

自來水會刊第 28 卷第 3 期目錄



實務研究

- 小區售水率提昇之瓶頸與突破……………郭志東、林哲生、李中彥……………1
校園飲用水品質滿意度分析……………鍾佩伶、仲崇毅……………10

一般論述

- 現場採樣樣品運送冷藏最佳化研究……………許國樑……………16

每期專題

- 飲用水中新興污染物之健康風險評估……………張怡怡、莊朝欽、蔣本基、李易書、康世芳……………25
我國飲用水水庫藍綠菌及毒素監測與應變雜議……………林財富、顏宏愷……………35
水質軟化與重金屬濃度之關係……………駱尚廉、翁士奇……………50
建置自來水淨水場最佳化操作管理策略……………蔣本基、張怡怡、張育誠……………57

業務報導

- 水質檢驗品質管理……………楊昭端……………67

研究快訊

- 新山水庫藻類優養指標與水庫水質相關性之研究……………吳先琪、吳俊宗、張美玲……………73
飲用水中揮發性有機物含量分析研究……………張立德、陳豈凡、吳俊哲……………75
回收廢水水質對淨水處理影響及最適化控制之研究……………張添晉、陳孝行、游勝傑……………77

IWA 活動園地

- 國際研討會訊息……………編輯小組……………79
國際自來水瞭望台……………范家瑋……………80

協會與你

- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……………76
歡迎投稿98年「每期專題」……………78

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 tinlai@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：廖宗盛

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

劉廷政

委 員

葉宜顯、盧至人、張怡怡、蘇金龍、吳美惠

吳陽龍、陳曼莉、張廣智、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、周珊珊、黃建源、陳孝行、陳志銘

簡俊傑、林財富、洪世政

執行編輯：林正隆

電 話：(04)22244191 轉 514

行政助理：古藜苓

印 刷：松耀印刷企業有限公司

地 址：台中市北區自強街 50 號

電 話：(04)23607717

小區售水率提昇之瓶頸與突破

文/郭志東、林哲生、李中彥

摘要

為減少漏水，提昇供水效能，臺北自來水事業處（以下簡稱本處）近年來持續推動管線汰換工程，並為明確評估管線更新對漏水改善之成效，自民國 92 年起，導入「小區計量」觀念，冀以更積極主動之方式，強化漏水管理與控制。

傳統觀念普遍認知管材老舊為漏水之主因，故以往管線汰換工程著重於老舊管材之全面更新。惟近期執行小區計量作業後發現，若干區域於老舊管材全面汰新後，售水率並未達設定目標，經探求其原因後發現，區域內所殘存之不明管為造成售水率提升遇瓶頸之關鍵因素。

本文以 3 個管線全面汰換後，售水率未達目標之計量區為例，深入介紹各區經後續評估測試對策施行後，發現不明管或明確侷限不明管存在路段之過程，藉以了解斷除不明管對售水率提升之重要性，並為能更有效地斷除不明管，進一步針對日後管網前期規劃以及中期施工作業，提出應注意事項，期能提升後續小區改善作業之執行績效與進程。

一、前言

水資源短缺的今日，「惜水」已成為現今最重要的議題，本處肩負著供應整個臺北市以及部分臺北縣地區之日常用水，供水範圍達四三四平方公里之廣，供水戶數逾 150 萬戶，如何透過漏水管理，提昇供水效能，來提供用戶質優、量足的用水環境，是本處

責無旁貸的使命。

為降低漏水率，本處持續推動老舊管線汰換作業，惟早期並未建立管線更新評估機制，無法確認改善成果，故本處自 92 年起，導入「小區計量」觀念，透過此法，可明確評估管線汰換及漏水改善之成效。

小區計量工法係於管網中劃分若干獨立供水之區域，藉由裝設於區域進水點之計量表，量測區域供水量，並與區內所有用戶用水量進行比對，進而求得區域售水率，而藉由區域施工前、中、後售水率之量測，可確實掌控管網改善之成效。

自來水管線漏水之原因繁多，以往認知以管材老舊為主因，故小區管網改善初期推動之重點在於老舊管材之全面汰換，然而，部份小區管線汰換執行完畢後，發現售水率未達成預期目標，而經由後續測試後發現，區域內仍殘存有不明管為售水率提升遇瓶頸之關鍵，而各區在徹底廢除不明管後，售水率均獲得有效提升，惟此一測試過程須耗費大量之人力物力，延宕小區改善時程，故實有針對不明管之斷除，研擬更積極、有效作法之需。

本文以 3 個管線全面汰換後，售水率未達目標之計量區為例，介紹「觀察用戶表前進水」、「配水管逐段測試」、「次小區分割」等三個售水率再提升之評估手法，而各區測試結果均顯示，關鍵因素係區域內殘存不明管未能於管網改善過程中徹底斷除所致。

而本文除以實例說明不明管殘存對售水率提升之影響外，亦針對小區前期規劃階

段及中期施工階段，提出若干改善建議措施，以期於後續小區改善作業中，能減少因施工後售水率未達目標而再行測試、評估所耗費之人力與時間。

二、自來水管網漏水及維修障礙分析

本處供水系統已有九十餘年歷史，自來水管長達 6,180 公里，管網錯綜複雜，且使用管線也隨者管材的演進不斷更迭，而隨著都市之發展與變遷，道路與建物不段翻新，也就無可避免的產生許多時空背景下遺留下來的殘缺老舊及不明管線，造成自來水事業營運上的難題，此外，早期之輸配水管及用戶給水外線，材質不佳，耐震、抗壓或耐蝕能力、水密性、強度、韌性不足，一旦超過使用年限，或遭外力作用，極易產生漏水現象。以下針對自來水老舊管網之特性分類加以探討：

(一) 管材種類繁多

本處所使用給、配水管線材質之演進情形，概述如下：

配水管：

- 1.58 年以前：灌鉛白口接頭鑄鐵管（CIP）。
- 2.58 至 67 年：機械接頭鑄鐵管（MJP）。
- 3.67 年起：球狀石墨延性鑄鐵管（DIP）。

給水管：

- 1.57 年起停用鍍鋅鐵管（GIP）。
- 2.68 年起停用鉛管（LP）。
- 3.71 年起用聚丁烯管（PB）。
- 4.80 年起停用聚丁烯管（PB）。
- 5.80 年 10 月起使用不鏽鋼管（SSP）。

其中，早期使用之 CIP 及 MJP 鑄鐵管，較不耐衝擊且接頭易鬆脫，經年使用或位處交通量大區域，易造成大量漏水，如漏水點附近有排水系統，則漏水不易察覺；而鉛管

雖韌性較佳不易漏水，但遇重壓易產生變形減少通水斷面，影響用戶正常用水。綜上，管材使用紛雜問題，除易造成漏水外，也增加修漏之困難度。

(二) 防火巷管線維修困難

早期建物用戶給水外線多從屋後防火巷進水，而用戶水表表位設於屋後廚房、浴室甚至臥室床板下方，不但不易抄表計量，亦容易形成漏水、竊水及錯接污染等問題，故本處於 66 年以後已禁止在防火巷內埋設管線。惟防火巷既設管線，因用戶多在防火巷搭設違建，致埋設於防火巷之自來水管線既難維修，又無法汰換。

(三) 同一巷道給水管紛陳

水管越多，漏水就越多。77 年以前，部分巷道未埋設配水管，用戶申請接水，均個別埋設用戶給水管，致同一巷道存在多條小口徑材質不佳之給水外線，增加漏水機會。以臺北市康定路 101 巷為例（詳圖 1），該巷原有 8 戶直接用水及總表，其給水外線皆由康定路接水，故有 8 條給水外線，口徑由 $\phi 13$ 至 $\phi 40$ ，材質有 PB 管、GIP 管、LP 管、PVC 管等管材，不但在康定路 $\phi 400$ 配水管上有多處接水點，且不同材質管材延伸進入巷內，增加漏水機會且維修不易。

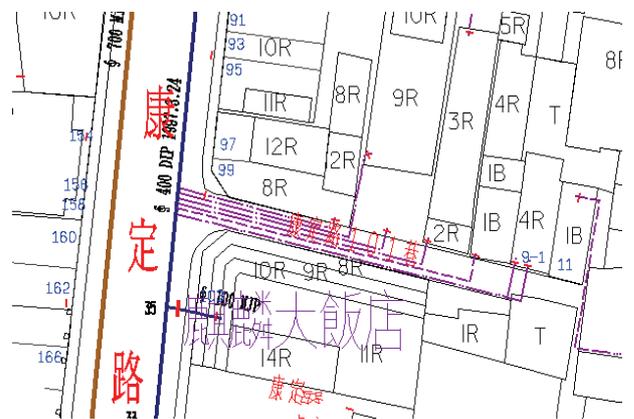


圖 1 康定路 101 巷給水管紛陳情形

(四)各類管線重疊架設

目前除重劃區外，各地區均未能落實共同管溝之佈設，導致各類管線於道路上埋設時淪為各自為政，先搶先贏的情況，而自來水管線因埋設時間較早，深度較深(70cm~120cm)，往往遭其他管線所覆蓋，不但造成漏水察覺不易，甚至發現漏水時也因管線遭覆蓋而導致維修上之困難。

以上幾點為傳統上認知管網漏水主因與維修障礙，而以往管線汰換工程針對「材質老舊」部份，著重於管材全面更新為 DIP 與 SSP，另針對「防火巷內老舊管線」、「同一巷道給水管紛陳」以及「各類管線重疊架設」部分，則多以「就地改接」和「暫緩施作」等較消極之作為來面對。

惟近年來執行小區作業後發現，若干區域經前述方式完成管網改善後，售水率並未達設定目標，甚或僅有微幅提升，經探求其原因後發現，下列因素所造成之「不明管殘存」實為造成售水率提升瓶頸之關鍵因素。

三、不明管線成因分析

(一)管網抽換時，給水管未施作至表前

早期執行管網汰換工程，主要係針對配水管線進行汰新，而用戶給水管則以連接舊管方式處理。因施工時未逐一施作至用戶表前，且為避免有給水管未連接而發生用戶無水情形，而於施工時採取只要看到給水管就一律進行改接之方式施作，如此雖可確保不會有用戶無水案件發生，卻也失去將殘存之不明給水管從源頭斷除之機會。

而對於「防火巷內老舊管線」、「同一巷道給水管紛陳」以及「各類管線重疊架設」等原本即為最可能發生漏水情形之管網弱點，未能逐一更新至用戶表前，而一律以「就

地改接」方式處理，實為形成不明管，導致售水率提升瓶頸之最主要原因，亟待根本解決。

(二)新建房屋時，舊管斷管不實，形成廢管

早期當房屋改建，新設戶給水外線工程時，基地內舊有給水外線雖均設計需自接水處封除，惟因圖面資料不全，或時空環境變遷導致地形地貌改變，造成定位參考點變動，要尋獲原接水點位置相當困難，故現場施工時，多僅將舊管於側溝處封除，實際於接水處封除之比例偏低，如此未拆除之廢棄給水管，即形成殘存廢管。

(三)管線圖面資料不全

本處管線圖資早期係由人工繪製，精度不佳，加以時空環境變遷、地形地物改變，常與現況不符，復因保存不易，致部分資料不全。隨著時代進步，今日已發展為利用電腦繪圖技術，將管線資料儲存於電腦硬體。惟此一數位化工程非常浩大，因跨越之時間年代長久，歷經不同時代、管材更替、建物與地形地貌之改變，如何將龐大之管線竣工圖及用戶給水裝置資料正確的建置於圖資系統，實屬不易。而前項廢管因未標示於圖資系統中，故無法於管網規劃設計之初予以發現、辨識，即形成不明管。

以下介紹 3 個管線全面汰換後，售水率未達目標之計量區，由各區經後續評估測試對策施行後，發現不明管或明確侷限不明管存在路段之過程，了解不明管斷除對小區售水率提升之重要性。

四、案例分析

(一)中和 3 區

位置：中和市中興街一帶（詳圖 2）



圖 2 中和 3 區位置圖

用戶數：582 戶

售水率：初始 39.53%、期中 42.5%、期末
(目前) 100.0%

售水率提升瓶頸：管線汰換進度達 98%
時，售水率僅提升 3%
(39.53%=>42.5%)

1. 關鍵因素：

有 1 只 PVC150mm 不明管由區域內流出，供給區外用戶用水，發現並自接水處斷除後，此區售水率即達 100.0%

2. 測試方法：「觀察用戶表前進水」

拆下用戶水表，觀察表前外線進水情形，確認小區內供水外流範圍，配合調閱原用戶給水外線圖資，藉以發現不明管。

3. 執行歷程：

本區於 96 年 9 月投入此區管線汰換作業，執行至同年 12 月底，工程進度達 98%，惟進行售水率複評時，幾乎未見改善成效，經討論後，決定就有無區內供水外流情形進行現場測試。

本區主要靠中興街西側口徑 300mmDIP 配水管供給用戶用水，為進行測試，將中興街右側(屬於本區以外)依巷弄街廓分為 5 個次區(詳圖 3)，於每個次區選定 1 個直接用水表，隨後，將整個計量區封閉關水，並將各次區選定之直接用水表拆下，觀察表前進水是否受到影響。經此測試發現，編號 4 次區亦發生無水情形，經調閱此部分用戶原申

請用水資料發現，所有用戶係由中興街上 1 只 PVC150mm 接水使用，而現有圖資中並未繪出此管，故研判中興街上應有 1 只 PVC150mm 不明管，此管由計量區內單向流出，供給區外用戶使用，而推斷此只不明管即為售水率無法提升之主因。

其後，本分處依照舊有用戶給水圖資，嘗試於中興街 161 巷口進行探挖(詳圖 4)，順利覓得該只 PVC150mm 不明管，證明判斷無誤。

經多次施工，最終於中興街 132 巷口覓得 PVC150mm 不明管接水處(詳圖 5)，並予以斷除後，售水率達 100% (夜間最小流 $Q_{min}=0$) (詳圖 6)。

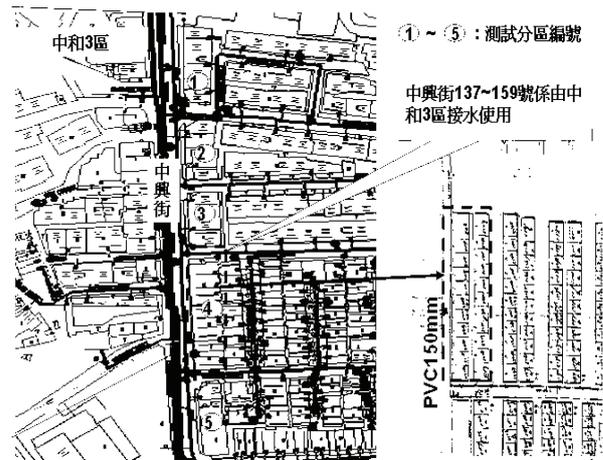


圖 3 中和 3 區分區觀察用戶表前進水



圖 4 中和 3 區斷除不明管 (一)



圖 5 中和 3 區斷除不明管 (二)

中和3區(W07004)期末流量歷時曲線圖：(售水率=100%)

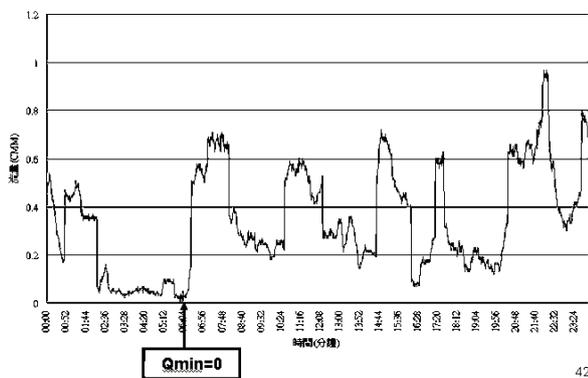


圖 6 中和 3 區流量歷時曲線

本區透過上述「觀察用戶表前進水」方式，得以發現圖面資料上未標示不明管之存在，斷除後，售水率達 100%，此區之成功經驗顯示不明管在售水率提升過程中所扮演之關鍵因素。

(二)萬華 5 區

位置：臺北市長沙街，康定路，昆明街，桂林路所圍區域（詳圖 7）。

用戶數：1020 戶。

售水率：初始 22.56%、期中 78.54%、期末（目前）92.61%（剔除貴陽街北側清水祖師廟前區段）。

售水率提升瓶頸：管線汰換進度達 100%，售水率未達 90% 目標（78.54%）。



圖 7 萬華 5 區位置圖

1. 關鍵因素：

貴陽街北側區段(清水祖師廟前) 供水異常。

2. 測試方法：「配水管逐段測試」。

3. 執行歷程：

本區於 96 年 10 月投入此區管線汰換作業，執行至同年 12 月底，所有工程即施作完畢，進行售水率複評後發現，漏水情況雖有大幅改善，惟尚未達目標(售水率 90% 以上)，因此計量區內制水閥配設完整，水壓充足、平穩，故決定利用此區既設之 AICHI 電磁式口徑 300mm 計量器，以分段方式進行配水管逐段測試。

首先，利用制水閥調控，僅讓長沙街與 115 巷之配水管過表用水，並讀取其夜間最小流，經量測， $Q_{min}=0.03\text{cmm}$ ，此數值已達 AICHI 電磁式計量器精度之下限，故此區段無漏水跡象（詳圖 8）。

其次，將貴陽街北側 DIP200mm 配水管加入，發現 Q_{min} 大幅跳升至 0.14cmm （詳圖 9），接著，再將貴陽街南側 DIP200mm 配水管加入，發現 Q_{min} 並無明顯變動（詳圖 10），其後，再分段逐次將 114 巷、96 巷、82 巷加入過表用水，量測結果顯示 Q_{min} 亦

未有明顯變化（詳圖 11），綜此，可研判貴陽街北側 DIP200mm 配水管恐有供水外流或管線漏水情形，而此即為售水率未達目標之關鍵。後經調閱此配水管施工資料後發現，此區於清水祖師廟側施工時，因廟南側若干攤販用戶不願意配合遷移設於廟區內之表位，且該廟屬 3 級古蹟，無法挖掘施工，故當時有部分用戶給水外線是以連接舊管方式進行改接，故研判清水祖師廟側應為關鍵。

為確認前述推論，遂於 115 巷口增設 200mm 制水閥 1 只，將貴陽街北側 DIP200mm 配水管再進一步分段切割，並量測 Q_{min} （詳圖 12）。

測試後發現 Q_{min} 係於清水祖師廟側之 DIP200mm 配水管加入後，才出現突增情形（詳圖 13），另依用戶平均用水度數資料推算，亦顯示出相同結果。

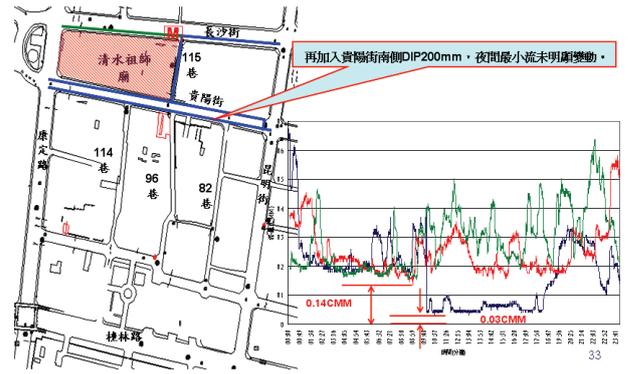


圖 10 萬華 5 區配水管逐段測試（三）

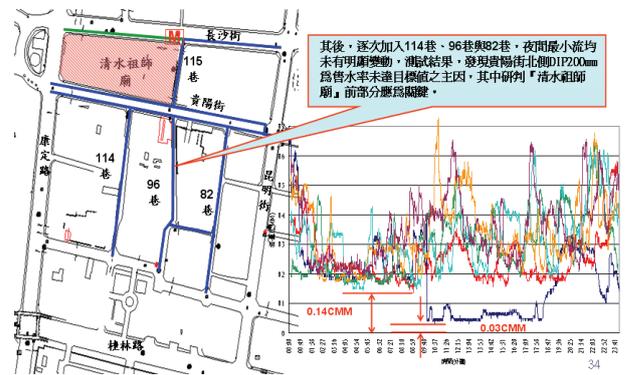


圖 11 萬華 5 區配水管逐段測試（四）

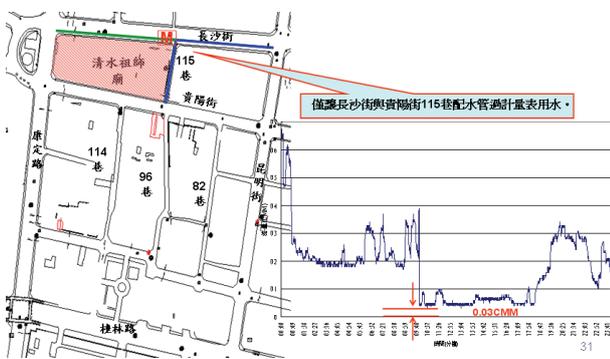


圖 8 萬華 5 區配水管逐段測試（一）



圖 12 貴陽街 115 巷口增設制水閥

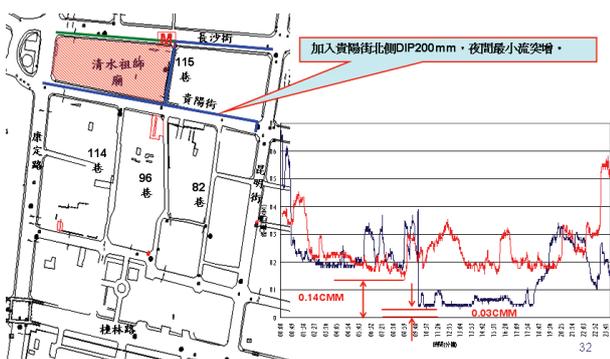


圖 9 萬華 5 區配水管逐段測試（二）

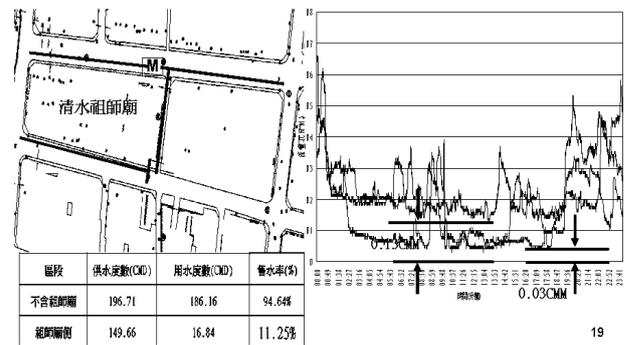


圖 13 萬華 5 區配水管逐段測試（五）

本區透過上述「配水管逐段測試」方法之施行，得以明確侷限漏水區段，發現不明管殘存範圍，作為售水率再提升之攻堅依據。

(三)永和 1 區

位置：臺北縣永和市成功路、民樂街與環河東路 4 段所圍區域（詳圖 14）。



圖 14 永和 1 區位置圖

用戶數：2,827 戶。

售水率：初始 67.10%、期中(目前)75.09%、100%(剔除成功路)。

售水率提升瓶頸：管線汰換進度達 100%，售水率未達 90%目標 (75.09%)。

1.關鍵因素：

經分割測試發現，供水異常發生在遭禁挖之成功路沿線

2.測試方法：「次小區分割」。

利用 AICHI 電磁式計量器可「雙向計量」之特性，進行次小區分割，確認已施作部份之改善成效。

3.執行歷程：

此區範圍廣大，於 90 年起即陸續投入此區之管線汰換作業，執行至 96 年 12 月底，除成功路全線遭永和市公所禁挖無法施作外，其餘工程均已施作完畢，進行售水率複評後發現，售水率並未明顯提升，為探究原因，決定利用此區所裝 AICHI 電磁式計量

器，其可雙向計量之特性，進行次小區分割，確認已施作部份之改善成效。

此計量區內部管網係以成功路 1 段 117 巷為界，左右互不連通，為確認剔除成功路外，已施作部份之改善成效，配合此區計量表裝設位置，將此區再切分為 A、B 兩個次分區，並以切換進水源頭方式，分別抄計 A 區及 B 區之售水率，結果如圖 15 及圖 16 所示，2 區之實抄售水率均達 100%(Qmin 分別為 79.09%及 83.83%)。



圖 15 永和 1 區次小區分割 (A 區)



圖 16 永和 1 區次小區分割 (B 區)

透過上述「次小區分割」方法之施行，得以明確侷限漏水區段(在遭永和市公所禁挖之成功路沿線，詳圖 17)，成功路上配水管為民國 74 年所埋設，材質為 DIP，口徑為 200mm，此管之管齡未達使用年限，故排除管材老舊導致漏水之情形，研判此路段亦因不明管線之存在，方導致售水率無法有效提升之結果。



圖 17 永和 1 區次小區分割 (確認漏水區段)

五、小區管網改善之精進作為

綜觀上述各小區突破售水率瓶頸之案例，可以發現斷除不明管對售水率提升之重要性，為使後續小區施工完成後售水率能一次到位，或利於小區執行完成後售水率之分割測試，針對管網前期規劃以及中期施工時之應注意事項，概述如下：

(一)前期階段(規劃作業)：

1.詳查用戶原始接水資料：

早期配水管並未普遍設置，用戶給水可能從較遠之配水管接水使用，後來方於建物附近興建計畫道路及配水管，惟圖資並未修繪正確，致使小區規劃時，在邊界地區之建物可能由區外接水，或區外之建物由區內接水使用而未能發覺（如中和 3 區案例），由於小區之初期規劃設計皆以既有圖資為參考依據，致使計算初始售水率時產生錯誤，也造成售水率提升之盲點，故規劃時，應調閱用戶原始接水資料與現有圖資進行比對，若發現有可能之不明管存在，應於設計圖上予以標示記載，如此將有利於現場施工時，不明管線之察覺與斷除。

2.區域範圍不宜過大：

小區施工完畢後，若售水率未達目標，即需進行後續測試，此時若區域過大，將不利於明確侷限有問題之管線。故劃區時範圍不宜過大，以免造成後續施工及分割測試之

困擾。

3.規劃次分區：

小區施作完成後，如售水率無法達到預期目標，則尋找漏水點成為非常耗費人力物力的作業，為利小區施工後分區、分段檢討漏水原因，前期規劃時即應考量次分區之規劃。

4.檢討制水閥之設置：

制水閥之設置，對於「配水管逐段測試」與「次小區分割」兩項測試手法有密切之關係，若日後須進行「配水管逐段測試」，則應於主要巷道前後設置制水閥以利以巷弄為單位進行分割，「次小區分割」則應於規劃時妥為規劃次小區之大小，並於各次小區邊界設置制水閥。

5.整併同一巷弄分陳之給水外線

部分巷道於同一巷道存在多條給水外線，增加漏水機會(康定路 101 巷口多支給水管，詳圖 18)，管網改善時，以一只大口徑配水管進行整併，可有效降低給水管漏水機會。



圖 18 康定路 101 巷口舊有接水點

(二)中期階段(施工作業)：

1.召開施工前說明會

施工前說明會可凝聚施工區域居民之共識，對於日後施工推動有相當之助益。說

明會的內容，除向用戶說明管網改善之目的外，最重要是向用戶宣達水表由屋後(內)改接至屋前的作業方式，此為一勞永逸解決防火巷供水可能造成污染情形，以及徹底斷除舊有給水外管之最佳方式。

2.全線開挖

對於給水管未 SSP 化但配水管已 DIP 化之區域，因配水管已無需抽換，僅以單點施做給水管之施工方式，將無法發現不明管之存在，影響售水率提升成效。而為消弭此一問題，本處明訂將不須汰換之配水管線全線開挖，以徹底斷除不明管。

以萬華 5 區為例，永福街 83-101 號原為老舊平房，後經拆除改建為停車場（詳圖 19），故於小區施工前即研判永福街 $\phi 200$ DIP 管上應有許多未斷除之接水點，經現場進行全線開挖，共開挖 115 公尺，斷除 14 處不明管（ $6 \times \phi 13\text{mm}$ ， $4 \times \phi 20\text{mm}$ ， $3 \times \phi 25\text{mm}$ ， $1 \times \phi 40\text{mm}$ ），平均每 8.2 公尺即發現一處不明接水點，投資報酬率甚佳。

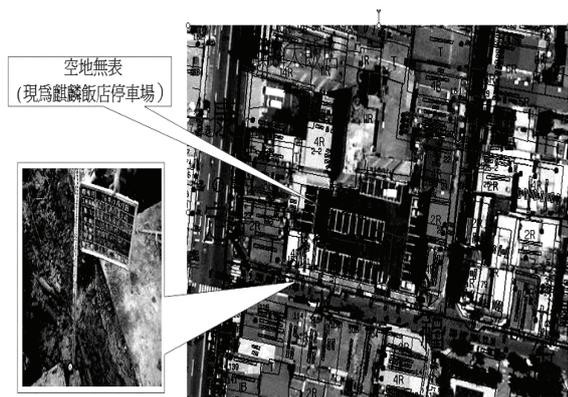


圖 19 永福街全線開挖改接給水管

六、結論

不明管能否徹底斷除，對售水率之提升具關鍵性影響，對於售水率未達目標之計量區，本文介紹「觀察用戶表前進水」、「配水

管逐段測試」、「次小區分割」等三種方式，可於小區管網改善達一定程度但售水率未如預期時，提供後續評估測試及發現不明管或明確侷限不明管區域之具體做法，藉以突破小區售水率之瓶頸。

小區管網改善工程各個階段中，均應採更積極、有效之精進作為，方能使小區售水率改善一次到位，達成改善漏水之目標。

參考文獻

- 1.臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計畫」，2003。
- 2.臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫—長程策略方針」，2006。
- 3.陳明州、吳奕均、楊境維，「小區計量工法於管網系統漏水管理之應用」，2008。

作者簡介

郭志東先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處主任

專長：水力分析、管網改善規劃

林哲生先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處幫工程司

專長：自來水工程設計施工

李中彥先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處幫工程司

專長：自來水工程設計施工

校園飲用水品質滿意度分析

文/鍾佩伶、仲崇毅

摘要

校園飲用水品質衛生將直接影響師生健康，本研究旨在探討屏東縣小學至大專各級學校校內飲用水水源品質現況及學校對供水品質滿意度分析。針對屏東縣內 21 所高中(職)大專及 21 所國中小學校進行問卷調查，依據學校層級、學校地點及學校使用水源等不同條件區分探討。研究結果顯示屏東縣轄區內各級學校對飲用水供水品質多呈現「滿意」表現，僅在以煮沸方式處理時呈現「不滿意」反應；而對於逆滲透處理方式則表示「非常滿意」。在以逆滲透或煮沸不同方式處理飲用水時，對於口感、顏色及無異味三個滿意項目有顯著差異，其餘指標則皆無顯著差異。各級學校對飲用水供水品質多呈現「滿意」或「尚可」而趨向「滿意」表現，但在以煮沸方式處理時，則呈現「尚可」但趨向「不滿意」反應，而對於逆滲透處理方式則表示「非常滿意」。

關鍵詞：學校，飲用水品質，滿意度

一、前言

飲用水水質優劣將影響民眾的健康，尤其校園內師生每日飲用學校供應之飲用水，更關係到師生身體健康^[1,2]。根據環保署公布歷年飲用水水質抽驗結果，台灣地區自來水水質不合格率大致呈現穩定下降的趨勢，以危害人體健康的風險角度來看，其安全性尚稱甚高^[3]。因此，現階段自來水水質對國人健康已達最基本保障。然而飲用水水質抽驗的合格率，並無法反應民眾的滿意

度，例如高雄地區雖然自來水水質的合格率超過 98%以上，但民眾的滿意度卻不及一成，因此提升飲用水水質已成為主管單位需重視的課題^[4]。

雖然歷年自來水水質檢測結果大多在標準範圍內，但民眾對自來水的滿意度卻明顯偏低，或是不以自來水作為飲用水來源，而購買來路不明的山泉水、桶裝水。自來水供水普及率與公共衛生有極大關係，例如桿菌性痢疾、阿米巴痢疾、傷寒、副傷寒及 A 型肝炎等腸道傳染病，均屬口糞傳染疾病，其傳染途徑係經由食入遭受病原菌污染的食物或飲水，此類疾病可經由受污染之水源媒介而爆發流行^[5,6]。而自來水是經過妥善處理與消毒，並有專用管線輸送的公共給水，且經過多重把關才輸送至用戶，為較安全的飲用水。台灣山地鄉為腸道傳染病的高發生率地區，主要係因部分山地或偏遠地區無自來水設施，環境衛生設施較平地地區缺乏，並長期使用地下水或山泉水等因素所致^[7]。一般而言，山泉水及地下水由於受到土壤的天然過濾，如未受污染應可作為飲用水，惟因人為環境污染或天然災害的破壞等因素，使得水源容易遭到污染而含有致病菌，此類水源若未經妥善處理而直接飲用時，則疫情就可能因此擴散蔓延，雖然飲用水並非腸道疾病發生之唯一因素，但卻是助長流行之要因^[8]。

根據環保署委託研究報告^[9]，在高雄市辦理自來水盲樣試飲調查結果(受訪民眾 683 位)顯示，民眾不飲用自來水的原因，以「水

源不佳」者占 74.2%最多，其次為「口感不佳」者占 63.4%；民眾認為自來水的缺點中，則以「有異味」(占 73.4%)最高，其次依序為「有鍋垢」(占 63.0%)、「口感差」(占 52.6%)及「有顏色」(占 25.7%)等。其中表示「有異味」者，以「化學性臭味」(占 78.8%)最多，化學性臭味與水中餘氯的濃度有關；「有鍋垢」者，則表示鍋垢顏色偏向「白色」(占 80.8%)最多；民眾介意「口感差」者，以「澀味」(占 62.7%)最多；認為自來水「有顏色」者，以「混白色」(占 53.5%)最多。民眾認為最優先改善項目，是以「異味」占 70.7%，其次為「鍋垢」占 12.0%。在自來水之「有異味」、「有鍋垢」、「口感差」及「有顏色」等四項缺點中皆與「適飲性物質」之濃度有關，其結論為導致民眾對於自來水水質滿意度偏低的原因，可能與自來水中「適飲性物質」之濃度高低有關。

屏東縣國中以下的學校共有 337 所，包括 138 所公私立幼稚園、199 所國小及 40 所國中；高中(職)以上學校共有 26 所，包括 19 所高中(職)及 7 所大專院校，總學生人數高達拾幾萬人，每日於學校中飲用校園提供之飲用水，校園飲水設備及供水品質對師生健康則顯極為重要。屏東縣環保局曾針對境內 171 所小學、39 所國中、14 所高中職及 7 所大專院校飲用水進行調查^[10]，結果顯示屏東縣各級學校飲用水水源可分成自來水、地面水、地下水、地面水與自來水共用、地下水與自來水共用、地面水與地下水共用、地面水與地下水與自來水共用及其他等八種。使用地面水為飲用水水源之學校可能因經費不足及位置偏遠而無法使用自來水，屏東縣目前自來水普及率僅四成左右，估計仍有 54

萬人未使用自來水，自來水建設落後的地區必須飲用河川、湖泊、山泉或淺層及深層地下水，若以非自來水為飲用水源常易造成學校飲水機供水上的衛生問題^[11]。因此，屏東縣自來水的普及程度及校園飲水品質問題應於重視。為進一步瞭解屏東縣各級學校對飲用水水質滿意程度，本研究乃挑選屏東縣轄內 42 所學校進行飲用水品質滿意度調查分析。

二、研究方法

本研究以郵寄問卷方式，針對屏東縣轄區各級學校挑選 21 所高中(職)以上及 21 所國中以下共 42 所學校之飲用水水源及供水現況進行調查，問卷回收後，進行資料彙整及統計分析。問卷內容主要包括：

- 1.基本資料：填寫人、職稱、電話、地址、有無宿舍、學生人數。
- 2.飲用水水源：水源、使用年數、有無供應營養午餐及其水源。
- 3.飲用水設備：處理設備、供水方式、清洗頻率、維護費用、管理單位、維護上及執行上之困難度等。
- 4.飲用水滿意度。

三、結果討論

(一)調查學校基本資料分析

本研究針對屏東縣各級學校飲用水品質進行問卷調查，共調查 42 所學校。調查學校包括 21 所高中(職)以上學校及 21 所國中以下的學校。所調查的 42 所學校中分別各有 21 所位於城(鎮)及鄉村地區。調查之學校中有 24%學生總人數僅 100 人以下，屬於小型學校；另有三成學校人數介於 100~1,000；學生總人數 1,000~3,000 人者亦約

有 30% 之比例；而超過 3,000 人之學校則有 13 % 之比例。

(二)校園使用飲用水水源分析

本研究調查屏東縣轄區內 42 所學校中以地下水及地面水為飲用水水源者則分別佔 29% 及 26%；而有 45% 之學校乃以自來水為主要飲用水水源(圖 1)。調查之 21 所高中(職)以上學校中有超過一半以上學校使用自來水為飲用水水源(佔 57% 之比例)；另外 43% 學校則採用地下水為飲用水水源。至於國中以下學校之調查結果顯示大多數學校乃以地面水為飲用水水源(佔 53%)，其次有 33% 使用自來水，而使用地下水者則有 14%。若以學校座落位置區分，位於城(鎮)之學校中飲水水源係以自來水為主，佔 67% 之比例；其次則為使用地下水(佔 33%)。地點位於鄉區之學校使用自來水之比例僅有 24%，多數仍以地面水為主要飲用水水源(佔 52%)，另外，用地下水者亦有 24%(圖 2)。

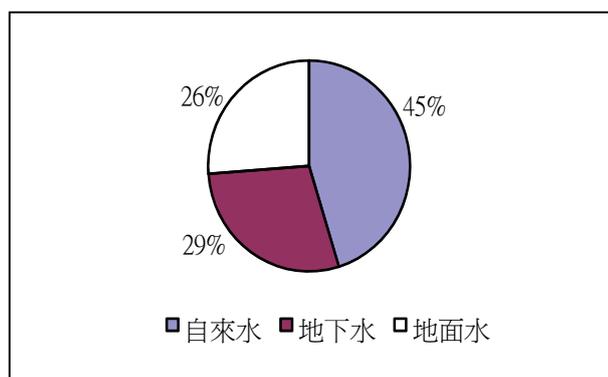


圖 1 調查各級學校主要飲用水水源

(三)飲用水滿意度

本研究對屏東縣各級學校飲水機供水品質進行滿意度調查，調查問卷以五等量表為分析依據，區分為非常滿意、滿意、尚可、不滿意及非常不滿意等五種等級。問卷回收後將調查結果進行加權計分統計分析，加權

計分之方式為非常滿意：5 分；滿意：4 分；尚可：3 分；不滿意：2 分；非常不滿意：1 分。

分析結果如表 1 所示。各級學校對飲用水供水品質之滿意度，若以水源區分，水源為地面水之使用者調查結果為「滿意」，而以自來水及地下水為水源者反應稍差，結果為「尚可」，但仍接近「滿意」程度。而就飲用水之美味甘甜、口感問題、水質顏色、無異味及其他等五項滿意指標中，自來水、地下水及地面水等三種飲用水水源最滿意的項目均為「無異味」，對自來水而言，「口感問題」與「美味甘甜」分別為排序第二及第三之滿意指標，而地下水及地面水則以「美味甘甜」之滿意度排序第二，其次則為「口感問題」。

對於不滿意之項目，包括鍋垢、口感、顏色、異味及其他等問題，自來水不滿意之項目為「鍋垢」與其他如供水管線問題、學校飲水機數量太少及使用上不方便等，其次為「口感問題」、「顏色方面」及「有異味」等因子。水源為地下水之使用者不滿意項目為「鍋垢」及「口感問題」，另外如出水量不足等問題亦並列為不滿意項目。

若以處理方式區分屏東縣各級學校對飲用水品質之滿意度而言，水源經逆滲透方式處理供水者呈現「非常滿意」結果，而經煮沸方式處理供水者則呈現「不滿意」反應。至於五項滿意度指標問題，則經逆滲透處理供水最滿意的項目為「無異味」，其次為「口感問題」，「美味甘甜」項目則排序第三；經煮沸處理方式者最滿意的項目則為「無異味」與「美味甘甜」。而於不滿意指標方面，對於以煮沸方式處理之飲用水不滿

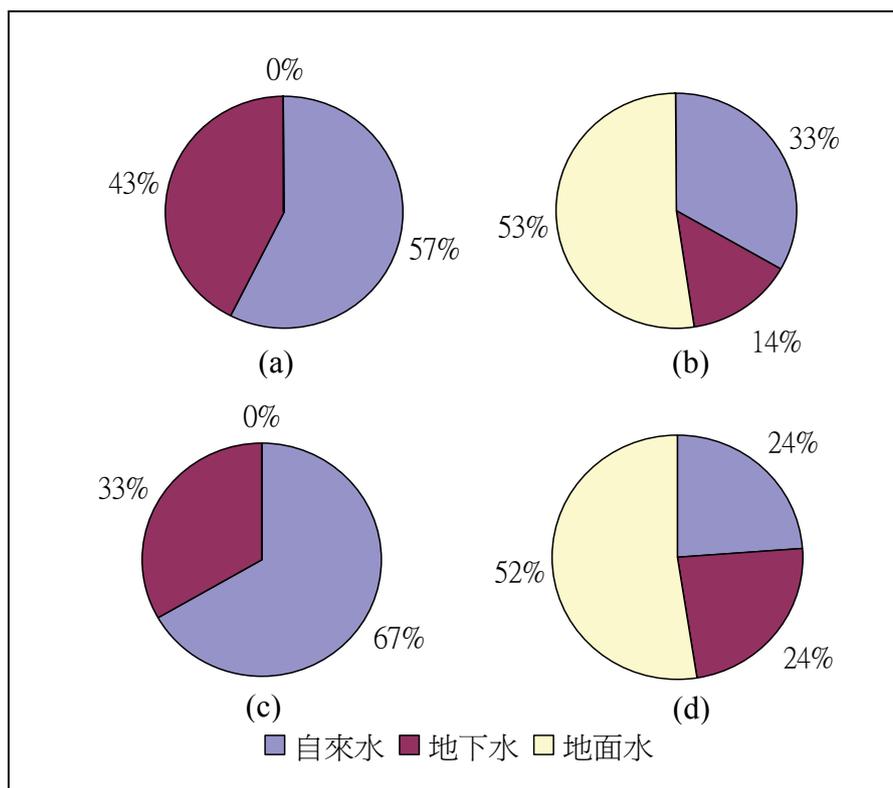


圖 2 調查學校主要飲用水水源(a)高中(職)以上 (b)國中以下(c)城(鎮) (d)鄉村

表 1 調查學校飲用水滿意度

滿意度/項目	水源			處理方法		層級		城鄉	
	自來水	地下水	地面水	煮沸	逆滲透	高中(職)以上	國中以下	城(鎮)	鄉
	N=19	N=12	N=11	N=21	N=21	N=21	N=21	N=21	N=21
滿意度*	3.9	3.8	4.1	2.2	5	4	3.9	3.9	4
滿意項目**(複選)									
美味甘甜	6	5	5	5	11	10	7	7	10
口感問題	10	3	4	1	16	11	7	9	9
顏色方面	4	2	2	1	7	4	3	3	4
無異味	11	7	7	5	20	11	14	11	14
其他	1	1	0	1	1	0	1	1	0
不滿意項目**(複選)									
鍋垢方面	2	1	0	3	0	1	2	3	0
口感問題	1	1	0	2	0	0	2	2	0
顏色方面	1	0	0	1	0	0	1	1	0
有異味	1	0	0	1	0	0	1	1	0
其他	2	1	0	2	1	2	1	2	1

*加權計分：非常滿意(5分)、滿意(4分)、尚可(3分)、不滿意(2分)、非常不滿意(1分)

**單位：學校數

意項目為「鍋垢」，其次為「口感問題」，而其他如飲水機數量太少及出水量不足等因素亦並列不滿意指標第二位；至於經逆滲透處理之水源多無勾選不滿意項目，僅有一所學校表示飲水機數量太少。

高中(職)以上學校對於飲水機供水滿意度呈現「滿意」表現，而國中以下學校飲水機供水滿意度稍差，趨向於「尚可」，但仍接近「滿意」。同時，高中(職)以上學校對飲水機供水滿意項目以「口感問題」及「無異味」等因素表現為最多，其次為水質「美味甘甜」；國中以下學校則最多以「無異味」列為主要滿意度指標，其次為「美味甘甜」及「口感問題」。高中(職)以上學校飲水機供水的不滿意項目以其他如出水量不足及供水管線問題最多，其次為「鍋垢問題」；國中以下學校之不滿意項目則以「鍋垢」及「口感問題」較多，其次為「顏色方面」及「有異味」，另外如飲水機數量太少等問題亦為其不滿意之項目。

地點位於城(鎮)之學校對飲水機供水滿意度為「尚可」，但接近「滿意」。供水滿意項目以「無異味」最多，其次為「口感問題」，排序第三者為水質之「美味甘甜」。至於地點位於鄉區之學校對飲水機供水滿意度則呈現「滿意」反應，其中對於滿意項目以「無異味」最多，其次為「美味甘甜」。對於供水品質不滿意項目之分析，地點位於城(鎮)之學校以「鍋垢方面」問題為最多表示不滿意之項目，其次為「口感問題」及其他，如出水量不足及供水管線問題；地點位於鄉區之學校對飲水機供水不滿意度項目則多無勾選，僅有一校認為飲水機數量太少。

(四)飲用水滿意度差異性分析

本研究針對調查之 42 所學校對於飲用

水滿意指標：美味甘甜、口感、顏色、無異味及不滿意指標：鍋垢、口感、顏色、有異味等項目進行差異性分析，利用 ANOVA 變異數分析結果如表 2。無論使用自來水、地下水或地面水為飲用水水源之學校對於滿意及不滿意指標之感受並無明顯差異；但若依水源處理方式逆滲透及煮沸區分，則在口感、顏色及無異味三個滿意指標有顯著差異($p=0.05$)，其餘指標則差異不顯著。至於高中(職)以上與國中以下不同層級學校，或位於城(鎮)與鄉區不同地點之學校對於飲用水水源品質滿意或不滿意指標皆無顯著差異($p=0.05$)。

四、結論

本研究探討屏東縣各級學校對飲用水滿意度分析，包含 21 所高中(職)以上學校及 21 所國中以下的學校。研究結果顯示屏東縣各級學校飲用水水源主要分為自來水、地下水及地面水三類。其中高中(職)以上學校飲用水水源主要為自來水；而國中以下學校飲用水則以地面水為主。另外，城鄉差距在學校使用水源方面也有明顯差別，地點位於城(鎮)學校水源多為自來水；而位於鄉村地區學校則多使用地面水。

各級學校對飲用水供水品質多呈現「滿意」或「尚可」而趨向「滿意」表現，但在以煮沸方式處理時，則呈現「尚可」但趨向「不滿意」反應，而對於逆滲透處理方式則表示「非常滿意」。至於對飲用水滿意度差異性分析結果，僅在以逆滲透或煮沸不同處理方式區分時，對於口感、顏色及無異味三個滿意指標有顯著差異，其餘不論不同層級或位於不同地點之學校對於飲用水水源品質滿意或不滿意指標皆無顯著差異。

表 2 調查學校飲用水滿意度差異性

滿意度/項目	水源		處理方法		層級		地點	
	F	p	F	p	F	p	F	p
滿意項目								
美味甘甜	0.329	0.721	3.789	0.0586	0.865	0.358	0.865	0.358
口感問題	1.253	0.297	45	7.9x10 ⁻⁹ *	1.538	0.222	4.14x10 ⁻¹⁴	1
顏色方面	0.048	0.953	6.102	0.018*	0.164	0.688	0.164	0.688
無異味	0.051	0.951	45	7.9x10 ⁻⁹ *	0.865	0.358	0.865	0.358
不滿意項目								
鍋垢方面	0.596	0.556	3.333	0.075	0.345	0.56	3.333	0.075
口感問題	0.428	0.655	2.105	0.155	2.105	0.155	2.105	0.155
顏色方面	0.627	0.539	1	0.323	1	0.323	1	0.323
有異味	0.627	0.539	1	0.323	1	0.323	1	0.323

*p<0.05

水源：自來水、地下水、地面水。 處理方法：煮沸、逆滲透。 層級：高中(職)以上、國中以下。 地點：城(鎮)、鄉。

參考文獻

- 1.王俊傑 (2002) 水資源保護與飲用水安全，環境工程期刊，12 (2)：31-35。
- 2.林明瑞 (1996) 學校飲水衛生問題及設備之探討，環境教育會刊，29：4-30。
- 3.陳重男 (1998) 高雄地區自來水淨水場中影響適飲性物質的調查及改善對策之評估(1/2)，行政院環保署。
- 4.行政院環境保護署，飲用水水源水質歷年抽驗檢驗結果，(1999)，2-4。
- 5.Cantor P. K., and Lynch F. C. (1999) Drinking water source and chlorination byproducts in Iowa, Risk of brain cancer, Am. J. Epid., 50 (3):32-40.
- 6.Bouchard D. C. (1997) Nitrate concentration of ground water: sources and potential health effects, J. Am. Water Works Assoc. 84 (9):85-93.
- 7.李澤明 (1999)，飲用水之管理與法規內涵，自來水會刊，18(4)：53-55。
- 8.黃志彬、許昺幕、許永華 (1998) 飲用水安全之指標微生物及其管制標準，自來水會刊，17 (2)：50-70。
- 9.洪玉珠 (1998) 高雄地區自來水配水系統影響適飲性物質的調查及改善對策之探討(1/2)，行政院環境保護署。
- 10.行政院環境保護署 (1999) 飲用水設備水質抽驗檢查結果，2-5。
- 11.蔡勇斌 (2000) 市售淨水器處理機制與處理後水質變化之研究及維護清洗頻率之研訂-單機飲水機，3-35。

作者簡介

鍾佩伶女士

現職：大仁科技大學餐飲管理系 講師

專長：飲用水品質管理

仲崇毅先生

現職：大仁科技大學環境資源管理系 副教授

專長：環境污染物分析

現場採樣樣品運送冷藏最佳化研究

文/許國樑

一、前言

檢驗室派員採樣，應先擬定該次之採樣計畫書，內容包括採樣前準備事項、採樣地點、採樣現場環境描述、採樣日期、檢測項目、採樣方法、檢測方法、採樣數量及體積、樣品保存方法、採樣人員及分工等。檢驗室品保品管工作，由採樣至檢驗完成出具報告，屬環環相扣之品管鏈作業，所以採樣之重要性與檢驗室內部檢驗分析工作同屬重要。

有嚴謹之採樣作業，檢驗室內部分析工作才有意義及代表性，採樣依自來水系統飲用水水質採樣方法^[1]，因檢測項目不同而添加不同之保存試劑後，依環檢所水質檢測方法總則^[2]第六條第二十項採樣及保存規定略以…爲了避免樣品揮發及生物分解，盡量於採樣到分析階段，保持該樣品在低溫狀態，但應避免冷凍樣品。在運送前於冰箱內放入足量的冰塊，避免使用乾冰，因爲乾冰會冷凍樣品，而且影響樣品之 pH 值。送至檢驗室樣品如未能立即檢驗，再使用樣品冷藏櫃控制在暗處 4°C 冷藏或加酸後之水樣應貯冷藏於 4±2°C 下保存。

上述在採樣樣品運送過程中，僅提及爲了避免樣品揮發及生物分解，盡量於採樣到分析階段保持該樣品在低溫狀態，低溫狀態並未詳細說明，因此運送樣品低溫狀態保存溫度如何控管，必須加以研究探討，確保檢驗室品保品管數據之有效性爲目標。

二、文獻回顧

(一)水與空氣的比熱值^[3]

比熱是指使每公克物體產生 1°C 溫度變化時，所需°C 的熱量。一般我們常用 cal/g°C 來表示比熱的單位。水的比熱是 1，空氣的比熱是 0.173、鐵的比熱 0.113、金的比熱 0.032、酒精的比熱 0.6。要帶走 1 卡的熱量，對水而言需 1 公克；空氣則需 5.78 公克，5.78 公克的空氣，依空氣的分子量一莫耳 28.8 公克計算，需 4.48 公升的空氣，才有與水 1 公克帶走 1 卡熱量相同的結果。

(二)細菌生長繁殖的條件^[4,5]

細菌生長繁殖需有以下之條件

1. 充足的營養：必須有充足的營養物質才能爲細菌的新陳代謝及生長繁殖提供必需的原料和足夠的能量。
2. 適宜的溫度：各類細菌對溫度的要求不同，可分爲嗜冷菌 (Psychrophiles) 最適生長溫度爲 (10 °C ~ 20 °C)，嗜溫菌 (Mesophiles) 20 °C ~ 40 °C，嗜熱菌 (Thermophiles) 在高至 56 °C ~ 60 °C 生長最好。病原菌均爲嗜溫菌，最適溫度爲人體的體溫，即 37 °C，故實驗室一般採用 37 °C 培養細菌。

3. 合適的酸鹼度：

在細菌的新陳代謝過程中，酶的活性在一定的 pH 範圍才能發揮。多數病原菌最適 pH 爲中性或弱鹼性 (pH 7.2 ~ 7.6)。

4. 必要的氣體環境：

氧的存大與否和生長有關，有些細菌僅能在有氧條件下生長；有的只能在無氧環境下生長；而大多數病原菌在有氧及無氧的條

件下均能生存。一般細菌代謝中都需 CO_2 ，但大多數細菌自身代謝所產生的 CO_2 即可滿足需要。

(三)細菌生長繁殖的方式與速度

細菌的生長繁殖包括菌體各組分有規律的增長及菌體數量的增加。細菌以簡單的二分裂方式無性繁殖，其突出的特點為繁殖速度極快。細菌分裂倍增的必須時間，稱為代時 (Generation time)，細菌的代時決定於細菌的種類又受環境條件的影響，細菌代時一般為 20~30 分鐘。

三、實驗設備與方法

(一)實驗設備

- 1.標準溫度計：量測範圍 0°C 至 50°C ，校正用。
- 2.工作溫度計：量測範圍 0°C 至 50°C ，刻度準確至 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。
- 3.熱電偶式溫度計⁶：泰菱電子儀器，量測刻度準確至 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。
- 4.水樣箱： $0.6\text{m} \times 0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ 容量 60 公升。
- 5.製冰機：製成角冰 $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 。
- 6.去離子水。
- 7.恆溫水浴槽： 45°C 恆溫用。
- 8.量筒：500ml 及 1000ml 取樣用。
- 9.採樣塑膠瓶：500ml 及 2000ml 採樣用附蓋。
- 10.採樣玻璃瓶：2000ml 採樣用附蓋。

(二)實驗方法

本研究實驗採樣方法參照環保署環境檢驗所公告飲用水水質採樣方法—自來水系統 NIEA W101.54A 及水質檢測方法總則 NIEA W102.51C 之方法。

四、結果與討論

(一)測定水樣溫度計校正比對

依環保署環境檢驗所公告飲用水水質採樣方法—自來水系統 NIEA W101.54A 規定，測定水樣溫度計應使用攝氏溫標，量測範圍 0 至 100°C (或適合範圍)，刻度須準確至 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，其外殼最好套有金屬或軟、硬塑膠保護裝置，以防破裂。

檢驗室可以使用的水樣測定溫度計有 1. 工作溫度計 2. 熱電偶式溫度計二種，規範均能符合 NIEA W101.54A 規定。工作溫度計刻度要準確至 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，主要為水銀玻璃製，熱電偶式溫度計是利用 2 種材質對溫度的傳導反應不同溫差，來產生電流，因溫度跟電流成一定的比率，所以可以利用量測電流來得知溫度，只要計些微的溫度變化即可測定且測定時反應快。

工作溫度計及熱電偶式溫度計使用前均應與有認可追溯之標準溫度計比對， 0°C 採用水與冰塊共存溫度， 45°C 採用恆溫水浴槽，比對結果均符合檢驗室管理手冊規定在 $\pm 1\%$ 可接受範圍內，可以使用於採樣工作。而熱電偶式溫度計外觀不易破損且金屬檢知器具有可撓性，在使用上檢測水樣溫度時不必每次開水樣箱，影響水樣箱內的冷藏溫度，評估後以熱電偶式溫度計做為水樣溫度計檢測研究設備。

(二)冰塊與空氣共存 0°C 與冰塊與水共存 0°C 對 500ml 塑膠瓶水樣降溫速率探討

於 60 公升水樣箱內先放入製冰機製成之角冰 $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 約 35 公升，蓋上水樣箱檢測空氣溫度平衡至 0°C ，塑膠瓶內裝 500ml 去離子水，檢測水溫 21.6°C ，再放入水樣箱，用冰塊覆蓋至塑膠瓶水樣高度線，檢測塑膠瓶水樣降溫速率如表 1。

再於 60 公升水樣箱內先放入製冰機製

成之角冰 2cm*2cm*2cm 約 35 公升，加入自來水填滿 30 公升角冰之空隙，蓋上水樣箱檢測空氣溫度平衡至 0°C，冰塊與水共存已至 0°C 後，塑膠瓶水樣瓶內裝 500ml 去離子水，檢測水溫 21.6°C，再放入塑膠瓶水樣，水 0°C 覆蓋至水樣瓶水樣高度線，檢測塑膠瓶水樣內水溫隨時間變化趨勢如表 2，並彙

總表 1 及表 2 繪圖如圖 1。

由表 1 數據及圖 1 顯示冰塊與空氣共存 0°C 500ml 塑膠瓶水樣降溫趨勢隨時間增加趨於緩和，分析原因係因空氣比熱小需要良好的通風及廣大的散熱面積才能達到預期功效，否則冷空氣吸熱局部產生的熱空氣，反而形成另一道阻礙，阻礙冷藏再進行。

表 1 冰塊與空氣共存 0°C 500ml 塑膠瓶水樣降溫速率表

第 1 列		第 2 列		第 3 列		第 4 列		第 5 列	
經過時間 (分)	溫度 (°C)								
0	21.6	18	15.9	40	11.8	56	9.9	80	7.7
2	20.2	20	15.4	44	11.1	58	9.5	85	7.4
4	19.0	26	14.4	46	10.9	60	9.3	89	7.1
6	18.6	28	14.1	48	10.7	68	8.6	125	5.5
8	18.1	30	13.8	50	10.5	70	8.4	157	4.2
10	17.6	36	12.4	52	10.3	66	8.8	162	4.1
16	16.4	38	12.1	54	10.1	74	7.9	171	4.0

表 2 冰塊與水共存 0°C 500ml 塑膠瓶監控水樣降溫趨勢表

第 1 列		第 2 列		第 3 列		第 4 列		第 5 列	
經過時間 (分)	溫度 (°C)								
0	21.6	7	7.2	14	4.9	34	2.9	70	0.7
1	18.7	8	6.8	15	4.7	38	2.7	80	0.6
2	16.0	9	6.3	16	4.6	46	2.3	86	0.5
3	11.8	10	6.0	21	4.4	53	1.7	92	0.4
4	10.2	11	5.6	24	4.0	55	1.6	115	0.3
5	8.8	12	5.4	29	3.5	58	1.3	150	0.3
6	7.9	13	5.0	32	3.1	64	0.8	180	0.3

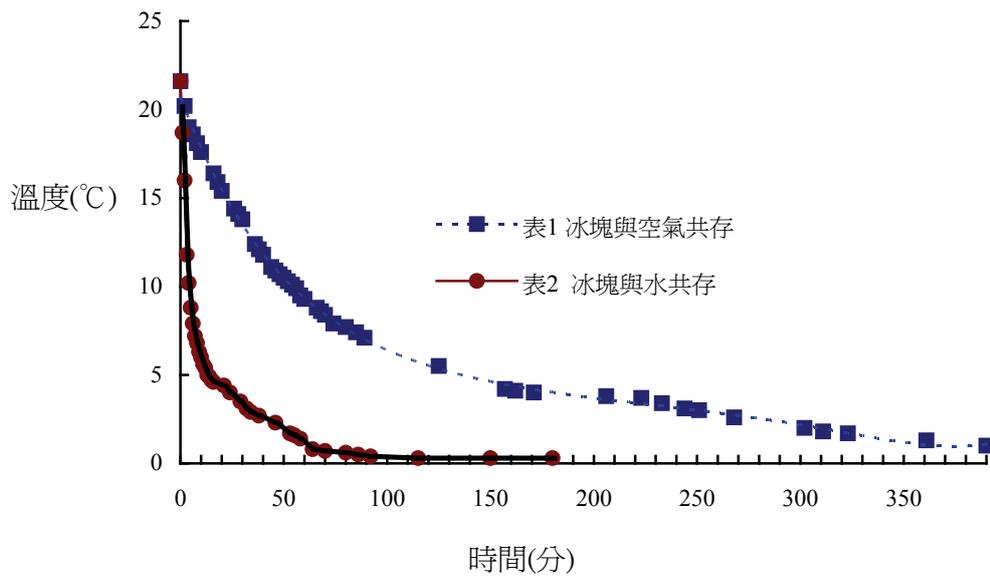


圖 1 冰塊與空氣共存 0°C 與冰塊與水共存 0°C 500ml 塑膠瓶水樣降溫趨勢圖

表 2 數據及圖 1 另顯示的冰塊與水共存 0°C 塑膠瓶水樣降溫趨勢隨時間增加初期降溫趨勢線急陡，係因水比空氣比熱大，且會流動隨容積而改變形狀，帶走較多的熱量，吸熱後的水還是需要冷卻的，此時就可利用它可改變形狀的特性，將它與鄰接 0°C 冰塊與水接觸，將吸熱後的水急速再冷卻，因此，比熱大的水在此時有更佳的冷卻效果。

冰塊與水共存 0°C 在冷藏 115 分鐘水溫已達冷藏狀態 0.3°C，冰塊與空氣共存 0°C 在 125 分鐘才冷藏到 5.5°C，無法符合環檢所要求。而冰塊與水共存 0°C 在水樣箱內對水樣 4 分鐘即可急速冷藏至 10°C，經過 24 分鐘即可冷藏至 4°C，可避免多數細菌繁殖成長，符合環檢所水質檢測方法總則第六條，應保持該樣品在低溫狀態的規定，為可行的方案。

(三)冰塊與水共存 0°C 不同容量及材質水樣瓶降溫速率分析

採樣用的容器除塑膠水樣瓶 500ml 外，另有採集農藥用的玻璃瓶水樣瓶 2000ml 及一般大水樣塑膠水樣瓶 2000ml 二種，玻璃瓶水樣瓶 2000ml 及塑膠水樣瓶 2000ml 採樣後

水樣冷藏降溫速率亦應加以探討，做為水樣冷藏的參考。

冰塊與水共存 0°C，塑膠瓶內裝 2000ml 去離子水，檢測水溫 21.6°C，覆蓋至檢測塑膠瓶水樣高度線，檢測水樣瓶內水溫降溫趨勢如表 3。

依上述方法，再於 2000ml 玻璃瓶內裝 2000ml 去離子水，檢測水溫 21.6°C，覆蓋至玻璃瓶水樣高度線，檢測水樣瓶內水溫降溫趨勢如表 4，取表 2、表 3 及表 4 前 130 分鐘數據彙總製成圖 2。

由圖 2 得知水與冰塊共存 0°C 不同容量及材質水樣瓶降溫速率以 500ml 塑膠瓶最快，2000ml 塑膠瓶次之，2000ml 玻璃瓶最慢。不論 500ml 塑膠瓶水樣、2000ml 塑膠瓶水樣或 2000 ml 玻璃瓶，20 分鐘內均能由水樣初溫 21.6°C 冷藏至 10°C 以下，水樣初步能將降溫至 10°C 以下，可達到抑制細菌生長溫度的目標。上述水樣冷藏溫度應降溫至 4°C，可求得更可靠之冷藏溫度來抑制細菌生長，所需時間為 45 分鐘以內。水樣再冷藏，溫度達到 0.3°C 約需 120 分鐘。

上述僅提及單支水樣，在採樣行程中，水樣數量會隨行程增加，水樣數量多實際影響冷藏降溫速率如何，需進一步再分析。

(四)冰塊與水共存 0°C 2000ml 塑膠瓶水樣量增加降溫速率改變評估

比照(三)節所述，冰塊與水共存 0°C 來評估 2000ml 塑膠瓶水樣量增加降溫速率改

變，模擬現場採樣採樣水樣 16000ml，水樣溫度調整為 21.6°C，再分裝 8 支 2000ml 塑膠瓶水樣，8 支其中 1 支做為監測水溫用，使用熱電偶式溫度計檢測水樣冷藏後溫度的變化，放入水樣箱，用水 0°C 覆蓋至塑膠瓶水樣高度線，檢測水樣瓶水溫降溫趨勢如表 5，由表 3 與表 5 取前 180 分鐘數據彙總製成圖 3。

表 3 冰塊與水共存 0°C 塑膠瓶水樣 2000ml 降溫趨勢表

第 1 列		第 2 列		第 3 列		第 4 列		第 5 列	
經過時間 (分)	溫度 (°C)								
0	21.6	12	11.0	32	4.2	72	1.4	116	0.3
1	21.0	14	10	33	4	74	1.3	130	0.2
2	17.2	16	9.1	36	3.0	80	1.0		
4	15.8	21	7.3	37	2.7	88	0.9		
6	14.6	24	6.3	38	2.2	95	0.6		
8	13.4	30	5.0	39	2.1	105	0.5		
10	12.1	31	4.4	47	2.0	109	0.4		

表 4 冰塊與水共存 0°C 玻璃瓶水樣 2000ml 降溫趨勢表

第 1 列		第 2 列		第 3 列		第 4 列		第 5 列	
經過時間 (分)	溫度 (°C)								
0	21.6	9	13.9	24	7.9	43	4	77	1.1
2	16.4	11	13.0	28	6.9	44	3.7	96	0.6
3	15.9	14	11.5	30	6.3	46	3.5	104	0.4
4	15.5	16	10.7	32	5.8	47	3.3	115	0.3
5	15.1	18	9.9	36	4.6	50	2.1	130	0.2
6	14.9	20	9.1	37	4.4	51	2.0		
7	14.6	22	8.4	38	4.3	60	1.8		

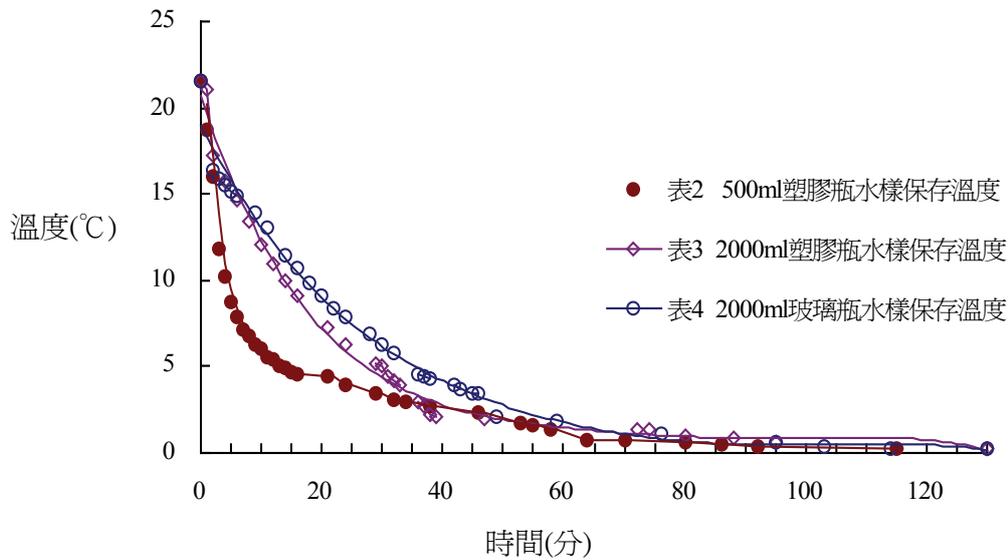


圖 2 水與冰塊共存 0°C 不同容量及材質水樣瓶降溫趨勢圖

由圖 3 顯示，水與冰塊共存 0°C 2000ml 塑膠瓶水樣量 8 支與 1 支降溫速率比較結果如下：

1. 在前 10 分鐘降至 10°C 之前降溫速率相符。
2. 在 10 分鐘至 38 分鐘由 10°C 降至 5°C 之前降溫速率有趨緩的現象。
3. 在 38 分鐘至 57 分鐘由 5°C 降至 4°C 所用之時間長達 19 分鐘。
4. 130 分鐘冷藏溫度 0.7°C，至 180 分鐘冷藏溫度 0.6°C，240 分鐘冷藏溫度為 0.5°C。

上述結果分析，塑膠瓶水樣數量增多，8 支水樣在前 10 分鐘降至 10°C 之前趨勢，雖然水樣多冷藏放熱快，由水 0°C 在塑膠瓶接觸面吸熱後產生的高溫水層，可立即由水及冰塊共存 0°C 立即補充，不會產生高溫水層阻力。但隨著時間增長，冰塊繼續溶解水樣溫度下降結果，因冰塊數量減少沒有由外部補充，因此冷藏會產生高溫水層阻力，亦未攪拌解除，因此冷藏在 10 分鐘至 38 分鐘由 10°C 降至 5°C 之前降溫速率有趨緩的現象。

冷藏已產生高溫水層阻力，在 38 分鐘至

57 分鐘由 5°C 降至 4°C 所用之時間長達 19 分鐘，130 分鐘冷藏溫度 0.7°C，180 分鐘冷藏溫度 0.6°C，240 分鐘冷藏溫度 0.5°C，無法達到表 8 所述 1 支水樣 116 分鐘冷藏溫度 0.3°C 的更低溫。

(五) 水樣委託送樣溫度控管研擬探討

在實際採樣行程中，採樣量隨著採樣行程增加，水樣箱溫度研擬控管程序 4 步驟如下：

1. 採集不同容量及材質水樣，每個水樣箱應以冰塊與水共存 0°C 來冷藏水樣。
2. 採樣量隨著採樣行程增加，水樣增加採樣時因為採樣量愈來愈多，讓冰塊與水共存 0°C 中的冰塊會依採量增加溶解，可由水樣箱外排水口排出 0°C 水再補充冰塊，水樣箱自來水讓冰塊與水共存 0°C。
3. 採完水樣在運送至檢驗室過程中，以冰塊與水共存 0°C 2000ml 玻璃瓶 8 支水樣冷藏 240 分鐘可達 0.5°C。
4. 冷藏後水樣溫度降溫至 0.5°C 以下，採樣如不送外檢驗，則送至檢驗室水樣冰箱內 4°C

冷藏，如需送驗則將水樣重新以冰塊與空氣共存 0°C 冷藏，貼封條送交託運。託運時間為 24 小時內送達委託送驗檢驗室，委託化驗檢測檢驗室收樣人員除依檢驗室管理手冊規定辦理收樣作業，在撕封條開啓水樣箱時，應抽查水樣溫度是否低於 4°C 冷藏，以確保水樣符合規定。

水樣箱溫度研擬控管程序步驟 4，託運行程中水樣溫度變化如何，是否符合規定需進一步確認。

(六)水樣託運溫度控管實際確認

模擬水樣箱 60 公升委託送樣程序，取冰塊與水共存 0°C 2000ml 塑膠瓶水樣 8 支，歷經 240 分鐘冷藏至 0.5°C，冷藏運送條件採用冰塊與空氣共 0°C 狀態下，不使用冰塊與水共存，做樣溫度控管實際確認，檢測水樣升溫趨勢統計如表 6 及圖 4。

由表 6 及圖 4 得知 2000ml 塑膠瓶水樣 8 支 0.5°C，託運前 6 小時繼續由冰塊與空氣共存 0°C 的環境，可繼續冷卻水樣降溫至 0.2°C。而水樣箱保溫效率原廠說明為 70%，再經 18 小時共歷經 24 小時後，水樣溫度上升

表 5 冰塊與水共存 0°C 2000ml 塑膠瓶 8 支水樣降溫趨勢表

第 1 列		第 2 列		第 3 列		第 4 列		第 5 列	
經過時間 (分)	溫度 (°C)								
0	21.6	11	11.8	22	8.2	41	4.7	62	3.1
3	17.1	14	10.6	28	6.6	43	4.6	66	2.8
5	15.3	15	10.2	30	6.5	46	4.5	72	2.4
6	14.5	16	9.9	32	5.8	55	4.4	108	1.0
7	14.0	17	9.5	36	5.2	56	4.2	130	0.7
8	13.4	18	9.1	38	5.0	57	4.0	180	0.6
10	12.2	20	8.6	40	4.8	58	3.7	240	0.5

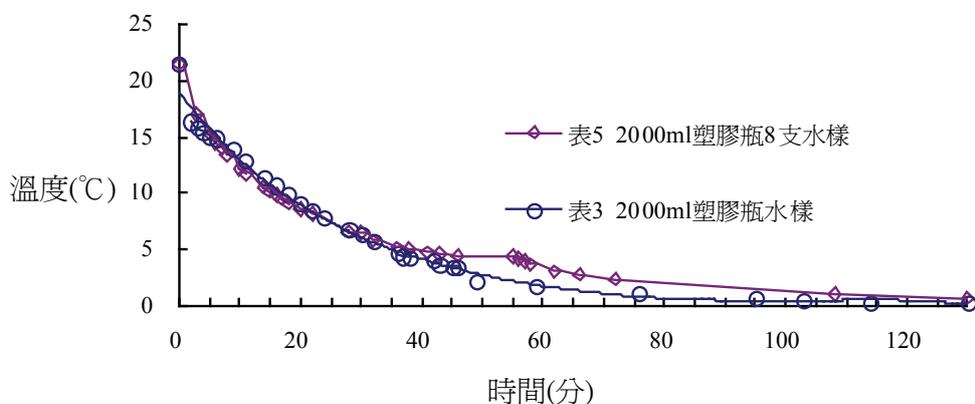


圖 3 水與冰塊共存 0°C 2000ml 塑膠瓶水樣量增加降溫速率改變趨勢圖

表 6 冰塊與空氣共存 0°C 狀態 2000ml 塑膠瓶 8 支水樣 0.5°C 冷藏託運溫度趨勢表

第 1 列		第 2 列		第 3 列	
經過時間	溫度(°C)	經過時間	溫度(°C)	經過時間(分)	溫度(°C)
0 分(0.0 時)	0.5	144 分(2.4 時)	0.4	1170 分(19.5 時)	0.5
6 分(0.1 時)	0.7	180 分(3.0 時)	0.4	1260 分(21.0 時)	0.7
24 分(0.4 時)	0.7	252 分(4.2 時)	0.2	1380 分(23.0 時)	0.7
48 分(0.8 時)	0.6	360 分(6.0 時)	0.2	1440 分(24.0 時)	0.8
102 分(1.7 時)	0.5	720 分(12 時)	0.3	1500 分(25.0 時)	0.9
120 分(2.0 時)	0.5	960 分(16 時)	0.3		

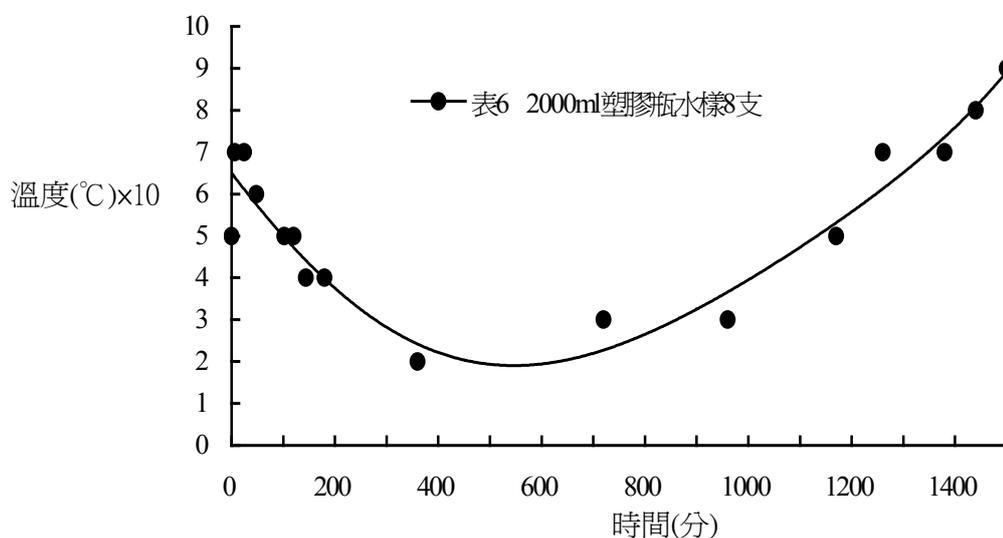


圖 4 冰塊與空氣共存 0°C 狀態 2000ml 塑膠瓶 8 支水樣 0.5°C 冷藏託運溫度趨勢圖

至 0.8°C，總計 2000ml 塑膠瓶水樣 8 支 0.5°C 歷經 24 小時保溫後上升 0.3°C，冷藏託運符合規定在 4°C 以下。25 小時打開水樣箱底部，已有冰塊溶解與水共存 0°C 狀態，顯示冰塊尚未完全溶解，上述(五)節所研擬的控管程序步驟 4 為可行的方案，符合要求。

五、結論

為瞭解現場採樣樣品運送冷藏最佳化條件，以確保檢驗室品保品管數據有效性為目標，做為現場採樣人員參考依據，研究所得之結論如下：

(一)水樣測定溫度計有工作溫度計及熱電偶

式溫度計二種，規範符合 NIEA W101.54A 規定。使用前與有認可追溯之標準溫度計比對，符合檢驗室管理手冊可接受範圍使用於採樣工作。熱電偶式溫度計外觀不易破損且金屬檢知器具有可撓性，且在使用上檢測水樣溫度時不必每次開水樣箱，影響水樣箱內的冷藏溫度，使用熱電偶式溫度計做為研究用。

(二)冰塊與空氣共存 0°C 與冰塊與水共存 0°C 冷藏 500ml 塑膠瓶水樣，比對結果冰塊與水共存 0°C 在水樣箱內對水樣 4 分鐘即可急速冷藏至 10°C，經過 24 分鐘即

可冷藏至 4°C，可避免多數細菌繁殖成長，符合環檢所保持該樣品在低溫狀態的規定，為可行的方案，而冰塊與空氣共存 0°C 無法符合要求。

(三)水與冰塊共存 0°C 不同容量及材質水樣瓶降溫速率以 500ml 塑膠瓶最快，2000ml 塑膠瓶次之，2000ml 玻璃瓶最慢。不論 500ml 塑膠瓶水樣、2000ml 塑膠瓶水樣或 2000 ml 玻璃瓶，20 分以鐘內均能由水樣初溫 21.6°C 冷藏至 10°C 以下，45 分鐘以內水樣冷藏至 4°C，120 分鐘達到水樣冷藏溫度 0.3°C。

(四) 2000ml 塑膠瓶水樣量由 1 支增至 8 支，8 支水樣在前 10 分鐘降至 10°C 之前速率，不會產生高溫水層阻力。冷藏 10 分鐘至 38 分鐘由 10°C 降至 5°C 之前，冷藏會產生高溫水層阻力，降溫速率有趨緩的現象。在 38 分鐘至 57 分鐘，冷藏已產生高溫水層阻力，由 5°C 降至 4°C 所用之時間長達 19 分鐘，130 分鐘冷藏溫度 0.7°C，比 1 支水樣的冷藏溫度 0.3°C 比較高出 0.4°C，需 240 分鐘才能達到冷藏溫度 0.3°C。

(五)採樣行程水樣箱溫度控管程序步驟如下，經實驗證明確實有效：

- 1.採集不同容量及材質水樣，每個水樣箱應以冰塊與水共存 0°C 來保存水樣。
- 2.採樣量隨著採樣行程增加，可由水樣箱外排水口排出 0°C 水再補充冰塊
- 3.採完水樣在運送至檢驗室過程中，以冰塊與水共存 0°C 2000ml 玻璃瓶 8 支水樣 240 分鐘冷藏可達 0.5°C。
- 4.冷藏後水樣溫度應降溫至 0.5°C 以下，採樣如不送外檢驗，則送至檢驗

室水樣冰箱內 4°C 冷藏，如需送驗則將水樣重新以冰塊與空氣共存 0°C 冷藏，貼封條送交託運。經實驗證明以 2000ml 塑膠瓶水樣 8 支 0.5°C，託運前 6 小時繼續由冰塊與空氣共存 0°C 的環境可繼續冷卻降溫至 0.2°C，因水樣箱保溫效率原廠說明為 70%，再經 18 小時共 24 小時後，水樣溫度上升至 0.8°C，總計 2000ml 塑膠瓶水樣 8 支 0.5°C 歷經 24 小時保溫後上升 0.3°C，冷藏託運符合規定在 4°C 以下。

參考文獻

- 1.行政院環境保護署飲用水水質採樣方法—自來水系統，
<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W10154A.htm>
- 2.行政院環境保護署水質檢測方法總則，
<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W10251C.htm>
- 3.水與空氣的比熱值
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1508070311869>
- 4.細菌生長繁殖的條件，
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1305082819728>
- 5.張碧芬、袁紹英、游呈祥，微生物學的世界，天下文化書坊，167~P168，2004
- 6.熱電偶式溫度計，
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1305082919340>

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

飲用水中新興污染物之健康風險評估

文/張怡怡、莊朝欽、蔣本基、李易書、康世芳

摘要

近年來，民眾對水質要求普遍提升，基於新興污染物(Compounds of Emergency Concern)可能造成人體健康安全危害之考量，飲用水水源與水質標準實有必要逐年修訂。評析現行國內致病性微生物、重金屬、農藥、消毒副產物與持久性難分解有機物之污染現況及健康風險等，均應在法規建置前，審慎進行評估。本研究將根據美國國家研究中心(USNRC)健康風險評估概念，分為四大步驟：(1) 危害性鑑定(Hazard Identification)；(2) 劑量效應評估(Dose-Response Assessment)；(3) 暴露評估(Exposure Analysis)；(4) 風險表徵(Characterization of Risk)。逐步介紹飲用水中候選新興污染物目標值之計算，並依據目前尚未管制之新興污染物調查濃度進行健康風險評估試算，藉此了解台灣飲用水水質現況，提供未來提升飲用水水質安全管理之重要方針。目前評估 12 種新興污染物之 HQ 均低於 0.1，表示該污染物在飲用水中濃度，對人體無顯著負面健康影響，其濃度可做為飲用水水質目標值訂定之依據。

一、前言

國際水協會(International Water Association, IWA)於 2004 年提出之波昂憲章(Bonn Charter)強調飲用水水質安全包括自水源地經淨水場至用戶端的整體管理，並明確指出政府與主管機關的相關責任。因此，美國、日本、澳洲與紐西蘭等世界主要國家均

提出相關法令與指導方針，提升飲用水安全。

多數國家制定飲用水管理相關法規或標準時，經常參酌世界衛生組織(World Health Organization, WHO)所出版之飲用水指針(Guidelines for Drinking-water Quality)^[1]。美國環保署(USEPA)為提高飲用水水質安全，乃依據安全飲用水法案(Safe drinking water act, SDWA)擬訂污染物候選清單(Contaminant Candidate List, CCL, 以下簡稱 CCL)，已於 1998 年 3 月發佈首批 60 項 CCL(CCL₁)，2005 年 2 月發佈第二批 CCL(CCL₂)，目前正進行第三批 CCL(CCL₃)之研議^[2]。日本厚生勞動(2007)亦於 2004 年發布新修定的飲用水水質標準項目，分為水質標準項目、水質管理目標設定項目、及今後檢討項目；其中農藥類一項，多達 101 種農藥^[3]檢測。

我國雖訂有飲用水水源水質標準與飲用水水質標準，然而近年來民眾對水質要求提升，基於新興污染物(Compounds of Emergency Concern)可能造成人體健康安全危害之考量，飲用水水源與水質標準實有必要逐年檢討、修訂與增加。例如目前尚未管制之鹵乙酸與疑似環境荷爾蒙物質，及其他相關農藥、揮發性有機物與致病性微生物等。評析國內致病性微生物、重金屬、農藥、消毒副產物與持久性難分解有機物之污染現況及健康風險等，均是法規建置前必須審慎進行評估，作為法規研擬的依據。

二、建立新興污染物健康風險評估

雖然環境中新興污染物的濃度低，但對人體的危害性高，逐漸受到重視與研究。建立新增污染物候選清單的首要篩選原則為「參考國外已於飲用水水質標準中明確管制之污染物質」，主要參考的國家包括(1)世界衛生組織(WHO)、(2)美國、(3)加拿大、(4)

歐盟、(5)英國、(6)日本、(7)澳洲、(8)紐西蘭等八個國家。各國已明確管制，但我國環保署尚未列管之污染物質作為新增污染物之候選清單。目前，優先選定納入我國飲用水中 CCL 之三十項新增物染物候選清單^[4]，如表 1 所示：

表 1 三十項新增污染物候選清單

類別	編號	中文名稱	英文名稱
微生物	1	糞便性大腸桿菌群	Fecal Coliform
	2	大腸桿菌	<i>Escherichia coli</i>
	3	隱孢子蟲	<i>Cryptosporidium</i>
	4	梨形鞭毛蟲	<i>Giardia Lamblia</i>
毒性物質	5	戴奧辛	Dioxin
消毒副產物	6	鹵乙酸類	Haloacetic acids (HAAs)
	7	亞氯酸根	Chlorite
	8	醛類	Aldehyde
農藥	9	陶斯松	Chlorpyrifos
	10	大滅松	Dimethoate
	11	福瑞松	Phorate
	12	托福松	Terbufos
揮發性有機物	13	二氯甲烷	Dichloromethane
	14	1,1-二氯乙烷	1,1- Dichloroethane
	15	1,2-二氯丙烷	1,2- Dichloropropane
	16	順 1,2-二氯乙烯	Cis-1,2-dichloroethene
	17	反 1,2-二氯乙烯	Trans-1,2- dichloroethene
	18	四氯乙烯	tetrachloroethene
	19	氯苯	Chlorobenzene
	20	1,2-二氯苯	1,2- Dichlorobenzene
	21	1,4-二氯苯	1,4- Dichlorobenzene
	22	甲苯	Toluene
	23	乙苯	Ethylbenzene
揮發性有機物	24	二甲苯	Xylene
	25	苯乙烯	Styrene
重金屬	26	鋁	Aluminum
持久性難分解有機物	27	壬基酚	Nonylphenol
	28	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Di-(2-ethylhexyl)phthalate
	29	微囊藻毒-LR 型	Microcystins-LR
	30	雙酚 A	Bisphenol A

新興污染物之健康風險，將依化學物質及微生物項目分別評估。

- (一)化學物質健康風險評估前，必須先蒐集毒性化學物質之健康影響相關資料，包括對健康無不良影響的最高限值 (No Observed Adverse Effect Levels, NOAELs) 或有不健康影響的最低限值 (Lowest Observed Adverse Effect Levels, LOAEL) 等相關資料，並判定其是否具致癌性，進一步將污染物分別建立最大污染物管制目標 (MCLG)。
- (二)微生物定量風險評估主要是計算在供水系統中已知或可臆測出之特定病原菌濃度對人類之感染性與感染程度。微生物定量風險評估 (QMRA) 方法之建立，主要仍是根據化學藥品風險評估，分為(1)危害性鑑定、(2)劑量效應評估、(3)暴露評估與、(4)風險特徵(性)描述等四大步驟，其應用至微生物定量風險評估之相關目的如表 2 所示。

三、化學物質健康風險評估步驟

美國國家研究中心(United State National Research Council, USNRC)^[5]於 1983 年提出風險評估概念。風險評估意旨針對人體暴露至環境中有害物質所造成之負面健康影響進行特性描述。風險評估包含許多要素：根據流行病學、臨床、毒性與環境的研究結果進

行評估，並描述其可能之負面健康影響；由上述結果判斷並預測其危害形式與評估在給定暴露條件下人體健康危害的程度；判定暴露在不同強度與持續時間下之影響人數與特性；將目前環境與整體大眾健康問題之重要性判定進行總結。此外，風險評估亦包含推論風險中之不確定性。

風險評估共可分為四大步驟：(1)危害性鑑定(Hazard Identification)；(2)劑量效應評估(Dose-Response Assessment)；(3)暴露評估(Exposure Analysis)；(4)風險表徵(Characterization of Risk)。若無任何負面影響或因政策或法律命令經有關當局停止定期採樣分析，則風險評估可能會在第一步驟—危害性鑑定便停止。風險評估執行流程圖如圖 1 所示。

本研究將根據美國國家研究中心 (USNRC)健康風險評估的概念，進行飲用水中候選新增污染物目標值之計算，並進一步評估目前飲用水健康風險情形。

(一)危害性鑑定—致癌性鑑定

國際癌症機構(International Agency for Research on Cancer, IARC)、美國環保署 (US EPA) 與美國政府工業衛生工作者協會 (American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)，將環境中化學物質依其對人體造成之致癌性證據或潛能分類如表 3 所示。

表 2 風險評估各步驟之相關目的

步驟	主要目的
危害性鑑定	描述整體環境條件與相關病原菌可能對人體健康造成急性或非急性之影響
劑量效應評估	建立病原菌暴露與感染或疾病發生率之適當關係
暴露評估	確定受暴露群體之大小與種類以及病原菌之暴露途徑、數量與持續時間
風險特徵(性)描述	整合暴露評估與劑量效應評估之相關資訊，對大眾陳述相關結果，並考慮評估之易變性與不確定性

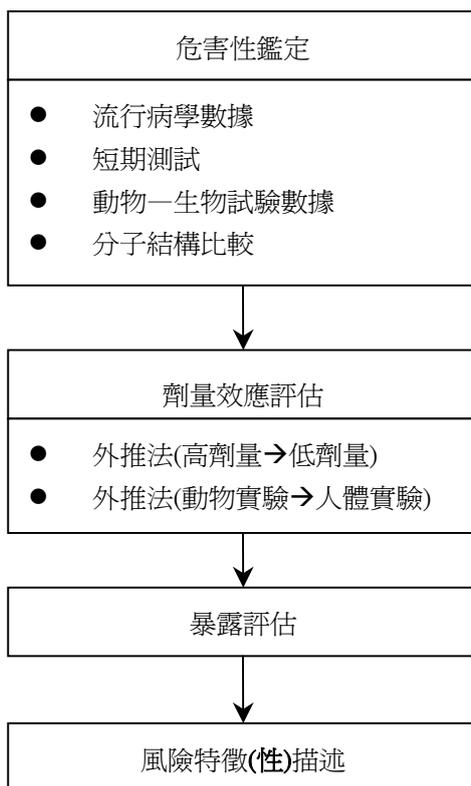


圖 1 風險評估執行流程圖

表 3 致癌性分類

組織	致癌性分類	描述
美國環保署	Group A	人類致癌物質
	Group B	極可能為人類致癌物質 B1: 基於對人類有限之致癌證據 B2: 有充分之動物證據, 但缺少或無人類致癌證據
		可能為人類致癌物質(基於不足之動物證據且無人類致癌證據)
	Group D	無法分類為人類致癌物質
	Group E	非人類致癌物質
國際癌症機構	Group 1	人類致癌物—流行病學研究證明為致癌物
	Group 2A	極可能為人類致癌物—流行病學研究資料不足(人類致癌性), 但動物毒性實驗資料充足
	Group 2B	可能為人類致癌物—動物毒性實驗資料充足
	Group 3	資料不足, 無法判定其致癌性
	Group 4	極可能非人類致癌物—目前資料可判定為無致癌性
美國政府工業衛生工作者協會	A1	確定人體致癌
	A2	疑似人體致癌
	A3	動物致癌
	A4	無法判斷為人體致癌性
	A5	非疑似人體致癌性

本文依據美國環保署(US EPA)上述致癌性鑑定，將污染物依其致癌性程度分為三大類(第 I、II、III 類)，其分類依據如下所示：

第 I 類：明顯致癌證明者(美國環保署致癌性分類 Group A 與 Group B)

第 II 類：有疑問之致癌證明者(美國環保署致癌性分類 Group C)

第 III 類：無適當致癌證明者(美國環保署致癌性分類 Group D、Group E 或無分類者)

污染物經致癌性分類後，根據不同分類進行後續劑量效應評估等步驟。

(二)劑量效應評估

根據動物或人體健康毒理實驗所建立之劑量效應反應，依其致癌性與否可計算得致癌斜率因子與參考劑量，其計算方式如下所示：

1. 致癌斜率因子 (Slope Factor)

若污染物分類為第 I 或 II 類時，將於劑量效應評估中計算得致癌斜率因子。主要資料來源可分為兩類：

(1) 國外致癌風險相關研究與資料

- 美國環保署整合風險資訊資料系統(Integrated Risk Information System, IRIS)
- 世界衛生組織飲用水綱要(Drinking Water guideline)

(2) 利用標竿劑量(Benchmark Dose, BMD)計算

利用標竿劑量進行斜率因子之計算，其計算方式如式(1)所示：

$$\text{Slope factor} = \frac{\text{benchmark response}}{\text{BMDL}} \quad (\text{式 1})$$

上述方程式中，標竿效應(Benchmark response)一般設定為 10%；低標竿劑量 (Low

Benchmark Dose, BMDL) 可利用標竿劑量 (Benchmark dose) 計算軟體計算得。

2. 參考劑量 (Reference dose, RfD)

若污染物分類為第 II 或 III 類時，將於劑量效應評估中計算得參考劑量。主要計算方式如式(2)所示：

$$\text{RfD} (\text{mg} / \text{kg} / \text{day}) = \frac{\text{NOAEL}}{\text{UF} \times \text{MF}} \quad (\text{式 2})$$

上述方程式中 NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) 為無明顯危害影響劑量；UF (Uncertainty Factor) 為不確定因子；MF (Modify Factor) 為修正因子。美國環保署整合風險資料系統(IRIS)、世界衛生組織(WHO) 與 澳洲 健康 與 藥物 研究 會 (NHMRC)，均根據污染物健康毒理研究彙整不同污染物之 NOAEL 與 UF/MF 值。

其中不確定因子(UF)其值的定義為：

- 10：平均健康的個人對應到敏感性族群
- 10：由動物實驗對應到人體
- 10：由非長期數據對應到長期數據
- 10：由 LOAEL 對應到 NOAEL

亦即，每增加一項不確定性，需增加 10 倍值，而 MF 為修正因子(Modify Factor)，其值介於 1-10 之間，主要根據毒理動態學 (Toxicodynamics) 與毒理動力學 (Toxicokinetics) 的理論進行推算。

(三) 暴露評估

暴露評估主要計算污染物質經由飲用水進入人體之暴露劑量，本研究將利用終身攝入劑量(Lifetime Ingestion Dose, LID)進行飲用水暴露量之評估，其計算式如式(3)所示，相關參數假設主要參照美國環保署暴露因子手冊^[6]：

$$lifetime\ ingestion\ dose\ (mg/kg/day) = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (式\ 3)$$

其中：

CW (Concentration in Water)：飲用水中污染物濃度(mg/L)

IR (Ingestion Rate)：飲用水每天攝入量(L/day)，假設為 2 L/day

EF (Exposure Frequency)：暴露頻率(day/year)，假設為 365 day/year

ED (Exposure Duration)：暴露持續時間(year)，假設為 70 年

BW (Body Weight)：體重(kg)，假設為 70kg

AT (Average Time)：平均時間(day)，假設為 25,550 (365×70) 天

因考量飲用水之暴露量僅為總暴露量之一部份，若忽略其他暴露途徑會造成風險低估的現象。因此，飲用水之暴露劑量(Exposure dose)應納入飲用水相對貢獻量(RSC)，其計算公式如式(4)所示。

(四)風險特徵描述

一般風險特徵描述主要是利用終身攝入劑量進行致癌性影響與非致癌性影響的評估，計算方式如下所示：

1. 致癌性評估

若污染物分類為第 I 或 II 類時，將進行致癌性評估。致癌風險 (Cancer Risk) 可用來評估污染物之致癌性影響，方程式如式(5)所示：

$$Cancer\ risk = Exposure\ dose \times slope\ factor \quad (式\ 5)$$

上述方程式中暴露劑量 (Exposure dose)

$$Exposure\ Dose(mg/kg/day) = \frac{LID}{RSC} = \frac{CW \times 2 \times 365 \times 70}{70 \times 365 \times 70} \times \frac{1}{RSC} = \frac{CW}{35 \times RSC} \quad (式\ 4)$$

為暴露評估中計算得之終身攝入劑量(mg/kg/day)；斜率因子 (slope factor) 為劑量效應評估中計算得之致癌斜率因子(mg/kg/day)⁻¹。

2. 非致癌性評估

若污染物分類為第 II 或 III 類時，將進行致癌性評估。危害商數 (Hazard Quotient, HQ) 可用來評估污染物之非致癌性影響，方程式如式(6)所示：

$$Hazard\ Quotient = \frac{Exposure\ dose}{Reference\ dose} \quad (式\ 6)$$

上述方程式中暴露劑量 (Exposure dose) 為暴露評估中計算得之終身攝入劑量(mg/kg/day)；參考劑量 (Reference dose, RfD) 為劑量效應評估中計算得之參考劑量(mg/kg/day)。

(五)訂定飲用水水質目標試算值

若污染物為第 I 或 II 類時，將以致癌風險計算飲用水水質目標值。當致癌風險小於 10⁻⁶，則為可接受風險 (Acceptable risk)，其濃度即可定為飲用水水質目標值；若污染物為第 II 或 III 類時，將以危害商數計算飲用水水質目標值。當危害商數小於 1 (HQ < 1)，則表示該污染物濃度對人體無顯著負面健康影響，其濃度即可做為飲用水水質目標值訂定之依據。

依據上述說明，訂定飲用水水質目標試算值之執行流程如圖 2 所示。

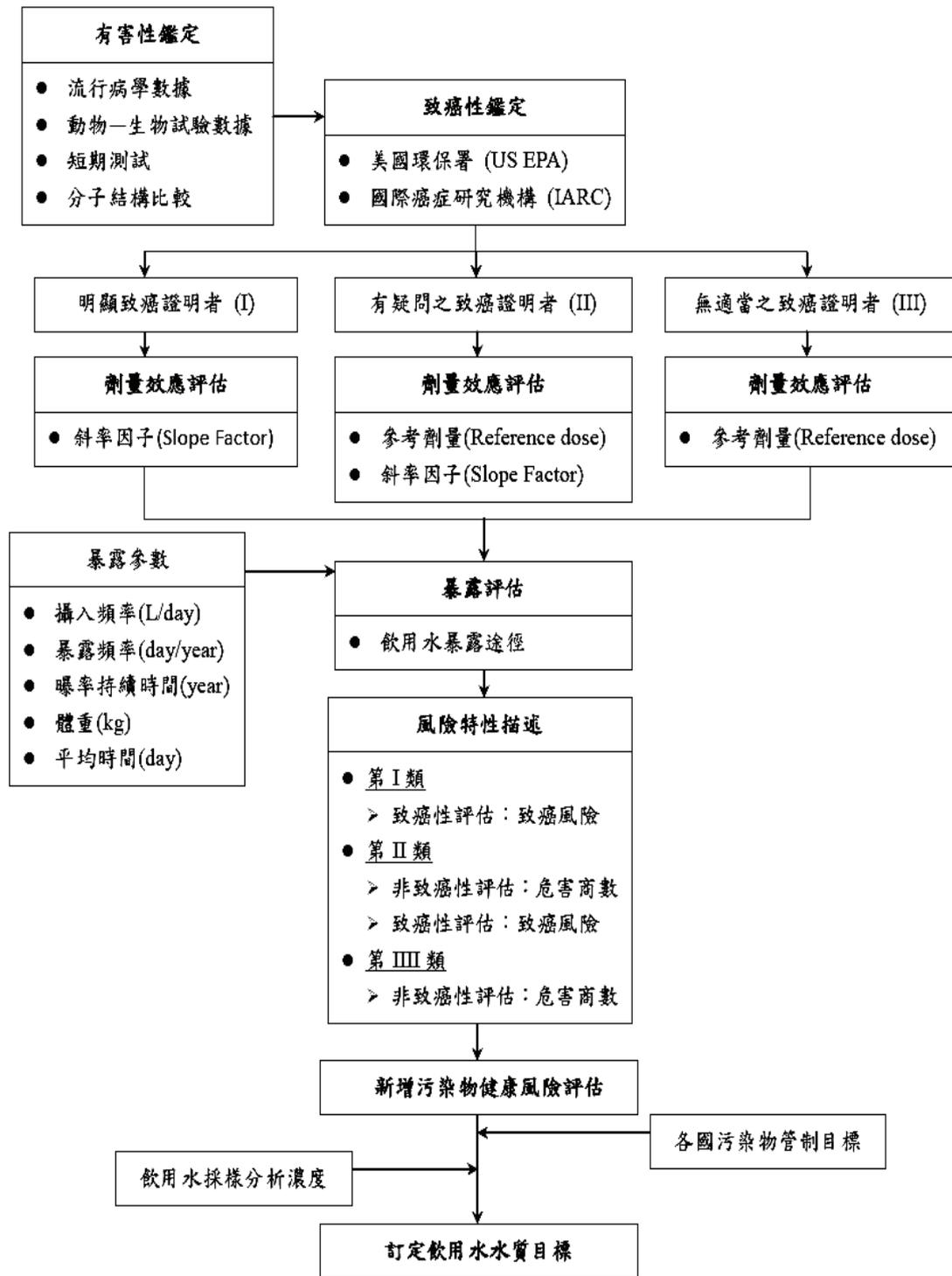


圖 2 飲用水水質目標試算值之執行流程

四、新興污染物化學物質健康風險評估範例－氯苯

以下將以氯苯(monochlorobenzene) 為例，進行化學物質風險評估分析，評估過程

如下說明。

(一)危害性鑑定

根據美國環保署的致癌性分類標準 (Weight of Evidence)，氯苯屬於 Group D—無

法分類為人類致癌物質(動物與人類致癌證據不充足或缺少)。因此，將其分類為第 III 類，進行危害商數估算。

(二)劑量效應評估：參考劑量(Reference dose, RfD)

WHO、USEPA 及澳洲等國選定氯苯之 NOAEL 與參考劑量之計算結果如表 4。

(三)暴露評估：終身攝入劑量 (Lifetime Ingestion Dose, LID)

氯苯由飲用水攝入人體之終身攝入劑量(LID)之計算如式(7)，針對飲用水之相對貢獻量 (RSC) 之選擇，以參考美國環保署 (US EPA)、美國加州環境健康危險評估辦事處 (OEHHA)、世界衛生組織 (WHO) 及澳洲健康與藥物研究會 (NHMRC) 之資料：

US EPA 及 OEHHA 所選用之 RSC: 20%

WHO 及 NHMRC 所選用之 RSC: 10%

$$LID = \frac{CW \times 2 \times 365 \times 70}{70 \times 25,550} = \frac{CW}{35} \text{ (mg/kg/day)} \text{ (式 7)}$$

選用上述 USEPA 及 OEHHA 之資料，經計算得之飲用水中氯苯之暴露劑量如式 (8)，而選用 WHO 及 NHMRC 之資料者如式 (9)：

$$ExposureDose = \frac{LID}{RSC} = \frac{CW}{7} \text{ (mg/kg/day)} \text{ (式 8)}$$

$$ExposureDose = \frac{LID}{RSC} = \frac{CW}{3.5} \text{ (mg/kg/day)} \text{ (式 9)}$$

(四)風險特徵(性)描述：非致癌性評估

進行非致癌性評估時，參考表 3 各國所提供之 NOAEL、UF 及 MF 計算飲用水氯苯之參考劑量，其中，NOAEL 值係選擇將其調整為一週暴露 7 天之數據，且由於 OEHHA、WHO 及 NHMRC 並未定 MF 值，因此本文均將其假設為 1。計算結果顯示選用 US EPA、OEHHA、WHO 及 NHMRC 資料，計算之氯苯參考劑量分別為 0.02、0.06、0.09 及 0.09 mg/kg/day。進一步計算其相對應之危害商數公式，結果分別為 CW/0.14、CW/0.42、CW/0.63 及 CW/0.63。

(五)評估飲用水中氯苯之健康風險

根據筆者參與之環保署研究報告(計畫編號：EPA-97-U1J1-02-101)中，由民國 97 年採樣結果，淨水場之清水池中氯苯之濃度範圍為 ND-1.46 μg/L (ND 表示偵測濃度小於方法偵測極限 (MDL= 0.36 μg/L))，其餘均低於方法偵測極限或小於 1μg/L。將清水池中

表 4 各國選定氯苯 NOAEL、UF、MF 及 RfD 之參考值

國家/組織	NOAEL (mg/kg/day)	UF	MF	RfD (mg/kg/day)	參考資料 ^[7, 8, 9, 10]
美國環保署 (USEPA)	27.25 (adjusted dose : 19.46)*	1000	1	0.02	USEPA, 1993
世界衛生組織* (WHO)	60 (adjusted dose: 42.86)**	500	-	-	WHO, 2004
澳洲健康與藥物研究會 (NHMRC)	60 (adjusted dose: 42.86)**	500	-	-	NHMRC, 2003
加州環境健康危險評估辦事處(OEHHA)	27 (adjusted dose: 19)***	300	-	-	OEHHA, 2003

*27.25 mg/kg/day 為每週暴露 5 天之實驗結果，因此乘上一轉換因子 (conversion factor)：5/7，將其調整為每週暴露 7 天之劑量。

**60 mg/kg/day 為每週暴露 5 天之實驗結果，因此乘上一轉換因子 (conversion factor)：5/7，將其調整為每週暴露 7 天之劑量。

***27 mg/kg/day (此劑量係以狗為實驗對象) 為每週暴露 5 天之實驗結果，因此乘上一轉換因子 (conversion factor)：5/7，將其調整為每週暴露 7 天之劑量。

氯苯濃度 $1.46 \mu\text{g/L}$ 代入上述風險特徵描述，依 USEPA、OEHHA、WHO 及 NHMRC 之資料所計算之飲用水氯苯之危害商數分別為 10.0×10^3 、 3.0×10^3 、 2.3×10^3 、 2.3×10^3 ，顯示其危害商數均小於 0.01，亦即所調查淨水場之出水氯苯濃度，遠低於人體之耐受量。

五、結論

本研究針對台灣飲用水中，目前尚未管制之新興污染物調查濃度進行健康風險評估試算，藉此了解台灣飲用水水質現況，提供未來提升飲用水安全之重要方針。根據筆者所參與之環保署計畫（計畫編號：EPA-96-U1J1-02-102）之採樣結果，透過風險

評估試算得之健康風險評估如表 5 所示。化學物質其非致癌性評估之危害商數(HQ)與致癌性評估(CR)，所得結果之可接受風險分別為 < 0.1 與 $< 10^{-6}$ (表 5)。因此，目前台灣地區上述 12 種新興污染物之 HQ 均低於 0.1，表示遠低於會產生不良反應的閾值；致癌性評估(CR)中僅二氯乙酸之風險略高於 10^{-6} ，但亦低於一般公認致癌風險的可接受範圍($10^{-6} - 10^{-4}$)。建議未來飲用水中新興污染物的管制，除了利用系統性健康風險評估結果作為訂定飲用水水質目標值外，建議亦應參考先進國家之飲用水中管制目標，並針對差異部份進行分析探討，建立適用於台灣之飲用水水質管制目標。

表 5 健康風險評估比較表

中文名稱	致癌性分類	本研究健康風險評估分類	健康風險評估 HQ: 危害商數 CR: 致癌風險
微生物指標			
1. 大腸桿菌	—	—	$< 2 \times 10^{-5}$
消毒副產物			
2. 鹵乙酸類	—	—	—
一氯乙酸	(無分類)	第 III 類	HQ : < 0.05
二氯乙酸	Group B2 (USEPA)	第 I 類	CR : $8.8 \times 10^{-7} - 6.1 \times 10^{-5}$
三氯乙酸	Group C (USEPA)	第 II 類	HQ : < 0.04 CR : $1.2 \times 10^{-7} - 1.4 \times 10^{-6}$
揮發性有機物			
3. 二氯甲烷	Group B2 (USEPA)	第 I 類	HQ : $< 3 \times 10^{-3}$
4. 順 1,2-二氯乙烯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.08
5. 反 1,2-二氯乙烯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.08
6. 四氯乙烯	Group 2B (IARC)	第 II 類	HQ : < 0.03 CR : $< 6.7 \times 10^{-9}$
7. 甲苯	Group 3 (IARC)	第 III 類	HQ : < 0.002
8. 乙苯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.002
9. 二甲苯	Group 3 (IARC)	第 III 類	HQ : < 0.0008
10. 氯苯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.002
11. 1,2-二氯苯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : $< 2 \times 10^{-3}$
持久性難分解有機物			
12. 壬基酚	(無分類)	第 III 類	HQ : $< 8 \times 10^{-6}$

六、致謝

感謝環保署毒管處經費補助本研究之進行。

參考文獻

1. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. WHO Press, 2008.
2. 美國環保署網址: www.epa.gov
3. 日本厚生勞動省網址: www.mhlw.go.jp
4. 康世芳、蔣本基、張怡怡、王根樹,「飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(1/3)」, 環保署研究報告, 計畫編號: EPA-96-U1J1-02-102, 民國96年12月。
5. National Research Council, Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press, 1983.
6. U.S. EPA. Exposure Factors Handbook (1997 final report). U.S. Environmental Protection Agency, 1997.
7. USEPA 1993. Integrated Risk Information system. (<http://www.epa.gov/NCEA/iris/subst/0399.htm>)
8. Office of Environment Health Hazard Assessment (OEHHA), 2003. Public Health Goal for Chlorobenzene in drinking water. (<http://oehha.ca.gov/water/phg/pdf/Ph4Chlorobenzene92603.pdf>)
9. National Health and Medical Research Council (NHMRC) and National Resource Management Ministerial Council (NRMMC), 2003. Australian Drinking Water Guidelines 6, 2004. (http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/_files/adwg_11_06.pdf)
10. WHO. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.

World Health Organization. 2004. (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/monochlorobenzene.pdf)

11. 康世芳、張怡怡、蔣本基、張簡國平,「飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(2/3)」, 行政院環境保護署, 民國97年12月, (計畫編號: EPA-97-U1J1-02-101)。

作者簡介

張怡怡女士

現職: 台北醫學大學醫學系生化學科教授
專長: 環境分析化學、水處理技術、水質管理

莊朝欽先生

現職: 台灣大學環工所碩士生
專長: 臭氧處理技術、消毒副產物分析

蔣本基先生

現職: 台灣大學環境工程研究所教授
專長: 理化處理、環境管理

李易書先生

現職: 台灣大學環工所博士生
專長: 臭氧處理技術、環境管理

康世芳先生

現職: 淡江大學水資源及環境工程學系教授
專長: 水質處理、水資源管理

我國飲用水水庫藍綠菌及毒素監測與應變雜議

文/林財富、顏宏愷

摘要

本研究旨在探討並建議我國飲用水水庫中藍綠菌與毒素監測及應變基本架構。研究中先收集我國主要水庫藍綠菌藻華、毒素及相關歷史水質資料，進而評析主要水庫發生藍綠菌藻華與毒素之潛勢。其次依水廠監測資料及水場操作程序，評估水廠藍綠菌及毒素之處理效率，以找出國內主要可能受影響之水庫與水廠。研究中並彙整紐、法、及台灣等國內外案例，分析其藍綠菌藻華及毒素發生時，水庫管理及水廠處理方法之改善及應變等相關措施。最後並彙整與分析所收集相關資料，就國內一般性之水庫及水廠，在藍綠菌藻華及毒素之監測與應變上，提出建議架構。

一、前言

台灣公共給水常以地面水水庫為主要水源，由於水源區內點源與非點源營養鹽污染源之存在，造成許多水庫水質優養化。根據環保署近年來(1998 至 2008 年監測資料)對台灣地區 20 座主要水庫水質監測結果(Carlson Trophic State Index, CTSI)，約有一半水庫曾發生優養化之現象，顯示台灣水庫優養化程度的嚴重性。優養化的淡水水庫中，藍綠藻(現稱藍綠細菌)常是水體中主要的藻類，藍綠藻中包含了幾種具產生毒素能力之藻種，例如：微囊藻(Microcystis sp.)等，會產生藍綠細菌毒素(cyanobacterial toxin 或 cyanotoxin)，造成水質之惡化。由於藍綠細菌毒素兼具急毒性及慢性毒性，高濃度情況

下會造成用水安全及水庫遊憩安全問題(Pouria et al., 1998; Haider et al., 2003)，低濃度則可能造成慢性疾病^[1]，因此非常值得重視。

水庫中藍綠菌之生長與毒素之產生，受到許多環境及氣候因子之影響，因此會因水庫及水廠特性、及季節因素會有所變動，很難預測其發生時機。因此為保障民眾用水安全，須有一套針對藍綠菌毒素由上游由水源、水廠到用戶端的監測與應變的方法，以降低民眾接觸到毒素的風險。鑑於此，本研究由國內水庫水廠特性水質資料，評析主要水庫發生藍綠菌藻華與毒素之潛勢，及毒素貫穿水廠之潛勢。研究中並彙整國內外案例，分析其藍綠菌藻華及毒素發生時，水庫管理及水廠處理方法之改善及應變等相關措施。最後並彙整與分析所收集相關資料，就國內一般性之水庫及水廠，在藍綠菌藻華及毒素之監測與應變上，提出建議架構。

二、國內水庫藍綠菌及毒素發生潛勢評估

(一)水庫藍綠菌及毒素發生潛勢評估方式

水庫風藍綠菌及毒素發生潛勢包括考慮藍綠菌發生歷史、水溫、營養鹽、熱分層^[1]、優養化、臭味物質出現機率、水流速度(停留時間)(MOHNZ, 2005)等。由於國內地處熱帶與亞熱帶，因此水溫與熱分層一般而言並非限制因子，加上水庫停留時間除颱風豪雨外均足以使藻類大量生長，所以主要需要考慮藍綠菌生長歷史、營養鹽、及臭味出現機率。台灣主要水庫在 2001 至 2007 年 5 月間，

有約 45% 水庫全年有一半以上的時間處於優養狀態^[12]，許多主要水庫水中葉綠素含量超過 $10 \mu\text{g/L}$ (以藍綠菌平均葉綠素含量為 0.5 pg/cell 計算，相當於最多可以達 $20,000 \text{ cells/mL}$)，若依澳洲或世界衛生組織建議之警告等級，勢必多數水庫需納入高風險。然則，台灣水庫特性與澳洲或世界衛生組織不盡相同，因此，本研究考量國內主要水庫水質資料，包括藻類及毒素監測之結果，及一般優養化水質項目監測結果，並考量供水量重要性，以評估飲用水水庫受藍綠菌及毒素發生機率潛勢。

1. 過去藻華或毒素出現歷史

本研究彙整 2004-2007 年本研究室所調查之水樣、以及環境檢驗所全省 56 座水庫^[13]、台灣自來水公司水質環保處 19 座主要飲用水水庫原水等相關監測資料，結果顯示，過去曾出現大規模微囊藻藻華、或微囊藻毒素檢出濃度超過 $1 \mu\text{g/L}$ (世界衛生組織建議值) 之水庫，包括基隆新山、桃園石門、金門太湖與菱湖、連江縣津沙、秋桂山、珠螺、勝利、福正、儲水沃下霸、儲水沃上霸，超過 $0.1 \mu\text{g/L}$ (世界衛生組織建議值的十分之一) 之水庫，包括金門縣田浦、西湖、榮湖、擎天、瓊林，連江縣中興、午沙、津沙一號壩、鐵堡、及坂里等水庫，澎湖縣興仁及成功水庫。此外，水體中出現藻華者尚包括田埔、菱湖及連江縣勝利、珠螺、儲水沃上壩、儲水沃下壩、津沙、津沙一號壩、及菜沃埔等水庫。

除上述較高濃度外，在過去監測資料也顯示，蘭潭與仁義潭水庫，水中臭味物質濃度高，且出現柱孢藻及毒素；南化水庫、金

門榮湖微囊藻數量在出水口位置亦曾達接近 10^5 cells/mL 。

為建立微囊藻與毒素之相關性，本研究並將離島 T 水庫、本島 D 水庫、及數筆環檢所於離島水庫所得之微囊藻與微囊藻毒素總濃度資料，繪製成圖 1 以討論其相關性，由圖中可以看出，在絕大多數情況下，不論是 T 或 D 水庫，微囊藻毒素超過 $1 \mu\text{g/L}$ 時，微囊藻屬的細胞濃度須達到 10^5 cells/mL ，顯示至少在此兩座水庫中，多數的微囊藻並不具毒性，但是在藻體濃度高時，仍會產生足夠量之微囊藻毒素。因此，鑒於鑑定微囊藻屬遠較鑑定銅綠微囊藻容易， 10^5 cells/mL 的微囊藻濃度可以當成，在該二座水庫監測時毒素極可能超過 $1 \mu\text{g/L}$ 的啟動值(trigger value)，惟若要推估到其他水庫，則需有進一步之資料證明此數值是正確的。

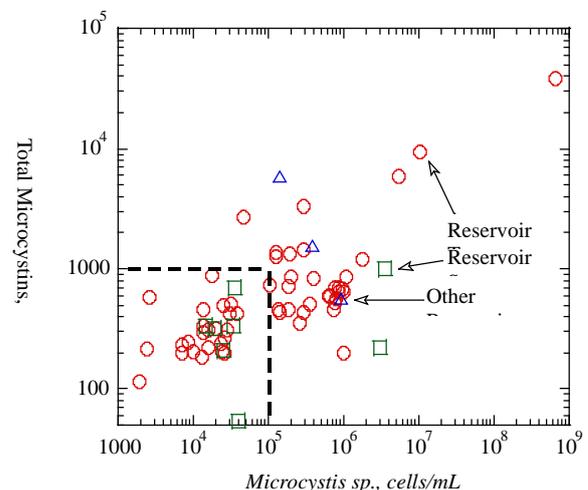


圖 1 國內水庫微囊藻與毒素濃度之相關性

2. 臭味物質出現機率

另一種藻類代謝物(臭味物質)出現雖然並不代表藻類毒素高，但可以作為藻類出現機率高的指標，在過去本研究室監測數據顯示^[11,12]，臭味物質出現機率及濃度較高(MIB

濃度常超過 40 ng/L)的水庫包括離島的金門太湖、榮湖及小金門的幾座水庫，以及南部的鳳山、澄清湖水庫。出現機率與濃度次高(MIB 濃度常超過 10 ng/L)的包括仁義潭與蘭潭水庫。至於翡翠水庫、牡丹、曾文、南化等水庫，則出現濃度低，其餘水庫則缺乏監測數據。

3.水庫藻華潛勢推估

水中總磷、葉綠素、及透明度，常用於作為水庫監測之水質參數及優養化之指標，而事實上，也代表著水中藍綠菌生長之潛勢，例如 Chorus et al. (2000)即提到，葉綠素濃度超過 40 $\mu\text{g/L}$ 時，非常容易出現表面浮渣(藻華)，若藻華中以藍綠菌為主時，10 萬 cells/mL 相當於 50 $\mu\text{g/L}$ 葉綠素，即藍綠菌的葉綠素當量為 0.5 pg/cell，筆者實驗室培養之銅綠微囊藻 PCC 7820 葉綠素當量為 0.30 pg/cell，與該數值接近。通常 1 g 的總磷具可以轉換成 1 g 葉綠素的潛勢^[6]，因此相當於水體中若有 40 $\mu\text{g/L}$ 的總磷時，藻華出現機率大增，而在總磷濃度小於 10 $\mu\text{g/L}$ 時，通常不易出現嚴重藍綠菌藻華，但是若大於 20 - 25 $\mu\text{g/L}$ 時(25 $\mu\text{g/L}$ 相當於 TSI (磷)= 50)^[6,9]，藻華出現機率則大幅上升。另外一項可以用水中藍綠菌之指標為透明度(SD)，SD 小於 2 m 時(相當於 TSI (SD)= 50)，若非由泥砂等懸浮微粒濁度所引起的，可能是代表藍綠菌或者藻類大量生長^[3]。

本研究彙整 2001 年至 2007 年 5 月，環保署監測國內主要水庫及離島水庫水質監測數據所得結果，分成 1-5 月平均值及 6-12 月平均值，個別葉綠素平均值超過或接近 40 $\mu\text{g/L}$ (具藻華生成潛勢)者包括本島的大埔、鳳山，離島的太湖、榮湖、田浦、西湖、

陽明湖、金沙、瓊林、津沙等水庫。

在總磷部份，個別平均值超過或接近 40 $\mu\text{g/L}$ (具藻華生成潛勢)者包括本島的大埔、鏡面、澄清湖、及鳳山，離島則幾乎所有水庫均超過或接近 40 $\mu\text{g/L}$ 。若將總磷濃度往下調，以具發生藻華潛勢次高之 25 $\mu\text{g/L}$ 來看(事實上，過去新山及石門發生藻華，其磷濃度平均值亦介於 25 $\mu\text{g/L}$ 附近)，則尚包括寶山、蘭潭、仁義潭、白河、曾文、及南化等水庫。

在透明度部份，除新山、翡翠、德基、日月潭外，幾乎所有本島及離島水庫，其透明度平均值均低於 2 m (具藻類大量生長潛勢)。

4.水庫飲用水供水量

雖然目前共有 56 座本島及離島水庫，但是部分水庫並未直接供給飲用水使用，因此參考自來水公司各區處網站資料，若以供水量為主要考慮，則本島各地區主要飲用水水庫包括新山、西勢、翡翠、石門、永和山、寶山、明德、鯉魚潭、日月潭、仁義潭、蘭潭、白河、烏山頭、南化、鏡面及牡丹為主要飲用水水庫，其餘水庫則兼具防洪或灌溉功能之多目標水庫。離島部分則以成功、太湖、榮湖水庫為供水量較大之水庫。

5.綜合評估

綜合考量前述國內水庫水質及使用現況，本研究建議將水庫依藻華或毒素出現歷史、臭味物質出現濃度與頻率、水庫藻華潛勢推估、及水庫飲用水供水量等四項因素，將現有水庫分成三類，依高、中、低三個藍綠菌及毒素發生潛勢等級(如表 1)，在高潛勢部分，指曾發生藍綠菌藻華、或原水毒素濃度超過世衛組織標準值 1 $\mu\text{g/L}$ 以上者，此部

份包括基隆新山水庫、桃園石門水庫、金門太湖與菱湖、連江縣津沙、秋桂山、珠螺、勝利、福正、儲水沃下壩、儲水沃上壩。此外，水體中出現藻華者尚包括田埔、菱湖及連江縣勝利、珠螺、儲水沃上壩、儲水沃下壩、津沙、津沙一號壩、及菜沃埔等離島多座水庫，雖無毒素分析數據，但是仍具較高出現機率。此類水庫應加強監測及後續水廠處理提升。此外，水庫磷及葉綠素濃度超過 $40 \mu\text{g/L}$ 的水庫、以及常檢測出高濃度臭味物質之存在，如大埔、鳳山、鏡面、澄清湖、及離島多數水庫，均應列為此等級。但是因為澄清湖與鳳山淨水場現有高級淨水處理設備，對於毒素皆能有效去除，大埔水庫並未供作飲用水水庫使用，因此其風險性相對較低。此外，雖然金門縣田浦、西湖、榮湖、擎天、瓊林，連江縣中興、午沙、津沙一號壩、鐵堡、及坂里等水庫，其原水毒素濃度未超過世衛組織標準值 $1 \mu\text{g/L}$ 以上，但考量水庫小，且長期有藻華歷史，因此也建議列為本等級。

在中度潛勢部分則指雖無記載之藻華發生，但是毒素濃度常超過世衛組織建議值十分之一($0.1 \mu\text{g/L}$)以上者，或是總磷濃度超過 $25 \mu\text{g/L}$ 、以及常檢測出臭味物質之存在，此部分水庫包括寶山、蘭潭、仁義潭、白河、曾文、及南化等，澎湖縣興仁及成功水庫。其中部分水庫均屬於主要飲用水水庫，且過去對於藻類或毒素監控均非常缺乏，因此後續建議應優先進行優養化控制、及藻類與毒素監控。

除前二等級外，其餘水庫則未出現藻華且毒素濃度低者，且過去具有良好之監控資料顯示，其藻華及高濃度毒素出現機率低。

此類水庫包括翡翠、德基、曾文、牡丹等水庫均每月、或每季進行例行性檢測，其微囊藻及其他主要產毒藻種數目，均可以做為判定水庫風險性指標。目前該類水庫，出現大規模藻華風險相對而言不高，除非發現突然上升，才需要緊急增加監測頻率及項目。

三、水廠清水藍綠菌及毒素潛勢評估

本研究在 2004-2007 年間，於全國七座淨水廠，共取得清水樣品 70 件、水廠程序水樣品 245 件、以及配水管網樣品 42 件，分析樣品中微囊藻毒素濃度。分析結果顯示，清水與配水管網樣品中微囊藻毒素濃度均小於 $0.1 \mu\text{g/L}$ ，顯示七座採樣水廠中，清水及配水管網出現微囊藻毒素濃度均遠低於世界衛生組織建議指引值($1 \mu\text{g/L}$)，微囊藻毒素出現風險低。

雖然國內水廠監測結果顯示清水中，毒素出現風險低。然則鑒於國內仍有多座水庫對於藍綠菌及毒素出現機率潛勢高，且以現有有限之樣品數，無法全面代表清水中藍綠菌毒素出現機率潛勢，因此部分可以參考紐西蘭(MOHNZ, 2005)所提之快速評估毒性藍綠菌對水廠之出現潛勢(如圖 2)，作為評析水廠中毒素之出現機率。若依此圖進行評析，由於國內水廠除澄清湖淨水廠、以及鳳山淨水廠外，均為傳統淨水廠，因此其水源中之毒素濃度高低，即佔重要角色。前一小節中所提到之水庫，若具經常性監測且其水中藍綠菌及毒素出現潛勢低，則自然其水廠清水出現毒素潛勢也較低；然而在藍綠菌及毒素出現潛勢高的水庫，其所屬淨水廠出現毒素潛勢也高，尤其是我國絕大多數淨水廠是具前加氯處理流程之傳統淨水程序、且在輸送

水過程中，部分並透過長途管線運送，因此藍綠菌破裂機會甚大，所以多數的藻類毒素，進入水廠後，會以溶解態形式存在，須賴於後續加氯氧化才能有效去除，各水廠也必須正視此問題。

為進一步了解我國代表性淨水場微囊藻毒素去除效率，本研究分析五座三種不同流程淨水場，其微囊藻毒素去除效果。研究中依照採樣水廠淨水流程，可以分成傳統程序-A、傳統程序-B、及高級淨水程序。傳統程序-A 指包含前加氯、混凝沉澱、快濾及後加氯之水廠，例如 J 淨水廠、L 淨水廠、及 A 淨水廠等水廠；傳統程序-B 則指包含前加

氯、混凝、浮除、快濾、慢濾及後加氯等程序之水廠，包括 T 淨水廠、R 淨水廠；高級淨水場則指 C 淨水廠，包括前臭氧、混凝沉澱、結晶軟化、快濾、後臭氧、粉狀活性炭、後加氯等處理程序。表 2 為各類型水廠之毒素去除效率、濃度範圍及歷年採樣資料彙整，由表中可以看出，傳統淨水場毒素平均去除效果約在 48-65%左右，具慢濾之淨水場去除效率約在 38-84%間(平均為 67%)，高級淨水場因為其原水中毒素濃度低，但去除效果仍可以達 53-96%，平均為 75%。在藻類去除效果上，此三種類型水廠均可以達 90%以上^[12]。

表 1 水庫藍綠菌及毒素出現潛勢等級分級建議

出現潛勢等級	考量原因					
	水庫用途	藻華歷史	磷濃度	葉綠素濃度	毒素	臭味物質
第一級：高潛勢						
	主要區域飲用水	出現與否	(> 40 $\mu\text{g/L}$)	(> 40 $\mu\text{g/L}$)	(> 1 $\mu\text{g/L}$)	(>40 ng/L)
新山、石門	V	V	-	-	V	-
太湖	V	V	V	V	V	V
福正、午沙	V	V	V	V	V	無資料
田埔、菱湖、勝利、珠螺、儲水沃上壩、儲水沃下壩、津沙、津沙一號壩、午沙、菜沃埔、西湖、榮湖、擎天、瓊林、中興、鐵堡及坂里	-	V	V	V	V (部分離島小水庫>0.1)	無資料
鳳山*	V	無資料	V	V	無資料	V
澄清湖*	V	-	V	V	-	~ 10-20 ng/L
鏡面	V	無資料	V	V	無資料	無資料
第二級：中潛勢						
	主要區域飲用水	出現與否	(> 25 $\mu\text{g/L}$)	(> 25 $\mu\text{g/L}$)	(> 0.1 $\mu\text{g/L}$)	(>10 ng/L)
寶山、南化	V	-	V	-	-	-
鯉魚潭	V	-	-	~ 20	-	-
蘭潭、仁義潭、成功、興仁	V	-	V	-	V	V

*該二水庫現有高級處理設備，對於毒素具有有效去除功能。

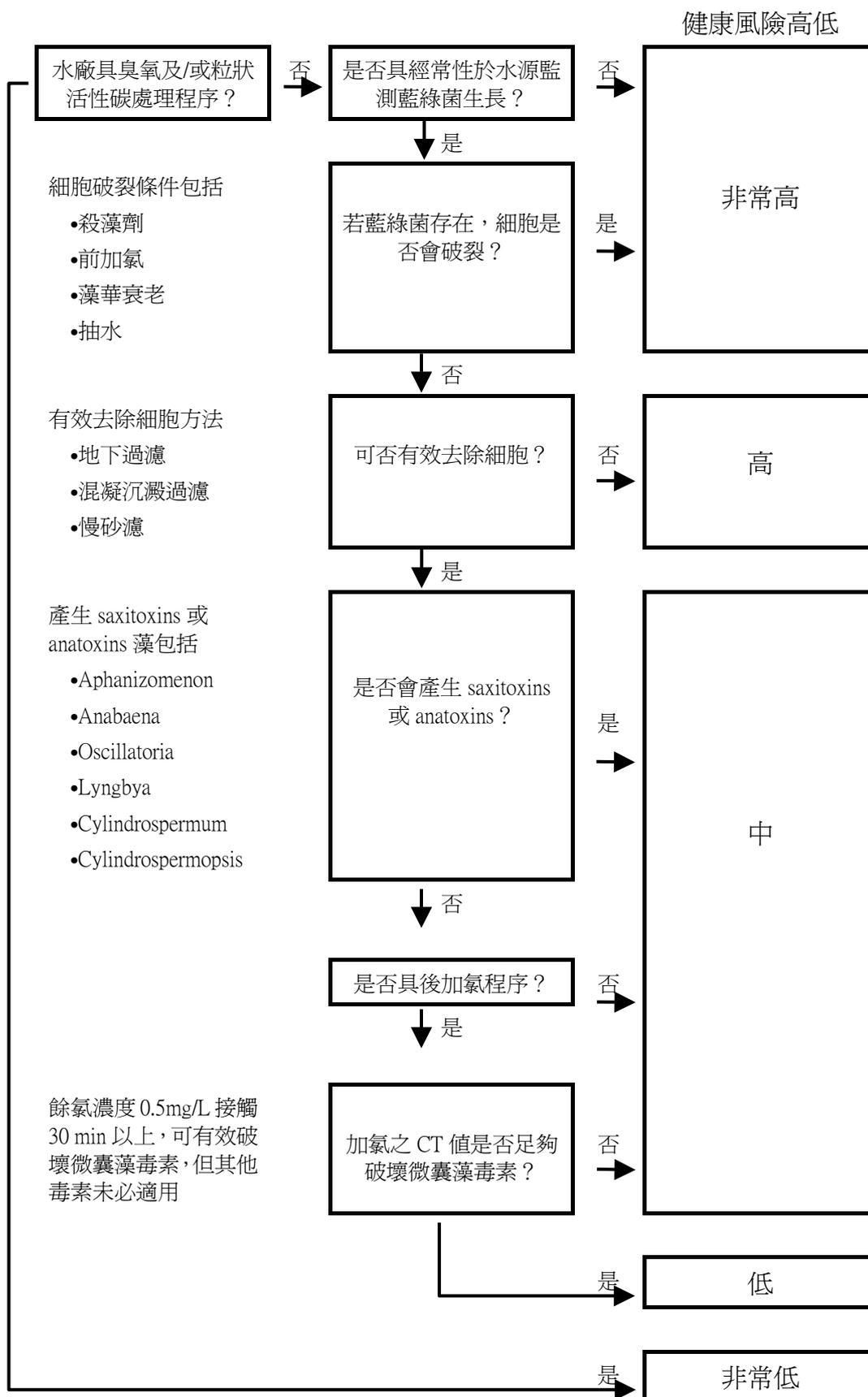


圖 2 快速評估毒性藍綠菌對水廠之風險程度(MOHNZ, 2005)

表 2 三類型水場對於微囊藻毒素之去除效率

水廠	Number of Samples	Concentration, ng/L		Removal, %		
		Raw Water	Finished water	Range	Average	
傳統-A	J	76	20 - 350	N.D. - 90	0 - 100	47.8
	L	67	11 - 570	N.D. - 100	22.4 - 100	50.9
	A	170	11 - 360	N.D. - 190	42.1 - 92.1	64.9
傳統-B	T	152	60 - >2,400	20 - 180	28.1 - 84.1	66.6
高級程序	C	330	N.D. - 480	N.D. - 120	53.1 - 96.1	74.9

傳統-A: 前加氯、混凝沉澱、快濾、後加氯。

傳統-B: 前加氯、混凝、浮除、快濾、慢濾、後加氯。

高級程序: 前臭氧、混凝沉澱、結晶軟化、快濾、後臭氧、粉狀活性炭、後加氯。

綜合以上資料可以得知，國內七座水廠目前微囊藻毒素出現風險低，但因為所收集之數據並未擴及其他微囊藻毒素出現機率高之水庫，且由於國內傳統淨水廠均有前加氯，會造成毒素多數釋放到水中，使得混凝、沉澱與過濾無法有效發揮去除功能，因此依賴後續氯之氧化作用方能有效去除溶解性微囊藻毒素。考量國內傳統淨水場平均微囊藻毒素去除效率約在五成到七成間，因此一旦水中藍綠菌濃度過高，例如超過 10^5 cells/ml 時，則微囊藻毒素即可能超過數個 $\mu\text{g/L}$ ，則此時，傳統淨水場可能無法去除至低於 $1\ \mu\text{g/L}$ 。

四、國內外案例介紹

(一)紐西蘭案例^[10]

紐西蘭共有 72% 的民眾使用地面水水廠的自來水，因此對於藻華引起之風險特別重視。2002/03 年夏季紐西蘭有多處飲用水及遊憩水水體發生藻華，其中在 Waikato 河及其相關湖泊較為嚴重，Kouzminov et al. (2007) 即針對該區域藻華風險管理進行案例探討。

1. 背景

Waikato 河過去即有季節性藻華發生之

歷史，2002 年 12 月因為氣候溫暖、乾燥，形成藍綠菌快速生長之環境條件。在 Hamilton 市政府水源藻及藍綠菌之定期監測中發現，12 月最後一周藍綠菌數有增加之現象，並造成飲用水中臭味之問題。分析結果發現，Waikato 河水中以魚腥藻(*Anabaena* sp.) 為主，此外，並包括顫藻(*Oscillatoria* sp.) 及微囊藻。2003 年一月初水質監測發現，藍綠菌數濃度快速增加，包括魚腥藻及微囊藻數增至 30,000 cells/mL，此時該市應用的參考應變架構為 2,000、20,000、及 50,000 cells/mL 三等級應變

2. 各單位之應變

一月九日 Waikato 區衛生委員會 (Waikato District Health Board)、環境局、Hamilton 市政府及藍綠菌專家開會討論應變、風險、及水廠處理方法，共包括中央部會、地方政府等超過 10 個單位參與討論與應變。

衛生部門警告 Waikato 河流域中，住於高風險區域的大眾，勿接觸或飲用未處理的水，尤其不要燒開後再飲用，因為會進一步造成毒素由藻體內釋出。並在河岸附近豎立許多警告標誌，以告知大眾，並提供因暴露

可能造成之症狀，鼓勵民眾通報可疑暴露事件。此外，為避免對於牲畜之影響，農民也被告知勿使用 Waikato 河給牲畜飲用。

Hamilton 市政府及環境局主要負責原水之抽取，衛生部門也告知必須進行藍綠菌風險評估及經常性監測，以及發展最壞條件下之意外應變計畫。當藻數增至 30,000 cells/mL 時，Hamilton 市政府擔心可能會超過 50,000 cells/mL，若超過時，即將啟動飲用水安全保障措施，包括監測頻率由每周兩次提升至每日一次、並可能關閉飲用水水源，改用應變計畫，包括改變替代水源、提供替代用水(如瓶裝水、送水車)、應用高級淨水技術(如粉狀活性碳)、以及水源管理措施使細胞數降低。其中已有數個淨水設施已經進行中，包括毒素量測及風險評估，2003 年 1 月中 Hamilton 市水處理廠亦設置粉狀活性碳單元，但是並未使用替代水源，主要因為並無負面健康案例，以及藍綠菌數及毒素濃度數據不足以作為判定關閉水源之依據。在 1 月中河中藍綠菌數濃度，可能因為降雨之故，下降至 2,000 cells/mL，雖已達安全程度，但是仍持續監測其濃度，以確保飲用水安全性。

雖然並無藍綠菌毒素中毒或致病案例報導，鑒於高藻濃度，Hamilton 市府要求 Waikato 區衛生委員會進行下列工作：

- 採集原水及清水樣品，以進行藍綠菌與毒素分析
- 執行風險評估
- 準備意外應變計畫
- 建立包括各相關單位間之溝通管道，以確認工作之執行

3. 水廠應變行動

紐西蘭衛生部提供 Hamilton 市府等區域性政府藍綠菌相關指導與建議，以建立公共衛生風險管理計畫 (public health risk management plan, PHRMP)，以作為意外應變計畫重要一部份。Hamilton 市府飲用水系統中於 1 月 16 日發現低濃度貝類毒素 (Saxitoxins)，使用 ELISA 測得約為 $0.01 \mu\text{g/L}$ ，直至二月初止持續於水中測得，最高濃度為 1 月 23 日測得為 $0.04 \mu\text{g/L}$ 。市政府為符合應變計畫，於 1 月 15 日開始添加粉狀活性碳，劑量約為 8-12 mg/L，以吸附毒素。在毒素偵測出之後，監測頻率即提升為一周兩次，在 1 月 15 日前即以增加至每日一次，即使在 Waikato 河水源健康風險警示降低後，PAC 仍持續添加，總共添加一個月，每日使用約紐幣 1000 元添加費用。另外，Waikato 區亦有四個淨水廠、15,000 人受到影響，但是該四個水廠均未添加 PAC，清水則未驗出無毒素之存在。

在衛生與水處理部門加入後，各相關單位及立即討論水廠能承受之藻華情形，並認為 2002/03 事件是一項非常好的經驗，該項經驗並整合到 2005 年版之飲用水水質指引草案中。在此次藍綠菌藻華事件中另有一項重要影響水質之問題，臭味。區域內受影響的取水口有 12 個、供水系統 36 個、96 萬民眾。

4. 應變成本

此次 Hamilton 市府在三個月內共花費約紐幣 19 萬 5 千元，其中監測部分占 5 萬、處理藥劑占 10 萬、添加設備 4 萬 5 千元。在隨後 2004 年，並額外花費 3 萬元以提升 PAC 添加設備，該項添加設備將使用至水場升級為止。該項水廠高級化需要耗費紐幣 850 萬

元，將包括粒狀活性碳、UV 消毒等新設單元。

(二)法國案例^[5]

法國 Ribou 水庫體積 $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，集水區內主要具農業活動，因此高度優養化。水庫內使用曝氣以抑制優養化並氧化水中錳。每年春季至秋季，水中藍綠菌數常超過 100,000-600,000 cell/mL，但是 2004 年之分析中顯示微囊藻毒素與藍綠菌濃度並無直接相關。2004 年夏季該廠面對嚴重藻華與原水臭味問題，最大 MIB(霉味物質、嗅覺閾值 $\sim 10 \text{ ng/L}$)、geosmin(土味物質，嗅覺閾值 $\sim 5 \text{ ng/L}$)及微囊藻毒素 LR 型(microcystin-LR，WHO 建議值 = $1 \text{ } \mu\text{g/L}$)濃度分別為 380 ng/l 、 $7 \text{ } \mu\text{g/l}$ 及 $1.84 \text{ } \mu\text{g/l}$ ，導致飲用水水廠關閉。2005 年監測資料顯示，在 5、6 月及 9、10 月間出現兩次藻華，分別持續 5 周及 10 周，濃度介於 100,000-600,000 cell/mL 間，5、6 月間出現之藻主要為 Aphanocapsa、Coelomonon、Aphanizomenon，9、10 月間則出現 Planktotrix、Oscillatoria、Microcystis，第一次藻華與 microcystin-LR 無關，但是第二次則超過 $0.5 \text{ } \mu\text{g/l}$ 。

水廠最大處理量為 $30,000 \text{ m}^3/\text{day}$ ，平均出水量則介於 $14,000\text{-}18,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 。該場處理程序包括混凝沉澱、砂濾、後臭氧、及後加氯消毒。混凝劑使用氯化鐵，劑量為 100 到 250 g/m^3 (as commercial product)、配合 ASP20 polymer ($0.1 - 0.5 \text{ g/m}^3$)。並添加粉狀活性碳 (powdered activated carbon, PAC) (PICASORB 14，最多 25 g/m^3) 於沉澱池前。後臭氧劑量為 0.2 mg/l O_3 、接觸時間 10 分鐘。

為因應 2005 年藻華事件，水廠在處理面強化沉澱與吸附程序，包括將砂濾池更換為

粒狀活性碳 (granular activated carbon, GAC)(F300, Chemviron)，以及將混凝沉澱最佳化。此外，並增加原水與清水分析監控，包括於湖中增加線上監控藍綠菌及葉綠素設備，可以對於藻華之出現提供預警。

(三)國內案例：T 水庫為例

1.水源及水場概述

T 水庫為一人工淡水湖，本為解決所在之島嶼東半部飲水及農業灌溉之需要所建，但是由於緊鄰人類活動範圍，如住家、軍事用地、風景區等，因此常因人為活動而造成污染，也因此造成水庫長年以來水質之優養化，並造成經常性的藻華問題，影響飲用水質甚鉅，而藻華在淨水單元造成處理問題包括濁度、臭味、及藻類毒素。T 水庫儲水量及面積分別為 $1.65 \times 10^6 \text{ m}^3$ 及 $3.6 \times 10^5 \text{ m}^2$ ，平均深度在滿水位時約為 4.5 m ，依據環保署例行性監測結果，自 2001 年至 2007 年 5 月為止之資料顯示，總磷、葉綠素、透視度、總有機碳等水質參數之平均值與標準偏差分別為 $83.7(\pm 45.7) \text{ } \mu\text{g/L}$ 、 $69.1 (\pm 47.8) \text{ } \mu\text{g/L}$ 、 $0.44 (\pm 0.14)$ 公尺、 $9.1(\pm 1.3) \text{ mg/L}$ 。一般在葉綠素濃度超過 $40 \text{ } \mu\text{g/L}$ 時，非常容易出現表面藻華浮渣，透視度小於 2 m 時，是藍綠菌生長的指標^[3]。此外卡爾森優養化指標 (Carlson Trophic State Index, CTSI)則長年在 70 左右，遠高於 CTSI=50 之優養化限值，顯示其優養化之嚴重。

T 水庫所在區域目前主要有兩個地面水淨水廠供應用水，分別是 T 淨水廠、R 淨水廠、海水淡化廠及西部之地下水井。而 T 水庫的水主要作為 T 淨水廠之原水。T 淨水廠緊鄰 T 水庫東南方，主要水源分別為 T 水庫、Y 水庫(容量為 $0.35 \times 10^6 \text{ m}^3$)及其下游之 P

水庫(容量為 $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$)等三個水庫聯合運用，直接將原水送至 T 淨水廠之原水池做為原水取用。由於目前 Y 湖停用、且 P 水庫容量遠小於 T 水庫，因此 T 淨水廠仍以 T 水庫為主要水源。

T 淨水廠主要處理程序包括前加氯、混凝、浮除、快濾、慢濾、後加氯等處理程序，原設計最大出水量為 12,000 CMD，目前操作出水量約為 6,000~8,000 CMD，尚未達設計出水量，主要供水區域占全該地區目前自來水總供應量之 27.3%。

2.藻華及毒素監測結果分析

由於 T 水庫屬於嚴重優養化水庫，在環境條件合適下，會經常出現藻華。在 2006 年 2 月至 5 月間，多次出現藻華，微囊藻藻體濃度常超過 10^6 cells/mL ，毒素濃度超過 $1 \mu\text{g/L}$ ，其中風向是重要影響藻華發生位置的因素。在 2007 年亦出現多次藻華，該年 3 月中監測結果亦顯示，湖庫水已出現許多斑點，部份區域亦出現薄層的藻華，微囊藻藻體濃度超過 $1.0\text{-}4.0 \times 10^5 \text{ cells/mL}$ ，微囊藻毒素濃度亦介於 $0.4\text{-}3.3 \mu\text{g/L}$ ，顯示藻類毒素問題已變成每年 2-6 月常態性之問題。

3.應變探討

鑒於 T 水庫經常出現藻華，且含藻華之水中毒素濃度常超過 $1 \mu\text{g/L}$ (WHO 建議飲用水指引值)以上，雖然在歷次採樣中，因為取水口藻華情況，並未有水廠相關資料驗證其進出口清水之濃度變化。然而考量歷次採樣結果，T 淨水廠處理程序去除效率約在 28-84%之間，因此若取水口有藻華出現，其去除效果恐怕無法達到要求，因此須考量應變措施。其應變措施包括水庫管理、處理方法之改善、及公共用水應變措施三類，分別

討論如下。

(1)水庫管理

依據世界衛生組織對於遊憩用水水質之建議指引，T 水庫水中微囊藻數歷年多次監測，均超過第二級建議值(藍綠細菌數 > 大於 $100,000 \text{ cells/mL}$)，部分時候甚至於是屬於第三級(藻華浮渣形成)，接觸或食入會造成皮膚刺激及腸胃不適，甚至可能會造成急性中毒，因此對於人體健康已有潛在之危害。因此建議水庫於藻華好發季節時，應禁止如划龍舟、游泳、遊艇等之水中或水上活動。

(2)處理方法之改善

鑒於 T 水庫水質狀況，在 2-6 月期間，T 水廠應採取相關措施，以增加完整藻體及溶解性毒素去除效果。由於多數微囊藻毒素存於藍綠菌菌體中(文獻值 90%以上、本研究歷年採樣 65%以上)^[4,12]，因此最有效去除毒素之方法即為移除完整藻體，以目前 T 水廠處理程序，前加氯對於微囊藻藻體破壞性極強，例如微囊藻濃度 44 萬 cells/mL 間、前加氯 6 mg/L 下(該水廠常用之劑量)，只需 5 分鐘，超過 50%藻體即遭破壞，顯示在相當低的劑量下多數藻體即會破裂，因此對於前氯之使用需特別注意^[14]。由於現有處理程序對於藻體之去除效果，在混凝、浮除之前，去除效果可以達到 95%以上，因此在此流程中，應盡量避免前氯之使用，先行將完整藻體移除，以去除細胞內之毒素。

在溶解性毒素部分，由於氯對於毒素具氧化作用，一般餘氯濃度為 0.5 mg/L 、接觸時間 30 分鐘時，多數微囊藻毒素即可以被氧化^[1]。此外，另有多種對於溶解性處理之

方法，可以參考林與曾(2007)彙整之資料。

(3)公共用水應變措施

A.水庫經常性巡查

建議在 2-6 月雨季來臨前，每日二次環湖巡查，時間為上午 10:00、下午 3:00，一旦發現水庫出現藻華，必須提高巡查頻率為 3 次，加上中午 12:00 一次。特別注意取水口是否有明顯藻華，若取水口出現藻華，則啟動緊急應變措施。並配合氣象站逐時監測(可以線上查詢)，若發現風向為以南風、西風為主時，更須特別注意取水口藻華狀態。若取水口出現藻華，則應啟動應變措施。有關目視法巡邏水庫，可以參考林與曾(2007)附件二中說明。

B.水庫監控設備加強

建議於取水口附近，增設藍綠菌及葉綠素監控線上設備，可以有效掌握區域藍綠菌數目及葉綠素濃度變化趨勢，提供作為預警之用。

由圖 1 中可以得知，在絕大多數情況下，微囊藻毒素超過 $1 \mu\text{g/L}$ 時，T 水庫微囊藻屬的細胞濃度須達到 10^5 cells/mL ，顯示多數的微囊藻並不具毒性，但是在藻體濃度高時，仍會產生足夠量之微囊藻毒素。因此，鑒於鑑定微囊藻屬遠較鑑定銅綠微囊藻容易，因此 10^5 cells/mL 的微囊藻濃度可以當成，毒素極可能超過 $1 \mu\text{g/L}$ 的啟動值(trigger value)。

藍綠菌生長速率與季節及環境相關，一般而言介於 $0.1-0.4 \text{ d}^{-1}$ 間，相當於 1.73 至 6.93 天增加兩倍^[2]，因此當微囊藻菌數數量達 $1-5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 等級時，依 T 水庫水體中即會開始出現斑點，在此濃度下即可以推估最快在 3 天左右的時間，水體中微囊藻濃度即會

增加到啟動值的濃度 10^5 cells/mL ，即於水庫中毒素濃度可能會超過 $1 \mu\text{g/L}$ 的等級，此時應預作準備。

C.應變措施

相關之應變措施包括啟動水源調度、淨水廠調度、及通知相關單位三部分。目前 T 水廠共有兩個水庫水源，在取水口發生藻華情況下，在 P 水庫（容量為 $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）無藻華之情況下，增加 P 水庫原水水量。此外，亦應評估目前停用之 Y 湖（容量為 $0.35 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）取水可行性(雖然 Y 湖較無微囊藻問題，但需考慮其他問題，如色度、柱孢藻毒素、及臭味物質)。P 水庫亦應啟動巡查機制，以確認無藻華出現。

若 P 水庫、Y 水量或水質不佳，則應以 R 水廠（設計出水量 10,500 噸，目前出水量為 1800 噸，最大出水量 3000 噸）、海水淡化廠（出水量 1000 噸）、地下水（出水量 9000 噸）等水，作為調度供水。但是，R 水庫因為溴離子含量高，因此有 THMs 問題，地下水則有海水入侵、地下水鹽化，無法超抽之問題。由於淨水廠出水能力有限，此方案能供給之飲用水量有其限制。

藻華之狀況發生時，各種方案，尤其是牽涉到藻華水之供應時，應通知包括衛生機關、媒體、醫院、民眾等風險之存在。

五、我國水庫與水廠藍綠菌與毒素監測與應變建議

公共給水或是飲用水主管或相關單位，由水源到用戶端包括環保署、水利署、自來水事業單位、衛生署等，因此需要跨單位之協調、合作、解析、及應變，才能在藻華發生時，提出適當應變方法。林與曾(2007)

參考澳洲藍綠菌管理架構^[9]修改而成之我國管理架構建議，架構中由水庫管理到淨水廠水處理共分成五個工作單元，包括水庫風險評估、水庫監測計畫研擬與實施、監測結果解析與應變、毒素監測結果解析與應變、及水中毒素淨化處理等。各相關工作單元可以參考林與曾(2007)，本節則主要介紹說明在水庫與水廠因應藻華及毒素發生時之監測及應變方法。

圖 3 為本研究建議之國內水庫與水廠藻華與毒素應變架構，在水庫與水廠針對藻華及毒素之應變，首要在於可以快速監測出水中藻華或毒素發生潛勢。鑑於水庫第一線設備與人員之欠缺、以及水庫面積之廣闊，因此應選擇容易量測、且與藻華產生具相關性之水質參數，進行監控。常用之相關水質參數，例如包括葉綠素、總磷、透明度、水體 pH 值及藻細胞數，並配合水源整體目視巡邏監測，做初步研判水體中藍綠菌生長潛勢。近年來，因為光學儀器進展快速，因此亦可以考慮於水中(尤其是取水口附近)裝設有線上監控藍綠菌數(或藻藍素)之螢光偵測器，一併作為初步判定水體藍綠菌濃度之依據，則可以更進一步得到即時藻類濃度，可能可以增加反映時間。此外，亦可以配合產毒基因監控，可以快速鍵別藍綠菌族群是否具有產毒潛勢，可以進一步釐清產毒潛勢，較分析毒素更快速。

一旦建立快速監控技術後，即可針對不同水庫進行監測，其監控對象尤其應優先以出現潛勢屬於較高的水庫作為主。本文前面已經對我國水庫及水廠藍綠菌及毒素出現潛勢進行初步推估，鑒於我國水廠絕大多數為具前加氯處理流程之傳統淨水程序、且在

輸送水過程中，部分並透過長途管線運送，因此一旦水庫出現高濃度之藍綠菌及毒素，將會加水廠之負荷，因此對於出現潛勢屬於較中高等級的水庫，需有效掌握水庫水質，以降低水廠出水風險。所以屬於表 1 中建議之中高潛勢之水庫，在藻華好發之季節(通常為每年之 3-10 月)，每週須定期監測藍綠菌細胞數，並配合水源目視巡邏監測，以判定藻華發生潛勢。

圖 3 建議之監測共分成三個階段，包括在水庫水質監測及目視巡視、取水口監測、以及水廠清水監測，依序進行。在藍綠菌及毒素發生潛勢屬於中高等級之水庫，建議在藻華好發時刻(視當年度雨季情況，例如 2007 年為 3-10 月份)，水庫表面水中任何一點顯微鏡觀測微囊藻細胞數 $>10,000$ cells/mL、或水體中出現斑點時，則此時應提升監測及應變等級，包括增加監測頻率為每周兩次、並增加取水口所在位置深度之取樣與分析。

其中水體中出現斑點為依過去 T、R 及 D 水庫經驗，相當於 $1-5 \times 10^4$ cells/mL 微囊藻等級時，水體中即會開始出現斑點。這些啟動數值為較保守之數值，適用於國內水庫在以往無相關藻類毒性當量資料時，所採取之方法。此數值與世界衛生組織、澳洲、南非、法國等啟動值相近，澳洲啟動值為 5,000 cells/mL，相當於考量每一微囊藻細胞均具毒性且產毒當量為最大，若考慮國內一般水廠去除微囊藻毒素效率為 50%，則在 10,000 cells/mL，仍應可以保障用水安全。

如果水庫以往已有產毒藍綠菌與毒素相關資料，例如 T、D 水庫，則其水質參數起動值可以有所不同。在圖 1 中，即已經可以看出，在絕大多數情況下，不論是 T 或是

D 水庫，微囊藻毒素超過 $1 \mu\text{g/L}$ 時，微囊藻屬的細胞濃度須達到 10^5 cells/mL ，顯示至少在此兩座水庫中，多數的微囊藻並不具毒性，但是在藻體濃度高時，仍會產生足夠量之微囊藻毒素。因此，鑒於鑑定微囊藻屬遠較鑑定銅綠微囊藻容易，因此 10^5 cells/mL 的微囊藻濃度可以當成，在該二座水庫監測時毒素極可能超過 $1 \mu\text{g/L}$ 的啟動值(trigger value)，惟若要推估到其他水庫，則需有進一步之資料證明此數值是正確的。

此外，為收到飲用水水質安全預警之效，除監視取水口外，同時也須監測水庫三點之表水水質，包括岸邊(下風處)、中心、及取水口，由於藍綠菌受到風向影響甚大，此三點之平均值可以做為整體水庫風險。一般而言，取水口深度之藻類濃度低於表水，因此表水以平均值大於 $5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 的微囊藻濃度作為啟動另一等級監測與應變之參考。若超過 $5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 的微囊藻濃度，則須提升取水口採樣次數為每兩日一次。由於藍綠菌生長速率與季節及環境相關，一般而言其生長之速率常數介於 $0.1-0.4 \text{ d}^{-1}$ 間，相當於 1.73 至 6.93 天增加兩倍^[2]，因此當微囊藻菌數數量達 $5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 等級時，依 T、R 及 D 水庫經驗，此時水體中即會開始出現斑點，在此濃度下即可以推估最快在 2 天左右的時間，水體中微囊藻濃度即會增加到 10^5 cells/mL ，即於水庫中毒素濃度可能會超過 $1 \mu\text{g/L}$ 的等級非常大。所以此時應將水質採樣提升為每兩日一次。

若在取水口深度位置取樣結果發現微囊藻細胞數 $>10,000 \text{ cells/mL}$ 、或水體中出現斑點時，則應增加原水與清水毒素分析，以

確定其毒性及影響。由於多數藻華均具有毒性，理論上此時應進行毒性分析，但是鑒於動物(老鼠)毒性分析在國內尚未建立，因此後續需要儘速開發，在尚未開發之前建議先以出現率最高之微囊藻毒素分析作為優先分析項目，並取取水口位置附近不同深度之水進行分析，以決定水源中最佳取水口深度，保障原水安全性。此時水廠並應提升處理效能，包括避免前加氯、提升混凝沉澱或浮除程序效能，並控制沉澱、浮除後之加氯量，以達到適度之破壞效果，必要時應於原水中添加粉狀活性炭，以提升處理效能。降低毒素風險。詳細之毒素水處理方法，可以參考林與曾(2007)。

最後，若是水廠出廠清水毒素濃度超過 $1 \mu\text{g/L}$ ，即使水廠進行操作最佳化，也無法達到低於 $1 \mu\text{g/L}$ 時，則此時應考慮替代水源、或是停止供水，並通知相關主管機關(例如環保與衛生單位)，並告知民眾水質變化情形。

六、結論

本研究收集與分析國內飲用水水庫及水廠之水質及特性資料，提出相關水庫及水廠藍綠菌與毒素發生潛勢高低分類，並建議國內可能受影響之水庫與水廠。研究中並探討國內外三個水庫及水廠藍綠菌與毒素管理案例，分析其藍綠菌藻華及毒素發生時，水庫管理及水廠處理方法之改善及應變等相關措施。最後並依國內現況，提出我國水庫及水廠藍綠菌與毒素監測與應變之架構，以供各相關主管機關參考。

七、誌謝

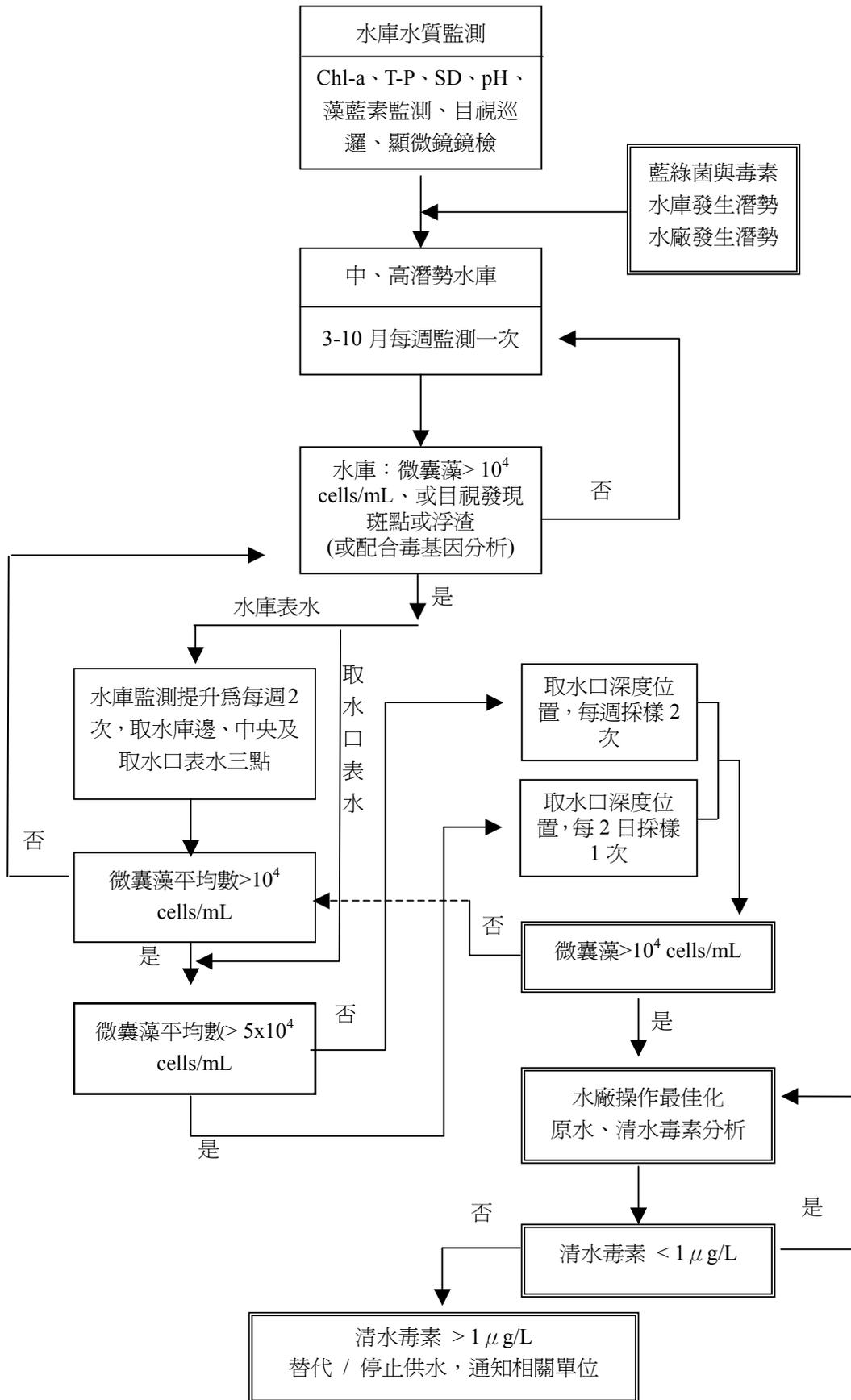


圖 3 水庫及水廠藍綠菌及毒素監測與應變架構建議

本研究蒙行政院環保署毒管處 (EPA-96-U1J1-02-101)、行政院國家科學委員會及經濟部水利署計畫補助，特此致謝。研究執行中承成功大學生命科學系曾怡禎教授、澳洲水質中心 Mike Burch 教授、台北醫學大學張怡怡教授、環保署毒管處、台灣水公司、及台北自來水處提供意見，在此一併致謝。

參考文獻

1. Brookes, J.D., Daly, D., Regel, R.H., Burch, M., Ho, L., Newcombe, G., Hoefel, D., Saint, C., Meyne, T., Burford, M., Maree Smith, M., Shaw, G., and Hipsey, M. (2006), Reservoir management strategies for control and degradation of algal toxins, AWWA Research Foundation.
2. Burch, M.D., Harvey, F.L., Baker, P.D., House, I.J. and Jones, J. (2003), National Protocol for the Monitoring of Cyanobacteria and their Toxins in Surface Fresh Waters-Draft Report, Australian Water Quality Centre.
3. Chorus, I., Falconer, I.R., Salas, H.J. Bartram, J. (2000), Health risks caused by freshwater cyanobacteria in recreational waters, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 3:323-347.
4. Drikas, M., Newcombe, G., and Nicholson, B. (2002) Water treatment options for cyanobacteria and their toxins, In Blue-Green Algae: Their significance and management within water supplies, The cooperative research centre for water quality and treatment, occasional Paper 4.
5. Duguet, J.P., Bruchet, A., and Baudin, B. (2008) Blue Algae Toxins- Draft International Report, IWA Specialist Group on "Design, Operation and Maintenance of Drinking Water Plants.
6. Falconer, I.R. (2005), Cyanobacterial Toxins of Drinking Water Supplies: Cylindrospermopsins and Microcystins, CRC Press, Boca Raton, FL., US.
7. Grosse, Y., Baan, R., Straif, K., Secretan, B., El Ghissassi, F., and Coglianò, V. (2006) Carcinogenicity of nitrate, nitrite, and cyanobacterial peptide toxins, Oncology, 7, 628-629.
8. Haider, S., Naithani, V., Viswanathan, P.N. and Kakkar, P. (2003), Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern, Chemosphere, Vol. 52, pp. 1-21.
9. House, J., Ho, L., Newcombe, G., Burch, M. (2005) Strategies and Practices for Management of Toxic Blue-Green Algae: A Guide- Draft, Australian Water Quality Centre.
10. Kouzminov A., Ruck, J., and Wood, S.A. (2007) New Zealand risk management approach for toxic cyanobacteria in drinking water. Australian and New Zealand Journal of Public Health, 31, 275-281.
11. 林財富、張怡怡 (2001) 自來水配水管網中影響感官物質之調查與改善對策，行政院環保署計畫期末報告，EPA91-U1J1-02-101。
12. 林財富、曾怡禎 (2007)，飲用水水源及水質中產毒藻種及藻類毒素之研究(第三年)，行政院環境保護署，EPA96-U1J1-02-101。
13. 洪文宗、莊士群、牟麗娥 (2007) 國內水庫水源水質中微囊藻及其藻毒調查與預警模式之建立(2/2) 環保署環境檢驗所，中壢。
14. 張德威 (2008) 淨水程序對藍綠菌破壞及其代謝物去除之研究，國立成國大學環境工程系，碩士論文。

作者簡介

林財富先生

現職：成功大學環工系特聘教授兼系主任

專長：水中藍綠菌及代謝物分析與處理

顏宏愷先生

現職：成功大學環工系博士後研究員

專長：藍綠菌及代謝物化學與分子生物分析技術

水質軟化與重金屬濃度之關係

文/駱尚廉、翁士奇

摘要

自來水或飲用水之硬度與溶解固體之水質標準是否應提昇，國內在過去十年曾有許多爭議，雖然自 1950 年代開始就有研究報導使用硬水可以減低心血管疾病的風險，但流行病學證據的品質並不理想，大約有 30% 心血管疾病死亡原因歸類錯誤，對於社會經濟水準因子以及個人健康風險因子並未加以考量。本研究在大台北地區進行飲用水樣品採樣分析，探討水中重金屬濃度與硬度值之關係，並檢討水質軟化、調理與最佳水質條件問題，以供國內水廠是否要採中央軟化處理程序之參考。

一、前言

水的硬度係由水中溶解的二價金屬離子所構成，主要包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 等，其中更以鈣、鎂離子為最主要的成分，並以等當量的 mg/L CaCO_3 為單位。由於曾有民意調查^[1-5]顯示，臭味與硬度為大高雄地區民眾認為係會影響自來水適飲性的兩大項目，因此行政院環境保護署曾擬自民國 92 年起將總硬度水質標準提昇為 $150 \text{ mg/L (as CaCO}_3)$ ，但經多方研討分析^[6-8]，仍難有所定論，僅能將總硬度標準設定在 $300 \text{ mg/L (as CaCO}_3)$ 。本研究就一些新的飲用水中硬度與心血管疾病的流行病學論述，水質軟化、調理與最佳水質條件問題，以及實際採大台北地區水樣，進行水質的硬度與重金屬濃度關係分析，以供國內進一步研討之參考。

二、硬度與心血管疾病之關係

由於潔淨淡水水資源之逐漸匱乏，利用海水淡化及脫鹽技術來製造飲用水，已是普遍被採用之程序，但仍有相當多的人質疑，長期飲用此類飲用水是否會影響健康？因此，世界衛生組織(World Health Organization, WHO)從 2003 年 11 月開始，組織了一個專家委員會，重新檢視一些具相關議題的科學文獻，探討水中營養物質對健康的潛在影響，其中就包括了水中硬度與心血管疾病風險的關係。2005 年末，WHO 發表「飲用水中的營養物質」(Nutrients in Drinking Water)一書^[9]，其中對於心血管疾病之結論為：假設「使用硬水來減低心血管疾病風險」可能是正確的，而鎂是最有可能造成這樣益處的因子。

針對這項仍是「可能是正確的」結論，全球水研究聯盟(Global Water Research Coalition, GWRC)隨後開始進行另一評估研究，單獨針對此議題的流行病學證據進行品質上的評估^[10]。發現雖然 1957 年一篇有關水質與心血管疾病死亡率的論文發表後，大量的相關議題研究陸續開展，但流行病學證據的品質令人失望，因為這些研究有實際進行硬度分析與心血管個案研究的就不多，其中大部分研究的品質都不理想，並且研究發現也都不一致。

即使是從 1979 年開始發表於英文期刊上的論文來看，此些經設計之分析型流行病學的研究，多為探討水質因子與心血管健康結果間的關係分析，而且主要是急性心肌衰

弱感染（即一般所說的心臟病），或是多種的冠狀動脈心臟疾病（包括心臟病和心絞痛），少數的研究則著重於腦血管疾病（特別是中風）。大部份的研究只以腦血管疾病計算死亡率，但少數也同時計算疾病發生率（最新產生的致命及非致命案件）。

GWRC 報告中有三個使用小規模地理估算法來釐清暴露人口數的生態研究，有兩個屬群體的研究，有七個為個案研究，但 GWRC 認為這些研究大部份研究品質頗低，而且對於鈣、鎂或水中硬度的正面功能並沒有提供有力的證據。例如，此 12 個研究中只有兩個研究有每人實際使用的水量與水質資料，其他的只簡單提到這些人在他們生活的地區中是使用硬水或軟水。大部份的研究沒有估計個人的健康風險因子（例如抽菸、飲食及運動）在水質因子與心臟疾病發生率或死亡率之間所造成的明顯影響，也沒有探討社會經濟水準對於許多疾病（包括心血管疾病）的發生率及死亡率有很大的關連性問題。

此外，大部份的研究是從死亡證明及死亡登記中收集死亡原因，但有 30% 的心血管疾病死亡原因在這些資料中被錯誤地歸類；儘管最新的研究顯示及時的治療可以大幅減低心臟病及中風的死亡風險，但沒有一個研究將藥物使用對死亡的影響在計算死亡率的的研究中列入考量。

在對於社會經濟水準因子以及個人風險因子加以微調的幾個流行病學研究中，統計分析結果顯示水質的影響並不顯著；而並未評估群體中個人風險因子及社會經濟水準因子的研究，統計分析結果則出現水中硬

度具明顯保護心臟血管疾病之作用。此外，其他流行病學的研究結果，甚至出現其他各種不同的結果與解釋，包括對硬度具保護作用或是其他水中因子所造成的不利結果。

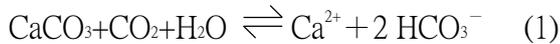
祇有一個研究在 GWRC 報告中被認為有經高品質的研究設計，不但對個人風險因子的影響加以探討，也適度評估從飲食與水中對鈣與鎂的攝取^[11]。這項研究為瑞典一項大型心臟病研究下的一個子計畫，其研究成果也曾經一群心血管疾病專家嚴格評審過。這項研究沒有發現任何的證據來證明保護作用與水中硬度或鈣、鎂濃度有關，也與對心臟病發生率及死亡率無關。然而，美中不足的是在此研究中，飲用水中的硬度暴露量也被限定，祇有 7% 的人飲用水之鎂濃度超過 8.0 mg/L，及 16% 的人用水之鈣濃度為 28.5 mg/L 以上，因此，這個沒有發現相關性的結論，也可能是因人群中暴露濃度不夠高所造成。

因此，GWRC 的報告最後結論：「飲用水中低濃度鈣及鎂為造成心血管疾病之重要因子」的假說，以現有的科學證據而言，並不充份及足夠。這份報告對於以往流行病學研究的疏失，及研究設計上的錯誤，特別提出建議：如果未來的研究要對知識本身具實質貢獻，及具科學證據之價值，這些錯誤必須被更正。

三、Ca-pH 平衡曲線

當自來水經由管線輸送時，水質狀況不同，可能會造成不同的效應，例如有時產生水垢，但有時卻造成管材的腐蝕，為防止管線產生水垢或腐蝕，則必須應用軟化和調理處理技術，以達到理想的或是最佳的水質狀

態^[12]。假設水中的鈣全部來自土壤中石灰石 (Limestone) 的溶解，此反應可以用下面之平衡反應來表示之：



因此 Ca-pH 之平衡關係圖可以圖 1 表示之，在平衡曲線的上方，水中的碳酸鈣過飽和，將傾向形成水垢（飽和指數 Saturation Index, SI>0）；在平衡曲線下方，水中碳酸鈣未飽和，而將傾向腐蝕碳酸鈣以及管線材料 (SI<0)。圖 1 中亦顯示，如果硬水中含大量的碳酸鈣會呈現低 pH 值，在低 pH 值下，重金屬容易溶解，這將導致水中重金屬濃度的提高（銅、鉛、以及其他的金屬），而增加人體對這些重金屬的暴露量。

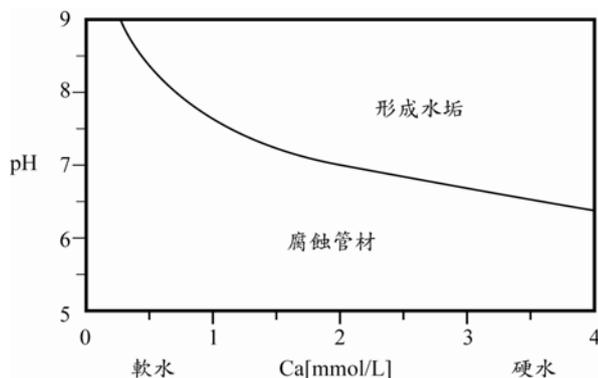


圖 1 在所有的鈣都來自碳酸鈣的情況下之 Ca-pH 平衡關係 ($[\text{HCO}_3^-]=2[\text{Ca}^{2+}]$)

提高 pH 會降低重金屬的溶解，但 pH 值上升不可能不伴隨去除碳酸鈣，如果 pH 值上升，水中碳酸鈣將會變成超飽和而形成水垢。水質軟化處理，去除水中碳酸鈣，因而提供了 pH 值上升的機會，以代替直接加鹼，水中重金屬的溶解度將降低，因而減少消費者經由飲用水的重金屬暴露量，也可能進一步導致污水處理廠出流水及污中之重金屬含量降低，及減少合成清潔劑的使用量（鈣、鎂等二價金屬離子會消耗部份界面活

性劑，而使合成清潔劑使用量增加），這些就環境的觀點而言，都是正面的^[13]。

軟化水質不是祇有優點，軟水和脫鹽水通常會腐蝕管材，但可以透過水質調理技術來減少腐蝕問題。這些技術主要是增加水中鈣及氫碳酸鹽(HCO_3^-)的含量，以及提高 pH 來預防腐蝕，或是添加磷酸鹽或矽酸鹽等。

因此，最佳水質條件的關鍵概念是保持碳酸鈣的平衡和配合碳酸鈣濃度的 pH 值與鹼度，以能避免水垢發生，同時也可減低水與管材的反應作用。要保持碳酸鈣的平衡，飽和指數 SI 必須在 -0.2 與 0.3 範圍內 ($-0.2 < \text{SI} < 0.3$)，而不是鈣、鎂或硬度濃度的高低。但硬度高的水質要維持碳酸鈣的平衡，必伴隨 pH 值較低，有可能造成水中重金屬濃度較高的問題。本研究採樣分析大台北地區飲用水樣，分析其中重金屬含量、硬度濃度與 Na 離子濃度，以探討水質硬度與重金屬濃度之關係。

四、實驗材料與方法

本次飲用水採樣，係於 2007 年暑假期間，隨機採取台北市與台北縣的包裝飲用水、礦泉水及自來水樣品，共計 65 件水樣。分析的重金屬離子包括 Cd、Cr、Cu、Mn、Pb、Sn、Tl、As、Sr、Ba 及 Li 等項，以高解析度感應耦合電漿儀原子發射光譜 (High-resolution inductively coupled plasma, ICP-AES, Jobin Yvon, JY24) 分析之，所有的標準溶液均係由 1 mg/mL 單元素標準液 (SPEX plasma standards, Edison, NJ, USA)，以 0.14 mol/L 之 HNO_3 （將 14 mol/L 的 HNO_3 用 Millipore Milli-Q 水稀釋成）稀釋製備之^[14]，所有儲存溶液之容器則以酸清洗液徹底清



洗之。飲用水之硬度則以 EDTA 滴定法(NIEA W208.51A)分析之。

五、結果與討論

圖 2 所示為飲用水樣中，11 種重金屬總濃度分析結果與水中硬度之關係。橫座標以鈣與鎂之濃度和($\log(\text{mM})$)表示之，橫座標上的刻度「0」表示硬度為 100 mg/L (as CaCO_3)，刻度「1」則表示硬度為 1000 mg/L (as CaCO_3)，刻度「-1」則表示硬度為 10 mg/L (as CaCO_3)；縱座標則為 11 種重金屬之總濃度，以($\log(\mu\text{M})$)表示之。

在硬度為 1 mg/L (as CaCO_3)以上時，水中 11 種重金屬總濃度與硬度數值大約是呈正比例關係，因圖 2 為雙對數座標，正比例關係之數據點大約各佔有 3.5 個級距，故在此範圍內，兩者確實約呈正比例相關性。再由圖 1 所呈現之 Ca-pH 平衡曲線得知，在水中硬度值較高時，平衡狀態時水的 pH 值較低，因而重金屬溶解度較高，導致水中 11 種重金屬總濃度的提高，而增加人體對這些重金屬的暴露量；相對地，若採水質軟化處理，水中硬度值的降低，也伴隨水的 pH 值上升，因而造成水中重金屬溶解度的降低，及減少消費者經由飲用水的重金屬暴露量。

圖 2 中，若硬度低於 1 mg/L (as CaCO_3)時，水中 11 種重金屬總濃度與硬度值之關係並不明顯，此可能係在此範圍內，除有兩件水樣外，水中 11 種重金屬濃度已低之故，若對照重金屬對 pH 之溶解度關係，前述之現象已多不適用。

通常水源的水質將決定什麼樣的軟化技術最合適。在自來水廠最常使用的軟化技術是添加石灰或蘇打灰法^[15]，或者採用奈米薄膜過濾程序^[16]，而以後者被選用的比率一

直在增加中，其主要好處是因為薄膜過濾能夠同時從水中去除多種不同的污染物質，有時軟化功能反而成為薄膜處理的附帶功能，故除了一些特例外，單獨使用薄膜過濾當做軟化程序並不多，因為此項處理技術需要很高的成本支出。自來水廠採用石灰軟化或奈米薄膜軟化程序時，水中重金屬濃度確實會隨硬度數值之減小而降低。

家戶所採用的軟水設備，絕大多數係用離子交換法，甚至有些國家的中、小型水廠也有採用離子交換軟化程序者，這會造成高鹽度廢液的處置問題，而置換出來的鈉離子，也會與添加蘇打來軟化水質一樣，會大幅提高水中鈉離子的濃度，如此一來，健康的顧慮必須被考量。

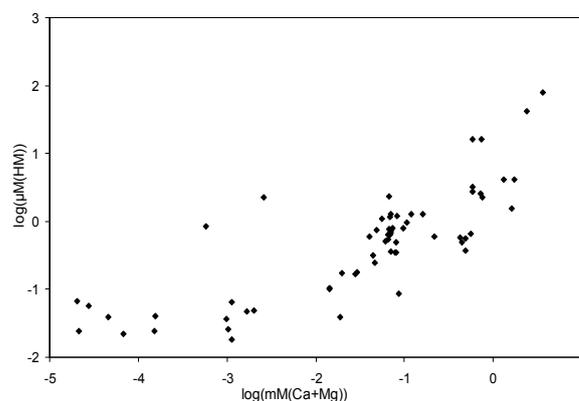


圖 2 飲用水樣中 11 種重金屬總濃度與水中硬度之關係

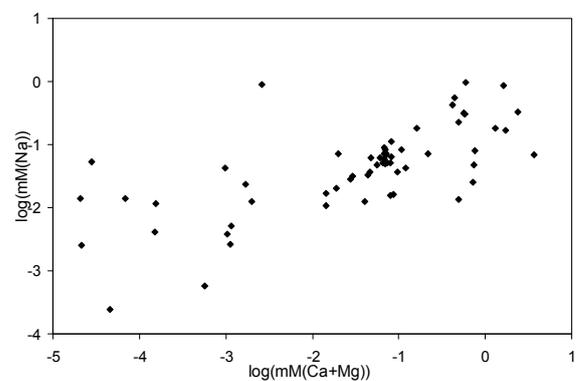


圖 3 飲用水樣中鈉離子濃度與水中硬度之關係

圖 3 所示為飲用水水樣中，鈉離子濃度與硬度值之間的關係，在硬度大於 1mg/L(as CaCO₃)之範圍，硬度數據點佔有對數座標 3.5 個級距，鈉離子濃度對數座標則約佔 2.2 個級距，表示其斜率關係低於 1，並非完全成正比。而在硬度低於 1mg/L(as CaCO₃)之範圍，亦出現有一水樣鈉離子濃度超過 23mg/L 之情況，其餘水樣則多低於 2.3mg/L，此與北部地區的消費者多使用奈米薄膜或逆滲透(reverse osmosis)方式去除水中硬度與微量污染物有關，現有市場所販賣的包裝飲用水亦多以活性碳過濾及 RO 逆滲透程序處理水質，造成鈉離子並未隨硬度之降低而增加的現象。

六、自來水是否有最佳之硬度範圍

以 WHO 及 GWRC 之兩份報告而言，似乎前者較肯定飲用水應有鈣與鎂最低健康基準值，以提升民眾健康及減低心血管疾病的發生率；而後者反而偏向水質軟化程序(softening)及調理程序(conditioning)以符合較低硬度標準的最佳水質規範^[13]。本研究所採取的飲用水水樣，也確實出現水質的軟化所伴隨重金屬濃度降低的好處，因而 GWRC 所聲稱的對公眾健康、環境及用戶適飲性的優點也應屬實。

然而 GWRC 會員國家中，對所謂最佳硬度範圍或最佳水質條件，以及處理硬水所採用軟化的方法，仍有相當大的差異。在澳洲和南非，大部份的飲用水來自相對較軟的表面軟水，所以，除了一些內陸的小社區和澳洲伯斯(Perth)外，軟化並不是重要的議題。在法國、德國和荷蘭，較常使用中央軟化系統，採用顆粒軟化程序(pellet softening)或奈

米過濾程序(nanofiltration)處理，約佔全部飲用水量的 50%^[17]。其他國家像是瑞士和英國，即使水源的硬度很高，也極少使用軟化程序。

美國的水中硬度，根據不同地區和不同水源而有所不同，雖然美國環保署並沒有規範飲用水中的硬度，但有些高硬度水地區的水事業單位，仍選擇將軟化程序納入他們的自來水淨水場，來提供民眾可以接受硬度的用水。目前，全美國已經超過 1000 座自來水淨水場，在其處理程序中使用軟化單元，估計等同於將近 13%的全國飲用水^[13]。

水質軟化要特別注意是否會造成腐蝕管材的問題，因此常要透過水質調理技術來加以控制，例如可以增加水中鈣及氫碳酸鹽的含量，以及提高 pH 來預防腐蝕，或添加磷酸鹽和矽酸鹽以防腐蝕。因此，如前所述，最佳水質條件的關鍵概念是保持碳酸鈣的平衡和足夠高的 pH 值與鹼度，例如荷蘭的最佳水質條件包括三項：(1)碳酸鈣的平衡，要避免水垢發生及石棉水泥管的腐蝕， $-0.2 < SI < 0.3$ ；(2) pH 範圍，為保持鉛、銅、鋅等重金屬的低溶解度，pH 控制在 7.8 以上；為避免鍍在黃銅上的鋅溶解，pH 要控制在 8.3 以下， $7.8 < pH < 8.3$ ；(3)鹼度，為在管材表面形成碳酸鈣保護層，水質應維持總無機碳(TIC)應大於 1.0mmol/L。

荷蘭的這三項條件，造成最佳水質條件的範圍較窄，硬度範圍也會限制在 50~120 mg/L (as CaCO₃)的範圍內。但應注意的是荷蘭並沒有大型的加氯消毒系統，因此可以將 pH 控制在 7.8~8.3 內，但目前仍有許多國家的供水系統採用加氯消毒，因此將水調整到足夠高 pH 值的可能性被限制，因為消毒副

產物可能會形成，在此情況下，減少消毒副產物的形成，自然成爲更優先的考量，故美國等國家並沒有硬度範圍的限值。

德國則考量爲避免氯鹽、硝酸鹽和硫酸鹽對延性鑄鐵管(DIP)或鋼管(SP)所造成的腐蝕影響，所提出的另一項水質指標亦值得參考：

$$\frac{[Cl^-] + [NO_3^-] + 2[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]} < 1$$

但對自來水質而言，此項指數很少會超過 1，也與硬度大小無直接關連。

七、結論與建議

水的硬度與心血管疾病之關係，應繼續設計更完整的研究，包括心血管疾病死亡原因的歸類及特別注意社會經濟水準因子，以及個人風險因子，以獲得更具科學證據之分析結果。在碳酸鈣達平衡狀況下，硬水的 pH 值較低，導致水中重金屬濃度的提高與增加消費者的重金屬暴露量。水質軟化可以降低重金屬的溶解量，但軟水也通常會造成管材的腐蝕，爲改善此狀況，可經水質調理技術以維持碳酸鈣的平衡(-0.2 < SI < 0.3)及足夠的鹼度(總無機碳 TIC > 1m mol/L)。至於是否要維持足夠高的 pH 範圍(7.8 < pH < 8.3)，則應視供水系統是否採用加氯消毒而定，若仍採用加氯消毒系統，則爲減少消毒副產物的形成，應以可接受的 pH 值範圍爲優先考量。在硬度高於 250~300 mg/L (asCaCO₃)以上之地區，爲防止家戶採用離子交換方法去降低硬度而導致飲用水鈉離子過高的問題，採用中央軟化系統和調理系統，在成本以及社會效益上考量是比較值得的。

參考文獻

1. 洪玉珠，「高雄地區自來水配水系統影響適飲性物質的調查及改善對策之探討(1/2)」，行政院環境保護署研究計畫(EPA-87-E3J1-09-03)，台北(1998)。
2. 洪玉珠，「高雄地區自來水配水系統影響適飲性物質的調查及改善對策之探討(2/2)」，行政院環境保護署研究計畫(EPA-88-U3J1-03-012)，台北(1998)。
3. 陳重男、黃志彬，「高雄地區自來水淨水場中影響適飲性物質的調查及改善對策之評估(1/2)」，行政院環境保護署研究報告，新竹(1998)。
4. 陳重男、黃志彬，「高雄地區自來水淨水場中影響適飲性物質的調查及改善對策之評估(2/2)」，行政院環境保護署研究報告，新竹(1999)。
5. 樓基中，「澄清湖高級處理模型廠出水適飲滿意度調查」，台灣省自來水股份有限公司委託研究計畫(91 MOEATWC 206)，高雄(2002)。
6. 陳秋楊、翟雲楓、史午康、劉廷政，「飲用水水質標準適飲性項目之探討」，第十六屆自來水研究發表會論文集，105-110，台中(1999)。
7. 蔣本基、張怡怡，「飲用水水質標準中生物性及適飲性標準管制項目及標準之評估」，行政院環境保護署研究報告，台北(2003)。
8. 駱尙廉、何承嶧，「飲用水中總溶解固體量與總硬度含量水質標準之檢討研究」；中華民國自來水協會，台北(2004)。
9. World Health Organization, Nutrients in Drinking Water, WHO Press, Geneva, Switzerland, 2005.
10. Sinclair, M. and Schlosser, O., "Water softening: epidemiological evidence on calcium and magnesium in drinking water and cardiovascular disease", Water 21, Feb. 2007:

- 18-19., 2007.
11. Rosenlund, M. and Berglind, N., "Daily intake of magnesium and calcium from drinking water in relation to myocardial infaration", *Epidemiology*, 16(4): 570-576, 2005.
 12. Mons, M., van Dijk, H., Gatel, D., Hesse, S., Hofman, J. and Nguyen, M-L., *Drinking water hardness: review of reasons and criteria for softening and conditioning of drinking water*, Global Water Research Coalition, 2007.
 13. Mons M., van Dijk H., Gatel D., Hesse S., and Nguyen, M-L., "Softening, conditioning and the optimal composition of drinking water", *Water* 21, Feb. 2007: 19-21, 2007.
 14. Rodushkin, I. and Thomas, R., "Determination of Traced Metals in Estuarine and Sea-water Reference Materials by High Resoulution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry", *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 12: 1181-1185, 1997.
 15. Graveland, A., van Dijk, J., de Moel, P. and Oomen, J., "Developments in water softening by means of pellet reactions", *AWWA Journal*, 75(12): 619-625, 1983.
 16. Nederlof, M., Regerschot, F., van Schaik, F. and Rietman, B., "Implementation of nanofiltration on ground water at the Overijssel water supply company", *Proceedings of the AWWA Membrane Technology Conference*, San Antonio, Texas, 2001 (CD-ROM).
 17. Hofman, J., van der Hoek, P., Nederlof, M. and Groenendijk, M., "Twenty years of experience with centralised softening in the Netherlands: Water Quality, Environmental Benefits, and Costs", *Water* 21, Feb. 2007: 21-24, 2007.

作者簡介

駱尚廉先生

現職：國立台灣大學環境工程學研究所特聘教授

專長：水及廢水(污泥)物化處理、微波誘發資材化技術、環境奈米材質光觸媒反應、重金屬污泥回收處理、土壤與地下水污染、環境資訊分析系統

翁士奇先生

現職：國立台灣大學環境工程學研究所研究助理

專長：水及廢水物化處理、環境奈米材質光觸媒反應

建置自來水淨水場最佳化操作管理策略

文/蔣本基、張怡怡、張育誠

一、前言

鑑於台灣地區水源污染惡化日趨嚴重，新水源開發亦遇瓶頸、水量及服務品質等要求日益提升，因此須加強淨水場之處理能力，提供民眾質優且量穩定的供水，另一方面，由於自來水處理成本逐年提高，除藉由低化學混凝加藥量並減少化學污泥產量，增加過濾池濾程且水頭損失降低，提升消毒效率且使消毒副產物生成量降低，並提升整體系統能源使用效率，達成降低成本及節能減碳之目的，達到淨水場之操作最佳化。

藉由落實 PDCA 精神中之規劃、執行、檢查矯正與審查制度，持續改善以提升自來水事業之環保及競爭力、提升淨水場操作效

能，及確保淨水場提供符合飲用水標準之安全用水。

本文旨在建立淨水場最佳化操作策略包括建立績效指標評量 (benchmarking system)，單元操作技術手冊、反應曲面模式 (Response Surface Model)、生命週期評估 (Life Cycle Assessment) 及能源評估等制度，藉以提升淨水場之操作效能。

二、建置淨水場最佳化操作策略

最佳化操作策略包含訂定最佳化操作目標、建置單元操作技術手冊，分別在工程技術、環境影響及能源面進行評估，並且進行成本效益分析，期望達到最佳化操作之目標。淨水場最佳化操作策略依據 ISO-14001 PDCA 原則建議執行流程如圖 1 所示。

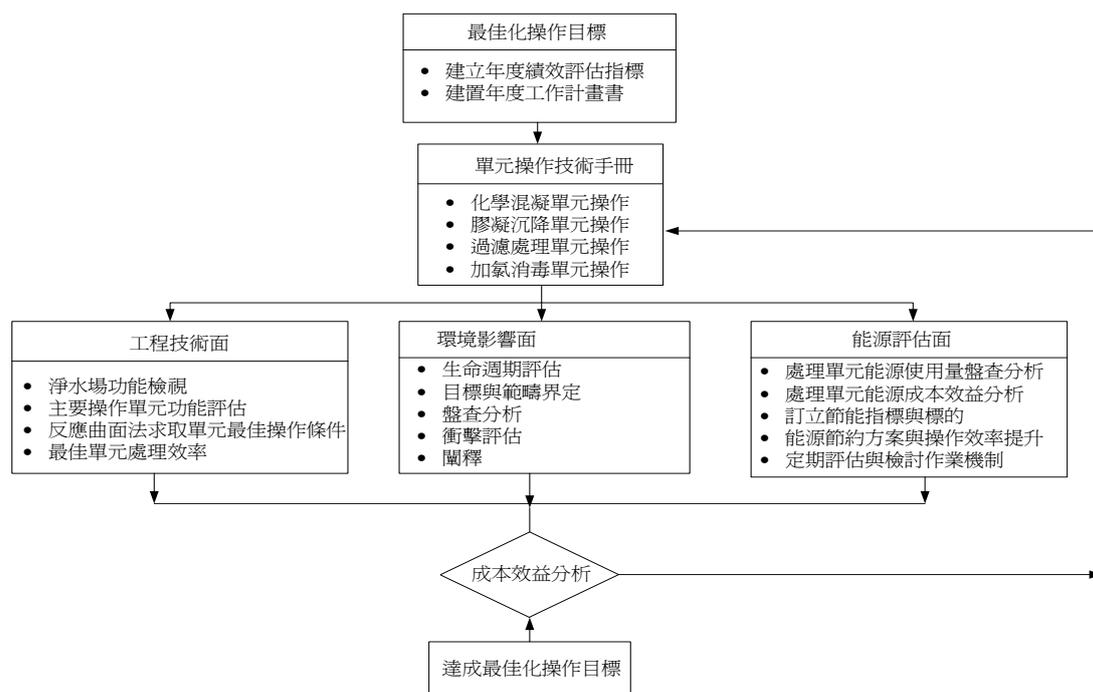


圖 1 淨水場最佳化操作策略執行流程

P：工作規劃（Plan）－包含規劃最佳化操作目標及建置單元操作技術手冊。

D：實施與運作（Do）－包含工程技術面、環境影響面及能源三個層面的評估。

C：檢查與校正措施（Check）－針對淨水場工程技術面、環境影響面及能源評估面進行成本效益分析。

A：管理階層審查（Action）－包括淨水場最佳化操作改善建議之查核、改善建議收錄於單元操作技術手冊，以達成最佳化操作目標。

績效指標是指衡量管理工作成效最重要的指標，簡稱為『KPI（Key Performance Indicators），是一項數據化管理的工具，必須具備客觀、可衡量的特性。可將公司、員工、事務在某時期表現量化與質化的指標。可協助組織優化、並規劃其願景。

淨水場藉此能提升自身在市場中競爭能力和自我定位之審慎評估，了解如何改善缺失並維持其優勢，能促使公司或組織進行最為經濟有效的改善投資組合，提供決策者完整的整體評估，使其了解事前鑑別的重大考量面及對應管理系統之成效，才能檢討管理方式之良莠，進而選擇改善效益最高者，促使資金的合理分配；淨水場績效評估項目分成管理、操作、維護、水質四類：

(一)管理層面

- 1.年度工作計畫達成率(20%)
- 2.清水水質合格率(20%)
- 3.月處理成本(20%)
- 4.處理水量(10%)
- 5.建立環境管理系統(5%)
 - 自主管理(2%)
 - 量化績效指標，成果檢討(1%)

- 資訊化管理(1%)
- 各階層人員責任界定(1%)

6.人事管理(10%)

- 人力（人數、組織架構、職責分工）(2%)
- 人員訓練（訓練計畫、訓練登錄、取得資格）(4%)
- 溝通協調與合作（員工）(2%)
- 生產力(2%)

7.財務管理(5%)

- 成本分析建置（能源成本（總電費）、處理藥劑成本、維修成本、檢測費用、污泥處置費用、事務費用、折舊費用）(5%)

8.工安衛生管理(5%)

- 工安緊急應變計畫與演練（包括緊急應變計畫書，至少應含原水高濁度應變、氯氣外洩、原水水質惡化、缺水、火災、停電，後續加入預防恐怖攻擊）(3%)
- 工安檢驗與改善(2%)

9.水源水質管理(5%)

- 污染源清查資料庫建置(1%)
- 污染源巡察與舉發(2%)
- 水質監測管理體系之建立(1%)
- 水源保護區加強防預措施(1%)

(二)操作類別

- 1.單元出水水質目標達成率(15%)
- 2.總去除率(10%)
- 3.各單元處理平均達成率(10%)
- 4.單位污泥產生量(g/m³)(10%)
- 5.混凝劑加藥(5%)
- 6.消毒劑加藥(5%)
- 7.操作用電(淨水用電)(10%)

8.操作管理(5%)

- 操作工作計畫與執行 (2%)
- 操作人員專業知識與認知 (2%)
- 任務交接與追蹤 (1%)

9.實務性操作手冊建置(10%)

- 標準作業程序建置 (4%)
- 資訊化管理 (4%)
- 問題與對策 (2%)

10.建立淨水場各單元操作參數(10%)

- 單元操作參數建置 (4%)
- 單元處理功能評估 (4%)
- 操作最佳化 (2%)

11.異常應變操作(5%)

- 研擬單元進流水限值，作為水質異常通報之依據 (2%)
- 應變操作手冊：(3%)

12.污泥系統功能評估(5%)

- 生產過程之減廢量(污泥產量、廢水排放量) (2%)
- 依各單元之進出流水質，進行各單元污泥產生量之質量平衡，以確定污泥廢棄量之正確性 (3%)

(三)維護工作

1.機械與儀控設備使用狀況(20%)

2.儀表校正達成率(20%)

3.防範措施與緊急維修達成率(20%)

4.廠區環境維護(綠化美化)(5%)

5.標準維護作業手冊建置(10%)

- 年度維護計畫書(一般、定期保養、日常點檢維護、歲修及改善) (3%)
- 標準維護作業手冊之建置 (實用化、本土化) (3%)
- 紀錄 (簽署、審核、追蹤) (4%)

6.防範措施(5%)

- 維護計畫執行現況 (1%)

- 標準作業程序 (2%)

- 零件備用及貯存 (1%)

- 停用/配用設備維護保養 (1%)

7.緊急應變(5%)

- 突發事件及處理計畫 (2%)

- 技術指南 (2%)

- 危急零件獲取 (1%)

8.場區綠美化與景觀規劃(5%)

- 場區綠美化 (2%)

- 廠區景觀規劃 (2%)

- 生態化淨水場 (1%)

9.維護記錄電腦資訊化管理(5%)

- 污染源清查資料庫建置(1%)

- 污染源巡察與舉發(2%)

- 水質監測管理體系之建立(1%)

- 水源保護區加強防預措施(1%)

10.維護成本效益分析(5%)

- 修護、綠美化景觀維護、油漆防蝕、零件備品、儀錶校正、消耗性器材及設備功能改善等成本統計分析 (3%)

- 合理成本建置 (2%)

(四)水質檢驗項目

1.單元水質檢測達成率(30%)

2.品保/品管目標達成率(30%)

(填寫管制範圍/目標)

3.檢驗管理(10%)

- 工作計畫執行(2%)

- 檢驗人員專業知識與認知(2%)

- 管理手冊之完整性(2%)

- 相關法規及查驗(2%)

- 自行檢驗頻率(1%)

- 水質採樣規劃(1%)

4.監測執行(5%)

- 採樣頻率(2%)
- 水質檢項完整性(1%)
- 水質監測及處理程序功能分析(2%)

5. 樣品檢測及數據記錄追蹤(10%)

- 通報制度(4%)
- 樣品檢測與驗算(2%)
- 檢測報告製作、審核及保存作業(3%)

6. 數據品質(10%)

- 準確(3%)
- 精密(3%)
- 可追溯(2%)
- 檢驗數據品質(2%)

7. 儀器、藥品及設備管理(5%)

- 實驗室安全衛生(1%)
- 實驗室藥品管理(1%)
- 淨水用藥品質符合規定(1%)
- 主要設備儀器校正、使用、維修及其記錄(2%)

三、建立單元操作技術手冊

為建立單元最佳化單元處理技術手冊，其主要內容包括各單元之原理機制、目的、方法及最佳化評估原則；茲將傳統淨水場中之混凝、沉澱、過濾及加氯等單元處理位達最佳化處理建置操作技術手冊之重點內容摘示如表 1。

四、工程技術：反應曲面法(RSM)

建置最佳化操作評估方法，在工程技術面係以反應曲面法求取單元最佳操作條件，經由實驗設計方法找出最佳操作條件，進行步驟如下：

(一)決定實驗項目特性

決定實驗項目的特性，如混凝操作特性最重要為：濁度去除率及成本。

(二)決定影響因子

影響實驗項目的因子，例如影響濁度因子為：加藥濃度、藥劑種類(明礬、鐵鹽、石灰等)、pH 值、溫度，影響成本因子為：加藥量、時間、電力…等。

(三)進行實驗

依據參與實驗的因子進行各種交互實驗。實驗次數為無重覆性質至少需要 $2n$ 次實驗(n =因子種類數)，但由於實驗具有若干之不確定性，因此有時需進行重複實驗。

(四)模型建構

說明：利用上述實驗數據進行統計迴歸，建構一個影響因子間的行為模式。

1.估計因子效應

估計因子效應和檢查其符號及大小，此關係了何項因子和交互作用可能是具重要性及該因子應該朝何方向調整，以改善反應的初步資訊給實驗人員。

2.形成初步模型

在形成實驗的初步模型步驟中，通常使用完整模型；亦即包括了所有的主效果如交互作用。

3.進行統計檢定

使用變異數分析法正式地檢定主效應和交互作用的顯著性；亦即用以檢定三個或三個以上母體平均數，是否有顯著性差異的方法。

4.精練模型

由變異數分析表數據結果，刪除不顯著的變數因子。

(五)模型分析

透過變異數分析，可得其因素的影響強度(比重)、正反比關係。進一步使用效果分析算出迴歸模型。

表 1 處理單元原理、機制及操作參數評估列表

單元	項目	說明
混凝	原理	混凝指破壞膠體粒子之穩定性，使膠體粒子之間碰撞接觸而凝聚。
	機制	電雙層壓縮、吸附及電性中和、沉澱物絆除及吸附架橋作用等。
	目的	為減少混凝劑的花費及污泥產量，利用瓶杯試驗訂定最佳混凝劑加藥量。
	方法	在不同加藥量下，建立加藥量與濁度去除率之關係
	最佳化評估原則	傳統上利用瓶杯試驗求取加藥量與濁度去除率之關係，但實驗次數受制於操作人員經驗，而實驗設計可大幅減少實驗次數，並由反應曲面法找出特定狀況下的最佳加藥量。
沉澱	原理	係比重較水為大之固體物，如砂、泥土等藉由重力自然下沉或膠體顆粒藉添加混凝劑，使膠體顆粒凝集，增加比重而被去除。
	機制	沉澱由懸浮固體物之濃度及顆粒凝聚性分為四種形式，分別為單顆粒沉降、膠凝沉降、阻滯沉澱及壓縮沉澱。
	目的	評估淨水場膠凝沉降單元之濁度去除率。
	方法	利用沉降筒試驗建立等去除率曲線圖，依淨水場沉降單元內控值找出期望濁度去除率，由等去除率曲線圖訂定膠凝沉降池溢流率。
	最佳化評估原則	可利用第二型沉降筒試驗，求取達成目標濁度去除率之沉降單元最佳溢流率
過濾	原理	篩除在剛開始時只能去除大顆粒，經一段時間後大顆粒間形成之孔隙可除去小顆粒，沉澱則是因為較重之顆粒無法隨流線改變方向，因慣性力而與砂粒碰撞而被去除，截留為大且輕之顆粒與濾料間非質心碰撞而被去除之，擴散為小顆粒作隨機之布朗運動，與濾料撞擊後被去除，上述前三者對大顆粒之去除效果較佳，但擴散則是對於小顆粒有效，致使在 $1\mu\text{m}$ 左右之顆粒無法有效去除。
	機制	篩除、截留、沉澱、擴散。
	目的	為了解淨水場操作的快濾池是否為最佳化狀態，因此有必要導入各種科學方法加以評估。
	方法	建立快濾池設備基本資料，包括濾池整修、濾料更換、濾料厚度量測、反洗目視檢視狀況(每次反洗)與追蹤改善、每濾程之濁度變化、反洗水濁度歷線、濾料膨脹試驗與膠羽貯留分析。
	最佳化評估原則	從快濾池功能評估，了解目前濾池操作狀態，最佳化原則為求取濾池濾程愈長，水頭損失愈小。
加氯消毒	原理	消毒為破壞致病性微生物之機能降低活性，以使其不能生長或死亡且不具致病力之作用。
	機制	細胞壁破壞、滲透性改變、蛋白質改變、抑制酶之作用
	目的	為評估淨水場之消毒單元處理效率
	方法	量測消毒池餘氯濃度、臭氧濃度、pH 值、水溫及接觸時間，以計算 CT 值，並量測生物指標總菌落數與大腸桿菌群，了解對數去活性係數。
	最佳化評估原則	C.T 值、消毒副產物生成濃度、濁度及流體系統結構為影響消毒效率因子，最佳化原則為消毒效率愈高，消毒副產物濃度愈低。

(六)參數優化

使用 RSM(反應曲面法)進行最佳化分析，繪製出等高線圖以及其反應曲面圖，即可求出最佳區域。

(七)驗證結果

若驗證結果與預期吻合，可產生此一設計模式，否則回到步驟 3 調整因子反覆進行或調整目標限制式之權重(Importance)。

為了解加藥量、pH 值對於去除率之影響，由 A 淨水場 600 筆瓶杯實驗數據中，依

據場內分成『30NTU 以下』、『30~100NTU』以及『100NTU 以上』三種濁度狀態來分析其影響性。

1. 原水濁度 30NTU 以下實驗數據分析

(1) 模型建立與分析

由實驗數據中建立出迴歸模型為：

$$Y = -3.75 + 0.8A + 0.075B - 0.003AB - 0.044A^2$$

其中 Y 為去除率(%)、A 為 pH 值、B 為加藥量(ppm)。透過變異數分析得知此實驗因子模型具有顯著性，亦即因子 PAC、pH 對於去除率有明顯的效果。

(2) 最佳加藥量分析

我們希望在濁度 30NTU 以下環境下，求出最佳的加藥量，以產生較好的去除效果，由反曲面圖，如圖 1 所示。在濁度 30NTU 以下時，去除率最高 80%至 86%之間，且加藥量超過 40ppm 後，去除率反而會漸漸下降，pH 值維持在 7.5 附近是最佳值，由軟體估計出加藥在 39.68(ppm)、pH 為 7.66 有較佳的去除效果為 82.36%。

2. 原水濁度 30-100NTU 實驗數據分析

(1) 模型建立與分析

由實驗數據中建立出迴歸模型為：

$$Y = 4.4081 - 0.9898A + 0.007B + 0.003AB + 0.064A^2$$

透過變異數分析，此實驗因子模型具有顯著性，因子明礬對於去除率較 pH 值有明顯的效果，pH 值在中濁度下顯著性較小。

(2) 最佳加藥量分析

我們希望在濁度 30~100NTU 環境下求出最佳的加藥量，以產生較好的去除效果，由反曲面圖，如圖 2 所示。在濁度 30~100NTU 時，去除率最高 90%至 96%之間，且加藥量在 60ppm 至 85ppm 有最好的去除率，超過

85ppm 時便會逐漸下降，由軟體估計出加藥在 74.15(ppm)、pH 為 8.05 有較佳的去除率為 96.39%。

3. 原水濁度 100NTU 以上實驗數據分析

(1) 模型建立與分析

由實驗數據中建立出迴歸模型為：

$$Y = 1.661 - 0.233A + 0.003B + 0.0168A^2$$

透過變異數分析，此實驗因子模型具有顯著性，由於在濁度 100NTU 以上，因子明礬對於去除率較 pH 值有更明顯的效果，因此 pH 值在高濁度下顯著性較小。

(2) 最佳加藥量分析

我們希望在濁度 100NTU 以上，求出最佳的加藥量，以產生較好的去除效果，由反曲面圖，如圖 3 所示。在高濁度時，去除率最高 98%至 99%之間，且加藥量在 100ppm 至 180ppm 有最好的去除率，超過 180ppm 時便會逐漸下降，由軟體估計出加藥在 142.74(ppm)、pH 為 6.98 有較佳的去除效果為 99.97%。

五、環境影響—生命週期評估

為了使國內淨水場能達到操作效能最佳化，除必須提供足夠的水量及優良水質外，並在環境衝擊與財務衝擊之間達成平衡。生命週期評估法 (Life Cycle Assessment) 是由國際標準組織(International Organisation for Standardisation) 所建立的方法，其收錄在 ISO-14000 標準，為企業界首先採用為評估或改善其產品、製造或活動對環境產生之衝擊工具與方法。未來可針對淨水場處理單元進行環境與能源衝擊評估，進而在最佳化操作及環境污染負荷及能源消耗達到平衡。

(一) 生命週期評估

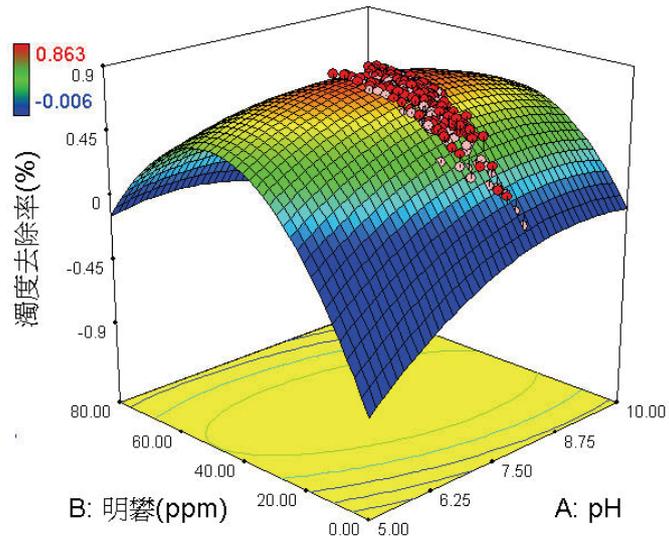


圖 1 低濁度 30NTU 反應曲面圖

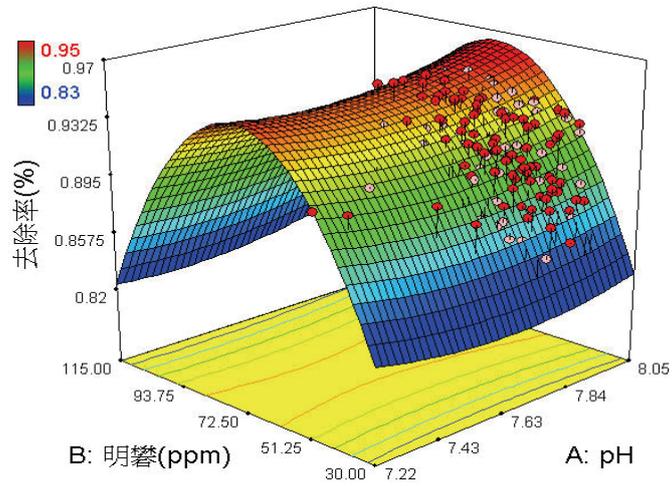


圖 2 中濁度 30-100NTU 反應曲面圖

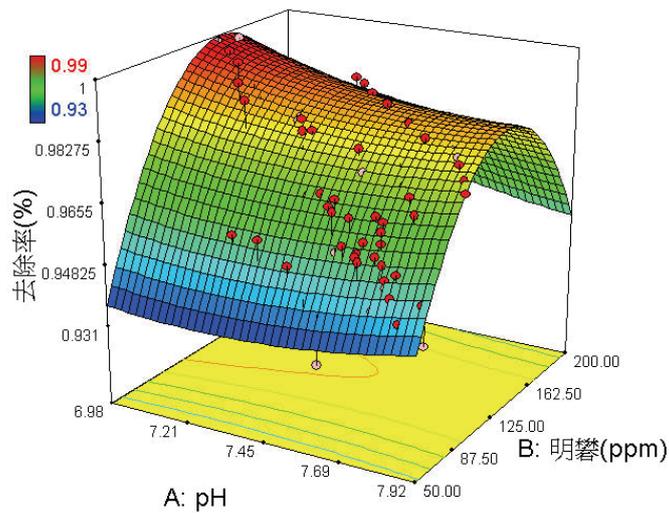


圖 3 高濁度 100NTU 以上反應曲面圖

1. 目標與範疇界定 (Goal and Scope Definition)

- 目標：由淨水場的操作程序，發展生命週期評估法 (LCA) 運用於系統的最佳化及考量環保及經濟的目標，提出一個可減少環境衝擊的替代操作方案。
- 範疇：淨水場各處理單元輸入端所需之能源物料和輸出端之污染排放。
- 時間範疇:2008 年。
- 功能單元(Functional unit):本研究以每噸自來水為基本功能單位。

2. 生命週期盤查分析 (Inventory Analysis)

- 盤查數據與相關操作資訊皆來自淨水場之月報告及操作人員。
- 盤查分析依照各項處理單元劃分，分別為快混池單元、膠沉池單元、快濾池單元及消毒池單元。

3. 生命週期衝擊評估 (Impact assessment)

- 使用 Simapro(V7.1)軟體及 Eco Indicator 99 方法以評估單元處理程序之環境衝擊程度，並提供一個分數(Eco-points)來量化環境衝擊，分數愈高，環境衝擊愈大。

4. 生命週期闡釋 (Interpretation)

- 主要為合併盤查分析與衝擊評估結果，以達成結論與建議的型式提供給淨水場決策者，以做為單元處理程序最佳化之參考。

(二) 評估結果

本個案盤查清單資料庫依照軟體內建資料庫，整理 A 淨水場環境盤查清單，如表 2 所示。

表 2 所列環境盤查清單資料，輸入軟體 Simapro(V7.1)經計算其環境衝擊量，如表 3 所示。以現有資料顯示，A 淨水場每生產 1

噸自來水會產生 0.21×10^3 Eco-points 的環境衝擊量。

環境衝擊量最大的處理程序為膠沉單元。能源消耗方面，每生產 1 噸自來水，膠沉池單元需消耗 0.009 度，快濾池單元需消耗 0.0005 度，而環境衝擊量分別佔 91% 及 5%。從上述結果可以指出，每生產 1 噸自來水所造成的環境衝擊，大部份來自處理單元的設備能源使用。

表 2 淨水場環境盤查清單

淨水場操作變數		
分水井	日平均水量(CMD)	527,725
	單元設備能源消耗(kWh/m ³)	0.0004
膠羽沉澱池 (Sedimentation)	污泥產生量(kg/m ³)	0.033
	單元設備能源消耗(Kwh/m ³)	0.009
快濾池 (Rapid Sand Filtration)	污泥產生量(kg/m ³)	0.0038
	單元設備能源消耗(Kwh/m ³)	0.0005

表 3 處理單元環境衝擊

處理單元	環境衝擊量(mPt)	衝擊百分比
分水井	0.00873	4%
膠沉池	0.192	91%
快濾池	0.0106	5%
總和(mPt)	0.21133	

六、能源評估

為達到最佳化操作之能源評估面，首先宜進行處理單元能源使用盤查分析；一般能源調查評估方法分為三種程度－簡易調查、現場訪查及詳盡調查。

(一) 簡易調查方法

主要包含帳單資料的分析，了解場內目前電力使用量及尖峰用電量。以單位電量（如：kWh/m³）來計算淨水場中處理設備所

消耗的能源。

(二)現場訪查

- 1.開會決定節能法則。
- 2.組成團隊。
- 3.蒐集淨水場設施的資料。
- 4.實施現地調查。
- 5.儀器盤查和需求與能源的分佈情況。

(三)詳盡調查:生命週期成本評估

- 1.生命週期成本評估 (LCC): 精確評估材料、能源成本及維護成本。
- 2.操作最佳化
 - (1)振動分析: 可提升馬達轉輪之效能。
 - (2)潤滑油分析: 可檢視馬達軸承之狀況。
- 3.最佳效率點: 為使馬達效益達最佳化, 其運作應盡可接近其最佳效率點。

- (1)根據系統水頭曲線檢視抽水機效能曲線: 計算現存設備整體處理效能, 並且考量抽水機和馬達兩者的累積效率。
- (2)使用變頻機動器或變速機動器: 變速機動器可因抽水量大小, 調整抽水機轉速; 變頻機動器可依系統需求, 透過抽水機控制裝置, 以電子裝置改變馬達頻率。

以整體系統而言, 改善馬達效能, 降低能源使用量, 可以評估最佳化操作後, 所造成的環境衝擊量。

經由實施能源使用管理與節約措施, 假設電力調整幅度 90%、80%及 70%。環境衝擊如表 4 所示。

目前 A 淨水場部份處理單元, 尚未設置個別電表, 因而未能取得部份處理單元能源盤查資料, 僅能使用目前已建立之能源盤查清單, 進行環境衝擊評估。所以評估結果僅代表分水井、膠沉池及快濾池單元對環境之衝擊。

4.A 淨水場節能措施及效益分析

(1)停用冰水主機式冷氣設備

因冰水主機啓動時能源消耗大且供應整棟辦公大樓空間空調, 而上班時間只有主辦公室空間有人員活動, 故在上班時間在主辦公室, 採用水冷式冷氣機, 若舉行大型會議或活動則採用冰水主機式設備, 每年可節省約 64,800 度, 佔全場耗電量 4%。

表 4 調整淨水場能源使用對環境衝擊之影響

調整能源使用量	分水井	膠沉池	快濾池	環境衝擊(mPt)
0%	0.009	0.192	0.011	0.211
90%	0.008	0.173	0.010	0.190
80%	0.007	0.153	0.009	0.168
70%	0.006	0.134	0.007	

(2)快濾池反沖洗時間週期調整

A 淨水場設計處理水量為 800,000CMD, 97 年平均處理水量 527,725CMD 為節省電費, 利用夜間離峰時段實施濾床反沖洗操作, 濾池反沖洗控制以固定濾程 24 小時, 經延長濾程為 36 小時, 出流濁度仍能維持在內控值以下。節省電量如表 5 所示。

表 5 調整反沖洗時間週期所節省電量

處理水量(104CMD)	操作濾池池數	預估年節省電量(度)
70~80	24	略
60~70	22	26900
50~60	20	53800
40~50	18	80700

(3)馬達動力系統改善

參照 PDCA(Plan、DO、Check and Action) 之方法步驟執行馬達系統評估。

a.工作規劃 (Plan)

學者專家評估馬達系統效能提升: 請工

研院馬達動力節能小組協助輔導。
研擬馬達提升效能策略。

b. 實施與運作 (DO)

執行馬達效能改善措施。

c. 檢查與校正措施 (Check)

檢查馬達節能績效及節省維修成本目標。

d. 管理階層審查 (Action)

馬達系統效能改善建議之查核及後續追蹤考核。

七、結論

(一) 規劃最佳化操作目標，包括建置年度工作計畫書及年度績效評估指標，其目的為定出績效指標，即分管理、操作、維護及水質四組，進行統計分析水質、操作參數及成本之間的關係，並提出成功經驗與改善策略。

(二) 建置單元操作技術手冊

1. 混凝單元：利用瓶杯試驗，在不同加藥量下，建立加藥量與濁度去除率之關係，訂立最佳加藥量。
2. 沉降單元：利用第二型沉降試驗，建立濁度去除率與溢流率關係。
3. 過濾單元：建立快濾池設備基本資料，使用濾池評估手冊，評估濾池狀況。
4. 加氯消毒：建立加氯消毒試驗手冊及折點加氯方法，並介紹各消毒副產物生成模式，做為加氯量依據。

(三) 最佳化操作工程技術面：進行綜合性效能評估 (CPE)，進行淨水場功能檢視，並對主要操作單元進行功能評估，利用單元技術手冊建置各單元操作參數，並結合反應曲面法 (RSM) 找出最佳操作條件，達到單元最佳處理效率。

(四) 最佳化操作環境影響面：本研究針對淨水場處理單元進行環境衝擊評估，進而在環境污染負荷與最佳化操作達成平衡，並提供建議給決策者做為參考。

(五) 最佳化操作能源評估面

1. 成立節能小組，進行能源調查，決定節能法則，對淨水場主要能源消耗—馬達系統，進行效能提升，建置變頻機動器，替換效能馬達，以達節能目的。
2. 訂立節能指標，以展示淨水場能源使用效率，並訂立節能標的，定期檢討評估節能成效，持續修正節能策略。

(六) 最佳化操作之成本效益分析，即為從各層面求出最優化的參作參數中，由成本效益分析法來分析效益程度，進而提供給決策者參考來決定其合適的組

八、致謝

感謝水利署經費補助本研究之進行。

參考文獻

1. 經濟部水利署 (2008), 自來水淨水場操作管理評鑑及輔導計畫。
2. 經濟部水利署 (2008), 自來水淨水場最佳化操作之研究。

作者簡介

蔣本基先生

現職：台灣大學環境工程研究所教授

專長：理化處理、環境管理

張怡怡女士

現職：台北醫學大學醫學系生化學科教授

專長：環境分析化學、水處理技術、水質管理

張育誠先生

現職：台灣大學環工所碩士生

專長：薄膜處理技術

水質檢驗品質管理

文/楊昭端

摘要

台灣自來水公司（以下簡稱本公司）總管理處水質環保處（以下簡稱本處）改變以往「後勤支援」之角色，主動協助 97 年西部 8 處檢驗室認證展延，提出各項輔導方案。遺憾仍有區處項目或系統未通過，除應檢討自身系統疏漏外，人員溝通出狀況、不同評鑑專家之見解產生不同結果，亦令人倍感無力。因而評估是否將檢驗品質收回總處自行管理，集合各區處精英，籌組專案小組，定期辦理現場評鑑，不再參與環保署之認證體系。然經多方考量分析結果，仍以不變更現有狀況，由總處與區處齊心合力維持證照，為目前最佳作法。

一、前言

水公司檢驗室認證推行至今，各區處之檢驗能力、數據品質已有一定之水準，然主管機關環檢所為防民間檢測業作假，規定愈趨嚴苛細微，各區處檢驗室為了「硬」套入其管理方式，幾乎把認證之規定視為第一要務，水質管控工作之執行視為次之，若環檢所之規定與公司政策或權益相衝突，究竟該戮力配合主管機關，或是維護公司權益，更是難以抉擇。

為確保本公司供水水質合格，檢驗室之檢驗數據是否正確相對重要。本公司各區處檢驗室自 84 年陸續取得環保署環境檢驗測定機構許可證後，平安經歷 2 次展延。95 年東部三區處檢驗室適逢環檢所為提升業管認證

實驗室數據品質，從嚴審查展延許可，加上新簽署人之考驗，展延過程備極辛苦，3 處檢驗室有 1 處失敗，重新提出後再獲許可。

承蒙環檢所十數年來之指導與鞭策，水公司檢驗室得以維持良好之數據品質。本年度二、三、四、五、六、七、十一、十二區處檢驗室面臨證照展延，再次由專家至現場做術科及系統評鑑，巨細靡遺的查驗並給予建議過後，如能於此時改由本公司總管理處接掌檢測品質控管可能為較佳時機。惟仍須權衡接管後之優勢與劣勢，考量是否值得一搏。

二、檢驗室認證歷程簡述

民國八十二年元月，水質研究中心（水質處前身）配合環保署輔導計畫，全力推行各區處檢驗室之品保品管制度。經兩年之人力調整、訓練、設備採買整建。各區處檢驗室終於八十四年取得環境檢驗測定機構設置許可證時的十二項，歷經兩次展延，取得飲用水及水質水量兩類三十項認證，使水質檢驗之品質、可信度與正確性均獲大幅提升。各區處檢驗室取得許可方法如表 1。

在厚積人力素質方面，各區處檢驗室人員學歷，經幾次人員招考後已有顯著提升如表 1 所示。

檢驗室人員年齡，原已日趨老化，惟近年來由於新血之加入，30-39 歲人力仍保有一定之比率，如表 2 所示。

表 1 各區檢驗室取得環境檢驗測定機構許可方法

	方法名稱	取得許可區處
1.	飲用水水質採樣方法－自來水系統(NIEAW101.54A)	1.2.3.4.6.7.8.9.10.11.12
2.	事業放流水採樣方法(NIEAW109.50C)	2.3.4.6.7.12
3.	水中色度檢測法－鉑鈷視覺比色法(NIEAW201.52B)	1.2.3.4.6.7.8.9.10.11.12
4.	水中總菌落數檢測方法－混合稀釋法(NIEAE204.53B)	1.3.4..6.8.9.10.12
5.	飲用水中大腸桿菌群檢測方法－濾膜法(NIEAE230.52B)	1.2.3.4.6.8.9.10.12
6.	水中硫酸鹽檢測方法－濁度法(NIEAW430.51C)	10.11.
7.	水中餘氯檢測方法－分光光度計法(NIEAW408.51A)	1.2.3.4.6.7.8.9.10.11.12
8.	水中陰離子檢測方法－離子層析法(NIEAW415.52B)	1.2.4.6.7.9.11.12
9.	水中亞硝酸鹽氮檢測方法－分光光度計法(NIEAW418.51C)	2.3.4.6.8.10
10.	水中硝酸鹽氮檢測方法－分光光度計法(NIEAW419.51A)	8.10.
11.	水中氨氮檢測方法－靛酚比色法(NIEAW448.51B)	1.2.6.7.8.10.11.12
12.	水中氯鹽檢測方法－硝酸銀滴定法(NIEAW407.51C)	8.10.11
13.	水中氯鹽檢測方法－硝酸汞滴定法(NIEAW406.52C)	3
14.	水中總硬度檢測方法－EDTA 滴定法(NIEAW208.51A)	1-8.10-12
15.	水中金屬檢測方法－石墨爐式原子吸收光譜法(NIEAW303.51A)	6.8
16.	水中銀、鎳、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法－火焰式原子吸收光譜法(NIEAW306.52A)	1-8.10-12
17.	水中氟鹽檢測方法－氟選擇性電極法(NIEAW413.52A)	1-8.11.12
18.	水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法－103℃～105℃乾燥(NIEAW210.57A)	1-12
19.	水中濁度檢測方法－濁度計法(NIEAW219.52C)	1-12
20.	水中氫離子濃度指數測定方法－電極法(NIEAW424.51A)	1-12
21.	水中導電度測定方法－導電度計法(NIEAW203.51B)	2.3.4.6.7.12
22.	水溫檢測方法(NIEAW217.51A)	1-7.12
23.	水中臭度檢測方法－初嗅數法(NIEAW206.51C)	4.6.12
24.	水中化學需氧量檢測方法－重鉻酸鉀迴流法(NIEAW515.54A)	1-7.12
25.	水中陰離子界面活性劑檢測方法－甲烯藍比色法(NIEAW525.51A)	6.11.
26.	水中總有機碳檢測方法－過氧焦硫酸鹽加熱氧化／紅外線測定法(NIEAW532.51C)	4.12



27.	水中有機磷農藥檢測方法－氣相層析儀／火焰光度偵測器法(NIEAW610.50T)	4.5
28.	水中揮發性有機化合物檢測方法－吹氣捕捉毛細管柱氣相層析法／串聯式光離子化偵測器及電解導電感應偵測器檢測法(NIEAW784.51C)	2.7
29.	水中氨氮之流動注入分析法－靛酚法(NIEAW437.51C)	4.7
30.	水中氰化物檢測方法－分光光度計法(NIEAW410.51A)	11

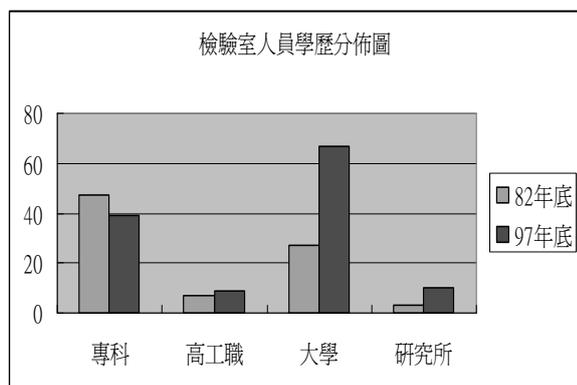


圖 1 檢驗室人員學歷分佈圖

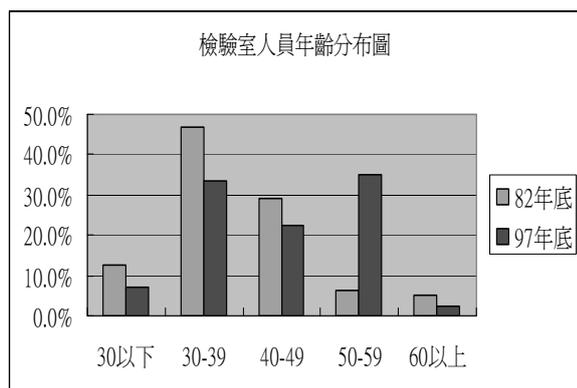


圖 2 檢驗室人員年齡分佈圖

三、水質檢驗資訊系統

為減輕檢驗室數據處理工作壓力，本公司於 93 年起架設檢驗室水質檢驗資訊管理系統 (LIMS)，連結 12 個區檢驗室及總管理處之水質資料。從採樣、收樣、取用、樣品檢驗、數據處理、報告出具等，利用資訊軟體控管所有流程：

(一)採樣：檢驗室於前年底輸入次年之全年度採樣計劃，屆時逐日輸出採樣單供採樣員依計劃前往採樣，所有樣品若未於採樣計畫中則無法帶出採樣表。

(二)收樣：樣品採集完成後，由收樣員依檢驗室收樣規則辦理樣品檢查及編號，一一輸入現場檢測資料、體積、樣品來源，執行收樣分派。此時樣品已登錄於系統中並依項目不同分派給負責檢驗之人員。

(三)取用：檢驗員每日開機即會顯示提醒畫面，告知被分派之樣品及檢項，檢驗員即可安排檢驗日期進行取樣登記，若未即時取樣，樣品過期即無法取用。

(四)檢驗：檢驗員檢驗後保留原始數據供比對舉證，將數據輸入檢驗結果計算表，樣品必須經過取用程序方能於檢驗結果計算表中點選出來輸入原始訊號，計算出樣品濃度。亦可由儀器連線方式帶入儀器訊號或儀器之計算之樣品濃度。檢驗結果計算表核對無誤後送驗算、審核、許可三層把關，方完成數據處理。每筆修改均須經過主管許可，同時留下紀錄及修改原因。

(五)報告：由各項檢驗結果計算表所計算出之結果數據匯集成制式報告，列印後再次比對樣品、數據是否正確吻合後用印送總處。

(六)所有資料彙集儲存於總管理處伺服器中，得以隨時取得最新水質資訊，對於其檢驗過程、品管數據，亦可於總管理處一覽無遺。

因此，一定要有樣品才能進行取用，一定要取用才能進行檢驗，一定要檢驗才能出

報告，如此環環相扣，利用電腦系統管控，使檢驗室品保品管嚴謹度更提升，藉由自動化作業之提醒，檢測人員得以減少人為疏失或錯誤之發生機率。再佐以必要之人工紀錄，檢驗數據資料均完整保留，經得起查核考驗。

四、總處積極介入輔導

為協助各區處檢驗室順利通過展延，在本處處長支持下，本處成立輔導小組。

(一)能力養成：總處人員多無認證實驗室資歷，為在最短時間內使成員有輔導能力，由曾任區檢驗室同仁導讀方法、通則，經數次讀書會，共同討論；交換心得做為行前訓練，最後並由本處副處長逐一（一對一）考試，驗收訓練成果後，完成準備。

(二)前往輔導：除平日不定期上 LIMS 檢視檢驗室各項報告，於區處展延準備期間，視情況前往各檢驗室，模擬現場委員查核情形。出發前研讀檢驗室之管理手冊、檢驗方法 SOP，現場查對是否符合自訂程序，書寫考核建議，請區處填報矯正措施回報並於事後追蹤修改情形。

(三)結合責任中心考評，推動：

- 1.提升報表品質，制定報表審核清單，由輔導員一一查對報表內容是否符合規範所訂頻率，數值是否合理，不合格樣品是否確認、追蹤。
- 2.全面改寫 SOP，檢驗方法 SOP 依照各區處檢驗室實際執行情形撰寫，使之在地本土化，不再全部轉錄公告範本。
- 3.提升落實度，查核比對檢驗工作各項紀錄相關性，使用試劑或樣品體積合理性計算，避免數據造假。
- 4.參考環檢所現場評鑑考核表單，對於未及

參與輔導之區處，以考核之方式加強資料之整備。

(四)辦理各項訓練

- 1.水質檢驗儀器分析實務：邀請本公司各大儀器常用廠牌之技術人員講授儀器分析原理、操作要領、注意事項等。
- 2.品保系統查核實務：邀請環保署環境檢驗所各組人員講授品保系統應注意事項及常見缺失。
- 3.檢驗室認證展延實務班：邀請已經歷簽署人考評之東部三區處檢驗室主管、工程師講授各檢項原理及應注意細節。
- 4.基礎品管訓練班：邀請各區處資深品保員為較新進人員講授各項基本品保品管觀念。

五、面臨處境及因應措施

92 年起環檢所推出報告簽署人制度，95 年起強制執行，97 年起要求全部實驗室每週均須於採樣前申報行程，並計畫日後將所有檢測結果數據連結。

基於為所有認證實驗室出具的報告背書之立場，環檢所對業者管理方式漸漸偏離本公司的經營狀況，例如：

- (一)檢驗室人員得經由考驗取得簽署人資格，簽發報告，此制度對民間檢測業有其必要，檢驗室主管得不簽署報告而由具資格之簽署人簽發報告，然本公司之各項水質報告無特殊狀況均要求主管閱過核章以示負責。
- (二)為關切檢測業者營運狀況，抵制削價競爭情形，所有檢測業均須定期上網申報檢測業績（業務量及收入），此對本公司各檢驗室亦為沒意義之工作負擔。
- (三)為避免檢測人員遭受壓力竄改數據，樣品

收樣時應經一次樣品轉碼，使檢測員不知樣品來源屬性。此規定最不符本公司經營狀況，本公司檢驗室為淨水場水質督導單位，對於樣品來自何淨水場、原水或清水，於檢驗前有必要事先知道，方能於必要時第一時間通知停止供水，保護消費者安全。

(四)為防止法規舉證用途數據被檢測機構因各種理由作假，環檢所要求檢測業於每次採前一週均需上網申報行程，完成檢驗後再將檢測資料上網輸入，以便於採樣日前往抽查，檢測數據亦可隨時管制。此做法固然能有效遏止各階段數據造假。然本公司檢驗室原為區處水質督導單位，如要將數據對外公告，檢驗室之腳色由區處水質督導轉變成為水公司的一員，球員兼裁判之身分，使檢驗室於數據上網前蒙受壓力。

上述規定皆非針對本公司設計，然其管理方式一體適用，本公司不得獨享寬待。「專為環保法規舉證之代檢業」而設之環境檢驗測定機構許可證照，已有不適合「為公司產品品質把關之本公司檢驗室」參與之情形。

飲用水管理條例第十二條所指飲用水水質狀況之採樣及檢驗測定，須由取得中央主管機關核發許可證之環境檢驗測定機構辦理。係指「公私場所設置供公眾飲用之連續供水固定設備者」。並未規定自來水公司必須參加認證。故不參加認證無違法之虞。

對於不參加環境檢驗測定機構認證優勢有：

a.減輕檢驗室無謂之工作負擔：為管制其他檢測業所訂定之作業，例如線上業績、採樣及數據申報，可立即取消，並可防止日

後為求申報出去之數據每筆皆合格，而設法做假之嫌；或日後數據被有心人引用滋事之慮。

b.由總處制定規則，控管品質，唯一標準，有助各區處檢驗品質齊平。總處藉由 LIMS 系統於遠端監控各區檢驗室數據，發現問題隨時前往現場訪查，無五年展延一次之「戰後鬆懈」問題。

c.脫離認證框架，可以率先使用國外先進方法、先進儀器執行各項水質檢測，不需等待環檢所公告方法。甚至可將方法開發經驗提供環檢所參考。

然上述優勢仍不敵致命之劣勢：

a.檢驗品質少了第三單位控管，在目前所有檢項仍偏勞區處檢驗室之時期，總處責任壓力吃重，恐無法負擔。

b.檢驗室不再持有國家級證照，水質稽核之威信驟減，數據品質恐受外界質疑。

c.缺乏法規限制，檢驗室進用之人員素質及人力、員額配置較無法強力要求。

各區處檢驗室於展延期間，藉由多次輔導、訓練、研討，以往沉默耕耘的檢驗室同仁都動起來，交流討論熱絡頻繁，突破檢驗室間以往互相較勁、各自藏私之情況，凝聚力因此而大幅提升，彼此成為競合對象，良性競爭並互相合作，實為另一收穫。目前為免發生如前述不良後遺症，最好仍以不變更現有狀況為原則，對於主管機關可能影響公司權益之政策，必要時由總處出面溝通協調，與區處齊心合力維持證照，應是目前最佳作法。

六、結語

行政院環保署刻正辦理「飲用水水源及水質污染物篩選及監測計畫」，優先檢討列管

污染物候選名單 (CCL) 即有 50 個項目，未來預期會比照世界有關先進國家標準增列，此將是本公司需面對因應嚴肅的問題。

在目前本公司各區處檢驗人力呈不足，工作負荷呈飽和情形下，如欲再新增微量及較難檢測水質項目的檢驗工作，以各區處檢驗室空間、人力、現有設備恐難達到微量及較難檢測項目檢驗要求標準。且區處檢驗室隸屬於區處，立場無法完全超然，要求其將檢驗數據真實呈現，有時確有其壓力，水公司「水質檢驗中心」之成立勢在必行。

日後檢驗中心成立，逐步將全省較難檢驗、精密儀器業務集中檢驗中心執行，區處檢驗室保留少數人力辦理即時性之基本項目，其餘就地補充廠所檢驗人力。屆時將可望真正將各區處檢驗室檢驗品質收回自主管理。認證之主力集中於檢驗中心，集合各區處共同研訂一套合理之「檢驗品質規範」，訂定不同品保品管等級，提供各區檢驗室及淨水場遵循，將自來水的檢驗品質收回總管理處自行管理，不再託管於環檢所，人員得以適當減壓，又不致影響品質。

品保觀念分等級延伸至淨水場：同為出水品質把關之單位，數據應有相同之確認程序。先前為區分認證、未認證檢項，管理手冊未涵蓋全部業務，如「淨水用藥檢驗」、「用戶配水檢驗」、「客戶水質抱怨處理標準程序」等等，取消認證後，重擬品質系統管理手冊可將全部業務納入並擴大訂定淨水場品保等級。

檢驗室紓解部分壓力後，有餘力重拾水質管理任務，落實為消費者用水品質把關，方能符合公司主軸工作：提供量足質優之供水，以客為尊之服務。在以顧客需求為

導向的企業經營理念的時代，方有助於提昇公司營運績效。

作者簡介

楊昭端小姐

現職：台灣自來水公司水質處工程員

專長：自來水化學檢驗及品保品管

「研究快訊」一

計畫名稱：新山水庫藻類優養指標與水庫水質相關性之研究

委託單位：台灣自來水公司

研究單位：國立台灣大學環境工程學研究所

研究人員：吳先琪、吳俊宗、張美玲等

研究期間：自民國九十八年四月八日至民國九十九年二月七日

一、前言

水庫之水藻種類與數量，影響給水處理甚鉅。藻類除了會造成濾床的阻塞，增加混凝加藥量以及反洗砂的次數，並會引發自來水藻毒與臭味的健康問題，因此世界各國莫不尋求防範之道，以遏止給水水庫之優養化，並進行水庫的優養評估。惟目前國內各單位在評估水庫水質優養化程度時，多採用多變數卡爾森指標，冬季和颱風暴雨後常造成卡爾森優養指數的低估或高估，而藻類優養指標無此類顧慮，且藻類對水質優養化變遷極為敏感，可利用藻類相為指標，監測水質污染。鑑此，建立一套水庫藻類優養化指標，有其必要性。

位處基隆市安樂區的新山水庫，對台灣自來水公司供給北部地區用水，佔有舉足輕重之地位，其為單一給水目標之離槽水庫。由於本水庫蓄水量有限，又為主要引用水源，近年來屢出現輕微優養之現象，因此在相關藻類資料缺乏之情況下，期能透過本研究計畫，對於水庫四採樣站之上中下層水質進行採樣分析，建立本水庫各項水質數據與藻類變遷之基本資料，瞭解其相互關係，作為水庫水質優養化評估，及淨水廠淨水操作

參考之重要依據。該計畫由台灣大學環境工程學研究團隊負責執行，計畫將於九十九年二月初完成。

二、研究內容

依據該計畫徵選須知要求，該計畫共分為：

- (一)每月定期定點採樣，並分析其水質理化因子及藻類鑑定及計數。
- (二)依各項水質檢項及藻類結果，綜合探討新山水庫藻類優養與水體水質之相關性。
- (三)辦理藻類鑑定之教育訓練，以提供自來水公司檢驗人員研習。

其中水質分析項並依據評選須知，該研究針對國內新山水庫原水，選擇四個適當之採樣點，每個採樣點分上、中、下層採樣，採樣點包括新山水庫取水口及新山水庫進水口，每月進行 12 採樣點數之採集。分析項目包括：pH、水溫、溶氧量、比導電度、臭度、色度、濁度、懸浮固體量、水中土霉味物質、藻毒、水中透明度、化學需氧量、生化需氧量、總磷、總氮、氨氮、有機氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、鈣、鎂、葉綠素 a 與藻類相變化。

三、預期成果

該研究團隊曾參與環保署「以生態工法淨化水庫水質控制優養化研究計畫」三年計畫中，曾針對新山水庫進行定期水質及藻類採樣分析，依卡爾森指數與藻類優養指數來看，新山水庫已屬於一輕度優養化之水庫；腐水度指數亦顯示其以受相當程度的有機污染，且新山水庫藻類呈現季節性藻華現象。故瞭解新山水庫其藻類消長與水質良窳之相關性是相當重要之課題。

本計畫預期效益如下：

- (一)了解新山水庫目前受污染及優養化情形。
- (二)了解新山水庫各種水質理化因子與不同藻類間之相互關係，並彙整資料建立資料庫。
- (三)利用新山水庫各種不同型態藻類相變化之調查資料，評估新山水庫各種藻類在不同優養狀態下可能之生長模式，做為水庫管理及淨水處理之參考。
- (四)提供自來水公司各單位檢驗人員藻種鑑定與計數之技術，以利監測水質。



於新山水庫採集底泥工作情形



採樣所使用之即時水質監測儀及深水採樣器

「研究快訊」二

計畫名稱：飲用水中揮發性有機物含量分析研究（第一年）

委託單位：台灣自來水公司

研究單位：逢甲大學環境與安全衛生教育暨研究中心

研究人員：張立德、陳豈凡、吳俊哲

研究期間：自民國九十八年三月三十日至民國九十九年一月二十九日

一、前言

台灣地區民生飲用水來源分為地表水(如水庫、河川水)及地下水,由於地窄人稠、下水道普及率偏低及部分水源集水區或水質水量保護區管理不易等因素,致使有些飲用水水源遭受不同程度污染,恐有影響水質安全性之虞。目前我國雖訂有飲用水水源水質標準與飲用水水質標準,然而目前法規標準僅檢測 12 項水中揮發性有機物,對其他水中揮發性有機物之背景資料付諸闕如,再加上近年來國內生活水準普遍提升,民眾對水質、水量及服務品質等要求亦隨之增加,更基於新興污染物(Compounds of Emergency Concern)可能造成人體健康安全危害之考量,飲用水水源與水質標準實有逐年檢討、修訂與增加之必要。

二、研究內容

本研究計畫屬長期監測與評估作業,為期共計三年,本年度(98)為第 1 年計畫。本計畫主要目標包括如下:

(一)監測至少包含行政院環保署所列舉之水中列管污染物候選清單(Contaminant Candidate List, CCL)中的 13 項水中揮發性有機物(包括二氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、順-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、一氯苯、1,2-

二氯苯、1,4-二氯苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯等 13 項水中揮發性有機物。)
 (二)除針對上述 13 項外,另加上甲基第三丁醚(MTBE)及其他相關揮發性有機物,建立共約 60 項水中揮發性有機物的背景資料(含清水、配水)。
 (三)逐年分批對人體攝入水中揮發性有機物之健康影響進行回顧與整理。
 (四)逐年蒐集整理國內外相關文獻中,有關水中近 60 項揮發性有機物之改善對策,並就國內現況提出適當之淨水處理因應方案建議。
 (五)每年舉辦 1 梯次檢驗室現場分析教學觀摩。

三、預期成果

期望藉由本研究計畫,達到下列各項成果:

(一)逐年提出人體攝入飲用水中各項揮發性有機物(原則上每年約 20 項)對健康影響之相關文獻回顧與探討。
 (二)藉由每年檢測各區處淨水場之清水、配水等飲用水中近 60 項揮發性有機物項目檢測,通盤了解目前各區處淨水場揮發性有機物濃度分佈趨勢及是否存在污染之情形。
 (三)逐年針對檢測分析結果進行探討,並與

國內外相關飲用水與淨水廠處理揮發性有機物之相關項目法規加以比較，了解目前國內各淨水廠處理設施相關成效與濃度分佈。

(四)逐年針對水中近 60 項揮發性有機物進行改善對策之相關文獻蒐集，並就目前國內使用之狀況提出相關建議改善策略，以作為淨水處理方案之參考。

(五)每年針對各區處淨水場採樣與檢測分析等相關技術，進行檢驗技術教學觀摩與經驗分享。

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

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」及「實務研究」等論文，於編譯出版委員會委員推薦或由作者自行提出申請，由編譯出版委員會於每年六月底前召開初選會議，選出 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。

「研究快訊」三

計畫名稱：回收廢水水質對淨水處理影響及最適化控制之研究

委託單位：台灣自來水公司

研究單位：國立台北科技大學環境工程與管理研究所

研究人員：張添晉教授、陳孝行教授及游勝傑副教授

研究期間：自民國 98 年 3 月 18 日至民國 99 年 1 月 18 日

一、前言

隨著經濟發展及國民生活品質提升，為滿足民眾需求，及因應未來現代化、專業化及國際化的需求，善用水資源為目前各國之趨勢，加上台灣地理特性，致使天然水源不足，故水資源之再利用實為重要。現行台灣自來水公司各淨水場對於淨水過程中所產生之廢水，普遍均進行廢水回收再利用，並將回收廢水作為自來水水源的一部分，實行淨水場廢水全量回收或多量回收方式處理，以期節約水資源，提高水資源再利用率，更可減少廢水的排放量，逐步達成水資源永續利用之目標。

國內淨水場廢水處理採取方式為全量回收或多量回收（少量排放），惟因廢水中含有大量有機、無機物、生物性、重金屬及在淨水處理過程中所添加的化學藥劑等，於回收再利用後，對原廢水水質有造成重復累積性之疑慮，並且於淨水處理時，瞬間加入回收廢水可能會對水質造成不良之影響，亦尚待深入探討。台灣自來水公司為全台灣生活及工業用水主要供應來源，因此對於供應水資源水質及服務品質之要求亦格外嚴謹。

有鑑於此，本研究實際檢測 6 座較具代表性的淨水場，分別於豐枯水期進行採樣分析，期能建立淨水場具代表性之廢水水質背

景資料，以了解廢水回收是否會造成淨水處理的困難，並針對回收廢水對淨水處理之影響及人體健康風險進行探討，藉以規劃廢水資源再利用之最適化控制方式及操作參數。本研究由台北科技大學環境工程與管理研究所與中原大學生物環境工程系所團隊執行，預計於 99 年 1 月中旬完成。

二、研究內容

「回收廢水水質對淨水處理影響及最適化控制之研究」預計將執行下列工作內容：

- (一)蒐集並彙整國內外淨水場廢水回收及排放模式、健康風險評估及最適化控制之相關文獻。
- (二)完成 3 座大型淨水場不同廢水來源、廢水回收來源暨廢水混合前後總計約六點之檢測分析，並建立主要淨水場具代表性之廢水水質背景資料。
- (三)完成 3 座單純僅有廢水池的中小型淨水場，每場所針對廢水產生源、廢水回收源暨廢水混合前後共計四處之檢驗分析。
- (四)探討回收廢水對淨水處理之最適化操作參數及人體健康評估。
- (五)針對擁有完整廢水處理程序 1 座及僅簡易廢水池 1 座研擬改善方案及最適化控制參數。

(六)研提僅有簡易廢水池回收者之較佳廢水回收處置方式探討，並擬定標準廢水回收模式(SOP)。

(七)辦理 2 場次觀摩講習會，並邀集相關單位及自來水公司各區處操作人員進行研習與經驗交流。

三、預期成果

本計畫目的為了解廢水回收是否會造成淨水處理的困難、原廢水水質之影響狀況，及是否具影響人體健康之虞，故本研究擬針對自來水公司較具代表性的淨水場，針對不同廢水來源進行水質多面向之分析，及回收廢水對人體健康的風險評估，並於考量水資

源再利用及健康風險等綜合考量下，研擬最適化的控制方式，其中選擇國內 3 座大型淨水場包含板新淨水場、鯉魚潭淨水場、坪頂淨水場，及選擇 3 座中小型淨水場則包括龍潭淨水場、彰化第三淨水場及麥寮第二淨水場等 6 處進行調查，期能達到下列成果：

- 1.建立台灣自來水公司淨水場不同來源廢水及回收廢水之水質背景資料。
- 2.降低回收廢水對人體健康及淨水處理產生之衝擊。
- 3.研擬最適化廢水回收控制，並建立簡易廢水池之較佳處置方式及 SOP。



本刊 98 年預定「每期專題」為

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 28 卷第 1 期：供水系統擴建與更新 | (98 年 2 月 17 日出刊) |
| 28 卷第 2 期：供水系統管理 | (98 年 5 月 17 日出刊) |
| 28 卷第 3 期：水質安全 | (98 年 8 月 17 日出刊) |
| 28 卷第 4 期：廢水處理 | (98 年 11 月 17 日出刊) |

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

國際自來水研討會訊息

編輯小組

日期	會議名稱	地點	主辦單位
	會議相關訊息網址		
1-3 Sep. 2009	5th IWA specialised membrane technology conference for water & wastewater treatment www.iwa-mtc2009.org	Beijing, China	International Water Association、 中國清華大學
21-25 Sep. 2009	7th international conference on water reclamation & reuse www.reuse09.org	Brisbane, Australia	International Water Association
98 年 10 月 18~22 日	2009 年第三屆國際水協會亞太地區會議及展覽會 www.aspire2009.org/	台北市國際 會議中心	中華民國自來水協會
98 年 10 月 28-29 日	第八屆深、港、珠、澳供水界學術交流會 暨第五屆海峽兩岸水質安全控制技術與管理研討會 www.macaowater.com	澳門美高梅 金殿 (MGM GRAND Macau)	澳門自來水公司、深 圳市水務(集團) 有 限公司暨兩岸三地 多家聯合承辦
29-30 Oct. 2009	water & energy – mitigation in the water sector & potential synergies with the energy sector www.iwawaterandenergy2009.org	Copenhagen, Denmark	International Water Association
4-6 Nov. 2009	2nd Asia Pacific regional young water professionals conference iwa.rcees.ac.cn	Beijing, China	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
30 Nov.- 2 Dec. 2009	water & industry 2009 water09.massey.ac.nz/	Palterston North, New Zealand	International Water Association

國際自來水瞭望台

譯/范家璋

將廢水發展為一項可永續利用的資源

根據現今社會的狀況看來，將未處理過的廢水直接排放對於環境所造成的傷害已遠超過目前環境所能承受的標準。更進一步來說，維護環境衛生也已不再是廢水處理的唯一目標。相反的，社會大眾及廢水處理的研究團隊應該將廢水視為一項可再次利用的寶貴資源；因為廢水中所含的水份不僅是各種生物賴以為生的基本成份，對於各項人文及工商發展更是一項不可或缺的第一要素。特別是於乾燥地區，有限的水源除了供給民生用水外，還得支援農業、工業等活動的發展。因此開發廢水的再利用於這些地區也就格外重要。除了水份外，廢水同時也富含其他各種珍貴的資源，特別是能源及養份。因此廢水處理這個尚未開發的區塊將是近代最受矚目的焦點。

為反應社會各界對提昇廢水為一項永續資源的迫切需求，IWA 於 2008 年六月一日至四日在蘇黎士 (Zurich) 舉辦的尖端技術國際會議 (Leading Edge Technology Conference, LET) 特別以此為主題，深入探討近代萃取及淨化技術的進步，使專業人員能夠善加利用廢水這項資源，從中開發更多寶貴的物質。不僅如此，這次的會議還為與會者提供了一場高階的論壇，使各界代表能充分了解目前廢水開發的趨勢及價值，如其富含的水份、能源、及養份等元素。

自嚴重污染的廢水中萃取水份

然而，不論廢水回收帶有多少潛在利益，若回收廢水的使用因為某種未篩檢出的物質對人體或其他有機生物的健康造成威脅，特別是在其含量高達 $\mu\text{g/l}$ 程度時，廢水再利用的安全性及效益便不如預期的理想了。為了徹底解除這項疑慮，新的分析儀器如串聯質譜儀 (tandem mass spectrometry) 等不僅可檢測出污染物的種類及含量，其精準

度更高達 ng/l 的範圍。因此，研究員得以在分析過程中不斷地發現各種不同的污染物，如藥物、雌激素、個人護理產品的成份、阻燃劑、苯硫氮醇 (benzothiazoles)、苯二醇 (benzotriazoles)、及碳氟化界面活性劑 (perfluorinated tensides, PFT) 等。

雖然目前歐盟及其他工業國一共註冊了十餘萬種化學物質，但下水道系統甚至廢水處理廠的化學物質可能因為不斷的化學物形成及微生物的變異和相互作用造成更多、更複雜的合成物。

這些最新浮現的污染物共同的特性就是與已知的污染物屬性截然不同，並對生物自然降解有一定的抗性。因此多數新型污染物都能通過淨化處理，而不被吸收至固體廢物或自然分解掉，導致處理過程排放的流出物含有仍具污染的混合物。即使是在低於 $\mu\text{g/l}$ 在的範圍內，這些污染物仍會影響野生水棲生物或人體的感覺器官。根據觀察，新型的污染物中如內分泌干擾物 (endocrine disrupters, EDs) 及藥物等元素因其較高的生物活性，對於人體及其他生物的影響也相對較大。

根據研究，內分泌干擾物及藥物的存在可能使生物的生長、發展、甚至繁殖造成變異，並能於混合物中作用。這種現象對於環境風險評估 (environmental risk assessment, ERA) 及廢水處理工程中的排放流監測上帶來了相當棘手的挑戰。

LET 的會議中，代表德國聯邦水利所 (Federal Institute of Hydrology, Germany) 的 Thomas Ternes 概述了近期於廢水及其他環境矩陣 (environmental matrices) 中發現的污染物；Jörg Öhlmann 則代表法蘭克福大學 (University of Frankfurt, Germany) 在會議中針對內分泌干擾物及藥物對環境的影響提出風

險評估，包括目前採用的生物測試可能有前景的及限制。

瑞士聯邦水質科學技術研究所 (EAWAG) 的 Christoph Ort 介紹了用以檢測物質流量的模型，可供水質專員用來鑑別高微量污染物含量的河流區塊。來自紐約州立大學水牛城分校 (State University of New York-Buffalo, US) 的 Diana Aga 則描述了各種化學及生物的介面，並由此深入探討造成各類有機體 - 如氮化物 vs. 異營 (heterotrophs) - 在複雜的微生物生態中變化的種種途徑、識別、和動力。這項資訊對於策劃加強去除微量污染物的生化處理程序有相當大的幫助。

將生物需氧量 (BOD) 轉換為更有效的生化能源型式

長久以來存在於廢水中且眾所周知的污染物 - 生物需氧量 (BOD, biochemical oxygen demand) 其實就是一種生化能源的測量，只是一直以來皆被錯誤的定位。排放於河流或湖泊的 BOD 降低了水中的溶氧濃度 (dissolved oxygen concentration)，並可能造成嚴重的水質破壞：顏色、味道、氣味、有毒金屬的代謝、水中物種的突變、甚至死亡。然而，若將 BOD 轉換成利於人類社會的能源形式，將使其成爲一項珍貴的永續資源 - 可再生的生化能源。除此之外，任何含有 BOD 的廢水或生物污泥 (biosolids) 都可能成爲再生性生化能源的來源。

現今社會最實用的能源種類爲甲烷、氫氣、及電力。而廢水處理行業由固態廢物及高濃度的工業廢水提煉在生產甲烷上已有 150 年的歷史了。雖然目前甲烷生成 (methanogenesis) 技術的基礎和實際操作都已臻成熟，然而因爲廢水及固態廢物中複雜多元的有機材質含量使其生物利用度無法即刻有效地接連通過三個步驟的水解、發酵、及甲烷生成，導致其中的 BOD 只有極少量能被轉化成甲烷。除此之外，傳統的甲烷生成工

序不僅耗時，所需成本也偏高。如此低產量、高成本的工程使各個廢水處理廠於甲烷的生產、清理、及應用方面怯於投資。

值得慶幸的是，近代技術的發展不僅大量提昇了複合有機材質的生物利用度，先進的生物反應器更大幅促進甲烷生成的產量，同時也能平衡能源的使用並降低溫室氣體的排放。

除了甲烷，氫和電力的生成也都是目前生化能源的主要運用途徑；兩者皆以近代新興的能源生成方式生產，強調以非燃燒、無污染的途徑自 BOD 中提煉生化能源。其中最受矚目的就是自微生物燃料電池 (microbial fuel cell, MFC) 中產生電力。首先，細菌於電池的陽極上形成一層生物膜，用以氧化 BOD 並將電子傳導至陽極。接著電子再由陽極穿過一系列的電路到達陰極後釋放 O_2 來形成 H_2O 。而 MFC 產生的電力則由陽極流至陰極的電流中獲得。

氫氣則可自有機物發酵後產生，或由一些自陰極排除 O_2 (以促使陽極的電子減少 H^+ 來形成 H_2) 的特殊微生物燃料電池中生成。無論使用何種生成方式，培養出的 H_2 皆可應用於常見的化學燃料電池，以非燃燒、無污染的方式供應電力。

相較於一般燃燒化系統的電力生成，自任何燃料電池產生的電力在能源轉換效率上都有顯著的提高。因此，若直接以自廢水提煉的 H_2 生產電力，其能源利用方面相對於甲烷生成佔有極大的潛在優勢。除此之外，於 BOD 轉換過程中產生的 H_2 氣體還可應用於工業的化學原料，或是置入微孔膜生物反應器 (Membrane Biofilm Reactor, MBfR) 中來驅動氧化的污染物的生物還原作用。

於蘇黎世舉行的 LET 會議中，澳洲昆士蘭大學 (University of Queensland, Australia) 的 Jurg Keller 整合了所有轉換生化能源的型式。同時，代表歐盟執行委員會比利時分會 (European Commission, Belgium) 的 Andrea

Tilche 則詳述了如何以甲烷生成作用降低溫室氣體的排放量。來自荷蘭威哲靈京大學 (University of Wageningen, The Netherlands) 的 Jules van Lier 也於會議中介紹了能使甲烷生成作用達到其最高效能的最新技術。除此之外，亞歷桑納州立大學 (Arizona State University, US) 的 Bruce Rittmann 針對以脈衝電場 (PEF, pulsed electric fields) 提昇生物固體的生物可利用率 (bioavailability) 這項新技術的實地試驗提出了報告。賓州州立大學 (Pennsylvania State University, US) 的 Bruce Logan 也描述了以特殊 MFC 生產 H_2 氣體技術上的快速發展。

營養物的取得

將過度的養份 P 及 N 釋入水體表面無可避免地導致水體優養化 (eutrophication) 的問題愈益嚴重，造成水中浮游動植物大量繁殖等主要問題：如藻華的生成、水體顏色、味道、氣味的改變、金屬的調動、及組織缺氧等。目前許多水質研究者、管理員、甚至社會大眾都逐漸意識並了解到這些問題的嚴重性。

雖然水質研究者必須以加倍的努力來降低過度釋入水表的養份，同時，他們也必須了解到存在於廢水中的養份所代表的另一項永續資源。如同 BOD，如何自廢水淨化的過程中篩選出這些可利用的養份將是極為重要的一環。

俗話說「需要是發明的動力」(necessity is the mother of invention)；這句名言也適用於廢水養份的復原工程中。因此，在這個領域進行先導工作的就是水質限制相當嚴密的德國及日本。對於這些國家來說，除了自身對於水質的要求外，開發新型肥料來源的迫切性也是促使它們積極推行這項研究的原因之一。於是，在各方的努力下，營養物 P 就在吸收作用、熱處理、及微生物測試等各種方式的實驗中被提煉。相較於傳統以鐵或鋁的

陽離子來促使營養物 P 沉澱的方法，新的萃取法已被證實更為簡易且有效。

於去年六月舉辦的 LET 會議中，來自德國丹斯泰科技大學 (Technical University of Darmstadt) 的 Peter Cornel 針對營養物 P 自廢水中復原的技術提供了一項概要敘述。同樣來自德國的 Christian Adam 則代表聯邦材料研究及檢驗處 (Bundesanstalt für Materialforschung) 在會議中發表如何以熱化學處理法自沉澱物中取得營養物 P 的過程。除此之外，來自大阪大學 (Osaka University) 的 Hisao Ohtake 也總結了所有在營養物 P 的取得上應用的最新生物技術的發展。而代表日本下水道工程廳 (Japan Sewage Works Agency) 的 Takao Murakami 也於會議中說明如何自地方自治區的廢水中以高速的吸收劑萃取高純度的營養物 P。

(摘譯自 Water21 - Magazine of the International Water Association Apr., 2008, 范家璋)