

自來水會刊第 37 卷第 3 期目錄



實務研究

- 組織調整提昇業務效能可行性評估—以北水處東區營業分處工程股調整為例……林哲生…… 1
自來水管線穿越排水箱涵施工作業……文其正…… 9

本期專題 水質處理

- 小型淨水場廢水處理設備改善提昇—以金面淨水場為例……謝挺蘊、胡正文、黃志文…… 19
淨水場回收廢水之最適化研究—以雙溪淨水場為例……陳俊豪…… 25
以高分子凝聚劑改善低濁度原水處理效能之安全性評估……謝淑婷、王根樹…… 31
豐原給水廠低濁度原水最適加藥之研究……林冠宇、刁文儀、林幸兒、趙文燦…… 40

一般論述

- 推動自來水之綠能發展……蔡耀德、陳文祥、武經文…… 50
辦理第10屆A1-HRD會議經驗分享……林芳伊、刁文儀、李建興、蔡耀德、吳宏麟…… 58

工作現場

- 花蓮0206震災復舊—檢漏紀實……林子立…… 66

感性園地

- 臺北自來水事業的前世今生……吳世紀…… 72

國際視窗

- 「你知道嗎？」—無收益水量……張敬悅…… 83

協會與你

- 歡迎投稿 107年「每期專題」…… 18
中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…… 71

封面照片：飲水思源—自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得(包括技術與管理)，前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「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、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 aael@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址(含電話及電子郵件地址)、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。
- 十、本會刊內容已刊載於本協會全球資訊網站 (www.ctwwa.org.tw) 歡迎各界會員參閱。
- 十一、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：胡南澤

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

李丁來

委員

駱尚廉、葉宣顯、康世芳、王根樹、林財富、

陳曼莉、范煥英、洪世政、莊東明

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、

梁德明

執行編輯：陳品如

電話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁苓

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769

組織調整提昇業務效能可行性評估

— 以北水處東區營業分處工程股調整為例

文/林哲生

摘要

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）各營業分處過往所司之工程業務，主要限於漏水搶修與民眾給水申裝，一直均依「業務性質」，分設「修漏股」與「給水股」對應執行，長此以往，隱存有施工責任不明、人員培訓不足之情況。95 年起，北水處推行 20 年的管網改善計畫(95 年-114 年)，實施迄今，已進入第三階段，輔以水價於 106 年調整，故如何進一步提昇管線汰換與為民服務成效，更顯重要，其方式除精進施工法外，配合組織調整是一個值得探討的方向，為瞭解組織調整之利弊，北水處挑選在鉛管汰換作業中，最先完成轄區內所有鉛管換新，以及最早投入跨區支援的東區營業分處，針對以往「業務分工」的組織配置，改為依「管轄地區」分股的組織調整進行試辦。

試辦過程先經評估可行性，經 SWOT、人力與設備盤點、專家會議研討等，再進行相關試辦作業；執行規劃中，考量減少人心之浮動，針對各在建工程，採維持監工同仁所負責之標案不變為原則；另為使設計業務無縫銜接，則考量各股轄管地域之特性以及同仁業務專長，來進行人力配置，例如，將嫻熟高地無自來水地區接水申裝相關規定之同仁，配置於轄管內湖、南港等高地區較多之工程股，以利相關業務之推行。此外，針對工程標案特性現況配置部分，考量各股

與承包商介面之簡化，盡可能讓相同承商配設在同一個股內，以減少不同工程間之施工界面(如：管汰工程與修漏工程)，利於股內統一指揮調度。

試辦過程中發現，推行初期雖曾遭遇磨合階段，惟經即時研討，調整出針對共通性業務，分別由其中一股擔任共同性業務窗口之方法之後，各項業務即得以順利推展。

試辦成果，比較工程績效指標：「一日修妥率」，106 年較 105 年同期成效更好，更穩定，管汰計畫工程亦順利推動；另在遭遇「台電潛通工程災變-八德路與光復北路口」以及「0602 強降雨導致內湖地區水災」等非常態性災害時，更由過往單打獨鬥變成通力合作，且權責分明，更利於各級長官指揮管理，另進一步以「工程(預算)執行效率」、「人員」、「業務推行」、「用戶服務」等四個面向進行綜合評估，以「管轄地區業務垂直整合」分股，其效能明顯較依「工程業務性質分工橫向聯繫」之既有分股方式為佳，經東區分處試辦評析後，北水處於 107 年起，已全面推行以「管轄地區業務垂直整合」之分股方式。

綜上，在組織調整的評估試辦作業中，人員的妥善配置與增補，實為能否順利推行之關鍵，在事前做好完整的人力盤點與分配下，組織改依「管轄地區業務垂直整合」進行調整，確可發揮一加一大於二的工程效

益，並增加同仁職務歷練輪動機會，提升工作熱誠，建議做好整備，以利擴大運用範圍，並提供有興趣人士知識管理參考。

一、前言

北水處各營業分處(除陽明營業分處尚有溫泉業務外)所司工程業務，包含漏水搶修、配合外單位管線遷移、給水申裝以及管網汰換工程等，長期以來組織分工之方式，係分設由修漏股與給水股執行，如此依「工程業務性質」分股之型態，存在有施工責任不明、人員訓練與輪調機制不足，以及指揮管理不易之情況。

而北水處自 95 年起，20 年的管網改善計畫(95 年-114 年)，實施迄今，已進入第三階段，輔以水價於 106 年調整，故如何進一步提昇管線汰換與為民服務成效，更顯重要，其方式除精進施工法外，配合組織調整是一個值得探討的方向，為改善前述依「工程業務性質」分股之缺失，使工作介面易於統合，進一步提升業務效能，遂有改採以「管轄地區」分股，統整各類工程於單一部門之構思，而為測試此一變革之可行性，遂擇定東區營業分處先行試辦，並視結果，做為是否全面推行之依據，以下，即針對東區分處整體試辦歷程(前期規劃、遭遇課題與解決方案、效益評估等)進行說明，以供有興趣人士知識管理參考。

二、東區分處試辦檢討

透過實際執行，在過程中蒐集各項正反面之課題，瞭解規劃預想與實際結果之異同，並記錄下遭遇到各項正、負面課題，以及採取之處理對策，以供後續評估是否進行

全處推動之憑據：

(一)標案與人力盤點：

如前所述，試辦前，北水處各營業分處之工程股，係依業務性質之不同，分設「修漏股」與「給水股」，分別負責漏水搶修與老舊管網汰換以及受理新設用水申請等，東區分處在承命試辦之初，首先即針對當下執行中之工程標案與工程人力進行盤點，各股執行標案清單與人員配置分列如表 1、2，清查後，即針對如何依「管轄地區業務垂直整合」，將原「修漏股」與「給水股」，改分為「工程一股」以及「工程二股」進行規劃。

表 1 標案清單

工程標案清單	
給水股	修漏股
給水工程	---
建築基地週邊斷管	---
鉛管 A	---
鉛管 B	---
NS	---
---	修漏工程 A&B
---	配合工程 A&B
---	水管橋&閘栓

表 2 人力統計表

	人力統計	
	給水股	修漏股
二級工程師	2	2
三級工程師	7	7
四級工程師	1	---
一級工程員	2	1
四級管理師	---	1
技術士	3	9
業務士	---	1
駐衛警	1	1
合計	16	22



(二)方案研擬：

因應前述變革，直接面對的課題即為：「工程一、二股轄區如何劃分?」,「各股人員如何調動?」針對前述議題，分別說明如下：

1.工程一、二股轄區的劃分方式：

東區分處在原「修漏股」所執行業務中，針對修漏工程、配合工程以及由股內同仁自辦的年度閥類巡檢維護規劃上，原本即將東區分處所轄範圍，劃分為市區與郊區二個區塊(如圖 1)所示，配合此次工程一二股的試辦，同時考量當年度(106 年)相關工程標案已完成發包開工執行中，故直接以原標案劃區方式進行分割，如此將不致因工程一、二股之試辦計畫，影響到既有標案之遂行。

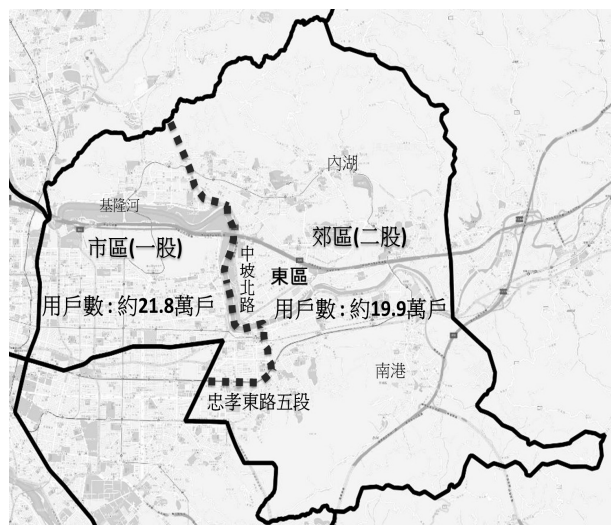


圖 1 東區分處工程股轄區劃分圖

2.人員與標案的配置方式：

針對人員調整部分，評估有以下二種方式：

(1)「修漏股」與「給水股」股內既有人員都不動，分別承接「工程一股」以及「工程二股」，並配合股內業務之變動，調整各同仁所負責之業務。

(2)依照改成「工程一股」以及「工程二股」後，各股所需執行之業務，採對應的方式進行人員重新分股調整，亦即以不變動同仁已承辦業務之方式來進行調整。

考量 106 年各標工程均已開工執行中，以及盡量避免變更同仁們目前所承辦之業務，以減少同仁們因工程股試辦計畫所生之不安定感，減少推行阻力，故決定採方式 2，各股人員調整後結果如表 3 所示。

在配置規劃上，除維持各監工同仁所執行之標案不變之外，在設計同仁分配上，需考量工程一、二股所轄區域特性之不同，進行人力分配。

分股後，內湖與南港地區，屬工程一股所轄，而區內多有高地無自來水地區，常年來均有高地民眾申裝自來水之相關疑義案件待解，故特將爛熟無自來水地區接水申裝相關規定之資深同仁，配置於轄管內湖南港等高地較多之工程一股，以利相關業務之推行。

表 3 工程股人力配置規劃表

	人力統計			
	給水股	修漏股	工程二股	工程一股
二級工程師	2	2	2	2
三級工程師	7	7	9	5
四級工程師	1	---	---	1
一級工程員	2	1	---	3
四級管理師	---	1	---	1
技術士	3	9	7	5
業務士	---	1	---	1
駐衛警	1	1	1	1
合計	16	22	19	19

另外，針對工程標案配置部分，考量讓承商單一，也就是讓相同承商儘量配設在同一個股內，減少不同工程間之施工界面(如：管汰工程與修漏工程)，亦有利股內統一指揮調度。

三、課題發現與對策

東區分處於 106 年 3 月 1 日正式開始執行工程一、二股之試辦計畫，因為在前置作業中，已針對各股轄區以及人員調配進行了妥適的規劃，並於試辦前，向給水股與修漏股所有同仁進行整體計畫的詳細說明，在所有同仁充分了解，以及同仁們所承辦之業務幾乎未有調動情況下，工程一二股之推行過程中，並未遇到重大難題，惟由依業務性質分股變更為依轄區切分，在推行期間發現有許多正、反面之現象，以下分就不同之觀點，記錄下所遭遇之各類情況，並將其分類後，說明東區分處在試辦過程中針對其中各項正、負面問題所採行之因應對策，以供有興趣人士知識管理參考。

(一)課題發現：

以下分就「營業分處內部」、「本處各科室」以及「外部用戶」等三個層面，說明執行過程中，所發現之課題。

1.營業分處內部：

(1)實務中，各類工作指標、統計報表以及公文分派等等，均係依業務性質(給水工程或修漏工程)進行分類，改以管轄區域分股後，各股跟每一項工作指標，每一份報表，互有關連，除在執行初期在工作分派上易生混淆外，在工作與績效指標上，亦有權責歸屬不易釐清之疑慮。

(2)股內同時執行有管網改善工程、修漏工程

以及配合工程等，當遇有現地疑難時，股內即可靈活調度，免除跨股支援，大幅減少協調準備作業，有效提升執行效率。

(3)股長須跨域統理轄區內修漏與給水業務，所涉領域增多變廣，需適時搭配副股長與設計、施工班長共同協助。

(4)共通性業務(如:防災、水質檢測、建物用水設備檢查…等)，因各股都有相關業務，導致同一業務，對口承辦人員增加(1 人->2 人)，亦增加分文承辦困擾。

2.本處各科室：

部分共通性業務，各科室原僅針對一個股的對口人即可，現需與二個股同時聯繫相關事宜。

3.外部用戶：

傳統依業務性質區分為給水股與修漏股，對一般市民而言，並不友善，因為民眾無法得知所欲反映之事項究竟是屬於給水業務還是修漏業務？所以往往需要經由同仁間次次詢問，層層轉接後，才能找到正確的承辦股來為民眾服務，而改成工程一、二股後，民眾不論是要報修漏水、洽詢用水設備相關規定，或是申請接水，僅需以申辦地點即可清楚選擇工程股別，易明確辨認。

(二)發現課題之歸類與處理對策：

針對上述試辦期間各單位所發現之諸多正反面現象與同仁意見，以及此期間內工程執行績效，進行歸類與統整，如表 4 及圖 2 所示。

首先，由圖 2 (東區分處之一日修妥率)可見，改為工程一、二股後，原預期在試辦初期，會因為各股承辦業務調整，產生混亂進而影響工作推動，導致績效下滑的疑慮並未發生，自 106 年 3 月份開始試辦工程一、

二股後，一日修妥率除仍能維持自 1 月以來的高水準外，進一步觀察發現，期間所呈現出來的績效亦較 105 年穩定，無大幅波動之情況，分析其原因，研判主要係依管轄區域分股後，重要工程指標項目，由原本單一股獨立推動，改為兩股共同投入，除由單打獨鬥改為通力合作外，因為各股轄區明確，權責仍舊清楚，也不會有責任混雜之情況發生，反倒可起良性競爭之效，對各項工程之

推行，正面效益顯而易見。

其次，由表 4 中看出，試辦過程中所遇之負面情況，以共通性業務分處對口人員增加，導致產生試辦初期工作分派上之混亂為最大宗，此一部分，東區分處擷取傳統給水、修漏分股方式之作法，針對共通性業務，分別由工程一、二股擔任修漏與給水業務之對外窗口，調整後，各項業務均得以順利推展。

表 4 課題之歸類與處理對策總整表

發現課題歸類		處理對策
效率提升 (正面)	單位主管與處內各級長官指揮管理容易	/
	增加承辦同仁歷練、學習層面，並更具公平性	
	一日修妥率明顯提升	
	各股都各自擁有修漏與給水標案，變成聯兵旅，擁有獨立施工能力，不必求助他股	
	更利於民眾各項業務之洽詢與申辦	
連題發現 (負面)	各項業務原僅針對一個股，現需與二個股同時聯繫	由一、二股針對共通性業務，依業務特性(給水或修漏)分別設置對外單一窗口，減少連繫困難
	共通性業務(如:防災、水質普測、建物台北好水設備檢查、市府新工處道管中心路證對口...等)，因各股都有相關業務，導致承辦業務主辦人員需增加(1 人->2 人)，並增加分文承辦困擾	
	股長須跨域綜理所有修漏與給水業務，所涉領域增多變廣	適時搭配二工與班長共同協助
	技術士對閥栓的掌握度變得侷限於單一區域	建立工程一二股人員輪調機制
	二股技術士彼此間會比較工作量，心生芥蒂	
給水案件、水管橋油漆維護案、加壓站進出水管汰換案等，在不同股的轄區內，案件數以及差異性過大		
颱風災害過後等復水階段，供水系統操作作業，技術士之調配原均由修漏股統一指揮，分設二股後，指揮方式須進行調整	由單位主管(分處主任)直接指揮	

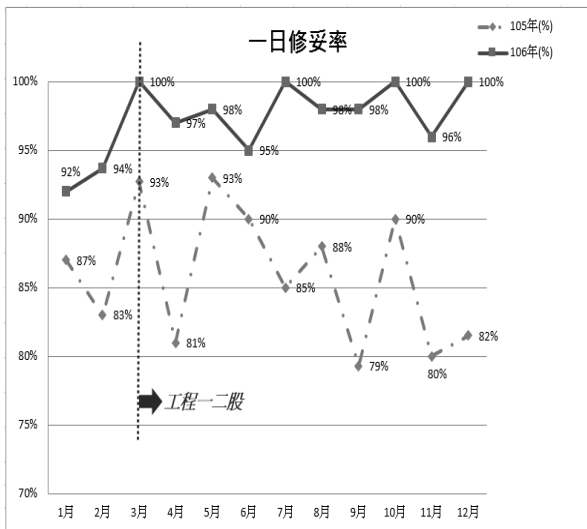


圖 2 一日修妥率年度比較圖

另外，工程一、二股之編制，對員級同仁之完整培訓與歷練輪調，具有顯而易見之改善成效，惟對於工員部分，則易因轄區特性不同，而生工作勞逸分配不均之嫌隙，此部分透過與工員同仁們清楚說明後續所建立之輪調制度，即可解其疑慮。

(三)執行案例：

試辦期間，東區分處轄區內，分別於 4 月底以及 6 月 2 日，遭遇「台電潛遁工程災變-八德路與光復北路口」以及「0602 強降雨導致內湖地區水災」等突發性災情，面對前述非常態之災害，均凸顯出組織改為工程一、二股後，所生之工程效益，二案分別概述如下：

1. 「台電潛遁工程災變-八德路與光復北路口」：

此案係台電公司執行輸配電隧道工程時，潛遁機在八德路光復北路交叉口發生水封破損，大量地下水湧入隧道，造成地層下陷的緊急災變，東區分處於此案中，奉命執行「潭美街堤外臺電深井緊急注水作業」以及「八德路災變現場地層下陷緊急搶救作

業」等，此案發生時，經現場觀測，除地層持續下陷外，亦有造成鄰房龜裂疑慮等情形，而前述二項作業分屬工程一、二股所轄，在一、二股各自有完整的工程標案以及承辦同仁情況下，改變以往在此類緊急事件處理過程中，均由修漏股主導，給水股同仁只是從旁協助(配角)的情形，讓二股都是主角，共同出擊，也使得前述二處緊急作業得以同時、順利推展(如圖 3、圖 4 所示)。



【潭美街:工程一股】

圖 3 臺電深井緊急注水工程



【八德路:工程二股】

圖 4 八德路地層下陷緊急搶救工程

2. 「0602 強降雨導致內湖地區水災」：

106 年 6 月 2 日臺北發生強降雨，最大降雨量達每小時 150 毫公尺，造成部分淹水災情，其中內湖地區大湖山莊街、環山路 1 段及文德路一帶，有住戶因暴雨淹沒社區地下室水池，致水池受汙染或機電設備損壞無法揚水，造成水濁或無水可補進頂樓水塔情

形，為積極搶災，東區分處當天立即動員工程一股及二股人力、物力協助用戶取水，免費提供暫時性維生用水，解決用戶無水可用燃眉之急。

在救災動員過程中，工程一、二股協力出擊(如圖 5)，不再有以往主(修漏股)、從(給水股)之分，發揮出一加一大於二的緊急應變效能。



圖 5 因應內湖地區水災現場情形

綜上，東區分處不因工程一、二股之試辦而生混亂，反而均能立即進行跨股整合以為因應，而在跨股災變處理過程中，又因一、二股內均配設有管網與修漏人員及標案，所以在現場處置上，不會有過往給水股不懂修漏業務，導致無法獨自處理現場緊急狀況的情況發生，對分處整體工程能量的運用產生正面效益。

四、效益分析

以下分就「工程(預算)執行效率」、「人員」、「業務推行」、「用戶服務」四個層面，分析以「給水股、修漏股」與「工程一、二股」之優劣(優：3分、普通：2分、劣：1分)，各層面不另加計權重，評析結果如表 5 所示評估結果，在「工程(預算)執行效率」、「人員」、「業務推行」、「用戶服務」四個層

面中，以「管轄地區業務垂直整合」分股(工程一、二股)，其整體效能均明顯較「工程業務性質分工橫向聯繫」(給水股、修漏股)為佳！

表 5 效益分析表

		給水+修漏	工程一二股
工程(預算)執行效率		普通	優
人員	完整培訓	普通	優
	輪調機制	普通	優
業務推行	各級主管指揮調度	劣	優
	權責明確	優	優
	共通性業務之分派	優	普通
	工程股間工作公平性	劣	優
	轄區閘栓掌握度	優	優
用戶服務	洽詢窗口明確	劣	優
	審圖作業	優	普通
合計		21	28

五、結論與建議

組織調整能否順利推行，於執行前做好完整的人力盤點與配置為成敗之關鍵，而針對兩股共通性業務，如水質普測、直飲台統籌、好水設備檢查、用戶給水申請…等，會因為與各股均涉，而致對外窗口紛雜之疑慮，則可在協議後，由其中一股擔任全分處對外窗口之方式，迎刃而解，此一模式，除可使業務順利推動外，亦無需額外增加承辦

人力，並經東區分處試辦確認可行且成果良好。

透過東區分處的試辦，不論以「工程(預算)執行效率」、「人員」、「業務推行」、「用戶服務」等四個面向進行綜合評估，以「管轄地區業務垂直整合」分股(工程一、二股)，其整體效能均明顯較依「工程業務性質分工橫向聯繫」之分股方式(給水、修漏股)為佳，並可有效增加同仁職務輪動歷練的機會，提升同仁工作熱誠，經東區分處試辦評析後，此一組織調整方式，北水處已於 107 年起，全面推行。

建議做好整備，以利擴大運用範圍，相關試辦歷程並提供予有興趣人士知識管理參考。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水事業處組織自治條例」，2014。
2. 徐聯恩，「成功的組織改造策略」，中華管理評論，1999。
3. 江岷欽，「組織再造與組織學習之觀點分析」，T&D飛訊，2003。

作者簡介

林哲生先生

現職：臺北自來水事業處供水科二級工程師兼股長
專長：自來水工程設計、工務及管理

自來水管線穿越排水箱涵施工作業

文/文其正

一、前言

在民國 103 年 7 月 31 日 23 時發生在高雄市前鎮區及苓雅區的氣爆事件，因石化管線洩漏，經由地下排水涵管流竄堆積，造成該區域嚴重連環氣爆，導致 32 人死亡，321 人輕重傷，並造成多條重要道路嚴重損壞，高雄市蒙受了重大的經濟損失，後經查原因為李長榮化工所屬四吋丙烯管線遭排水箱涵包覆於其中，管壁由外向內腐蝕，終不敵管內輸送高壓造成滲漏而導致，此重大事件，引起了全國各縣市水利主管機關的注意，進行全面清查各兩排水箱涵內部管線穿越情形，並要求各管線單位進行遷移或改善行動。

另一方面，目前面臨地球快速暖化，極端氣候已屢見不鮮，尤其臺灣常有豪暴雨發生，往往短時間之內累積驚人雨量，匯聚的水量有可能超過排水箱涵之設計流量，如再遇有管線橫越箱涵造成阻塞，極易釀災。

臺北市政府工務局水利工程處在高雄氣爆發生後，已積極要求瓦斯公司遷移管線，目前已有不錯的成績；進一步在 106 年 8 月 25 日，水利工程處召開「研商本市雨水下水道系統管線橫越改善計畫及期程」，第四分區縱走調查發現之管線橫越嚴重程度達 2、3 級之 33 處列管案件，及 1494 處管線橫越 1 級列管案件，要求各管線單位先行依據管徑、管材、尺寸、橫越位置、照片等資訊辦理自主清查確認權屬，並詳實填報 12

行政區列管表內之預計改善期程、辦理情形等資訊，所謂一、二、三級案件係依管線影響水流程度分級，一級為管線佔排水斷面 29% 以下，二級為管線佔排水斷面 30-59%，三級為管線佔排水斷面 60% 以上。水利工程處要求各管線單位積極處理改善，本文以臺北自來水事業處（以下簡稱本處）南區營業分處為例，將處理管線穿越箱涵的作業，進行經驗分享。

二、準備工作及施工前勘查

由水利處提供之 102-104 年縱走資料，本分處所轄疑似管線穿越排水箱涵計 144 筆，由其圖面、照片資料及相關由該處人員入內巡查之影音光碟，本分處逐案製作基本資料檔案(如圖 1)，與本處 GIS 管線圖資、廢棄圖層、台帳等資料套圖，以確定自來水管可能穿越箱涵位置，可否初步排除非本處管線，以及最近雨水人孔進入勘查之位置，作一前置作業。

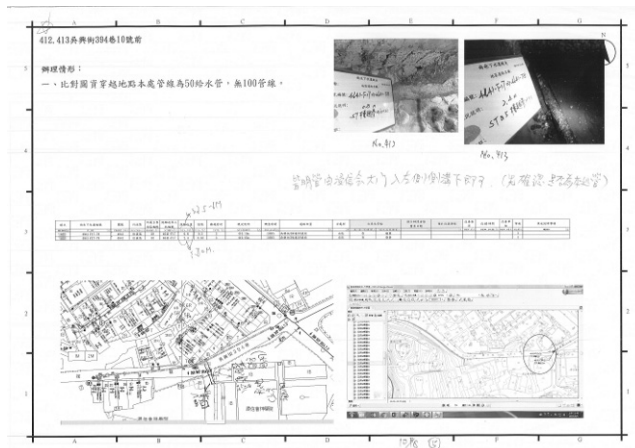


圖 1 每案製作穿越箱涵圖面及管線比對資料

因水利處交付本處疑似自來水管穿越箱涵案件眾多，檢視所附之案件圖面及巡查箱涵內部影像檔，有許多無法辨識所在位置或是否為本處所屬管線，必須下箱涵實際勘查不足以確認，故本分處相關工程人員周家榮二級工程師、盧書炫三級工程師、劉介元四級工程師、呂學欽及曾世光技術士以及筆者本人，分批排班密集進入箱涵勘查，一組二人以互相照應，在申請完備路證手續後，現場佈設通風設備及攜帶有害氣體檢測計，逐案下箱涵勘查內部管線穿越情形(圖 2~圖 5)，決定各案施作方式交由承商施作改管或切除，尤其感謝本分處周家榮二級工程師，所有案件均全程親自勘查，目前已勘查 93 處管線，實際上更已下箱涵不下百餘次，勞苦功高居功厥偉，特此誌謝。

目前南區營業分處列管案件數，橫越嚴重二級案件 1 件(臺北市興隆路 2 段 96 巷口)已於 107 年 3 月 12 日進場斷除廢管，改善完成。第四分區縱走本分處共 144 案，經分處工程人員親下箱涵勘查 93 處，其中確認為自來水管線 60 件，目前累計完成改善 29 件、另外 10 件不影響水流已函請水利處解除列管。經水利處 107 日 3 月 16 日辦理現場會勘後，於 107 月 3 月 22 日函覆 29 件改善完成全數同意解除列管，目前為本處所屬五個分處中，完成件數最多的分處。



圖 2 入內勘查及施工確實做好安全措施



圖 3 進入箱涵勘查使用之四用氣體偵測器



圖 4 周家榮工程師全數勘查管線橫越情形



圖 5 筆者多次進入箱涵內勘查管線橫越情形



經入內勘查現況，我們發現橫越管線有許多為廢棄不用之鑄鐵管，其管線鏽蝕嚴重，甚至有許多鑄鐵管均已穿孔破損，已無通水(如圖 6)，這種情況處理起來較為單純，只要入內將該段管線切除，分成小段再由人孔運出即可，原切除斷面已水泥補實抹平，水利處要求切除面須與箱涵壁面齊平，本分處均已達到水利處要求。



圖 6 臺北市基隆路二段 172 巷口舊管已破損

三、改善施工記實

除了臺北市水利處列管案件外，本處南區營業分處尚有一處受新北市水利局列管案件，為位於新店區中正路自來水管穿越排水箱涵案件，該處為口徑 400mmDIP 配水管，經勘查，根據配水管與排水箱涵之接觸面一體成形的樣態，可判斷應為本處配水管早已存在，後來水利局施作箱涵時將本處配水管包覆，為公共安全，本處仍依新北市水利局規定時程前予以改善。

本案因排水箱涵位於新店區中正路之西側，覆土深度不足，無法經由箱涵上方埋設新管改管，且欲於排水箱涵內取出本處配水管，需於箱涵二側開挖，並將配水管截斷抽出，惟經探挖，箱涵西側管障密佈，覆蓋

於本處配水管上方，無法進行挖掘，箱涵東側空間足夠，可進行切管及取出穿越斷管線，又考量到附近無雨水人孔可供施工人員進入，故決定以明挖方式拆除管線，因該配水管口徑為 400mm 且無法改管，本分處計畫以二頭封管方式改善，唯恐斷管後造成區域水壓不足，本分處將相關閥栓試關 1 個月觀察水壓變化情形，確認用戶用水無虞後進行施工拆除穿越箱涵段管線(圖 7)。

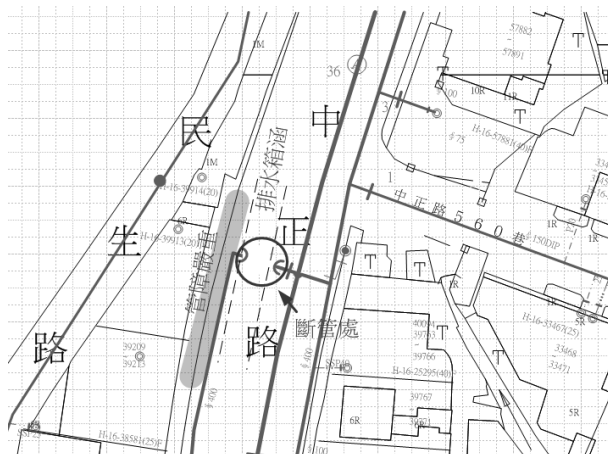


圖 7 新店區中正路 543 號前管線拆除示意圖

本案因西側管障因素無法於箱涵西側開挖，經評估需將箱涵頂部開一小洞，方便人員入內切管及修復壁面，經與水利局承辦人報備後，即開始施工，因先前作業準備周詳，故工程進行時尚稱順利，人員入內切除箱涵西側管線壁體接觸面後，即以水泥修補完成，東側將配水管由擴挖面抽出(圖 8~10)，管線抽出後，即以鋼筋搭接方式，釘製板模以水泥修復壁面，而頂板則以鋼筋搭接施作吊模方式修復，為避免道路回填時造成頂板吊模崩塌，故以裁切後之鋼板覆蓋在頂板開孔處後回填，以確保路面不會下陷。

本案施作完妥後已獲新北市水利局解

除列管，為本分處改善穿越箱涵之第一件案件，施作迄今附近水壓正常，無用水異常情事發生。惟本案係因管障嚴重及箱涵頂深不足無法改管，而暫時由二側封管，日後仍需做管網改善接通該處管線，以維管網運作正常。



圖 8 新店區中正路 400mm 自來水管穿越箱涵情形



圖 9 於 106.4.1 拆除新店中正路 400mm 穿越箱涵



圖 10 新店區中正路分段拆除自來水管

在臺北市改善部分，也全面展開密集施工改善，在已改善之眾多案件中，本文列舉較具代表性之案件臚列如下：

在臺北市辛亥路三段拆除 100mm 配水管穿越箱涵案，因該段配水管位於市立第二殯儀館前，係屬單向管末段，再延伸為辛亥隧道入口，已無用戶需求，故決定廢棄該段管線予以拆除，本案較特殊的地方是，該配水管位於約 3m 高箱涵上方，已接近箱涵頂版，高度甚高，現場無法裝設吊掛架以綁住切除之管線，只能切除讓其掉落再由人孔吊出(圖 11~13)，施工相當不易且有一定的危險，在切除管線時，現場師傅還因廢管切除掉落時臉部遭劃傷，逢了好幾針，相當危險，這些不為人知的幕後無名英雄，值得所有人的尊敬。



圖 11 辛亥路三段 100mm 自來水管穿越箱涵情形



圖 12 拆除辛亥路三段 100mm 穿越箱涵段



圖 13 辛亥路三段 100mm 廢管由雨水人孔取出

本分處於臺北市目前僅有一件二級列管案件，已於 107 年 3 月份施工完妥，並已獲水利處解除列管，案件地點為臺北市文山區興隆路 2 段 96 巷 2 號旁，施工前比對本處圖資該處應為口徑 350mmMJP，為已廢棄之配水管(圖 14~15)，這案較為麻煩的是該自來水管穿越箱涵處附近人孔均遭埋沒，最近的箱涵人孔下去須走約 180 公尺才能到達施工處，因距離太長，定位路面相對開挖施工位置相當不易，經本分處人員入內勘查，發現在管線穿越箱涵段不遠處，有一排水側溝清掃用隔柵板，透光入箱涵內可藉此定位，在箱涵外之同事協助確定該隔柵板位置，打開隔柵板並置放交通錐於水溝內，並以連桿指示施工處之方向，最後箱涵內同事以雷射測距儀量測距交通錐之距離(圖 16)，即可於路

面上精確定位(圖 17)，定位完畢後即申請路證開挖。

因開挖時幸運於開挖範圍內發現另一埋沒之排水箱涵人孔，如此便大大地降低施工困難度，施工人員進入人孔內觀看，發現該廢棄之 350mm 之 MJP 自來水管穿越段，正在新開挖出箱涵人孔不遠處，如此可驗證當時以側溝隔柵板輔以交通錐、連桿及雷射測距儀定位之方法相當有效。

施工人員攜帶切除工具進入後，先切開配水管一小縫確認無水後，便將整段切除，切除面與箱涵壁面齊平，以沙包及水泥填平孔洞，並將該段廢棄管線以機械經由新發現之人孔吊出，完成本分處受列管之穿越箱涵二級案件(圖 18~19)。



圖 14 興隆路 2 段 96 巷 2 號旁 350mmMJP 穿越二級列管案件施工前照片

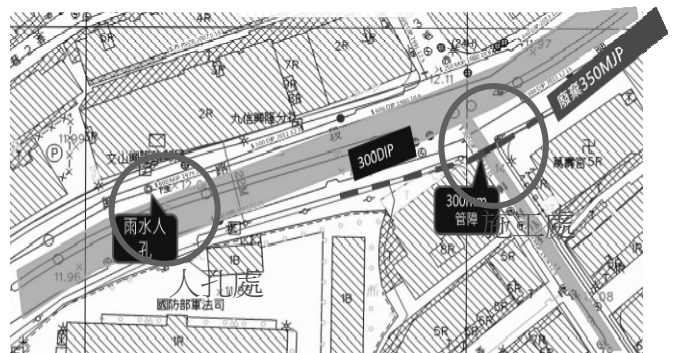


圖 15 興隆路 2 段 96 巷 2 號旁列管案件位置圖



圖 16 水溝隔柵板以交通連桿及測距儀定方位



圖 17 以附近水溝隔柵板定位後確定施工位置



圖 18 切管後取出 350mmMJP 廢管



圖 19 切除後切除面與箱涵壁面齊平

如同上述案例，在勘察階段發現有許多雨水人孔遭到埋沒，由最近之雨水人孔進入，往往距離過長，定位施工開挖處非常不易，能像上例附近有側溝隔柵板協助定位的案例，實屬少數，本分處已發文水利處提升該等人孔，才能加速改善速度。

排水箱涵有大有小，在比較大的箱涵內施工空間充足，施工相對較容易，但有的排水箱涵相當狹小，進入內部施工相當困難，像本分處於 106 年 11 月 6 日切除之臺北市吳興街 394 巷 10 號前之 75mmGIP，該段管線經研判為原防火巷內之廢棄水管，於防火巷口穿越箱涵，因最近人孔距離自來水管線穿越段較遠，在入內勘察時人員需蹲下彎腰行走約 60 公尺，相當辛苦，更何況施工人員需攜帶切除機具及水泥入內施工(圖 20~22)；本案施工人員仍以無比之毅力，在如此狹小艱難的環境下完成拆除穿越段管線的工作，值得所有人致上最高的敬意。

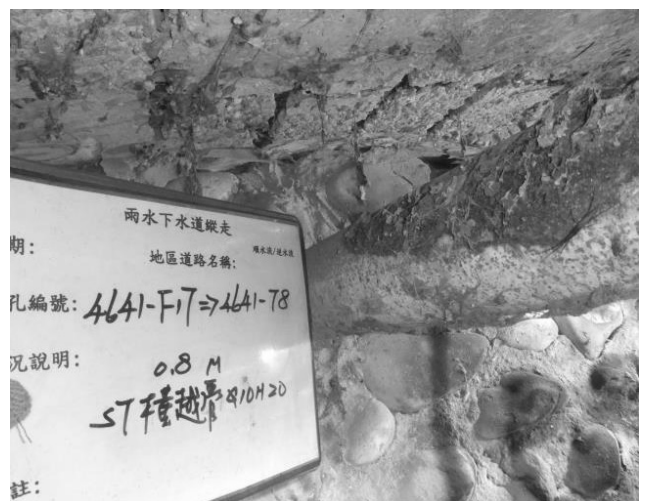


圖 20 吳興街 394 巷 10 號前 100mm 管線穿越箱涵情形



圖 21 施工人員蹲行 60 公尺後施工，備極艱辛

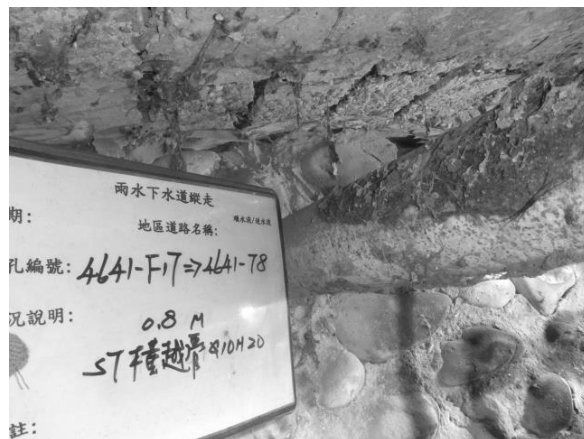


圖 23 吳興街 284 巷 20 至 22 弄間穿越情形



圖 22 切除下來之管線



圖 24 巷內全路寬開挖以利改管



圖 25 配水管改管繞行於排水箱涵上

除了一些廢棄管線可逕行切除外，有一些穿越箱涵之配水管仍有通水，此時就要探挖穿越處箱涵上方覆土是否夠深，依路權單位要求改善後之管頂深至少要超過 40cm 以上，才符合規定，像本分處於 106 年 12 月 27 日臺北市吳興街 284 巷 20 至 22 弄間，本處 100mm 配水管穿越箱涵，經開挖其箱涵頂版覆土深約 70cm 深，扣除裝配管線深度，其管頂大約有 50cm，覆土深足夠，故逕行改管並切除廢管，施工時間從早上 9 點一直進行到晚上 8 點始完成所有工作(圖 23~25)，工作相當辛勞，超過路證規定下午 4 點收工，不得不申報逾時收工。

在臺北市吳興街 381 巷口，水利處資料顯示該處有一 200mm 口徑之鑄鐵管穿越排水箱涵，惟查閱本處該點管線圖資，該處配

水管在 103 年即已汰換為最新管線，由竣工圖顯示配水管均完全新設，並未有遇障礙舊管留用之情事發生，故研判穿越箱涵段應為舊有廢棄配水管，本分處派員與承商較有經驗之工程人員入內勘查，以敲擊管體聽其聲音辨別是否為空管，研判為空管後，已派工將其穿越段拆除(如圖 26~28)

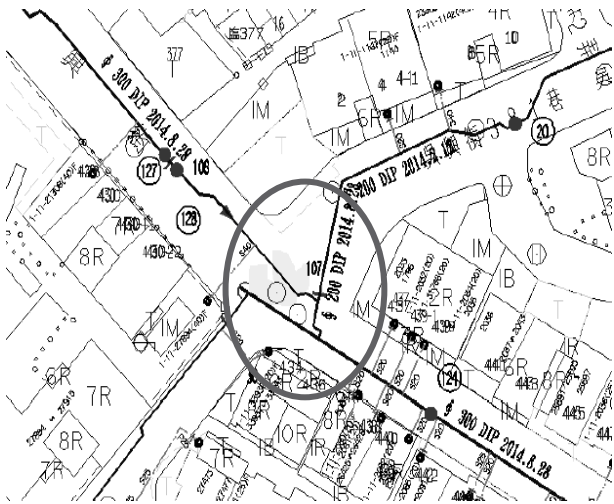


圖 26 吳興街 381 巷圖資研判為廢管



圖 27 吳興街 381 巷管線穿越情形

但敲擊辨音只能概估是否為廢棄空管，仍然有失誤的情況，派工切除時有水噴出，經過一段時間噴出之水壓未減，即可斷定該配水管尚在使用中，須另行派工改管(如圖 29)。



圖 28 吳興街 381 巷穿越箱涵改善後



圖 29 誤判為空管切除以止漏帶止漏另行改管

四、不影響水流斷面之案件處理

除了改管及拆除位於排水箱涵內之廢棄水管外，現場勘查發現有一些穿越箱涵之自來水管，其位置較箱涵結構樑為高，或其位置不會影響排水斷面，對於此等案件，本分處製作現場示意簡圖，敘明不影響排水斷面之原因，並輔以現場勘查照片，已發文臺北市政府水利工程處，請其參酌解除列管(圖 30~33)，目前類似案件計 10 處皆已發文，惟該處承辦人表示內部將會開會討論是否同意解除列管。



圖 30 富陽街管線穿越位置較箱涵橫樑為高

雨水下水道編號：4441-54-F3
 地址：(大安區) 富陽街20巷口(與信安街交口)
 是否為北水處管線：是
 備註：

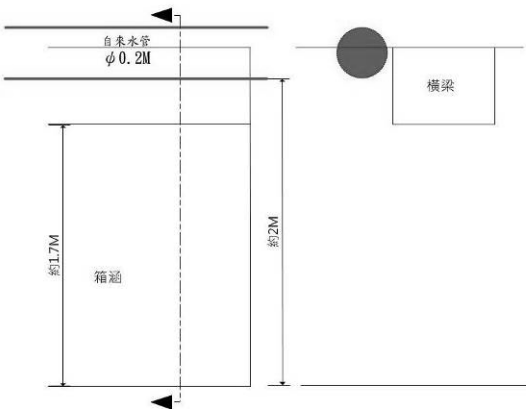


圖 31 富陽街管線穿越位置示意圖

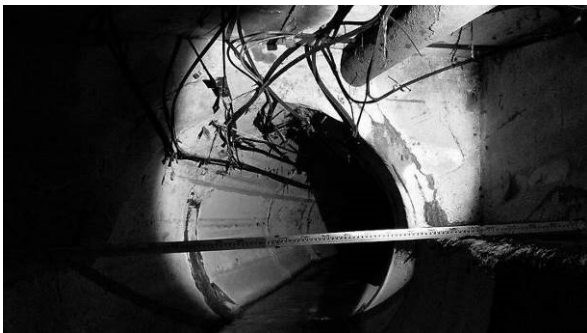


圖 32 忠孝東路 4 段穿越位置位於排水斷面外

雨水下水道編號：4345-33-34
 地址：(大安區) 忠孝東路4段135號
 是否為北水處管線：是
 備註：

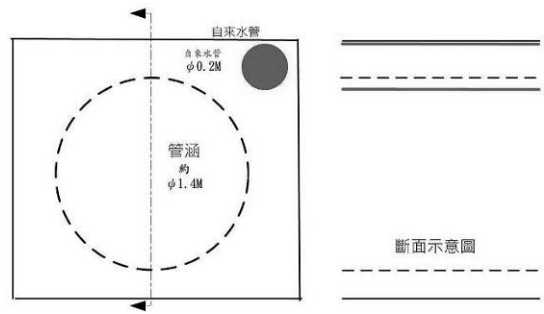


圖 33 忠孝東路 4 段管線穿越位置示意圖

五、結論

我們處理的每一件穿越排水箱涵的案件，都是所有工程人員和施工人員經過多次勘查討論，克服困難達成的，每一件案件對我們來說，都是充滿了心血，也相當的有成就感，而不是只是一個冰冷的統計數字而已。

本分處目前已處理 30 餘處自來水管穿越排水箱涵案件，均已發文回報臺北市政府水利工程處，水利工程處承辦員也已一一會同本分處人員現場進入箱涵內會勘，檢視拆除及修復情形，所有拆除案件均已回文本分處解除列管，惟該處對於不影響水流斷面的穿越案件是否同意解除列管，尚待該處內部討論後回復本分處。

經由本分處處理的經驗顯示，有不少的案件穿越箱涵的自來水管是廢棄管線，有的都已鏽蝕穿孔，此等案件處理起來最簡單，只要切除就好，不用另行改管，但為何有這麼多廢棄管埋設於箱涵之中，原因應為本處承商歷年來在汰換管線時，對於拆除舊管做得並不徹底，所以造成許多原應拆除之廢棄水管仍埋設於地下，水利單位設置排水箱涵

時，就一併包覆於箱涵中了。

而本處近年來對於舊管是否完全拆除的管制，下了相當大的功夫，由先前要求只要有廢棄水管不能拆除的路段，每處均需由監工邀集該股幹部及原設計員現場會勘做成紀錄，才同意現地廢棄該斷管線，這二年來會勘層級已提升至本處技術科，如遇無法拆除之舊管，必須當場以 LINE 群組回報本處技術科，請技術科即時派員會勘來決定是否能廢棄該段管線。

另一方面，本處經由送審之管汰設計圖來進行拆除廢棄管線的把關，例如，在以前的設計圖，如原有配水管為塑膠管，因已無殘值，設計人員通常設計現地廢棄，但現在的設計圖面已要求將塑膠管拆除，但無需退料，這些做法再再提醒現場工程人員，廢棄舊管務必拆除乾淨，以免日後衍生各種問題。

本分處對於水利處列管之自來水管穿越箱涵案件數，已執行超過一半之數量，也累積了相當多之經驗，現場大約分成數種態樣，相信依各態樣之解決方法，可加速後續案件之處理，依既定時程完成水利處列管案件。

作者簡介

文其正先生

現職：臺北自來水事業處南區營業分處二級工程師兼股長

專長：管網改善工程規劃、設計、監造、小區計量及漏水搶修。

本刊 107 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
37 卷 第 4 期	新興議題	新興水質項目應對、突發事件預警、供水緊急應變、危機管理、氣候變遷與調適、國際水情、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

小型淨水場廢水處理設備改善提昇 — 以金面淨水場為例

文/謝挺蘊、胡正文、黃志文

一、前言

台灣自來水公司淨水場計 455 座，其中 1 萬 CMD 以下小型淨水場佔 320 座，所佔比例為 70.33%，佔比例相當大；然其特性為出水量少、淨水流程較為單純，其廢水量相對較低，故以往對廢水處理的要求相對較少。但隨時間演變及面臨環保單位要求，各淨水場均面臨廢水申報與否之困擾，主要為目前小型淨水場土地面積偏小或早期並未設置廢水設備，現況並無多餘土地何增設完整廢水設備時，如何利用現有設備來改善及調整操作方式……等做法，達到廢水符合環保排放標準，進而可回收再利用，有效利用水資源為重要課題。

本次研究以台灣自來水公司 105 年於第八區管理處辦理「金面淨水場水質問題處理暨廢水處理模式探討」研究計劃為基礎，進而辦理實場改善金面淨水場現有廢水設施功能，以提昇至符合法規標準目標；主要依「杯瓶試驗」結果，利用自來水淨水流程中常用「混凝、膠凝與沉澱」等單元原理進行改善；其利用無閥快濾桶排水衝擊力，增設 PACl 加藥設備，當做快混機制；並利用廢水排水管當做慢混單元，現有廢水池當成沉澱池加裝回收設備，透過這些小部分改變現有設備，可有效使處理後廢水排放可達回收再利用或排放標準，藉以提昇公司形象。

二、計畫緣起

為有效提升廢水處理設備效能，及對現有廢水處理設備功能均進行檢討並研擬改善方案，台水公司訂定「台灣自來水股份有限公司廢水處理設備效能提升推動小組組織與權責要點」，要求各區處需每年定期檢討各淨水場廢水效能並提報；另依環境保護署訂定「應先檢具水污染防治措施計畫之事業種類、範圍及規模」之規定：「設計或實際最大廢水產生量每日五十立方公尺（公噸／日）以上者」，屬於應檢具水污染防治措施計畫之要求，為符合相關現行環保法令規定，針對較小型淨水場在用地及經費限制下，如何符合法規規定為各區管理處在廢水處理上重要課題之一。

本次研究改善的金面淨水場新建時即依其原水含鐵錳較高之特性於雪隧取水站設有取水井，由馬達抽取至曝氣塔進行曝氣，再以前加氯方式輔助氧化水中鐵錳，後再經由 500m/m 管線約 3 公里輸送至金面淨水場，考量用地等因素，採以 4 桶無閥快濾桶過濾去除水中濁度後供水至用戶端，其廢水部分僅於 102 年增設 1 座 400m³廢水沉澱池。又本淨水場現行處理設備淨(廢)水流程(圖一)，因其水質屬鐵、錳顆粒較多，主要廢水產生為快濾桶反沖洗之廢水多為紅褐色，經量測，其廢水濁度約 600 至 1,000NTU 之間，因金面淨水場僅有 1 座廢水沉澱池之設備，前於廢水池使用初期，即發現在未加

處理下，其廢水停留 24 小時，上澄液仍維持約 40NTU 以上之濁度，無法沉降，且廢水上澄液澄紅色，無法達到可回收再利用或排放標準，如無改善方案，將無法達到原增設廢水沉澱池目的。故希望藉由透過實驗方式應用方實場改善，達到廢水排放符合標準目的。

(一)相關試驗成果

本淨水場前於 97 年「北宜高雪山隧道原水中鐵、錳氧化機構之探討及最適化操作之研究」中即測得其原水含鐵量約在 0.52~1.62 mg/L、含錳量約在 0.05~0.18mg/L 之間，需加以處理方能符合飲用水水質標準，其採用方法為前加氯方式，可有效轉換水中溶解性鐵及錳成為 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 及 MnO_2 沉降。另於長期監測可知，其廢水主要來源即是上述物質。

另 105 年配合自來水公司總管理處辦理「金面淨水場水質問題處理暨廢水處理模式探討」研究計劃中，採試驗加藥調理(聚氯化鋁及硫酸鋁)以提升沉降速度及效果，其實驗流程參考廢水特性，以一系列杯瓶測試聚

氯化鋁及硫酸鋁之最適加藥量，設定值為：快混 250rpm，30 秒；慢混 30rpm，15 分鐘；沉澱一小時後採樣測定濁度及 pH，其上澄液濁度以可低於 5NTU 為目標。

經取淨水場現場廢水濁度測得為 779NTU，pH 為 8.11，鹼度為 109 下，分別以硫酸鋁及多元氯化鋁(poly aluminum chloride, PACl)以上述標準下進行調理，測試效果加藥量約為 25~30 mg/L 時可達目標。雖以常見之混凝劑 PACl 及硫酸鋁進行杯瓶測試，兩者皆有顯著效果，但以沉降顆粒緻密度及最終濁度而言，聚氯化鋁較硫酸鋁有較佳之效果。若以全面回收為目標並回收到無閥快濾桶前方式，則設定廢水上澄液須處理至 5NTU 以下，實驗所得僅需添加約 25mg/L 之聚氯化鋁沉澱一小時即可達成，因此加藥調理對減輕該淨水場廢水處理負擔助益盛大。

上述成果，可確認採多元氯化鋁(poly aluminum chloride, PACl)加藥方式，並採混凝沉澱方式可有效改善廢水問題。

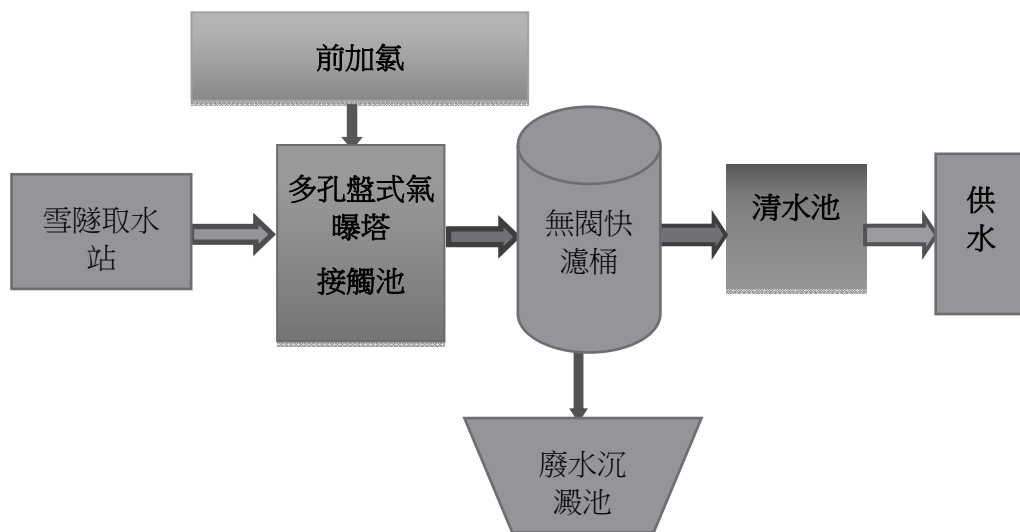


圖 1 金面淨水場處理設備其淨(廢)水流程圖

(二)各計劃改善方案比較

依「台灣自來水公司廢水處理設施設置及排放或回收水措申請通則」建議：「廢水設施應能有效發揮廢水之收集、貯存、調勻、處理、排放、回收等功能，原則應包括廢水調勻池、廢水沉澱池、污泥池、高分子凝聚劑加藥設備、污泥濃縮池、污泥貯留槽、污泥調理設備、污泥脫水機(或污泥曬乾床)、回收池、廢水放流池等設備。」此為公司目前廢水設計規範，然仍需依實際現況調整設備。

參考本淨水場於 100 年原計劃設置之配置水理計算-「金面淨水場設計功能及水理計算」，其計劃設置廢水沉澱池(設 16m×2.8m×2.2m(有效深)×3 池，容量 296m³)；污泥池設一池，尺寸 9m×5m×4m(深)，容量 180m³，收集快沉池及廢水沉澱池排放之污泥，定期清運方式辦理。處理程序：原水（雪山隧道滲

出水)→抽水井→氣曝塔→接觸池(反應池)→快沉池→快濾桶→2,000m³清水池。

另 105 年因應金面計劃擴大供水，撰寫「金面淨水場改善工程計畫書」，其規劃淨水及廢水處理流程為：原水經氣曝池、快混、膠凝、沉澱、快濾及消毒等程序後進入清水池；廢水處理程序：反沖洗廢水經廢水調勻池調勻後抽送至廢水沉澱池，上澄液回收使用，產生污泥與淨水程序之沉澱污泥一起排至污泥池，經污泥濃縮池濃縮處理後，抽送濃縮污泥至污泥曬乾床脫水，產生污泥餅再定期清運。

綜上，彙整表(表 1)所示，可了解現有設備與未來規劃之差異，在擴建計劃尚未完成之前，以目前設備而言，其廢水產生主要為無閥快濾桶部分及現有僅廢水沉澱池，如何改善目前設備，達到廢水處理後符合規範，為本研究計劃思考方向。

表 1 現有處理設備及各規劃設計設備盤點彙整表

	現有處理設備	100年「金面淨水場設計功能及水理計算	105年「金面淨水場改善工程計畫書
氣曝池	V	V	V
快混			V
膠凝			V
沉澱		V	V
快濾	V	V	V
消毒	V	V	V
廢水調勻池			V
廢水沉澱池	V	V	V
污泥池		V	V
泥濃縮池			V
污泥曬乾床脫水			V
備註		需購地增設設備	需購地增設設備

三、本研究改善方案說明

本次研究之金面淨水場，依現有設備分析，其主要廢水來源為無閥快濾桶，主要為顆粒物累積於濾床當中，產生壓降而增加水頭損失，造成無閥快濾桶過濾的能力下降，當無閥快濾桶水頭損失達設定值即自動產生反沖洗，反洗後即能恢復效能，維持正常操作及出流水水質，屬非定時反洗設備。

本淨水場目前操作方式為每次反沖洗廢水排出時間為 8~10 分鐘，其間將產生大量的反洗廢水，每桶每次反洗廢水量約 60 公噸，目前採每 2 天人工操作反沖洗乙次辦理，廢水特性為以批次產出。故在設計改善時需考量短時間大量廢水特性來改善其廢水處理方式，另無閥快濾桶其特性為可自動反沖洗，自動反洗時間不定，故改善時亦為其考量重點之一。

(一)改善方案

本項廢水改善方案依「杯瓶試驗」結果，選擇較佳處理藥劑多元氯化鋁(poly aluminum chloride, PACl)為混凝劑，考量現地

無法增設廢水處理設備如調理池、廢水濃縮池……等設備，故改採現地現有設備改善方式，改善流程部分(圖 2)說明如下：

- 1.首先依照「快混原理」，利用無閥快濾桶反沖洗廢水槽加藥方式，並利用反沖洗廢水排出時之衝力，混合多元氯化鋁藥劑，達到快混功能(圖 3)。
- 2.接下來利用「慢混原理」，透過排水至廢水池之管線速差，做為替代慢混池功能，以達到膠羽形成較大顆粒目的，以加速後續沉澱功能(圖 3)。
- 3.現有廢水沉澱池配合無閥快濾桶改採批次操作，其上方參照第 11 區管理處設置浮桶式抽水機，可有效抽取乾淨上澄液回收或排放，下層存放污泥，採每年辦理清理方式(圖 4)。
- 4.為能配合無閥快濾桶反沖洗特性及自動化要求，故於無閥快濾桶排水廢水槽加裝水位計，可連動加藥機，於反沖洗時廢水水位上升時即開始加藥，於反沖洗完成，水位下降至原水位時，即停止加藥，以自動方式加藥。

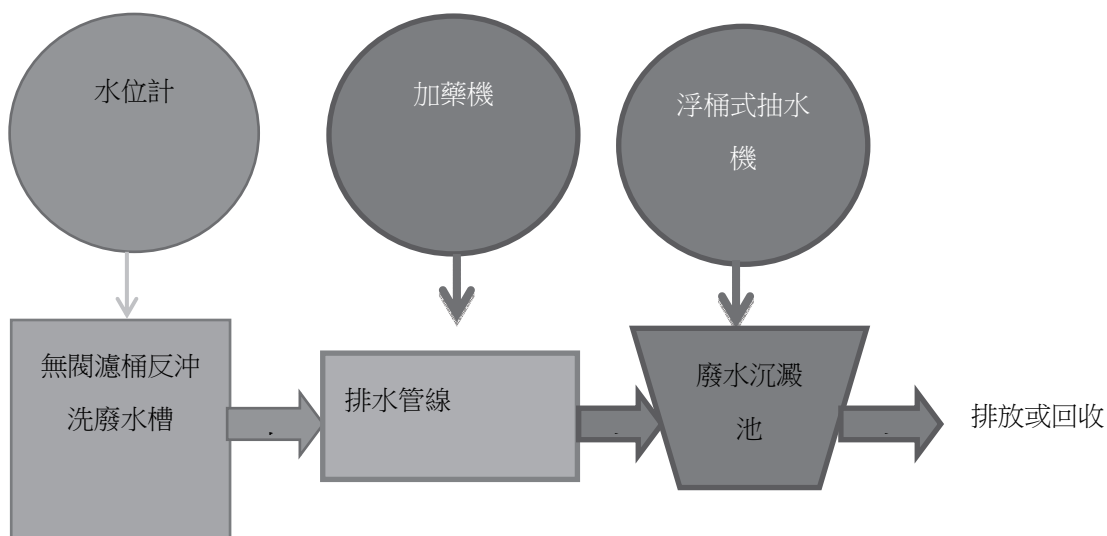


圖 2 各單元改善流程圖

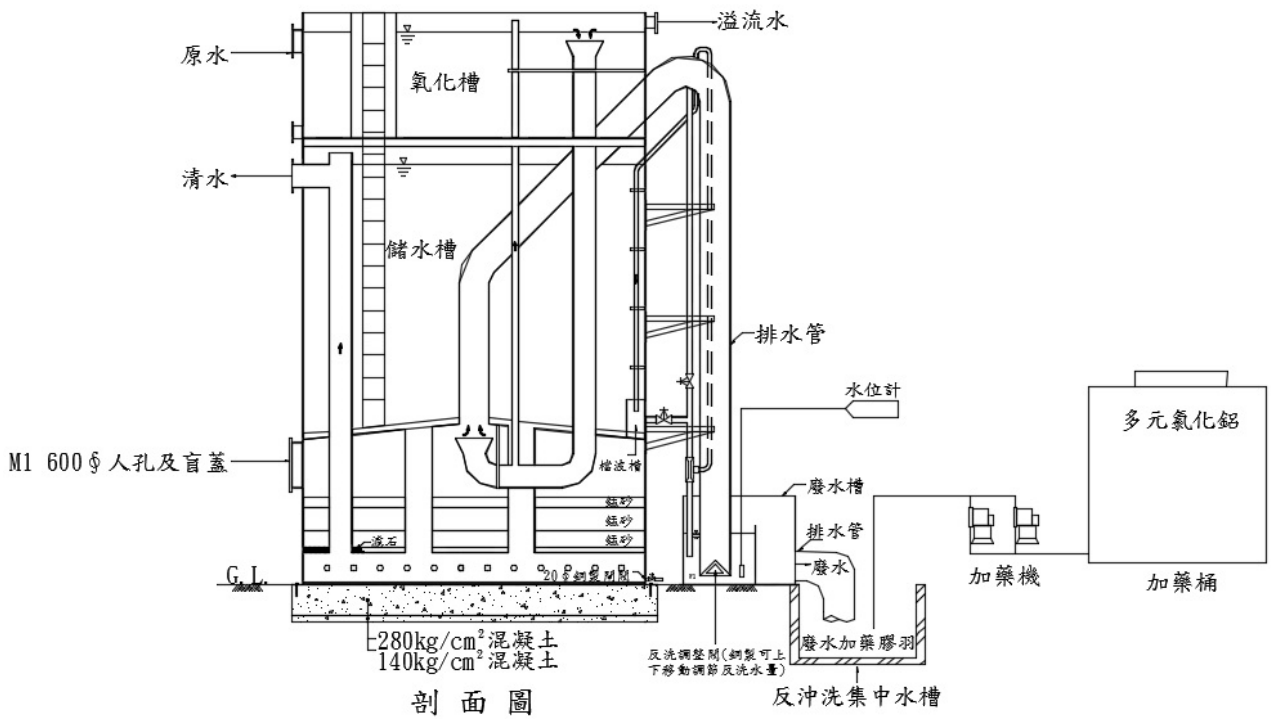


圖3 無閥快濾桶設計改善工程圖

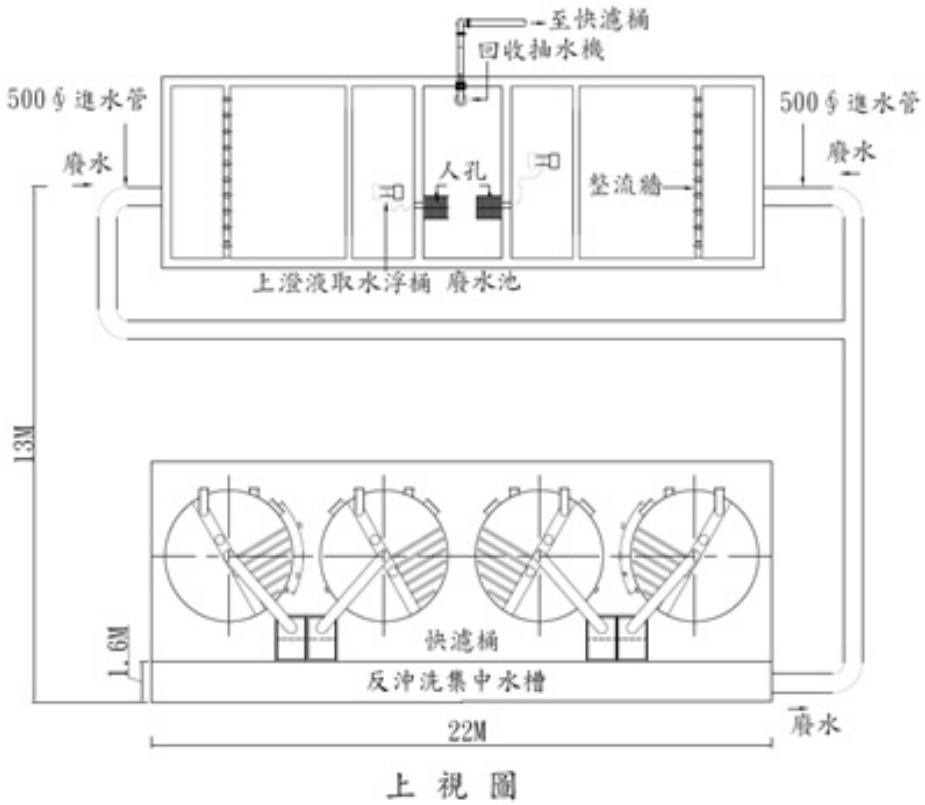


圖4 廢水池及管線設計改善工程圖

5.廢水回收及排放部分，則增設濁度計，設定濁度低於 10NTU 時即連動浮桶式抽水機抽水，以達到自動排水或回收功能。

(二)實場測試結果

經多次測試及調整，PACl 加藥量 550CC/分鐘時，可使廢水於 1.5~2 小時內沉降至 10NTU 以下，若以每批廢水量 60 立方公尺，每次反沖洗時間 8 分鐘計算，反推原杯瓶測試結果，需添加約 25mg/L 之聚氯化鋁沉澱一小時即可達成，原杯瓶測試推估加藥量為 187.5CC/分鐘；目前實場測試結果，較原杯瓶試驗用藥較高。推估原因主要是混凝機制不如設置混凝設備來的有效率，然目前做法仍可在現有設備無法改善時，有效解決廢水問題。

加藥量增加如需回收則需考量鋁含量問題，經測試結果原水鋁含量為 0.0590 mg/L，廢水上層液鋁含量為 0.1695 mg/L，採少量回收方式，其過濾後之清水鋁含量可控制在 0.0205 mg/L，可符合法規標準。

本案納入現有監控系統，除可有效監控，並利用自動化方式可有效節省人力並符合無閥快濾桶操作特性。

四、結論與建議

(一)目前實場測試結果，PACl 加藥雖較原杯瓶試驗用藥較高，推估原因主要是混凝機制不如設置混凝設備來的有效率，然目前做法仍可在現有設備無法改善時，有效解決廢水問題。

(二)本次採用水位計連動加藥機及濁度計連動抽水機方式，可採自動控制方式，除克服無閥快濾桶不定時反沖洗等性，亦可有效節省人力。

(三)本次先行採「杯瓶試驗」實驗結果確認可

行後，再依現地設備特性及杯瓶試驗原理進行實場測試改善，可有效達到目的，減少錯誤及摸索時間。

(四)本次實場改善為受限土地不足與廢水設備無法增加下替代方案，未來仍需辦理擴建方案，方能有效改善廢水問題。

參考文獻

- 1.台灣自來水公司，台灣自來水股份有限公司廢水處理設備效能提升推動小組組織與權責要點，2017年。
- 2.莊淨雯、陳振輝，北宜高雪山隧道原水中鐵、錳氧化機構之探討及最適化操作之研究，2008年。
- 3.王冠中、謝挺蘊、莊淨雯、林泓儒、廖啟元、胡正文、何承嶧、洪世政，金面淨水場水質問題處理暨廢水處理模式探討，台灣自來水公司 105年自行研究計畫，2016年。
- 4.台灣自來水公司，台灣自來水公司廢水處理設施設置及排放或回收水措申請通則，2000年。
- 5.台灣自來水公司第八區管理處，金面淨水場淨水處理報告，2014年。
- 6.台灣自來水公司第八區管理處，金面淨水場改善工程計畫書，2016年。

作者簡介

謝挺蘊先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處廣興給水廠廠長
專長：淨水操作

胡正文先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處深溝給水廠技術士
專長：淨水操作

黃志文先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處工務課技術士
專長：機電工程

淨水場回收廢水之最適化研究-以雙溪淨水場為例

文/陳俊豪

一、前言

臺灣位處亞熱帶地區，全年降雨量約為全球平均降雨量之 2.6 倍，然而因降雨過度集中於五至十月，且南北降雨不均，導致臺灣缺水情形嚴重，故回收廢水再利用更顯其重要性，臺灣現行淨水場對於程序廢水普遍採取回收再利用之處理方式，不僅可降低原水之需求量、增加清水供應量，並可提高水資源利用效率及減少廢水排放量。

雙溪淨水場淤泥處理設施設置於民國 89 年，近年來雙溪地區上游人口聚集並逐步開發，使得原水濁度大幅上升，導致淨水場須處理之淨水淤泥增加，造成雙溪淨水場既有淤泥處理設施不敷現況使用。北水處於 105 至 106 年針對雙溪淨水場既有淤泥處理機械設備進行汰舊更新，並增設 1 組污泥脫水機，使雙溪淨水場擁有一座完整設備流程之淤泥處理場，惟宥於經費及場地限制，雙溪淤泥場土木結構物本次並未同時辦理更新。

雙溪淨水場廢水池主要廢水來源為反沖洗廢水及沉澱池排泥廢水，目前計有 8 池快濾池，每日要反沖洗 2-3 池之快濾池，由於單位時間排放大量反沖洗廢水，受限於既有廢水池容量僅 300 噸，需拉長各池快濾池反沖洗間隔時間，增加作業時間，另低濁度反沖洗廢水大量進入廢水池，造成後續廢水沉澱池及濃縮池處理單元不易沉降，且因雙溪淨水場為零排放淨水場，反沖洗廢水需進

行回收，將增加動力費用支出，本文針對淨水場回收廢水作業流程提出改善建議，以提升雙溪淨水場淨水及淤泥場運轉效能。

二、雙溪淨水場基地環境及設施現況

雙溪淨水場位於臺北市士林區至善路三段 110 號，處陽明山高地區山坡地保護區內，於民國 76 年臨內雙溪擴建為現有之快濾場，所引用之水源來自地面水，包括內雙溪、菁礮溪水源。



圖 1 雙溪淨水場位置圖

雙溪淨水場主要淨水處理流程採傳統淨水方式包括：混凝、沉澱、快濾、加氯消毒，供水區域含括臺北市雙溪中央社區、至善路二、三段等地區，設備能量為每日 40,000 立方公尺，目前日平均出水量 25,000~28,000 立方公尺。

雙溪淨水場既有淤泥處理設施包括廢水池、混合池、廢水沉澱池、濃縮池、淤泥貯存池、及回收井等單元，處理流程現況如圖 2 所示。

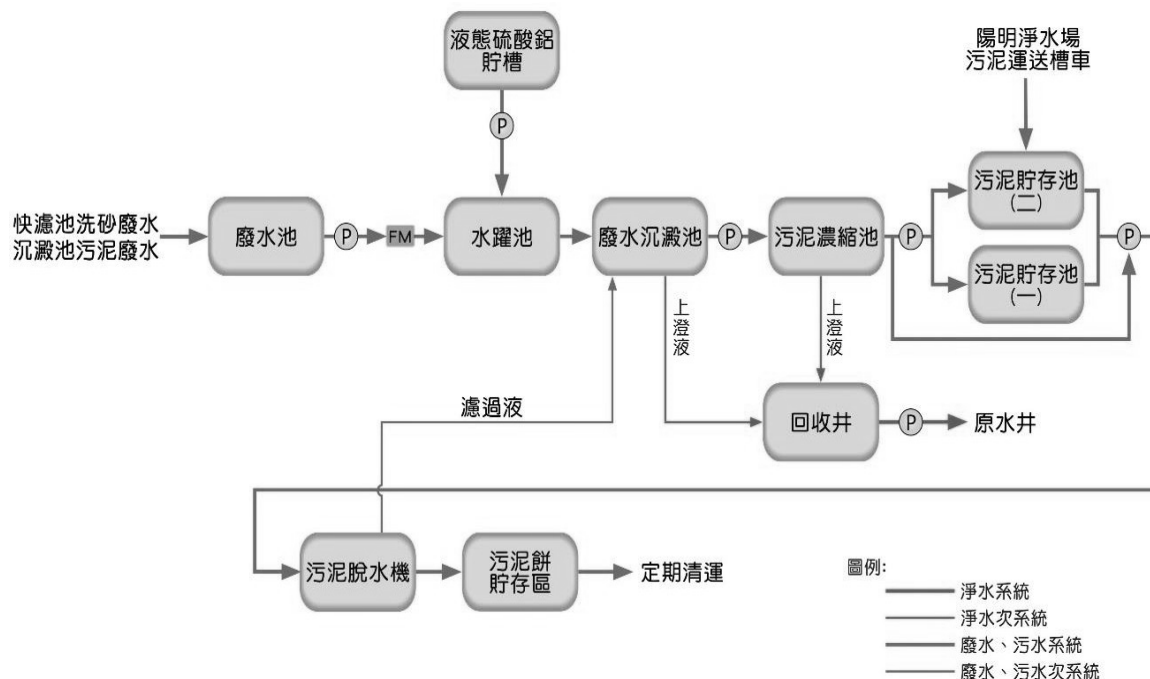


圖 2 淤泥處理設施處理流程圖

各單元處理流程說明如下：

淤泥處理流程為快濾池反沖洗廢水及沉澱池排泥廢水排放至廢水池；廢水以廢水池抽送泵抽送經電磁式流量計量測流量後，進入水躍池進行加藥混合後重力流至廢水沉澱池處理，廢水沉澱池上澄液回收至回收井再利用；沉澱污泥則經廢水沉澱池排泥泵抽送至污泥濃縮池處理，濃縮池上澄液亦回收至回收井再利用；濃縮污泥以濃縮池排泥泵定時抽送至淤泥貯存池，再以淤泥注入泵抽送至淤泥脫水機進行固液分離，過濾液排回廢水沉澱池處理，淤泥餅以淤泥餅輸送機輸送至淤泥餅貯存區暫存，再定期予以清運處理。

淨水場欲回收使用之程序廢水主要來自混凝沉澱池廢水及快濾池反沖洗廢水。

(一)快濾池反沖洗廢水部分

雙溪淨水場計有 8 池快濾池，平均每日要反沖洗 2-3 池之快濾池，每池反沖洗水量

200 噸，目前快濾池反沖洗操作現況是將每日要反沖洗之快濾池集中於同一時段進行，由於單位時間排放大量反沖洗廢水，超過廢水池抽送泵抽送能力，也超過廢水池貯存能力，需增加反沖洗間隔及增加靜置時間。

(二)混凝沉澱池廢水部分

雙溪淨水場沉澱池目前採用軌道吸刮泥機如圖 3，安裝示意如圖 4 所示。

刮吸泥機運轉方式由驅動裝置→牽引鍊條→刮吸泥機組(刮吸泥管及刮泥蓋板)，



圖 3 軌道吸刮泥機

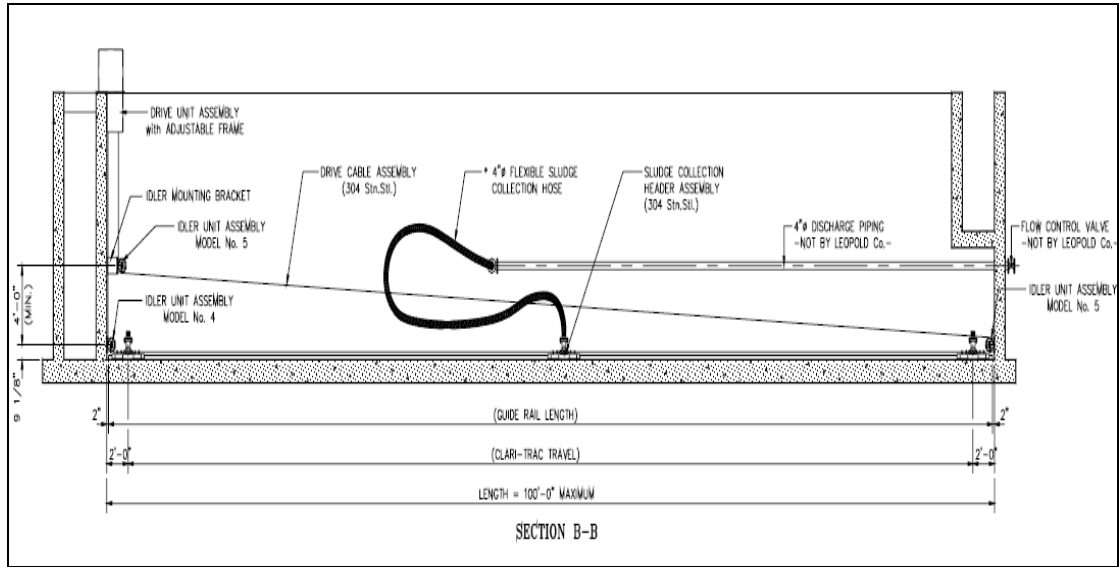


圖 4 軌道吸刮泥機安裝示意圖

沉澱池排泥量推估在處理水量 25,000CMD、原水濁度=20NTU、色度=10 度、PACl 加藥量=30 mg/L 計算，沉澱池排泥總量=1,114.8 kg/day，如以排泥濃度=0.8%計，初估每日排泥量=139.3 CMD。

由於淤泥處理設施主要乃處理沉澱池淤泥廢水，目前沉澱池污泥廢水排放，在快濾池完成反沖洗後，啟動沉澱池刮吸泥機操作，再進行沉澱池污泥廢水排放。

三、雙溪淨水場回收廢水作業現況

雙溪淨水場平均每日要反沖洗 2-3 池之快濾池，每池反沖洗流程約 40 分鐘，反沖洗水量 200 噸，受限既有廢水池容量僅 300 噸，將產生 3 項問題：

(一)需拉長各池快濾池反沖洗間隔時間

由於單位時間排放大量反沖洗廢水，廢水池需靜置 30 分鐘後進行上澄液回收，同時啟動廢水泵抽送廢水至廢水沉澱池，以進行下一池快濾池反沖洗，經計算反沖洗 3 池總時間已達 249 分鐘，約 5 小時，增加反洗池數有限(考量廢水池抽送泵、回收池回收泵

回收能力，每再增加一池約需增加 112 分鐘)，增加快濾池反沖洗池數有限。

(二)影響後續廢水沉澱池及濃縮池處理單元淤泥沉降效率

由於廢水池廢水泵浸沫深度 75cm 下本存在無法抽除之底泥如圖 5 所示。



圖 5 廢水池廢水泵浸沫深度下底泥

而快濾池反沖洗水經實測僅為平均濁度 43NTU(Max=180NTU)較稀釋之廢水如圖 6 所示。

快濾池反沖洗水單次排放量達 200 噸，將擾動廢水池廢水泵浸沫深度下底泥使整

體濁度上升如圖 7 所示，將造成廢水池上澄液回收濃度過高，又需同時啟動廢水池抽送泵降低廢水池水位，將低濃度反沖洗水導入廢水沉澱池及濃縮池，造成淤泥場廢水沉澱池及濃縮池處理單元不易沉降，及較高濁度之回收水重複進入淨水流程影響水質。

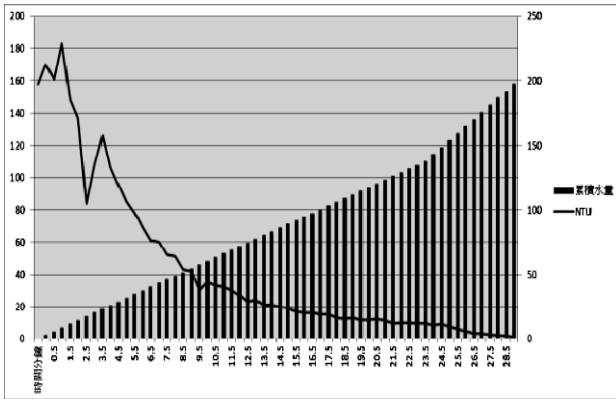


圖 6 快濾池反沖洗水濁度與累積流量表



圖 7 單次排放大量反沖洗水擾動廢水池底泥

(三)廢水池抽送泵、回收池回收泵重複回收動力費用

由於雙溪淨水場為廢水全回收，零排放之淨水場，低濁度之反沖洗廢水經重力排入廢水池，徒然造成淤泥場處理單元不易沉降，又需耗費動力費用，將反沖洗廢水經由廢水池抽送泵、回收池回收泵抽回至高程較高之原水井如圖 8 所示。

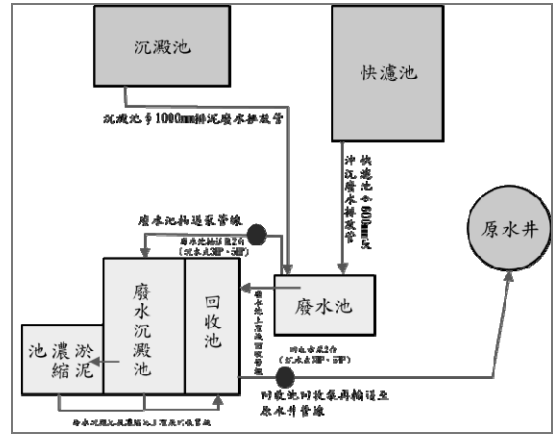


圖 8 雙溪場改善前廢水流向配置示意圖

四、雙溪淨水場回收廢水流程檢討

(一)檢視雙溪淨水場現地條件

依國立台北科技大學環境工程研究，沉澱池排泥廢水因具有較多凝結性顆粒可有效加快沉降速度，而反沖洗廢水則因 ss 較低沉降速度亦較慢，兩股廢水懸浮固體含量不同，且廢水處理設施去除懸浮固體之效率亦有所差異，為有效處理廢水，建議淨水場可將管線設計為「分流處理」。

雙溪淨水場原設計已考量沉澱池排泥廢水與反沖洗廢水「分流處理」，廢水主要來源為快濾池反沖洗廢水 (1000mm ϕ) 及沉澱池排泥廢水 (600mm ϕ) 等二股廢水，如圖 9 所示，並反沖洗廢水可重力可直接導入原水井，若單日反洗 8 池回收量 1,600 噸，僅佔淨水處理水量 25,000CMD 之 6.4%。



圖 9 雙溪場廢水管線示意圖



(二)反沖洗廢水之回用安全性相關文獻回顧

由於於廢水水質特性與回用之關係上，反沖洗廢水之回用安全性目前尚有多方說法，相關論述如下：

- 1.Cornwell and MacPhee(2001)研究顯示，反沖洗廢水直接迴流對混凝沉澱後水質並無明顯影響，甚至可以一定程度提升混凝沉澱效果。
- 2.Cornwell and MacPhee(2001)研究將反沖洗廢水迴流至混凝單元之前，迴流率設定為 4.3%、10%及 20%，証實提高迴流率能夠加強混凝沉澱單元對微生物囊孢的移除效率，提升出流水品質。
- 3.Tobiason et al.(2003)指出反沖洗廢水之回用尚有原蟲及微生物累積等問題。

(三)雙溪淨水場反沖洗廢水之回用安全性檢視

雙溪淨水場回收廢水水質之檢測項目主要為：pH 值、溫度、導電度、氨氮、COD、總餘氯、SS 等項目，依研究反沖洗廢水之迴用需注意原蟲及微生物累積問題，雙溪淨水場無中南部日照旺盛提供藻類增生之生長條件，且歷年來清水中無檢測出梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲情形。

依 Arora et al.(2001)提出廢水迴流比例為 5~10%時，可將迴流水中微生物數量對原水之衝擊降至最低，研究建議 10%作為規範上澄液迴流之安全比例，雙溪淨水場單日反洗 8 池回收量 1,600 噸，反沖洗廢水之迴流率僅 6.4%，除符合研究建議廢水迴流比例值外，及嚴密淨水處理程序監控下，出流水質安全無虞。

(四)改善雙溪淨水場反沖洗廢水回收方式

透過更改反沖洗廢水 600mm 排放管及設置 2 只電動閥(可經由程式控制器(PLC)控制功能，若雙溪淨水場上游颱風豪雨或有崩塌情形影響水源時，彈性調整反沖洗廢水回收水量)，並增設 ϕ 400mm 反沖洗廢水排放管至原水井，反沖洗時將反沖洗廢水以重力直接回收至原水井，改善方法如圖 10 所示：

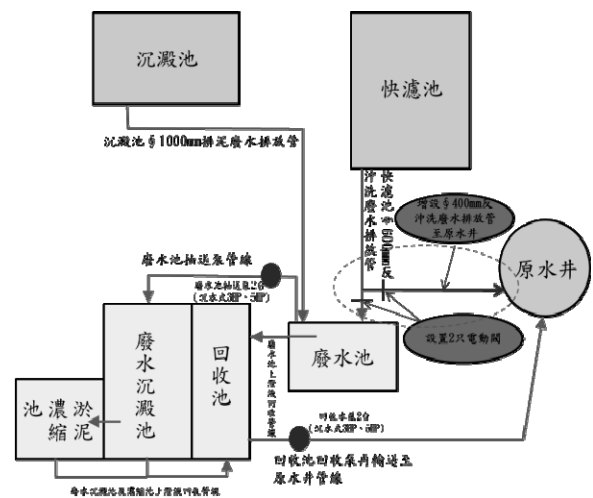


圖 10 雙溪場改善後廢水流向配置示意圖

五、結語

(一)透過改善反沖洗廢水回收方式，可大幅縮短快濾池反洗間隔，提升反洗排程餘裕，目前雙溪淨水場透過相關設備改善，由遠端監視器(CCTV)、監控遙控及走動式管理等方式，進行淨水流程操控，現已轉型為夜間及假日無人駐守自動化淨水場。

改善前宥於原設備限制每日要反沖洗 2-3 池之快濾池，則假日需另行派員進行快濾池反沖洗操作，改善後反沖洗時不再受限於廢水池容量限制，可增加每日快濾池反沖洗池數至 8 池，配合雙溪場自動化調整反洗週期為周一、三、五各清洗 8 池，則假日無需派員輪班。

- (二)透過反洗廢水分流策略，可充分拉長廢水池靜置時間，避免原濁度較高之迴流水重複進入淨水流程影響水質現象，且靜置後濃度較高之底泥導入廢水沉澱池及濃縮池，提升淤泥場運轉效率。
- (三)經計算反沖洗廢水直接迴流，每年減少 249,600 噸反沖洗廢水回收用電，節省動力費用 22,020 元(10,055 度*2.19 元)，達到節能減碳效果，並減少設備耗損。
- (四)反沖洗廢水直接迴流，對混凝沉澱後水質並無明顯影響，甚至可以一定程度提升混凝沉澱效果，探就其原因為迴流之反沖洗廢水含有眾多不穩定、沉降性頗佳之微粒，可以明顯增加碰撞頻率，促進混凝程序之進行，經實場驗證，目前已降低雙溪淨水場混凝劑 PACl 用量，節省藥品費用。

參考文獻

- 1.余苑婷、張嘉宏、樊運成，「提升淨水場用水效能-以過濾單元之反沖洗用水減量為例」，財團法人台灣產業服務基金會，2007。
- 2.張添晉，盧怡均，「回收淨水場廢水之最適化控制研究」，國立台北科技大學環境工程系，中華民國環境工程學會2010廢水處理技術研討會，2010年。
- 3.Cornwell, D.A. and MacPhee, M.J., Effect of spent filter backwash recycle on Cryptosporidium removal, Journal of American Water Works Association, vol.93, no.4, 2001, pp.153-162。
- 4.Edzwald, J.K. and Tobiason, J.E., "Fate and removal Cryptosporidium in a dissolved air flotation water plant with and without recycle of waste filter backwash water", Water Science and Technology: Water Supply, vol.2, 2002, pp. 85-90。

作者簡介

陳俊豪先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師

專長：自來水工程施工、淨水設施規劃施工

以高分子凝聚劑改善低濁原水處理效能之安全性評估

文/謝淑婷、王根樹

摘要

本研究彙整以高分子凝聚劑作為飲用水水質處理藥劑對水質安全影響之相關文獻，包含有機高分子凝聚劑使用應有相關規範、應配合採取之操作條件、殘留藥劑濃度及可能產生之副產物等，同時針對有機高分子凝聚劑使用後清水中殘留劑量及生成消毒副產物可能衍生之健康效應進行評析。為避免高分子凝聚劑中單體及消毒後生成消毒副產物對人體健康之潛在危害，自來水事業單位必須透過購買經公正單位認證藥劑產品及操作時最高加藥劑量之管控來控制清水中單體之濃度，配合清水中消毒副產物之監測以保障水質安全。

關鍵字：高分子凝聚劑、低濁度原水、混凝、消毒副產物

一、前言

近年來台灣自來水公司所屬淨水場常遭遇低濁度難處理原水之問題，導致清水濁度不佳而衍生消費者對自來水水質安全有所疑慮的問題。低濁度難處理原水常發生於連續下雨後河川地質礦層顆粒溶出，或因水中粒狀物質摩擦產生微細顆粒，使得原水呈現灰白色（圖 1）。此種原水雖濁度不高，但因加入聚氯化鋁（PACl）或硫酸鋁（ $Al_2(SO_4)_3$ ）等混凝劑後無法進行有效且均勻之混凝膠凝作用，因而形成質量輕、結構鬆散之細小膠羽。此種細小膠羽在沉澱池之沉降效果差，無法在水力停留時間內有效沉降，除增加快濾池的處理負荷外，亦可能穿

透快濾池而造成清水濁度提升，影響供水品質。此種現象在颱風、大雨等極端氣候發生上游水庫洩洪後更容易出現，常造成淨水處理困難，導致過濾後清水濁度超過淨水處理內控標準之機會增加，並使得過濾池操作壓損增大及反沖洗頻率上升，造成淨水場處理困難及處理成本增加，也造成清水中溶解鋁含量過高的問題，影響供水品質。

現今我國飲用水水質處理藥劑使用規定，當飲用水水源之原水濁度大於 250 NTU 時，始得使用高分子凝聚劑，並應於每次使用後七日內依規定格式向環保署申報。而目前有機高分子凝聚劑於飲用水水質處理之應用，在美國、歐洲等先進國家並無以原水濁度高低限制使用之規定，但因現階段尚未完整建立飲用水水質相關高分子凝聚劑藥劑殘存單體及其衍生消毒副產物檢測方法，各國多透過藥劑單體濃度規範、使用劑量限制及特定消毒副產物監測等方式確保供水安全。

考慮近年氣候變遷導致暴雨、洪水、乾旱等極端氣候頻率增加之影響，飲用水水源出現低濁度、難處理如白濁原水之現象恐持續出現。為評估以高分子凝聚劑作為飲用水水質處理藥劑之安全性，本文蒐集並彙整用於淨水處理之有機高分子凝聚劑化學藥劑特性及其衍生消毒副產物相關毒性與健康影響資料、歐美先進國家淨水處理使用高分子凝聚劑相關法規等資料，以供自來水事業單位及主管機關評估以有機高分子凝聚劑

作為低濁度原水水質處理藥劑使用之參考。



圖 1 石門淨水場原水白濁現象 (臺灣大學環工所童心欣教授提供)

二、高分子凝聚劑作為水質處理藥劑之背景

混凝/膠凝為自來水處理重要流程，目的在使膠體懸浮液去穩定化，同時去除水中懸浮固體與部分疏水性有機物質。淨水處理過程添加高分子凝聚劑作為混凝劑或助凝劑已累積相當應用資料可供參考。添加聚電解質除有利於移除水中的粒狀物及天然有機物，也能促進膠羽沈澱力及污泥脫水性。

一般用於淨水處理之高分子凝聚劑其分子量多小於 500,000 Da，且可作為主要混凝劑、助凝劑、膠凝劑和助濾劑等不同目的使用；其形式可能是陽離子、陰離子或非離子態的高分子化合物。一般常用於淨水處理藥劑使用的高分子凝聚劑有聚丙烯醯胺 (polyacrylamides) (陰離子、非離子及較少見的陽離子型)、氯甲基一氧三環二甲基胺聚合物 (epi-DMA) 及聚氯化己二烯二甲基胺 (poly-DADMACs)，作為主要混凝劑或助凝劑使用之聚電解質多為陽離子化合物；而作

為膠凝劑使用的聚電解質則多為陰離子或非離子態之化合物 (表 1)。高分子凝聚劑也應用在幫助污泥脫水，因此可能會有殘留的高分子凝聚劑隨著回收水進入淨水處理流程中。

表 1 飲用水處理中高分子凝聚劑之應用^[1]

應用	型態	結構	潛在前處理	後處理	劑量範圍, (mg/L)
助凝劑	陽離子或非離子性	Polyacrylamide poly-DAD MAC Epi-DMA	氧化 PAC	膠凝 沈澱 過濾 消毒	0.2-2
混凝劑	陽離子	Polyacrylamide poly-DAD MAC Epi-DMA	氧化 PAC	膠凝 沈澱 過濾 消毒	1-25
膠凝劑	陽離子或陰離子	Polyacrylamide poly-DAD MAC Epi-DMA	氧化 PAC 混凝	沈澱	0.2-2
助濾劑	非離子性或陰離子	Polyacrylamide	氧化 混凝 / 膠凝 沈澱 消毒	消毒 薄膜處理 GAC	0.01-2

PAC：粉狀活性碳；GAC：粒狀活性碳。Polyacrylamide：有陽離子型 (CPAM) 及陰離子型 (APAM)。

三、高分子凝聚劑使用之健康疑慮

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其具有改善清水水質、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及生成

消毒副產物對消費者的潛在健康影響，另需考慮殘留在廢水、製程或生物固體中之聚合物及單體對環境生態可能造成的潛在危害。

(一)有機高分子凝聚劑的毒性^[2,3]

飲用水處理中使用的陽離子或陰離子聚電解質大多為低毒性化合物，陽離子聚電解質毒性較高一點，尤其是對水生生物而言。一般文獻顯示單體的毒性比聚合物強，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，在聚丙醯胺聚合物中常有許多未反應的聚丙醯胺單體存在。丙烯醯胺具神經毒性，為可能的人類致癌物，短時間高濃度暴露對於神經系統會產生損害、虛弱及導致下肢不協調之潛在風險；長期暴露於丙烯醯胺則可能發生神經系統損害、麻痺及導致癌症。

一般民眾主要暴露於丙烯醯胺的途徑為食物攝取，食品中的丙烯醯胺濃度變化會因食品的種類、處理和烹調過程而有所差異，但一般而言隨著溫度提升以及加熱時間增長而產生較高濃度的丙烯醯胺。富含高碳水化合物化合物的食品，經由高溫處理後會產生丙烯醯胺（如洋芋片）。亦可經由飲用水暴露聚丙醯胺，以聚丙醯胺處理的飲用水中可能有其單體殘留物，或是水中曾接觸接觸含丙烯醯胺的物質（如使用在水壩的灌漿劑）。在預期不會造成健康不良效應的前提下，美國環保署將飲用水中最大容許量目標值（Maximum Contaminant Level Goal, MCLG）訂為 0。

Epi-DMA 經皮膚接觸、飲用或吸入等途徑並不會對人體帶來毒性，但其特性與聚丙醯胺相似，Epi-DMA 具毒性的未反應單體

或反應副產物等不純物質會存在於溶液中；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，且經皮膚接觸、飲用或吸入等途徑並不會對人體帶來毒性。若經由不同途徑過度暴露可能刺激腸胃道，眼睛黏膜和皮膚接觸大量 Poly-DADMAC 則可能導致灼傷。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。

至於在水體環境中，陽離子聚電解質相較於陰離子聚電解質和非離子性聚電解質而言，對水生生物的影響更大，因陽離子聚電解質可能會使魚鰓阻塞並導致其窒息。關於聚電解質對於淡水生物毒性的結論指出，魚類對陽離子聚電解質較敏感，但藻類對陰離子聚電解質較敏感，因為陰離子會螯合其營養鹽中的金屬陽離子。

(二)高分子凝聚劑之降解

對於高分子凝聚劑使用的疑慮之一是保存期限或使用期間藥劑的降解問題，例如 PolyDADMAC 藥劑建議應保存在攝氏 30 度以下，並且避光。在某些案例，高分子凝聚劑之原料會被儲存於恆溫控制的環境中，有些則是被存放於一般無特別控制的環境下，這些儲存條件的差異皆會影響高分子凝聚劑使用時的狀態。淨水場中高分子凝聚劑的保存方式主要取決於其形態（液態或是粉

狀)、使用頻率，以及水廠的操作習性，購買時應詢問藥劑供應商^[4,5]。

(三)消毒副產物 (DBPs) 之生成

因高分子凝聚劑本身可能扮演消毒副產物前質的角色，於消毒過程可能與消毒劑反應生成消毒副產物。

1. 高分子凝聚劑和氯反應

許多研究顯示高分子凝聚劑和氯反應會生成三鹵甲烷。陽離子聚電解質 (如 Poly-DADMAC 及 EPI-DMA) 也會因氧化反應而生成消毒副產物 (DBPs)，有研究顯示高分子量的陽離子聚丙烯醯胺和氯反應後生成的三鹵甲烷 (THMs) 濃度也最高。影響消毒副產物生成的主要變數包括加氯量、聚合物濃度、接觸時間等，但當水中有天然有機物 (NOM) 存在時，氯和 NOM 反應所生成的 THMs 濃度遠比高分子凝聚劑高得多，一般淨水流程使用高分子凝聚劑所產生的 THMs 濃度和 NOM 產生的相較，幾乎可忽略。當氯和 epi-DMA 反應時，可能產生的消毒副產物包含三氯甲烷、二氯乙酸、三氯乙酸、甲醛、乙二醛、甲基乙二醛等，而這些消毒副產物前質來源可能為聚合物中未反應的單體及不純物中的有機質成分，如環氧氯丙烷 (epichlorohydrin)、二甲胺 (dimethylamine)、環氧丙醇 (glycidol)、乙二胺 (ethylenediamine) 及在環氧丙烷中可能出現的各種含氯芳香族醇等污染物^[6]。

2. 高分子凝聚劑和臭氧反應

臭氧本身具有強氧化力，故能氧化高分子凝聚劑。以一般淨水處理流程使用的高分子凝聚劑劑量經臭氧反應後，產生的典型副產物為甲醛，若高分子凝聚劑劑量為 10

mg/L，Poly-DADMAC 和臭氧反應後產生 36 $\mu\text{g/L}$ 的甲醛，Epi-DMA 則產生 62 $\mu\text{g/L}$ ^[7]，此外也可能產生甲酸和其他醛類，但因飲用水淨水處理實務上鮮少使用如此高劑量之高分子凝聚劑，實際生成濃度應遠低於此。

3. 高分子凝聚劑和臭氧反應後加氯

若以臭氧作為原水前氧化的方式，在臭氧氧化後再加氯消毒，若臭氧氧化後產生的小分子中間產物未完全降解，可能會造成淨水處理上的問題。以 Poly-DADMAC 為例，實施前臭氧再加氯處理，可產生 435 $\mu\text{g/L}$ 的 AOX^[6]，主要的消毒副產物為三氯硝基甲烷 (chloropicrin, 197 $\mu\text{g/L}$)、三氯甲烷、二氯乙酸、及甲醛。且以臭氧進行前氧化處理，可致使 Poly-DADMAC 的二甲基胺 (DMA) 釋出，導致 N-亞硝基二甲胺 (NDMA) 生成增加^[8,9]。

4. 高分子凝聚劑和紫外光反應

在一般光線照射下，聚丙烯醯胺具安定性質，不致釋放出可偵測到的丙烯醯胺單體，但可觀察到胺基的水解反應，在 10 天後有 10% 的胺基轉化成羧酸 (carboxylic acid)。但在 UV 照射 10 天後則可測到少量的單體，因此聚電解質的分子量減少可能因化學結構的鍵結被 UV 打斷，而非聚合物的鍊結被解開。Kaiser and Lawrence[10] 以 Epi-DMA 單體 100 mg/L 和 10 mg/L 的氯反應並照射 UV 一小時，產生 13.8 $\mu\text{g/L}$ 的三氯甲烷。陽離子聚丙烯醯胺 (CPAM) 在 pH 3 下以 UV 照射一小時，則有六倍三鹵甲烷生成潛能^[5]。

5. 亞硝胺之生成

近期研究發現在水處理過程中使用的

陽離子含胺類聚合物(cationic amine-based water treatment polymers)可能是造成 N-亞硝基二甲胺 (N-Nitrosodimethylamine, NDMA) 生成的重要前驅物之一^[11]。Poly-DADMAC, Epi-DMA 和 Polyamines 等高分子凝聚劑被認為和消毒處理後清水中亞硝胺 (nitrosamin) 的生成有關，包括加氯消毒或以氯胺消毒的過程所生成之亞硝胺都被懷疑與所使用的高分子凝聚劑有關。亞硝胺消毒副產物包括九種有毒、甚至具致癌性的消毒副產物。其中 NDMA 尤其受到大眾關注。NDMA 不僅被美國環保署列為重點污染物，更名列污染物候選清單 (Contaminant Candidates List, CCL-4) 當中。針對亞硝胺類污染物，美國環保署目前尚未訂定任何清水中濃度的管制規範 (Maximum Contaminant Level, MCL)，但世界衛生組織 (WHO) 以及美國部分的州已對亞硝胺類污染物訂定了管制指引。世界衛生組織的管制指引對於清水中 NDMA 的殘留要求為低於 100 ng/L。加州則訂定了 NDMA 的報告濃度(notification conc.) 為 10 ng/L，即淨水場需向州政府申報，反應濃度 (response conc.) 則為 300 ng/L，即超過此濃度時水廠需採取適當行動，通常是建議更換水源。

(四)用於淨水處理之經濟性

高分子凝聚劑雖具有降低水中濁度及減少污泥產生的優點，但是其價格相較於無機鹽類的混凝劑還是顯得昂貴。曾有研究探討以 23 種有機高分子凝聚劑處理德州某高濁度原水，評估每種聚電解質的濁度去除效

能及減少濾材損耗性^[12]，以經濟上而言，節省下來的濾材反沖洗操作費相當於添加聚合物的費用，可相互抵消成本。而濾床可操作時間增加 5.4 小時，則可減少 18%的反沖洗水用量，因此每生產百萬加侖的水可節省 4.32 美元經費。依據高分子凝聚劑的價格和操作劑量 0.5 mg/L 估算，每百萬加侖的水約可節省 2.56 至 3.20 美元。此結果顯示高分子凝聚劑之使用具經濟上之可行性。

(五)高分子凝聚劑之殘留與偵測

淨水處理流程中經過混凝及過濾處理的水中可能殘留高分子凝聚劑，此外高分子凝聚劑也可經由淨水流程之回收水系統 (如反沖洗水及濃縮底泥水) 等途徑流返回淨水流程，或是經由污泥濃縮而殘留。由於丙烯醯胺是極性和小分子化合物，直接以氣相層析質譜儀 (GC/MS) 分析有其難度，且定量檢測水中丙烯醯胺的方法和檢測食物樣品中含量有很大差異，因水樣常需要各種吸附劑進行萃取。雖然已有研究提出藉由直接注射來分析地表水和飲用水中丙烯醯胺濃度，但以 GC/MS、GC/ECD (GC 搭配電子捕捉偵測器)、LC/MS (液相層析質譜儀) 分析水中丙烯醯胺濃度通常需要進行前處理，這些分析水中高分子凝聚劑的方法需要一段時間才能取得檢測結果。近來，檢測方法開發朝向發展直接注射樣本以 HPLC/MS/MS 檢測水中低濃度丙烯醯胺^[13]，此法具有靈敏 (定量極限為 1 $\mu\text{g/L}$) 和快速之優點，而超高效液相層析串聯式質譜儀 (UPLC-MS/MS) 因具有更低的偵測極限 (0.002 $\mu\text{g/L}$)，則

適用於檢測飲用水或環境水體中低濃度的丙烯醯胺^[14]。

四、關於高分子凝聚劑用於淨水處理之管制規範

淨水處理所用的高分子凝聚劑是由電解質單體(monomer)形成的長鏈狀物質。製造高分子凝聚劑時，可能有部分電解質單體未產生聚合作用，並殘留在商品化高分子凝聚劑中而成為不純物。因此當以高分子凝聚劑作為飲用水處理藥劑時，這些殘留的單體成為污染物質，造成潛在暴露的可能性。

(一)USEPA 關於高分子凝聚劑使用之管制

美國國家主要飲用水法規(National primary drinking water regulations, NPDWRs)針對丙烯醯胺之使用，根據其致癌物分類為疑似人體致癌物 B2，規定飲用水中丙烯醯胺濃度不可超過 0.5 $\mu\text{g/L}$ ，此標準係基於使用市售的聚丙烯醯胺產品做為混凝劑使用時所採用的加藥方式，即混凝時以單體濃度不大於 500 mg/kg 的聚丙烯醯胺加入水中且其添加劑量為 1 mg/L 而得，NPDWRs 並且制定丙烯醯胺的 MCLG 為 0。由於環氧氯丙烷之致癌物分類為疑似人體致癌物 B2，美國環保署針對環氧氯丙烷制定之 MCLG 亦為 0。因為此二種物質在水體中缺乏標準分析技術，美國環保署制定了處理技術要求(treatment technique, TT)以控制其在清水中之 MCL。此二種污染物的處理技術要求限制了聚合物與共聚物中的單體含量以及聚合物之使用劑量。其規範為：

1. 丙烯醯胺：聚合物與共聚物中的單體殘留量不可超過 0.05%，最大加藥量不可超過 1

mg/L。

2. 環氧氯丙烷：聚合物與共聚物中的單體殘留量不可超過 0.01%，最大加藥量不可超過 20 mg/L。

對於 DADMAC 單體，NPDWRs 並無訂定標準，且其亦無被列入 CCL1、CCL2、CCL3 之關切物質清單之中；水處理系統則建立了相關標準(NAS/ANSI60)，規定 DADMAC 單體在飲用水中不可超過 50 $\mu\text{g/L}$ 。

為了評估民眾可能經由飲用水暴露到的丙烯醯胺或環氧氯丙烷濃度，美國環保署根據上述藥劑使用規範，以最保守情況假設所有單體殘留物皆會進入處理後的清水中，估計有使用高分子凝聚劑的清水中丙烯醯胺濃度不致高於 0.5 $\mu\text{g/L}$ 。

在美國環保署的規範下，所有用水處理單位必須以書面報告向主管機關（例如州政府或環保署）證明高分子凝聚劑的製造劑量與單體殘留量不會超過美國國家主要飲用水法令中的規範。水處理單位必須透過第三方或是製造商認證機構提出淨水場所使用高分子凝聚劑的單體殘留含量檢測報告。

第三方認證機構美國國家衛生基金會(The NSF International, NSF)對於用水處理物質提供檢測與認證。現行美國要求所使用之化學藥劑必須符合美國國家衛生基金會與美國國家標準研究院(NSF/ANSI)標準 60 — 飲用水處理物質健康效應 (Drinking Water Treatment Chemicals - Health Effects)，該標準是以保護人體健康為目標制定使用化學物質的要求^[15]。NSF/ANSI 60 中針對丙烯醯胺與環氧氯丙烷的規範乃基於環保署的處理技術要求。因此，含有此二種物質的高分子凝

聚劑經過 NSF/ANSI 60 認證後，即代表當該產品按照規範使用時（例如特定目的或最高使用劑量），該藥劑之使用符合美國環保署的規範。

(二)其他國家關於高分子凝聚劑使用之管制

其他國家對於高分子凝聚劑之使用亦有部分規範，歐盟基於自高分子凝聚劑在水中可能釋出單體之最大值規定殘留單體濃度，歐洲標準 (BS EN) 規範丙烯醯胺單體 < 0.02%，Poly-DADMAC 單體 < 0.5%。加拿大

的飲用水法規中對於丙烯醯胺及 Epi-DMA 並無規範，但 13 個省份中有 9 個省要求飲用水添加劑應符合認證之健康標準，如 NSF/ANSI60，如此可有效地將單體殘留量限制為與美國標準相同的濃度。日本於 2014 年開始允許使用有機高分子凝聚劑為水處理藥劑，且參考歐美嚴格之使用管制，規定 acrylamide 殘留量應低於 0.05 $\mu\text{g/L}$ （非水質標準項目）。澳洲丙烯醯胺標準的允許濃度為 0.2 $\mu\text{g/L}$ 。

表 2 國際間高分子凝聚劑用於淨水處理之規範

國家/區域	法規或建議值	丙烯醯胺	Epi-DMA	Poly-DADMAC
USEPA	殘留單體	0.05%	0.01%	
	最大劑量	1 mg/L	20 mg/L	50 mg/L
	水中濃度	TT ¹	TT (Epichlorohydrin)	
英國 ²	殘留單體	0.02%	0.002%	
	劑量	0.25 mg/L (平均) 0.5 mg/L (最大)	2.5 mg/L (平均) 5 mg/L (最大)	
	水中濃度	0.1 $\mu\text{g/L}$ (最大)	0.1 $\mu\text{g/L}$ (最大)	
歐盟	殘留單體	0.02%		0.5%
	劑量	0.5 mg/L		1~2 mg/L
	水中濃度	0.1 $\mu\text{g/L}$	0.1 $\mu\text{g/L}$	
WHO ⁴	水中濃度	0.5 $\mu\text{g/L}$	0.4 $\mu\text{g/L}$	
澳洲 ⁵	殘留單體	-		2%
台灣	水中濃度	0.2 $\mu\text{g/L}$	0.5 $\mu\text{g/L}$	
	殘留單體	0.05%	20 ppm	5%
	最大劑量	1 mg/L	20 mg/L	10 mg/L
日本	最大劑量	0.1 mg/L		
	水中濃度	0.05 $\mu\text{g/L}$ ⁶	0.4 $\mu\text{g/L}$ (Epichlorohydrin)	-

1. USEPA 對水中丙烯醯胺與 Epichlorohydrin 之限制濃度為 TT。使用聚合物的水廠必須以書面方式向政府證明（第三方認證）藥劑中單體含量。使用之聚丙烯醯胺單體不能超過 0.05%，添加劑量不能超過 1 mg/L；Epi-DMA 單體不能超過 0.01%，添加劑量不能超過 20 mg/L。時，其劑量和單體濃度。另目標濃度 (MCLG) 則丙烯醯胺為 0，Epichlorohydrin 亦為 0。

2. DWI (2010 及 2016) 對於水中 Epi-DMA 留單體是由濃度和劑量限制來推算。

3. BS EN 規範丙烯醯胺單體 < 0.02%，Poly-DADMAC 單體 < 0.5%。歐盟 (2007) 基於自聚合物在水中可能釋放出最大值的單體進行規定殘留單體濃度。

4. WHO (2011) 對 Epi-DMA 因在健康資料中的不確定性，而訂立暫時的指引值

5. 澳洲 NHMRC (2016) 對 Epi-DMA 的指引值為低於偵測極限

6. 日本 2014 年允許使用有機高分子凝聚劑，根據水質要檢項目與目標值 (非標準項目)，acrylamide 殘留量應低於 0.0005 mg/L，(<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/ki jun/ki junchi.html>)。

一般而言，各國雖規範有機高分子凝聚劑用於淨水程序之使用劑量(表 2)，但在使用條件上並未加以限制，亦即並未限定原水濁度達一定程度時才能使用高分子凝聚劑。

五、結論

低濁度原水(濁度 < 250 NTU)之特性為溶解性物質較多，而濁度物質濃度較少，含有許多懸浮小顆粒而不容易沉降。相較於傳統混凝處理使用鋁鹽為主要混凝劑，文獻顯示添加適量有機高分子凝聚劑做為混凝過程之助凝劑，可達到良好的混凝效果。

Polyacrylamide 與 Epi-DMA 單體之毒性較高，在 USEPA 分類為可能人類致癌物，故在藥劑成分及使用劑量上有嚴格之限制，Poly-DADMAC 則一般認為毒性低。已有許多研究顯示高分子凝聚劑用於淨水處理時會生成 DBPs，但和天然有機物生成的 DBPs 量相比其生成量有限。使用氯胺消毒的淨水廠清水中的 NDMA 濃度則會隨著聚合物使用量的增加而上升。

高分子凝聚劑使用在低濁度原水淨水處理上仍受到現行法規限制，因此現階段淨水場在處理低濁水(含白濁水或黃濁水)時，應考慮濁度去除的影響因素，並調整混凝策略及混凝藥劑種類之選擇，自來水事業單位宜以各淨水場原水條件與水質參數配合杯瓶試驗結果進行評估，擬定適當的操作條件及加藥策略。

考量高分子凝聚劑用於淨水處理之潛在健康疑慮，未來如環保署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之嚴格管制策略，

亦即除要求使用符合經第三方認證藥劑不純物限值及單體濃度標準之藥劑外，同時採用更嚴格之容許添加劑量並配合後端清水消毒副產物管制及監控，以保障水質安全並維護國民健康。

參考文獻

1. AWWARF, Reactions of polyelectrolytes with other water treatment chemicals, AWWA Research Foundation Reports. 2005.
2. Ariseto 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. Lewis RJ. Acrylamide. In: Sax's dangerous properties of industrial materials. 10th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 66-67. 2000.
4. MacPhee, M.J., and D.A. Cronwell. Trace contaminants in drinking chemicals, AWWARF Project report, Denver. 2002.
5. Soponkanaporn, T. and Gehr, R. The degradation of polyelectrolytes in the environment: Insight provided by size exclusion chromatography measurements. Water Sci. Tech. 21:857-868. 1989.
6. Letterman, R. D., Pero, R. W. Contaminants in Polyelectrolytes Used in Water Treatment. Journal American Water Works Association, 82:87-97. 1990.
7. Fielding M., J. Hutchison, D.M. Hughes, W.H. Glaze, and H.S. Weinberg. Analytical methods for polymers and their oxidative by-products. AWWARF Project Report. 1999.
9. Stockham P. and J. Morran. Potential disinfection by-products from poly DADMAC. Based polyelectrolytes. Proc. WaterTECH Conference, Aust. Water Assocn., Sydney. 2000.

- 10.Kaiser K.L.E. and Lawrence, J. Polyelectrolyte: potential chloroform precursors. Science. 196:1205-1206. 1977.
- 11.Park S., L.P. Padhye, P. Wang, M. Cho, J-H. Kim, and C-H. Huang. N-nitrosodimethylamine (NDMA) formation potential of amine-based water treatment polymers: Effect of in-situ chloramination, breakpoint chlorination, and pre-oxidation. Journal of Hazardous Materials. 282: 133-140. 2015.
- 12.Tarquin A.J., G.B. Haan, and D. Rittmann. Polymer cost and performance evaluation. Water Engineering & Management. 145 27-31. 1998.
- 13.Mnif I, Hurel C, Marmier N. Direct injection method for HPLC/MS/MS analysis of acrylamide in aqueous solutions: application to adsorption experiments. Environ Sci Pollut Res 22:6414 – 6422. 2015.
- 14.Togola A, Coureau C, Guezennec AG, Touzé S. A sensitive analytical procedure for monitoring acrylamide in environmental water samples by offline SPE-UPLC/MS/MS. Environ Sci Pollut Res 22:6407 – 6413. 2015.
- 15.NSF International (NSF). Water Matters. Accessed online at: https://www.nsf.org/newsroom_pdf/water_municipal_water_matters_1606.pdf. Accessed December, 2016.

作者簡介

謝淑婷小姐

現職：台灣大學環境衛生研究所博士後研究

專長：飲用水衛生、新興污染物分析

王根樹先生

現職：台灣大學環境衛生研究所教授

專長：環境衛生、飲用水處理、新興污染物分析、風險評估

豐原給水廠低濁度原水最適加藥之研究

摘要

依據台灣歷年水資源特性，傳統枯水期大部分地面水原水濁度偏低約 50-10NTU(低於 250 NTU)，原水顆粒彼此間排斥力不強不容易沈降，傳統飲用水水處理混凝劑(如硫酸鋁、聚氯化鋁及氯化鐵)無法與其產生有效且均勻之碰撞，因而形成質量輕、結構鬆散之細小膠羽，不易沈澱亦可能穿透快濾池，為避免微生物及兩蟲之污染，反沖洗頻率必須增加，增加快濾池處理負荷，以致淨水場常被迫減量供水。

豐原給水廠由豐原第一及第二淨水場組成，原水水源為大甲溪石岡壩，目前豐原廠使用聚氯化鋁 (Polyaluminium Chloride, PACl) 作為混凝劑來處理水中懸浮固體物。本公司為確保供水品質，避免微生物及兩蟲之污染，淨水處理程序之過濾及清水嚴格要求內控濁度標準為 0.5 NTU。低濁難處理原水經過濾後之清水濁度有時仍超過內控標準 (0.5 NTU)。為了確保國人飲用水安全，本研究主要探討豐原給水廠低濁度原水最適加藥。

依原水濁度高低單獨選用氯化鐵 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 或採用 PACl+氯化鐵雙加藥系統，進一步分析清水鋁、鐵濃度的殘留及 pH 與鹼度的變化。實廠測試結果發現，採用先加氯化鐵後加 PACl 之方式，在原水濁度為 7.39 NTU、氯化鐵、PACl 加藥量分別為 6 與 3 ppm

文/林冠宇、刁文儀、林幸兒、趙文燦

情況下，清水殘餘濁度、殘餘鐵及殘餘鋁可分別降至 0.22 NTU、0.01 ppm 與 0.07 ppm，皆符合自來水公司內控標準，亦符合飲用水標準。

關鍵字：低濁原水、清水殘餘鋁、清水殘餘鐵、清水殘餘濁度、實廠研究

一、前言

為了提供量足質優的自來水做為工業或是民生飲用水，世界各國皆致力於提升原水的品質。目前界定原水品質的指標中最常使用的物理性指標為濁度，即量測水中礦物質，包括黏土、鋁氧化物、鐵氧化物、氫氧化物、矽鹽，及天然有機物質(NOM)，包括腐植酸(humic acid)、黃酸(fulvic acid)，其他還有病毒、細菌、原生動物及藻類等，其中天然有機物質會影響飲用水處理程序的選擇、混凝劑使用的種類與用量，若處理不當，會產生對人體有害的消毒副產物 (Edzwald, 1993)。而不同的水體中其懸浮固體物的成分及濃度變化差異甚大 (Burke et al., 1968)。陳(2005)發現台灣的南部與北部高濁原水之 pH 值皆約為 8，溶解性有機物(DOC)濃度皆約 2.5 mg/L，差異不大；然而北部高濁水顆粒小且比重低，南部高濁水顆粒比重較高，較北部高濁水容易沉降。而低濁原水方面，黃(2008)針對台灣自來水公司第一區至第四區管理處轄區內各淨水場之低濁原水進行濁度調查，結果發現無論地下水或河川水皆有白濁水的現象，大部份白濁水濁度在 10 NTU 以下，出現時間為 1-2 天，其中豐

原給水場之白濁水濁度為 20-90 NTU，且持續時間曾長達 2 個月之久，處理不易。為了有效處理低濁原水中的懸浮顆粒，目前國際上使用的技術包括混凝沉澱、浮除法、污泥迴流法、微絮凝接觸過濾法、高磁力分離法及薄膜過濾法(黃，2008)，其中又以混凝沉澱法運用較多，且自來水公司的淨水流程主要是以混凝沉澱來去除水中懸浮固體物，因此本研究主要針對混凝沉澱法進行探討。

Gregor et al. (1997)建議了一個處理低濁原水天然有機物的加藥方式，整理如下：

- 1.加入鋁凝聚劑前，將原水 pH 值控制在 4-5 之間，使鋁離子及天然有機物易於鍵結成較大聚合物。
- 2.加入鋁凝聚劑，控制原水 pH 值在 4-5 之間。
- 3.逐漸加入石灰(lime)，提升原水 pH 值，使鋁-天然有機物聚合物形成更大的膠羽以利沉降。

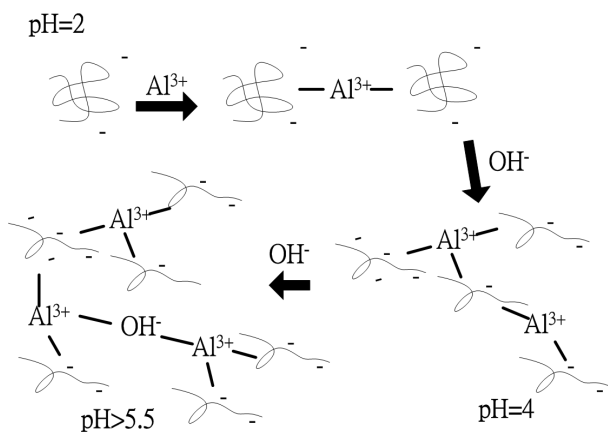


圖 1 天然有機物質與鋁離子在不同 pH 值下形成聚合物的鍵結情形

除了鋁凝聚劑外，國際上許多學者也嘗試使用其他種凝聚劑來處理低濁度原水。Yang et al. (2004)利用矽酸鈉(soluble glass)、硫酸鋁(Al₂(SO₄)₃)及氯化鐵(FeCl₃)合成金屬-聚矽

酸鹽作為凝聚劑，取廣東省河川作為原水(11-40 NTU)，進行一系列杯瓶實驗以找出最佳加藥量及各藥劑的最佳混合比例。實驗結果顯示鋁與鐵的最佳莫耳比值(Al/Fe)為 10:3，最佳操作 pH 值為 6-8，膠羽顆粒可在 12 分鐘內沉降，且聚矽酸(polysilicic acid)與各種水解鋁物質之間的交互作用可有效降低水中鋁顆粒的水解副產物濃度。

Cheng et al. (2008)製備聚氯化鋁矽(poly-aluminum-silicate-chloride, PASiC)及聚氯化鋁矽鐵(poly-aluminum-ferric-silicate-chloride, PAFSiC) 作為凝聚劑，進行含有天然有機物之低濁、低鹼度原水處理效能實驗，製備完成之聚氯化鋁矽之[Al+Fe]/Si 值為 5、[OH]/[Al+Fe]值為 1.5。實驗結果發現，當原水含有 0.5mg/L 之腐植酸時，加入 20-100 μmol/L PACl 皆無法進一步將濁度為 6 之原水濁度降低，原因是鋁-腐植質膠體不足，無法與水中懸浮顆粒作用。而聚氯化鋁矽或聚氯化鋁矽鐵的電荷密度較 PACl 低，在原水含有 0.5mg/L 之腐植酸時、有效藥劑量為 50 μmol/L 時可有效將濁度降從約 5 NTU 降至 2NTU 以下。然而，聚氯化鋁矽與聚氯化鋁矽鐵之有效劑量會隨著水中腐植酸濃度增加而增加，顯示腐植酸會消耗聚氯化鋁矽與聚氯化鋁矽鐵並降低濁度的去除率。然而針對水中殘餘凝聚劑濃度並無進一步檢測，且新合成之凝聚劑並未經過生物毒性測試，取得亦不易。

甘等人(2013)針對山上淨水場清水殘餘鋁改善進行研究，發現以硫酸鋁為凝聚劑之測試日當天原水濁度約為 25 NTU，原水溶解鋁為未檢出，而清水溶解鋁為 0.464 mg/L，

顯示出清水中之溶解鋁為清水總鋁含量超過 0.2 mg/L 之主因。而當原水濁度為 10-15NTU、使用氯化鐵作為混凝劑時，清水鋁含量皆低於 0.2 mg/L。

有鑑於前人之研究成果，本研究主軸利用聚氯化鋁及氯化鐵兩種使用最廣泛之藥劑作為混凝劑，以找出豐原廠之最適加藥量，最後以降低清水濁度(內控值 0.5 NTU)、水中殘餘混凝劑量(鐵內控值 0.24 ppm；鋁內控值 0.16 ppm)及找出最低加藥成本為原則，進行實廠測試，改善豐原給水廠清水鋁及殘餘濁度超內控之問題。亦針對不同純度(聚合度)之 PACl，應用於低濁高鹼度原水特性之豐原廠，探討原水濁度之去除，以及處理後水中殘餘鋁含量表現。

因豐原廠季節性白濁水為一低濁難處理原水，原水顆粒彼此間排斥力不強粒徑偏低不容易沈降，豐原廠目前使用飲用水水處理混凝劑聚氯化鋁無法有效處理、結構鬆散之細小膠羽，不易沈澱亦可能穿透快濾池。聚氯化鋁及氯化鐵兩種混凝劑雙加藥是否

適用白濁原水，易是值得檢視重點。

二、材料及方法

本研究針對淨水場之低濁原水分析水質，分析化學特性包括 pH、濁度、鹼度及有機物含量等、物理特性包括粒徑分佈、界達電位等。最後須再分析含有最適加藥量之原水濁度、鹼度、pH、餘氯、總鋁(鐵)、溶解鋁(鐵)等。本計畫研究流程如圖 2 所示。杯瓶實驗流程圖如圖 3 所示。

利用現行市售使用純度 10% 聚氯化鋁及氯化鐵兩種最廣泛之藥劑作為混凝劑，以雙加藥方式上找出豐原廠之最適加藥搭配劑量。本研究進一步根據杯瓶實驗結果進行豐原一場實廠加藥，針對各流程水包括膠羽池、沉澱池及清水池進行採樣分析鹼度、pH、餘氯、總鋁(鐵)之值，以確認實廠最佳加藥量及殘餘鐵、殘餘鋁情形，總鋁、總鐵濃度為分光光度計(DR2800, HACH Inc., USA)所測得。淨水流程及各加藥點如圖 4 所示。

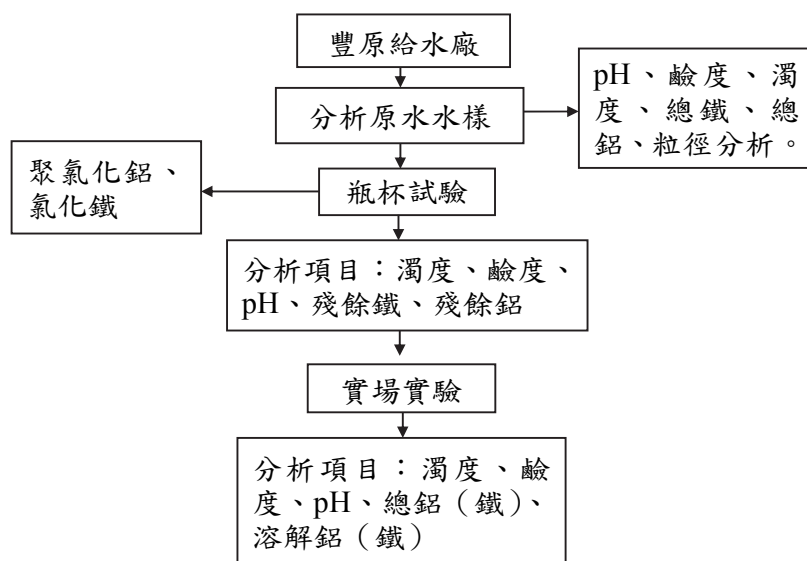


圖 2 實驗流程圖

以豐原一場三期為例，處理原水量40萬CMD

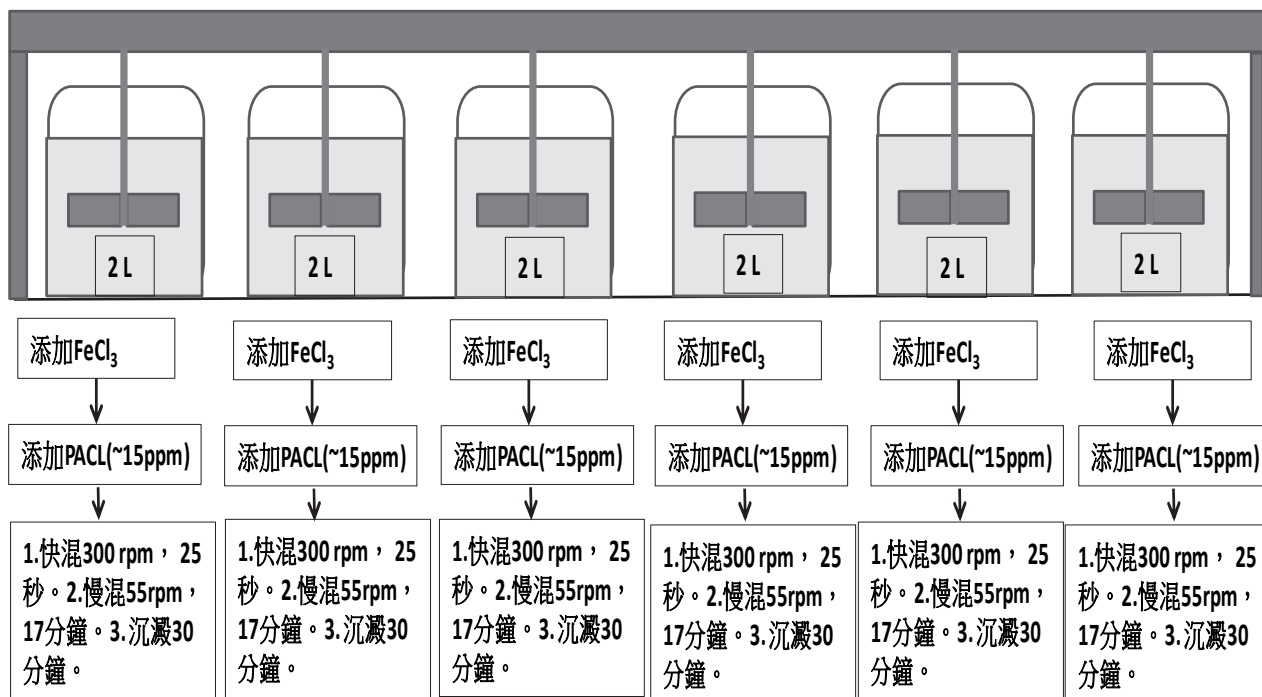


圖 3 杯瓶實驗(添加氯化鐵)

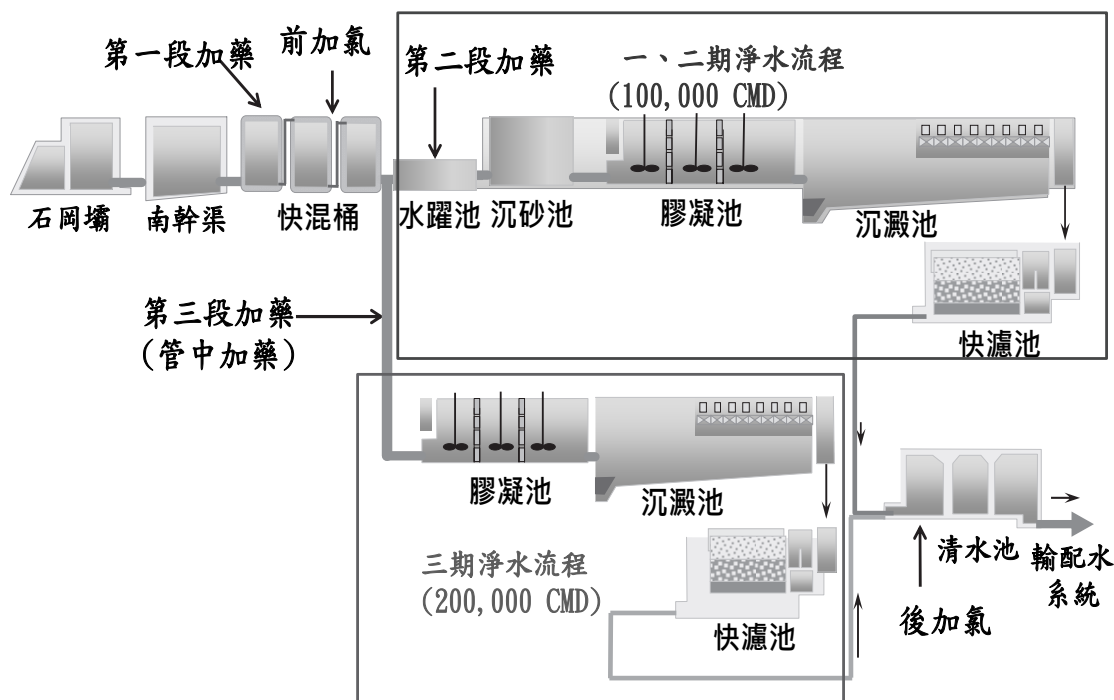


圖 4 淨水流程及加藥點

三、結果與討論

大甲河流域豐原給水廠，105 年度原水濁度低於 30NTU 之天數占全年天數的 66% 以上。為了瞭解低濁原水的粒徑分布，本研究採集豐原廠原水水樣進行濁度及粒徑分析，結果如表 1 所示：

表 1 豐原淨水場原水粒徑分佈情形：

日期	原水濁度(NTU)	原水界達電位 (mv)	平均粒徑 nm	奈米範圍主要分布粒徑 nm
2018/01/15	17 (白濁水)	-11.95	3,839	69.6-265.4
2018/02/09	110	-11.61	11,063	737.2
2018/02/12	25	-11.48	8,134	308.6

當原水濁度為 17NTU 時，水色呈現白濁現象，且具有較多的溶解性物質、濁度物質較少、顆粒平均粒徑較小，粒徑範圍為 69.6-265.4nm；當原水濁度為 25NTU 時，奈米主要粒徑為 308.6nm。此兩種低濁情況下之平均粒徑皆小於原水濁度為 110NTU 時。白濁水期間平均奈米粒徑 3,839nm 遠小於 2018 年 2 月 12 日原水 25NTU 平均奈米粒徑 8,134nm。

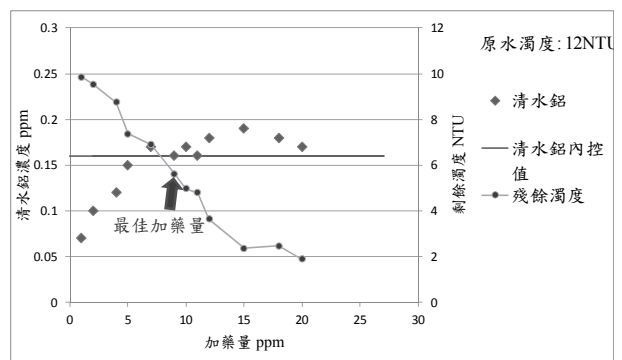
圖 5 為不同原水濁度情況下利用杯瓶實驗模擬沉澱水的總鋁濃度與加藥量關係圖。當原水濁度為 12NTU，PACl 最佳加藥量為 10 ppm，然而加藥至 7 ppm 時總鋁超過內控值；當原水濁度為 28NTU，PACl 最佳加藥量為 20 ppm，總鋁濃度隨著加藥量增加而增加，當加藥量為 12ppm 時，總鋁超過內控值。當原水濁度為 66.8NTU 時，總鋁並未隨著加藥量增加而增加，即便加藥量來到 45ppm，總鋁濃度仍低於內控值。低濁時，鋁混凝劑不易與細小顆粒產生膠羽，造成殘餘總鋁濃度超過內控值。當原水濁度較高

時，膠羽較易形成，總鋁不易超過內控值。

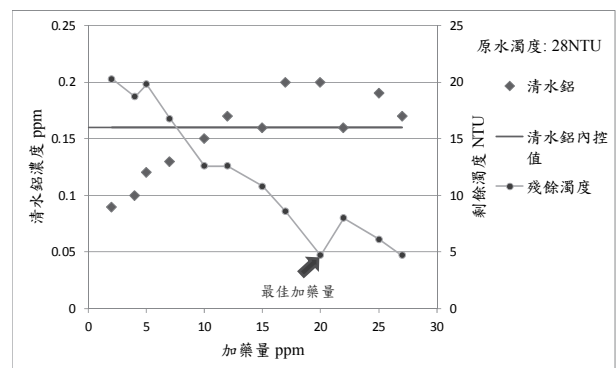
本實驗在單一原水濁度條件下同時進行兩種加藥模式之杯瓶實驗，原水濁度分別為 7.62、10.5、14.5、19.3、26.3、42.9、51.4、52.5 及 68.2NTU。曲線方程式如下所示：

$$1. y_{\text{氯化鐵}} = -0.0095x^2 + 0.9544x - 5.2751, R^2 = 0.6592$$

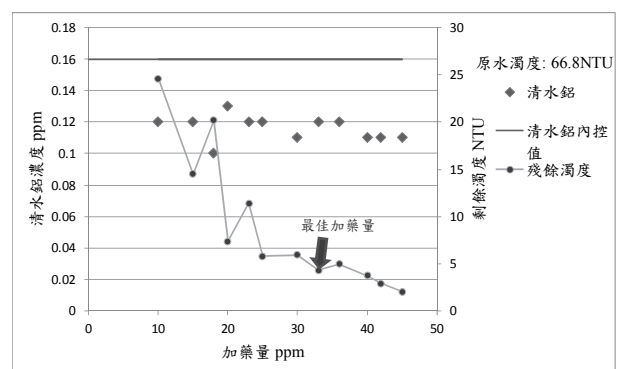
$$2. y_{\text{氯化鐵}+PACl} = 0.0063x^2 - 0.1161x + 6.8499, R^2 = 0.8149$$



(a)



(b)



(c)

圖 5 沉澱水總鋁濃度與加藥量關係

當原水濁度小於 30NTU 時，單純加氯化鐵時最適加藥量皆低於或等於混合加藥之最適加藥量，上述原水濁度下 PACl 與混合加藥之最適加藥量分別為 3 與 5 ppm、4 與 6 ppm、7 與 7 ppm、8 與 8 ppm、9 與 12 ppm、15 與 15ppm、25 與 15 ppm、10 與 9 ppm、25 與 15ppm 及、15 與 35ppm。研究結果發現當原水濁度為 7.62 及 10.5NTU 時，單純加氯化鐵及混合加藥所時用的氯化鐵濃度皆相同，分別為 3 ppm 及 4 ppm。此結果顯示若原水濁度小於 10 NTU 時，單純加氯化鐵為最佳加藥模式。本研究進一步分析處理每噸原水所需要之加藥成本發現，若 PACl 及氯化鐵之價格分別為 6 及 15 元/kg，當原水濁度為 7.62、10.5、14.5、19.3、26.3 時，氯化鐵及混合加藥之最適加藥量需分別花費 0.045 與 0.057 元/m³、0.06 與 0.072 元/m³、0.105 與 0.06 元/m³、0.12 與 0.093 元/m³ 及 0.135 與 0.135 元/m³。此結果顯示雖然氯化鐵每公斤成本約為 PACl 的 2.5 倍，但針對低濁原水的混凝加藥成本上並沒有太大的差別，因此就成本考量上，本研究建議當原水濁度低於 10NTU 時，可視出水色度狀況，選擇單獨使用氯化鐵進行加藥，當原水濁度大於 10NTU 時，則可選擇混合加藥的方式(氯化鐵+PACl)進行混凝沉澱。

表 2 加藥點、使用混凝劑及加藥濃度

階段	加藥日期	採樣日期	第一段加藥 (ppm)	第二段加藥 (ppm)	第三段加藥 (ppm)
一	8/29~8/31	8/30	PACl: 3	PACl: 6	FeCl ₃ : 2
二	8/31~9/4	9/4	PACl: 3	PACl: 6	FeCl ₃ : 4
三	9/4~9/5	9/5	FeCl ₃ : 8	PACl: 3	不加藥
四	9/5~9/6	9/6	FeCl ₃ : 6	PACl: 3	PACl: 3

表 2 為根據杯瓶實驗結果所訂之實廠加藥策略。圖 3 為各階段加藥時各單元殘餘濁度、總鐵與總鋁濃度關係圖，當原水濁度為 5.82 NTU 時，三期沉澱水之殘餘鐵濃度因加入 2 ppm 氯化鐵而有顯著增加，但清水殘餘鐵並未超過內控值(0.24 ppm)，而清水殘餘鋁仍有 0.15 ppm，推估為先前淨水加藥留存之鋁，但未超過內控值(0.16 ppm)，此結果顯示氯化鐵有助於低濁原水顆粒形成較大膠羽，藉由沉澱、快濾池去除殘餘濁度及殘餘鋁(圖 4(a))。

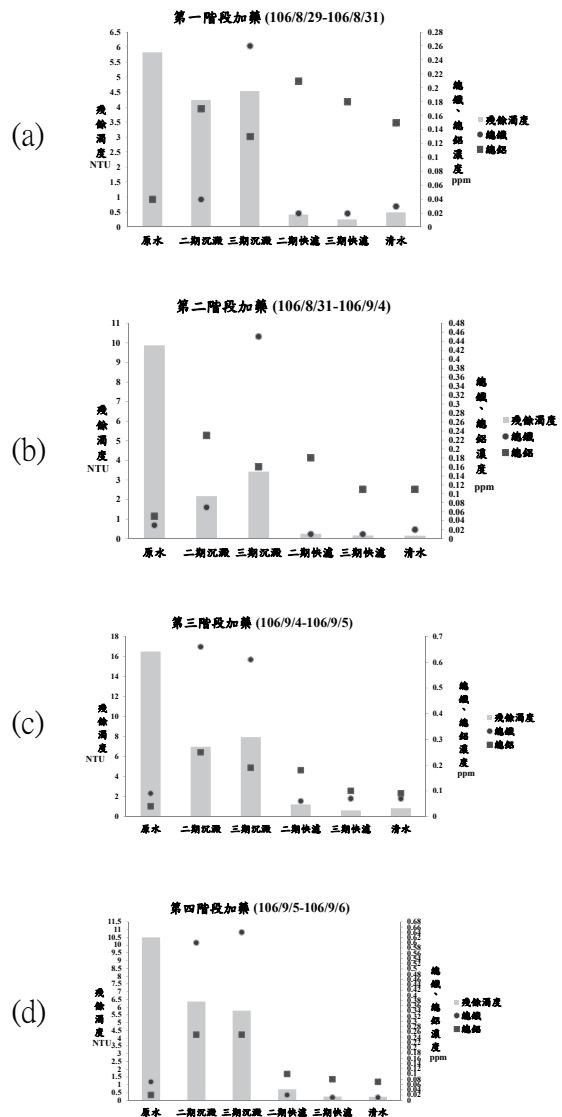
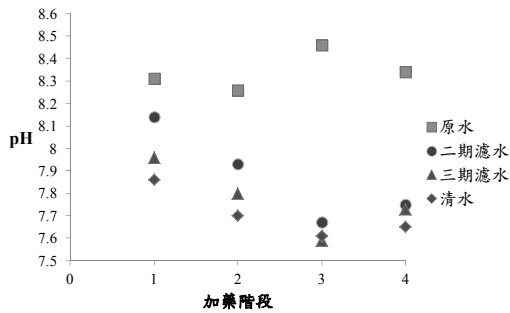
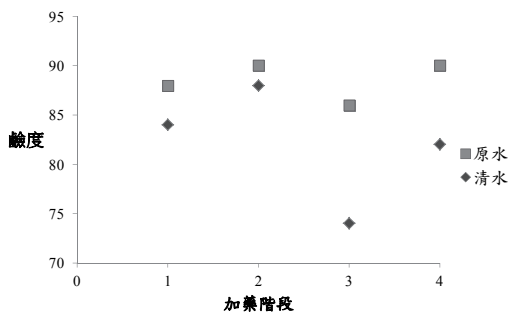


圖 6 各階段加藥與殘餘鐵、鋁濃度之關係

當原水濁度為 9.78 NTU 時，第二階段加藥將三期氯化鐵進一步由 2 ppm 提升至 4 ppm，結果如圖 6 (b)所示，清水殘餘濁度、殘餘鐵及鋁皆符合內控標準，且清水殘餘鋁進一步降低至 0.11 ppm。第一及第二階段皆未在二期處理設備加氯化鐵，因此二期沉澱水總鐵並沒有顯著增加。執行第三階段加藥時，本研究將加藥點做變更，二期淨水流程改為先加氯化鐵後加 PACl，三期則改為第一段加氯化鐵，第三段不加藥，結果如圖 4(c)所示，當原水濁度為 16.5NTU 時，二、三期沉澱水總鐵濃度階顯著提升，但快濾池對總鐵及總鋁去除效果仍佳，清水總鐵及總鋁濃度分別為 0.07 及 0.09 ppm，皆達內控標準，然而清水濁度卻上升至 0.85 NTU，並未低於內控值。



(a)



(b)

圖 7 各加藥階段 pH 及鹼度變化

為了進一步改善清水殘餘濁度，本研究於進行第四階段加藥時，除了延續第三階段之加藥策略，並在第三段加藥點加入 PACl，結果發現當原水濁度為 10.5 NTU 時，清水鋁並未因二三期淨水流程皆加入 PACl 而超內控，且清水殘餘濁度降至 0.22。

圖 7(a)為各加藥階段處理水 pH 變化，如圖所示第三階段二期、三期濾水及清水 pH 較其他加藥階段低，原因是第三階段氯化鐵加藥濃度較高，但清水 pH 再所有加藥階段變化不大，變動範圍再 7.61-7.86 之間，符合飲用水標準。圖 7(b)為各加藥階段原、清水鹼度變化，清水耗鹼程度與加氯化鐵濃度成正比。

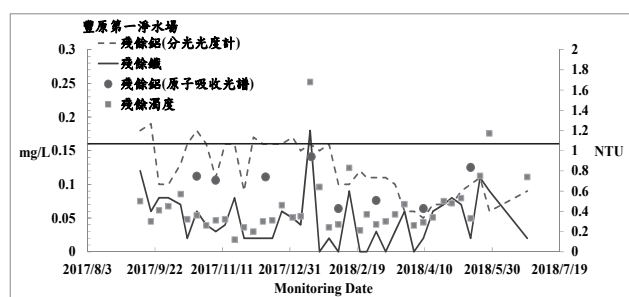
進行完各種加藥策略測試後發現，本研究認為第四階段的加藥方式(第一段加 FeCl₃，第二、三段加 PACl)為最符合豐原第一淨水場淨水處理的加藥策略。為了確保豐原第一淨水場之清水殘餘鋁、殘餘鐵及殘餘濁度能符合飲用水品質標準，本研究持續監測該廠清水水質，並與豐原第二淨水場之清水殘餘鋁、鐵及殘餘濁度值做比較(豐原第二淨水廠尚未執行混凝加藥改善工程)，監測期間為 2017/09/11~2018/05/31，結果如圖 8 所示，豐原第一淨水場之清水殘餘鋁、鐵及清水殘餘濁度皆符合飲用水標準值，而豐原第二淨水場之清水殘餘鋁濃度仍有改善空間。

根據圖 8 結果發現，2018/01/15 及 2018/02/12 兩日豐原一、及二場之清水殘餘濁度皆有顯著超內部控制標準值的情形。造成此結果的原因可能是由於原水濁度平均粒徑較小(如表 1 所示)，水中顆粒較難與混

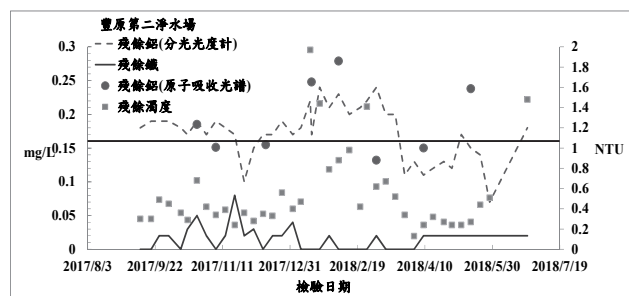


凝劑產生膠羽，因此水中的懸浮固體與顆粒鋁接穿透快濾池，造成清水殘餘濁度及殘餘鋁濃度增加。此外，在未利用氯化鐵+PACl 加藥策略的情況下，顆粒鋁也會隨著殘餘濁度穿透快濾池，造成清水殘餘濁度超過內部控制值。

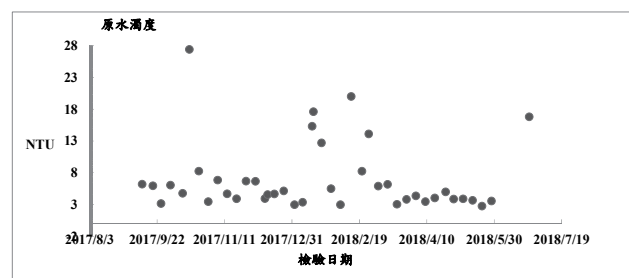
107 年 6 月 25 日至 26 日豐原廠短暫白濁原水，濁度 20-16NTU，白濁水期間豐原一場氯化鐵+PACl 雙加藥及二場 PACl 單加藥模式結果比較如表 3 及表 4。



(a) 豐原第一淨水場監測數據



(b) 豐原第二淨水場監測數據



(c) 原水濁度值

圖 8 豐原廠原水濁度、清水殘餘鋁、鐵及殘餘濁度監測值(監測時間 2017/09/11 ~2018/05/31)。

表 3 顯示豐原一場一二三期 6 月 25 日當日採雙加藥淨水處理，原水濁度 16.7NTU 沉澱水濁度皆小於 5NTU 符合本公司內控值；過濾水皆大於 0.5NTU 一三期小於 1NTU 二期 1.26NTU 大於 1NTU，混和清水 0.74NTU；一二三期過濾水及清水總鋁皆小於本公司內控值 0.16mg/L；一二三期過濾水及清水總鐵皆小於本公司內控值 0.24mg/L。總結混合清水濁度稍超過內控值 0.5NTU 小於飲用水水質標準。

表 3 107 年 6 月 25 日豐原一場白濁原水：氯化鐵+PACl 雙加藥實場檢驗結果

豐原一場一期	原水	沉澱水	過濾水	混和清水
濁度 NTU	16.7	4.83	0.83	0.74
游離氨氮 mg/L	0.11	0.08	0.06	0.04
總鐵 mg/L	0.07	0.23	0.03	<0.02
總鋁 mg/L	0.02	0.22	0.14	0.09
豐原一場二期	原水	沉澱水	過濾水	混和清水
濁度 NTU	16.7	4.97	1.26	0.74
游離氨氮 mg/L	0.11	0.10	0.05	0.04
總鐵 mg/L	0.07	0.27	0.08	<0.02
總鋁 mg/L	0.02	>0.25	0.17	0.09
豐原一場三期	原水	沉澱水	過濾水	混和清水
濁度 NTU	16.7	4.12	0.74	0.74
游離氨氮 mg/L	0.11	0.08	0.07	0.04
總鐵 mg/L	0.07	0.15	0.02	<0.02
總鋁 mg/L	0.02	0.18	0.09	0.09

表 4 顯示豐原二場一二期 6 月 25 日當日採 PACl 淨水處理，原水濁度 16.8NTU 沉澱水濁度一二期皆大於 5NTU 稍為超出本公司內控值；過濾水皆大於 1NTU 超過內控執，混和清水 1.5NTU；一二期過濾水及清水總鋁皆超出本公司內控值 0.16mg/L。

表 4 107 年 6 月 25 日豐原二場白濁原水:PACl 加藥實場檢驗結果

豐原二場一期	原水	沉澱水	過濾水	混和清水
濁度 NTU	16.8	7.61	1.23	1.48
游離氨氮 mg/L	0.09	0.11	0.08	0.04
總鐵 mg/L	0.04	0.05	<0.02	<0.02
總鋁 mg/L	0.02	>0.25	0.17	0.18
豐原二場二期	原水	沉澱水	過濾水	混和清水
濁度 NTU	16.8	5.48	1.77	1.48
游離氨氮 mg/L	0.09	0.07	0.05	0.04
總鐵 mg/L	0.04	0.07	0.04	<0.02
總鋁 mg/L	0.02	>0.25	0.23	0.18

綜上氯化鐵+PACl 雙加藥處理白濁難處理原水相較於單獨使用 PACl 效果明顯較佳，雖然濁度表現依然超出內控值。

四、結論與建議

根據 105 年豐原廠加 PACl 與清水鋁數據統計結果顯示，當原水濁度低於 10NTU 建議加藥量小於 5 ppm；當原水濁度為

10~20NTU 建議加藥量不超過 10，濁度為 20~30NTU 時，建議加藥量 15 ppm。

杯瓶實驗結果發現，當原水濁度小於 30NTU 時，單純加氯化鐵時最適加藥量皆低於或等於混合加藥之最適加藥量。當原水濁度小於 10 NTU 時，單純加氯化鐵為最佳加藥模式，且在低濁原水情況下氯化鐵之加藥成本與 PACl 的混凝加藥成本上並沒有太大的差別。就成本考量上，本研究建議當原水濁度低於 10NTU 時，可視出水色度狀況，選擇單獨使用氯化鐵進行加藥，當原水濁度大於 10NTU 時，則可選擇混合加藥的方式(氯化鐵+PACl)進行混凝沉澱。

實廠測試結果發現，各階段加藥模式對降低清水殘餘鋁的效果皆有顯著提升，以氯化鐵+PACl 效果最佳，如單純加氯化鐵則殘於濁度控制不易。此外，當豐原廠出現低濁原水或白濁水時，清水殘餘濁度仍有超內控值的情況，由表 3 及表 4 結果顯示 6 月 25 日白濁原水豐原一場採取雙加藥淨水程序，不論清水濁度或清水殘餘鋁的表現皆優於二場單加藥的表現，清水殘餘鐵<0.02 亦無鐵殘留疑慮。然過濾水及清水濁度仍超過內控值問題，未來本研究團隊擬進一步利用高分子凝聚劑進行低濁原水(白濁水)加藥測試，以建立不同原水濁度情況下之加藥策略，確保民眾可飲用到量足質優之自來水。

參考文獻

- 1.D. R. C. McLachlan. Aluminum and the risk for Alzheimer' s disease. Environmetric, 1995, 6 (3):233-275. .

- 2.V. Rondeau, D. Commenges, H. J. Gadda, J. F. Dartigues. Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: An 8-year follow-up study. *Am. J. Epidemiol*, 2000, 152 (1):59-66.
- 3.1. Burke T. J., Grange L., Dajani M. T., Forest P., Schuh T. R. Jr., 1965, Method of coagulation of low turbidity water, patent no. 3,377,274.
- 4.Edzwald J. K., 1993, Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants, *Wat. Sci. Tech.* 27:21-33.
- 5.Gregor J. E., Nokes C. J., Fenton E., 1997, Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation, *Wat. Res.*, 31:2949-2958.
- 6.Yang H. Y., Cui F. Y., Zhao Q. L., Ma C., 2004, Study on coagulation property of metal-polysilicate coagulants in low turbidity water treatment, *J. Zhejiang Univ. Sci.*, 5:721-726.
- 7.Cheng W. P., Chi F. H., Li C. C., Yu R. F., 2008, A study on the removal of organic substances from low-turbidity and low-alkalinity water with metal-polysilicate coagulants, *Colloids Surf. A*, 312:238-244.
- 8.賴建宏，天然濁水混凝最適加藥量與顆粒表面界達電位之關係研究，國立交通大學環工所，碩士論文，2006年。
- 9.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年。
- 10.甘其銓、林景哲、林秀雄、陳煜斌、謝國鎔、萬孟瑋，山上淨水場清水殘餘鋁改善之研究。嘉南學報，第三十九期：73-79，2013年。

作者簡介

林冠宇先生

現職：自來水公司第四區管理處操作課

專長：淨水廠設備改善、淨水加藥策略研究

刁文儀女士

現職：自來水公司總管理處水質處

專長：水質異常改善研究、飲用水處理藥劑研究

林幸兒女士

現職：自來水公司第四區管理處豐原給水廠

專長：水質檢驗、淨水加藥策略研究

趙文燦先生

現職：自來水公司總管理處水質處

專長：水質異常改善研究、淨水流程設備改善

推動自來水之綠能發展

文/蔡耀德、陳文祥、武經文

一、前言

綠能產業的宗旨是為了產業的永續經營，範疇主要包含：節能減碳產業、溫室氣體減量產業及再生能源產業等，一言以蔽之，舉凡具有節能減碳效益的產業，都屬於綠能產業，秉持可回收、低污染、省能源的原則，來進行產業的永續經營與發展，兼顧生產、生活與生態三生一體的綠能科技產業。

因應能源短缺及氣候變遷，政府積極推動節能減碳政策，並大力發展新興能源產業。因此，能夠降低能源使用量，及研發新興能源的綠色能源產業，成為目前許多廠商相當重視的產業，也是台灣另一個發展重點。

目前，政府提出的「綠色新政」，以使用綠色能源及發展綠色產業作為主要目標，不僅能夠解決環保問題，也能創造就業機會並活絡經濟，是社會進步的象徵，更成為解決經濟危機的有效方案。

二、計畫起源

我國能源高度依賴進口，化石能源依存度高，面對全球溫室氣體減量趨勢與國家非核家園共識，政府新能源政策規劃於 2025 年提升再生能源發電占比達 20%，其中太陽光電累積裝置容量目標為 20GW，包括屋頂型設置目標 3GW 與地面型設置目標 17GW，行政院於 105 年 10 月核定「太陽光電 2 年推動計畫」，透過各部會規劃相關策

略與措施，期能在兼顧能源安全、環境永續及綠色經濟發展均衡下建構安全穩定、效率及潔淨能源供需體系，創造永續價值，邁向非核家園願景。

台灣自來水公司(以下簡稱台水公司)配合政府推動再生能源政策，於 106 年著手評估供水場站在不影響正常供水及水質安全等考量下，選擇適宜地點設置太陽光電發電設備，以實際行動響應政府綠能政策，以減少 CO₂ 排放量、朝向非核家園前進、促進國內市場需求及增加就業機會。

三、設置綠能設備場地篩選原則

太陽能發電可以分為光電轉換和光熱轉換，光電轉換又可以稱作太陽能光電，它是利用太陽能板吸收太陽光然後產生直流電的一種發電裝置系統，太陽能板的構造主要是以半導體為原料所製作出來的太陽能電池所組成的，太陽能板可以製作成各種形狀也可以連接起來，藉此產生更多電力，像我們平常所看到的太陽能計算機就是光電轉換的太陽能發電，太陽能取之不盡和清潔無污染的特性，已成為開發新能源的首選，然而，台水公司供水設備場站雖然遍及全台，但並非每處均適合設置綠能設備，評估場站適宜設置太陽光電發電設備的條件如下：

(一)氣候

由於太陽能發電系統的實際輸出功率主要受太陽日照的影響，照度不僅受季節和

地理因素的影響，而且與當時的降水量、相對濕度、蒸發量、雲量等有密切相關，援此，台水公司於 106 年度委託顧問公司辦理「水庫及淨水場裝設太陽能板評估及效益書面報告」蒐集臺灣各氣象站年平均氣象資料，彙整結果詳表 1 臺灣各氣象站年平均氣象資料彙整表，及透過太陽能發電模擬系統進行發電量模擬，如表 2 模擬估算各縣市設置 1MW 太陽能發電系統之預估發電量，參考

太陽能電系統預估發電量，在考量發電效益的情況下，設置 1MW 太陽能發電系統年發電量超過 1300MWh 的地點為彰化縣、雲林縣、南投縣、嘉義縣及高雄市，均集中在南部地區，發電量評估結果，中南部地區的發電量高於北部地區。

參考 100 年至 104 年中央氣象局資料，降雨日數方面，以中部以南的縣市台中市、嘉義縣、台南市及高雄市較少，相對的日照

表 1 臺灣各氣象站年平均氣象資料彙整表

	全天空	日照時數	日照率	等效	降水量	降雨日數	蒸發量	相對溼度	氣溫
	輻射量			日照時數					
	MJ/m ²	hr	%	hr	mm	day	mm	%	°C
板橋	4,140.8	1,428.9	37.1	3.2	2,396.3	159	957.4	72.4	23.1
淡水	4,731.4	1,559.7	39.9	3.6	2,104.2	140	—	77.8	22.5
鞍部	3,462.2	984.4	28.0	2.6	4,476.8	203	553.8	89.2	17.1
臺北	4,069.3	1,281.7	34.3	3.1	2,375.4	161	984.4	73.2	23.3
基隆	4,054.3	1,315.2	34.4	3.1	3,425.9	203	1,039.3	76.6	22.7
彭佳嶼	4,831.9	1,672.3	41.8	3.7	1,589.8	157	1,177.0	81.4	21.8
花蓮	4,447.9	1,563.9	39.6	3.4	1,896.9	156	1,093.0	76.4	23.5
新屋	5,625.9	1,906.6	47.4	4.3	1,237.7	105	1,635.0	77.3	23.1
蘇澳	3,823.3	1,442.9	37.0	2.9	4,048.8	221	1,060.7	79.2	22.8
宜蘭	4,051.1	1,436.4	37.0	3.1	2,585.0	190	807.8	80.2	22.6
澎湖	5,170.3	1,973.3	48.3	3.9	1,006.2	82	1,225.8	78.6	23.5
臺南	6,186.5	2,171.5	53.6	4.7	1,616.4	84	—	74.2	24.5
永康	5,159.2	1,952.8	49.5	3.9	1,679.8	82	—	73.4	24.3
高雄	5,557.1	2,357.0	57.1	4.2	1,787.6	85	1,395.2	74.4	25.5
嘉義	5,249.4	1,974.7	49.1	4.0	1,785.2	109	1,165.9	77.8	23.6
臺中	5,270.8	1,913.8	48.3	4.0	1,706.6	120	1,137.7	72.0	23.8
阿里山	4,300.5	1,415.7	52.6	3.3	4,074.7	169	518.4	84.8	11.5
大武	5,248.1	1,790.7	44.7	4.0	2,292.2	143	1,447.5	73.6	24.9
新竹	4,438.9	1,797.6	44.9	3.4	1,715.1	131	1,248.7	77.2	22.9
恆春	5,943.2	2,165.7	53.2	4.5	2,121.3	105	1,633.9	74.0	25.5
成功	4,952.5	1,384.5	36.1	3.8	2,065.4	186	1,109.5	78.0	23.8
蘭嶼	4,463.3	1,226.9	33.1	3.4	3,166.4	210	1,042.6	85.8	22.4
日月潭	4,340.1	1,506.1	39.9	3.3	2,363.8	140	722.2	82.4	19.3
臺東	5,141.9	1,746.1	43.6	3.9	1,782.7	141	1,274.3	74.8	24.6
梧棲	5,418.0	2,077.8	51.1	4.1	1,297.9	101	1,486.8	78.0	22.9
七股	6,036.7	2,384.1	57.9	4.6	1,149.9	77	—	74.0	23.9
全台平均	4,867.2	1,716.9	44.6	3.7	2,175.4	139	1,092.0	77.8	21.8

資料來源：中央氣象局，「氣象資料年報」，民國 100 年~104 年

表 2 模擬估算各縣市設置 1MW 太陽能發電系統之預估發電量

地區別	縣市別	湖庫名稱	海拔高程(EL)	年平均溫度	年發電量
				(°C)	(MWh)
地區	基隆 1	新山水庫	102	22.93	1,148.1
	基隆 2	西勢水庫	233	22.93	1,147.9
	台北/新北 1	翡翠水庫	190	22.77	1,128.2
	台北/新北 2	金龍湖	22	22.93	1,147.0
	桃園 1	石門水庫	307	21.56	1,147.7
	桃園 2	鳶山堰	55	21.56	1,147.8
	新竹 2	青草湖	49	22.95	1,202.8
	苗栗 1	鯉魚潭水庫	342	22.25	1,146.9
	苗栗 2	造橋段 488 地號蓄水池	33	23.2	1,214.8
	宜蘭 1	太湖埤	24	23.04	1,140.2
	宜蘭 2	雙連埤	472	23.04	1,139.3
	花蓮 1	鯉魚潭	140	23.6	1,280.3
	花蓮 2	七彩湖水庫	1136	20.69	1,271.4
非北部地區	台中 1	天輪後池	450	21.17	1,163.4
	台中 2	秋紅谷	84	23.75	1,227.9
	彰化 1	光明段 1980 地號水產養殖池	13	23.85	1,313.5
	彰化 2	彰濱工業區蓄水池	4	23.85	1,314.0
	雲林 1	台西鄉	1	24.1	1,364.9
	雲林 2	湖山水庫	181	23.82	1,322.5
	南投 1	日月潭	757	20.25	1,332.4
	南投 2	鯉魚潭水庫	621	20.25	1,350.8
	嘉義 1	新塭滯洪池	1	24.61	1,351.3
	嘉義 2	曾文水庫	230	24.35	1,191.3
	台南 1	虎頭埤水庫	33	24.6	1,267.9
	台南 2	白河水庫	129	24.6	1,270.0
	高雄 1	澄清湖	28	24.93	1,292.7
	高雄 2	阿公店水庫	35	24.74	1,300.9
	屏東 1	牡丹水庫	184	24.86	1,250.6
	屏東 2	龍鑾潭水庫	20	25.25	1,253.8
	台東 1	琵琶湖	6	24.57	1,266.1
台東 2	卑南上圳攔河堰	200	24.57	1,265.8	
離島地區	澎湖 1	興仁水庫	20	21.37	1,259.0
	澎湖 2	小池水庫	20	21.37	1,258.5
	金門 1	太湖	13	21.93	1,271.3
	金門 2	金湖	5	21.93	1,271.3
	連江 1	勝利水庫	23	20.57	1,098.2
	連江 2	東湧水庫	129.0	20.28	1,093.4

時數長，太陽能模組更能發揮效能，產出較多的發電量並維持穩定的供電，為企業躉售電量予台電公司所得到的電費能儘速獲得回本，通常企業評估投入的資金約 8 年可獲利之場站，較有意願參與設置綠能設備。

(二)併聯台電饋線距離及容量：

自來水場站設置太陽光電發電設備若要開挖路面埋管佈線方能併接台電饋線，須向路權單位申請路證並繳交一筆所費不貲的路修費，將提高企業投入的資金，待整體太陽光電發電設備設置完成，始可向台電公司申請掛表作業，台電公司再進行後續埋管佈線的施工，由於無法同步作業，拖累工程進度無法掌控完工日期。

目前設置太陽光電發電設備 1MW 容量所需成本約需 5,410 萬元(如表 3)，台電饋線可併聯容量的規模或鋪設太陽能模組的場

地面積等太小，無法達到具體規模的經濟效益、不符合投資報酬率，恐降低企業投入綠能建設的意願，影響推動的可行性，圖 1 為台電所提供饋線可併聯容量查詢系統畫面，可查詢台電饋線的冗餘設置容量及地點。

(三)供水設備正常維護運作及水質安全

為避免太陽能模組因天候影響，設備掉落淨水場的淨水單位，影響水質及正常供水，台水公司經謹慎考量後，評估以淨水場站清(配)水池頂上作為施設地點較為妥適(詳表 4)，該處面積空曠、無供水設備設置、不影響設備維護保養的作業及人員和車輛進出的動線，並可組裝較多的太陽能模板，倘遭受外在影響而損壞亦不直接掉落淨水單元而影響供水穩定及水質安全。



圖 1 台電公司饋線可併聯容量查詢系統畫面

表 3 所示設置太陽光電發電設備成本

類型	容量級距(MW)	106 年期初設置 成本(元/MW)	運轉維護費用 (元/MW)	運轉維護占比	參數值(%)
屋頂型	≥0.001~<0.020	71,000,000	2,286,000	3.22	2.55
	≥0.020~<0.100	57,900,000	1,488,000	2.57	
	≥0.100~<0.500	52,800,000	1,412,000	2.67	
	≥0.500	51,300,000	899,000	1.75	
地面型	≥0.001	54,100,000	1,247,000	2.31	2.31
水域型 (浮力式)	≥0.001	60,100,000	1,247,000	2.08	2.08

表 4 台水公司清配水池可設置太陽能板模組的地點、面積及預估容量調查表

項次	區處別	場站地點	設施面積(M ²)	預估容量(KW)
1	四 (台中市、南投縣)	豐原給水廠(二場)	2,444	418
2		鯉魚潭廠	17,550	1,675
3	五 (雲林縣、嘉義縣市)	嘉義水上 6,000T 清水池	2,016	212
4		嘉義水上 8,000T 清水池	1,500	
5		湖山淨水場	24,577	2,626
6		林內淨水場	12,152	1,330
7		嘉義公園場 12,700 噸清水池	2,288	598
8		嘉義公園場 22,500 噸清水池	5,700	
9	六 (台南市)	台南給水廠(永康)	5,548	532
10		物料課倉庫(永康)	4,081	392
11		南化給水廠(清水池)	17,464	1,489
12		台南給水廠(中崙)	13,604	1,396
13		烏山頭淨水場	2,970	236
14	七 (高雄市)	拷潭淨水場	3,055	425
15		澄清湖淨水場	15,658	950
16		鳳山淨水場(一期)	16,000	1,742
17		鳳山淨水場(二期)	16,000	1,742
18	十一 (彰化縣)	彰化給水廠(第三淨水場)	2,600	250
19		和美淨水場	650	62
合計			181,857	16,075

(四)訪視綠能產業

為使得台水公司辦理供水場站設置太陽光電發電設備的案件可以順利完成招標作業，訪視數家綠能廠商，就全台日照時數、經濟效益規模、台電併聯點位置及饋線容量等面向，探討所會遭遇到的問題、如何有效的解決及應注意的事項，經評估後以中南部地區之場站較具有設置綠色能源的潛力，詳表 3 台水公司清配水池可設置太陽能板模組的地點、面積及預估容量調查表，共計有 19 處，預估設置容量 16,075KW。

四、推動設置綠能設備

(一)執行情形

考量氣候、經濟規模、淨水設備安全及參考廠商建議等因素審慎評估後，台水公司選定高雄市鳳山淨水場及拷潭淨水場、台南市中崙加壓站及永康配水中心、嘉義市公園淨水場(註:嘉義公園場 12,700 噸及 22,500 噸等二座清水池合併發包)及雲林縣林內淨水場等六處的清配水池頂上，提供場地並採租期二十年的方式辦理公開招標設置太陽光電發電設備，業已全部決標，如圖 2 所示為淨水場(加壓站)施作太陽能模組板照片，後續將逐步完成併聯運轉開始售電。

台水公司除了在淨水場及加壓站清配水池頂辦理設置太陽光電發電設備外，經水利署水利規劃試驗所辦理的「臺灣地區湖庫設置太陽能光電設施初步規畫評估」，鋪設太陽能板的面積僅占水庫蓄水範圍面積之

2~4%，因占比極小，除可減少蒸發，又參考德國、英國及日本施設之案例，對水質並不致造成影響，故在管轄的寶山、永和山、蘭潭、仁義潭、鳳山、成功、興仁及東衛等八水處水庫與台電公司簽訂 MOU 的方式，辦理設置水域型太陽光電發電設備，此外，在域以適當覆蓋面積施設太陽能板，具有降低水域水體溫度和抑制藻類滋生，使水質穩定並降低蒸發散量等正面的效益，目前工程執行中，台水公司配合政府綠能政策，善加再利用這些空餘的場地，促使資產活化並提高使用性。

(二)效益分析：

台水公司預計完成六處清配水池頂設置太陽光電發電設備的總投標設備設置容量為 9,616KW，其中高雄市拷潭淨水場已完成設置太陽光電發電設備，如圖 3 為拷潭淨水場太陽能發電資訊，實際設備設置容量 428.42KW、預估每年發電量 $10,495/7*275$ 天 = 547,239 度、年減少 CO₂ 排放 26.066 公噸/39 天*275=243.951 公噸(註:採算台南、永康、高雄及嘉義等降雨天數合計平均值算得 90 天)，依此資訊推算得，全部設置完成的每年發電量預估約 12,282 千度及減少 CO₂ 排放約 5,475 公噸。

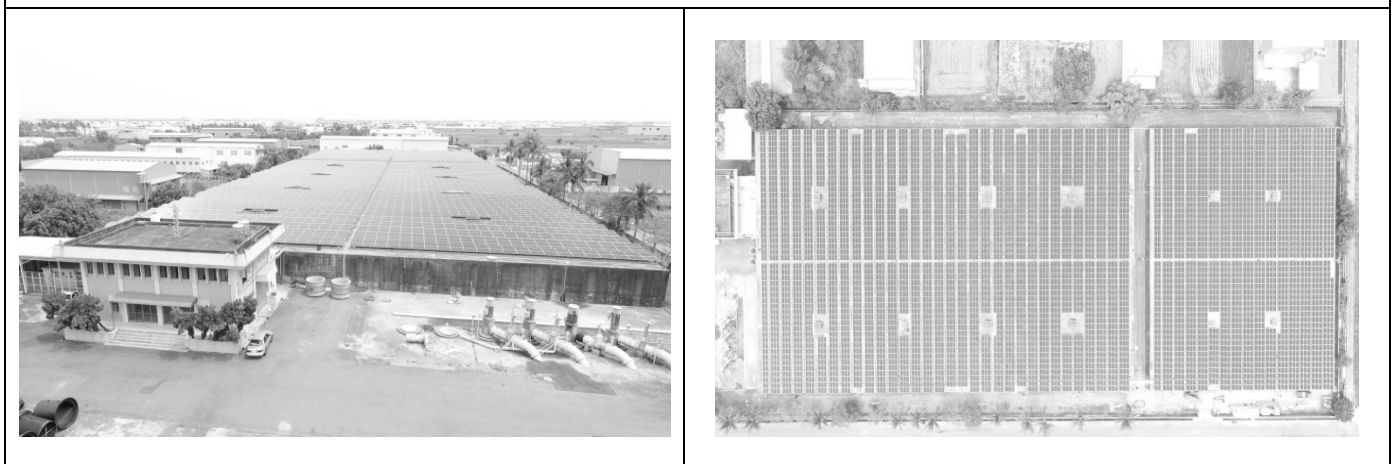
台水公司目前六處淨水場清配水池頂設置太陽光電發電設備與得標承租廠商簽訂契約，每年向其收取回饋金，預估將增加非營業外的收入約 734 萬元，有助於提升經營績效。



高雄市拷潭淨水場-完工後照片



嘉義市公園淨水場-施工照片



台南市中崙加壓站-完工後照片

圖 2 淨水場(加壓站)清配水池頂施作太陽能模組板



圖 3 拷潭淨水場太陽能發電資訊

五、對國內市場的幫助

台水公司為配合政府政策，提供廠區內適合之場地，供綠能企業建置太陽光電發電設備，以太陽光電產業供應鏈的角度來看，最直接受惠的是高效能太陽光電模組(modules)及上游的太陽能電池(cells)生產廠商，其他相關聯性的設備像是逆變器(inverter)、鋼構支架和組裝、電器設備和線材、監控系統軟硬體、金融業、保險業等，都連帶刺激國內市場的需求，除此之外，整個光電系統的建置及組裝亦可提升國內機電、土木結構專業人力及臨時人力的需求，表 4 所示為太陽光電系統建置及維護成本。以台水公司建置太陽光電發電設備之陸域型投標設備設置容量是 9.616MW，依表 4 算得，將為國內市場帶來約 5.2 億元的經濟商機(註：9.616MW * 0.541 億元)。

六、結論

推動環保綠能不只是企業社會責任，更是一種新的競爭優勢，現今企業經營思考的重點應著眼在下一代，而不只是眼前的需求，因環保綠能今天不做，明天就會後悔，期望在台灣能看見更多的企業一同響應，讓

環保綠能不再只是口號。

綠能發電是新創產業，台灣企業投入資金研發太陽能設備的技術已有相當一段的時間，技術已達可量產的程度，例如應用在太陽能熱水器、電子計算機等，對於綠能企業所產的設備，使用上有益減少碳排放量、降低溫室氣體及取代燃料資源，益處良多，是故，台水公司期許是隻帶頭的領頭羊，率先設置綠能設備，帶動綠能產業蓬勃發展，扶植台灣綠能企業在日與俱增的國際市場上，獲利穩定成長甚至脫穎而出站穩基業屹立不搖，更期許刺激國內市場需求、帶動台灣經濟循環，促使綠能產業邁向永續經營。

作者簡介

蔡耀德先生

現職：台灣自來水股份有限公司 供水處 工程師
專長：自來水機電規劃、設計及管理

陳文祥先生

現職：台灣自來水股份有限公司 供水處 生產組組長
專長：自來水營管、效能評估、水質改善

武經文先生

現職：台灣自來水股份有限公司 處長
專長：自來水規劃、營運管理及策略管理

辦理第 10 屆 A1-HRD 會議經驗分享

文/林芳伊、刁文儀、李建興、蔡耀德、吳宏麟

一、前言

日本東京都水道局於 2007 年為使亞洲各自來水事業間在人力資源發展上，能有經驗交流、知識共享的機會與溝通平台，發起了「亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議」(Asian Waterworks Utilities Network of Human Resource Development)，並以各單字第一個字母簡稱為 A1 (WUN) -HRD，期能藉此平台促進各國間之國際交流，提升亞洲自來水事業之技術層次。目前 A1-HRD 會議之會員共計 5 個國家、7 個自來水事業單位，除發起者日本東京都水道局之外，尚有韓國水資源公社、韓國首爾市水務局、越南建設部第二建設協會、泰國都會水務局、臺北自來水事業處及台灣自來水公司(以下簡稱本公司)，另有蒙古水資源研究中心、蒙古烏蘭巴托市住宅及公共管理局、澳門自來水公司等 3 個自來水事業單位以觀察員身份參與。

每年度舉辦之 A1-HRD 會議，係由會員間輪流主辦，在 2017 年，本公司為第 10 屆亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議之主辦方，藉此國際性會議，促進雙方經驗交流與分享，並從中汲取各自來水事業對於水質管理、人才培育及自來水技術研發之經驗，提升本公司自來水專業技術水準及管理知能。

二、第 10 屆會議行程與參訪活動

第 10 屆亞洲自來水事業人力資源發展

網絡會議，自 106 年 11 月 1 日至 11 月 3 日為期 3 天於本公司舉行，會議第 1 天歡迎來自日本東京都水道局、韓國首爾市水務局、泰國都會水務局、蒙古水資源研究中心、臺北自來水事業處等 29 位自來水事業之貴賓，進行與會成員自我介紹與本公司簡介，並舉辦歡迎晚宴，以揭開本次活動序幕。

會議第 2 天，由各國與會人員於本公司總管理處第一會議室，分別就年度會議主題：「Water quality monitoring and inspection to ensure the health of the public and HRD (水質監測確保民眾健康與人力資源發展)」及「Applying information technology to enhance water supply management and HRD (運用資訊科技強化供水管理及人力資源發展)」進行簡報，以促進經驗與技術交流，並由下一屆(第 11 屆)會議主辦方—日本東京都水道局，說明 2018 年會議辦理地點、時間及會議主題，會議討論過程互動熱絡，接著安排前往鯉魚潭水庫及鯉魚潭給水廠，參觀亞洲第一座鋸齒堰溢洪道、大壩及觀摩淨水場處理設備了解「自來水」之生產流程，且於附近之街道現場小區以實際的測漏工法，由測漏器找出漏水點、輔以鑽探、探勘及地中聽音，精確的定位出漏水點，參訪的貴賓，以實際能聽到眼睛看不到的地中漏水音，而讚嘆連連，此亦為亞洲自來水人力資源發展網絡會議成立以來，首度在會議行程中，由主辦方增加實務訓練課程演練供各自來水事業觀摩並進行體驗學習，透過展現實務演練作法，

彼此教學相長，可打破原有傳統訓練框架，增進人力資源管理思維與人才培育實務交流。

會議第 3 天，前往參訪建造百年國家古蹟—台南水道，該水道肩負日治時期及民國初期自來水發展的重要使命，改善台南市民飲用水衛生健康，更奠定自來水建設基礎，本次除參觀由磚塊、檜木與水泥等材質所建造宏偉的自來水設備外，並開放淨水池區內具有台灣特有種—台灣葉鼻蝠之蝙蝠生態區供外賓參觀，下午則至奇美博物館參訪西洋藝術、樂器、兵器與動物標本等多元的典藏品，享受文明與藝術之美，活動順利圓滿落幕。



圖 1 各自來水事業與會人員合照



圖 2 管線檢漏演練

三、第 10 屆會議研討主題

本屆會議主題為「Water quality monitoring and inspection to ensure the health of the public and HRD (水質監測確保民眾健康與人力資源發展)」及「Applying information technology to enhance water supply management and HRD (運用資訊科技強化供水管理及人力資源發展)」，各自來水事業共計發表 6 篇，茲就各自來水事業發表內容重點摘要如下：

(一)日本東京都水道局

1.日本東京都水道局之水質管理及人力資源發展

(1)東京高品質水質管理計畫

自 2008 年起，東京都水道局執行品質管理系統、水質安全計畫之風險管控及高準確之水質檢驗等三大高品質水質管理計畫，並備有基礎技術手冊及實施 PDCA 循環之日常檢核，以持續改進及提升管理成效。高品質水質管理計畫之應用範圍包含依據國際標準 ISO9001 進行淨水場水質管理、水質安全計畫下實施風險管控，以處理有關水質及水污染事件，及具有國際標準 ISO/IEC17025 認證實驗室之水質管理中心及 Tama 地區水質檢驗單位。日本東京都水道局設有 131 個自動水質監測點，水質監測數據包含水溫、酸鹼值、濁度、色度、自由餘氯、導電度及水壓等 7 項，另人工檢測計有 147 項，包含日本國家標準 51 項及自主管理 96 項，其中運用高階精密分析儀分析水質，如使用感應耦合電漿原子發射光譜儀/質譜儀(ICP-MS)檢測 15 項重金屬、使用吹氣捕捉濃縮及氣象層析質譜儀(P&T-GC/MS)檢測 19 項揮發性

有機化合物。

(2)水質管理訓練與發展

日本東京都水道局之水質管理訓練區分為工作中訓練(on-job-training)及工作外訓練(off-job-training)，工作中訓練包含一對一新進人員訓練、針對 ISO/IEC17025 所開設之基礎與進階應用認證課程及參訪東京都水道局其他部門，如供水操控中心等，工作外訓練則包含基礎水質管理、水處理及風險管理等課程，並由外部設備廠商講師提供水質檢驗設備操作課程及參加各種學術會議與座談會。

(3)迅速及準確處理水污染事件之危機處理能力發展

當魚類大量死亡或油污染等水污染事件發生時，日本東京都水道局之水質管理中心利用預測污染物的流速及到達採樣橋樑的確切時間，進行污染物採樣分析，並依據分析結果進行適當的水處理，例如添加粉狀活性碳等。以日本東京於 105 年 1 月 13 日發生石油洩漏污染事件為例，Misato 及 Kanamachi 二個淨水場依據預測時間及污染量，適時完成淨水處理，成功化解危機。另東京都水道局設有水質檢測車作為移動式實驗室，在水污染事件發生時，能於事故現場進行採樣及污染物檢驗，同時亦有緊急應變車，可以追蹤觀察污染實際狀況，移動式實驗室不僅用於水污染事件，也可作為其他自來水事業之設備受到天然災害等損壞時之臨時實驗室，以作為災後復原支援工作。日本東京都水道局之水質管理中心，設有先進設備，可辨別引起水污染之物質，目前大約已可分辨出 500 種物質，並於 105 年開始，

與日本其他自來水事業聯合辦理水污染事件處理訓練。



圖 3 水質檢測車之移動式實驗室(左)緊急應變車(右)



圖 4 在移動式實驗室進行檢驗

2.日本東京都水道局供水操控中心及人力資源發展

(1)供水概況及供水操控中心介紹

經查截至 106 年 3 月底止資料，日本東京都水道局供水面積為 1,239 平方公里、服務人口數為 1,329 萬 5,385 人、用戶數 744 萬 3,762 戶、設備總出水量 6,859,500 m³/天(註:11 處淨水場合計量)、原水量 6,300,000 m³/天、分佈管線總長度 27,038 公里、主要供水站 41 個、每日平均配水量 4,192,300 m³/天、每日最大配水量 4,511,000 m³/天。

日本東京都水道局供水操控中心成立於 1979 年，主要任務為因應用水量或緊急災

害事故發生，從取水到配水間之水流量控制及維持自來水相關設施運作。供水控制中心的控制室為 24 小時監控水庫水位、蓄水量、河川水位及流量、淨水場、供水站、水壓及水質等訊息，當用水需求有變動或設備發生事故時，可調整供水操作或改變配水路徑來因應。用戶每日用水需求視天氣、氣溫及為平日或假日而有所不同，供水控制中心為確保適當水壓及流量，會進行適當的調整操控，且該中心可監控每日水量的波動，當水壓或流量超出或低於警戒值時，系統會發出警報聲響，並於電子看板上顯示出不正常數據。總括來說，供水控制中心優點如下：可將水量、水壓及用電量等集中管理、透過適當的水量及水壓管理，確保供水穩定及針對突發事件可及早發現，以迅速做出反應。

(2)供水控制中心之人力資源發展

日本東京都水道局之供水控制中心人才培育，係透過辦理訓練課程與模擬演習、工作手冊及工作輪調等方式，精進與發展員工專業技能，並於工作中訓練，依據年資不同，而賦予不同任務，如年資三年員工為監督者角色，主要為供水操控之監督、審核與指導等工作，年資二年員工為執行進階供水操控、有效地使用網絡及因應當地特性，進行供水操作，年資一年員工則是學習基礎知識及了解配水池的操作等。

該中心辦理訓練課程包含供水營運概述、供水操作系統、能源管理系統、監測工作等，並有災害預防、供水操作、管線或水質意外事件等模擬演習，另將工作中經驗及事故個案，編制於工作手冊，並定期更新，目前已有供水操作規劃手冊、原水管理規劃

手冊、管線管理規劃手冊及地震災害工作手冊等，並藉由工作輪調方式，發展員工潛能，透過上述之人力資源發展方式，使東京都水道局之供水控制中心能培養員工具有高水準之專業，並能應用於供水操作業務中。



圖 5 日本東京都水道局之供水控制中心

(二)泰國都會水務局

1.曼谷介紹及運用資訊科技提供水質資訊

曼谷為泰國首都，人口超過 1 千萬人，占全國人口 13%，人口密度每平方公里超過 239 人，為世界上熱門觀光地點，過夜觀光客逐年增加，至 2016 年已達 2,140 萬人次。

泰國都會水務局水質監控管理中心，為提升客戶滿意度和信任度，利用監控數據收集系統 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)收集 18 個營業所及 50 個即時線上水質監測站資訊，開放民眾可於公司網站 Twgonline website 或運用「Water Quality on Your Click」手機 APP，以地圖式查詢及時水質資訊，水質數據包括酸鹼值、濁度、自由餘氯、導電度、鹽度及氯化物等 6 項，民眾查詢目前所在地水質情況時，區分為極佳、非常好、好、普通、差等 5 個水質等級，並以笑臉之表情符號顯示水質良好，使民眾易於理解，並供民眾隨時隨地點擊一下地圖即可取得水質最新資訊。



圖 6 運用「Water Quality on Your Click」手機 APP 查詢水質情況

2. 泰國都會水務局之白袍科學家及辦理訓練課程介紹

泰國都會水務局之水質部門為提升水質服務、知識分享、增加顧客滿意度及提升企業形象，建立科學團隊—白袍科學家，為曼谷周邊的用戶水質提供主動服務，且為實現目標，透過現代、準確、快速分析的設備，尋找水質問題並加以解決，同時為客戶提出最佳解決方案，避免未來可能發生的損害。針對眾人聚集、重要建築及影響層面較廣之區域，如素萬那普國際機場、杜斯特動物園、比泰克展覽中心、國防部及醫院等地方，科學團隊免費主動採集用戶端水樣（大約 5~6 個樣本）並將它們帶回實驗室進行水質分析，並於分析後說明水質數據符合世界衛生組織飲用水水質標準，並建議客戶內部水質控管，如淨水器、飲用水槽清潔維護，以避免水質污染發生。

泰國都會水務局提供特定的外部培訓課程，如感應耦合電漿原子發射光譜儀/質譜

儀(ICP-MS) 高階精密儀器訓練、國際標準 ISO/ IEC 17025、ISO/ IEC 17043 認證實驗室訓練，另提供如何製作信息圖表等課程，使科學團隊能透過網站、Line，Facebook 等方式，輕鬆有效地與客戶溝通，並定期於每年舉辦「MWA Academic Fun Fest」活動，來創造學習環境及提供員工展現才能的舞台。

(三) 台灣自來水公司

1. 水質預警系統介紹

台灣自來水公司所轄 19 縣市、450 淨水場，其中 450 場所水質檢驗單位、12 個區處水質課及總管理處水質處，共同負起各淨水場水源水質、淨水流程水質、配水管網水質及排放廢水水質之檢驗及監測數據產出。為加強公司於發生各水質項目超過內控值或水質標準時，迅速進入水質預警系統(以下簡稱 ADTS 系統)，建立水質預警事件、填報處理過程及通報相關人員，俾利採取各種必要應變措施，有效管理各區處水質狀況，達到水質預警之成效，提供民眾良好的飲用水水質。

本公司訂定之水質內控標準，其設定為國家標準水源水質 10 項、飲用水水質 68 項及排放水水質 5 項之標準八成或八成以下，並訂有自主管理檢驗項目之內控值，凡水質檢驗數據或線上自動監測儀監測數據超出內控值時，ADTS 系統將自動產生水質預警事件。水質預警事件包括環保機關抽驗之水質超標、新聞事件、天然災害、水源污染等環保事件及其他如航空意外等重大事件。

水質預警事件以公司內網 NOTES 通知水質單位、操作單位、工務單位及各階層主管，由水質課簽報請單位一級主管主持召集

水質異常處理小組會議，小組成員應包含水質課、操作課、工務課及廠所等，操作單位、工務單位必須依據 PDCA 精神檢討操作設備及流程妥適性，水質單位則持續追蹤水質。各處理階段皆須登載於 ADTS 系統，處理完成水質追蹤皆符合水質標準後，水質預警事件才能由單位一級主管結案。

2. 水質管理訓練與發展

本公司 12 個區管理處水質課及總管理處水質處共 13 個水質檢驗室，皆為 ISO / IEC17025 認證實驗室，在水質管理之人力資源發展分三個面向：(1)淨水場簡易水質分析技術及水質採樣技術。(2)水質課依據國家水質標準項目例行性檢驗項目訓練，精密儀器如氣象層析質譜儀(GC/MS) 感應耦合電漿原子發射光譜儀/質譜儀(ICP-MS)、吹氣捕捉濃縮及氣象層析質譜儀(P&T-GC/MS)使用維護訓練及 ISO 17025 檢驗品質及技術訓練。(3)總管理處針對自我水質管理項目運用更高階精密儀器分析如固相微萃取/頂空/氣相層析質譜儀、液相層析儀/串聯式質譜儀等，及水源水質油污染線上監測儀等各式監測儀器相關訓練。另有關水質污染事件，本公司訂有「台灣自來水股份有限公司水質預警事件作業要點」及「台灣自來水股份有限公司水污染事件採樣檢驗標準作業流程」以為因應並定期辦理相關作業訓練。

(四)韓國首爾市水務局

1. 供水概況及自動讀表(AMR)介紹

韓國首爾市水務局之供水人口約 1,020 萬人、每日出水量 480 萬噸、每日平均供水量約 308 萬噸，售水率 95.8%(截至 2017 年 6 月)、管長 13,648 公里、配水池 101 個、加壓

站 207 個、217 萬個用戶表。

韓國首爾市水務局建置自動讀表(AMR)系統，相較傳統讀表系統而言，可節省人工抄表的人為錯誤及人力成本，且及時收集到相關數據，有利於分析及問題排除，目前該水務局全部水表數計有 217 萬只，在 2011 年至 2015 年期間分別試驗建置約 3 千只自動讀表(計算至 2017 年)。自動讀表系統包含 3 個部分：(1)智慧水表：收集數據如累計值、剩餘電力、逆流、超載、內線漏水等。(2)通訊模組：經由 RF 無線定期讀取表值，傳輸資料至中繼器、PDA、手持中繼器或交通行動中繼器等。(3)自動讀表伺服器：從通訊模組收集資料，顯示詳細用戶資料給辦公室管理者。另韓國首爾市水務局分享其自動讀表數據蒐集方式可分為：(1)手持式智慧蒐集器：抄表員運用手持式智慧蒐集器配合 GPS 定位資訊，一次讀取該區域群組內智慧水表數值，並由抄表員上傳所蒐集抄表資料至伺服器。(2)車輛蒐集器：應用 GIS 圖資每秒可收集 2 只自動讀表數據，並可立即上傳到 AMI 伺服器。(3)UHF 頻率自動讀表：用戶終端使用 UHF 訊號依照預定期間傳送資料至中繼站再至資料蒐集器，資料蒐集器透過電信業者通訊網路傳送至 AMR/AMI 伺服器。(4)IoT 物聯網自動讀表：利用 LoRa 方式經由閘道器蒐集後再以電信網路傳至 AMI 伺服器，或利用 Nb-IoT 物聯網蒐集後傳至 AMI 伺服器。

2. 自動讀表運用層面及未來計畫

韓國首爾市水務局在自動讀表運用如下：(1)24 小時蒐集資料儲存在伺服器 DB 資料庫，當消費者投訴時，可提供及時量測數

據，且數值分析模式可設為季、日、時，以利建立供水量及供水設備之管理策略，又用戶發生水量突發性劇增或劇減，如發生未預期破管漏水事件，可快速作出反應。(2)自動讀表可設定於每小時將用戶端水表數值回傳至伺服器，將其運用於 DMA 分區管網，藉由計算該分區進出總表數值及用戶端水表數值，得知該分區管網漏水情況。(3)用戶每小時用水量不同，且不會連續 24 小時用水，如連續超過一周每小時用水量 40 公升可能為漏水警示，爰可運用於用戶端漏水偵測，避免水資源浪費及節省用戶用水成本。(4)水對於人類基本生活是必要的，爰可運用於社會關懷服務，如獨居老人超過 1 週沒用水，可通知照護者或關懷社工立即進行訪查。(5)伺服器可自動蒐集傳輸失敗的每一個設置點，爰可提供技術人員故障設備之確切地點，以進行維護檢修。

韓國首爾市水務局將結合 IoT 物聯網系統汰換傳統讀表為自動讀表，未來每年汰換 6 千至 3 萬只自動讀表，預估總經費 4 億元，2022 年前汰換 10.6 萬只，2023 年自動讀表設置將是韓國首爾市水務局優先任務，預計投入大量預算在此系統。

(五)臺北自來水事業處

1.供水概況及資訊科技發展

臺北自來水事業處設有長興、公館、直潭、雙溪及陽明等 5 座淨水場，其中長興、公館及直潭淨水場，出水量佔總出水量之 97.5%，雙溪及陽明淨水場則佔約 2.5%，目前供水面積 434 平方公里、用水人口數約 390 萬人、每日出水量約為 220 萬立方公尺、服務管線長度約 2,700 公里。有關資訊科技應

用方面，臺北自來水事業處自 1982 年建立第一套水質監測設備，歷經 MIS、SCADA、GIS 及 AMR 等，發展迄今已 35 年，透過資訊技術應用，有助於綠色環保推動，達成節省成本及節能之效果，如該事業處藉由自動讀表建置，即時回傳用水量及水壓等相關數據並進行各項資訊分析，及早察覺異常用量或提早發現漏水，盡速進行漏水改善，避免異常現象持續發生，減少水資源浪費，達到節約用水目的。

2.臺北自來水事業處之人力資源發展

臺北自來水事業處為將各項專業技能作經驗與知識傳承，以達人力資源發展目標，設有訓練中心並開設各項訓練課程，如工程管理系統、供水設備管理及 GIS 系統、監工及管線實務等課程，並且專門為計量用水表成立研發中心，研發各項計量技術，如智慧水表及表差量測等技術。

四、結論與心得

本次很榮幸邀請各國自來水事業之貴賓齊聚於本公司，進行經驗交流及人力資源發展議題分享，透過此會議討論，學習到各自來水事業運用資訊科技強化水質與供水管理及系統性人才培育之作法，均可作為本公司未來研究及規劃之參考方向：

(一)日本東京都水道局備有水質檢測車作為移動式實驗室，在水污染事件發生時，能於事故現場進行採樣及污染物檢驗，同時亦有緊急應變車，可以追蹤觀察污染實際狀況。本公司總管理處及各區管理處，目前共設有 13 台水質採樣車，每車皆配有四輪傳動足以作為快速行駛追蹤污染源的緊急應變車輛，類似於日本

東京都水道局之緊急應變車，惟尚未有可於水質事件現場進行採樣及分析之移動式實驗室，此為本公司值得參考之緊急應變措施。

(二)本公司近一、兩年積極建置各區管理處淨水場之 SCADA 系統至總管理處監控整合雲平台，待基本建置完善後，本公司水質預警系統也可參照泰國都會水務局模式，於公司網站公開資訊，提供用戶地圖式水質及時監測數據查詢，提升本公司滿意度。

(三)自動讀表之科技發展應用，可減少傳統讀表的缺點，並能有效管理用水，提升用戶服務，本公司目前只採 106 年—108 年大用戶自動讀表試辦及回饋採免費安裝，後續將依核定收費辦法對各口徑全面收費，因現行獨家電子表通訊原始碼無法取得，其餘廠商之通訊模組難以讀取表值，本公司已洽請廠商開發光學辨識讀取表值，亦可解決電子表故障後液晶全無數字難以取信用戶問題，建議海內外各家水量計廠商與通訊業者分工合作，300mm 以下水量計取得型式認證後，可參與本公司自動讀表標案(含配水總表)。

(四)有關臺北自來水事業處為計量用水表成立研發中心部分，經查該事業處設有技術科部門，專職新技術、新工法之交流及引進與研發，資訊系統整合開發、更新及維護，各項施工技術規範及材料規格擬訂等作業，惟本公司尚無類似研發單位，各項新技術研發、引進仍由各業管單位負責，又各項新技術之應用多涉

及不同處室間業務，若無專責單位負責，在本公司業務日益增長情況下，執行推動進度上會較為緩慢，爰該事業處設立技術部門，專職承接相關技術研發作業之模式，可作為本公司未來參考辦理作法。

參考文獻

- 1.日本東京都水道局，A1-HRD Newsletter (Vol. 28)
- 2.第10屆亞洲自來水事業人力資源發展網絡會議，各自來水事業簡報資料

作者簡介

林芳伊小姐

現職：台灣自來水公司人力資源處組員
專長：人力資源管理

刁文儀小姐

現職：台灣自來水公司水質處工程師
專長：水質異常改善研究、飲用水處理藥劑研究

李建興先生

現職：台灣自來水公司營業處組長
專長：用戶服務、抄表管理

蔡耀德先生

現職：台灣自來水公司供水處工程師
專長：自來水工程、電力工程

吳宏麟先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程師
專長：自來水工程、分區計量管網

花蓮 0206 震災復舊-檢漏紀實

文/林子立

一、前言

2018 年 02 月 06 日 23 時 50 分，由於與琉球海溝的板塊隱沒系統有關，致米崙斷層（Milun Fault）與嶺頂斷層被誘發產生錯動，在花蓮縣政府北偏東方 18.3 公里發生芮氏規模 6.0，地震深度更僅 10.0 公里的淺層地震，造成花蓮市 7 級的最大震度，及該市的統帥大飯店大樓一、二樓倒塌、雲門翠堤大樓呈現 45 度傾斜，並釀成多人死傷。

台灣自來水公司第九區管理處因 0206 花蓮大地震，供水管線除 2 條附掛尚志橋 600mm 幹管脫接及扭曲變形受損較嚴重外，尚有多處附掛橋樑、過箱涵等，致花蓮市區及美崙、新城地區停水用戶高達 4 萬戶。自 2 月 7 日至 15 日台水公司積極的檢修漏，於農曆除夕恢復基本的民生用水需求。

二、災害概況

繼 2016 年 02 月 06 日 03 時 57 分位於屏東縣政府北偏東方 27.1 公里（高雄市美濃區；北緯 22.92 度、東經 120.54 度）芮氏規模 6.6，地震深度僅 14.6 公里的淺層地震，造成台南市新化 7 級的最大震度，及永康區的維冠金龍大樓 16 層倒塌，並釀成 115 人死亡、96 人受傷之後，在滿兩年的 2018 年 02 月 06 日 23 時 50 分，由於與琉球海溝的板塊隱沒系統有關，致米崙斷層（Milun Fault）與嶺頂斷層被誘發產生錯動，在花蓮縣政府北偏東方 18.3 公里（花蓮東北方立霧溪口的海

上；北緯 24.14 度、東經 121.69 度）發生芮氏規模 6.0，地震深度更僅 10.0 公里的淺層地震，造成花蓮市 7 級的最大震度，及該市的統帥大飯店大樓一、二樓倒塌、雲門翠堤大樓呈現 45 度傾斜，並釀成多人死傷。

轄管花蓮縣的台水公司第九區管理處因 0206 花蓮大地震，供水管線除 2 條附掛尚志橋 600mm 幹管脫接及 500mm 鋼管扭曲變形受損(圖 1)較嚴重外，尚有尚志淨水場內、多處附掛橋樑(花蓮大橋、國福大橋、中正橋等)、過箱涵(如明禮路、明義街箱涵)、市區內各管線及用戶外線脫接、斷裂，配電盤、圍牆倒塌等(圖 2)，致花蓮市區及美崙、新城地區停水用戶高達 4 萬戶，自 2 月 7 日起至 3 月 1 日，破管件數高達 1147 處，歷經 22 天搶修，全台支援水車 49 台、設置 45 處臨時取水站、支援修漏廠商 29 組人力，動員 500 餘人 24 小時不眠不休投入復水工作。



圖 1 新興路 500mm 鋼管扭曲變形

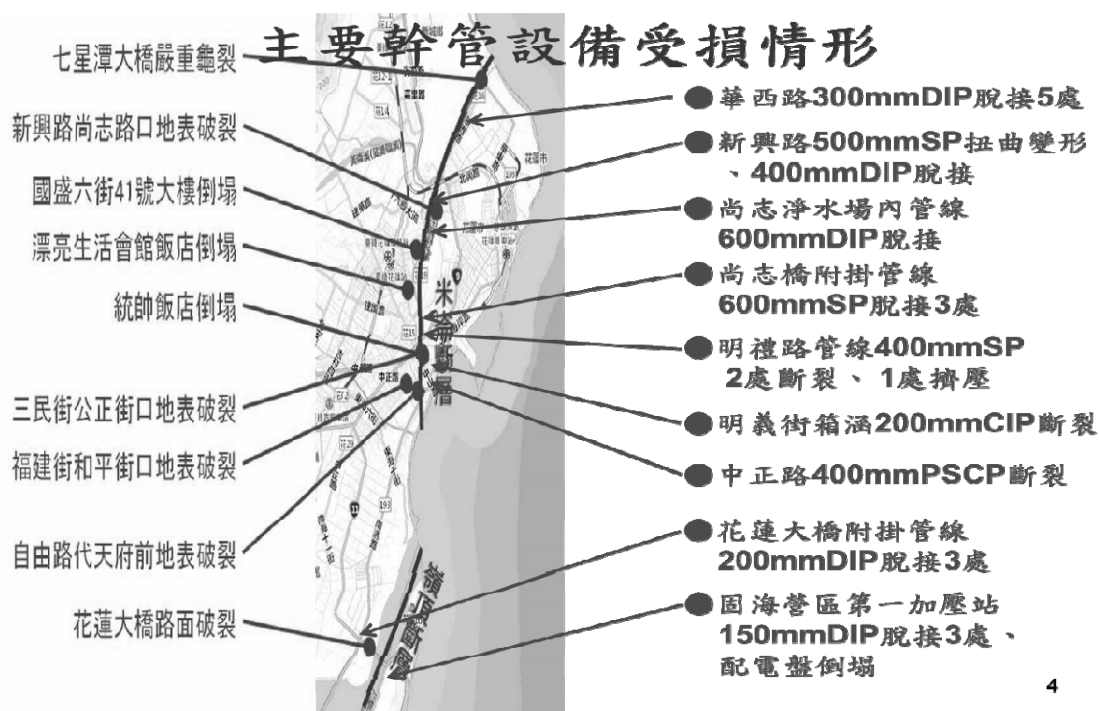


圖 2 地震斷層帶與自來水主要幹管設備受損處

4

由於地震造成的地層錯動、道路龜裂，致地下自來水管線斷裂、破漏，對於眼睛看到的地上漏水外，如何迅速的覓出隱藏於無法上冒地面的地下漏水，將成為是否有效復水、供水的關鍵因素。在經歷 1999 年的 921 紀錄統計，曾發生高達 20 次的 7 級劇震，及 2016 年高雄美濃 0206 的 1 次 7 級劇震經驗，台水公司階段性的緊急投入全公司 90% 以上可執行的 70 個漏水檢測人員(圖 3)，冀望於距農曆除夕(2 月 15 日)僅 8 日期間，將地下漏水檢出並交 29 組的修漏廠商修復，以提供基本的民生用水需求。

三、檢漏紀實

台水公司總管理處分三階段調派各區處檢漏人力，2 月 7 日調派第一梯次 39 人(含當地 9 區)、2 月 10 日增調第二梯次 31 人，共計投入 70 人並於 2 月 14 日除夕前完成基本的民生用水需求，惟春節期間屬當地的檢



圖 3 台水公司第一、二階段共投入 70 位檢漏人員，全面性的積極檢漏。

漏人員仍不眠不休的出勤，對個案機動配合修漏廠商處理，迄 2 月 19~23 日再次徵調第三梯次鄰近區處的 10 人再搭配當地 6 人共 16 人(圖 4)，針對部分脆弱供水地區再全面性的執行漏水檢測。



圖 4 2 月 19~23 日徵調第三梯次 16 位檢漏員

(一)東昌橋 400mm 管線疑似大量漏水

當劇震次日 2 月 7 日傍晚，鄰近區處的檢漏人員陸續抵達位於花蓮市的漏水防治單位，經與花蓮給水廠供水調配人員討論後，由於主要過橋之輸水管線已破損無法供水，惟尚可由東里十一街的東昌橋 400mm 管線經重慶路供入市區，但該調配人員初步研判，途經重慶路 400mm 管線於和平路及自由街兩處大排水箱涵時，經潛遁所設之船型管疑有漏水，將減少供入市區之水量及水壓，要求先行檢測該兩管段之管線。

檢漏的初步做法除採傳統老師傅的管線聽音技術外，輔以兩點漏水相關儀器偵漏，並依據管線圖資，清查該管線沿途之制水閥、救火栓，惟發現制水閥盒皆配合當地路權單位要求而下地，遂由檢漏人員探測並以電錘鑽破碎路面清理，及分組擴大檢測鄰近道路管線執行漏水聽音。

另一方面檢視圖資，由於東昌橋之既設監測流量點已故障損壞待修，遂另派 2 組人力，冀望於東昌橋之過橋明管新設由檢漏人員自攜的管夾超音波流量計，採分段計量(Step test)工法，來確認漏水管段，恰巧該預定點已有給水廠裝設一組管夾超音波流量計，檢視瞬間流量顯示有 9700CMD 的水量通過，對供水需求殷切確屬不無小補，遂據圖資一一清理沿途之埋沒閥盒，此項清理工作虛耗了數小時的時間，此案例驗證”非道路平整即可的閥盒下地”確實對屬民生用水生命線(LIFE-LINE)的緊急需求，阻礙且遲緩了救災所需的時間(圖 5、圖 6)。



圖 5 道路平整政策，制水閥盒下地後，需經探測、開挖，阻礙且遲緩了救災的時間



圖 6 閥盒下地，檢漏員以電錘鑽破碎再開挖

經多管段的分段測試，原先懷疑重慶路的 400mm 管線，其所穿越和平路及自由街兩條道路大排水箱涵之船型管，經關閉後段制水閥，東昌橋管夾超音波流量計瞬間值顯示，並無大漏水跡象。再往後段管線比對圖資，位於軒轅路尚有三只埋沒制水閥盒需探測、清理，此時已逾凌晨時段的檢漏人員皆已疲憊不堪，遂結束作業。本次採分段計量 (Step test) 的作業工法，至少驗證了 400mm 由東昌橋至重慶路中山路口長達約 1770 公尺的管段，確認無大漏水。

(二)中山路平交道下方 300mm 管線疑似大量漏水

中山路潛越鐵路平交道下方 300mm 管線懷疑有大量漏水，致影響了下游供給火車前站附近旅館、餐飲店及民生等用水需求。除檢漏人員攜帶兩點漏水相關儀已到達現場待命外，並緊急調派一組機械挖土機，先行探測並開挖覓尋遭埋沒的制水閥盒，惟檢視管線圖資，管線前端已設有縮管的 200mm 小區總表，遂採分段計量工法，將鐵路平交道後端覓出之制水閥盒清理後並關閉制水閥，再檢視鐵路平交道前端之小區總表，瞬間流量已歸零，顯示該潛越鐵路平交道下方 300mm 管線該兩端管段並無漏水。

(三)單表計量小區喪失計量功能

劇震前花蓮系統市區正進行委外辦理 12 個既設小區封閉測試的工程契約，且皆已即將完成，適逢此次劇震，管線破壞嚴重，既有單表計量小區，進水量不足負荷各小區內大量破管的漏水量，即破管水量大於單一管線進水量，致用戶無自來水可用，遂開啟

數個關閉備用之輸水管線制水閥，致無法由既設小區流量來判斷漏水嚴重之小區，只有藉由水壓來輔助研判，但是全面性的低水壓值，易造成區域誤判，不若流量值易於驗證異常區域及管段，無法發揮責任檢漏的效果。

(四)熱心民眾的慰勉作為

本次投入檢漏工作的艱辛，在於連續多日長時間的夜間檢漏必不可免，有檢漏人員於凌晨檢漏時段，接獲當地百姓主動提供麵包、熱咖啡的慰勉行為(圖 7)，對檢漏人員是最大的嘉許。以 921 的經驗，只要檢漏人員不眠不休持續的在凌晨檢漏、晝間配合挖土機開挖作業，百姓看在眼裡，總會不免苛責的肯定台水檢漏人員的付出。



圖 7 遇見檢漏人員凌晨測漏，花蓮婦女熱心感謝並贈送熱咖啡與麵包、吸管

四、檢討與建議

當階段性的復水處於供水量無虞、卻仍有大量漏水、水壓無法有效提升的階段，應採逐戶普查、現況確認作業。本案例曾有多戶外線於房屋建築線處折斷無水，與 921 及高雄美濃震損不同的是花蓮地區地下水豐沛，大部分用戶皆備有地下水，所以，似乎

無自來水對該等用戶並不如前述兩次劇震時期之需水殷切。

經花蓮給水廠反映，檢出的地下漏水點因不及鑽探確認致空挖率太高，修漏廠商不願承接地下水修漏案。依 921 的卓蘭系統與東勢石岡區的復舊經驗，本次共調集台水 12 個區處的檢漏人員及 29 組委外修漏組，應可擇各區處之檢漏組搭配該區處 1 修漏組，將凌晨檢出未及鑽探確認的大漏水點，於晝間即會同現場開挖，俾有效降低空挖的檢測漏水點，以迅速逐步恢復供水。

近年政府道路平整政策，路權單位卻擴大要求為閘盒下地，大大影響了國際上自來水業界對於緊急復舊，普遍採用的分段計量工法。

震災的復舊速率，癥結在於時間的長短，即復舊期是 1 週或 2 週或 4 週。以 921 經驗及本次震災之檢漏觀點來看緊急復舊，本花蓮系統分區建置僅建置小區，並未遵循系統、大區、中區、小區的階層規劃來建置。此次劇震後之供水既已無法滿足既設

12 個各自獨立計量的小區供水(市區約規劃 20 個小區)，至少應該還具有可上溯至可計量的中區規模，以本花蓮系統災區為例：

(一)依震災初始階段所緊急開啟的具 400mm 以上輸水管線關鍵制水閘，共有 7 個，將該 7 個節點予以增設中區計量點後，共有 19 個小區可納入其管轄(表 1 中小區統計)，則本災區應有 7 個可計量的中區，對於主要以水量為研判漏水嚴重區的檢漏而言，較易於短時間集中人力找出重大的破漏點。

(二)現有所建置的小區，主要應在降低其漏水量、保持穩壓供水後，進階以適足的水量、水壓、改善弱勢地區供水等管控，來提高供水品質。但是，中區以上屬無用水戶的輸水管線並未納入計量、偵測，其爆管漏水將直接影響後端的小區供水品質，也就是說：「漏水→沒有選擇性，不會因為沒有用戶就不漏水」，故大區、中區等輸水管線宜分段納入水量、水壓的監測，將其漏水止於肇端。

表 1 花蓮系統花蓮市各中區(未建置)與轄管小區統計

中區	水源	中區計量點管徑	小區數	轄區內小區代號或名稱
A	砂婆礑淨水場	東里橋 500 建國路 400	3	0601 明義+0602 明禮+0603 重慶
B	砂婆礑淨水場	中原路 600	3	1005 國風+0106 榮正+1007 中正
C	砂婆礑淨水場 光華淨水場	中山路 600 光華淨水場 600	6	仁里+東昌+仁和+仁安+中原+長安
D	國慶淨水場	國慶淨水場 400	4	0912+火車前站+0905 花商+1001 莊敬
E	砂婆礑淨水場	建國路 400	3	1002 明廉+0904 延平+0911
	合計	7	19	

五、結論

台灣鄰近環太平洋地震帶，如 921 數十年一次的 20 次頻繁劇震或 2016 及 2018 兩年間接連出現各 1 次的 7 級劇震，將勢不可免的永續發生(本次花蓮同一斷層帶於 1951 年亦發生 7 級劇震)，如何能於短時間的緊急復舊供水，處現今各都會區如火如荼大量建置分區計量之同時，該如何有效建置的政策良窳，將由下一代自來水人來承受與驗證。

參考文獻

- 1.林武榮，花蓮震災搶救經驗分享及架構大規模搶修SOP規劃，2018。

作者簡介

林子立先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程師

專長：分區計量診斷與漏水檢測

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。

臺北自來水事業的前世今生

文/吳世紀

一、前言

臺北水道於 1909 年完工通水，為當時全島第三座現代化自來水設施，正式邁入現代化自來水時代。歷經逾百年之發展演進，橫跨不同年代及發展時期。及至今日，設施規模方面，每日供水量從草創期 1.5 萬 CMD 成長到現今平均 270 萬 CMD，計畫供水人口由十二萬人增加至目前實際用水人口數將近四百萬人，擴張的幅度前所未見；至於營運制度方面，從最早期為鼓勵用水改善衛生而採行之放任式計口式收費，演變至現今為提倡節約用水而採以價制量計量式收費，亦見證時代的轉變。百餘年來，自來水事業之發展與大臺北都會區之進步與繁榮相輔相成，其中有無數自來水前輩的努力與奉獻，才有今日之成果，得來誠屬不易。一路以來臺北自來水建設發展的脈絡，包括舊有走入歷史的、以及擴建仍在營運的設施，堪稱這百年事業的前世與今生，也是臺灣自來水事業發展的縮影。值得自來水從業人員進一步認識，爰撰文粗淺介紹臺北自來水事業逾百年來的發展演進史。

二、日治時期(1895~1945)

日治時期起開始擘劃臺灣自來水建設以改善衛生條件，其中臺北水道於 1909 年創建於現今公館自來水博物館園區內之水源地慢濾場供水系統。截至 1945 年光復為止，歷經三十餘載的建設經營，除既有水源地慢

濾場之臺北水道水源外，因應用水需求，又擴建草山水道系統。並由當時臺北市役所轄下的水道課負責經營管理自來水事業。建設歷程茲述如下：

(一)臺北水道

1903 年總督府成立「臺北市街給水調查委員會」，參考總督府衛生顧問蘇格蘭人巴爾頓(W.K.Burton)及技師濱野彌四郎等人的勘查報告，供水水源有三方案選擇，第一方案為直接引用淡水水梘頭之湧泉，再重力式由北往南供應臺北市街；第二方案為於新店溪上游新店街(碧潭)附近高地建淨水場，將清水重力式送至公館觀音山配水池後再供應臺北市街；第三方案為就近於公館觀音山下之新店溪畔建淨水場，淨水處理後加壓送至高處觀音山配水池，再以重力流供應市區街道用水。經評估後，第一方案送水距離太長，且湧泉原係作為灌溉用水，須給予農業補償；第二方案與第三方案相比，第二方案位於上游水質較佳，然而費用高出約三十萬元，故在財政之考量下決定採用第三方案於新店溪畔興建慢濾淨水場(現公館淨水場用地)。然因當時財政拮据，而遲至 1907 年始動工，於 1909 年完工通水，總工程費一百八十四萬餘元，由總督府全額負擔負責推動興建。完工時為臺北現代化自來水之濫觴，也是當時島內規模最大的自來水建設。主要工程設施包括慢濾淨水場及送水管線茲述如下：



1.水源慢濾淨水場工程：位於新店溪畔觀音山腳下之淨水場用地取得係委託地方政府臺北州廳辦理，歷經民用墓地遷移、徵收、軍用射擊場用地遷移後取得用地。工程內容主要有：原水取水工、導水管路、唧筒室（內含原水及清水抽水機）、圓形沉澱池二池，慢濾池八池、清水池（容量 5,050M³）等（圖 1、2）。從新店溪取水工導引原水至唧筒井再抽送至沉澱池，依序透過慢濾池過濾成清水後，加壓泵送至位於觀音山上之高地清水池，利用加壓及重力式混合運作淨水場出水。可說是相當先進的設計概念，且易於日後的維護管理。每日清水出水量約為 1.5 萬 CMD，滿足初期計畫人口 12 萬人生活用水所需，並預留未來擴充至 15 萬人之空間，此即為臺北自來水的創建原型。歷經百年發展演進，原有設施除唧筒室及清水池外，已全數拆除並原地改建成公館淨水場。其中保留之唧筒室為外觀古色古香、具巴洛克風格的典雅建築。後經指定為古蹟，並整修後作為目前自來水博物館園區的主要展場及代表性建築。

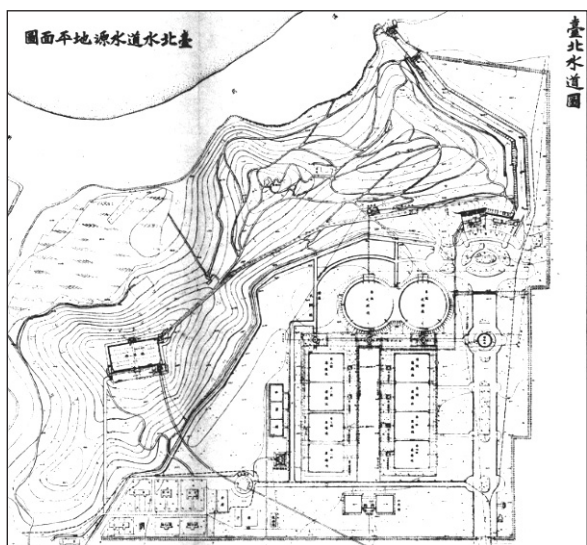


圖 1 水源慢濾淨水場平面配置圖

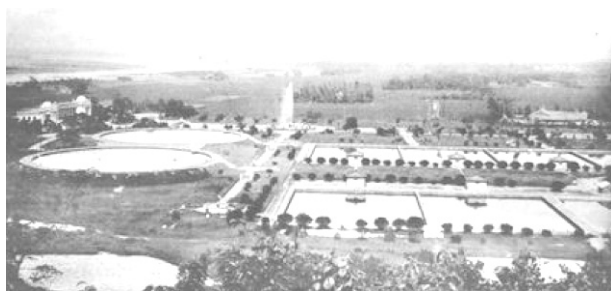


圖 2 觀音山俯瞰水源慢濾場實景

2.送、配水幹線工程：送水幹線起自淨水場旁觀音山配水池(EL43.5M)，藉由重力由南往北流送至市區街道。自水源地起沿現今羅斯福路三段、南昌路抵愛國西路(南門)埋設二條 ϕ 20 吋鋼管為主要送水幹線。穿過南門後改為鑄鐵管，其一續往北直行公園路抵貴陽街口，另一左轉愛國西路至博愛路後北折進入臺北城，沿博愛路到貴陽街口，再分支次幹管及更小的配水管路。次幹管及配水管口徑包括 14 吋、12 吋、10 吋、8 吋、6 吋、4 吋等各不同口徑之鑄鐵管(圖 3、4)。分布於當初主要人口聚集之臺北城內、艋舺、大稻埕等主要三市街之供水區域，為臺北水道系統之最初發展雛型。

採用之管線材料包括鋼管、鑄鐵管及管件等三種，均來自當時自來水工程技術最先進之英國進口。於當時三板橋練兵場(今華山廣場一帶)設置鐵管檢驗場，檢測把關進口管材之品質。然因從無裝接該類鐵管之施工經驗及技術工，故再自日本內地招募具經驗技術工八名來台施工，並自本島招募見習鐵工(日本人 28 名、臺灣人 6 名)，經過八個月訓練及四次技能考試合格方予錄取，其中日本人 24 人及臺灣人 2 人合格通過，始得以從事鑄鐵管線裝接工程，可見當時對於施工品質要求之嚴謹。

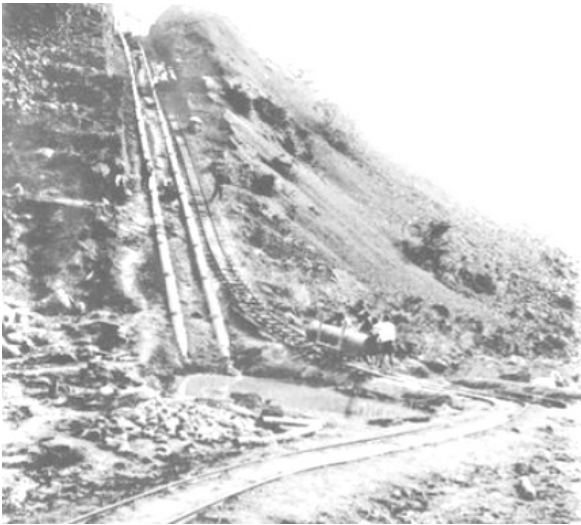


圖 3 觀音山清水池出水管鋪設



圖 4 送水幹管吊運埋設

(二)第二次擴建工程(草山水道)

臺北水道於 1909 完工供水後，之後連續數年用水量急速成長，遠超乎當初計畫預估，未久即進行淨水場設備之局部擴增、管線之延伸等增加出水量能，於 1919 年完成第一次擴建出水量能到 2.4 萬 CMD 已達極致。同時將原來計口放任式收費制度改採增設水表計量收費制，以抑制用水成長，多管齊下，並謀求更大水源之第二次擴建計畫。

相異於臺北水道之創建由總督府主導，第二次擴建工程則由當時的地方政府臺北市役(公)所進行調查及規劃，著手開發草山山麓幾處天然湧泉。其中竹子湖及紗帽山

二處湧泉之泉質及湧水量極佳，名為草山水道第一水源 (EL.541M) 及第三水源 (EL.303M)。當初出水量調查分別為 0.11CMS 及 0.22CMS，二處天然湧泉合計每日可出水量達 2.8 萬 CMD，已高於既有新店溪慢瀘場之出水量。又泉源地勢位能高不須加壓動力費，且水質潔淨無須淨水處理，可說是天賜良泉。旋即進行開發規劃並聘工學博士佐野藤次郎為顧問進行工程設計審查。充分利用湧泉水頭高程優勢，於山腳下三角埔增設水力發電所一座，將該二湧泉匯流後利用水力高落差發電，尾水再送至圓山之配水池 (EL.48 M)，並由圓山配水池重力放流送水往南到臺北城區供水。充分運用水源高程之優勢，不僅無須消耗電力反而還能產出電力，補償當地灌溉抽排水用電，整體設計之概念相當先進。草山水道完成後由北往南送水，與臺北水道由南往北共同供應主要市區用水，一南一北之水源能消彌管線系統末端之壓差，均化市區水壓且互相支援降低風險。

主要工程內容包括：第一取水井(圖 5)、第三水源取水井、調整井、第一、二水管橋、第三(草山)水管橋(圖 6)、三角埔發電所、圓山配水池(容量 10,000M³)以及其間之連通導、送水幹線等。



圖 5 草山第一水源取水井室



圖 6 第三(草山)水管橋

草山水道雖免去淨水場設備，但其管路範圍甚廣又多位於山林荒野，工事作業極為困難，1928 年開工，1932 年完成，歷時四年，工程經費達二百五十餘萬元，更高於臺北水道系統。

從 1909 年臺北水道初創期到 1932 年草山水道擴建完成(圖 7、8)，再加上 1911 年建置之北投、士林(臺灣神社)等次要湧泉水道

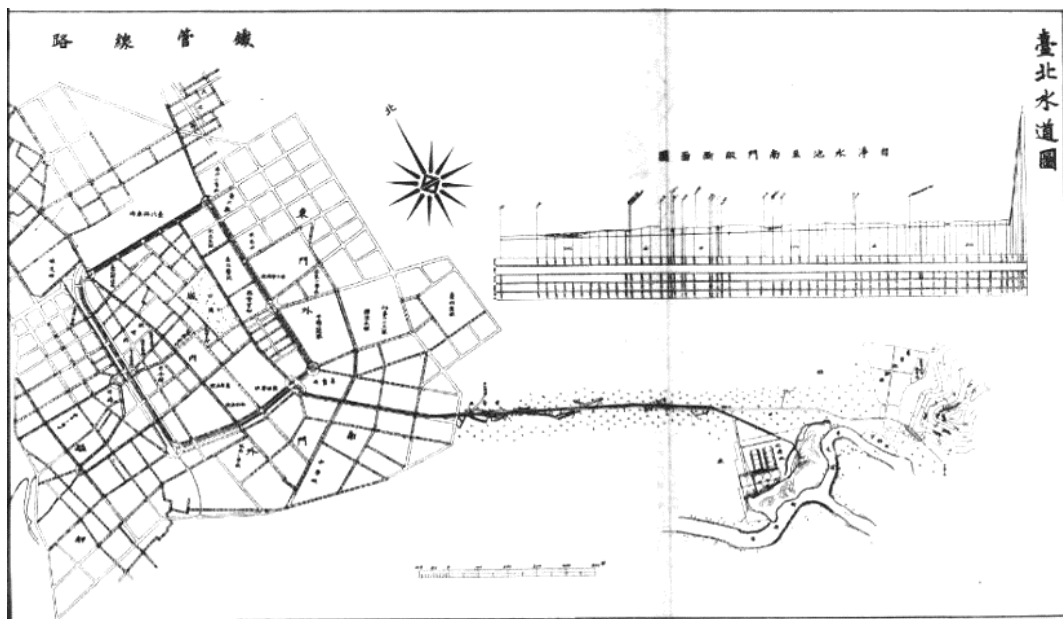


圖 7 臺北水道供水範圍配置圖(初創期)

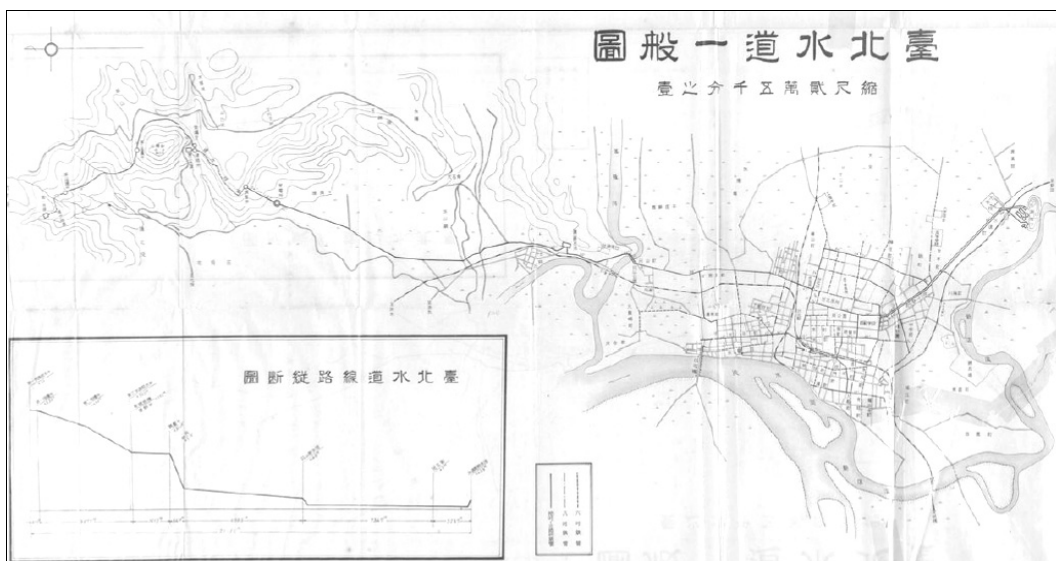


圖 8 臺北水道供水範圍配置圖(草山水道擴建完成後)

系統，臺北地區之供水規模大致確立。及至 1945 年(民國 34 年)光復前之期間，也持續進行小規模之供水擴建，包括草山第四水源、北投大坑溪水源、內湖水源等之擴建，臺北水道(含草山水道)每日供水量約 5.6 萬 CMD，再加上北投、士林、內湖等偏遠郊區之獨立水源約 5 千 CMD。日治時代末期大臺北地區供水量合計約 6.1 萬 CMD，總供水人口約 34 萬人。

三、光復初期(民國34~47年)

鑒於戰後人口成長急遽，光復初期臺北市區人口已逾 50 萬人，而此時臺北水道供水能力也僅約 6.8 萬 CMD，缺水情形嚴重，亟須於既有設施基礎上增加出水量。於是臺北市政府於民國 40 年初成立「臺北市自來水擴建工程推進委員會」，市長兼任主任委員，敦聘當時國內首屈一指自來水工程專家、時任臺灣省建設廳簡任技正范純一為主任工程師，負責實際執行。於新店溪慢濾場區內空地增建一座出水量 2 萬 CMD 之快濾淨水設備工程，為當時國內最先進之快砂濾系統淨水場，於民國 41 年完工出水，為臺灣自來水快濾設備建設史上之新里程碑。

於此同時，臺北市政府亦規劃利用位於士林地郊、水質良好穩定的雙溪水源，於雙溪上游築堰取水，導引至下游位於故宮西側山麓增設之原設計 4 萬 CMD 雙溪慢濾淨水場(現華興配水池加壓站)。本設計案省府建設廳未核准，故市府再聘請日本籍專家履勘複核仍維持原設計施工，完工後發生慢濾廠結構體開裂漏水沖毀民宅事故，經幾番波折並縮減量體規模為 2 萬 CMD 後始改善完成。至民國 46 年才完工啟用，後為因應雙

溪上游地區用水需求，遂於民國 76 年遷建至上游取水口處淨水後直接利用重力放流供水。

光復初期階段公館快濾淨水場及雙溪慢濾淨水場的完工得以挹注 4 萬 CMD 之供水量，此期間臺北市總供水能量雖達到約 11.3 萬 CMD，供水仍難以維持正常穩定。為解決燃眉之急，遂於市區開鑿深井作為供水水源。深井持續作為臺北市重要的輔助水源一直到民國 70 年代末期四期建設完成後才完全停用。光復後之臺北市自來水營運歸市府建設局管轄，隨後於民國 35 年成立之臺北市政府「公用事業管理處」轄下的自來水課負責，及至民國 41 年始成立「臺北市自來水廠」專責管理，為專業獨立機構經營管理之開端。

四、五期建設時期

光復初期之自來水建設均屬個別區域之局部擴建，供水量能之提升有限。鑑於此時大臺北地區之發展除市區本身外，臺北市轄區周邊鄰近城鎮包括景美、木柵、中永和、內湖、南港、北投、士林等地之人口及用水亦逐漸發展成長，於是整合性區域之計畫性供水建設概念遂成為後續推動之政策方向。自民國 47 年起分階段逐步推行第一期至第五期之擴建計畫，茲述如下：

(一)第一期建設(民國 47~54 年)

臺灣省政府於民國 47 年成立「臺灣省臺北區自來水建設委員會(簡稱第一期水建會)」，由已調任臺灣大學專任教授之范純一兼任總工程司實質負責。第一期擴建工程規劃供水範圍除臺北市轄區外，還包括當時屬於臺北縣之中永和、景美、木柵、新店、北

投及士林等周邊鄉鎮，為北臺灣第一個都會區域性整合供水系統。工程費達新台幣 4.27 億，其規模在當時仍屬空前。主要工程內容概述如下：

1. 蟾蜍山第一座淨水場: 混凝池(含水躍槽)2 池、沉澱池 6 池、快濾池 8 池、清水池及清水抽水站，設計出水量 20 萬 CMD，民國 53 年完工啟用迄今仍正常運轉出水，即現今長興淨水場水安一期。
2. 渾水抽水站: 設置於舊有取水口下游約 28M 處，抽水站基礎為四座沉箱沉至岩盤作為穩固之基礎，民國 53 年完工啟用，至民國 66 年由青潭堰取水口取代而停用。
3. 導(排)水管: 自渾水抽水站至蟾蜍山淨水場間埋設 ϕ 1400mm 原水導水管及 ϕ 500mm 水處理廢水排水管各一支，管材採鋼筋混凝土管(RCP)，民國 53 年完工啟用。為蟾蜍山淨水場之主要原水導水管，利用渾水抽水站加壓泵送至蟾蜍山淨水場，及至民國 66 年青潭原水管完成後，改為反向輸送原水至公館淨水場。
4. 送水幹線: 自蟾蜍山淨水場為起點，以 ϕ 1000mm 及 ϕ 900mm 幹管沿辛亥路至復興南路北轉，其中 ϕ 1000mm 於和平東路轉西、至新生南路北轉縮成 ϕ 800mm，並於和平新生路口分支 ϕ 700mm 繼續沿和平東路向西至羅斯福路；另一 ϕ 900mm 主幹線沿復興南路北上至忠孝東路；此外，並自公館水源慢濾場之出水幹管分支 ϕ 700mm 沿景美北新公路、 ϕ 600mm 沿舊基隆路(現舟山路)等送水管加強送水量能。此期間之送水幹管材質均為白口灌鉛式接頭鑄鐵管(CIP)。

5. 大直及五分埔配水池: 均為圓周繞線式預力混凝土構造。分別位於供水區域北側大直及東側五分埔地區之邊坡高地，調節距淨水場水源較遠處之末端區域，於民國 54 年完工啟用後，因水壓不足進水量低，功能未臻理想，均已拆除停用。

綜合一期建設最大特色為自規劃、設計及施工監造，完全由水建會同仁自力完成，未假國內或國外顧問公司之手，實屬難得。更難能可貴的是，其工程品質亦獲得極高之評價，據聞美國技術顧問曾稱道：「這輩子還沒看到像蟾蜍山淨水場那麼乾的水管廊」，另外沉澱池混凝土工程完成後檢查因毫無裂縫故將表面粉刷項目取消，由此可見施工品質水準之高。現今時空環境轉變，國內工程多委託工程顧問公司技術服務，主辦機關自行規劃、設計、監造施工之時代已成絕響。不禁感嘆主辦機關工程人員專業技術日益低落之趨勢。

(二)第二期建設(民國 57~60 年)

臺北市政府改制直轄市後，民國 57 年再成立「臺北區自來水建設委員會」(簡稱第二期水建會)持續推動第二期擴建工程，延續第一期之建設，工程性質與第一期雷同，故多沿用舊有設計，並將管線規劃設計作業委託辦理。工程費新台幣 2.7 億元，供水量達到 56 萬 CMD。主要工程內容概述如下：

1. 蟾蜍山第二座淨水場：與第一期淨水設備工程設計相同，新舊設備相距約 10 公尺以免影響原有水池安全(圖 9)，20 萬 CMD 淨水場，民國 60 年完工啟用，迄今仍正常運作出水，即現今長興淨水場水安二期。

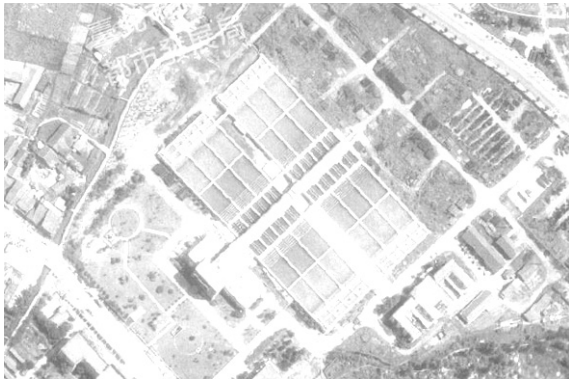


圖 9 蟾蜍山第一、二座淨水設備

2.原水導水管：採用 $\phi 1400\text{mm}$ 預力混凝土管 (PSCP, 5M/支)，與第一期埋設之既有 $\phi 1400\text{mm}$ RCP 併行埋設，設人孔三處，民國 60 年完工啟用，其功能與第一期導水管相同，並於民國 66 年青潭原水管完成後變成反向導水，迄今仍使用中。

3.送水幹線：以蟾蜍山淨水場為起點，概分為東線、中線、西線。東線以 $\phi 1200\text{mm}$ 、 $\phi 1000\text{mm}$ 沿基隆路進入松山地區；西線為 $\phi 1000\text{mm}$ 沿辛亥路、復興南路、和平東西路進入萬華地區；中線為 $\phi 1000\text{mm}$ 沿辛亥路、復興南路進入中山地區。管線材質仍以白口灌鉛接頭鑄鐵管(CIP)為主，惟 $\phi 900\text{mm}$ 以上(含)大口徑幹管開始採用國外進口之機械接頭延性鑄鐵直管(DIP)，創國內首次採用 DIP 之先河，管件部分則搭配國產白口鑄鐵管(CIP)混合使用；另部分管段改採用預力混凝土管(PSCP)，包括 $\phi 1400\text{mm}$ 原水導水管以及基隆路(忠孝-八德路) $\phi 1000\text{mm}$ 管段均採用 PSCP，此一階段對於管材之應用可說是更為積極勇於嘗試。

(三)第三期建設(民國 61~65 年)

民國 61 年成立「臺北區自來水及衛生下水道建設委員會」，委員會下設「臺北區自來水工程處」，專司第三期建設之規劃、設計及施工。與前二期最大之差異在於停用當時使用長達七十年歷史之公館水源，往上游移至青潭設攔河堰取水口，並增設原水導水管路至蟾蜍山及增建公館淨水場(圖 10)。總工程費達 21.5 億，第三期工程規模及預算大幅躍昇，屬前所未有的鉅額投資，完工後整體供水量達 108 萬 CMD。

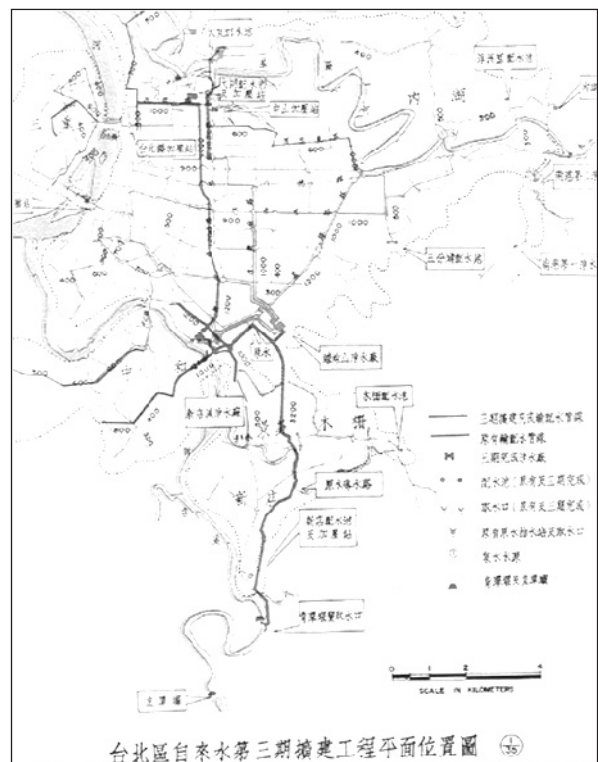


圖 10 第三期計畫平面位置圖

主要工程茲分別略述如下：

1.直潭壩：直潭壩壩址位於南北勢溪交匯口下游約 4 公里處 U 型峽谷，主要為壩體土木工程及閘門機械工程，蓄水容量達 420 萬噸，具有調節河川枯豐水期流量、穩定原水供應之功能，總經費逾 5.5 億元，民

國 67 年完工啟用。迄今仍為大臺北地區最重要的原水蓄水壩。

- 2.青潭堰：原水取水口由原來位於新店溪畔公館取水口往上游移約 9.5 公里，於青潭處設一攔河取水堰名青潭堰(圖 11)。青潭堰位於直潭壩下游約 6 公里處，小粗坑發電廠下游約 800 公尺，主要功能為抬高河川水位穩定原水取水口水源，並調節發電場尾水，調節池容量約 7 萬噸。總經費將近 1 億元，民國 64 年完工啟用迄今。

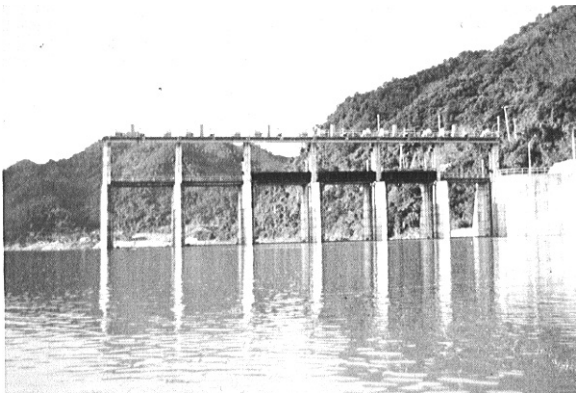


圖 11 青潭堰(上游往下游)

- 3.青潭原水管:於青潭堰右岸增建取水口及 $\phi 3200\text{mm}$ - $\phi 2000\text{mm}$ 青潭原水導水管路，自青潭取水口起，以重力式輸送原水至既有蟾蜍山(長興)淨水場及新設公館淨水場。採隧道及涵渠型式抵蟾蜍山淨水場分水井，再繼續延伸沿基隆路至新建之公館淨水場分水井，全長 11.2 公里，總經費逾 5.7 億元，民國 65 年完工啟用，最大送水量 108.5 萬 CMD，迄今仍為蟾蜍山(長興)及公館淨水場之原水來源。
- 4.公館淨水場:拆除已將近七十年歷史之新店溪慢濾淨水設施，正式走入歷史，僅保

留唧筒室、量水室及觀音山清水池等作為歷史遺跡。原地改建大型快濾淨水場改名為公館淨水場。與以往一、二期蟾蜍山淨水場設計不同之處包括:沉澱池採用傾斜板、刮泥機及升降式排泥設備等，改善傳統沉澱池無任何助沉設備及人工清淤等缺點，並縮減場站面積，且設置四池總容量高達 6.2 萬噸之清水池。設計出水能量 48 萬 CMD，最高達 52 萬 CMD，總經費 7.5 億元，於民國 66 年完工，仍正常運作中。

- 5.送水幹線:以新建之公館淨水場為起點，概分為北線、西線、南線等三線。北線- $\phi 1200\text{mm}$ 沿新生南路往北、 $\phi 1000\text{mm}$ 沿吉林路、民族東路進入大同配水池加壓站；西線- $\phi 1200\text{mm}$ 沿汀洲、水源路，銜接四期前段工程繼續延伸至中華路並與忠孝大橋上 $\phi 1000\text{mm}$ 相連；南線- $\phi 900\text{mm}$ 經汀洲路、羅斯福路往南至興隆路口與既有 $\phi 700\text{mm}$ 連通，同時埋設 $\phi 1000\text{mm}$ 經福和橋至永和中和；東線-自松江路(民權東路口)南北向 $\phi 1000\text{mm}$ 分支 $\phi 600\text{mm}$ 沿民權東路往東。送配水幹管材質延續第二期之作法，除新生南路(和平-信義路) $\phi 1200\text{mm}$ 管段採用 PSCP 外，其餘 $\phi 900\text{mm}$ 以上(含)大口徑幹管均採用日本、韓國等國外進口之機械接頭延性鑄鐵直管， $\phi 800\text{mm}$ 以下口徑以國產鑄鐵管為主。

- 6.大同配水池加壓站及中山加壓站：

三期建設之供水方式主要以公館淨水場為中心，由南往北採加壓方式供應，於最北邊民族東路與新生北路口及松江路口分

別設置大同配水池加壓站及中山管中加壓站。其中大同配水池加壓站容量為 3 萬噸，後續於第四期及第五期建設計畫中陸續增建第二座及第三座配水池加壓站，儼然已成為大臺北北區供水轄區最重要之供水調節中繼站；而中山加壓站屬管中加壓站，因相距大同配水池加壓站不遠，導致其功能漸被取代而停用。

(四)第四期建設(民國 65~80 年)

四期建設包括水源工程及給水工程規劃案。水源工程係於直潭壩上游北勢溪翡翠谷攔劃庫容量逾 4 億噸之翡翠水庫，給水工程則新闢位於新店溪直潭地區、地勢較高之大規模淨水場及其他導、送水設施。此一規劃方案與當初臺北水道創建時考量之水源方案二方向不謀而合，不得不令人佩服創建時期眼光之遠大。

此時「臺北自來水廠」與「臺北區自來水工程處」於民國 65 年合併成立「臺北自來水事業處暨所屬工程總隊」，由臺北自來水事業處工程總隊負責給水工程之建設，另成立「翡翠水庫建設委員會」專責興建經費達 114 億元之翡翠水庫。四期建設分為前、後段，前段工程為三期計畫之延續，銜接第三期擴建及翡翠水庫完工蓄水前之過渡措施，至民國 70 年止工程費為 12 億；後段工程則到民國 80 年高達 115 億元之工程費，四期建設合計 127 億元(不含翡翠水庫)。完成後累計總出水量達到 274 萬 CMD，足以滿足未來大臺北地區人口成長飽和之需水量，臺北自來水事業之規模基礎自此確立。

主要工程內容概述如下：

1.直潭淨水場：位於直潭壩下游約 2 公里

處、佔地共 45 公頃之用地規劃肇建五座淨水設備之直潭淨水場。其中於第四期建設階段先行興建三座，第一、二、三座淨水設備分別於民國 73、76、80 年完工出水。每座淨水量能為 50 萬 CMD，單一淨水場合計出水量達 150 萬 CMD，最高可達 165 萬 CMD。並利用地勢以重力方式輸送清水至地勢平坦之臺北市區後，再藉由配水池加壓站泵送至各供水區。開啟日後以直潭淨水場為主體的大臺北供水系統，後續並於第五期建設階段增建第四、五、六座淨水設備，其中第六座係於五期計畫階段規劃追加增設。

2.第一原水導水管路：簡稱「一原」，自直潭壩右側增設之取水口為起點，主要採用隧道挖掘及涵渠方式，增設口徑 ϕ 4000mm 之原水導水管路，總長約 2.2 公里，於民國 73 年配合淨水場完工啟用。以重力流方式導水至直潭淨水場分水井，設計原水導水量為 270 萬 CMD。

3.第一清水輸水幹線：簡稱「一清幹線」，南自直潭淨水場清水池(HWL.32M)起，以 ϕ 3400mm 管路利用倒虹吸管穿越新店溪及山岳隧道經過安坑、中和進入公館，再沿新生南路、辛亥路、建國南北路、民族東路進入大同配水池加壓站，全長達 17.3 公里。一清幹線總設計輸水量為 231.6 萬 CMD。採用之管材以鋼襯預力混凝土管(PCCP)為主，部分採用延性鑄鐵管(DIP)，過河段之水管橋則採鋼管(SP)。其規模堪稱歷來之最，自民國 73 年完工啟用後成為

大臺北地區最重要之供水大動脈。

4. 蟾蜍山第三座淨水場：屬於四期前段工程，於直潭淨水場供水系統尚未完成前，再擴增蟾蜍山淨水場，新增第三座淨水設備，設計淨水量為 24 萬 CMD，即現今長興水平淨水設備單元，於民國 70 年完工啟用，此時整體蟾蜍山淨水場之出水量能達到 64 萬 CMD。

5. 配水池加壓站：配合於一清幹線之沿線適當位置設置配水池及加壓站，主要包括：安康、中和、公館、北投、天母等管中加壓站以及大同、松山、三重等配水池加壓站。

(五)第五期建設(民國 80-110 年)

四期建設係以民國 80 年為計畫目標年，完成後對以直潭淨水場及一清幹線為主的供水系統依賴程度大幅提高，供水替代性不足，整體給水系統承受風險能力低；又逢水利署大力推動水資源共享之板新計畫，增加支援臺灣自來水公司之量能。爰繼續規劃第五期建設計畫(圖 12)。計畫增加供水量，滿足計畫目標年民國 119 年最大日總需水量 414.8 萬 CMD，執行期程為民國 80~110 年。主要目的為備援備載-提升供水安全及操作彈性，強化整體供水系統之應變及調配能力。

茲就主要工程包括淨水設備、導水管路、輸水幹線等略述如後：

1. 直潭淨水場擴建：直潭第四、五座淨水設備係於第四期計畫時規劃，納入五期階段執行施工。第四、五、六座淨水設備分別於民國 84、93 及 102 年完工出水。完工後合計六座淨水設備出水量能達到 340 萬

CMD，為大臺北供水系統之中樞，也是國內最大規模之淨水場。

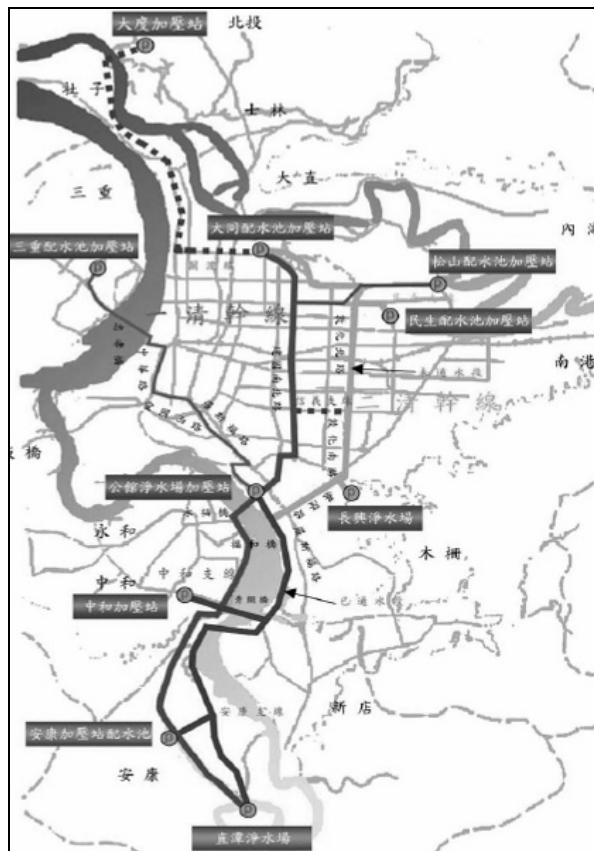


圖 12 第五期計畫主要設施平面圖

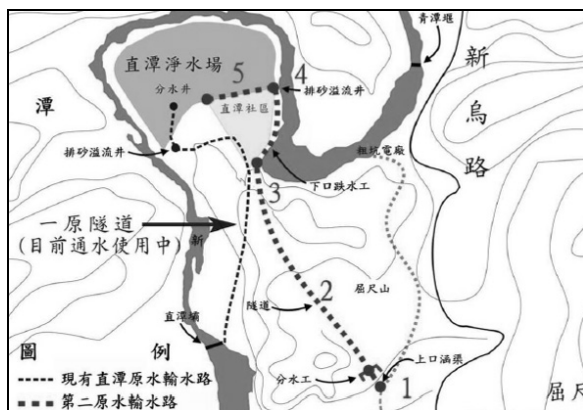


圖 13 直潭淨水場第一、二原水管

2. 第二條原水導水路：簡稱「二原」，考量滿足直潭淨水場之處理量能，利用於臺電粗坑電廠既有頭水路增設一座分水工引水，藉由新設管路以重力流導引至直潭淨水場

(圖 13)，設計導水量為 270 萬 CMD。於民國 98 年完工通水。

3.第二條清水輸水幹線:簡稱「二清幹線」，自直潭淨水場清水池起，沿一清幹線東側，以 ϕ 3800mm 倒虹吸管越過新店溪及山岳隧道進入安坑地區，分支安康支線後以 ϕ 3400mm 沿北二高交流道通過新店溪高灘地並以 ϕ 2400mm 二支水管橋型式(中安水管橋)跨越新店溪後沿右岸高灘地至福和橋下，東轉向公館圓環進入基隆路、敦化南北路、民權東路、建國北路最終進入新生公園大同加壓站，全長 17.4 公里，設計送水能量 248 萬 CMD。同時增設安康、中和、公館、長興及民生支線等五條支線連通一、二清幹線使互為連通形成管網狀系統。管材之選用仍延續一清幹線之作法，在工法方面，於山岳採隧道鑽掘工法、高灘地採傳統明挖施工，進入市區段則採潛盾工法及推進工法。其中潛盾工法係首次應用於臺北自來水事業處，施工過程對於地下潛盾路徑線型之掌控不盡理想，致侵入鄰地引發鄰損賠償爭議之情形造成工程進度受阻。二清幹線為第五期建設計畫中最重要也最艱困之工程，自民國 81 年起開工，分二階段通水，上游段於民國 86 年先行完工通水，全線於民國 91 年完工通水。二條供水大動脈得以計畫性地進行輪流停水檢修，以確保供水安全。

4.配水池加壓站:配合二清幹線及區域供水調節之需，增設配水池加壓站主要包括：民生配水池加壓站、大同(第三座)配水池加

壓站、大度配水池加壓站、安華加壓站、安康(第二座)加壓站、雙城加壓站、伸仗板配水池等。其中民生配水池加壓站為地下配水池地上辦公大樓之多功能設施，蓄水容量達 10 萬噸，為北水處轄區內最大容量之配水池。

五、結語

臺北自來水事業從二十世紀初葉創建迄今超過一百年歲月，一路走來、篳路藍縷。迄今無論在淨水量能之備載率或是輸送水量能之備援性均已達到極高穩定性，全歸功於百年來前輩們的奉獻。走過臺北自來水事業的前世今生，我們猶如站在巨人的肩膀上，回顧過去，展望未來。當效法前人建設的精神與毅力，戮力以赴，使臺北自來水事業能穩健永續地再邁向下個一百年。

參考文獻

- 1.臺灣水道誌、圖譜(1918) 總督府土木局
- 2.臺灣自來水誌(1977) 中華民國自來水協會
- 3.臺北自來水八十年(1992) 臺北自來水事業處

作者簡介

吳世紀先生

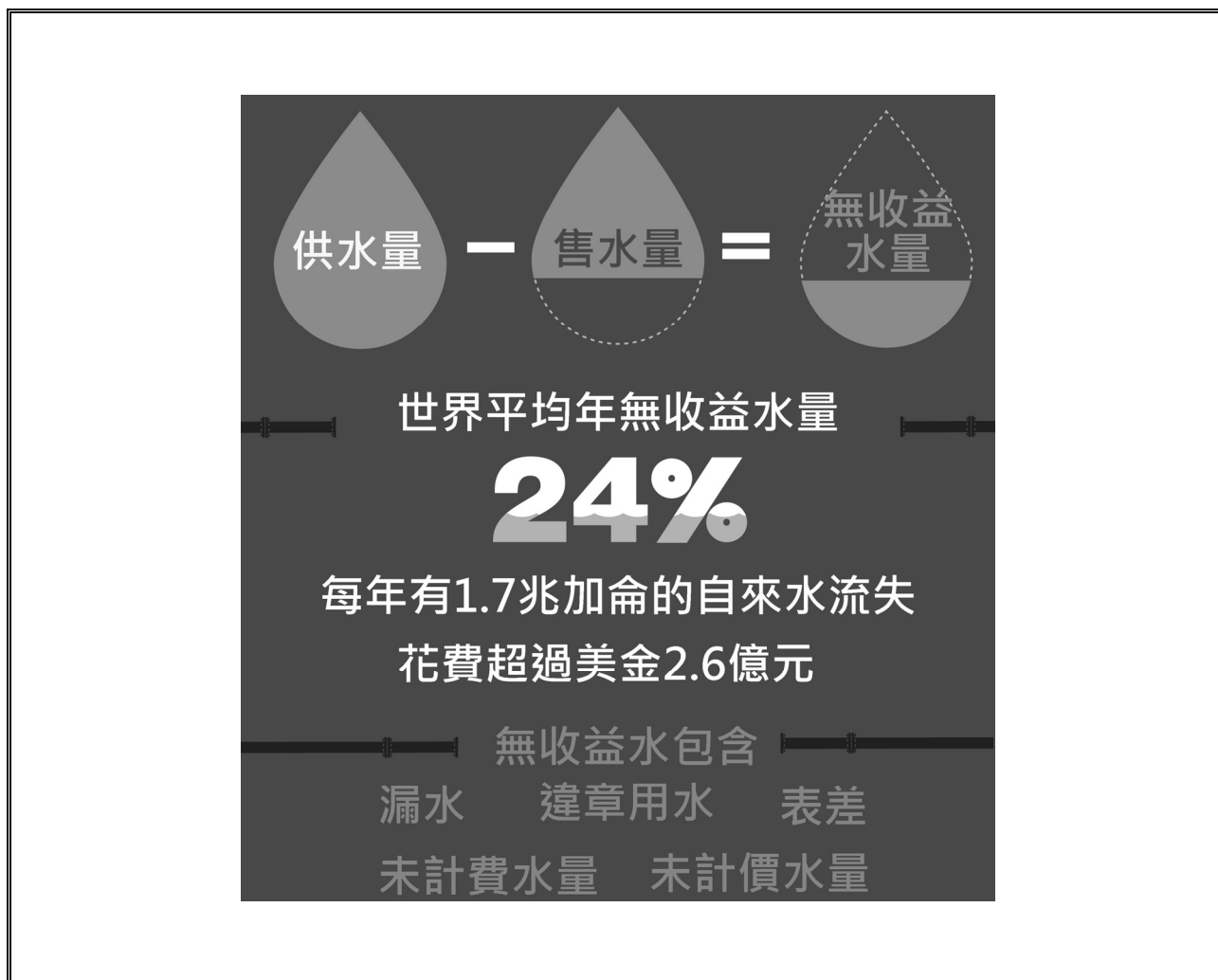
現職：臺北自來水事業處工程總隊 股長

專長：自來水管線工程規劃、設計、施工

「你知道嗎？」

無收益水量 NON REVENUE WATER

張敬悅



資料來源：<https://sensus.com/solutions/non-revenue-water-infographic/>

作者簡介

張敬悅小姐

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程師

專長：地理資訊系統、分區計量管網