



Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自來水

157

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 40 NO.1 FEB 2021

第40卷 第1期

2021年2月

中華民國自來水協會會刊

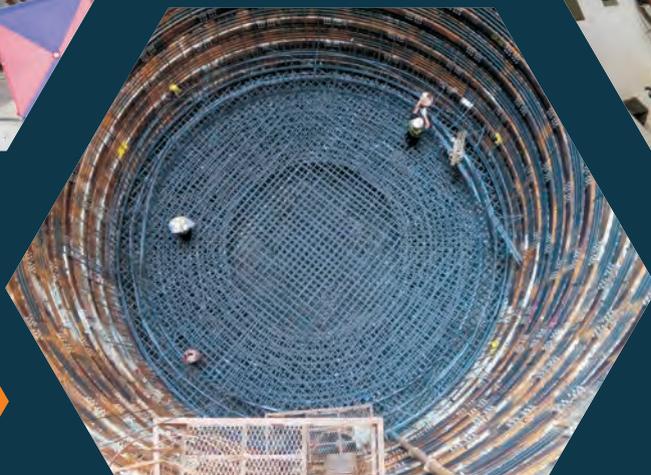
本期專題：工程技術

配水管線埋設深度之探討

備援調度幹管工程之研析

密閉型水位感測管柱控制揚水裝置之探討

三義交流道至三義減壓池1000mm管線潛盾施工之個案研究



自來水會刊第 40 卷第 1 期(157)目錄



實務研究

- 有機高分子凝聚劑Poly(DADMAC)最適添加劑量探討.....
.....刁文儀、林正隆、陳乃菁、游育晟、王冠中..... 1
- 供水調配水理演算之應用—以東湖地區為例.....鍾育霖..... 11
- 鳶山堰原水添加粉狀活性碳去除土霉味(2-MIB)之試驗探討
.....田立宇、陳慶宏、簡曄哲、柯冠宇、林彥宏..... 20

本期專題 工程技術

- 配水管線埋設深度之探討.....宋奕穎..... 26
- 備援調度幹管工程之研析.....朱益廷、蕭任修、徐俊雄..... 34
- 密閉型水位感測管柱控制揚水裝置之探討.....江清蓮..... 44
- 三義交流道至三義減壓池 1000mm管線潛盾施工之個案研究...簡翊儒、蕭坤城、江東陽.....50

一般論述

- 臺北市防災用水應變作為.....邱嘉南、陳國駿、陳右稜、曾喜彩..... 57
- 透過信用評等降低自來水事業融資成本之個案研究.....鍾湘杰、林孟珠..... 65
- 空間資訊分析法應用於北水處供水管網風險之探討.....劉治唐、施邦築..... 73
- 鋼造高架水塔規設之研討.....曾浩雄..... 79

他山之石

- 香港大浦濾水廠二期擴建工程簡介.....李丁來..... 89

協會與你

- 歡迎投稿 110年「每期專題」..... 56
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法..... 72

封面照片：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、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。
- 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），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，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。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「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、惠稿每篇以不超過十頁為宜，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。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 thomas7735tw@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、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，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、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：郭俊銘

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

葉陳萼

委員

陳明州、李嘉榮、康世芳、王傳政、武經文、駱尚廉、范煥英、洪世政、李丁來

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：曾彥中

電話：(04)22244191 轉 376

行政助理：黃香蘭

協力廠商：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

有機高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)最適添加劑量探討

文/刁文儀、林正隆、陳乃菁、游育晟、王冠中

摘要

近來氣候變遷劇烈，大幅提高淨水處理難度，另一方面飲用水水質標準逐步趨嚴，淨水場單純使用傳統的鋁鹽及鐵鹽混凝劑處理日益困難，有機高分子凝聚劑在歐美等先進國家為一種常用的飲用水處理藥劑並無常規限制，經常用來搭配傳統藥劑處理相關水質成效卓越，國內如能開放淨水藥劑如有機高分子凝聚劑使用的限制，對淨水處理將可更具彈性。

目前台灣公告的飲用水處理藥劑高分子凝聚劑有 PAM、Poly(DADMAC)、Epi DMA 三種，惟限制原水濁度需達 250 NTU 以上方可使用，國內供水單位二次提案解除其限制，惟部分專家對於單體及副產物危害風險仍有疑慮。故本研究將以毒性最低、使用安全性最高的 Poly(DADMAC)其最大限值為 10 mg/L，本研究擬針對其最適加藥量進行探討，以了解國內各類淨水場的最適添加量，以降低其使用風險。

研究結果顯示以 Poly(DADMAC)為助凝劑，其最適添加劑量多數淨水場僅需 0.1 mg/L~0.5 mg/L，而離島地區因原水含有高的有機碳，最適添加量為 4mg/L，均小於目前法規規範限值 10 mg/L；添加高分子 Poly(DADMAC)可再增加濁度去除率最高達 80%、降低殘餘溶解鋁最高達 40.0%、混凝

劑加藥量減少 12.5%至 85.7%、並可提高總有機碳去除率 16.3%至 36.5%，最值得注意的是證明添加適量有機高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)不僅不會增加過濾負荷，反而部分淨水場能得到更好的過濾速度，其餘淨水場則無顯著差異。惟當過量添加高分子時(一般為 1mg/L 以上)，會造成過濾性變差，易造成濾床等阻塞等事宜。

關鍵字：高分子凝聚劑、助凝劑、杯瓶試驗、濁度去除效果

一、前言

有機高分子凝聚劑在淨水處理過程可作為混凝、膠凝、助凝、助濾等藥劑使用(AWWARF,2005) (Arisseto AP,2007)。有機高分子凝聚劑為美國、歐洲等先進國家常用的飲用水處理藥劑，且無以原水濁度高低限制使用之規定，而國內主管機關(環境保護署)公告的高分子凝聚劑有 PAM、Poly(DADMAC)、Epi DMA 三種，使用劑量上同時限制最大添加劑量分別為 1mg/L、10mg/L 及 20mg/L，規定原水濁度需達 250 NTU 以上方可使用，並應於每次使用後七日內依規定格式向環保署申報。

高分子聚合物作為淨水用藥用於淨水最少已有 40 年歷史(Kawamura,2000)，高分子聚合物相較傳統混凝劑有諸多優點，例如使用劑量較低、污泥量較少及沒有殘餘鋁問題，除此之外，添加高分子聚合物還有協助

膠凝、穩定膠羽、加強沉降及協助過濾之效果 (Bolto and Gregory, 2007)。若配合原有混凝劑使用，更可達到減少混凝劑使用量達 40-60% 的效果。除一般狀況原水外，對於特殊水源如高有機質原水亦有文獻指出可添加高分子聚合物進行處理。高分子聚合物在美國淨水場應用廣泛，例如在高濁度原水合併有高 TOC、藻類或臭味問題的淨水場如美國 RC Wilson Water plant，使用 Poly(DADMAC) 配合高錳酸鉀前氧化及粉狀活性碳吸附，可達到良好處理效果。在德國及澳洲水庫常因營養源豐富，呈現優養化狀況並引發藻類大量滋生，造成淨水場處理困難，除管控營養源進入的根本方法外，藉由添加活性碳、Poly(DADMAC) 配合 pH 最適化調整的操作模式，可有效處理水質問題(籃炳樟等, 2008)。

有機聚電解質作為飲用水處理藥劑時，使用的最佳劑量範圍甚為狹窄，若劑量控制不良，對於去除水中濁度效果反而效果不佳。劑量不足造成水中膠羽形成不佳，劑量過量則導致顆粒再穩定，此二種情形皆致使濁度上升。處理過程中添加之聚電解質使用量亦引發聚電解質對人體健康上的疑慮。用於飲用水處理中的陽離子或陰離子聚電解質大多為低毒性，然而文獻也有提到陽離子聚電解質毒性較高一點，尤其是對水生生物而言。上述的潛在疑慮德國和法國則是設定了嚴格的限制，日本於 2014 年開始允許使用有機高分子凝聚劑，且參考歐美國家嚴格之使用限制，訂定更為嚴格的使用規範。由於這些污染物對人類健康的可能影響

已經被廣泛且詳盡的討論，一般文獻也顯示單體的毒性比聚合物來得強，因此針對單體濃度的限制也更加嚴格。特別是對於丙烯醯胺而言，在大多數的國家，藥劑中丙烯醯胺單體的最大容許量是 0.025%，而於飲用水中的濃度限制則必須低於 25 $\mu\text{g/L}$ ；而對 Poly (DADMAC) 而言，單體的最大容許量是 5.0%。對於商業化且經常用於飲用水處理的聚電解質濃度，美國的國家衛生基金會提供了一套推薦的聚電解質最大容許劑量 (NSF International, 2016)，國際間水中高分子凝聚劑之規範限制列於表 1。

表 1 國際間高分子凝聚劑於淨水處理規範

國家/區域	法規或建議值	丙烯醯胺 polyacrylamides	聚氯化己二烯二 甲基胺 Poly(DADMAC)	氯甲基一氧三環 二甲基胺聚合物 Epi-DMA
USEPA	殘餘單體	0.05%		0.01%
	最大劑量	1 mg/L	50 mg/L	20 mg/L
	水中濃度	TT ¹		TT(Epichlorohydrin)
NSF/ANSI 60	殘餘單體	0.05%	5.0%	100 ppm
	最大劑量	1 mg/L	10 mg/L	20 mg/L
	水中濃度	0.5 ppb	500 ppb	2 ppb
英國	殘餘單體	0.02%		0.002%
	劑量	0.25 mg/L(平均)		2.5 mg/L(平均)
		0.5 mg/L(最大)		5 mg/L(最大)
歐盟	水中濃度	0.1 $\mu\text{g/L}$ (最大)		0.1 $\mu\text{g/L}$ (最大)
	殘餘單體	0.02%	0.5%	
	劑量	0.5 mg/L	1~2 mg/L	
WHO	水中濃度	0.1 $\mu\text{g/L}$		0.1 $\mu\text{g/L}$
		0.5 $\mu\text{g/L}$		0.4 $\mu\text{g/L}$
澳洲	殘餘單體	-	2%	
	水中濃度	0.2 $\mu\text{g/L}$	-	0.5 $\mu\text{g/L}$
台灣	殘餘單體	0.05%	5%	20 ppm
	最大劑量	1 mg/L	10 mg/L	20 mg/L
日本	最大劑量	0.1 mg/L		
	水中濃度	0.05 $\mu\text{g/L}$		0.4 $\mu\text{g/L}$
紐西蘭	殘餘單體	0.01%	2.0%	5 ppm

資料來源：王根樹，2018

淨水處理過程中使用高分子凝聚劑作為混凝劑或助濾劑之經驗顯示，具有改善清水水質、增加處理穩定性、減少化學處理藥劑使用及降低用水生產成本等諸多優點，但以其作為飲用水處理藥劑亦存在疑慮，最主要的疑慮在於藥劑殘留單體潛在危害。特別是

對於丙烯醯胺聚合物的單體丙烯醯胺具神經毒性，為可能的人類致癌物，Epi-DMA 單體具毒性如環氧氯丙烷具有急毒性，對實驗動物有致突變性及致癌性，以大鼠和小鼠進行動物實驗，顯示可能造成雄老鼠不孕，而環氧氯丙烷被 USEPA 分類為可能之人類致癌物。Poly(DADMAC)在動物實驗研究上未被認為有毒，目前較少文獻針對 Poly(DADMAC)的毒性進行研究，一般認為其毒性較低，且由於動物致畸胎性、多世代及致突變性等研究均顯示 Poly(DADMAC)無顯著的毒性影響，故推論其可能不具致癌性。三種常見高分子聚合物作為淨水用藥風險綜整如表 2。

表 2 常見高分子聚合物為淨水用藥風險綜整

	聚丙烯醯胺 (Poly-acrylamide, PAM)	聚氯化己二烯二甲基胺 (Poly(DADMAC))	氯甲基一氧三環二甲基胺聚合物(Epi-DMA)
現行標準 (mg/L)	1	10	20
單體不純度限制	丙烯醯胺：0.05%	氯化己二烯二甲基胺：5%	環氧氯丙烷：20 ppm 1,3-二氯-2-丙醇：1000 ppm
化學物健康疑慮	聚丙烯醯胺單體有神經毒性，為可能的人類致癌物，主要的暴露來源為食物	聚氯化己二烯二甲基胺經皮接觸、飲用或吸入等途徑並不會對人體帶來毒性，較少文獻針對 Poly(DADMAC)的毒性進行研究，但一般認為其毒性最低。	環氧氯丙烷單體有潛在肝臟毒性、腎毒性及影響中樞神經系統，且在 USEPA 分類為可能人類致癌物。
消毒副產物	與氯或氯胺等消毒劑反應時可能生成 NDMA 可和氯生成 THMs (但比水中 NOM 生成的 THM 低得多)。	可和臭氧反應產生甲醛。 以氯胺消毒可能產生少量 NDMA。	可和臭氧反應產生甲醛。 以氯胺消毒會產生較多量 NDMA (比用 Poly(DADMAC)多)。

資料來源：王根樹，2018

台水公司曾委託「水公司淨水場低濁難處理原水處理最適化之研究」(黃志彬，2008)

及「有機高分子凝聚劑於低濁度原水處理效能之研究(羅煌木，2013)」，結果顯示有機高分子助凝劑可有效協助處理低濁難處理原水，於 105 年 5 月 5 日第一次連署北水處，並請自來水協會函送主管機關，申請放寬濁度 250NT 方可使用高分子凝聚劑的限制；106 年 3 月 15 日環署函復要求委第三方公正單位研究，提供更多科學化數據，包括風險值計算及消毒副產物生成量等具體資料，以供評估調整之參據。台水公司再委託研究計劃「以有機高分子凝聚劑作為飲用水水質處理藥劑之安全性評估探討(王根樹，2018)」，結論建議未來環保署如同意增列高分子凝聚劑作為低濁度難處理原水之淨水藥劑，可考慮採取日本現行管制策略，除要求第三方認證之藥劑不純物成分標示外，同時採用嚴格之容許添加劑量配合後端清水消毒副產物監控，以保障用水安全。台水公司 107 年 6 月 15 日再次連署北水處由自來水協會函請同意修改法令，並將限制劑量遠低於現行標準，如 PAM 使用量限制比照日本為現行標準 1/10、Poly(DADMAC)規範劑量比照歐盟亦為現行標準 1/10、Epi-DMA 比照英國為現行標準 1/4。擬以遠比歐美先進國家更為嚴格之低劑量規範，確保清水水質並保障國民健康。惟 107 年 11 月 28 日環保署回函，表示高分子使用仍有單體殘餘、消毒副產物等健康疑慮，及欠缺模場數據及檢測方法等，未能同意。故擬以飲用水安全為主要考量，限縮毒性最低的 Poly(DADMAC)為主要用藥及降低最大劑量為敘求，放寬其原水濁度的使用限制。

二、研究方法

(一)標的水場

本研究探討不同水源特性、高低濁度、混凝劑及次氯酸鈉加藥條件下添加高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)做為助凝劑之最適加藥量、成效及可能影響，以期能有效控制台水公司出水濁度、殘餘鋁含量、降低有機物前質、增強過濾特性等藉由台水公司實驗室資訊管理系統(LIMS)及水質預警系統(ADTS)，蒐集歷年淨水場之水質檢驗數據資訊進行分析、歸納及整理後選定本研究案標的淨水場進行測試，其特性如表 3。

表 3 選定試驗淨水場特性

淨水場	地區	原水特性	加藥種類
板新	北部	白濁、高濁	混凝劑為聚氯化鋁，曾有使用 Poly(DADMAC)經驗
石門	北部	經常白濁	混凝劑為聚氯化鋁
豐原	中部	高濁、經常白濁、濁度超內控	混凝劑為一場聚氯化鋁及氯化鐵，二場聚氯化鋁 曾有使用 Poly(DADMAC)經驗
潭頂	南部	中濁曾有藻類問題、偶有白濁	混凝劑為氯化鐵
路竹	南部	臭味、藻類問題	混凝劑為聚氯化鋁
坪頂	南部	高濁	混凝劑為聚氯化鋁
鳳山(工業)	南部	高氯氣、有機物、濁度超內控	混凝劑為硫酸鋁
成功	離島	高有機物、藻類、低濁難處理	混凝劑為硫酸鋁
七美	離島	高有機物、藻類	混凝劑為硫酸鋁
清洲	東部	低濁	混凝劑為硫酸鋁
坪頂	南部	高濁	混凝劑為聚氯化鋁

(二)杯瓶試驗(Jar-Test)

杯瓶試驗之目的為模擬淨水單元快混池、慢混池及沉澱池之操作情形，實驗過程中以方型水槽模擬淨水場混沉單元的槽體及攪拌器模擬淨水場中之快混及慢混的混合行為，以杯瓶試驗求取最適混凝劑、最適

加藥量及最適化之操作條件。本研究模擬實場條件進行杯瓶試驗，分別以不同條件進行測試及評估：

1. 針對不同淨水場之原水分別以最適混凝劑加藥量(硫酸鋁、聚氯化鋁、氯化鐵)求取最適有機高分子助凝劑 Poly(DADMAC)加藥量，同時分析 pH 值、濁度、總鋁、溶解鋁、總有機碳、過濾性試驗等項目，評估不同原水、不同混凝劑條件下，有機高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)之助凝效果。
2. 求出最適化之有機高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)添加量後，改變混凝劑加藥量，評估添加高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)後，對於減少混凝劑加藥量之效益。
3. 在最適混凝劑、高分子助凝劑 Poly(DADMAC)條件下，改變加氯量及加氯點，評估是否分解形成單體殘餘或產生 N-亞硝基二甲胺(NDMA)。
4. 過濾性試驗 STI: 過濾性試驗的目的是用以判斷經混凝沉澱後水樣的過濾性，可了解不同混凝劑及助凝劑所形成之膠羽對後續過濾單元負擔的影響，本研究利用過濾性指標 (Suction Time index) 來探討是否對後續過濾池負擔造成影響。
5. 藥劑購買

本研究使用的有機高分子凝聚劑為聚氯化己二烯二甲基胺 Poly(DADMAC)，亦為目前台水公司及北水處為因應原水高濁度所使用的有機高分子凝聚劑。

三、結果與討論

(一)最適 Poly(DADMAC)添加量

歸納各淨水場杯瓶試驗結果，不論是在



低濁原水(<50NTU)、中濁原水(50NTU~250 NTU)、高濁原水(250NTU~2,000NTU)及超高濁原水(>2,000NTU)原水條件下，各場最適 Poly(DADMAC) 添加量僅需 0.1mg/L~0.5 mg/L，其水中濁度即可達到最佳去除效果，與台水公司委外之「二區轄區淨水場混凝加藥及清水鋁控制策略評估」採用聚氯化鋁搭配 Poly(DADMAC) 之實驗結果相符 (0.1 mg/L~0.2 mg/L)，惟鳳山(工業)及澎湖成功淨水場之最適添加量為 1.0 mg/L 及 4.0 mg/L，均遠小於目前法規可添加量 10mg/L，如圖 1。

鳳山(工業)及成功淨水場最適添加量較高，研判可能因原水總有機碳濃度較高(5.4 mg/L 及 10.7 mg/L)，其有機濁度顆粒表面所帶負電荷較多所致。依文獻(B.A. Bolto, 1996)指出高分子助凝最佳效果為不純物顆粒介達電位接近於零，故陽離子 Poly(DADMAC) 之最適添加量較高。

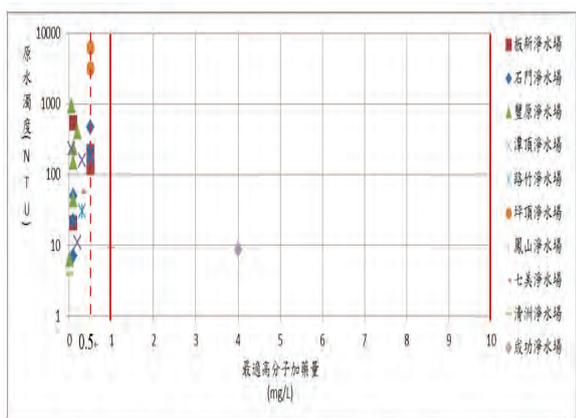


圖 1 淨水場原水濁度與最適高分子添加量關係

(二)對濁度額外去除效果

針對添加 Poly(DADMAC)對水中濁度去除率較未添加 Poly(DADMAC)之對照組比較，濁度可額外減少最多近 80%，其中以超

高濁原水狀態(坪頂場)效果最好，可額外提高濁度 70.1%~79.6%；高濁度原水狀態下，亦可額外降低濁度 42.0%(板新場，濁度 536NTU)~72.8%(豐原場，濁度 400 NTU)。此外，在現行法規尚未開放小於 250NTU 的中濁度(50NTU~250NTU)原水條件下，添加高分子仍對大部分淨水場有助益，可額外提升濁度去除率 10.0%~61.3%，其中又以板新場(約 50%)及石門場 33.6%~61.3%)效果尤佳；在低濁度(<50NTU)條件下，各場對於高分子的效果差異較 0%~77.6%)，普遍仍有 30%的額外去除率，其中成功場、鳳山場及潭頂場效果較佳，如圖 2 所示。

(三)添加 Poly(DADMAC)對殘餘鋁的影響

測試添加高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)對殘餘鋁的影響，可同步降低水中殘餘溶解鋁含量最高達 40.0%，如圖 3 所示，石門場及潭頂場效果最佳；對於總鋁的去除則以成功淨水場添加 4mg/L 可額外去除 72.2%，其餘淨水場效果較不明顯，而添加鐵系(氯化鐵)之潭頂淨水場，亦可同步降低水中殘餘總鐵 40.0%。

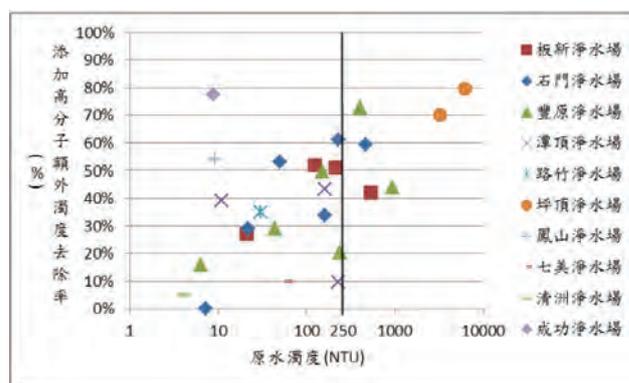


圖 2 對濁度額外去除效果

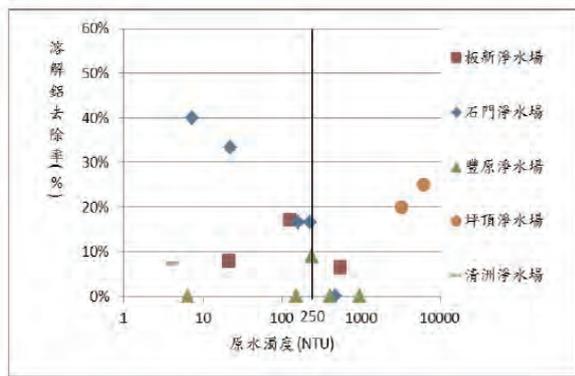


圖 3 水中殘餘溶解鋁減少百分比

(四)對過濾性的影響

使用過濾指標 STI 試驗來判斷經混凝沉澱後水樣的過濾性，了解不同混凝劑及助凝劑所形成之膠羽對後續過濾單元負擔，其研究結果得知添加適量的 Poly(DADMAC)不會增加過濾負荷，反而部分淨水場能得到更好的過濾速度，尤其是低濁度原水之成功、潭頂及鳳山場最為明顯，過濾性可分別提高 11.5 倍(時間少 91.8%)、2.5 倍及 1.4 倍，而其他淨水場在添加最適量 Poly(DADMAC)後過濾性則無顯著差異，如圖 4 所示。惟過量添加高分子時(一般為 1mg/L 以上)，會造成過濾性變差，易造成濾床等阻塞。

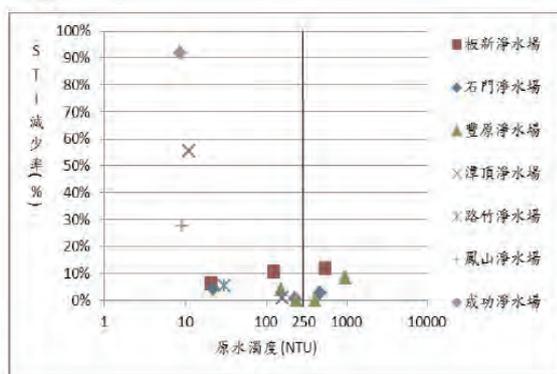


圖 4 過濾性(STI)比較

(五)減少混凝劑的添加

在相同處理效果(濁度)下，添加適當 Poly(DADMAC)，混凝劑(硫酸鋁、聚氯化鋁

或氯化鐵)加藥量亦可減少 12.5%至 85.7% (板新-聚氯化鋁 12.5%、石門-聚氯化鋁 25%、豐原二場-聚氯化鋁及氯化鐵雙加藥 25%、潭頂-氯化鐵 57%、成功-硫酸鋁 85.7%、七美-硫酸鋁 14%)，添加 Poly(DADMAC)大幅減少混凝劑加藥量，各淨水場減少混凝劑加藥量比較，如圖 5。另針對成功場而言，以 Poly(DADMAC)當作助凝劑可減少水中殘餘鋁濃度及提高總有機碳去除率。

(六)對總有機碳的去除

添加適量 Poly(DADMAC)較僅添加混凝劑未添加 Poly(DADMAC)者，可額外提高總有機碳去除率 16.3%至 36.5%(成功 36.5%、鳳山(工業)25.5%、路竹 17.6%、七美 16.3%，在相同混凝劑加藥量下，可有效降低水中總有機碳濃度。如圖 6 及圖 7 所示。

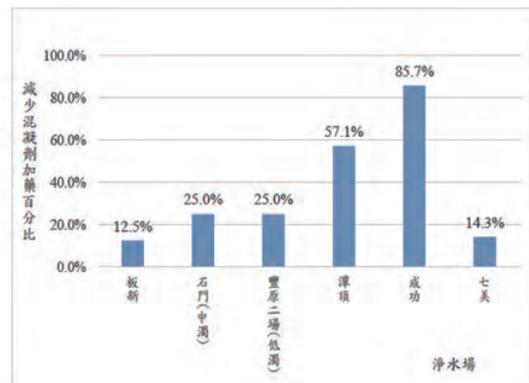


圖 5 減少混凝劑加藥量比率

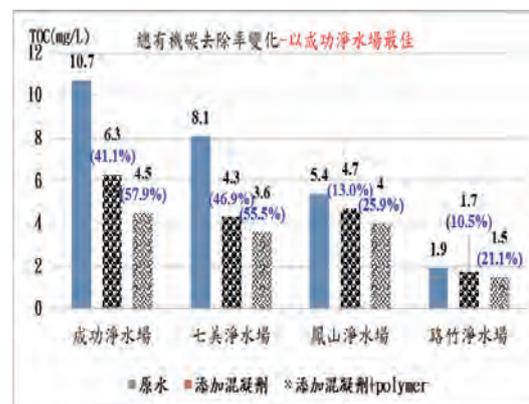


圖 6 總有機碳去除率變化(與原水比較)

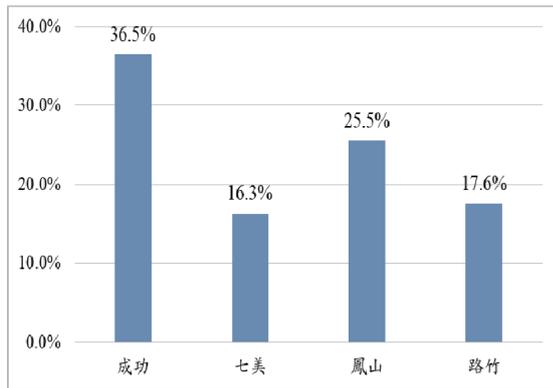


圖 7 對總有機碳去除率比較

針對潭頂場、成功場、石門場其混凝劑分別使用不同的混凝劑如氯化鐵、硫酸鋁、聚氯化鋁等，以其低濁原水進行杯瓶濾後水檢測 NDMA、總三鹵甲烷及殘餘單體。其中 NDMA 委託成大財團法人研究基金會檢測 (MDL 4.5ng/L)，殘餘單體委託台灣檢驗科技股份有限公司(SGS)超微量分析實驗室以液相層析串聯式質譜儀法檢驗(定量極限 1 μg/L)，總三鹵甲烷由台水公司自行檢測(MDL 0.14 μg/L~0.19 μg/L)。檢驗結果如表 4。

(七)消毒副產物及單體分析

表 4 Poly(DADMAC)消毒副產物及單體殘餘結果

淨水場及杯瓶條件	Poly(DA DMAC) (mg/L)	加氣量 (mg/L)	加氣方式	總三鹵甲烷 (μg/L)	NDMA (ng/L)	單體
石門淨水場 快混 200 rpm 20 秒 慢混 40 rpm 20 分鐘 靜置沉澱 30 分鐘	0	1	快混前添加	3.64	ND	-
	0.05	1	快混前添加	3.68	ND	-
	0.1	1	快混前添加	3.98	ND	-
	0.2	1	快混前添加	4.68	ND	-
	0.5	1	快混前添加	5.27	ND	-
	1	1	快混前添加	6.96	ND	-
	0.2	0	不添加	0.00	ND	-
	0.2	0.5	快混前添加	2.28	ND	-
	0.2	2	快混前添加	5.73	ND	-
	0.2	1	沉澱後添加	1.91	ND	-
	0.05	1.5	快混前添加	6.76	-	-
	0.2	1.5	快混前添加	6.42	-	-
	0.5	1.5	快混前添加	8.33	-	-
	0.1	0	不添加	0.21	-	-
	0.1	0.75	快混前添加	2.74	-	-
0.1	1.5	快混前添加	5.87	-	ND	
0.1	3	快混前添加	1.59	-	ND	
0.1	1.5	靜置後添加	3.47	-	-	
潭頂淨水場 快混 53 rpm 147 秒 慢混 54 rpm 7.6 分鐘 36 rpm 7.6 分鐘 18 rpm 7.6 分鐘 靜置沉澱 7 分鐘	0.2	0	不添加	ND	ND	-
	0.2	1	快混前添加	8.15	ND	-
	0.2	2	快混前添加	11.1	ND	ND
	0.2	4	快混前添加	13.3	ND	ND
	0.2	2	靜置後添加	8.21	ND	-
	0.2	2	快混前添加	9.79	ND	-
	0.2	2+0.9	快混前添加+過濾後添加	-	-	-
成功淨水場 快混 150 rpm 1 分鐘 慢混 40 rpm 9.5 分鐘 27 rpm 9.5 分鐘 13 rpm 9.5 分鐘 靜置沉澱 20 分鐘 (原水 TOC 11.1mg/L)	3	0	不添加	0.35	ND	-
	3	1.5	快混前添加	25.6	ND	-
	3	3	快混前添加	40.7	ND	-
	3	6	快混前添加	35.6	ND	ND
	3	3	靜置後添加	20.2	ND	ND
	3	1.5	靜置 13 分鐘後添加	27.7	ND	-
	3	3	靜置 13 分鐘後添加	34.7	ND	ND
	3	3	靜置 13 分鐘後添加	-	-	-

備註：1.總三鹵甲烷法規限值：0.08 mg/L

2.NDMA WHO 建議值：100 ng/L

3.水中殘餘單體：美國 NSF/ANSI 60 要求水中最大濃度為 500 μg/L(ppb)

四、結論與建議

- (一)本研究以台水公司北、中、南、東部地區 8 座淨水場及離島 2 座淨水場共計 10 座淨水場為標的，針對不同水源(如河川水及水庫水)並以低濁度難處理原水(白濁、高有機物、高氨氮、高藻類問題等)為主要考量，在不同濁度範圍進行杯瓶試驗。結果顯示，不論是在低濁原水(<50 NTU)、中濁原水(50 NTU~250 NTU)、高濁原水(250 NTU~2,000 NTU)及超高濁原水(>2,000 NTU)原水條件下，基於風險及飲用水安全因素，以公告有機高分子凝聚劑中毒性最低的 Poly(DADMAC)助凝劑，搭配使用不同種類之混凝劑(硫酸鋁、聚氯化鋁及氯化鐵或雙加藥等)，大部分淨水場濁度去除效果可由原最佳情形再往上提高，最高可達 79.6%。此外，石門場及潭頂場可同步降低水中殘餘溶解鋁最高達 40.0%，成功場可額外去除總鋁 72.2%，而添加鐵系(氯化鐵)之潭頂場，則可降低水中殘餘總鐵 40.0%。
- (二)搭配現有淨水場使用的混凝劑，其 Poly(DADMAC)最適添加量中，本島除鳳山(工業)場為 1 mg/L 外，其他各場僅需 0.1mg/L~0.5mg/L，即可得最佳濁度去除效果。惟離島地區含有高有機碳之水質，如澎湖成功場，Poly(DADMAC)最適添加量需 4mg/L，均小於目前法規規範限值之 10mg/L，故 Poly(DADMAC)最大添加劑量下降為 5 mg/L 足以因應。
- (三)以往添加有機高分子凝聚劑，大部分針對白濁水等濁難處理原水考量，惟本次

研究發現，對於高有機碳原水去除效果也非常好，如澎湖成功場原水濁度經常性在 50 NTU 以下，枯水期中總有機碳高居不下，屬低濁度高有機物難處理原水，以加強混凝方式可去除總有機碳約 41.1%，如經添加 Poly(DADMAC) 4 mg/L，總有機碳去除率可由最佳情形再提高 36.5%(總去除率達 57.9%)，UV₂₅₄ 試驗中亦有相似結果去除率再提高 25.9%，可減少消毒副產物總三鹵甲烷生成量。此外，亦可減少加藥量達 85.7%，對於離島地區藥劑運送不易及供水安全均有明顯的成效。

- (四)經本研究以過濾特性指標 (STI) 進行過濾性測試，發現在添加適量的有機高分子凝聚劑時，並不會造成濾床的阻塞，反而可以增加其過濾性，此現象在低濁度原水時較為明顯；中高濁度時則較不明顯。其中以成功場提高 11.5 倍最佳，惟當過量添加時，則會反轉造成濾床的阻塞、濁度及總鋁也會增加，此現象也可以說明，以前部分淨水場添加過量有機高分子凝聚劑，曾造成濾床嚴重阻塞的現象及原因，如適當下修 Poly(DADMAC)法規最大添加劑量，將有助於管理淨水場添加高分子凝聚劑以避免過量添加造成濾床阻塞、濁度、鋁等反轉問題發生。
- (五)在減少混凝劑加藥量測試中，比較有無添加 Poly(DADMAC)為助凝劑時之混凝劑加藥量，當添加最適量 Poly(DADMAC)時，以添加前後相同濁度為指標，可減少混凝劑加藥量最高達 85.7%，對於淨

水場於高低濁難處理原水時為降低濁度而過度加藥現象有改善效果，可避免因過度加藥造成清水鉛或鐵的過量而超出飲用水水質標準。

(六)針對添加 Poly(DADMAC)加藥順序的比較，依板新場測試係以快混後及快混一半添加較佳，而豐原一場(雙加藥)測試時，則為於同時於快混前添加效果最佳，並無固定順序，建議各場使用前可先以杯瓶試驗確認其最適添加位置。

(七)針對淨水場前加氯是否會破壞有機高分子結構促使單體殘餘於水中疑慮，本案以潭頂、成功及石門等 3 場原水進行杯瓶試驗，模擬各場操作條件最適之有機高分子凝聚劑 Poly(DADMAC)加藥量及現場加氯量(NaOCl)為依據，進行不同加氯添加順序(快混前加氯及沉澱後加氯)及改變加氯量(正常加氯量及一倍加氯量)等測試，分析過濾後水中單體含量，作為此效應初步分析探討，實驗結果皆為未檢出(ND)(定量極限 $1 \mu\text{g/L}$)，顯見添加次氯酸鈉消毒對高分子結構破壞促使單體殘餘於水中風險極低。

(八)有關淨水流程中，添加高分子聚合物是否會與消毒劑(次氯酸鈉)發生反應而產生消毒副產物的疑慮，經以最適的 Poly(DADMAC)加藥量，進行不同加氯添加順序、改變加氯量等測試，潭頂場、石門及成功場等 3 場測試結果即使在加氯量達 2 倍量及不同加氯位置，在同時添加 Poly(DADMAC)時，消毒副產物 NDMA 皆為未檢出(ND)，顯見以低劑量高分子添加量配合現有操作模式並無

NDMA 風險。依據文獻所示以氯胺 (NH_2Cl)消毒劑 NDMA 生成風險較高，國內加氯藥劑為次氯酸鈉(NaOCl)或氯氣，產生 NDMA 風險極低。

(九)有機高分子助凝劑的添加是否有增加總三鹵甲烷生成的風險，由總三鹵甲烷檢驗數據可知，在添加 Poly(DADMAC)後就算加氯量加倍，總三鹵甲烷仍遠低於法規限值 0.08 mg/L ，僅有成功場因原水總有機碳濃度較高，總三鹵甲烷生成量為 0.02mg/L - 0.04mg/L 。以總三鹵甲烷數據而言，大致上與總有機碳及加氯量皆有正相關，但加氯量超過某限值後影響程度即有限甚至下降。此外，加氯的順序(快混前添加、靜置後添加、靜置中添加)則以後加氯產生的總三鹵甲烷明顯較少，顯示在較高 TOC 前質下延後加氯的方式較能降低總三鹵甲烷風險。

(十)台水公司為有效管控飲用水水質安全，訂有比飲用水水質標準更嚴格的水質內控值，如濁度法規值為 2NTU，台水公司內訂淨水場沉澱水、過濾水及清水之濁度內控值分別為 5NTU、0.5NTU 及 0.5NTU，為進一步確保飲用水水質安全，並有效控管水中二蟲(梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲)及鉛等含量，108 年再次加嚴其內控值，規定新建及擴建淨水場沉澱水、過濾水及清水之濁度內控值分別下修為 2NTU、0.2NTU 及 0.2NTU；至於針對現有淨水場未來亦擬採逐步加嚴方式管控以加強水質安全，如能放寬低濁度原水添加 Poly(DADMAC)，對於淨水場安全的提升(濁度降低)，將會更有助

益。

(十一)綜上未來如爭取有機高分子凝聚劑放寬原水濁度 250NTU 以下之使用限制時，可以毒性最低的 Poly(DADMAC) 為申請對象，其最大添加劑量可下修至 5mg/L，為原限值的 1/2。

參考文獻

- 1.AWWARF, Reactions of polyelectrolytes with other water treatment chemicals, AWWA Research Foundation Reports, 2005.
- 2.Arisseto AP, Toledo MC, Govaert Y, et al.Determination of acrylamide levels in selected foods in Brazil. Food Addit Contam 24(3):236-241.2007.
- 3.Kawamura, S. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY., 2000.
- 4.Boltoa, B., Gregoryb, J. Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Research 41, 2301-2324, 2007.
- 5.羅煌木(2015)，有機高分子凝聚劑於低濁度原水處理效能之研究，技術報告，台灣自來水公司
- 6.Mallevalle, J., Bruchet, A., Fiessinger, F.. How safe are organic polymers in water-treatment. J. Am. Water Works Assoc. 76 (6), 87 - 93 ,1984.
- 7.蘇金龍。赴美國觀摩學習淨水廠及配水水質管理心得報告。台灣自來水公司，2001。
- 8.籃炳樟、張嬉麗、曾盛一、張光翹。考察澳洲淨水場致病藻類防制作業、淨水處理研究趨勢暨參加2007年IWA-ASPIRE會議心得報告。台灣自來水公司，2008。
- 9.王根樹，台水公司以有機高分子凝聚劑作為飲用水水質處理藥之安全性評估探討，台灣自來水公司，2018。
- 10.NSF International (NSF). Water Matters. Accessed online at: https://www.nsf.org/newsroom_pdf/water_municipal_water_matters_1606.pdf. Accessed December, 2016.
- 11.黃志彬，水公司淨水場低濁度難處理原水處理最適化之研究，技術報告，台灣自來水股份有限公司，2008。

作者簡介

刁文儀女士

現職：台灣自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質異常改善研究、飲用水處理藥劑研究、水質監測儀器

林正隆先生

現職：台灣自來水公司總管理處水質處組長

專長：水質異常改善、飲用水處理藥劑、淨水改善

陳乃菁女士

現職：台灣自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質異常改善研究、飲用水處理藥劑研究、水質檢驗

游育晟先生

現職：台灣自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質異常改善研究、淨水流程設備改善

王冠中先生

現職：台灣自來水公司第五區管理處水質課工程師

專長：水質異常改善研究、生物檢測、水質檢驗

供水調配水理演算之應用—以東湖地區為例

文/鍾育霖

摘要

臺北自來水事業處於杜鵑颱風來襲後為穩定供水，擬定短、中及長期等作為，短、中期大抵完成，長期措施之一即新設 ϕ 1,000mm 輸水幹管聯通民生南港線及松山內湖線，考量此舉即將完成，屆時聯通施工須停止東湖重要輸水幹線 800mm 供水，為瞭解此舉對用戶影響及提供後續供水調配可行的操作模式，特以此為水理分析案例，經情境模擬後提出可於離峰時段停水施工，並同時初步建議俟 1,000 輸水幹管聯通南港線後支援內湖線可參考的操作模式。

關鍵字：水理分析、供水調配、東湖

一、前言

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）為防範颱風襲台影響水源並檢討供水系統後，針對部分管網末端或復水較慢區域擬定短、中及長期因應作為，其中針對東湖地區復水及確保供水穩定等，北水處即計畫增設 ϕ 1,000mm 輸水幹管聯通民生加壓站南港線於基隆河右岸高灘地之 ϕ 1,500mm 與東湖路既有 ϕ 800mm 幹管，完成後將可改善東湖及支援台水汐止地區用水。

新設 ϕ 1,000mm 輸水幹管施工起點自潭美街堤防外鄰近南湖大橋處，由民生加壓站南港線 ϕ 1,500mm 輸水幹管預留之 ϕ 1,000mm 銜接點，順基隆河右岸高灘地往上

游，至接近內溝溪後向北穿越國道 1 號高速公路，沿東湖路 160 巷，最後到東湖路與既有 800mm 管線銜接連絡；此 ϕ 1,000mm 聯絡管由北水處工程總隊「東湖 ϕ 1000mm 輸水幹管潛盾統包工程案」辦理，該標工程於 107 年 10 月 5 日開工，預定 110 年 1 月 19 日完工。現階段工程總隊預定於 109 年底前辦理東湖路既有 ϕ 800mm 管線連絡工作，連絡施工時即須停止東湖路既有 ϕ 800mm 管線供水，東湖路既有 ϕ 800mm 管線為東湖地區重要輸水幹管，一旦停水將影響東湖地區用水，本文旨在以本案例說明類似案件可以利用水理分析模擬及加壓站動力操作等降低重大輸水幹線停水影響，及希冀進一步擬定未來 ϕ 1,000mm 潛盾管聯通後之供水模式。

二、供水系統現況

為了解東湖路既有 ϕ 800mm 對東湖地區重要性，應先對東湖地區及供水系統有一概括性瞭解。北水處依地形地勢、需水量、水源調配及加壓系統等，將轄區範圍區分為 11 個供水區域，東湖地區即位於內湖供水分區範圍內（如圖 1）。以行政區來說，東湖即為內湖區的東湖次分區，包含了葫洲里、五分里、東湖里、樂康里、內溝里、安湖里、安泰里、金湖里、康寧里、明湖里蘆洲里及南湖里等 12 個里，依臺北市內湖區戶政事務所公佈數據，至 109 年 8 月東湖次分區計有 31,600 戶、88,210 人。



圖 1 內湖供水分區供水概況

內湖供水分區自來水主要源自大同加壓站大直線及松山加壓站內湖線動力供應，而東湖地區則位屬松山加壓站內湖線的末端區域，係利用東湖路 $\phi 800$ mm及安康路 $\phi 500$ mm等輸水幹管送往此區域，初估此區用戶用水平均日用水量約 35,000CMD。

東湖地區供水又可區分為平地區及高地區，平地區由松山加壓站內湖線供應，高地區水源同樣來自內湖線，惟因地勢關係及內湖線供水能量，東湖高地區係藉由東湖、大湖公園、內溝里、內湖三期及內湖四期等 5 個小型加壓站，經由內湖線進水後再動力供應自來水（如圖 2），另此區因東鄰新北市汐止區尚負有支援台灣省自來水公司汐止用水需要（如汐湖橋、瓏山林、東湖山莊及白馬山莊等），支援總水量則視河川、降雨水情及新山水庫庫容等變化約 5,000~30,000CMD 之 6 倍以上差距。



圖 2 東湖地區供水系統概況

104 年 9 月強烈颱風杜鵑襲臺期間造成新店溪原水濁度飆高至 2 萬度以上，遠超過北水處淨水場最大處理能力，致供水轄區首次全面大規模停水。颱風影響過後，北水處雖盡速恢復供水，惟部分地區尤以東湖地區位屬管網末端，前端用戶大量進水，導致東湖地區復水延遲、時程較長，有些高地區更近 20 小時後方恢復正常供水，經此北水處重新檢討管網系統，並擬定短、中及長期等

策進作為，用以縮短復水時間及穩定供水。東湖地區所擬定的策進作為包含改善東湖加壓站進水量、調整東湖加壓站大表用戶進水模式、視需求狀況調整大湖公園加壓站供水範圍以替代東湖加壓站部分供水區域、辦理內湖中繼配水池運作及調整內四加壓站進水處以減輕內三加壓站負擔等(如圖 3)，目前已大致完成上述短期及中期計畫相關措施^[1]。

另長期措施其一係以鄰近民生加壓站南港線為水源，規劃新設輸水幹管 ϕ 1,000mm 管線由南湖大橋旁預留管處將南港線與東湖路既有 ϕ 800mm 管線連絡以備援供水。鑒於北水處工程總隊預定於 109 年年底前完成新設幹管與東湖路既有 ϕ 800mm 管線連絡工作，施工時即須停止東湖路既有 ϕ 800mm 管線供水，由前述可知東湖路既有 ϕ 800mm 管線為東湖地區重要輸水幹管，一旦停水將影響東湖地區及支援台水用水。



圖 3 東湖地區加速復水作為示意圖^[1]

三、東湖路800mm停水分析及測試

為瞭解東湖路 ϕ 800mm 停水後對東湖地區影響，將以水理分析情境模擬 ϕ 800mm 停水及據以研提後續因應措施。

分析方式首先以北水處 WebGIS 匯出管網基本資料(如平均用水量、管徑、長度及粗糙係數等)，以美國環保署提供免費的 EPANET2.2 程式，經簡單設定及調整參數、加壓站及泵等資料後演算，此基本模型建置亦參照北水處內湖供水分區管網模型建立方式，刪除小型加壓站管網，僅於原小型加壓站進水節點設定所需進水量^[2]。

由大同加壓站大直線及松山加壓站內湖線在相同出壓狀況下，當關閉東湖路 ϕ 800mm 輸水幹管時，由水理分析可見，當尖峰用水下，東湖地區僅利用安康路 ϕ 500mm 及區域配水管網將水往東湖地區送，不夠支應東湖地區大部分用水需求，東湖路以北及北水處汐止轄區範圍內管網水壓明顯不足 0.5 kg/cm^2 ，且大部分甚至呈現負壓狀態。此時，東湖平地區已無法正常供水及內溝里加壓站亦無法進水，以直接及間接用戶數概算約計上萬多戶受到影響，如圖 4 及圖 5 所示。



圖 4 東湖地區水理分析結果(尖峰供水、汐湖橋支援 5,000CMD)

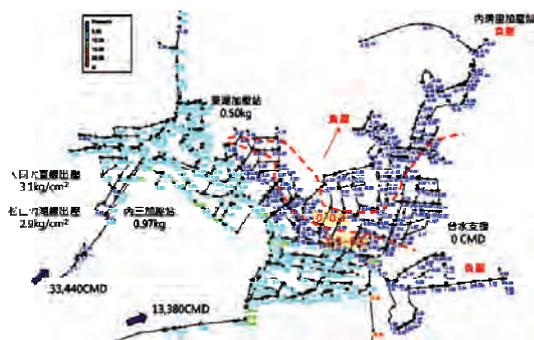


圖 5 東湖地區水理分析結果(關閉東湖路 ϕ 800mm)

在現況無其他水源可供引入供應的狀況下，分成幾項方案研擬降低關閉東湖 ϕ 800mm 的影響：

(一)既有小型加壓站擴大供水範圍

經先前模擬關閉東湖路 ϕ 800mm 的結果，將先考量調整大湖公園加壓站及東湖加壓站供水範圍，以大湖公園加壓站供水能量模擬，大湖公園加壓站配水池容量約 $1,033\text{M}^3$ ，平均進水量約 $600\sim 800\text{CMD}$ ，平時常態日均供水量約 650CMD ，經模擬及考量配水池容量後，出水量以 $3,500\text{CMD}$ 演算，約可供應 6 小時，水理分析如圖 6。經此評估大湖公園加壓站應可擴大供應至內溝里加壓站、汐止白馬山莊及瓏山林等地區，惟有供應時間限制。



圖 6 大湖公園加壓站供水模擬

另考量東湖加壓站供水能量模擬，東湖加壓站配水池容量約 500M^3 ，平均進水量約

$1,500\sim 1,800\text{CMD}$ ，平時常態日均供水量約 $1,600\text{CMD}$ ，經模擬及考量配水池容量後出水量以 $3,000\text{CMD}$ 核算，約可供應 6 小時，水理分析如圖 7。東湖加壓站應可擴大供應至康寧路 3 段 99 巷以西區塊，惟供應時間仍受限制。



圖 7 大湖公園加壓站供水模擬

經上述模擬，東湖加壓站及大湖公園加壓站擴大供應後仍無法含蓋東湖平地區用戶用水，且若停水施工時間超過 6 小時，恐連帶原加壓站供水範圍均受到影響。

擴大小型加壓站範圍雖無法作為東湖地區平地供水替代，但模擬後可擴大之供水範圍仍可作為緊急停水時小型加壓站支援範圍之參考。

(二)尖離峰時段停水模擬

先以東湖地區尖峰供水狀況下，關閉東湖路 ϕ 800mm 情境模擬，其分析結果如圖 8 所示。可見，松山及大同加壓站均須加壓至 3.8 kg/cm^2 以上，方滿足末端高地區小型加壓站進水壓，惟以內湖供水分區整體而言，大部分管網壓力均提升至 $2\sim 3\text{ kg/cm}^2$ ，大幅增加漏水風險，也相對提高加壓站操作風險。

另以離峰供水量狀況下進行關閉東湖路 ϕ 800mm 水理分析，此時，大同加壓站大直線及松山加壓站內湖線則以未關閉時離



峰實際狀態相同的出水壓模擬(可參見圖 15 移動平均數值), 離峰供水量水理分析如圖 9 所示。

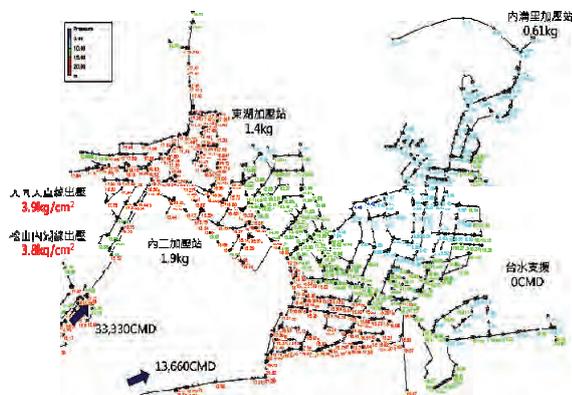


圖 8 東湖地區水理分析結果(關閉、尖峰)



圖 9 東湖地區水理分析結果(關閉、離峰)

關閉東湖路 $\phi 800\text{mm}$ 後, 因台水汐湖橋支援係銜接於東湖路 $\phi 800\text{mm}$ 輸水管後端, 遂該點支援量同時停止供應。由水理分析結果圖 10 可見, 於離峰時段關閉對東湖地區的影響相對較小, 另若將大同大直線及松山內湖線微幅增加出壓 0.3 kg/cm^2 , 由水理分析結果圖 11 來看, 東湖地區用水已可滿足當下用水需求。

另, 由水理分析亦可看見, 因關閉東湖路 $\phi 800\text{mm}$ 將造成部分管網水流方向改變及部分管段流量增加流速加快, 如圖 12 及 13 所示。



圖 10 東湖地區水理分析結果(離峰、關閉東湖路 $\phi 800\text{mm}$)



圖 11 東湖地區水理分析結果(離峰、關閉東湖路 $\phi 800\text{mm}$ 、加壓站提高 0.3kg)



圖 12 東湖地區正常供水管網水流方向



圖 13 東湖地區關閉 800mm 後管網水流方向改變

綜上，於用水離峰時段關閉東湖路 ϕ 800mm，再配合大同及內湖加壓站適度加壓應足支應該時段東湖地區用水狀況，遠比尖峰時段加大加壓站出水壓耗能小，同時降低管網系統漏水等風險。另因部分路段水流方向改變，於實際操作關閉蝶閥及制水閥時，須注意操作速率、加強管網排水及關閉後水質狀況。

(三)現場實際關水測試

施工單位工程總隊為實際瞭解關閉東湖路 ϕ 800mm 對東湖地區影響及該管段可否止水施工，經評估選定以 109 年 7 月之某一周六離峰時段 00:00-06:00 進行關水測試。本次正可藉以配合檢視此模型之水理模擬與實際關閉結果的差異性。

測試當天，松山加壓站內湖線及大同加壓站大直線即依模擬結果微幅提升出水壓，提升結果如圖 14 所示，另將實際操作出水壓數值與 30 日移動平均線比較（如圖 14），更清楚可見於測試期間兩處動力操作

出水壓確實均較平時提升。

出水壓提升後，參照實際大同線及內湖線出水量（如圖 15 及 16）等進行模擬，現場實測與分析模擬結果展示如下圖 17。大部分區域均與水理分析結果差異不大，比對 10 處中有 2 處模擬值與現測數值差異遠大 $\pm 20\%$ 以上，而超出的監測位置則須再釐清是否因制水閥未開啟、漏水、或鄰近處是否用戶大量進水等導致水壓較模擬值差異大，惟以範圍來看差異較大仍屬極小部分，遂水理模擬演算結果已可作為確認方案之論據。

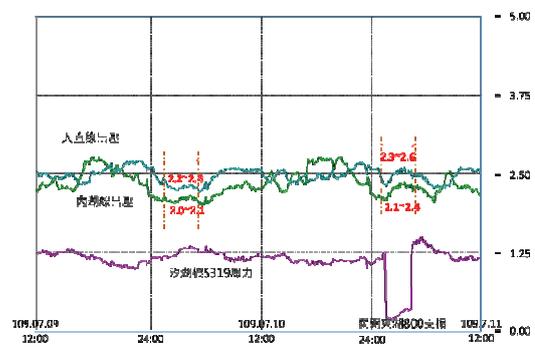


圖 14 內湖線及大直線測試前後出壓狀況

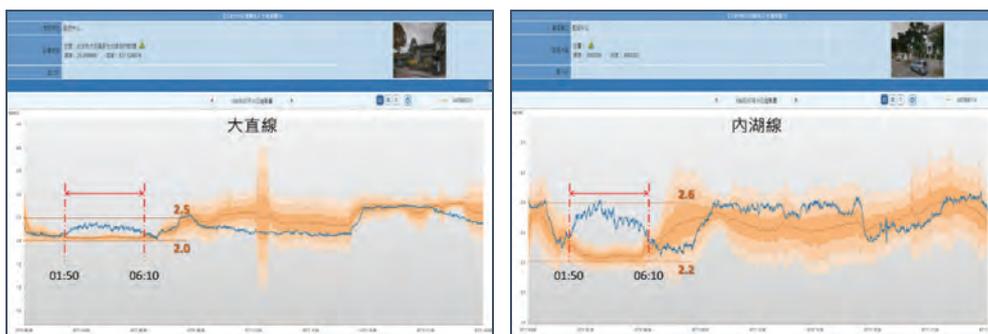


圖 15 內湖線及大直線 7 月 11 日出水壓及 30 日移動平均圖

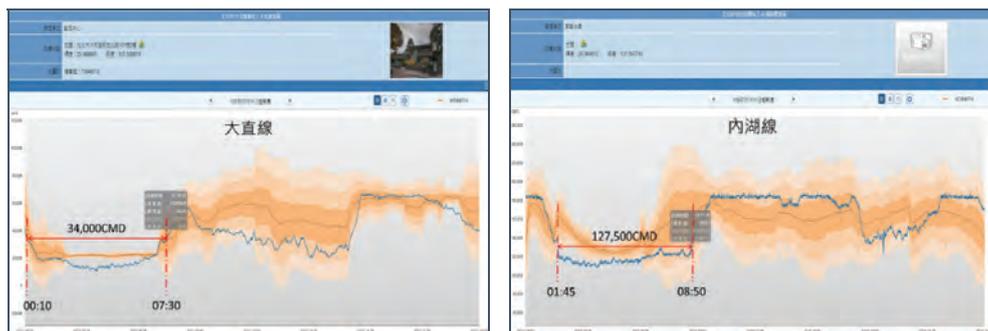


圖 16 東湖地區關閉 800mm 後實測大直線及內湖線出水量



圖 17 東湖地區關閉 800mm 後實測與模擬比對

綜整上述，後續辦理東湖 800mm 停水連絡施工時，建議可在離峰時段辦理，再配合微幅提升加壓站出壓，此舉較可配合施工時程，亦僅較平時微增部分動力能量的狀況下，就可減少東湖地區用戶用水影響及民怨。

五、民生南港線支援東湖地區供水模式

北水處為了解 1,000mm 輸水幹線聯通民生加壓站南港線之 ϕ 1,500mm 與東湖路既有 ϕ 800mm 幹管後之支援性能，曾以潛盾管銜接點剩餘水頭約 14m，模擬在未來五年及二十年最大時供水條件下，新增加之潛盾管線是否滿足東湖地區及支援水量增加的供水壓力需求；兩種情境下其分析結果，南港線將負荷台水支援量，而整個東湖地區到成功

路二段以西管網壓力可大幅提升，惟須注意部分路段水流流向改變可能造成水質異常狀況^[2]。

考量內湖供水分區供水模式略有調動，本次亦以類似條件下比照將潛盾管聯通南港線之 ϕ 1,500mm 與東湖路既有 ϕ 800mm 幹管後進行水理分析，惟本次將民生加壓站南港線自身供水狀況併同考量，以確認在最大時供水狀況下，南港線應出壓多少，潛盾管之南港線連接點達多少壓力後即對東湖地區有幫助。

首先僅先針對台水汐止支援量之影響進行水理分析，當大同加壓站大直線及松山加壓站內湖線在相同出壓下，東湖地區受到支援台水增量的影響，此增量係以近期台水汐湖橋增量需求為考量。經模擬後，區域水壓平均約下降 0.3 kg/cm² 以上，部分區域水

壓甚至不足 0.2 kg/cm^2 ，水理分析結果詳見圖 18 及圖 19。

再續模擬以新設潛盾管聯通民生南港線及松山內湖線情境，於尖峰供水量及台水增量的狀態下，民生南港線出水壓僅須微幅調高達 2.2 kg/cm^2 以上，致南港線聯絡支援點達 1.6 kg/cm^2 的狀態下，且可使東湖地區區域水壓提升 $0.3 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ，即表示可有效減輕松山內湖線的負擔，分析結果詳見圖 20。

另為確認操作模式特模擬離峰供水量情境，潛盾管聯通南港線支援東湖地區之水理分析結果如圖 21，可以發現當民生南港線於離峰壓力的狀態下，新設潛盾管水流反向供水，內湖線反而供水至南港線，造成東湖地區部分範圍水壓下降，甚有負壓的情形。

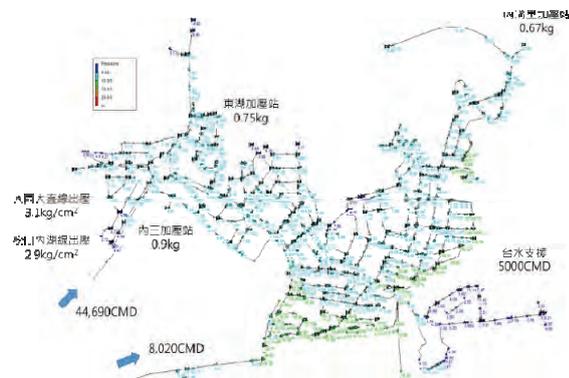


圖 18 東湖地區水理分析結果(汐湖橋支援 5,000CMD)

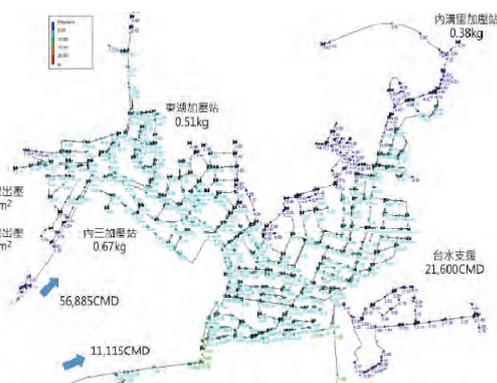


圖 19 東湖地區水理分析結果(汐湖橋支援

21,600CMD)



圖 20 潛盾管聯通南港線支援東湖地區水理分析(汐湖橋支援 21,600CMD)



圖 21 潛盾管聯通南港線支援東湖地區水理分析(離峰供水量)

經由上述水理分析模擬後，後續潛盾管聯通南港線後，建議於南港線 $\phi 1,500 \text{ mm}$ 分支新設 $\phi 1,000 \text{ mm}$ 起點設置電動蝶閥，於尖峰時段或台水支援增量需求時可視供水狀況開啟南港線支援東湖地區，於離峰時段則關閉支援或微幅開啟保持通水狀態即可。

六、結論與建議

東湖地區位於內湖供水分區末端，部分區域為高地，當關閉東湖路 $\phi 800 \text{ mm}$ ，除高地加壓站無法正常進水外，亦將對平地區用戶用水產生大範圍影響，經水理分析模擬後建議可於離峰時段進行東湖路 $\phi 800 \text{ mm}$

停水施工，並配合微幅調高大同加壓站大直線及松山加壓站內湖線動力出水壓，即可大幅避免影響用戶用水。

另於民生南港線南湖大橋旁 ϕ 1,500mm 分支新增 ϕ 1,000mm 管線供水至東湖地區，經水理分析其操作模式初步建議，於尖峰時段或台水支援增量需求時視供水狀況可開啟南港線支援東湖地區，於離峰時段則關閉支援或微幅開啟保持通水狀態，以此模式操作可減少內湖線之負擔亦可提升東湖地區整體水壓。

參考文獻

- 1.李鴻利、鄭答振，東湖地區停水後復水時程策進方案暨執行成果，中華民國自來水協會會刊第36卷第1期，106年。
- 2.陳明州、鄭答振、黃欽稜、陳韋嘉、張瑛興、李鴻利、謝連達，臺北自來水管網水理分析應用之規劃發展，中華民國自來水協會108年度研究計畫。

作者簡介

鍾育霖先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：自來水管線施工監造及設計

鳶山堰原水添加粉狀活性碳去除土霉味(2-MIB) 之試驗探討

文/田立宇、陳慶宏、簡暉哲、柯冠宇、林彥宏

一、前言

台灣由於全球暖化、氣候變遷及環境污染日益嚴重，含有污染物之河水匯集至水庫或攔河堰，不僅如此，今年(109 年)7 月創下了 20 年來無颱風生成罕見的現象，久未降雨造成枯水期間增加，水源無法置換，日照充足更是加劇了微生物生長及優養化，進而衍生出臭味問題，這些情形對各個淨水場面臨的水質處理問題，更是帶來一大挑戰。

本試驗係於鳶山堰原水中，添加粉狀活性碳杯瓶試驗去水中臭味物質 2-Methylisoborneol(以下簡稱 2-MIB)進行探討，以了解 TAC(台灣炭素公司，木質系)、TAC(台灣炭素公司，煤質系)及巨鑫公司(煤質系，板新廠目前正使用) 3 種活性碳添加不同劑量對原水臭度物質吸附效果之比較、加氯劑量及位置對於水中臭度之影響及鐵、錳、氨氮去除率差異，並且做為淨水操作之依據。

二、實驗方法

(一)藥品及配製

- 1.2-MIB 標準溶液($50 \mu\text{g/L}$)：取 2-MIB 標準品(100mg/L) 0.1mL ，以甲醇定量至 200mL 後，存放於 4°C 冰箱及暗室。
- 2.活性碳粉末(PAC)溶液(20000mg/L)：分別秤取台灣炭素木質系、煤質系及巨鑫公司煤質系活性碳粉末置於 105°C 烘箱烘乾至隔

夜，待冷卻後，秤取 2g 粉末活性碳加到 100mL 試劑水中，攪拌 5 分鐘即可使用。存放於 4°C 冰箱及暗室，重新使用時則需攪拌 10 分鐘。

- 3.聚氯化鋁(PACL)溶液(20000mg/L)：取聚氯化鋁原液 20g ，以試劑水定量至 1000mL 。
- 4.次氯酸鈉(NaOCl)溶液(2000mg/L)：10%次氯酸鈉原液 1.62mL ，以試劑水定量至 100mL 。

(二)設備及器材

1.杯瓶試驗機 2.計時器 3.採樣瓶 4.自動移液管或玻璃移液管 5.濁度計 6.桌上型分光光度計(DR2800) 7.餘氯計 8.pH 計。

(三)實驗步驟

(杯瓶試驗一~三)

- 1.取 120mL 之 2-MIB(濃度 $50 \mu\text{g/L}$)至 30L 之原水中，均勻混合後，濃度為 200ng/L 。
- 2.準備 7 個杯瓶，並於每一瓶中加入 2L 已含 200ng/L 之 2-MIB 原水(杯瓶 7 為原始添加濃度對照組，不進行任何試驗步驟)。
- 3.於杯瓶 1 至 6 中分別添加 0 、 1 、 2 、 3 、 4 、 6mL 的活性碳粉末溶液(20000mg/L)，其最終粉狀活性碳濃度分別為 0mg/L 、 10mg/L 、 20mg/L 、 30mg/L 、 40mg/L 、 60mg/L 。
- 4.以 250rpm 攪拌 20 分鐘(活性碳吸附時間)
- 5.暫時停止攪拌動作：

杯瓶 1 至 6 同時添加 3mL 之聚氯化鋁溶液(20000mg/L)，其最終聚氯化鋁濃度為 30mg/L (聚氯化鋁參考板新給水廠當時濁度

之加藥量) (2)杯瓶 7 做為對照組，不添加聚氯化鋁。

6.杯瓶 1 至 6 進行快混試驗，以 150rpm 攪拌 84 秒。

7.杯瓶 1 至 6 進行慢混試驗，以 50rpm 攪拌 27.7 分鐘。

8.杯瓶 1 至 6 停止攪拌，沉澱 6 分鐘。

9.取上層液進行濁度檢測。

10.將樣品 1 至 7 進行臭度、2-MIB 及 geosmin 濃度分析。

(杯瓶試驗四)

1.取 120mL 之 2-MIB(濃度 $50 \mu\text{g/L}$)至 30L 之原水中，均勻混合後，濃度為 200ng/L。

2.準備 7 個杯瓶，並於每一瓶中加入 2L 已含 200ng/L 之 2-MIB 原水(杯瓶 7 為原始添加濃度對照組，不進行任何試驗步驟)。

3.於杯瓶 1 至 6 中分別添加 2mL 台灣炭素(木質系)活性碳粉末溶液(濃度 20mg/L)。

4.以 250rpm 攪拌 20 分鐘(活性碳吸附時間)。

5.暫時停止攪拌動作：(1)杯瓶 1 至 6 同時添加 3mL 之聚氯化鋁溶液(20000mg/L)，其最終聚氯化鋁濃度為 30mg/L(聚氯化鋁參考板新給水廠當時濁度之加藥量)。(2)杯瓶 7 做為對照組，不添加聚氯化鋁及次氯酸鈉。

6.杯瓶 1 至 4 分別加入 0mL、2mL、4mL、6mL 次氯酸鈉濃度相當於 0mg/L、2 mg/L、4 mg/L、6 mg/L)，杯瓶 5 及 6 暫不添加次氯酸鈉溶液。

7.杯瓶 1 至 6 進行快混試驗，以 150rpm 攪拌 84 秒。

8.杯瓶 1 至 6 進行慢混試驗，以 50rpm 攪拌 27.7 分鐘。

9.杯瓶 1 至 6 停止攪拌，沉澱 6 分鐘。

10.取上層液進行濁度檢測。

11.杯瓶 5、6 分別加入 2 mL、4 mL 次氯酸鈉溶液(2000mg/L)其最終次氯酸鈉濃度相當於 2 mg/L、4 mg/L，之後以 10rpm 攪拌 30 秒再靜置 30 秒。

12.將樣品 1 至 7 進行 2-MIB 及 geosmin 濃度分析。

13.將樣品 1 至 6 進行臭度、鐵、錳、氨氮濃度及自由餘氯分析。

三、結果與討論

鳶山堰原水中添加活性碳去除 2-MIB 杯瓶試驗，其原水水質資料見表 1。採集原水時，已連日降下小雨，臭度為 1，2-MIB 濃度不高(24.5 ng/L)。文獻中提及，欲去除之物質濃度愈低，數據愈不精確，因此從外部另外添加 2-MIB 溶液，藉此提高濃度，方能進行杯瓶試驗。

(一)杯瓶試驗一：於鳶山堰原水中添加巨鑫公司煤質系活性碳溶液去除 2-MIB 杯瓶試驗，其結果見表 2。當添加愈多活性碳溶液，其 2-MIB 之去除率愈高，然添加量 40 mg/L 時，殘餘 2-MIB 濃度仍有 37.6ng/L；當添加量增加至 60 mg/L 時，殘餘 2-MIB 濃度為 20.2 ng/L，此時方能低於閾值(29 ng/L)以下。

(二)杯瓶試驗二：於鳶山堰原水中添加台灣炭素系木質系活性碳溶液去除 2-MIB 杯瓶試驗，其結果見表 3。當添加愈多活性碳溶液，其 2-MIB 之去除率亦隨之增加，當添加量 20 mg/L 時，殘餘 2-MIB 濃度僅 13.4 ng/L，去除率可達 93.5%。

(三)杯瓶試驗三：於鳶山堰原水中添加台灣炭素系煤質系活性碳溶液去除 2-MIB 杯瓶試驗，其結果見表 4。相較於杯瓶試驗

一、二，2-MIB 去除率較差，活性碳溶液添加量達 60 mg/L 時，殘餘 2-MIB 濃度仍有 63.8ng/L，去除率為 62.8%。

將上述杯瓶試驗一~三結果進行彙整，結果見表 5；相關趨勢見圖 1 及圖 2。由此得知，2-MIB 去除率會隨著活性碳添加量增加而提高，試驗結果為台灣炭素木質系活性碳為最佳，僅需加入 20 mg/L，殘餘 2-MIB 濃度僅 13.4 ng/L，低於閾值(29 ng/L)以下，去除率可達 93.5%。巨鑫公司煤質系活性碳則次之，加入相同濃度活性碳溶液 20 mg/L，殘餘 2-MIB 仍有 71.3 ng/L，去除率為 66.4%，當活性碳添加量增加至 60 mg/L 時，殘餘 2-MIB 濃度為 20.2 ng/L，此時方能低於閾值以下。台灣炭素煤質系活性碳為最差，添加量為 60 mg/L 時，殘餘 2-MIB 濃度仍高達 63.8 ng/L，去除率僅 62.8%。

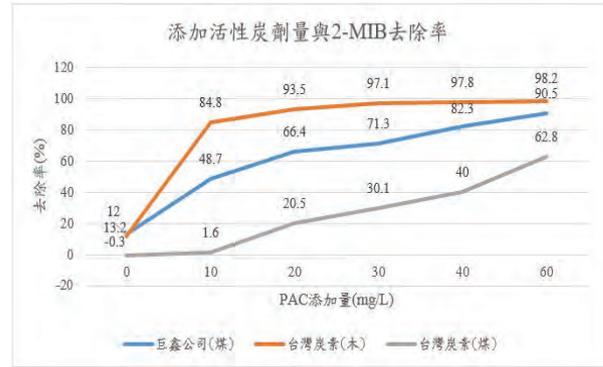


圖 1 添加活性炭劑量與 2-MIB 去除率關係

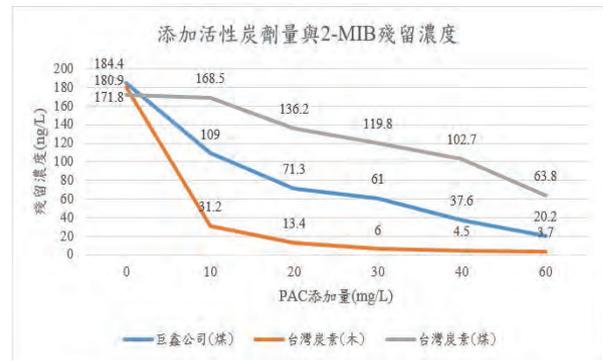


圖 2 添加活性炭劑量與 2-MIB 關係

表 1 鳶山堰原水水質資料

採樣日期：109.10.14；杯瓶試驗日期：109.10.17								
濁度 (NTU)	pH	導電度 μ mho/cm	鐵 (mg/L)	錳 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	初嗅度	2-MIB (ng/L)	Geosmin (ng/L)
46.4	7.78	302	0.31	0.143	0.18	1	24.5	2.0
註：鳶山堰水位 51.12m；天氣陰(約下 20 天小雨)								

表 2 杯瓶試驗一(活性碳:巨鑫公司(煤質系))去除率

	瓶號	1	2	3	4	5	6	7
參數	添加 2-MIB 濃度(ng/L)	200	200	200	200	200	200	200
	PAC1 劑量(mg/L)	30	30	30	30	30	30	0
	PAC 劑量(mg/L)	0	10	20	30	40	60	0
檢測項目	濁度(NTU)	1.43	1.17	1.36	1.10	1.41	0.96	
	殘餘 2-MIB 濃度(ng/L)	184.4	109.0	71.3	61.0	37.6	20.2	212.4
	去除率(%)	13.2	48.7	66.4	71.3	82.3	90.5	-
	初嗅數	64	4	3	1	1	<1	

表 3 杯瓶試驗二(活性碳:台灣炭素(木質系))去除率

瓶號		1	2	3	4	5	6	7
參數	添加 2-MIB 濃度(ng/L)	200	200	200	200	200	200	200
	PACl 劑量(mg/L)	30	30	30	30	30	30	0
	PAC 劑量(mg/L)	0	10	20	30	40	60	0
檢測項目	濁度(NTU)	1.44	1.03	0.75	1.06	1.20	0.83	
	殘餘 2-MIB 濃度(ng/L)	180.9	31.2	13.4	6.0	4.5	3.7	205.6
	去除率(%)	12.0	84.8	93.5	97.1	97.8	98.2	-
	初嗅數	64	3	1	1	1	<1	

表 4 杯瓶試驗三(活性碳:台灣炭素(煤質系)) 去除率

瓶號		1	2	3	4	5	6	7
參數	添加 2-MIB 濃度(ng/L)	200	200	200	200	200	200	200
	PACl 劑量(mg/L)	30	30	30	30	30	30	0
	PAC 劑量(mg/L)	0	10	20	30	40	60	0
檢測項目	濁度(NTU)	1.42	1.01	0.76	0.68	0.89	0.93	
	殘餘 2-MIB 濃度(ng/L)	171.8	168.5	136.2	119.8	102.7	63.8	171.3
	去除率(%)	-0.3	1.6	20.5	30.1	40.0	62.8	-
	初嗅數	64	8	3	2	2	2	

表 5 杯瓶試驗一~三 2-MIB 去除率彙整

參數	活性碳添量 (mg/L)	0	10	20	30	40	60	對照組原水 2-MIB 濃度(ng/L)
	巨鑫公司(煤質系) (殘餘 2-MIB 濃度)		184.4	109.0	71.3	61.0	37.6	
2-MIB 去除率(%)		13.2	48.7	66.4	71.3	82.3	90.5	
初嗅數		64	4	3	1	1	<1	
台灣炭素(木質系) (殘餘 2-MIB 濃度)		180.9	31.2	13.4	6.0	4.5	3.7	205.6
2-MIB 去除率(%)		12.0	84.8	93.5	97.1	97.8	98.2	
初嗅數		64	3	1	1	1	<1	
台灣炭素(煤質系) (殘餘 2-MIB 濃度)		171.8	168.5	136.2	119.8	102.7	63.8	171.3
2-MIB 去除率(%)		-0.3	1.6	20.5	30.1	40.0	62.8	
初嗅數		64	8	3	2	2	2	

將上述杯瓶試驗之結果，選定最佳之活性碳溶液(台灣炭素木質系)進行杯瓶試驗，並且模擬前加氯劑量及位置對於水中臭度之影響及鐵、錳、氨氮去除率差異(表 6)。由試驗得知，加入次氯酸鈉確實會影響活性碳之吸附效果，同樣加入 20mg/L 活性碳溶液，未加入次氯酸鈉溶液之殘餘 2-MIB 濃度為 10.7ng/L，去除率為 93.9%。於快混前分別加入 2 mg/L、4 mg/L 及 6 mg/L 次氯酸鈉溶液，殘餘 2-MIB 濃度皆有上升趨勢，分別為 25.5 ng/L、34.6 ng/L 及 30.2 ng/L，2-MIB 去除率則下降，分別為 85.6%、80.4%、82.9%。此外，將 2 mg/L 及 4 mg/L 次氯酸鈉溶液加藥點移至沉澱後加入，殘餘 2-MIB 濃度分別為

14.2ng/L 及 14.1ng/L，去除率為皆為 92.0%。由此可知，加氯點移至淨水單元沉澱池，有助於 2-MIB 之去除，然目前大多水廠皆採取前加氯及後加氯模式，目的係於快混時去除原水中主要之耗氯物質鐵、錳及氨氮，並且形成結合餘氯，剩餘的氯則形成自由有效餘氯，此時才有消毒效果，抑制微生物生長。藉由此杯瓶試驗結果，量測加氯點不同原水得知，延後加氯亦能有效去除鐵、錳及氨氮。

四、結論

1.本實驗三種活性碳以台灣炭素木質素效果最佳，添加劑量 20mg/L，2-MIB 即可由 180.9ng/L 降至 13.4ng/L，去除率高達 92.5%；

表 6 前加氯劑量及位置對於水中臭度之影響及鐵、錳、氨氮去除率差異。

	瓶號	1	2	3	4	5	6	7
參數	添加 2-MIB 濃度(ng/L)	200	200	200	200	200	200	200
	PACL 劑量(mg/L)	30	30	30	30	30	30	0
	NaOCl 劑量(mg/L)	0	2	4	6	2 沉澱後加	4 沉澱後加	0
	PAC 劑量(mg/L)	20	20	20	20	20	20	0
檢測項目	濁度(NTU)	1.01	1.16	1.21	1.41	1.16	1.61	-
	鐵 (原水 0.31mg/L)	0.02	0.03	0.04	0.02	0.01	0	-
	錳 (原水 0.143mg/L)	0.009	0.014	0.009	0.022	0.015	0.015	-
	氨氮 (原水 0.18mg/L)	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	-
	自由餘氯	0	0.08	0.22	0.66	0.91	>2.2	-
	殘餘 2-MIB 濃度(ng/L)	10.7	25.5	34.6	30.2	14.2	14.1	176.6
	2-MIB 去除率(%)	93.9	85.6	80.4	82.9	92.0	92.0	-

巨鑫公司煤質系添加劑量 60mg/L，2-MIB 濃度才可降至 20.2ng/L；而台灣炭素煤質系即使添加 60mg/L，2-MIB 濃度仍高達 63.8ng/L。

- 2.文獻得知，當前加氯餘氯增加時，活性炭對 2-MIB 的吸附量隨之下降，或水中餘氯可能使得原本以吸附在活性炭的 2-MIB 釋放於水中造成濃度增加，本實驗前加氯添加 0，2，4 mg/L，2-MIB 濃度分別為 10.7，25.5，34.6 ng/L 亦隨之增加，與文獻試驗結果相符。
- 3.延後加氯試驗中(模擬於沉澱後快濾前加氯)，前加氯添加 2，4 mg/L 時 2-MIB 濃度 25.5 及 34.6 mg/L，延後加氯添加 2，4 mg/L 時 2-MIB 濃度降為 14.2 及 14.1mg/L，顯示延後加氯對 2-MIB 去除率亦較佳，且延後加氯對鐵、錳、氨氮亦能有效去除，鐵、錳、氨氮殘餘濃度均低於本公司內控值。

參考文獻

- 1.Water distribution system analysis :Field studies,modeling and management A reference guide for utilities,USEPA,2005.
- 2.汪俊育，南台灣代表性水源地臭味問題之研究，國立成功大學環境工程系碩士論文，2000。
- 3.林財富，108 年淨水處理-活性炭用於原水臭味處理訓練計畫講義，2019。
- 4.葉宣顯，109年異常水質加藥種子訓練班講義-去除水中總有機碳、錳及氨氮加藥策略探討及實務案例，2020。
- 5.林財富，109年異常水質加藥種子訓練班講義-去除水中臭味及色度加藥策略探討及實務案例，2020。

- 6.鄭堡文，水處理以添加粉狀活性炭吸附臭味之控制-以2-MIB去除之探討，2013。

作者簡介

田立宇先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處水質課工程員
專長：水質檢驗

陳慶宏先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處水質課課長
專長：水質管理、水質檢驗及分析

簡暉哲先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處水質課技術士
專長：水質檢驗

柯冠宇先生

現職：台灣自來水公司第十二區管理處板新給水廠工程員
專長：自來水處理技術

林彥宏先生

現職：台灣自來水公司總管理處水質處工程員
專長：水質檢驗、水質異常研究

配水管線埋設深度之探討

文/宋奕穎

一、摘要

管線工程施工方式以路面明挖覆蓋為主，施工範圍以線性持續推進，不同於建築工程以固定之施工基地為限。北水處供水轄區大部分位於大臺北都會區內，管線工程施工將直接影響道路交通及周遭市民生活，也間接產生空氣及噪音等環境污染。

如何降低管線工程施工影響，儼然成為管線單位致力解決之課題，經參考日本先進國家做法，日本國土交通省為因應公共工程成本縮減政策，於西元 1999 年公告放寬各類管線埋深限制，其中自來水配水管線埋設深度由 120 公分調整至 60 公分。鑑於國內延性鑄鐵管製造技術大幅躍升且北水處選用較厚管材(1 種管)等因素，使管線抗壓能力較已往顯著提升，故埋設深度應可適度調整。降低管線埋設深度，直接減少開挖及回填量體，達到提昇管線汰換效益及效率，並可縮短影響都會區交通及市民生活品質時間，亦可減少環境污染達到節能減碳效果。

經初步分析，以北水處每年汰換配水管規模計算，每年配水管施工成本效益約 15.79%，節省約 2,660 萬元施工經費，施工工率效益約 28.11%，節省約 2,624 小時施工時間，節能減碳效益約 31.97%，每年節省約 2,087 公噸碳排放量，相當於 4 至 5 個大安森林公園之吸碳量。

二、現況遭遇與改善策略

依據「臺北市道路挖掘管理自治條例」第 8 條規定，道路地下埋設物之頂面，距路面之垂直深度：在人行道者，不得少於 50 公分；道路寬度在 8 公尺以下者，不得少於 70 公分；道路寬度超過 8 公尺者，不得少於 120 公分。前項地下埋設物，如因情形特殊，經主管機關審查同意者，其埋設深度得不受前項限制。但管路周邊應有適當結構補強設施且不得少於 30 公分為原則。申請人應依經相關技師簽證並送主管機關備查之結構計算書施作前項之結構補強設施。

經查「臺北市道路挖掘管理自治條例」自民國 95 即規定上述之管線埋設深度，一直沿用至今。過去所使用管材品質不若現行優良，抗壓能力較差，故對於埋設於路寬超過 8 公尺之管線，為避免管線破裂或變形，方規定埋設深度須達 120 公分。國內延性鑄鐵管製造技術大幅躍昇，管線抗壓能力已提升許多，自治條例所規範之埋設深度，顯具調整空間。

三、最小埋設深度計算

計算配水管線埋設最小深度，首先須考量土壤及車輛載重對管線是否會造成破裂與變形，車輛載重對於管線埋於較淺者，其影響較大，但隨著管線埋深越深，車輛載重影響會逐漸快速遞，故管線埋設越深就越不容易被壓壞。完成載重計算，接下來要考量自來水設設施尺寸，計算埋於地下不超出地面之最小埋設深度為何。常見埋於地下之自

來水設施有制水閥及地下式消防栓，以能順利闔上人手孔蓋為控制依據。綜合考量前述各項條件後，可得合理之最小埋設深度。

(一)土壤及車輛載重之分析

依據北水處 104 年 3 月之「管徑 400 mm DIP 以下延性鑄鐵管及不鏽鋼管管頂埋設深度不足，管材抗壓強度結構計算書及標準圖」，該計算書以埋設深度 40 公分，管徑為 400 mm 之延性鑄鐵管為計算標的，在考量靜水壓 P_s 、動水壓 P_d 、土壓 W_f 及交通荷重 W_t 等內、外力因素，計算所需之管材厚度為 0.627 cm 小於使用之鑄鐵管厚度 0.75 cm(管厚度越厚抗壓強度越佳)。計算結果顯示，管徑 400 mm 鑄鐵管在埋深 40 公分以上時，管材不會被壓壞。同樣的埋深條件下，管徑小於 400 mm 就更不會被壓壞。當時新工處同意北水處管線若發生埋深不足時，只要埋深大於 40 公分，則無需進行鋼筋加固，以下為管厚計算式。

$$t = \frac{1.25P_s + P_d + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4(K_f W_f + K_t W_t)S}}{2S} d$$

P_s ：靜水壓取 2.5 kg/cm^2 。

P_d ：衝擊水壓，覆土及汽車荷重取 2.0 Kg/cm^2 。

K_f ：覆土應力係數，取 0.145。

W_f ：垂直土壓($r \times H$)， 0.08 kg/cm^2 。

K_t ：汽車荷載係數，取 0.076。

W_t ：汽車荷重壓力， 5.664 kg/cm^2 。

S ：容許抗拉強度 4100 kg/cm^2 。

d ：鑄鐵管內徑，40 cm。

北水處管徑 75 mm 至 350 mm 採用第一種管，管徑 400 mm 是採用第二種管，依 CNS10808「延性鑄鐵直管及管件規範」管徑

75 mm 至 350 mm 第一種管管厚度為 0.75 cm，管徑 400 mm 第二種管管厚度亦為 0.75 cm(表 1)。

依前述管厚計算式，以埋設深度與管徑為變數，計算所需最小管厚度如表 2 所示。計算結果顯示，管徑 75 mm 至 200 mm 最小埋設深度為 20 公分；管徑 250 mm 至 400 mm 最小埋設深度為 40 公分。

表 1 CNS 規定之直管厚度(cm)

管徑/管種	D1	D2	D3
75	0.75	-	0.6
100	0.75	-	0.6
150	0.75	-	0.6
200	0.75	-	0.6
250	0.75	-	0.6
300	0.75	-	0.65
350	0.75	-	0.65
400	0.85	0.75	0.77

表 2 管徑、埋設深度所需直管厚度(cm)

管徑/埋深	20	30	40	50	60	70
75	0.228	0.154	0.118	0.096	0.082	0.073
100	0.304	0.205	0.157	0.128	0.110	0.097
150	0.456	0.308	0.235	0.192	0.165	0.146
200	0.608	0.411	0.314	0.257	0.220	0.194
250	0.759	0.514	0.392	0.321	0.321	0.321
300	0.911	0.616	0.471	0.385	0.329	0.292
350	1.063	0.719	0.549	0.449	0.449	0.449
400	1.215	0.822	0.627	0.513	0.439	0.389

(二)制水閥最小埋設深度計算

北水處使用之制水閥是依 CNS 12795 B2803「水道用彈性座封閘閥」規定之第 I 類構造物，計算制水閥最小埋設深度所需之材料尺寸有，管內徑(D1)、管厚(T)及制水閥最大高度(H，自管徑中心線起算)(圖 1)，各管徑制水閥最小埋設深度如表 3 所示。計算結果顯示，滿足管徑 75 mm 至 200 mm 之最小埋設深度為 687.5 公釐；滿足管徑 250 mm 至 400 mm 之最小埋設深度為 987.5 公釐。

表 3 制水閥最小埋深(mm)

管徑	D1	T	H	最小埋
75	75	7.5	460	430.0
100	100	7.5	540	497.5
150	150	7.5	670	602.5
200	200	7.5	780	687.5←
250	250	7.5	890	772.5
300	300	7.5	990	847.5
350	350	7.5	1100	932.5
400	400	7.5	1180	987.5←

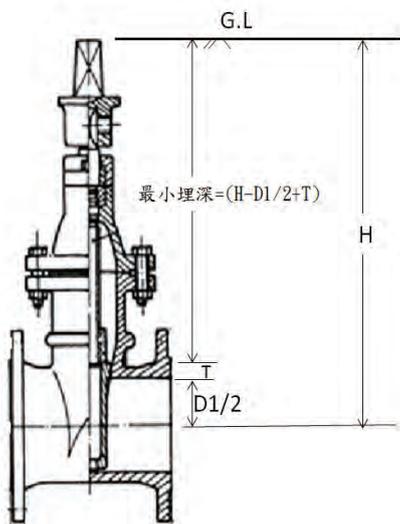


圖 1 制水閥構造

(三)地下式消防栓最小埋設深度計算

地下式消防栓安裝在消防三通管管件(延性螺壓式單承口單突緣三通管單承口單突緣三通管)之平口接頭上，計算地下式消防栓最小埋設深度之相關尺寸有，消防用三通管高度(I)、管內徑(D)、管厚(T)及最大高度(H，自管徑中心線起算)(圖 2、3)，各管徑最小埋設深度如表 4、5 所示。計算結果顯示，滿足管徑 75 mm 至 200 mm 之最小埋設深度為 633.0 公釐；滿足管徑 250 mm 至 400 mm 之最小埋設深度為 625.5 公釐。

表 4 地下式消防栓最小埋深 (mm)

管	D	T	I	H	最小
75	75	7.5	250	428	633.0←
100	100	7.5	250	428	620.5
150	150	7.5	280	428	625.5
200	200	7.5	300	428	620.5
250	250	7.5	330	428	625.5←
300	300	7.5	350	428	620.5
350	350	7.5	380	428	625.5
400	400	7.5	320	428	540.5

表 5 軟密封消防栓最小埋深 (mm)

管徑	D	T	I	H	最小
75	75	7.5	250	330	535.0
100	100	7.5	250	330	522.5
150	150	7.5	280	330	527.5
200	200	7.5	300	330	522.5
250	250	7.5	330	330	527.5
300	300	7.5	350	330	522.5
350	350	7.5	380	330	527.5
400	400	7.5	320	330	442.5

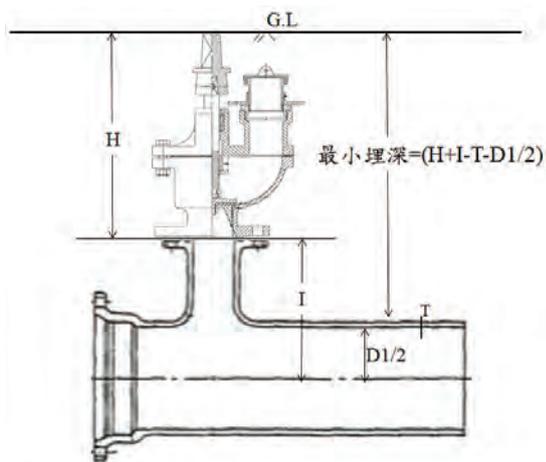


圖 2 地下式消防栓構造圖

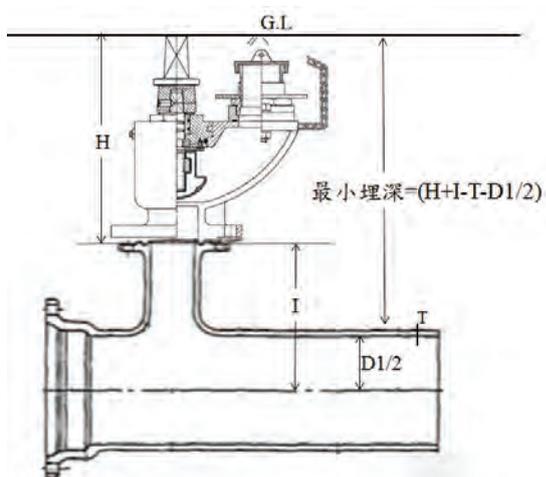


圖 3 軟密封地下式消防栓構造圖

(四)綜整各項最小埋設深度

綜合土壤及車輛載重、制水閥及地下式消防栓最小埋設深度計算結果，管徑 200 mm 以下最小埋設深度，分別為 20、68.75 及 66.30 公分，以制水閥突起高度控制最小埋設深度為 68.75 cm，經取 10 位整數進位，最小合理埋深取 70 公分；另計算管徑 250 mm 至 400 mm 最小埋設深度，分別為 40、98.75 及 62.55 公分，以制水閥突起高度控制最小埋設深度為 98.75 cm，經取 10 位整數進位，最小合理埋深為 100 公分(表 6)。

表 6 綜合考量之分析埋深(cm)

管徑	載重	制水閥	消防栓	分析埋深
200 以下	20	68.75	66.30	70
250-400	40	98.75	62.55	100

四、效益分析

本次效益分析僅針對超過 8 公尺道路埋設深度進行調整分析，管徑 200 mm 以下由規定 120 公分調整為 70 公分，管徑 250 mm 至 400 mm 由規定 120 公分調整為 100 公分(8 公尺以下道路埋設深度不調整維持 70 公分，不在分析範疇)。調整理設深度 70 公分之各層回填材料厚度，砂層厚度為 20 公分、CLSM 層厚度為 30 公分及 AC 層厚度為 20 公分；調整理設深度 100 公分之各層回填材料厚度，砂層厚度為 30 公分、CLSM 層厚度為 50 公分及 AC 層厚度為 20 公分(圖 4、5)，後續將依調整理設深度之各層回填材料厚度進行相關效益分析。

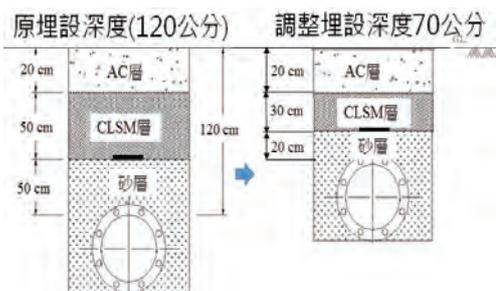


圖 4 70cm 調整後各層回填材料厚度

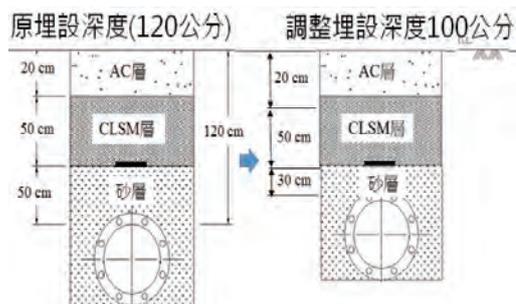


圖 5 100cm 調整後各層回填材料厚度

調整埋設深度，直接減少開挖量及回填材料用量，對於施工成本、施工工率及節能減碳等項目將具顯著效益，各項量化效益分析如下：

(一)施工成本效益分析：

北水處配水管埋設工程，管材由北水處採購提供施工廠商進行埋設。經分析回填金額佔施工金額(不含路面銑鋪)約 40 至 50%之間，減少回填量，將降低施工金額，提升管線汰換效益。

管徑小於 200 mm 埋深由原 120 公分調整為 70 公分，除最上層之 AC 層厚度維持 20 公分不變外，CLSM 層及砂層各減少 20 公分及 30 公分，與原理設深度 120 公分相較，每單位體積減少回填量達 0.42m³，施工成本效益介於 18%至 19%之間(表 7)。

管徑 250 至 400 mm，埋深由原 120 公分調整為 100 公分，AC 層厚度及 CLSM 厚度維持 20 公分及 50 公分不變，僅砂層減少 20 公分，與原理設深度 120 公分相較，每單位體積減少回填材料用量達 0.17m³，施工成本效約 6%左右(表 7)。

表 7 調整埋設深度之成本效益

管徑	原埋深每公尺施工費	調整埋深每公尺施工費	施工成本效益(%)
小管徑	75	2,564	18.94
	100	2,739	19.54
	150	3,181	18.71
	200	3,373	19.13
大管徑	250	4,144	6.56
	300	4,722	6.24
	350	4,972	6.35
	400	5,447	6.55

(二)施工工率效益分析

管線單位在大臺北都會區進行道路開挖及路面復原施工，原則上須避開上下班交通尖峰時間，臺北市新工處核發之道路挖掘許可證允許施工時間一般為上午 9:00 至下午 4:00，實際可施工時間僅 7 小時，縱使施工時間已避開上下班交通尖峰時間，仍難免影響都市交通及商店營運。為維護大臺北都會區供水品質，管線汰換工作已列為持續且例行工作，若能縮短施工時間即可減少影響時間及程度，或許是值得政府單位努力之處。

配水管埋設工程之施工工序大致上分為，「切割瀝青」、「拆除瀝青」、「開挖構造物」、「按裝管線」、「回填砂」、「回填 CLSM」及「鋪築管溝瀝青」等 7 項主要作業。若以每日施工時間 7 小時計算，可進行施工長度約 25 至 30 公尺，各作業所需工時如表 8 所示。

表 8 各作業所需之施工時間(小時)

切割瀝青	拆除瀝青	開挖構造物	按裝管線	回填砂	回填 CLSM	鋪築管溝瀝青
0.2	0.2	2.6	1	0.5	1.7	0.8

管徑小於 200 mm 埋深由原 120 公分調整為 70 公分，使「開挖構造物」作業減少 50 公分開挖量，「回填砂」作業減少 30 公分回填量，「回填 CLSM」作業減少 20 公分回填量，依各作業減少施作數量等比例換算減少時間，此 3 項作業合計可減少施工時間為 2.28 小時，換算施工工率效益為 35.27%(表 9)。

管徑 250 至 400 mm，埋深由原 120 公分調整為 100 公分，使「開挖構造物」作業減

少 20 公分開挖量，「回填砂」作業減少 20 公分回填量，採各作業減少施作數量等比例換算減少時間，因減少開挖量僅 20 公分，故此 2 項作業合計減少施工時間為 0.72 小時，換算施工工率效益為 10.29%(表 10)。

表 9 調整理設深度之工率效益

施工作業	原施工深度	原施工時間	調整施工深度	調整施工時間
切割瀝青	0.2	0.2	0.2	0.2
拆除瀝青	0.2	0.2	0.2	0.2
開挖構造物	1	2.6	0.5	1.3
按裝管線	-	1	-	1
回填砂	0.5	0.5	0.2	0.2
回填 CLSM	0.5	1.7	0.3	1.02
鋪築瀝青	0.2	0.8	0.2	0.8
施工時間	-	7	-	4.72
節省工時	2.28			
工率效益(%)	32.57%			

表 10 調整理設深度之工率效益

施工作業	原施工	原施工	調整施	調整施
切割瀝青	0.2	0.2	0.2	0.2
拆除瀝青	0.2	0.2	0.2	0.2
開挖構造物	1	2.6	0.8	2.08
按裝管線	-	1	-	1
回填砂	0.5	0.5	0.3	0.3
回填 CLSM	0.5	1.7	0.5	1.7
鋪築瀝青	0.2	0.8	0.2	0.8
施工時間	-	7	-	6.28
節省工時	0.72			
工率效益(%)	10.29%			

(三)節能減碳效益分析：

自工業革命以來，人類經濟活動大量排放二氧化碳已造成全球暖化與氣候變遷等問題，節能減碳議題已列為世界各國之重要國家政策。經分析北水處配水管埋設工程主要碳排放來源有，「施工機具之碳排放」、「生產與運送回填砂之碳排放」、「生產與運送回填 CLSM 之碳排放」及「生產與運送瀝青混凝土之碳排放」等，各別計算前述碳排放量，可求得配水管埋設工程之總碳排放量。有關「施工機具碳排放」主要來自於施工機具之燃油排放(常用燃油為柴油)，施工現場常用且主要之大型機具有，開挖機、傾卸卡車、吊車、灑水車及手推式夯實機等。若以每日施工時間 7 小時、施工長度 30 公尺及管溝寬度 0.6 公尺之規模分析，將各種機具使用時間乘上其碳排放係數，加總後得碳排放量為 1,524.65 kg，每立方公尺之碳排放量為 85.7 kg/m³。

另有關「生產與運送回填砂之碳排放」、「生產與運送回填 CLSM 之碳排放」及「生產與運送瀝青混凝土之碳排放」等各項之每立方公尺之碳排放量(係數)，經參考張又升，2002 年「建築物生命週期二氧化碳減量評估」博士論文，查表可得前述各項每立方公尺之碳排放量，如表 11 所示。

表 11 各項碳排放量(係數)

管線施工	回填	回填預拌	鋪築瀝青
85.7	55.75	235.89	27.85

將每立方公尺施工機具之碳排放量乘上單位長度之開挖體積即可求得單位長度

之施工機具碳排放量；再將每立方公尺各項回填材料之碳排放量乘上每單位長度之回填體積即可各項回填材料之碳排放量，原規定埋設深度之每公尺碳排放量如表 12 所示，調整埋設深度之每公尺碳排放總量如表 13 所示。

表 12 原理設深度每公尺碳排放量

管徑	機具	砂	CLSM	AC	合計
75	49.17	12.54	53.08	2.51	117.30
100	55.71	13.94	58.97	2.79	131.40
150	63.63	15.33	64.87	3.06	146.90
200	71.99	16.73	70.77	3.34	162.82
250	80.77	18.12	76.66	3.62	179.18
300	89.99	19.51	82.56	3.90	195.96
350	99.63	20.91	88.46	4.18	213.17
400	116.55	23.69	100.25	4.73	245.23

表 13 調整埋設深度每公尺碳排放量

管徑	機具	砂	CLSM	AC	合計
75	29.89	5.02	31.85	2.51	69.26
100	34.28	5.58	35.38	2.79	78.02
150	40.06	6.13	38.92	3.06	88.18
200	46.28	6.69	42.46	3.34	98.77
250	69.63	10.87	76.66	3.62	160.79
300	77.99	11.71	82.56	3.90	176.16
350	86.77	12.54	88.46	4.18	191.95
400	101.98	14.22	100.25	4.73	221.19

小管徑埋深由原 120 公分調整為 70 公分，開挖作業減少 50 公分開挖量，使得施工機具碳排放量大幅減少，另回填砂與 CLSM 用量各減少 30 公分與 20 公分回填

量，此 3 項減碳效益合計約 39%至 40%之間，大管徑埋深由原 120 公分調整為 100 公分，開挖作業減少 20 公分開挖量，回填砂減少 20 公分回填量，此 2 項減碳效益合計約 10% (表 14)。

表 14 調整埋設深度之減碳效益

管徑	每公尺施工 碳排放量 (原埋深)	每公尺施工 碳排放量 (調整埋深)	減碳效益 (%)
75	117.30	69.26	40.96%
100	131.40	78.02	40.62%
150	146.90	88.18	39.97%
200	162.82	98.77	39.34%
250	179.18	160.79	10.26%
300	195.96	176.16	10.11%
350	213.17	191.95	9.95%
400	245.23	221.19	9.81%

(四)各項效益綜整

綜整前述各項效益分析結果，調整埋設深度越多，各項效益將更趨顯著(表 15)。現階段大管徑之埋設深度因受限於自來水管之附屬設備高度，暫調整埋深至 100 公分，未來若能採購高度較矮之設備，有利再調整埋設深度。

北水處每年汰換約 100 公里自來水管線，其中配水管佔 40 公里，給水管佔 60 公里，而配水管使用比率最高之管材管徑落在 150 mm 至 200 mm 之間。分析北水處每年配水管埋設施工之施工成本效益約 15.79%，每年節省約 2,660 萬元施工經費；而施工工率效益約 28.11%，每年節省約 2,624 小時施工時間，對於行經工區之用路人及工區附近之店家為最大受惠者；而節能減碳效益約

31.97%，每年節省約 2,087 公噸之碳排放量，以大安森林公園每年吸碳量 400 至 500 公噸為例，相當於減下 4 至 5 個大安森林公園之吸碳量。

表 15 各項效益總表

口徑	成本效益	工率效益	減碳效益	
口徑	75	18.94%	32.57%	40.96%
	100	19.54%	32.57%	40.62%
	150	18.71%	32.57%	39.97%
	200	19.13%	32.57%	39.34%
大口徑	250	6.56%	10.29%	10.26%
	300	6.24%	10.29%	10.11%
	350	6.35%	10.29%	9.95%
	400	6.55%	10.29%	9.81%

五、結論與建議

- 1.調整配水管埋設深度除減少自來水事業之施工成本外，加速施工效率與減少碳排放量的結果，大臺北都會區市民及所居住環境將成為最大受惠者。
- 2.調整配水管埋設深度，將大幅減少發生逾期收工之情形。每日提早完成施工，即可提早恢復市區道路交通運行，對於減少交通衝擊與減少商業損失具相當助益。
- 3.提升施工工率，可增加 CLSM 養護時間，使水泥充分進行水化作用，達到初凝強度再開放通車，降低日後發生路面下陷情形，有助提升施工品質。
- 4.「臺北市道路挖掘管理自治條例」自民國 95 即未修改過管線埋設深度，一直沿用至今。現今使用管材品質已比過去優良許

多，管線已可向上埋設抵抗車輛載重，自治條例所規範之埋設深度，或許已不合時宜，顯具調整空間。

- 5.日本國土交通省為因應公共工程成本縮減政策，公告放寬各類管線埋深限制，其中自來水配水管線埋設深度由 120 公分調整至 60 公分，參考日本作法開發淺埋專用閘、栓設施之規格，預先逐步推展配水管線淺埋施工。

參考文獻

- 1.朱武男，104年3月「管徑400 mm DIP以下延性鑄鐵管及不鏽鋼管管頂埋設深度不足，管材抗壓強度結構計算書及標準圖」。
- 2.日本延性鑄鐵管協會(JDPA)，1999年，「延性鑄鐵管淺層埋設可行性分析」。
- 3.林倉丞，104年「農地重劃工程二氧化碳排放量之案例分析及建立推估模式之研究」中興大學土木工程學系碩士論文。
- 4.張又升，91年「建築物生命週期二氧化碳減量評估」成功大學建築學系博士論文。
- 5.劉維民，「自來水管線埋設深度探討」，中華民國自來水協會，自來水會刊第37卷第1期。

作者簡介

宋奕穎先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處

專長：自來水工程設計、施工及工程預算單價編列

備援調度幹管工程之研析

文/朱益廷、蕭任修、徐俊雄

摘要

為有效減少停水與缺水的風險，符合行政院「備援」及「調度」穩定供水策略，台水公司提出「備援調度幹管工程計畫」（以下簡稱本計畫）。

本計畫埋設 17 條備援管線，其中 2 條兼具備援及調度功能。依區域別分布於北部區域 5 件、中部區域 5 件、南部區域 7 件，總經費約 145 億元，埋設管徑包括 ϕ 600mm~2600mm，長度共計約 81 公里，埋設管線工法涵蓋明挖、推進（或潛盾）及水管橋，工程執行期間 110~114 年。

除可備援原有管線供水量及區域調度供水量，維持穩定供水量約 261 萬 CMD，有提高供水穩定、降低破管風險、穩定區域供水、增加區域供水調配彈性等功能，且本計畫所產生之可量化效益金額約 13.02 億元/年，年計成本為 10.02 億元/年，其益本比為 1.30，具有經濟可行性，且另有不可量化之社會效益、產經效益及環境效益等效益。

關鍵字：備援、調度、備援管線

一、前言

近年臺灣各地區因產業升級及臺商回流而有用水需求成長趨勢，然而現階段新北市、嘉義縣市等地區水源開發計畫尚持續檢討而無合適開發計畫，考量其周邊地區仍有餘裕水量，應透過水源調度幹管的建置，及時滿足產業發展的用水需求。

此外，早期埋設幹管已達到使用年限，管線因突發之供水風險，需增設備援管線來提高供水穩定性；而 103 年高雄氣爆（約 1.35 萬戶停水）、105 年台南地震（約 40 萬戶停水）及 107 年花蓮地震（約 4 萬戶停水）等重大災害，更凸顯備援管線設置的必要性。

行政院為強化臺灣地區供水韌性，加強平時供水穩定與災時應變彈性，進而穩定民生與振興經濟，同時基於氣候變遷造成缺水風險增加，因應社會穩定及產業發展所面臨缺水、漏水的問題，於 106 年 11 月召開「排除企業投資障礙-穩定供水策略」記者會中揭櫫採「開源」、「節流」、「調度」及「備援」4 大穩定供水策略，俾增加氣候調適能力及韌性，同時穩定各類用水供應。

台水公司近年遵照上述「備援」及「調度」供水策略，已針對具上述供水問題之急迫性地區，辦理備援與調度相關管線工程，包括桃園-新竹備援幹管、烏嘴潭人工湖下游自來水管線、鯉魚潭送竹科竹南基地送水管線、臺南山上淨水場送水管線及南化場至豐德配水池複線送水幹管等管線工程。

為有效減少停水與缺水的風險，符合行政院「備援」及「調度」穩定供水策略，使各地區供水穩定、產業持續發展、增加就業機會，爰依「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」規定，進一步提出「備援調度幹管工程計畫」，以利各項工程興辦。

二、未來環境預測及問題評析

(一)都會區及產業用水需求成長

臺灣地區各縣市人口聚集地區之重要供水幹管多為民國 70 年之前埋設，而都會地區經過多年發展，已成為工商業發展核心地區，工商業用水與生活用水皆持續增加，因此存在更換老舊管線並擴大管徑設置的需求。

(二)高穩定用水需求

由於時代的變遷，民眾對於環境衛生要求與缺水忍受度較過去皆為嚴苛，加以產業型態亦逐漸由過去可容忍經常缺水情況之區域性傳統農業，轉變為須高穩定供水之全球競爭激烈的科技與生技產業，因此未來生活與產業之用水標的對於自來水供水系統的供水高穩定度之要求，將會持續提高。

(三)氣候變遷造成乾旱缺水風險增加

彙整全臺近 10 年供水情形如圖 1 所示，各地區於民國 98、99、100、103、104、106 及 107 年均曾遭遇供水短缺需減壓供水因應，於民國 104 年更有減量供水情境，可見近年乾旱風險發生機率高。因氣候變遷影響下豐枯水期均有降雨量減少趨勢，增加水資源乾旱風險，並有乾旱週期變短趨勢。乾旱風險增加對於民生供水穩定性產生極大影響，為因應乾旱風險增加，開發新水源及增設區域調度管線為有效降低缺水風險之因應對策。

(四)地震將造成自來水管線無法送水

臺灣位處環太平洋地震帶。由於複雜的板塊構造運動，不但陸地上已知有多條活動斷層，海域也可能發生大規模地震。自來水

管線系統遍佈各個都會區，由水源處經由幹管將原水送往淨水場，再將清水分送各地區的配水池，途中無可避免會經過地震災害高潛勢區。任何主要幹管於地震時發生損害或滲漏，均可能造成大範圍、長時間的停水，造成極大的生活不便、社會衝擊與經濟損失。

由於地震具高度不確定性，依目前科技水準尚無法準確預測或阻止地震的發生，較可行有效的減災規劃和風險管理手段，建立備援供水管線降低風險手段之一。

(五)水源調度與備援重要性

為因應各地區用水需求增加，臺灣地區已興建及推動中多條水源調度幹管，如圖 2 所示。

其中包含板新供水改善計畫（新店溪水源供應板新地區用水）、大漢溪水源南調桃園管線（板新水場水源南調桃園地區）、桃園與新竹雙向備援管線、永和山水庫水源支援新竹地區管線、鯉魚潭場北送支援苗栗管線、臺中地區支援彰化送水管線、雲林地區水源調度彰化及嘉義管線、臺南高雄水源聯合調度輸水工程、南化場清水支援高雄管線（南高一線）、南化高屏聯通管及曾文南化聯通管等。

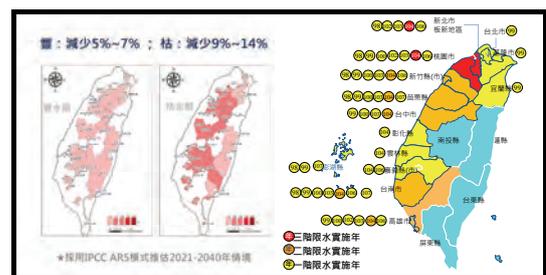


圖 1 近年供水及氣候變遷下影響水資源



圖 2 臺灣地區重要調度幹管位置圖

惟現階段新北市林口區、嘉義縣市正面臨用水高成長，鄰近之大漢溪、濁水溪水源尚有多餘水量可供調度，而既有管線送水能力不足，因此有興建調度管線增加送水需求。

為加強水資源備援及穩定區域內供水系統穩定，透過區域性水源及水利設施的調配運用，可調豐濟枯。尤其是「單一」、「重要」、「脆弱」維生管線，亟需設置備援管線，以減少缺水危機，有持續推動備援管線之必要性。

(六)備援幹管擇定

台水公司口徑 800mm 以上管線總長度約 2,230 公里，管種主要有鋼管(SP)、延性鑄鐵管(DIP)、鑄鐵管(CIP)、預力混凝土管(PSCP)、鋼襯預力混凝土管(PCCP)與混凝土

管(RCP)等幾種。參考台水公司民國 106 年辦理「口徑 800 公厘以上管線安全評估計畫」，將管線劃分為 1,687 個管段評估單元進行耐震及狀況評估，並綜合考量調度水量需求、管線使用年限、供水區用水成長造成管線送水能力不足、耐震評估成果、立即可推動以振興經濟之工程、分散臺灣北中南廠商施工能力、及其他特殊因子等因素，爰擇定 17 條管線工程納入本計畫施作，各增設管線主要具備備援及調度功能，如表 1 所示。

表 1 備援調度幹管工程現有管線狀況及功能

項次	工程名稱	區處	現有管線狀況				新設管線功能	
			已超過使用年限	地震易破管	送水能力不足	其他	備援	調度
1	樹林區中正路及大安路管線工程	十二	√				√	
2	三峽橫溪佳興水管橋工程	十二	√	√		河床管線已裸露	√	
3	浮洲加壓站至板新場管線工程	十二	√				√	
4	大浦系統送龜山林口複線工程	二	√		√		√	√
5	新埔鎮震忠路備援管線工程	三		√			√	
6	鯉魚潭場第二送水管工程	四		√	√		√	
7	豐原大道環狀埋設幹管工程	四	√	√	√		√	
8	臺中鐵路高架化騰空隧道下埋設管線工程	四	√		√		√	
9	台中第三供水區祥順路送水管工程	四	√		√		√	
10	雲林至嘉義系統送水管備援複線工程	五			√		√	√
11	岡山至北嶺加壓站備援幹管工程	七	√				√	
12	溪埔及大泉伏流水原水管工程	七		√			√	
13	旗津區第二條過港送水管工程	七	√				√	
14	東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程	七	√	√			√	
15	東港溪至鳳山水庫新圍段導水管工程	七	√	√			√	
16	牡丹廠下游石門古戰場至光復橋複線工程	七	√		√		√	
17	牡丹廠下游四重溪至統埔複線工程	七	√		√		√	

為本計畫擬增設管線之原有管線資料，其中包含埋設管種、埋設年期、使用年限及已使用年數，大部分原有管線之管材（如 PSCP）使用年限僅 20 年，使用期已超過管線使用年限，有增設備援管線需求，分流供水以降低供水風險，如表 2 所示。



表 2 備援調度幹管工程之原有管線調查表

項次	工程名稱	區處	原管線口徑(mm)	原管線管種	原管線埋設年期	使用年 限(年)	已使用 (年)
1	樹林區中正路及大安路管線工程	十二	1100	PSCP	73	20	36
2	三峽溪溪佳興水管橋工程	十二	1350	PSCP PCCP SP	64	20 50 20	45
3	浮洲加壓站至板新場管線工程	十二	1750	PSCP SP	83	20	26
4	大浦系統送龜山林口複線工程	二	1200 1100 1000	PSCP PSCP DIP	74 80 79	20 20 40	35 29 30
5	新埔鎮震忠路備援管線工程	三	1350	PCCP	88	50	21
6	鯉魚潭場第二送水管工程	四	2200	PCCP	83	50	26
7	豐原大道環狀埋設幹管工程	四	2200 1750 1500 900	PCCP PCCP PSCP PSCP	83 86 74 66	50 50 20 20	26 23 35 43
8	臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程	四	1500 1000 1350 1750 800	DIP DIP PSCP PCCP PSCP	84 77 66 80 72	40 40 20 50 20	25 32 43 29 37
9	台中第三供水區祥順路送水管工程	四	1500	PSCP	83	20	26
10	雲林至嘉義系統送水管備援複線工程	五	1000 1350	DIP PCCP	91 91	40 50	18 18
11	岡山至北嶺加壓站備援幹管工程	七	1750	PSCP	80	20	29
12	溪埔及大泉伏流水原水管工程	七	2600	PCCP	93	50	16
13	旗津區第二條過港送水管工程	七	600	SP	73	20	36
14	東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程	七	1750	PSCP	69	20	40
15	東港溪至鳳山水庫新圍段導水管工程	七	1750	PSCP	79	20	30
16	牡丹廠下游石門古戰場至光復橋複線工程	七	900	SP	84	20	25
17	牡丹廠下游四重溪至統埔複線工程	七	900	SP	84	20	25

本計畫擬施設 17 條管線，經調查僅 3 條管線無破管紀錄，各管線有破管紀錄比例達 82%；破管檢修造成停水時間約 7~48 小時，另東港溪至鳳山水庫之原水管，一有破管事件，檢修時間須達 7 天，惟仍由鳳山水庫持續供水。若以管線興建完成至今，每條管線平均約每 15 年發生 1 次破管事件；若以民國 100~108 年破管紀錄，每條管線平均約每 7 年發生 1 次破管事件；每次破管停水時間平均約 24 小時。

三、計畫目標

(一)目標說明

本計畫目的在建置備援及調度管線，計畫完成後可提升區域供水穩定度，增加供水調度備援能力及供水安全，穩定民生及產業供水；另可提供老舊管線之維修之時機，於管線維修時維持供水作業。

(二)達成目標之限制

1.管線交錯需協調相關單位配合：管線大都埋設於重要道路上，未來管線施工涉及台電公司電力線路、中油公司天然氣管線、中華電信公司光纖網路線、各縣市政府交通號誌纜線等，既設地下管線交錯複雜，埋管時需協調各相關單位配合。另重要道路上常有雨水及污水管、內政部營建署下水道工程處下水道、縣市政府及公路局轄內橋梁之橋台、基座等，後續須接洽各單位申請管線通過，亦須各縣市政府及政府機關配合同意辦理。

2.用地、管線開挖需相關單位配合：施工前須向路權單位申辦道路挖掘申請；埋管通過私有地之補償事宜；部分道路屬於禁挖或限制開挖時段；部分管線工程涉及通過台灣高鐵、台鐵及公路局橋梁用地，後續須接洽各單位研商管線通過方式及進行風險評估等相關申請事宜；亦有管線推進工程並須向各縣市政府或轄管河川局提出跨河構造物申請及河川公地使用申請等等事宜，均須各縣市政府或轄管河川局配合同意辦理，以利本計畫管線能於計畫預定期程內順利施作完成。

3.線無法納入共同管道辦理：臺中市豐原區豐原大道設有共同管道，依規定公共管線須設置於共同管道內，惟本計畫施設之「豐原大道環狀埋設工程」為 $\phi 2200$ mm 管線，管徑過大無法設置於共同管道內，尚需與臺中市政府協商同意另行埋設於道路下。而其他備援管線並無納入共同管道之議題。

4.加強民眾溝通及交通管制：施工期間影響周邊民眾生活起居，將在設計階段密切參

酌管路沿線周邊地區之民眾觀感與意見，妥善溝通說明及進行工程設計期獲致多數民眾共識。將考量在交通瓶頸地區採用地下推進或潛遁工法，降低地方交通影響，將加強民眾溝通及交通維持，以降低施工影響並施工安全。

(三)績效指標、衡量標準及目標值

本計畫之績效指標、衡量標準及目標值設定如表 3 主要衡量標準為管線施設長度與供水量，其中管線總施設長度約 81 公里，可維持穩定供水量約 261 萬 CMD。

表 3 績效指標、衡量標準及目標值

衡量標準	項次	績效指標項目	目標值
施設長度	1	樹林區中正路及大安路管線工程	埋設 ϕ 1350 mm管線，長度約4.32公里
	2	三峽橫溪佳興水管橋工程	埋設 ϕ 1350 mm管線，長度約0.14公里
	3	浮洲加壓站至板新場管線工程	埋設 ϕ 1800 mm管線，長度約10.17公里
	4	大浦系統送龜山林口複線工程	埋設 ϕ 1200 mm管線，長度約3.13公里
	5	新埔鎮義忠路備援管線工程	埋設 ϕ 1350 mm管線，長度約1.57公里
	6	鯉魚潭場第二送水管工程	埋設 ϕ 2600 mm管線，長度約7.4公里
	7	豐原大道環狀埋設幹管工程	埋設 ϕ 2200 mm管線，長度約9.55公里
	8	臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程	埋設 ϕ 1350、1500及2200 mm管線，約4.34公里
	9	台中第三供水區祥順路送水管工程	埋設 ϕ 1500 mm管線，長度約4.6公里
	10	雲林至嘉義系統送水管備援複線工程	埋設 ϕ 1200 mm管線，長度約12公里
	11	岡山至北嶺加壓站備援幹管工程	埋設 ϕ 2000 mm管線，長度約4.7公里
	12	溪埔及大泉伏流水原水管工程	埋設 ϕ 2000 mm管線，長度約6公里
	13	旗津區第二條過港送水管工程	埋設 ϕ 581 mm管線，長度約1.06公里
	14	東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程	埋設 ϕ 2200 mm管線，長度約0.65公里
	15	東港溪至鳳山水庫新圍段導水管工程	埋設 ϕ 2000及2600 mm管線，長度約6.03公里
	16	牡丹廠下游石門古戰場至先復橋複線工程	埋設 ϕ 1200 mm管線，長度約2.3公里
	17	牡丹廠下游四重溪至統埔複線工程	埋設 ϕ 1200 mm管線，長度約3公里
供水量	1	樹林區中正路及大安路管線工程	約2.7萬CMD(原供水量約2.7萬CMD)
	2	三峽橫溪佳興水管橋工程	約1.6萬CMD(原供水量約1.6萬CMD)
	3	浮洲加壓站至板新場管線工程	約3.4萬CMD(原供水量約3.4萬CMD)
	4	大浦系統送龜山林口複線工程	約26.9萬CMD(原供水量約15.3萬CMD)
	5	新埔鎮義忠路備援管線工程	約6.2萬CMD(原供水量約6.2萬CMD)
	6	鯉魚潭場第二送水管工程	約65.65萬CMD(原供水量約55.3萬CMD)
	7	豐原大道環狀埋設幹管工程	約153.6萬CMD(原供水量約130.8萬CMD)
	8	臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程	約87.6萬CMD(原供水量約81.4萬CMD)
	9	台中第三供水區祥順路送水管工程	約19萬CMD(原供水量約18萬CMD)
	10	雲林至嘉義系統送水管備援複線工程	約9萬CMD(原供水量約5萬CMD)
	11	岡山至北嶺加壓站備援幹管工程	約9.34萬CMD(原供水量約9.34萬CMD)
	12	溪埔及大泉伏流水原水管工程	約15.54萬CMD(原供水量約15.54萬CMD)
	13	旗津區第二條過港送水管工程	約1.02萬CMD(原供水量約1.02萬CMD)
	14	東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程	約23.74萬CMD(原供水量約23.74萬CMD)
	15	東港溪至鳳山水庫新圍段導水管工程	約23.74萬CMD(原供水量約23.74萬CMD)
	16	牡丹廠下游石門古戰場至先復橋複線工程	約8.0萬CMD(原供水量約7.55萬CMD)
	17	牡丹廠下游四重溪至統埔複線工程	約8.0萬CMD(原供水量約7.55萬CMD)

備註：項次6、7、8、9管線工程供水區重疊，綜合供水量以153.6萬CMD併列。

四、執行策略及方法

(一)主要工作項目：埋設 17 條管線，總長度約 81 公里，相關位置如圖 3 所示。並於

管線沿途適當地點施作電動閥、制水閥、排氣閥、排水閥及檢查人孔等，以便日後操作維護；各管線埋設工法長度，如表 4 所示。



圖 3 備援調度管線工程位置圖

表 4 備援調度幹管工程埋設工法及施工長度

項次	工程名稱	總長度(公尺)	工法長度(公尺)			
			明挖覆蓋	推進	潛盾	水管橋
1	樹林區中正路及大安路管線工程	4,320	4,220	100		
2	三峽橫溪佳興水管橋工程	140				140
3	浮洲加壓站至板新場管線工程	10,170	9,220		850	100
4	大浦系統送龜山林口複線工程	3,130	380	630	2,120	
5	新埔鎮義忠路備援管線工程	1,570	1,570			
6	鯉魚潭場第二送水管工程	7,400	4,950	1,650		800
7	豐原大道環狀埋設幹管工程	9,550	7,900	1,650		
8	臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程	4,340	3,690	650		
9	台中第三供水區祥順路送水管工程	4,600	4,400	200		
10	雲林至嘉義系統送水管備援複線工程	12,000	11,535			465
11	岡山至北嶺加壓站備援幹管工程	4,700	3,640	1,000		60
12	溪埔及大泉伏流水原水管工程	6,000	5,030	970		
13	旗津區第二條過港送水管工程	1,060		1,060		
14	東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程	650	650			
15	東港溪至鳳山水庫新圍段導水管工程	6,030	5,780	250		
16	牡丹廠下游石門古戰場至先復橋複線工程	2,300	2,300			
17	牡丹廠下游四重溪至統埔複線工程	3,000	3,000			

本計畫主要工程內容，包括位置、埋管路段、工程內容(管徑及長度)之說明如后：

1. 樹林區中正路及大安路管線工程：位於十二區處供水區，埋設位置共兩段，第一段起於大安路與保安街一段交會點至大安路 10 巷，另一段為大安路與中正路交會點至三德街，埋設 ϕ 1,350mm 管線，總長約 4.32 公里。
2. 三峽橫溪佳興水管橋工程：位於十二區處供水區，建置位置為佳興橋，增設 ϕ 1,350mm 水管橋，總長約 0.14 公里。
3. 浮洲加壓站至板新場管線工程：位於十二區處供水區，埋設位置為環漢路五段、環河路及三鶯大橋，即浮洲加壓站至板新給水廠區間。埋設 ϕ 1,800mm 管線，總長約 10.17 公里。
4. 大湳系統送龜山林口複線工程：位於二區處供水區，埋設位置分別為國際路、榮華街、大智路至山鶯路，埋設 ϕ 1,200mm 管線，總長約 3.13 公里。
5. 新埔鎮褒忠路備援管線工程：位於三區處供水區，埋管位置為新埔鎮褒忠路(文山路~褒忠橋)，埋設 ϕ 1,350mm 管線，總長約 1.57 公里。
6. 鯉魚潭第二送水管工程：位於四區處供水區，管線位置設於后科路二段、成功路、南村路、三豐路三段、星科路及后科路一段。埋設 ϕ 2,600mm 管線，總長約 7.4 公里。
7. 豐原大道環狀埋設幹管工程：位於四區處供水區，埋設位置為豐原大道環狀道路上，埋設 ϕ 2,200mm 管線，總長約 9.55 公里。
8. 臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程：位於四區處供水區，主要埋設位置為臺中鐵路高架化騰空廊道下，埋設 ϕ 1,350、1,500 及 2,200mm 管線，本工程已實施部分工程，後續擬執行總長約 4.34 公里。
9. 臺中第三供水區祥順路送水管工程：位於四區處供水區，埋設位置為松竹路一段至祥順路一段上，埋設 ϕ 1,500mm 管線，總長約 4.6 公里。
10. 雲林至嘉義系統送水管備援複線工程：位於五區處供水區，埋設位置為新港淨水場至北港第二淨水場間路段，埋設 ϕ 1,200mm 管線，總長約 12 公里。
11. 岡山至北嶺加壓站備援幹管工程：位於七區處供水區，埋設位置為嘉新西路、嘉新東路及聖森路，埋設 ϕ 2,000mm 管線，總長約 4.7 公里。
12. 溪埔及大泉伏流水原水管工程：位於七區處供水區，埋設位置為高屏溪新設堤防內，埋設 ϕ 2,000mm 管線，總長約 6.0 公里。
13. 旗津區第二條過港送水管工程：位於七區處供水區，埋設位置位於旗津區第二條過港隧道，設置 ϕ 581mm 管線，總長約 1.06 公里。
14. 東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程：位於七區處供水區，埋設位置為鳳山水庫濕地下游，埋設 ϕ 2,200mm 管線，總長約 0.65 公里。
15. 東港溪至鳳山水庫新園段導水管工程：位於七區處供水區，埋設位置為高屏溪左岸新園鄉內之台 27 及台 17 線，埋設 ϕ 2,000 及 ϕ 2,600mm 管線，總長約 6 公里。

16.牡丹廠下游石門古戰場至光復橋複線工程：位於七區處供水區，埋設位置為石門古戰場溫泉路（屏 199 縣）上，埋設 ϕ 1,200mm 管線，總長約 2.3 公里。

17.牡丹廠下游四重溪至統埔複線工程：位於七區處供水區，埋設位置為溫泉路（屏 199 縣）上，即現有管線旁新增複線，埋設 ϕ 1,200mm 管線，總長約 3 公里。

(二)分期（年）執行策略

本計畫已於民國 109 年度先期辦理部分前置調查設計作業。

1.第 1~3 年（民國 110~112 年）：辦理地質調查、既有管線調查等環境調查、工程基本設計、細部設計、工程用地先期作業及分管線施工作業。

2.第 2~5 年（民國 111~114 年）：設施、管線施工期間，同時辦理分管線通過台灣高鐵、台鐵及公路局用地申請及風險評估等，以及向各縣市政府提出水管橋及管線推進工程之跨河構造物申請及河川公地使用申請等，並於管線工程分階段完工後辦理驗收、試運轉等工作。

(三)執行步驟及分工

本計畫既有設施、管線調查、設計及施工由台水公司辦理，其中與道路下既有埋設管線調查與溝通協調為重點，以利本計畫管線能於計畫預定期程內順利施作完成。另水管橋及管線推進工程因涉及河川公地使用，除由台水公司辦理外，請當地縣市政府等機關依所涉部分予以協助。

(四)營運管理

1.營運管理單位：本計畫管線工程設施完工

後由台水公司營運管理，管線完成後將與既有管線聯合供水，避免空管影響管線安全性。

2.後續偵漏系統：新管理設時，將於重要位置設置水壓監測點，並納入各區管理處已建立之供水監控平台隨時監測重要點位水壓及水量變化情形。該供水監測平台並設有警報機制，一有異常，系統則即時警示，供操作人員判斷供水系統是否異常；亦可透過監控平台控制抽水機啟動與關閉、電動蝶閥開啟、關閉與調整蝶閥開度。此外，建置 WADA 系統運用大數據及資料分析技術，分析小區管網供水量資料變化，以偵測小區管網供水異常情形，並預警管網單位進行檢漏。

3.養護巡查：將由台水公司各區處辦理定期巡查；如其他單位在附近施工或震度達五級以上時，會辦理特別巡查，以避免管線遭挖損或漏水，如有漏水即行修復。

五、期程及經費來源

(一)計畫期程

本計畫執行期程自民國 110 年至 114 年，共計 5 年，包括調查、設計、備料、工程發包、施工作業及驗收等工作，相關期程詳如表 5 所示，其中台水公司已於民國 109 年先行辦理部分前置調查設計作業。

表 5 備援調度幹管工程計畫期程

工作項目	110年	111年	112年	113年	114年
1.調查設計及工程用地先期作業	■				
2.工程設計、發包	■	■	■		
3.工程施工		■	■	■	■
4.驗收			■	■	■



(二)所需資源

- 1.人力資源：由台水公司編制人員及約聘僱人員機動調配因應，必要時相關計畫得委外或以外包人力辦理相關事宜；管理維護部分，由台水公司負責營運管理。
- 2.土地：本計畫工程範圍如位於河川區域之公有地，所需工程用地範圍依規定申請使用；如涉及私有地，則採補償、租用、價購或徵收方式辦理。至於其他法令規定需辦理事項，將依規定洽主管機關。
- 3.材料：本計畫所需材料以 DIP 管材為大宗，由國內外市場採購取得應無問題，工程設計將審慎考量管材及施工機具，俾利本計畫相關工程均能順利推動。

(三)經費來源及分年經費

為強化臺灣地區供水韌性工作，加強平時供水穩定與災時應變彈性，穩定民生與經濟，本計畫推動「備援調度幹管工程計畫」，屬「行政院排除產業投資障礙－穩定供水策略」之「備援」及「調度」性質，所需總工程費共計 145 億元，如表 6 所示，由前瞻基礎建設計畫特別預算支應 80 億元，並採投資台水公司方式辦理；另 65 億元則由台水公司自籌。

110~114 年分年經費概算額度配合情形詳如表 7，各年工作與經費將依實核編執行並滾動檢討落實。

六、預期效益

水資源建設為國家基礎建設重要的一環，若水資源供應不夠穩定或發生短缺，將影響國家整體的競爭能力。計畫效益係指計

畫案之產出及使用，對整體社會產生之效益，包含直接效益與社會效益（間接效益），對於可量化效益部分，應儘量予以估算；非量化效益部分，在分析過程中以文字說明不予估算。

表 6 本計畫工程費估算總表

成本項目		工程費 (億元)	備註
壹	100. 設計階段作業費用	2.50	約直接工程費之2%
貳	200. 用地取得、地上物補償及規畫費	2.50	
	300. 直接工程費	109.30	301~317項之和
	301. 樹林區中正路及大安路管線工程	2.90	埋設φ1350 mm管線，長度約4.32公里
	302. 三峽橫溪佳興水管橋工程	1.21	埋設φ1350 mm管線，長度約0.14公里
	303. 淨洲加壓站至板新場管線工程	13.58	埋設φ1800 mm管線，長度約10.17公里
	304. 大油系統送龜山林口複線工程	7.55	埋設φ1200 mm管線，長度約3.13公里
	305. 新埔鎮農志路備援管線工程	1.29	埋設φ1350 mm管線，長度約1.57公里
	306. 鯉魚潭場第二送水管工程	18.13	埋設φ2600 mm管線，長度約7.4公里
	307. 豐原大道環狀埋設幹管工程	14.87	埋設φ2200 mm管線，長度約9.55公里
	308. 臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程	5.97	埋設φ1350、1500及2200 mm管線，約4.34公里
參· 工程 建造費	309. 台中第三供水區祥順路送水管工程	4.42	埋設φ1500 mm管線，長度約4.6公里
	310. 雲林至嘉義系統送水管備援複線工程	8.90	埋設φ1200 mm管線，長度約12.0公里
	311. 岡山至北園加壓站備援幹管工程	5.85	埋設φ2000 mm管線，長度約4.7公里
	312. 溪埔及大泉伏流水原水管工程	8.11	埋設φ2000 mm管線，長度約6公里
	313. 旗津區第二條過港送水管工程	1.59	設置φ581 mm管線，長度約1.06公里
	314. 東港溪至鳳山水庫緩衝池段導水管工程	1.22	埋設φ2200 mm管線，長度約0.65公里
	315. 東港溪至鳳山水庫新圍段導水管工程	10.44	埋設φ2000及2600 mm管線，長度約6公里
	316. 社丹廠下游石門古戰場至光復橋複線工程	1.45	埋設φ1200 mm管線，長度約2.3公里
	317. 社丹廠下游四重溪至統埔複線工程	1.82	埋設φ1200 mm管線，長度約3公里
	400. 間接工程費	10.93	直接工程費之10%
500. 工程預備費	10.93	直接工程費之10%	
600. 物價調整費	8.84	以分年建造費平均每年上漲2.6%複利計算	
	合計	140.00	(300+400+500+600.)之合計
	詳·總工程費	145.00	壹至參項之和

表 7 本計畫工程分年經費表

項目	單位：億元					
	110年	111年	112年	113年	114年	合計
前瞻特別預算	9.31	10.69	10.00	10.00	40.00	80.00
台水公司自籌	0.00	16.33	21.04	27.63	0.00	65.00
總計	9.31	27.02	31.04	37.63	40.00	145.00

(一)各備援調度管線功能定位及效益

本計畫之推動有助於供水穩定，依據各備援及調度管線工程之功能定位及計畫效益，彙整如表 8-1 及 8-2。

表 8-1 各備援調度管線之功能定位及效益(1/2)

工程名稱	功能定位及計畫效益
1. 樹林區中正路及大安路管線工程	1. 興辦本管線，以建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低板新供水系統之供水風險。板新給水廠可由本管線供應原北水處支線轄區。當北水處原水高濁期間減少對台北支線水質時，樹林及新莊等供水區域改由板新給水廠供應，可改善用戶缺水之情形。 2. 改善樹林區三龍橋一帶(管線末端)水壓偏低情況，穩定該區域用戶用水。 3. 備援新北市樹林、龜山、新莊及泰山等區供水用戶約 2.7 萬戶，影響水量約 2.7 萬 CMD。
2. 三峡橫溪溪與水官橋工程	1. 興辦本管線，以建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低板新供水系統之供水風險。確保板橋及土城等區域供水系統安全及穩定，並配合捷運三鶯線施工(佳福路側墩柱基礎構構)，連絡佳興橋兩側既設供水幹管，使供水調配更具彈性。 2. 備援新北市三峡區及土城區部分供水用戶約 1 萬戶，影響水量約 1.6 萬 CMD。
3. 浮洲加壓站至板新場管線工程	1. 興辦本管線與原管線形成雙幹管供水，穩定北水處支線台北之水質，經浮洲加壓站遠送板新給水廠，再供水至三峡及鶯歌等地區，加強板新供水系統之供水韌性及降低供水風險。 2. 備援新北市樹林區、三峡區及鶯歌區部分供水用戶約 2.3 萬戶，影響水量約 3.4 萬 CMD。
4. 大南系統送龜山山口復線工程	1. 興辦本管線，以建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低石門供水系統之供水風險。可供應桃園航空城(130 年平均日遠增供水量為 7.4 萬 CMD)等地區發展。 2. 建置區域支線調度幹管，由桃園調度供水至新北市林口區，穩定機場捷運 A7 站週邊地區新增 4.2 萬 CMD 用水。 3. 因桃園市龜山區及新北市林口區屬幹管末端供水區域，復水時有延時情形，最久需 1-2 天才能完全復水，影響該區域民生及工業區供水用戶約 10 萬戶，影響水量約 15.33 萬 CMD。
5. 新埔鎮震忠路備援管線工程	1. 台水公司目前辦理「桃園-新竹備援管線工程計畫」，石門水庫路區支線新行地區輸水能力由現況 4.6 萬 CMD 提升為 20 萬 CMD，興辦本管線，建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低新行及新埔供水系統之供水風險，並確保「桃園-新竹備援管線工程計畫」供水穩定性。 2. 備援新湖口市區及新竹工業區供水用戶約 4.25 萬戶，影響水量約 6.2 萬 CMD。
6. 鯉魚潭場第二送水管	1. 興辦本管線預期效益：(一)建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低台中供水系統之供水風險。(二)增加鯉魚潭(含后)一淨水場最大送水能力達 130 萬 CMD。 2. 既有鯉魚潭場第一送水管屬鯉魚潭淨水場主要送水幹管，與豐原淨水場聯合供應大台中地區用水，興辦本管線可備援台中市第一、第二供水區、中部科學園區及其他區域之供水用戶約 53 萬戶，影響水量約 65.65 萬 CMD。綜合考量臺中區各備援管線(項次 6、7、8、9)之影響水量約 153.6 萬 CMD。 3. 本段已列入「口徑 800 公厘以上管線安全評估計畫」耐震及狀況評估之最後先補強及改善管段。
7. 豐原大環環狀理設管	1. 興辦本管線預期效益：(一)建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低台中供水系統之供水風險。(二)提升大台中地區目標年 120 年整體供水能力可達 196 萬 CMD。 2. 既有豐原內環管線為調配鯉魚潭淨水場及豐原淨水場之供水，大台中地區之用水均透過該管線供應至各區域，興辦本管線可備援台中市第一、第二、第三供水區及其他區域之供水用戶約 92 萬戶，影響水量約 153.6 萬 CMD。綜合考量臺中區各備援管線(項次 6、7、8、9)之影響水量約 153.6 萬 CMD。 3. 本段已列入「口徑 800 公厘以上管線安全評估計畫」耐震及狀況評估之最後先補強及改善管段。
8. 臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線	1. 興辦本管線，建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，可穩定台中供水系統台中第二、三供水區。 2. 興辦本管線，可作為台中市第二供水區之增供水管線，及第二、三供水區送水管線之備援管線。 3. 備援台中市第二、三供水區及其他區域之供水用戶約 39 萬戶，影響水量約 87.6 萬 CMD。綜合考量臺中區各備援管線(項次 6、7、8、9)之影響水量約 153.6 萬 CMD。

表 8-2 各備援調度管線之功能定位及效益(2/2)

工程名稱	功能定位及計畫效益
9. 台中第三供水區祥順路送水管工程	1. 興辦本管線，建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，可作為軍功路送水管(松竹路至中山路四段)備援管線，因應台中供水系統台中北屯、太平、大里地區區間 120 年用水需求。 2. 備援台中第三供水區(含大里、太平)供水用戶約 18 萬戶，影響水量約 18 萬 CMD。綜合考量臺中區各備援管線(項次 6、7、8、9)之影響水量約 153.6 萬 CMD。
10. 雲林至嘉義系統送水管備援復線工程	1. 因應嘉義地區用水需求增加，建置區域支線調度幹管，可增加湖山水庫水庫常態支線嘉義用水約 4 萬 CMD，並聯山海二側供水管線互相支援，具有供水調度功能。 2. 建置雙幹管供水可提升雲林與嘉義兩供水系統間互相支援水量，加強供水韌性及兼具備援之功能，降低嘉義供水系統之供水風險。 3. 興辦本管線可備援嘉義縣大林鎮、民雄鄉供水用戶約 4.2 萬戶，影響水量約 5 萬 CMD。
11. 岡山至北嶺加壓站備援管線工程	1. 新設岡南至北嶺加壓站管線，加強供水韌性及增加備援能力，分擔岡山段舊 1 線 $\phi 1,500\text{mm}$ 管齡 21 年、 $\phi 1,750\text{mm}$ 管齡 29 年及 $\phi 2,000\text{mm}$ 管齡 27 年管段幹管之高維供水系統送水風險及提升北嶺加壓站支線供水系統之送水能力。 2. 可備援約 20 萬戶供水用戶，影響水量約 9.34 萬 CMD(如含北嶺支線台南地區供水，則影響水量約可達 25.34 萬 CMD)。
12. 溪埔及大泉供排水原水管工程	1. 新設供排水原水管以建置雙幹管供水，加強供水韌性，增加備援能力及降低供水風險，可提升約 20 萬戶供水用戶供水可可靠性，影響水量約 15.54 萬 CMD。 2. 高屏溪攔取水站如發生台電跳電、水污及油污事件時，可分數降低高維供水系統之供水風險，減少大規模區域停水事件。 3. 本段已列入「口徑 800 公厘以上管線安全評估計畫」耐震及狀況評估之次優先及第三優先先補強及改善管段。
13. 旗津區第二供港送水管工程	1. 新設第二條過港送水管以建置雙幹管供水，加強高維供水系統及旗津地區之供水韌性及增加備援能力，可提升約 1 萬戶供水用戶供水可可靠性，影響水量約 1.02 萬 CMD。
14. 東港溪至鳳山水庫橫街地段導水管工程	1. 新設導水管工程加強高維供水系統之供水韌性及增加備援能力，緊急時可提升供水量，維持工業供水或支援民生用水。 2. 備援臨海、林園及大發等工業區供水水量約 23.74 萬 CMD。 3. 本段已列入「口徑 800 公厘以上管線安全評估計畫」耐震及狀況評估之次優先先補強及改善管段。
15. 東港溪至鳳山水庫新園段導水管工程	1. 新設導水管工程加強高維供水系統之供水韌性及增加備援能力，緊急時可提升供水量，維持工業供水或支援民生用水。 2. 備援臨海、林園及大發等工業區供水水量約 23.74 萬 CMD。 3. 本段已列入「口徑 800 公厘以上管線安全評估計畫」耐震及狀況評估之次優先先補強及改善管段。
16. 牡丹廠下游石門古戰場至先復備援管線工程	1. 興辦本管線，以建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低牡丹供水系統之供水風險。可備援屏東縣東港、林邊、新園、枋寮、佳冬、枋山、琉球、恆春及滿州等鄉鎮供水用戶約 7.6 萬戶，影響水量約 7.55 萬 CMD。 2. 因屏東縣東港及新園屬幹管末端供水區域，復水時有延時情形，最久需 1-2 天才能完全復水，影響該區域供水用戶約 5.2 萬戶，影響水量約 5.1 萬 CMD。
17. 牡丹廠下游石門重溪至統埔復線工程	1. 興辦本管線，以建置雙幹管供水，加強供水韌性及有效備援，降低牡丹供水系統之供水風險。可備援屏東縣東港、林邊、新園、枋寮、佳冬、枋山、琉球、恆春及滿州等鄉鎮供水用戶約 7.6 萬戶，影響水量約 7.55 萬 CMD。 2. 因屏東縣東港及新園屬幹管末端供水區域，復水時有延時情形，最久需 1-2 天才能完全復水，影響該區域供水用戶約 5.2 萬戶，影響水量約 5.1 萬 CMD。

(二)可量化之經濟效益及經濟分析

本計畫經濟效益可分直接效益(調度水量受水效益 2.55 億元/年)及間接效益(民生用水送水費用 0.65 億元/年、產業維持活動 9.20 億元/年及帶動產業發展 0.62 億元/年)兩大項，其金額為 13.02 億元/年；另年計成本為給水成本(調度水量) 2.60 億元/年、年利息 3.05 億元/年、運轉維護費 1.09 億元/年及折舊費 3.28 億元/年四大項，其金額為 10.02 億元/年，本計畫之益本比為 1.30，後續說明及計算方式資料如表 9 所示。

表 9 本計畫經濟效益及經濟分析成果

項目	費用(億元/年)	說明與計算式	
經濟效益	直接效益(調度水量售水效益)	2.55 1. 以增加調度水量上單位水價估列。 2. 項次 4 工程可增加桃園水庫調度至新北市林口區 4.2 萬 CMD、項次 10 工程可增加調度雲林地區水量至嘉義地區 4.0 萬 CMD，合計調度水量為 8.2 萬 CMD。 3. 單位水價以 11.00 元/m ³ 估列、平均售水率為 77.41%。 4. 2.55 億元/年=8.2 萬 CMD×365 天×77.41%×11.00 元/m ³ ×10000	
	間接效益(民生用水送水費用)	0.65 1. 原送水幹管因破管無法送水情況，將造成民眾取水不便，本計畫完成可減少民眾不便時送水費用。 2. 備援幹管供水總量為 261 萬 CMD，其中生活用水量約 183 萬 CMD，而一輛水車可接運 10m ³ ，需 18.3 萬輛水車接送，運水費用以 2,500 元/輛計。 3. 依近 10 年管線破管次數估算，每 7 年發生一次停水 1 天。 4. 0.65 億元/年=183,000 輛次×2,500 元/輛×1 天/7 年/10,000	
	間接效益(產業維持活動)	9.20 1. 原送水幹管因破管無法送水情況，將造成產業活動無法維持，本計畫完成後，可增加產業活動維持效益。 2. 考量早期工業區無儲水設施可緊急供水，缺水時將無產值，近期工業園區設有儲水系統可因應缺水情況，惟無法預估復水時程，乃以降載 30% 計算影響產值。統計 17 項工程供水區工業年產值約有 5.5 億元，其中有儲水系統設施之年產值約 4.5 億元。 3. 依近 10 年管線破管次數估算，每 7 年發生一次停水 1 天。 4. 9.20 億元/年=[4.5 億元×30% (供水降載量)+1.0 億元]×365 天×1 天/7 年×10000 億元/億元	
	間接效益(帶動產業發展)	0.62 1. 本計畫總工程經費 145 億元，可帶動相關產業發展之效益。 2. 依據評估公共建設可增加相關產業效益達 17%，依此比例估算經濟分析年限內可帶動產業發展效益。 3. 0.62 億元/年=145 億元×17% (公共建設帶動產業效益比)/40 年	
	小計	13.02	—
年計成本	給水成本(調度水量)	2.60 1. 依據各區處所提供之 108 年度各系統給水成本分析，每單位原水成本、淨水成本、供水成本、鋪管成本及分擔區處成本，各系統之給水成本平均約為 11.23 元/m ³ (售水成本)。 2. 增加調度水量為 8.2 萬 CMD 之給水成本。 3. 2.60 億元/年=8.2 萬 CMD×365 天×77.41%×11.23 元/m ³ ×10000	
	年利息	3.05 1. 為投資之利息負擔，以建造成本之 2% 估列。 2. 本計畫投資成本為 152.40 億元。 3. 0.5 億元/年=152.40 億元×2% (建造成本比例)	
	運轉維護費	1.09 1. 為能維持運轉效能，每年須對管線進行保養維護。管線維護費以工程費之 1% 估列。備援管線直接工程費約為 109.3 億元。 2. 1.09 億元/年=109.3 億元×1% (工程費比例)	
	折舊費	3.28 1. 各項設備依構造物及使用材質之不同其折舊率有所不同，管線設備以工程費之 3.0% 估計。 2. 3.28 億元/年=109.3 億元×3% (工程費比例)	
	小計	10.02	—
經濟分析	可計效益	13.02	含直接、間接及外部效益
年計成本	10.02	含給水成本及本計畫之年利息、運轉維護費、折舊費	
淨現值	3.00	13.02-10.02=3.00	
益本比	1.30	13.02/10.02=1.30	

(三)不可量化估算之經濟效益

1. 社會效益：可穩定供水系統供水，同時建立備援供水，如遇颱風、暴雨、地震期間或不可預期之設備損壞等狀況，即可支援

缺水區域，具有供水區間相互備援及提升國民生活品質等社會公共效益。

- 2.產經效益：具有擴大公共投資效益。公共投資在短期間具誘發民間投資，提振景氣，提高經濟成長率，創造就業機會的效果；中長期更可透過基礎公共設施的充實，厚植產業生產潛力，強化國家競爭力。
- 3.環境效益：可初步減少因災害導致缺水而形成之環境衛生問題，不致因災害期間產生環境條件惡化，間接造成衛生情況惡化而有疾病傳染之疑慮，達到維持高品質之生活環境。

七、結語

本計畫埋設 17 條備援管線，其中 2 條兼具備援及調度功能。依區域別分布於北部區域 5 件、中部區域 5 件、南部區域 7 件，總經費約 145 億元，埋設管徑包括 ϕ 600mm~2600mm，長度共計約 81 公里，埋設管線工法涵蓋明挖、推進（或潛盾）及水管橋，工程執行期間 110~114 年。

可備援原有管線供水量及區域調度供水量，維持穩定供水量約 261 萬 CMD，提高供水穩定、降低破管風險、穩定區域供水、增加區域供水調配彈性等。

參考文獻

- 1.台灣自來水(股)公司，備援調度幹管工程計畫，民國109年。
- 2.台灣自來水(股)公司，旗津區第二條過港送水管工程計畫(第二次修正)，民國105年。
- 3.台灣自來水(股)公司，口徑800公厘以上管線安全評估計畫-第一部分管線耐震評估及補強計畫，民國106年。
- 4.台灣自來水(股)公司，口徑800公厘以上管線安全評估計畫-第二部分管線狀況評估，民國106年。
- 5.台灣自來水(股)公司中區工程處，「台中區供水系統規劃」委託技術服務(定稿本)，民國107年。
- 6.台灣自來水(股)公司南區工程處，北嶺加壓站上游送水管瓶頸改善評估報告(定稿版)，民國108年。
- 7.台灣自來水(股)公司中區工程處，鯉魚潭場第二送水管工程計畫書(定稿版)，民國109年。
- 8.台灣自來水(股)公司中區工程處，豐原大道環狀埋設幹管工程計畫書(定稿版)，民國109年。
- 9.台灣自來水(股)公司中區工程處，臺中鐵路高架化騰空廊道下埋設管線工程計畫書修正(定稿版)，民國109年。
- 10.經濟部統計處，中華民國・台閩地區工廠校正及營運調查報告，民國109年。
- 11.行政院勞動部，勞動統計月報，民國109年。

作者簡介

朱益廷先生

現職：台灣自來水公司工務處工程師

專長：自來水規劃。

蕭任修先生

現職：台灣自來水公司工務處工程師

專長：自來水規劃。

徐俊雄先生

現職：台灣自來水公司工務處處長

專長：自來水工程。

密閉型水位感測管柱控制揚水裝置之探討

文/江清蓮

摘要

國內自來水用戶因蓄水池滲漏或水壓不足，部分用戶擅自改用馬達直接抽水，當遇到施工、停水或尖峰用水時段，於管線破損處則有吸入污染物之風險。作者過去陸續探討有關負壓污染改善工法並持續追蹤個案成果。近來有一種價廉、功能穩定、容易維修且不佔空間的「密閉型水位感測管柱控制揚水裝置」，包括：傳統揚水幫浦、密閉型水位感測管柱、進水連接管、揚水管回流連接管及受水塔，可節能並有效防制馬達直抽的水質污染風險。該密閉型水位感測管柱具有低水位感應接點、高水壓感應接點、低水位回流閥及進排氣閥。此管柱直立連通於該揚水幫浦進水與出水連接管之間，當管柱內空氣可被進排氣閥排空的情況，管柱水位變化 0~200 公分僅能區別 0.2 kg/cm^2 的進水水壓；另一種管柱上方密閉無法排氣者，可藉由空氣被水壓壓縮的原理，管柱內水位變化 0~40 公分則可有效區別 $0.2\sim 0.7 \text{ kg/cm}^2$ 或更高的進水水壓。

在高水壓地區或時段，本設備具有直接加壓供水的節能功效；當水壓偏低時段，倘管柱水位低於回流閥的浮球高度，幫浦的揚水量部分自動回流，減少管柱水位降幅，有助於揚水幫浦延續運轉，直至該管柱水位低於下限或水塔達高水位為止。如此，可避免揚水幫浦頻繁啟閉、空轉燒毀及避免負壓抽水；揚水幫浦被強制中斷運轉後，須等供水

水壓恢復正常，密閉型水位感測管柱水位回升達高水壓感測點，揚水幫浦才能恢復常態的運轉模式。

關鍵字：直接加壓，進排氣閥，負壓污染防制，節能減碳

一、馬達直接加壓背景及實務說明

- (一)日本法規：有條件允許自來水用戶自受水管直接抽水⁽¹⁾，兼具有效利用受水管餘壓(節能減碳)及負壓污染防制之功效。
- (二)國內法規：經濟部水利署公布「自來水用戶用水設備標準」第 14 條規定「用戶裝設之抽水機，不得由受水管直接抽水」。其用意在於維持管網水壓及避免負壓污染。
- (三)靜水壓 hydrostatic pressure：流體在靜止狀態作用於管內的壓力，稱為靜水壓。自來水採直接加壓方式供水，幫浦未啟動前入口處的水壓等於靜水壓，在尖峰用水時段部分地區的靜水壓可能低於 0.5 kg/cm^2 。
- (四)動力壓 hydrodynamic pressure：流體在流動狀態作用於管內的壓力，稱為動力壓。直接加壓幫浦啟動時，動力壓的降幅視個案的入口處管線及幫浦揚水量而異約 $0.2\sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ，因此，在尖峰用水時段部分地區的動力壓可能為負壓。
- (五)進排氣閥：管線正壓時可排除管內積存的空氣；管線負壓時會吸入空氣破壞負壓虹吸。若抽水機具備過熱自動停機的功能，於入口端安裝進氣閥及揚水口端

安裝排氣閥，即可防止負壓水質污染^[2]。

(六)節能無負壓揚水槽：本設備在民國 106 年曾於本刊發表^[5]，水槽內有二段式浮球水位感應點，水槽底部出水管經逆止閥與管網進水管並接至揚水幫浦，另於上方有浮球進水閥，具備「水壓充足直接加壓、低壓調節用水」且不佔空間的優點。當水槽水位低於低限時，浮球開關自動中斷揚水幫浦電源；迄水槽補水達於高限水位，揚水幫浦恢復常態運轉。惟逆止閥或浮球閥偶發故障，小水槽在短時間內恐會溢流的現象仍需追蹤克服。

(七)水壓控制器：市售水壓控制器常安裝於加壓幫浦出水端，當揚水端水壓達到水壓控制器的設定高限，加壓幫浦自動停機，迄揚水端水壓低於低限再恢復運轉。作者曾嘗試將市售水壓控制器改裝於加壓幫浦入口端，惟受限於市售水壓控制器的設定高低限間距至少 0.7 kg/cm^2 且水壓感測誤差 $>0.05 \text{ kg/cm}^2$ 之問題，無法精準地應用於理想的馬達直抽控制模式（動力壓 0.02 kg/cm^2 臨近負壓→停機、靜水壓 $0.2\sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 足供維持正壓抽水→恢復運轉）。

二、初期應用於低水壓轄區用戶

106 年台北市一棟大樓用戶反映自來水有臭味，現勘水質檢測氨氮濃度高達 2mg/L ，確認是筏基蓄水池遭鄰近化糞池污水滲入所致。本案改善過程遭遇下列困難：

- (一)屋主不同意於地下室增設地上式蓄水池。
- (二)一樓地面無空間設置地上式蓄水池，僅能搭建鋼架放置中繼水塔，中繼水塔進水浮球閥高程約 3.5m 。

(三)表前水壓常低於 0.3 kg/cm^2 ，無法利用管網水壓進水至中繼水塔。

幸好，該大樓進水管徑為 75mm ，在適量抽水量情況下，其管線動力壓降小於 0.2 kg/cm^2 ，乃規劃選用 0.5 Hp 抽水機，每小時輸送約 4 噸水至 2m 高程的中繼水塔(如圖 1)，抽水機運轉條件如下：

(一)高水位感測點：進水管線靜水壓達 0.2 kg/cm^2 (高水壓感測點)，相當於管柱水位達 200 公分，抽水機維持正壓常態運轉。

(二)低水位感測點：在維持正壓為前提下避免過早停機，當進水管線動力壓低於 0.02 kg/cm^2 ，相當於管柱水位低於地面 20 公分(低水位感測點)，揚水幫浦始中斷電源。

該直接加壓揚水設備，具備小型接水槽可維持正壓進水功能，並有效掌握穩定安全抽水時段，後續追蹤該大樓供水穩定無虞且檢測水質均正常。

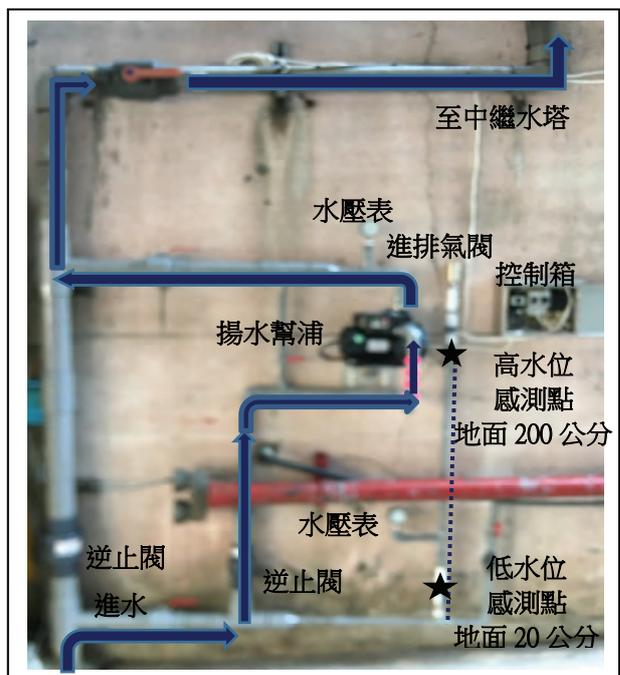


圖 1 低水壓轄區用戶直接加壓設備

三、揚水控制設備持續改良研發

自來水用戶寧願冒著水質污染風險，違規使用馬達直接抽水，究其原因在於擔心若不強制抽水，就可能無水可用。因此，改善馬達直接抽水的推廣關鍵，在於避免過早停機及維持正壓抽水。歷來研發改善過程係朝下列 7 個要項努力。

(一)延長抽水機運轉時間：抽水機入口端水位降至約 30 公分高程時，部分揚水量自動回流，減緩水位降幅，如同變頻抽水機自動減量抽水。

(二)臨近負壓才停機：抽水機入口端動力壓在臨近負壓前(低水位感測點約 20 公分高程，相當於動力壓 0.02 kg/cm^2)，始自動中斷抽水。

(三)避免頻繁啟閉：確認進水管線的水頭損耗，設定適當的高水壓感測點，抽水機再恢復啟動，以利穩定運轉。

(四)穩定的水壓感測元件：利用垂直密閉管柱內殘留空氣，應用空氣壓縮原理，依水位感測安裝點的上下管體積比值及計算式： $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ ，可區分高水壓感測值。

(五)無滲漏水之虞且不佔空間：前項密閉管柱使用小型進排氣閥，降低管柱滲漏水的風險；當水位變化 0~40 公分，即可區別 0~3 kg/cm^2 的進水水壓，有效降低管柱高度。

(六)避免管柱內水體滯留：密閉管柱上方積存的空氣，會隨抽水機啟閉被壓縮膨脹，有助更替管柱內水體，避免水質滯留。

(七)經濟性：可續用既有抽水機，搭配價廉、

功能穩定、容易維修且不佔空間。對用戶而言才有安裝的誘因。

用戶因無空間設置蓄水池，不得已改採馬達直接抽水，若在高水壓地區抽水機效能則優於間接抽水；然在低水壓地區不僅抽水效能低於間接抽水且有負壓污染風險。為確保水質安全，馬達直接抽水必需具備在低水壓時段自動停機或減量抽水維持正壓的功能，方能避免負壓污染。

後續改良揚水控制設備規劃如圖 2，其中，進排氣閥選用小型吸排氣量規格，管柱內積存的空氣能在 30 秒內自小管柱完成排出，即不會影響水壓及水位的感測功能；回流浮球閥安裝於地面 30 公分高程、低水位感測點約地面 20 公分高程，高水壓感測點 0.2~0.7 kg/cm^2 依個案選用；回流浮球閥的流量規格，進出水壓差達 1.5~2.0 kg/cm^2 情況下，流通量約為抽水機揚水量的 15~20 %。

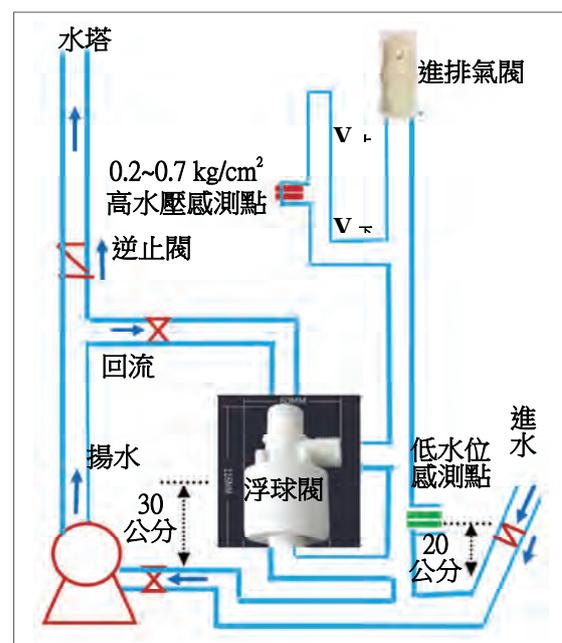


圖 2 揚水設備研發改良規劃圖說

參考揚水控制設備改良規劃圖說，自市面購買零組件組裝照片如圖 3，係將回流浮球閥內裝於管柱內，進排氣閥是唯一可能的漏水點，經測試無滲水之虞。

其中，低水位回流閥高程約 30 公分；低水位感應點的固定高程約 20 公分；高水壓感應點可預裝多處感應點，再依個案的動力壓降 0.2~0.5 kg/cm² 選用調整；高水壓感應點的密閉管柱在幫浦啟閉過程有縮膨現象，有助於避免水體長期滯留；另為探討臨近停機前的回流量，必要時可安裝浮子流量計進行測試。



圖 3 改良式揚水測試設備零組件組裝

四、改良式揚水設備應用

桃園市透天厝五樓頂有 2 噸容量的水塔，用戶使用 0.5 Hp 陸上型揚水幫浦，一樓表後進水管線長度 20 公尺及管徑 20mm，馬達啟動常態水造成的動力壓降約 0.4~0.5 kg/cm²。

依現場空間將密閉型水位感測管柱直立連通於該揚水幫浦進水與出水連接管之間，其中，低水位感測點、高水壓感測點、低水位回流閥及進排氣閥如圖 4。高水壓感測點的密閉管柱空間積存空氣，藉由空氣被水壓壓縮的原理，計算不同高水壓感測點的水壓值如表 1。如本案管柱內上下的管體積比值為 2:1 時，高水壓感測點的感測值相當於 0.5 kg/cm²。計算式如下：

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$\text{表壓為 } 0 \quad P_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_1 = (V_{\text{上}} + V_{\text{下}}) \quad V_2 = V_{\text{上}}$$

$$1 \times (2+1) = P_2 \times 2 \quad P_2 = 1.5 (\text{表壓為 } 0.5 \text{ kg/cm}^2)$$

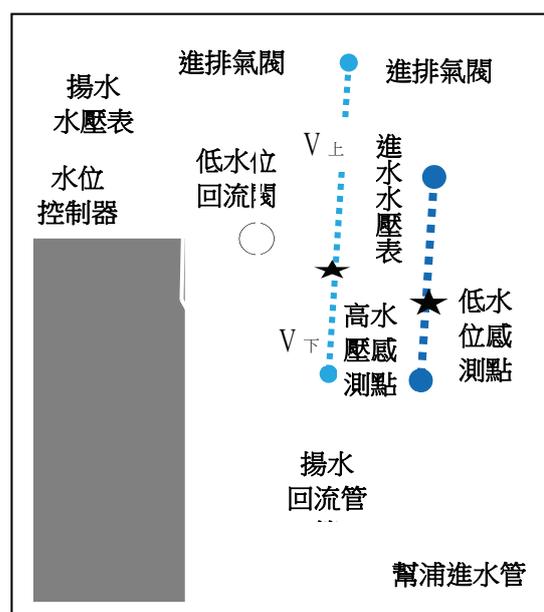


圖 4 改良式揚水設備應用實例

表 1 高水壓感測點管柱管體積比值對照水壓

水壓 kg/cm ²	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
V _上 / V _下	1.43	1.67	2	2.50	3.33	5
備註	V _上 / V _下 : 水壓感測點上下的管體積比值					

表 2 不同靜水壓的揚水操作參數

操作模式	Case I	Case II	Case III
狀態	恢復 運轉	回流 運轉	運轉→ 停機
靜水壓 kg/cm ²	1.1~0.5	0.5~0.4	0.4~0.1
所佔時間比	15%	55%	30%
動力壓 kg/cm ²	0.10~0.30	0.02	0.02→0.3
高水壓感測點 0.5 kg/cm ²	on→off	off	off
低水位感測點 20 公分高程	on	on	on→off →on
回流(公升/分)	0	0~4	4→13→0
實際揚水量	0→32~23	23~19	19→0
備註	1.抽水機運轉無回流情況，動力壓降約 0.4~0.5 kg/cm ² 2.抽水機運轉有回流情況，動力壓降約 0.1~0.4 kg/cm ²		

現場另裝設進水水壓表及揚水水壓表，探討在不同水壓下的三種揚水操作模式

Case I、Case II 及 Case III(詳如表 2 及圖 5)。

(一)Case I：在高水壓時段具備直接加壓供水的節能功效，當進水管線靜水壓 1.1~0.5kg/cm²，管柱水位碰觸「高水位感測點」且水塔在低水位時，幫浦啟動揚水量約 23~32 公升/分鐘無回流。

(二)Case II：若進水管線靜水壓小於 0.5 kg/cm²，密閉型水位感測管柱水位低於回流閥的浮球高度，揚水量自動回流 0~4 公升/分鐘，實際揚水量減為 23~19 公升/分鐘，由於管柱水位降幅減緩，揚水幫浦得以延續運轉。

(三)Case III：倘進水管線靜水壓續降低於 0.4 kg/cm²，即使在增加回流量情況下，該管柱水位續降低於「低水位感測點」，揚水幫浦自動中斷運轉。

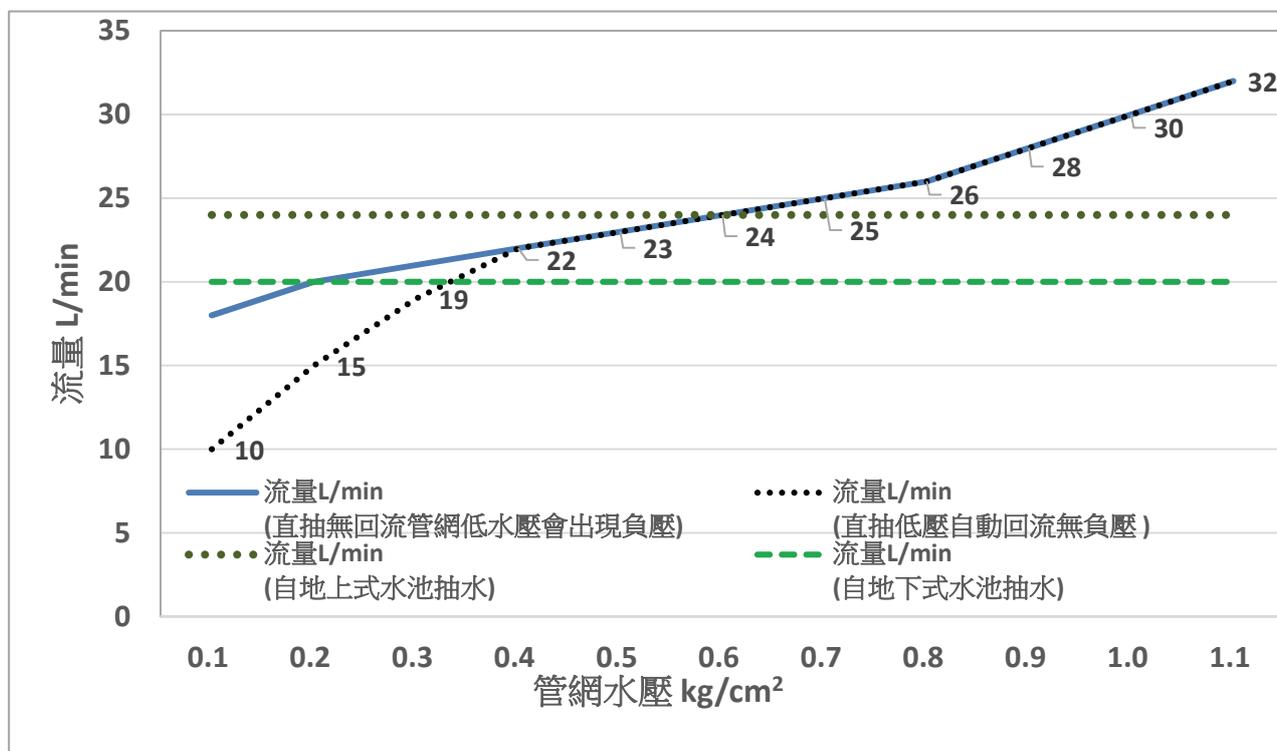


圖 5 1/2Hp 抽水機在不同情況抽水至 5 樓頂水塔流量

以一戶 4 口人的家庭日平均用水量約 1 噸，揚水幫浦每日運轉時間需約 1 小時，搭配樓頂設置儲水 1~2 日用水量的水塔，就足供用水需求。然而，馬達直接抽水用戶通常都集中在同一時段強制抽水，本揚水設備自動避開於尖峰用水時段運轉，本案例地區管網靜水壓大於 0.4 kg/cm^2 的時間比值，每日約 16 小時(如表 2 所佔時間比為 70%)，揚水幫浦於此時段運轉，足以供應該用戶用水需求。

本案例對象倘曾因動水壓過低停機，接續管網靜水壓連續 1~2 日未達 0.5 kg/cm^2 ，抽水機無法恢復啟動而出現缺水。此時，管網靜水壓若尚有 0.40 kg/cm^2 ，必需由人工調整觸動「高水位感測點」應急。因此，為避免造成用戶用水短缺，自來水管網水壓應避免長期不足。

五、結論

- (一)經濟部水利署公布「自來水用戶用水設備標準」第 14 條規定「用戶裝設之抽水機，不得由受水管直接抽水」。本文建議修訂「用戶裝設之抽水機，得自受水管直接抽水，惟應具有有效之消除真空設備及避免抽水機空轉過熱之設備」，有條件允許自來水用戶自受水管直接抽水。
- (二)本揚水控制設備具備價廉穩定的水壓感測元件，除利用進/排氣閥可排除管內積存的空氣或破壞負壓。另外，有一段密閉垂直的短管柱，上方自然積存空氣，管柱內的水位會隨水壓變化，應用空氣壓縮原理，當水位碰觸高水壓感測點，馬達自動恢復正常啟動狀態。
- (三)本揚水設備如同自蓄水池間接抽水，無

負壓污染之風險，續用既有抽水機並採行低水壓自動回流延長運轉時程，可兼顧用水需求及水質安全。另在高水壓時段或地區，兼具節能功效，值得主管能源政策單位修法推廣及自來水事業單位參考。

六、結語

作者於民國 66 年任職北水處，當時有關馬達直抽用戶的調查就開始規劃進行，隨著管網持續改善，馬達直抽導致水質污染案明顯減少，但仍未終止，於退休之際，謹發表本文回饋相關單位及用戶。

參考文獻

- 1.水道施設設計指針(2000年版)，日本水道協會。
- 2.史午康等，供水管網負壓污染防治探討，臺北市政府95年度員工平時自行研究報告，臺北水事業處，95年。
- 3.江清蓮，負壓污染及錯接防制技術探討，第25屆自來水研究發表會論文集，中華民國自來水協會，97年。
- 4.江清蓮等，節能無負壓污染之馬達直接抽水設備改善案例探討，經濟部水利第21期刊，100年12月。
- 5.江清蓮等，降低自來水用戶用水耗能及提升水質安全之探討，106年中華民國自來水會刊36卷第3期。

作者簡介

江清蓮先生

經歷：臺北自來水事業處退休資深基層工程師
專長：淨水處理、水質監控及用戶水質改善

三義交流道至三義減壓池 1000mm 管線潛盾 施工之個案研究

文/簡翊儒、蕭坤城、江東陽

一、緣由

近年來因產業升級及大陸台商回流使得產業用水需求增加，本公司為配合根留臺灣企業加速投資行動方案及因應颱風、地震、乾旱等造成區域供水風險，針對各供水系統間辦理區域備援調度幹管工程，以強化供水韌性降低缺水機率，符合行政院「備援」及「調度」穩定供水策略，滿足區域發展所需。

現階段鯉魚潭北送水量約 6 萬 CMD(山線 4 萬+海線 2 萬)，完成後可增加支援量至 20 萬 CMD(山線 12 萬+海線 8 萬)，其中竹科銅鑼基地需水量為 1.6 萬 CMD，竹南基地需水量為 3.89 萬 CMD，可滿足科學園區及民生的長期用水。

有鑒於此，本公司擬訂新竹科學園區竹南銅鑼基地供水計畫，埋設 $\phi 900\text{mm} \sim \phi 1500\text{mm}$ 送水管線，共計 34.82 公里，計畫經費約 23.5 億元，計畫期程自民國 98 年至民國 113 年。

鯉魚潭淨水場至苗栗系統間之自來水供水設備現已大致建構完成。本工程即屬鯉魚潭水源北送苗栗管路工程之一部分，本工程三義交流道至三義減壓池 1000mm 管線接續工程(潛盾)為鯉魚潭淨水場北送苗栗，全長 34 公里管線最後瓶頸，如圖 1 所示。管路經三義水美街(木雕觀光商圈)為降低施工對交通、環境之衝擊，故計畫採潛盾隧道工法構築。

二、潛盾機型式選擇

(一)工址地形地質及水文概述

本工程位於苗栗縣三義鄉三義交流道附近丘陵區，海拔高度約 300~600m，山脊走向大致為北北東走向，地形大致由南向北傾斜。區域地質分區屬於西部麓山帶，由晚第三紀及第四紀沉積岩組成。計畫工址位於斷層西側紅土礫石堆積層上，現場調查卵礫石粒徑約達 0.2~1.0m 間。經查既有鑽孔資料顯



圖 1 本工程位置圖

示，於本工程路線沿線鑽孔深度(L=25m)均無地下水位存在。為求慎重，於設計階段分別於工區範圍內選定 2 孔(預定出發井及到達井廠區)進行地質鑽探調查，出發井附近地下水位位於約地表下 12m 附近，到達井地下水位則在 40m 以下。經由鑽探資料可以得知紅土礫石層至少約 40m 厚，其間土層 N 值 20~40 之間。再下層為頭嵙山層火炎山相的礫石層，礫石材料主要為堅硬的變質石英砂岩，如圖 2、3 所示。

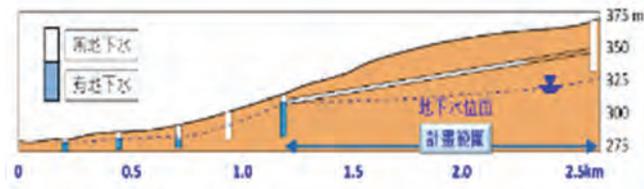


圖 2 地下水分布圖



圖 3 區域岩性分布圖

(二)潛盾機選擇

本工程沿線經三義水美街(木雕觀光商圈)無法佈設推管工法之工作井及明挖工法，因此採用隧道工法。又考慮沿線覆土較淺、道路兩側商家林立，採用潛盾工法較新奧工法(NATM)為佳，故本工程採用潛盾工法施工。

本工址沿線偶遭遇粒徑大於 1m 之巨大

卵礫石，若採密閉式潛盾機，切削刀刃磨損巨大，須經常更換切削刀刃，人員須由潛盾機內出艙處理及地盤改良處理，如須辦理地盤改良，其範圍將座落於車流眾多之台 13 線上，影響當地交通及觀光產業甚鉅。另依設計階段調查成果，本工程潛盾隧道穿越範圍多位於地下水位以上，且地層為礫石層，自立性佳，故經綜合評估，最終採用開放式潛盾機施作。針對本工程所評估不同類型潛盾機適用性比較如圖 4 所示。

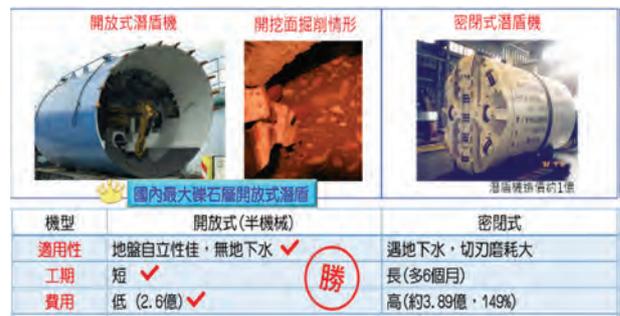


圖 4 潛盾機型式比較圖

三、工作井施工

(一)出發井

本工程出發井(或稱發進井)採內徑 10 公尺圓形壓入式沉箱、開挖深度為路面下 12 公尺、厚 1 公尺之鋼筋混凝土壁體設計。

沉箱開挖後將以油壓千斤頂及地錨方式進行施工，原則每次以下降 3 公尺深做為一次施工循環作業，其施工流程如下：

導溝放樣→刃口定位及及鋼筋組立→鋼筋組立→模版組立→澆置混凝土→混凝土養護→開挖並使沉箱壓入 4 公尺。重複上述施工步驟直到沉箱下沉至設計深度，如圖 5 所示。依據此一施工循環每次約需 17 天，出發井開挖深度 12 公尺共需 3 次循環作業，總共施工時間花費 50 天。

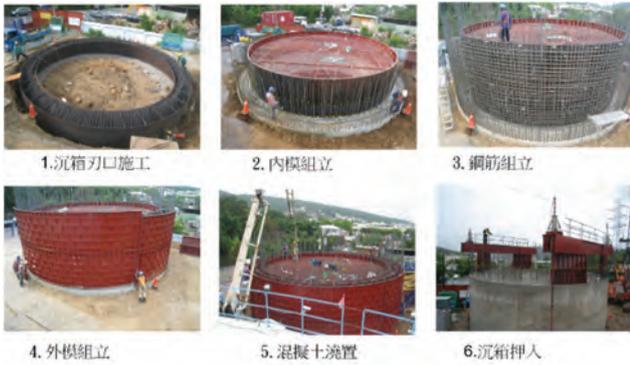


圖 5 沉箱施工步驟圖

(二)到達井

本工程到達井採內徑 8 公尺圓形 RC 結構、厚壁 0.8 公尺，開挖深度為路面下 29m 設計。開挖支撐採圓形鋼襯板輔以 H 型鋼加強環補強及進行背填灌漿，每 3 天約可完成 1.5 公尺，施工時間約共 70 天，如圖 6 所示。



圖 6 鋼襯板施工圖

四、開放式潛盾機施工

本潛盾工程出發井位於自來水減壓池旁，出發後將以半徑 $R=125$ 公尺轉至水美街下，全線爬升坡度為 $0.3\% \sim 2.92\%$ ，沿線潛盾隧道多位於水美街下方，覆土深度約為 10 公尺至 25 公尺，最後再以半徑 $R=500$ 公尺潛盾轉至預定到達井處，如圖 7 所示。潛盾施工作業期間，其掘進時間的檢討對整體工程進度影響甚鉅，因此每日工率的檢討將顯得

特別重要。另當潛盾施工其地質條件有異常變化時或機械與設備無法發揮預期能力時，此時更應能迅速檢討問題與原因及擬定對策，必要時應能立即採取相關配套攢趕措施因應，以維後續工進。



圖 7 本工程位置航照圖

出發井完成後施作地盤改良及試水，後續施作發進台、鏡面框、反力座以及潛盾機、後續台車進場組裝及入坑。接著環片假組立及進入初期掘進。初期掘進約 100~300 公尺後拆除假組立環片進行設備轉換，後續設備台車進入主隧道，開始正式掘進。如圖 8、圖 9 所示。

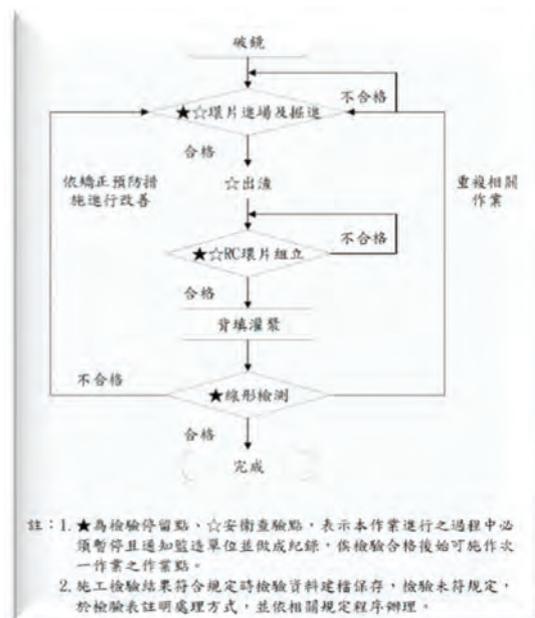


圖 8 開放式潛盾施工流程圖



圖 9 開放式潛盾施工步驟圖

此期間需施作到達井及到達井地盤改良範圍灌漿及試水、到達鏡面一次破除、到達坑口封圈環設置及到達架台組立等工作，待至正式掘進貫通至到達井第二次破鏡，潛盾機出坑、解體並吊離到達井，潛盾開挖作業完成。

五、開放式潛盾機遭遇之困難及解決方法

開放式潛盾施工其因地質條件有異常變化、其他地下管線破漏或道路側溝破損、箱涵漏水造成開挖面抽坍，導致機械與設備無法發揮預期能力時，此時更應能迅速檢討問題與原因及擬定對策，必要時應能立即採取相關配套攢趕措施因應，以維後續工進。

以下針對本工程所採用開放式潛盾機遭遇之困難及其解決方案逐一說明。

(一)開挖面土石坍塌

本工程於潛盾掘進過程中，曾多次遭遇因開挖面土石自立性差或地下水滲流，而造成開挖面土石坍塌。開挖面如遇地下水發生抽坍，解決方法應先於開挖面以砂包堆疊或封板以防落石持續擴大，後於盾首前進行灌漿補強作業後再進行後續開挖，如圖 10 所示。另外需沿線尋找可能造成開挖面出水之因素，如使用透地電阻探查疑似漏水及未來經過區域，可初步了解沿線地質含水情形及並及辦理採取上方路側溝 TV 檢測是否有破損，藉以防堵側溝逕流水可能滲入開挖面之情形。



圖 10 抽坍面封板及灌漿圖

本工程曾於掘進過程中發現因台 13 線路面側溝破損，大量逕流水流入地下，造成開挖面抽坍情形。針對側溝破損處，除報請道路管理單位搶修外，並請施工廠商針對破損點辦理低壓灌漿，增加該區域地盤強度及減少再次滲水情形，詳如圖 11 所示。

(二)開挖面大量出水

地下水位受季節性影響甚大，於旱季施工較不受影響，但若於汛期施工，地下水位可能高過潛盾機，潛盾挖掘易受地下水位影響，故應妥適規畫各施工期程。

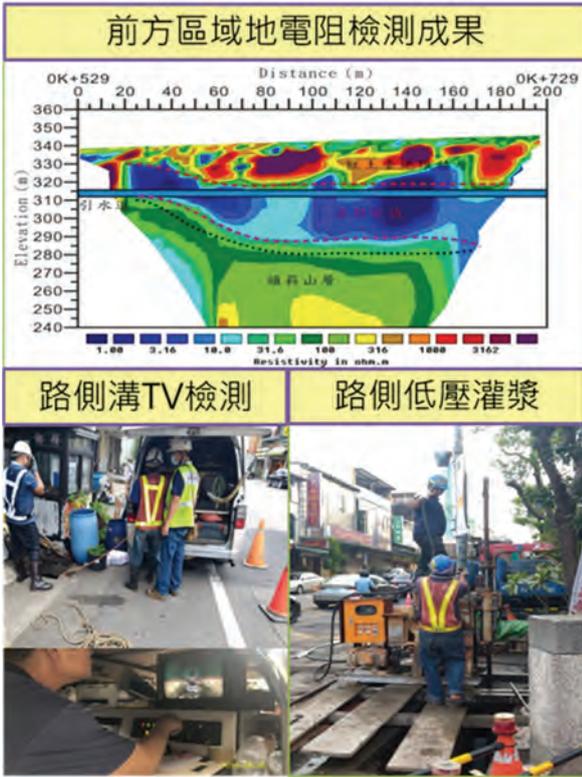


圖 11 前方探查及上方灌漿圖

解決方法為施工前於潛盾掘進路線可能受地下水影響兩側，可規劃每 10m 左右各佈設 1 孔點井，以降低水位至開挖面下並觀察水位變化情形，如圖 12 所示。另應先行以止水灌漿穩定開挖面岩體，再埋以排水管導排地下水並隨時監控開挖面水量變化情形，以評估後續掘進施工工期。

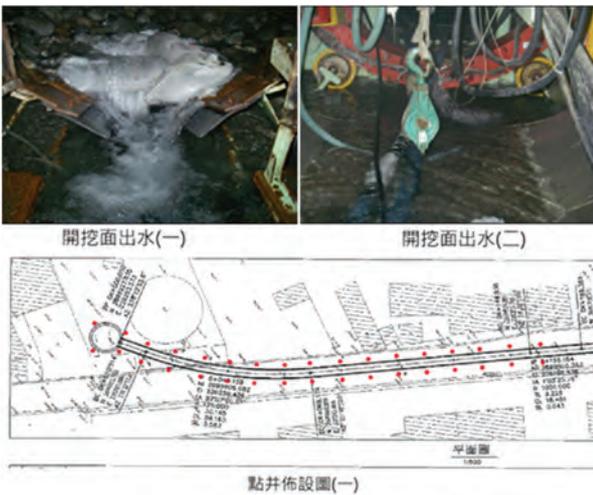


圖 12 開挖面出水及上方點井佈設圖

(三)遭遇大礫石

本工程受限於潛盾機設備限制，所可輸送之開挖面所含礫石為 60 公分以下。惟施工過程中遭遇大於 60 公分之大礫石數量亦不少，故施工廠商除以潛盾機上之挖斗破除外，需再輔以人工鑽孔灌入化學藥劑或敲打楔形塊後劈裂大礫石，再將劈裂後之大礫石運出坑外，如圖 13、14 所示。



圖 13 遭遇大礫石圖

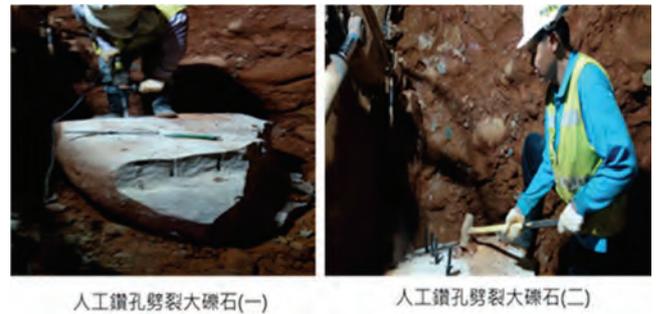


圖 14 人工鑽孔劈裂大石圖

另因前述大於 60 公分礫石分佈狀況較多，本工程施工廠商針對遭遇大礫石所造成之工期延遲，提請工程會辦理履約爭議，最終調解結果針對巨石處理功率如後：礫石粒徑大於 60 公分尚屬工程專業可預判之範圍，但數量之多寡則非締約時所能預期，因此經雙方協調後，遂提出每掘進一環片長度過程中如遭遇 10 顆粒徑 60 公分以上礫石時，則可展延工時 0.96 小時之調解建議。

(四)路面沉陷

本工程沿線經三義著名木雕街商圈，二側商家林立，於潛盾施工中應特別注意路面及兩側房屋之變化，以確保施工安全。

工程施工前應先作建物調查並於房屋裝設傾斜計及路面沉陷釘進行觀測。若於施工中發生路面沉陷，應立即進行回填作業，並隨時觀測路面變化情形以防止災害持續擴大，如圖 15 所示。



圖 15 路面監測及回填圖

為能確保地中無空洞影響安全，回填後應再以儀器(如透地雷達)進行探測並於後續進行結果判讀，如圖 16 所示。進行潛盾施工掘進時，應特別注意每一掘進長度出土量，如有超挖時應加強環片背填灌漿並隨時留意沿線路面之變化。

六、工程成果展現(獲獎肯定)

本工程三義交流道至三義減壓池 1000m/m 管線接續工程(潛盾)代表台灣自來水公司參加勞動部 108 年度「第 13 屆公共工程金安獎」評選，榮獲優等肯定及經濟部 109 年度公共工程優質獎選拔，榮獲「公共工程

優質獎」第二名。並代表經濟部參加行政院「第 20 屆公共工程金質獎」評選，榮獲佳作肯定。



圖 16 透地雷達檢測過程及成果示意圖



圖 17 榮獲「第 13 屆公共工程金安獎」優等



圖 18 榮獲 109 年度「公共工程優質獎」第二名



圖 20 榮獲「第 20 屆公共工程金質獎」佳作

作者簡介

簡翊儒先生

現職：台灣自來水公司中區工程處第三工務所工程
員

專長：土木工程專案管理及監造、工程採購及履約

蕭坤城先生

現職：台灣世曦工程顧問有限公司中區辦事處監造
主任

專長：土木工程專案管理及監造、工程採購及履約

江東陽先生

現職：台灣自來水公司中區工程處第三工務所主任

專長：土木工程專案管理及監造、工程採購及履約

本刊 110 年「每期專題」

期別	主 題	子 題	時程
40 卷 第 2 期	營運管理	1.供水設施營運操作、2.供水系統維護管理 3.管線失效故障分析、4.管線狀況評估、5.降 低無收益水量、6.集水區保育治理、7.緊急應 變及危機管理、8.管網建模及應用。	5 月
40 卷 第 3 期	水質處理	1.飲用水質政策及監管、2.水源水質管理、3. 天然有機物去除處理、4.水安全計畫、5.先進 水質檢測技術、6.新興污染物調查分析處理、 7.水質監測與管理、8.淨水處理藥劑申請應用 及管理。	8 月
40 卷 第 4 期	供水服務	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自 動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5. 節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7. 進階抄表管理系統。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

臺北市防災用水應變作為

文/邱嘉南、陳國駿、陳右稜、曾喜彩

摘要

自來水系統是都市最重要的維生管線，一旦受損，居民生活及工商業活動會受到極大的影響與損失。面對氣候異常變遷，氣候差異性已日漸趨向極端化。如何降低颱風強降雨及地震對市民供水的威脅，是自來水事業課不容緩的工作。

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)針對淨水及輸配水系統，已陸續進行強化措施。對於突發災變造成用戶供水中斷的狀況，則再考量整體應變作為，建立多面項措施，以降低市民的衝擊。規劃目標為 1 公里內可供災民就近取水，且儘量重疊覆蓋服務範圍，以相互支援。至於災時雜用水規劃，則考慮地下水適當開發運用。

北水處陸續設置緊急維生取水站、防災地下水井、開設學校供水站、提供緊急醫療用水、設置機動臨時供水站，確保留存災變後設施及輸配水管中自來水，使市民用水不致中斷。並結合民間資源，簽訂民間水車協助送水契約，緊急狀況時可協請民間業者調派水車協助送水給用戶。

災害無法預期及避免，唯有做好萬全的準備，方可將市民缺水的不便降至最低，減小所造成的衝擊。

一、問題探討

近年來氣候異常快速變遷，風災、豪雨、地震、旱災等規模亦有逐年加劇之趨

勢，氣候差異性已日漸趨向極端化(王興舜，2017)。2015 年 8 月蘇迪勒颱風的強降雨，造成南勢溪上游原水濁度飆高至 39,300NTU，遠超過直潭淨水場最大處理能力，導致需停止取水以避免泥砂淤積造成淨水場癱瘓無法運作(鄭志斌、鄭答振，2017)。雖然原水濁度降低後恢復出水，但用戶因停復水所造成的水濁情形，也造成用戶對北水處的責難。

2016 年高雄美濃地震，造成台南永康區維冠大樓倒塌，強震造成台灣自來水公司(以下稱台水公司)部分管線設備受損，該公司於當天上午宣布曾文溪以南各行政區暫停供水，並提供受災戶臨時取水的地點，影響約 40 萬戶。因故無法立即搶修之永大路災區地下管線，台水公司暫時沿著臺南崑大路鋪設明管供水。同時為了解決學生通行問題，在崑山科技大學校門前架設兩座便橋供學生通行。

自來水系統是都市最重要的維生管線之一，只要功能受損，居民生活及工商業活動會受到極大的影響與損失。北水處轄區位於軟弱土層之臺北盆地，因地震盆地震度放大效應，常易造成埋設於地下之自來水管線，遭受直接損壞或二次災害之可能性(鄭錦澤，詹士旻，張正忠 2018)。再加上大臺北地區道路地下管線眾多且複雜，施作空間有限，更造成維生管線搶修的困難，延宕恢復供水的時效。

為因應原水濁度突增的災變，北水處以「建置流域災害監測預警系統」、「強化取水系統」、「加強清淤作業」及「優化操作策略」等四大面向，積極進行改善。並新修訂淨水處理操作 SOP，明確規定為：當原水濁度 6,000NTU 以下，正常取水；介於 6,000~12,000NTU 之間，減量取水；12,000NTU 以上，停止取水，以迴避原水超高濁度尖峰期，除可避免設備損壞，並可大幅縮短淨水復原時間。

在因應地震災變方面，北水處所轄重要設施已安裝地震儀等偵測設備，並自 95 年起推動「供水管網改善及管理計畫」，計畫在 20 年內，投入超過 200 億元經費，將管線汰換為抗震能力較佳之 DIP (石墨球狀延性鑄鐵管) 及 SSP (不鏽鋼管) 管，更進一步試辦採用具較佳之軸向變位及防脫能力之延性鑄鐵管 NS 型 (New Seismic Type)。自 95 至 108 年總計汰換管線長度 2,173 公里，年平均汰換率 2.49%，每年都超越國際水協會 (IWA) 建議值 1.5% 之標準。

以上係北水處針對淨水及輸配水的強化措施，但是對於突發災變造成用戶供水中斷的狀況，則再考慮應變作為，以降低市民的衝擊。

二、規劃構想

在災後復原階段，不論是等待原水濁度降至淨水場可處理範圍，或是搶修受損設施及管線，都極為曠日廢時。

為能保有災變後設施及輸配水管中自來水，使市民用水不致中斷。配合市府災防政策，依據國家災害防救科技中心針對災時

每人每日需水量 3 公升建議，及參考北水處委託中華顧問工程司辦理「公共設施用地內設置耐震配水池評估案」工作報告等。規劃 1 公里內可供災民就近取水，且儘量重疊覆蓋服務範圍，以相互支援。

至於災時雜用水規劃，臺北盆地早年因過度抽取地下水，造成地層下陷，自 57 年開始全面管制後，地下水開始緩慢回升；依經濟部水利署水利規劃試驗所「臺北盆地備用地下水井規劃」，初估臺北盆地地下水每年約有 1,835 萬噸可運用量，可考慮地下水適當開發運用。故計畫於臺北市 12 座防災公園及 55 所防災學校或附近鄰里公園，以鑽井方式建置防災地下水井，提供緊急防災期間雜用水需求 (依環保署 103 年水質年報，臺北市地下水監測井資料，主要為鐵、錳、氨氮及總有機碳不符合「地下水污染監測標準」第 2 類，及「飲用水水源水質標準」規定，故僅能作為雜用水使用)，規劃原則係每人每日 110 公升，另搭配 2 套移動式淨水設施 (規劃每套每日處理能力為 15 公噸)，可將抽取出來之地下水淨化處理。

三、成果

在北水處全體同仁戮力以赴下，打造災時無間斷的緊急供水設施，提供給市民更廣泛、均勻的緊急取水地點，讓市民在居家範圍 1 公里內都能取用到乾淨的飲用水。並建立系統化管理制度，方便市民得知最近的取水地點。

(一)設置緊急維生取水站

採均勻佈設方式，設置 7 處防災公園維生儲水槽取水站、14 處配水池取水站、24

處送水管取水站，再加上 108 年底完工景勤 2 號公園維生儲水槽取水站，共計 46 處(圖 1 至 4)，可提供約 34.4 萬噸維生飲用水(表 1)。

表 1 緊急取水站

類別	數量
維生儲水槽取水站	8 處
配水池取水站	14 處
送水管取水站	24 處
合計	46 處
儲水容量	34.4 萬噸

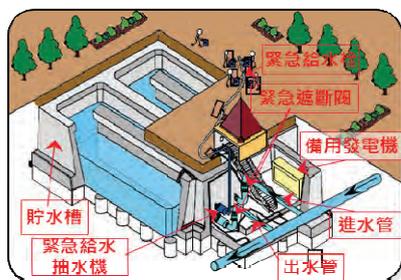


圖 1 鋼筋混凝土維生貯水槽示意圖

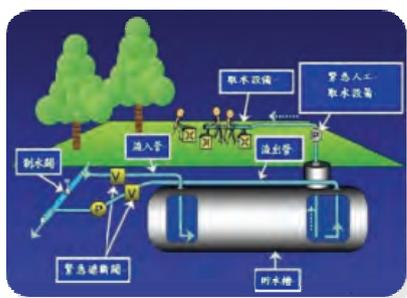


圖 2 管狀維生貯水槽示意圖



圖 3 既有配水池維生取水站示意圖



圖 4 送水管取水站示意圖

(二)防災地下水井

針對災時盥洗、沐浴、清潔及沖廁等雜用水需求部分，105 至 107 年配合市府災防政策，辦理「防災地下水井工程」，於臺北市 12 座防災公園及 55 所防災學校或附近鄰里公園，以鑽井方式抽取地下水供應災時雜用水。108 年再加上景勤 2 號防災公園，共設置 73 口防災地下水井，提供災時雜用水需求，並已設置標示牌以供識別，健全防災體系。

鑽設井管設施後，置入抽水機（電力來源可為市區電力或緊急發電機），並將抽取出之地下水經由輸送管線存放至鄰近高架式貯水槽（容量 2.5 公噸，下方並設有操作器材儲放箱），再由貯水槽配置出水管線，搭配快速接頭供民眾取用(圖 5)。

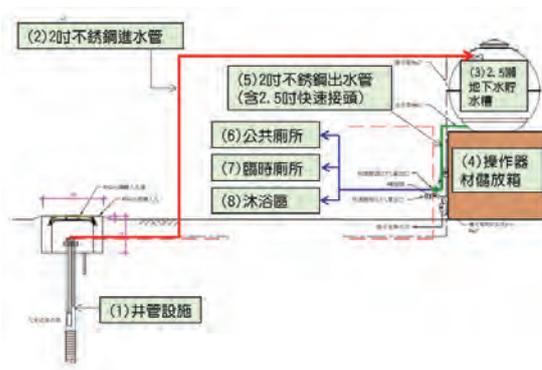


圖 5 防災地下水井示意圖

(三)開設學校供水站

為提供更廣泛緊急取水地點，除原有維生取水設施外，利用學校作為供水站，透過環域分析手法及挑選適合之學校供水站，以達成民眾住家附近 1 公里均有取(供)水站之目標。北水處對於供水站的學校全年水費以 8 折計收，作為補貼學校用水費、動員人力費及管線維護費等相關費用。至 108 年度已完成與 124 所學校簽約，優惠水費經費支出每年已達 600 餘萬。

災前主動通知學校儲至滿水位，發布開設供水站時派員到校引導，有效利用社會資源(圖 6)。

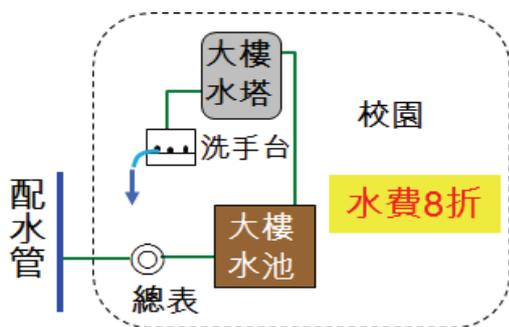


圖 6 學校供水站示意圖

北水處原已設有 46 處緊急取水站及 20 處臨時供水站，加入 124 所學校供水站後，緊急取水點由 66 處增加至 190 處，數量增加逾 3 倍，且取水點更均勻廣佈於臺北市轄區，民眾住家 1 公里範圍均有供水站可提供緊急取水。

(四)提供醫療用水需求

因應緊急醫療用水需求，視狀況開放木柵配水池、中和配水池、內湖配水池、天母平地配水池、大度配水池及天母陽三水等緊急取水點，共計 13 萬噸水量可供醫療用

水取用，並視緊急狀況調派水車支援送水。

(五)其他機動調配設施

1.既有不銹鋼桶 31 只，散存放於各大場站內，例如大同配水池、長興、公館淨水場等，在災害發生時，可由各營業分處就近提取並與里長協商於最適地點設置臨時供水站(圖 7)。



圖 7 臨時供水站示意圖

2.採取供水系統跨區調度、水車動員支援(標案廠商、民間業者、消防水車及軍方等)及請台水公司跨縣市支援等有效且經濟之方式，滿足災害發生時用水需求(表 2)。

表 2 支援送水車明細表

單位	型式	規格	數量(輛)	備註
民間業者	送水車	10 噸	10	桃園以北地區業者
台水公司	送水車	3~11 噸	52	
本府公園處	灑水車	3.5~10 噸	13	限水期可支援 2 輛
本府環保局	洗街車	15 噸	11	限水期可支援 1 輛
本府消防局	水箱消防車 水庫車	1.5~11 噸	168	消防車機動調度至限水區域

(六)宣導

辦理不同階段災害防救緊急應變演練及教育訓練，以提升防災應變能力及熟練相關緊急應變處置流程，加強宣導「平時節水、災前儲水」之觀念(圖 8)。

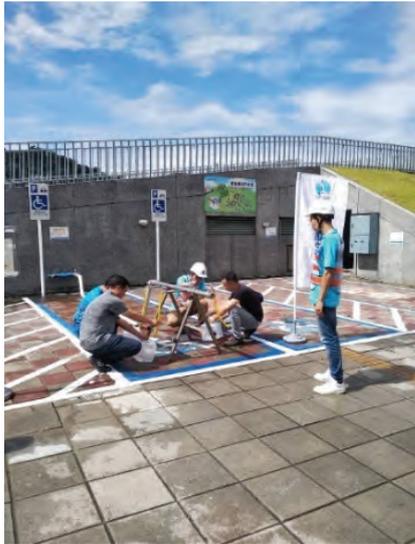


圖 8 結合里民舉行取水站開設演練

官網開設防災資訊專頁，提供市民相關資訊。網站內置入「緊急取水站地圖」，方便市民查詢開設中的緊急取水站，以利就近取用。最新訊息並將拋轉至市府 Opendata 平台，供市府其他機關及市民做加值運用。圖 9 為市府消防局防災資訊網，介接北水處緊急供水站佈設及即時啟用情形。

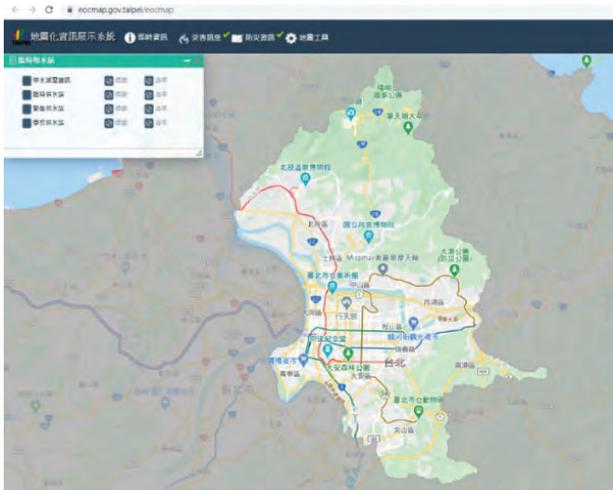


圖 9 防災資訊網地圖化資訊展示系統

以上設施業已完成套疊圖層並標定其服務範圍，並已公布於官網，且介接至消防局防災資訊網。(圖 10 至 13)。

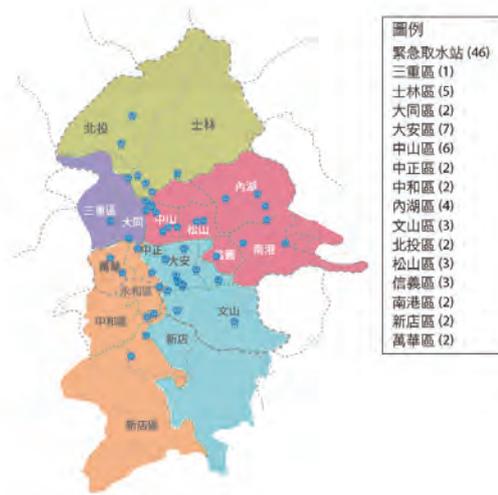


圖 10 緊急取水站分布圖(46 處)

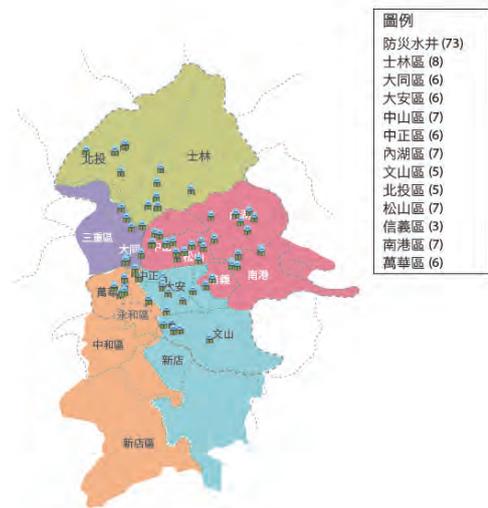


圖 11 防災地下水井分布圖(73 處)

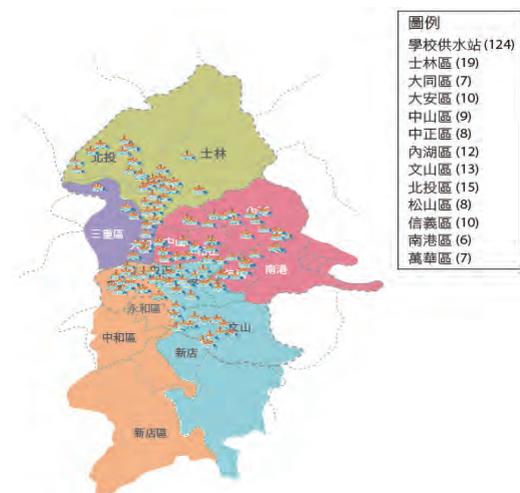


圖 12 學校供水站分布圖(124 處)



圖 13 臨時供水站分布圖(20 處)

四、未來精進作為

(一)翡翠原水管工程

蘇迪勒颱風及杜鵑颱風造成南勢溪濁度飆高，且南勢溪原水濁度高峯及時間，均較以前大幅提高。考量未來發生暴雨及颱風時發生之高濁度狀況，仍將造成大臺北地區供水之危機；另翡翠水庫原水濁度低，如能於暴雨期間只取北勢溪原水且避開南勢溪高濁度原水，則可降低淨水場處理原水之負荷，增加大臺北地區供水穩定及安全。

北水處預定於直潭淨水場至翡翠水庫間設專管取水，經專業顧問公司評估已提出具體建議方案，並經水利專家學者協助檢視確認可行。規劃於翡翠水庫下游北勢溪上增設取水口，設置專管銜接至粗坑堰下游，共用台電粗坑電廠頭水路，銜接至二原輸水幹管。總長度約為 2,766 公尺，經費約 20 億元，工程於 108 年 4 月決標，7 月開工，預估 112 年完工(圖 14)。



圖 14 翡翠原水管工程

(二)增設供水站以縮小服務範圍

面臨天然災害侵襲最嚴重之日本，其東京緊急供水服務方式係採住家周邊 2 公里服務範圍布設(圖 15)。

地震期间的供水设施

-应急供水站-

水道局正致力于推行各种防震措施，如把全部水管更换为抗震水管。此外，如果供水因地震或其他自然灾害而切断，水道局将在“应急供水站”向受影响服务区的居民供水。应急供水站有三种类型：



应急供水站可以通过该标志识别。前往应急供水站取水时请携带盛水容器，如塑胶容器或PET瓶。

(1) 应急供水站 (供水点)

通常在您家周围2公里范围内会设有一个应急供水点。东京都市区共有212个应急供水站(包括净水厂、供水站、应急储水罐*等)。您可以点击下方链接查看离您最近的应急供水站(供水点)的位置。

圖 15 日本東京都地震期間供水設施說明

相形下臺北市目前以 1 公里建置緊急取水站，已較為密集且貼近民眾需求，應尚足以因應緊急供水需求。但在考量人口逐漸老化情形，未來市民至周邊取水能力降低，預先模擬規劃服務範圍從 1 公里內提升至 500 公尺，縮小服務範圍後產生之空缺如附圖 16 所示。



圖 16 模擬各項緊急供水設施服務範圍圖
(設施服務範圍尚有部分覆蓋套疊情形)

為補足空缺區塊，需新增 52 處供水站
搭配原有設施，其 500 公尺服務範圍將如圖
17 所示。



圖 17 規劃新增及既有緊急供水設施服務範圍圖

新增 52 處供水站佈設情形，說明如下：

1. 增設 39 處臨時供水站：

以不銹鋼桶方式布設於政府機關、捷運
出入口處、百貨公司、市場、道路邊處及公
園綠帶。

2. 增加 13 處學校供水站：

學校在災害發生後，其儲水量可考量加
以利用。惟尚需與各學校協調，並尊重其意

願後方可順利推動。另考量財務面，108 年
度原 124 所學校供水站共優惠水費經費支出
每年已達 600 餘萬，再新增 13 所學校估算總
優惠水費將達約 700 萬，本項支出需列入考
量。惟若協調工作不順利，需改以不銹鋼桶
方式臨時供水站因應。

若考量均規畫採用不銹鋼桶之臨時供
水站方式辦理，需設置 52 處不銹鋼桶。本
處原備有之 31 只不銹鋼桶，儲放地點及維
護工作已是沉重負擔；若再增購 21 只，將
再尋覓適當地點儲存及增加維護人員，或可
考量與民間企業簽訂服務或臨時租用契約。

(三) 移動式淨水設施

近幾年發展的移動式淨水設施，設計原
則著重在容易使用、維護、組裝、運輸，可
處理多元化水源種類，包括高濁度原水、地
表水(湖泊、河川、山泉水)、地下水、海水
等。可設置於災區、救難中心或臨建社區等
地，提供乾淨之水源供收容民眾使用，避免
後續環境污染和疫病的產生(圖 18)。

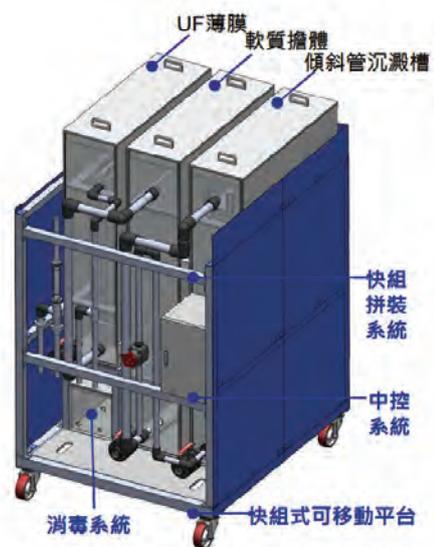


圖 18 移動式淨水設施構造圖

當重大災難發生時，可依需求進行系統

之並聯以擴展供水量，提供當地居民使用。同時具有快速組裝之特點，可移動至有需求處進行緊急淨水與供水。另可與各種運輸方式結合，克服崎嶇不平的道路或於水上快速移動進行服務，於災難緊急救援中扮演重大角色(圖 19、20)。



圖 19 移動式淨水設施



圖 20 移動式淨水設施

結語

臺灣位於亞熱帶颱風盛行區，每年都會遭遇大小颱風肆虐；再加上地處地震帶上，時常大小地震不斷。

政府單位投注在防災、減災及救災的人力及預算不斷增加。考量「政府有限、民力無限」前提下，在有限的政府資源下，若能結合民間資源共同攜手合作，將可降低災害

發生時的損害。以北水處為例，目前已簽訂民間水車協助送水契約，緊急狀況時可協請民間業者調派水車協助送水給用戶。未來可以擴大租用民間不銹鋼水塔，在緊急狀況時可協請民間業者支援，並補貼運至指定地點及收回。

災害無法預期也無法避免，面對無常的災害，唯有做好萬全的準備，方可將損害降至最低，減小所造成的衝擊。

參考文獻

1. 王興舜(2017) “有效提升災害應變停、復水作業效率之方法探討”，自來水會刊第36 卷第2 期，P31
2. 鄭志斌，鄭答振(2017) “颱風期間臺北市學校供水站開設實務探討”，自來水會刊第36 卷第2期，P41
3. 鄭錦澤，詹士旻，張正忠(2018) “從震災應變與風險管理談耐震新管材之實用經驗”，自來水會刊第37 卷第4 期，P29

作者簡介

邱嘉南先生

現職：臺北自來水事業處勞安室工程師

專長：防災、資訊處理

陳國駿先生

現職：臺北自來水事業處供水科工程師

專長：供水調配、防災

陳佑稜先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊工程師

專長：工程規劃、防災

曾喜彩先生

現職：臺北自來水事業處勞安室主任

專長：勞工安全衛生、防災、營業管理

透過信用評等降低自來水事業融資成本之個案研究

文/鍾湘杰、林孟珠

一、前言

依據國營事業管理法第 4 條規定：「國營事業應依照企業方式經營，以事業養事業，以事業發展事業，並力求有盈無虧...。」爰此規定，台灣自來水公司(以下稱台水公司)必須自負盈虧，維持營運上的收支平衡；倘有盈餘再依公司章程 23 條規定：每年度決算後所得盈餘，先彌補以前年度虧損、提列公積，如仍有盈餘時，依股權比例分配盈餘或專案報准列入本公司未分配盈餘。

然而，自來水價格自 83 年迄今已 26 年未合理調整，期間因氣候異常、水源遭受污染、地下水井停抽、原水單價提高、用戶要求供水品質等經營環境變遷，且須承擔諸多政策性任務，諸如配合節約用水政策、無自來水地區供水改善等...，致營運成本逐年上升，水費收入(約佔營業收入 90%)無法抵償成本，給水投資報酬率多為負值(近十年(99 年~108 年)平均為-0.30%，無法自營運取得所需資金，進行固定資產建設改良，必須透過舉債方式取得。

在舉債推動自來水工程以穩定供水之前提下，資金缺口亦越來越大，如何尋求低成本之資金，為健全自來水事業發展必要作為之一。

二、依期間長短區分之融資型態

依據銀行法第 5 條：「銀行依本法辦理

授信，其期限在一年以內者，為短期信用；超過一年而在七年以內者，為中期信用；超過七年者，為長期信用。」另依主計總處公告之「IFRS 各業適用資產負債表科目及編號」對長短期借款之定義為短期借款：凡向銀行或其他機關借入款項（銀行透支除外）償還期限在一年以內屬之；長期借款則係凡向銀行或其他機關借入償還期限超過一年之款項屬之。一般公司會依據資金需求情形，做長短期資金規劃，茲將長短期借款差異比較，如下表：

表 1 短期、長期借款差異比較

資金型態 比較項目	短期借款	長期借款
期間	一年以內	超過一年
利率	較低	較高
用途	購料支出或其他短期資金需求	資本支出
錯置效應	以短(資金)支長(用途)，將面臨資金尚未回收，即須還款，造成周轉不靈	以長(資金)支短(用途)，利息費用高，影響年度損益

台水公司為公用事業，其特性為固定資產投入金額高，回收期間長，故資金籌措宜運用長期借款做為固定資產資金來源，至於平時之營運支出，則透過常年的水費收入；倘臨時性資金缺口或需求再透過短期借款支應短期性需求，才能確保公司資金配置的妥適性。惟資金取得僅透過銀行，來源集中

風險過高，一旦發生銀行評估利率過低或市場銀根趨緊時，則無意願投標，在無法取得其他融資途徑，不得不向利率較高之銀行舉借，對台水公司而言都是潛在的風險。對持有現金的投資人而這，在目前低利率時代，較積極的保守型投資者，除了將資金存放在銀行賺取微薄利息外，亦尋求其他投資機會，在民間資金充裕下，除了傳統的銀行借款外，一般公司亦會透過發行商業本票及發行公司債的方式，以尋求資金來源多樣化(如圖 1)，本次研究就台水公司發行商業本票及公司債可行性做進一步探討。

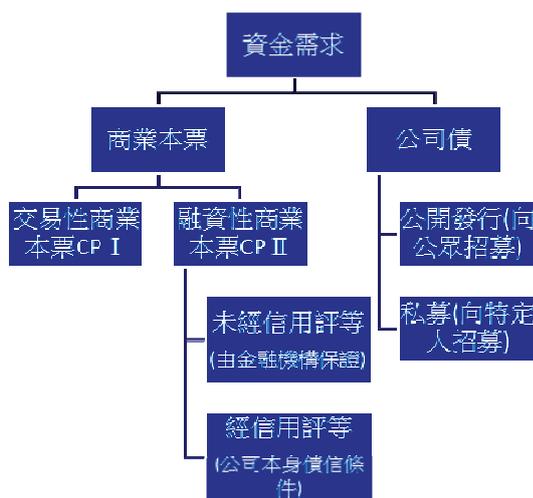


圖 1 透過非銀行借款方式籌措資金

三、商業本票及信用評等概述

(一)類別

商業本票可分為交易性商業本票（CP I）與融資性商業本票（CP II），前者交易性商業本票為因實際交易行為所產生之交易票據，而後者(融資性商業本票)係依法登記之公司組織與政府事業機構為籌集資金所發行之票據，依據「票券金融管理法」第四、五條規定，融資性商業本票之發行人應經信用評等機構之評等，未經信用評等之企

業所發行之商業本票應經已受信用評等機構評等之金融機構保證。

一般企業發行融資性商業本票多經金融機構保證，而台水公司因借款金額大，倘透過金融機構保證發行商業本票，將再繳納一筆大額的「保證手續費」(=發行金額×保證費率×發行天數÷365)，為撙節支出，台水經評估自 109 年起，增加以信用評等(Credit Rating)方式發行商業本票，對於公司較為有利。

(二)信用評等

目前國際間有三家信用評等公司分別為穆迪信用評等公司(Moody's Investors Service)、惠譽國際信用評等公司(Fitch Ratings)及標準普爾信用評等公司(Standard & Poor's)，其中惠譽國際信用評等公司以分公司方式，標準普爾信用評等公司以合資方式成立中華信用評等公司(Taiwan Ratings Corp/S&P Global Ratings，以下簡稱中華信評)在台灣經營信評業務，穆迪信用評等公司則未在台灣經營信評業務，中油之信評是委由惠譽國際信用評等公司，而台電、台糖、台鐵及台水則委由中華信評，故以下係依中華信評之信評架構說明(如圖 2)，以及一般企業個體之主要信用分析(如表 2)。

中華信評對於一般企業個體及受管制公用事業之主要信用分析略有不同(如表 2 及表 3)

高透明度 全球比較性 維持分析判斷

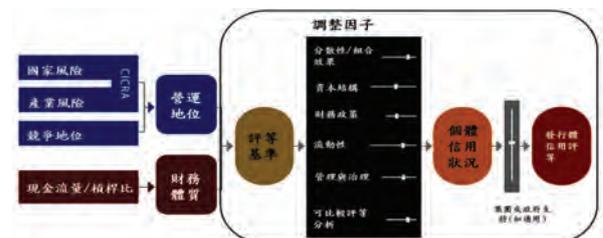


圖 2 標普全球評級－企業評等準則架構

表 2 一般企業個體之主要信用分析要點

評估項目	組成因子
營運地位	國家風險、產業風險、營運地位、經營規模/範圍/多樣性、經營效率、獲利率水準和波動性
財務體質	基於歷史和預測的財務數據及其波動性 主要比率：來自本業之現金流量對總借款比率、總借款對稅息折舊及攤銷前利潤比率。 補充比率：利息保障比率、其他現金流對借款的回收比率。
調整因子	分散性/組合效果、資本結構管理、財務政策的制定與執行、流動性狀況、管理與治理能力，以及可比較評等分析等。

評等基準+財務體質=>評等基準+調整因子=>企業個體信用狀況

- 評等主要基於企業過去兩年的歷史表現和中華信評等委員會對其未來二、三年的前瞻性分析。

表 3 受管制公用事業的主要信用分析要點

業務狀況	主要評等因子
國家風險	企業所處之宏觀經濟體運行情況，以及此經濟體下的行業環境連動性— 分析要素包括政府的經濟政策、經濟週期對行業的影響、金融體系等。
產業風險	受管制公用事業的風險為非常低風險，主要基於： -週期性風險：低風險 -原因自 1950 年以來，營收的平均跌幅為 6%，獲利能力的平均跌幅為 5% -行業競爭與成長風險：非常低風險 -產業進入障礙的有效性：低風險 -產業獲利率的高低與趨勢：低風險 -產品、服務與技術的長期變化與替代性風險：低風險 -成長趨勢風險：低風險
監管優勢	初步評估： .監管機制的穩定性 .水價訂定的程序及其設計 .財務穩定性 .監管機制的獨立性及能否免於政治干預 .調整項：公司的經營策略
經營規模/範圍/多樣性	分析要素：客戶的基數以及集中度、公司服務地區以及監管機關的分布、供應商的集中度
業務風險	主要評等因子
營運效率	分析要素： • 遵守營業執照的規定，包括安全性、可靠性以及環保標準 • 成本控管 • 資本支出：分散性以及管理
獲利能力	主要評估利潤率和利潤率的波動性。 • 利潤率常用指標：主要指標為 EBITDA 利潤率並參考資本報酬率以及股本回報率。
財務風險	主要評等因子
現金流/財務槓桿分析	• 根據財務狀況的波動性，選取相應的財務比率參照表。 • 核心比率：主要考慮自借款 /EBITDA(稅息、折舊及攤銷前利潤)、本業的現金流量 (FFO)/ 借款。 • 補充比率：主要考慮利息保障倍數

對照前揭中華信評對於一般企業個體之主要信用分析，與受管制公用事業二者之評等因子大致相同，亦須評估經營規模、營運效率及獲利能力等項目，惟後者因多屬民生必需品或政府政策支持之產業，故已評定產業風險低，並增加了監管優勢，亦未有一般企業個體之調整因子(無影響)。

(三)發行成本

1.貼現息：商業本票係按面額採貼現方式，以 365 天為計算基礎，依發行當時利率決定，其計算式為：

$$\text{貼現息} = \text{發行面額} - \text{每萬元價格} \times \text{發行面額} \div 1 \text{ 萬}$$

$$\text{每萬元價格} = (1 - \text{貼現率} \times \text{發行天數} \div 365) \times 10,000$$

2.保證費：依據發行人與保證金融機構訂定之保證費率計收保證手續費，其計算式為：
保證費 = 發行金額 × 保證費率 × 發行天數 ÷ 365

3.簽證及承銷費：依據票券公司與發行人議定之費率按票面金額計收費用，其計算式為：

$$\text{簽證費} = \text{發行金額} \times \text{簽證費率} \times \text{發行天數} \div 365$$

$$\text{承銷費} = \text{發行金額} \times \text{承銷費率} \times \text{發行天數} \div 365$$

4.集保交割服務費：依據臺灣集中保管結算所股份有限公司所訂之費率（年率 0.038%），按票面金額以實際發行日數計算，由票券公司代收後，交付臺灣集中保管結算所股份有限公司。

$$\text{交割服務費} = \text{發行金額} \times 0.038\% \times \text{發行天數} \div 365$$

5.信用評等費用：每年約 100 萬元

由於台水無須由金融機構保證，故發行成本 = 貼現息 + 簽證費 + 承銷費 + 集保交割服務費 + 信用評等費用

四、公司債概述

(一)授信評估

依據中華民國銀行公會會員授信準則第 20 條：「辦理授信業務應本安全性、流動性、公益性、收益性及成長性等五項基本原則，並依借款戶、資金用途、償還來源、債權保障及授信展望等五項審核原則核貸之」。其中五項審核原則即一般銀行所稱之授信 5P：1.授信戶(People)、2.資金用途(Purpose)、3.還款來源(Payment)、4.債權保障(Protection)及 5.前景展望(Perspective)，銀行依各授信因素給予量化評等，以作為授信評估，並與公正第三方之信用評等機構評等相比較，再決定是否授予利率及貸放額度。

金融機構關心的是公司債發行者債信是否良好，能否準時還本付息，對於投資者而言，保本性及收益性為投資者所關心，對於風險偏好者(risk taker)而言，收益性高低為其所重視的，保本性次之；相反的，風險厭惡者(risk aversion)，則重視保本的安全性，收益性則次之。

(二)資本資產定價

資本資產(capital asset)指股票、債券等有價證券，可透過「資本資產定價模型」(Capital Asset Pricing Model, CAPM)公式決定資本資產的價格，即在市場均衡時，證券期望報酬率與證券的市場風險(系統性風險)間的線性關係，而市場風險係數是用 β

值來衡量。 β 值越高，系統風險越高，所期望報酬率越高，茲闡釋計算公式及其管理涵義如下。

1.資本資產定價計算公式:

$$E(R_i) = RRF + [E(RMP) - RRF] \beta_i$$

(1) $E(R_i)$ ：資產 i 的理論報酬率，即期望報酬率

(2)RRF (Risk free rate)：無風險利率，可視為公債利率；

(3) β_i ：是資產 i 的系統性風險係數，有正向和負向之分別，一般資產均呈正向。

(4) $E(RMP)$ ：市場期望報酬率 (Expected Market Return)，

(5) $E(RMP) - RRF$ ：風險溢酬 (Market Risk Premium)，即風險貼水

2.管理涵義：

(1)由公式可知，投資標的 i 之報酬率，受 RRF、 β_i 及 $E(RMP) - RRF$ 交互影響，而後二者將視投資者面對風險的態度而定。一般而言，公用事業之 β 值低，觀光業 β 值高； β 值高時，投資人的 $E(RMP)$ 越高， $E(RMP) - RRF$ 越高，所要求的 R_i 越高，當資產 i 的預期報酬率 \geq 理論報酬率 $E(R_i)$ ，投資人將會接受此投資方案，反之則會拒絕。

(2)依 CAPM 之公式推測風險偏好者，將會選擇風險溢酬高、系統性風險係數高之資產，以彌補所承受的高風險，亦即高風險(高收益債券，信用評等較差)之公司債，而風險厭惡者將選擇風險溢酬低、系統性風險係數低之資產，亦即低風險(穩定型債券，信用評等較高)之公司債。

由於台水公司為公營事業，且自來水為民生必需品，受景氣波動影響較小，故倘發行公司債，推估投資者將以保守投資人、金融保險機構等為主，既可保本，亦可賺取較公債略高之利息。

五、台水現況

(一)現行融資管道

台水已逾 26 年未合理調整水價，除費率受限制外，為配合政府政策，須持續投資或更新管線等固定資產，其投資金額大，成本回收期間長，甚至無法回收，增(擴)建自來水工程之資金，仰賴銀行借款支應，致借款餘額逐年提高，幸近年來央行維持低利率政策，利息費用尚稱平穩，但亦高達 5 億~6 億元，如圖 3。

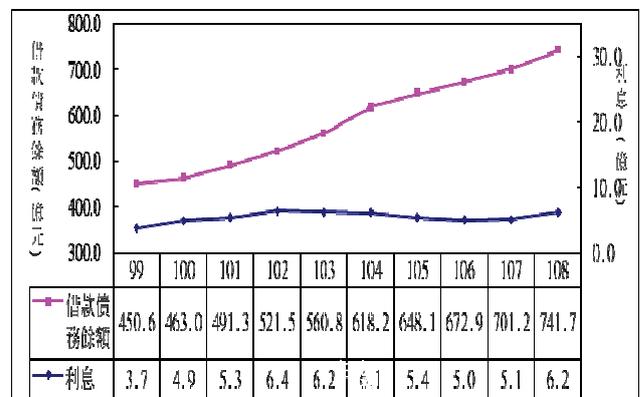


圖 3 台水公司近 10 年(99~108 年)借款餘額及利息費用

由於短期借款(一年期)利率低於長期借款(超過一年以上)利率，為降低利息費用，台水公司雖以公開招標方式，採最低利率者，向各金融機構調度資金，貸款所得資金由總管理處統籌運用，此模式在金融機構資金充裕時，執行上沒有問題，但在資金緊俏時，銀行將傾向利率較高之放款，對於短天

期放款之意願降低，勢必透過降低額度或以較高之利率來因應，使台水公司無法取得需要的額度，或必須接受較高之利率。有鑑於此，台水近年來除以銀行借款方式融通短期資金外，亦積極著手以發行融資性業本票 CP I 融通資金，以降低資金成本。

(二)信用評等

台水公司於 108 年啟動發行融資性商業本票之前作業-信用評等，委託中華信評公司就台水公司(受管制公用事業的主要信用分析要點)審查，並於 109 年 4 月完成信用評等工作；台水公司是台灣唯一售水之國營事業，而「水」占生產成本甚低，但在生產活動中卻扮演著關鍵角色，在民生經濟發展方面，台水公司戮力配合政府各項重大工程，在產業發展方面，完善各產業園區自來水供水工程，以實際行動支持產業建廠或擴廠計劃，降低或消除廠商對供水不穩定之疑慮，惟因台水公司為受管制公用事業，未來水價若在政府政策考量下獲調整，獲利能力將會下降，但因在民生及經濟發展上扮演了關鍵性的角色，政府將會在需要時提供及時財務支持，據此，中華信評依營運地位及財務

表 4 中華信評以營運地位及財務體質評定評等基準

財務體質 營運地位	1(極強健)	2(強健)	3(中等)	4(稍弱)	5(弱)	6(非常弱)
1(優異)	aaa/aa+	aa	a+/a	a-	bbb	bbb-/bb+
2(強健)	aa/aa-	a+/a	a-/bbb+	bbb	bb+	bbb-/bb+
3(令人滿意)	a/a-	bbb+	bbb/bbb-	bbb-/bb+	bb	b+
4(普通)	bbb/bb-	bbb-	bb+	bb	bb-	b
5(弱)	bb+	bb+	bb	bb-	b+	b/b-
6(非常弱)	bb-	bb-	bb-/b+	b+	b	b-

體質評定評等基準(如表 4)，於 109 年 4 月 6 日給予台水「twAAA/twA-1+」評等；展望「穩定」，為該信評機構最佳等級(如表 5)。

表 5 中華信評發行人信用評等等級與標普全球等級對應表

中華信評「tw」等級評等		標普全球評等
短期評等	長期評等	全球等級評等
twA-1+	twAAA	A 及以上
twA-1+	twAA+	A-至 A
twA-1+	twAA	BBB+至 A-
twA-1+	twAA-	BBB 至 BBB+
twA-1	twA+	BBB-至 BBB
twA-1	twA	BB+至 BBB-
twA-2	twA-	BB+
twA-2	twBBB+	BB 至 BB+
twA-2	twBBB	B-至 BB
twA-3	twBBB-	B+至 BB-
twB	twBB+	B+
twB	twBB	B 至 B+
twB	twBB-	B
twB	twB+	B-至 B
twB	twB	B-
twB	twB-	B-
twC	twCCC+	CCC+
twC	twCCC	CCC
twC	twCCC-	CCC-
twC	twCC	CC
twC	twC	C
R	R	R
SD	SD	SD
D	D	D

註：BBB 級以上為投資級債券

(三) 私募公司債程序

1. 台水屬於國營事業，舉債用途為進行固定資產建設改良，依國營事業法第 15 條規定，國營事業經政府核准，得發行指定用途之公司債，不受公司法第 247 條「公司債總額之限制」(擔保及無擔保公司債總額限制)、第 249 條第 2 款「無擔保公司債發行之禁止」(最近三年課稅後之平均淨利未達應負擔年息總額之 150%)及第 250 條第 2 款「公司債發行之禁止」(最近三年課稅後之平均淨利未達應負擔年息總額之 100%)規定之限制，惟其指定用途、年度發行總額，應循預算程，送立法院審議。
2. 由於台水為非公開發行公司僅能採私募公司債，其流程說明如表 6。

表 6 私募公司債流程說明

流程		詳細說明
1	董事會 2/3 出席，出席董事過 1/2 同意發行公司債	依據公司法第 246 條，非公開發行公司私募公司債，須經 2/3 的董事出席且 1/2 的董事同意
2	洽詢特定人及委託券商辦理相關事項	洽詢潛在投資人意願，委託券商辦理相關事宜，亦可請券商協助尋找對象
3	發行公司債	完成前述事項後，即可發行公司債，私募公司債採事後申報制，無須事前向主管機關申報
4	透過網路或書面向主管機關申報	發行後 15 日內需檢附發行相關資料申報，申報方式可選網路申報或書面申報。
5	董事會向股東會報告發行公司債	董事會募集公司債後，須將募集公司債之原因、事由及有關事項，於最近一次股東會時向股東會報告。

六、結論與建議

目前台灣發行公司債者，為信用評等達投資等級的公開發行公司，如中油、台電、鴻海…等(證券櫃檯買賣中心)，其利率均較一般銀行放款利率低。台水公司之信用評等 twAAA(Standard & Poor's)約與台灣的國家評等 AA+(Fitch Ratings, 2017.10.20, 註*)相當，倘發行公司債，因屬非公開發行公司，依據公司法第 248 條第 2 項:「私募之發行公司不以上市、上櫃、公開發行股票之公司為限」，僅能透過私募方式募集，且因無法在公開發行市場(次級市場)交易，缺乏流通性，必須以較高利率吸引投資人購買。

惟發行公司債或商業本票，信用評等愈高，票面利率愈低，目前台水公司雖透過信評以商業本票方式舉借短期資金，考量未來仍可能受利率上升之影響，造成利息費用增加，未來倘可以私募公司方式債，且能洽特定人(如：金融機構)認購公司債，對於投資人而言，可將資金投資於幾乎無風險且利率較高之債券，對於發行人台水公司而言，將因公司債具有以固定利率鎖定長期資金之特點，可避免未來因利率變動造成之利息費用增加，亦可增加資金來源多樣化，屬互蒙其利之策略。

註*：因 Standard & Poor's 對台灣之國家信用評等為 AA-/穩定 /A-1+，係 2010 年之評等，其後年度未再更新，故改用較近年度之 Fitch Ratings <https://www.fitchratings.com/research/zh-tw/sovereigns/aa-20-10-2017>

參考文獻

1. 王朝仕，投資組合管理理論與實戰，第307-313頁，2017。

2. 中華信用評等公司簡報資料。
3. 兆豐票券網站：http://www.megabills.com.tw/service_03.html。
4. 台水公司六年(110~115)經營計畫。
5. 德勤財務顧問股份有限公司，台灣自來水公司發行公司債及融資決策之研究，第108~109頁，106年8月。

作者簡介

鍾湘杰先生

現職：台灣自來水公司第十一區管理處物料課長

專長：物料管理、財務分析

林孟珠女士

現職：台灣自來水公司財務處副處長

專長：企業管理

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。

空間資訊分析法應用於北水處供水管網風險之探討

文/劉治唐、施邦築

一、前言

北水處漏水改善方式，主要以小區計量手法為主，惟仍有小區計量邊界或部分水壓過低地區無法劃分小區地區仍殘留老舊管線，具有極高漏水風險，其管理上容易被忽略，本文搜集北水處近 5 年內漏水資訊，依各種不同管線材質之平均每公里發生漏水件數、管齡等作為管線易漏損性之權重，由於自來水管線係埋設於轄區道路，故本範例係以供水轄區內所有路段、街廓及巷道為單位，運用 ArcGIS 或 Q-GIS 空間資訊分析法之地理運算統計分類功能，評估各街廓內之漏水潛勢，並繪出供水轄區內各路段之漏水潛勢分析圖，可供管線優先汰換之依據；另外對於供水管網地震災害風險分析，藉由 108 年北水處委託由國家地震工程研究中心提供之台北地區土壤液化潛勢及場址效應成果圖^[1]，可用以初步評估可採用耐震管材（如 NS 接頭 DIP 管材）汰換區域分佈圖，提供防災型管線汰換策略之參考。

二、管網漏水脆弱度風險分析

統計近 5 年各類管材之總漏水件數^[2]利用現有圖資^[3]，將轄區內管線年份與材質設定權重，例如年份越大及較易漏水管線材質（如 PB、PVC、CIP、MJP、GIP），分數越高，而權重依風險分析，以 5 年內平均每公里發生漏水次數之比值作為權重 A，並以管齡考量較新設管線漏水率值較低，而年代較久管

線漏水率較高予以調整，並設定為權重 B，如表 1 所示。

表 1 管網漏水脆弱度概略權重比較表

材質	CIP/MJP	DIP	GIP	PB	PVC	SSP	其他
近5年漏水件數	863	191	165	3841	10328	871	273
總長度(km)	377	3138	47	65	739	1209	81
件數/長度	2.29	0.06	3.51	59.09	13.98	0.72	3.37
權重A	38	1	58	971	230	12	55
管齡(年)	10年內	10~20年	20~30年	30年以上			
權重B	0.5	1	2	3			

依北水處管線 GIS 圖資之地理資訊系統匯出 SHP 檔(shapefile)，其包含口徑 75mm 以下給水管及口徑 75mm 以上配水管圖資，以 ArcGIS 地理資訊軟體為例，利用臺北市及新北市之道路中心線圖資，進行空間資訊分析，將漏水潛能套繪道路中心、路寬資料，將管線空間資訊 SHP 檔以 8m 進行環域 (Geoprocessing /Buffer)分析，如圖所示。

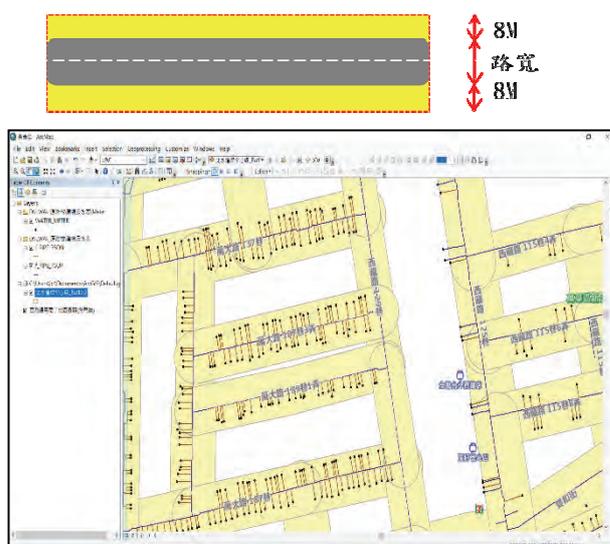


圖 1 以 ArcGIS 空間資訊分析為例-以環域 (Buffer)將路寬外圍之給水管納入分析

本範例以道路中心線之 SHP 檔以路寬加 8m 方式進行環域(Buffer)分析之目的，係為順利將道路外側建築線內之用戶給水管納入漏水潛能分析，利用 ArcGIS 空間資訊分析之地理運算(Geoprocessing) / 交集(intersect)，設定管線資訊 SHP 檔交集環域(Buffer)路段，將北水處數萬條巷道或街廓每個路段不同類型管線權值 $A \cdot B \cdot PL$ (管線長度)，予以加總後，再除以該巷道之巷道長度，得到權重值為 W_i (為該巷道之平均每公尺之漏水潛能值)，若數值較高則代表漏水潛勢較高，反之則漏水潛勢低，其計算方式如下：

$$W_i = \frac{1}{RL_i} \sum_{k=1}^n A_{ik} \cdot B_{ik} \cdot PL_{ik}$$

其中 A_i 為管材權值 A

B_i ：管齡權值 B

PL_i ：管線長度(公尺)

RL_i ：巷道長度(公尺)

n 為某巷道 i 內不同管材管齡類型數

為方便計算並隨時調整權重參數(如材質權重、管齡權重)，可將 ArcGIS 空間資訊分析交集(intersect)後之屬性表單(attribute table)資訊匯出，再以 Excel 樞紐分析進行整合巷道權重運算，並將結果匯回 ArcGIS 用以製作漏水潛勢主題圖。

此外為利製作風險地圖，將所有 W_i 值進行比序正規化為 V_i (該巷道之易漏損性)，並使其數值介於 0~1 之間(數值較高則代表漏水潛勢較高)，其正規化之目的為有利於分類比序佈圖及考量後續其他如災害風險潛勢疊合計算等；利用 ArcGIS 空間

資訊地圖運算，產製以巷道為單位之漏水潛勢圖，漏水潛能圖顏色越深代表漏水潛能值愈高，反之則較低，詳如圖 2 所示。

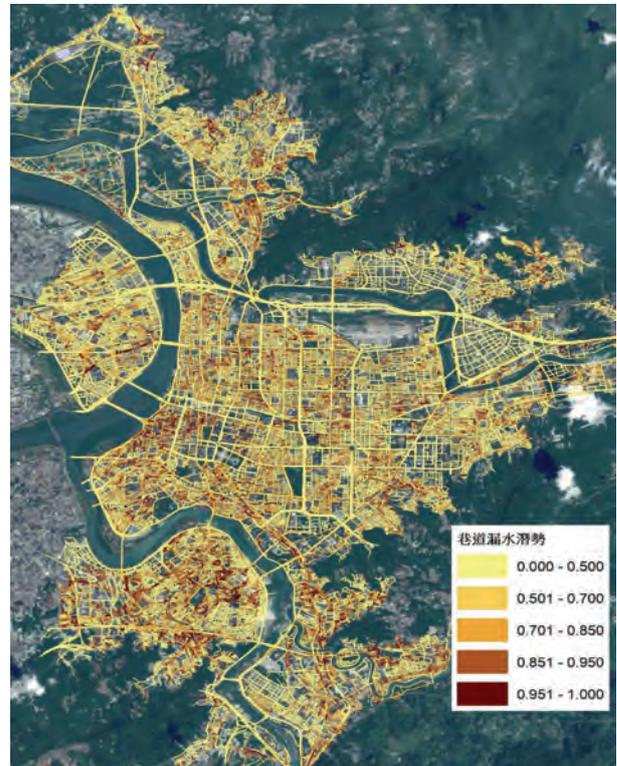


圖 2 利用 ArcGIS 製作路段巷道漏水潛勢圖

三、北水處各分處管線品質探討分析

由圖 2 路段巷道漏水潛勢圖，發現老舊漏水巷道集中於臺北市萬華區、中正區、新北市永和區、中和區、新店區等一帶，依北水處供水轄區內共計 5 個營業分處(包含東區分處、西區分處、南區分處、北區分處、陽明分處)，其中西區分處同時轄管臺北市萬華區、中正區、新北市永和區、中和區及部分新店區，顯示北水處 5 個分處長期以來管線汰換略有不均現象，利用 ArcGIS 空間資訊切割北水處各轄區分處管線，並簡化計算各轄區分處管線品質，計算方式如下式，經計算結果，如表 2 所示。

$$\text{某分處管理品質} = \frac{\sum(L_i \cdot A_i)}{\sum L_i}$$

L_i ：某分處某一管種管線總長

A_i ：某分處某一管種權重

表 2 利用 ArcGIS 空間切割概算各分處管線計算管線品質(數值愈高管線品質愈差)

營業分處	Σ 各種管線長*(權重A)	管線總長	管線品質
	(W)	(L)	(W/L)
東區營業分處	75,988,330	1,652,872	46
西區營業分處	96,029,228	1,586,917	60.5
南區營業分處	86,245,692	1,634,630	52.8
北區營業分處	37,061,415	955,588	38.8
陽明營業分處	57,096,432	1,121,180	50.9



圖 3 北水處各分處管易漏損性及管齡比較圖

利用 ArcGIS 空間資訊分析，將北水處管線依分處範圍予以地理計算切割，以便衡量北水處 5 個分處相對材質品質，為方便計算，切割各分處之管線，不同材質與管線之總長，再以表 1 之(權重 A)*(管線之總長)加總後再除以各不同材質與管線之加總總長得到之數值(數字愈高表示更易漏水損壞)，換言之假設某一分處管線全部均為 SSP 管時，其材質分數為 12 (依表 1，SSP 材質權重 A 為 12)，以及以既有各分處內全部小

區之平均管齡^[3]，發現北水處西區分處不僅是平均管線材質較差為 60.5 分，比較北區分處僅 38.8 分，有所差距，而西區分處平均管齡 23.8 年亦為 5 個分處最高，而北區分處平均管齡僅 19.8 年。

由北水處共計 5 個營業分處，經由漏水潛勢圖顯示各分處管線材質優劣程度略有高低差距，因各轄區範圍大小不一，顯示為多年以來漸漸形成之現象，建議未來可透過相互跨區支援管線汰換，以漸進逐步方式改善各營業分處之管線老舊度差距，以獲得較佳之管線汰換效益。

四、地震災害潛勢分析與耐震管材使用區域評估

從民國 105 年 2 月 6 日發生地震芮氏規模 6.6 之高雄美濃大地震，最大震度為臺南市新化 7 級，並造成台南都會區嚴重之土壤液化現象；2 年後民國 107 年 2 月 5 日花蓮地區發生地震芮氏規模 6.26 之地震，其中花蓮市、宜蘭南澳皆觀測到 7 級震度，除造成大樓倒塌或損壞及人民生命財產重大損失外，亦造成自來水設施之大量嚴重損壞，由於國內延性鑄鐵管大多採用 K 型接頭，僅能承受一般中、小規模地震，而臺北盆地北側邊緣有山腳斷層通過，形成潛在危險因子。

北水處轄區位處台北盆地，由於盆地內有較深厚沖積層，且部分屬砂質地層，經評估分析約有 26.1%屬於中、高度液化潛勢區域[4]，因台北盆地地下水位較高，因此遇大規模地震時，易有土壤液化現象，而較厚而軟弱之沖積層遇地震時易引發放大地表加速度之場址效應。

區之地震災害潛勢分數以 $\alpha * L + \beta * S$ 計算之；其中 α 和 β 為定值，分別代表土壤液化潛勢和地震動場址效應的權重。由於土壤液化潛勢較能反映各地區的差異性，故國震中心建議 α 和 β 分別為 0.7 和 0.3^[1]。

由於國震中心評估供水小區地震災害潛勢方式係各別以 $0.7 * L + 0.3 * S$ 計算 817 個小區之潛勢分數，由於並未將兩種空間資訊圖資進行加權平均疊圖，因此工程人員必須同時考量此兩種圖資，作為耐震管材使用考量依據，頗為不便，為有效評估後續管種是否考慮採用耐震管材（如 NS 接頭 DIP 管材），依國震中心評估地震風險方式方式，係以 $0.7 * L + 0.3 * S$ 進行小區汰換優先次序之評分，因此本文參考國震中心之計算方式，將土壤液化潛勢 L 值與地震動場址效應 S 值，可依下表比序值計算之（如 $L=1/9, 2/9, \dots, 9/9, S=1/10, 2/10, \dots, 10/10$ ），將兩種風險指數(如表 4.1 所示)。

表 3 土壤液化潛勢 L 值與地震動場址效應 S 值之正規化(0~1) (依國震中心成果圖^[1]編修)

土壤液化潛勢(正規化L=0~1)			場址效應(正規化L=0~1)		
Category	Cate_final	L值	AMP_ids	比序	S值
1	極低	0.111	1.2	1	0.1
2	極低	0.222	1.4	2	0.2
3	低	0.333	1.6	3	0.3
4	低	0.444	1.8	4	0.4
5	中	0.556	2	5	0.5
6	中	0.667	2.2	6	0.6
7	高	0.778	2.4	7	0.7
8	極高	0.889	2.6	8	0.8
9	極高	1	2.8	9	0.9
			3	10	1

依表 3 土壤液化潛勢 L 值與地震動場址效應 S 值之正規化，計算地震災害潛勢分數(值介於 0~1)= $0.7 * L + 0.3 * S$ ，以加權平均方

式，利用 ArcGIS 併成一張地震災害風險潛勢圖，如圖 6 所示，惟為便於辨識所在位置，利用 ArcGIS 空間分析將本圖套繪至北水處轄區內所有路段，以利瞭解各路段之地震災害風險潛勢，其顏色愈深代表地震風險潛勢高，如圖 7 所示。

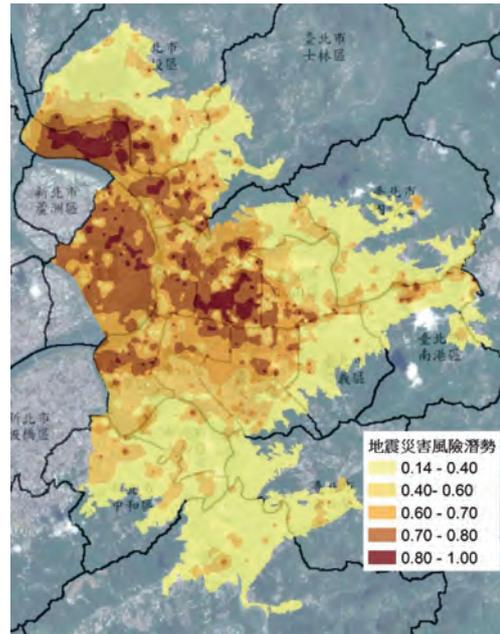


圖 6 利用 ArcGIS 空間分析疊圖成地震災害風險潛勢圖

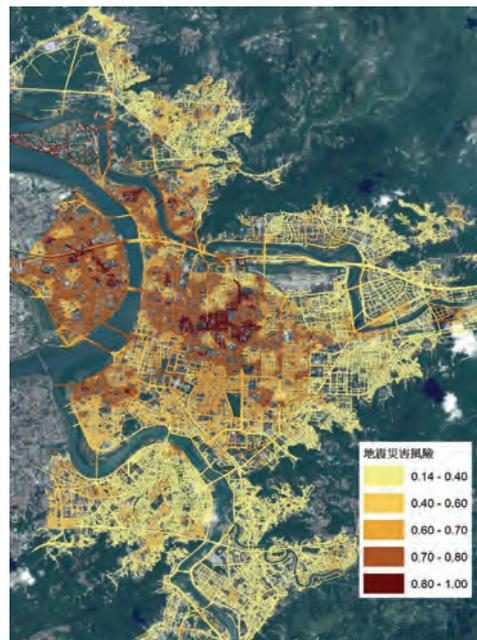


圖 7 地震災害風險潛勢圖(套繪至路段易辨識)

利用 ArcGIS 進行空間分析疊圖，其中上圖顏色最深（表示同時具備高土壤液化潛勢及高場址效應）之地區或路段，於未來進行管線汰換時可考量使用耐震 NS 接頭管材，地震災害潛勢套疊及巷道可找出地震災害最高潛勢地區巷道排名列表，如圖 8 所示。

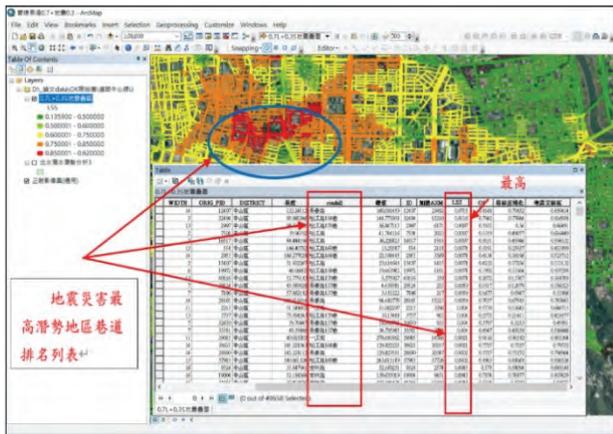


圖 8 地震災害潛勢套疊及巷道可找出地震災害最高潛勢地區巷道排名列表

五、結語

本範例係透過空間資訊分析法作為供水管網風險評估方式之一，利用空間資訊運算統計分類功能繪製漏水潛勢圖，可概估管線弱點之分佈區域，並作為管線弱區老舊巷道汰換優先次序之參考，其漏水潛勢高之地區，亦同時為極佳之汰換效益之區域。

過去施行小區計量大都以全面汰換方式施作，惟全面汰換施作將耗費大量工程預算，造成管線汰換效益降低，並排擠真正漏水潛能較高之地區之改善期程，因此漏水潛勢高之老舊巷道容易被忽略，故施工策略應以管汰後可改善之漏水量為前提下，以優選方式進行管線汰換，以獲得較佳效益。

由於大規模地震可能造成土壤液化災害，加上台北盆地效應及場址效應，可能致

使北水處許多耐震不足之老舊管材嚴重損害，為避免大量供水管線損壞，嚴重影響恢復供水期程以降低災情，以空間資訊加權平均風險作初步概估，製作地震風險潛勢圖，俾利初估使用耐震管材（如 NS 接頭 DIP 管材）之依據，若疊合老舊巷道漏水潛勢圖，可初步評估為防災型管汰優先次序參考。

利用 ArcGIS 或 Q-GIS 空間資訊地理運算統計分類功能用以評估供水管網風險，其可衍生各種不同情境及所需特性下，進行不同手法之風險管理，將各項風險因子輔以適當權重或參數作管理分析，亦可視為另一種大數據分析法，利用多重面向及思惟，可分析製作各種不同類型之主題圖、疊合圖，作為供水管網分析及管理應用上為極佳之工具。

參考文獻

- 1.葉錦勳、劉季宇、范秋屏、陳志欣、於積璿，「建置配水管網地震損害風險地圖」，國家地震工程研究中心，2019。
- 2.臺北自來水事業處，施工資訊及工程管理系统-年度漏水統計。
- 3.臺北自來水事業處Web GIS應用管理系统。
- 4.彭振聲、張凱堯、張正岳，「臺北都會區防減災害探討—以土壤液化潛勢區分析評估為例」，防災的研發與應用專輯，2017。

作者簡介

劉治唐先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處三級工程師
專長：自來水工程設計、小區計量

施邦築先生

現職：國立臺北科技大學土木工程系副教授
專長：結構力學、維生線地震工程、防災體系與資訊

鋼造高架水塔規設之研討

文/曾浩雄

一、背景說明

1960 年當時駐台美援顧問團鑑於高雄市民生用水量共不應求，乃利用美援經費約新台幣五十萬元(當時新台幣五萬元就可在五福路上買一棟三層樓透天厝)，於高雄市苓雅區五福路與光華路交叉口興建乙座鋼造高架水塔如圖 1。其蓄水量為 $3,800\text{m}^3$ ，是為高雄市自來水供水工程之一大建設。

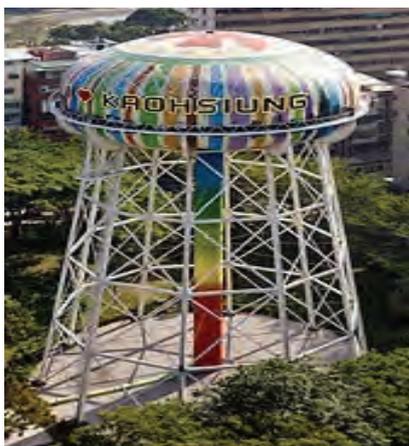


圖 1 高雄市五福路高架水塔圖

但因全區送水管漏水非常嚴重，供水壓力只能維持約 0.5 kgf/cm^2 ，因此水塔建造完成後因水壓不足迄今無法進水。若欲使用，則其上游送水管線及下游配水管線必須全部汰舊換新，其耐壓強度需達 2 kgf/cm^2 以上。但要全面汰換高雄市區之送配水管談何容易，因此將來使用機會仍然非常渺茫。高雄市政府有鑑於此，乃於 2003 年收回水塔土地之使用權，並拆除水塔四周之圍牆，將此地整建為公園。並透過藝術家將自來水塔重新上漆也打上燈光，賦予自來水公園一個新的開始。

當初主管全省自來水工程之機關(前公共工程局)雖然極力反對興建該水塔，但美援顧問團卻堅持要建，還揚言，若不建則全部美援將立刻停止。致使該水塔自建造完成後迄今已 59 年，迄今從未實際蓄水。因決策錯誤所造成鉅額財務上之浪費與損失，確實令人無限惋惜。

二、設置高架水塔之必要性

假設高架水塔送達社區之操作水頭尚有 40m，此時高架水塔之最高水位應維持 $\text{WHL}=40\text{m}$ ， $\text{LWL}=34 \text{ m}$ (有效水深 6m)，若用戶處需要之剩餘動水頭 20m，則高架水塔之最低地位尚有 14m 之水頭。此時絕對不可採用地下式配水池，否則將無形中白白浪費可貴之位能。因為將水輸入地下配水池後，為使用戶獲得足夠之剩餘動水頭(10m)，必須再將流入地下配水池之水量，再藉由抽水機壓送至用戶。如此消失位能後再使用電力提升其位能，殊為不智。

三、水塔之構造

(一)水池尺寸

1. 高架水塔結構如圖 2。
2. 水池直徑 28，水池總高度 = 13.18 m，0.6 m。水池材質採用鋼板，其厚度採用 1.0cm。有效水深 $h=(13.18-0.01*2-0.6)=12.56\text{m}$ ，上半池水深 $h=0.75*12.40=9.42\text{m}$ ；下半池水深 $h=0.25*12.4=3.14\text{m}$ 。上半池池高 = $9.30+0.01+0.6=9.91\text{m}$ (含 1cm 剛板厚度)；下半池高度 = 3.15 m (含 1cm 剛板厚度)。池底至地面之高度 $H=38-13.18=24.82\text{m}$ 。

若曲形梁設在水池底部上方 1.18 m 之處，則曲形梁中心至地面之高度 $h = 38 - 13.18 + 1.18 = 26$ m，每層橫撐之平均垂直高度 $= 26 / 4 = 6.5$ m。

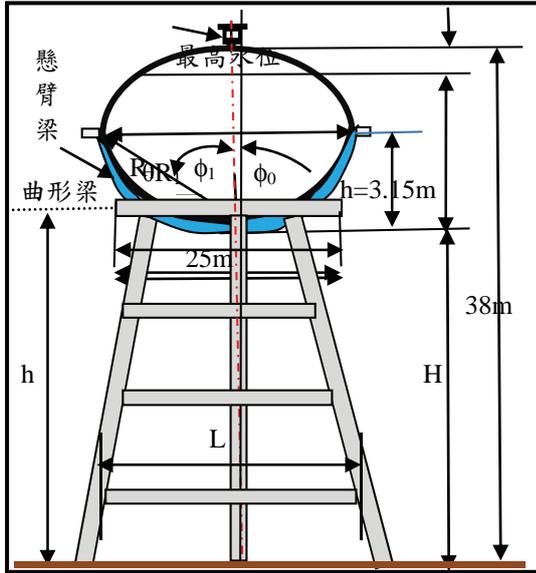


圖 2 高架水塔結構示意圖

3.最下層相對橫撐最大長度 $L = (26 - 6.5) + 2 * 1 / 10 * (26 - 6.5) = 23.4$ m，是為 8 支支柱圓圈之直徑 R ，則其半徑 $r = 11.7$ m。

4.每根支柱之直線距離 $S = 2 * r * \sin \theta / 2$ ----- (1)
 $S = 2 * 11.7 * \sin 45^\circ / 2 = 2 * 11.7 * 0.7071 = 16.6$ m。

5.池頂之曲率半徑 $r^2 = (2R_1 - ha) * ha$ ----- (2)
 即 $14^2 = (2R_1 - 9.91) * 9.91$ ， $R_1 = 14.844$ m。

6.設出水高處之半徑為 r' ，依據上述公式 $r'^2 = (2R_1 - ha) * ha$ ，則 $r' = ((2 * 14.844 - 0.6) * 0.6)^{0.5} = 4.18$ m。池底之曲率半徑 $r^2 = (2R_1 - ha) * ha$ ， $14^2 = (2R_1 - 3.15) * 3.15$ ， $R_1 = 32.69$ m。懸臂梁中心垂直線與其末端之夾角 $\theta = \sin^{-1}(14/32.69) = 25.36^\circ$ 。

(二)有效容量

1.水池為拋物線形球體，其有效(滿池)容量： $V = 1.5708 r^2 * h$ ----- (3)
 式中之 r 為半徑， h 為池高，上半池之體積 $V_{上} = 1.5708 * (14m)^2 * 9.42m = 2900.2m^3$ ，扣除出水高

部份下半池之體積 $V_{出水高} = 1.5708 * (4.18m * 2)^2 * 0.6m = 65.55m^3$ ，上半池體 $2188.5 - 65.55 = 2122.95m^3$ 。

2.下半池之體積 $V_{下} = 1.5708 * (14m)^2 * 3.14 = 966.73m^3$ 。上下池體積合計 $= 2122.95 + 966.73 = 3089.68m^3$ 。

(三)水塔表面積

1.池頂之 $\phi_1 = \sin^{-1}(14 / 14.844) = 70.586^\circ$ ， $\cos 70.586^\circ = 0.3324$ 。池頂中心開孔(1.0m ϕ)， $\phi = \sin^{-1}(0.5/14.844) = 1.93^\circ$ ， $\cos 1.93^\circ = 0.99943$ 其表面積為 $A = 2 \pi R^2 * (\cos \phi_0 - \cos \phi_1)$ ----- (4)
 $= 2 * 3.14 * 14^2 * (0.99943 - 0.3324) = 821.03m^2$ 。

2.下半池之半徑 $= 14m$ ，池頂之曲率半徑 $r^2 = (2R_1 - ha) * ha$ 。 $R_2 = (14^2 + 3.14 * 3.14) / (2 * 3.14) = 32.78$ m。 $\phi_0 = 0^\circ$ ， $\cos 0^\circ = 1$ ， $\phi_1 = \sin^{-1}(14 / 32.78) = 25.28^\circ$ ， $\cos 25.28^\circ = 0.9042$ 。其表面積為 $A = 2 * 3.14 * 14^2 * (1 - 0.9042) = 117.92m^2$ 。

(四)水塔重量

1.池體總表面積 $A = 821.03 + 117.92 = 938.95m^2$ 。池牆鋼板厚度 $= 1$ cm，重量 $W = 7.85 T/m^3 * 0.01m * 938.95m^2 * 1000kg = 73707.58kg$ 。

2.滿池時水體總重量 $= 1 T/m^3 * 3800.148m^3 * 1000kg = 3800148kg$ 。環箍採用 $150mm * 75mm * 6.5mm$ U形鋼，其重量 $= 18.6kg/m * 3.14 * 28m = 1635.31kg$ 。

3.懸臂梁採用 8 支 $200mm / 2$ (從 $200mm$ 至 $0mm$) * $100mm * 5.5mm$ 之細翼 H 形鋼，其長度 $= 3.14 * 2 * R_2 * \theta / 360$ ----- (5)
 $= 3.14 * 2 * 32.69 * 25.36^\circ / 360^\circ = 14.46m$ ，其重量 $= 21.3kg/m * 14.46 * 8 = 2463.98kg$ 。

4.走道欄杆上下桿採用 $2" \phi$ 鋼管 + $1" \phi$ 豎管，其重量 $= 3.477kg/m * 3.14 * (28 + 0.9)m *$

$$2 + 2.6 \text{ kg/m} * 0.8 * 3.14 * (28 + 0.9) \text{ m} / 0.2 = 1574.81 \text{ kg}。$$

5. 走道 4.5mm 厚鋼板重量 = $7.85 * 0.9 * 0.0045 * 3.14 * ((28.02 + 0.9)^2 - 28.02^2) / 4 * 1000 = 1278.95 \text{ kg}。$

6. 支撐走道三角架採用 50 mm * 50 mm * 4 mm 之等邊角鋼，其重量 = $3.06 \text{ kg/m} * (0.9 + 0.5 + 1.03) * 30.02 * 3.14 / 1.5 \text{ m} = 467.3 \text{ kg}。$

7. 曲形梁位於水池底部上方 1.18m 處，其長度依據上述公式 $r^2 = (2 R_2 - h_a) * h_a$ ，則 $r' = ((2 * 32.69 - 1.18) * 1.18)^{0.5} = 8.7 \text{ m}$ 。若採用 100 mm * 100 mm 之四角鋼，其重量 = $0.785 \text{ kg/m} * 2 * 3.14 * 8.7 \text{ m} = 42.9 \text{ kg}。$

8. 支撐架上方水池之總重量 $\Sigma W = 73707.58 + 3800148 + 1635.3 + 2463.98 + 1574.8 + 467.3 + 1483.91 = 3881480.9 \text{ kg}$ 。以 3881500 kg 計。

(五)水塔下方重量

1. 支撐柱採用 8 支 300 mm * 300 mm * 10 mm 之寬翼 H 形鋼，曲形梁高度 = $(38 - 13.18 + 1.18 \text{ (曲形梁上方)} + 0.5 \text{ (伸入基礎)}) * (1 + 1.005 / 10 * 2) = 31.83 \text{ m}$ ，故每支撐柱之重量 = $94 \text{ kg/m} * 31.83 = 2992.02 \text{ kg}$ ，8 支共 $8 * 2992.02 = 23936.2 \text{ kg}。$

2. 橫撐共三層，採用 100 mm * 100 mm * 7 mm 之等邊角鋼，最低層相對應支撐柱之寬度 $B = 8.7 + (26 - 6.5) * 1 / 10 * 2 = 12.6 \text{ m}$ 。三層平均寬度(中間一層) = $(8.7 + 12.6) / 2 = 10.65 \text{ m}$ 。每根橫撐之長度 $L = 2 * r * \sin(45^\circ / 2)$ ----- (8)
式中之 r 為該層之半徑， $L = 2 * (10.65 / 2) * 0.707 = 7.53 \text{ m}$ ，其重量 = $10.7 \text{ kg/m} * 7.53 \text{ m} / \text{支} * 8 \text{ 支} / \text{層} * 3 \text{ 層} = 1933.7 \text{ kg}。$

3. 支撐架上之斜撐採用 150 mm * 100 mm * 6 mm 之中翼 H 形鋼，中間上層之弦長 = $7.53 - (7.53 - 6.5 * 10.05 / 10) = 6.53 \text{ m}$ 。斜杆長 = $(6.53^2 + 6.5^2)^{0.5} = 9.21 \text{ m}$ 。其重量 = $21.1 \text{ kg/m} * 9.21 \text{ m} / \text{支} * 2 * 8 \text{ 支} / \text{層} * 3 \text{ 層} = 9328 \text{ kg}。$

4. 樓梯下桿採用 2.5" ϕ 鋼管 + 欄杆 2" ϕ 欄杆 + 1" ϕ 豎管，其重量 = $2 \text{ 支} * (4.467 + 3.477) \text{ kg/m} * (38 - 14.54) * 2 * 1.02 \text{ (斜率)} + 2.6 \text{ kg/m} * 0.9 * (38 - 14.54) * 1.02 / 0.2 = 1040.35 \text{ kg}。$

5. 曲形梁以下之重量 = $23936.2 + 1933.7 + 9328 + 1040.35 = 36238.3 \text{ kg}$ ，以 36240 kg 計。

6. 活載重原則上以 100 kg/m^2 計，但因水池係拋物性形，維修人員不易在池頂站立，亦不可能大量維修人員上池頂工作，因此承受活載重之面積以 10 m^2 計，就已足夠。依此原則計算，其活荷重 = $100 \text{ kg/m}^2 * 10 \text{ m}^2 = 1000 \text{ kg}$ 。整座高架水塔之總荷重 = $3881500 + 36240 + 1000 = 3918740 \text{ kg}。$

四、各構件之結構設計

(一)長期作用力分析

1. 池牆

(1) 環張力：水塔類似一座拋物性形圓，其上完全封閉，故應是為上下均為固定端。

(2) 根據本人編著之「水池之規劃與設計」^[1] 乙書之第八章所述，池牆承受最大之環張力發生在 $0.6H$ 至 $0.8H$ ，詳如圖 7。其大小 $T = \gamma * h * R / 2$ ----- (6)
 $= 1 \text{ Tf/m}^3 * 0.8 * 7 \text{ m} * 20 \text{ m} / 2 = 56 \text{ T/m}。$

(3) 鋼板因環張力承受之拉應力 = $56 * 10^5 /$

$(100 * 1) = 56000 \text{ kg/cm} > 1400 \text{ kgf/cm}$ ，不 OK，故應加設環箍，若採用 $150 \text{ mm} * 75 \text{ mm} * 6.5 \text{ mm}$ U 形鋼，其斷面積 $A = 23.71 \text{ cm}^2$ ，可承受之拉應力 $= 1400 * 23.71 = 33194 \text{ kg/cm}$ ，而鋼板可承受之拉應力 $= 1400 * 1 * 100 = 14 * 10^4 = 140000 \text{ kg/cm}$ ，合計 $33194 + 140000 = 173194 > 56000 \text{ kgf/cm}$ ，OK。

(4) 根據「結構力學設計手冊」^[2]，底端承受之垂直力矩 $M = \omega * H^2 / 20$ ----- (7)

(5) 鋼板因垂直力矩承受之拉應力 $= M / Z = 171500 / (100 * 1^3 / 32) = 54880 \text{ kg/cm}^2 > 1400 \text{ kgf/cm}$ ，不 OK，故應作加強措施，原則上宜加設懸臂梁。

(6) 懸臂梁若採用 $200 \text{ mm} * 100 \text{ mm} * 5.5 \text{ mm}$ 之細翼 H 形鋼，其 $Z = 1840 \text{ cm}^2$ ，可承受之拉應力 $= 171500 / 1840 = 93.21 \text{ kg/cm} < 14400 \text{ kgf/cm}$ ，OK。

2. 曲形梁

採用曲形梁可將水池完全固定；並將其上方整座水池之重量，轉由支撐柱承擔。若水池直接焊在下方之支撐柱，則當池中滿水時，因其自重或因所承受之地震橫力遠大於支撐柱支橫力，故有被戳破之虞。

(二) 短期作用力

1. 風力

(1) 依據我國氣象局公布之統計資料，高雄地區係屬 200 級區。

(2) $P = q * C * A$ ----- (8)

式中之 P 風壓力以 kg 計。q 為速度壓 (kg/m^2)，C 為風力係數，A 為受風面積。q 之大小因距地面之高低而異，

(3) 受力區及高度受風壓力 (公斤/平方公尺)，200 級區高度在 30m 以下 $q = 250 \text{ kg/m}^2$ ；

$30 \text{ m} \sim 150 \text{ m} = 300 \text{ kg/m}^2$ 。圓形構物之風力係數 = 0.8，中空桁架之風力係數 = 0.65。

(4) 水池承受之風力 $P = 300 \text{ kg/m}^2 * 0.8 * 30 \text{ m} * 15 \text{ m} = 108000 \text{ kg}$ 。支撐架承受之風力 $P = 250 \text{ kg/m}^2 * 0.65 * (8.69 * 2 + 31.02) \text{ m} / 2 * (38 - 15 + 1) \text{ m} / 2 = 47190 \text{ kg}$ 。

(5) 水池承受之風力對支柱底端產生之傾倒力矩 $M_c = 108000 * (15 / 2 + 33) = 4374000 \text{ kg-m}$ 。

(6) 支撐架承受之風力對支柱底端產生之傾倒力矩 $M_c = 47190 * (34 / 2) = 802230 \text{ kg-m}$ 。高架水塔承受風力對支柱底端產生之傾倒力矩合計 $= 24374000 + 802230 = 25176230 \text{ kg-m}$ 。

2. 地震水平力

(1) 構造物因地震所產生應力之計算均依照內政部「建築物耐震設計規範及解說」第二章^[3](靜力分析)之規定辦理。

(2) 建築物因地震所承受之水平橫力 $F = I / 1.4 \alpha_y * (S_{SD} / F_u) * W$ ----- (9)

式中一般各級政府機關辦公廳舍之 $I = 1.25$ (一般建築 $I = 1.0$)，鋼筋混凝土構造之地震力載重因子 α_y 值取 1， S_{SD} 為工址短週期設計水平譜加速度係 $= 1.25 / 1.4 * 1 * 0.25 * W = 0.223 * W$ ，若建址屬於一般地層，則為保守起見宜採用 0.25。水池承受之水平地震橫力 $F = 0.25 * 3881500 = 973075 \text{ kg}$ 。

(3) 曲形梁承受之地震水平橫力 $F = 0.25 * 1482.81 = 370.7 \text{ kg}$ 。支撐架承受之地震水平橫力 $F = 0.25 * 76350 = 19087.5 \text{ kg}$ 。

(4) 水池承受之水平橫力對支柱底端產生之傾倒力矩 $M_c = 970375 * (13.18 / 2 + (38 -$

13.18)) = 30479500 kg-m。

- (5) 支撐架及曲形梁承受之水平地震橫力對支柱底端產生之傾倒力矩 $M_c = 370.7 * 26 + 19087.5 * (26 / 2) = 257776 \text{ kg-m}$ 。
- (6) 高架水塔承受地震力對支柱底端產生之傾倒力矩合計 = $30479500 + 370.7 + 257776 = 30737600 \text{ kg-m}$ 。
- (7) 風力與地震力對支柱底端產生傾倒力矩之比較 $30737600 \text{ kg-m} > 25176230 \text{ kg-m}$ ，因此由地震力控制。
- (8) 支撐架之直徑 R 從 25m 加大至地面之 30.2 m，則支撐柱底端中心點至兩支撐柱連線之垂直距離 $X = 30.2 / 2 * \cos 22.5^\circ = 13.95 \text{ m}$ ，如圖 3。

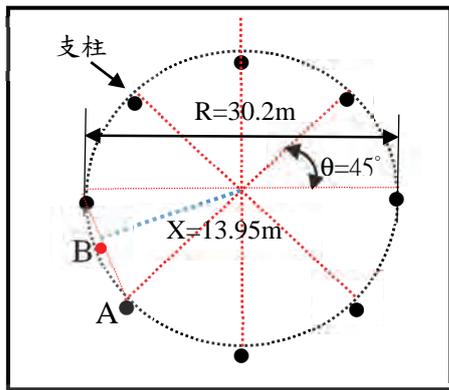


圖 3 支柱抗傾倒力矩之力臂示

- (9) 整座高架水塔最大抗傾倒力矩短在 A 點；最小在 B 點，其值 $M_R = (4561500 + 370.7 + 763500) \text{ kg} * 13.95 \text{ m} = 74288900 > 30737600 \text{ kg-m}$ ，表示抗傾倒力矩大傾倒力矩，故無傾倒之虞。
- (10) 其實整座支撐本身也有傾倒能力。因為其本身之慣性力矩 I 就 = 20400 cm^4 ，而極慣性力矩 $I_p = A * r^2$ ----- (10) = $119.8 * (31.04 / 2)^2 = 28856.27 \text{ cm}^4$ ，因

為 $I_p = I_x + I_y$ ，8 支支柱在 X 向及 Y 向均對稱，因此其 $I_x = I_y = I_p / 2 = 28856.27 \text{ cm}^4 / 2 = 14428.14 \text{ cm}^4$ 。

- (11) 每根支撐承受之拉應力， $\sigma_T = M * y / I = 1061900 * (1 - 0.35) * (30.2 / 2) / (8 * 1488.14) = 875.5 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

3. 地震垂直力

一般垂直震度均取水平震度之半 = $0.25 / 2 = 0.125$ 。垂直地震力 $F = 0.125 * 3918740 = 489842.5 \text{ kg}$ 。

4. 支柱之設計

- (1) 高架水塔由 8 支 300 mm * 300 mm * 10 mm H 形鋼支撐，詳如圖 4。

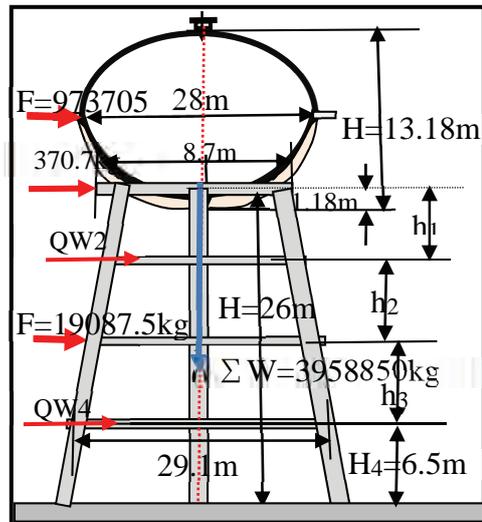


圖 4 高架水塔結構示意圖

- (2) 高架水塔總重 = $492000 + 82000 + 100 * 10$ (活載重以 10 m^2 計) = 575000 kg ，則每一支柱所承受之荷重 $P_y = 575000 / 8 \approx 71875$ ， $P = P_y * 10.05 / 10$ (斜率) = 72234.4 以 72240 kg 計。支柱承受之壓應力 $\sigma_c = P / A = 72240 \text{ kg} / 119.8 \text{ cm}^2 = 603 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。
- (3) 高架水塔承受總地震 $F = 973705 + 370.7 +$

19087.5= 993163 kg。

(4)支柱之承受之剪應力 $\sigma_s = F/A$ ，依照規範，對應地震力時其容許應力可提高 35%， $\sigma_s = 993163 \text{ kg} \cdot (1-35\%) / (8 \text{ 支} \cdot 119.8 \text{ cm}^2/\text{支}) = 673.6 \text{ kg/cm}^2 < 750 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

五、橫撐之設計

(一)根據 Reinforced Concrete Structures^[1]，簡稱書 1，基本上當高架水塔受地震橫力時，其垂直方向必然發生向前傾倒之趨勢，致使橫撐(Brace)因水塔上部之移位而產生剪力、扭力及彎曲力矩如圖 5。

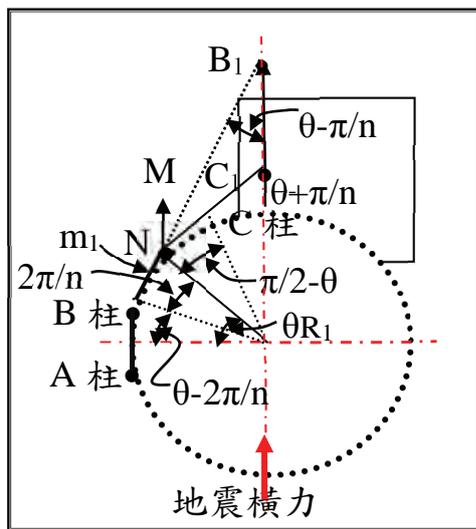


圖 5 橫撐之平面應力分析圖

(二)同樣在水平方向受地震橫力時，也會對支柱之軸心發生一轉角 θ ，其所產生之應力情形如圖 4 所示。

依書 1 所述可知，橫撐之力矩 $m_1 = \tan(\theta + \pi/8) = \cot \theta / 2$ ----- (11)

從而解得 $\theta = 24.8^\circ$ ， $m_{1\max} = (Q_{W4} \cdot h_4 + Q_{W3} \cdot h_3) / (n \cdot \sin(2\pi/n) \cdot \cos 2\theta \cdot \sin(\theta + \pi/n))$ ----- (12)

$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 6.5\text{m}$ ， $Q_{W4} = 0.25 \cdot 10.7 \cdot$

$(10.61 + 11.14 + 12.67 \cdot 2) \cdot 8 = 1007.73 \text{ kg}$
 $Q_{W3} = (11.14 - 6.5 \cdot 1 / 10 \cdot 2) / 11.14 = 890.13 \text{ kg}$ ，
 $m_{1\max} = (1007.73 \cdot 6.5 + 890.13 \cdot 6.5) / (8 \cdot \sin 45^\circ) \cdot \cos 45^\circ \cdot \sin(22.5^\circ + 45^\circ) = (1007.73 \cdot 6.5 + 890.13 \cdot 6.5) / (8 \cdot 0.707) \cdot 0.707 \cdot 0.9239 = 1424.66 \text{ kg-m}$ 。

(三)橫撐承受之拉應力 $\sigma_T = M/Z = 1424.6 \text{ kg-cm} / 17.7 \text{ cm}^3 = 80.49 \text{ kg/cm}^2 < 1440 \text{ kg/m}^2$ ，OK。

六、斜撐之設計

(一)整座高架水塔共有三層斜撐，每層有八組。

(二)中間層相對支柱間距 $L' = 25 \text{ m} + (6.5 \cdot 2) \cdot 2 \cdot 1.05 / 10 = 27.73 \text{ m}$ 。則兩支柱間之直線距離 $S = 27.73 / 2 \cdot 2 \cdot \sin 22.5^\circ = 10.61 \text{ m}$ 。

(三)最下一層及中間層長度之差 $S' = (11.14 - 10.61) / 2 = 0.265 \text{ m}$ 。斜桿長度 $L'' = ((11.14 - 0.265)^2 + 6.5^2)^{0.5} = 12.67 \text{ m}$ 。這樣的組合屬於靜不定結構，詳如圖 6。

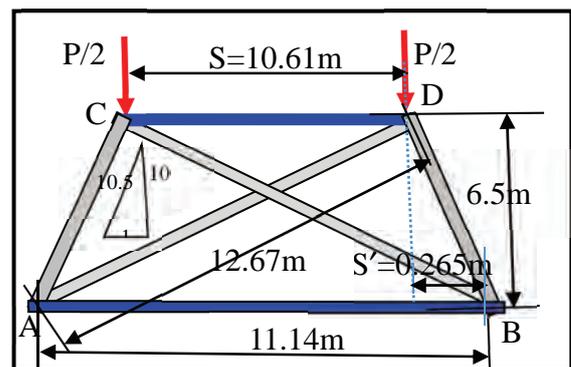


圖 6 斜撐結構示意圖

(四)其應力之分析一般均採用虛功法，及暫時將兩斜杆中一杆(如 CB 杆)拆除。經求得各構件之應力後，再恢復 CB 杆並施以一單位之作用力，(同樣求各構件之應力，前後求得之力以合併，即為各構

件實際承受之應力。最下層及中間層之尺寸。

(五)在節點 C 點只剩 CD 及 CA 杆。在節點 C 點，根據 $F_y=0$ ， $F_{CA} \cdot 10 / 10.05 - 1/2 P = 0$ 。 $F_{CA} = 1/2 P / (10 / 10.05) = 0.5025 P$ 。在節點 A 點，根據 $F_y=0$ ， $F_{CA} \cdot 10 / 10.05 - F_{AD} \cdot 6.5 / 12.67 = 0$ 。 $F_{AD} = 0.5025 P \cdot 0.513 = 0.26 P$ 。

(六)再恢復 CB 杆並施以一單位之作用力， $X_1 = NP$ ，則在節點 C 點上， $F_{CA}' \cdot 10 / 10.05 - N \cdot P \cdot 6.5 / 12.67 = 0$ ， $F_{CA}' \cdot 10 / 10.05 = 0.513 N \cdot P \cdot F_{CA}' = 0.513 / (10/10.05) = 0.516 N \cdot P$ 。

(七)因為 F_{CA} 一定等於 F_{CA}' ，即 $0.5025P = 0.516 N P$ 。 $N = 0.975$ 。 $F_{CA}' = 0.516 \cdot 0.975 P = 0.503 P$ 。

(八)支撐柱承受壓力 = ΣW 扣除最下層支撐柱、橫撐及斜撐之重量，除以 $8 = (3958850 - 763500/4) / 8 = 470998.8 \text{ kg}$ 。

(九) $F_{AC} = 0.503 \cdot 470998.8 \text{ kg} = 236912 \text{ kg}$ 。

(十) $F_{AD} = 0.26 P = 0.26 \cdot 470998.8 \text{ kg} = 122460 \text{ kg}$ 。

(十一) $F_{AD} =$ 承受之壓應力 $\sigma_c = P / A = 122460 / (119.8 / (10 / 10.05)) = 1017.12 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

七、長短期應力之整合

(一)長期應力

1. 垂直向 $F_Y = 3918740 \text{ kg}$ 。換算成斜向作用力 = $391740 \cdot 10.05 / 10 = 393698.7 \text{ kg}$ 。
2. 水平向 $F_X = 393698.7 \cdot 1 / 10 = 39369.87 \text{ kg}$ 。
3. 傾倒力矩：因自重產生之抗傾倒力矩 $M_R = 74288900 \text{ kg-m}$ 。

(二)短期應力

1. 垂直向：因地震力產生之垂直力 = 489842.5 kg 。
2. 水平向：因地震產生之水平力 = $973705 + 370.7 + 19087.5 = 9931632 \text{ kg}$ 。
3. 傾倒力矩：因風力產生之傾倒力矩 $M_C = 25176230 \text{ kg-m}$ ，因地震力產生之傾倒力矩 $M_c = 30737600 \text{ kg-m}$ 。

八、長短期應力之組合

(一)依照規範地震力可折減 35%。

1. 垂直向 $F_Y = 3918740 + 489842.5 \cdot (1 - 35\%) = 4231738 \text{ kg}$ 。
2. 水平向 $F_X = 39369.87 + 9931632 \cdot (1 - 35\%) = 6494931 \text{ kg}$ 。傾倒力矩 = 0。

九、柱底版之設計

(一)支柱

1. 每根支柱承受之垂直重力 = $4231738 \text{ kg} / 8 = 528967.3 \text{ kg}$ ，若直接插入基礎，因為其斷面積只有 119.8 cm^2 故基礎混凝土將承受 = $528967.3 \text{ kg} / 119.8 \text{ cm}^2 = 4415.42 \text{ kg/cm}^2$ 之壓應力，遠大於其容許應力 94.5 kg/cm^2 (採用 210 kgf/cm^2 混凝土)。因此柱底須加大其斷面積至 $528967.3 / 94.5 = 5597.04 \text{ cm}^2$ ，
2. 但實際上完全不可能，因此只好在柱底加設底版，若柱底版長 * 寬 * 厚採用 $75 \text{ cm} \cdot 75 \text{ cm}$ ，則可承受之壓應力 $\sigma_c = 528967.3 \text{ kg} / (75 \cdot 75) = 94.04 < 94.5 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。
3. 柱底鋼板承受之剪應力則 = $528967.3 \text{ kg} / ((30 \cdot 6 + 2) \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm}) = 726.60 < 750 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。
4. 雖然底版可足以承受壓應力及剪應力，但

支柱承受之垂直重力造成混凝土之反力，對底版在支柱邊緣所產生之力矩 $M = \omega \cdot l^2 = 528967.3 \text{ kg} / (75 \cdot 75) \text{ cm}^2 \cdot (75 - 30) \text{ m}^2 / 2 \cdot 75 \text{ cm} = 7141058.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ 。底版承受拉應力 $\sigma_r = M / Z = 7141058.6 \text{ kg}\cdot\text{m} / (75 \cdot 4^3 / 32) = 47607.41 \text{ kg}/\text{cm}^2 >> 1440 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ，不 OK。

5. 因此柱底必須加以處理，若加設 300 mm * 300 mm * 10 mm 之寬翼 H 形鋼，東西兩向(十字型)各 75cm，壓住柱底板，則不至於產生彎矩。
6. 柱底鋼板承受之剪應力可減為 $\sigma_s = 528967.3 \text{ kg} / ((75 + 30) \cdot 8) \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} = 625.73 < 750 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ，OK。

十、基礎

整座高架水塔之總重 = 4321738 kg，若現場土壤承載力 = 10 T/m²，則基礎總面積不得小於 4321738 / 10 / 1000 = 432.17 m²。

(一)腳基礎：若採用正方形，則其長 / 寬 $\geq 432.17^{0.5} = 20.8 \text{ m}^2$ 。

(二)腳基礎加基樁：

1. 單樁垂直承載力，身摩擦極限阻抗 Q_s 之計算，設樁身 0.3m 之臨界深度 $L' = 20 D = 2.0 \cdot 0.30 \text{ m} = 6 \text{ m}$ 。群樁垂直支承力(場鑄混凝土樁)其中心間距大於樁頭直徑之 2.5 倍，且不小於 0.7m 之規定者，其群樁之總支承力為各單樁端點支承力之和，其臨界深度為 20 d。若採用 300 mm 之 PC 樁，樁長 $l = 6 \text{ m}$ ，其臨界深度 = 20 * 0.30 m = 6 m，群樁中心間距 = 2 m，2.5 * 0.3 = 0.75m。
2. 基樁在沙土層中其淨極限承載荷重 Q_u 利用 Meyerhof 基樁公式：設 Q_P 為樁底承載

力； Q_a 樁身表皮磨擦力， $A_b =$ 樁底段面積， $A_s =$ 樁身之表面積， $f_s =$ 樁身之表皮磨擦阻力，混凝土樁磨擦之係數 $\tan \theta = 0.45$ ， $N_q =$ 基底以上之覆土所貢獻之承載力因子，假設 = 50， $f_s = k \cdot l \cdot \tan \theta$ ---- (13)
 若側向土壓係數 $k = 0.95$ ， $f_s = 0.95 \cdot 1.69 \text{ T}/\text{m}^3 \cdot 6 \text{ m} \cdot 0.45 = 4.33 \text{ T}/\text{m}^2$ 。 $Q_P = f_s \cdot q \cdot A_b$ ---- (14)
 $Q_P = f_s \cdot N_q \cdot A_b = 4.33 \text{ T}/\text{m}^2 \cdot 50 \cdot 3.14 \cdot 0.30 \text{ m}^2 / 4 = 15.31 \text{ T}/\text{m}$ 。單樁側向土磨擦力 $Q_a = 4.33 \text{ T}/\text{m}^2 \cdot 6 \cdot 0.30 \cdot 3.14 = 24.47 \text{ T}$ 。基樁之淨極限承載荷重 $Q_u = Q_P + Q_a = 15.31 \text{ T} + 24.47 \text{ T} = 39.78 \text{ T}$ 。安全係數取 2，基樁容許承載力 = 39.78 / 2 = 19.89 T。

3. 依 Concerse Lavarre 之理論，樁群有效率，設樁中心間距為 S ，則樁中心間距 $S = 3 / 2 = 1.5 \text{ m}$ 。 $e = 1 - / 90 \cdot (n - 1) \text{ m} + (m - 1) / (m \cdot n)$ ----- (15)
 $\theta = \tan^{-1}(d / S)$ ----- (16)
 $\theta = \tan^{-1}(0.30 / 3) = 5.7^\circ$ ，樁數 $m = 18$ 支；排數 $n = 5$ 排。 $e = 1 - 5.7^\circ / 90 \cdot ((18 - 1) \cdot 5 + (5 - 1) \cdot 18) / (18 \cdot 5) = 0.89$ 。基礎最大容許承載力 = 19.89 * 0.89 T/m² = 17.0 T/m²，若每座腳基礎打 4 支基樁，則可增加 17.0 * 4 * 8 = 544 T。基礎總面積 $\geq (4321738 / 1000 - 544) / 10 = 377.8 \text{ m}^2 = 19.5 \cdot 19.5 \text{ m}$ ，影響不大，故不宜採用。

(三)腳基礎加地中梁

若加設鋼筋混凝土中梁，其寬度 * 厚度 = 35 cm * 70 cm，8 座支柱一圈長度 $L = 3.14 \cdot 30.2 = 94.83 \text{ m}$ 。可增加承載力 10 T/m² * 0.35 m * 94.83 m = 331.90 T，影響也不大，因此也

不宜採用。

(四)全面基礎打樁加地中梁

1.若將 8 支支柱連成一圓圈，並設整面性基礎，其外徑設為 32 m，則其面積 $A = 3.14 * 32^2 / 4 = 803.84 \text{ m}^2$ ，若打 180 支基樁，則土壤承载力 $= (4231738 / 1000 - 17 * 180) / 803.84 \approx 1.46 \text{ T/m}^2$ 。由於支柱之荷重相當大，由「Reinforced Concrete Structures」^[1]，之表 1 可查得其端點負力矩係數 $C_1 = 0.066$ ；中點正力矩係數 $C_2 = 0.03$ ；端點剪力係數 $C_3 = 0.005$ ，最大扭角 $\phi_m = 9.5^\circ$ ，詳如表 1。

表 1 曲形梁之彎矩及扭矩係數表

柱數	2θ	C_1	C_2	C_3
6	60°	0.089	0.045	0.009
8	45°	0.066	0.003	0.005
12	30°	0.045	0.017	0.002

2.地中梁之寬 * 高 = 35 cm * 70 cm，基礎厚度為 75 cm。支柱之最大負力矩 $= -C_1 * \omega * R^2$ ， $M_0 = -0.066 * 1.46 * (30.2/2)^2 = 21.97 \text{ T-m}$ 。需要鋼筋量 $A_s = 21.97 / (0.0122 * (70 - 7.5)) = 28.81 \text{ cm}^2$ 。若採用 22mm ϕ ，則需要 $28.81 / 3.871 = 7.44$ 根，採用下排 8 根；支柱之最大正力矩 $M_c = 0.03 * 1.46 \text{ T/m}^2 * (30.2/2)^2 = 10 \text{ T-m}$ 。需要鋼筋量 $A_s = 10 / (0.0122 * (70 - 7.5)) = 13.11 \text{ cm}^2$ 。若採用 22mm ϕ ，則需要 $13.11 / 3.871 = 3.39$ 根，採用上排 4 根。支柱之最大剪力 $F_0 = C_3 * \omega * R * \theta$ ， $F_0 = 0.005 * 1.46 * 30.2/2 * \pi / 8 / 180 = 0.028 \text{ kg/cm}^2 < 7.68 \text{ kgf/cm}^2$ ，OK。其所產生之應力圖 12 所示。

根據書 1 附件三之表 3，支柱邊緣徑向

最大力矩 $M_0 = -0.125 * \omega * R^2$ -----(17)
 $M_0 = -0.125 * 1.46 * (30.2/2)^2 = 42.72 \text{ kg/cm}^2$ ，
 需要鋼筋量 $A_s = 42.72 / (0.0122 * (90 - 7.5)) = 42.44 \text{ cm}^2$ 。若採用 25mm ϕ ，則需要 $42.44 / 5.067 = 8.37$ 根，間距 $S = 100 / 8.37 = 11.93$ ，採用 10cm。再據該書支柱邊緣弦向最大力矩 $M_c = 0.075 * \omega * R^2$ ----- (18)
 $= 0.075 * 1.46 * (30.2/2)^2 = 25.63 \text{ kg/cm}^2$ ，需要鋼筋量 $A_s = 25.63 / (0.0122 * (90 - 7.5)) = 40.01 \text{ cm}^2$ 。若採用 25mm ϕ ，則需要 $40.01 / 5.067 = 8.9$ 根，間距 $S = 100 / (13.4/2) = 12.66$ ，採用 12cm。另據書 3， $h / b = 2$ 時，其最大扭矩 $M_T = 0.025 * \omega * R^2 = 0.025 * 1.46 \text{ T/m}^2 * (30.2/2)^2 = 0.025 * 1.46 * 15.1^2 = 8.32 \text{ T-m}$ 。 $\sigma_T = M_T * y / I_p = 8.32 * ((70^2 + 35^2))^{0.5} / 2 / (35 * 70^4 + 70 * 35^4) = 0.0344 \text{ kg/cm}^2$ 。根據書 4 抗扭矩容許應力 $M_{TA} \leq \phi * (1.06 * f_c'^{0.5} * A_{CP}^2 / P_{CP})$ ，式中之 ϕ 為折減率(扭矩 = 0.75)， A_{CP} 為地中梁之斷面積* P_{CP} 為地中梁之四周長，上述求出之值取其上限 55%。
 $M_{TA} = 0.55 * 0.75 * (1.06 * 210^{0.5} * (35 * 70)^2 / ((35 + 70) * 2)) = 241814.8 \text{ kg/cm}^2 > 0.0344 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

十一、高架水塔之安全性

(一)滑動安全係數

- 1.產生滑動之力量為整座高架水塔承受之橫向風力；而阻止滑動之力量有(1)整座高架水塔之重力作用在基礎上，以致混凝土與土壤接觸面之摩擦係數、(2)土壤之被動土壓。
- 2.一般均假定混凝土與土壤接觸面之摩擦係數為 0.5，故池牆基礎之抗滑動力為基礎土

壤表面之正壓力之 0.5(實際數值以工址土壤試驗結果為準)。

3.滑動安全係數之值於計短期應力時應不小於地震橫力所引起滑動力之 1.0 倍。基礎重 = $2.4 * 0.45 * 1.2 * 1.2 \doteq 1555.2 \text{ kg}$ 。

4.假設現場土壤之密度 $\gamma=1.86 \text{ T/m}^3$ ，(1)滿水時，整座高架水塔之總重量 $\Sigma W = 455875.2 + 76400 = 537255 \text{ kg}$ (不計活載重) SF. = $0.5 * (455875.2 + 76400) / (86400 + 213744) = 0.96$ ，不計活載重力時應不小於地震橫力所引起傾倒力土壤阻止滑動之安全係數： $0.5 * ((0.6 - 0.3) * 0.5 * 0.5 + 0.45 * 1.2) = 11502960 \text{ kg-m} / 8848460 \text{ kg-m} = 1.3 > 1.25$ ，OK。

(二)傾倒安全係數

整座高架水塔對地面之抗傾倒力矩= 11502960 kg-m ，對地面之傾倒力矩 8848460 kg-m ，其安全係數 S.F. = $11502960 \text{ kg-m} / 8848460 \text{ kg-m} = 1.3 > 1.25$ ，OK。

(三)下陷安全係數

土壤實際荷重= 1.265 T/m^2 ，而土壤本身之承載力= 10 T/m^2 ，因此下陷安全係數 S.F.= $10/1.265 = 7.9$ ，OK。

(四)上浮安全係數

現場若無地下水，或其水位在基礎以下，則無上浮之虞；若有地下水，假設其水位在地面下 30 cm 處，則其浮力 $B = 1 \text{ T/m}^3 * ((0.6 - 0.3) * 0.5 * 0.5 + 0.45 * 1.2 * 1.2) * 8 * 1000 = 5784 \text{ kg} < (492000 + 82000) = 574000 \text{ kg}$ ，OK。

參考文獻

1.Reinforced Concrete Structures : B.C.Punmia, Ashok K. Jain & Arun K. Jain, Laxmi出版社2003年8月。

2.結構力學設計手冊：清田清司、高須治男原著，江新煌、蔡震邦編譯，1978年7月。

3.建築物耐震設計規範及解說：內政部營建署。

4.建築物基礎構造設計規範：內政部營建署，90年。

5.鋼筋混凝土計算法與實例：蘇棋福編著，有志出版社印行。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境公司技師

專長：自來水工程規劃、設計及施工

香港大浦濾水廠二期擴建工程簡介

文/李丁來

一、香港供水系統概況

香港位於珠江口岸東側，北隔深圳河與深圳相接；西與澳門隔海相望；南臨南海，由香港島、九龍半島、新界（包括大嶼山及 230 餘個大小島嶼）等所組成，面積大約 1100km²，人口大約有 750 萬人，2019/20 年度，總需水量為 357.8 萬 CMD，其中，平均飲用水量為 273 萬 CMD，海水沖廁用水量為 84.8 萬 CMD。每年平均雨量為 2,398.5mm，降雨不均，雨量分布最多是 8 月份，最少是 1 月份。地形分布主要為丘陵，平地較少，集水面積只有陸域面積的 1/3，大部分集水區被劃定為郊野公園，有助於保護環境，集水量年平均大約為 1 億 m³，其中最大年度為 17 億 m³，因為水源流失快速，難以攔蓄，境內的溪流不能提供穩定和足夠的湖泊、河流及充裕地下水水源，實不足以應付龐大的用水需求，而供水問題向來都不易解決。

(一)淡水水源

來自天然集水區的雨水(大約佔淡水水源的 20%)，2019 年約有 2.73 億 m³，只能滿足約 21%的用水需求，因集水量不足以因應飲用水需求，且其波幅極大，為解決每年降雨量不穩定的問題，自 1965 年起，從廣東省經 70 多公里路程輸入東江江水，以滿足用水需求，東江水設計輸水能力達 301 萬 CMD，每年輸水量可達 11 億 m³，(約佔淡水水源的 80%)，香港飲用水供應系統示意如圖 1。

(二)水庫

目前共設有 17 座水庫，其中有大型水庫 5 座，兩個獨立「小聯網」，包括船灣淡水湖、萬宜水庫、下城門水庫可「聯網互通」，水庫總蓄水容量為 5.86 億 m³：

1.陸域主要水庫

大欖湧水庫(1957 年)、石壁水庫(1963 年)、下城門水庫(1965 年)。

2.海域水庫

因天然蓄水地點不足，遂在船灣興建第一座「海域水庫」，前期於 1967 年完成，先在新界吐露港海灣的末端築壩，然後抽出海水而建成，初期容量為 1.7 億 m³，1973 年加高水壩高度，將水庫的容量增至 2.3 億 m³。1978 年建成同類型，但規模更大的萬宜水庫，其容量為 2.81 億 m³，以利儲存從東江引水。

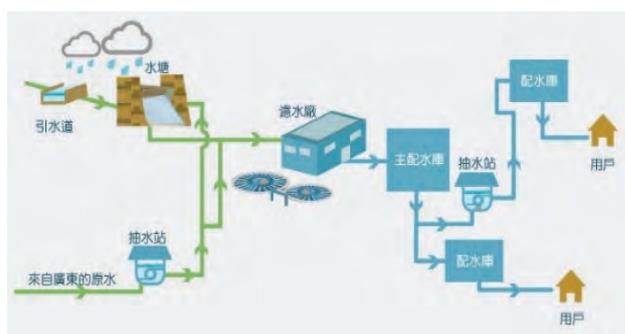


圖 1 香港飲用水供應系統示意

(三)海水供應系統

為解決水源不足問題，水務署於 1950 年率先設立海水供應系統，具有獨立配水幹管、抽水站和配水池，為政府及政府補助的高密度住宅發展計劃供應海水作沖廁用

途，發展至今，已成為世界上廣泛使用海水沖廁的少數地區之一，而在 2019/20 年，每日平均海水供水量約達 84.8 萬 m³，為香港每年節省逾 3.13 億 m³的水，相當於 24%的總用水量，如圖 2 香港海水供應系統示意。

(四)香港供水系統

香港的供水係由香港特別行政區政府發展局轄下的水務署（Water Supplies Department, WSD）負責，職司供水及配水系統的規劃、建造、運作和維修保養，轄下設有客戶服務科、發展科、機械及電機科、設計及建設科、運作科和財務及資

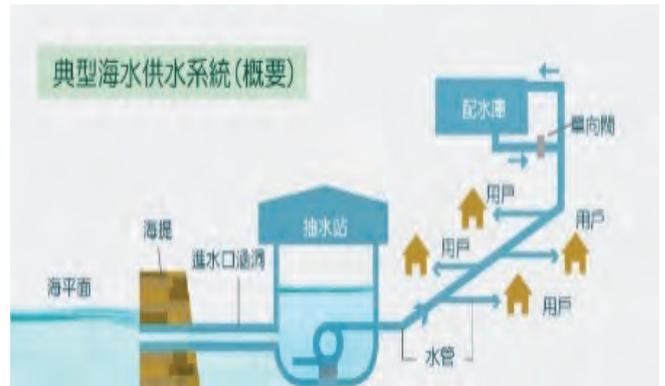


圖 2 香港海水供應系統示意

訊科技科等，各科下亦設有多組負責管理、維修和保養水務設施，供水設施詳表 1，供水系統詳圖 3。

表 1 香港水務設施要項

項別	數量/名稱	數量	
供水	人口(萬人)	750	
	戶數(戶)	住宅	2, 771, 850
		商業	251, 331
		政府	13, 411
		沖廁用水	39, 167
		其他	2, 078
	合計	3, 077, 837	
	普及率(%)	超過 99. 99	
水庫(百萬m ³)	17個	586. 05	
淨水場(萬CMD)	20座	468	
抽水站/泵房 (裝機容量, 百萬m ³)	151座(飲用水)	32. 14	
	35座(海水)	2. 09	
	7座(飲用水及海水併計)	0. 30	
配水池 (百萬m ³)	178座(飲用水)	4. 35	
	54座(海水)	0. 26	
管道設施 (含海底管線, 公里)	飲用水管(φ20mm - 2, 400mm)	7, 016	
	海水水管(φ20mm- 1, 200mm)	1, 800	
	引水道	120	
	輸水隧道	199	
主要水庫 (百萬m ³)	萬宜	281. 12	
	船灣	229. 73	
	石壁	24. 46	
	大欖涌	20. 49	
主要淨水場 (萬CMD)	沙田	60	
	北港	80	
	大埔	80	
	屯門	37	
	凹頭	33	
	荃灣	32	
	油柑頭	25	
	馬鞍山	23	
	牛潭尾	23	



圖 3 香港主要供水系統

(五)香港飲用水水質要求

香港供應的飲用水水質係符合具權威性、科學化，並以證據為本的世衛《準則》及現時多個發達國家均參考《準則》來監控飲用水水質。2017 年 9 月，推出「提升香港食水安全行動計劃」，政府聘任專家顧問，研究世衛和歐盟及七個海外國家（即英國、美國、加拿大、澳洲、新加坡、紐西蘭和日本）在訂立飲用水標準方面的策略、理據和做法。專家顧問檢視了世衛準則所列的十二項金屬檢測項目。參考了專家顧問的研究結果並諮詢了由香港發展局委任的「飲用水安全國際專家小組」，採用世衛準則中的相關準則值或暫定準則值，作為這些金屬檢測項目的香港飲用水標準。另外，專家顧問亦檢視世衛準則內餘下的檢測項目。在完成有關檢視前，亦已採用世衛準則的相關準則值或暫定準則值作為這些檢測項目的香港飲用水標準。此外，香港政府正根據世衛準則收

集香港水質數據以檢討飲用水標準，包括是否適宜為一些參數訂立超越世衛準則的標準（「WHO+」），並適時進行檢討，以考慮是否有需要將更多檢測項目，業訂定 92 項標準：金屬（12 項）、農藥（33 項）、消毒劑（3 項）、消毒副產品（14 項）、無機化學物（3 項）、有機化學物（24 項）、微生物（1 項）、輻射（2 項）。另未納入標準，但納入監測之觀感、物理、化學及微生物等 19 項指標：如濁度、鐵、鋁、錳、總大腸桿菌群、隱孢子蟲、梨形鞭毛蟲等。

二、大埔濾水廠(Tai Po Water Treatment Works)二期擴建計畫

(一)大埔濾水廠簡介

大埔濾水廠位處大埔西面山地，南靠石屋仔，隱沒於羣山之中，西面為社山。為大埔濾水廠供水計劃（Tai Po Water Scheme）的一部分，自 1998 年動工，至 2003 年完工，供應大埔及九龍半島東面的飲用水，佔全港

總飲用水需求的 15%，投資金額約為港幣 35 億，原設計的處理能力為 25 萬 CMD，實際的處理能力為 40 萬 CMD，其處理流程如圖 4 典型香港濾水廠處理流程。

為加強整體供水系統的彈性和可靠性，乃自 2013 年進行二期擴建工程，出水量增加 40 萬 CMD，至 2018 年完工，投資金額約為港幣 61.76 億元，總出水能力擴充至 80 萬 CMD，新增飲用水供應區，包括大埔、九龍中部和西部以及香港島中西區等，可供應人口增長和發展所增加的用水需求，以及分擔沙田濾水廠部分供水負荷，讓其南廠可進行原址重置濾水設施。

(二)大浦濾水廠二期擴建計畫概述

大浦濾水廠擴建計畫採用了許多創新

的設計方案，在設施的設計和運作方面，將各種綠色和可持續性特徵 (如圖 5)整合至新舊建築物中，以優化濾水廠營運。通過採用這些最佳實踐，大浦濾水廠被公認為綠色基礎設施，其工程設計具有以下的特點：

1.善用空間

(1)挑戰

佔地面積小 (10 公頃，僅為海洋公園面積的十分之一)，但其最終設計的供水量為 120 萬 CMD (大約佔全香港 45%的用水量)。

(2)方案

採用佔地較小的淨水處理技術，包括溶解空氣浮除技術、多層式廠房內設置層疊式多重濾水處理設備。

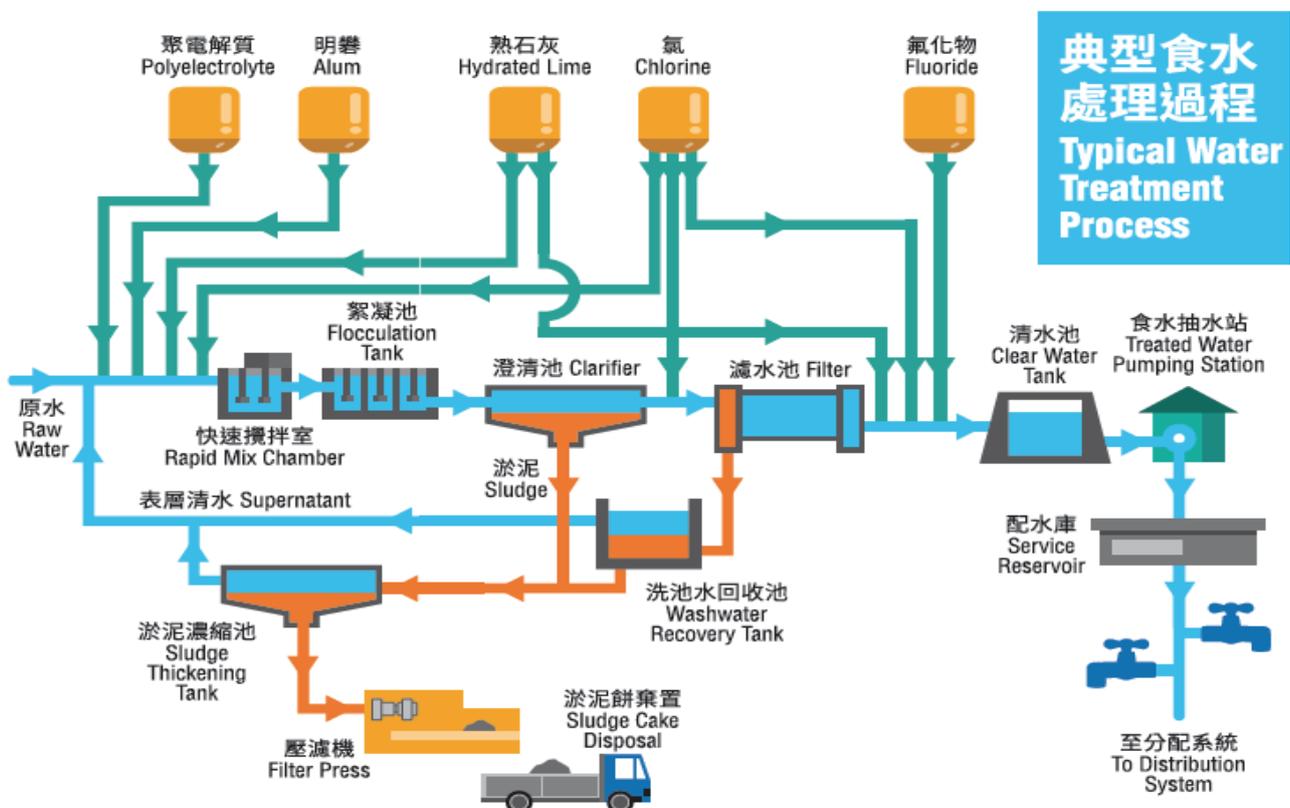


圖 4 典型香港濾水廠處理流程



圖 5 大埔濾水廠之創新及可持續發展特徵

2. 零排放

大埔濾水廠是水務署其中一間達到污水零排放的濾水廠，為善用珍貴的水資源及減少對環境的影響，濾水過程中產生的廢水經處理後，送返濾水廠的進水口作原水利用，使 99.7%的原水都能變成優質飲用水，而剩餘的 0.3%原水則包含在濾水過程中產生的淤泥內，將之用作廠內綠化和種植上，使整個淨水處理程式達到「污水零排放」。

3. 雨水收集系統

大埔濾水廠設有雨水收集系統。雨水經收集及適當處理後會用作灌溉和沖廁用途。

4. 水樣本回用

濾水廠定時在不同濾水過程中，抽取水樣本進行測試，以確保經處理後的飲用水水質符合世界衛生組織所建議《飲用水水質準則》的嚴格標準。測試後的水樣本，部份會混入原水重新處理，部份會用於其他用途，以確保善用廠內的水資源。

5. 太陽能發電

大埔濾水廠將安裝一套 200 千瓦的太陽能發電系統，將產生的電力供應給廠內設施

使用。

6. 綠化環境

大埔濾水廠擁有 30%綠化面積，種植了一系列本地原生植物，令整體外觀與周邊自然環境融為一體。

7. 優化能源效益

大埔濾水廠選用的濾水技術、抽水系統、通風照明和機電設備均經過仔細挑選，以達到良好的能源效益。

8. 強化水質檢測能力

大埔濾水廠水質檢驗室是香港實驗所認可計劃（HOKLAS）認可的實驗室，在不同的處理階段均密切監控水質，以確保處理後的水質完全符合《香港飲用水標準》。增設水務署開發的專利系統～生物傳感預警系統，利用與人類基因極接近的斑馬魚（Zebrafish），作為水質監測的夥伴，連續監測進入水處理廠的原水水質。

9. 採用建築資訊模擬（BIM）技術

為不影響飲用水供應，擴建工程必須在不影響其現有運作的情況下進行。由於工程要在現有設施之間興建新的設施，可使用工

地範圍非常有限，故各個建築工序都要小心策劃和安排，工程團隊遂利用建築資訊模擬（BIM）技術，在虛擬環境中進行設計和建造工作，預先模擬新水管的走線和制定施工次序，避免影響毗鄰設施，並提升工程效率。

10.其他特色－現場臭氧及氯氣生產設施

(1)挑戰

由於香港沒有氯氣供應商，大埔廠係從

中國進口液氯以維持日常飲用水消毒作業，面臨運送液態氯途中的潛在洩漏風險及貯存液態氯的潛在洩漏風險(如圖 6)。

(2)解決方案

a.增設現場臭氧生產設施

先進和高效的消毒技術，可減少約 30% 的氯消耗量，提升飲用水水質(如圖 7)。

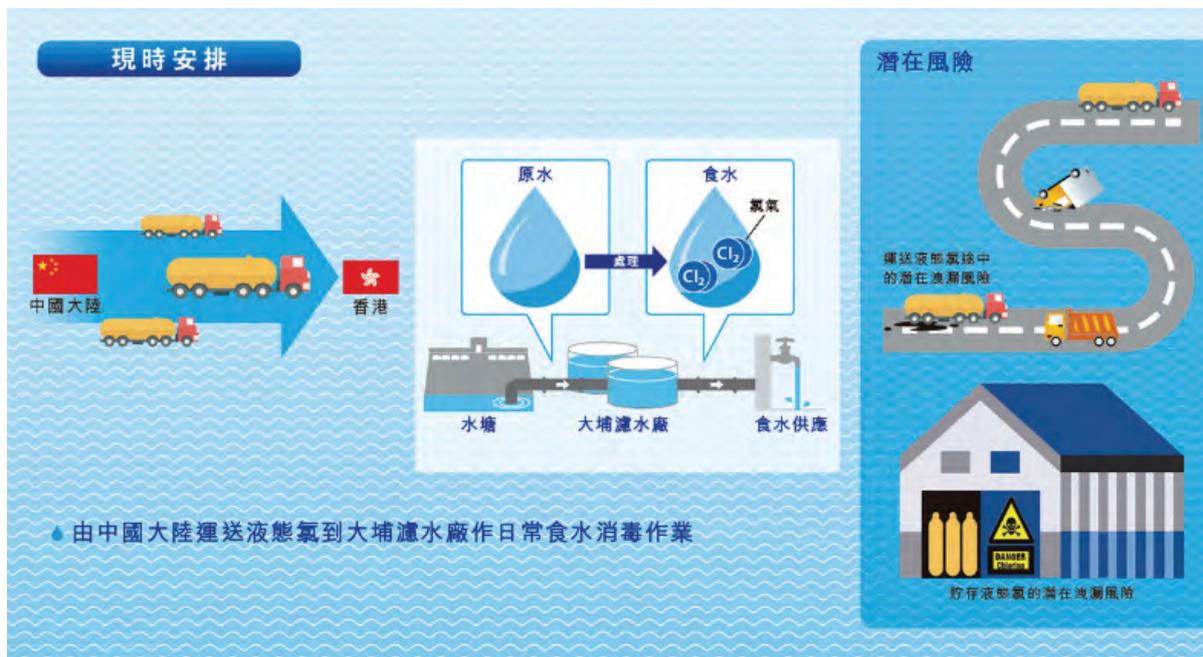


圖 6 大埔濾水廠從中國進口液氯維持飲用水消毒作業之風險

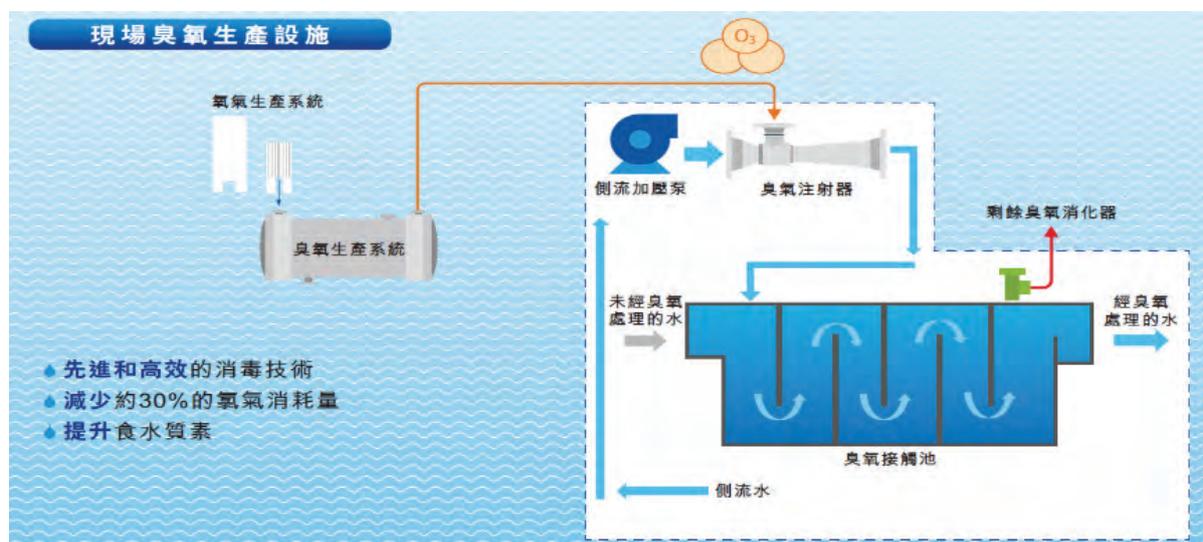


圖 7 大埔濾水廠增設現場臭氧生產設施

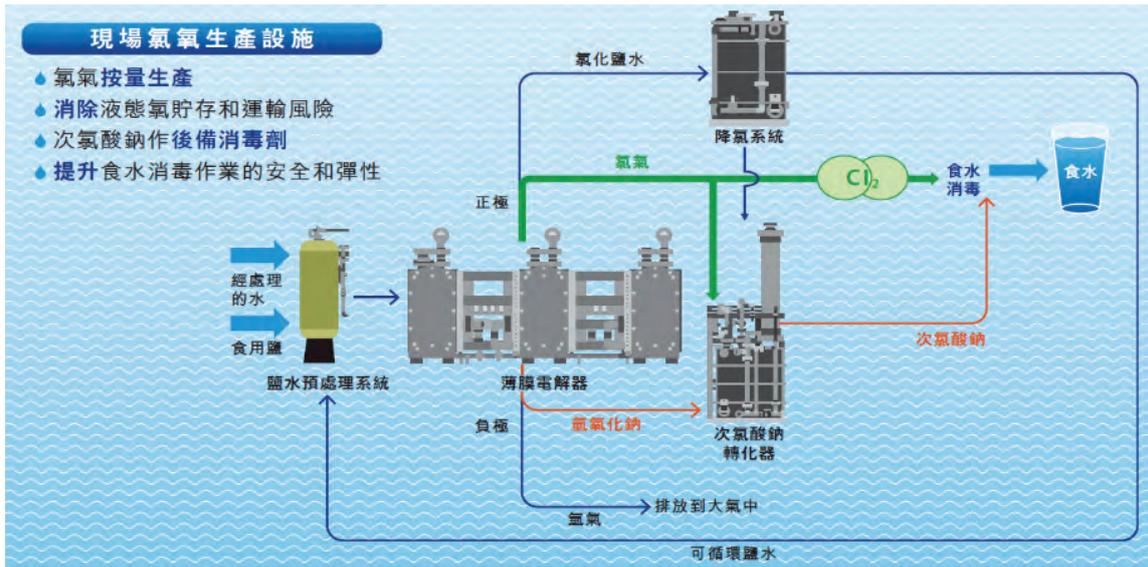


圖 8 大浦濾水廠增設現場氯消毒劑生產設施

b.增設現場氯消毒劑生產設施

氯氣按量生產、消除液氯貯存和運輸風險、次氯酸鈉作備用消毒劑、提升飲用水消毒作業的安全和彈性(如圖 8)，特點如次：

- 氯氣按量生產，消除液態氯的貯存風險
- 不斷改進的薄膜技術，設施所需空間少，更具成本效益
- 提升飲用水消毒作業的安全和彈性
- 提供更優質的飲用水

10.屢獲獎項

大浦淨水場擴建工程及綠化環境工程屢屢獲獎，備受肯定：

- 國際水務協會創新項目大獎—全球項目設計大獎
- 「生物傳感預警系統」獲「公務員傑出服務獎」銀獎和銅獎
- 香港綠色建築議會—綠建環評新建建築(1.2 版) 鉑金級
- Autodesk 香港建築資訊模擬設計大獎 2017—得獎機構
- 建造業議會可持續建築大獎

- 香港顧問工程師協會 2018 年度大獎
- 建造業議會可持續建築大獎
- 創意工程安全獎 (安全管理系統、培訓與宣傳類別) 銀獎
- 香港綠色企業大獎 2017 優越環保管理獎—項目管理(大型企業)銅獎

(三)大浦濾水廠二期擴建處理流程

1.處理流程特色

(1)採用溶解空氣浮除技術(Dissolved air floatation, DAF)

採用溶解空氣浮除技術，將壓縮空氣加入水中至飽和，以產生大量微細氣泡，氣泡會附著水中的懸浮物質，並將其浮上水面，形成一層「泥毯」，再用活動刮泥板將「泥毯」清走。這項濾水技術能快速清除雜質，並可減低化學品使用量。該技術的快速啟動能力，可以有效地處理原水水質的突然變化。

(2)採用生物活性碳過濾技術

氨和錳在受控環境下被生物去除，該技術大幅減少氯使用量。

(3)快速重力過濾去除水中殘餘濁度後，再使用後加氯消毒。

(4)採用臭氧(Ozone)消毒及氧化技術

大浦濾水廠二期擴建，是香港繼牛潭尾濾水廠後，第二個使用臭氧作為消毒劑的濾水廠，臭氧的使用具有以下優點：先進而有效的錳氧化及消毒技術(可移除 99.99%隱孢子蟲和梨形鞭毛蟲)、減少約 30%的氯消耗量、改善水質。

2.流程如圖 9 所示。

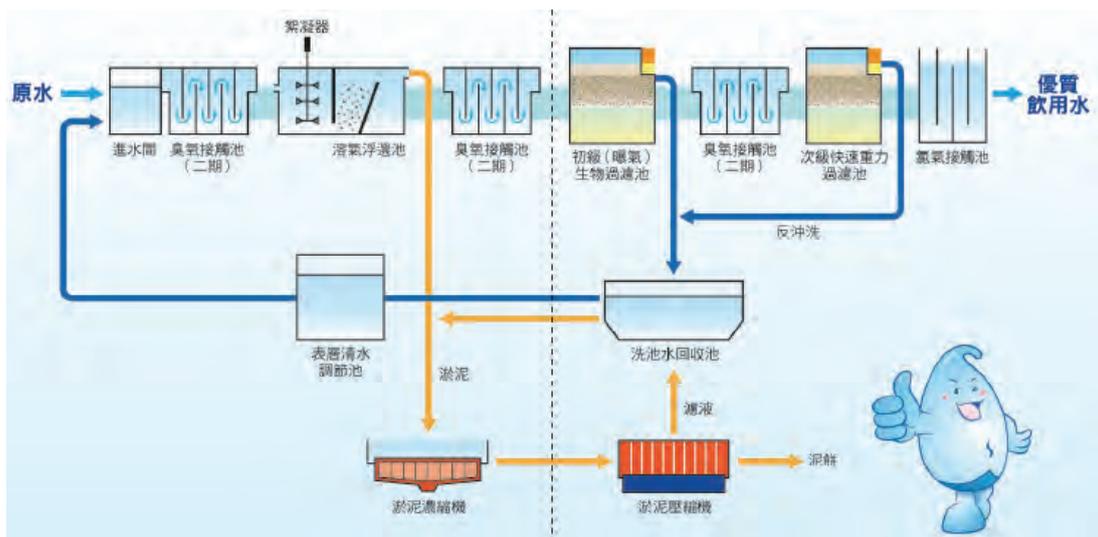


圖 9 大浦濾水廠二期擴建處理流程

表 2 香港供水水質概況(2019 年 10 月至 2020 年 9 月)

項目	單位	監測結果			香港水質標準	備註
		最低	最高	平均		
濁度	NTU	<0.1	2.9	0.2	未訂	未納入香港飲用水水質標準，但納入監測
總硬度	mg/L	<5	69	39		
鋁	mg/L	<0.01	0.27	0.03		
鐵	mg/L	<0.01	0.1	<0.01		
錳	mg/L	<0.01	0.04	<0.01		
一氯二溴甲烷	μg/L	<25	<25	<25	≤100	總三鹵甲烷Total trihalomethanes (TTHMs) 主要生成物
一溴二氯甲烷	μg/L	<15	17	<15	≤60	
溴仿	μg/L	<25	<25	<25	≤100	
氯仿	μg/L	<50	<50	<50	≤300	

3.大浦濾水廠二期擴建重要設計特色如圖 10 所示。

4.供水水質概況，如表 2 所示。

三、結論與建議

香港水務署檢視日常營運中，存在的主要挑戰，為了提供更為優質的飲用水，針對淨水技術和水質管理，在大浦濾水廠二期擴建改造時，進行現代化創新：

(一)增設生物水質預警系統：整合生物、ICT 和自動化技術，確保原水安全。

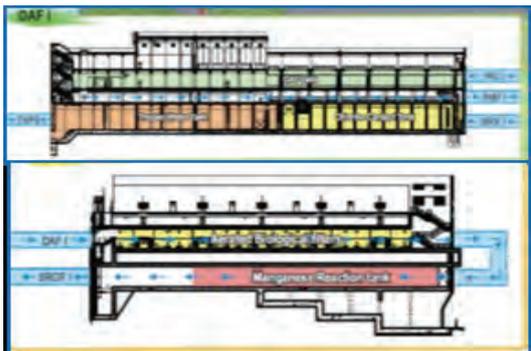
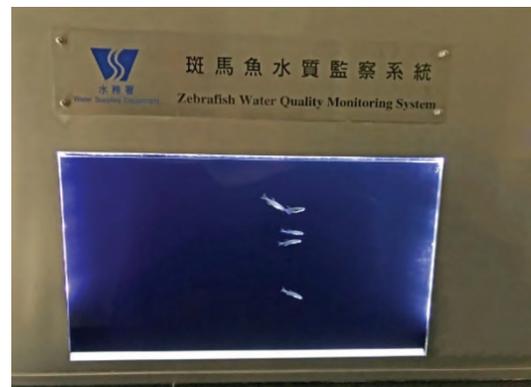
	
<p>多層式廠房內設置層疊式濾水設備</p>	<p>溶解氣浮澄清池</p>
	
<p>現場生產氯消毒劑設施</p>	<p>導入建築信息模擬 (BIM) 技術</p>
	
<p>增設太陽能發電設備</p>	<p>大量種植本地原生植物綠化 30%面積</p>
	
<p>生物感應預警系統</p>	<p>大浦濾水廠全圖</p>

圖 10 大浦濾水廠二期擴建重要設計特色

(二)開發線上水質監測系統：運用 ICT 科技，建立現代化及智能化 SCADA 系統，監測和控制淨水處理過程。

(三)採用先進水處理技術：

1.增設臭氧處理去除水中臭和味，達氧化和消毒的效果。

2.應用溶解氣浮法（DAF）進行澄清。

3.增設生物活性碳濾池去除水中的氨氮和有機物；使用紫外線進行出廠前消毒。

(四)氯消毒劑的現場製備系統（OSGC），提高消毒系統的安全性。

(五)採用綠色和環保可持續性省水節能減碳觀念：污水零排放、雨水收集系統、水樣本回用、太陽能發電、綠化環境、注重節能效益等。

(六)採用節省空間之技術及導入建築資訊模擬（BIM）技術：在有限用地範圍導入多層空間設計，應用 BIM 技術，可預先模擬設計和建造工作，制定施工次序，避免影響毗鄰設施，並提升工程效率。

參考文獻

1. 「大埔濾水廠擴展工程」，香港水務署，
<https://www.wsd.gov.hk/tc/core-businesses/major-infrastructure-projects/expansion-of-tai-po-water-treatment-works/index.html>
2. 「大埔濾水廠擴建工程」，香港特別行政區政府 - 發展局，
https://www.devb.gov.hk/tc/home/my_blog/index_id_415.html
3. 「香港食水標準」，香港水務署，
<https://www.wsd.gov.hk/tc/core-businesses/water-quality/my-drinking-water-quality/hong-kong-drinking-water-standards/index.html>

作者簡介

李丁來先生

現職：台灣自來水公司總工程師

專長：自來水工程規設及營管，水處理，漏水防治及管理

ISSN 1025-7683

