的控制與磷酸鹽/氫氧化鈉的加藥比例，加注劑量約保持在 200 或 100ppm 左右即有良好的去除率效果。

表 6 磷酸混凝試驗去除各種輻射核物種比較

輻射核物種 Radioisotope	混凝劑添 種類	混凝劑添 加量 (mg/L)	去除率 百分比(%)
Cerium-144	KH ₂ PO ₄	200	99.8
	Na ₃ PO ₄	120	99.9
Strontium-89	KH ₂ PO ₄	100	81.3
	Na ₃ PO ₄	240	97.8
Antimony-124	KH ₂ PO ₄	100	66.1
	Na ₃ PO ₄	120	67.4
Zinc-65	KH ₂ PO ₄	50	99.6
Yttrium-91	KH ₂ PO ₄	100	99.9
Zirconium-95	KH ₂ PO ₄	100	99.5
Tungsten-185	KH ₂ PO ₄	200	10.7
Niobium-95	KH ₂ PO ₄	100	99.2

(三)黏土添加法 (Clays adding)

黏土添加的目的其實在增加水體中的濁度物質，使混凝沈澱時去除濁度物質的同時讓吸附在上面的同位元素一併去除，而較高濁度有助於同位元素的去除。試驗添加 100-5000ppm 的黏土，發覺添加的量越大去除率越高(如下表 7)。值得一提的是對於水體中原本混凝沈澱不易去除的 Cesium-137 具有極佳的去除率。而添加的黏土中又以蒙特土(Bentonic clays)效果會優於高嶺土(kaolinic clays)。

表 7 黏土添加試驗去除各種輻射核物種比較

輻射核物種 Radioisotope	去除率百分比 (%)		
	100 ppm	750 ppm	5000 ppm
Barium-140	41	58	85
Cadmium-115	3	30	64
Cerium-144	70-80	86	—
Cesium-137	38	87	98
Scandium-46	53	91.7	96.9
Strontium-89	2-12	14-22	49-52
Tungsten-185	0	4	49
Yttrium-91	22-45	56-70	93.6
Zirconium-95	93.5	99.0	98.0

(四)活性碳添加法(Active carbon adding)

Iodine-131 在水體中以水溶性的陰離子存在，幾乎無法以混凝沈澱去除，因此實驗以在混凝沈澱的過程中添加活性碳、硫酸銅與硝酸銀試驗以提升去除率，其中以添加活性碳最具去除效果，可以提升去除率至 70%。

一般而言，活性碳與硫酸銅在淨水場的加藥應用上的目的在於去除水中的色度與嗅度，而銀鹽則被運用於消毒的作用。在下表 8 列出了不同劑量的活性碳添加後的去除效率，其中發現添加 5ppm 的活性碳就可以提升 Iodine-131 的去除效率到 68.2%，再提高活性碳的添加量並沒有明顯相對增加去除率，應是呈現過量加藥而飽和的現象。

值得注意的是活性碳的添加，對原水中的濁度物質有極強的去除效率，對溶解性的污染物也有一定的去除率。而在活性碳的選擇上，以具沈降性之粒狀性活性碳較佳，以要避免懸浮性活性碳粒漂浮於水面，造成不必要的藥劑浪費。添加 3.5 ppm 的硫酸銅則有 38.3% 的去除率，添加 1.3-3.8 ppm 的硝酸銀則有 54.9 - 73.1% 的去除率。

表 8 添加不同藥劑對 Iodine-131 的去除效率比較

藥劑		出水水質			活度 (million cpm.)		去除率(%)
種類	劑量(ppm)	pH	鹼度(ppm)	濁度	原水活度	出水活度	混凝沈澱後
活性炭	5	7.1	67	<1	0.110	0.028	68.2
活性炭	10	7.1	68	1	0.100	0.026	64.0
活性炭	15	7.1	68	<1	0.110	0.027	70.9
活性炭	15	5.8	17	15	0.400	0.089	72.5
硫酸銅	3.5	7.1	65	<1	0.120	0.053	38.3
硝酸銀	1.3	7.1	66	30	0.071	0.037	54.9
硝酸銀	2.5	7.2	65	40	0.068	0.034	42.6
硝酸銀	3.8	5.8	19	5	0.410	0.096	73.1

註：實驗原水濁度 103NTU 與 pH 7.4 下，加藥劑量硫酸鋁 27.5ppm、氫氧化鈉 38.9ppm。

四、模擬輻射塵(Fission)的去除率試驗

以人工合成的方式配製模擬在核子爆炸後一個月之輻射塵組成成分(如表 9)，該合成的輻射塵總輻射活度為 675cp/ml，以試驗其在傳統淨水場處理單元的去除效率，不同於前面討論各個單元的去除率，此一試驗是在傳統淨水模廠，以連續流方式注入污染物於原水中，並持續連續操作各處理單元的方式探討其對應單元與整體模廠的去除效能，希望能模擬在淨水廠實際操作時的處理狀況。

以淨水模廠去除模擬輻射塵之單元與整體模廠的去除效率如表 10，以總輻射活度為 675cp/ml 為基準，沈澱單元的去除效率為 46.5%，濾砂過濾與無煙煤過濾的單元去除效率分別為 50 與 44%，串連後連續操作則總體去除率則分別為 73 與 70%。

若微觀的單就水溶性較高而難以去除的 Iodine-131 的去除率作探討，在沈澱單元的去除效率則為 39.2%，濾砂過濾與無煙煤過濾的單元去除效率分別為 46.4 與 42.8%，模擬輻射塵中的 Iodine-131 似乎較配製試驗

的 Iodine-131 有稍微較高的去除率。

表 9 模擬核子爆炸生成輻射塵一個月後的成分

輻射核物種 Radioisotope	活度 (cpm. / ml)	混合比例 (%)	半生期
Ruthenium-106	5.5 x 10 ⁸	15.9	1 年
Cerium-144	4.19 x 10 ⁸	12.1	275 天
Yttrium-91	6.2 x 10 ⁸	17.9	50 分鐘
Strontium-89	12.24 x 10 ⁸	35.4	25 年
Zirconium-95	5 x 10 ⁸	14.5	65 天
Iodine-131	1.47 x 10 ⁸	4.2	8 天

表 10 以淨水模廠去除模擬輻射塵之效率比較

輻射核物種 Radioisotope	初始活度 (cpm./ml.)	處理後活度(cpm./ml)		
		沈澱	濾砂 過濾	無煙煤 過濾
Ruthenium-106	107	27	27	19
Cerium-144	82	37	18	20
Yttrium-91	121	146	88	86
Strontium-89	239	93	72	77
Zirconium-95	98	31	7	10
Iodine-131	28	17	15	16
總和 (Totals)	675	361	180	203
單元去除率(%)	—	46.5%	50%	44%
總去除率(%)	—	—	73%	70%

五、結論

傳統淨水場不同處理單元對於具有輻射活性的污染物的去除，皆具有一定的功效，但就單元去除率的百分比探討功效是沒有意義的。除非該輻射活性的物染物在水體的濃度高於最大允許濃度 (MPC)，才会有實質去除率的意義，如果輻射活性的污染物濃度遠遠低於毫克/每升(mg/L)的濃度，則大部分的水處理單元的去除功效則會變的不明顯。

- 1.傳統淨水場處理程序常包含混凝、沈澱、過濾等處理單元，其中以混凝的化學沈澱較具去除效率，而添加黏土模擬較高濁度後，對輻射污染物的去除率有明顯的增加。
- 2.砂濾對輻射同位元素的主要的去除作用在於攔截與篩除，前一混凝沈澱單元去除於膠羽(flocs)粒子中的同位元素。
- 3.離子交換去除輻射同位元素應是水處理中最具效果的的方法，特別是對水處理難以去除的 Cesium-137 具有極佳的去除率。
- 4.金屬粉末法試驗添加鐵粉與鋅粉的去除率為最高，而對於水溶性極高難以去除的 Iodine-131 的去除率可提升至 30-40%。
- 5.磷酸混凝法對同位元素的污染物的去除率極佳，但在操作時必須非常注意 pH 的控制與磷酸鹽/氫氧化鈉的加藥比例。
- 6.活性炭添加法對 Iodine-131 最具去除效果。添加 5ppm 的活性炭於混凝過程就可以提升 Iodine-131 的去除效率到 68.2%。
- 7.模擬輻射塵(fission)的水處理試驗，沈澱與過濾的串連後連續操作之總體去除率約為 70%。

輻射活性污染物的控制，主要在於來源的管制，而非水處理的單元處理。單元處理主要是將液態的污染物轉換為固態的沈澱

污泥物質，輻射活性的污染物並沒有真正的被處理，反而是濃縮為具輻射性的污泥待後續處置，對環境的潛在威脅依然存在。

參考文獻

1. Straub C. P. (1955) Limitations of water treatment methods for removing radioactive contaminants. Public Health Reports 70, 897-904.
2. Goossens, R., Delville, A., Genot, J., Halleux, R., Masschelein, W.J., (1989). Removal of the typical isotopes of the Chernobyl fall-out by conventional water treatment. Water Research 23 (6), 693-697.
3. Gafvert T., Ellmark C., Holm E., (2002) Removal of radionuclides at a waterworks. Journal of Environmental Radioactivity 63 105-115.
4. Straub, C.P., Morton, R.J., Placak, O.R., (1951). Studies on the removal of radioactive contaminants from water. Journal of American Water Works Association 43 (10), 773-792.

作者簡介

李育輯先生

現職：臺北自來水事業處淨水科幫工程司

學歷：台灣大學環境工程博士

專長：淨水工程、高級氧化處理與污泥處理

康文賢先生

現職：臺北自來水事業處淨水科公館廠場長

專長：淨水工程、水利工程、溫泉供水

飲用水中放射性方面準則

文/轉載自 WHO 飲用水水質準則第三版

摘要

本文的目的是為飲用水中放射性核素含量的安全性評估提供標準。這個準則既適用於天然產生的放射性核素，也可用於人工產生的放射性核素。

本準則第一版中所建議的飲用水中放射活度的準則值是根據輻射源照射的危險和輻射照射的健康結果為依據的。本準則的第二版已採納了國際放射防護委員會（ICRP）於 1990 年提出的建議（ICRP，1991）。本準則的第三版體現了一些最新的發展，包括 ICRP 出版物中的關於持續照射和劑量轉換係數的內容。

放射的危害可以來自飲用水中的一些放射性物質（化學物質）所發射的電離輻射。雖然來自飲用水的這些輻射危害通常很少危及公眾健康，針對飲用水輻射危害的評估通常需要與其他來源的的輻射暴露一起進行。

在本準則中，控制放射危害的方法分成二個階段：

1. 對總 α 和/或總 β 的活度的初始篩查，以確定其活度濃度（Bq/L）低於一定閾值，對此不需要採取進一步的行動。
2. 如果總 α 和/或總 β 的活度濃度超過篩查水平，就應該對每一種放射性核素的活度濃度進行調查，並與規定的指導水平進行比較。

因飲用溶解有氫氣的地下水而引起的照射風險通常要低於因吸入釋放在空氣中的氫及其子體放射性核素而導致的照射風

險，但仍然不可忽視，因為在這兩種情況都會發生照射。氫的最大照射通常是對周圍空氣的吸入和從陸地來源的氫吸入，這些氣體不斷地滲透到住宅中，特別是滲透到地下室內。來自地下水的氫通常占總氫中很小的一部分，但是可以表明，在地下水沈積的地區，所發射出的這部分氫將會滲透到地下室中。

篩查水平和指導水平適用於在常規（“正常”）操作條件下的現有的或者新建的一些飲用水供應設施。它們不適用於在應急照射期間（包括一些放射性核素釋放到環境的情況）已被污染的水的供應設施。應急照射情況下的指導水平和通用行動水平可以在其他一些報告中得到（IAEA，1996，1997，1999，2002）。

本準則是依據：

1. 待積有效劑量的推薦參考劑量水平（RDL），等於在 1 年內攝入的飲用水所致的 0.1mSv 劑量（即從 1 年飲用水的攝入量中可能的總放射性濃度導出的這個水平）。這個水平包括由 ICRP 對一些主要的農產品（例如食品 and 飲用水）在持續照射情況下推薦的干預豁免水平的 10%，這種情況主要與公眾長期攝入飲用水有關（ICRP，2000）。這個 0.1mSv 的 RDL 也相當於由 ICRP（1991）和國際基本安全標準（IAEA，1996）所推薦的公眾成員照射的年劑量限值的 10%。這些已經被多數世界衛生組織成員國、歐盟、聯合國糧食及農業組織（FAO）和世界衛生組織（WHO）

等所採用。

2. 由 ICRP 提供的成人劑量轉換係數。

一般認為，經飲用水攝入放射性核素所致的 0.1mSv 年劑量照射對健康的附加危險較低，其理由如下：

◎輻射誘導的隨機性健康效應包括全體人口中的致死癌、非致死癌和嚴重的遺傳效應，其標稱概率係數為 $7.3 \times 10^2 / \text{Sv}$ (ICRP 1991)。以該係數乘以通過飲用水所致等於一個 RDL 的 0.1mSv 年照射，得出隨機性健康效應的估計的上限終身危險約為 10^4 ；與其他健康危險相比，這個值相對較小。對於放射性核素的這個參考估計危險是相當可信的，因為它包括人類群體照射資料的廣泛的科學研究資料庫。而化學致癌危險的外推下限危險是零。

◎雖然在地球上天然本底輻射照射差異較大，但其年平均值約為 2.4mSv；儘管照射水平最高的地區可比這個值高出 10 倍之多，但大量人群研究證實還沒有發現任何增加的健康危險。因此，這 0.1mSv 劑量僅表示在天然本底輻射水平上的一個很小的增量。

一、輻射照射來源及其對健康的影響

環境中輻射來源於大量的天然輻射源和人工輻射源。在環境中的任何地方都存在天然放射性物質（如鈾、釷和鉀-40）。對人類的輻射照射主要來自天然輻射源，包括宇宙輻射和地球輻射的外照射源和一些放射性物質吸入和食入後形成的內照射源（圖 1）。聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR,2000）估計，天然輻射源對人類照射的全球年平均值為 2.4mSv（表 1）。還

有一些輻射源（如鈾）在礦業開採和其他一些工業活動中可能會被濃縮。

輻射對人類的照射因地而異，這取決於許多因素，如海拔、土壤中放射性核素的類型和數量（地球輻射）、空氣、食物和飲用水中放射性核素的成分以及通過吸入和食入進入人體的放射性核素量。在世界上一些地區，如印度的喀拉拉邦部分地區和巴西的 Pocos del Caldas 高原地區的本底輻射水平相當高。在這些地區的居民照射水平比表 1 中所示的年平均本底水平的 2.4mSv 要高 10 倍之多，但並沒有發現這種升高的輻射照射可伴有對人體健康有害的影響(UNSCEAR,2000)。

人類活動和人工輻射源（如醫學或工業使用的一些放射源）產生的一些放射性化合物可排放到環境中，進而滲入到飲用水供給設施。在世界範圍內，2000 年來自醫學診斷檢查的人均有效劑量為 0.4mSv/year（典型的範圍為 0.04-1.0mSv/year，視衛生保健的水平而定）。核能生產和核武器試驗對全球的輻射照射所產生的影響很小。據估計，在 2000 年，來自核武器試驗所致的全球人均年有效劑量為 0.005mSv，切爾諾貝利核電站事故為 0.002mSv，核能生產為 0.0002mSv(UNSCEAR,2000)。

(一)由飲用水發生的輻射照射

飲用水的放射性組成可能由下述因素造成：

1. 天然放射性核素（例如，在飲用水源中含有釷和鈾衰變系的一些放射性核素），特別是鈾 226/228 和幾種其他放射性核素。
2. 進行技術處理過程包含一些天然放射性核素（例如，礦石開採和礦砂的處理過程或者磷肥的生產過程）。

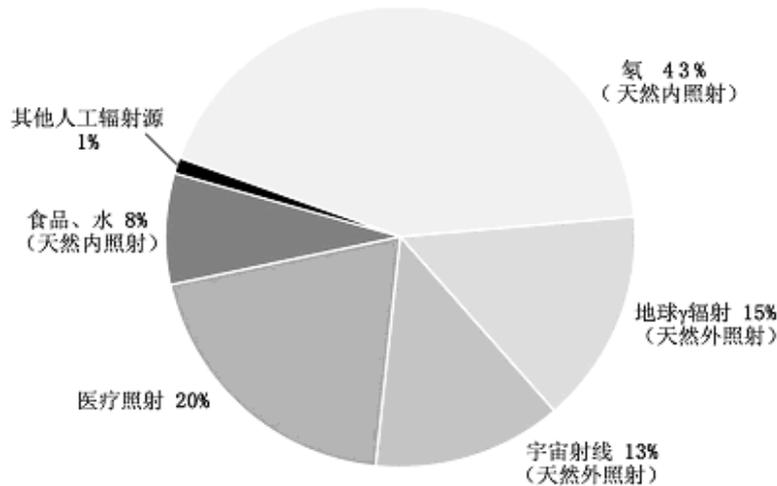


圖 1 各種輻射源和世界全體人口輻射照射平均值的比例分佈

表 1 來自天然輻射源所致平均輻射劑量

輻射源	全球範圍平均年有效劑量 (mSv)	典型範圍 (mSv)
外照射包括：		
宇宙射線	0.4	0.3-1.0
地球 γ 射線 a	0.5	0.3-0.6
內照射包括：		
吸入（主要為氡）	1.2	0.2-10 ^b
食入（食品和飲用水）	0.3	0.2-0.8
總計	2.4	1-10

註：a 地球照射來自土壤中和建築材料中放射性核素。

b 在一些住宅內由吸入氡所致劑量可以超過 10 mSv/year。

表的來源：UNSCEAR 報告書（2000）

3.加工放射性核素（生產和使用非密封源）

作為定期向外排放這些核素的後果，可以進入到飲用水供應設施；特別是在不適當醫學使用或工業使用過程中和對某些放射性物質的處置過程中而引起一些事件；這種事件不同於應急照射，因為應急照射不包括在本準則範圍之中。

4.放射性核素排放到環境，包括向水源的排放。

上述這些因素對飲用水總照射的貢獻通常很小，而且大部分是來自鈾和釷衰變系中的天然放射性核素的貢獻。然而，來自核燃料迴圈中的放射性核素和來自醫學和其他領域使用放射性物質是可以進入到飲用水的供應設施的。一般地，通過對輻射源或實踐操作實施監管可限制這些輻射源所產生的影響，並且，一旦發生輻射源污染飲用水的事件時，通過這種監管機制也可採取補

救行動。

(二)由飲用水所致輻射的健康效應

人類和動物研究的證據表明，在低劑量和中等劑量水平的輻射照射可以增加癌症的遠期發病率。尤其是動物實驗證明，輻射照射可以導致遺傳畸形發生率的升高。

如果放射性核素的濃度低於指導水平（相當於待積有效劑量低於 0.1mSv/year ），攝入飲用水預期不會造成放射有害的健康效應。

當全身或身體大部分受到很高劑量照射時，可能會發生急性輻射健康的效應，導致血細胞數目降低，在一些很嚴重病例中，可能會發生死亡（IAEA，1998）。在飲用水供應設施中通常放射性核素活度的水平較低，因此，對飲用水供應設施不必擔心會發生輻射的急性健康效應。

二、放射性活度的單位和輻射劑量的單位

放射性活度的國際單位制（SI）單位是貝可勒爾（becquerel），簡稱貝可（Bq）， $1\text{Bq}=1$ 個衰變每秒。飲用水的指導水平用每一升的放射性核素的活度表示，稱為活度濃度，用活度每升（Bq/L）表示。來自攝入單個放射性核素所致的輻射劑量取決於多個化學和生物學因素。這些因素包括放射性核素攝入後被消化道吸收的部分、放射性核素轉移到器官或組織的部分和排泄前在器官和組織中放射性核素停留的時間等。此外，也必須考慮輻射在衰變時所發射的輻射性質和被照射的器官和組織對輻射的敏感性等因素。

吸收劑量是指在物質中輻射有多少能量被沈積。吸收劑量的國際單位制（SI）單

位是戈瑞（Gray），稱為戈（瑞）（Gy）， $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$ （1 焦耳每千克）。

當量劑量是吸收劑量與某一特殊類型的輻射（取決於該輻射的電離能力和電離密度）有關的一個因數的乘積。

有效劑量用簡單術語來表示，是被一個人所接受輻射對所有組織或器官用其“組織權重因數”加權後的當量劑量之和。這個劑量反映人體中不同的器官和組織對輻射有不同的敏感性。當量劑量和有效劑量的國際單位制（SI）單位是希沃特（Sievert），稱為希（沃特）（Sv）， $1\text{Sv}=1\text{J/kg}$ （1 焦耳每千克）。

為了反映放射性核素一旦被身體攝入後的儲留特性，用待積有效劑量表示一個放射性核素被攝入後（內照射）在個人終身（70 年）所接受的總的有效劑量的一種量度。

“劑量”這一術語可表示吸收劑量（Gy），也可表示有效劑量（Sv），視不同的場合而定。就監測目的而言，劑量可據給定物質中放射性核素的活度濃度而確定。以水為例，可用貝可每升（Bq/L）給出該核素的活度濃度。對每一種放射性核素，使用它的劑量轉換係數（ mSv/Bq ）和每年平均攝入的飲用水量（L/year），從水中該核素的活度濃度（Bq/L）可估算出其所致的年有效劑量（ mSv/year ）。

用一個劑量轉換係數能夠估算出在某一特定化學形式中的某種放射性同位素的食入所致的有效劑量。國際放射防護委員會（ICRP）和國際原子能機構（IAEA）已公佈了一些放射性核素食入的年齡相關的劑量轉換係數的資料。表 2 給出在飲用水供應設施中可能會發現一些天然發生的放射性核

素或者人類活動產生的放射性核素被食入後所致的劑量轉換係數。(IAEA, 1996; ICRP, 1996)。

三、飲用水中放射性核素的指導水平

表 3 列出在飲用水中一些來自天然輻射源產生的放射性核素或由於目前和過去的活動結果向環境排放的一些放射性核素的指導水平。這些指導水平也適用於在一年以前發生的一些核事故所排放的一些放射性核素。表 3 中列出的活度濃度值相當於每一個列出的放射性核素所致的劑量為 0.1mSv/year 的一個參考劑量水平 (RDL)，其前提是這些放射性核素在過去一年間的飲用中的活度濃度不超過這些值。本章的開頭已給出相關的危險估計。不管用什麼方法，在《國際基本安全標準》(IAEA, 1996) 和世界衛生組織 (WHO) 與國際原子能機構 (IAEA) 其他相關出版物 (WHO 1988; IAEA, 1997, 1999) 中都描述了一次事故後第一年期間用於食品的通用行動水平。

以下公式可用於計算飲用水中放射性核素的指導水平：

$$GL = IDC / (h_{ing}, q)$$

式中：

GL = 飲用水中某種放射性核素的指導水平 (Bq/L)。

IDC = 個人劑量標準，對這種計算等於 0.1mSv 每年 (mSv/year)。

h_{ing} = 成年人食入某種放射性核素的劑量轉換係數 (mSv/Bq)。

q = 假設年攝入飲用水的容積為每年 730 升 (L/year)。

對於兒童而言，雖然計算時採用較高的年齡相關的劑量轉換係數 (因為兒童有較高的吸收率和/或較高的代謝率)，但由於嬰兒和兒童消耗飲用水平均容積較低，而不會造成明顯較高的劑量。因此，從一年所消耗的飲用水量推薦的 0.1mSv/year 的待積有效劑量的參考劑量水平 (RDL) 可適用任何年齡。

表 2 成年公衆成員因攝入一些放射性核素所致的劑量轉換係數

類別	放射性核素	劑量轉換係數 (mSv/Bq)
天然鈾系	鈾-238	4.5×10^{-5}
	鈾-234	4.9×10^{-5}
	釷-230	2.1×10^{-4}
	鐳-226	2.8×10^{-4}
	鉛-210	6.9×10^{-4}
	釷-210	1.2×10^{-3}
天然釷系	釷-232	2.3×10^{-4}
	鐳-228	6.9×10^{-4}
	釷-228	7.2×10^{-5}
裂變產物	銻-134	1.9×10^{-5}
	銻-137	1.3×10^{-5}
	銻-90	2.8×10^{-5}
	碘-131	2.2×10^{-5}
其他放射性核素	氫	1.8×10^{-8}
	碳-14	5.8×10^{-7}
	銻-239	2.5×10^{-4}
	鎳-241	2.0×10^{-4}

四、對溶解在水中的放射性核素的監測和評價

(一)對飲用水供應設施的篩查

對識別單個放射性核素和測定它們的濃度的過程需要採用複雜的技術方法和昂貴的分析手段，這通常是不合宜的，因為大多數情況下飲用水中放射性核素的濃度是很低的。一個更加實用的方法是使用一種篩查的程式，首先測定以 α 輻射和 β 輻射形式表示的總放射性水平，而不需要知道這些特定放射性核素的性質。

飲用水的篩查水平表示低到不需要採取進一步行動的活度水平，即總 α 活度低於 0.5Bq/L，總 β 活度低於 1Bq/L 水平。本準則的第二版中已公佈了總 β 活度的篩查水平和在較嚴重情況下（如 Rn-222）估算的劑量接近 0.1mSv /year 的指導參考劑量水平（RDL）。當這種放射性活度濃度所反映數值接近核素的規定的指導參考劑量水平(RDL)時，則對於總 α 活度的篩查水平不適用 0.5Bq/L 而用 0.1Bq/L 代替。

表 3 飲水中的一些放射性核素指導水平

核素	指導水平 (Bq/litre) ^a	核素	指導水平 (Bq/litre) ^a	核素	指導水平 (Bq/litre) ^a
³ H	10000	⁹³ Mo	100	¹⁴⁰ La	100
⁷ Be	10000	⁹⁹ Mo	100	¹³⁹ Ce	1000
¹⁴ C	100	⁹⁶ Tc	100	¹⁴¹ Ce	100
²² Na	100	⁹⁷ Tc	1000	¹⁴³ Ce	100
³² P	100	^{97m} Tc	100	¹⁴⁴ Ce	10
³³ P	1000	⁹⁹ Tc	100	¹⁴³ Pr	100
³⁵ S	100	⁹⁷ Ru	1000	¹⁴⁷ Nd	100
³⁶ Cl	100	¹⁰³ Ru	100	¹⁴⁷ Pm	1000
⁴⁵ Ca	100	¹⁰⁶ Ru	10	¹⁴⁹ Pm	100
⁴⁷ Ca	100	¹⁰⁵ Rh	1000	¹⁵¹ Sm	1000
⁴⁶ Sc	100	¹⁰³ Pd	1000	¹⁵³ Sm	100
⁴⁷ Sc	100	¹⁰⁵ Ag	100	¹⁵² Eu	100
⁴⁸ Sc	100	^{110m} Aq	100	¹⁵⁴ Eu	100
⁴⁸ V	100	¹¹¹ Ag	100	¹⁵⁵ Eu	1000
⁵¹ Cr	10000	¹⁰⁹ Cd	100	¹⁵³ Gd	1000
⁵² Mn	100	¹¹⁵ Cd	100	¹⁶⁰ Tb	100
⁵³ Mn	10000	^{115m} Cd	100	¹⁶⁰ Er	1000
⁵⁴ Mn	100	¹¹¹ In	1000	¹⁷¹ Tm	1000
⁵⁵ Fe	1000	^{114m} In	100	¹⁷⁵ Yb	1000
⁵⁹ Fe	100	¹¹³ Sn	100	¹⁸² Ta	100
⁵⁶ Co	100	¹²⁵ Sn	100	¹⁰¹ W	1000
⁵⁷ Co	1000	¹²² Sb	100	¹⁸⁵ W	1000
⁵⁸ Co	100	¹²⁴ Sb	100	¹⁸⁶ Re	100
⁶⁰ Co	100	¹²⁵ Sb	100	¹⁸⁵ Os	100
⁵⁹ Ni	1000	^{123m} Te	100	¹⁹¹ Os	100

⁶³ Ni	1000	¹²⁷ Te	1000	¹⁹³ Os	100
⁶⁵ Zn	100	^{127m} Te	100	¹⁹⁰ Ir	100
⁷¹ Ge	10000	¹²⁹ Te	1000	¹⁹² Ir	100
⁷³ As	1000	^{129m} Te	100	¹⁹¹ Pt	1000
⁷⁴ As	100	¹³¹ Te	1000	^{193m} Pt	1000
⁷⁶ As	100	^{131m} Te	100	¹⁹⁸ Au	100
⁷⁷ As	1000	¹³² Te	100	¹⁹⁹ Au	1000
⁷⁵ Se	100	¹²⁵ I	10	¹⁹⁷ Hg	1000
⁸² Br	100	¹²⁶ I	10	²⁰³ Hg	100
⁸⁶ Rb	100	¹²⁹ I	1000	²⁰⁰ Tl	1000
⁸⁵ Sr	100	¹³¹ I	10	²⁰¹ Tl	1000
⁸⁹ Sr	100	¹²⁰ Cs	1000	²⁰² Tl	1000
⁹⁰ Sr	10	¹³¹ Cs	1000	²⁰⁴ Tl	100
⁹⁰ Y	100	¹³² Cs	100	²⁰³ Pb	1000
⁹¹ Y	100	¹³⁴ Cs	10	²⁰⁶ Bi	100
⁹³ Zr	100	¹³⁵ Cs	100	²⁰⁷ Bi	100
⁹⁵ Zr	100	¹³⁶ Cs	100	²¹⁰ Bi ^b	100
^{93m} Nb	1000	¹³⁷ Cs	10	²¹⁰ Pb ^b	0.1
⁹⁴ Nb	100	¹³¹ Ba	1000	²¹⁰ Po ^b	0.1
⁹⁵ Nb	100	¹⁴⁰ Ba	100	²²³ Ra ^b	1
²²⁴ Ra ^b	1	²³⁵ U ^b	1	²⁴² Cm	10
²²⁵ Ra	1	²³⁶ U ^b	1	²⁴³ Cm	1
²²⁶ Ra ^b	1	²³⁷ U	100	²⁴⁴ Cm	1
²²⁸ Ra ^b	0.1	²³⁸ U ^{bc}	10	²⁴⁵ Cm	1
²²⁷ Th ^b	10	²³⁷ Np	1	²⁴⁶ Cm	1
²²⁸ Th ^b	1	²³⁹ Np	100	²⁴⁷ Cm	1
²²⁹ Th	0.1	²³⁶ Pu	1	²⁴⁸ Cm	0.1
²³⁰ Th ^b	1	²³⁷ Pu	1000	²⁴⁹ Bk	100
²³¹ Th ^b	1000	²³⁹ Pu	1	²⁴⁶ Cf	100
²³² Th ^b	1	²³⁹ Pu	1	²⁴⁸ Cf	10
²³⁴ Th ^b	100	²⁴⁰ Pu	1	²⁴⁹ Cf	1
²³⁰ Pa	100	²⁴¹ Pu	10	²⁵⁰ Cf	1
²³¹ Pa ^b	0.1	²⁴² Pu	1	²⁵¹ Cf	1
²³³ Pa	100	²⁴⁴ Pu	1	²⁵² Cf	1
²³⁰ U	1	²⁴¹ Am	1	²⁵³ Cf	100
²³¹ U	1000	²⁴² Am	1000	²⁵⁴ Cf	1
²³² U	1	^{242m} Am	1	²⁵³ Es	10
²³³ U	1	²⁴³ Am	1	²⁵⁴ Es	10
²³⁴ U	10			^{254m} Es	100

a表中的指導水平，根據對數表示的平均值四捨五入到整數
(如對計算值小於 3×10^n 和大於 $3 \times 10^{n-1}$ 範圍內，則數值取 10^n)。

b指天然放射性核素。

c指飲用水中鈾-238的暫定準則值，根據對腎臟的化學毒性規定為 $15 \mu\text{g/L}$ 。

(二) 評價飲用水的方法

如果測量的二種總活度中有任何一個已超過了篩查水平，那麼應鑒定產生這一活度值的某些特定的放射性核素，並測量它們每一種放射性核素的活度濃度。從已獲得的資料對每一種放射性核素進行待積有效劑量的估算，然後確定這些核素的待積有效劑量之和。如果滿足下面附加公式，則不需要採取進一步行動：

$$\sum_i \frac{C_i}{GL_i} \leq 1$$

式中：

C_i = 測量的放射性核素 i 的活度濃度 (Bq/L)。

GL_i = 放射性核素 i 的指導水平值 (Bq/L) (見表 3 所示)，它表示如每天攝入 2 升水時，在 1 年中攝入的水得到該核素為 0.1mSv /year 的一個待積有效劑量值。

對於一次水採樣這個總和超過 1 還不能說明什麼，如果只要全年連續地測量而得到這些放射性核素的活度濃度相同的話，則可以說 0.1mSv 的參考劑量水平 (RDL) 就會超過。因此，這樣一次採集樣本本身並不能暗示這種水不適用於飲用，而是應把它看作一種跡象，需要做進一步調查，包括進行附加採樣。首先，必須進行重復性的總 β 和總 α 的活度篩查，如果後續測量的總活度超過了推薦的實際的篩查水平值時 (如分別對總 β 為 1Bq/L，對總 α 為 0.5Bq/L)，應再對單個放射性核素進行專門的分析。圖 2 匯總了對這些建議的應用流程。

對總 β 的測量包括鉀-40 的貢獻，天然發生一個 β 的發射體與穩定性的鉀有固定

的比值。鉀是人體中的一種必不可少的元素，主要通過食入的食品中被吸收。鉀-40 在人體中不累積，而是維持在一個恒定水平，與攝入多少無關。因此，鉀-40 的 β 放射性活度的貢獻從單獨測定的總鉀後加以扣除。已知鉀-40 的比活度是鉀的 30.7Bq/g。然而，並非鉀-40 所有輻射僅是 β 放射性活度，已知鉀-40 的 β 放射性活度是穩定鉀的 27.6Bq/g，因此，應用這個因子計算由於鉀-40 所產生 β 放射性活度看來是正確的。

(三) 補救措施

如果總活度計算超過參考劑量水平 (RDL) 0.1mSv/year，則應對負責的部門所採取的降低劑量的方案進行審查。如需採取補救措施，應針對所有擬採用的方案進行論證 (亦即能達到某種淨利益)，然後根據 ICRP 建議書 (1989, 1991) 實施最優化措施，以獲得最大的淨利益。

五、氡

(一) 空氣和水裏的氡

天然輻射照射的最大份額來自於氡。氡是一種放射性氣體 (見表 1 和圖 1 所示)；作為鈾系衰變的中間產物，它是岩石和土壤中的鐳發生衰變後的產物。氡這一術語一般是指原子序數為 86 的元素的同位素 Rn-222。實際上，氡在地球上無處不在，特別是在地面空氣中和建築物中。

含有天然鈾的地下岩石不斷地釋放出氡氣滲入到與其接觸的水中 (地下水)。氡從地表水中很容易地釋放出來。因此，地下水可能比地表水含有更高濃度的氡。來自地表水的自來水中氡的平均濃度低於 0.4Bq/L，而來自地下水源的自來水中氡的濃

度約為 20Bq/L。已查明一些水井中含有較高濃度的氡，比之自來水中氡平均濃度可高達 400 倍以上；在很少情況下，水井中氡濃度可超過 10kBq/L。

為評價氡的食入所致劑量，重要的一點是在水消費前要考慮對水的排氡處理技術的影響。況且，供普通家庭使用未進行排氡處理（通常用通風的方法）的地下水供應設施時，會增加室內空氣中的氡水平，從而增加氡的吸入所致劑量。這種劑量在很大程度上取決於家庭使用地下水的方式和房屋的結構（NCRP1989），因為室內空氣氡絕大部分是來自房屋的地基滲入，而非來自地下水。在全世界範圍內，人們攝入水的數量和形式、家庭中水的其他用途以及房屋結構都存在較大差異。

UNSCEAR 報告書（2000）引用了美國國家科學院（US NAS）的一份報告（1999）指出，“在飲用水中氡所致平均照射劑量很低，吸入所致劑量為 0.025mSv/year，食入所

致劑量為 0.002 mSv/year”，這比之在空氣中吸入氡和其衰變產物所致劑量（1.1mSv/year）要小得多。

(二)危險性

該報告同時指出，在美國，肺癌死亡病例中有 12%可能與室內空氣中的氡（Rn-222 及其短壽期衰變產物）有關（US NAS，1999）。因此，氡導致每年約有 19,000 人因肺癌死亡（範圍為 15,000~22,000），而每年死於肺癌的總人數約為 160,000，主要是因吸煙所致（US NRC，1999）。

該 US NAS 報告（1999）指出，來自飲用水中氡照射的危險是吸入空氣後氡照射的危險的 1/100(即，每年僅死亡 183 人)。室內空氣中的氡所致肺癌死亡人數每年約為 19,000 人，另有約 160 例肺癌死亡病例是由於室內使用的水所發射出氡被人們吸入所致。相比之下，約 700 例肺癌死亡病例是人們在室外時因受到天然水平的氡照射所致。

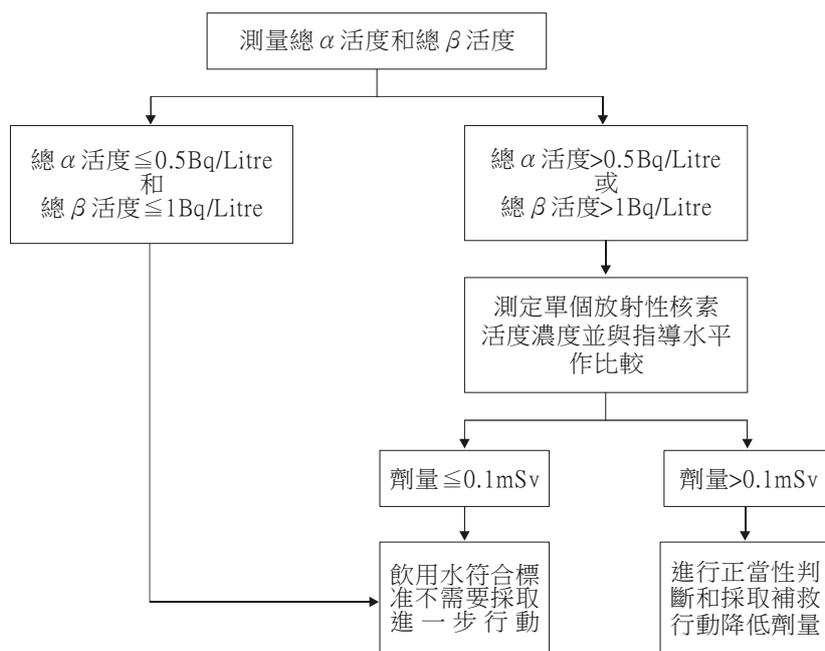


圖 2 飲用水中的放射性核素的篩查水平和指導水平的應用程式

該 US NAS 報告 (1999) 也評價了由於飲用水中低濃度的、已溶解的氡被食入後誘發胃癌的危險，其致死率每年約為 20 人；相比之下，在美國，因其他原因誘發胃癌而死亡的人數每年約為 13,000 人。

(三)對飲用水供應設施中的氡的指導

如果公用水供應系統中飲用水的氡活度濃度超過 100Bq/L 時，應採取控制措施。任何一種採用地下水的新建飲用水供應(尤其是公用供水)設施在投入使用之前都應進行檢驗。如果氡的活度濃度超過 100Bq/L，應對水源進行處理，將氡濃度水平降低至 100Bq/L 以下。如果在水源周圍存在大量能產生氡的礦石，則對較大規模的飲用水供應設施可能需要定期檢測含氡量，如每 5 年一次。

六、採樣、分析和報告

(一)對總 α 和總 β 活度濃度的測量

為了分析飲用水的總 α 活度和總 β 活度 (不包含氡)，最通用的一個方法是蒸發已知容積的水樣使之乾燥後測量殘餘物的活度。由於 α 輻射在薄層的固態物質中很容易被吸收，因此如果用一個高 TDS 的樣品可能會降低 α 測量方法的可靠性和靈敏度。

應盡可能使用標準化的方法測量總 α 活度和總 β 活度的濃度。在表 4 中列出了開展這種分析的三種程式。

用蒸發法測量總 β 活度包含鉀-40 的貢獻，因此，如果總 β 的篩查值超標，則還需要對總鉀進行附加分析。

共沈澱技術 (APHA, 1998) 不包含鉀-40 的貢獻。因此，不需要再作總鉀測定。這種方法不適用於對含有一些裂變產物的水樣的測定，如銫-137。但是，在正常情況下，飲用水供應設施中的裂變產物的活性濃度是特別低的。

(二)氡的測量

由於在水的處理過程中氡很容易從水中逸出，所以計算飲用水中 Rn-222 的活度濃度較困難。攪拌水和把水從一個容器倒到另一個容器時將會釋放出溶解在水中的氡。根據廣泛採用的 Pylon 技術 (Pylon, 1989, 2003)，檢測飲用水中的氡時使用的是一種水的排氣裝置和 Lucas 閃爍室。灑在實驗臺上的水會減少氡活度的測得值，把水煮沸會完全排掉水中的氡。

表 4 對飲用水中總 α 活度和總 β 活度的分析方法

方法，參考標準	技術	探測限	應用
國際標準化組織 (ISO): ISO-9695 (總 β) ISO-9696 (總 α) (ISO, 1991a, 1991b)	蒸發法	0.02-0.1 Bq/Litre	TDS>0.1 g/Litre 的地下水
美國公共衛生學會 (APHA,1998)	共沈澱法	0.02 Bq/Litre	地表水和地下水 (TDS 不是一個因素)

(三)採樣

爲了確定飲用水供應設施是否適合，在其設計和建造之前應對新的公共供水設施的地下水源至少進行一次採樣，以判定供水的放射質量，評價放射性核素濃度的季節性變化。其中應包括對氡及其子體的分析。

一旦測量證明該供水的放射性水平在正常範圍內，就可以降低採樣頻率，例如，可以每 5 年採樣一次。然而，如果在供水附近存在潛在的放射性核素污染源（如採礦活動或核反應爐等），則應增加採樣頻率。對於來自影響較不明顯的地表水和地下水的供水，可減少採樣頻率。

來自地下水源的供水中的氡及其子體的活度水平通常不隨時間而改變。因此，對這種水中的氡及其子體的監測頻率可以相對低些。爲了確定水源中是否存在高濃度的氡及其子體時，應對所在地區的地質狀況有所瞭解。如果在臨近地區有礦區存在，就會造成一種額外的危險；在這種情況下，有必要加大採樣監測的頻率。

在澳大利亞和紐西蘭的國家標準中（AS，1998），就有關水質評估、採樣技術/方案以及樣品的保存和處理等提供了指導意見。

(四)結果的報告

對每一個樣品的分析結果應包括下述資訊：

- ◎樣品的識別編碼或者識別資訊。
- ◎報告結果的提交日期和時間（如，樣品收集日期）。
- ◎確定使用了何種標準分析方法，或者對所使用的任一非標準的分析方法作出簡要描述。

- ◎確定是何種放射性核素，或者確定其類型和總放射性活度。
- ◎對每一種放射性核素使用適當的盲法計算出以測量爲基礎的濃度值或者活度值。
- ◎評估計數的不確定度和總預期不確定度。
- ◎給出每一種放射性核素或被分析的參數的最小可探測濃度。

對報告結果的總預期不確定度的估計值應包括在分析方法中使用的所有參數的貢獻（如，計數的不確定度以及其他隨機的和系統的不確定度或誤差）。

日本自來水受輻射污染相關作法

文/本刊編輯小組

一、前言：

有關 2011 年 3 月 11 日日本東北福島大地震及海嘯引發的日本福島核災事故，經濟部水利署於 100 年 5 月 25 日經水事字第 10031004480 號函檢送日本代表處經濟組蒐集日本福島核災事故後，自來水輻射處理相關作法。提供國內自來水事業相關單位參酌及應對。主要內容如下所示：

◎日本福島核災事件發生後，日本政府除根據「原子力災害特別處置法」第 15 條規定，由總理發佈進入核能事故緊急狀態外，為維護全國民眾之飲用水安全，亦由文部科學省統籌委託各都道府縣之地方公共團體、水道事業體及研究機構等單位，每日監測自來水輻射量濃度，相關資料公布於各地方水道局、厚生勞動省 (www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000000y9sd.html) 及文部科學省 (www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/index.htm) 等機構網站。

◎厚生勞動省健康局水道課於本年 3 月 19 日及 21 日，行文各地方自來水相關事業機構，要求一旦發現水中輻射濃度超過指標值(輻射碘 100Bq/Kg、幼兒攝取標準值為 100Bq/Kg，輻射銻 200Bq/Kg)，須周知民眾注意。

◎此外，該省 3 月 26 日通告進一步建議自來水相關事業機構盡量減少或暫緩在降雨期間(特別在降雨初期)汲取表面水的作業及採取覆蓋塑膠布等措施，以降低淨水廠

受雨水夾帶輻射線物質污染程度。至於放射線物質則可考慮利用活性炭處理法進行淨水處理。

◎檢附日本國立保健醫療科學院水道工程部公布之「各淨水過程處理放射性物質之效果」資料供水道事業及民眾參考。

二、日本自來水受輻射污染相關作法：

(一)福島第一、第二核電廠事故自來水事業之因應對策

平成 23 年(2011 年)3 月 11 日內閣大臣依據原子力災害特別措置法(中譯：核能災害特別處置法)第 15 條，針對東京電力公司所屬之福島第一、第二核電廠，宣布核能事故狀態，並關切輻射性物質對周邊區域之影響。因此，文部科學省委託各都道府縣採取水龍頭自來水檢測輻射性物質。

今後，假設檢測值超過「飲食相關攝取限制指標」(以下指標)，自來水超過指標值之因應對策，厚生勞動省健康局水道課長之見解如下：

1. 超過指標時，避免飲用。
2. 可當作一般生活用水使用。
3. 無替代飲用水時，即使飲用亦不妨礙。

請貴單位了解下列事項，並周知指導所管自來水事業單位。

本通知依地方自治法(昭和 22 年法律第 67 號)規定之技術補充。

詳細說明如下：

1. 超過指標值，原子力災害對策本部(中譯：核能災害應變總部)指示自來水攝取限制

時，供應超過指標值自來水之事業單位，得公告避免飲用自來水。(飲用以外之利請參照事項 3.)

2. 超過指標值，原子力災害對策本部指示自來水攝取限制之實施前，供應超過指標值自來水之事業單位，原則上得公告避免飲用自來水。但是指標值依據國際輻射防護委員會 (ICRP) 所訂之輻射防護基準，考量長期暴露之影響；一時攝取超過指標值之自來水，對人體不會產生立即影響；依據 ICRP Publication 63 「輻射緊急時公眾防護介入之相關原則」，不易供應替代飲用水，無水飲用而有影響健康之虞時，則不嚴格限制飲用自來水。

3. 避難區域以外之地區，超過指標值時，若限制飲用以外之洗手、沐浴等其它用途之利用，顯著妨礙生活環境及復原支援活動，考量因洗手、沐浴等皮膚接觸、自來水揮發吸入風險之技術性檢討。飲食物攝取以外用之風險，若推算飲食物攝取之風險相當小，認為可作飲用以外的用途。

4. 對輻射性物質處理之知識少，但有活性炭處理去除效果之知識，檢驗出接近指標值之自來水事業，可檢討採用粉末活性炭，組合處理至指標值以下。超過指標值時，厚生勞動省應建置飲用水供給支援體制。

【參考 1】核能安全委員會訂定之食物飲水限制之指標值：

輻射性碘：300Bq/Kg

輻射性鈾：200Bq/Kg

【參考 2】「食物飲水攝取限制相關指標」之說明

原子力安全委員會依據國際輻射防護委員會建議的輻射線防護基準 (輻射性鈾為

5 毫西弗/年、輻射性碘甲狀腺(等價)線量為 50 毫西弗/年(實際有效線量為 2 毫西弗/年^註)，考量我國食品攝取量定訂食品分類(飲料水、食品等)之指標值。

註：依據 ICRP Publication 103(2007)甲狀腺之組織加重係數乘以 0.04 而算出。

【參考 3】輻射線強度之表示單位

輻射能為輻射線 (X 射線) 釋放能力，「食物飲水攝取限制相關指標」之表示單位貝克 (Bq, Becquerel 的縮寫) 為輻射線強度測量單位，1 貝克為一秒間一個原子核分裂所釋放出的能量。人體輻射線曝露時影響程度之表示單位為西弗 (Sv, Sievert)。

Bq 與 Sv 的換算方式如下：

1. 檢驗出含有 200Bq 的輻射性鈾 137 之飲水，一名成年男子飲用 1 公升的情況下，其身體所遭受的輻射污染量為：

$200 \times 1.3 \times 10^{-5} = 0.0026 \text{mSv}$ (毫西弗 = Sv 之 1/1,000)

2. 檢驗出含有 300Bq 的輻射性碘 131 的飲水，一名成年男子飲用 1 公升的情況下，其身體所遭受的輻射污染量為：

$300 \times 2.2 \times 10^{-5} = 0.0066 \text{mSv}$

* 實效線量係數 (經口)：為評估經口攝取輻射性物質 (單位為 Bq) 對人體影響之實效線量之換算係數 (單位為 Sv)。輻射線危害防止法規定依核種、化學型態、攝取途徑等計算之。

上述 2. 算出對人體影響約 0.007mSv，約為搭機從東京飛抵紐約人體影響輻射量 (約 0.1mSv) 之 14 分之 1；胃部 X 光檢查 (一次) 人體影響輻射量 (約 0.6mSv) 之 86 分之 1。

【參考 4】ICRP Publication 63 輻射緊急時公眾防護介入 (即飲食攝取限制) 之相關原則。

替代食品不易取得狀況，或居民群眾陷入重大混亂狀況，可設定比平常介入程度更高的預測線量介入程度（攝取限制），可能有其正當性。

【參考 5】淨水處理去除碘 131 之相關知識
對輻射性物質處理之知識少，但有活性炭處理去除效果之知識。

- 報告指出鋁鹽混凝劑添加活性炭（5 至 15ppm），經混凝沈澱去除率約 60~70%。
- 粉末活性炭去除碘 131 之實驗，於原水中活性炭添加率為 5、30 及 200mg/L，去除率分別為 74%、100%、100%。同樣實驗添加於過濾水時，活性炭添加率為 5、30 及 200mg/L，過濾水中碘 131 去除率分別為 22%、39%、47%。

(二)含輻射性物質自來水飲用以外用途之風險

原子力安全委員會訂定「食物飲水攝取限制指標」，依輻射性碘 131 及輻射性銫 137 相關之水利用形態推估線量，推估含這些輻射性自來水作為飲用以外之風險。自來水飲用以外之利用形態，有 2 個曝露途徑影響曝露線量。

1.沐浴、洗手

300Bq/L 輻射性碘 131 (I-131) 即為全身浸泡浴缸之濃度 $0.3\text{Bq}/\text{m}^3$ ，均勻分布於浴缸碘 131 濃度與實效線量率之換算係數為 3.7×10^{-11} ($\text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s}/\text{cm}^3)$) (EPA-402-R-93-081, Federal Guidance Report No.12)，實效線量率實為 $1.1 \times 10^{-11}\text{Sv}/\text{d}$ ，以每日沐浴時間 30 分鐘（1800 秒）估算，則每日為 $2.0 \times 10^{-8}\text{Sv}/\text{d}$ ；每日沐浴，則每年為 $7.3 \times 10^{-6}\text{Sv}/\text{y}$ (0.0073mSv/y)。同樣地，輻射性銫 137 (Cs-137) 為 300Bq/L、換算係數為 5.5×10^{-11}

($\text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s}/\text{ml})$)，計算得 1 年為 $7.2 \times 10^{-6}\text{Sv}/\text{y}$ (0.0072mSv/y)。

若洗手與水接觸部位與全身比較，接觸面積小且接觸時間短，則可認為比上述沐浴線量小。沐浴、洗手之後，皮膚上殘存液體少，乾燥則多汽化而再減少。同樣地，以水洗滌衣物之情形，乾燥則多汽化，衣物上殘存輻射性物質少。因此，飲料水攝取限制值之水用於沐浴等，由全身接受線量觀點，則可認為風險極低。

2.自來水揮發之線量推估

含 300Bq/L 輻射性碘 131 (I-131) 之水每日使用 300 公升，於洗滌、沖廁及浴室、廚房清洗時使用量各三分之一。假設利用於洗滌及沖廁之不會揮發，利用於清洗浴室及廚房會揮發，碘 131 量為 30kBq。依醫藥發第 188 號通知之醫療排水、排氣等相關輻射性同位素濃度計算，液體飛散率以千分之一計，汽化水中所有碘 131 則相當於 30Bq。假設生活空間為 40 立方公尺之密閉體積，每日呼吸量 20 立方公尺、半數吸入，實效線量率之換算係數為 $2.0 \times 10^{-5}\text{mSv}/\text{Bq}$ (依據厚生勞動省第 398 號告示第 2 條關於輻射性同位素吸入攝取時之實效線量係數)，則換算得 30Bq 約相當於 $0.3 \mu\text{Sv}/\text{d}$ ，換算 1 年為 0.11mSv/y。

同樣地，輻射性銫 137 (Cs-137) 為 200Bq/L、實效線量率係數為 $3.9 \times 10^{-5}\text{mSv}/\text{Bq}$ ，計算得 1 年為 0.14mSv/y。實際上，被吸入輻射性物質並非完全曝露，被曝露線量相當少。

以上是自來水用於飲用以外用途時之推估曝露量，與原子力安全委員會訂定的食物攝取限制之輻射性碘 131 (I-131) 甲狀腺

(等價)線量 50mSv/y (相當於實效線量 2mSv/y^註)、輻射性銫137 (Cs-137) 之實效線量 5mSv/y 相比較,則可認為非常小。以上推估,乃假設持續一年暴露於相同輻射性物質之自來水,一時超過這個數值,不顯示立即影響健康。

註:依據 ICRP Publication 103(2007)甲狀腺之組織加重係數乘以 0.04 而算出。

(三)嬰兒飲用自來水之因應措施

2011 年 3 月 19 日厚生勞動省健康局水道課長發布「福島第一、第二核電廠事故之自來水因應措施」,自來水超過「飲食物攝取限制指標(詳見參考 1)」(以下稱指標)之因應措施,厚生勞動省健康局水道課長之見解如下:1.避免飲用超過指標的自來水,2.可當作一般生活用水使用,3.無替代飲用水時,即使飲用亦不妨礙。請貴單位了解並周知指導。

基於食品衛生法之暫定管制值,當自來水的輻射碘含量超過 100Bq/kg (貝克/公斤)時,建議指導不要使用自來水沖泡奶粉或嬰兒飲用。

因此,自來水輻射碘含量超過 100Bq/kg 時,供水之自來水事業單位應公告宣導「避免使用自來水沖泡嬰兒奶粉讓嬰兒飲用、及讓嬰兒飲用自來水」。該數值為假設人體長期接觸時之輻射超過指標之健康影響,無法確保飲用水替代水源時,即使飲用亦不妨礙。請貴單位了解上述,並周知指導所管自來水事業。

本通知為依地方自治法(昭和 22 年法律第 67 號)規定之技術補充諮詢。

參考來源:

(1)原子力安全委員會訂定飲食物限制指標值

輻射碘(飲用水)300Bq/kg (貝克/公斤)

輻射銫(飲用水)300Bq/kg (貝克/公斤)

(2)基於食品衛生法所暫訂之指標值(摘錄)

輻射碘(牛乳・乳製品)300Bq/kg (貝克/公斤)^(註)

註:當含量超過 100Bq/kg 時,建議指導不要作為沖泡嬰兒奶粉或讓嬰兒直接飲用。

(3)「飲食物攝取限制指標」之概念

原子力安全委員會依國際輻射防護委員會(ICRP)之建議輻射防護標準(輻射銫之容許輻射量為 5 毫西弗/年,輻射碘之甲狀腺容許輻射量為 50 毫西弗/年(相當於容許輻射量 2 毫西弗/年^(註)),考量我國食品攝取量定訂食品分類(飲料水、食品等)之指標值。

註:依據 ICRP Publication 103(2007)甲狀腺之組織加重係數乘以 0.04 而算出。

(四)因應輻射物質擴散降雨後地表水取水控制或停止之因應措施

依自來水中輻射性物質檢出狀況,降雨後有檢出高濃度輻射性物質傾向,在可能範圍控制或停止降雨後地表水(特別是初期降雨)之取水,則有可能控制自來水中輻射性銫 131 等之濃度等級。

貴事業單位在不妨礙自來水供給範圍內,檢討控制或停止降雨後之取水量、覆蓋淨水場(短期間開放設施以塑膠布等覆蓋)等因應方案對策。

如通知所記,有報告指出粉末活性碳有減低若干輻射量效果,亦請一併檢討。

參考資料:

1.文部科學省ホームページ 全國の放射線モニタリングデータ(中譯:文部科學省首頁,全國輻射線監測資料)

2.原子力安全委員會ホームページ 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステムの試算について（中譯：核能安全委員會首頁，緊急時輻射影響快速預測網路系統之試算。）

(五)淨水程序輻射性物質去除性能之文獻回顧

淨水程序輻射性物質去除性能，考量以下事項，彙整目前已報告之主要研究結果。

- 輻射性物質於各淨水程序（混凝沉澱等、砂濾、活性炭、離子交換等、其它）、模廠實驗、實際淨水場之實際調查，分類彙整之結果。
- 某元素去除性能，依是否為輻射性物質，非去除性能相異，基本上乃採用輻射性物質實驗結果。
- 即使淨水程序相同，因依文獻去除率相異，儘可能記載實驗條件。
- 淨水程序組合時（混凝沉澱等與砂濾、混凝沉澱與活性炭）之結果，記載各淨水程序之結果。
- 彙整各淨水程序各元素去除率之報告書（Brown et al., 2008a），此報告書無特別敘述，但如表 1 之一覽表所示。
- 本次彙整之際，未提出逆滲透。上述報告書報導尺寸大的分子與離子去除率高。
- 依文獻僅記載 cpm 值，因依量測條件之換算不同，故 Bq 值未表示出。

(六)自來水淨化過程中清除放射性物質之回顧

茲就目前為止有關在淨水程序中去除放射性物質之主要研究成果報告，考慮以下幾點加以彙整。

- 針對放射性物質，係區分每個淨水處理程序（混凝沉澱等，砂濾、活性炭和離子交換等、其他）和模場實驗、淨水場實際調查成果予以彙整。
- 對於某些元素之去除性，雖然不會因是否含有放射性物質而有所不同，基本上，僅將針對放射性物質所做之試驗成果予以摘錄。
- 由於即便相同之淨化程序，不同文獻所載，去除率亦有差異，因此儘可能將試驗條件也加以記載。
- 複合處理程序者（如混凝沉澱與砂濾，混凝沉澱與活性炭等）則記載每一個處理程序之成果。
- 對於每一個水處理程序之去除率，已經有依元素別彙整之報告（Brown et al., 2008a）。摘錄此報告書之內容不特別說明，而示如表 1。
- 此次彙整之報告雖未包含逆滲透法，然而上述報告中已有較大分子或離子之去除率較高之報導（如表 1）。
- 在參考文獻中，僅以 cpm 值記載，考量因量測條件換算不同，並未以 Bq 值表示。

表 1 各種水處理程序對放射性物質之去除性 (Brown et al., 2008a)

元素	混凝沉澱	砂濾 ^c (快&慢)	活性炭	蘇打石灰 (軟化) ^d	天然沸石 (粘土成份)	離子交換 ^e (混合媒介)	逆滲透 ^f	去除率(%)
鈷(Co)	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	XXXX	X=0~10%
硒(Se)	XXX	XX	XX	X	XXX	XXX	XXXX	
銦(Sr)	XX	XX	X	XXXX ^g	XXX	XXX	XXXX	XX=10~40%
鋯(Zr)	XXXX	XX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
銱(Nb)	XXXX	XX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	XXX=40~70%
鉬/錳 (Mo/Tc)	XXX	XXX	XX	X	X	XXX	XXXX	
鈦(Ru)	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	XXXX	XXX=>70%
碘(I)	XX	XX	XXX	X	XX	XXX	XXXX	
碲(Te)	XXX	XX	XX	X	XXX	XXX	XXXX	
銻(Cs)	XX	XX	X	XX	XXX	XXX	XXXX	
鋇(Ba)	XXXX	XXX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
鐳(La)	XXXX	XXX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
鈾(Ce)	XXXX	XXXX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
鐿(Yb)	XXX	XXX	X	X	XX	XXX	XXXX	
銱(Ir)	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	XXXX	
鐳(Ra)	XX	XXX	XX	XXXX ^g	XX	XXXX	XXXX	
鈾(U)	XXXX	X	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX	
釷(Pu)	XXXX	XX	XXX	X	XXX	XXXX	XXXX	
錒(Am)	XXXX	XX	XXX	X	XXX	XXXX	XXXX	

a)幾乎所有之水處理設施，會採用到表中所示 1 種以上之程序。在這種情況下，串連程序之去除率會有乘數效應。例如第一道程序之去除率為 50%，下一道程序之去除率也是 50%時，因方第二道程序係處理殘留部分，因此意味其總去除率為 75%。

b)表中數據僅為化學性去除率。因此，吸附在顆粒上之元素，因為是非化學性之物理性去除，故不予表列。欲了解更多信息，第 3 條提出報告說明有人形容 (布朗等人, 2008b)。

c)報告內之去除率係化學性之砂濾處理，而非機械性之過濾固體物質。

d)對於某些沒有資料之特定元素，用石灰蘇打軟化，被認為幾乎 (完全) 無效，其去除率可選<10%。

e)離子交換之數據，乃假定陽離子/陰離子交換之混合體。

f)逆滲透僅適用於用濾膜簡單來作物理性過濾裝置，不包括精密之過濾。

g)鈣係作為載體，係為了促進沉澱 (其目的為了調整 pH 值)，再混凝沉澱程序時添加石灰 (氧化鈣)，可提高銦、鐳之去除率。然而，添加石灰，去除率可以提高多少並無報導。

由日本福島核電廠事變看台灣地區公共給水對輻射災害之因應

文/林杰熙、王藝峰

一、前言

水是維持人類生命之重要物質，其維繫人體運作之各項機能，且在生活上，水亦扮演著重要的角色（如環境衛生），所以為使國民能方便取用量足質優之飲用水，先進國家無不對於國民集中聚集居住之地方提供自來水；由於其使用人數眾多，對於其水質便有一定之標準，如飲用或使用未符合者，輕者影響一時的健康，嚴重時則會造成致命，再者如水質不符標準，則其便不能供水，影響大眾飲用與使用之所需水量，小則一時取用不便，大者甚至會影響社會之穩定，故對於自來水所提供之水質不可不慎。

而其中對於放射性物質之含量更是需有一定之標準；此乃放射性物質會產生輻射所致，雖然輻射是隨時隨地存在的，在環境中常常都可檢驗出來，然而過量之輻射對人體細胞會產生破壞，造成細胞死亡或 DNA 產生突變，所受照射劑量高時立刻致命，稍低則會增加癌症或 DNA 疾病發生的機會；當人類飲用含有過量放射性物質之飲水時，則會依人體代謝速率而有一段時間停留於人體內，使輻射持續照射人體組織，產生不良影響。

此次日本福島核電廠發生事變，產生許多高輻射劑量之人工放射性物質，隨著噴發至大氣中，飄散之其他地區，台灣雖距離該地甚遠，但為慎重起見，對於公共給水仍啟動相當多之作為，且因台灣地區有 3 座運作中，1 座興建中之核電廠，再加上鄰近中國東南沿海亦有多座核電廠，故亦藉此機會重

新審視公共給水因應輻射災害時之相關措施，並於未來納入相關機關及事業之平時準備運作中。

二、日本福島核電廠事變公共給水部分概述

日本東北地區宮城縣外海於 2011 年 3 月 11 日下午發生芮氏規模 9 級強震，隨後引發大海嘯侵襲，使得東京電力公司福島第一核電廠 1 至 3 號反應爐在地震發生立即自動停機後，因地震造成反應機組喪失外部供應電源，及海嘯摧毀原可啟動之緊急備用柴油發電機之影響下，陷於完全斷電狀況，加上冷卻系統組件故障且遲無法供應電力，致使無法冷卻反應爐及機組內之高溫燃料棒，造成核子事故。

隨著情勢演進，反應爐容器內水溫上升並大量蒸發，導致燃料棒露出水面，其後因化學反應產生氫氣，並爆炸，使得大量放射性物質散逸至大氣中，並隨著大氣運動及地球自轉，擴散至其他地區。

其後為維護日本民眾之飲用水安全，由文部科學省統籌委託各都道府縣之地方公共團體、水道事業體及研究機構等單位，每日監測自來水輻射量濃度，相關資料公布於各機構網站。

至 3 月 22 日因降雨，東京都水道局於部分淨水場測得放射性碘-131 每公升 210 貝克，因未達日本每公升 300 貝克之限飲標準，故日本政府表示成人可安心飲用；惟因 3 歲以下幼兒易受輻射線影響，故該國厚生

勞動省爰制訂每公升不得超過 100 貝克之嚴格上限值，並建議部分地區居民勿讓幼兒飲用自來水；東京市政府為顧及 3 歲以下幼兒權益，每日發送每位幼兒 3 瓶 550 毫升之礦泉水；直至 3 月 28 日自來水已未測得任何放射性物質，恢復正常飲水。

此外 3 月 26 日通告進一步建議自來水相關事業機構盡量減少或暫緩在降雨期間(特別在降雨初期)汲取表面水的作業及採取覆蓋塑膠布等措施，以降低淨水廠受雨水夾帶輻射線物質污染程度。至於放射線物質則可考慮利用活性炭處理法進行淨水處理。

三、台灣地區因應作為概述

自日本 311 地震發生，福島核電廠發生核子事變後，政府即隨時監視事件之發展，至發生放射性物質散逸大氣後，隨著世界各地檢測出微量福島核電廠產生之放射性物質後，政府為免該放射性物質影響公共給水，自 3 月 23 日起啟動加強因應作為，請重要水庫及給水場每週檢送水樣至台灣電力公司放射實驗性進行檢驗直至 5 月 30 日情勢緩和後停止，其間共計送檢 9 次，其檢驗結果均為未檢出（如附表 1）。

表 1 台灣電力公司放射試驗室報告

經濟部水利署
水樣放射性委託分析結果報告

測試實驗室地址：新北市石門區乾華里小坑 12 號 單位：貝克／公升

取樣地點	取樣日期	加馬能譜分析					
		人工放射性核種				天然放射性核種	
		錳-54	鈷-60	碘-131	銫-137	鉍-7	鉀-40
明德水庫	5/23	<MDA (0.40)	<MDA (0.40)	<MDA (0.66)	<MDA (0.44)	<MDA (4.13)	<MDA (6.00)
明德給水廠	5/23	<MDA (0.39)	<MDA (0.33)	<MDA (0.70)	<MDA (0.36)	<MDA (3.71)	<MDA (5.13)
豐原給水廠	5/24	<MDA (0.32)	<MDA (0.41)	<MDA (0.60)	<MDA (0.36)	<MDA (3.77)	<MDA (4.73)
宜蘭深溝淨水廠	5/23	<MDA (0.36)	<MDA (0.33)	<MDA (0.53)	<MDA (0.40)	<MDA (4.22)	<MDA (5.68)
花蓮給水廠	5/23	<MDA (0.56)	<MDA (0.39)	<MDA (0.72)	<MDA (0.54)	<MDA (5.23)	<MDA (7.94)
石門水庫	5/23	<MDA (0.38)	<MDA (0.34)	<MDA (0.63)	<MDA (0.38)	<MDA (3.52)	<MDA (5.10)
鯉魚潭水庫	5/23	<MDA (0.52)	<MDA (0.41)	<MDA (0.72)	<MDA (0.59)	<MDA (4.99)	<MDA (7.85)
石岡水庫	5/23	<MDA (0.43)	<MDA (0.39)	<MDA (0.67)	<MDA (0.40)	<MDA (3.59)	<MDA (5.32)
台中給水廠	5/23	<MDA (0.51)	<MDA (0.53)	<MDA (0.93)	<MDA (0.71)	<MDA (6.01)	<MDA (8.76)
彰化給水廠	5/23	<MDA (0.43)	<MDA (0.37)	<MDA (0.64)	<MDA (0.51)	<MDA (4.24)	<MDA (6.40)

*摘錄自台灣電力公司放射試驗室檢測報告

此外為使各自來水事業及水庫管理單位有所依循，3 月 30 日研擬「公共給水受輻射污染因應作業機制暫行草案」（如附錄 1），內容包括水源及淨水處理輻射標準及監測機制、應變措施及機制等。

其後為增進未來公共給水及水庫原水因應輻射災害之措施，辦理「公共給水及水庫原水輻射災害防救業務計畫」、「水庫管理機關因應遭受輻射污染監測措施」及「自來事業因應遭受輻射污染淨水場監測措施」之研擬，並參與「核安 17 號」演習，想定狀況之處置等。

四、後續探討

(一)公共給水放射性物質標準

對於放射性物質於飲用水之安全，世界各國均訂有一定之標準（如附表 2），是以我國亦於「商品限量標準」中對飲用水訂有標準；為該標準係對「飲用」產生限制，但對於「使用」並未有標準存在，是以對使用是否應管制產生疑慮。

依據日本政府厚生勞動省健康局資料，其因應對策如下：

1. 超過指標值，指示自來水攝取限制時，供應超過指標值自來水之事業單位，得公告避免飲用自來水。
2. 超過指標值，指示自來水攝取限制之實施前，供應超過指標值自來水之事業單位，原則上得公告避免飲用自來水。但是指標值依據國際輻射防護委員會（ICRP）所訂之輻射防護基準，考量長期暴露之影響；一時攝取超過指標值之自來水，對人體不會產生立即影響；依據 ICRP Publication 63「輻射緊急時公眾防護介入之相關原則」，不易供應替代飲用水，無水飲用而有

影響健康之虞時，則不嚴格限制飲用自來水。

3. 避難區域以外之地區，超過指標值時，若限制飲用以外之洗手、沐浴等其它用途之利用，顯著妨礙生活環境及復原支援活動，考量因洗手、沐浴等皮膚接觸、自來水揮發吸入風險，若推算飲食物攝取之風險相當小，認為可作飲用以外的用途。
4. 對輻射性物質處理之知識少，但有活性碳處理去除效果之知識，檢驗出接近指標值之自來水事業，可檢討採用粉末活性碳，組合處理至指標值以下（有報告指出鋁鹽混凝劑添加活性炭（5 至 15 ppm），經混凝沈澱去除率約 60~70%。另粉末活性碳去除碘 131 之實驗，於原水中活性碳添加率為 5、30 及 200 mg/L，去除率分別為 74%、100%、100%。同樣實驗添加於過濾水時，活性碳添加率為 5、30 及 200 mg/L，過濾水中碘 131 去除率分別為 22%、39%、47%）。超過指標值時，厚生勞動省應建置飲用水供給支援體制。

是以依據日本政府經驗，由於飲用以外之使用，其風險性小，故暫不限制其使用，且對於如缺乏飲用水時，短暫時間飲用含放射性物質之飲水，尚可接受；上述作為在台灣尚未取得共識，長期來說仍應對此議題進行進一步之研究，以作為未來因應輻射災害時，因應措施之參考。

(二)取得認證之放射性物質檢驗實驗室之檢驗能量

台灣地區取得實驗室認證之放射性物質檢驗實驗室僅有行政院原子能委員會核能試驗所、輻射偵測中心、台灣電力公司放射實驗室及清華大學原子科學技術發展中

心等 4 處；在平時有關自來水之輻射檢驗，係由行政院原子能委員會輻射偵測中心每半年抽驗 1 次（如附錄 2），但在此次日本福島核電廠事變事件處理中，由於多種食物、商品等均需檢驗，上述檢驗單位之檢驗能量飽和，對於公共給水增加頻率及數量之檢驗方式，只能請求台灣電力公司放射實驗室全力支援，且經協調檢驗重點以人工放射性核種之 γ 射線檢驗為主，方能應付突增之公共給水水樣輻射檢驗需求；是以針對未來如需加強監測時之整體檢驗處理能量需再進一步檢討。

(三)自來水淨水程序因應放射性物質之處理

核子事故對自來水系統影響可概分為二：輻射塵及放射性物質。其中輻射塵部分依目前台灣自來水淨水方式，可有效濾除，緊急時亦可以活性炭加強處理，不致對人體產生不良影響。但對於放射性物質部分，其

研究較為缺乏，依據日本國立保健醫療科學院水道工學部彙整相關研究，對於各放射性物質去除性能如表 3；惟各該去除方式於台灣地區各淨水設施之適用性，尚須進一步研究。

(四)主要水庫及淨水場位於核子事故緊急應變計畫區之應變措施

台灣地區依核子事故緊急應變法劃定之緊急應變計畫區為核電廠半徑 5 公里內，在此範圍內，無主要水庫位於該區內，至於淨水廠亦緊急少數位於該區域內，對於供水影響尚稱輕微；但由日本處理經驗，對於緊急應變計畫區最大範圍畫至 20 公里，已有 2 座重要水庫位於範圍（如表 4）內，對供水將有一定之影響，因此對於其應變措施，應有一定之原則，初步建議如下：

- 1.供水區域位於行政院原子能委員會公告之緊急應變計畫區，自來水事業及水庫管理單位應停止供水。

表 2 世界各國飲用水放射性物質含量標準

	限量標準	WHO	U.S. EPA	日本食物攝取標準
總阿伐	550 貝克/M ³ (0.55 Bq/L)	≤0.5Bq/L	15 pCi/L(0.55 Bq/L)	
鈾	1,110 貝克/M ³ (1.11 Bq/L)	1,000 Bq/L	30 pCi/L(1.11 Bq/L)	
鐳 226	740 貝克/M ³ (0.74 Bq/L)	1 Bq/L	5 pCi/L(0.185 Bq/L)	
鐳 228	740 貝克/M ³ (0.74 Bq/L)	0.1 Bq/L	5 pCi/L(0.185 Bq/L)	
總貝他	1,800 貝克/M ³ (1.80 Bq/L)	1Bq/L		
氫	740,000 貝克/M ³ (740 Bq/L)	10,000 Bq/L		
銻 90	300 貝克/M ³ (0.30 Bq/L)	10 Bq/L		
貝他及加馬	40 微西弗/年			
碘 131		10 Bq/L		300 Bq/Kg
銻 134		10 Bq/L		200 Bq/Kg
銻 137		10 Bq/L		
beta emitters			4 mrems/yr(40 微西弗/年)	

*摘錄自台灣自來水公司簡報

表 3 各種淨水程序對放射性物質之去除性(Brown et al. , 2008a)

元素	混凝沉澱	砂濾 ^c (快濾&慢濾)	活性碳	石灰蘇打 (軟化) ^d	沸石 (粘土成分)	離子交換 ^e (混合樹脂)	逆滲透 ^f	去除率(%)
鈷(Co)	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	XXXX	X=0-10%
硒(Se)	XXX	XX	XX	X	XXX	XXX	XXXX	
銦(Sr)	XX	XX	X	XXXX	XXX	XXX	XXXX	XX=10-40%
鋯(Zr)	XXXX	XX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
銱(Nb)	XXXX	XX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	XXX=40-70%
鉬/鎝 (Mo/Tc)	XXX	XXX	XX	X	X	XXX	XXXX	
鈾(Ru)	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	XXXX	XXXX=>70%
碘(I)	XX	XX	XXX	X	XX	XXX	XXXX	
碲(Te)	XXX	XX	XX	X	XXX	XXX	XXXX	
銫(Cs)	XX	XX	X	XX	XXX	XXX	XXXX	
鋇(Ba)	XXXX	XXX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
鐳(La)	XXXX	XXX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
銻(Ce)	XXXX	XXXX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	
釷(Yb)	XXX	XXX	X	X	XX	XXX	XXXX	
銱(Ir)	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	XXXX	
鐳(Ra)	XX	XXX	XX	XXXX	XX	XXXX	XXXX	
鈾(U)	XXXX	X	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX	
鈾(Pu)	XXXX	XX	XXX	X	XXX	XXXX	XXXX	
鋂(Am)	XXXX	XX	XXX	X	XXX	XXXX	XXXX	

a)幾乎所有淨水設施適用表中所示程序一種以上，乘以各程序去除效率。第一個程序去除率為 50%，第二個程序去除率為 50%，相對於第二個程序殘留量之去除率，故總去除率為 75%。

b)表中數值僅為化學性去除，因此，附著於顆粒之元素為物理性去除，非化學性去除，故不予考慮。詳細資料記載於解說報告第 3 節(brown et al., 2008)。

c)報告之去除效率乃砂濾之化學處理，非固體物之機械性去除。

d)對特定元素無資料時，石灰蘇打軟化幾乎無效果，故選擇去除率<10%。

e)離子交換之數據假設為陰陽離子樹脂混合。

f)逆滲透僅為物理去除程序，不適用膜過濾廠之微過濾(MF)。

g)鈣為擔體可促進共沉澱(目的為調整 pH)，混凝程序添加石灰(碳酸鈣)，可能可提高總銻與鐳去除率。但添加石灰可提高多少去除率，則無資料。

2. 水源及供水設施位於行政院原子能委員會公告之緊急應變計畫區，自來水事業及水庫管理單位應停止供水，除留守必要人力以確保設施安全外，其餘人員應立即撤離。前述留守人員之防護設備不足時，自來水事業及水庫管理單位應向中央災害應變中心或中央災害防救業務主管機關請求支持。
3. 水庫原水或公共給水輻射監測結果超過危害量時，自來水事業及水庫管理單位應即評估用水經緊急處理是否可降低放射性物質含量，並立即執行之；如無法降低，應即關閉設施，並由自來水事業啟動臨時供水站供水計畫，通知啟動水源調度措施，降低對供水區域之威脅。

五、結論

日本福島核電廠核子事故對於日本而言是一個慘痛的事件，對於台灣亦不失為一個警訊，對於事件剛發生時，處理程序的不完善，經由各單位之戮力合作，終至形成一較為完整之體系，但由日本公共給水之處理

經驗，我們發現台灣尚有相當多事項需進一步加以研究，以更完整台灣公共給水因應輻射災害防救之措施。僅以此文作為拋磚引玉。

參考文獻

1. 行政院原子能委員會網站資料
2. 經濟部駐日代表處蒐集日本福島核災事故後，自來水輻射處理相關作法報告。
3. 經濟部水利署處理日本福島核電事故，公共給水及水庫原水因應輻射污染各項作為文件。
4. 台灣自來水公司及台北自來水事業處因應輻射污染相關簡報。

作者簡介

王藝峰先生

現職：經濟部水利署組長

專長：水利工程、水利災害防救、自來水事業管理

林杰熙先生

現職：經濟部水利署正工程司

專長：水利工程、水利災害防救、自來水事業管理

表 4 台灣重要水庫大壩具各核電廠距離

水庫名稱	核一廠	核二廠	核三廠	核四廠
	距離	距離	距離	距離
石門水庫	62.9	60.4	321.4	73.2
新山水庫	20.9	9.1	366.6	23.6
翡翠水庫	41.7	33.5	339.1	37.8
寶山水庫	81.1	80.3	312	94.9
寶山第二水庫	83.3	82.2	308.9	95.9
永和山水庫	96.5	95.8	301.3	109.7
鯉魚潭水庫	132.3	130.2	265.6	139.1
仁義潭水庫	229.9	225.7	169.3	226.7
曾文水庫	249.5	244.6	146	243.7
南化水庫	265.4	260.2	128.7	258.2
牡丹水庫	358.8	351.7	21.1	343

附錄 1

公共給水受輻射污染因應作業機制暫行草案

一、目的：

經濟部水利署（以下簡稱本署）為加強發生核子事故或環境背景輻射監測值達行政院原子能委員會所訂定黃色警戒值以上時，水庫管理機關(構)及自來水事業單位短期內因應輻射污染之緊急應變作業，特訂定本作業機制。

二、適用時機：

(一)行政院原子能委員會〈以下簡稱原能會〉發布背景輻射監測值達 0.2 微西弗/時警戒值時以上。

(二)本國及鄰近國家發生核子事故，經過研判對公共給水有明顯威脅之虞時。

三、適用對象：

自來水事業單位與水庫管理機關(構)

四、水源及淨水處理輻射標準及監測機制如下：

(一)水體(輻射種源)：涉及原能專業及設備，由原能會或核子反應器設施經營者協助自來水事業單位與水庫管理機關(構)辦理。並由本署督導自來水事業單位與水庫管理機關(構)除配合原能會派員取樣檢測之方式辦理外，主動取樣送原能會或核子反應器設施經營者檢測，並依輻射事件演變情形視需要加強檢測頻次。

(二)水體環境背景警戒值：目前尚未有規定標準，採比照原能會所訂一般環境背景輻射值作為警戒值為「0.2 微西弗/時」，如超過該警戒值應加強監測輻射背景

值。

(三)自來水清水及水庫原水輻射限量標準：依「商品輻射限量標準」如飲用水中每立方公尺測得總阿伐濃度達 550 貝克、總貝他濃度達 1,800 貝克時，禁止飲用。

五、自來水事業單位應至少每週一次檢送給水廠水樣至放射性物質試驗單位檢測，依檢測結果採取因應措施，並公布於單位網站，俾利民眾取得資訊。

六、水庫管理機關(構)應至少每週一次檢送原水水樣至放射性物質試驗單位檢測，依檢測結果採取因應措施，並公布於管理機關(構)及本署網站。

七、水庫或淨水場環境背景輻射達原能會所訂定紅色警戒值「20 微西弗/時」，或所送原水達水體種原濃度達輻射限量標準以上，或所送自來水水樣種源濃度達「商品輻射限量標準」規定之飲用水輻射限量標準時，比照旱災應變機制成立緊急應變小組，並由水庫管理機關(構)或自來水事業單位洽請原能會指派專業人員進駐水庫及給水廠執行輻射緊急監測，另由緊急應變小組通知媒體籲請民眾儲水備用，及通知各縣市政府增加包裝水貯備能量，作為公共給水受輻射污染時之緊急應變安全飲用水。

八、前項應變措施如下：

(一)自來水事業單位與水庫管理機關(構)：

1.立即通報並同時啟動緊急應變小組：依據緊急應變作業程序立即通報相關單位並啟動緊急應變小組。

2.立即停止取水：水庫立即停止放水，並通知淨水場暫停供水。

3.排除污染：通知原能會協助排除污染。

(二)本署及所屬：

1.加強驗測水庫下層取水口水樣送驗。

2.緊急開設地下水等備用水源。

3.依據全台水源調度區實施跨區域水資源調度。

4.如水源不足，同時實施各項節水及限水措施，協調自來水事業實施限水及分區停水措施，供水不足地區並設置供水站、利用水車運送自來水、實施定時定點供水措施或動員提供礦泉水、包裝水。

(三)如污染情況持續，停水情形加劇，提升緊急應變層級，另實施給水動員由協調自來水事業等各種防護團依據供水狀況調度飲用水，確保民眾用水安全。

(四)適時召開媒體說明，向外界說明處理情形，必要時洽請行政院新聞局協助。

九、解除時機：

(一)行政院原子能委員會背景輻射監測值降低至 0.2 微西弗/時警戒值以下時。

(二)鄰近國家核子事故經研判公共給水已無明顯威脅之虞時。

附錄 2

附表 5 臺灣地區草樣放射性分析結果

單位：貝克／千克·鮮重

取樣地點	取樣日期	總貝他	加馬能譜分析					歷年變動範圍
			鈹-7*	鉀-40*	鈾-137	鈾系列*	鈾系列*	鈾-137
宜蘭	99.07	206	—	252	—	—	—	— ~ 0.30
基隆	99.07	195	7	240	—	—	—	— ~ 7.20
臺北	99.07	207	—	233	—	—	—	— ~ 0.40
臺中	99.07	186	12	233	—	—	—	— ~ 0.16
高雄	99.07	227	—	301	—	—	—	— ~ 0.45

附表 6 臺灣地區水樣放射性分析結果

單位：毫貝克／升（氫：貝克／升）

試樣名稱	試樣地點	取樣日期	總貝他	貝他核種分析			歷年變動範圍	
				氫	銨-90	鈾-137	氫	鈾-137
地下水	高雄	99.07	37	—	/	/	— ~ 2.5	—
河川水	基隆河	99.07	82	8.9	/	/	— ~ 2.1	—
	大甲溪	99.07	46	8.0	/	/	— ~ 3.9	— ~ 2.4
	高屏溪	99.07	175	—	/	/	— ~ 1.9	— ~ 5.0
海水	基隆	99.07	41	6.6	/	/	— ~ 2.5	— ~ 5.0
	西子灣	99.07	—	—	/	/	— ~ 3.2	— ~ 11.0
湖水	澄清湖	99.07	45	—	/	/	— ~ 3.8	—
飲用水	宜蘭	99.07	32	—	/	/	— ~ 5.7	—
	基隆	99.07	59	—	/	/	— ~ 2.3	—
	臺北	99.07	33	—	/	/	— ~ 2.2	— ~ 4.0
	臺中	99.07	41	—	/	/	— ~ 2.5	—
	高雄	99.07	90	—	/	/	— ~ 3.0	—

*摘錄自原能會輻射偵測中心之臺灣地區放射性落塵與食品調查半年報

飲用水總硬度在不同溫度及離子強度沉澱析出潛能之研究

文/許國樑

一、前言

雨水降至地面時，水中的總硬度有很多是來自與土壤、岩石接觸所形成，由於土壤中細菌的作用放出 CO₂，土壤中的水因 CO₂ 的存在會與碳酸達成平衡，在此 pH 降低的狀況下開始有溶解能力，水中的鹼性物質如石灰岩，便開始溶解，並形成可溶性之重碳酸鹽。因石灰並非純碳酸鹽，它尚含有少量之硫酸鹽、氯鹽及矽酸鹽等鹽類，當碳酸鹽被水溶解後，這些鹽類亦隨之進入水中。通常，硬水常發生在表土層較厚且含有石灰的地區，而軟水則發生在表土層較薄且石灰岩稀少或不存之地區。

飲用水中含有少量總硬度對身體有益，但含量較多則口感稍差，因此根據味覺和日常生活的考慮，政府現階段「飲用水水質標準」訂定自來水總硬度在每公升 300 毫克以內^[1]。

自來水總硬度 200ppm 以上用戶常反應熱水器管路會有沉澱嚴重阻塞情形，不同總硬度加熱後因水溫不同而產生沉澱的結果如何，且不同離子強度影響程度有需要一併加以研究探討。

二、文獻回顧

(一)水的鹼度^[2]

水的鹼度是用來量度中和酸之能力，天然水中的鹼度，雖然包括弱鹼或強鹼，但最重要的還是由於弱酸的鹽類所造成，尤其是碳酸氫根，乃是鹼度的主要形式，因為二氧

化碳會與土壤中的鹼性物質作用，會形成大量的碳酸氫根。其他弱酸之鹽類，如硼酸、矽酸、磷酸等鹽類，可能只有少量。另外有些難被生物分解之有機酸例如腐蝕酸，亦會形成鹽類增加天然水中之鹼度。在污染或厭氧的水中，會產生弱酸鹽，例如醋酸、丙酸、氫硫酸的鹽類，加上其他如氨及氫氧根，即構成了水中的總鹼度。

(二)水中硬度的等級^[3]

水中的總硬度可分為下列四個等級如表 1。

表 1 水中總硬度等級

硬度等級	軟	中等硬	硬	甚硬
總硬度 mg/L	0-75	75-150	150-300	300 以上

(三)總硬度的形式^[4]

自來水總硬度存在之含量，係受各地區不同天然地理因素影響所致，總硬度是由兩價金屬陽離子所引起，它們會與肥皂作用形成沉澱物，並會與某些陰離子作用形成水垢。

造成硬度的主要陽離子有鈣、鎂、鋇、亞鐵離子及亞錳離子，鋁及鐵離子有時亦視為引起硬度之物質，但由於在天然水的 pH 值下，它們的溶解度很低，故其離子濃度可忽略不計，與金屬陽離子結合陰離子列表如表 2，其順序由天然水中較多者由右至左開始排起。

表 2 水中引起總硬度主要之陽離子及與其結合之主要陰離子

引起總硬度陽離子	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺
結合之主要陰離子	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SiO ₃ ⁻

由於所有的硬度與鹼度一樣，都是用 CaCO₃ 表示，非碳酸鹽硬度以前又叫永久硬度，因為其不能經由煮沸而被沉澱去除。非碳酸鹽硬度的陽離子，均與硫酸鹽、氯鹽、矽酸鹽及硝酸鹽等陰離子結合。

(四)總硬度與氫碳酸離子在不同溫度之平衡常數與反應趨勢^[5]

CaCO_{3(s)} + H⁺ ⇌ Ca²⁺ + HCO₃⁻ 的平衡常數，15°C 時約大於 25°C 時的 1.5 倍；而 60°C 時則為 25°C 時的 1/3。溫度增加 K 值減少，因反應向右產生熱量，故提昇溫度將促使反應向左，如此減小平衡常數。60°C 時，水對於 CaCO_{3(s)} 為過飽和，CaCO_{3(s)} 易形成沉澱於加熱器管路內會影響家庭熱水器的壽命。

(五)離子強度^[6]

電解溶液之非理想行為是由於溶質-溶質及溶質-溶劑之相互作用引起，此等作用之大小與很多因素有關，其中之二為溶質濃度及溶液中各離子之電荷數。溶液之離子強度 I，是將此兩因素同時顧及而得出之數據。

離子強度可由下列關係決定

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=i} C_i Z_i^2$$

其中 I = 離子強度

C_i = i 屬離子濃度

Z_i = i 屬離子電荷數

一般假設：「溶液之離子強度與其總溶液固體濃度(TDS)有關」頗屬合理。根據此理由，Langelier(1936)提出適用於 TDS 少於

1000mg/L 估計離子強度之方程式如下：

$$I = (2.5 \times 10^{-5})(TDS)$$

(六)活性係數之理論方程式^[7]

雖然電解溶液中之離子被溶劑分子層所分隔，但彼此間仍有相當程度之影響。離子濃度越濃，則交互作用之能力越強。通過一稱之為活性係數之比例常數，便可將活性及分析濃度之關係找出，此關係式為：

$$\alpha = \gamma C$$

其中 α = 活性 (moles/L)，γ = 活性係數，C = 分析濃度 (moles/L)

活性係數之理論方程式在離子強度不大於 0.1M，溶液之 Guntelberg 方程式：

$$\log \gamma = -AZ^2 \{ (I)^{0.5} / (1 + (I)^{0.5}) \}$$

$$A = 1.82 \times 10^6 (DT)^{-1.5}$$

D = 水之介電常數，常用 78.3

T = 溶液溫度(°K)

I = 溶液中所有電離溶質之離子強度

三、實驗方法及流程

(一)實驗設備

- 1.分析天平：可精稱至 0.1 mg。
- 2.圓形燒杯：350ml。
- 3.滴定管：25ml，準確度 0.05ml。
- 4.加熱磁石攪拌器規格：MS-90 Fargo 廠牌。
- 5.標準溫度計：量測範圍 0 至 50°C，校正用。
- 6 熱電偶式溫度計：泰菱電子儀器，量測刻度準確至 ± 0.1 °C。
- 7.量筒：50ml 及 250ml 取樣用。
- 8.採樣塑膠瓶：2000ml 採樣用附蓋。
- 9.離子層析儀：DIONEX 廠牌 ICS-2000，包括注入閥、樣品迴路、保護管、陰離子層析管、抑制裝置、具溫度補償之電導度偵測器及搭配數據輸出之印表機、紀錄器及

- 積分儀等，且可提供 1 至 5 mL / min 移動相溶液流量及 1400 至 6900 kpa 壓力。
10. 濾膜：不含待測陰離子，0.45 μ m 孔徑。
 11. pH 計：可準確至小數點一位。
 12. 總溶解固體量圓盤：不銹鋼材質。
 13. 總溶解固體量蒸發皿：100 mL 陶瓷，直徑 90 mm。
 14. 恆溫水浴槽；標準溫度計與熱電偶式溫度計。
 15. 總溶解固體量乾燥器。
 16. 總溶解固體量烘箱：能控溫在 103 ~ 105 $^{\circ}$ C。
 17. 總溶解固體量玻璃纖維濾片：Whatman grade 934AH。
 18. 總溶解固體量過濾裝置：0.45 μ m 薄膜式過濾漏斗。
 19. 總溶解固體量抽氣裝置。
 20. 康寧加熱攪拌器：轉子轉速可調 10 節，加熱器可調 10 節。

(二)實驗藥品

1. 離子層析儀標準儲備溶液，1000 mg/L：購買經濃度確認並附保存期限說明之市售標準儲備溶液陰離子 F^{-} 、 Cl^{-} 、 NO_3^{-} 及 SO_4^{2-} 。
2. 離子層析儀混和標準工作溶液：依據待測陰離子濃度或依導電度偵測器之設定，配製成適當濃度之單一或混合標準工作溶液溶液須每日配製。
3. 離子層析儀試劑水：不含待測陰離子之去離子水或蒸餾水，且不含大於 0.2 或 0.22 μ m 之粒子，導電度應在 0.1 μ S/cm 以下
4. 總硬度緩衝溶液：溶解 16.9 g 氯化銨於 143 mL 濃氫氧化銨中，加入 1.25 g EDTA 之鎂鹽，以試劑水定容至 250 mL。
5. 總硬度指示劑 EBT：溶解 0.5 g 乾燥粉末狀 EBT 於 100 g 三乙醇胺中，每 50 mL 被滴定溶液中加入 2 滴此指示劑。
6. 總硬度 EDTA 滴定溶液，0.01 M：加入 3.723 g 分析試藥級含二個結晶水之 EDTA 二鈉鹽於少量試劑水中，再以試劑水定容至 1,000 mL，以標準鈣溶液標定之。
7. 總硬度標準鈣溶液：秤取 1.000 g 一級標準品之無水碳酸鈣粉末，放入 500 mL 三角燒瓶中，緩緩加入 1+1 鹽酸溶液至所有碳酸鈣溶解。加入 200 mL 蒸餾水，煮沸數分鐘以驅除二氧化碳，冷卻後加入幾滴甲基紅指示劑，以 3 M 氫氧化銨或 (1+1) 鹽酸溶液調整至變色過程中的橙色。移入 1 L 量瓶中，以試劑水沖洗並定容至刻度，即得相當於 1 mL 含有 1.00 mg 碳酸鈣之標準鈣溶液。
8. 總硬度氫氧化鈉溶液：1 N 及 0.1 N。
9. 離子強度添加用氯化鈉：試藥級。
10. 離子強度添加用硫酸鈉：試藥級。
11. 氯化鈣相當碳酸鈣 1000mg/L 標準溶液：取氯化鈣 1.1089 克以去離子水稀釋至 1L。
12. 碳酸氫鈉相當碳酸鈣 1000mg/L 標準溶液：取碳酸氫鈉 1.6801 克以去離子水稀釋至 1L。
13. 總鹼度碳酸鈉溶液約 0.05 N：乾燥 3 至 5 g 一級標準品碳酸鈉(於 250 $^{\circ}$ C 4 小時；再於乾燥器中冷卻)。取上述無水碳酸鈉 2.5 \pm 0.2 g(精確至 mg)，置入 1 L 量瓶，以試劑水加至標線，溶解並混合。保存期限不可超過一星期。
14. 總鹼度標準硫酸溶液，0.1 N：稀釋 2.8 mL 濃硫酸至 1 L。
15. 總鹼度標準硫酸溶液，0.02 N：以試劑水

稀釋 200.0 mL 0.1000 N 標準酸溶液至 1 L。

16.總鹼度酚酞溶液：溶解 0.5 g 酚酞於 50 mL 95 %乙醇或異丙醇，加入 50 mL 試劑水。

17.總鹼度溴甲酚綠—甲基紅混合指示劑：使用水溶液溶解 100 mg 溴甲酚綠鈉鹽及 20 mg 甲基紅鈉鹽於 100 mL 試劑水。

18.硫代硫酸鈉溶液，0.1 N：溶解 25 g 硫代硫酸鈉，再以試劑水稀釋至 1000 mL。

(三)實驗方法

本實驗依據環保署環境檢驗所公告水中總硬度檢測方法—EDTA 滴定法 NIEA W208.51A、水中陰離子檢測方法—離子層析法 NIEA W415.52B、水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103°C ~ 105°C 乾燥法 NIEA W210.57A 及水中鹼度檢測方法—EDTA 滴定法 NIEA W449.00B 進行研究。

水樣在加熱後產生碳酸鈣等沉澱物，在檢驗與碳酸鈣沉澱物平衡之總硬度時，已沉澱之碳酸鈣先使用抽氣過濾裝置 0.45 μ m 濾膜過濾，過濾後水樣再取樣依公告方法滴定，以避免滴定到終點，加熱後產生碳酸鈣等沉澱物如未經抽氣過濾裝置過濾，會有再溶解現象發生，影響滴定終點判定。

四、結果與討論

花蓮轄區自來水供水總硬度高於

200mg/L 以上，用戶常反應自來水煮沸易生沉澱物及熱水器管路會有沉澱嚴重阻塞情形，有花蓮系統南華淨水場、稻香淨水場及玉里系統明里淨水場自來水 3 處。其中以南華淨水場自來水總硬度 233mg/L 及總鹼度 164mg/L 最低，因此取南華淨水場水樣為代表，來探討水樣加熱過程總硬度與氫碳酸鹽鹼度變化情形。

(一)南華自來水加熱過程水質變化評估

實驗加熱過程，使用燒杯 350ml 取水樣 250ml 予以加熱，康寧加熱裝置轉子轉速調 7 節，加熱器調 10 節，由 25.0°C 加熱至 81.4°C 共需 720 秒，因此熱量供給速率為 19.6 cal/sec，做為本次實驗的熱量供給速率。

取 10 組 250ml 水樣加熱，由水溫 25°C 分別加熱至 35°C、40°C、50°C、60°C、70°C、80°C、85°C、90°C 及 100°C，檢測先將加熱後水樣予以冷卻至室溫，pH 值、總硬度及濁度隨溫度變化統計檢測結果如表 3。

- 1.由表 3 之 pH 值數據繪製隨溫度變化趨勢圖如圖 1。
- 2.由表 3 硬度數據繪製隨溫度變化趨勢圖如圖 2。
- 3.由表 3 濁度數據繪製隨溫度變化趨勢圖如圖 3。

表 3 南華淨水場自來水 pH 值總硬度及濁度隨溫度變化統計表

溫度(°C)	25	35	45	50	60	70	80	85	90	100
pH	7.7	7.9	8.2	8.2	8.2	8.0	7.8	7.8	7.8	7.7
總硬度(mg/L)	233	232	231	231	229	219	212	209	206	196
濁度(NTU)	0.45	0.60	0.75	0.80	1.1	1.6	4.6	11.3	18.8	72.5

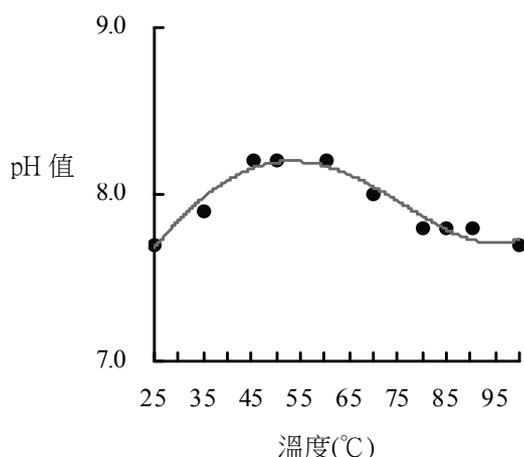


圖 1 南華淨水場自來水 pH 值隨溫度變化趨勢

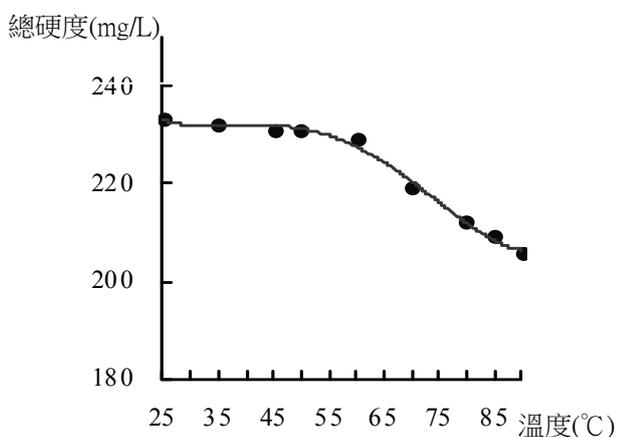


圖 2 南華淨水場自來水總硬度隨溫度變化趨勢

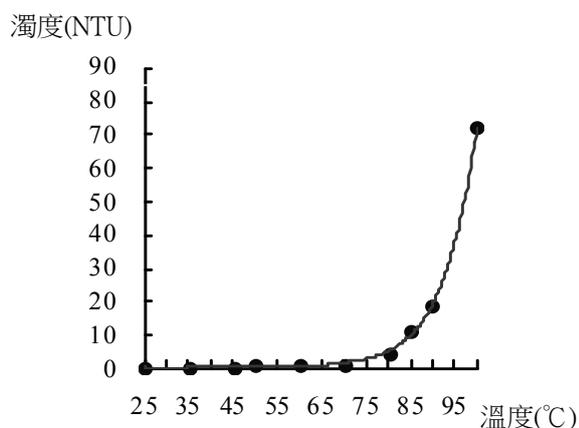


圖 3 南華淨水場自來水濁度隨溫度變化趨勢

分析圖 1 至圖 3 得知結果如下：

1.25°C 加熱至 45°C 及 100°C，pH 顯示由 7.7 先升高至 8.2 再回降至 7.7，分析原因如下：

(1) 加熱至 35°C 已有 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} ，但 CO_3^{2-} 反應與鈣離子濃度反應消耗量低於 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 生成量，導致 pH 由 7.7 增加至 7.9；再隨溫度加熱至 45°C pH 再由 7.9 增加至 8.2。

(2) 加熱 45°C 至 60°C，pH 8.2 保持不變，係因 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 量隨溫度升高而增加，但有利於碳酸鈣沉澱反應發生，結果 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 量與碳酸鈣沉澱反應發生消耗量約略相等，導致 pH 8.2 不再升高。

(3) 加熱 60°C 至 100°C，pH 由 8.2 再回降至 7.7，顯示溫度更升高更有利於碳酸鈣沉澱反應發生， HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 量完全產生碳酸鈣沉澱反應發生，且因 HCO_3^- 消耗結果，總鹼度降低導致 pH 回降至 7.7。

2. 由圖 2 得知 90°C 加熱 100°C，總硬度只減少 10mg/L，但濁度增加 53.7NTU，分析原因為原生成碳酸鈣沉澱細小微粒，因溫度升高急速碰撞結合生成大顆粒沉澱，導致濁度的急速升高。

3. 南華自來水加熱至 70°C，由圖 3 得知濁度以約 80 度角急陡明顯增加趨勢，原因係 HCO_3^- 大量反應生成 CO_3^{2-} 而與鈣離產生沉澱，要避免沉澱產生，建議水溫以不高於 60°C 為適宜之使用溫度，因此不同總硬度自來水，選取 70°C 做為總硬度產生沉澱比較之參考溫度。

(二) 南華自來水不同鹽類添加量加熱至 70°C 水質變化評估

取南華淨水場自來水 4 支 250ml 共 2

組，1 組 4 支水樣個別添加單價離子氯化鈉 50mg/L、100mg/L、150 mg/L 及 200mg/L，另 1 組 4 支水樣添加多價離子硫酸鈉 50mg/L、100mg/L、150 mg/L 及 200mg/L，採用 4.1 結果選取 70°C 做為不同總硬度自來水產生沉澱比較之參考溫度，來探討不同鹽類添加量加熱至 70°C 水質變化評估。

比照 4.1 加熱過程，由 25°C 開始加熱至 70°C，檢測先將加熱後水樣予以冷卻至室溫，pH 值及總硬度檢測結果統計如表 4。

分析表 4 得知結果如下：

1. 加熱至 70°C，氯化鈉添加量 50mg/L pH 由高點回降至 8.1，而硫酸鈉添加量 50mg/L pH 由高點回降至 8.2，顯示硫酸鈉 50mg/L 添加量緩衝 CO_3^{2-} 與總硬度鈣離子反應生成沉澱比氯化鈉添加量 50mg/L 效果佳。亦

可由表 4 硫酸鈉添加量 50mg/L 總硬度比尚未添加總硬度多 9mg/L 未反應生成碳酸鈣沉澱，而氯化鈉添加量 50mg/L 總硬度僅多 7mg/L 未反應生成碳酸鈣沉澱可加以證明。

2. 硫酸鈉添加量 50mg/L 為 0.51 毫莫耳，硫酸鈉 1 毫莫耳解離生成 1 毫莫耳 SO_4^{2-} 及 2 毫莫耳 Na^+ ，硫酸鈉 0.51 毫莫耳總共解離生成 1.53 毫莫耳；氯化鈉添加量 50mg/L 為 0.85 毫莫耳，氯化鈉 1 毫莫耳解離 1 毫莫耳 Na^+ 及 1 毫莫耳 Cl^- ，氯化鈉 0.85 毫莫耳總共解離成 1.70 毫莫耳。50mg/L 氯化鈉與硫酸鈉以毫莫耳數相當，但二者相互比較結果以 50mg/L 硫酸鈉緩和碳酸鈣沉澱效果好，由此得知二價離子比一價離子鹽類在相同離子強度時緩和碳酸鈣沉澱效果佳。

表 4 南華自來水不同鹽類添加量加熱至 70°C pH 及總硬度變化統計表

項次	氯化鈉添加量(mg/L)	0	50	100	150	200
1	pH	8.0	8.1	8.1	8.1	8.2
	總硬度(mg/L)	219	226	229	229	230
項次	硫酸鈉添加量(mg/L)	0	50	100	150	200
2	pH	8.0	8.2	8.2	8.3	8.3
	總硬度(mg/L)	219	228	231	233	233

表 5 淨水場自來水總硬度不同加熱至 70°C 水質變化評估統計表

淨水場	支亞干	砂婆礫	光復	南華	稻香	明里
硬水等級	軟水	中等硬水	中等硬水	硬水	硬水	硬水
25°C 總溶解固體量	70.5	130	185	252	294	408
25°C 離子強度(M)	0.0018	0.0033	0.0046	0.0063	0.0074	0.0102
25°C 總硬度 mg/L (1)	48.0	95.0	143	233	268	296
70°C 總硬度 mg/L (2)	48.0	95.0	143	196	253	288
70°C 與 25°C 總硬度 mg/L 變化量(2)-(1)	0	0	0	-37.0	-15.0	-8.0

3.氯化鈉添加量 50mg/L 檢測總硬度多 7mg/L 未反應生成碳酸鈣沉澱；100mg/L 總硬度多 10mg/L；150mg/L 總硬度多 10mg/L；200mg/L 總硬度多 10mg/L，上述數據比較結果顯示氯化鈉添加量在 100mg/L 離子強度緩和碳酸鈣沉澱效果已達上限，再增加添加量已無法有效再提昇。另硫酸鈉添加量由 50mg/L 總硬度多 9mg/L；100mg/L 總硬度多 12mg/L；150mg/L 總硬度多 14mg/L，200mg/L 總硬度多 14mg/L，上述數據比較結果顯示添加量在 150mg/L 離子強度緩和碳酸鈣沉澱效果亦顯示氯化鈉鹽類相似情形；上述結果顯示，增加離子強度雖可緩和碳酸鈣沉澱，但會有緩和上限值。

(三)淨水場自來水不同總硬度加熱至 70°C 水質變化評估

為比較淨水場自來水不同總硬度加熱至 70°C 水質變化評估，由供水系統選取支亞干、砂婆礑、光復、南華、稻香及明里等 6 座淨水場，自來水總硬度可涵蓋參考文獻 2.2 水中硬度的等級範圍，比照 4.1 加熱過程，選取 70°C 做為加熱參考溫度，水溫由 25°C 加熱至 70°C，檢測先予以冷卻至室溫，檢測統計結果如表 5。

由表 5 分析結果如下：

- 1.自來水總硬度低於 150 mg/L，25°C 加熱至 70°C 不會有沉澱產生，可由支亞干淨水場軟水及砂婆礑淨水場、光復淨水場中等硬水自來水 25°C 加熱至 70°C 總硬度前後均未減少得到驗證。
- 2.自來水總硬度高於 150 mg/L 硬水，25°C 南華自來水總硬度 233 mg/L 最低，但加熱至 70°C，總硬度減少量 37.0mg/L 南華自來水

最高；反而明里自來水 25°C 總硬度 296 mg/L 最高，但加熱至 70°C 總硬度減少量 8.0mg/L 明里自來水最低；稻香自來水則介於上述二者水樣中間。分析上述原因，由表 5 得知總溶解固體量以明里自來水 408mg/L 最高，稻香自來水 294mg/L 次之，南華自來水 252mg/L 最低，離子強度、離子活性係數計算參考文獻 2.5 及 2.6，離子強度以明里自來水最大，鈣離子及碳酸根離子活性係數最低，導致碳酸鈣沉澱量相對較少，總硬度減少量最小。

- 3.明里自來水雖有總溶解固體量 408mg/L 最高，離子強度 0.0102M 最大值，因此鈣離子及碳酸根離子活性係數低，導致碳酸鈣沉澱量相對較少；但加熱時若沉澱物持續析出，水中總溶解固體量減少，離子強度降低，導致活性係數會增加，因此明里加熱溫度若再提高至 100°C，水中總硬度碳酸鈣沉澱恐會大量析出。

五、結論

本研究對於自來水總硬度 200ppm 以上用戶常反應熱水器管路會有沉澱嚴重阻塞情形，加熱後因水溫不同而產生沉澱不同的結果如何，且不同離子強度影響程度一併加以研究探討，以提高水質操作管理人員知能，研究結論如下：

- 1.南華淨水場自來水 25°C 加熱至 45°C 及 100°C，pH 顯示由 7.7 先升高至 8.2 再回降至 7.7，分析原因如下：
 - (1)加熱至 35°C 已有 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} ，但 CO_3^{2-} 反應與鈣離子濃度反應消耗量低於 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 生成量，導致 pH 由 7.7 增加至 7.9；再隨溫度加熱至 45°C pH 再由 7.9 增加至 8.2。

(2)加熱 45°C 至 60°C，pH 8.2 保持不變，因 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 量隨溫度升高而增加，但有利於碳酸鈣沉澱反應發生，結果 HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 量與碳酸鈣沉澱反應發生消耗量約略相等，導致 pH8.2 不再升高。

(3)加熱 60°C 至 100°C，pH 由 8.2 再回降至 7.7，因溫度更升高更有利於碳酸鈣沉澱反應發生， HCO_3^- 反應生成 CO_3^{2-} 量完全產生碳酸鈣沉澱反應發生，且 HCO_3^- 消耗結果，導致 pH 回降至 7.7。

2.南華自來水原生成碳酸鈣沉澱細小微粒，因溫度升高急速碰撞，結合生成大顆粒沉澱，導致濁度的急速升高。

3.南華自來水添加鹽類會增加離子強度，降低離子的活性，可緩和碳酸鈣沉澱，但會有緩和上限值，所以碳酸鈣終究會產生沉澱，增加離子強度無法有效改變碳酸鈣產生沉澱的潛能。鹽類二價離子比一價離子在相同離子強度時緩和碳酸鈣沉澱效果佳。

4.南華自來水 25°C 總硬度 233 mg/L 比明里自來水總硬度 296 mg/L 低，但加熱至 70°C 總硬度減少量 37.0mg/L 高於明里減少量 8.0mg/L，係因總溶解固體量明里自來水 408mg/L 高於南華自來水 252mg/L，總溶解固體量高離子強度大，鈣離子及碳酸根離子活性係數低，導致碳酸鈣沉澱量相對較少，總硬度減少量小。

5.明里自來水加熱時若沉澱物持續析出，水中總溶解固體量減少，離子強度降低，導致活性係數會增加，因此明里加熱溫度若再提高，水中總硬度碳酸鈣沉澱恐會大量析出。

6.隨溫度升高總硬度會產生碳酸鈣沉澱是趨勢，碳酸鈣沉澱析出時間雖受離子強度影響但只是時間的長短而已，終究還是要產生碳酸鈣沉澱，且總硬度愈高在 100°C 析出的碳酸鈣沉澱會愈多，水中總硬度不同，碳酸鈣沉澱會受離子強度及加熱時間所產生的溫度效應二項因子影響而產生差異。

7.自來水總硬度 150 mg/L 以下，25°C 加熱至 70°C 不會有沉澱產生。總硬度介於 150 至 300mg/L，水溫以不高於 60°C 可緩和沉澱產生，用戶如使用熱水器加熱，建議 60°C 以下為適宜之使用溫度。

參考文獻

- 1.飲用水水質標準，中華民國八十七年二月四日 行政院環境保護署(87)環署毒字第 00044 28 號令頒布
- 2.李光中、許鼎居、蕭蕙華譯，滄海書局，P157 ~165，2004
- 3.李光中、許鼎居、蕭蕙華譯，滄海書局，P172 ~173，2004
- 4.李光中、許鼎居、蕭蕙華譯，滄海書局，P176 ~177，2004
- 5.李敏華，水質化學，復漢出版社，P73~75，1992
- 6.楊萬發，水及廢水處理化學，茂昌圖書有限公司，P23~25，1992
- 7.楊萬發，水及廢水處理化學，茂昌圖書有限公司，P26~29，1992

作者簡介

許國樑先生

現職：自來水公司第九區管理處檢驗室主任

專長：化學檢驗

花蓮自來水生飲之推行

文/蔡政翰

一、前言

自來水生飲，是從業人員的驕傲，也是國際公認的重要社會生活水準指標。

花蓮有幸，在國內生飲條件未臻成熟的條件下，於 97 年 1 月 19 日在花蓮市門諾醫院前舉行同步啟用典禮，首創將『自來水生飲台』納入創意候車亭設施，由花蓮市公所設置 12 處公共藝術—『創意候車亭』硬體，結合本區處砂婆礑淨水場優質自來水生飲服務軟體，融入市區各重要街道中，讓等候公車進站的民眾，不僅僅是遮風避雨之途，更能觀賞生動活潑的藝術品及飲用甘甜可口的優質水。

轉眼間，歷經三年的試辦，依照花蓮市公所及自來水公司共同研擬的『生飲台水質維護管理要點』據以實施，落實清潔維護及生飲水質檢測，將飲用風險降至最低，並使生飲台仍維持當初清新亮眼、水質安全純淨，而飲用水量持續穩定，惟使用族群侷限在等候公車乘客為主，致自來水生飲的理念，難有太大的突破，適逢，本公司黃前董事長配合花蓮縣傅縣長發展觀光產業之政策，規劃在美崙山生態公園，再增設五處生飲水設施，目前已施工完成尚在測試及檢驗中，將可供給遊憩美崙山的縣民及遊客飲用，也為花蓮的觀光加分。

二、生飲水風險控管及安全維護

冀期永續推動自來水生飲活動及避免民眾喝壞肚子，傷損水公司悠久信譽，更需如履薄冰不斷提高警覺，降低各項風險危害

因子，達到隨時皆能提供安全無虞的優質水，為民眾的安全衛生做第一道嚴格把關。

由於自來水生飲台暴露在戶外環境中，遭污染的可能性大增，除人為因素、大自然現象（雨水、灰塵及昆蟲等）影響水質外，提供自來水服務的內部淨水操作與外在因素，皆會影響使用者安全，為達到預防危害的發生及減少其發生後的損失，持續針對花蓮市既有 12 座自來水生飲風險加以評估，因此，使用系統安全分析技術之一的失誤樹分析（Fault Tree Analysis, 簡稱 FTA）做探討並加以防範措施。

首先選定不希望發生的意外事故為頂上事件，由上而下開始分析事故的成因，作為樹枝。失誤樹最常使用 AND gate 和 OR gate，當所有因素同時存在，其上的事件才會發生，即使用 AND gate；若只有一個因素，便可促使其上的事件發生，即使用 OR gate。意外事故的發生，必有因果，下者為因，上者為果，樹的發展自上而下，如圖 1。

依據環保署「飲用水水質標準」規定需符合各項水質限值，12 座生飲台分散於花蓮市區各重要地點，為有效降低風險，評估本處檢驗室每月定期採樣檢驗報告（餘氯、濁度、總菌落數等項目）檢測數據；生飲台用水量較低及隔夜滯留水易滋生生物菌膜等風險，加以定義風險等級，找出在風險因子較高生飲台加以嚴密管控，依「生飲台水質維護管理要點」、「生飲台水質異常因應流程」、「破管搶修、管線工程、用戶新裝工程之生飲台供水水質維護流程」及「生飲台水

質不適生飲時緊急連絡對口人一覽表」等輕重緩急程序處理，防患於未然。

三、生飲水之原水需求

自來水生飲台之原水來源，取自砂婆礮溪南支流地面水，經導水管以重力流至淨水場，再經嚴格慎密淨水處理過後，清水水質

相當清澈甘甜，非常適合生飲水之使用，惟花蓮地區雨季不均及砂婆礮溪地形陡峭腹地狹小，無法建造水庫蓄水，再加上近年來氣候變遷降雨不均等因素，致乾旱枯水期間（詳圖 2）各水源枯竭時，需向水利會價購原水，才得以平衡供水區水量之需求。

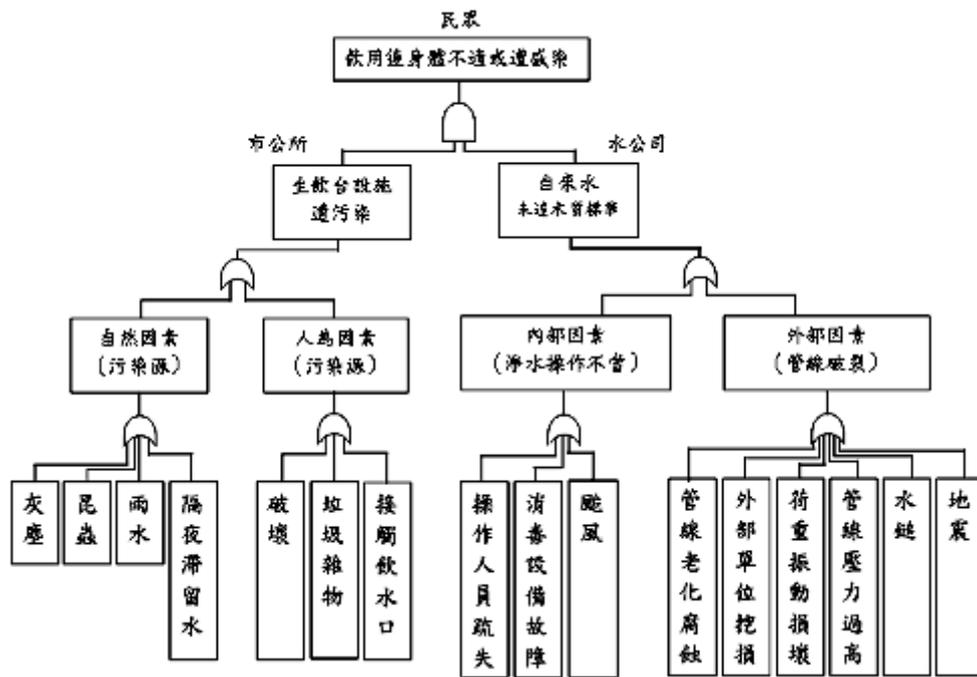


圖 1 自來水生飲台失誤樹分析

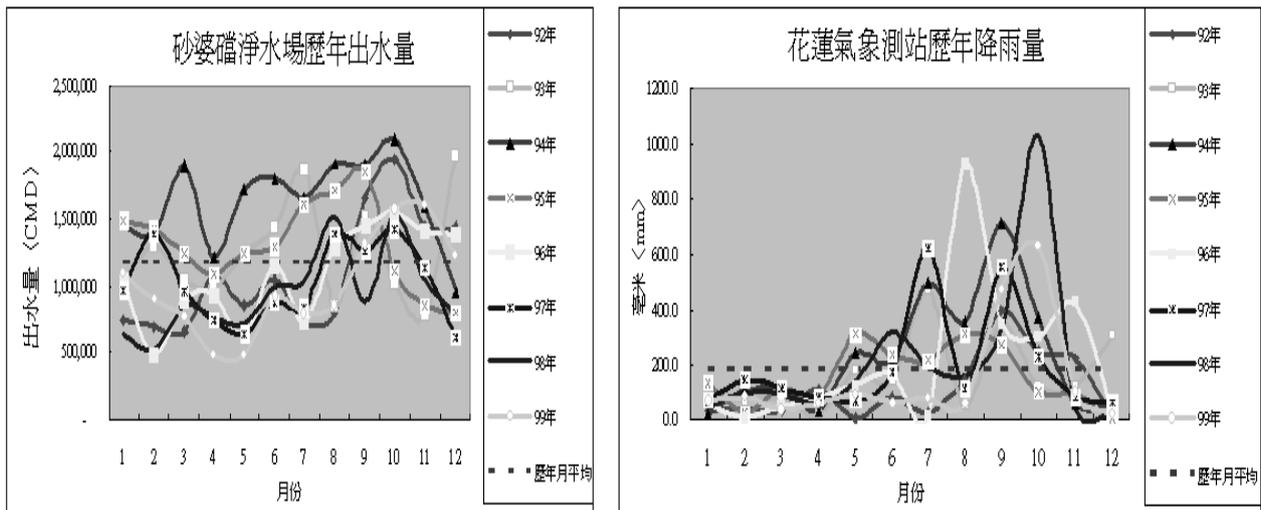


圖 2 砂婆礮淨水場歷年（92-99 年）出水量與降雨量關係圖

砂婆礑溪地面水源主要分為南、北溪兩支流，南溪由自來水公司作為公共給水用途，北溪則由農田水利會作為灌溉用水源，為達到充分利用優質水資源，讓更多縣民及旅客享受好水的理念及推廣，花蓮縣政府、農田水利會及自來水公司透過多次協商及現場會勘，終達成北溪農業節餘水，提供較優惠的價格給水公司，做為支援公共給水之共識。

為推廣生飲計畫之延續，花蓮縣政府、農田水利會及自來水公司共同協商，並於 99.12.16 假花蓮縣政府二樓簡報室舉辦「支援大花蓮自來水」簽約儀式（詳圖 3），攜手推動生飲計畫，讓花蓮成為國際觀光都會。



圖 3 「支援大花蓮自來水」簽約儀式

四、美崙山生飲台設置

務求生飲水使用率最大化，特規劃在東臨太平洋，依山勢腹地整體規劃的休閒文化綜合觀光公園，設置五處生飲水設備（詳圖 4），由既設 1000 噸配水池處，重新埋設管線加壓供應。園內設施包含生態展示館、美崙山科博館、文人園區、運動公園區、木棧道、眺望台、親子大草原、嶺線步道等，富有散步、運動、賞景、休閒、探索自然及生態教

育的美崙山生態公園，鳥語花香、蟲鳴蝶舞，並可遠眺太平洋、俯瞰美崙溪，供給愛好休閒運動的民眾飲用，達到生飲推廣的最佳使用場所。

接續目標再推廣讓觀光立縣的花蓮地區，五星級飯店、旅館及熱門觀光景點設置生飲設備，透過各飯店的自我管理及水質檢測，達到生飲的標準，並逐步由點、線、面的推展自來水生飲為最終目標，讓外地觀光客來花蓮遊玩，隨時、隨地打開水龍頭即可生飲自來水，開創台灣地區生飲水的先鋒。

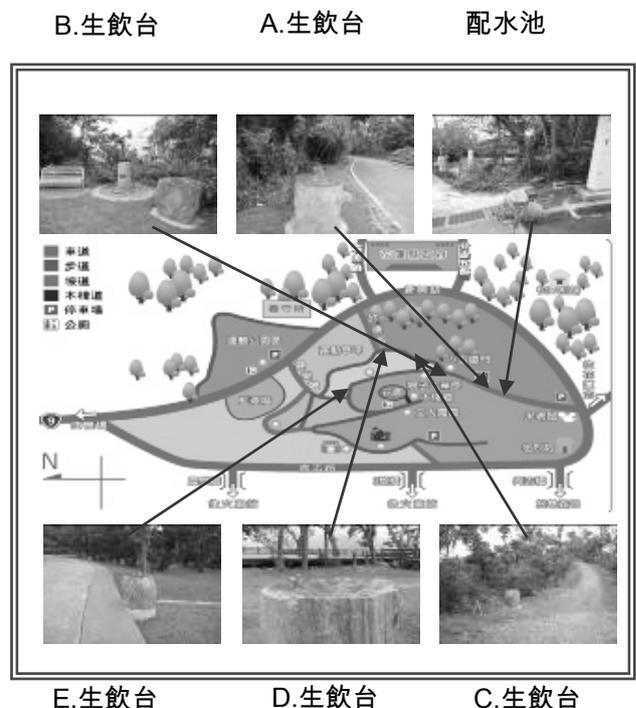


圖 4 美崙山生態公園五處生飲水設施位置

五、問題與討論

自來水生飲普及化，需仰賴全民共同推廣及維護，絕非本公司單方面責任，12 座生飲台設置迄今，已有 7 座遭人為破壞出水開關（詳圖 5），致水流量小或無水等情事發生，比例竟高達 58% 之譜。對照孔子曾說「己所不欲，勿施於人」的胸懷，實則落差非常

大，顯現國人公德心每況愈下，愛惜公物之心仍待加強，雖立即通報花蓮市公所修理，然換修期間，掛上「停止使用」告示牌，令需求者權益受損，抱怨電話也接踵而至，對生飲推動絕對是一大障礙，導致該生飲台用水量少，間接飲響水質（滯留水易生菌、蟲、膜等），遽升飲用風險及維護時間。

檢視 12 座生飲台用水量（詳圖 6），其中以慈濟醫院站用水量最少，蓋因此站配合

公車候車亭，設置在醫院對面，遙距四線車道的人行道上，擁擠的車流量，使人無法悠閒的留連駐足，且非行人前往醫院必經之路，故用水量敬陪末座，實為一大缺憾；其次一心街口、民孝國宅、花蓮火車站及中信大飯店等站，皆因水龍頭開關常遭破壞，停止使用至待修復時間，致用水量減緩，實需好好教育推廣公德心。



圖 5 自來水生飲台開關損壞

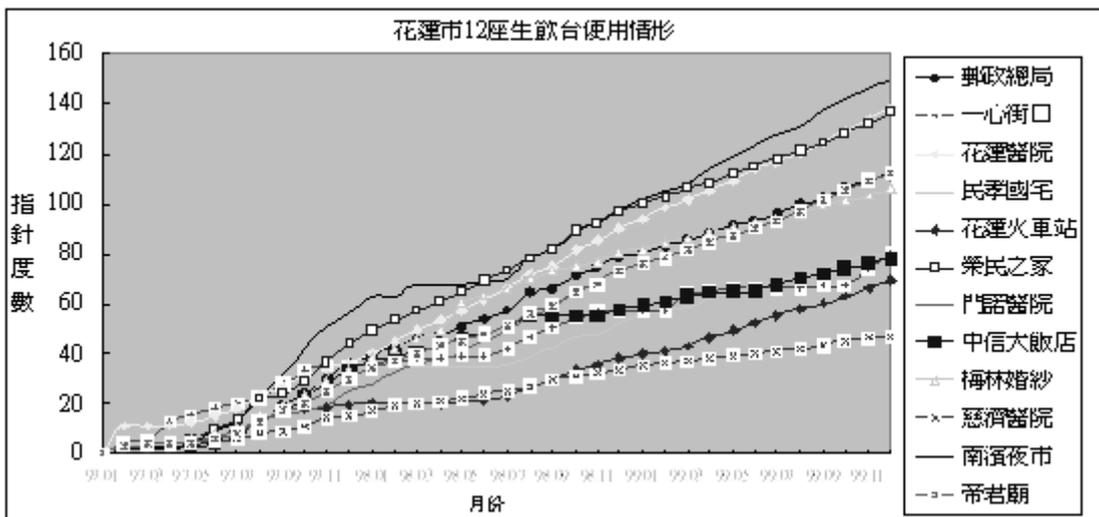


圖 6 12 座自來水生飲台使用情形

雖然補充了農田水利會北溪農業節餘水，仍將克盡職守，持續提升淨水場操作管理技能，提供質優量足自來水，並定期供水管線及生飲台設備檢查維護，風險管控及安全維護，配合飲水衛生講習，加強自主維護管理，水質資訊透明化公開及定期舉辦活動宣導等，期建立民眾對這些生飲台的水質信心，共創自來水生飲新紀元。

六、致謝

『創業維艱、守成不易』，感謝所有共同參與的先進及同仁，從無到有，辛勤灌溉，歷經林經理建財、呂經理崇德、李經理嘉榮及黃前董事長敏恭積極推動，結合花蓮縣政府、市公所及農田水利會的支援後盾，共同努力打拼，辛勞倍出，再此一併致謝。

參考文獻

1. 『生飲台水質維護管理要點』，花蓮市公所及自來水公司編撰，97.1.19。
2. 『生飲設備自主維護管理注意事項』，台北自來水事業處，89.11.29。
3. 危害分析與風險評估，黃清賢著，三民書局，民85年5月。
4. 供水系統用戶水質月報表，九區處檢驗室。
5. 生飲台抄表維護作業資料，花蓮服務所。
6. 花蓮縣政府農業發展處 — http://www.hualien-innocuous.hl.gov.tw/meilun/big5/main_p2.asp
7. 花蓮市自來水生飲之試行，蔡政翰，中華民國自來水協會會刊，2008年2月。
8. 自來水生飲台之安全維護管理，蔡政翰，自來水公司研究報告，2009年4月。
9. 中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

作者簡介

蔡政翰先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處花蓮給水廠
技術士

專長：淨水操作、廢水、廢棄物處理

核能電廠之安與危

文/謝發清

今年三月十一日日本東北部宮城縣發生九·〇之超級大地震及最高達十五公尺之超級大海嘯，地震發生地點之宮城縣、岩手縣、福島縣均災情嚴重，最令人煩惱痛心的為福島核能電廠受損，輻射四處擴散，污染人體造成舉世不安，污染附近蔬菜、海鮮不能食用，迄 3 月 28 日止，財務直接損失初估達台幣九兆元，死亡達 10,804 人，失聯 16,244 人，缺水逾 66 萬戶，缺電約 20 萬戶，房屋全倒 19,943 戶，半倒 140,000 戶以上，災情慘重。

一、全球三大核災

(一)三哩島事件：

1979 年 3 月 28 日發生在美國賓州，在最高七級的國際核能事件表列第五級，意即「造成更廣泛後果的事故」，事件源自冷卻水循環幫浦故障，使核電廠第二號反應爐溫度上升，在為反應爐進行解壓時，一個開放的閥門使更多的冷卻水湧出來，冷卻水接觸到炙熱的反應爐核心造成分子碎裂，並引起氫爆，45%核能燃料棒熔毀，熔渣未穿透圍阻體，溢出的放射線極少，也未造成傷亡。

(二)車諾比事件：

1986 年 4 月 26 日發生在烏克蘭車諾比，列第七級的「重大事故」，是人為失誤所致，核廠人員為進行技術實驗，關閉四號反應爐系統，導致連鎖反應急遽上升，達到正常的 100 多倍，由 2000 噸鋼鐵和混凝土造的反應爐外罩爆炸引起火災，由於沒有第二重圍阻體，核子物質被炸到空中，放射性

碘、銫飄到西歐各地，這座反應爐最後用混凝土整個掩埋，聯合國統計造成 4000 人喪生。

(三)福島事件：

2011 年 3 月 11 日發生在日本的東北福島，由大地震、海嘯所引發，日本將其列為五級事故，福島第一核電六座反應爐中的三座原已關閉保養，另三座在地震後自動停機，但地震導致工廠電力供應中斷，冷卻水循環幫浦停擺，備用發電機又因海嘯故障。一、二、三號反應爐因此溫度過高，燃料棒部分熔毀，四號反應的廢燃料棒存放池也缺水，五、六號反應爐溫度上升。

綜上三次核能事件，除車諾比事件係屬人為失誤所致外，三哩島及福島事件均係因冷卻水無法正常供應所致，水、電係現代化生活所必須，不能有絲毫失誤，故在規劃時必須考慮充足的備援設備，任何一座核電廠發生事故，可立刻由其他相關電廠供電，故其輸電系統也須是隨時可互相支援調配的電纜網，冷卻水降溫系統應有雙系統，一套係常態下直接抽送至冷卻水池，另一套係由備用清水池抽送至高架水塔再轉送入冷卻水池，又水、電影響國計民生的事業最好由公家經營，可多編預算做好該做的備援系統工程，委由民間經營基於成本考量，精打細算難免，這次福島事件手忙腳亂的在拚命搶救的重點工作為接通電纜以供電及用高壓水灌入至冷卻水池以降低水溫，足證電力、水是核電廠的命脈，及時恢復供電至關重要，冷卻水幫浦是否未受損，是否能繼續運

作？也相當重要，否則光有電也沒用，電和水是核電廠安全的兩大支柱，只要恢復供電就能抽取廠外自來水，灌注到反應爐及廢燃料池，水分可透過熱交換器的運作，冷卻後再循環使用，形成完整的冷卻系統。

二、各國核廠概況與替代能源

日本全國擁有五十五座核電廠，十家電力公司，福島核電廠係由東京電力公司所經營，該公司成立於 1951 年，有十七座核電廠，為全球第四大核電公司，佔日本電力市場的 1/3，供電東京都、關東地區、山梨縣、靜岡縣東部地區，據參與設計工程師田中光彥表示，最早竣工的電廠圍阻體太小，不足應付日本綿密的地震，但東電為省錢照蓋，東電另有核安的不良紀錄，地震後廠區內缺水、缺電致電廠無法冷卻而發生爆炸應澈底檢討。

德國境內目前共有十七家核能電廠，而包括風力、水力及太陽能等再生能源使用量，只占全國百分之十五。日本核能電廠發生爆炸和核能輻射後，核安問題已在各國引發激烈討論，德國決定關閉七家在一九八〇年前所建的核電廠運作三個月供檢修。

國內核廠設有「強制停機裝置」，如核三廠設計抗震度為 0.4 G，約八級左右震度，若遇到像這次日本九級震度，恐怕難以抵擋，民國九十八年廠內裝設強制停機裝置（如高鐵之急駛中強制停駛），只要超過 0.2 G 震度，機組便會自動停機，確保核電廠安全。反應爐冷卻及應變系統方面，目前廠內進水口周圍有規劃儲水池，若海嘯後潮水消退，仍可讓機組正常運作卅分鐘，廠外則有兩部氣渦輪發電機，位在四十公尺以

上的高地，不致被海嘯淹沒，可在供電系統被破壞後繼續供電運作，如果爐心冷卻發生問題時，縣府、水利會提出可利用龍鑾潭水源，耐震度方面似偏低，宜檢討設法改善加強。

大陸目前擁有 4 個核電站，11 個運行機組，另有一批在興建和規劃中的核電站，主要分佈在廣東和江蘇沿海地區，大陸核電站門檻比世界平均水準要高，核電站的選址均遠離地質斷裂帶，建在穩定的基岩上，抗震標準、防洪標準等都做到高一級設防。先進核安技術的日本此次遭遇的核危機對大陸的核安全規劃提供了重要的啟示，從土建專案開始就按照核設施的要求進行全程安全管理，同時用三代技術替代二代核電技術。

在替代能源方面有太陽能，天然氣、風車、煤礦、水力發電等，太陽能發電雖非常理想，但目前效能轉換率只有 17~18%，成本很高，各國均靠政府補助，否則不易成長，除非效能轉換率將來開發成功到 50% 左右，否則難作為主要能源，台電指出，去年核能供電量約四百億度，如以太陽光電取代，需要三萬六千座路竹太陽能電廠，需地七、二萬公頃。風力發電值得開發，但受地理環境及氣候之影響，有其條件限制，開發作為補助電源甚佳，若替代現有核電，須三千六百座單機裝置容量三千千瓦的風機，台灣土地與天然資源有限，風力及太陽光電等再生能源有地理條件與其他限制，難以提供充足且穩定的電力。水力發電歷史優久，最為安全，但能開發的早已開發無遺，除非另有新水庫開發配合辦理。

在油價、天然氣價居高不下之際，以目

前技術而言，只能以燃煤電廠取代，這又與國際間的減碳趨勢相背，如何解決，還須從長計議，若全以燃煤電廠取代，二氧化碳年排放量將增加三千四百萬噸。

三、核能電廠的安與危

核電廠的安危建立於地震時是否能「強制關廠」，地震後是否仍能確保正常供電、供水，若無法正常供水、供電，則反應爐因電力供應中斷，冷卻水循環幫浦停擺，備用發電機又因海嘯故障，反應爐因此溫度過高，燃料棒熔毀，發生氫爆，終致產生輻射污染，危害人類生存等，國內的電力公司及水公司均係公營，有 20% 以上的備援設備容量，任何單元發生事故均能互相調度支援，國內雖然降雨量豐富，但豐枯懸殊，豐枯水期各淨水廠的出水量常隨水情狀況而調整，豐水期以河川逕流量為主，枯水期取用水庫水為主，國外的自來水並不統一經營，在互相支援上國內是先進的，台電公司有 22% 的備援設備容量，在事故發生時必能互相支援，因此任何情況必能確保正常供水，供電，反觀日本福島核能事故，無法正常供水、供電，以致冷卻系統無法正常運作，終致反應爐溫度太高爆炸，輻射污染歐、美、亞各地，探討原因，國內係公家公司統一經營，而日本係由十個私人公司經營，東京電力公司雖有十七座核能電廠，在成本優先的原則下，其設備互不相通無法互相支援，終釀成大禍，凡事預則立，不預則廢，希望日本的水電設備設有備援設備，才能永絕後患。

作者簡介

謝發清先生

現職：台灣自來水公司副總工程師退休

專長：自來水工程規劃與設計

微生物新工法應用於水處理之探討

文/曾浩雄、吳萬益

一、前言

台灣本來就缺乏有效的水資源，早期國人又不重視環保，因此島上生態環境(包括土地、糧食及水資源等)均受到嚴重的污染，加上全球氣候及溫度的變化，致使降雨量變得相當異常，故經常造成水荒。尤其是高雄地區，每遇颱風下大雨，高屏溪河水濁度便急速飆高，使得凡取用該溪表面水為其原水的水廠，經常會被迫減量出水；或甚至關廠無法出水，此時仁武及楠梓等工業區內的工廠只好緊急到附近山區運水應急。據報載楠梓加工出口區使用自來水每立方公尺之產值達新台幣 12,000 元，若自來水無法充分供應，對其營收至為不利。

十數年前日本高嶋博士研發的：「有效微生物複合發酵工法」，除可分解人畜糞尿、醃漬廢液中的氮系溶劑與高鹽分之外，還可將農藥、石油化學物、重金屬、砷、有毒氣體予以降解去除，甚至亦能應用於海水淡化，或將海水混入生活廢水，再加以淡化後回收使用，以增加可用的水源量。作者等為此曾兩度赴日考察，特將考察所得撰成本文，供國內環工人士參考，期為充裕國內水資源及其永續發展盡我等綿薄之力。

二、廢水回收之必要性

(一)水資源之不足

水不僅是全球所有生物生存不可缺少的東西，同時也是都市基礎建設(Infrastructures)重要公共資源之一。但隨著農工業生產的發展，淡水水資源的消耗量實在

驚人，致日益缺乏。雖然海水會藉由陽光蒸發後變成雨水，然後降落在陸地上成為可利用的淡水。但現在因人口增加，經濟快速成長，人類為了解決糧食不足等問題，錯誤的將原有雨林改為農業耕地(例如巴西政府不顧世人的強烈反對，將亞馬遜河流域沿岸的原始森林予以砍除，作為其生產農作物與養殖畜牧之用地)，結果造成臭氧層更進一步的破壞，使全球暖化更加嚴重，聯合國氣候科學家估計在 10 年內會造成「北澇南旱」，當水汨濫過後就必然會缺水。

(二)水源遭受污染

目前全世界因人口暴增，早年落後國家的人民，在生活上所產生的廢水，包括因家庭及醫藥上所使用的鹽類、一般排水、農工產業廢液及廢棄物均大量排放進入河川、湖泊或海洋，致嚴重破壞大自然的生態。另外每天各地以高溫燃燒大量的石化燃料，其所產生大量的二氧化碳，亦嚴重影響地球生態環境。即使只是微量的戴奧辛、多氯聯苯、鉻等，也都成為環境賀爾蒙(Environmental Hormones)，對水資源之安全性造成極大的威脅。

另因人類任意排放廢氣(包括工廠的廢氣及汽車排氣)，其所含的污染成份(尤其是懸浮微粒)，極易降落在鄰近的地面，而造成土壤及水資源的污染；其落塵及其所造成的酸雨也會使土壤酸化及礦物質流失，致影響作物之生長。尤其是人造化學品或其他異物，如硝酸鹽，氨與牲畜糞便，及其相關的農業經營，除會危害人體健康外，也會滲透



到地下水含水層，而被人類取用為飲用水，故具有極大的潛在性危險。

三、廢水處理之工法

(一)活性污泥法

目前經常被工業界所使用的傳統式活性污泥(Activated Sludge Method)工法^[1]，是一種污水的好氧生物處理工法。本工法是 1912 年英國的克拉克 (Clark) 和蓋奇 (Gage) 所發明。它是於廢水中應用「好氧生化處理技術」，將廢水中的懸浮固體和膠狀物質由活性污泥予以吸附。而廢水中的可溶性有機物則被活性污泥中的微生物作為其自身繁殖的營養，以代謝轉化為生物細胞，並氧化成為最終產物 (主要是 CO₂)；至於非溶解性有機物則先轉化成溶解性有機物，而後才被代謝和利用，廢水由此得以淨化。

本工法所使用的微生物，事先並未做特別的篩選，因此自然界大量存在的腐敗型好氧性微生物，會在處理污水過程中進行腐敗與分解作用，因而產生惡臭或毒氣，並生成有害物質等。故其處理後的廢水無法回收，而且對海水淡化也完全無效。至於其處理成本根據日本 2005 年利用本工法處理下水道的污水的紀錄，約為 239.2 日圓/M³，折合新台幣 85 元/M³(以新台幣 1 元=2.82 日圓計)，而用戶則按污水量以 133.5 日圓/M³ (折合新台幣 47.7 元/M³)支付處理費^[2](具有刻意優待用戶，以防止隨意排放之意)。

(二)微生物新工法

日本高嶋開發工學總合研究所(以下簡稱為「高嶋工研所」)所研發的「有效微生物循環發酵工法 (Effective Microorganisms Brewing Cycle)，在日本簡稱為 EMBC 工法」，

本文則簡稱為：「微生物新工法」。它是利用微生物所具有各種活動力，藉由生物能量激素(Bio-Intelligence)、高科技能量激素、高科技材料(可耐高壓)工學及有效微生物因「複合發酵」作用，而生成智慧型的能量激素，將所有污染物質予以分解。由此可知「有效微生物」是本工法的主力；而「複合發酵」則使本工法發生功效^[3]

四、有效微生物

(一)微生物之分類

微生物包括細菌、病毒、真菌及小型的原生動物等一大類的生物群體，其形體非常微小(各種菌類之形狀詳如圖 1^[2])，卻與人類生活有密切相關。微生物種類有數千種之多，包括有害與有益的，但迄今人類只瞭解其中的 2%至 3%)，牠廣泛涉及動植物的生命健康、醫藥、養殖、食品等，工農業、環保等諸多領域。自在自然界中可謂「無處不在；無孔不入」。牠涵蓋了有益有害

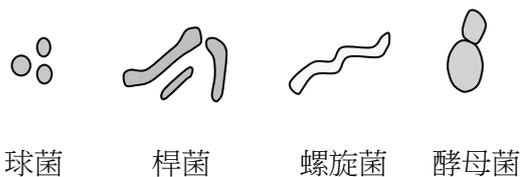


圖 1 微生物形狀示意圖

(二)微生物之演化及其特性^[3]

地球於 46 億年前誕生，此後 12 億年才有細菌出現，由於牠不斷的進化並隨著環境衍生變化，乃出現生命體：藍藻 (Cyanobacteria)。接著出現厭氧性 (Anaerobic Bacteria) 厭光的化學光合成微生物。此時藍藻開始利用陽光，將水與二氧化碳製成糖分，作為其生存的養分而吐出「氧」。厭氧

性微生物基於物競天擇之原則，也開始利用氧氣燃燒有機物，以獲得其所需之能量，甚至更進化為好氧性細菌(Aerobic Bacteria)。好氧性細菌是厭氧性細菌於藍藻排出氧氣時，立刻感受大量能源循環的效用，而出現具有好氧與厭氧性質相反的微生物群。後來因大氣中的氧氣及陽光而產生厭氧性好光的化學光合成微生物(氫微生物)。而好氧性厭光菌及好氧性好光菌的菌類，是依據遺傳進化論，分裂成多樣化並持續繁殖而生成。微生物因好光與厭光之不同又分為好氧性好光菌、好氧性厭光菌、厭氧性好光菌、厭氧性厭光菌等四種特性。

(三)微生物對氧氣的需求^[4]

影響細菌的生長及代謝主要為氧氣及二氧化碳。依據牠對氧氣需求的多寡可分為：

- 1.好氧菌：此類細菌如黴菌、硝化菌、酵母菌、乳酸菌、醋酸菌等，需在有氧的環境下才能良好地生長。
- 2.厭氧菌法生長在大氣環境下，例如酪酸菌、放射線菌、酪酸菌、根瘤菌、脫氮菌及綠硫菌。紫硫菌能分離可兼性厭氧之光合菌--紫色非硫菌，因此細菌在厭氧的情況下，可行光合作用，也可以行化學自營生活。
- 3.兼性厭氧菌：在有氧無氧的環境下均能生長，如乳酸菌及酵母菌等。
- 4.微需氧菌：在低濃度之氧仍可使此類細菌生長良好，在低氧壓下生長最好，氧濃度小於 10%時對牠有抑制作用。如空腸彎曲菌、幽門螺旋桿菌。
- 5.專性厭氧菌：是指在無氧的環境中才能生長繁殖的細菌。此類細菌缺乏完善的呼吸

酶系統，只能進行無氧發酵，不但不能利用分子氧，而且游離氧對其還有毒性作用。此類細菌缺乏完善的呼吸酶系統，故在有氧存在時就不能生長，即使在採集或運送標本過程中，若暴露在無氧環境下也會迅速死亡。牠只能進行無氧發酵，不但不能利用氧分子，而且遊離氧對其還有毒性作用。如破傷風桿菌、肉毒桿菌、產生莢膜桿菌等。

(四)複合微生物^[5]

- 1.單一微生物：利用純粹單一培養所分離出的微生物，其基本物質及代謝的關係只能生成一種發酵物質。
- 2.複合微生物(Microorganisms)：在純粹培養單一微生物時，所不可能排除的其他 99.9%多種多樣的微生物。其實縱使培養出單一微生物，牠在自然界中也無法單獨生存，因此自然界中幾乎都是複合微生物。

(五)有效微生物群^[5]

有效微生物群有下列五類菌種：

- 1.酵母及乳酸菌(發酵微生物)：能生產氨基酸、醣類、維他命及生理活性物，並使雜菌類淨化，而產生殺菌的作用。乳酸菌能抑制雜菌；酵母菌能使其增殖發酵，此外還能製造出生理活性物質。
- 2.固氮菌(固氮菌及氨基菌)：能夠從空氣中吸收氮氣製造氮肥，具有利用生長在植物根瘤部的根瘤菌，促進生物發育的作用。
- 3.光合成細菌(光合成微生物)：吸收二氧化碳等進行光合作用，將分解菌、分解物、有機物及無機物，利用光與熱的能源進行合成，將所有的物質轉移成帶正電荷，是有效微生物當中的主力。
- 4.放線菌(抗菌物質產生菌)：除了能淨化、殺

菌、病毒及病原體之外，還具有促進生物能生長的作用。

5. 抗氧化物(微生物及植物酵素結晶): 由微生物酵素及植物酵素結合結晶(合成融合)，具有生物半導體機能，能夠抑制氧化、敗壞、腐敗及分裂，並讓微生物融合，促進複合發酵。

(六) 微生物之能力

地球上微生物群具有無法估計的能力，微生物可分解自然界的氮和其他元素，故可淨化環境。只要創造出厭氧性菌類與好氧性菌類共存、共榮及共生的系統，讓微生物的原始化學光合成微生物(融合性微生物)重現，進而使「微生物的融合」與「酵素的結合結晶」產生物質的代謝與交替，以及能源的反覆置換與交換，並利用情資與能源觸媒，讓厭氧性微生物發生效用，進而產生具有能夠解決所有污染物質的基質性、機能性以及情報(資料、訊息及智慧)性微生物。微生物是地球上所有生物生命所需基本元素「氧」的製造者，也是所有生物生命體內產生免疫力的原動力，賦有接受宇宙能量的任務，是人類自古以來能維持生命的要素之一。微生物的存在給與人類極大的恩惠，沒有微生物；人類將無法生存。

五、發酵

(一) 發酵的種類^[5]

發酵(Fermentation) 多是指微生物細胞將有機物氧化釋放的電子，直接交給另外本身未完全氧化的某中間產物，同時釋放能量並產生各種不同的代謝產物。如果在能量轉換中，基質(電子供應者 DH₂)，以及在基質氧化時所合成的電子接受者為有機化合

物，且沒有參與轉換過程，就稱為發酵。

發酵分為五種方式，以發酵食品為例，乳酪是單發酵；味噌是復發酵；酒是平行發酵；啤酒是平衡復發酵；白酒是固體發酵，另於發酵時因菌種之多寡又分為：單獨發酵及複合發酵^[3]。

1. 單獨發酵：單獨發酵是單獨進行，單一微生物將物質分解，饅頭和乳酪就是典型單獨發酵。以現代技術而言，單一微生物發酵已可藉由復發酵並行之，此乃製造日本清酒之技術。
2. 複合發酵：複合發酵方法是賴微生物之好氧性好光菌、好氧性厭光菌、厭氧性好光菌、厭氧性厭光菌等四種類型之菌種共存與共生而進行。如此藉由生物科技及高科技之融合而生成現代最先端的智慧型微生物工學，即為複合發酵。複合發酵是先由單獨發酵開始，然後復發酵、並行復發酵、平衡復發酵及固形發酵的連動作用，所引起物質基質的代謝與交替，並反覆進行能源置換與交換的動作，而生成情資與能源觸媒，再將全部微生物導向有效之生態系統。

(二) 發酵的過程^[5]

發酵過程中活細胞能從葡萄糖的分解，和不需氧的其他簡單糖分子獲得熱量。其實與發酵有關的是葡萄糖，科學家認定發酵過程中首先是從有機化合物獲得能量後才逐步形成。微生物在複合發酵過程中，首先是好氧性發酵微生物開始起作用，好氧性發酵微生物即所謂的酵母及乳酸菌等，牠可造製出氨基酸(Amino Acid)、醣類(羥基醛，酮或水解時產生的化合物)、維他命及礦物等生理活性物質，將大腸菌、絲狀菌及雜

菌等好氧性有害菌予以抑制或清除。絲狀菌及雜菌類等好氧有害菌類的繁殖，會使乳酸菌及酵母轉換為通性病毒(Virus)及病原體(pathogen)等厭氧性之有害性菌。當上述兩種菌發生互動作用時，固氮菌屬之球菌及根瘤菌便開始互動，接著乳酸菌成為通性厭氧性乳酸菌，從而出現放線菌並造製出抗菌性物質，將細菌、病原體、病毒、立克次氏體屬微生物等好氧性有害菌予以清除。

這兩種淨菌因為連動作用，致氮氣固定菌屬之球菌、氨基菌、根瘤菌等，會因空氣中之氮氣及所有氣體之進入而成氮氣固定菌，最後是光合成菌(Bacteria)及藻菌類。化學光合成微生物因二氧化碳及氮氣，而促成光合作用後進行置換和交換，如此發酵微生物(乳酸菌及酵母)、放線菌、氮氣固定菌及光合成細菌。藻類光合成微生物等之合成型微生物若強烈連動，最後將成為理想的發酵合成型(複合發酵)生態系，而生成微生物融合及酵素結合結晶。

(三)複合發酵循環^[3]

複合發酵是單獨發酵進而復發酵、復發酵及平衡復發酵，在固體發酵的連動作用下，引起基礎物質代謝和交換，並生出微生物能量激素的狀態、使之將所有微生物有效地導入生態系統，此微生物能量激素將形成連動循環，也是微生物的循環作用，當循環作用完成後便實現其共存與共生之狀態，此時各種有用菌的密度均達 $10^9/\text{cm}^3$ ^[2]。

(四)微生物新工法的精髓^[3]

由微生物發生的延遲作業，其實並非至今所認知的分解作用，而是「合成與融合(Synthetically Fused)」使之延遲反應，亦即好氧細菌與厭氧細菌之腐敗作用及合成作

用，因環境條件促成生態之變化。因合成作用致生態變化之微生群，可因「合成、融合」而無限增殖，此外因生存環境之不同，微生物也可共存與共生，此乃微生物能量激素(Bio-Intelligence)誘導所引發之無形環境，此處所稱之「能量激素」即為「複合酵素」。因微生物能量激素誘導所促成的抗氧化作用，可抑制活性氧氣之進行，並藉由複合發酵而誘導「合成與融合」，使微生物之延遲作用能順利轉變。

以前認為厭氧性厭光菌、厭氧性好光菌、好氧性厭光菌、好氧性好光菌等四種微生物，不可能同時發揮功能，現在已經變成可能。目前已可讓牠們與所有的氧化與腐敗絕緣，只產生發酵→分解→合成的還原作用，以及抗氧化作用(氧化及還原作用同時存在)。並利用微生物所具有的機能、基質及能量激素，以智慧型微生物工學，驅動發酵工法、增殖工法及誘導工法，有效的引導全部微生物共存與共生。這種狀態持續下去，1cc 的生菌數會增殖到 10^7 ， 10^8 ，然後 10^9 ，此時微生物的形狀會縮小，並因凝集作用而呈固態化(偽死狀態)，但因為沒有細菌死亡，致使生菌數飛躍似增殖至 10^{20} 10^{30} 甚至 10^n 。由於微生物高密度化，致產生微生物的融合與微生物酵素的高濃度化，因而產生酵素結合結晶。然後透過代謝與交替產生物質觸媒，並因能源置換與交換而產生能量激素，將所有能量激素引導產生有效作用，讓所有物質的正電荷轉移，此乃生物群發酵循環之重點，也就是有效微生物複合發酵工法的精髓。

由於厭氧性菌類與好氧性菌類在共存，共榮及共生的系統中，因複合發酵作用

讓微生物的原始化學光合成微生物(融合性微生物)重現,使微生物的融合產生具有能夠解決所有污染物質的基質性、機能性以及智慧性微生物。它在濃硫酸中也能生存並進行分解,故能夠分解無機物、分子、原子、核子及放射能等。這就是微生物能分解有害物質的神奇能力。

(五)分解有害物質的根據^[3]

發酵合成(複合發酵)狀態下微生物會產生分解有害物質作用,其分解作用分為以下列三類。

- 1.「發酵類」:以酵母菌、酵母等發酵微生物為主體,用在活性的有機物上會產生發香味,產生大量的麴黴。Fuzalium 佔有率在 5%以下,形成耐水團力強,變得膨軟可促進無機養分的可溶性。活的氨基酸、醣類、維他命以及其他生理活性物質會變多,能夠促進及改善生物的發育並抑制氧化腐敗的氣體產生。
- 2.「合成類」:以光合成細菌、藻菌類及固氮菌等合成型微生物占多數,水分安定,只要給予少量的有機物就會讓生育肥沃,Fuzalium 的佔有率低,多與淨化菌型微生物連動,能抑制腐敗氣體產生。
- 3.「發酵類合成類」:如果強力連結的情況,就會發生發酵合成型(複合發酵)最理想的生態,他不但完全不會產生腐敗,而且能將微生物所有的有害作用導引成為有益效果,這就是高嶋博士是所謂的有效微生物群之功效。

(六)有效微生物複合發酵功效之實例

1945 年 8 月 6 日及 9 日美軍在日本廣島及長崎分別各投下原子彈後,全世界物理學家一致認為,此後 150 年內其四周將無法長

出任何植物,然而三個月後就發現有雜草萌芽,一年後更長出稻米、大麥、黃瓜、茄子、青菜等,全世界的物理及生物學家大為驚訝,事後科學家集體研討,此乃土壤中的菌種起了複合發酵作用,進而將其四周之放射線予以分解而消失,由此可證明複合發酵工法確可將所有物質、分子、原子、核子、放射能予以分解消失。

(七)可處理後回收的廢水

- 1.一般家庭廢水:包括盥洗廢水、室內清潔洗滌廢水、廚房烹飪、洗滌及廚餘廢液等。室內清潔洗滌及洗衣廢水的成份有肥皂、活性介面質、非肥皂、乳液、洗髮精、石化清潔劑、油脂、有機物及無機物等。
- 2.生活廢水:包括糞便與尿液。糞便的成分含有食物中不消化的纖維素、結締組織、上消化道的分泌物,如粘液、膽色素、粘蛋白、消化液、消化道粘膜脫落的殘片,上皮細胞和細菌。如不吃蔬菜和粗糙穀類糞便組成常是一致的,即 65%水分,35%固體。固體部分細菌最多可達 50%,但大半細菌排出時已死亡。另外 2~30%是含氮物質,10~20%是無機鹽(鈣、鐵、鎂),脂肪占 10~20%。分解的脂肪是食物未被吸收的,中性脂肪由細菌和上皮殘片而來的。另有膽固醇、嘌呤基和少量維生素^[6]。尿液的成份包括有醣類、脂肪酸、微量膽固醇,及其他含氮物質(如肌酸酐、胺基酸、微量蛋白質和醣蛋白)、含硫物質(如硫酸、硫化物、半光胺酸等)、有機或無機磷酸等。每人每日排出的糞尿約 13g,其所含的 BOD,占全部家庭污水量的 1/3^[7]。
- 3.工廠廢水或廢液:高濃度硼硝、氮氣等無機物、鈉、PVA、介面活性劑、動物性及

植物性油脂、飼料製造中所產生的廢水(血液、動物或植物性油脂)、製餡廢液之蛋白質、各種色素、臭氣、高濃度鹽分、高濃度澱粉、血液(血色素)、生活廢水中之有害物質、污泥、過氧化氫、次亞氯酸、蘇打、污泥餅脫水、社區水肥、造紙污泥、農藥廢液、濃鹽酸、重金屬、顯像液及定著劑中之無機物、EDTA、合成剝離劑(高分子溶劑)、無機化學藥品、重油流出、PCB 及各種重金屬污染殘土、IT 相關劇毒廢液、核廢料等^[8]。

4.海水：海水中含鹽量約為 25~27 克/公升(2.5%~2.7%)，總固體溶解量(TDS)約為 3 萬至 4.5 萬 PPM，而人類安全食用鹽份量應低 250 mg/L。目前海水淡化之去除率已達 99.5 %，故可將其含鹽量減少到安全食用範圍內^[9]。

(八)需要之設備^[8]

本工法應用於廢水回收之處理，其設備須按廢水所含成份之特性加以設置。原則上需要設置一至數座之廢水收集槽、發酵增殖槽、發酵槽及合成發酵槽、沉澱槽、曝氣槽、觸媒槽(礦物或活性碳)、油脂分離槽、發酵菌床、混合液中之懸浮固體物、不織布、PH 值調整槽、發酵槽等。

(九)各項設備之功用^[8]

1.廢水收集槽：本槽用以收集每日待處理之廢水，其大小應以維持廢水在槽中之滯留時間達 2 小時以上。槽前須設柵欄 或過濾網以阻止廢渣流入。

2.發酵增殖槽：增殖槽是微生物新工法的一項特殊設備，主要是讓有效微生物群發酵增殖所使用的加壓槽。其特徵是讓發酵微生物以及淨菌微生物共存與共生，而使用

衝擊方法之所在。發酵合成(複合合成)對厭氧性微生物及好氧性微生物的共存、與共生非常重要，在從前是不可能達成的；現在變成可能，其主要原因，就是這個加壓型發酵增殖槽。它將微生物的機能、基質(基礎)及能量激素予以加壓，使之不會發生腐敗、氧化及敗壞，以製造能夠發酵的狀態。處理時槽內最初應維持 33°C 至 38°C，同時加壓(約 2 Pa)使微生物高密度化，槽內設攪拌機，以便做適當之攪拌，並以定量之有效微生物群包括好氧性菌及厭氧性菌(兩者都有對光性之喜愛與厭惡)加入槽內。上述好氧性(好光與厭光)及厭氧性(好光與厭光)四種菌須作適當之配比，以利複合發酵，此時會產生微生物溶合及酵素結合，並增殖之。

3.發酵槽及合成發酵槽：在增殖槽培養出的有效微生物群，須以污水總量的 1/5,000 至 1/10,000 之比例加入槽中，槽述四種有效微生物均衡的混合使其發酵，能夠讓原來腐敗型的好氧性微生物不會因氧化作用產生腐敗或分解，而是利用有效微生物群的還原作用，處理污水中有害物質，能使污水中的 BOD、COD 等的含量降至最低，最後污泥會變成水與氣體，處理過的水就可以當作可用的水再加以利用。

4.沉澱槽：須設二至三座，在槽中藉其下方之有效微生物，使活性污泥與處理水循環作用後，再回到曝氣槽，其底部外側設鼓風機，以灌入適量空氣。並在此進行發酵、分解及合成。

(十)優缺點比較

微生物新工法則有以下數種優點：既有設備可以活用設備簡單成本低、可以減少污

泥，故可抑制 CO₂、烷及硫化氫的產生、投入的藥劑較少、可減輕惡臭、有害物質及內分泌攪亂物，處理後的水質非常清澈。處理前後之水質^[2]如下：BOD：10,000⇒10；COD：1,100⇒10；SS：40,000⇒9；T-N：1,000⇒40；T-P：600⇒0.7（單位：PPM）。目前在高雄之生活廢水處理廠其處理成本（以達到二級處理之放流標準為準）約為 8 元/M³（不含管線或運送費）；新加坡則高達 16 元/M³，以本工法在日本之處理費約為 4 元/M³，故相當低廉。

六、應用於海水淡化

(一)傳統工法

1.傳統海水淡化方法：

傳統海水淡化本季刊已多次詳述，故不再贅述。至於採用哪種方法最合適，其最大的關鍵是能源。在石油資源豐富，貧水國家在中東地區，海水淡化大都採用逆滲透法。目前全世界海水淡化年總量達 380 至 492 億 M³，雖然數量仍在繼續增加中。但這只是全球用水量 0.2 %。

2.成本分析：

根據國際淡化協會的統計，全世界約有 133 個國家應用海水淡化系統，淡化水的日產量（單位機組日產 100M³ 以上者）已達 3,240 萬 M³。對於海水淡化而言，能量損耗是直接決定成本高低的關鍵。40 多年來，隨著技術的提升，海水淡化的能量損耗指標已降低了 90% 左右（從 26.4kwh / m³ 降到 2.9 kwh/m³），成本隨之大為降低，甚至在某些地區已經接近或低於自來水的成本。這也為海水淡化技術在全球缺水地區起了關鍵作用。例如美國佛羅里達州海淡廠之製水成本均約 0.5 美元/M³，而新加坡之 TUAS 海淡廠

製水成本甚至只約 0.46 美元/M³（以新台幣 1 元=1/29 美元計算，約為新台幣 13.34/M³）^[9]。該價格低於澎湖現有海淡廠成本（約 30 元/M³）之一半，其主要原因是海淡廠的最重要設備，例如逆滲透薄膜、高壓泵（55kg/cm²）及耐酸鹼性之零件，目前國內尚無法自行製造，均需購自海外之故。

3.功效之分析：

如上所述，傳統海水淡化工法之處理成本，在國外約為新台幣 15 元/M³；在國內（澎湖）約 30 元/M³。雖高於台灣自來水公司送供澎湖地區的自來水（售價只約 9 元/M³）三倍多，但因該地區之天然水資源極端欠缺，又無工廠廢水可資處理回收再利用。故只有採用海水淡化一途，以解決其水源之不足。不過其所排出的大量濃鹽水，為原海水濃度的 1.5 倍，且溫度高於海水，通常都直接排入海洋中。因此廢海水中的熱能會使局部海域水溫升高，導致某些浮游生物急遽繁殖和高度密集，造成海洋生物大量死亡。海水水溫的升高還會使海水中的溶氧量降低，影響生物的新陳代謝，甚至使生物群落發生改變，破壞海洋生物的棲息環境。為解決濃鹽水的區域性污染問題，濃鹽水須控制在適當的溫度後再排放。

(二)微生物新工法^[2]

1.處理成本：

日本高鳴工研所，曾應用本工法，以 5 萬 CMD 之淡化規模進行試驗，運轉前設定測試項目為造水量：50,000 CMD；回收率 50%；利用率 95%；用電容量：4KWH/ M³；電費：4.20 元/ WH/ M³；薄膜汰換率：10%/年；建設單價 7.0 萬元/ M³；耐用年限：15 年；利息：5%。經實際運轉後加以核算結果

得知其成本，每立方公尺約為新台幣 50.61 元/M³(其中電費：21.0 元；薄膜費：1.61 元；藥品費：3.08 元；維修費 2.03 元；人事費 3.43 元；折舊及利息等費：19.46 元)。

1.使用之菌種：本工法應用於海水淡化之原理及處理程式與應用於廢水回收之方法大致相同。其所使用的菌種為好鹽細菌(低度好鹽細菌，在鹽水 0.3M 至 0.8M 最適宜增殖、中度好鹽細菌，在 0.8M 至 2.5M 最適宜增殖、高度好鹽細菌在 2.5M 至 5.2M 最適宜增殖，能耐 20%食鹽濃度。

2.功效之分析：但因海水中所含的有機物，不足以供應微生物生存所需知營養，故其反應時間較久，亦即海水在反應槽中之滯留時間長達兩天以上。易言之，其處理槽容量需相當大，故不符經濟效益。除非可在海邊找到一大片海埔新生地，除其所需之微生物培養增殖槽必須設在室內(因須保持恆溫 33°C ~ 38°C，並經常加以曝氣，並加壓 2Pa)外，其餘的反應槽均直接以土為堤(堤上加築漿砌卵石護坡)，將地面挖深 1.5 公尺，分成所需之反應池(槽)，以露天方式進行淡化處理，但其處理成本仍高於目前普遍適用之逆滲透等法。

採用微生物新工法所排出的鹽份只有原有海水鹽量的 0.2%，其濃度為原海水的 0.4%，且溫度與原有海水同，若直接排入海洋中，並不影響害體生態。但依目前我國飲用水水源水質標準第五條之規定：地面水體或地下水體作為自來水及簡易自來水之飲用水水源者，其水質規定化學需氧量(COD)須在 25mg/L 以下等等。但是一般生活廢水之 COD 高達 500mg/L，光只這一項就不得作為飲用水之水源，因此其可行性並不高。只

能作為農業或工業用水。除非在海邊無自來水地區，因故無法取得飲用水時，則可應用生物工法，先將生活廢水加以處理，使它符合地面水體做為飲用水之標準，然後再加入海水，利用逆滲透法就兩者之混合水加以處理，使之達到飲用水之標準。

七、應用於生活廢水回收

(一)活性污泥工法

如前所述本工法在使用的微生物，事先並未做特別的篩選，因它使用自然界大量存在的腐敗型好氧性微生物，進行腐敗與分解作用。在分解過程中會有產生惡臭或毒氣，並生成有害物質等缺點，故其廢水無法回收，而且對海水淡化也完全無效。

(二)微生物新工法

三年前日本高嶋工研所在其公司前之空地，曾就海水中加入生活廢水(各占 50%)混合而成原水(1m³)，然後利用微生物新工法加進行試驗，其設備^[2](原水、混合槽、EMBC 增殖液、發酵合成、合成等槽各一座其容量均為 1 m³，沉澱槽一座為 0.9M³、另一座為 0.5 M³)。結果在第 10 天後，混合廢水中的懸浮固體物(SS)完全消失。在第 17 天後，廢水中的氯化鈉也完全消失，其處理後之水質可達到飲用水質標準。至於其成本，依高嶋工研所之估計，約為完全以海水加以淡化所需成本之一半，即新台幣 25.31 元/M³，低於日本目前下水道(生活污水為主)的處理成本：新台幣 83.72 元/M³ (約為 239.2 圓元/M³，雖然日本政府對用戶只收費 133.5 日圓，但折合新台幣也要 46.73 元)。並且處理過的水又可作為一般家庭用水，比使用當地之自來水的費用達 180 圓/M³^[2] (新台幣 63.0 元/ M³)還低廉，可謂相當合算。

但在內因現於法令只能作為廢水回收，尤其是因當地可用水源不足(特別是在極易乾旱，或水源受污染嚴重之地區)，則可照上述方法，應用微生物新工法，以兩段方式進行海水淡化，以補充水資源不足，或乾脆不用利用逆滲透法加以處理，只做廢水回收，其處理過的水質只要達到中水道之標準，就可作為家庭洗滌、沖馬桶或農業或工業用水，略高於目前自來水公司之平均售價(9.50 元/M³)，但已低於目前澎湖海水淡化之成本，其可行性相當高。尤其是澎湖久旱不雨，自來水公司被迫須台水澎運(1 M³ 約為新台幣 180 元)時，更具其經濟性。

八、應用微生物新工法實例^[10]

2001 年 6 月高嶋工研所與大型化學工業公司合作，在該公司的聯合企業場內，將海水和工廠廢水混合的水，實際進行淨化處理試驗，事後證實該項技術確可將海水予以淡化。

亞洲國家如：新加坡、韓國、印尼(巴厘島)、越南、泰國、汶萊、杜拜，阿布拉比、中國、台灣等的政府單位或企業界有關人員，都曾前往日本考察、並瞭解這項商務計畫的價值，其中有的已簽訂合作計畫，採用該工法進行其各種廢水之處理。

九、實際引進微生物新工法

(一)試驗背景

雲林縣大埤鄉以出產酸菜(台語：鹹菜)聞名全省，大埤酸菜的產量目前已佔全台酸菜市場的百分之九十以上，因而獲得了「酸菜王國」之美名。

雲林酸菜專業區的鹹菜醃製設備採用水泥桶，其口徑約二十台尺，高約十二台

尺，一桶一次可醃製四萬台斤之鹹菜。由於其製作過程中所產生之高鹽度(13%)廢水，長久以來一直無法做妥善的處理，早已成為該專業區亟須解決的議題。為此惠民實業公司乃於去(99)年底與高嶋工研所簽訂協議書，正式引進該工法，並立即於該專業區進行高濃度鹽水處理之可行性研究。預定處理後之鹽度濃度可降至 0.06%(國際放流水標準)。

十、結論與建議

目前台灣的水資源已不敷需求，亟須立即開發新水源。但因國民意識型態高漲，任何開發新水源方案均會遭受其附近居民之強烈抗爭，故不易推行。而自來水漏水率雖高達 34%，但老舊水管仍因經費拮据迄無法全面更新。在開源節流兩不易之情況下，經濟部施部長表示：「再生水使用的時代已經來臨」。因此開發廢水回收乃目前增加新水源最可行之方案之一。日本高嶋博士研發的微生物新工法，除可分解有害物質並使其生成的污泥消失之外，還可將人類生活廢水混合海水加以淡化，並予回收最作為中水道之各種用途，一舉兩得。惠民實業公司引進該工法，就雲林鹹菜醃製廠之高濃度鹽水之處理加以試驗，俟試驗成功後，將應用於全台各地工業區污水處理廠之污水處理。

建議政府及相關單位，隨時瞭解其功效，更應積極鼓勵各地相關機構大力推動，促使經常發生缺水地區之工廠，採用微生物新工法處理其工廠廢水，並將其處理後的水回收再利用。而瀕臨海邊之工廠可將其生活廢水混合海水，再應用本工法進行淡化處理，則不僅可節省生活廢水之處理費(目前苗栗地區正在興建生活廢水設施，完工後將實施「處理生活廢水收費制度」，其他地區亦

將逐步推動)，又可節省支付自來水之費用。必要時宜設法配合修改其採購規範，讓該工法能在公平公正的條件下順利推行淡化處理，除可接省其生活廢水之處理費則不僅政府及民間均各獲其利，水源環境及水源不足等問題亦可因而得以紓緩。

參考文獻

1. 活性污泥法：維基百科.自由的百科全書
(zh.wikipedia.org/zh/tw)
2. 海水淡化化·生活排水淨化解析：高嶋開發工學
總合研究所，2005年
3. EMBC情報微生物工學：開發工學總合研究所(
行政院原子能委員會核能研究所譯本)2001年
4. 微生物對氧氣之需求：http://microbiology.scu.edu.tw/micro/microbe-exp/exp_website/Exp_17.htm
5. 發酵：維基百科.自由的百科全書
6. 糞便：維基百科.自由的百科全書
7. 尿液的成份：web2.cc.nctu.edu.tw/~hcsai/hospital/uti/uti0.html
8. 發酵的環境BIO處理：高嶋開發工學總合研究
所，2001年
9. 海水淡化方法：http://www.livescience.com/environment/070625_desalination_membranes.html
10. 水資源プロジェクト(水資源問題とその解決)
): 高嶋開發工學總合研究所，2007年

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

吳萬益先生

現職：惠民實業股份有限公司總經理

專長：環境工程



國際自來水瞭望台

譯/范家璋

回歸自然：降低水患風險的柔性管道

長久以來，水患控管的工程一直以艱深的硬性工程途徑處理。但放眼未來，這真的是最合適的方法嗎？在過去一年間，全球各地歷經了多起嚴重水患。為了找尋解決方案，Jamie Pittock 將探討是否增建更多的防洪水壩及堤岸便可降低水患的威脅，亦或有其他可行的方法可以幫助潛在危險地區更有效地控管洪水帶來的災害。

去年間，全球多個地區皆因洪水帶來的災害經歷了一段衝擊。其中包括了五月至八月間於中國發生的水患及山崩，造成三千兩百人喪生、一千五百萬人被迫撤離家園，總受影響人數更高達兩億三千萬，估計造成約四百三十億美元的損失。而去年七月間巴基斯坦的水患同樣影響了兩千萬人的生計，估計約有一千八百人因此喪生，並且帶來四百五十億美元的損失。再觀巴西，今年一月的水患及土石流不僅奪走八百條人命，各方面損失也高達一百二十億美金。自去年十二月起，澳洲的洪水至少造成三十六人喪生，及美金三百二十億的損失。

澳洲南十字星大學 (Southern Cross University) 的副教授 Caroline Sullivan 表示：「全球各地的氣候研究專家一致表達贊同的議題之一，就是氣候變遷便是造成近代極端現象層出不窮的可能原因。眼下最重要的是我們能從這些災害中學到什麼，並且立即採取相關行動，設置更有效的措施來適應不斷變遷的氣候。從目前的情況來看，「百年一遇」的大型洪水或乾旱發生週期將不再間隔百年。」

水壩的建設是否就是解決問題的答案？

澳洲方面對於究竟該如何回應洪水威脅所進行的辯論為這個問題鋪陳了各類不同觀點。今年一月間，反方的一辯 Tony Abbott 總

結：「該是舉國把水壩列回待建設行列的時候了。我認為，早先昆士蘭(Queensland)的水患更直接點明了這項建設的迫切性。除了可以減輕水患造成的災害外，水壩亦可用以存續過多的水源，並且成為溫室氣體零排放量的潛在能量來源。」然而，澳洲查理斯特大學 (Charles Sturt University) 副教授 Robyn Watts 則表示，「在洪水侵襲時，處理大量的水流除了需要更加倍的容量及產能外，事先的水路規劃及疏通也是關鍵。然而即便如此，我們也無法全權倚賴水壩及堤岸在危機時刻提供最全面的防護。當水壩的存量達到儲存上限時，還得另外進行其他規劃，利用天然的渠道或人工運送管道，將過多的水量導引至下游的沖積平原。」

除了上述考量外，利用水壩管理洪水更面臨一些現實上的妥協與抉擇。為了及時容納洪水突然帶來的大量水源，水壩必須時時處於幾乎淨空的狀態；換言之，平時水壩也就無法如預期般充分發揮其儲存、供水及水力發電的最大效益了。

在歷經 1974 年的大水之後，澳洲政府於 1984 年在布里斯本上游建立了 Wivenhoe 水壩，供水存量為 1,165,000Mℓ，另有額外 1,450,000Mℓ 的容量供洪泛期間的存納。然而於 2002 至 2010 年的乾旱期間，澳洲政府仍得耗費數億澳幣的資金發展其他如去鹽法及水回收系統等的供水來源，這也顯示了興建水壩的多項額外成本之一。雖然水壩的建立可降低洪水最高水位約兩公尺，但今年一月間布里斯本依然經歷嚴重水患，證明水壩對於洪水防治的效能仍然缺乏全面性。這種類型的水壩僅能對抗一般、有益型的洪水，但卻可能促使下游沖積平原的生成，使面臨大型災害時的受災情況更加惡化。布里斯本每

兩年便有數以百計的居民受到威脅。

針對這個現象，澳洲國立大學 (The Australian National University) 的 R. Quentin Grafton 教授回應：「眼下首要的因應措施便是擬訂危機導向的行動規劃。這包含蒐集全球各地依現況或近期內可能的改變來推算的洪災發生率，以及防災及救難行動準則，並將其編列成可供民眾輕易取得的資訊。除此之外，再將這些區域劃分成可以有效控管的單位，依各單位的特性規劃該在哪些地點興建怎樣的建設。」澳洲查理斯特大學的教授 Max Finlayson 也補充：「藉由充份的準備及對防洪的認知，我們可以降低傷害的程度；同時再以其他備用方案取代河邊、沖積平原、及易受災地區民眾對公共建設的依賴。於上述地區中，大型災害在未來也會持續不斷的發生。雖然全然地防護易受損的建設免於侵襲幾近不可能，但卻可以推行一些簡易的措施降低傷害的嚴重性；例如利用地表上的坑洞或水道、保留河流的曲度、或是將洪水引導至沖積平原等。沖積平原顧名思義便是經由洪水不斷沖刷出來的平坦區域。不僅可以吸收過多的水分，同時亦吸收其帶來的豐沛能量。」

對於已開發國家來說，水壩在洪災防治上的功用更是被其「已開發」的現況大量局限。由於大多數適合建立水壩的區域已經被其他建設所利用，而餘下的地區也因其環境或生態維護上的價值無法移為它用，或是必須造成大量人口的搬遷等。種種操作上的不便皆大大削減了水壩預期效益的達成。澳洲聯邦科學與工業研究組織 CSIRO 於 2009 年的一份報告中指出，澳洲北領地地表水蓄存的可行性上面臨了重大的限制。許多已開發國家都有志一同的移除過剩或是不安全的水壩。澳洲的維多利亞州政府 (State Government of Victoria) 便於 2010 年耗資六千萬美元停用一座因為不斷蒸發而喪失大量水源的 Lake

Mokoan 大型蓄水庫。

都會區的供水服務是一項非常有公共價值的建設，然而許多被提議的水壩建設近期卻因民眾反對而被維多利亞州政府駁回。這表示藉由興建水壩來防治洪災的策略即使有其一定的效果也無法如期達到。

沖積平原的重整

另一條「柔性管道」的實施需要借力於自然 - 重建沖積平原，使其發揮自身的功能，更迅速且有效地減少洪水危機造成的災害。目前許多國家都已發覺沖積平原的在防洪方面的價值，致力將其轉換成更具回復力的土地使用，包括採掘業的開發、放牧場及水耕法的用地、漁業、林業、休閒業的發展、以至對自然資源的保護、管理等。Sullivan 表示，「多給河川留點空間」是目前多國共同採取的策略之一。河川氾濫淹過堤岸並覆蓋周邊種滿植物的休閒綠地所帶來的災害與布里斯本河畔 (Brisbane River) 過度發展的堤岸所發生的破壞程度相比可謂小巫見大巫。對於溼地在緩衝洪災上的功效，及利用生態系統提供的寶貴資源進行各項發展上的了解為我們在相關法規的制定上開啟了新的一頁。期待未來各國主流總體經濟的決策制定都將更緊密地融入環境方面的策略。

Watts 表示：「在排水量達到某種程度時，沖積平原或是引導洪水繞著城鎮分流而建立的全新分洪河道上原有的堤壩及其他公共建設 (如道路及房舍等) 可能需要後遷。重新連結沖積平原不僅可以降低洪災的威脅，同時還可以支援生物多樣性及提供生態服務，例如地下水的補注和漁業的發展，因此在公共安全上提供了顯著的利益。加州的尤洛河道 (Yolo Bypass) 便是大型沖積平原連結工程的好例子。1986 年間，所有上游蓄水池容量三倍的洪水便透過尤洛河道繞著下游的加州首府沙加緬度市 (Sacramento) 傳

輸。」

另一個例子是由荷蘭政府提出的方案「與水共存」(Live with Water)，目的在有系統的拆除沿岸用以防治洪災的堤壩。其中一項工程將重新開啟萊茵河畔的沖積平原 Gerlense Poort，一座 2,500 公頃的自然保護區，在抽取經年累月堆積的泥沙、碎石、瓦礫沉積後安全地增加於荷蘭安能 (Arnhem) 及奈美根 (Nijmegen) 兩座城市排放的洪水量，預計從 2006 年之前的 $15,000\text{m}^3/\text{s}$ 在 2015 年提昇到 $16,000\text{m}^3/\text{s}$ ，再於 2100 年增加至 $16,500\text{m}^3/\text{s}$ 。除此之外，位處多瑙河下游的歐洲多國政府一致同意透過重整 $2,250\text{km}^2$ 的沖積平原來增加洪泛的蓄存能力。目前已完成或正在進行的部分佔總工程的 14.4%。2005 年間，多瑙河下游的洪災共造成 34 人喪生以及三億九千萬歐元 (約五億三千九百萬美元) 的損失。相形之下，將農地重整為更大片的沖積平原預估耗資的兩千萬歐元 (約兩千七百萬美元) 不僅在支出上較實惠，同時每年還可以帶來總值約五千萬歐元 (約合美金六千八百萬元) 的生態服務。

為了增進蓄洪能力、提昇周遭環境的生物多樣性、同時促進生態系統的功能及活躍，中國自 1998 年起便開始延著長江流域重整總面積約兩千九百平方公里的沖積平原。北京林業大學 (Beijing Forestry University) 自然保護區學院的院長雷光春教授 (Guangchun Lei) 為近代的政策改變做了說明：「大型的土地利用變更使得水患即使在不斷增資、擴展水文工程作業的情況下仍然變得頻繁。1998 年長江流域的水患及遍及中國東北全區的洪災都一致指向一個整合方案的設置，促使了 32 項條例 (32-character policy) 的規劃。」這項政策要求增加上游森林的覆蓋度以及下游溼地的重建，同時配合疏浚及水文工程以便更有效的管理洪災帶來的危害。

雷教授表示，這項政策的效力已經獲得證實：「在這些改變正式推動後，即使某些年

間嚴重的水患仍然時有耳聞，但卻不再造成嚴重的威脅。更重要的是，往日易受災害侵襲的地區也因提供蓄洪上的支援得到了補助。當地政府也妥善利用這項新的政策來規劃社區及經濟發展。」環境保護組織「大自然保護協會」(The Nature Conservancy) 更進一步的建議移除水壩的防洪控管功能轉而發展水力發電。如此一來，水壩便能以河流的方式運作，進而改善水文改變對下游環境的影響。除此之外，部分來自經營發電的額外盈收更可以用來支付下游沖積平原的重建。

洪水潛在的利益

受到水壩的強烈影響，全球淡水生態系統受到嚴重的剝蝕。其實，洪水不僅對於人類自身，甚至對整個環境都有相當的益處。Finlayson 說明：「洪水本身就是環境的一部分。它不僅可以協助河岸及沖積平原周遭的生態進行重整並且恢復原始的狀態，還為土地及水源搭起了極其重要的連接。除此之外，漁業、農業及沖積平原、溼地、河口/灣等的多種動植物的生長、繁殖都仰賴它提供的豐富資源。」舉例來說，澳洲東部的洪水便沖刷了當地鹽分的累積，並且遏止了乾旱時形成硫酸的溼地沈積物的氧化。剝蝕的廣大沖積平原林地也都在回復原始的面貌。不僅如此，許多放牧人家都仰賴有益的洪水充實牧草地來畜養家畜，流入河口/灣及沿海水域的強勁水流也將增加漁獲的收成。

Finlayson 表示，在選擇水壩或是其他方案時，「水壩及河道的整治對整體社會的發展所帶來的影響可以說是利弊半參。所以我們現在需要的是一份更有效、更公正的成本效益分析，以及對環境及社會衝擊的評估 - 究竟是何方得利、何方損失，又各自損益多少等，都有待估算。除此之外，相關的支出也應由得利方支付，而不是受損方。」Grafton 同時也倡導最好以市場為基準制訂相關措施來幫助管理洪災：「災難保險的最高賠償標準與

地震委員會 (Earthquake Commission) 於紐西蘭當地實行的原則相似－協助降低嚴重洪災帶來的連帶損失。然而這樣的保障卻無法促使位於洪災高危險區的民眾遷移置風險較低的地區。」

放眼洪災管理未來的發展，Sullivan 總結：「我們應該利用這個機會進行各項重建，以確保所有建設的發展都更具修復力，並在適應的策略中融入自然的力量氣候變遷的影響」我們的社會可以採用更寬廣且更多元的選擇，以便實施更有效、更具回復力的洪災管理。我們應該著重於較經濟且更具彈性的「柔性」洪災降低方案。同時在用水、漁業、林地、砂石、農業發展、旅遊、休閒娛樂、及自然保存等方面提供各項利多為民眾福利。

(摘譯自 Water21 - Magazine of the International Water Association Apr., 2011, 范家瑋)

中華民國自來水協會第 17 屆理、監事會第 2 次聯席會議紀錄

時 間：民國 100 年 2 月 15 日（星期二）下午 4 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：黃理事長敏恭

出席理事：黃敏恭 陳福田 胡南澤 賴文正 王桑貴 林 岳 吳振欽 吳美惠
葉宣顯 高文浩 陳曼莉 王文龍 陳錦祥 謝啟男 吳陽龍 謝堯煌
蔡茂麟 張明欽 王炳鑫 黃志彬 籃炳樟 陳瑞忠 林連茂 陳宏濤
施澍育 駱尚廉

出席監事：李錦地 賴永森 張順莉 廖宗盛 楊豐榮 林建財 呂崇德 周盛華

請假理事：郭瑞華 李公哲 蘇金龍 孫新惠 王池田

請假監事：康世芳

列席人員：許培中 王魯人 蔡麗嫻 管惠嬋 李美娥 謝雅婷

記 錄：王魯人

一、主席致詞：各位理、監事大家好！

各位理、監事、各位協會的工作伙伴，新春伊始，首先向各位恭喜，感謝各位理、監事及工作伙伴的努力、辛勞，使本會會務推展成績斐然。本來本次會議本人想在年前召開，會後順便請各位尾牙餐聚，以向各位表達感謝之意；惟秘書長告之，依協會以往理監事會均於年度之 2、5、8、11 各月份召開，本人尊重秘書長的意見，因此會議改在今天召開，以符合協會的慣例本人自參加自來水節慶祝大會，及承蒙各位的支持，讓本人來負責協會的工作，本人非常重視協會未來的發展，即自來水事業單位如何運用協會為平台，因為這個平台有幾十年的經驗，其並聚集了國內工、商、學及各界精英人士的一個社團，而且它有與世界水界最先進的國家例如：日本自來水道協會豐富的交流經驗，將其先進的技術及規範引進國內。如何運用水協這份寶貴的資產，來協助自來水事業單位促進業務發展，為此在這段時間我密集的約見秘書長與中華自來水服務社李董事長，也是我們的監事會召集人商討了許多未來合作的事宜。

目前台水最大的問題，就是人事的青黃不接，傳承上面臨了斷層，這是我極為憂心的事，因此我邀請老總經理及前總經理回來幫助台水公司培育人才，大家集思廣益來為自來水事業發展共同努力，這是我極為專注的事。未來自來水事業單位將與協會密切溝通、接觸、聯繫，

針對很多合作的方式與方案積極的進行磋商、規畫。

我今天提了一個臨時提案，就是針對我剛剛所努力，所希望推動的大方向作了一個破釜沉舟的宣誓，詳細的情形，待會會在提案討論時，我再向各位報告。我的主要思維就是希望自來水事業單位與協會能夠充分合作，來推動自來水各項工作，使自來水業務發展能向新春兔年似的跳躍，希望藉由雙方的合作能使自來水事業突飛猛進，甚至我也很期望有朝一日能以我們的經驗，像日本一樣，推向海外，推向中國大陸，讓臺灣的自來水能夠作為世界自來水界發展的典範。

在這裡我再次感謝大家的支持，並願與大家攜手同心，共同努力，最後在此向各位拜個晚年，祝大家新春健康、幸福、快樂、事業發展順利圓滿，謝謝大家！

二、報告事項：

(一)秘書長報告：詳如議程書面資料(略)。

結論：1.有關秘書長報告第 5 項，國際水協會（IWA）第四屆亞太會議研討會及展覽會，擬訂於 2011 年 10 月 2-6 日在日本東京舉行，屆時本會擬將組團出席，有關出席研討會、參加展覽會、參訪團路線規畫、旅行社之甄選等細節，建請成立專案小組(約 5 人包括產、官、學各界人士) 進行審議，俾集思廣益，以使本次組團出席參訪更為圓滿周全。本案經會議討論推薦胡常務理事南澤、王常務理事桑貴、駱理事尚廉、陳理事瑞忠與許秘書長培中成立 5 人專案審議小組辦理。

2.餘同意備查。

(二)各種委員會工作報告：

結論：本會各種委員會人選名單待提案討論通過後即進行本會各項會務工作運作。

(三)會務報告：詳如議程書面資料(略)

結論：1.本會 99 年度決算書及詳細收、支情形於提案討論時提請審議。

2.餘同意備查。

三、討論事項：

(一)案由：為第 44 屆自來水節慶祝大會暨本會第 17 屆第 2 次會員代表大會如何籌辦？請討論。

決議：本屆大會委請臺北自來水事業處辦理。

(二)案由：為本會第 28 屆自來水研究發表會，委請何單位籌辦？請商討決定

決議：委請臺北自來水事業處統籌辦理。

(三)案由：為本會第 17 屆各種委員會副召集人、副主任委員、委員、祕書等人選名單請討論通過，俾本會各項會務進行運作。

決議：通過。

(四)案由：為編列本會 99 年度歲入、歲出決算表等一案，請審議。

決議：通過，送請監事會審查。

(五)案由：本會因業務急需，自 100 年 4 月 1 日起會務組增聘組員施麗薰一名，以辦理會務等相關事宜，提請討論。

決議：通過。

(六)案由：本會因業務需要，自 100 年 3 月 1 日起另聘組員孫瑞嬪一名，經辦庶務工作及國際英文信件處理相關事宜，提請討論。

決議：通過。

(七)案由：本會會務組組長王魯人年滿 65 歲，擬依會務工作人員管理辦法第 36 條相關規定辦理，提請討論。

決議：1.王員民國 100 年 1 月至 3 月延任薪資同意依本案說明三、核支。

2.王員退休金依本案說明四、辦理，動支準備基金發給。

四、臨時提案：提案人：黃理事長敏恭

案由：為建全本會與台灣自來水公司之互動，避免雙方代表人為同一人，滋生利益迴避之困擾，謹請同意辭卸理事長一職，提請討論(辭職書如議程附件)。

決議：1.通過。

2.理事長一職依規定於一個月內擇期辦理補選。

五、散會：下午 5 時 35 分。

中華民國自來水協會第 17 屆第 1 次臨時理事會會議紀錄

時 間：民國 100 年 3 月 11 日（星期五）下午 3 時

地 點：本會會議室(台北市長安東路二段 106 號 7 樓)

主 席：黃理事長敏恭

出席理事：黃敏恭 陳福田 吳陽龍 胡南澤 李公哲 籃炳樟 賴文正 王桑貴
林 岳 謝堯煌 孫新惠 吳振欽 吳美惠 葉宣顯 高文浩 陳曼莉
王文龍 謝啟男 蔡茂麟 張明欽 王炳鑫 陳瑞忠 王池田 施澍育
駱尚廉

監事會召集人：李錦地

請假理事：郭瑞華 林連茂 陳錦祥 黃志彬 蘇金龍 陳宏濤

列席人員：許培中 王魯人 蔡麗嫻 管惠嬋 李美娥 謝雅婷

記 錄：王魯人

一、主席致詞：

各位理事大家好，非常感謝各位於百忙中撥冗踴躍出席本次會議，現在已有 25 位親自到席，更要感謝各位支持我的理念，我們目前最重要的課題就是自來水事業單位如何緊密的與協會聯繫及合作，為了迴避同一人代表雙方進行各項合作業務之談判、執行；尤其當發生爭議之時，如何處理將成為最為困擾之事。承蒙各位理事能接受我的這個理念，卸下理事長一職，重新推選一位理事長，相信自來水事業單位與協會的合作，更能順利圓滿的運作，大家共同為台灣自來水事業的發展與技術水準的提升而努力。本人也會跟大家一起追隨新任的理事長全力來為我們的奮鬥目標奉獻、努力。謝謝大家！

二、報告事項：

秘書長報告補選本會第 17 屆理事長選舉程序：詳如議程書面資料(略)

結論：請按選舉程序進行補選第 17 屆理事長。

三、討論事項：

(一)案由：為辦理本會第 17 屆理事長補選事宜、請推派本次選舉各項選務工作人選，提請討論決議，俾便本項選舉順利辦理。

決議：1.請監事會推派一人於各項選舉票上加蓋印章：李監事會召集人錦地

2.理事長選舉請監事會推派一人監票：李監事會召集人錦地

3.推派發票：蔡麗嫻

唱票：管惠嬋

計票：王魯人

主席宣佈選舉開始及截止投票時間並為方便及爭取時間，用個人之鋼筆、原子筆圈選均屬有效，鉛筆無效。

本會理事 31 席，實際出席 25 席，就常務理事 9 席中選舉產生理事長。實發選舉票 25 張，收回 25 票，有效票 25 票。

得票：常務理事陳福田 25 票。

主席宣佈：本會第 17 屆理事長陳常務理事福田先生當選。

四、移交：卸任、新任理事長辦理印信移交，請監事會李召集人錦地監交。

五、卸任黃理事長致詞：

1. 恭賀陳常務理事福田先生高票當選本會第 17 屆理事長。
2. 感謝各位理事百分之百的支持，這絕對是一個良好的開始。

自本人與陳理事長在台水共事以來，各方面業務互動配合非常密切、良好，相信自來水事業單位與水協各項合作業務的推展也一樣的能順利圓滿，並且希望很快的能見到良好的績效，以給各位理事有所交代，也許會後即展開合作事宜之協商。謝謝大家！

六、新任陳理事長致詞：

承蒙黃董事長的提攜及各位理事先進熱心支持，使本人能高票當選，非常感激，期望董事長今後能繼續予以協會指導。董事長曾任省議會副秘書長、秘書長、桃園縣副縣長、代理縣長，行政工作經驗豐富，人脈廣闊，凡事均具前瞻性規劃，例如：昨天在立法院經濟委員會各國營事業首長備詢，唯有台水未受批評，可見董事長對台水的業務規劃至為周詳。今天董事長辭卸理事長一職也是着眼於自來水事業單位與協會各項業務合作均能順利圓滿運作。自董事長上任以來，即積極推動降低漏水率，並引進波狀不銹鋼管；臺北自來水事業處於民國 92 年即積極進行降低漏水率，8 年以來工作成效良好，董事長目前除要求提升高級自製品牌外，並確實達成降低漏水率，使台水充滿著美好的未來及高效率的業務發展，因此期望董事長今後能繼續給予協會指導，使本會能夠茁壯發展，因為自來水事業不是我們一時的職業，而是我們畢生的志業。最後祝各位理事女士、先生健康、快樂，謝謝大家！

七、依本會章程第 20 條：

請各位理事同意本人提名許培中先生繼續徧勞任本會第十七屆秘書長。

決議：通過。

八、臨時提案：無。

九、散會：下午 3 時 40 分。