

自來水會刊第 36 卷第 2 期目錄



實務研究

- 無閥快濾桶效能提昇改善—以金面淨水場為例……………謝挺蘊、胡正文…… 1
- 提昇用戶服務效能之應用—以北水處櫃檯申辦便捷無紙化業務為例……………周麗娟…… 8

本期專題

氣候變遷及應變能力

- 北北桃水源調度運用板新地區供水因應對策探討……………陳文龍、郭明淑、黃永富…… 15
- 臺北自來水事業處多重屏障防制策略與自來水品質安全……………張琰竣…… 22
- 有效提升災害應變停、復水作業效率之方法探討……………王興舜…… 31
- 颱風期間臺北市學校供水站開設實務探討……………鄭志斌、鄭答振…… 44
- 高雄公共給水因應高屏溪特性水源調度實務……………王志弘、郭家憲、王明孝…… 50

一般論述

- 混凝結合預臭氧程序對水體藻類及消毒副產物前驅物質去除效能之評估……………
……………黃文鑑、劉俊煒…… 59
- 公路上設置窰井必要之結構計算……………曾浩雄…… 68
- 2016國際水價現況解析……………周國鼎…… 79

國際視窗

- 「你知道嗎？」—水與食物……………本刊編輯小組…… 92

協會與你

- 歡迎投稿 106年「每期專題」…………… 49
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 58

封面照片：高屏溪攔河堰—台灣自來水公司提供

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、自來水工作現場等文稿。
- 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。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：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 aael@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：胡南澤

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

李丁來

委 員

駱尚廉、葉宣顯、康世芳、王根樹、林財富、
陳曼莉、范煥英、洪世政、莊東明

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：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、
梁德明

執行編輯：陳品如

電 話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古藜苓

印 刷：松耀印刷企業有限公司

地 址：台中市北區國豐街 129 號

電 話：(04)22386769

無閥快濾桶效能提昇改善—以金面淨水場為例

文/謝挺蘊、胡正文

一、前言

無閥快濾桶其利用虹吸原理達到可反沖洗，洗砂完成即可再過濾，達到自動反沖洗過濾方式，故操作維護相對單純廣泛使用於小型無人操作淨水場。

本次研究討論之金面淨水場位宜蘭縣頭城鎮目前取得水權量 3 萬 CMD，目標年民國 110 年，計畫供水人口 2 萬 6,300 人，因其不受天候影響，可提供頭城鎮、礁溪鄉及壯圍鄉穩定水源。本案原水來源為利用雪山隧道湧水再利用其水量穩定；另其水質依監測數值，其原水濁度約在 4.4~11NTU 之間，屬穩定水質，另原水鐵含量在 1.3~1.85 mg/L 之間，原水錳含量在 0.016~0.258 mg/L 之間，屬鐵錳含量較高，故本淨水場淨水處理主點在於鐵、錳及濁度的去除。

本場在新建時即依其特性於雪隧取水站設有取水井，並藉由曝氣塔進行曝氣，以氧化水中鐵錳，後再經由 500m/m 管線輸送至金面淨水場以 4 桶無閥快濾桶過濾去除水中濁度後供水至用戶端。然其中濁度去除機制主要在快濾部分，無閥快濾桶效能左右金面淨水場出水水質良窳，故本研究採控制不同水量及在不同濾砂條件下，監測其過濾效果，提出操作改善建議及做為未來設備增設設計參考，以提昇供水品質。

二、現況說明

金面淨水場淨水處理目前分兩部分，其中雪隧取水站設有取水井及曝氣塔取水氧

化原水中鐵及錳，再 500m/m 管線輸送至金面淨水場(原金面加壓站)藉由無閥快濾桶過濾後至清水池出水供頭城及礁溪部分地區。

(一)設備現況介紹

1.曝氣塔介紹

本案氣曝設備其功用是將原水與空氣接觸，增加水中的溶氧，氧化原水中之鐵與錳，成為氫氧化鐵與氧化錳而沉澱，其轉化鐵錳方法其化學公式如下：



另其反應速率受 pH 值很大之影響，鐵之氧化在 pH 8~8.5 約需 15-30 min 之時間，pH 值約每提高 0.1 單位，反應速率增加 10 倍；錳在中性 pH 值下，反應速率非常慢，在 pH8 ~8.5 約需則需 2-3 hr，即使在 pH 9.5 下，亦約需 1 hr 之時間，才能達到 90%之去除。

2.金面淨水場快濾桶介紹

依原設計金面淨水場設快濾筒設備每套處理水量正常為 3,000CMD，設 4 套可處理 12,000 CMD，其型式為無閥式自動反洗快濾式，操作原理為：「依據設定之水頭於達一定水位時自動啟動反洗抽水沖洗。沖水時先停止進水，讓濾池內水位下降並將池內水排除後再開始反沖洗，反洗完成後即恢復自動過濾。」本項設計可自動操作方式，以減輕人力。本場無閥快濾桶設計規範，其原設計要求處理水水質濁度低於 10NTU(含)以下時，每座快濾桶平均處理水量 3,000CMD(含)

以上，處理後水質 2NTU(含)以下。

惟過濾是一種去除固體顆粒的淨水處理操作，過濾操作的效能與前處理有很大的關係，在傳統淨水程序中，混凝沉澱若操作得宜，可減輕快濾操作的負荷。本淨水場原考量濁度低，並未針對濁度設置前處理設備(如混凝、沈澱)，故濁度去除重點在於快濾桶上。

(二)水質現況說明

本淨水場原水濁度經實測約在 4.4~11NTU 之間，屬穩定水，且其水源不受天候因素影響，水源水量及水質穩定。依 97 年度「北宜高雪山隧道原水中鐵、錳氧化機構之探討及最適化操作之研究」報告中即提出其原水水質鐵含量約在 0.52~1.62mg/L、錳含量約在 0.05~0.18mg/L 之間，惟依目前檢測資料顯示，原水鐵含量在最高在 1.85 mg/L，原水錳含量在最高達 0.258 mg/L 之間，其測值鐵及錳含量均較原設計報告高，其經氣曝設備可將部分轉化為顆粒態鐵及錳化合物，成為濁度來源之一。

目前實際操作上，清水濁度約維持在 0.25~1.2NTU 之間。惟依總處水質處「水質預警季報」訂定：「沉澱水及過濾水之濁度警戒值各訂為 5NTU 及 0.5NTU，如為慢濾系統，沉澱水之濁度警戒值為 16NTU，若有超過或清水超過 0.5NTU，以及清水大腸桿菌群

大於 1(CFU/100mL)時，亦應填寫採取之應變措施。」本場快濾桶原設計要求「處理水水質濁度低於 10NTU(含)以下時，每座快濾桶平均處理水量 3,000CMD(含)以上，處理後水質 2NTU(含)以下……」，以現行規範要求已有落差。且雪隧湧水水質未因長期排出而降低鐵、錳含量及濁度值，反而有升高情勢，故如何以現有設備因應處理濁度至符合法規及公司內控值及未來改善方向，為目前金面淨水處理需面對課題之一。

三、研究方法

依無閥快濾桶設計(圖 1)特性，其構造中儲水槽主要在儲存反沖洗水量，濾頭損失設計在 1.5M 左右便自動啟動虹吸管作用並開始進行反沖洗流程，在反沖洗水量固定下，及排水口徑固定下，反沖洗速率固定，單純採操作上調整，可變參數主要為過濾砂厚度及粒徑的調整，因尚需考量反沖洗效果及避免濾砂流失，僅能以少量調整方式測試。

本案採實廠試驗操作改善方式，利用架設濁度監控及流量控制方式進行不同流量(2,000 CMD, 2,500 CMD 及 3,000 CMD)、不同濾砂條件(補濾砂前厚度 65cm、補濾砂後厚度 85cm 及換補不同顆粒濾砂方式(70cm+10cm))進行不同組合方式實驗(表 1)，以實測方式找尋較佳改善方案。

表 1 本次實驗計設組合方式

進水量 濾砂	2,000 CMD	2,500 CMD	3,000 CMD
補濾砂前厚度 65cm	實測乙次	實測乙次	實測乙次
補濾砂後厚度 85cm	實測乙次	實測乙次	實測乙次
換補不同顆粒濾砂方式(70cm+10cm)	實測乙次	實測乙次	

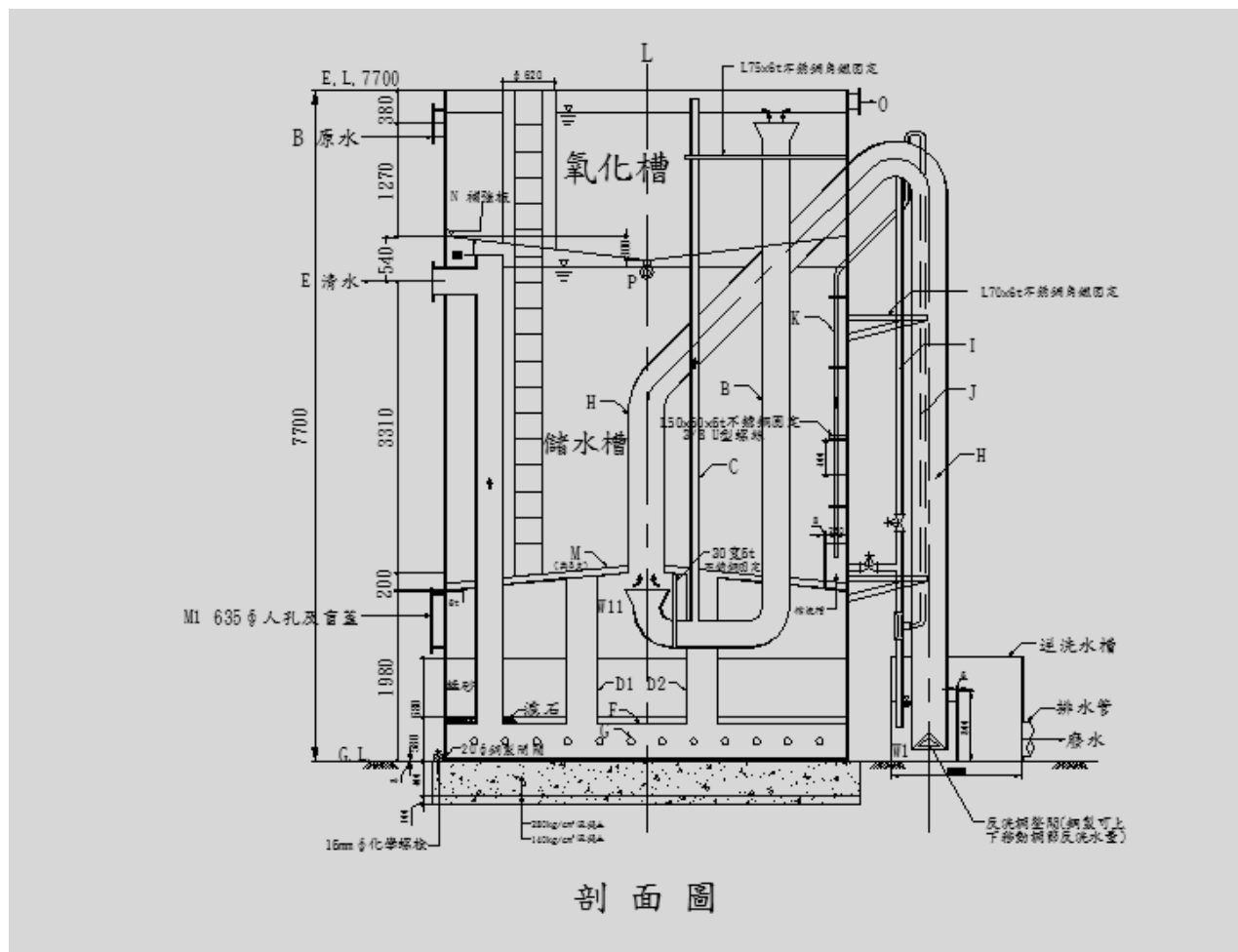


圖 1 無閥快濾桶設計工程圖

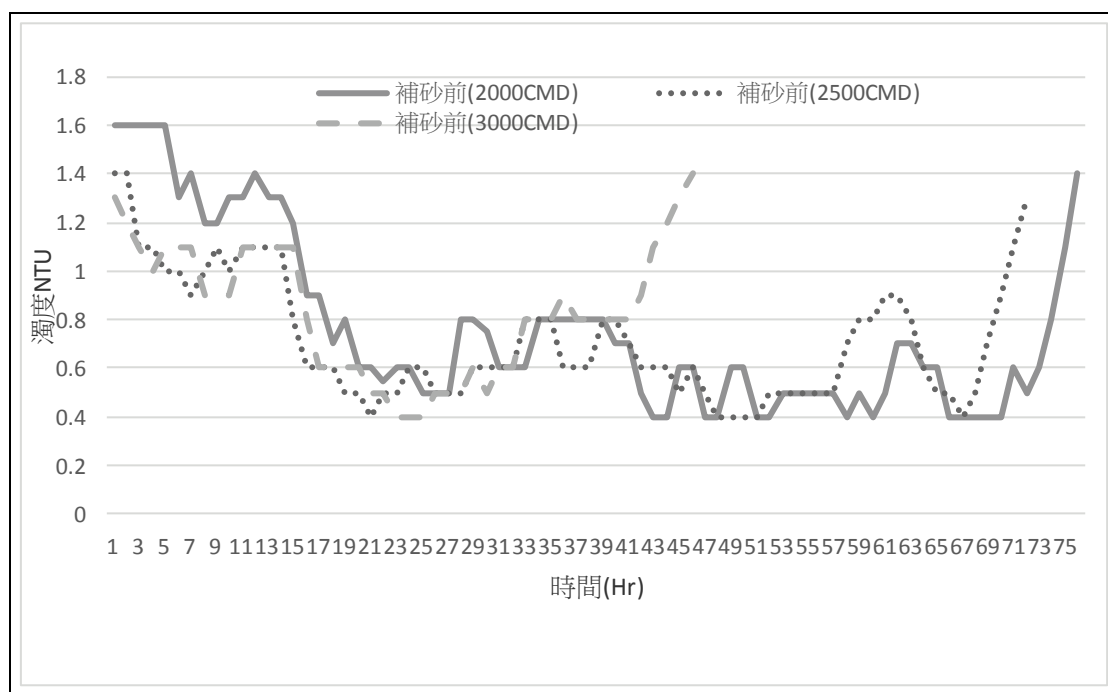


圖 2 補砂前不同進水量下清水濁度變化圖

四、結果與分析

(一)在未補砂情形下(濾砂層約 65cm)

經長期使用，在未補砂情形下(濾砂層約 65cm)，比較 2,000CMD、2,500CMD 及 3,000CMD 不同進水量下，快濾桶處理能力比較(圖 2)，其中在 3,000CMD 下，僅過濾 45 小時即達反沖洗條件。另 2,000CMD 及 2,500CMD 進水量達反沖洗條件各為 72 及 76 小時，其差異不大，惟進水量 2,500CMD 下，大部分時間均在超過內控值 0.5NTU 以上，清水濁度均較高，研判濾砂其經過 1 年時間過濾及反沖洗，部分較細濾砂已流失；又本淨水場濾砂主要採錳砂，其希望藉由錳砂去除水中溶解錳，其反應過程因錳附著至錳砂顆粒逐漸變大，亦可能是造成過濾效果降低原因之一。

然在 3 種不同進水量下，需達到穩定過濾水質在 1NTU 以下，需長達 15 小時，可顯見其在未補砂情形下初期穿透率偏高。本項可做為本淨水場快濾桶未來換補砂時機參考。

(二)在補砂至 85cm 情形下

考量經濟效益，本次採補砂方式辦理，在補砂至正常濾砂操作高度 85cm 情形下，同樣比較 2,000CMD、2,500CMD 及 3,000CMD 不同進水量下，快濾桶處理能力比較(圖 3)，其中在 2,500CMD 及 3,000CMD，僅過濾 45 及 47 小時即達反沖洗條件；2,000CMD 仍可維持 67 小時過濾時間。

在水質方面，進水量 2,000CMD 及 2,500CMD 大部分時間清水濁度值均在內控值 0.5NTU 以下，符合公司內控值要求。相較於未補砂前過濾效果已有提升已可見到補砂成效，故定期換補砂為本淨水場維持穩定水質要件之一。

然補砂後，在 2,500CMD 及 3,000CMD 不同進水量下，需達到穩定水質在 1NTU 以下，仍需達 7~13 小時，可顯見在較高進水量下，其初期穿透率仍高。其研判本淨水場所形成顆粒因屬細小顆粒，在流量大穿透率提高所致。

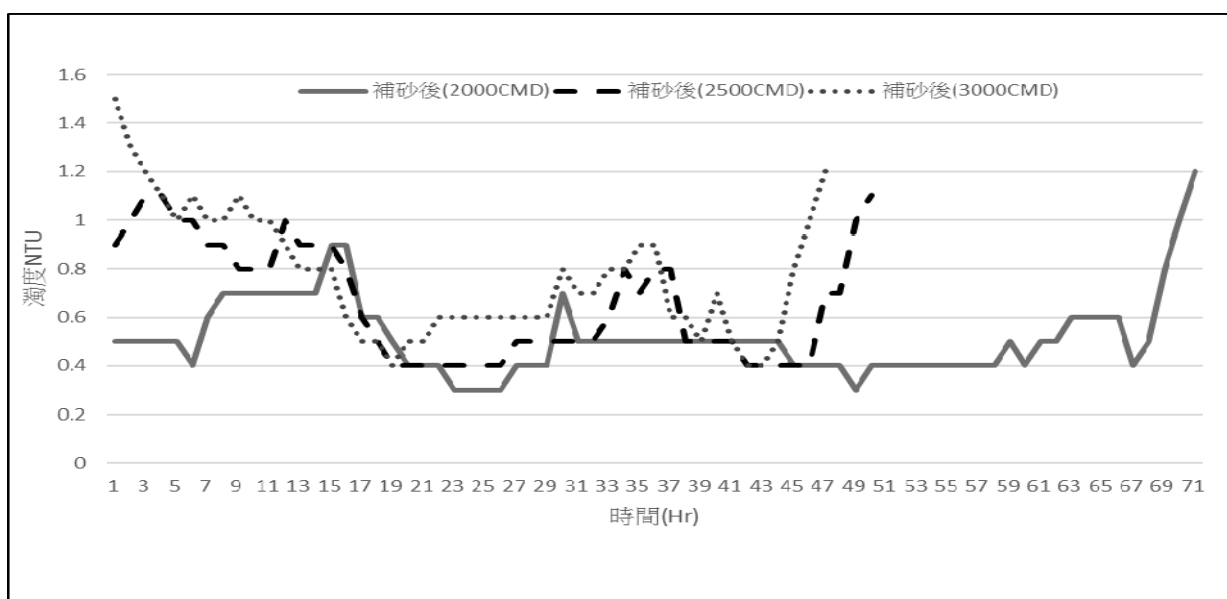


圖 3 補砂後不同進水量下清水濁度變化圖

(三)相同水量及不同濾砂條件下分析

1.在進水量 2,000CMD 時：

在補砂前、後及部分換 10cm 細砂時，快濾桶處理能力比較(圖 4)，其中補砂前後對穿透時間影響不大。惟進水量 2,000CMD 下，補砂後及部分換 10cm 細砂大部分時間均在 1.0NTU 以下，其中部分換 10cm 細砂，清水濁度可達內控值 0.5NTU 以下比例較高，可做為未來補砂參考。

另在補砂後均可需達到穩定水質在 1NTU 以下，可見其補砂之成效，另補砂對其初期穿透率高之改善有其明顯效果，尤其是補 10cm 細砂下，其水質於初期濾水其即有明顯改善。

2.在進水量 2,500CMD 時：

在補砂前、後及部分換 10cm 細砂比較在 2,500CMD 時，快濾桶處理能力比較(圖 5)，其中補砂後過濾時間縮短為 45 及 49 小時。相較於在進水量 2,000CMD 時過濾時間

67 小時，縮短 22 小時，約減少 3 分之 1 過濾時間，惟水量僅增加 500CMD，無法成比例，可供未來操作時參考。

控制進水量 2,500CMD 時，補砂後及部分換 10cm 細砂大部分時間均在 1.0NTU 以下；另部分換 10cm 細砂，其清水濁度大部分時間可達公司內控值 0.5NTU 以下。

在提高水量下，在補砂後可顯見補砂對其初期穿透率改善仍有其明顯效果，尤其部分換 10cm 細砂可快速達到降低濁度目標。但穿透時間縮短，反沖洗次數增加，會相對影響水質穩定性

3.在進水量 3,000CMD 時：

在原設計值 3,000CMD 時比較補砂前後，快濾桶處理能力(圖 6)，其中補砂前後穿透時間相近約 42 及 44 小時，可見補砂對過濾時間並無幫助。另其補砂前後水質狀況亦相近，可見大水量(原設計值)時，其補砂對過濾效果提昇有限。

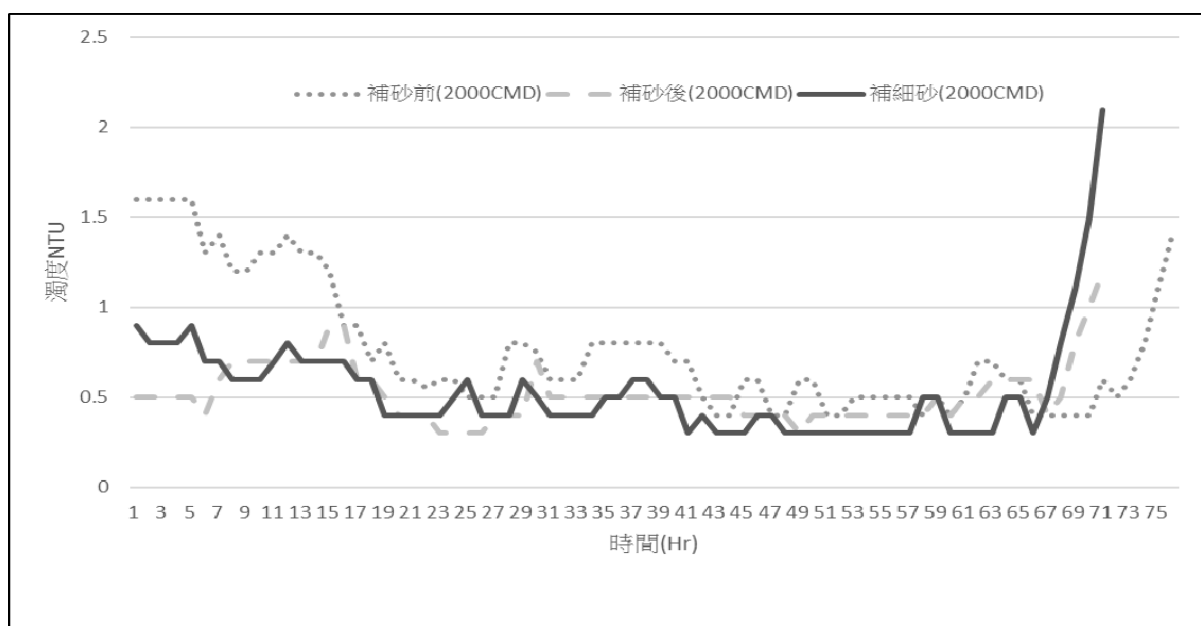


圖 4 2,000CMD 進水量不同濾砂條件下清水濁度變化圖

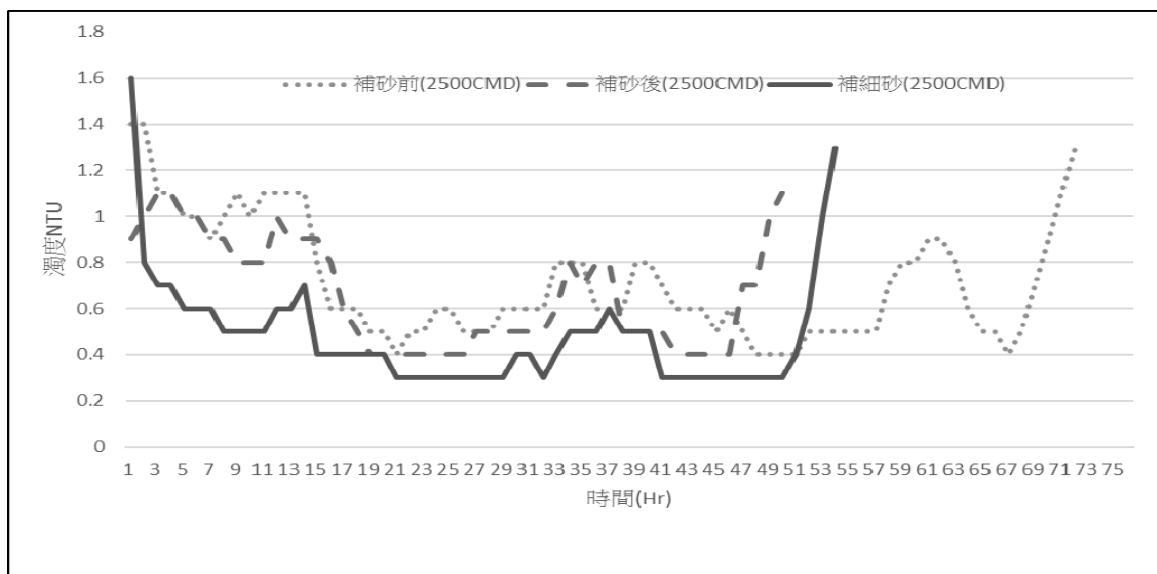


圖 5 2,500CMD 進水量不同濾砂條件下清水濁度變化圖

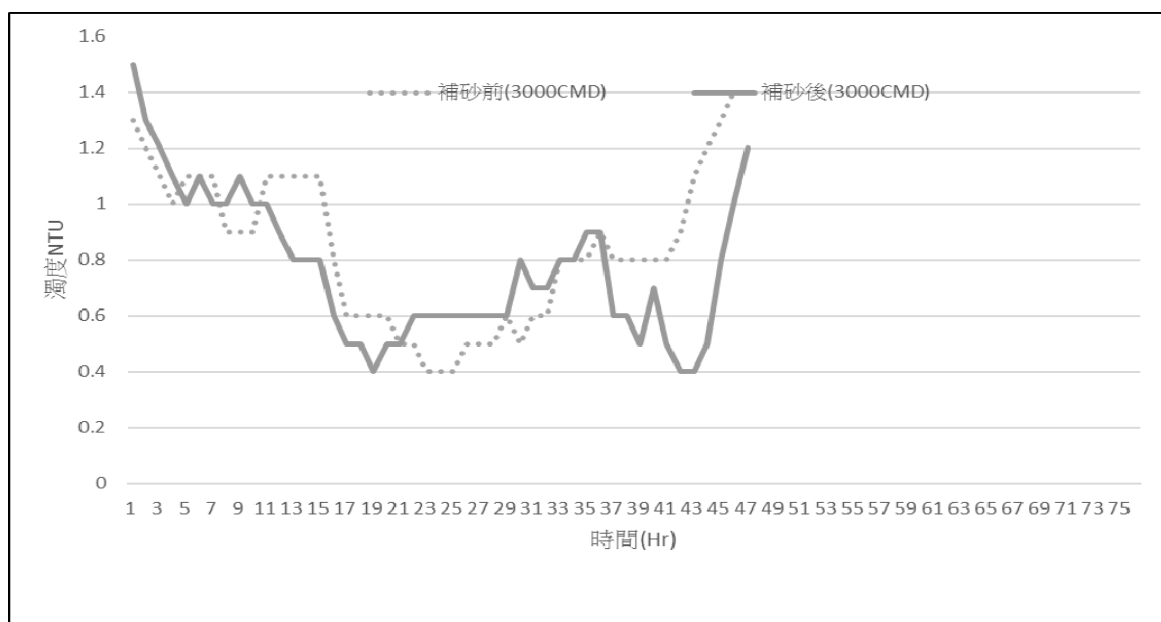


圖 6 3,000CMD 進水量不同濾砂條件下清水濁度變化圖

另大水量(原設計值)下補砂與否對水質影響不大，均超過內控值 0.5NTU，如需達到原設計出水量(3,000CMD)單純以本次實驗方式改善快濾桶濾砂操作，將無法達到公司內控標準。惟其清水濁度仍可達法規標準範圍內，未來操作上如需緊急供水時，仍可做為短期因應策略，僅操作難度較高，可供未來操作時參考。

五、建議與結論

(一)在未補砂情形下(濾砂層約 65cm)，進行不同進水量測試，其過濾水濁度超過公司內控值 0.5NTU 比例偏高。處理水量在原設計 3,000CMD 時，濾程較 2,000CMD 及 2,500CMD 縮短 27 小時，處理能力降低 3 分之 1。在各不同進水量下，清水水質需達到穩定 1NTU 以下，需達 15 小

時，可見其在未補砂情形下初期濾水濁度偏高；未來換補砂時機，可觀察清水濁度達穩定 1NTU 以下時間，做為換補砂依據。

(二)在補砂至正常 85cm 情形下，2,500CMD 及 3,000CMD，濾程縮短為 45 及 47 小時即達反沖洗條件；惟 2,000CMD 仍可維持較長 67 小時。另進水量 2,000CMD 及 2,500CMD 大部分時間清水濁度均在公司內控值 0.5NTU 以下，相較未補砂前過濾效果已有效提昇。故在補砂至正常 85cm 條件下，以 2,000CMD 水量操作，可在符合公司清水濁度內控值標準下穩定操作。

(三)然補砂至正常 85cm 情形下在 2,500CMD 及 3,000CMD 不同進水量下，需達到穩定水質在 1NTU 以下，仍需達 7~13 小時，可見在較高進水量下，其初期過濾水濁度將提高，研判與本淨水場所形成顆粒屬細小顆粒有關。

(四)對於初期過濾水濁度偏高改善，在進水量 2,000CMD 時補砂至正常 85cm 對其改善有明顯效果；進水量增加至 2,500CMD 時，單純補砂至正常 85cm 對其初期過濾水濁度改善有限，實驗結果可採換補 10cm 細砂方式，即可有效改善初期過濾水濁度過高問題，本項可做為不同進水量時補砂方式參考。惟當進水量增加至 2,500CMD 時補 10cm 細砂濾程縮短為 49 小時，相較於進水量 2,000CMD 時濾程 67 小時，約減少約 3 分之 1 濾程，相較處理水量僅增加 500CMD，在未來增加水量操作時，亦需納入操作考量。

(五)如需達原設計出水量(3,000CMD)，單純針對快濾桶補砂，其水質仍無法達到目前公司清水濁度內控值標準，故藉由補換砂改善快濾桶效率成效不大。惟實驗結果清水濁度仍可達法規標準範圍內，未來操作上如需緊急供水時，仍可做為短期因應策略。

(六)所試驗結果顯示，建議未來如需增加出水量或達原快濾桶出水設計，需考量增設混凝沈澱設備，以解決顆粒較小問題。

參考文獻

- 1.台灣自來水公司第八區管理處，金面淨水場快濾桶設計規範，2011年。
- 2.台灣自來水公司第八區管理處，無閥式快濾桶操作教育訓練手冊簡報，2011年。
- 3.台灣自來水公司，自來水設備維護手冊，第2.4.14-1~12頁，2012年。
- 4.莊淨雯、陳振輝，北宜高雪山隧道原水中鐵、錳氧化機構之探討及最適化操作之研究，2008年。
- 5.蔡桂郎，自來水工程計畫與管理，第197~200頁，2011年。

作者簡介

謝挺蘊先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處工程師

專長：淨水操作

胡正文先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處深溝給水廠

技術士

專長：淨水操作

提昇用戶服務效能之應用一 以北水處櫃檯申辦便捷無紙化業務為例

文/周麗娟

一、前言

顧客，是服務品質的決定者，而影響這決定的關鍵因素，往往取決於提供服務第一線櫃檯人員的態度與效率。行政院自 1996 年起推行「全面提升服務品質方案」，改善整體公務機關人員的服務效能，2008 年起由行政院研考會創設「行政院服務品質獎」競賽機制，更大幅度提昇公部門第一線服務機關水準，並塑造許多優質機關，臺北自來水處(以下簡稱北水處)分別榮獲多次政府服務品質特優獎，由此可證明該機關為民服務品質具有相當程度的水準。然面對日益複雜的公共服務環境，為能提供更便利更創新的服務，公部門無論是作業流程，或是工作模式均以用戶導向為設計中心，逐步完成 e 化、m 化，甚至於 u 化。

2010 年美國資訊與影像管理學會 AIIM (Association for Information and Image)調查發現，在服務機制不斷變革與演進中，隨著各種資訊系統的建置，仍需產出大量報表紙張，其中又以日常業務、高頻率面對民眾之第一線櫃檯服務業務申請表單為之大宗，而大部分申請書表列印的主要原因，僅僅只是為了給用戶簽名之用(AIIM,2010)。

溫室氣體減量及降低碳排放量已蔚為對抗全球暖化首要工作，如何在利環境行為中善用資訊化科技提昇工作效能，一直是北水處多年來不變的方針。而最環保的紙張，

即為無紙化，捨棄檔案夾，將現有紙本申請文件轉換成電子數位形式，存放至安全及可信賴的資訊環境中，永久保存。並透過網路傳遞，迅速調閱出所需表單，使管理運用更具彈性，達到省時、省力、省成本、省空間，提高顧客滿意度及企業形象，以完成櫃檯為民服務 e 化之最後一哩路。

關鍵字：櫃檯服務、無紙化

二、研究背景與動機

早在 42 年前 BusinessWeek 便預測市場將進入無紙化時代，然公私部門組織的用紙量卻隨著資訊化程度不減反增，美國辦公室員工每年光影印或列印便消耗約 1 兆張紙，若再加上申辦案件相關用紙，耗紙量將高達 1.6 兆張，這些紙張疊起來的高度相當於聖母峰的 1.8 萬倍(謝汶均，2016)。2013 年 ITD(State of North Dakota Information Technology Department)網站統計，紙張的存儲已佔用辦公空間的 15%。以五個抽屜的文件櫃為例，每年維護單個抽屜的成本約為 436.52 美元，包含固定資產費用、辦公室存放空間、勞動力和其他雜項費用(Flaherty D. Casey & Lovato Corey,2014)。

同(2013)年 Adobe 網站另一篇文獻報告〈瀕危物種的新名單：紙張〉(Is Paper Now on the Endangered Species List?)，該報告係為 Adobe 公司委託市場調查公司 Edelman Berland 進行的研究，針對 1,051 名中、小型

及大型企業的美國經理人進行「紙張對商業、安全和環境的影響」問卷調查；大多數受訪者對於傳統的紙張作業流程具有絕對的負面態度，研究中發現工作上的紙張作業處理已明顯阻礙工作效率並增加人力成本：51%受訪者認為數位化工作流程讓文件歸檔及管理更加容易；61%受訪者表示，數位化工作節省了成本；32%的人認為數位化工作流程給予了他們面對顧客新的優勢，對於業務人員有助於獲得顧客的認同，並增加業務銷售的機會。

然當探究無紙化申請書表時，卻存在著一個矛盾的現象，2/3 的受訪者認為紙張申請書表容易受損，但高達 98%的受訪者依舊信賴紙本的申請書表；特別當企業涉及商業協議或商業交易核心時，需對合作夥伴、供應商或顧客，簽署甲乙雙方契約時，紙本契約的信任度高於電子化契約。其實，這樣的結果主因來自於「紙本簽名才算數」的迷思 (Adobe,2013)。

同樣的迷思也相對印證於臺灣民眾；為配合國家節能減碳總計劃，北水處早於 2012 年推動營業分處無紙化作業，當時係以服務股、抄表股用紙量最高的過戶申請與複查案為重點業務，然礙於當時用戶接受度不高，申辦業務時仍要求紙本簽名，故推行重點只能改以數位保存；也就是將用戶申請案件列印出來，讓民眾用筆簽名後，再掃描成數位影像，轉置為電子檔。這樣方法不但浪費紙張，也很浪費時間，但為能解決紙本文件保存不易的問題，數位保存為當時重點工作。

三、相關研究

不可諱言的，「紙張」的產生，對於人

類文明有其重要的意義，而它本身又具有獨特的便利性，基於上述原因，某些人便將「紙張」視為知識工作的一部分。然耗紙率隨著電腦週邊設備如印表機、影印機成長率而上升，直至 2007 年高峰期後，呈現逐年下降的趨勢。最主要的原因係為近年來，電子數位化、行動載具及雲端運算在市場上快速崛起，改變了人類對於電子檔案的思維，許多企業將傳統的紙本作業改以數位取代，並運用雲端技術存放電子檔案。加上電子簽章法的通過，我們可以發現，國內外愈來愈多行業如電信業者、飯店或銀行櫃檯等均紛紛推行無紙化簽名，而人們的接受程度也越來越高。

(一)電子簽章法概要

為推動電子商務及電子化政府，經濟部於 1997 年委託資策會科法中心進行數位簽章法之研究，並於 2001 年 11 月 14 日明令公布電子簽章法，2002 年 4 月 1 日正式實施，讓電子簽章和親筆簽名同樣具備法律效力，並在電子簽章法的規範下確保數位時代 e 化交易的安全性。

本文首先簡要釐清電子簽章與數位簽章之不同，依據電子簽章法第 2 條第 2、3 項規定，電子簽章係指以電子形式存在，並依附於電子文件及與其邏輯相關，用以辨識電子文件簽署人身份及資格。而數位簽章係以數學演算法將電子文件轉換成固定長度之數位資料，並對簽署人之私密金鑰對其加密，形成電子簽章，並由公開金鑰加以驗證者。兩者製作技術不同，數位簽章運作原理係利用「非對稱型密碼技術 (Asymmetric Cryptosystem)」之加解密技術，而近年來生物科技發達，指紋、聲紋、眼紋、DNA 等用

於鑑別身分的技術日新月異，為避免立法與科技研發相衝突，電子簽章法第 2 條第 1 項將「電子文件」定義為「文字、聲音、圖片、影像、符號或其他資料，以電子或其他以人之知覺無法直接認識之方式，所製成足以表示其用意之紀錄，而供電子處理之用者。」

(二)電子簽章法應用案例

簽名是為了法律的目的，為對記錄或合同進行認證而做出的任何符號。有效簽名依據電子簽章法，係可以任何形態存在例如照相、書寫、用印等等不同方式呈現。電子簽名並不是未來的神話，而且早已出現在你我四周。例如當下流行的感應式(Contactless)交易，只要新臺幣 3,000 元以下消費，使用者自行持卡直接與讀卡機感應，即可完成交易，常見案例如悠遊聯名卡、自助加油站、美食商場、計程車、藥妝店、速食店等等。隨處可見利用數位簽章快速便捷的消費案例。

資訊科技日新月異，行動支付的技術愈來愈成熟，從最早出現的感應技術 RFID(Radio Frequency Identification，無線射頻辨識)，該技術早期係為二次大戰期間辨識敵我雙方戰機所發明，後技術移轉至民間企業，但由於使用成本過高，並未被廣泛使用。直到 1990 年後各項改良感應技術蓬勃發展如採用紅外線訊號進行交易的 IrDA，目前運用於家電遙控器、高速公路電子收費系統(ETC，Electronic Toll Collection)。或應用於手機裝置、手錶、醫療設備、3C 產品等行動支付的藍芽(Bluetooth)技術。或者是日本 Denso WAVE 創制的 QR Code，免付費、網址快速連結，目前已廣為各方應用。還有最近雨後

春筍般出現的 NFC (Near Field Communication，近距離無線通訊)，主要應用於門禁卡、交通或博物館等電子票證、電子名片等結合觀光、消費、導覽之相關應用(洪國峻、張銘洪，2015)，為因應行動支付的普及性，未來行動載具除數位簽章外，將再加上生物辨識如聲紋、指紋等兩道式安全認證，以確保交易安全。

(三)北水處參訪案例－財政部國稅局全功能櫃檯

在北水處傳統櫃檯申辦案件中，櫃檯人員處理用戶申請表單完妥後，須將不同表單交予後端人員協助處理派工或過戶等作業結案，依照日期分類存檔，如遇資料與系統不合時，需人工計算表單數量。為維持資料分類一致性，還需另外製作表單案卷存檔，長年累月，檔案室存放不少表單資料。以 105 年度北水處五個營業分處櫃檯業務為例，從復水、中止、過戶、軍眷優待、櫃檯收費、停水等共計 218,765 件，概估需約 21 萬 8 千張以上 A4 紙張；依照行政院環境保護署臺灣產品碳足跡計算，每張 A4 紙張，排碳量 0.018Kg，總計排碳量 3,938Kg，加上櫃檯申辦業務文書處理作業需人工處理後續歸檔及銷毀問題，及資料輸出所需墨水、碳粉等耗材，可謂相當耗能。

為能提供用戶更高品質、系統化的服務水準，北水處先行參訪臺北市大安地政事務所地籍謄本無紙化、台灣大哥大櫃檯申辦案件及財政部國稅局全功能櫃檯等機關，其中以財政部國稅局全功能櫃檯案例環境架構與本處硬體現況最為貼近。

財政部國稅局共分五個轄區：臺北國稅局、高雄國稅局、北區國稅局、中區國稅局及南區國稅局，單以高雄國稅局全年受理約 70 萬申請案，由此可知，全臺灣國稅局申請案件用紙量高達百萬張紙。該局創公務機關之先，於 2013 年 6 月 3 日起率先使用「電子簽名系統」。

目前該機關整體設備架構於財稅內網內，民眾至櫃檯申請退稅資料查詢，櫃檯服務人員將該民眾申請資料轉至虛擬印表機驅動程式接收後，再行轉置成影像檔案，電子表單自動傳送至平板電腦，讓民眾確認申請項目及收執文件無誤後，另產生簽名欄位供民眾簽名。系統推行初期，遇到最大困難處係為民眾常常質疑，自己單獨簽名檔是否會被移作他用？為免民眾擔心，該局修正作業流程，將現場櫃檯申請表單內容與簽名影像再行結合，並讓用戶確認無誤後，再傳送至資料庫儲存。

四、執行內容

北水處臨櫃申辦案件來自客服中心及五個營業分處共計六處，每處系統環境硬體設備計有拍照式掃描器、簽名版、平台自動掃描器。整體設備架構同樣放置北水處內網，系統依現行資訊軟體為基礎，依據業務需求整合逐步規劃升級。

(一)水費水表營收系統

為求系統完整介面，從系統櫃檯申辦案件表單，歸納為申請類及切結授權類兩部分。申請類表單如中止用水、復水、過戶、軍眷水費優待申請、水費繳納明細申請、用戶遺失(毀損)水表補裝申請、中止委託金融機構代繳、通訊地址變更、不願支付前戶欠

費申請、用戶申請/取消統一編號、消費性用水服務契約、用戶免賠表申請書等表單；切結授權類表單如實際用水切結書、爭議房屋復水切結書、非本人申請授權書等表單。

在資料傳輸速度方面，於六處設有檔案主機，任何一處櫃檯人員處理臨櫃用戶申請案件時，每一張表單均有屬於自己的專屬編號：水號+作業別+存放 IP 位置紀錄，俾利系統資料拋轉、即時上傳歸檔分類，及檔案同步跨區調閱。

(二)現場無紙化作業

依系統流程規劃，將原本臨櫃處理用戶申請案件輸出端，啟動虛擬印表機驅動程式接收，改以簽名板螢幕同步顯示，與國稅局全功能櫃檯不同的是，表單簽名處無需另外呈現，北水處電子表單影像檔與紙本申請表單內容一模一樣，可讓用戶確實感受簽名在自己申請的表單上(如圖 1)。且櫃檯服務人員亦可利用電子式螢光筆強調申請案件上重要文字，提醒用戶需注意事項，以作為日後責任歸屬問題。對於年長用戶，可將文字放大，取代櫃檯老花眼鏡之借用，清楚閱讀文件內容並簽名。



圖 1 北水處櫃檯申辦便捷無紙化現場簽名照片

早期，為留存用戶證件，需將用戶證件拿到後端影印機備份後，再蓋上「限申辦臺北自來水事業處相關業務」，對於小心謹慎之用戶，總會擔心自身證件被櫃檯服務人員拿到後端處理。為節能減碳且讓用戶更放心，櫃檯現場搭配拍照式掃描器(如圖 2)，當著用戶面快速拍照證件，電腦立即產生浮水印。並利用用戶等待案件作業時間，櫃檯簽名板可轉為播放功能，同步播放政策宣導影片(如圖 3)。服務從每一個細節做起，用將心比心的態度感動每一位用戶。



圖 2 北水處櫃檯採用拍照式掃描器將用戶證件數位化



圖 3 政策宣導影片於櫃檯簽名版播放

對於仍需要紙張簽名的用戶或整批歸檔之文件，仍維持原有作業模式，採用自動送紙的掃描器；現行市場上快速掃描器技術成熟，大多具有自動送紙、單頁、多頁單面、多頁雙面掃描等功能；且如遇特殊材質如票據、表單、文件及相片等，亦可掃描成清晰的電子影像，快速壓縮成同一份電子檔上傳至用戶服務檔案管理系統。

(三)用戶服務檔案管理系統

為能簡化掃描人員的作業，採用兼具快速自動進紙及平台高速的掃描機，當案件上傳至用戶服務檔案管理系統時，與水費水表營收系統即時連線，以日期或區間為條件篩選，選擇單筆或批次上傳。且用戶相關附件亦可經由掃描作業系統指定分類後快速掃描壓縮成為電子檔，同步上傳。爾後如有調卷之需要，從 Web 查詢畫面調閱相關文件，自動加上浮水印貼於開啟文件上。

五、執行成效

(一)提升檔案應用效率

紙本申請文件雖普遍為大眾所接受，但卻有著檔案整合與備份不易、儲存空間與保存成本高等問題。且紙張製作申請案件僅能出現一處，一次也只能由一人取閱。而電子檔案具便利性、易搜索、共享、關聯性、複製性、安全性等優勢。申請電子文件可透過資料庫連結，多人同時調閱，資料不受時間與空間的限制。

(二)確保資料安全性與完整性

傳統文件保存，常因天災、人為破壞、環境不佳等因素不易留存，而若將電子檔全仰賴硬碟儲存資料時，當硬碟出現問題時，同樣亦會造成資料的流失。且有時會因科技

進步導致當時作業系統遭受淘汰而檔案不相容無法讀取等問題。故所謂資料的完整性，除確保資料內容的正確與完整外，同樣也需考量日後資料讀取的問題，及存取授權、系統版本、設備、網路通訊等的安全。

為能確保用戶申辦案件的處理、儲存、傳輸等過程中的安全，北水處除重視文件完整的保存性，相關檔案及附件等同步併檔上傳備份外，其作業系統亦規劃同步拷貝。且該處資訊安全管理系統早於民國 93 年建置完備，每年定期通過國際標準 ISO27001 資安驗證，確保管控風險，增加用戶信心。

(三)減紙減碳量

本案已於 105 年底正式上線，以 106 年 1 月五個營業分處申請案件計減少 3,674 張 A4 使用量，櫃檯申辦便捷無紙化業務在紙張使用的碳足跡，計減少 66kg 以上的排碳量。五個分處減少紙張量相當於一個月少砍伐一棵 10 年生的樹木。

(四)提升作業效率

全案施行前本各分處每月須處理約上百件以上之紙本案件，且每日需耗費時間及人力於整卷與歸檔等作業；施行後，縮短櫃檯用戶服務時間，整體服務流程更加透明，提高了用戶體驗，優化了整體作業時間與環境，有效提升櫃檯申辦案件效率與品質，對組織形象有正面效益。

六、結論

早期因公民與政府在公領域，有隸屬現象，公務機關的服務大多以業務為導向，要求民眾配合業務流程來往穿梭；因時代變遷，國家角色的遞變與公民地位的淡化，公領域與私領域之區分逐漸模糊，政府與公民

間的關係，已從統治者與被統治者關係，轉變為企業與消費者關係。近年來，在消費者社會的趨勢下，政府更以臺灣最大的服務業自居，而民眾對於公部門的效率與服務的要求，也隨著資訊科技的進步而不斷「提升」，形成公部門在提供服務的品質與績效上必須不斷改進。

面對這波浪潮，公部門在加強改進與創新各種公共服務的同時，如何真正的以民眾的需求為需求，為現階段各公部門一大考驗。北水處櫃檯申辦便捷無紙化業務，除在利環境中達到友善地球的作為外，更考量用戶洽公的便利性及實用性，合宜調整改造櫃檯申辦業務的程序，並善用資訊科技適時宣導政府施政措施及成效，積極提升機關服務作為與形象，以便捷的服務績效爭取民眾認同，澈底簡化作業流程，達成業務申辦便捷性。

誌謝

感謝北水處吳專門委員能鴻(前任企劃科科長)及資訊室張主任明誠大力建議與指導、企劃科陳二級管理師文彬法律諮詢、資訊室許一級業務員逸宸及業務科專案辦理、與五個營業分處服務股全體配合。

參考文獻

- 1.洪國峻、張銘洪(2015)。未來金流之鑰-感應式金融卡。財金資訊季刊，82，頁10-16。
- 2.財政部國稅局電子簽名系統介紹(2013)，未出版。
- 3.電子簽章法(2001)，2017年3月19日取自全國法規資料庫，網址：<http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=J0080037>。
- 4.臺北自來水事業處(2016)。櫃檯申辦便捷及無

紙化系統建置-系統需求確認書，未出版。

- 5.謝汶均(2016)。無紙辦公室難產－工作數位化才是解方，2017年3月19日取自經濟日報網站，網址：<https://money.udn.com/money/story/6674/2054417>。
- 6.Flaherty, D. Casey & Lovato, Corey(2014). Digital Signatures and the Paperless Office. Journal of Internet Law, 1, 3-12.
- 7.Press Release, Adobe Sys., Inc., Adobe Study: Is Paper Now on the Endangered Species List? (Apr. 3, 2013), <http://www.adobe.com/aboutadobe/pressroom/pressreleases/201304/040313AdobePaperEndangeredSpeciesStudy.html>.
- 8.Press Release, CoSign by Arx, Digital Signature for Sharepoint and other ECMs explored in Research Report by AIIM (May 4,2010), http://www.arx.com/about/PR/PR-Digital-Signature-Surveyby-AIIM_
- 9.State of North Dakota Information Technology Department, “Cost of Storing Paper” (2013) <http://www.nd.gov/itd/service-info/cost-storing-paper>.

作者簡介

周麗娟小姐

現職：臺北自來水事業處西區分處抄表股股長

專長：專案管理、用戶服務

北北桃水源調度運用板新地區供水因應對策探討

文/陳文龍、郭明淑、黃永富

摘要

近年來由於氣候變遷，旱澇情況頻率變高，石門水庫又因淤積加重，時有乾旱情形發生，除供應農業用水外，蓄水量不足以供應桃園及板新地區之公共給水所需，水利署近年推動板新地區供水改善計畫一、二期工程(以下分別簡稱板一計畫、板二計畫)及板新大漢溪水源南調桃園工程計畫(以下簡稱南調計畫)，冀能藉由台北翡翠水庫及新店流域水源，由台北市自來水事業處(以下簡稱北水處)直潭淨水場增加供應板新地區之自來水，以解決石門水庫枯水期水源不足之窘境，並使水資源有效運用及降低自來水公司營運成本。

經統計每年豐水期間(5 月至 10 月)，水源調度以優先取用三峽河及鳶山堰未控流量為原則，其次由石門水庫核配或增配水量；若石門水庫相對庫容量不足時，則向北水處增購支援量。豐水期發生三峽河及鳶山堰為控流量不足情境，石門水庫亦無法增配水量時，板新給水廠(以下簡稱板新廠)則向北水處增購支援量，同時，大湳給水廠(以下簡稱大湳廠)停止取用鳶山堰未控流量，改由石門水庫增配或向桃園農田水利會(以下簡稱桃園水利會)加強灌溉購水，減少向北水處購水量，以符經濟效益及供水穩定；依目前與北水處購水成本，在三峽河及鳶山堰未控流量超越機率 50%時，以大湳廠加強灌溉購水 10 萬 CMD，降低北水處支援量為最經濟，每年約可節省 0.26 億元購水成本。

每年枯水期間(11 月至翌年 4 月)，因各水源未控流量及石門水庫庫容量相對減少，翡翠水庫水源僅供應民生用水，平均每年庫容使用率約一半，相對水資源較充足，購水成本不列入優先考量，故板新廠以向北水處增購最大支援量為原則，惟三峽河及鳶山堰未控流量仍優先取用，使水資源有效利用；大湳廠除石門水庫核配外並向桃園水利會加強灌溉購水，期間鳶山堰若有多餘未控流量，則優先供應桃園地區，以延長石門水庫庫容量在枯水期間之供水需求。

未來板二計畫工程全部完工，板新全部轄區由北水處各支援點調配供水，因板新廠仍需兼負水資源聯合運用增加北水南調桃園供水，及反送北水處緊急供水需求，更彰顯水源調度及供水調配複雜化，建議自來水公司第 12 區管理處(以下簡稱本處)成立配水中心統一調配供水；板新廠淨水處理及供水設備部分已逾 40 年，建議在枯水期間逐年辦理淨水設備更新及老舊管線與瓶頸改善工程，以提升供水穩定度及公司永續經營。

關鍵字：水源調度、未控流量、供水調配、板二計畫

一、前言

(一)研究緣起

本處及本公司第二區管理處(以下簡稱二區處)均須仰賴石門水庫之水源，二區處並需利用農田水利會加強灌溉之餘水，方能滿足轄區用水需求，同時亦需負擔較高之原水費用，除石門水庫之原水費用外，尚包含農

田水利會之圳路使用費，板二計畫一階工程目前已完成，南調計畫工程亦接近完工，目前向北水處購買大量清水之單價亦已降低，如何加強大漢溪及新店溪水源調度，使得購入北水處清水費用增加之同時，亦使本公司原水成本得以降低，實為一重要課題。

近年來由於氣候變遷，旱澇情況頻率變高，石門水庫又因淤積加重，時有乾旱情形發生，除供應農業用水外，蓄水量不足以供應桃園及板新地區之公共給水所需，水利署近年推動板一計畫、板二計畫及南調計畫，冀能藉由翡翠水庫及南勢溪於枯水期間較豐沛之雨量，由北水處直潭淨水場增加供應板新地區之自來水，以解石門水庫水源不足之窘境。隨著上述二計畫將陸續完工，北水處支援本公司之水價亦於 106 年 4 月有新的計價方式，配合水利署水源調度運用之政策，針對北北桃水源調度購水之成本，探討大湳廠及板新廠供水轄區之原水調度方式，因而進行此項研究。

(二)研究目的

配合水利署水源調度運用之政策，擬就水源調度之成本，探討板新廠及大湳廠供水轄區之原水調度方式為研究主要目的；建立板新廠及大湳廠現有水源日後之運用原則，比較各項調度方案之成本及供水穩定度，作為選擇方案之考量依據。

二、文獻回顧

(一)供水轄區背景資料

本處板新供水區域包括新北市板橋、土城、三峽、鶯歌、樹林、新莊、五股、泰山、蘆洲、八里及三重、中和部分地區等十二個

行政區，地區遼闊、人口密集，截至 105 年底總用戶數約 81.5 萬戶、供水人口 208 萬人、需水量 82 萬 CMD，其中工業用水約佔 8.7%；另支援桃園部分地區民生及工業用水約 11 萬 CMD^[1]。

本處轄區內主要由板新廠供水，板新廠為本處唯一大型給水廠，設計出水量為 120 萬 CMD，其水源取自石門水庫核配量經大漢溪放流至鳶山堰及三峽河抽水站共 2 處，其中以大漢溪流域原水供應為大宗，目前板二計畫一階工程已完成，由北水處支援本處轄區設有 6 處支援點，最大支援能力約可達 72 萬 CMD，俟板二計畫二階工程完成後，最大支援能力可達 101 萬 CMD，滿足本處 110 年轄區全部供水需求。

大湳廠設計出水能力 45 萬 CMD，供應桃園市桃園區、八德區、大園區、蘆竹區、龜山區、林口區等行政區域，以及龜山、林口工業區、桃園國際機場等用水，供水人口達 60 萬餘人。大湳廠設有桃園大圳及鳶山堰 2 處取水點，最大取水量分別為 45 萬及 30 萬 CMD，另板新廠支援大湳廠最大支援能力計有尖山加壓站 11 萬 CMD 及南調計畫系統 40 萬 CMD。

(二)相關計畫摘要

依據「北北桃水源運用整體供水調度規劃之研究」^[2]，檢討區域自來水系統之供需情況及配合板二計畫評估供水機制，再透過供水系統管網分析，研擬供水調度管理方案，並訂定常態、枯旱年及特殊緊急狀況供水之聯合調度策略，俾利達成穩定供水之目標。其檢討配合板二計畫共同調度供水機制，提出大漢溪之三峽河水源常態供應板新

第一供水區每日 13 萬立方公尺水量，當翡翠水庫水位在中限以上，則新店溪水源供應板新地區其餘每日 69 萬立方公尺水量，翡翠水庫水位在中限與下限之間，則新店溪水源供應板一計畫供水區每日 47 萬立方公尺水量，翡翠水庫水位在下限與嚴重下限之間，則新店溪水源僅供應板橋、中和分區及蘆洲、三重分區每日 33 萬立方公尺水量，不足水量由大漢溪水源補充。

依據板二計畫一、二階工程之建設，靈活調度新店溪及大漢溪流域水源，供應台北市及新北市地區至民國 110 年計畫人口約 630 萬人及其工商業發展平均日 101 萬立方公尺(最大日 130 萬立方公尺)之用水需求，並就北區整體水資源調度而將原供應板新地區之部分大漢溪水源南調供應桃園地區之用水需求，達成新店溪及大漢溪水源整體有效調度利用為目標^[3]。本處供水轄區設有各型加壓站 80 處，加壓送水以滿足各高地區之正常供水，故板新廠抽水加壓設備及供水區之各中小型加壓站，扮演維持正常供水之重要角色。

(三)各水源之單價

板新廠之三峽河水源每年回饋地方 1,300 萬元，其取用水量無需再負擔原水費；鳶山堰取水量若為石門水庫核配量每度 0.91 元，非核配之未控流量每度 0.455 元。北水處支援清水，目前計價方式在取水量 38 萬 CMD 以內每度 5.62 元(未稅)，取水量超過 38 萬 CMD 以上的部分每度 3.33 元(未稅)計算。

大湳廠在鳶山堰取水計價方式同板新廠，取自桃園大圳每度除支付水利署北區水

資源局(簡稱北水局)0.91 元外，另須支付桃園水利會每度 1.66 元之圳路使用費，合計每度為 2.57 元；當水源不足石門水庫無法增加核配量時，由農田水利會以加強灌溉之方式，提供不足之公共給水所需，則(不含輸水損失)每度水為 3.33 元(未稅)。

三、研究方法

(一)蒐集相關資料統計三峽河及鳶山堰水情，分析各水源及北水處支援量購入成本，探討板新廠及大湳廠水源調度聯合運用，將水資源有效利用並建立合理操作模式並符合成本效益。

(二)探討三峽河及鳶山堰逕流之超越機率 50%-80% 流量，在供水穩定水源調度下，研析各超越機率購入原水成本差異。

(三)依據理想水源調度供水操作模式，探討板新廠未來供水需求，提供板新廠淨水設備及供水管網改善之參考，以提升供水穩定度及水質安全。

四、結果與討論

針對各水源水情分析及水源調度與成本效益探討，理想供水調度分述如下：

表 1 所示，為三峽河逕流之超越機率 50%-80% 之流量(水文分析年限民國 47-104 年)；表 2 所示，為鳶山堰側流量逕流之超越機率 50%-80% 之流量(水文分析年限民國 47-104 年)；表 3 所示，為北水局針對板新廠及大湳廠 106 年度各項用水標的之計畫核配量。

表 1 三峽河逕流之超越機率 50%-90%流量

(單位:CMS)

超越 機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	3.06	3.2	3.31	3.25	4.11	7.37	4.97	5.03	5.27	3.95	3.04	2.62	3.81
60%	2.61	2.52	2.54	2.71	3.15	5.90	3.92	3.98	3.97	3.22	2.53	2.21	3.06
70%	2.19	2.05	2.03	2.32	2.47	4.59	3.12	3.08	3.15	2.58	2.08	1.85	2.45
80%	1.84	1.69	1.64	1.87	1.84	3.57	2.34	2.25	2.55	2.10	1.64	1.57	1.92

表 2 鳶山堰側流量超越機率 50%-90%之流量

(單位:CMS)

超越機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	2.11	2.20	2.28	2.24	2.83	5.08	3.42	3.47	3.63	2.72	2.09	1.81	2.63
60%	1.80	1.74	1.75	1.87	2.17	4.07	2.70	2.74	2.74	2.22	1.74	1.52	2.11
70%	1.51	1.41	1.40	1.60	1.70	3.16	2.15	2.12	2.17	1.78	1.43	1.27	1.69
80%	1.27	1.16	1.13	1.29	1.27	2.46	1.61	1.55	1.76	1.45	1.13	1.08	1.32

表 3 石門水庫核配量

(單位:CMS)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
桃園大圳大滴	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2
大滴加強灌溉	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
下游板新	4.05	3.47	3.13	3.13	2.66	2.66	1.66	1.66	1.89	2.89	2.39	2.39
下游大滴	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
合計	7.63	5.85	5.51	5.51	5.04	5.04	4.04	4.04	4.27	5.27	4.77	5.97

表 4 枯水期間北水處支援量

(單位:萬 CMD)

超越機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	28.4	41.8	43.1	44.0	35.5	15.0	31.6	30.7	25.2	35.8	53.5	49.1	50%
60%	35.0	51.6	54.3	51.8	49.5	15.0	46.9	46.0	44.1	46.5	60.9	55.2	60%
70%	41.1	58.6	61.8	57.5	59.4	28.5	58.6	59.2	56.1	55.8	67.5	60.5	70%
80%	46.2	63.8	67.5	64.1	68.6	43.4	70.0	71.3	64.9	62.8	73.9	64.5	80%

(一)枯水期間情境：

在不增加加強灌溉及計畫核配量下，三峽河及鳶山堰逕流超越機率 50%-80% 平均每月需北水處支援量，如表 4 所示；於超越機率 50% 以上時，北水處支援量超過 40 萬 CMD，可考慮於此期間，石門水庫水情不佳時，不足水量可由北水處增加支援板新轄區，板新廠減少出水量，將鳶山堰流量優先供應大湳廠，則可減少取用加強灌溉之水量。惟本處之購水成本將增加，但對公司而言，因出水量減少，亦可減少些許成本，故增加北水處支援水量每度增加之成本應可小於每度 3.3 元，則相較加強灌溉每度 3.3 元應屬可行。

而於此期間若鳶山堰水位未能提升，而三峽河偶有降雨時，可增加板新廠出水量，透過南調計畫系統將水量送往桃園地區，亦可留存鳶山堰水量，供後續使用。又當枯水期間水量變豐沛時，鳶山堰已可滿足大湳廠所需，則可逐步減少北水處支援量。

(二)豐水期間情境：

此情境北水支援量約在 30 萬 CMD 上下，若能減至 30 萬 CMD 以下，則可減少北水購水成本每度 5.62 元，故將鳶山堰未控流量優先供應本處板新廠，有不足流量時，大湳廠再加強灌溉水量補足；發生水情嚴峻情況時，則仍以增加北水處支援量支應。

根據前述水價原則，由於向北水處購水 38 萬 CMD 以上每度 3.33 元(未稅)係包含本公司第一區管理處每日 8 萬 CMD 之支援量，故計算時以本處需北水處支援量超過 30 萬 CMD 即以每度 3.33 元(未稅)計價，在不增加加強灌溉量及計畫核配量下，三峽河鳶山堰逕流超越機率 50%-80% 需各水源合計金額

以 50% 超越機率考量，全年合計金額(大湳廠及板新廠)約為 9.20 億元，如表 5 所示。

豐水期間增加加強灌溉水量 10 萬 CMD，則需北水處支援水量，如表 6 所示；而各水源全年合計金額為 8.94 億，如表 7 所示；加強灌溉與未加強灌溉購水各水源合計一年約可省下 0.26 億元購水費用支出，如表 8 所示。

故於豐水期間仍建議以減少北水處購水量為原則，由於 6 月份三峽河及鳶山堰側流量之 50% 超越機率水量仍豐，故北水處支援水量以 15 萬 CMD 計，則於此期間當鳶山堰水量不足供應板新及大湳廠所需時，以滿足板新廠為優先考量，大湳廠不足水量可由加強灌溉購水，則每日約可減少 10-20 萬元購水費用支出。

五、結論及建議**(一)結論**

1. 於豐水期間(每年 5 月至 10 月)，依大漢溪、溪店溪及三峽河水情分析，並以企業經營成本效益考量，板新廠及大湳廠優先取用三峽河及鳶山堰未控流量，其次由石門水庫核配或增配水量，若石門水庫相對庫容量不足時，則向北水處增購支援量，以穩定板新轄區供水。
2. 豐水期間三峽河及鳶山堰發生未控流量不足情境，板新廠須向北水處增購支援量時，大湳廠停止取用大漢溪未控流量，改由石門水庫核配或向桃園水利會加強灌溉購水，減少板新廠向北水處購水量；以三峽河及鳶山堰逕流超越機率 50% 計算，增加加強灌溉取水 10 萬 CMD，減少北水處支援量，水源調度費用全年約可節省 0.26 億元支出。

表 5 豐水期間未加強灌溉購水各水源費用合計

(單位:萬元/日)

超越機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	257.1	274.5	276.5	279.3	249.6	155.9	231.1	228.3	201.4	252.0	304.6	315.4	50%
60%	281.6	305.3	311.7	303.8	293.6	151.9	279.3	276.4	271.9	285.6	327.8	334.6	60%
70%	300.7	327.3	335.3	321.8	324.8	224.2	316.0	317.9	309.6	314.9	348.6	351.3	70%
80%	316.7	343.7	353.2	342.6	353.7	274.5	351.9	355.9	337.3	336.9	368.7	363.9	80%

表 6 豐水期間加強灌溉購水北水處支援量

(單位:萬 CMD)

超越機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	28.4	41.8	43.1	44.0	25.5	15.0	21.6	20.6	15.2	25.8	53.5	49.1	50%
60%	35.0	51.6	54.3	51.8	39.5	15.0	36.9	36.0	34.1	36.4	60.9	55.2	60%
70%	41.1	58.6	61.8	57.5	49.4	18.5	48.5	49.1	46.1	45.8	67.5	60.5	70%
80%	46.2	63.8	67.5	64.1	58.6	33.3	59.9	61.2	54.8	52.8	73.9	64.5	80%

表 7 豐水期間加強灌溉購水各水源費用合計

(單位:萬元/日)

超越機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	257.1	274.5	276.5	279.3	239.1	155.9	211.7	206.3	178.3	242.2	304.6	315.4	50%
60%	281.6	305.3	311.7	303.8	293.4	152.0	279.0	276.2	271.7	285.1	327.8	334.6	60%
70%	300.7	327.3	335.3	321.8	324.6	201.1	315.5	317.3	309.4	314.7	348.6	351.3	70%
80%	316.7	343.7	353.2	342.6	353.5	273.9	351.3	355.4	336.7	336.7	368.7	363.9	80%

表 8 豐水期間加強灌溉與未加強灌溉購水各水源費用合計差異

(單位:萬元/日)

超越機率	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
50%	0	0	0	0	-10.5	0	-19.4	-22	-23.1	-9.8	0	0	50%
60%	0	0	0	0	-0.2	0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.5	0	0	60%
70%	0	0	0	0	-0.2	-23.1	-0.5	-0.6	-0.2	-0.2	0	0	70%
80%	0	0	0	0	-0.2	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.2	0	0	80%

- 3.於枯水期間(每年 11 月至翌年 4 月)，因三峽河及鳶山堰未控流量及石門水庫庫容相對減少，則板新廠購水成本不列入優先考量，惟仍以三峽河及鳶山堰未控流量優先取用，其次向北水處增購最大支援量，目前板二計畫二階工程尚未完工，板新廠仍須出水供應三峽、鶯歌及樹林、新莊、土城高地區，未控流量不足時，請石門水庫增配，以滿足現階段供水需求。
- 4.枯水期間，大湳廠不取用大漢溪未控流量，改由石門水庫核配或向桃園農田水利會加強灌溉取水，若三峽河及鳶山堰未控流量增加時，板新廠增加出水量支援桃園地區，大湳廠則優先取用鳶山堰未控流量，以延長石門水庫庫容量在枯水期間之供水需求。

(二)建議

- 1.水源調度聯合運用及轄區供水調配，在水資源有效利用及成本效益考量下，更彰顯複雜化，建議本處配合板二計畫二階工程成立配水中心統一調配供水，以提升供水穩定度。
- 2.板二計畫工程預定 108 年底全部完工，板新地區全由北水處供水，板新廠仍須兼負水資源聯合運用增加支援桃園地區供水及反送北水處緊急供水需求。
- 3.板新廠淨水處理及供水設備部分使用已逾 40 年，建議藉枯水期間逐年辦理淨水設施更新及轄區老舊管線與供水瓶頸改善工程，以提升供穩定度及自來水永續經營。

參考文獻

- 1.台灣自來水股份有限公司，台灣自來水事業重要營運統計速報(105年)，106年2月。
- 2.經濟部水利署水利規劃試驗所，北北桃水源運用整體供水調度規劃，P5-33，105年12月。
- 3.台灣自來水股份有限公司，第二次修訂核定版，板新地區供水改善計畫二期工程計畫，P1-1，101年12月。

作者簡介

陳文龍先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處操作課課長
專長：電力工程技術

郭明淑女士

現職：台灣自來水公司第十二區管理處操作課工程員
專長：自來水工程

黃永富先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處板新給水廠廠長
專長：自來水處理技術、廢水處理

臺北自來水事業處多重屏障防制策略 與自來水品質安全

文/張琰璇

一、多重屏障防制策略

安全飲用水係政府提供給民眾基本生活品質重要指標之一，而臺灣地區水源污染日益嚴重，且地處水資源匱乏地區，在替代水源難覓，新水源開發日益困難，水價亦無法反應實際供水成本並做合理調漲之情形下，自來水事業及其所屬淨水場遭遇諸多操作管理方面之嚴苛考驗，因此，首要目標為持續加強淨水場處理能力，並評估淨水場整體效能，以符合飲用水水質標準，確保提供質優量足且穩定之飲用水。

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)為確保出水水質安全，提供民生優質自來水，積極實施淨水場綜合效能評估，持續進行設備改善，提升淨水效能，同時參考先進國家做法，於淨水處理採用現代化淨水管理新觀念「多重屏障策略(Multiple Barrier Strategy)」，不論原水水質如何變化，各單元仍可依目標操作，確保出水水質安全。同時自行訂定較「飲用水水質標準」嚴格之淨水場出水水質內控標準，利用連續偵測儀器全天候監測淨水場出水水質，隨時使出水均能符合「飲用水水質標準」。

微生物對飲用水中的影響，除細菌性水媒傳染病外，致病性原生動物隱孢子蟲(*Cryptosporidium*)及梨形鞭毛蟲(*Giardia* spp.) (如圖 1)的影響亦日益重要。

隱孢子蟲是一種寄生在哺乳類、鳥類及魚類的人畜共通之致病性原生動物，其外形

呈卵形或圓球形，直徑約為 4 - 6 μ m，隱孢子蟲是屬於頂複合器門(Apicomplexa)隱孢子屬(*Cryptosporidium*)的細胞外寄生蟲。遺傳信息分析指出與其親緣關係最近的是寄生在節肢動物中的簇蟲(*Gregarinasina*)。隱孢子蟲的生命周期比較複雜，包括很難在體外進行培育。在宿主體內，它們一般是以單倍體的多核單細胞形式存在的，被稱之為第一型分裂體(type 1 meront)。這一型的分裂體可以進行無性繁殖，每個細胞核同一部分細胞質結合成裂殖子(merozoite)，之後在細胞內再進行染色體複製，形成新的細胞核和第一型分裂體。這個無性繁殖循環可以一直持續下去。如果外部環境發生變化，隱孢子蟲會轉化為第二型分裂體(type 2 meront)，這時候分裂體會形成大配子母細胞(macro-gametocytes)和小配子母細胞(micro-gametocyte)，二者結合形成雙倍體合子。這是有性繁殖階段，合子再進行孢子生殖，形成含有大量單倍體孢子的卵囊，隨糞便排出宿主體外。

隱孢子蟲的卵囊對外界環境有較好的耐受性，在攝氏 8 度的淡水和海水中可以存活 1 年以上，在零下 20 度的低溫環境下亦可存活。然而臭氧和過氧化氫可以有效殺滅卵囊，零下 70 度的低溫，或者對水進行加熱（64 度 5 分鐘，72 度 10 秒）亦可殺死寄生蟲。感染症狀包括水便性腹瀉、嘔吐、噁心、發燒、頭痛及食慾不振，潛伏期為 4 至 6 天。

梨形鞭毛蟲分佈範圍遍及全世界，是人

類腸道最常見的鞭毛蟲。狀似梨形或橢圓形、雙側對稱的原蟲，直徑約為 7 - 14 μm ，有四對鞭毛，故稱梨形鞭毛蟲。細胞內有雙核，突起的腹面有吸盤，其裂殖體 (trophozoite) 可吸附小腸黏膜上皮，正常情況下並不會侵入黏膜上皮或其他組織。裂殖體以二分裂法複製，在環境適合時形成具感染力的囊體 (cyst)，隨糞便排出體外。已成熟的囊體含兩個裂殖體，有明顯外壁，對乾燥敏感，但可在體外冷水中存活數月。梨形鞭毛蟲症在全世界都可見病例發生，一般的淡水(如湖泊、河流等)中即使水看起來是清澈的，都可檢出有梨形鞭毛蟲。居住在環境衛生較差的地方的人或動物，特別是飲用水沒有經過消毒處理，會有較高的感染風險，多數都是因為飲用了被病原污染的水而發病，而且人跟人之間也會經由糞口路徑而傳播。

所謂多重屏障策略係為降低致病性原生動物隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲等穿透風險，近 20 多年來面臨艱鉅挑戰為水源中發現之隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲，在水中係以孢囊(Oocysts 及 Cysts)型態存在，顆粒極小僅數微米，極易穿透淨水程序，且水處理程序中的加氯法並無法使隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲失活，抗氯性強，傳統淨水處理不易處理，對民眾健康產生極大威脅，因此世界各國多透過修訂飲用水質相關法規或提升處理技術，北水處淨水場自淨水程序膠凝、沉澱、過濾及消毒等單元形成多重屏障防制(如圖 2)，從水源至用戶水龍頭(From Catchment to Customer)間，實施「全流程水質管理」(如圖 3)，形成全流程污染物或致病性微生物入侵或穿透的屏障，降低用水民眾暴露污染物

質的風險，來確保民眾飲用水的安全衛生。另訂定淨水單元及出水水質嚴格管控標準，建立管控機制，落實管理；除要求出水濁度外，亦重視淨水單元水質表現。

以下將針對北水處實施從水源至用戶水龍頭之全流程水質管理多重屏障與自來水品質安全分別敘述說明。

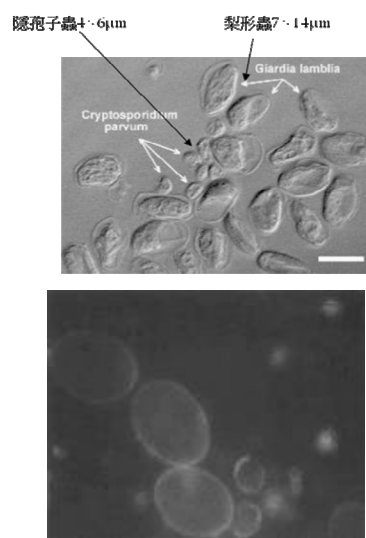


圖 1 顯微鏡下的隱孢子蟲與梨形鞭毛蟲

二、北水處全流程水質管理多重屏障

(一)水源

臺北市水源主要以南勢溪及北勢溪會流之新店溪流域為主(約佔北水處總出水量之 97.5%)，北水處取水以南勢溪自然流量為主，當南勢溪自然流量不足以供應北水處取水所需，則要求北勢溪上游翡翠水庫放水補充。為保護新店溪水源，1979 年申請劃定公告「新店溪青潭水源水質水量保護區」，禁止一切污染行為，其面積計 717 平方公里。1984 年成立專責機關「臺北水源特定區管理委員會」，今隸屬經濟部水利署，更名為「臺北水源特定區管理局」(以下簡稱「臺北水源局」)，加上翡翠水庫管理局(以下簡稱「翡管局」)等其他諸多機關共同努力作好水土

保持及水源維護保育工作。惟近年來北臺灣屢遭颱風等重大災害，如象神、納莉及艾莉等風災，尤其 2015 年 8 月受蘇迪勒颱風侵襲，因短時間強降雨造成新店溪上游流域坡地沖蝕、道路崩塌、土石流、堰塞湖以及淹水等災情，致使南勢溪原水濁度急遽飆升至 39,300 NTU，淨水場持續承受超高濁度原水

及淤泥無法及時清理的窘境，造成前處理瓶頸外，也增加後處理負荷及反沖洗水量，遠超出淨水場處理能力，影響大臺北地區供水穩定及用水品質。為降低風險並確保出水品質，重新檢討修訂淨水處理操作 SOP，採取減、停水處理措施，以減少淨水設備所遭受之衝擊。

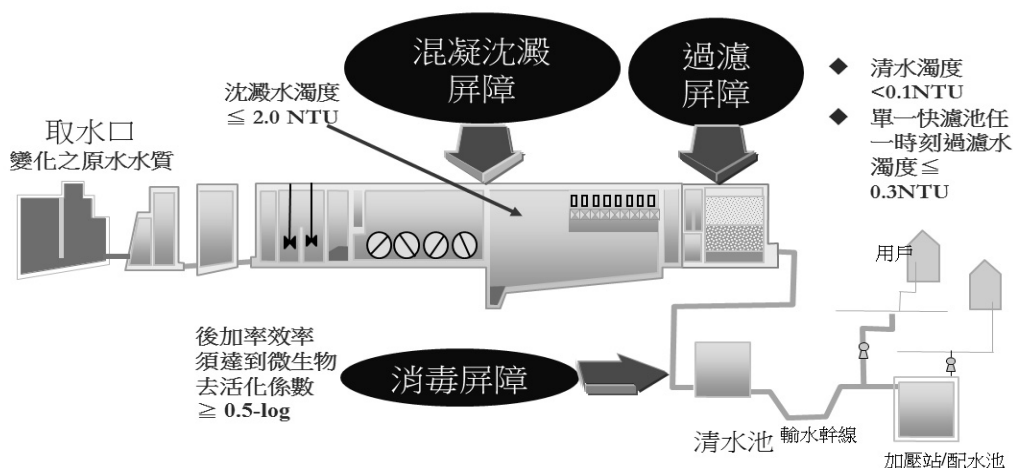


圖 2 北水處淨水場多重屏障水質管控示意圖

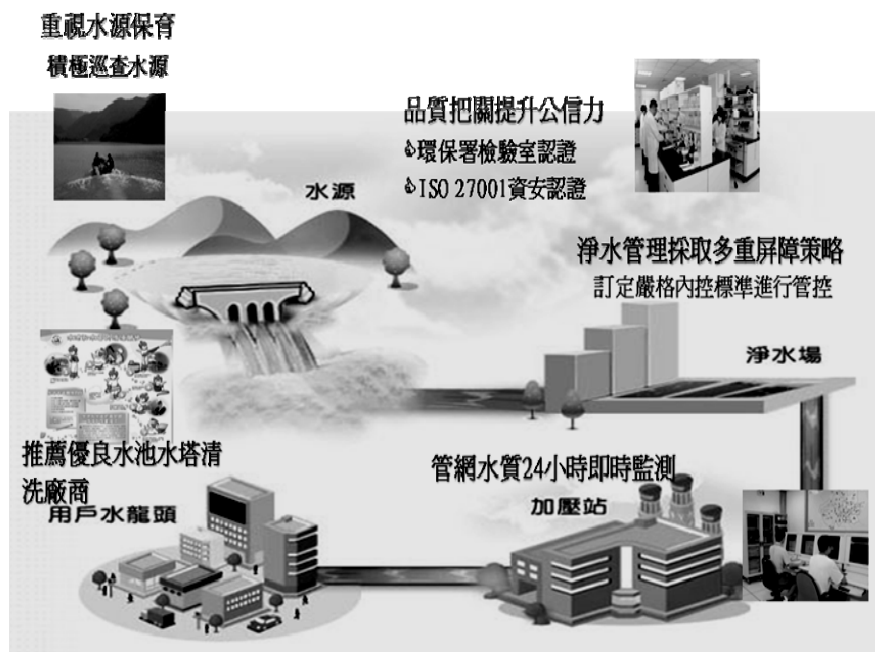


圖 3 北水處全流程水質管理示意圖

另外，因全球氣候急遽變遷，暖化現象日益嚴重，有利於微生物生長，進而影響水質，且隨著社會進步，人為活動漸向河川流域上游擴張，不當開發活動改變地貌、增加土壤流失率、降低水源涵容能力、並產生廢污水、廢氣及廢棄物等，致水源保護地區遭受污染日益嚴重，因此杜絕水源污染將更形重要。近年來新店溪水源主要污染源來自後續增建住宅、烏來地區溫泉及遊憩餐飲廢污水排放等，增加水源污染的負荷，造成淨水場原水偶有大腸桿菌群略高及致病性原生動物檢出之情形，雖仍符合法規標準，淨水場亦能有效予以去除；從水質監測之結果亦可看出水源區中既存社區廢污水處理排放與監督、民眾之守法觀念及稽查水源污染等問題仍尚待加強。

水源保護是確保優良安全水質的第一道屏障，其相關保護工作及落實水源管理作為說明如下：

1. 飲用水管理條例及水源水質標準

為確保飲用水水源水質，提昇公眾飲用水品質，維護國民健康，飲用水管理條例規定在飲用水水源水質保護區或飲用水取水一定距離內之地區，不得有污染水源水質之行為。

自來水事業單位取用地面水(如河川、湖泊、水庫等)及地下水等水體進入淨水場，在未經淨化處理之前，其水質符合飲用水水源水質標準者，始得作為飲用水之水源。但提出飲用水水源水質或淨水處理改善計畫，找尋替代水源、增設處理設備或提昇淨水功能，向行政院環保署申請核准者，不在此限。

2. 強化南勢溪流域治理工作

行政院 105 年 1 月 26 日核定「新店溪上游流域保育治理及區域穩定供水綱要計畫」，分為四大工作區塊，期程共 7 年(104~110 年)：

- (1) 建立流域災害監測預警系統。
- (2) 加速集水區保育治理與管理。
- (3) 加強河川規劃、治理與非工程措施。
- (4) 建構高濁度因應處理及備援能力。

由中央主導與地方共同聯手，跨部會共同推動合作，加速災區復原；劃分整治區塊，由主管機關依權責辦理；中央定期召開會議，進行滾動式檢討管控。

3. 落實權責分工防患未然

北水處權管範圍雖僅水壩蓄水範圍，惟基於關心及愛護水源，及為保障大臺北地區民眾飲用水安全，派有專人巡查新店溪及南北勢溪水源區，並積極協調水源主管機關，加強水源區內污水處理；並配合新北市政府環境保護局辦理烏來地區溫泉餐飲業分流聯合巡查作業，督促相關業者將生活污水與溫泉排放水分流處理；另為落實各項保護水源措施及確保各違規舉報案件能夠徹底執行，自 2015 年起，除定期參加經濟部水利署召開之「水質水量保護區違反管制事項協調會報」，另為進一步快速協調解決水源區水源污染案件，並定期與臺北水源局、翡管局召開「臺北水源特定區管理工作聯繫會報」，期使完全掌控並解決各項可能危害水源水質的因子。

(1) 強化水源巡查效率：

擬訂水源巡查計畫，提高巡查效率。

(2) 溯溪查察追蹤污染：

針對水源區大型社區，溯溪查察確認污染源。

(3)徹底管控違規案件：

- 協同環保及水源管理單位共同稽查。
- 利用水源聯繫及協調會報，嚴控違規案件進度。

(二)淨水處理

原水經取水後，即進入淨水處理程序，淨水處理形成第二道屏障，包括混凝(Coagulation& Flocculation)沉澱(Sedimentation)屏障、過濾(Rapid Sand Filtration)屏障及加氯消毒(Chlorination)屏障等傳統淨水處理程序。

北水處為防制隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲等病原菌之可能污染，參考包括世界衛生組織、歐洲經濟共同組織、加拿大、美國等歐美先進國家及國際組織之水質規範，並自行訂定較「飲用水水質標準」嚴格 10 倍之內控標準，管控淨水場出水水質，利用連續偵測儀器全天候監測，使任何時刻之出水均能符合「飲用水水質標準」。2007 年起將沉澱水濁度內控標準訂為 2 NTU，同時推動「快濾池精緻化操作管理方案」，進行過濾單元單一快濾池出水管控，嚴格管控每一快濾池，任一時刻出水濁度均不得高於 0.3 NTU，避免瞬間之濁度穿透。此外，各淨水場積極實施「淨水場整體效能評估」，針對影響淨水效能之限制因素進行設備及操作管理改善，依「水質管理作業流程」嚴格執行水質控管，2008 年起更以歐美等先進國家出水濁度管制目標「95%小於 0.1 NTU」作為營運目標。

由於隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲常存在於表面水源中，因此，採用表面水源及傳統淨水處理程序之淨水場應先透過評估整體處理效能，以瞭解既有之硬體設備、管理、操作及維護是否有不足而須加以改善之處。

有鑑於臺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，除藉由降低化學混凝加藥量並減少化學淤泥產量，降低水頭損失且增加過濾池濾程，提升消毒效率及降低消毒副產物生成量，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。因此除了北水處轄下淨水場積極實施「淨水場整體效能評估」外，經濟部水利署自 2003 年度起援引美國環保署（US EPA）所訂之『綜合效能評估』技術（Comprehensive Performance Evaluation, CPE），依據其管理、操作、維護及水質要點，並參考國內工業區污水廠評鑑制度、焚化廠績效評鑑制度及自來水事業單位績效考核制度及委託國立臺灣大學嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心辦理「自來水淨水場操作管理評鑑制度之建置」計畫，逐步擘劃適用國內淨水場績效考評之評鑑制度，並研擬「自來水淨水場操作管理績效評鑑作業要點」。藉由相關權責主管機關代表及外部專家學者共同組成之淨水場評鑑委員會與合理規劃之評鑑表單之績效評鑑；相關評鑑結果提供淨水場做為追蹤考核營運管理效益之客觀標準，作為淨水場工作人員持續改善之方向，並針對淨水場管理、操作、維護及水質檢驗品質進行查核，以健全監督管理制度，協助單元處理功能提升與淨水場整體績效改善，促使場內工作分工與資訊公開、透明化，俾利於環境管理與責任中心制落實，並讓民眾了解淨

水處理過程之繁雜性及重要性，間接重視節約用水。

2006 年北水處轄下公館淨水場於經濟部水利署「淨水場操作管理評鑑」全國 18 座淨水場中榮獲為最優淨水場，2007 年於全國 20 座淨水場中再次榮獲為最優淨水場(如圖 4)。2008 年長興、公館及直潭淨水場於全國 25 座淨水場中囊括前 3 名(如圖 5)，成績斐然。



圖 4 北水處公館淨水場榮獲最優淨水場



圖 5 長興、公館及直潭淨水場囊括前 3 名

1. 混凝沉澱屏障

淨水處理的骨幹-淨水處理流程中，混凝、沉澱、過濾及消毒，其有效的配合方足以達成水質淨化，及有效防止水媒疾病的目標；其中居首要步驟的「混凝(coagulation and flocculation)」，對整體淨水處理的效果，具有關鍵性的影響。所謂混凝係指於淨水處理中，向原水加注混凝劑，以破壞水中膠體顆

粒之穩定狀態，在一定的水利條件下，藉膠體間及和其他微粒間之相互碰撞與聚集，形成易於從水中分離的絮狀物質－膠羽(floc)之過程。

為防制隱孢子蟲等病原菌之可能污染，參考包括世界衛生組織、歐洲經濟共同組織、加拿大、美國等歐美先進國家及國際組織之水質規範，2007 年起將沉澱水濁度內控標準由 3 NTU 調降為 2 NTU。

由於隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲孢囊細胞膜表面帶負電荷，可易由傳統淨水處理混凝沉澱單元中之電荷中和機制凝結沉降。

2. 過濾屏障

傳統淨水程序中，除於適當加藥點加入適當混凝劑量，使原水產生有效混凝及沉降作用外，過濾係最終把關之單元，亦為最重要控制水質的單元，為淨水操作的心臟。

由於防制病原性微生物要點為無論原水水質如何變化，任一時刻過濾水濁度均能維持在 0.3 NTU 以下，故蒐集過濾水連續數據(每一濾程過濾水濁度、濾程、每次反洗操作歷程及水頭損失等)益加重要。快濾池一般若於濾程初期出現不良狀況，大部分為不良加藥混凝或反洗操作程序不當所致；若於濾程中段出現不良狀況，可能為水力負荷條件改變所致；若於濾程末段出現不良狀況，則可能為濾床過度操作造成濁度穿透，反洗選擇時機不佳所致，故有必要針對快濾池設備(包括濾速控制、濾料及濾床支撐與集水設備等)及操作(包括蒐集連續數據、評估水力負荷、落實目視檢視與紀錄及反洗操作最佳化等)進行詳細診斷、體檢與研討，達成精緻化操作方式，方能避免病原性微生物穿透，以降低其對公共給水帶來之威脅。

經多項研究，快濾池出水濁度若達 0.1 NTU，對孢囊的去除率最佳，傳統處理出水濁度可達 0.1 ~0.2 NTU，亦即達到 Giardia 3.0 log 的去除率，因此，在快濾單元中，透過降低出水濁度可有效提升去除率。有鑑於快濾池瞬間濁度穿透可能來自反沖洗砂操作，並受濾料狀況及水量負荷變動影響，因此自 2007 起推行「快濾池精緻化操作管理方案」，除建立管理機制、訂定標準作業流程及快濾池基本資料外，要求每一快濾池於每一濾程中，任一時刻過濾水濁度不得大於 0.3 NTU，若有超出者即檢討發生原因，以防範再次發生，快濾池精緻化操作實施方式摘要說明如下：

- (1) 進行人員教育訓練，重新建立新操作觀念。
- (2) 建立快濾池設備維護管理制度，俾利掌握判斷設備狀況。
- (3) 定期檢視快濾池設施，以瞭解設備可能缺失，並尋求改善。
- (4) 表列濁度穿透可能原因，研擬「快濾池效能診斷標準作業流程」，俾利判斷及改善。
- (5) 訂定個別快濾池出水管控流程及檢討機制。

3. 消毒屏障

飲用水中微生物，細菌雖經混凝、沈澱、過濾等程序，仍無法完全去除，因此消毒係非常重要的處理程序，自來水消毒雖可採用臭氧、氯氣、紫外線等方式達到滅菌的目的，惟最有效且在配水管中仍可維持延續性消毒能力，以避免輸送及儲存過程中二次污染發生者，僅有加氯消毒，因此加氯消毒

在歐美淨水場仍被普遍利用。

在加氯消毒單元中，若欲將孢囊有效去活化，則須提升其 CT 值。消毒劑對特定微生物之消毒效率可以消毒劑濃度(C)與接觸時間(t)之乘積表示，單位為 $\text{mg/L} \cdot \text{min}$ 。在相同水溫及 pH 值下，CT 值愈大消毒效率愈高，反之則愈低。

(三) 管網

經過第二道屏障淨水處理後之優質自來水，可能會因管線輸送及配水池儲存過程中造成水質劣化或二次污染情形，自來水管線埋入地下後可能隨著時間老化鏽蝕而逐漸漏水，除流失寶貴水資源外，亦會影響用水品質，如鏽水滲出、壓力洩漏等，當停水時民眾若繼續抽水將會造成負壓污染現象等，因此須透過管網維護及操作手段，形成確保水質的第三道屏障。

1. 確保管線中水質及水壓

- (1) 為確保輸送過程中持續的消毒能力及生物穩定性，應維持管線任意點適當餘氯量均控制於 0.2 mg/L 以上。
- (2) 為避免產生水壓突波(Surges)及管中管垢等沉積物因流向流速改變而揚起，致污染影響水質及用水觀感，任何時刻應監測及維持重要供水代表點水壓為正水壓(Positive Pressure)，並控制抽水機之啟動及關閉，開關制水閥採緩慢多段開關。

2. 降低在管線或配水池之滯留時間

管線設計時應注意使其形成迴路(Loop)，避免形成單向盲端(Dead End)，以增加用水循環與水質新鮮度；配水池設計時應增加新鮮水替代率，原則以每 3 ~5 天替換新鮮水 1 次，以有效控制滯留時間(Detention

Time)，避免影響水質安全。

3.汰換不適管材及進行施工排水消毒作業

- (1)為避免因管材溶出毒性物質或嚴重鏽蝕產生微生物等影響水質，須有計畫地進行汰換早期鋪設之鉛管及鑄鐵管等材質不佳或滲漏管線。
- (2)為避免因汰換或新設管線施工時周圍土壤、砂石及污水等進入管線內，造成水質污染，因此，應於管線施工後，確實進行施工點周圍管線排水及消毒作業，以降低對水質之衝擊及影響程度。

4.24 小時即時監測水質

為確保管網水質及飲用水安全衛生，北水處線上水質監測系統及水質檢驗室分獲 ISO 27001 資安認證及環保署檢驗室認證，頗具公信力及值得民眾信賴，努力維持品保品管認證能力，嚴謹可靠為水品質把關，透過建立完善之檢驗制度，擬定水質嚴密採樣檢驗與 24 小時即時監測水質計畫，採樣點涵蓋整個系統，檢驗項目均符合法規規範。此外，藉用戶水質異常案例申訴服務之追蹤探討，回饋作為改善用戶水質及操作管理之參考。

(四)用戶水龍頭

自來水原本安全衛生無虞，由於供水管網系統之水壓較低，為避免用水量不足，大部份用戶均設置水池水塔等用水設備，惟如用戶的用水設備設計不當不符標準時，或未定期清洗與維護、管線老舊或使用不當等，甚或因地震造成管線破損或因房舍改造成管線錯接等，均可能發生自來水二次污染問題，而用戶常在不自知的情況下，把水質責任歸咎於自來水水質。為因應其可能會形成用戶用水前最後一個污染來源，北水處推

出相關措施，作為確保水質的最後一道屏障。

- (1)持續呼籲民眾定期檢查及清理水池水塔，輔導及推薦優良水池水塔清洗廠商供其選用：水池水塔是維繫用水品質的重要關鍵，為確保用水安全及水池水塔清洗品質，持續辦理「水池水塔清洗服務」專案，開辦清洗水池水塔專業訓練講習班，篩選合格業者，提供用戶更有保障、更安全的選擇，並適時檢查用水設備。對輔導的業者進行不定期抽查公布廠商清洗服務資訊及滿意度，以供用戶參考選擇。
- (2)持續推動「台北好水服務」，協助民眾建立自主維護管理制度及檢查用水設備：臺北的自來水經過嚴謹的淨水處理與流程監控，自來水水質符合飲用水水質標準，直接飲用安全無虞。惟民眾仍缺乏「自來水可直接飲用」的認知與信心；由歷年用戶水質申訴資料分析顯示，水質異常之原因，大部分為用戶用水設備不健全造成間歇性污染或未定期清洗維護所致。鑑此，北水處賡續推動「台北好水服務」，台北好水檢查項目分為水質及用戶用水設備等 2 項，當用戶水質檢驗及用戶用水設備等 2 項均合格，則頒發「台北好水標章」。獲頒「台北好水標章」之處所，應落實設備自主管理，定期進行水質檢測及用水設備清洗維護，並將「台北好水標章用戶自主維護管理」相關檢查表回傳備查；北水處每年進行抽查，其結果未符合規定，且未於限期內改善者，將終止標章之使用權。

另開發台北好水行動工具(APP)，透過行動

裝置應用，將用水設備檢查之現場資料即時記錄並回傳，減輕現場人員作業及避免資料誤植，相關作業資料經由資訊化管理，隨時進行資料分析及查詢，有助於後續資料研析及服務方針調整，確實提升績效。

(3)有效預防錯接(Cross Connection)污染：「錯接」又稱「混接」，係指自來水系統因連接或構造上的缺失，致與其它任何非自來水系統連接，而產生回流現象，使污染物質可經由此回流進入自來水系統的現象。錯接除管線系統的直接錯接外，甚多是屬於用戶設備與未經檢驗認可之其他已污染之水源或水管連接的情形，或用水設備設計不良的間接錯接，透過訂定用戶用水設備相關規範與審驗實施，使自來水供水系統能與污水系統及防火系統等完全隔離，有效防止污水及防火系統等的水回流污染自來水系統。

三、結論

水是構成生命的三要素之一，亦是維持生命所不可或缺的物質，人類的文明發展與其他環境生態系統之運作皆離不開水資源，自來水更為民眾日常生活的必需品。因自來水產業扮演著環境衛生與經濟發展的重要角色，飲用水水質安全一直是世界各國政府與民眾所關心的重大問題，飲用水與民眾健康息息相關，世界各先進國家均將提供品質優良的飲用水，視為維護大眾健康的重要工作。

優良之水質端賴於完善之水質管理，為因應日益嚴苛的挑戰，北水處自淨水程序混凝、沉澱、過濾及消毒等單元形成多重屏障

策略，從水源至用戶水龍頭間每一環節實施全流程水質管理，形成全流程污染物或致病性微生物隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲等入侵或穿透的屏障，並導入風險評估及風險管理的作為，大幅降低用水民眾暴露污染物質的風險，確保及提供民眾質優量足、安全衛生、可口適飲的飲用水。

參考文獻

- 1.薛志宏，自來水快濾設備功能自我評估方法探討，中華民國自來水協會會刊，第50-57頁，2001年5月。
- 2.薛志宏，自來水質的確保—多重屏障策略，水資源管理會刊，第41-47頁，2008年12月。
- 3.蔣本基、張怡怡、張育誠，建置自來水淨水場最佳化操作管理策略，中華民國自來水協會會刊，第57-66頁，2009年8月。
- 4.林正隆、吳美惠、施茂林，自來水品質安全與風險防控，中華民國自來水協會會刊，第31卷，第3期，第31-41頁，2012年8月。
- 5.薛志宏，自來水質的確保與提升—北水處的多重屏障策略，水利土木科技資訊，第60期，第46-54頁，2014年12月。

作者簡介

張琰璇先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師

專長：化學工程、環境工程、淨水處理、自來水工程設計及施工

有效提升災害應變停、復水作業效率之方法探討

文/王興舜

一、前言

近年來氣候異常快速變遷，風災、豪雨、旱災等規模亦有逐年加劇之趨勢，導致水庫或河川水質及水量均有逐漸惡化情勢，氣候差異性已日漸趨向極端化，這正是我們無可避免及刻不容緩的主要課題。

(一)全球各地氣候變遷危機

氣候變遷諸多危機中，尤以缺水後果最嚴重，據媒體刊載 WMO 秘書長 Michel Jarraud 曾說：「談到氣候變遷我們往往只想到氣溫問題，但是受氣候變遷影響最大的其實是水循環，水資源壓力地區所受衝擊更嚴重。」目前在水資源稀少地區約有 16 億人居住，專家推測 2025 年可能將增加到 28 億人。地球若持續暖化，非洲、中東和亞洲大部份地區受創將最嚴重，數億人將被迫遷徙。根據聯合國預測，全球人口迄本世紀末，將從現在的 73 億增加至 112 億人口，大部分在非洲增加，全球人口增加將使得問題更惡化。

(二)全球各地水資源危機

全球各地水資源問題已經逐漸浮現，巴西聖保羅曾號稱有毛毛雨之城，2015 年稍早，乾旱嚴重到居民開始鑽地下室和停車場地面，試圖取得地下水。加州州長布朗(Jerry Brown)要求各城市減少用水 36%，否則將受罰。世界氣象學會(World Meteorological Society)警告：「全球暖化將導致全球未來糧食短缺，水資源減少也將造成人類大規模遷徙問題。」^[1]

(三)國內氣候變遷及水資源危機

綜觀國內情勢，尤其是 2015 年年初，台灣更遭逢了 1947 年以來僅見最嚴重的乾旱，以桃園市為例，水資源各相關單位均共同歷經石門水庫水位 2015 年 3 月 20 日已達最低水位 217.8M，已與石門水庫運用要點所訂定之 5 月嚴重下限 210M 相當接近，足見其嚴重性，而自來水公司第二區管理處於執行面進行檢討改善策略，例如將供水區模糊地帶逐一釐清，以利正確通知停水戶，又復水期間沿線排水排氣作業須關注空管致水壓、水量控制閥失靈、謹慎處理避免發生民眾誤會及新聞媒體負面報導等問題。因水資源缺少之嚴重性，及其再現性頗高，實有進一步探討研究之必要，以期研究結果能提供相關各單位作為後續類似地區災害應變策略制定、整備工作、應變執行等之參考，進而探討有效提升災害應變停、復水作業效率之方法。

二、文獻探討

(一)供水轄區現況資料

本處供水區域為桃園市全區、新北市林口區，並支援新竹湖口、新豐用水約 2 萬 CMD 及新北市五股、泰山等地區用水約 3000CMD，並由板新淨水場送尖山中繼加壓站支援桃園市桃園區用水約 10.7 萬 CMD，詳見圖 1 桃園地區自來水供水區域。

近年人口驟增，用戶成長快速已超乎預期需水量，2015 年現有輸水幹管或配水管輸、送水能力已明顯不足，工業用水約占

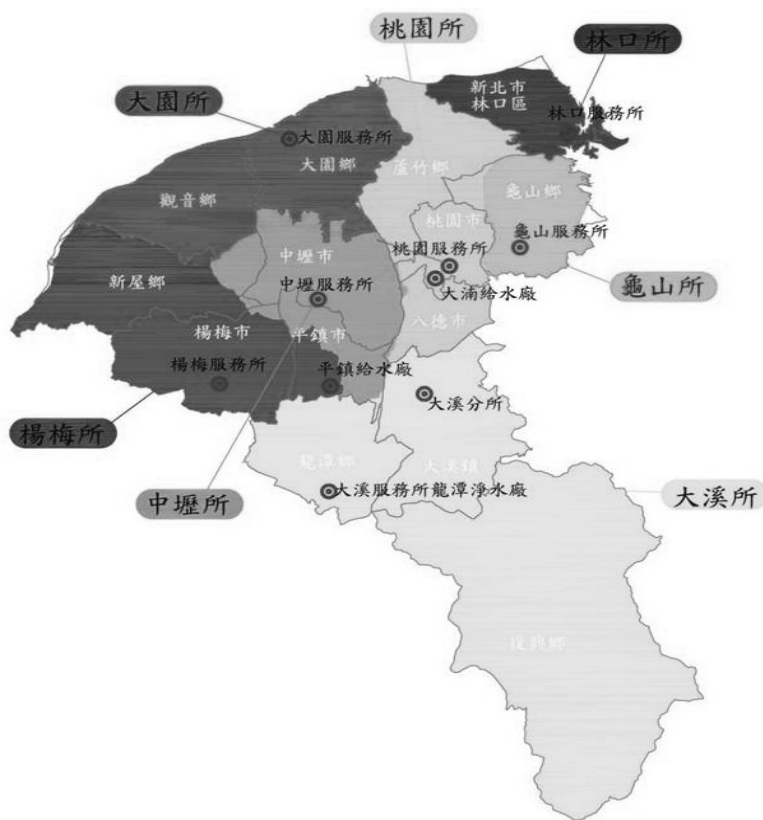


圖 1 桃園地區自來水供水區域

表 1 淨水場處理能力及供水量相互支援情形

淨水場 名稱	原水來源	設計出水量 (CMD)	出水量 (CMD)
平鎮淨 水場	石門水庫 後池	60 萬	50 萬
大湳淨 水場	大漢溪及 桃園大圳	45 萬	36.4 萬
石門淨 水場	石門水庫 取水隧道	12 萬	10 萬
龍潭淨 水場	石門水庫 取水隧道	19 萬	13 萬
供水量 小計		136 萬	109.4 萬
板新 支援	10.7 萬	支援新北市 五股、泰山	0.2 萬
支援新 竹縣湖 口、新豐	1.1 萬	總供水量	119.1 萬

36%(迄 2016 年 7 月止 37%);民生用水占 64% (迄 2016 年 7 月止 63%);供水戶數: 767,372 戶 (工業用戶 3,298 戶) (迄 2016 年 7 月止 839,233 戶);供水總人口:2,017,403 人(迄 2016 年 7 月止 2,019,099 人);供水普及率: 94.96 % (迄 2016 年 7 月止 95.23%), 2014 年未實施限水前平均供水量為 119.1 萬 CMD, 包括板新淨水場支援供水量 10.7 萬 CMD, 迄 2016 年 7 月止為 115~120 萬 CMD(詳見表 1)。

(二)桃園地區自來水水源運用情形

桃園地區自來水水源運用情形，包括石門水庫地表水：每日約 110 萬 CMD(約佔 99.79 %)，大溪、復興及清水坑之山澗伏流水：每日約：0.24 萬 CMD (佔 0.21%)，桃園地區並無取用地下水源(詳見圖 2)。

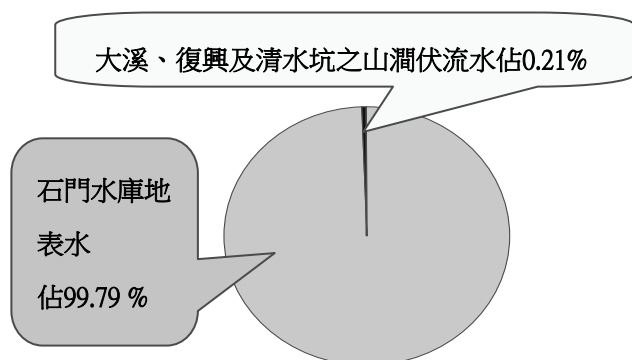


圖 2 桃園地區自來水水源運用情形

(三)調配水資源的決策時機

由於台灣地區降雨季節性差異明顯，水庫庫容常因地形或人為因素造成無法有效儲蓄水源，每逢枯水期時若降雨量持續偏低，水庫水位也隨著驟降，在乾旱期間往往調用農業用水以支援民生及工業用水，對農業經濟造成很大的損失，2015 年年初台灣遭逢了 1947 年以來僅見最嚴重的乾旱，以桃園市為例，乾旱時期北桃園全面休耕停灌即是活生生的實例。乾旱發生緩慢且不易察覺，當面臨威脅時，往往已錯失最佳調配的時機，管理水資源已成為現今重要的議題，已有 2015 年年初因應乾旱經驗，日後須利用氣候預報資訊，預先在乾旱發生前掌握未來供水與用水情勢，並考慮不同的供水策略與補償措施，例如市區公園底部興建大型蓄水池、深井等，更是刻不容緩的，惟取用方式或水源之適用性則須再召集相關單位集思廣益。根據科技部「2011 臺灣氣候變遷科學報告」指出，臺灣遭受的「極端降雨」在近 10 年來較之過去 30 年增加一倍以上，幾乎年年都有因豪雨所造成的嚴重災害，主因排水系統無法即時排出積水，因此增加「都市滯洪空間」以調節洪水，便是有效益之調適工法，各地排水系統設計已大量運用，亦可

納入備用水源範疇^[2]。國內已有相關研究，例如利用中央氣象局發佈之季長期天氣展望資料，再選定歷史乾旱年 2002 年、2003、2011、2015 年等做為研究年份，進行石門水庫之供水評估。過程中結合預報與氣象資料合成模式(WGEN)，繁衍出符合預報趨勢之未來溫度及雨量資料，再投入水文模式(GWLF)中，模擬研究區域內各集水區之入流量，進一步帶入以系統動力模式軟體(Vensim)所建立的大漢溪水資源系統動力模式，以求得各標的用水每旬可能發生缺水率，評估農業用水可能的休耕面積與補償金額，為探討氣候預報之最佳策略。結果顯示季預報有一定的可信度，當預測機率最大區間命中實際區間，可提早掌握乾旱先機，提供決策者做出適當的水資源調適措施。

(四)國內近年乾旱案例

最近一次的大旱出現在 2002 年，全台分區供水的大旱，台灣人並不陌生，全年雨量只有 1500 毫米，比平均少了 1000 毫米。當時石門水庫幾近無法出水，翡翠水庫水位也降到 120 公尺，瀕臨呆水位 110 公尺，台北市更進入第三階段限水，分區輪流供水，每區一週停水三天，旱象持續至端午節的龍舟賽，突然下起大雷雨，戲劇性地結束了台北的苦難。不論缺水或多水，「水」已成為世界共通的難題。2016 年 1 月的世界經濟論壇，是近十年來「水」首次躍上衝擊人類最深遠的首要危機^[3]。回顧 2015 年初乾旱時期歷史，石門水庫水位至 3 月 20 日已達最低水位 217.8M，與 2011 年 5 月 11 日曾遭逢乾旱水庫最低水位 216M 非常相近，與石門水庫運用要點所訂定之 5 月嚴重下限 210M 相當接近，可見當時狀況嚴重性。

(五)國外近年乾旱案例

2013 年加州即曾遭遇嚴重乾旱，2014 年 1 月開始進入乾旱緊急狀態，並堪稱百年大旱，情況危急，據統計自 1 月至 5 月間發生約 1,100 多起山火，更加速水源枯竭，美國民主黨加州州長傑瑞布朗 (Jerry Brown) 宣布採取部分區域限水，幫助企業與民生用水更加順暢。加州 2015 年 8 月旱情嚴重，當地的湖泊、水庫水位都創下歷史新低(如圖 3)，可見諸一斑。



圖 3 加州沙斯塔湖 2015 年 8 月的乾旱情況(摘錄自 Getty Images) [5]

美國地球物理聯合會 (American Geophysical Union, AGU) 當時發佈一項研究報告，加州正經歷 1,200 年來最嚴重的乾旱(如圖 4)，報告中指出在過去的紀錄中，加州曾有 6 次的乾旱嚴重於今年，甚至曾在 3 年間傳出 37 次旱災。



圖 4 加州奧羅維爾湖 2011 年 7 月與目前之比較圖 (摘錄自 Getty Images) [5]

三、災害策略制定、整備、執行方式

(一)災害緊急應變組織任務

- (1) 依據台水公司總管理處轉達中央災害應變中心與經濟部災害緊急應變小組之指示，配合辦理災害預防與應變工作。
- (2) 召開區處緊急應變小組會議，以掌握即時狀況及加速應變處理。
- (3) 區管理處設立災害緊急應變小組，蒐集轄區內各廠所停水戶數、無水件數、破管修復、計畫性停水施工進度、原水濁度、水文、蓄水庫現況及災情等資訊，依據「台水公司各類災害及緊急事件通報作業規定」彙整供水設施災情，向上級通報之。
- (4) 得視災情狀況指派相當層級人員，前往受災單位督導及協辦緊急應變事宜。台水公司總管理處，特 105 年 12 月 23 日頒訂「重大災害事件設置前進指揮所作業要點」據以施行。

(二)遭遇缺水或乾旱之供水、停水策略制定及分析

乾旱時期第三階段之自來水停止及限制供水執行計畫政策研擬依據，除須依據經濟部 105 年 2 月 18 日修正發布「自來水停止及限制供水執行要點」辦理，另須依據台水公司總管理處頒佈「乾旱時期停止及限制供水執行標準與措施作業要點」，並持續配合經濟部水利署水情滾動式管理機動因應。依據「自來水停止及限制供水執行要點」第 2 點停止及限制供水措施，分為第一階段(減壓供水)、第二階段(每月用水超過一千度之用水戶減量供水)、第三階段(分區輪流或全區定時停止供水)、第四階段(依區內用水狀況定量定時供水，依優先順序維生、醫療、國

防事業、工商事業用水)等四階段進行。

(三)供水、停水策略模式探討

1.供五停二供水、停水策略模式概述案例：

(1)概述 2015 年初旱災台水公司二區處案例發生經過：

2015 年年初旱災，石門水庫水位 3 月 20 日已達最低水位 217.8M，3 月下旬降雨仍不足解除旱象，經各單位研商訂於 4 月 8 日起實施桃園、新北（板新及林口等）及新竹部份地區第三階段供五停二限水措施。

(2)供五停二供水、停水策略模式案例如下：

所謂供五停二即以全轄區同時停水、同時復水，不分區調配供水，即採全區輪流供水五日停水二日，石門大圳取水輸送平鎮、石門、龍潭淨水場)，桃園大圳取水輸送大湳淨水場供水轄區，同時供水五日同時停水二日，其孰優孰劣須因地制宜。

2.供一停一供水、停水策略模式：

(1)概述 2005 年旱災台水公司二區處案例發生經過：

2005 年 8 月 26 日 0 時遭逢編號第 13 號泰利颱風，8 月 28 日 12 時轉為中度颱風(颱風)，8 月 30 日 00 時轉為強烈颱風臺灣發布海上颱風警報，8 月 30 日 12 時發布陸上颱風警報，造成原水濁度飆高，出水量減少，出水量減少約 20%與旱災相似，相當於全面性執行第二階段限水(出水率約 80%)，主要影響 8 月 31 日~9 月 1 日期間，共 20 多人受傷，台南一名老翁溺斃，停電用戶一度達 140 萬餘戶。

(2)供一停一供水、停水策略模式案例如下：

2005 年因石門水庫原水濁度飆高，桃園地區已發佈於 9 月 1 日 0 時起實施甲、乙兩

區調配供水，桃園市、新竹縣湖口鄉、新北市林口區於 9 月 2 日開始供一停一的分區供水，以石門大圳及桃園大圳分區供水，分成南桃園（平鎮、石門、龍潭淨水場)及北桃園（大湳淨水場)供水轄區，採兩區輪流供水一日停水一日。

3.供水、停水策略模式決策考量

2015 年台水二區處採行全區供五停二供水、停水策略模式決策考量原因如下：

- (1)因各區域調配供水之輸配水管網互有支援，交界處無法完全切斷供水，致難以徹底執行區域切割停、復水方式，改以淨水場供水系統區分，為避免節水效益不彰，停水時間延長，節水效益較能顯著。
- (2)鑒於二區處人力較不足，採人次需求較低之策略，配合停、復水啟閉制水閥，執行人員較有喘息空間。

(四)抗旱各階段限水整備及執行情形

因應乾旱時期各階段限水措施，擬定各項宣導限水、停水、購水、設置臨時供水站與載水站等作業，以台水公司二區處乾旱應變措施為案例分述如下：

1.第一階段限水整備及執行方法

(1)限水整備

第一階段限水整備作業主要工作係宣導作業，亦即發布新聞稿及張貼訊息至本公司網站。

(2)執行方法

離峰時段降低管壓供水。(每日晚上 11 時至翌日凌晨 5 時)藉由減少供水量及重要節點壓力的監控，實施減壓供水。

2.第二階段限水整備及執行方法

(1)限水整備

整備及執行第二階段限水時，提前充份宣導，可增加企業的配合度及降低民怨，進而使雙方達到共體時艱之狀態，於實際執行時可收事半功倍之效。台水公司二區處召開第二階段限水水源及供水調度會議前後共舉行 5 次研商會議，隨時依現況情資進行策略調整。

(2)執行方法

①執行計畫內容

- 每月用水超過 1,000 度之非工業大用水戶減供 20%、工業大用水戶減供 5%，但醫療或其他因性質特殊，減量供水將造成重大公眾損失之用水戶，不在此限。
- 游泳池、洗車、三溫暖及水療等業者，減供 20%。停供噴水池、沖洗街道、水溝、大樓外牆、試放消防栓、露天屋頂放流等不急需得停供之用水。

②執行方法

- 執行鉛封作業

自 2015 年 2 月 26 日至 2 月 28 日派員分別至每月用水超過 1,000 度之非工業大用水戶減供 20%、工業大用水戶減供 5%之鉛封作業。3 月 7 日經濟部楊次長專程赴龍潭區視察龍科、平鎮區幼獅工業區等區內工業大用水戶二階段限水鉛封作業(如圖 5)。

- 執行限水成果週報製作及彙整成果陳報各廠所於每週四抄表，統計水量回報，每週五向總處傳送二階段限水成果週報表。

(3)蒐集意見

實施第二階段大用戶限水期間，積極蒐集各大工業用戶意見，主要意見三項供參：

①限水目標值之標準建議考量產業別淡、旺季調配需求。

②限水目標值管控，應採年總用水量上限。

③部分用戶認為應直接實施三階段分區供水。



圖 5 經濟部長官視察龍科、幼獅工業區內工業大用水戶二階段限水鉛封作業

(4)查核機制

針對執行限水地區台水公司總管理處訂有查核機制，以控管品質，例如 2015 年 3 月 18 日營業處赴二區處大園所機動查核二階段限水大用水戶之執行限水品質。

3.第三階段限水整備及執行方法

(1)限水整備

依據「乾旱時期停止及限制供水執行標準與措施作業要點」：「執行標準：供水量短缺百分之十以上未達百分之三十時。執行措施：分區輪流或全區定時停止供水。」訂定第三階段限水執行計畫、修正確認、宣導等限水整備作業。

(2)執行方法

①執行前置作業

- 召開第三階段限水供五停二停復水整備會議研商。

- 第三階段購水作業方式：

(a)至鄰近服務所繳費後開立臨時取水證明單，至網站公布指定載水地點電話預約。



(b)上網下載臨時購取水證明單，蓋章填妥後先電話確認，該單加滿後第一聯送掛帳，加入下期水單計收，第二聯送用戶核對。

104 年抗旱期間醫療院所水車載水證明



圖 6 發放醫療院所水車載水證明

c.設置臨時供水站：

原設置臨時供水站 100 處，為因應當地里長及用戶實際需求調整設置點，陸續增加至 116 處並增加設置點座標，於停水前完成補水作業（詳見圖 7）。



圖 7 臨時供水站補水作業

d.設置載水站：

除原既有 7 處之外，新增龍潭給水廠 1 處及二區處水車載水之石門淨水場 1 處，共計 9 處(圖 8 載水站位置)

②執行計畫內容

台水二區處分區供水水源調度困難，故自 2015 年 4 月 8 日 0 時起全區採供五停二實施第三階段限水措施，每週三、四實施停水。

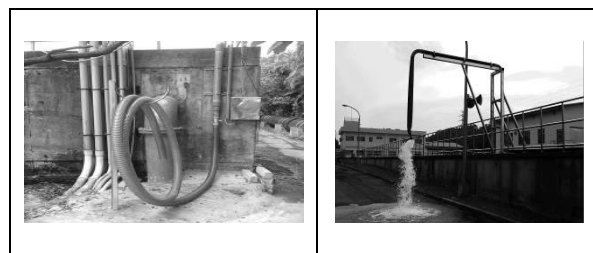


圖 8 載水站位置

- 每週執行限水前須將原水核放表與北區水資源局進行水源調度協調，針對停、復水時各大圳核放時間及節水率整體評估與檢討，逐週調整原水核放及支援時間。
- 復水期間沿線進行排水排氣作業，並懸掛告示牌及原排氣閥並加設排水設施約 20 處，作業方式詳見即圖 9 排水排氣作業所示。

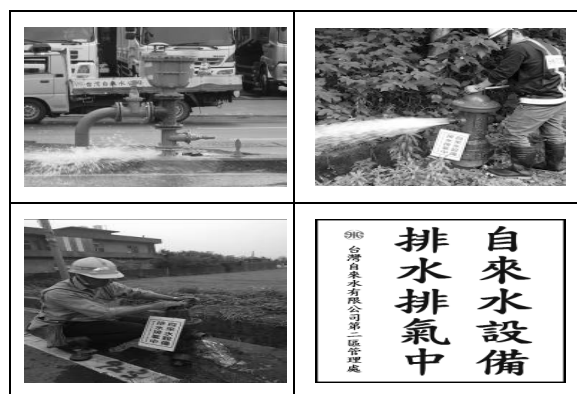


圖 9 排水排氣作業

- 復水時程彙整陳報及分組至沿線關鍵點調整制水閥。

第一週復水時間為 2015 年 4 月 9 日 24 時起至 11 日下午 18 時 (共 42 小時)、第二週復水時間為 2015 年 4 月 16 日 24 時起至 18 日 0 時(共 24 小時)、第三週復水時間為 2015 年 4 月 23 日 24 時起至 24 日下午 16 時(共 16 小時)、第四週復水時間為 2015 年 4 月 30 日中午 12 時(共 12 小時)，逐週改善復水。

(五)遇停復水瓶頸之改善措施及分析方法

2015 年年初乾旱時期在台水二區處第三階段限水供五停二配合措施及改善工程，據統計各廠所配合三階段限水停水期間針對復水延遲地區辦理緊急改善工程共計 52 件；辦理專案工程斷管連絡 4 件；給水廠高壓電氣設備檢驗 18 件，一方面及時以工程手段改善復水效率，另一方面藉全面停水施工以減少日後之停水次數，以消弭民怨。在乾旱時期工程技術手段是改善復水效率最直接且即時之方法，茲列舉遭遇供水瓶頸處以變更供水系統改善典型實例之一：

在執行三階段限水第一週復水時發現水瓶頸處五福高地復水非常緩慢，乃提昇高地系統分界開關，並將龜山區南上路 520 巷改由五福高地系統供水(如圖 10)。

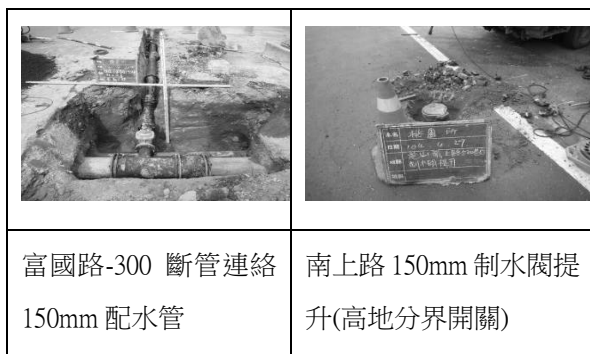


圖 10 提昇高地分界開關由南上路 520 巷改由五福高地系統供水

為解決蘆竹區南山北路之供水瓶頸處，緊急供水時蘆竹區南山北路加裝 150mm 制水閥變更由改由蘆竹區南山北路二段坑口加壓站加壓供水(如圖 11)。

針對局部地區復水緩慢需調配水及增加進水點補充水量，經常需提昇原遭埋沒之制水閥或增設制水閥等，藉此更了解轄區內各地區之供水瓶頸，並適時地改善。

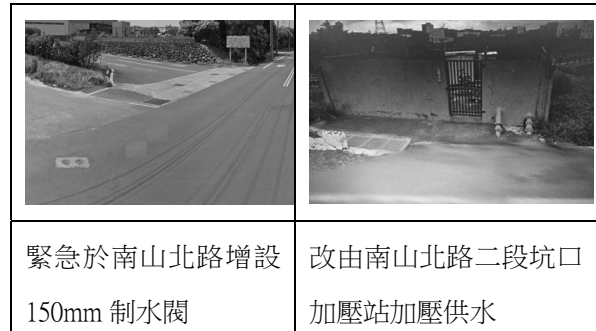


圖 11 緊急新設制水閥由低處關閉回擠供水方式改為自高處放水

四、成果與討論

針對有效提升災害應變停、復水作業效率成果與討論，可分成輿情及用戶反應統計分析、節限水成果、執行檢討及改善策略、轄區供水及調水策略制定等構面闡釋，並以臺水公司二區處 2015 年初實施乾旱應變為案例詳述如下：

(一)輿情及用戶反應統計成果分析及討論

輿情及用戶反應統計分析在執行限水時，應與停、復水作業須同時進行，隨時掌握輿情及用戶反應，在推動政策上時常是斟酌調整政策依據，由表 2 自第一週至第四週限水期間需後送回覆案件中，第一週「線上直接處理完畢案件」共 793 件，「需後送回覆案件」共 504 件，而在「需後送回覆案件」504 件中，無水案件佔最大宗 432 件，佔第一週全部需後送回覆案件之 85.7%；第二週「線上直接處理完畢案件」共 336 件，「需後送回覆案件」共 137 件，而在「需後送回覆案件」137 件中，無水案件一樣佔最大宗 122 件，佔第一週全部「需後送回覆案件」之 89.1%，可以詳實的瞭解輿情及用戶反應中最關心的是「無水問題」，其次才是「臨時供水站」等問題，而因應乾旱三階段限水期間自 4 月 8~30 日用戶反應「無水問題」，其實



就是「復水緩慢問題」，第一週、第二週、第三週、第四週無水案件依週序為 432 件、122 件、23 件、37 件逐週遞減，顯示限水期間以工程技術等措施改善復水瓶頸，在復水時程上確實發揮提升效率之成果，可為佐證。

(二)節限水成效

1.第一階段限水成果分析及討論

實施第一階段限水時期共 91 日，雖累計減少供水量約 293.2 萬 CMD，然因持續觀察石門水庫有效蓄水量仍不佳。

2.第二階段限水成果分析及討論

配合經濟部北區水資源局政策性發布台水公司二區處於 2015 年 2 月 26 日實施第二段限水時期實施經驗日程及統計案例，實施第二段限水統計於 2015 年 2 月 26 日-5 月 14 日共計 78 日，工業大用水戶減供水量初步原則減供 5%，再視水情及減供水量成果逐步調整至 7.5%~10%，累計減供水量為 100,058CMD；非工業大用水戶原則減供 20%，累計減供水量為 16,244CMD；三溫暖

&游泳池原則減供 20%，累計減供水量為 522CMD；第二階段限水累計 78 日三項減供方案；總累計減少供水量 116,824 CMD，累計達成率 28.9%。

3.第三階段限水成果分析及討論

配合經濟部北區水資源局政策性發布於 2015 年 4 月 8 日實施第三階段限水供 5 停 2 方案，據 2015 年初乾旱限水時期實施經驗日程及統計案例，2015 年 4 月 8 日-2015 年 5 月 5 日共計 28 日，第一週平均日供水量 89.5 萬 CMD，減供水量約 17.2 萬 CMD(節水率 16.1%)；第二週平均日供水量 90.8 萬 CMD，減供水量 15.9 萬 CMD(節水率 14.9%)；第三週平均日供水量 91.3 萬 CMD，減供水量 15.4 萬 CMD(節水率 14.4%)；第四週平均日供水量 93.2 萬 CMD，減供水量 13.5 萬 CMD(節水率 12.7%)；第一~四週累計平均日供水量 91 萬 CMD，節水量 15.7 萬 CMD(節水率 14.71%)，平均節水成效為 14.71%(如圖 12)。

表 2 台水公司二區處因應乾旱三階段限水客服中心用戶反應統計表

實施週序	限水期間	需後送回覆案件						線上直接處理完畢	總進線通數
		無水 A	水質 B	臨時供水站 C	停水通知 D	其他事項 E	回電處理合計(A~E)		
一	4/08-4/09	432	1	6	11	54	504	793	1297
二	4/15-4/16	122	0	5	0	10	137	336	473
三	4/22-4/23	23	1	0	0	11	35	83	118
四	4/29-4/30	37	0	0	0	5	42	57	99
合 計		614	2	11	11	80	718	1269	1987

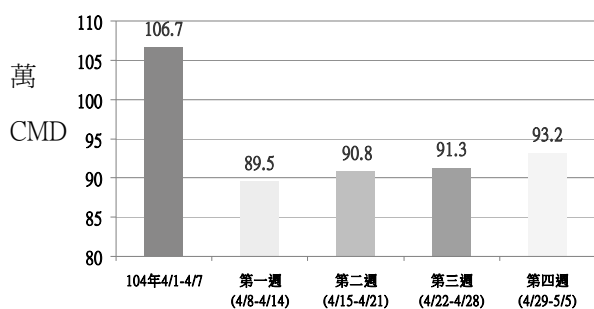


圖 12 台水二區處三階限水供 5 停 2 案供水量統計

(三)轄區供水及調水方式研析

災害應變時，能妥善統合、調配熟稔管網及深諳調水經驗員工操作人力，可提升復水時程作業達到最有效率。以 2015 年初乾旱為例，第一週~第四週復水時間分別為 42、24、16、12 小時，第四週復水時間比第一週提前 30 小時，復水時程提升達到最有效率，即是因妥善調配深諳調水經驗員工，依統計資料及實際經驗，歸納修正轄區供水及調水方式，是有效提升復水時程重要關鍵之一。

(四)供水指標關鍵點及合理水壓範圍

轄區內需依經驗建立一供水指標關鍵點及合理水壓範圍表，以便隨時注意供水狀況，隨時掌握研判參數，例如八德區永福西街傳訊站尖離峰水壓維持 0.6~1.0 kg f/c m²八德低地屬正常供水等(詳如表 3)。

(五)歸納供水條件特殊或停復水困難地區

轄區內平日即需依經驗歸納出供水條件特殊或停、復水較困難等地區，採個別配合措施有其必要性，例如在新裝工程受理審圖時，各服務所針對供水條件特殊或停復水較困難等地區，於審查時先勸導用戶將蓄水池容量修改為 1.5~2 日蓄水量，使用戶瞭解新建工程即應預留備用量之必要性，並確實依基準值執行審核。

表 3 供水正常指標及尖離峰水壓合理範圍

傳訊站位置	尖離峰水壓合理範圍 (kgf/c m ²)	指標屬正常區域
八德區永福西街	0.6~1.0	八德低地屬正常供水
八德區大忠街	0.5~1.0	八德高地屬正常供水
桃園區桃園後站	0.6~1.0	桃園區大樹林地屬正常供水
龜山工業區	0.9~1.3	桃園區龜山工業區屬正常供水
蘆竹區海湖東路	0.4~0.8	海湖地區屬正常供水
桃園區省桃	0.4~1.0	省桃地區屬正常供水
桃園區市中心	0.4~0.9	桃園區市中心屬正常供水

(六)轄區停、復水作業程序制定

轄區停、復水作業程序制定，依累積經驗得知經常是有效提升災害應變停、復水作業效率之關鍵，轄區停、復水程序制定品質良窳，需累積眾人多次短期或長期之停、復水經驗，並經過文字記錄而成。

1.各單位自行訂定停、復水作業程序重要性

各單位自行訂定災害應變停、復水作業程序相當重要，資料珍貴難得，訂定理由分述如下：

- (1)人力調動頻繁地區，仍可掌握有效災害應變停、復水作業效率於標準速度以上。
- (2)人員需最短時間內到達現場勘查水流向，以縮短停、復水作業時程。
- (3)確保所有地區皆在最短時間內完成停、復水作業。
- (4)隨時依經驗值增修訂區域及操作原則。

表 4 供水條件特殊或停復水較困難地區預留備用蓄水量

市	區	村里或路段	蓄水量 (日)	備註
桃園市	桃園區	國聖二街、宏昌十三街、宏昌十二街、宏昌八街	1.5~2	大樓林立且位於高勢位置
桃園市	桃園區	大同路、南山街、大同西路	1.5~2	靠近桃園市區鬧街
桃園市	桃園區	青田街、永美街、慈文路、中正五街、同德十一街、中正路、富國路 646 巷	1.5~2	限水時曾停水超過 60 小時
桃園市	桃園區	大林里、福安里、大豐里、雲林里、福林里	1.5~2	板新供水系統區域

註：本表係依據自來水用戶用水設備標準第六條規定辦理

表 5 桃園所復水作業開啓排氣閥程序

步驟	應注意事項
1	務請記下蝶閥、排泥閥及消防栓開啓及關閉之圈數（記錄於管制表內）。
2	復水前排氣、排水之蝶閥、排泥閥及消防栓先開啟 1/3 圈數，掛上排水中告示牌（自來水排水排氣中）。
3	排氣人員於地勢低處，俟出水及水質清澈後，再慢慢予以關閉。
4	移至上一處排氣點觀察，至全區完成排水工作。
5	水壓不會瞬間恢復，需至較高點或過橋管排氣閥查看排氣情況。
6	送水 8 小時後，倘若用戶仍反映無進水情事，本所安排人員至現場查處，拆水表檢查是否阻塞。
7	用戶反映水質混濁，則再加強排水。

2. 制定復水作業開啓排氣閥程序

復水後開啓排氣閥應注意事項，以桃園所復水作業程序為範例（詳見表 5 桃園所復水作業開啓排氣閥程序）。

3. 轄區內執行復水作業程序

2015 年初實施乾旱應變為案例，並以桃園所轄區八德高地停、復水作業程序步驟二為範例詳述如下：開水前若大湳廠能支援 20,000CMD 以上，則開啟建國路枝仔冰 600mm 蝶閥（圖 13）及介壽路二段花店兩側 400mm 制水閥、俟介壽路二段 1233 巷水壓 0.8kgf/cm² 左右，可回頭將制水閥完全關閉，並洽大湳廠復水時可支援高地供水量。

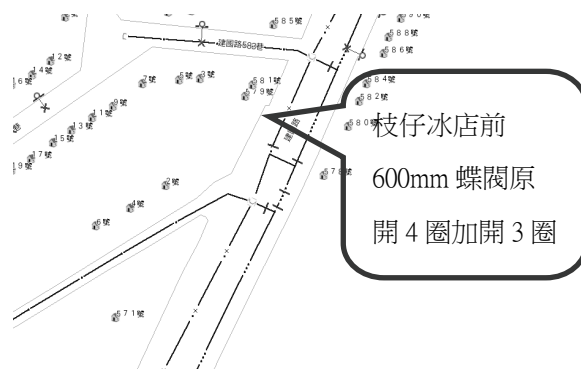


圖 13 建國路枝仔冰 600mm 蝶閥開啟位置圖

(七) 轄區供水停水案前、中、後期應辦事項作業程序

轄區內停水概分為計畫型、非計畫型停水，如能依停水案前期、中期、後期應辦事項程序按步就班辦理，當可有效提升災害應變停、復水作業效率，使每次停水案均能維持復水時程在標準之上，必能收事半功倍之效，茲將停水案前期、中期、後期應辦事項作業程序歸納（如圖 14）所示。

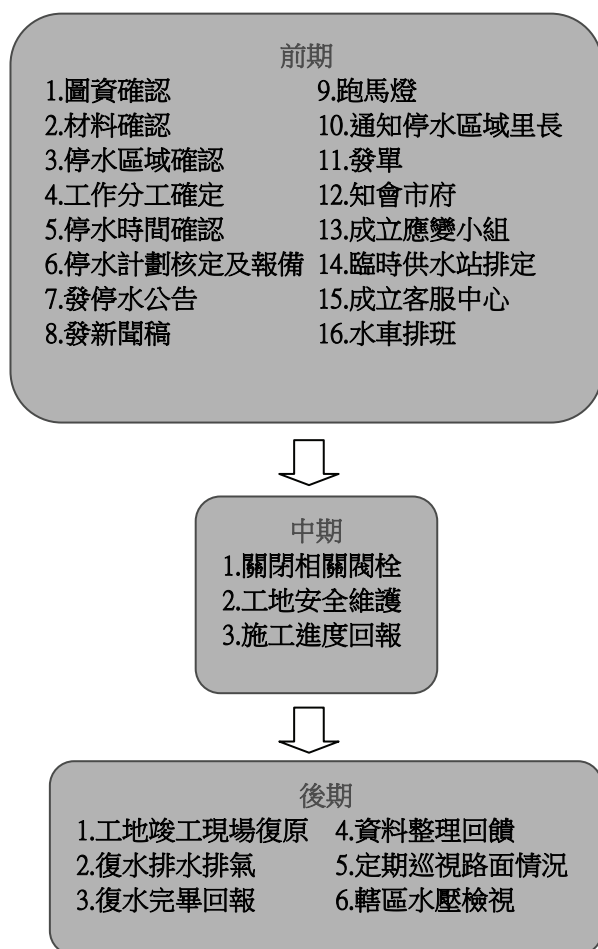


圖 14 停水案前期、中期、後期應辦事項作業程序

五、結論與建議

(一)結論：

- 1.本文詳實以台水公司二區處於 2015 年乾旱時期執行第一、二、三階限水為範例研討，由於過程中遭遇許多無法預料之各種形式瓶頸，據統計各廠所配合三階限水停水期間針對復水延遲地區辦理緊急改善工程共計 52 件，及時以工程手段改善復水效率，由本文所闡述之實例說明足供證明以工程技術手段，在乾旱時期是改善復水效率最直接及最即時之方法。
- 2.以台水公司二區處 2015 年年初執行第一、二、三階限水為範例研討，過程中遭遇無

法預料之各種形式瓶頸，除了針對復水延遲地區辦理緊急改善工程改善復水效率外，最徹底有效方法就是增埋輸水管及配水管加速補充遠端水源，為因應蘆竹區快速發展及航空城計畫推動的迫切需求，抗旱結論之一即增設一條 1200m/m 輸水管，自台一線龜山區萬壽路橋起沿桃林鐵路至蘆竹區長興路止，全長約 10 公里工程，即為最有效提升災害應變停、復水作業效率方法之一。

- 3.本文由表 2 得知，自案例第一週至第四週限水期間需後送回覆案件中，無水案件佔最大宗 432 件，可以詳實的瞭解用戶反應中最關心的是「無水問題」，其次才是「臨時供水站」等其他問題，而三階限水期間自 4 月 8 至 30 日用戶反應「無水問題」，其實就是「復水緩慢問題」，第一至第四週無水案件依週序為 432 件、122 件、23 件、37 件逐週遞減，顯示限水期間以工程技術等措施改善復水瓶頸，在復水時程上確實發揮提升效率之成果，可為佐證。

(二)建議

- 1.本文建請各供水單位在轄區內依經驗建立一供水指標關鍵點及合理水壓範圍表，以便隨時注意供水狀況，隨時掌握研判參數，在平時則作為監控各地區正常水壓之參考，突遇異常或災害時則為復水時程管控依據，發現某點壓力延遲過久未提升至合理範圍，則儘速派員詳查排除，必然能按部就班提升復水效率。
- 2.本文分析轄區供水策略之停、復水作業程序制定品質之良窳，需累積眾人多次短期或長期之停、復水經驗，並經過文字記錄

而成，建請各單位須自訂災害應變停、復水作業程序，以避免遭遇精於調水人員離、退職時，無操作步驟而陷入慌亂，仍可持續掌握災害應變停、復水作業效率，依經驗停水時數愈長，變異性愈大，為確保所有地區皆在最短時間內完成停、復水作業，需隨時增修訂局部區域操作步驟及原則。

- 3.自來水輸配水管重要路段沿線之關鍵「制水閥」及「消防栓」，屢遭各路面轄管單位廠商辦理「年度歲修道路工程」之際，以「為確保路面平整」為由，逕予埋沒或刨除破壞，徒增現場施工困難度，經常是阻礙有效提升災害停、復水作業效率之關鍵障礙點，影響市民用水權益，需各單位時常向當地主管機關強調及告知約束廠商，群策群力才能發揮最大功效。

參考文獻

- 1.英國衛報，「” Climate change: World 'faces food shortages and mass migration' caused by global warming “」，2015年12月24日。
- 2.國立中央大學環境研究中心，「臺灣氣候變遷調適科技整合研究計畫 Taiwan Integrated Research Program on Climate Change Adaptation Technology」，電子報第11期第5頁，2015年6月。
- 3.石門水庫管理中心，經濟部水利署北區水資源局石門水庫全球資訊網之水情資訊水文歷線，2015年。
- 4.蔡騰輝，鉅亨網編譯，2015年。
- 5.交通部中央氣象局，天然災害災防問答集資料，104年8月。

作者簡介

王興舜先生

現職：台水公司第二區管理處桃園服務所主任、環境工程技師

專長：自來水工程、水及廢棄物處理、分區計量管網規劃及建置

颱風期間臺北市學校供水站開設實務探討

文/鄭志斌、鄭答振

摘要

近年來因氣候變遷，颱風期間易發生極端暴雨，造成新店溪上游原水濁度升高，一旦原水濁度超過臺北自來水事業處(簡稱北水處)淨水場最大處理能力時，需停止取水避免泥砂淤積造成淨水場癱瘓無法運作。民國 104 年(以下年份均為民國)杜鵑颱風襲臺造成原水濁度超過淨水場最大處理能力，北水處不得已採取緊急停止取水及大規模停止供水措施，停水期間迅速開設 21 處緊急取水站及 20 處臨時供水站，同時加派水車機動送水，維持民眾基本用水的需求。

為因應颱風期間可能發生原水高濁度的情形導致無法供水，除了原有緊急取水站及臨時供水站外，為滿足緊急取水的需求，北水處構思利用臺北市公立學校作為供水站，運用 GIS 軟體以環域分析的手法，找出緊急取水涵蓋率不足的地區，再從中挑選適合的公立學校作為供水站，一旦大規模停止供水時，讓民眾住家附近 1 公里均有取(供)水站，提供更廣泛便捷的緊急取水地點，方便民眾取水使用，同時學校供水站的儲水量遠大於臨時供水站能提供的水量(每處設置不銹鋼水塔，容量約 2 至 3 噸，且需水車持續補水)，更能滿足民眾緊急取水的需求。

一、前言

臺灣位處東亞地區，夏秋季節時有颱風來襲，隨著氣候變遷的影響，颱風帶來的強風豪雨所造成的災害日益嚴重。104 年 9 月杜鵑颱風襲臺造成新店溪上游集水區坡地

崩塌，原水濁度迅速飆升，濁度超過 1 萬 NTU 歷時 14 小時，最高曾達 2 萬 2 千 NTU(圖 1)，已遠超過直潭淨水場可處理能力，北水處依據作業準則啟動停止取水及停水程序，並開設 21 處緊急取水站及 20 處臨時供水站，且同時加派水車機動送水，以維持民眾基本用水的需求。

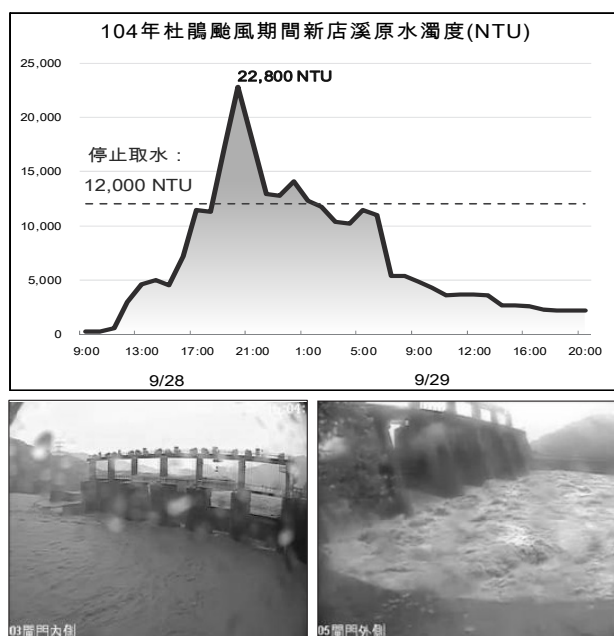


圖 1 杜鵑颱風期間新店溪原水濁度的變化

為因應颱風期間發生原水高濁度導致無法供水的情形，除了原有 21 處緊急取水站及 20 處臨時供水站外，北水處構思利用臺北市公立學校作為供水站，當大規模停止供水時可提供更廣泛便捷的緊急取水地點，方便民眾取水使用。

二、學校供水站的規劃

(一)規劃構想

學校供水站的構想是利用校園的水龍

頭來提供民眾直接取水，不另施工增設管線等取水設施(圖 2)。北水處對於供水站的學校全年水費以 8 折計收，作為用水費、動員人力費及管線維護費等相關費用。

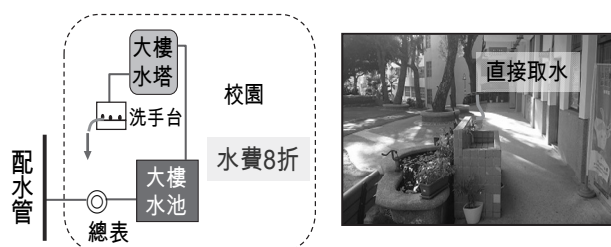


圖 2 學校供水站的規劃構想

(二)蒐集基本資料

臺北市 104 學年度公立中小學校計有 235 所(圖 3)，其中 55 所為防災任務學校(士林區溪山國小為簡易自來水)，為順利推動學校作為供水站，北水處於 104 年 12 月初先邀集臺北市政府教育局(簡稱教育局)召開會議說明學校供水站規劃的構想及作法，並請教育局協助蒐集臺北市公立學校地址、水池水塔容量及平面圖等基本資料，交由北水處彙整分析。

(三)規劃成果

為了解區域既有緊急取水點分佈狀況，及有效規劃學校供水站位置，先將現有緊急取水站(不含新北市)予以佈點，再優先加入防災任務學校作為學校供水站，並設定各站周圍 1 公里為取水範圍進行環域分析，結果顯示尚有部份地區的民眾需前往距住家較遠的取(供)水站方能取水，相當不便。對於這些取水不便的地區，再擇定當地的公立學校作為供水站，以方便民眾就近取水，經評估確認採用 120 所公立學校作為學校供水站時，可滿足多數地區緊急取水需求。

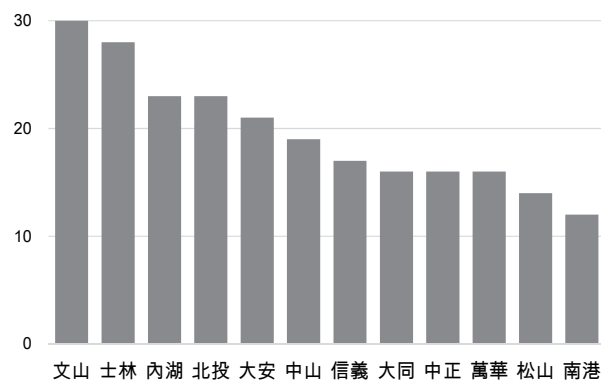


圖 3 臺北市各行政區公立學校數量

(四)學校訪談

為便於民眾取水須調查及規劃學校校園取水點的位置，首先北水處派員赴 120 所學校辦理訪談，除向學校說明供水站實施作法外，同時勘查學校的取水位置、動線等等，作成訪談紀錄(圖 4)。



圖 4 學校供水站取水點勘查

(五)學校供水站的優惠措施

完成訪談確認作為學校供水站後，120 所學校水費以 8 折計收，學校需於颱風汛期前完成用水設備檢查、保養、維護工作及颱風停水期間人力準備等前置作業。

三、學校供水站的開設準備

(一)相關器材準備

為學校供水站開設時，民眾到校時能清楚明瞭取水動線及位置並便於民眾直接取水，北水處特別準備導引標誌及取水器材，

相關說明如下：

- 1.印製導引標誌：學校供水站開設時，工作人員可將導引標誌迅速張貼於校園，指引民眾取水方向(圖 5)。
- 2.詢訪取水軟管：因一般取水軟管容易產生塑膠異味，經多方詢訪選定無塑膠異味的取水軟管，學校供水站開設時可裝設於水龍頭提供民眾直接取水(圖 6)。
- 3.詢訪節水龍頭：因部份學校取水點水栓全數為節水型，將影響取水速度，惟為符合節水政策，北水處派員多方詢訪節水龍頭擇定合適型式，平時可維持節水型出水量，開設時工作人員可採簡易工具快速切換為正常出水量，方便民眾取水(圖 7)。

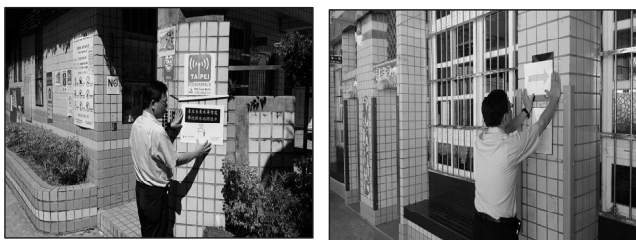


圖 5 學校供水站導引標誌



圖 6 選定學校供水站取水軟管

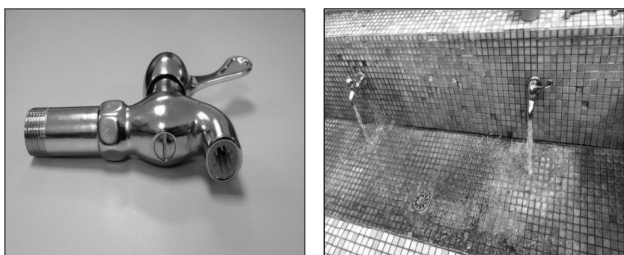


圖 7 選定學校供水站節水龍頭

(二)緊急取水文宣製作

為使民眾清楚了解颱風期間發生停水狀況時，住家附近可提供緊急取水的地點，北水處製作了臺北市 12 個行政區「緊急取水站藏寶圖」，標示各行政區學校供水站及緊急取水站的地點，除發送臺北市公私立國小，透過學生帶回家達到宣導效果外，並提供給各區里長，讓里長及里民清楚了解緊急取水相關資訊。

(三)開設演練

105 年為北水處首次推動學校供水站工作，為使學校及北水處工作人員熟悉學校供水站開設運作流程，北水處於 105 年 7、8 月間排定 5 所學校辦理開設演練，共有 170 名夥伴參加演練。演練時先以大字報詳細解說各階段開設流程及工作事項，並以器材實際操作示範，模擬取水情形。演練過程由專人全程攝影並剪輯成演練短片，可提供參與演練的工作夥伴反覆觀看，以熟悉作業流程(計 213 人閱讀)，演練短片亦提供教育局轉送 120 所學校，讓無法參與演練的學校亦可透過影片熟悉作業流程，作好相關準備工作。

(四)防颱準備作業

1.尼伯特颱風襲臺前夕，北水處於 105 年 7 月 6 日上午在博愛國小舉辦學校供水站演練記者會，由處長親自主持並邀請各大新聞媒體採訪(包含自由時報、東森電視台、中天電視台等等)，工作同仁並於現場實際模擬開設取水情形，該次學校供水站的準備作業獲得各大媒體採納，並於當天重要新聞時段播放，獲極大迴響且達到宣導效果。

2.105 年 7 月 6 日下午北水處辦理工作同仁作業說明會，解說學校供水站開設作業流程、注意事項及意見交流(圖 8)，同時成立學校供水站作業通訊群組並推派 5 名同仁擔任對口人，以即時傳達重要訊息及同仁間聯繫使用。



圖 8 工作同仁作業說明會



圖 9 檢點導引標誌及取水軟管

- 3.檢點學校供水站開設所需的導引標誌及取水軟管，並於前述作業說明會發放給工作同仁領取保管，以備開設使用(圖 9)。
- 4.對於部份學校取水點全數為節水型龍頭，派員更換為合適的節水龍頭，以備開設時使用(圖 10)。
- 5.颱風來臨發佈海上颱風警報時，北水處客服中心發送簡訊通知學校儲水至滿水位，並請學校人員完成開設準備作業，同時 5 位對口人亦於學校供水站通訊群組通知工作同仁，確認人員準備狀態(圖 11)。
- 6.颱風海警發佈後，北水處派員至學校供水站勘查水塔儲水情形，會同學校人員確認水塔已儲水至滿水位，以備學校供水站開設使用(圖 12)。

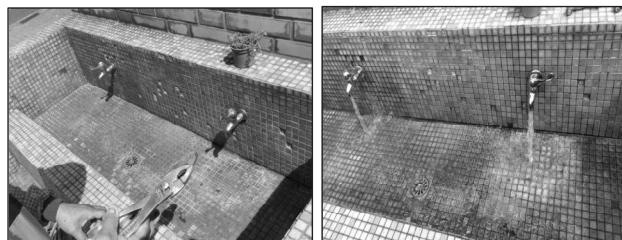


圖 10 學校供水站更換合適的節水龍頭



圖 11 通知 120 所學校供水站儲水及人員整備

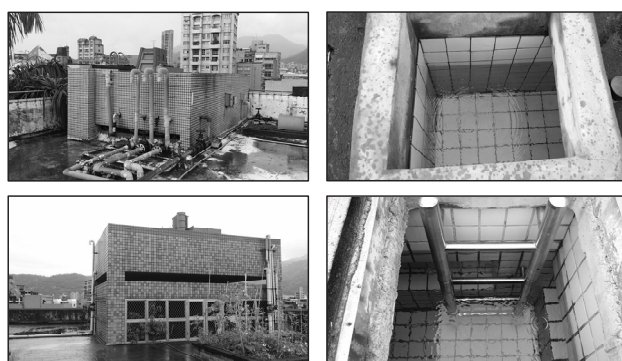


圖 12 學校供水站完成儲水準備

四、執行成效與檢討事項

(一)執行成效

- 1.北水處原已設有 21 處緊急取水站及 20 處臨時供水站，加入 120 所學校供水站後，緊急取水點由 41 處增加至 161 處，數量增加約 4 倍(圖 13)，且取水點更均勻廣佈於臺北市轄區，民眾住家 1 公里範圍均有取(供)水站可提供緊急取水，更為便利。
- 2.學校供水站的儲水量遠大於臨時供水站能提供的數量(每處設置不銹鋼水塔，容量約 2 至 3 噸，且需水車持續補水)，更能滿足民眾緊急取水的需求。

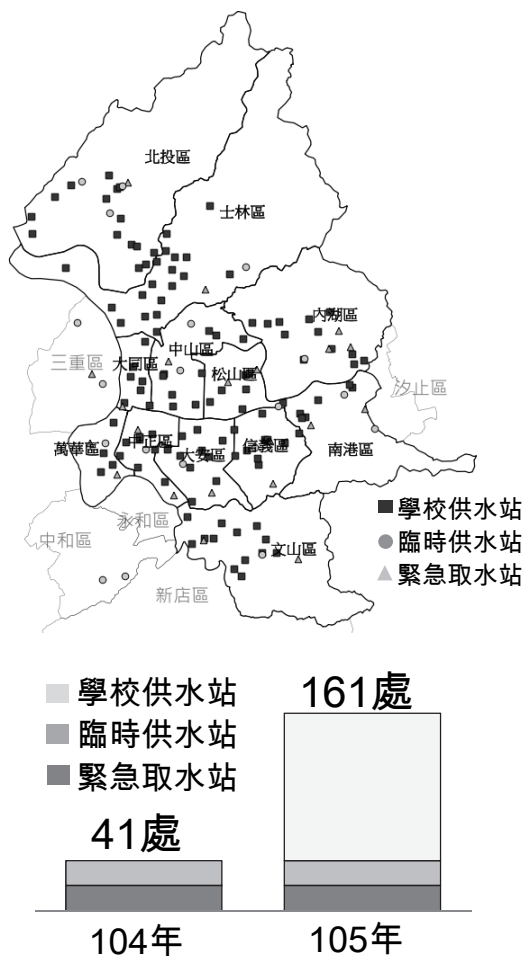


圖 13 北水處取(供)水站的數量及分佈

(二)檢討事項

1. 部份緊急取水站附近未設有其他取(供)水站，一旦緊急取水站需擔負其他取水任務或無法正常運作時，將造成民眾緊急取水的不便。因此，106 年將增加緊急取水站附近及市中心的公立學校作為學校供水站，初步評估增加 4 所學校。經由前述調整後，學校供水站總數為 124 所(圖 14)。
2. 學校供水站取水設施改善：部份學校取水點因本身為節水龍頭且無法改裝，或水龍頭型式無法裝設取水軟管等因素影響取水，需請學校進行取水設施的改善或調整取水點，以利開設使用，未能改善者必要時將評估另尋鄰近合適學校替代(圖 15)。

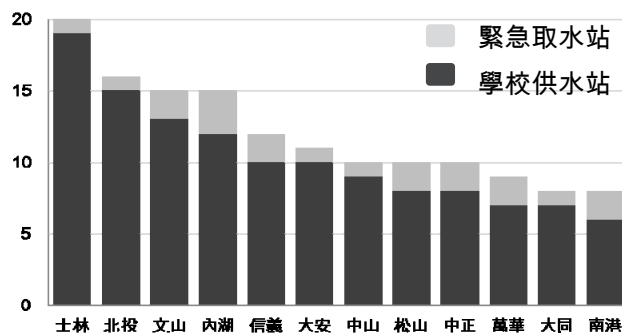


圖 14 各行政區學校供水站調整後數量



圖 15 取水點不易取水需予以改善

五、結語

北水處經歷了 104 年蘇迪勒颱風、杜鵑颱風造成高濁度原水的重大衝擊，為了因應未來颱風高濁度原水的情形可能再次發生，除了強化淨水場淨水處理效能及復水緩慢高地的供水改善等多項措施外，在 105 年特別將臺北市 120 所公立學校納入作為供水站後，緊急取水點數量達 161 處，可提供更廣泛便捷的取水地點，一旦發生颱風大規模停水時，民眾於住家附近 1 公里範圍即可緊急取水，維持基本用水需求。

臺北市學校供水站的推動實施，象徵北水處與教育局兩個機關的攜手合作，以及 120 所學校的協助配合，無論是規劃作業、



開設演練乃至颱風期間的聯繫準備，靠著團隊的齊心合作方能順利完成。北水處將持續借助教育局及所轄學校的力量，強化學校供水站的服務功能，用最壞的打算作最好的準備，通過颱風帶來高濁度原水的重重考驗。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，杜鵑颱風來襲應變處理檢討報告，2015。
2. 臺北市政府教育局，104年學年度臺北市高級中等以下學校概況總表，2015。

3. 臺北市防災資訊網，臺北市各類防災任務學校一覽表，2015。

作者簡介

鄭志斌先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：自來水工程設計、施工及自來水供水調配

鄭答振先生

現職：臺北自來水事業處供水科二級工程師兼股長

專長：自來水供水調配

本刊 106 年「每期專題」

期別	主 題	子 題	時程
36 卷 第 3 期	水質處理	水質安全、多重屏障、水質檢驗、水質監測、淨水藥劑、消毒、過濾、臭味處理、供水操作、淨水處理、海水淡化、淨水高級處理、綠色生產等	8 月
36 卷 第 4 期	新興議題 與再利用	新興水質項目應對、突發事件預警、供水緊急應變、危機管理、氣候變遷與調適、國際水情、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等	11 月

～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～

高雄公共給水因應高屏溪特性水源調度實務

文/王志弘、郭家憲、王明孝

摘要

高雄供水系統近 6 年來供水量約 150 萬~158 萬 CMD(表 1)，扣除東港溪水源之工業用水約 29 萬 CMD，高雄民生供水系統供水量平均約 125 萬 CMD，其水源來自高屏溪年平均取水量約 80 萬 CMD 取水量比例 64%，故高屏溪為其指標性水源，依據高屏溪之河川流量及不同月份之濁度取水量介於 20 萬~115 萬 CMD 之間，取水量比例 20~90%變化量大，在高屏溪各月份不同水質、水量特性下，如何採取相對應啟動備援系統水源及台南高雄聯合調度運用等機制供水，故水源調度成為供水穩定首要工作。

表 1 高雄系統供水量表(萬 CMD)^[3]

	100 年	101 年	102 年	103 年	104 年	105 年
高雄供水量	158.2	156.3	153.6	158.3	150.9	149.9

關鍵字：高雄公共給水、高雄原水調度

一、前言

高雄供水系統涵蓋旗山溪及高屏溪以西 29 個行政區，用戶數 1,006,254 戶、用水人口 2,569,389 人，供水量 150~158 萬 CMD，其中民生用水供水量 125 萬 CMD，水源為高屏溪(含地下水、伏流水、湖庫水)，鳳山水庫工業用水 30 萬 CMD 供給臨海、林園及大發工業區，水源為東港溪，本文主要以高雄公共給水因應高屏溪特性水源調度做進一步探討。

高屏溪正常取水量 100 萬~110 萬 CMD，所謂正常取水是指高屏溪在流量充足及水質達可處理狀況下正常取水，以高屏溪目前在豐、枯水期水源特性無法全年度取用可處理且足量的原水，因此必須依高屏溪水源狀況適時啟用替代水源之因應機制(圖 1)。

高雄供水系統用水之備援系統有地下水水井共 51 口分別位於手巾寮、大樹、竹寮、拷潭、翁公園，及 4 處伏流水分別位於竹寮、九曲堂、翁公園、會結，水庫部分有阿公店水庫、澄清湖水庫，106 年將新增透過東港溪原水前處理之鳳山水庫及台南高雄聯合調度運用之南化水庫經聯通管路支援高雄地區供水。

高屏溪在川流量明顯容易受到氣候影響，導致豐枯水期流量差異大，在枯水期流量偏低時除啟動備援系統及相關水源調度外，必須輔以移用農業用水機制來達成穩定供水目標。



圖 1 高屏溪水質水量不佳因應機制

二、高屏溪水源特性

高屏溪流域平均年降雨量約 2,472 公厘^[1]，每年 5 月至 10 月因西南季風及颱風侵襲，降雨量約占全年之 90%^[1]，導致高屏溪降雨分布極不平均，由河川逕流量之歷史曲線（圖 3）可看出豐枯水期河川流量落差甚大，在 5 月底至 10 月水量相對豐沛，主要為高屏溪流域集水區受颱風來襲川流量驟升造成如此懸殊。

此豐枯狀況在莫拉克風災之後更為嚴峻，以往枯水期鮮少實施限水措施，在莫拉克風災之後，因川流量不足（圖 2）分別於民國 100、102、104、106 年經中央旱災應變會議決議轉變水情燈號實施各階段限水（表 2），枯旱實施各階段限水頻率明顯增加。



圖 2 高屏溪枯水期現況

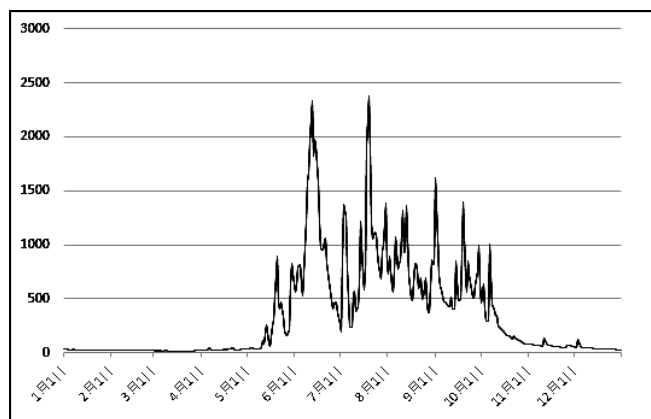


圖 3 高屏溪川流量歷線圖(CMS)

表 2 高雄系統 98-106 年各階段限水表^[2]

	100 年	102 年	104 年	106 年
一階	100/5/6	102/3/22	103/12/8	106/3/20
二階	-	-	104/2/26	-
三階	-	-	104/5/4	-
解除	100/5/26	102/5/8	104/5/25	

高屏溪除了豐枯水量分配不均外，另一問題為濁度，在莫拉克風災之後高屏溪汛期原水高濁度（圖 4）情況變得更为嚴重，以莫拉克風災之前，高屏溪流域集水區降雨濁度達 1 萬 NTU 狀況下，如後續無明顯降雨，約 10 日即可將濁度降至 500NTU 以下，觀察莫拉克風災當時高屏溪濁度飆升至 7.2 萬 NTU，卻耗時 72 日濁度才降至 500NTU 以下，以莫拉克風災前後 97 年及 99 年汛期期間 8 至 9 月高屏溪濁度變化比較（圖 5），可明顯看出高濁度問題更為嚴峻。



圖 4 高屏溪豐水期現況

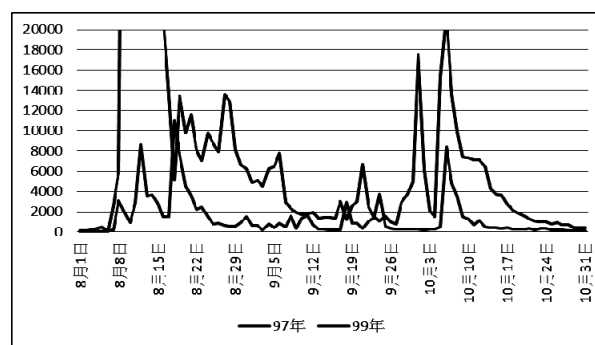


圖 5 莫拉克風災前後高屏溪濁度曲線圖(NTU)

三、備援系統

高雄系統民生需水量約 125 萬 CMD，平時水源大致來高屏溪約 110 萬 CMD，剩餘水源來自備援系統約 15 萬 CMD，於平時配合輪抽維持正常狀態以利必要時緊急增量出水挹注水源缺口，本次研究以最枯旱 104 年度時的相關水源調度狀況為背景，檢視備援系統出水能力。

(一)104 年度豐枯水期取水量

104 年度臺灣地區遭逢 67 年來同期最低雨量年，檢視該年度枯水期備援能力為最佳時機，經統計備援系統取水量為 29.6 萬 CMD、豐水期備援系統取水量 48.6 萬 CMD(表 3)，其中枯水期九曲堂伏流水因水質不佳(氨氮高)104 年 2 月 14 日停止取水，豐水期坪頂給水廠因啟動南化聯管取用南化水庫原水，及新竹寮伏流水足以滿足供水需求，故既有備援水源竹寮(伏流水)、大樹深井僅取水 1.8 萬 CMD 即可滿足供水。

表 3 104 年豐枯水期備援系統取水資料^[4]

日期 水源	枯水期 104.04.09	豐水期 104.05.28
手巾寮深井	13 萬	12.8 萬
九曲堂伏流水	0 萬 (氨氮高)	9.5 萬
竹寮、大樹深井竹寮伏流水	6.7 萬	1.8 萬
新竹寮伏流水	4.1 萬	17.7 萬
拷潭、翁公園深井會結伏流水	5.8 萬	6.8 萬
合計	29.6 萬	48.6 萬

(二)備源水量豐枯水期最大取水能力

高雄系統各給水廠備援水源包括地下水井 51 口及 4 處伏流水取水站，深水井 51 口平日係以輪抽方式抽取地下水，伏流水水量則視高屏溪逕流量多寡隨之增減，常態已使用 15~20 萬 CMD。豐水期間高屏溪逕流量(30CMS)地下深水井及伏流水取水量可達 57 萬~52 萬 CMD，枯旱期高屏溪逕流量(9CMS)取水量可達 33 萬~26 萬 CMD(表 4)。其中九曲堂伏流水在 104 年面臨嚴重枯旱時因氨氮過高逾水質標準而停止抽取，新翁公園伏流水因硬度過高問題，致拷潭廠僅能 5 萬噸以內出高級水，如全量抽取 5~9 萬噸僅能以傳統淨水處理。

表 4 豐枯水期備援系統最大取水量表^[4]

日期 水源	枯水期	豐水期
手巾寮深井	10 萬	10.5 萬
九曲堂伏流水	0~5 萬 (氨氮高)	8.5 萬
竹寮、大樹深井 竹寮伏流水	6 萬	8 萬
新竹寮伏流水	3 萬	10 萬
拷潭、翁公園深井 會結伏流水	7 萬	6.8 萬
翁公園伏流水	0~2 (氨氮高)	5~9 (硬度高)
合計	33~26 萬	57~52 萬

(三)104 年度完工竹寮及翁公園伏流水備援水質及水量分析

台水公司依「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」，陸續於 104 年 3 月完成竹寮伏流水(圖 6)工程費 2.56 億元及

104 年 11 月完成翁公園伏流水工程費 1.68 億元，設計出水量各 10 萬 CMD，以下針對 105 年營運狀況取水量分析。



圖 6 竹寮伏流水照片

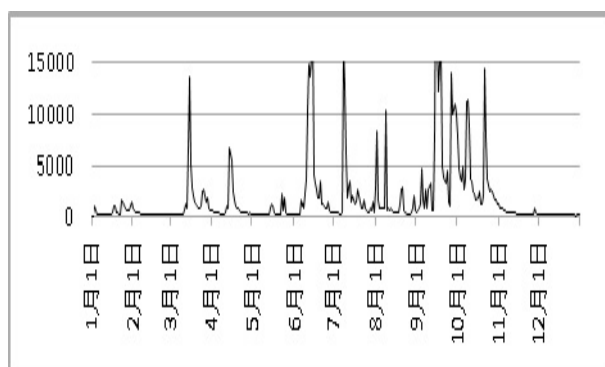


圖 7 高屏溪 105 年度原水濁度曲線圖(NTU)

高屏溪攔河堰原水在汛期濁度偏高，以 105 年度高屏溪原水濁度(圖 7)，在 105 年 10 月平均濁度約 4,155NTU，當時竹寮及翁公園

伏流水取水濁度分別 0.33NTU 及 10.7NTU(表 5、表 6)，確實有效降低原水濁度達預期目標，該兩處取水設施位於高屏溪攔河堰下游，枯水期取水量因河川流量水位變化大，其水源於枯水年較不具穩定性，且下游伏流水取水硬度偏高(表 5、表 6)，必須與其他水源調配運用方可穩定供水。

四、水源調度

在民國 104 年度臺灣地區 67 年來同期最低雨量，於 104 年 5 月梅雨鋒面開始逐漸影響臺灣地區，至 5 月 11、12 日及 5 月 20 日起連續數日梅雨鋒面影響，帶來明顯豐沛雨量才化解缺水旱象，高屏溪日平均川流量由 9.8CMS 驟升至 4,360CMS，出現今日抗旱明日防汛之特殊狀況，可知高屏溪隨著氣候因素難以掌控，故以此背景分析於各月份因應高屏溪不同水源條件進行調度供水。

表 5 105 年度竹寮伏流水取水量表^[4]

項目	取水量	濁度	總硬度
單位	CMD	NTU	mg/L
月份			
1 月	57,905	0.46	268
2 月	42,158	0.48	242
3 月	68,072	0.25	207
4 月	75,957	0.55	212
5 月	51,755	0.26	215
6 月	56,347	0.62	210
7 月	53,645	0.3	212
8 月	56,390	0.43	204
9 月	73,190	0.27	202
10 月	87,671	0.33	206
11 月	66,103	0.64	204
12 月	48,352	0.59	208

表 6 105 年度翁公園伏流水取水量表^[4]

項目	取水量	濁度	總硬度
單位 月份	CMD	NTU	mg/L
1 月	27,970	23	420
2 月	20,582	20	434
3 月	30,822	25	438
4 月	30,537	29	450
5 月	31,805	23	423
6 月	24,508	20	402
7 月	20,249	11	312
8 月	42,182	8	282
9 月	44,913	7	273
10 月	40,585	10.7	338
11 月	23,690	17	401
12 月	15,192	20	431

高雄含可調度水源分別有高屏溪、東港溪、51 口地下水、4 處伏流水、三座水庫(阿公店、澄清湖、鳳山)及台南高雄聯合運用機制(南化水庫)，於不同期間視高屏溪水質水量狀況調整水源(圖 8)。



圖 8 高雄系統供水主要水源

(一)枯水期間(1 月至 5 月)水源調度

此期間在高屏溪川流量尚有餘裕前提下北送台南清水，間接減少南化水庫原水，

做為台南及高雄供水調度使用，高屏溪進入 1 月份的川流量 14CMS 以上，高屏溪取水 110 萬 CMD 地下水伏流水 12 萬 CMD，及透支水庫 3 萬 CMD 為阿公店水庫水源，主要維持路竹淨水場基本運轉量，以適時因應水源突發狀況可隨時增量出水支援，另因高屏溪水源尚豐沛時持續進行台南高雄聯合運用支援台南清水 3 萬 CMD(圖 9)。

在 1~5 月份高屏溪面臨嚴重枯旱 9CMS 時，高屏溪降至 78 萬 CMD、地下水伏流水提升至最大量 33 萬 CMD、增加阿公店水庫水源約 10 萬 CMD 因應，此期間已無能力進行台南高雄聯合運用支援台南(圖 10)，並將執行第 2 階或 3 階限水措施減少需水量以達供需平衡(暫不考慮二階限水措施之節水效益)。

在 1~5 月份高屏溪面臨嚴重枯旱 7CMS 時，高屏溪降至 60 萬 CMD、地下水伏流水提升至最大量 33 萬 CMD、增加阿公店水庫水源約 10 萬 CMD 及啟動東港溪原水前處理之鳳山水庫水源，並視南化水庫蓄水量狀況進行台南高雄聯合運用機制(圖 11)，如有缺口同時執行第 3 階限水措施減少需水量以達供需平衡(暫不考慮二階限水措施之節水效益)。

(二)豐水期間(6 月至 10 月)水源調度

進入 5 月中下旬梅雨季節後高雄即進入汛期，在此之前為枯旱時期正忙於一手抗旱同時一手準備防汛工作，此時最重要水源為台南高雄聯合運用支援原水，由南化水庫藉由聯通管路至高雄給水廠(位於高屏溪攔河堰)，穩定最大輸水量約 45 萬 CMD，減少高屏溪抽水量下降至 60 萬 CMD、輔以地下水伏流水 20 萬 CMD(圖 12)。

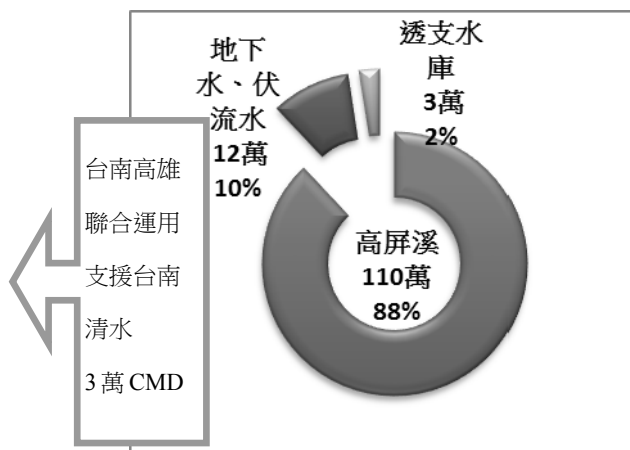


圖 9 高屏溪 14CMS 上水源比例圖(萬 CMD)

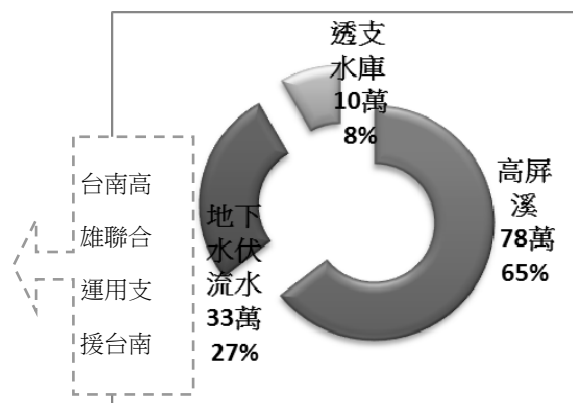


圖 10 高屏溪川流量 9CMS 水源比例圖(萬 CMD)

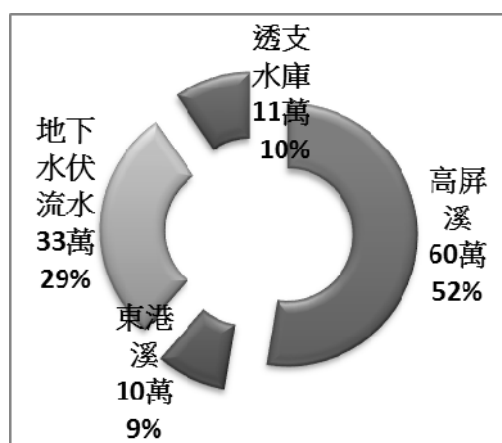


圖 11 高屏溪川流量 7CMS 水源比例圖(萬 CMD)

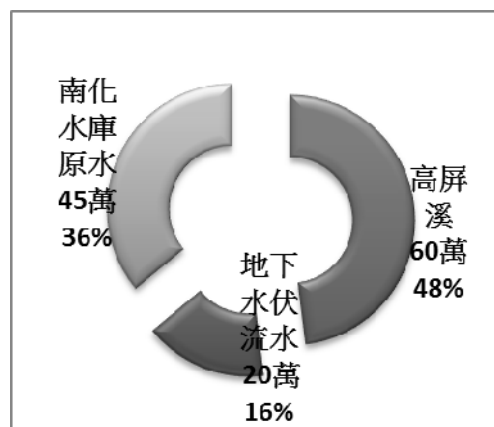


圖 12 高屏溪濁度 1,000NTU 以下水源比例圖(萬 CMD)

當汛期濁度升高時，主要水源南化水庫原水已到位 45 萬 CMD，然而高屏溪因高濁度影響淨水處理必須調降至約 20 萬 CMD，維持高雄廠抽水井基本操作水量及穩定南化聯通管壓力平衡。備援系統地下水及伏流水不受川流量上升影響，取水 43 萬 CMD 以上，再增加使用水庫水 17 萬 CMD 補足供水缺口，減少高屏溪抽水量主要為避免澄清湖水庫淤積，並以九曲堂伏流水全量約 9 萬 CMD 補充澄清湖水庫，此短時間以出流大於入流狀態透支水庫 17 萬 CMD 運用，另外東

港溪原水前處理工程目前已完成，可透支鳳山水庫約 16 萬 CMD 已可穩定供水(圖 13)，其啟動時機為枯水期高屏溪流量低於 12CMS、豐水期濁度超過 4000NTU，或高屏溪原水水質異常。

(三)豐水期末(11 月至 12 月)水源調度

汛期後此時高屏溪濁度相對較低(圖 3)原水濁度趨於穩定後，逐步關閉南化水庫原水支援水量，此時南化水庫維持高蓄水量為隔年枯水期預作準備，故此時高雄地區以高屏溪為主要水源適時啟動北送台南清水 5 萬

CMD(圖 14)，以延長南化水庫供水時程，另取用阿公店水庫原水維持路竹場基本運轉量，以利因應水源不足或緊急狀況增量出水支援。

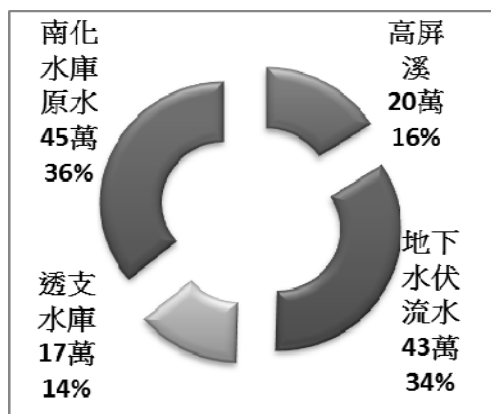


圖 13 高屏溪高濁度 10,000NTU 以上水源比例圖(萬 CMD)

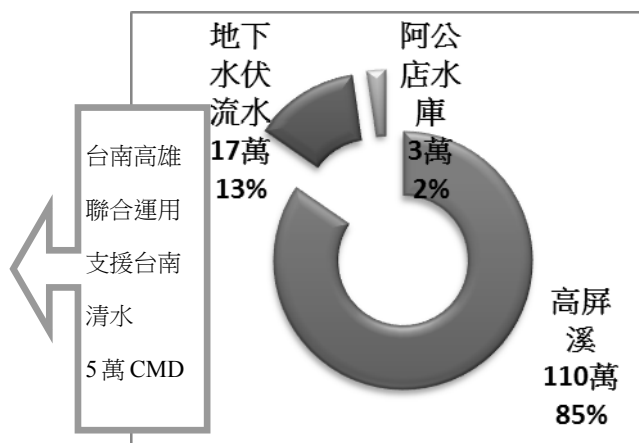


圖 14 汛期末枯水期初水源比例圖(萬 CMD)

(四)緊急狀況

緊急狀況如高屏溪水源污染、高雄給水廠斷電無法供給原水、高雄給水廠原水管線破管等，上述狀況皆造成高屏溪無法取水影響 110 萬噸抽水量。因應調度策略為立即全數啟動備援水量，地下水及伏流水於枯水及豐水期可自 28 萬 CMD 提升至 57 萬 CMD，並透支轄內水庫阿公店水庫 12 萬 CMD(僅枯水期)、澄清湖水庫 42 萬 CMD、東港溪原水

前處理之鳳山水庫 20 萬 CMD，另視台南供水狀況請求台南支援清水約 12 萬 CMD，在無高屏溪原水狀況下，經緊急調度供水量寬估約可達 118 萬 CMD 至 128 萬 CMD(圖 15)，枯水期遭遇緊急狀況供水量僅 118 萬 CMD，距正常供水量 125 萬 CMD，短缺 7 萬 CMD 有缺水之虞，水源短缺仍然以北高雄坪頂場為主；另外豐水期水源量預估可達 128 萬，評估坪頂淨水場供水轄區(海拔 75M)仍然無法完全取代供水之管末高地區(大社、仁武區等高地)，仍有缺水之虞。

高雄地區水源開發進行中的工程若上場，水源調配隨之改變將有效改善緊急狀況缺水情形，進行中工程有「高屏堰上游傍河取用伏流水工程」設計取水量 10 萬 CMD 及「高屏地區原有水井抽水量復抽工程」設計取水量豐水期 10 萬 CMD、枯水期 7.5 萬 CMD，上述水源工程上場後遭遇緊急狀況在枯水期整體水源量達 126 萬 CMD(圖 16)，大幅減少缺水問題，而坪頂場出水量仍然不變由 50 萬 CMD 大幅下降至 10 萬 CMD，該場高程海拔 75M 無法由他場完全取代，仁武大社等部分高地區缺水以水車送水或設置加水站因應。

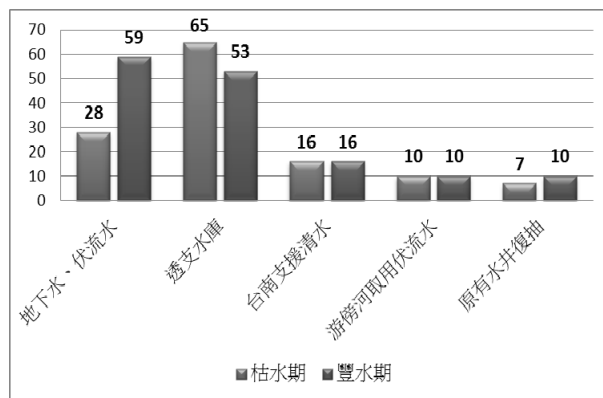


圖 15 現況高雄廠停抽水水源比例圖(萬 CMD)

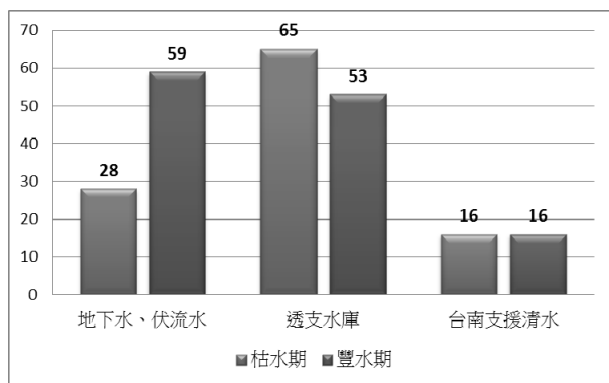


圖 16 未來高雄廠停抽水源地比例圖(萬 CMD)

五、結論

高雄地區每日供水量約 155 萬 CMD，主要水源取自高屏溪及東港溪川流水、境內水庫(澄清湖、鳳山及阿公店水庫)、地下水、伏流水及境外與南化水庫聯合運用，其中民生用水約有 64% 來自高屏溪，故高屏溪為其指標性水源。

高屏溪水量豐枯比懸殊，境內無大型水庫可蓄豐濟枯，豐水期水量豐沛卻容易受到上游集水區降雨影響導致原水高濁度問題，影響供水穩定，枯水期間川流量偏低必須與其他水源調配運用，豐枯水期存在著量與質的問題，台水公司七區處轄內工作以不同時期適時啟動備援系統(地下水、伏流水、透支水庫)挹注高屏溪水源缺口，主要以優先達到供水穩定為目標，倘有餘裕水源，再以降低原水、淨水、供水為成本為考量，選擇相對水質較佳原水以降低淨水成本或選擇單位用電較低的水源，達到節能省碳兼具降低成本又能穩定供水；另外區域間不同單位水源調度及台南高雄聯合調度運用，由水利署南區水資源局邀集各用水單位召開「南部地區各標的供水情勢評估會議」對南部整體水資源進行調度，例如台南高雄聯合調度運

用機制及移用農業水，以達成穩定供水目的，依 104 年高雄嚴重枯旱期間，於 104 年 5 月 4 日進入三階限水(燈號轉換實際尚未執行)，隨著枯旱情形加劇於 103 年 11 月 25 日召開第 1 次應變會議直至 104 年 6 月 4 日共計召開 13 次應變會議。

隨著氣候的變遷，高屏溪河川流量的變化更趨難以預料，現有的備援系統與台南高雄聯合運用機制達穩定供水持續運行中，當即將上場的「東港溪原水前處理工程」及施工中「高屏堰上游傍河取用伏流水工程」及「高屏地區原有水井抽水量復抽工程」甚至未來可能之水源開發「高屏大湖」…等，都將隨著不同水源上場改變既有水源調配比例。

因此本文「高雄公共給水因應高屏溪特性水源調度實務」主要敘明高雄供水系統以高屏溪川流取水為主狀況下，因高屏溪水質與水量面臨目前氣候變遷因素下更趨難以掌控，在整體備援水源尚未開發完成前，必須透過持續加強備援系統及相關聯合運用機制，使能達穩定供水之目標，降低高雄地區缺水風險。

參考文獻

1. 高屏溪流域管理委員會，高屏溪流域整體經理綱要計畫，105年10月。
2. 臺灣大學氣候天氣災害研究中心，104年枯旱總結報告，經濟部水利署，105年03月。
3. 台灣自來水股份有限公司，「105年各區管理處各供水系統設計供水人口及供水能力統計表」，104年、105年。
4. 台灣自來水股份有限公司，「台灣自來水公司第七區管理處各給水廠出水紀錄表」，100年~105年。

作者簡介

王志弘先生

現職：台灣自來水公司第七區理管處技術士

專長：電機工程

郭家憲先生

現職：台灣自來水公司第七區理管處課長

專長：自來水供水操作、水利工程、自來水工程

王明孝先生

現職：台灣自來水公司第七區理管處處長

專長：自來水事業營運管理

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

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」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，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壹萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，每類別推薦 3-4 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：

1. 評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。

2. 同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三)選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

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。

混凝結合預臭氧程序對水體藻類及消毒副產物前驅物質去除效能之評估

文/黃文鑑、劉俊煒

摘要

本研究以預臭氧結合混凝程序去除藻類及降低消毒副產物(disinfection by products, DBPs)前驅物質(precursors)為目的。研究主軸是先取水庫原水藻類篩選純化，並於實驗室培養之純種微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)為研究對象，藉由 DBPs 生成潛能實驗結果評估前臭氧結合混凝程序對飲用水原水中藻類及消毒副產物前驅物質去除能力。研究結果顯示，預臭氧去除藻類及消毒副產物前驅物質，以實驗室培養之微囊藻進行臭氧(O_3)反應結果，處理水中所增加三鹵甲烷生成潛能(THMFP)及鹵乙酸生成潛能(HAAFP)高達 3 至 6 倍原水測值，此結果推測是臭氧將藻體細胞破壞且釋放胞內物(EPS)、胞外物(EOM)至液相中，同時此類藻類代謝物亦屬於 THMs 及 HAAs 前驅物質。再者臭氧結合混凝程序，臭氧化可增加部份溶解性有機物(DOC)去除，但與原水經單獨混凝單元之去除效果比較，其 DOC、THMFP 及 HAAFP 之殘留濃度均明顯偏高，且若水中含有溴離子則使殘留濃度提高，此現象反映臭氧程序處理含藻類之原水需考慮操作條件及水質狀況。

一、前言

我國目前民生用水多半仰賴水庫及河川等表面水體，然因近年農漁牧及工業廢(污)水中之高濃度營養鹽(碳、氮、磷)累積於水體中，造成之水源污染導致水體中浮游生

物大量繁殖(優養化)，其中藻類是優養原水中分佈最廣的水生植物，其帶來問題是對於處理水質之負面影響。藻類在代謝中或死亡的藻體不僅會造成不良觀瞻，甚至引起藻華(Algae bloom)現象。現階段若原水含有藻類以目前水廠的前加氯操作條件，可能尚無法將藻類完全殺滅或去除，甚至可能因提高前消毒劑之劑量，導致藻體細胞破裂分解，造成細胞質之胞內物釋出，惡化水質。鑑此，面對當今原水藻類過度繁殖及淨水除藻所遭遇之問題，實有必要檢討原水除藻之策略。

研究指出部分藻類之代謝物為消毒副產物前驅物質(precursor)在加氯消毒時導致產生許多致癌性(Carcinogenic)與致突變性(Mutagenic)消毒副產物(Disinfection By-Products, DBPs)，如三鹵甲烷(Trihalomethanes, THMs)、鹵化醋酸(或稱鹵乙酸, Haloacetic acids, HAAs)、鹵化乙腈(Haloacetonitriles, HANs)、鹵丙酮(Haloketones, HKs)等，其中以三鹵甲烷及鹵化醋酸所占的比例最高。淨水程序中對於藻類的去除，常採用前消毒/氧化劑，增加混凝劑量，改變濾料的有效粒徑、材質及濾床的深度等。其中較有效之殺藻方法是利用添加消毒/氧化劑在源水，先行將藻細胞破壞並抑制其代謝繁殖，然而，根據文獻報導^[1-3]，淨水處理所使用之化學藥劑(如氯、二氧化氯、臭氧、高錳酸鉀、氫氧化鈣及硫酸銅等)對藻細胞具有生理毒性(physiological

toxicity)，能導致藻細胞突遭破壞，釋出胞內基質 (intracellular substrates) 或胞外有機物 (extracellular substrates)，更甚者，是淨水廠利用前消毒殺菌，為達到兼具除藻功效而提高消毒劑量，造成消毒劑與藻細胞釋出之有機物反應，產生更高濃度之消毒副產物。針對淨水化學藥劑影響藻體細胞的生化作用，用於消毒/氧化之液氯在低劑量 (0.04-0.07 mg/L) 可誘導藍綠藻 (cyanobacterial) 釋出臭味物質-geosmin 至水體，高劑量下對藻細胞有直接生理破壞 (如 cell membrane damage)，導致細胞有機物釋出，處理水之溶解性有機物 (DOC) 增加或甚至產生如 polysaccharides、amino acids 及 aldehydes 等物質^[4, 5]。另一類消毒劑二氧化氯對藻類 (Ulothrix、Ankistrodesmus 及 Phorimidium) 的破壞率，在 5 mg/L 劑量可達 100 %。針對殺藻劑-硫酸銅，在 0.005 mg/L 濃度可抑制藻類 (Microcystis aeruginosa) 的固氮作用 (nitrogen fixation)，並釋放出藻毒素 microcystin (如 microcystin-LR、microcystin-RR)。高錳酸鉀在 0.69 mg/L 對藻類 (Aphanizomenon flos-aquae) 生理代謝亦具抑制作用，並釋出臭味物質-geosmin^[6, 7]。

近年來臭氧廣泛的應用於飲用水處理，主要是臭氧能取代前加氯，大幅降低消毒副產物的生成，同時其殺菌力高於氯。針對臭氧之殺藻能力，顯示超過 1.0 mg/L 劑量後，臭氧即能破壞藻類細胞而釋放內細胞質或其他產物，如 carboxylic acids、aldehydes、amino acids 等；用於調整鹼度或除硬度所添加之氫氧化鈣在高濃度下 (75 mg/L) 對藻體 (Aphanizomenon flos-aquae) 細胞膜亦具破壞性。再者，O₃ 分子之直接氧化途徑對藻體細胞造成之溶胞反應 (cell lysing)，會破壞藻細

胞壁並將細胞質之多醣體、蛋白質及胺基酸等胞內物 (intercellular polymeric substances, IPS) 釋出至水相^[8-12]。現階段臭氧應用於給水的氧化/消毒用途日益普遍，諸如殺滅微生物，氧化水中還原性物質 (如鐵、錳)、天然有機物 (natural organic matter, NOM)、微量臭味物質 (taste and odor causing substrates, T&O) 及人工合成之難分解有機物 (例如農藥、苯或酚類) 等，然而在使用臭氧時，因其高操作成本及在水處理過程可能因高濃度臭氧劑量而衍生消毒副產物 (例如溴酸鹽離子及醛、酮類有機物) 的考量，及臭氧本身在水中的低溶解度與較短半衰期等，因此在添加劑量上無法在高濃度下操作，若水中含有藻類、難分解或高濃度的有機污染物，以目前水廠的臭氧施加劑量及接觸反應時間，可能尚無法將此類有機物完全分解破壞或去除至要求的濃度目標，甚至因提高臭氧劑量導致藻體細胞造成之溶胞反應而釋出細胞質之胞內物。鑑此，面對當今原水藻類過度繁殖及淨水除藻所遭遇之問題，實有必要檢討原水除藻之策略。

本研究以培養之純微囊藻原水，探討在施加預臭氧時，水中之有機物及消毒副產物之變動情形，同時針對預臭氧所可能增加之有機物或因氧化過程導致有機物性質變化對後續混凝程序去除效率之影響，亦是本研究之重點。

二、實驗方法

(一) 研究架構

本研究以預臭氧對混凝處理去除優養化原水中有機物之影響，研究實驗以實驗室培養之純種微囊藻 (Microcystis) 為研究對象，

同時藉由消毒副產物生成潛能 (DBPs formation potential) 實驗結果, 評估遭優養化飲用水原水中消毒副產物前驅物質, 經預臭氧對混凝程序之影響, 研究架構與流程如圖 1 所示。

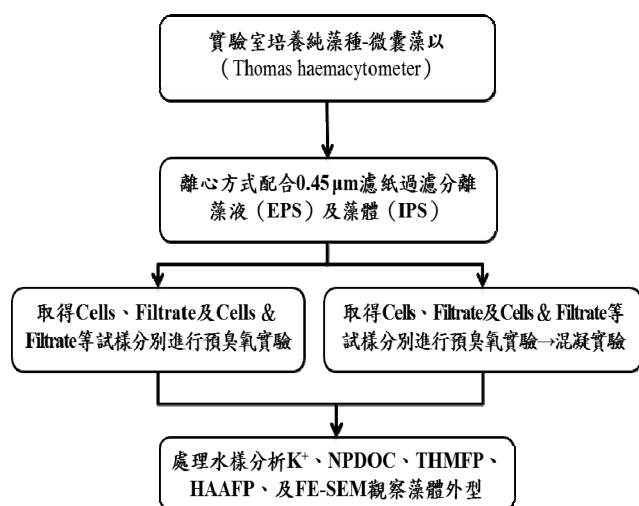


圖 1 實驗室培養純藻種、預臭氧及混凝程序架構

(二)實驗設備

1. 臭氧產生機(Ozone generator) EST LAB-O3 USA。
2. 吹氣捕捉裝置 (Purge&Trap 4560, OI-Analytical, USA) 搭配氣相層析質譜儀 (GC/MS 6890N/5973, Agilent Technologies)。
3. 氣相/電子捕捉偵測器(GC/ECD3800, Varian Technologies Asia)。
4. 場發射掃描電子顯微鏡(Field-emission scanning electron microscope, FE-SEM): JEOL JSM-6700F Oxford inca energy 400。
5. 總有機碳分析儀(Total Organic Carbon Analyzer, TOC): Shimadzu TOC-6001, Japan。
6. 半批式反應器: 本實驗利用批式反應槽進行預臭氧對藻類代謝物之消毒副產物

THMFP 及 HAAFP 前驅物的氧化分解能力, 反應槽是由 4 公升之玻璃材質器皿(如圖 2 所示), 瓶口配置臭氧導入口、氣相殘餘臭氧出口、pH 計、溫度計及取樣口, 瓶底可置入磁石攪拌子, 藉由磁石攪拌器均勻混合 O_3 、及試驗水樣。

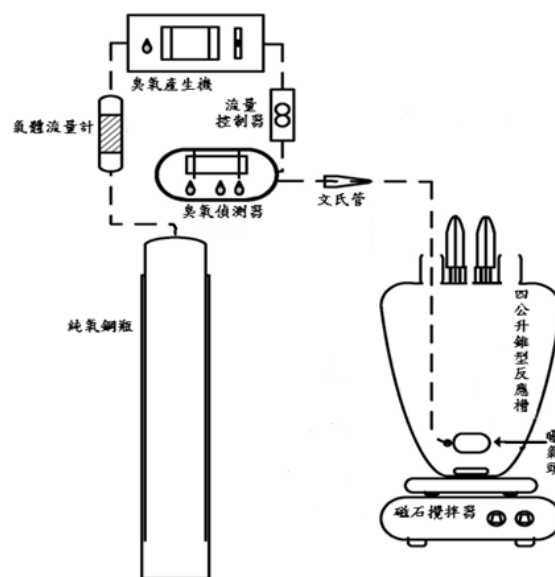


圖 2 臭氧反應槽示意圖

三、結果與討論

本研究探討預臭氧對混凝去除含微囊藻原水 (Cells & Filtrate)、原水過濾液 (Filtrate) 及藻體 (Cells) 中有機物影響之研究, 重點分三項進行: 1. 利用實驗室培養之純藻種-微囊藻控制適量濃度 106 cell/mL, 以鉀離子(K^+ , 主要來自藻體細胞壁)濃度探討經臭氧反應前、後之變化; 2. 分析進行臭氧化處理及人工方式添加適量水中溴離子(Br^-)後, 非氣提性溶解有機碳 (Non-purgeable dissolved organic carbon, NPDOC)、THMFP (THM formation potential) 及 HAAFP (HAA formation potential) 變動情形; 3. 探討經臭氧反應後, 再經混凝處理對 NPDOC

及 THMFP 等有機物及消毒副產物前驅物質之變動。

(一)藻細胞臭氧前、後之藻體變化

首先圖 3 顯示藻體經臭氧化後，利用場發射掃描電子顯微鏡 (FE-SEM) 觀察藻細胞呈現明顯變形且破裂型態，圖 4 電子元素分析儀 (EDS) 圖譜發現被臭氧化後之藻體有釋出鉀離子(K^+)主要來自於藻類細胞壁組成。

本實驗將含藻類原水 (Cells & Filtrate)、原水過濾液 (Filtrate) 及藻體 (Cells) 分別進行臭氧化處理，發現 Filtrate 經臭氧化後之 K^+ 濃度並未增加 (圖 5)，而 Cells & Filtrate 及 Cells 臭氧化者，則可見水相中 K^+ 濃度大幅增加，據此推測後二者水相增加之 K^+ ，主要來自於藻體細胞被臭氧破壞而自細胞壁釋放出來。

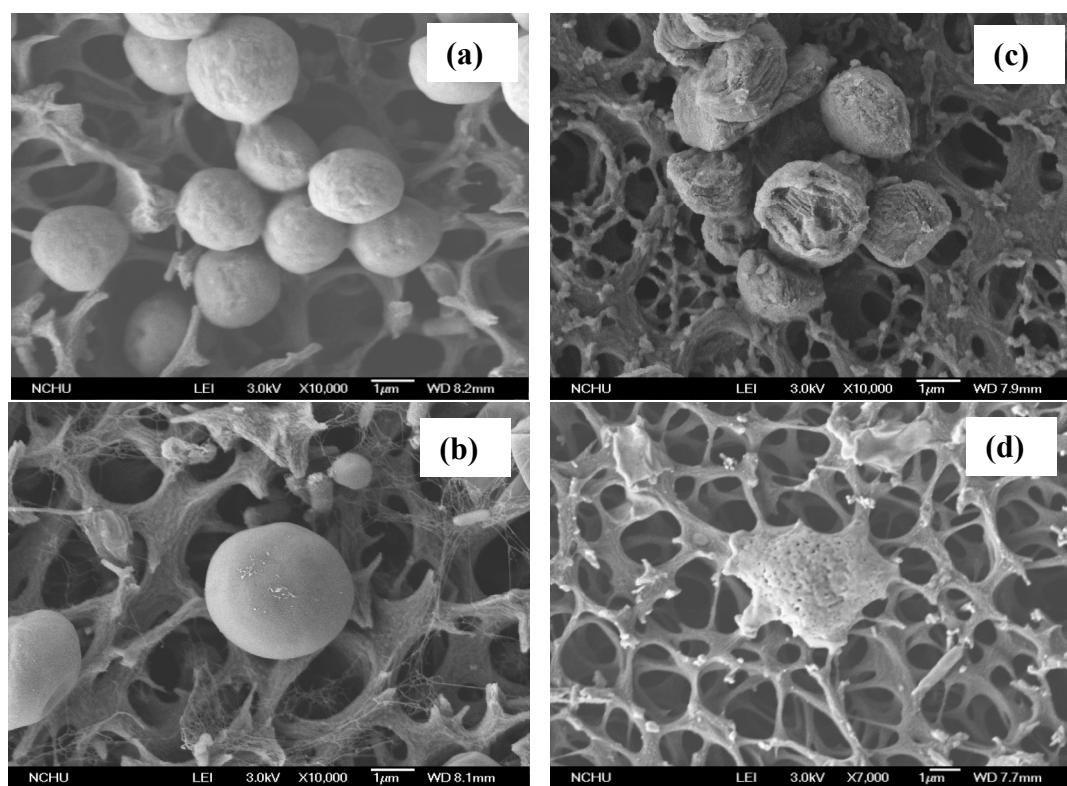
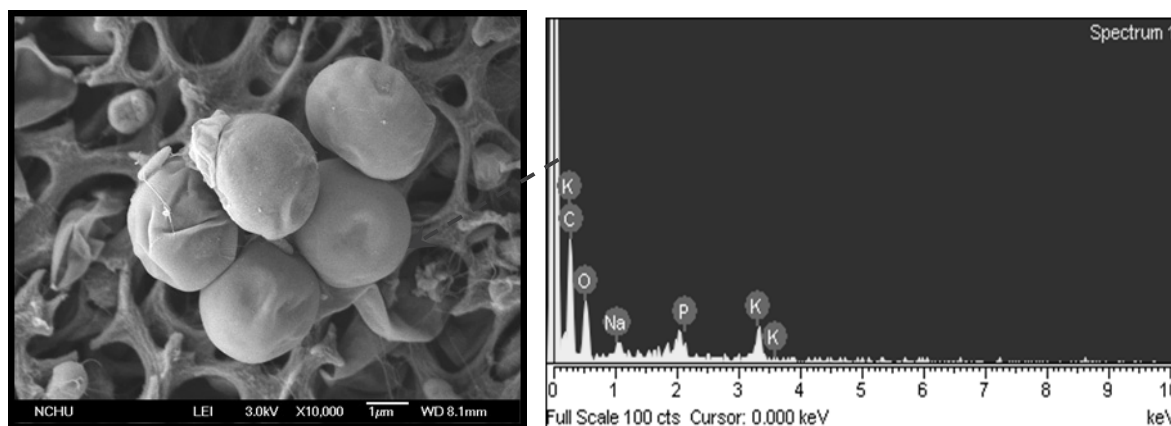


圖 3 微囊藻經臭氣前、後氧化之電子顯微鏡圖 (FE-SEM)。(a) 及 (b) 為添加臭氣前；(c) 及 (d) 為添加臭氣後。



Element	C	O	Na	P	K	Totals
Weight(%)	53.2	35.24	2.37	3.18	6.01	100
Atomic(%)	63.35	31.51	1.47	1.47	2.2	

圖 4 電子顯微鏡 (FE-SEM) 及電子元素分析儀(EDS)分析藻體細胞型體及各組 成元素含量

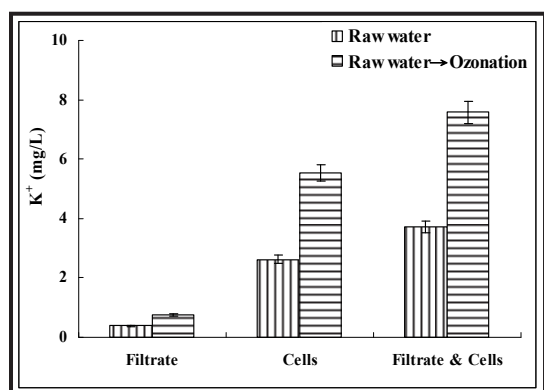


圖 5 Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 臭氧後

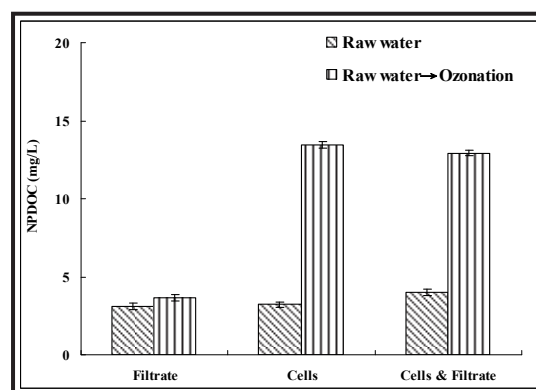


圖 6 Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 臭氧後之 NPDOC 濃度變化

(二)原水藻類臭氧化對水相有機物變動之探討

針對 Cells & Filtrate、Filtrate 及 Cells 臭氧化對水相有機物變動之分析研究結果，圖 6 顯見 Cells & Filtrate 經臭氧化後，水相中 NPDOC 值由 3.98 mg/L 增高至 12.93 mg/L，Cells 臭氧化後亦發現 NPDOC 值大幅增加 (3.21 mg/L 升至 13.45 mg/L)，而 Filtrate 加臭氧反應，則發現 NPDOC 值幾乎未增加，以上結果推測含藻體水樣加臭氧反應後所增加之有機物，主要是來自於藻體被臭氧破壞而自細胞內釋出之有機質，此類有機質釋出至水相後，臭氧未能將其完全礦化，導致水中 NPDOC 測值增加。再者，由圖 7 呈現之 THMF 分析結果可見，以 Cells & Filtrate 及 Cells 增加之 THMF 最為明顯，Cells 在添加臭氧前、後之 THMF 分別由 86.37 $\mu\text{g/L}$ 增加至 385 $\mu\text{g/L}$ ，相當於增加 4.5 倍，Cells &

Filtrate 臭氧前、後之 THMF 由 83.6 $\mu\text{g/L}$ 增加至 530.55 $\mu\text{g/L}$ ，相當於增加 6.3 倍之多。此結果顯示藻類臭氧化所釋出之有機物質亦有部分屬於 THM 之前驅物質。另由圖 8 在相同控制條件下生成之 HAAFP，亦發現與 THMF 有相同趨勢。

一般而言，藻類之胞內物 (IPS) 及胞外物 (EOM) 均屬生成 THM 及 HAA 前驅物質，其中 IPS 生成 THM 及 HAA 的潛能高於 EOM。本研究以含 EOM 之過濾液及含 IPS 之藻體經臭氧化後各別分析 THMF 及 HAAFP，發現後者增加量相當可觀，然前者僅有些微提升，此結果與文獻報導有相同趨勢，至於藻體內 (IPS) 組成份中屬 THM 及 HAA 生成前驅物質之有機物是屬那類物種，則值得在後續研究中再深入探討。文獻報導藻體內之生物分子 (biomolecules) 組成成分，包括蛋白質 (protein)、碳水化合物

(carbohydrates)、脂質 (lipids) 及胺基酸 (amino acids) 等，其中蛋白質及脂質生成之 THM 物種 (chloroform) 濃度要高出碳水化合物甚多^[13]。另針對 HAA 的生成前驅物質，則主要以蛋白質為主，脂質及碳水化合物生成量偏低。另亦有學者以念珠藻 (*Anabaena flos-aquae*) 及其胞外物 (extracellular organic matter, EOM) THMFP 及 HAAFP 分析，發現 EOM 之生成量較藻體細胞內物質 (IPS) 略高，推測此發現不同於本研究結果之原因是試驗的藻體不同，同時藻種在不同生長繁殖階段 (growth phase) 所進行試驗結果亦將有所差異，例如在對數生長期 (exponential phase) 藻體代謝之 EOM 大部份是屬於大分子組成之多醣體 (polysaccharides)，而在靜止期 (stationary phase) 胞內物則以蛋白質及胺基酸組成為主。另有文獻指出藻類在不同生長期可釋放出不同胞外物質 (extracellular products, ECPs)，在對數生長期 (exponential phase) 藻細胞主要是釋出碳水化合物、胺基酸。另外 Myklestad et al.^[13] 亦發現角毛藻 (*Chaetoceros affinis*) 及矽藻 (Diatom) 在生長靜止期之光合作用過程將產生較高的多醣體有機質。

再者，本研究模擬優養化原水在含 Br⁻ 條件下，臭氧化對後續加氯試驗中生成之 THMFP 及 HAAFP 濃度，在試驗樣品中添加 Br⁻ (0.5mg/L)，並進行同前述之實驗。由圖 9 可見三組試驗水樣中添加 Br⁻，在臭氧化程序中 NPDOC 值並未增加，但針對 THMFP (圖 10) 則發現添加 Br⁻ 者，在臭氧化後分析 THMFP 有明顯增加趨勢，其中以含 EPS 及 IPS 之 Cells & Filtrate 及 Cells 增加最顯著，此結果推測是藻類之 IPS 或 EPS 在含 Br

一條件下，有機物與氯反應可生成含 Br- 物種之 THM (Br-THM)，造成整體 THMFP 值增加。

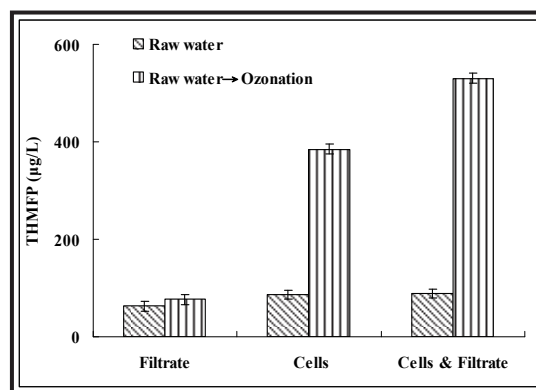


圖 7 Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 臭氧後之 THMFP 濃度變化

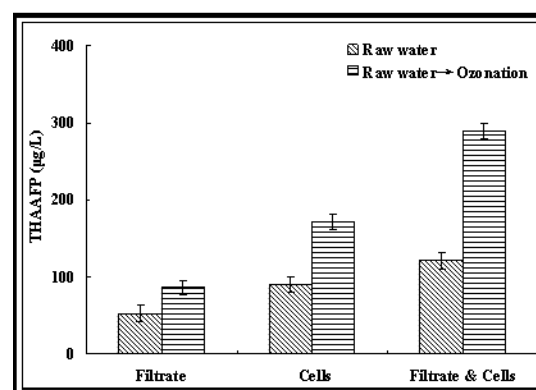


圖 8 Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 臭氧後之 HAAFP 濃度

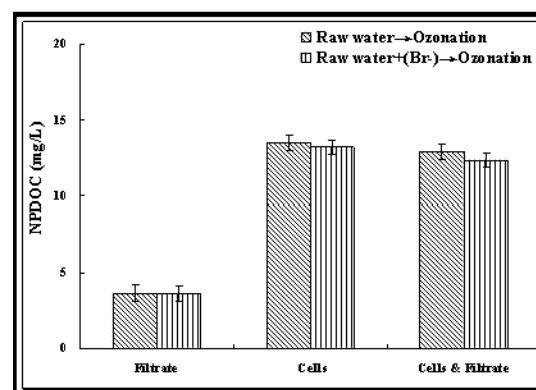


圖 9 Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 有、無添加 Br⁻ 臭氧後之 NPDOC 濃度變化

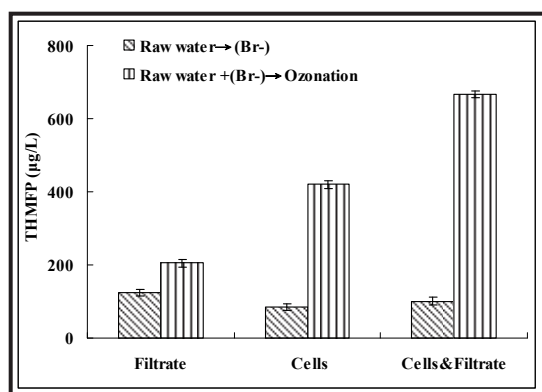


圖 10 Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 添加 Br^- 臭氣後之 THMFP 濃度變化

(三)預臭氧程序對混凝去除有機物及消毒副產物前驅物質之影響

本單元討論重點是取 Filtrate、Cells 及 Filtrate & Cells 三組水樣先經臭氧氧化後再以混凝處理，處理水樣經過濾後分析 NPDOC 值，及消毒副產物(THMFP)生成潛能。

針對三組水樣有、無預臭氧之混凝處理水樣有機物之變動，圖 11(a)顯見 Filtrate 水樣，混凝前之預臭氧處理 NPDOC 去除效率影響不大，推測 Filtrate 中所含之 EPS 雖經臭氧氧化，但仍能利用混凝方式去除部份有機質（約 32–35%）。另 Cells 及 Filtrate & Cells 水樣之混凝前施加臭氧處理之結果（圖 11(b) 及圖 11(c)），預臭氧後，兩者水樣之 NPDOC 值可增至 3 倍，且後續之混凝對臭氧增加之 NPDOC 去除效率不佳，主因可能是臭氧將藻體 Cell 破壞所釋出之有機質大部份是屬小分子者，包括蛋白質、胺基酸等（Plummer et al., 1988），而此類有機物不易被混凝去除。再者，針對消毒副產物生成潛能之探討，圖 12(a) Filtrate 經臭氧後 THMFP 略有增加，但再經混凝處理，有、無臭氧者殘餘 THMFP 值差異不大。而針對水樣中添加 Br^- 所造成

THMFP 值大幅增加，其中水樣先經臭氧化者最明顯，同時此含 Br^- 之水樣再經混凝處理後，其殘餘之 THMFP 仍較未含 Br^- 者高。針對 Cells 水樣預臭氧對混凝去除 THMFP 之結果如圖 12(b)，預臭氧所增加之 THMFP 不甚顯著，且在後續混凝後續可去除約 60%，此結果與直接混凝者差異不大，但值得注意的是在水中含 Br^- 條件下，預臭氧生成之 THMFP 則明顯較原來水樣高出 2.5 倍，此結果推測是臭氧將藻體破壞並釋出細胞內之有機質，此類有機物容易產生含 Br^- 之 THMFP 物種。

針對含 EPS 及 IPS 之 Filtrate & Cells 水樣先經臭氧化後 THMFP 測值大幅增加，如圖 12(c)，此結果與圖 12(a)及(b)相比較，可見所增加之 THM 前驅物質有大部份是來自 Cells 水樣中 IPS，此結果再含 Br^- 水樣之分析上亦有類似趨勢。然而在 IPS 或 EPS 產生之 THM 前驅物質在後續混凝均能大幅去除。

四、結論

1. 針對藻類在臭氧氧化前後之型態變化，利用掃描式電子顯微鏡(FE-SEM)觀察發現在實驗室培養之微囊藻在臭氧氧化後藻體明顯破裂，同時由偵測液相鉀離子 (K^+) 濃度之增加趨勢，研判臭氧可破壞藻體細胞壁，直接殺滅藻類抑制繁殖。
2. 實驗室培養之微囊藻經由臭氧氧化後，水相中 NPDOC、THMFP 及 HAAFP 明顯增加，主因是藻體有機質遭受臭氧破壞而釋出胞內物質(EPS)，胞外物質(ECP)至液相，同時此類有機質亦為 THM、HAA 的前驅物質。

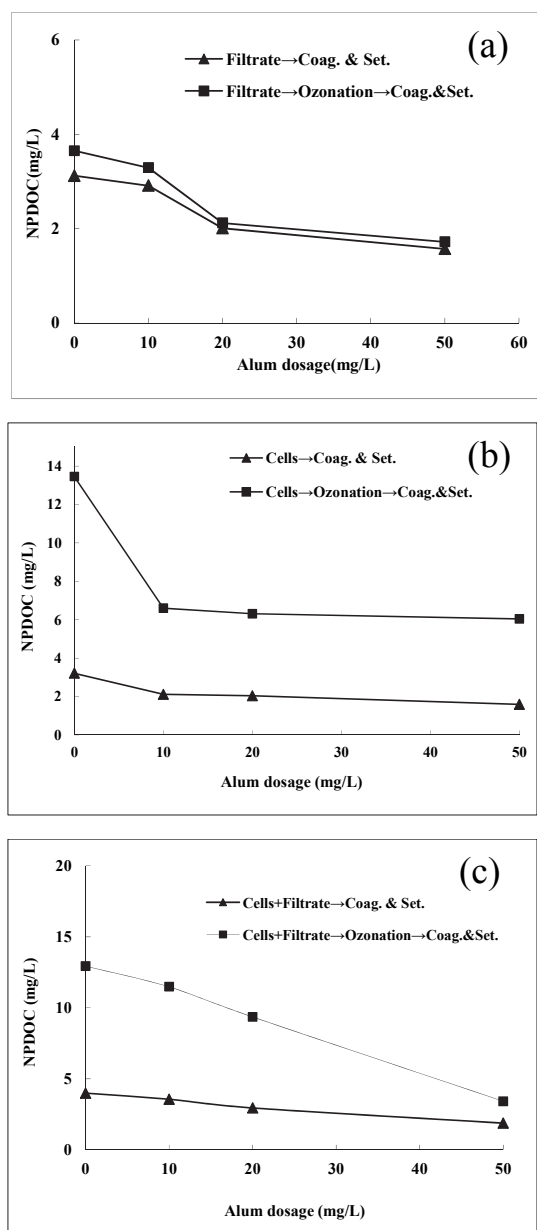


圖 11 水樣有、無預臭氧凝處理去除水中 NPDOC 之影響。(a) Filtrate; (b) Cells; (c) Filtrate & Cells

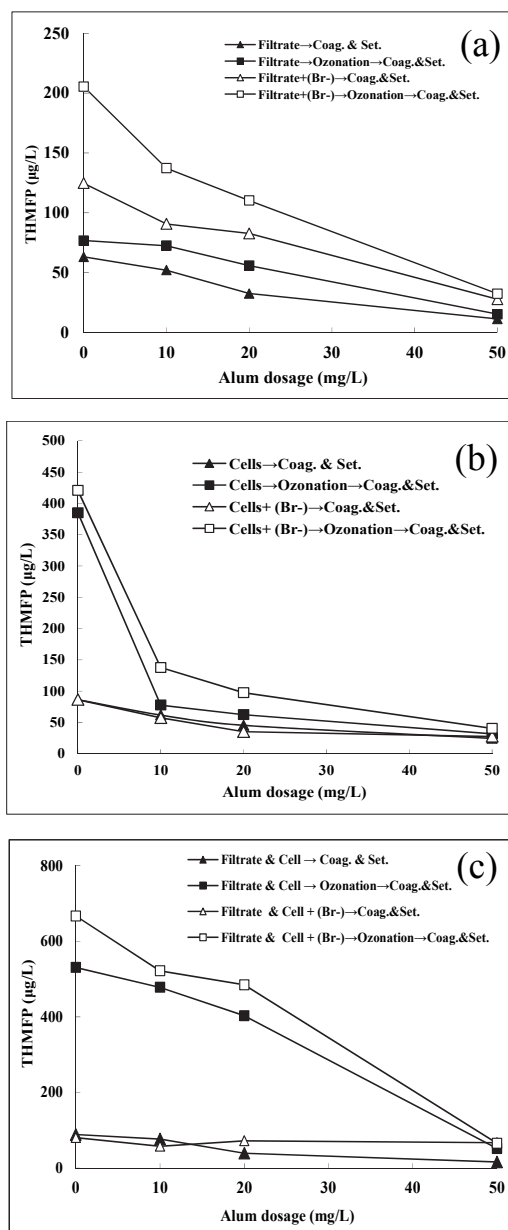


圖 12 預臭氧對水樣凝處理去除水中 THMFP 之影響。(a) Filtrate; (b) Cells; (c) Filtrate & Cells。

3.實驗室培養之微囊藻 EPS 及 ECP，經預臭氧處理對後續凝處理有負面影響，與不經臭氧直接凝處理比較，在相同硫酸鋁凝劑添加量下(10 mg/L)，Cells 與 Filtrate & Cells 水中 NPDOC 值大幅增加，而 Filtrate 則影響較低。

4.經比較添加 Br⁻，再經臭氧處理對凝去

除效率影響，Filtrate、Cells、Filtrate & Cells 三者之 THMFP 皆大幅增加，其次為只有加臭氧處理，而 Cells 水樣中之 THMFP 可藉由凝處理(硫酸鋁 10 mg/L)去除，但 Filtrate & Cells 與 Filtrate 需達 50 mg/L 硫酸鋁凝劑，才可以去除。

5.本研究針對優養原水水源，建議在淨水程

序之前消毒或前氧化程序應慎選消毒劑，同時控制劑量及反應時間，藉此避免藻體被破壞裂解，導致處理水中有機質及消毒副產物前驅物質提升。

參考文獻

- 1.Himberg K., Keijola A.M., Hiisvirta L., Pyysalo H. and Sivonen K., The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from microcystis and Oscillatoria cyanobacteria: a laboratory study. *Water Res.*, 29, 979-984, 1989.
- 2.Fawell J.K., Hart J., James H.A. and Parr W., Blue-green algae and their toxins analysis, treatment and environmental control. *Water Supp.*, 11, 109-115, 2008.
- 3.Hashimoto K., Fujishima A. and Murasawa S., Proceedings of the Symposium on Water Purification by Photocatalytic, Photoelectrochemical, and Electrochemical Processes, The Electrochemical Society, Inc.; Pennington, NJ, 94, 368-371, 2013.
- 4.Hoehn R.C., Barnes D.B., Thompson B.C., Randall C.W. and Grizzard T.J., Algae as sources of trihalomethane precursors. *J. Am. Wat. Wks Assoc.*, 72, 344-350, 1980.
- 5.Kenefick S. L., Hrukey S, E., Peterson HG. and Prepas E.E., Toxin release from Microcystis aeruginosa after chemical treatment. *Wat. Sci. Technol.*, 27, 433-440, 1993.
- 6.Whitaker J., Barica J., Kling H. and Buckley M., Efficacy of Copper sulphate in the suppression of Aphanizomenon flos-aquae blooms in prairie lakes. *Envir. Pollut.*, 15, 185-194, 1978.
- 7.Peterson H.G. and Nyholm N., Algal bioassays for metal toxicity identification. *Wat. Pollut. Res. J. Can.*, 28, 129-153, 1993.
- 8.Richardson, S. D., Thruston, Jr. A. D., Caughran, T. V., Chen, P. H., Collette, T. W., & Floyd, T. L. Identification of new ozone disinfection by-products in drinking water. *Environ. Sci. Technol.*, 33(19), 3368 – 3377, 1999.
- 9.Wu C.D., Xu X.J., Liang J.L., Wang Q., Dong Q. and Liang W.L., Enhanced coagulation for treating slightly polluted algae-containing surface water combining polyaluminum Chloride (PAC) with diatomite. *Desalination*, 279, 140-145, 2011.
- 10.Chih Chao Wu, Winn Jung Huang, Bo Hao Ji, Degradation of cyanotoxin cylindrospermopsin by TiO₂-assisted ozonation in water. *J. Environ. Sci., Heal. A.*, 50, 1116 – 1126, 2015.
- 11.Winn Jung Huang, Yung Ling Cheng and Bai Ling Cheng, Effect of water quality on destruction of odor causing substances during ozonation processes. *J. Environ. Eng. Manag.*, 14, 257-265, 2007.
- 12.Winn Jung Huang, Bai Ling Cheng, Su Kind Hu and Chenghwa Chu, Ozonation of Algae and Odor Causing Substances in Eutrophic Waters. *J. Environ. Sci. Heal. A.*, A41, 1587 – 1605, 2006.
- 13.Myklestad, S. M., Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides. *Sci. Total Environ.*, 165, 55 – 164, 1995.

作者簡介

黃文鑑教授

現職：弘光科技大學環境與安全衛生工程系(所)教授
專長：自來水處理技術、優養化水源評估及水質分析

劉俊煒先生

現職：弘光科技大學環境與安全衛生工程系－碩士生
專長：自來水處理技術、臭氧操作技術

公路上設置窰井必要之結構計算

文/曾浩雄

一、背景說明

管線工程難免需設置閥類，如制水閥(依照管線工程設施規範，原則上每 2 公里要設一只制水閥，俾於破管時可就近關閉)、減壓閥(靜水頭過高之處)、持壓閥(需要保持下游之水壓，以維持上游正常供水之處)等，以利操作維修。而管線總離不開埋設在公路上，近年來歐美、日本等先進國家，甚至中國都已在實施智慧管線計畫，亦即所埋設之管線每隔一段距離就加設一只發訊器，讓管理維護者了解管線埋設之位置及其深度，而且全線均列入監控系統，以利供水上之操作與管控。

因此在公路上所設置之制水閥等必須加設電動設備，再以有線或無線與監控室之機組連線，以利監控。為使埋在地下之電動設備有自由操作維修，甚至有拆下修理之空間，必須將它設置在窰井內。公路上設置窰井。

公路上設置窰井並非屬於大型工程，但公路上有重車日夜行駛，交通至為頻繁，因此其強度必須經得起重車輾壓。若考量不周延致施工時發生工安事故，或設計不當造成結構體強度不足，而使重車壓垮窰井，其因而引發之車禍，勢必造成財物上之損失，甚至危及人員安全，不可不慎。

二、鋼筋及混凝土強度

1.結構體之材質，鋼筋採用 SD-4200，混凝土則採用 280 kgf/cm^2 ，以增加窰井耐壓強度。

2.假設混凝土受壓有效深度為 $k d$ ；其受壓受與受拉重心之有效深度為 $j d$ 。依「鋼筋混凝土設計手冊」^[1]， $k=(n*fc)/(n*fc+fs)$ ， $fc=0.45*fc'=0.45*280=126 \text{ kgf/cm}^2$ ，當採用 SD-4200 時， $fs=1,600 \text{ kgf/cm}^2$ ， n 為楊氏模數(鋼筋與混凝土楊氏係數之比)，鋼筋之楊氏係數 $Es=2.3*10^6 \text{ kg/cm}^2$ ；混凝土之楊氏係數 $E_s=15*1000*fc'^{0.5}=15*10^3*280^{0.5}=250998 \text{ kg/cm}^2$ 。 $n=2.3*10^6/(2.51*10^5)=9.16$ 。 $k=(n*fc)/(n*fc+fs)=(9.16*126)/(9.16*126+1600)=0.42$ ， $j=1-0.42/3=0.86$ ， $K=fc/2*j*k=126/2*0.419*0.86=22.71$ ， $a=fs*j/1600=1600*0.86/105=0.01376$ 。

三、窰井之長寬高

制水閥之種類非常多，例如彈性座封制水閥、球閥及錐形閥，有的是外加電動開關就成為電動式制水閥，也有直接使用電動蝶閥，而閥類之高度隨其管徑之不同而互異(其實際高度可查其型錄得知)。茲以 600 mm ϕ 之電動彈性座封制水閥為例。其閥心至閥頂之高度為 2900 mm。因此所設置之窰井其內部淨高至少要 0.3m(閥頂與井頂版底之空間)+ 2.9m(閥心至閥頂)+0.3 m(電動開關高)+0.6m/2(閥心至閥底)+0.3m(閥底與井底之空間)=4.1m。因此整座窰井之高度=0.25 m(頂版厚度)+4.1m(上述內部淨高)+0.25m(底版厚度)=4.60m。

四、箱型式窰井

假設窰井側牆淨寬為 b ；側牆淨深為 a ，

當 $b/a \leq 3$ 時，該窰井稱之為箱型式窰井，其所承受之力矩得以雙向版理論計算之。

五、窰井承受之長期應力

(一)短邊頂版(絞接端)

1. 假設頂版之短邊以絞接；長邊則以固定方式支撐於四邊窰井側牆上，側牆四邊及底板均為固定。
2. 窰井側牆受力情形詳如圖 1 所示。

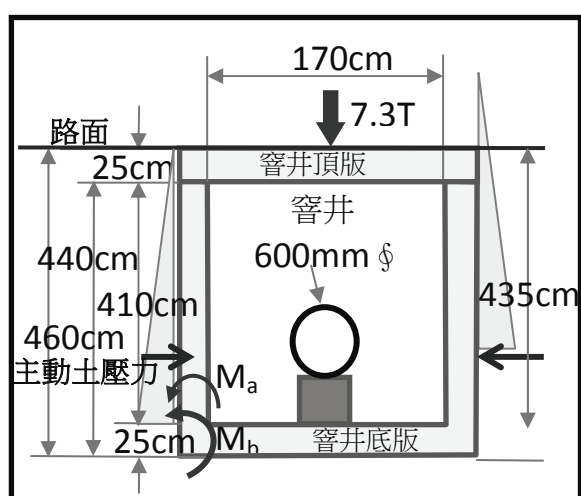


圖 1 窰井側牆受力示意圖

3. 參照橋梁設計規範，橋梁上之橋面版係連續跨越於數支大梁上之結構，因其跨距與大梁支跨距相差至為懸殊(兩者之比值遠大於 2)，在分析時可將大梁視為支承，而橋面版則視為連續單性向版結構進行分析。因此連續梁之跨徑即為大梁之間距，惟大梁之翼版是具有寬度與勁度之結構體，直接以間距作為跨徑乃過於保守，故公路局橋梁設計規範^[2]3.2.A 規定(參考臺灣公路工程第 34 捲 6 期^[3])：設有效淨跨徑為 S ，當 $W_f/t_f < 4$ 時， S =大梁間距，其中 W_f 為上翼版寬， t_f 為上翼版最小厚度。詳如圖 2。

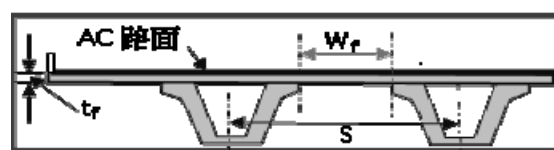


圖 2 橋面版之淨跨距示意圖

4. 因此若上翼版寬 $W_f = 1.7\text{m}$ ，上翼版最小厚度 $t_f = (25 - 6.5) = 18.5\text{cm}$ ，則 $S = W_f/t_f = 1.7/0.185 = 9.19 > 4$ ，故有效淨跨徑 $= S - W_f/2 = 1.7 - 1.7/2 = 0.85\text{cm}$ 。
5. 窰井頂版為固定於窰井側牆上之平版，在分析時可將窰井側牆視為支承，本文窰井頂版之長寬比 $r = 3.4/1.7 = 2$ ，因此可視為雙向版，其單跨徑即為頂版之間距，直接以間距作為跨徑雖過於保守，但比較安全。
6. 公路上有重車日夜在行駛，故路面下之構件必受衝擊，假設衝擊係數為 I ，依據公路局橋梁設計規範之規定： $I = 15.24/(S + 38.1)$ ，其中淨跨徑 S 的單位為 m ， I 值最大不得超過 30%。本文窰井頂版之 $I = 15.24/(1.7 + 38.1) = 0.38 > 30\%$ ，採用 0.3。
7. 設計彎矩 $M = M_D + M_{L+I}$ 。其中 M_D ：靜載重彎矩 (T-m/m)， M_{L+I} ：活載重彎矩包含衝擊 (T-m/m)。
8. 按照公路設計規範 HS20 之規定，公路上之活載重，不得小於 HS20-44(MS18)之 1.25 倍，或以軸距 1.2m 每軸重 14,600 kgf 之 1.25 倍之雙軸「替代軍用載重」，擇其能產生最大應力者，因此單輪最大荷重 P 採用 14.6T 計。
9. 窰井頂版自重與 AC 路面重，所造成靜載重之彎矩 $M_D = C \cdot W_u \cdot \ln 2$ ，其中 C 為雙向版短邊之力矩係數，當 $r = 2$ 時，查鋼筋混凝土計算法與實例[4]之表 3.6。其負力矩係

數 $C = 0.083$ ；正力矩係數 $C = 0.062$ ， $W_u =$ 窰井頂版混凝土均佈重 + AC 面層均佈重，RC 之單位重量 $= 2.4 \text{ T/m}^3$ ，AC 之單位重量 $= 2.3 \text{ T/m}^3$ (預計未來會因路面挖掘，而加上一層 5 公分厚之 AC 封層)。假設頂版厚度 $= 25 \text{ cm}$ ，其有效淨跨距 $l_n = 1.7 \text{ m}$ 。則 $MD = -C * W_u * l_n^2 = -0.083 * (2.4 * 0.25 * 1.0 + 2.3 * 0.05 * 1.7^2) = -0.17 \text{ T-m}$ 。

10. 在公路上四邊支承之頂版，其短跨徑承受板面載重之分擔比例應依照下列公式計算：均佈載重 $P = b^4 / (a^4 + b^4)$ ，集中荷重 $P = b^3 / (a^3 + b^3)$ ，上二式中， p ：短跨徑方向承受載重之比例， a ：短跨徑之長度。 b ：長跨徑之長度。當版之長度超過寬度一倍半時，版面所有載重均應假設由短跨方向之鋼筋負擔。本文之 $a/b = 3.4/1.7 = 2$ ，因此版面所有載重均應由短跨方向之鋼筋負擔。

11. 最大正力矩 $= 0.062 * w_u * l_n^2 = 0.062 * (2.4 * 0.3 * 1.0 + 2.3 * 0.05) * 1.7^2 = 0.13 < 0.17 \text{ T-m}$ ，因此最小版深由最大負力矩控制。

12. 活載重力矩：依據上述公路局橋梁設計規範 3.2.C：頂版每公尺寬度之彎矩 $ML_i = (S + 0.6) / 9.6 * P * 1.25$ ，其中 $S =$ 有效淨跨徑，公式適用範圍自 0.6m 至 7.2m。

13. 頂版承受總力矩 $MT_+ = MD + ML_1 = 0.2 + (1.7 + 0.6) / 9.6 * 14 * (1 + 0.125) * 1.3 = 5.11 \text{ T-m}$ 。計算最小版深 d_{min} 需依據設計彎矩計算，版深 $d =$ 版厚 t - 保護層厚度 - 主筋直徑 / 2。

14. 設主筋直徑採用 $D22 = 2.22 \text{ cm}$ 。依照內政部營建署公布實施之鋼筋混凝土結構設計規範之規定，結構體直接曝露在空氣中者，其保護層厚度採用 6.5cm。所以在力

矩(絞接端)未重新分配前，其最小有效深度 $d_{min} = (M * 1000 / K)^{0.5} = (5.11 * 1000 / 22.71)^{0.5} = 15.00 \text{ cm}$ ，頂版厚度 $t = 15.00 + 6.5 + 2.22 / 2 = 22.61 \text{ cm} < 25 \text{ cm}$ ，OK。

(二)短邊側牆(頂端絞接端；底短固定)

1. 因土壓力

(1) 依郎金(Rankine)側向土壓力理論公式^[5]，側牆最下端主動土壓力係數 $K_a = (1 - \sin 25^\circ) / (1 + \sin 25^\circ) = (1 - 0.4224) / (1 + 0.4224) = 0.41$ 。

(2) 窰井側壁與底版交接處(即側壁底端)每公尺寬所承受之土壤單位主動土壓 $P_a = K_a * \gamma * h = 0.41 * 1.85 * 4.35 = 3.3 \text{ T/m}^2$ 。

(3) 依據水池設計(一)－矩形鋼筋混凝土水池^[6]，牆因土壓所產生之作用力如下：

- 側牆頂端之剪力 $P_1 = 1/5 * 1/2 * p_a * h = 1/5 * 1/2 * 3.3 * 4.35 = 1.44 \text{ T}$ 。

- 側牆底端之剪力 $P_2 = 4/5 * 1/2 * p_a * h = 4/5 * 1/2 * 3.3 * 4.35 = 5.74 \text{ T}$ 。

- 最大正力矩發生在 $h' = h / 5^{0.5} = 0.447h$ 處，其值 $M_{max+} = 1 / (15 * 5^{0.5}) * p_a * h^3 = 1 / (15 * 5^{0.5}) * 3.3 * 4.35^3 = 1.86 \text{ T-m}$ 。

- 最大負力矩發生在 $h' = h$ 處(即牆底)，其值 $M_{max-} = -1 / 15 * p_a * h^2 = -1 / 15 * 3.3 * 4.35^2 = -4.16 \text{ T-m}$ 。

2. 頂版邊緣固定端力矩對牆頂誘發之力矩 M_s ，於牆頂所產生之作用力如下：

(1) 頂版邊緣絞接端因靜載重所產生之力矩 $MD = 1/12 * (2.4 * 0.25 + 2.3 * 0.05) * 3.4^2 = 0.69 \text{ T-m}$ 。

(2) 因活載重所產生之力矩 $ML = 1/4 * 10.5 * 1.7 = 8.93$ 。 $M_s = 0.69 + 8.93 = 9.62 \text{ T-m}$ 。

(3) 側牆之勁度 $= t^3 / B / H = 40^3 * 3.4 / 4.1 =$



53073，頂版之勁度 $=t^3/B/L=40^3*3.4/1.7=128*1000$ ，側牆與頂版之勁度比 $=53073:128000=0.415:1$ 。側牆與頂版分配之比率為 $0.3:0.7$ 。

(4) 牆頂誘發力矩 $M_s=0.3*9.62=3.21\text{T-m}$ 。側牆頂端之剪力 $P_{ws1}=P_{ws2}=3/2*M_s/h=3/2*3.21/34.35=0.14\text{T}$ 。

(5) 側牆 h' 點之力矩 $M=M_s/2 \cdot h'/h*M_s$ ，最大正力矩發生在牆頂 $h'=0$ ，其值 $M_{smax}=M_s=3.21\text{T-m}$ 。

(6) 側牆最大正力矩發生在牆頂 $h'=h$ ，其值 $M_{smax}=M_s/2=3.21/2=1.61\text{T-m}$ 。

(三) 底版(短邊)

1. 頂版靜荷重 $=(RC+AC)$ 重 $=(2.4*0.25+2.3*0.05)*(1.7+0.25*2)*(3.4+0.25*2)=6.14\text{T}$ 。

2. 窰井側牆重量 $=2.4*4.1*0.25*2*(1.7+3.4+0.25*2)=27.55\text{T}$ 。

3. 活荷重 $P=14.4\text{T}$ ，合計 $W=6.14+27.55+14.4*1.25=51.69\text{T}$ 。

4. 計算底版反力可以按地基反力直線分佈計算。因窰井底版自重與其引起的地基反力直接抵消，而不產生彎曲應力。只有由窰井側牆和池頂作用在底版上的力所引起的地基反力才會使底版產生彎曲應力。

5. 底版單位面積淨反力 $\omega=W/A=51.69/(2.2*3.9)=6.02\text{T/m}^2$ 。

6. 底版四邊均為固定端，且其長寬比 $=4/2.3=1.74<2$ ，故可依雙向版原理設計之。依據鋼筋混凝土計算法與實例之表 3.6，四邊連續之底版 $r=1.7/3.4=0.5$ 時，中央力矩係數 0.083 ，支端 $=0.055$ ，故其中央正力矩 $M+=0.083*\omega*L^2=0.083*6.02*1.7^2=1.45\text{T-m}$ ；支端負力矩 $M=-0.055*6.02*1.7^2=-0.96\text{T-m}^2$ 。

-0.96T-m^2 。

六、窰井承受之短期應力

(一) 水平震度

1. 在公路上設置窰井必然會遭遇地震橫力之作用而提高其受力。設震度 $a/g=k$ ，該值會因地域之不同而互異。

2. 地下構造物之設計水平地震力，為該層靜載重乘以該層深度對應之水平震度 k 。依照內政部營建署公布實施之建築物耐震設計規範及解說^[7]，第二章 靜力分析方法所述： $k\geq 0.1*(1-H/40)*SSD*I$ 。其中 SSD 為工址短週期設計水平譜加速度係數， I 為用途係數， H 為自地表面往下算之深度(H 大於 20 公尺時以 20 公尺計)。由該規範第二章之公式 2-4，知 $SDS=Fa*SSD$ ，假設工址在高雄市三民區，由其表 2-1，可查得： SSD 為 0.6。再由表 2-2(a)可查得：當 $SS=0.7$ 且為第一類地盤者， $Fa=1$ 。本例之 $H=4.6\text{m}$ ，因此 $k\geq 0.1*(1-4.6/40)*Fa*SSD*I$ ， $k\geq 0.1*(1-4.6/40)*1.0*0.6*1.25\geq 0.066$ ，採用 0.07。

3. 地下構造物因地震承受水平地震力，會因土壤被動土壓而減少其振幅，因此 k 值採用 0.07 應已足夠也很合理。

(二) 地震力所產生之作用力

1. 因土壓力

(1) 側牆頂端之剪力 $P_{e1}=7/45*k*p_a*h=7/45*0.07*3.3*4.35=0.16\text{T}$ 。

(2) 側牆底端之剪力 $P_{e2}=77/180*k*p_a*h=77/180*0.07*3.3*4.35=0.43\text{T}$ 。

(3) 牆 h' 點之力矩 $M_e=7/45*k*p_a*h^2*(1-3h^{3/2}/2h^{3/2})*h'$ ，最大正力矩發生在 $h'=(4/15)^{2/3}*h=0.415h$ 處， $M_{emax}=0.039*k*p_a*h^3=0.039*0.07*3.3*4.35^2=0.17\text{T-m}$ 。

(4)最大負力矩發生在牆底 $h'=h$ 處，其值 $M_{\max}=-7/45*k*p_a*h^2*(1-3/2)=-0.078*0.07*3.3*4.35^2=-0.34T\cdot m$ 。反曲點，即 $M=0$ 處，在 $(2/3)^{2/3}h=0.763h=0.763*4.35=3.32m$ 處。

2.因側牆自重(wc)

(1)地震力為一均佈荷重(假設側牆厚度=0.25 公分，側牆自重 $(wc)=2.4*0.25*1.7*4.1=4.18T$ 。

(2)側牆頂端之剪力 $P_{w1}=3/8*k*wc=3/8*0.07*4.18=0.11T$ 。側牆底端之剪力 $P_{w2}=5/8*k*wc=5/8*0.07*4.18=0.18T$ 。

(3)牆深 h' 點之力矩為 $M_c=3/8*k*wc*h'-k*wc/h*h^2/2$ ，最大正力矩發生在 $h'=3/8h=0.375h$ 處，其值 $M_{c\max}=9/120*k*wc*h=9/120*0.07*4.18*4.35=0.095T\cdot m$ 。

(4)最大負力矩發生在 $h'=h$ 處(在牆底)， $M_{\max}=-k*wc*(3/8h-1/2h)=-1/8*k*wc*h=-1/8*0.07*4.18*4.35=-0.16T\cdot m$ 。反曲點，即 $M=0$ 處，在 $3/4h=0.75m$ 處。

3.因頂版水平力

(1)頂版因地震產生之水平力 $=k*(頂版靜載重+1/2 活載重)=0.07*(2.4*(1.7+0.25*2)*3.4+10.5/2)=1.62T$ 。

(2)牆底單位剪力 $1.62/1.7=0.95T\cdot m$ 。因反曲點 2.73m 處，故牆頂端之力矩 $=-0.95*(4.1-2.73)=-1.3T\cdot m$ ；牆底端之負力矩 $=0.95*2.73=2.59T\cdot m$ ，則相當於最大正力矩發生在 $h'=0.447h$ 處之力矩 $M_m=(10.43*0.447-5.23*0.553)=1.77T\cdot m$ 。

(三)側牆及底版長期與短期應力之比較

1.總剪力

(1)頂端承受之長期剪力 $P_1=1.44+0.14=1.58T$ ；短期剪力 $Pe_1=0.16+0.18+0.95=1.29>1.58/3=0.53T$ ，因此頂端之剪力由短期剪力控制。

(2)底端承受長期剪力 $P_2=5.74+0.14=5.88T$ ；短期剪力 $Pe_2=0.43+0.18+0.95=1.59<5.88/3=1.96T$ ，因此底端之剪力由長期剪力控制。

2.總力矩

(1)側牆承受之長期最大正總力矩 $M_1=1.86+3.21=5.07T\cdot m$ ；短期最大正總力矩 $M_1=0.17+0.08+1.77=2.02>5.07/3=1.69T\cdot m$ ，因此側牆之力矩由短期力矩控制。

(2)底端承受之長期最大負總力矩 $-4.16-1.16=-5.32$ ；短期總負總力矩 $-0.34-2.59-0.16=-3.09>5.32/3=1.77T\cdot m$ 因此底端承受之力矩由短期最大負總力矩控制。

七、側牆與底版力矩分配

(一)側牆與底版

1.依據結構力學設計手冊^[8]，側牆之勁度 $=t^3/B/H=40^3*3.4/4.1=53073$ 底版之勁度 $=t^3/B/L=40^3*3.4/1.7=12800$ 側牆與底版之勁度比為 $=53073:12800=0.415$ 。

2.因此在接點之力矩可按 0.3 與 0.7 之比率予以分配，牆與底版之力矩分配詳如表 1。

3.牆壁與底版之原固定端點力矩分別為 -5.32 及 $-0.96T\cdot m$ 。其端點力矩和 $=-5.23-0.96=-6.28$ 。經力矩重新分配後，前者之最終力 $=-3.35T\cdot m$ ；後者為 $=3.35T\cdot m$ 。

表 1 側牆與底版力矩分配計算表

構件	牆壁	底板
固定端力矩	-5.32	-0.96
端點力矩和	-6.28	
分配比	0.3	0.7
分配力矩	1.88	4.40
最終力矩	-3.35	3.48

八、總厚度及其應力

1. 牆壁最小有效深度 $d_{\min} = (3.48 \times 1000 / 22.71) \wedge 0.5 = 12.38 \text{ cm}$ ，採用 19mm ϕ ，總厚度 $t = 12.38 + 6.5 + 1.91/2 = 19.34 \text{ cm}$ ，選用 $t = 25 \text{ cm}$ ，故與假定相符，OK。
2. 核算剪應力 $\nu = V / jbd = 3.48 \times 1000 / (0.86 \times 100 \times (25 - 6.5)) = 2.19 \text{ kg/cm}^2 < \text{版及基礎周圍剪力容許剪應力 } 7.7 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。
3. 底版支正力矩 $= 1.24 < -3.48 \text{ kg/cm}^2$ ，因此最小有效深度由負力矩控制，亦即其總後度與剪應力均與牆壁相同，故不再贅述。
4. 窰井牆版承受力矩情形詳如圖 3。

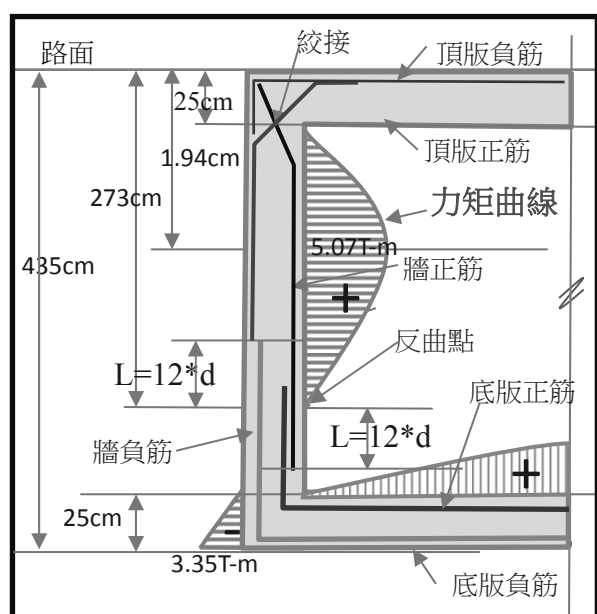


圖 3 窰井牆版承受力矩示意圖

(四)長邊頂版(固定端)

1. 頂版若以固定方式支撐於四邊窰井側牆上，則就其上部所承受之均佈荷重(靜載重 ω , T/m³)而言，其中央最大正力矩 $M_+ = 1/24 \omega * L^2$ ；而兩端之負力矩也只有 $M_- = 1/12 \omega * L^2$ 。另因其上部所承受之集中荷重(重車單輪載重 P)而言，其所產生之中央最大正力矩及兩端負力矩也都只有 $M_+ = M_- = 1/8 P * L$ 。但以絞接方式支撐於四邊窰井側牆上，則就其上部所承受之均佈荷重及集中荷重而言，雖然兩端負力矩均等於 0，惟其中央最大正力矩 $M_+ = 1/8 \omega * L^2$ 。另因其上部所承受之集中荷重而言，其所產生之中央最大正力矩 $M_+ = 1/4 P * L$ 。
2. 可見若以固定方式支撐於側牆上，其所產生之力矩比採用絞接方式者較小，因此較為有利。而兩者在施工時需特別注意之事為：前者之鋼筋可直接通過頂版與側牆之介面(形成固定端)；而後者必須在上述介面交叉通過，(形成絞接)詳如圖 4 所示。

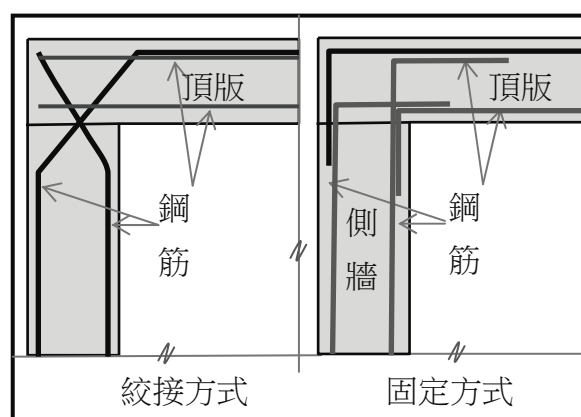


圖 4 絞接與固定方式示意圖

3. 假設側牆寬為 b ；側牆深為 a ，當 $b/a=4.15/3.4=1.22$ 該側牆可以雙向版方式計算其力矩。由水池設計(一)之Ⅲ查得最大力矩係數 $=b/a=1.0$ 時，其最大力矩係數

$=-0.35$ ；當 $b/a=1.25$ 時最大力矩係數 $=-0.47$ 。
以插入法可求得 $b/a=4.15/3.4=1.22$ 時，
其最大力矩係數 $=-0.35-(0.47-0.34)/0.25*0.22=-0.4556$ 。故其力矩
 $M=0.456*pa*L^2=0.4556*0.835*3.4^2=4.38$
T-m。其他各項應力及配筋均與短邊之計算
方式相同贅述。

九、窰井配筋

(一)頂版

- 1.頂版承受總最大正力矩 $M+=5.11\text{T-m}$ ；負力矩 $=-0.2\text{T-m}$ 。
- 2.由於結構體直接曝露在空氣中者 6.5cm (未來雖然可能鋪上一層 AC，但在未鋪前，其保護層厚度仍應採用 6.5cm)。 $As=M/ad=5.11/(0.01376*(25-6.5))=20.07\text{cm}^2$ 。
- 3.下排採用 D19，最大間距 $s=100/(20.07/3.871)=19.29\text{cm}$ 。採用 18cm，(間距不得大於有效深度 $d=25-6.5=18.5$)。實際 $As=100/18*3.871=21.50\text{cm}^2>20.07\text{cm}^2$ ，OK。
- 4.負力矩 $=-0.2\text{T-m}$ 。 $As=0.2/(0.01376*18.5)=0.79\text{cm}^2<$ 最小(溫度)鋼筋量 $As=0.3%*(25-6.5)*100/2=2.78\text{cm}^2$ (因頂版直接曝曬在陽光下，故鋼筋比採用 0.3%)。
- 5.採用 D13，上排，最大間距 $s=100(2.78/1.267)=45.57\text{cm}$ 。採用 18cm，實際 $As=100/18*1.267=7.03\text{cm}^2>2.78\text{cm}^2$ ，OK。

(二)側牆

- 1.側牆最大正力 5.07T-m ， $As=M/ad=5.07/0.01376/(25-6.5)=19.92\text{cm}^2$ 。採用 D22，最大間距 $s=100/(19.92/3.871)=19.43\text{cm}$ 。內側外邊，採用 18cm，實際 $As=100/18*3.871=21.50\text{cm}^2>19.92\text{cm}^2$ ，OK。

- 2.負力矩 $=-0.69\text{T-m}$ ， $As=0.69/(0.01376*18.5)=2.71\text{cm}^2<$ 最小(溫度)鋼筋量 $As=0.3%*(25-6.5)*100/2=2.78\text{cm}^2$ 。採用 D13，外側外邊，最大間距 $s=100(2.78/1.267)=45.57\text{cm}$ 。採用 18cm。實際 $As=100/18*1.267=7.03\text{cm}^2>2.78\text{cm}^2$ ，OK。外側內邊及內側內邊也均採用溫度鋼筋 D13@18cm。

(三)底版

- 1.由表 3，底版最大負力 -9.15T-m ， $As=M/ad=9.15/0.01379/(25-6.5)=35.87\text{cm}^2$ 。
- 2.採用 D25，最大間距 $s=100/(35.87/5.067)=15.96\text{cm}$ 。
- 3.上層採用 15cm，(間距不得大於有效深度 $d=25-6.5=18.5$)。實際 $As=100/15*5.067=33.78\text{cm}^2>31.75\text{cm}^2$ ，OK。最小(溫度)鋼筋量 $=0.25%*30*100/2=3.75\text{cm}^2$ 。
- 4.採用 D13，下層，最大間距 $s=100(3.75/1.267)=33.87\text{cm}$ 。採用 20 cm，(間距不得大於有效深度 $d=30-6.5=23.5$)。實際 $As=100/20*1.267=6.33\text{cm}^2>3.75\text{cm}^2$ ，OK。
- 5.窰井之配筋詳如圖 5 所示。

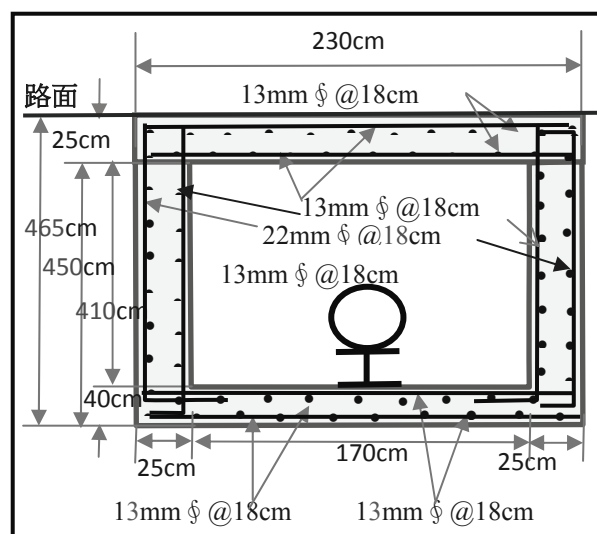


圖 5 窰井配筋示意圖

十、大型窖井

1. 假設窖井側牆寬為 b ；側牆深為 a ，當 $b/a \geq 3$ 時，稱之為大型窖井，其所承受之力矩只能以單向版(如同擋土牆，其水平方向之兩端視為完全開放)方式計算之。
2. 茲以 $b=8\text{m}$ ， $a=2.5\text{m}$ 之窖井加以說明如下：
主動土壓力係數 $K_a=(1-\sin 25^\circ)/(1+\sin 25^\circ)=0.4078$ 。
3. 窖井側壁與底版交接處所承受之土壤單位主動土壓 $f_a=K_a \cdot \gamma \cdot h=0.41 \cdot 1.85 \cdot 2.5=1.9 \text{ T/m}^2$ 。窖井側壁與底版交接處因主動土壓，所產生之力矩 $M_a=f_a \cdot h^2/6=1.9 \cdot 2.5^2/6=1.98 \text{ T/m}^2$ 。
4. 最小有效厚度 $d_{\min}=(1.98 \cdot 103/22.71)^{0.5}=3.0\text{cm}$ 。總厚度 $t=3+6.5+1.27/2=10.14 \text{ cm}$ ，選用 $t=15\text{cm}$ 。可見大型窖井之側牆並不一定比箱型窖井側牆之厚度大。
5. 大型窖井之側牆與箱型窖井側牆，其力矩之計算完全不同，前者係依照單向版原理計算；後者則依照雙向版原理辦理。除此之外，其頂版及底版力矩之計算完全相同，故不再贅述。

十一、窖井施工

(一)開挖之安全性考量

由於窖井深度常多達 4 公尺深以上，故工程施工時必須依照勞工安全法規之規定，依照勞基法之規定，當其挖深超過 1.5 m 時，其四周必須施作防護土讓崩塌之措施。此外，另須就窖井結構體之安全性做整體之結構計算，換句話說，窖井之頂版、側牆及底版等之厚度與其配筋，均須足以承擔其上部(公路上)所行駛重車之載重量。

(二)開挖之長寬及深度

1. 依上述分析，窖井內之淨長度除閥類本身長 1.5m，至少尚須設置拉桿式伸縮接頭(1.0m 長)，以利日後必要時可拆以下閥類送修，另於閥類前後兩端需各保留 0.45m 空間以利裝修，故其內部淨長 $L=0.45 \cdot 2 + 1.0 + 1.5 = 3.4\text{m}$ ，井內淨寬度 $B=0.45 \cdot 2 + 0.8 = 1.7\text{m}$ 。
3. 若採用現場施作，窖井之東西南北測均各需預留 0.9m 空間，以利裝卸模板。故其開挖斷面 $H=4.60\text{m}$ ， $L=(3.4+0.25 \cdot 2 + 0.9 \cdot 2) = 5.7\text{m}$ ， $B=(1.7+0.25 \cdot 2 + 0.9 \cdot 2) = 4\text{m}$ 。
2. 窖井上視圖及開挖斷面詳如圖 6。

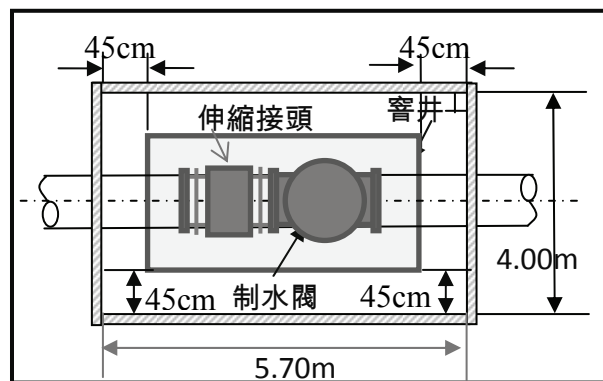


圖 6 窖井開挖斷面示意圖

3. 開挖斷面及打板樁詳如圖 7 所示。

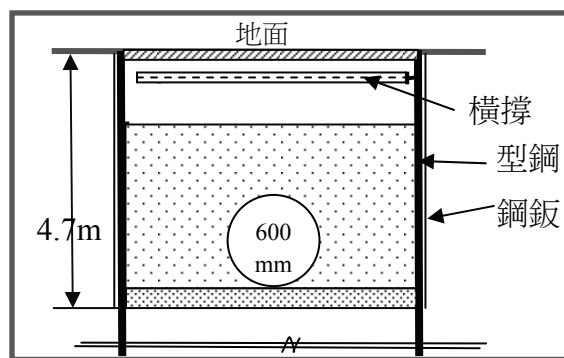


圖 7 窖井開挖斷面及打板樁示意圖

(三)現場土壤狀況

現場土壤性質須就地取其土壤進行土壤試驗，以決定其單位重量、摩擦(安息)角等資料。假設試驗結果土壤為棕黃色黏土，

單位重量 $\gamma = 1.85 \text{ T/m}^3$ ，土壤摩擦角 $\varphi = 25^\circ$ ，開挖面以上無地下水，說明如下：

(四)鋼板強度計算

1. 鋼板或 H 型鋼擋土設施之安全性計算，可利用土壤自由支持(Free Earth Support)法加以分析。
2. 依郎金(Rankine)側向土壓力理論公式，鋼板鋼板最下端之單位主動土壓力 $p_a = K_a \cdot \gamma \cdot H$ 。 $K_a = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) = (1 - 0.42) / (1 + 0.42) = 0.4085$ 。 $p_a = 0.4085 \cdot 1.85 \cdot 4.7 = 3.55 \text{ T/m}$ 。鋼板每公尺寬之總主動土壓力 $P_a = 1/2 \cdot p_a \cdot H = 1/2 \cdot 3.55 \cdot 4.7 = 8.34 \text{ T-m}$ 。
3. 鋼板受力詳如圖 8。

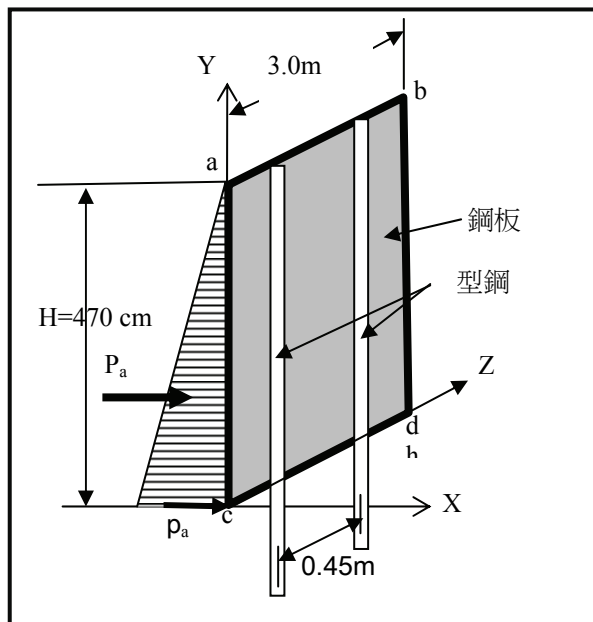


圖 8 鋼板力學分析示意圖

4. 鋼板所受之最大正彎曲力矩，以單向版三跨距連續樑外端為計算，從結構力學設計手冊^[8]，可查得每塊鋼板所受之最大負彎曲力矩(以單向版三跨距，中央跨距為連續量計算)之力矩係數 $= 0.1$ ，因此 $M = 0.1 \cdot 8.34 \cdot 0.45^2 = 0.17 \text{ T-m}$ 。
5. 每塊鋼板所承受之最大負彎曲應力 $S_m =$

$M/Z = 0.17 \cdot 10^5 / 15.62 = 1,088.35 \text{ kg/cm}^2 < 1,400 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

6. 每塊鋼板所承受之最大正彎曲力矩係數 $= 0.08$ ，因此 $M = 0.08 \cdot p_a \cdot L^2 = 0.08 \cdot 8.34 \cdot 0.45^2 = 0.14 \text{ T-m}$ ，最大負曲力矩 0.17 T-m ，故不予考慮。

(五)H 型鋼長度核算

1. H 型鋼受力情形詳圖 9。

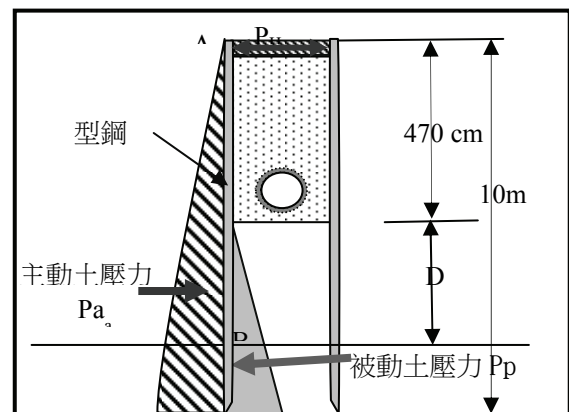


圖 9 H 型鋼受力示意圖

2. $K_p = (1 + 0.42) / (1 - 0.42) = 2.448$ 。H 型鋼底主動土壓力 $f_a = K_a \cdot \gamma \cdot h = 0.4085 \cdot 1.85 \cdot 4.7 = 3.55 \text{ T/m}$ 。
3. H 型鋼底被動土壓力 $f_p = K_p \cdot \gamma \cdot h = 2.448 \cdot 1.85 \cdot (4.7 + D) = 3.54 + 1.18D$ 。
4. H 型鋼底被動土壓力 $f_p = K_p \cdot \gamma \cdot h = 2.448 \cdot 1.85 \cdot D = 4.53D$ 。 $P_a = 1/2 \cdot f_p \cdot h = (3.54 + 1.18D) \cdot (4.7 + D) / 2 = 8.32 + 2.36D + 0.59D^2$ 。
5. $P_p = 1/2 \cdot f_p \cdot D = 1/2 \cdot 4.53 \cdot D^2 = 2.27D^2$ 。
6. 由 $\sum F_X = 0$ ， $P_a - P_p = 0$ ，即 $8.32 + 2.36D - 1.68D^2 = 0$ ，利用 Excel 加以試算，得 $D \approx 3.035 \text{ m}$ ，以 3.04 m 計。
7. 即在臨界狀況(安全係數 $FS = 1$)時，最小植入深度 $D = 3.04 \text{ m}$ 。若採用 10 m 長之 H 型鋼，其實際打鋼板樁植入深度 $D = (10 - 4.7) = 5.3 \text{ m}$ ，故其安全係數 FS 約為力學理論值 3.04

m 之 $5.3/3.04=1.74>1.5$ ，OK(安全係數達 1.5 故很理想)。

(五)核算 H 型鋼承受之應力

- 1.H 型鋼承受主動總土壓力 $P_a=(8.32+2.36D+0.59D^2)*0.45=(8.32+2.36*3.04+0.59*3.04^2)*0.45=9.43T$ 。
- 2.H 型鋼承受被動總土壓力 $P_p=2.27D^2*0.45=2.27*3.04^2*0.45=9.44T$ 。MB=9.43*(4.7+3.04)/3-9.44*3.04/3=14.76 T-m。
- 3.被動總土壓應力 $S_m=M/Z=14.76*10^5/1147=1286.84\text{kg/cm}^2>1,800\text{kg/cm}^2$ ，OK。
- 4.H 型鋼及鋼板規格詳如表 2。

表 2 H 型鋼及鐵板規格表

構件	規格	面積 係數 Z (cm^3)	容許 應力 (kgf/m^2)	備註 (作用力)
H 型鋼	294*302 mm	1147	1,800	Y 軸彎 曲力矩
鐵板	400*750cm 5mm 厚	15.62	1,400	Z 軸彎 曲力矩

(六)H 型鋼門框式擋土架

在實際使用上一般都以 H 型鋼依照現場所需之尺寸焊成鋼門形框架，讓兩側之 H 型在其頂端有一橫撐，以增加其抵擋土壓之能力。

(七)以箱涵方式施工

- 1.其實窰井可採用箱涵方式施工，窰井除去頂版及底板厚度後，其淨高= $4.65-0.25-0.3=4.10\text{m}$ ，原則上分成 4 層，除最下層高度= 1.0m 外，其餘三層均各為 1.0m 高。最下層之配筋可按上述計算結果加以綁紮，其餘各層可如下所述逐層減少配筋量。
- 2.因為鋼筋量 $A_s=M/ad$ ，而 M 與其距離之平方成正比，因此最下次層之鋼筋量 A_{s3}

$$=A_{s4}*3^2/(4.1^2)=15.53*3^2/(4.1^2)=8.31\text{cm}^2$$

。採用 D19，最大間距 $s=100/(8.31/1.986)=23.9\text{cm}$ 。採用 20 cm，實際 $A_s=2*100/20*1.986=19.86\text{cm}^2>8.31\text{cm}^2$ ，OK。

- 4.最上次層之鋼筋量 $A_{s2}=A_{s4}*2^2/(4.1^2)=15.53*2^2/(4.1^2)=3.7\text{cm}^2<$ 溫度鋼筋量 7.5cm^2 。故仍須按最小(溫度)鋼筋量綁紮。
- 5 最上層之鋼筋量 $A_{s1}=A_{s4}*1^2/(4.1^2)=15.53*1^2/(4.1^2)=0.92\text{cm}^2<$ 溫度鋼筋量 7.5cm^2 。故亦須按最小(溫度)鋼筋量綁紮。
- 6.窰井分層，詳如圖 10 所示。

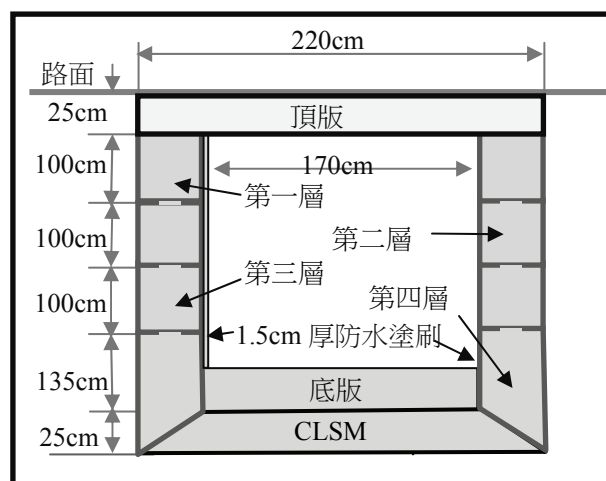


圖 10 窰井以箱涵式施工示意圖

- 7.頂版與底版之設計原則上應採用固定端方式，因此若以箱涵方式施工時，側牆四周須預埋深入頂版與底版之鋼筋，以面灌注混凝土前，須再予植筋。
- 8.分層後之窰井其最下層之重量= $2.4*0.3*(1.7+3.4+0.3*2)*2*1.35=11.08T$ ，以 15T 載重之吊車即可吊起。
- 9.為防止雨後地下集水滲入井內，窰井分層施工完成後，宜於井內四周加上 1.5 公分以上之水泥加樹脂塗刷以資防水。
- 10.窰井分層施工時，最下層安置完成後，其上部需塗抹上一層水泥加樹脂拌成之泥

漿以利上下兩層緊密結合。

11. 為利於窰井之施工，其最下層之側牆底邊須做成 45° 銳角，俟該層側牆下沉至預定位置後，該銳角處再以 CLSM (可控制低密度材料) 填充。

參考文獻

1. 中國土木工程學會混凝土工程研究會，鋼筋混凝土設計手冊－工作應力法。
2. 交通部，公路橋梁設計規範，幼獅出版社，第 46、137、29、47、48、5~10 頁，2001。
3. 孔垂昌、李志隆、謝滄海，臺灣公路工程 第 34 卷 6 期 (Taiwan Highway Engineering Vol. 34 No. 6, p.2-31, June 2008)，民國 97 年 6 月。
4. 蘇棋福，鋼筋混凝土計算法與實例，有志土木建築技術專修補習班，1971 年 4 月。
5. 施國欽，基礎工程題解：文笙書局，P.1-8 頁，2002 年 9 月。
6. 陳榮藏，水池數計(一)---矩形鋼筋混凝土水池，台灣自來水公司員工訓練所編印，1985 年 12 月。
7. 內政部，建築物耐震設計規範及解說，內政部 100.1.19 台內營字第 0990810250 號令修正部分規定，中華民國 2001 年 7 月 1 日生效。
8. 清田清司，高須清治男原著，江新煌，蔡振邦編譯，結構力學設計手冊，台隆書局，1978 年。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師(土木)

專長：自來水工程規劃、設計及施工

2016 國際水價現況解析

文/周國鼎

一、前言

我國自來水價格自民國 83 年凍漲迄今已經 23 年，雖然臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）從 105 年 3 月起實施新水價，惟新水價調整原則是基本費不漲、擴大用水費差別費率，平均每月用水量 20 度以下者則完全不調整，因此實際受影響用水戶僅 63.3 萬戶，約占全國用水戶數之 7.87%。

我國主要 2 個自來水事業單位之一的台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司），104 年度之平均單位水價為每度（註：1 度=1 立方公尺=1,000 公升）新臺幣（以下同）10.93 元，平均單位成本約為 11.91 元，也就是水價甚至較成本為低，給水投資報酬率為-1.29%，較經濟部 104 年 10 月 14 日所訂頒「水價計算公式及詳細項目」之法定給水投資報酬率 5%-9%相差甚多。

台水公司現行水價已維持了 23 年，當年計價係以抵償民國 78 年當時的成本及應有合理利潤為基礎，不過近二十餘年物價上漲幅度已呈倍數成長，再加上水源開發困難、水質標準提升等外在因素與日俱增，近年來台水公司之水費收入早已無法抵償成本，以致營運呈現虧損。台水公司卻常因此遭外界抨擊營運績效不佳，此乃非戰之罪。

雖然要訂定合理之自來水價格並不容易，不過藉著國際水協會(International Water Association, IWA)於 2016 年 9 月公布最新之世界各國家戶用水資料之時機，讓社會大眾了解國際間之水價概況，並將臺灣地區現有

水價與世界各國作各種面向之比較，有助於釐清水價之相關問題。

二、臺灣地區自來水價格之現況

(一)自來水事業單位營運成本比較

目前供應臺灣本島自來水共有 2 個事業單位，也就是北水處及台水公司，二者供水區域不同。北水處供水區域以臺北市為中心，包括新北市三重、中和、永和、新店與汐止部份地區；台水公司則是上述地區以外者，其中也包括屬於離島地區之澎湖縣；外島地區之金門縣及連江縣則是分屬金門縣自來水廠及連江縣自來水廠之供水轄區。

北水處及台水公司因成立屬性與經營環境不同，營運成本有異，以致水價不一。

1.維護營運費用

相較台水公司，北水處供水區域較小、用戶集中、管線較短，故其營運維護費用較低。台水公司供水區域遍及偏遠地區，用戶分散、管線長，不僅投資埋管金額龐大，後續營運維護費用相對亦高。台水公司供水轄區的人口密度比臺北市低許多，在相同的接管長度（相同的接管費用）時，可服務的用水戶數相對的比臺北市低，在接管線至用戶端時所花費的成本自然不同。

2.原水、清水成本

北水處水源主要來自新店溪水源，包括南勢溪及北勢溪之翡翠水庫，水源充沛，原水價格低；又其污染少，處理費用亦較低。台水公司自有水源不足，購水成本較北水處高；加上部分水源受污染嚴重或暴雨導致之

高濁度原水，處理費用亦較高，因此給水成本高於北水處。

3. 稅捐負擔

北水處係臺北市政府行政單位之一，免繳房屋稅與土地稅；台水公司除須繳交房屋稅與土地稅外，每年度之盈餘尚需繳納 25% 之營利事業所得稅，稅捐負擔較重。

4. 工程需求與資金成本

臺北市為繁榮之都會區，用水戶集中，根據北水處 105 年 5 月公布之年報，自 101 年起已連續 4 年供水普及率維持在 99.60%。由於用水人口幾近飽和，供水普及率之成長已停滯，因而北水處所需擴建工程較少，且經費多由政府補助，資金成本較低。

扣除北水處之供水轄區，台水公司服務區域遍佈臺灣本島及小琉球、澎湖、蘭嶼、綠島等離島，根據該公司 105 年 4 月公布之年報，供水普及率為 92.18%，歷年來為配合政府提高普及率之政策，每年須辦理多項供水工程。此外，由於水價長期未能獲准合理

調整，造成台水公司自有資金不足，必須舉債支應各項鉅額工程經費，以致利息負擔沉重，資金成本較高。

(二) 平均單位水價及平均單位成本

北水處及台水公司在平均單位水價及平均單位成本的定義上差別不大，僅專有名詞之用字略有不同（詳表 1）。不過，為避免無謂困擾，主管機關經濟部水利署有必要出面整合制定一套共同的標準用語、定義及規範，以供我國各自來水事業單位遵循。

如前所述，北水處及台水公司因經營環境不同，造成營運成本差異，以致水價不一。此外，二者在投資報酬率上面，一者為正值，另一者為負值，更是天地之別。

(三) 合理水價

依據經濟部 104 年 10 月 14 日經授水字第 10420212780 號令訂頒之「水價計算公式及詳細項目」，若以台水公司 102 年度至 104 年度審定決算資料為基礎，給水投資報酬率 5% 與 9% 為合理利潤之條件下，其合理水價

表 1 北水處及台水公司 104 年度平均單位水價及成本統計表

項目	北水處	台水公司
平均單位水價	定義 給水收入÷計費水量	給水收入÷售水量
	新臺幣 8.20 元	10.93 元
平均單位成本	定義 自來水成本÷計費水量	給水總成本÷售水量
	新臺幣 7.59 元	11.91 元
單位銷售盈虧	定義 每度售水收入－每度售水成本	給水單位售價－售水單位成本
	新臺幣 +0.61 元	-0.98 元
投資報酬率	定義 盈餘÷平均業主權益	銷售盈虧÷平均權益
	比率 +0.88%	-1.29%

(含營業稅)如下：

- 給水投資報酬率 5%時，合理水價為每度 18.45 元。
- 給水投資報酬率 9%時，合理水價為每度 21.92 元。

(四)統一水價

無論是工業、商業或一般家戶，也不管是都會地區或偏遠地區，北水處及台水公司分別在其供水轄區內採用同一標準收費。

衡情論理，偏遠地區因住戶稀少且分散，所需埋設管線較長及供水設施較多，甚至需多段加壓方可將自來水送達，其成本自然較人口集中之城市高出許多，水價理應較城市者為高。不過，為照顧偏遠地區民眾之生活並兼顧水資源全民平等共享之精神而採用統一水價。

三、國際自來水費用資料

(一)資料來源

國際水協會於 1999 年成立，目前成員包括 1 萬名個人會員及 400 個團體會員，成員遍及 130 個國家，為目前全世界最大之水產業科技國際組織。

國際水協會「統計及經濟專家小組」(The Statistics and Economics Specialist Group)於 2016 年 9 月在澳洲布里斯班(Brisbane)召開之世界水務雙年會(World Water Congress)，公布世界各國用水戶之水服務費用調查資料(包括自來水及污水者，詳 <http://waterstatistics.iwa-network.org/>)，相關費用均以美元計算，匯率則是依照 2015 年 12 月 31 日者(1 美元=33.06664 元新臺幣，詳 <http://nl.exchange-rates.org/historicalrates/E/USD/31-12-2015>)。

(二)資料範圍

本次國際水協會公布之水服務費用調查資料包括自來水及污水之相關費用，由於本文意旨在分析國際自來水價格現況，本文僅節錄其中有關自來水者，項目包括自來水「固定費用」(Fixed Charge)、自來水「變動費用」(Variable Charge)及「其他費用」(Other Charge Drinking Water)等；「污水下水道使用費」、「污水處理費」及隨水費徵收如「一般廢棄物清除處理費」、「水源保育與回饋費」及「營業稅」(VAT & Other Taxes)等費用則不列入計算。

該水服務費用調查資料範圍涵蓋 34 個國家(或地區)及 159 個當地主要城市，代表我國家戶用水服務費用資料之城市為臺北市及高雄市，其自來水相關費用則分別代表北水處及台水公司之水費。

本次國際水協會公布 34 個國家(或地區)之水服務費用調查資料中，包括澳門、墨西哥及我國之數據與實際狀況有明顯差距。澳門者顯著偏高(高達每度 232 元)；墨西哥者則是過低(平均每度 0.24 元)；我國高雄市者(高達每度 12.91 元)則疑似誤將其該年「成本」當「水價」，或將「一般廢棄物清除處理費」、「水源保育與回饋費」、「污水下水道使用費」、「污水處理費」等非屬自來水收入之費用列入計算，以致其平均單位水價過高。

本研究之澳門平均單位水價將依據澳門自來水公司公布數據(https://www.macaowater.com/frontend/web/index.php?r=aboutus%2Findex&purl=tariffs_charge)計算而得；墨西哥者則引用國際水協會 2014 年公布之資料；因高雄市之水價已 23 年未曾調整，因此其平均單位水價將比照墨西哥，沿用國際

水協會 2014 年公布者。

巴西所列入之代表城市，包括聖保羅 (Sao Paulo) 及巴西利亞聯邦特區 (Brasilia Federal District)，因其收費採「不計量單一價格」(Flat Rate Unmetered)之「按戶收費」方式，僅提供水服務費用之總計，無法區分自來水及污水之費用，因此無法列入比較。

(三)人均用水量 (公升／人／日)

平均每人每日用水量就稱為「人均用水量」，如以平均每戶 4 人來計算，每家戶每年使用 100 度的自來水量代表人均用水量為 68.5 公升，200 度者則代表人均用水量為 137 公升，二者均遠低於我國全國的人均用水量 273 公升 (104 年，經濟部水利署)。

本次國際水協會所公布資料也包括 36 個國家 (或地區) 及 164 個當地主要城市 (或地區平均值) 2014 年的人均用水量 (<http://waterstatistics.iwa-network.org/graph/14>，詳附圖)。人均用水量最高者為美國首府華盛頓特區之 631 公升，最低者為位於非洲烏干達 Jinja 之 28 公升，全球平均值則為 158 公升。人均用水量低於 68.5 公升的只有烏干達及尚比亞 2 國之 6 個城市，其比例不及 4%；低於 137 公升者則有 74 個城市，其比例為 45%。人均用水量超過我國平均值 (271 公升) 的城市只有 13 個，其中包括了高居第 4 名的臺北市 (330 公升)；高雄市 (267 公升) 則是第 15 名，顯示我國用水效率普遍偏低，有頗大之改善空間。

註：本次國際水協會公布 159 個城市之水服務費用及 164 個城市 (或地區平均值) 之人均用水量資料，部分城市僅列水服務費用之資料，而無人均用水量之數

據；也有一些城市僅列人均用水量之資料，而無水服務費用之數據。

(四)「200 度／戶／年」之水費為比較基礎

本次國際水協會所公布之水價資料分別列出每家戶每年使用 100 度及每家戶每年使用 200 度者，惟所有城市之家戶年平均用水量約 158 度，與 200 度者較接近，因此本文僅取每家戶每年使用 200 度自來水之相關數據作分析比較。

1. 自來水「固定費用」

自來水費含有「固定費用」、「變動費用」、「其他費用」及「營業稅」等項目，「固定費用」所占整體水費之比例會隨著使用度數增加而下降，因而平均單位水價在一定度數以下，也會隨著使用度數增加而下降。換言之，「100 度／戶／年」之平均單位水價會較「200 度／戶／年」者為高。以臺北市水表口徑為 20 mm 之用戶為例，「100 度／戶／年」之平均單位水價為 13.16 元 (含稅)，「200 度／戶／年」者則降為 9.08 元 (含稅)，二者相差高達 4.08 元，占「200 度／戶／年」者之 45%。

根據國際水協會公布之水服務費用資料，並非所有城市的自來水費用均含有「固定費用」，如法國、香港及美國等地，都有免收自來水「固定費用」的城市。不過，整體而言，收取自來水「固定費用」的城市仍占大多數。代表我國的北水處及台水公司，其水費結構均包含「固定費用」，也就是「基本水費」，其收費多寡與使用水量無關，而是隨水表口徑大小呈級距性的增加。

2. 自來水「變動費用」

自來水「變動費用」可依照收費制度之

設計，隨使用水量、使用人數、馬桶數量或房屋面積而增加。根據國際水協會公布之水服務費用資料，部分城市的自來水費用不含「變動費用」，也就是其收費基準與使用水量無關，包括巴西、加拿大、挪威及泰國等地，都有免收自來水「變動費用」的城市。

3. 「不計量單一價格」收費方式

「不計量單一價格」是採取「按戶收費」之方式，收費多寡與使用水量、使用人數、馬桶數量或房屋面積無關。本次調查資料所列巴西之城市及泰國平均水價，其收費即採此種方式，既不收取自來水「固定費用」，也不收取「變動費用」。

(五)平均每人國內生產毛額

往年國際水協會「統計及經濟專家小組」公布世界各國用水戶之水服務費用調查資料時，會附上該國「平均每人國內生產毛額」(GDP per capita，又稱「人均 GDP」)之數據，其人均 GDP 係採「購買力平價」(Purchasing Power Parity，簡稱 PPP)者，數據則取自美國中央情報局網站(<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2004.html>)。本次所公布者並無附上人均 GDP 資料，惟為進行相關之分析比較，本研究仍沿用美國中央情報局網站所公布之數據。

「購買力平價」又稱「相對購買力指標」，是一種根據各國不同的價格水平計算出來的貨幣之間的等值係數，使我們能夠在經濟學上對各國的國內生產總值進行合理比較，這種理論匯率與實際匯率可能有很大的差距。由於幾乎世界各國都有麥當勞的分店，《經濟學人》雜誌所創的「大麥克指數」

就是經常被用來評量購買力平價的簡單例子。如果一個大麥克在美國的價格是 4 美元，而在英國是 3 英鎊，那麼在美國 4 美元的購買力就相當於在英國的 3 英鎊，其購買力平價匯率就是 3 英鎊=4 美元。

根據美國中央情報局網站公布資料，國際水協會所公布 34 個國家(或地區)2015 年「人均 GDP」中，澳門拜近年博奕及觀光業的蓬勃發展，以 98,200 美元奪魁；挪威的 68,400 美元次之；第 3 名是澳洲的 65,400 美元；日本為 38,100 美元，名列第 15 名；臺灣則高達 46,800 美元，名列第 8 名；此 34 個國家(或地區)之平均值為 35,933 元。

四、分析討論方法

(一)計算單位水價

依據國際水協會於 2016 年 9 月公布世界各國主要城市家戶每年用水 200 立方公尺(度)之自來水費用(以美元計)調查資料，分別計算出各國主要城市單位水價、各國平均單位水價及各區域平均單位水價，再根據國際水協會所採用的 2015 年 12 月 31 日美元匯率(1 美元兌換新臺幣 33.06664 元)，換算成以新臺幣計之單位水價。

1.各國主要城市單位水價

依據國際水協會之自來水費用調查資料，將各城市之自來水「固定費用」、「變動費用」及「其他費用」加總，計算出該城市之全年自來水費用，再將該費用除以 200，就可得到該城市之平均單位水價。

2.各國平均單位水價

各國平均單位水價則以所屬城市之平均單位水價加總平均後得之。

3.各國首府單位水價

本次國際水協會公布之自來水費用調查資料也包括 23 個國家首府之家戶每年用水 200 立方公尺（度）自來水費用（以美元計），其中包括我國臺北市者，惟巴西首府巴西利亞聯邦特區者由於無法區分自來水與污水之相關費用，因此無法列入比較。

各國首府單位水價計算方式比照 1.各國主要城市單位水價者。

(二)計算「水費負擔率」

若僅就單位平均水價之高低，來評定水價廉價與否，對於世界各國家（或地區）不盡相同的國民所得及國民生產毛額而言，顯得有失公允。為求公平合理的水價比較，本文以所公布用水 200 立方公尺（度）之自來水費用代表每年家戶平均自來水費用，以該費用除以該國「人均 GDP」，所得數值稱之為「水費負擔率」。

定義：水費負擔率 = 200 度之自來水費用 ÷ 人均 GDP

「水費負擔率」愈大，表示該國水價在同等的平均個人國民生產毛額下相對較高，意涵民眾用水費用支出負擔較重。

1.各國主要城市「水費負擔率」

將各城市家戶用水 200 立方公尺（度）之全年自來水費用除以該國「人均 GDP」，就可得到該城市之平均「水費負擔率」。

2.各國平均「水費負擔率」

各國之平均「水費負擔率」則以該國用水 200 立方公尺（度）之全年自來水費用除以該國「人均 GDP」後算出。

3.各國首府「水費負擔率」

各國首府「水費負擔率」計算方式比照各國主要城市「水費負擔率」者。

(三)討論項目

將各城市水價、水費負擔率及各國人均 GDP 值，以各國（或地區）國名英文字母依序列冊（詳見附表），再就各種面向將我國 2 個代表城市（臺北市及高雄市）之自來水價格與世界其他 32 個國家（或地區）及 156 個城市者加以比較分析，以進一步了解國際水價之現況與趨勢。分析比較之項目包括：

- 1.各國主要城市單位水價
- 2.各國主要城市水費負擔率
- 3.各國平均單位水價
- 4.各國平均水費負擔率
- 5.各國首府單位水價
- 6.各國首府水費負擔率
- 7.各區域平均單位水價
- 8.各區域平均水費負擔率
- 9.人均用水量與水費負擔率
- 10.臺灣地區家庭用水費占消費支出比率統計

五、分析討論

國際水協會所提供自來水費用調查資料，可供比較之資料範圍涵蓋共 33 個國家（地區）及 156 個當地主要城市，本文將分別以「城市」、「國家」、「首府」之區別，進行分析討論自來水價格相關面向。

(一)各國主要城市單位水價（詳見附表）

- 1.各國主要城市單位水價之排名
 - 最高之城市為南歐微型島國馬爾他之全國平均值，每度水價為 128.60 元。
 - 最低之城市為位於非洲的模里西斯（第 156 名），該國統一水價為每度水價為 6.42 元。

- 各國主要城市自來水價格之平均值為每度 44.02 元。
- 臺北市及高雄市之水價在 156 個城市中分別排名第 154 名及 153 名，也就是倒數第 3 名及倒數第 4 名，平均每度水價分別是 8.64 元及 9.83 元，低於 97% 以上之城市，僅占所有 156 個城市平均水價 44.02 元之 20% 及 22%。
- 156 個城市中，只有 4 個城市之水價低於 10 元，由低至高分別是模里西斯（6.42 元）、肯亞全國平均值（8.36 元）、臺北市（8.64 元）及高雄市（9.83 元）。
- 鄰近國家主要城市之日本東京自來水價格排名第 88 名（35.18 元）、仙台第 50 名（53.94 元）、札幌第 71 名（44.85 元）；韓國首爾第 142 名（16.09 元）、釜山第 135 名（20.04 元）；香港第 137 名（18.93 元）；澳門第 132 名（20.98 元）；泰國全國平均值第 150 名（10.96 元）。總計，亞洲國家及地區僅日本、韓國、香港、澳門、泰國及我國列入本次國際水協會每年家戶用水量 200 度者之統計，該地區水價最高者為仙台；最低者為臺北市。

2. 各國主要城市水費負擔率之排名

- 最高之城市為非洲國家烏干達之 Mbarara，比值為 7.36%。根據本次國際水協會所公布資料，烏干達所列 4 個城市之水費負擔率在 156 個城市中高居前 4 名。
- 最低之城市為我國臺北市，比值為 0.11%。
- 各國主要城市家戶水費負擔率之平均值為 0.97%。

- 我國除臺北市之水費負擔率為全球倒數第 1 名，高雄市之 0.13% 亦不遑多讓，為全球倒數第 3 名，排名第 154 名。
- 亞洲國家及地區主要城市之日本東京之排名為第 117 名（0.56%）、仙台第 60 名（0.86%）、札幌第 81 名（0.71%）；韓國首爾第 148 名（0.27%）、釜山第 143 名（0.33%），香港第 151 名（0.20%），澳門第 153 名（0.13%）。

(二) 各國平均單位水價

取附表中各國（或地區）城市單位水價之加總平均值，代表該國之平均單位水價，並加入各國人均 GDP 值及水費負擔率，依照英文國名之字母順序製表如表 2；另依照平均單位水價之高低順序及對應之水費負擔率繪圖如圖 1。

實際上，世界各國水價並非全國一致，多以城鄉為界，同一國家內之各地水價互有不同。

1. 各國平均單位水價之排名

- 最高之國家為馬爾他，平均每度水價為 128.60 元。
- 最低者為模里西斯（第 156 名），平均每度水價為 6.42 元。
- 各國自來水價格之平均值為每度 40.65 元。（註：該數值與前述各國主要城市自來水價格之平均值 44.02 元略有不同，此因城市者係以各城市自來水單價之總和除以城市之數目而得，國家者則以各國自來水平均單價之總和除以國家之數目而得，以致二者之計算結果產生差異。）

表 2 各國家戶自來水平均水價統計表（依英文字母排序）

資料來源：國際水協會(IWA)
製表人：周國鼎

項次	國家 (英文)	國家 (中文)	人均 GDP (美元)	人均 GDP 排名	平均水價 (新臺幣/度)	平均水價 排名	水費負 擔率	水費負 擔率排名
1	AUSTRALIA	澳洲	65,400	3	77.36	3	0.72%	19
2	BELGIUM	比利時	43,600	11	69.47	6	0.96%	9
3	CANADA	加拿大	45,600	10	54.86	8	0.73%	18
4	CHILE	智利	23,500	25	33.08	20	0.85%	13
5	CYPRUS	塞浦路斯	32,800	19	49.31	10	0.91%	11
6	DENMARK	丹麥	45,700	9	82.07	2	1.09%	7
7	ENGLAND & WALES	英格蘭及威爾斯	41,200	12	75.85	4	1.11%	6
8	FINLAND	芬蘭	41,100	14	51.12	9	0.75%	17
9	FRANCE	法國	41,200	12	64.21	7	0.94%	10
10	GREECE	希臘	26,400	22	45.62	13	1.05%	8
11	HONG KONG, CHINA	香港	56,700	5	18.93	25	0.20%	30
12	HUNGARY	匈牙利	26,200	23	28.21	21	0.65%	20
13	JAPAN	日本	38,100	15	34.75	19	0.55%	22
14	KENYA	肯亞	3,200	32	8.36	32	1.58%	5
15	MACAO, CHINA	澳門	98,200	1	20.98	24	0.13%	32
16	MALTA	馬爾他	35,900	17	128.60	1	2.17%	3
17	MAURITIUS	模里西斯	19,500	27	6.42	33	0.20%	31
18	MEXICO	墨西哥	17,500	28	47.10	11	1.63%	4
19	NAMIBIA	納米比亞	11,400	30	10.08	30	0.53%	23
20	NETHERLANDS	荷蘭	49,200	7	42.25	15	0.52%	24
21	NORWAY	挪威	68,400	2	42.94	14	0.38%	27
22	POLAND	波蘭	26,500	21	39.39	16	0.90%	12
23	PORTUGAL	葡萄牙	27,800	20	38.03	17	0.83%	14
24	ROMANIA	羅馬尼亞	20,800	26	26.45	22	0.77%	15
25	RUSSIA	俄羅斯	25,400	24	12.50	28	0.30%	28
26	SOUTH KOREA	南韓	36,500	16	17.79	26	0.29%	29
27	SPAIN	西班牙	34,800	18	36.62	18	0.64%	21
28	SWITZERLAND	瑞士	58,600	4	72.99	5	0.75%	16
29	TAIWAN	臺灣	46,800	8	9.23	31	0.12%	33
30	THAILAND	泰國	16,100	29	10.96	29	0.41%	26
31	UGANDA	烏干達	2,000	33	23.81	23	7.20%	1
32	U.S.A.	美國	55,800	6	45.63	12	0.49%	25
33	ZAMBIA	尚比亞	3,900	31	14.95	27	2.32%	2
—	—	平均 個人 GDP (美元)	35,933	平均水價 (新臺幣/ 度)	40.65	平均 水費 負擔率	0.99%	—

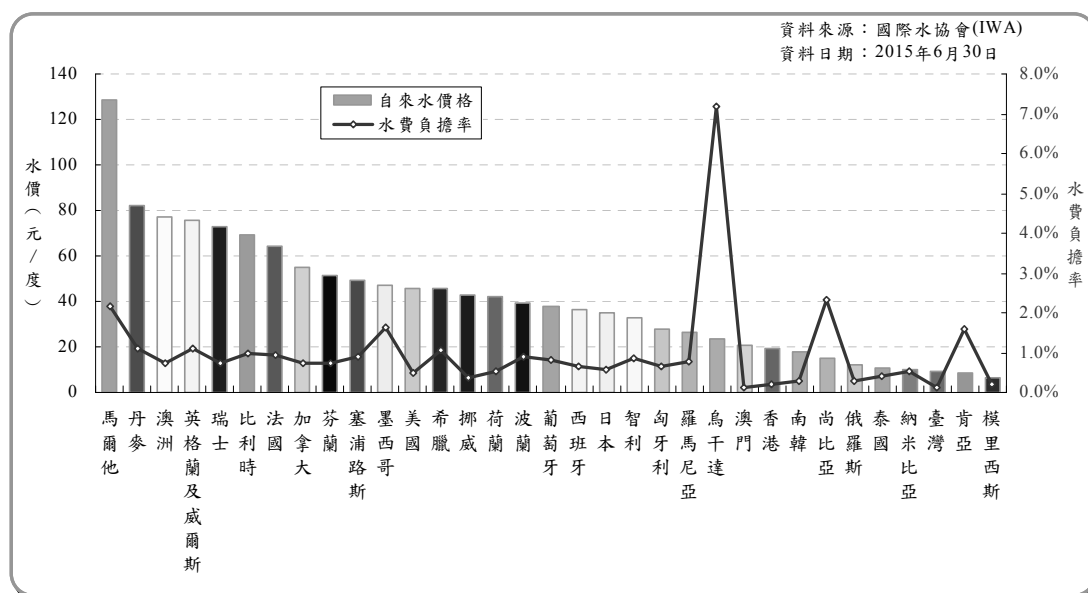


圖 1 各國家戶自來水平均水價及水費負擔率

- 在 33 個國家（或地區）中，臺灣平均單位水價排名第 31 名（倒數第 3 名），在亞洲最低，屬於低水價者，平均每度水價為 9.23 元，僅占各國平均值 40.65 元之 23%。
- 亞洲國家之日本自來水價格平均值排名第 19 名（34.75 元），韓國第 26 名（17.79 元），香港第 25 名（18.93 元），澳門第 24 名（20.98 元），泰國第 29 名（10.96 元）。

2. 各國平均水費負擔率之排名

- 最高之國家為烏干達，平均值為 7.20%。
- 最低之國家為我國，平均值為 0.12%。臺灣家戶平均水費負擔率之排名不僅是全亞洲最低，也是全球最低，充分顯示臺灣的自來水價格明顯過低，而臺灣民眾用水費用負擔極輕。
- 各國水費負擔率的平均值為 0.99%。
- 亞洲國家（或地區）之日本之排名為第 22 名(0.55%)，韓國第 29 名(0.29%)，香港第 30 名(0.20%)，澳門第 32 名(0.13%)，泰國第 26 名(0.41%)。

(三)各國首府單位水價

本次國際水協會所提供自來水費用調查資料，亦包括 23 個國家之首府家戶用水 200 立方公尺（度）之全年自來水費用，再將其人均 GDP 值及各首府水費負擔率，依照英文國名之字母順序製表如表 3；另依照平均單位水價之高低順序及對應之水費負擔率繪圖如圖 2。巴西之巴西利亞聯邦特區僅提供水服務費用之總計，無法區分自來水及污水之相關費用，因此無法列入比較。

1. 各國首府單位水價之排名

- 水價最高之首府為瑞士之伯恩，每度水價為 86.64 元。
- 水價最低之首府為臺北市，每度水價為 8.68 元。
- 各國首府自來水價格之平均值為每度 46.88 元。
- 亞洲國家（或地區）之日本東京水價格排名第 15 名（35.18 元），韓國首爾第 20 名（16.09 元），香港第 19 名（18.93 元）。

表 3 各國首府家戶自來水價格統計表

資料來源：國際水協會(IWA)

製表人：周國鼎

項次	國家 (英文)	國家 (中文)	個人 GDP (美元)	個人 GDP 排名	首府	平均水價 (新臺幣/度)	排名	水費 負擔率	排名
1	AUSTRALIA	澳洲	47,600	6	Canberra	76.25	4	0.97%	9
2	BELGIUM	比利時	44,100	9	Brussels	71.43	6	0.98%	7
3	BRAZIL	巴西	15,600	21	Brasilia Federal District	n/a	n/a	n/a	n/a
4	DENMARK	丹麥	45,700	8	Copenhagen	82.37	2	1.09%	4
5	WALES	威爾斯	41,500	10	Cardiff	72.12	5	1.05%	6
6	ENGLAND	英格蘭	41,500	10	London	66.72	7	0.97%	8
7	FINLAND	芬蘭	41,100	13	Helsinki	45.70	11	0.67%	13
8	FRANCE	法國	41,500	10	Paris	56.91	9	0.83%	11
9	GREECE	希臘	26,400	18	Athens	80.77	3	1.85%	3
10	HONG KONG, CHINA	香港	56,900	3	Hong Kong	18.93	19	0.20%	21
11	HUNGARY	匈牙利	26,300	19	Budapest	20.59	18	0.47%	18
12	JAPAN	日本	38,100	14	Tokyo	35.18	15	0.56%	16
13	NETHERLANDS	荷蘭	49,600	5	Amsterdam	52.09	10	0.64%	15
14	NORWAY	挪威	68,600	1	Oslo	43.07	12	0.38%	19
15	PORTUGAL	葡萄牙	27,900	17	Lisbon	35.43	14	0.77%	12
16	ROMANIA	羅馬尼亞	20,900	20	Bucharest	36.35	13	1.05%	5
17	SOUTH KOREA	南韓	36,600	15	Seoul	16.09	20	0.27%	20
18	SPAIN	西班牙	34,900	16	Madrid	29.79	16	0.52%	17
19	SWITZERLAND	瑞士	58,600	2	Bern	86.64	1	0.89%	10
20	TAIWAN	臺灣	46,800	7	Taipei	8.68	22	0.11%	22
21	UGANDA	烏干達	2,000	23	Kampala	23.25	17	7.03%	1
22	U.S.A.	美國	56,100	4	Washington D.C.	59.27	8	0.64%	14
23	ZAMBIA	尚比亞	3,900	22	Lusaka	13.74	21	2.13%	2
—	—	平均 個人 GDP (美元)	37,922	—	平均水價 (新臺幣/度)	46.88	平均 水費負擔 率	1.09%	—

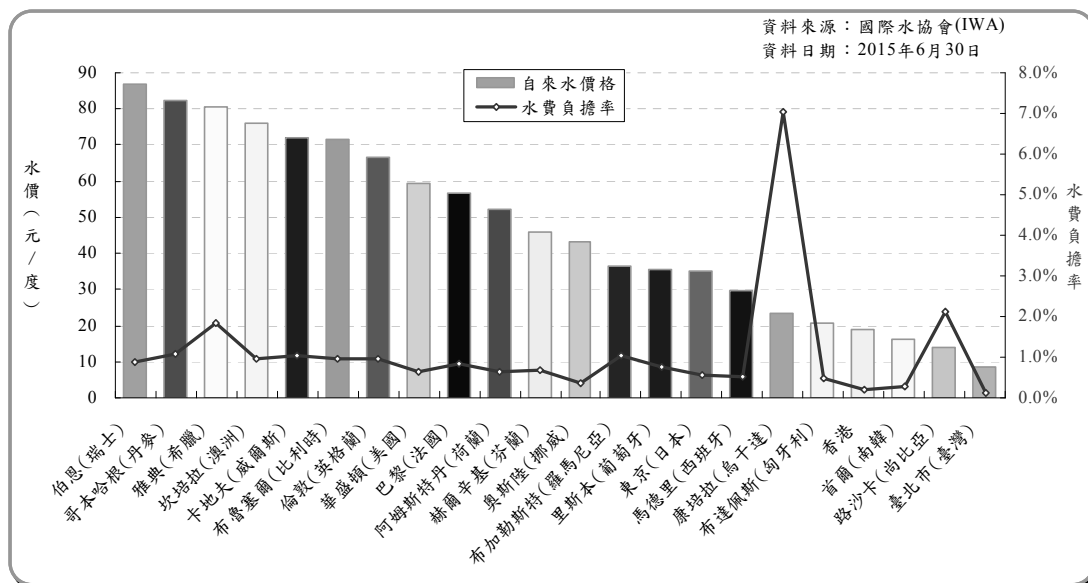


圖 2 各國首府家戶自來水平均水價及水費負擔率



2.各國首府水費負擔率之排名

- 水費負擔率最高之首府為烏干達 Kampala，比值為 7.03%。
- 水費負擔率最低之首府為我國臺北市，比值為 0.11%。
- 各國首府水費負擔率之平均值為 1.09%。
- 亞洲國家（或地區）之日本東京水費負擔率排名第 16 名(0.56%)，韓國首爾第 20 名(0.27%)，香港第 21 名(0.20%)。

臺北市不僅在各國首府中之水價與「水費負擔率」都是最低，其「水費負擔率」更是全球參與比較的 156 個城市中倒數第 1 名。

(四)人均用水量與水費負擔率

本次國際水協會所公布的資料，包括世界上 164 個城市之 2014 年人均用水量，其中最高者為美國華盛頓特區，高達每日 631 公升；最低者為烏干達的 Jinja，每日只有 28 公升；所有城市之平均值則為 158 公升。我國的臺北市人均用水量為 330 公升，高雄市則為 267 公升，在 164 個城市中排名分別是高居第 4 名及第 15 名，顯示我國家戶用水有

高度浪費之虞。

為觀察「水費負擔率」與「人均用水量」之關係，取本次國際水協會公布可供比較 156 個城市的水服務費用及其人均用水量，二者予以對照比較。部份無 2014 年人均用水量資料者，則依序擇其 2012 年、2010 年或 2008 年之數據；加拿大城市 Saskatoon 因無近期數據，該城則採用 2003 年者。將此 156 個城市之「人均用水量」由高而低排列，再將其「水費負擔率」對應繪圖如附圖。由該圖可發現，隨著「水費負擔率」上升，「人均用水量」有逐漸下降的趨勢。換言之，「水費負擔率」愈低的地方，其「人均用水量」就愈高。因此，政府相關機關如要降低「人均用水量」，並提高用水效率，捷徑之一就是調高自來水的價格。

(六)家庭用水費占消費支出比率

根據行政院主計總處公布之統計資料，將 96 年至 104 年間之我國人均 GDP、平均每戶消費支出及家庭用水費占消費支出比率編製成表 4。

表 4 我國家庭用水費占消費支出比率統計表

年度	人均 GDP(美元) 註 ¹	平均每戶消費支出(萬元新臺幣/年) 註 ²	家庭用水費占消費支出比率 註 ³
96	17,814	71.6	0.38%
97	18,131	70.5	0.38%
98	16,988	70.6	0.37%
99	19,278	70.2	0.37%
100	20,939	72.9	0.35%
101	21,308	72.8	0.33%
102	21,916	74.8	0.32%
103	22,668	75.5	0.32%
104	22,384	76.0	0.32%

註 1：中華民國統計資訊網(<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37407&CtNode=3564&mp=4>)「國民所得統計常用資料」

註 2：行政院主計總處地方統計推展中心家庭收支科-台灣地區家庭收支調查(<http://win.dgbas.gov.tw/fies/index.asp>)「家庭收支概況」

註 3：台灣自來水公司「每戶（每人）每月水費及每戶家庭每年水費占消費支出比率」(<http://www.water.gov.tw/ct.aspx?xItem=37825&ctNode=793&mp=1>)

由該表可發現，該期間我國平均每人 GDP 由 17,814 美元成長至 22,384 美元，成長率為 26%；平均每戶消費支出則由新臺幣 71.6 萬元上升至 76.0 萬元，成長率為 6.1%，惟同期間之家庭用水費占消費支出比率卻由 0.38% 下降為 0.32%。

我國 104 年家庭用水費占消費支出比率為 0.32%，與世界衛生組織認定合理的比率為 2% 至 4% 差距頗大。我國在人均 GDP 及平均每戶消費支出逐年成長下，每戶每年自來水費負擔占消費支出比率倒是不增反減，不僅無法維持原有已不合理之極低比率，遑論要達到世界衛生組織所認定之標準。

六、結論

(一)我國水價明顯偏低

由諸多數據顯示，相較世界各國，不論是歐美先進國家，或亞洲鄰近國家，我國自來水價格已明顯不合理之偏低。尤其臺灣的「水費負擔率」在所有國家中排名倒數第 1 名；而臺北市不僅在各國首府中水價是最低的，水費負擔率更是全球參與本次比較的 156 個城市中倒數第 1 名，這些都是我國水價過低的明顯例證。

(二)水價高低攸關用水效率

當「水費負擔率」上升，「人均用水量」有逐漸下降的趨勢，顯示水價高低攸關用水效率。政府如要鼓勵民眾節約用水、珍惜水資源，捷徑之一就是調高自來水的價格。

雖然立法院已於 105 年 5 月 6 日三讀通過水利法第八十四條之一修正案，開徵耗水費，以鼓勵節約用水。惟耗水費僅針對月用水量超過 1,000 度的大戶收取，而且並非所有業別一視同仁全面收取，機關、學校、醫院、集合住宅（總表戶）及農業用戶暫不開

徵，實際開徵用戶數僅約 5,856 戶，而光北水處與台水公司之用戶，合計就高達近 800 萬戶。因此，開徵耗水費對於鼓勵民眾節約用水之影響力有限。

(三)水價訂定應高於廢水回收之成本

水價過低，對於工業界回收再利用水資源之推動也毫無誘因，因為臺灣之自來水價格遠低於工業界自行建置回收再利用系統之成本。如要對工業界回收廢水產生誘因，未來自來水水價訂定必須高於廢水回收再生所需的成本。

(四)低水價政策不利水科技產業發展

以色列與新加坡因為面臨水資源匱乏之危機，政府充分反映自來水成本，實施高水價政策（以色列水價 70.2 元(2014)、新加坡 54.1 元(2012)），不僅有效鼓勵節約用水，且造就內需之水科技商機，創造無數就業機會。此外，二國並將此引以為傲的水科技產業行銷全球，賺取外匯，巧妙的將危險轉化為機會。反觀我國因為水、電和油價已成民粹，無法形成臺灣工業和科技轉型的動力。

(五)高耗水業不應是我國歡迎之投資類型

日本交流協會副代表花木出在 104 年 6 月 2 日舉辦之「2015 台日投資論壇」演講時指出，臺灣因為薪資上漲率是亞洲最低、法人稅率是全球最低，同時，水、電價格之低在全球名列前茅，因此，來臺投資之日本企業有 81.8% 獲利，也是亞洲第一。

許多外商來臺投資著眼於我國水、電價格低廉，投資案多是屬於高耗水、耗電者，例如某國際科技大廠在臺設置雲端運算中心即屬之。此類利用我國不合理偏低的水電價格政策，變相由我國稅收補貼獲利者，除非採取廢水零排放政策，否則在我國合理調

整水價政策前，不應是我國所歡迎之投資類型。

(六)水價偏低不符社會公平

過低的水價除了使自來水事業單位之財務狀況失衡，導致無法適時更新設備與汰換老舊管線，進而降低經營績效，同時相對形成政府對於大量用水者之補貼，一般用水少的百姓反而吃虧，衍生用水效率與社會公平的問題。

(七)水價補貼政策侵蝕國家財富

世界上大多數的政治人物都不願意觸碰水價調漲的議題，因為那是一個容易導致選票流失、不討好的議題。我國也因為連年選舉，任何執政黨都不願意合理調漲水價，社會正義及國家前途就在這樣的拖延等待中逐漸流失了。

然而，沙烏地阿拉伯水電部部長 Abdullah Al-Hussayen 在 2010 年 10 月召開的沙國水電論壇中展現了與以往截然不同的立場，他首次表達了水價有調漲的必要性。該國當時水價為每度新臺幣 0.8 元，實際單位成本卻高達每度 180 元，換言之，水價中有 99.6% 是由政府補貼。當地的自來水多由海水淡化而來，在油價高漲的時代，過度便宜的水價會傷及國家利益，增加消耗原本可以外銷賺取外匯的石油，長此以往對於國家發展是不利的。Al-Hussayen 部長又表示，他們本來以為調降水價可以幫助老百姓，實際上反而是不利的，因為低水價變相鼓勵了浪費水資源，這都是在侵蝕國家財富。

全球水務情報雜誌 (Global Water Intelligence) 發行人 Gasson 表示，各國政府已逐漸了解補貼水費是一個不好的政策，雖然老百姓都希望有免費的自來水，事實上要供

應量足質優的飲用水所費不貲。

(八)水價政策迫切需要理性及客觀之討論

我國自來水事業具有公共服務之特性，雖然不是以營利為目的，不過水價之訂定仍然應該確實反映成本，藉此確保自來水事業單位之永續經營，並達到鼓勵節約用水、減少溫室氣體排放之效益。台水公司之水價自民國 83 年起即無調整過，迄今已經過 23 個年頭，尤其近年國際物價高漲，光是 2013 年，全球供水成本就增加了 4.3%，因此合理之水價政策已迫切需要一個理性及客觀之討論空間。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，104 年臺北自來水事業統計年報，105 年 5 月
2. 台灣自來水股份有限公司，104 年台灣自來水事業統計年報，105 年 4 月
3. 周嫦娥、廖肇寧，水資源總體經濟模式(III)，經濟部水利署委託研究報告，91 年
4. 經濟部水利署，自來水生活用水量統計，105 年 3 月
5. 經濟部水利署，耗水費規劃說明，104 年 5 月
6. International Water Association, International Statistics for Water Services, 2014
7. Global Water Intelligence, Global Water Prices Outstrip Inflation as Scarcity, Neglect and Public Finances Catch up with Customers, 取自 <http://www.prweb.com/releases/2014/10/prweb12216091.htm>

作者簡介

周國鼎先生

現職：行政院環境保護署科長

專長：自來水工程、空氣污染防治、環境教育、綠色採購

「你知道嗎？」

水與食物 WATER FOR FOOD

本刊編輯小組編譯

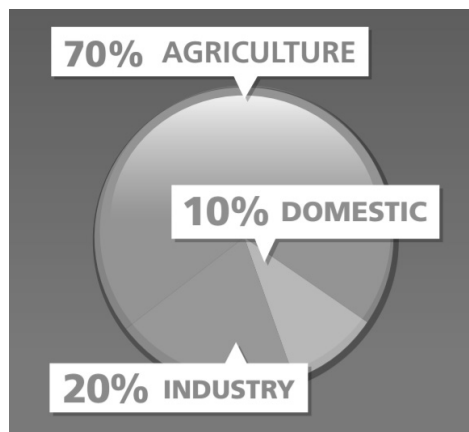
7 BILLION
PEOPLE TO FEED TODAY

9 BILLION
IN 2050

**= 60% more food needed
+19% increase of agricultural water consumption
(including both rainfed and irrigated) by 2050**

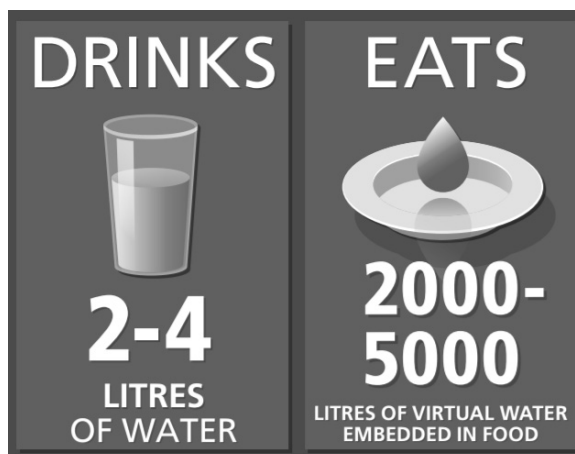
地球現在的總人口 7 億，到了 2050 年將達 9 億
也表示必須增加 60% 的食物需求量及 19% 農業用水量(包含降雨量及水利灌溉量)。

GLOBAL WATER WITHDRAWALS



全球用水量：農業用水佔 70%、
工業用水佔 20%、一般家戶用水佔 10%

EVERY DAY 1 PERSON



每人每日要喝 2-4 公升的水，而生產每人每日
所需的食物則需使用 2000-5000 公升左右的水

ALL WE EAT NEEDS WATER TO GROW



生產食物所需用水量：1 顆蘋果 70 公升、150 公克的牛肉 2025 公升、
100 公克的蔬菜 20 公升、1 片吐司 40 公升