

自來水會刊第 33 卷第 2 期目錄



實務研究

- 管線清理中管末排水作業測試評估與研析…許敏能、黃騰宏、謝博庭、董士誠、朱健行…… 1
- 自來水附屬設施維護問題探討及改善對策—以地下式救火栓為例……林永芳…… 14
- 善用「平常用水量」加速取得小區售水率……游叡研…… 20

每期專題 淨水處理與再利用技術

- 自來水淨水污泥最適化清理再利用探討……王興舜…… 26
- 原水藻類引起快濾池阻塞實場改善研究……林信忠、郭得祿…… 39
- 應用生物性混凝劑處理高濁度原水初步研究……
……郭玉樹、黃三益、廖偉宏、鄭蔚辰、陳克維…… 48
- 台灣本島海淡水源納入自來水系統營運之可行性探討……
……蔡善潔、林冠伯、蔡文魁、李丁來…… 56

一般論述

- 矩形水池頂底版及水池組結構設計之研討……曾浩雄…… 69
- 塑化劑DEHP與自來水……江弘斌…… 81

他山之石

- 第 8 屆臺、美、日自來水設施耐震對研討會紀實……
……朱聖心、范川江、鄭錦澤、范煥英、王桑貴…… 86
- 東京水道復興建設努力之方向……朱健行…… 98

協會與你

- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…… 55
- 歡迎投稿 103 年「每期專題」…… 85
- 新增「自來水工作現場」單元…… 13

封面照片：高雄澄清湖進水口(台灣自來水公司提供)

自來水會刊雜誌稿約

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

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：陳福田

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

吳美惠

委員

駱尚廉、葉宣顯、陳曼莉、陳錦祥、蘇金龍

張怡怡、林財富、周珊珊、蕭宏民、李丁來(兼秘書)

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、黃建源、陳孝行、陳志銘、簡俊傑

洪世政

執行編輯：林正隆

電話：(04)22244191 轉 824

行政助理：古蓁苓

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區自強街 50 號

電話：(04)23607717

管線清理中管末排水作業測試評估與研析

文/許敏能、黃騰宏、謝博庭、董士誠、朱健行

一、前言

自來水配水管線長期使用，可能因滯留時間過長，因而管垢等沉積物存在於管網系統中。當管網內滯留大量沉積物，除了管垢沖出等影響外，長期將對供水水質產生不良影響。管線系統之適當維護，亦為確保水質之方法，因此管線清理(Flushing or Cleaning)工作乃維持自來水水質所必需，而有系統、有計畫的洗管、排水施作，更是確保水質安全的成功要素。

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)在洗管、排水作業方面，有計畫進行管末排水，或消防栓排水，作局部問題的解決，因此，有可能因牽動聯結管線之水流，造成管垢揚起；再者，管線系統中的水齡(age)是影響水質的重要原因，水因為在管中滯留過久，會導致水質惡化，致餘氯消失、濁度增加；唯有透過有系統有計畫的洗管、排水作業，才能徹底消除水質劣化之發生。現行有效且定期的執行管末端消防栓排水作業，排水頻率每年兩次之清理計畫，必須確實執行及紀錄；雖然管末排水自多年前起因考慮管末端水質較差，濁度並未以小於生飲標準 2NTU 為基準，反而是採用 4NTU 為指標，餘氯則仍以大於 3ppm 為檢測準則，執行排水後已對配水管網大大改善水質；目前北水處管網系統水壓平均水壓為 1.5kg/cm²，已著手致力於管末排水作業標準化。從民國 97 年起透過 GIS「撈」管末端 6M 以內之消防栓，迅速查出並確立管末端消防栓之末端資

料，奠定管末排水端點及訂定計畫書之良好基礎，且近一、二年來管末排水同仁，已從過去因工作太忙，而忽略排水品質的提升；如今已能確實完成任務，每位執行排水同仁皆值得嘉獎一番。

關鍵字：洗管、排水、管線清理、水齡、排水頻率

二、管末排水相關名詞定義

- (一)管末長度=配水管網充分供水經過一段時間，從配水管接到管線末端點，其水質因滯留而不佳，可藉消防栓排水，排出管中汙垢，這一段距離是指管網中配水管連通直達管線末端，稱為管末長度。
- (二)用戶在正常申請用水後每日從自來水管打開開關，飲用自來水或使用自來水；正常水表計量下，稱為用戶用水量，以度數計算每立方公尺水量為一度，各類型用戶之用水量分別以不同口徑區分計價。
- (三)本處管末排水自消防栓開關連接上豎管，再連接消防軟管排水入水溝，歷年來採用於排水開始一分鐘時量測餘氯、濁度，如合格則停止排水，若是不合乎水質標準(餘氯>0.3ppm，濁度<4NTU)則繼續排水，直到合乎水質標準才停止排水及計時此段過程稱作管末排水。此種水不能飲用，因為飲用水標準濁度須<2.0NTU，餘氯>0.3ppm。自消防栓出水經歷的時間，稱之排水時間，通常以分鐘計算。

(四)管末排水=水質不佳，需固定由消防栓排水使管網水質良好合乎標準。如果水質不佳，應縮短排水時間，間隔數月再測，通常每年排水兩次稱為排水頻率。如果排水時間六個月一次，水質仍不易達到標準則考慮 3 或 4 個月排水一次。

(五)管制機制：消防栓管末端排水之功能主要是檢測在供水正常水壓下，水質達到餘氯>0.3ppm，濁度<4NTU；一般流體公式 $Q=A \cdot V \cdot Cd$ [流量=截面積 x 流速 x 管徑修正係數]，代入消防栓之口徑為 63mm， $A=\pi dd/4$ $V=\sqrt{2gh}$ ， g =重力加速度 $9.81m/sec^2$ ， h =水頭=水壓·10 單位：M， Cd =管徑修正係數，利用水頭·時間·管徑修正係數=近似推估排水流量，如此引用排水量公式方便好用。

三、管末排水測試

(一)引言

1.102 年 6 月 11 日第 6 次工程會報紀錄鈞長裁示：B1020406「研究管末排水量與售水率之關係」，請供水科研訂管末排水標準

作業程序，並請北區分處協助裝設流量計現場測試管末排水量等機制，以供其他分處參考應用。

2.102 年 7 月 22 日供水科、西區分處及北區分處於本處供水大樓前組裝口徑 50mm 螺旋電子式流量計及口徑 40mm 螺紋機械式流量計，現場測試管末排水量，並探討影響排水量相關因子，後續測試計畫。

(二)現況說明

供水科為各營業分處計算消防栓管末排水時無統一計算方法，業已訂定「單一管末排水量公式」，並自 102 年 5 月起實施如表 1。

現行消防栓出口口徑為 63mm，為模擬實際出水狀況，原擬裝設口徑 63mm 流量計現場測試管末排水量，查國外確有類似產品；惟經洽國內流量計製造商，目前國內並無口徑 63mm 流量計可供使用，擬參照現行供水科委外承商測試夜間最小流方式，並裝設口徑 40mm 或 50mm 流量計，組裝相關管件辦理現場測試，執行第 1 輪管末排水測試。

表 1 北水處單一管末排水量換算表

管末排水排水量換算表																	單位：噸			
分鐘 水壓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.5	1.389	2.779	4.168	5.557	6.947	8.336	9.726	11.115	12.504	13.894	15.283	16.672	18.062	19.451	20.841	22.230	23.619	25.009	26.398	27.787
0.6	1.522	3.044	4.566	6.088	7.610	9.132	10.654	12.176	13.698	15.220	16.742	18.264	19.786	21.308	22.830	24.352	25.874	27.396	28.918	30.440
0.7	1.644	3.288	4.932	6.576	8.220	9.864	11.507	13.151	14.795	16.439	18.083	19.727	21.371	23.015	24.659	26.303	27.947	29.591	31.235	32.879
0.8	1.757	3.515	5.272	7.030	8.787	10.545	12.302	14.059	15.817	17.574	19.332	21.089	22.847	24.604	26.361	28.119	29.876	31.634	33.391	35.149
0.9	1.864	3.728	5.592	7.456	9.320	11.184	13.048	14.912	16.776	18.640	20.504	22.368	24.232	26.097	27.961	29.825	31.689	33.553	35.417	37.281
1.0	1.965	3.930	5.895	7.859	9.824	11.789	13.754	15.719	17.684	19.649	21.614	23.578	25.543	27.508	29.473	31.438	33.403	35.368	37.332	39.297
1.1	2.061	4.122	6.182	8.243	10.304	12.365	14.425	16.486	18.547	20.608	22.668	24.729	26.790	28.851	30.912	32.972	35.033	37.094	39.155	41.215
1.2	2.152	4.305	6.457	8.610	10.762	12.914	15.067	17.219	19.372	21.524	23.676	25.829	27.981	30.134	32.286	34.438	36.591	38.743	40.896	43.048
1.3	2.240	4.481	6.721	8.961	11.201	13.442	15.682	17.922	20.163	22.403	24.643	26.884	29.124	31.364	33.604	35.845	38.085	40.325	42.566	44.806
1.4	2.325	4.650	6.975	9.299	11.624	13.949	16.274	18.599	20.924	23.249	25.573	27.898	30.223	32.548	34.873	37.198	39.523	41.848	44.172	46.497
1.5	2.406	4.813	7.219	9.626	12.032	14.439	16.845	19.252	21.658	24.065	26.471	28.878	31.284	33.690	36.097	38.503	40.910	43.316	45.723	48.129
1.6	2.485	4.971	7.456	9.942	12.427	14.912	17.398	19.883	22.368	24.854	27.339	29.825	32.310	34.795	37.281	39.766	42.251	44.737	47.222	49.708
1.7	2.562	5.124	7.686	10.247	12.809	15.371	17.933	20.495	23.057	25.619	28.181	30.742	33.304	35.866	38.428	40.990	43.552	46.114	48.676	51.237
1.8	2.636	5.272	7.908	10.545	13.181	15.817	18.453	21.089	23.725	26.361	28.998	31.634	34.270	36.906	39.542	42.178	44.814	47.451	50.087	52.723
1.9	2.708	5.417	8.125	10.834	13.542	16.250	18.959	21.667	24.375	27.084	29.792	32.501	35.209	37.917	40.626	43.334	46.042	48.751	51.459	54.168
2.0	2.779	5.557	8.336	11.115	13.894	16.672	19.451	22.230	25.009	27.787	30.566	33.345	36.124	38.902	41.681	44.460	47.239	50.017	52.796	55.575

註：壓力值介於兩數值之間取用大者(例 0.55 kg/cm² 取 0.6 kg/cm²)
 $Q=A \cdot V \cdot Cd = (\pi \cdot D^2/4 \cdot Cd \cdot \sqrt{2gh})$ [噸/秒]
 $Q=(\pi \cdot 0.063^2/0.0634) \cdot 0.75 \cdot (\sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 15})=0.0401$ CMS = 2.406 CMM

(三)測試目的

為探討現行管末排水量計算是否適當，並比較國外管末排水量計算，希望可裝設不同口徑流量計，探討不同供水條件下，管末排水量之變化，進而研訂較適裝設流量計現場測試管末排水量機制，測試時程如表 2。

表 2 第一輪管末排水測試計畫時程

時間		第一週	第二週	第三週	第四週
工作項目					
1	各分處選擇測試點				
2	北區/西區實地測試				
3	紀錄資料彙整分析				
4	結果討論				

(四)測試方法

北區分處組裝口徑 50mm 螺紋電子式流量計組件及西區分處組裝口徑 40mm 螺紋機械式流量計組件。針對各轄區管末排水點（北區所選壓力在 1.5kg/cm² 以下，西區所選壓力在 1.5kg/cm² 以上，並盡量分布在不同壓力範圍）各選 10 處，並分別以每處排水 5 分鐘，共同辦理管末排水量測試。

(五)測試設備

1. 水壓組：φ 65mm 水壓計銜接管(母)、φ 50mm 不銹鋼球閥開關、銜接管(公)。
2. 水表組：濾網、φ 40mm 或 φ 50mm 機械式水表、銜接管(母)*2。
3. 支撐架：鐵棒 3 支、銅製圓環。
4. 其他附件：φ 65mm 消防立管*1、φ

65mm/L5m 消防水帶*1、濁度計、餘氯計。「消防栓排水量測及壓力量測設備」如圖 1。

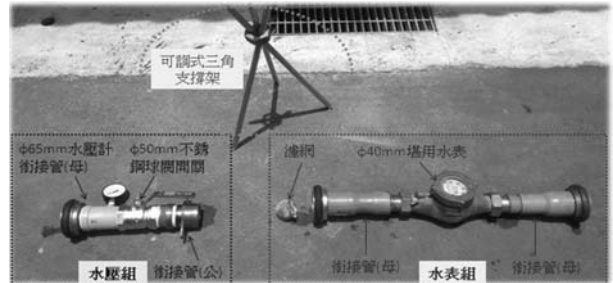


圖 1 消防栓排水量測及壓力量測設備

(六)測試步驟

1. 設備組立：消防栓→消防立管→水壓組→水表組→消防水帶→排水溝渠。
2. 量靜水壓：制水閥開啟出水→不銹鋼球閥開啟排氣→不銹鋼球閥關閉紀錄靜水壓。
3. 量排水量與動水壓：紀錄水表度數→不銹鋼球閥開啟出水並計時→紀錄動水壓→不銹鋼球閥關閉→紀錄水表度數。
4. 注意事項：
 - (1) 為了解作業效率，請於每次測試時記錄設備組立時間。
 - (2) 為避免讀表錯誤，請於抄表時拍照存檔。
 - (3) CNS14866 流量計特性，40mm 螺紋式超載流量為 20m³/hr。
 - (4) CNS14866 流量計特性，50mm 螺紋式超載

流量為 30m³/hr。

(七)測試紀錄

- 1.北區分處：會同供水科及西區分處於 102 年 8 月 5 日下午共同至北區轄區現場辦理測試，計 10 處，分別裝設 40mm 及 50mm 流量計現場測試管末排水量，共 20 組數據。
- 2.西區分處：會同供水科及北區分處於 102 年 8 月 7 日上午共同至西區轄區現場辦理測試，計 10 處，分別裝設 40mm 及 50mm 流量計現場測試管末排水量，共 16 組數據（其中 4 組因水壓過高，設備接頭脫落致無法量測）。

(八)小結

- 1.本處自 96 年起參考國際計算慣例，針對操作用水(包括管末排水、排氣用水及開關測試等)及消防用水(包括演練用水、救災用水、出勤損耗及水源查察等)，以配水量 0.5%估算。
- 2.經比較裝設流量計現場測試管末排水量與現行供水科訂定「單一管末排水量公式」，在相同供水條件下，兩者差異為：
 - (1)口徑 40mm 流量計：排水量公式/實測排水量=3.05~3.83 倍。
 - (2)口徑 50mm 流量計：排水量公式/實測排水量=3.14~4.86 倍。
 - (3)裝設流量計現場測試管末排水量之優缺點為：

口徑 40mm 流量計：優點→重量較輕、組立時間短。缺點→排水速度慢、超載流量稍小。

口徑 50mm 流量計：優點→排水速度快、超載流量較大。缺點→重量稍重。
- 3.以國內現行既有流量計辦理現場測試管末

排水量，由本次測試結果發現，於高壓區均有水表過載之虞，為此，組裝管件之設計，應於表後加設控制開關為宜。

- 4.整體而言，口徑 40mm 與 50mm 流量計最大差別為其排水速度快慢，且於高壓區均有水表過載之虞，故建議裝設口徑 50mm 流量計現場測試管末排水量較符實際需求，相關組裝管件（採金屬管件車螺牙方式接合），並配合現場供水條件，適時控制表後開關，確保排水流量在水表適用範圍，以達計量準確，可供其他分處參考應用。

四、水車協助執行管末排水

(一)第 2 輪消防栓管末排水測試成果報告

- 1.依據 102 年 6 月 11 日第 6 次工程會報紀錄處長裁示：B1020406「研究管末排水量與售水率之關係」，供水科研訂管末排水標準作業程序，並請北區分處協助裝設流量計現場測試管末排水量等機制，以供其他分處參考應用。
2. 102 年 10 月 8 日第 7 次午安會報紀錄處長裁示：有關管末排水請供水科，依本次經驗再擬定符合現場測試之適當方式，以利檢討單一管末排水量公式合理 Cd 值，並於 102 年底前陳報成果。

(二)現況說明

供水科為各營業分處計算消防栓管末排水時無統一計算方法，業已訂定「單一管末排水量公式」，並自 102 年 5 月起實施如表 1。

現行消防栓出水口口徑為 63mm，為模擬實際出水狀況，採用三叉式接頭，一頭接消防管立管出口，一頭接水壓計，一頭排水接水車水箱。以期有效利用排水公式：

$$Q=Cd \times A \times V = Cd \times \pi \times dd/4 \times \sqrt{2gh}$$

(三)測試目的

為探討現行管末排水量計算是否適當，並比較國外管末排水量計算，希望可裝設不同口徑流量計，探討不同供水條件下，管末排水量之變化，進而驗證公式之管徑修正係數 Cd，確證管末排水量機制。

(四)測試方式

針對各轄區管末排水點（選擇北區、西區、陽明等分處，並盡量分布在不同壓力範圍），共選 5 處，並分別於水車出車前空車

磅重，於測試管末排水時，將消防栓管末排水量，排進水車水箱內，至裝滿水車之水箱，計時，以求得排水量(立方公尺)及流量(CMM)，確實辦理管末排水量測試。

(五)測試步驟（成果表詳表 3）

- 1.設備組立：消防栓→消防立管→水壓計→消防水帶→水車水箱。
- 2.量靜水壓：制水閥開啟出水→不銹鋼球閥開啟排氣→不銹鋼球閥關閉→紀錄靜水壓。

表 3 管末排水排水量換算表 (Cd=0.2585)

管末排水排水量換算表																	單位：噸			
分鐘 水壓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.5	0.479	0.958	1.437	1.915	2.394	2.873	3.352	3.831	4.310	4.789	5.268	5.746	6.225	6.704	7.183	7.662	8.141	8.620	9.099	9.577
0.6	0.525	1.049	1.574	2.098	2.623	3.147	3.672	4.197	4.721	5.246	5.770	6.295	6.819	7.344	7.869	8.393	8.918	9.442	9.967	10.492
0.7	0.567	1.133	1.700	2.266	2.833	3.400	3.966	4.533	5.099	5.666	6.233	6.799	7.366	7.932	8.499	9.066	9.632	10.199	10.766	11.332
0.8	0.606	1.211	1.817	2.423	3.029	3.634	4.240	4.846	5.452	6.057	6.663	7.269	7.874	8.480	9.086	9.692	10.297	10.903	11.509	12.115
0.9	0.642	1.285	1.927	2.570	3.212	3.855	4.497	5.140	5.782	6.425	7.067	7.710	8.352	8.995	9.637	10.280	10.922	11.564	12.207	12.849
1.0	0.677	1.354	2.032	2.709	3.386	4.063	4.741	5.418	6.095	6.772	7.449	8.127	8.804	9.481	10.158	10.836	11.513	12.190	12.867	13.544
1.1	0.710	1.421	2.131	2.841	3.551	4.262	4.972	5.682	6.393	7.103	7.813	8.523	9.234	9.944	10.654	11.364	12.075	12.785	13.495	14.206
1.2	0.742	1.484	2.226	2.967	3.709	4.451	5.193	5.935	6.677	7.419	8.160	8.902	9.644	10.386	11.128	11.870	12.612	13.354	14.095	14.837
1.3	0.772	1.544	2.316	3.089	3.861	4.633	5.405	6.177	6.949	7.722	8.494	9.266	10.038	10.810	11.582	12.354	13.127	13.899	14.671	15.443
1.4	0.801	1.603	2.404	3.205	4.007	4.808	5.609	6.410	7.212	8.013	8.814	9.616	10.417	11.218	12.020	12.821	13.622	14.423	15.225	16.026
1.5	0.829	1.659	2.488	3.318	4.147	4.977	5.806	6.635	7.465	8.294	9.124	9.953	10.783	11.612	12.441	13.271	14.100	14.930	15.759	16.589
1.6	0.857	1.713	2.570	3.427	4.283	5.140	5.996	6.853	7.710	8.566	9.423	10.280	11.136	11.993	12.849	13.706	14.563	15.419	16.276	17.133
1.7	0.883	1.766	2.649	3.532	4.415	5.298	6.181	7.064	7.947	8.830	9.713	10.596	11.479	12.362	13.245	14.128	15.011	15.894	16.777	17.660
1.8	0.909	1.817	2.726	3.634	4.543	5.452	6.360	7.269	8.177	9.086	9.995	10.903	11.812	12.720	13.629	14.537	15.446	16.355	17.263	18.172
1.9	0.933	1.867	2.800	3.734	4.667	5.601	6.534	7.468	8.401	9.335	10.268	11.202	12.135	13.069	14.002	14.936	15.869	16.803	17.736	18.670
2.0	0.958	1.915	2.873	3.831	4.789	5.746	6.704	7.662	8.620	9.577	10.535	11.493	12.451	13.408	14.366	15.324	16.282	17.239	18.197	19.155
2.1	0.981	1.963	2.944	3.926	4.907	5.888	6.870	7.851	8.833	9.814	10.795	11.777	12.758	13.739	14.721	15.702	16.684	17.665	18.646	19.628
2.2	1.004	2.009	3.013	4.018	5.022	6.027	7.031	8.036	9.040	10.045	11.049	12.054	13.058	14.063	15.067	16.072	17.076	18.081	19.085	20.090
2.3	1.027	2.054	3.081	4.108	5.135	6.162	7.189	8.216	9.244	10.271	11.298	12.325	13.352	14.379	15.406	16.433	17.460	18.487	19.514	20.541
2.4	1.049	2.098	3.147	4.197	5.246	6.295	7.344	8.393	9.442	10.492	11.541	12.590	13.639	14.688	15.737	16.786	17.836	18.885	19.934	20.983
2.5	1.071	2.142	3.212	4.283	5.354	6.425	7.495	8.566	9.637	10.708	11.779	12.849	13.920	14.991	16.062	17.133	18.203	19.274	20.345	21.416
2.6	1.092	2.184	3.276	4.368	5.460	6.552	7.644	8.736	9.828	10.920	12.012	13.104	14.196	15.288	16.380	17.472	18.564	19.656	20.748	21.840
2.7	1.113	2.226	3.338	4.451	5.564	6.677	7.790	8.902	10.015	11.128	12.241	13.354	14.466	15.579	16.692	17.805	18.917	20.030	21.143	22.256
2.8	1.133	2.266	3.400	4.533	5.666	6.799	7.932	9.066	10.199	11.332	12.465	13.599	14.732	15.865	16.998	18.131	19.265	20.398	21.531	22.664
2.9	1.153	2.307	3.460	4.613	5.766	6.920	8.073	9.226	10.379	11.533	12.686	13.839	14.993	16.146	17.299	18.452	19.606	20.759	21.912	23.065
3.0	1.173	2.346	3.519	4.692	5.865	7.038	8.211	9.384	10.557	11.730	12.903	14.076	15.249	16.422	17.595	18.768	19.941	21.114	22.287	23.460
3.1	1.192	2.385	3.577	4.770	5.962	7.154	8.347	9.539	10.731	11.924	13.116	14.309	15.501	16.693	17.886	19.078	20.270	21.463	22.655	23.848
3.2	1.211	2.423	3.634	4.846	6.057	7.269	8.480	9.692	10.903	12.115	13.326	14.537	15.749	16.960	18.172	19.383	20.595	21.806	23.018	24.229
3.3	1.230	2.460	3.691	4.921	6.151	7.381	8.612	9.842	11.072	12.302	13.533	14.763	15.993	17.223	18.454	19.684	20.914	22.144	23.375	24.605
3.4	1.249	2.497	3.746	4.995	6.244	7.492	8.741	9.990	11.239	12.487	13.736	14.985	16.234	17.482	18.731	19.980	21.229	22.477	23.726	24.975
3.5	1.267	2.534	3.801	5.068	6.335	7.602	8.869	10.136	11.403	12.670	13.937	15.204	16.471	17.738	19.005	20.272	21.538	22.805	24.072	25.339
3.6	1.285	2.570	3.855	5.140	6.425	7.710	8.995	10.280	11.564	12.849	14.134	15.419	16.704	17.989	19.274	20.559	21.844	23.129	24.414	25.699
3.7	1.303	2.605	3.908	5.211	6.513	7.816	9.119	10.421	11.724	13.027	14.329	15.632	16.935	18.237	19.540	20.843	22.145	23.448	24.751	26.053
3.8	1.320	2.640	3.960	5.281	6.601	7.921	9.241	10.561	11.881	13.202	14.522	15.842	17.162	18.482	19.802	21.122	22.443	23.763	25.083	26.403
3.9	1.337	2.675	4.012	5.350	6.687	8.024	9.362	10.699	12.037	13.374	14.712	16.049	17.386	18.724	20.061	21.399	22.736	24.073	25.411	26.748
4.0	1.354	2.709	4.063	5.418	6.772	8.127	9.481	10.836	12.190	13.544	14.899	16.253	17.608	18.962	20.317	21.671	23.026	24.380	25.735	27.089

註：壓力值介於兩數值之間取用大者(例 0.55 kg/cm² 取 0.6 kg/cm²)

$$Q=A \times Cd \times V=(\pi \times D^2/4 \times Cd \times \sqrt{2gh})[\text{噸秒}]$$

$$Q=(\pi \times 0.063^2/4) \times 0.2585 \times (\sqrt{2 \times 9.81 \times 15})=0.0138 \text{ CMS} = 0.829 \text{ CMM}$$

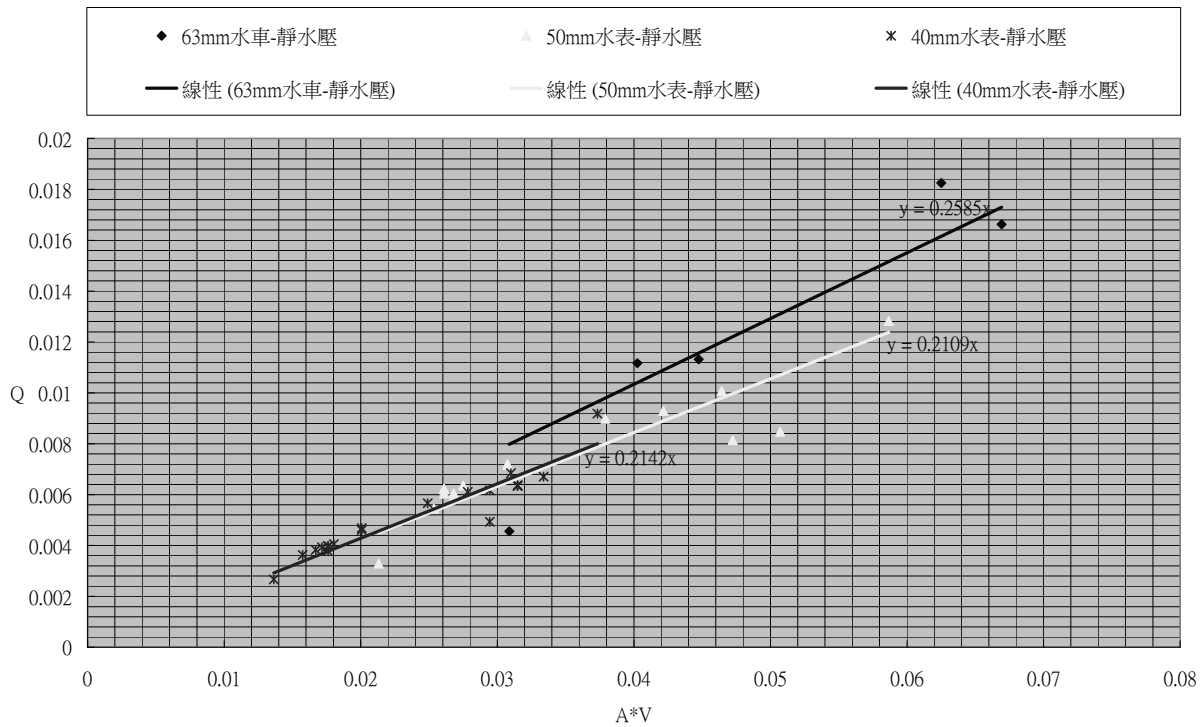


圖 3 實地放水測試彙整圖表 $Q=CdxAxV$

3.量排水量與動水壓：不銹鋼球閥開啟出水並計時→紀錄動水壓→不銹鋼球閥關閉→返回磅稱滿水水車重並記錄。

4.本次排水量測試程序

- (1)申請水車協助，磅秤水車空重
- (2)至管末端點排水地點
- (3)架設消防立管
- (4)先開啟消防栓排除滯留水
- (5)連接三叉式接頭，一端接壓力計，一端接消防軟管，一端接立管，送水至消防軟管，關閥量靜水壓。
- (6)量水車中心垂直線長度
- (7)連接消防軟管，打開消防栓開關，放水進入水車水箱中，同時計時，並量測動水壓
- (8)水車裝滿水完妥，停止計時，磅稱水車總重

(9)內業表格紀錄

(10)繪圖(確定 Cd 值)

(六)成果實證方案

為辦理管末消防栓排水測試及率定適合本處供水管網特性 Cd 值，分別於供水轄區內進行實際量測結果如表 4 所示。

依流量公式 $Q=Cd*A*V$ ，將五組數據，採用迴歸分析，求得 $Y=0.2585X$ ，Cd(管徑修正係數)=0.2585；其測試經歷及成果如圖 3，並據以建立壓力-時間-排水量表如表 3。

自 103 年起管末排水排水量統一採用率定表格查表計算，Cd 值=0.2585。以往管末排水紀錄並未納入實際的排水量，僅做一些定性分析，如表 5 所示，無法確實掌握年度排水量，現由實測 Cd 值供各分處辦理管末排水，在量測排水量時據以使用，以利作業標準化。



表 4 管末排水平均流量實驗測試紀錄

2013 年	11/19 上午	11/22 上午	11/25 上午	11/28 上午	12/2 上午
管末排水地點	玫瑰中國城如意街 36 號前	延平北路九段尾光華停車場	社中街與延平北路六段交口	大度路三段與聖景路交口	北水處長興工地
靜水壓力	2.5 kg/cm ²	0.65 kg/cm ²	1.2 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.2 kg/cm ²
水車垂直中心高程	1.5M	1.5M	1.5M	1.5M	1.5M
空車重量	5.19 公噸	5.16 公噸	5.40 公噸	5.18 公噸	5.15 公噸
裝水後車重	10.31 公噸	10.50 公噸	10.46 公噸	10.33 公噸	10.37 公噸
排水總量	5.12 m ³	5.34 m ³	5.06 m ³	5.15 m ³	5.22 m ³
排水計時	5 分 8 秒	19 分 31 秒	7 分 27 秒	7 分 41 秒	4 分 46 秒
平均流量	0.997 CMM	0.274 CMM	0.688 CMM	0.670 CMM	1.095 CMM
動水壓	1.7 kg/cm ²	0.2 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	0.6 kg/cm ²	1.2 kg/cm ²

表 5 102 年各分處管末排水成果統計

項目	東區	西區	南區	北區	陽明	小計
管末端(處)	214	421	352	215	212	1414
計畫排水次數	428	842	704	430	424	2828
實際排水次數	425	752	783	422	417	2799
1 月	36	50	47	25	24	182
2 月	34	52	45	46	23	200
3 月	36	69	120	62	36	323

4 月	37	69	71	37	39	253
5 月	34	71	87	38	40	270
6 月	34	61	61	63	50	269
7 月	36	65	57	45	24	227
8 月	35	49	60	10	23	177
9 月	37	63	43	13	29	185
10 月	37	51	52	20	39	199
11 月	34	78	70	32	40	254
12 月	35	74	70	31	50	260
排水率(%)	99%	89%	111%	98%	98%	99%

五、北水處排水洗管作業

北水處目前供水範圍約 434 平方公里，供水人口數約 392 萬，用戶數已達 143 萬戶，102 年售水量 5 億 3760 萬噸，家庭日用水量每人 220 公升；供水區域以臺北市為中心，兼及新北市三重、中和、永和、新店與汐止市七個里，形成臺灣地區北部最大都會公共給水系統，並與臺灣自來水公司的管網系統在三重、中和、關渡、汐止、內湖等連接，必要時可相互支援共享水資源。

因供水面積相當遼闊，在供水系統方面雖有許多淨水場，及大小型加壓站調配供水，並且藉由輸配水系統並聯供水可以解決水量供給問題。同時，供水區藉由 1 樓採直接供水外，二樓以上採用間接用水，另外用戶大抵設有地上式或地下式水池及屋頂水塔等用水設備，以確保用戶給水穩定充足。

自來水由於滯留因素，或水齡過高，常常導致餘氯消失，不能確保衛生安全，又由於管壁生出管垢及沉積物影響，可能造成水質不佳，甚至影響到身體健康。水管之污垢造成水質劣化，導致水具有臭味問題、生物膜問題、管垢擾動、用戶抱怨案件，這些不良因素，若能採用排水洗管作業方式，除可

被動的解決水質抱怨案外，並有預防水質劣化之預防性維護功能。

另外輸配水管線常因社區開發、道路拓寬、管線老舊，其中或因施工之振動使管中之管垢剝離，或因施工時雜物進入管中，或因長時間輸供水後沉積水垢等因素致影響水質，因而必須確實執行管線之排水清洗等作業，才不至於造成水質不淨或污染，以免用戶飲用不潔之自來水，以維護並提昇自來水供水品質。

以往在管線之水質維護及清理，僅就局部地區或反應水質不佳時，進行臨時性排水處理。因此，北水處藉由參訪國外之機會，參考先進國家之做法，擬訂輸配水管線排水清洗計畫，作為各單位執行之依據。管線排水清洗原則分為定期與不定期排水二種方式辦理，分述如下：

(一)定期排水清洗計畫

輸配水管線定期排水清洗，不受施工等因素之影響，視水質實際情形，於間隔一段時間定期執行，且以不影響用戶用水為原則，由各轄區分處執行，其主要作業方式如下：

- 1.管線末端排水清洗（以消防栓排水清洗）之方式：為避免管線末端形成死水影響水質，各分處應詳查轄區內管線末端之地點，列冊排定每 6 個月定期以消防栓排水清洗，並將消防栓使用維護狀況及水質，作成紀錄以利追蹤，為爾後調整期程之參考。
- 2.配合相關閥栓維護同時排水之方式清洗：為維護供水品質，各分處將轄區劃分成若干區塊，併同相關閥栓維護合約檢測，同時施行排水清洗，每年配合閥栓維護計畫

期程訂定排水清洗計畫，並參考國外之經驗，研採單向洗管排水之系統排序措施，依序排水與清洗，並將相關閥栓維護及水質，作成紀錄供爾後改善措施之參考。

(二)不定期管線施工清洗排水計畫

本計畫主要因應管線施工完成後，為通水前必要之配合措施，由工程主辦單位及承商執行，以防施工造成水質污染，其主要作業方式如下：

- 1.管線抽換或聯絡工程：每日施工完成或通水前，應將停水區域內鄰近施工點之消防栓開啟，確實先行管線排水清洗，水質檢測合格後方可通水供給用戶。
- 2.配合大區域或輸水幹線停水時：大區域或輸水幹線停水時，承商應訂定排水計畫，並向轄區營業分處調閱管線末端、排泥閥與相關消防栓位置資料，執行清洗作業，並由轄區營業分處協助辦理，再通水時同時由管線末端、排泥閥與相關消防栓執行清洗排水作業，以防管垢或泥沙進入用戶用水設備。

北水處以往進行局部管線清理作業時，常發生因對管網系統掌握不清楚，致造成相鄰地區之水污染案件，得到的經驗是，在進行清理時，欲獲得良好之水質改善效果，必須要有完整周詳之計畫及正確之執行方法、完善之配套措施及對管網系統之充份掌握，才不致產生錯誤或不當之操作。另外，現場操作人員紀錄不確實，及缺乏追根究底及徹底改善的決心，亦是造成水質問題一再發生的原因。

(三)北水處委外管末排水實例

1.實施背景與計畫

北水處為瞭解管線末端之水質狀況，及

實施管末排水之效果，自 101 年 9 月上旬始，至 102 年 10 月底止，為期 1 年發包委外執行閥栓類及管末排水業務，配合各轄區營業分處人員定期管末排水，進行管末排水水質檢測，及量測排水量。每一排水點之檢測工作以間隔 6 個月為原則。五大營業分處計委外執行 102 年度總計 2799 點次之管末排水工作，如表 4。

管末排水工作均依排水工作紀錄表進行記錄。水質科已提供餘氯檢測及濁度檢測技術支援（目前已不再支援檢測業務，因為已於各分處年度開始閥栓類巡查、清理、整平、覓測及管末排水工程發包案教育訓練中教育完妥）。排水作業紀錄之內容包括排水地點、日期、排水起訖時間、初排水水質與排水後水質（包括濁度、餘氯）、排水閥栓型式等資料；其中初排水質為排水第一分鐘內測得之排放水質，排水後水質為完成排水後一分鐘內測得之排水水質，且以濁度 < 4.0NTU，餘氯 > 0.3mg/L 為排水作業標準，否則應繼續實施排水，繼續排水以每 3 分鐘作為水質測定之間隔時間。排水結果進行包括濁度、餘氯、排水時間、排水量項目等分析。

2. 檢討與研析建議

本次 102 年度之管線排水與檢測作業雖有許多未臻完善及有待再改進之處，然由這些檢測紀錄與結果之分析當中，亦提供了一些訊息，可作為日後執行相關管線排水清洗作業時之參考。由本次排水與檢測工作成果可得以下幾項重點分析：

(1) 在所有水質檢測項目中以濁度為最明顯，且為排水洗管作業最方便觀察之指標，其次為餘氯；其他水質項目或可不需

檢測，以節省人力物力，但本計畫中，管網微生物增生部份並未涉及，未來可進一步探討包括與濁度、餘氯等菌落數項目之相關性。

- (2) 由本次排水紀錄資料，大致可看出排水對濁度之改善有一定之成效；但亦有排水後濁度反而升高之測點，顯示管末消防栓排水，會造成其他相連管線沉積物之擾動，若能再利用管網圖資，配合進行排水點附近用戶用水水質之調查，相信對此現象之瞭解更為完整。
- (3) 管線排水計畫書擬定與執行上應有配水管網系統及相關閥栓等圖說資料輔助之。欲獲致有效之排水清洗效果，上述資料無疑是相當重要且必須的，否則可能費時費力而未能竟其功。
- (4) 管末排水清洗計畫之實施，應考量目前所能提供之人力與物力，並佐以實際之用戶水質調查資料及水質抱怨紀錄，訂定分期分區之管末排水計畫；以期在最有限之資源下，達最高之水質改善效果。
- (5) 管末排水清洗工作應有更完整詳細之紀錄。除排水時間、濁度及餘氯等水質資料外，閥栓之型式、口徑、編號、堪用狀況，排水時之水壓、流速、排水量，人時耗費…等，建議均加以紀錄，有助於同時進行閥栓維護工作，並對於排水計畫所需之費用與資源能作妥善、精確之評估。
- (6) 標準管末排水清洗作業流程之建立。管末排水清洗對水質之改善功能已在許多文獻中被提出，而對於管線排水清洗之作業法，在西方先進國家亦不斷地被研究、改進；例如相較於傳統式之管末排水清洗作業，在複雜的管網系統中，將個別管線獨

立以加大流速、提高排水清洗效果，已有”方向性排水清洗方法”（Directional Flushing）被提出，近年來更有”單一方向排水清洗方法”（Unidirectional Flushing）之發展趨勢，這些對於管線排水清洗作業方法之改進研究，均已顯示可提高排水清洗之效果。北水處已著手單向洗管之實驗，未來均可考慮加以評估並適時引進。

3. 小結

以上提供了對選擇管線清理方法決策指引的典型應用。雖然對於如何、何時、及是否需要作管線清理的各種看法仍莫衷一是，且尚有許多灰色地帶，然而以下的結論是普遍適用的：

- (1) 需蒐集數據作分析以為決策參考：數據的蒐集和分析應屬整體水質監測計畫的一部份，要有效果的話通常須超過法規的要求。在問題顯著前就將之攔截，將資源聚焦在最急需的工作上，就長遠來看，這類計畫值得投資。
- (2) 決策須建立在物理數據—而非僅用戶抱怨資訊上：因為用戶抱怨總在問題產生之後，且就可靠度言，用戶抱怨在提供結果量測上不免失之主觀。
- (3) 問題須作診斷：濁度、臭、味、及顏色等問題皆事出有因。最重要的是了解問題的癥結所在。洗管不見得能適當的解決問題，即便是短期間問題。
- (4) 針對生物膜、腐蝕、及沉積物問題須作系統性的探討：影響水質惡化及管線潔淨的因素包括過濾、消毒、腐蝕情況、及設備的管理等。針對問題的源頭較處理骯髒的管線來得有效，畢竟骯髒管線本身只是癥狀而非問題的根源。

- (5) 什麼行動都不採取的風險是無法接受的（The risk of do nothing is not acceptable）：對設備作主動積極的管理與維護，可降低風險並獲致許多效益。就長期而言，什麼都不做的代價通常要高過嚴謹的管理維護。

六、管線末端消防栓排水測試研究分析與感想

供水科制定之率定表採用進水閘、排水閘全開規範，消防排水軟管長度要預先知道，此因為易影響排水流量，也會影響排水機制，可能造成推估誤差 30%。水流流速太快，水表量測排水量十，則可能水表易損壞；選定流況比較好之區間，且多帶一組組件較可靠方便，可避免耽誤時效，或許是未來之重要趨勢，水表機能改善較佳後再考慮，才採用水表量測排水量。

鈞長認為裝水表可計算正確排水量，然而操作人員則考慮倉庫水表實用否？且以後操作維護保養是否準確且不易損壞，則尚有進步空間。

102 年 5 月推出之水壓-排水量-時間率定表格讀數有限，水壓只計算到 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ ；但壓力超過時仍可根據回歸率定公式求得排水量，使用簡易方便；但根據對照水表，量測單一排水量公式估算排水量高估約 3~4 倍，造成疑義，經第二輪五次採用從管末消防栓排水入本處送水車，磅重，測得水壓、時間、排水量。根據回歸公式，求得 Cd 值為 0.2585。

北區、西區盡心盡力的採取以實驗的方法，採用不同壓力、不同附件管長，不同長度之消防軟管、不同口徑水表（40mm 螺紋管、50mm 電子管），配合消防栓口徑 63.5mm 量測排水量之準確值，但因各管段組合口徑

不同，其排水量仍有待商榷。

適合流量的範圍應用哪種表，尚無法正確得知；40mm 可能會超出超載限界，為了避免超過超載流量之限制(恐怕水表會損壞則所費不貲)，因此小表不見得會比較好；當大表改成小表時，小表量測大口徑之消防栓易損壞水表，但可能又有大表笨重之問題，然而小表可能會超載時，則小表較可能方便找出超載限制之問題。

水壓、流向亦可用表計測 不同條件之水質狀況、管件、壓力、水表管徑、消防軟管之長短，易影響流量、流速；但是 40mm、50mm 口徑水表的是否準確設置，亦容易影響精確度。率定表格計算的排水量，紀錄整個測試過程試圖探討：

- 1.大小表計算之適用性。
- 2.若肯定實驗之效率，水表量測之準確性高；則以後是否採用水表量測，仍待商榷。
- 3.若是水表易損壞，則採用率定方程式，以 $Cd=0.2585$ 估算，則簡單方便，可能會比用水表量測排水量時更準確。則考慮規定閥全開或消防軟管管等長時，可能引用率定方程式表 3 推算排水量。
- 4.靜水壓、動水壓兩大因素影響管末排水量，須慎重考慮。
- 5.若採用水表量測排水量，損害維修費用須由委外廠商負責修理，備份設備必須考慮，以免延宕多時。
- 6.研析管末排水計量採用水表流量計，問題也多多，寧可再回頭考慮單一管末排水公式 此種排水公式計量表，用法簡單 $Q=Cd*A*V$ 只要得知管末消防栓之靜水壓、動水壓、及排水時間 可由率定曲線得知排水量，其 Cd 之訂定可以採用回歸分

析(最小平方法)，求出實驗所得到的經驗值，取代水表組、水壓組之組合，供水科公式計量方式使用三叉口接頭，使用起來亦很方便。

世界各國都未有消防栓管末排水計量值數據，鈞長所提出深一層計算方式，推算管末排水公式 $Q=0.2585*AV$ ，獨具眼光。

7.動水壓較不穩定；靜水壓比較穩定，可於消防栓閥打開，灌滿消防軟管關閉閥出口，即可量得。本實驗原則上建議採納以靜水壓為主。

七、結論與建議

(一)供水水質與水理監控之整合:水理與水質是一體之兩面，可相互為用，參考先進國家情形，有合而為一之趨勢，以達統合運用之效。在監視系統之建立上，宜考量程序即時性與自動化，並考量長遠性、擴充性及整體性

(二)綜合以上國內管網現況，研擬未來國內管線清理作業之階段性計畫如下：

步驟一：對現有管線設備圖資進行確認與補充。

步驟二：對管線設備包括加壓站抽水機功能、制水閥及消防栓等進行功能確認與紀錄。

步驟三：訂定整體管網改善目標，現行自來水事業之主要目標應訂為「降低漏水率」，因此如何搭配管線檢測漏及管線修復作業，進行管線清洗管末排水相關作業，以期達到最佳之附屬效益，才是最有可能之實施方向。在選定清理方式時，若目標放在單向洗管作業，除管線檢修漏外，尚應進行以下作業。

步驟四：配合修定制水閥及消防栓設置標準，並進行管線整理，於實施小區管線管末排水時，一併實施管線增設改善，以促進管網聯通性，同時進行閥栓增設工程，使管網能分隔成不同之 Loop(或管線段)，以利日後洗管操作，並有助於後續之漏水檢測。

步驟五：當區域性管網設備全面改善完成，即可引進管網模式分析，並納入監控中心(SCADA)運作，以強化管網預測及事件(Events)緊急處置功能。

前述均為管網運作之基礎工作，需耗人費時，且因高度技術化，必需投入大量之人員訓練，若能按部就班完成，相信對日後管網狀況之監控管理、破管或水量調配等事件之處理，甚而有系統之單向洗管作業，均可順理成章的完成。

(三)在未落實上述基礎作業之前，現階段排水作業之建議如下：

1.持續進行例行性管末（傳統）排水作業

(1)將現有排水點清單作檢視，釐清需排水之原因，並確認排水頻率週期之適當性。

(2)利用現有地理資訊系統篩選出管線末端清冊，由各分處確認後進行管末排水及水質確認。紀錄格式比照單向排水，需包括水質、水壓及流量等，並對相關閥栓作維護及功能確認。

(3)所有工程落實施工排水洗管，杜絕侵入性污染。紀錄格式亦比照單向排水，需包括水質、水壓及流量等，並對相關閥栓作維護及功能確認。

2.進行現已重視之單向洗管實驗

以管網資訊化已完整區域、或完成小區

檢測形成 loop 之區域，開始試行單向洗管，草擬 SOP 並進行演練，全程作完整紀錄，事後作檢討改進。逐步累積經驗，建立制度，以期逐漸擴大實施。其執行中所遭遇之問題、所得到的成果回饋到例行管網操作維護或管網改善整體計畫，皆會有相成的互動效果。畢竟管網維護及相關資訊的運用與掌握，在互動中其意義會愈加彰顯而愈加受到重視。

3.water quality calculator (如 Excel 檔)可用以粗略估盲管滯留時間而決定每一盲管排水頻率，但跟盲管附近用戶用水量(或給水管數)有關，可經討論修正成跟我國國情較接近者。

4.消防栓流速測定設備需具有 pilot 管者，計算如附檔，相關設備網路上查均有；(流速(v)乘以口徑(D)=流量(Q))。

誌謝

本實驗及報告之完成感謝北水處供水科科長柯祖穎先生大力建議與指導。

參考文獻

- 1.Edward N. Antoun, John E. Dyksen, and David J. Hildebrand 1999,Unidirectional flushing: a Powerful tool.
- 2.Trevor R. Lindley and Steven G. Buchberger, AWWA June 2002,Assessing Intrusion Susceptibility in Distribution Systems.
- 3.BCWVA for British Columbia Ministry of Health Services October2004, Distribution Systems. Cleaning/Uni-directional flushing.
- 4.台北自來水事業處水質中心，輸配水管線管末排水與檢測工作報告(初稿)，90年12月。
- 5.鄭錦澤等，「台北地區供水系統合理調配暨危機管理之探討」台北自來水事業處91年(2002)

- 6.史午康等，水質資訊管理最佳化探討，台北自來水事業處，90年(2001)。
- 7.閥栓維護現況分析簡報，台北自來水事業處供水科，91年8月31日。
- 8.陳曼莉、鄭錦澤、朱健行，「提昇大台北地區供水系統及用戶用水設備供水品質之探討」，台北自來水事業處，中華民國91年(2002)。
- 9.史午康等，「管線系統清理體系之建立」中華民國自來水協會，92年12月。

作者簡介

許敏能先生

現職：臺北自來水事業處供水科一級工程師

專長：自來水工程規劃、施工及自來水管材研究

黃騰宏先生

現職：臺北自來水事業處技術科二級工程師兼股長

專長：水利工程、水資源工程

謝博庭先生

現職：臺北自來水事業處北區營業分處三級工程師

專長：大地工程、消防工程

董士誠先生

現職：台北自來水事業處技術科三級工程師

專長：自來水內線審圖、汙水下水道系統

朱健行先生

現職：台北自來水事業處供水科三級工程師

專長：水資源管理、氣候變遷

本刊新增「自來水工作現場」單元

「自來水工作現場單元」，屬軟性內容供自來水從業人員，針對工作現場發表感想，含照片每篇最多二頁(1000字以內)，歡迎踴躍投稿。

自來水附屬設施維護問題探討及改善對策

— 以地下式救火栓為例

文/林永芳

摘要

市區道路自來水附屬設施種類繁多，其中以救火栓最為廣泛，但隨著都市發展人口增加而各類建築林立，道路內配置各類維生管線愈來愈多，尤其在都會區電力、電信等管線下地政策，雖淨空都市景觀，但地下管線更加密佈，造成自來水事業更新老舊管線設置救火栓時，常因為地下管線形成埋設障礙，無法穿越管線至路邊設置地上式救火栓，而以地下式為主。

但隨著地下式救火栓比例增加而衍生的問題，包括「栓體故障漏水」、「箱蓋脫離」及「箱體周邊路面不平」等問題，以及每年增加維護費用，經探索造成維護問題發生原因，係以「栓體設計不良」、「埋設位置不當」及「巡查操作不良」等因素所致。

本文針對地下式救火栓本體橡膠墊片易破損、老化等因素，造成開關無法止水而產生漏水情形；以及設置位置不當，造成消防人員巡維、操作時發生危險；還有救火栓箱體周邊下陷、箱蓋脫離等問題，進行探討發生原因及改善方式。最後本文提出各項改善建議，如重新設計救火栓，以不銹鋼球型開關取代原有橡膠墊片止水方式，解決栓體故障漏水問題；並以數支小口徑不銹鋼管取代大口徑連絡管線的方式，可輕鬆橫越重要道路下方各式管障，將救火栓移至人行道邊；最後在箱內設置排水管接至排水溝，可

迅速排除箱內積水，解決箱體周邊路面下陷問題。如道路兩旁無人行道可供遷移地下式救火栓時，亦可採用軟密封地下式救火栓，以避免日後漏水問題。另為解決地下式救火栓箱蓋脫離問題，亦可採用加厚型箱蓋，以免箱蓋脫離發生人車危險。

本文所提各種改善方案，除可為自來水事業節省可觀費用外，亦可減少因地下式救火栓漏水、下陷及維修所產生之事業形象損失，及後續衍生的賠償問題。

一、前言

因救火栓屬自來水附屬設施，由自來水事業依規定設置及維護，依據「救火栓設置標準」第三條規定，分為地上式、地下式兩種型式設置救火栓。然而都會區電力、電信等各式地下管線密佈，自來水事業進行老舊自來水管汰換時，常因慢車道路面下方各式地下管線障礙，難以橫越管線至人行道設置地上式救火栓，目前多以地下式救火栓設置為主。以北水處而言，地下式救火栓設置比例即達全數救火栓數量的 85%，且多設在重要道路上。

然而自來水事業進行地下式救火栓維護作業時，常面臨「栓體故障漏水」、「箱蓋脫離」及「箱體周邊路面不平」等問題，除每年造成自來水事業可觀之維護費用支出外，另栓體漏水、下陷及維修亦會使自來水事業形象損失以及後續賠償問題等。本文除

探究上述問題發生原因進行分析，並提出改善建議方案，希能藉以減少自來水事業在地下式救火栓維護所發生之各式問題。

二、地下式救火栓維護問題及發生原因探討

(一)依救火栓設置標準條文規定，救火栓型式分為地下式與地上式，各有單口與雙口兩種，而自來水事業所設置之地下式救火栓為單口式，其維護時常衍生三大問題：

1. 栓體故障漏水問題：

地下式救火栓故障漏水層出不窮，除影響消防人員救災外，更增加自來水事業維修費用支出及影響事業形象。地下式救火栓如發生故障漏水，在進行汰換更新前，需先關閉自來水管相關制水閥，確認停水後始能進行汰換作業，常造成區域性停水，影響民生用水甚鉅，因而導致民怨。

2. 箱蓋脫離問題：

地下式救火栓如設在重要道路中央或公車停靠站，易因重車行經輾壓及車輪旋轉力突增等因素，造成箱蓋鍊條斷裂，使箱蓋與箱體脫離而發生危害，亦可能衍生後續賠償問題。

3. 箱體周邊路面不平問題：

目前大臺北地區正推動路平專案，為維護路面平整，因而實施人手孔減量政策，惟因地下式救火栓具有救災功能，影響公共安全甚鉅，實不宜配合降埋。但其多設置在道路中央，常發生救火栓箱周邊下陷之情形，除增加維修費用支出外，易發生車行危險。

(二)造成問題的三大因素

1. 救火栓本體設計不良：

地下式救火栓之止水方式，係將閥桿帽

順時針旋轉，將閥圓盤之橡膠墊片下壓與座環貼緊止水，惟因維護及操作人員長期使用下，易發生故障漏水情形。

經筆者實地拆解故障漏水之地下式救火栓（詳圖 1），發現漏水主因係橡膠墊片破損、斷裂、老化等因素（詳圖 2），造成開關無法順利止水而產生漏水情形。



圖 1 地下式救火栓分解照片

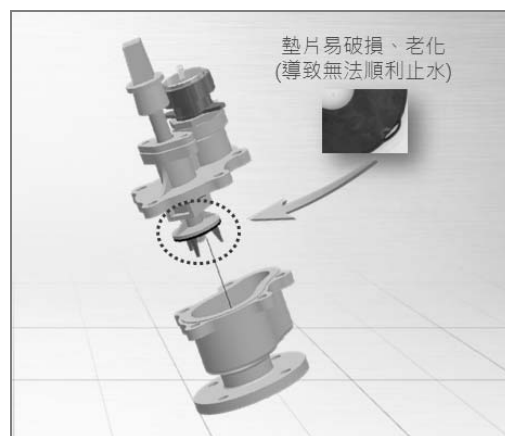


圖 2 地下式救火栓漏水主因之橡膠墊片位置

2. 救火栓埋設位置不良：

因地下式救火栓多設在重要道路上（詳圖 3），其具有救災功能，無法配合路平專案實施降埋，但長期經消防及維護人員操作使用，因救火栓箱多不具排水功能，開啟後水流會慢慢向下滲入路基砂層，再加上重車行經輾壓，導致箱體及周邊路基容易沉陷，易

發生車行危險。

另消防人員巡維時，在道路中央操作地下式救火栓，容易因快車行經而發生危險。且操作使用及維護人員，除需進行交通維持作業外，亦需派員指揮交通，以免發生交通事故，因此，常造成用路人不便及操作人員之困擾。



圖 3 道路中央之地下式救火栓

3.消防人員巡查操作不良：

由於「救火栓埋設位置不良」，造成消防人員巡查時險象環生，為加快確認救火栓出水是否正常，多數巡查人員操作時，僅開啟救火栓開關數圈，確認有出水後旋即將開關關閉，但此不良的操作動作，未能將管中滯留物完全排放，反而造成管中砂石或管垢卡在救火栓本體橡膠墊片上，如此反覆不良的操作，地下式救火栓橡膠墊片使用壽命將大幅降低，整只救火栓很快就會報銷了。

三、改善救火栓維護問題的方法

(一)如何改善救火栓維護時遭遇問題

1.改善消防人員巡查操作環境：

因地下式救火栓不當設置，消防人員進行巡維、操作時，易發生危險，如將其移至人行道上，將可改善消防人員巡查操作環境。

2.可執行之地下式救火栓埋設方式：

目前先進國家之地下式救火栓埋設方式，多設置在人行道上，因人行道下方設有鋼絲網混凝土基礎，且無車輛行經輾壓，故不易發生箱體及周邊路基沉陷之問題。為避免地下式救火栓設在重要道路上，衍生諸多困擾，目前北水處政策於管汰工程進行時，須將新設救火栓設在人行道上。

惟因大臺北地區高度密集開發，市區道路及人行道上已佈滿各單位管線，新設救火栓除須將 $\phi 100\text{mm}$ DIP 管橫越道路外，亦須穿越側溝後再埋設在人行道上，實務上常因各單位混凝土管障遍佈在慢車道及人行道，施工單位除了必須橫越管障，還需清出 70 公分以上空間放置管線及救火栓，導致人行道上施作地下式救火栓之政策推行成效不彰。因此，需重新設計地下式救火栓，以避開路面及人行道上各單位之管線障礙，順利將地下式救火栓移到人行道上。

3.重新設計救火栓：

為解決地下式救火栓本體設計不當，所衍生諸多問題，筆者建議重新設計地下式救火栓，以避免橡膠墊片老化後失去止水效果，另可將其移設在人行道上，以解決目前面臨之各種問題。

(二)建議採用方式

1.重新設計救火栓，避免漏水問題：

(1)球閥出水口式地下式救火栓：

為解決重要道路地下式救火栓故障漏水之問題，筆者建議重新設計「球閥出水口式地下式救火栓」(詳圖 4)，其採用「不銹鋼球型開關」，除操作便利外，因球型閥無需橡膠墊片，故不會發生橡膠墊片破損、斷裂及老化，可降低地下式救火栓故障漏水情



形，未來將朝申請專利與智慧財產權方向著手。

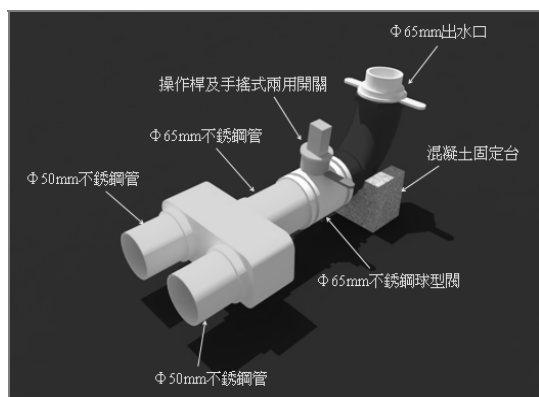


圖 4 球閥出水口式地下式救火栓

球閥出水口式地下式救火栓與傳統式救火栓之比較：

- a. 目前廣泛被使用之傳統地下式救火栓，其規格為 $\phi 75\text{mm} \times 63\text{mm}$ ，出水口直徑為 6.3cm，斷面積為 31.17 cm^2 ，進水管直徑為 7.5cm，濕周為 23.56 cm。經計算「球閥出水口式地下式救火栓」進水管，若採用 2 支 $\phi 50\text{mm}$ 不銹鋼管之斷面積為 39.27 cm^2 ，係大於傳統型出水口之出水斷面積 1.26 倍，故進水流量應能滿足出水量，亦可增加 $\phi 50\text{mm}$ 不銹鋼管為 3 支，以再增加進水量。
- b. 若將「球閥出水口式地下式救火栓」與傳統式地下式救火栓之消火丁字 $\phi 75\text{mm}$ 進水管比較，在靜水壓相同之前提下，二者出水量皆相同；但在動水壓相同之前提下，以 2 支 $\phi 50\text{mm}$ 不銹鋼管計算，其濕周為 31.42 cm，雖較消火丁字 $\phi 75\text{mm}$ 濕周 23.56 cm 來的大，但其管長僅數公尺而已，故所造成之壓損差異應不大，其供水量應與傳統式救火栓相近，無明顯之差異。
- c. 另「球閥出水口式地下式救火栓」本體之材質為不銹鋼，其摩擦損失水頭依據

Hazen-Williams 公式，不銹鋼新管之粗糙係數 C 值為 140，相較鑄鐵管新管之粗糙係數 C 值 120 為大，表示不銹鋼新管之摩擦損失水頭較傳統式地下式救火栓為佳。

(2) 軟密封地下式救火栓：

為避免地下式救火栓橡膠墊片破損、老化，造成無法止水而發生漏水情形，興南鑄造廠股份有限公司重新設計研發「軟密封地下式救火栓」(詳圖 5)，其閥圓盤以球墨鑄鐵一體成形製造並外覆橡膠，與閥體直接密合(詳圖 6)，除可避免鑄件氧化銹蝕外，操作時因橡膠的密合，可達完全止水效果佳。另因閥圓盤採圓弧外型，可避免異物阻塞，故不會發生異物卡住或墊片破損而無法止水情形，亦可減少關閉時水流壓力所產生之相對阻力，增加其使用壽命。另因其內部零件簡化，更換閥圓盤等零件不需拆除本體，易於現場維修更換及阻力，目前該公司已請有專利權。



圖 5 軟密封地下式救火栓

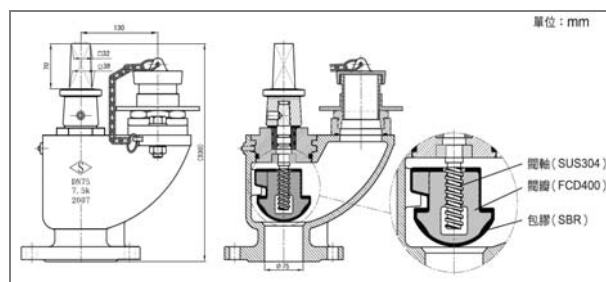


圖 6 軟密封地下救火栓(剖面)

2.埋設方式變更，解決施工不便問題：

為改善地下式救火栓設置在重要道路中央，易造成箱體沉陷及操作不便之問題，建議將其改設在人行道上，但因市區慢車道及人行道上已佈滿各單位管線，如採 $\phi 100\text{mm}$ DIP 管橫越道路及人行道，恐不易執行。因此，筆者重新設計之「球閥出水口式地下式救火栓」，可在重要道路之本線配水管上安裝 2 只鞍帶，並以 2 支 $\phi 50\text{mm}$ 不銹鋼管橫越道路（詳圖 7），即可輕鬆將給水管穿越溝蓋板至人行道路緣石旁。

另「球閥出水口式地下式救火栓」係由 2 支 $\phi 50\text{mm}$ 不銹鋼管銜接至救火栓，以取代原有 $\phi 100\text{mm}\times 75\text{mm}$ 之消防丁字，故設置在人行道上所需開挖及埋設深度較淺，僅需 30~35 公分即可，輕鬆解決人行道下方障眾多而無法埋設之困擾。

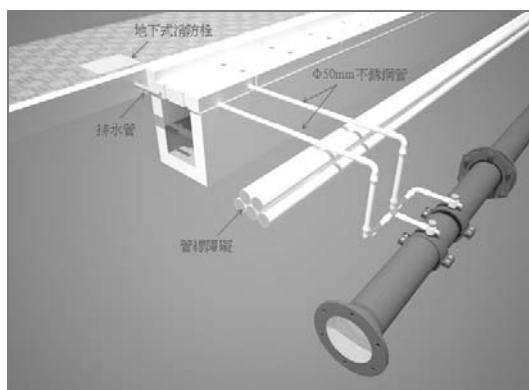


圖 7 以兩支 $\phi 50\text{mm}$ SSP 橫越路面示意

3.改善箱體排水問題，避免下陷重覆維修：

為解決救火栓箱不具排水功能，操作後易因水流向下滲入砂層，導致箱體及周邊路基沉陷之情形，筆者建議在地下式救火栓箱內設置 $\phi 20\text{mm}$ PVC 排水管，經操作使用後，可及時將積水導入側溝內，避免發生箱體周邊沉陷之情形。

4.重新設計箱體，避免箱蓋脫離問題：

設置在重要道路中央或公車停靠站之地下式救火栓箱蓋，因厚度僅約 2.5 公分，容易因重車行經輾壓及車輪旋轉力，造成箱蓋鍊條斷裂及箱蓋脫離箱體之情形。因此，北水處為避免傳統救火栓箱蓋脫離而發生危害，目前已將原有厚度約 2.5 公分之箱蓋（詳圖 8），改良為加厚(重)型地下式救火栓箱蓋，厚度約 4 公分之加厚(重)型箱蓋（詳圖 9），並在新設或汰換地下式救火栓及箱蓋時，全面汰換更新。

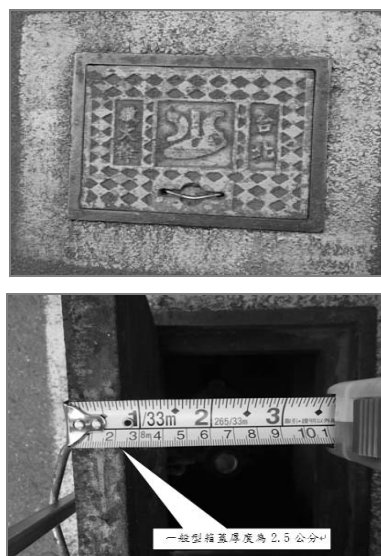


圖 8 傳統地下式救火栓箱蓋及剖面



圖 9 加厚(重)型地下式救火栓箱蓋及剖面

四、建議應用方向

(一)重新設計救火栓，解決救火栓本體設計不良問題，節省故障維修費用支出：

若重新設計救火栓為「球閥出水口式地下式救火栓」或「軟密封地下式救火栓」，除操作便利外，皆無需橡膠墊片，可解決重要道路上栓體故障漏水之問題，為自來水事業節省栓體維修費用，並可減少地下式救火栓汰換時引起停水之民怨。

(二)救火栓移至人行道，改善埋設位置不良問題，節省路面維護費用支出：

地下式救火栓箱如移設在重要道路之人行道上，並埋設排水管至側溝排水，可避免箱體及周邊路基下陷，造成路面平整度不佳及影響車行安全，且能為自來水事業節省路面維護費用。消防及自來水巡維人員進行閥栓操作維護時，也不會再因快車行經而發生危險。

另因都會區高度密集開發，靠近重要道路側溝之路面及人行道下方，已遍佈各類管線障礙，管線橫向穿越十分困難，筆者重新設計「球閥出水口式地下式救火栓」僅需 30cm 左右之埋設深度，亦可解決人行道管障無法埋設之問題。

(三)救火栓避免設在重要道路中央，以改善消防人員巡查操作不良問題：

由於傳統地下式救火栓箱多設在重要道路中央，造成消防人員巡查時險象環生而加快操作動作，僅開啟有水即關閉，且未能將管中滯留完全排放，如此重複操作，將造成管中砂石或管垢卡在橡膠墊片上，大幅降低橡膠墊片使用壽命。如將地下式救火栓箱改設在人行道上，將可避免上述問題。

(四)採用加厚(重)型箱蓋，防止箱蓋脫離造成

危害問題：

為避免重車行經輾壓及車輪旋轉力突增等因素，造成地下式救火栓箱蓋鍊條斷裂，箱蓋與箱體脫離而發生危害，將原有厚度約 2.5 公分之箱蓋，改良為加厚(重)型厚度約 4 公分之箱蓋，應可避免此問題發生。

五、結論

關於地下式救火栓設置位置及型態，應重新檢討傳統型之適用性，未來可透過本文「重新設計消栓栓」、「埋設位置變更至人行道」、「改善箱體排水」、「採用加重(厚)箱蓋」等各種方法，藉以改善栓體故障漏水、箱蓋脫離、箱體周邊路面不平等問題，除可節省漏水故障汰換及路面維護費用，亦可保障巡維人員安全及箱蓋脫離之危害，以維護自來水事業形象。

參考文獻

- 1.孫文益，「自來水管材品質檢驗」，2009。
- 2.興南鑄造廠股份有限公司，「軟密封式消防栓之研究與開發效益」。
- 3.李中彥，「管障輕鬆過，救火栓移路邊」，2012
- 4.「救火栓設置標準」法規，2003

作者簡介

林永芳先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處幫工程司

專長：自來水工程設計、施工及漏水改善研究發展。

善用「平常用水量」加速取得小區售水率

文/游叡研

摘要

臺北自來水事業處刻正推動小區計量計畫，以初評售水率偏低的弱區（50%以下）作為優先進場之重要參考指標，以求加速改善漏水，施工後複評售水率須達 90%以上始得解除列管，以確保漏水改善品質。

售水率的取得攸關整個計畫執行成效，初期原係以「委外實抄」方式取得售水率，惟實際運作後發現此法相當費時費力且增加企業不必要成本支出，並因而連帶影響小區整體執行進度。此外，於小區進場改善前，管網尚未健全且部分圖資不明，同時受限於佔很高比例的屋內表位現場無法抄見等因素，造成所得初評售水率不甚準確。

本文將探討以「平常用水量」取代「委外實抄」之可行性分析，由實證結果顯示「平常用水量」求算之售水率與結果吻合度相當高，獲得具有代表性的近乎相同成果，可真實呈現實際售水率，並可有效避免「委外實抄」因人為因素所產生的缺點及錯誤的售水率。且日後配合抄表員抄表，得到「當期用水量」，即可修正為等同實抄之售水率，所得之結果亦符合實抄精神。「平常用水量」具理論基礎，以此方式取得初評與複評售水率，將可正確而快速評估漏水改善成效，提升小區管理績效，進而縮短漏水改善的期程。

關鍵字：售水率、小區計量

一、前言

「小區計量」管網改善計畫執行以來，本處漏水率逐年下降，民國 102 年已降到 19%以下，目標於民國 119 年將漏水率降至 10%以下，這是相當艱鉅的任務。售水率是計畫執行的關鍵數字，依據「小區計量工法」區塊選訂原則，以初評售水率偏低小區（50%以下）作為優先進場之重要參考指標（如下圖所示），預先針對售水率偏低的小區安排進場改善，可加速改善漏水並可將有限經費發揮最大效用。

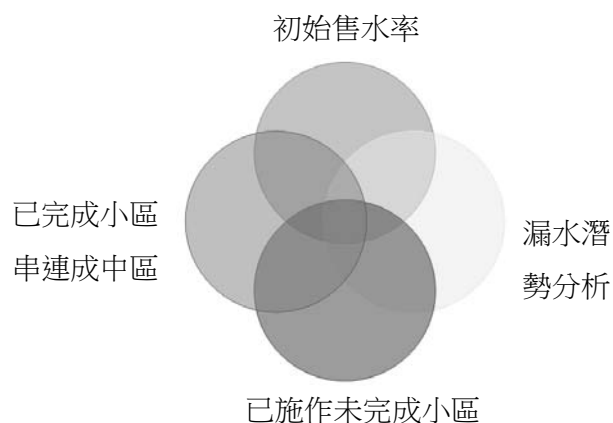


圖 1 小區進場重要參考指標

為掌控並評估管改成效，於管網改善施工後須進行小區封閉及複評，目標是複評售水率須達 90%以上，漏水改善才算完成。可知售水率的取得攸關整個計畫的執行成效，初期原係以獨立發包之小區委外規劃與計量分析標案，委託廠商以「委外實抄」方式取得初評與複評售水率，然經幾年的實際運作後發現此法有其侷限與不便性，不只費時費力且增加企業的不必要的成本支出。本



文提出以「平常用水量」取代「委外實抄」求算售水率，經由實證分析可更正確且快速呈現實際售水率，提升小區管理績效。

二、動機分析

(一)「委外實抄」的缺點及盲點：

1.本處供水管網改善及管理計畫為 20 年長期計畫，小區計量區塊高達 800 區以上（如圖 2），委外實抄會受廠商人力調度影響，售水率無法及時取得，無法預先針對初評售水率偏低的小區進行設計及進場改善，整體小區執行進度受到拖累。



圖 2 小區計量區塊分佈

2.每次實抄約需計價給廠商 4~6 萬元，自來水事業增加不必要的企業成本。
3.「委外實抄」一區約 4~6 小時，然因小區計量表進水量（分母）與用戶用水量（分子）抄表時間差，分母先抄或後抄得到不一樣的售水率，產生誤差值。如以「平常用水量」推估售水率，可有效消弭此誤差，得到更具代表性的售水率。
4.表位常有積土或髒污以致用水度數辨識性

不佳，易誤讀用水度數。委外實抄非專業抄表員，難免會因人工作業疏失錯抄，且因缺乏驗證與複查機制，錯抄時亦不自知，而此將導致得到不正確的售水率，錯誤售水率造成誤導，影響小區施工判斷，延誤漏水改善。

5.以 W10009 小區為例，利用「平常用水量」推估及現場抄表驗證後發現委外實抄有誤。委外實抄售水率 88.29%，「平常用水量」計算售水率 74.53%，經現場抄表抽查，有多栓表錯抄，造成售水率失真，例如中和區大仁街 10 巷 9 弄 2 號，7 月 14 日委外實抄 5,000 度，惟 8 月 5 日現場抽查僅有 4,700 度，委外廠商錯抄（如圖 3）。



圖 3 W10009 現場抽查發現錯抄

中和區景平路 278 巷 14 弄 25 號，7 月 14 日委外實抄 1,786 度，惟 8 月 5 日現場抽查僅有 1,202 度，委外廠商亦錯抄（如圖 4）。
(二)專業抄表員有抄表機的預警功能輔助及嚴謹的複查機制，不易發生錯抄現象，「平常用水量」是長期所建立起來的正確抄表計費資料，這些資料是我們寶貴的資料庫，可真實呈現用戶用水情形，有助售水率分析作業。



圖 4 W10009 現場抽查發現錯抄

(三)用戶用水習慣性：

考量用戶用水皆有習慣性，每期的水費皆差不多，隨著季節而微調，鄰近每期用水量數值皆相當接近。

本文以完成委外實抄的 5 個小區為例，將「平常用水量」與「委外實抄」做比對(如圖 5 所示)，不論以「最近一期」的用水量、以「近一年」或「近二年」平均用水量比較，如預期般可清楚發現售水率都幾乎近似吻合，可知每期的「平常用水量」資料相當具有代表性，可真實呈現實際售水率。

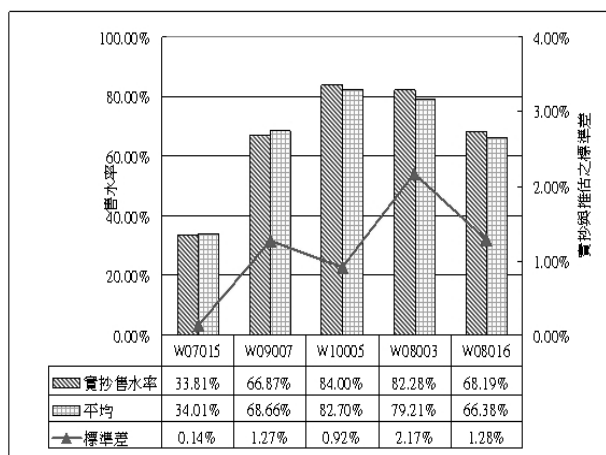


圖 5 「平常用水量」與「委外實抄」對照圖表

(四)「平常用水量」符合實抄精神：

用戶平常用水量係由每期抄表員現場實際抄表所得數據，亦符合實抄之精神，用以推估實際用水度數相當具有代表性。

三、「平常用水量」求算售水率執行方式與實證成果

售水率之分子用戶用水量，而分母是區塊計量表的進水量，透過本處「水費水表營收資訊系統」及「ORACLE 多維度系統」可有效快速求算售水率，執行過程說明如下：

(一)「區塊編號」與「水號」結合：於「水費水表營收資訊系統」建立區塊基本資料，例如區塊編號、區塊範圍等。將「區塊編號」與「水號」結合，每個「水號」皆有相對應「區塊編號」，區塊內水號可以單筆或多筆批次方式，以此方式即可快速建立不同區塊內的用戶資料，得到用戶平常用水量(分子)。如下圖所示：



圖 6 「水號」連結「區塊編號」

同時系統亦提供修正功能，日後如因供水調配等原因，需調整區塊範圍時，水號對應區塊編號亦可及時修正。同時系統亦有快速查詢功能，可由「水號」查詢所屬的「區塊編號」，或查詢「區塊編號」即可快速帶



出區塊內的所有用戶水號，並可由「區塊名稱」或「區塊範圍」做關鍵字模糊查詢。

(二)輸入區塊日進水量(分母)，輸入「區塊編號」、「計量年月」及「每日平均進水量」。系統將會自動帶入用戶「平常用水量」(分子)，自動求算區塊售水率，快速帶出區塊內的用戶相關資料，例如水號、表號、地址、用水度數...等。

由此模式，將樣本放大到 15 個小區，以近一年平均用水量與「委外實抄」所得之售水率做比對，其中 13 個小區售水率高度吻合(如下圖所示)，與委外實抄相比平均差值僅為 1.96%，差值 2%以下有 8 個，佔 61.54%，差值 3%以下有 10 個，佔 76.92%，最高差值為 3.74%。

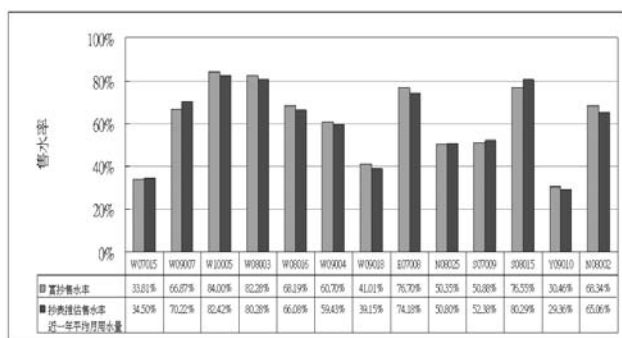


圖 7 「平常用水量」與「委外實抄」比對圖表

而其中 2 個小區(W10009 及 W09017)由「平常用水量」與「委外實抄」所得售水率不相符，經清查每期抄表資料及親至現場複查比對，係因「委外實抄」時人工作業疏失錯抄，致得到錯誤的售水率。由實證結果顯示「平常用水量」求算之售水率實為真正具代表性之售水率，可真實呈現實際售水率。

四、W09012 小區實例運用

W09012 小區(如圖 8) 102 年底完成全區管網改善，為取得複評售水率，先委託廠商於 12 月 3 日~10 日進行「小區間接法作業 B」，廠商封閉該小區，並確認可完全斷水後，以既設之計量表作為進水點，計量分析最小流量，取得每日平均進水量為 1108.58CMD(分母)，以最小流推估複評售水率為 80.17%(最小流分析成果如圖 9、10 所示)，惟此售水率是建立在假設夜間最小流(約發生在凌晨 4:52)皆為漏水的前提下，並無法將夜間用戶仍有用水行為納入，故此值並非真正的複評售水率，但仍可作為相對參考值。

為求得真正售水率，則需利用「水費水表營收資訊系統」及「ORACLE 多維度系統」，系統會自動帶入用戶「平常用水量」(分子)，並自動求算區塊售水率，可得實際複評售水率為 95.24%。



圖 8 W09012 封閉作業圖

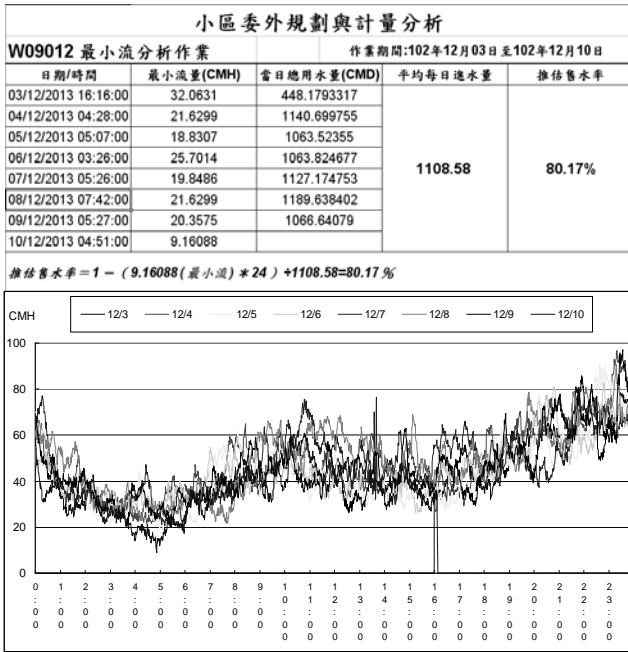


圖 9 W09012 每日進水流量圖表

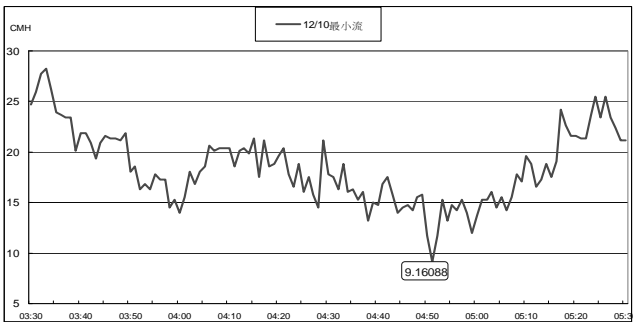


圖 10 作業期間最小流量圖

五、執行效益與說明

- (一)以「平常用水量」求算售水率，本處僅需支付廠商「小區間接法作業 B」費用，每區約 8 仟元；而如以「委外實抄」，則需支付「小區表位現場勘查作業」及「小區售水率分析作業」，共計約 4~6 萬元，本處近 2 年來利用「小區間接法作業 B」搭配「平常用水量」求算售水率約 150 個小區，已實質省下約 650 萬元。保守估計，未來將可替水處省下約 5,000 萬元公帑，輕鬆節省企業成本。
- (二)初評售水率最大的功能是提供進場優先順序的判斷，屬於定性的功能，數字精

確性只要在可接受的範圍內即可，以此法可加快取得初評以作為是否進場改善評估指標，減少小區作業時間。

- (三)初評售水率真值難求：小區進場改善前，部分表位位於屋內或屋後現場難以抄見，必須以最近一期用水度數推估，其比例至少佔總栓數的三成以上。且因管網尚未健全(如區內水外流或區外水內流)，及圖資不明(不明管連通)等因素造成所得之初評售水率通常並非真值，偏向參考值，可能未真實呈現小區漏水情形，是以初評售水率確無必要以「委外實抄」方式進行，可省下相關人力物力的浪費。
- (四)修正等同實抄之售水率：以「平常用水量」可得最近一期或近一年平均售水率，日後配合抄表員每期抄表，得到「當期用水量」，即可修正為等同實抄之售水率，所得之結果亦符合實抄精神，示意圖如下圖所示。

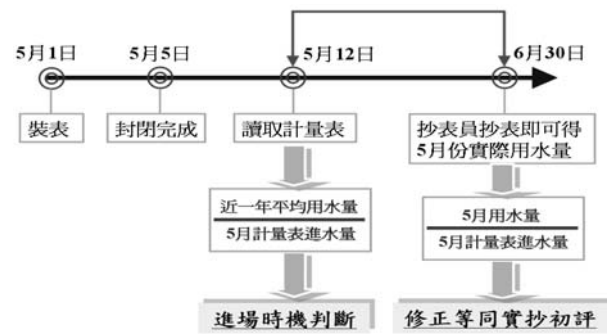


圖 11 修正等同實抄之售水率示意圖

- (五)本案透過建立系統自動計算區塊售水率，售水率將能及時更新，可有效管控區塊售水率。單一窗口，資料公開透明，容易驗證與檢核，有利於小區長期管理。
- (六)掌握主動權：「初評售水率」是小區進場第一要件，可避免受委外廠商人力調度影響，小區初評售水率無法及時取得，

整體進度受到拖累。可預先掌握售水率偏低的區塊並針對弱區（初評 50%以下）優先安排進場改善，利於後續整體管網汰換計劃管控，加速小區執行進度，進而縮短本處小區漏水改善的期程。

- (七)委外廠商於省下現場實抄售水率的人力後，可更專注投入於小區的規劃與計量分析作業，可作更有效的人力運用。
- (八)將「區塊編號」與「水號」做結合：獨立區塊的長期管理（DMA）是我們努力的目標，將每個區塊用戶資料納入系統作完整留存與維護管理，可避免因承辦人異動或人為因素遺失資料，有助於資料保存與傳承，節省人力，並有助於管控區塊售水率的變化，掌握區塊漏水情形並即時改善。
- (九)中區因範圍過大，以現場實抄方式取得售水率在實務上不可行。但如將中區內「水號」與中區的「區塊編號」作結合，仍可透過用戶「平常用水量」求算具代表性之售水率。日後仍可透過每期抄表，由系統自動求算售水率，仍可有效掌控中區的售水率變化。

六、結語

小區計量的執行在各個環節都很重要，除了汰換老舊管線、斷除不明管、檢測漏水等作業彼此環環相扣外，售水率分析也攸關整個小區計量計畫的執行成效，正確而快速地取得售水率可有效提升小區管理的績效，進而縮短漏水改善的期程。本文探討以「平常用水量」取代「委外實抄」之可行性分析，「平常用水量」具理論基礎，且經實際驗證結果指出，以「平常用水量」求算之售水率更能真實呈現實際售水率，並可有

效避免因「委外實抄」的人為因素所導致衍生錯誤的售水率。

以「平常用水量」求算售水率是為可資參採的利器，可加速取得初評售水率，協助我們預先針對售水率偏低的弱區進行改善，對症下藥，減少小區作業時間，有利於後續小區管控與作業期程規劃。以「平常用水量」取得複評售水率，亦可更正確而快速評估漏水改善的成效，同時節省公帑使有限經費發揮最大效用，有效提升管網施工漏水改善的執行效率。

供水管網改善執行及管理需有穩定與可靠的運作模式，本文提出以更快速便捷的方式計算售水率，透過建立系統自動計算區塊售水率，將每個區塊用戶資料納入系統作完整留存與維護管理，容易驗證與檢核，且可有效掌控售水率的變化，有利於區塊長期管理，提升自來水事業形象。

參考文獻

- 1.臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計畫」，2003。
- 2.臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫—長程策略方針」，2006。
- 3.陳明州、吳奕均、楊境維，「小區計量工法於管網系統漏水管理之應用」，2008。
- 4.郭志東、林哲生、李中彥，「小區售水率提昇之瓶頸與突破」，自來水會刊第28卷第3期，2009。
- 5.張正忠、時佳麟、陳倉桓，「歷史資料於小區管網汰換之應用」，自來水會刊第28卷第2期，2009。

作者簡介

游叡研先生

現職：臺北自來水事業處西區營業分處三級工程師
專長：管網改善工程規劃、設計與監造、小區計量

自來水淨水污泥最適化清理再利用探討

文/王興舜

一、前言

(一)研究緣起

目前淨水污泥最適化清理或再利用途徑因法令或政策轉變、社會變遷、替代原料或建材研發等因素，現行可行方案並不多，且常發生淨水污泥囤積過多無法適時去化及無廠商投標等窘境，清理成本節節升高，窒礙難行。全台自來水事業單位污泥餅產生量約 20 萬公噸/年，由於公民營衛生掩埋場容量漸趨飽和，且國內外相關研究及實例推展驗證下，資源化再利用技術已相當成熟，諸如園藝培養土、燒結製磚、燒結人工輕質骨材、水泥原料、管溝回填料等，惟為落實污泥資源化永續利用理念，須積極進行淨水污泥多元資源化可行性方案之研究，以加速推動淨水污泥資源化再利用。

(二)研究目的

自來水淨水污泥屬較低有機質含量之無機性污泥，重金屬含量低，其具再利用特性較工業廢水或生活污水污泥要強許多，且具多種用途，本研究主要有三項目的：

- 1.是藉評估選取分析方法找出自來水淨水污泥最適化清理再利用未來方向或解決方案，以紓解目前自來水事業單位面對之污泥囤積過多、清理成本升高等難題。
- 2.淨水污泥絕大部分主要來自山坡地缺乏水土保持的區塊，遭天然或人為因素，將泥、沙等懸浮固體物伴隨流入溪流或水庫等水源地，本研究引導分析出淨水污泥永續發展之途徑，將淨水污泥產製培養土重回崩

塌的山坡地，正符合永續經營理念。

- 3.於政府、法令及政策上提出建言，以期政府協助提供多方途徑或管道，適時權衡利弊得失予以政策放寬或合理化，以協助永續發展之途徑順暢推行。

二、文獻探討

(一)淨水污泥來源

自來水淨水污泥主要來自廢水池之污泥及廢水，送至污泥貯留槽，再送至機械脫水設備濃縮為污泥餅。另一途徑為污泥塘貯留廢水，進場組裝移動式脫水機脫水或直接進入污泥曬乾床乾燥處理，由合格清除處理機構遞送至合法處理或再利用機構。

(二)淨水污泥總體化學成份特性

本研究為澈底瞭解自來水事業單位目前經營之淨水場所產生之自來水淨水污泥化學組成特性，於 101 年度委託合格檢驗單位辦理檢驗土壤特性，分別調查桃園地區平鎮、石門、大湳、龍潭淨水場之淨水污泥，依土壤標準檢驗方法(XRF)取樣並完成各場淨水污泥總體化學成份特性分析(詳見表 1)。

淨水污泥組成份主要以 SiO_2 、 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 無機物為主，有機物僅少量，屬脫水特性不佳之污泥，欲依再利用途徑產製園藝培養土，須經加工摻配處理改善其通氣性、通水性及肥力後，方能用於植栽，據訪查水綠仙實業股份有限公司(位於新竹縣竹東鎮)清理機構(2011)案例，園藝培養土之摻拌素材名稱、摻拌素材簡介、摻拌素材比例、使用功能說明等(詳表 2)。

表 1 桃園地區 101 年度淨水場淨水污泥總體化學成份分析表

項目	淨水場				
	平鎮場	石門場	大湳場	龍潭場	平均值
SiO ₂	36.45	32.15	39.54	42.76	37.73
Al ₂ O ₃	26.10	25.01	26.15	27.16	26.11
Fe ₂ O ₃	11.24	11.29	8.94	5.21	9.17
Na ₂ O	0.38	0.68	0.36	0.51	0.48
MgO	1.05	1.62	1.25	1.56	1.37
MnO	0.34	0.55	0.18	0.07	0.29
CaO	1.54	1.31	0.37	0.52	0.94
K ₂ O	8.65	10.7	8.8	3.41	7.88
TiO ₂	1.54	1.96	1.21	0.57	1.32
P ₂ O ₅	0.66	1.28	0.42	0.17	0.63
Cl	0.20	0.39	0.13	0.01	0.08
燒失量	11.26	12.12	12.15	17.26	13.20

表 2 水綠仙公司園藝培養土摻拌素材建議配方

	摻拌素材比例	使用功能說明
自來水淨水污泥	6.6	使用淨水污泥當基土，因屬無機性污泥與土壤相似。
碳化稻殼	1.1	增加含碳之成份，埋入土中經發酵有助增加氮肥。
椰纖	0.7	外形為長纖狀，需再經破碎處理，以增加透水、透氣性之有機性材料，防根部腐爛。
椰土	0.7	整棵椰殼破碎後即成椰土，以增加土壤透氣性及養份。
稻殼牛糞	0.9	牛糞曬乾床鋪有稻殼，以增加土壤氮、磷等養份。

國內前幾年淨水污泥產製園藝培養土之摻拌素材，大致如圖 1，供參閱。



圖 1 水綠仙公司園藝培養土摻拌素材

國外案例如日本埼玉縣營淨水場均進行淨水污泥販售，以每噸 30 元販售，所產淨水污泥每年均全量售完，日本埼玉縣水道局淨水污泥再利用產製園藝培養土，其建議配方(詳表 3)。

表 3 日本埼玉縣水道局自來水淨水污泥再利用於園藝培養土摻拌素材比例建議配方

	園藝培養土	追肥
淨水污泥	10	1
破碎稻殼	4	
木屑牛糞堆肥	1	
追加肥料(磷酸類)		3

資料來源: 日本埼玉縣水道局網站資料

本研究將桃園地區 101 年度自來水淨水場淨水污泥特性與參考國外文獻^[1]，相互比較其差異性，並彙整成表 4 淨水場淨水污泥 & 岩石 & 土壤主要無機成份分析表^{[1][10]}，由表 4 可更清楚地瞭解其差異性，國內兩自來水事業單位為例，其各項目組成比例大致相

似，尤以龍潭與直潭淨水場組成比例極其相近。

表 4 淨水場淨水污泥&岩石&土壤主要無機成份分析表

組成	淨水污泥產出場地 (單位: %)				北水處	一般岩石	哥斯大黎加	南達科達州	北卡州
	平鎮場	石門場	大湍場	龍潭場					
項目					直潭場	火成岩	黏土	壤土	砂質黏壤土
SiO ₂	36.5	32.2	39.5	42.8	52.8	60	77	80	26
Al ₂ O ₃	26.1	25.0	26.2	27.2	20.2	16	13	13	49
Fe ₂ O ₃	11.2	11.3	8.9	5.2	6.8	7	4	5	20
K ₂ O	8.7	8.7	8.8	3.4	3.7	3	2	0.6	0.1
MgO	1.1	1.6	1.3	1.6	1.9	4	1	0.1	0.7
CaO	1.5	1.3	0.4	0.5	0.3	5	2	0.2	0.3
Na ₂ O	0.4	0.7	0.4	0.5	0.9	4	1	0.2	0.3
TiO ₂	1.5	2.0	1.2	0.6	---	---	---	---	---

經查文獻二氧化矽(SiO₂)為火成岩化學分類上之重要依據，一般而言，SiO₂化學組成涵蓋範圍很大，分布範圍由 40~75%不等，大致組成比例(詳見表 5)^[2]。

表 5 火成岩的化學分類表

化學分類依據	火成岩中的重要氧化物	火成岩的化學分類
化學式	SiO ₂	岩 類
分	>66	酸性火成岩
類	52~66	中性火成岩
範	45~52	基性火成岩
圍	<45	超基性火成岩

(三)淨水污泥之重金屬含量特性

鑒於重金屬含量特性密切影響民眾接

受度及觀感，原水水質來源乾淨且穩定性高，傳統淨水過程之淨水混凝(助凝)劑等添加藥劑，悉依行政院環保署規定藥劑，性質單純無害，故自來水淨水污泥所含重金屬含量低。Hseu et.al.(2002)曾連續監測兩年翡翠水庫集水區底泥中重金屬之背景濃度(Baseline concentration)，結果指出鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅之總量分別為 0.58mg/kg、40.3mg/kg、17.3mg/kg、28.9mg/kg、10.1mg/kg、52.5mg/kg^[3]。

鑒於判定廢棄物是否有害之主要依據，乃為藉毒性物質特性溶出程序(TCLP)檢驗重金屬含量，本研究於 101 年度委託合格檢驗單位檢驗淨水污泥，瞭解其對自然環境之影響程度，分析項目內含總銅、總鎘、總鉛、總鉻、六價鉻、總砷、總汞、總硒、總鋇等 12 項(詳見表 6)，由表 6 可知四座淨水場淨水污泥中可溶出之毒性物質濃度皆遠低於法規標準，不會對環境造成不良影響，參考日本清理淨水污泥方式亦多數為再利用於農業園藝培養土^[5]，可見作為土地施用(Land application)資源化用途無庸置疑。

表 6 桃園地區 101 年度淨水場淨水污泥毒性溶出試驗(TCLP)檢測數值表

淨水場	總銅	總鎘	總鉛	總鉻	六價鉻	總砷	總汞	總硒	總鋇
	單位(mg/L)								
平鎮	ND	ND	0.06	ND	0.02	0.006	0.0006	0.011	0.052
石門	ND	ND	0.08	ND	0.01	0.009	0.0014	0.031	0.145
大湍	0.02	ND	0.03	ND	ND	0.005	0.0003	0.012	3.10
龍潭	ND	ND	ND	ND	ND	<0.075	ND	ND	5.72
平均	0.02	0.00	0.06	0.00	0.02	0.007	0.0008	0.02	2.25
標準	15	1	5	5	2.5	5	0.2	1	100

97 年 3 月農委會對肥料品目種類及規格-雜項有機栽培介質重金屬標準有嚴格的規定，須取得「肥料登記證」方可為之，並須對各淨水場污泥餅依土壤污染監測標準之監測項目檢測，本研究已委託檢驗分析各淨水場污泥餅，含砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等八項重金屬標準(詳見表 7)，各場檢測數值均遠低於環保署監測標準值。

表 7 桃園地區 101 年度淨水場依土壤污染監測標準之監測項目檢測數值表

淨水場	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
	單位(mg/kg)							
平鎮	16.0	ND<0.15	33.0	30.5	0.06	27.8	18.2	78.2
石門	11.7	0.22	33.7	51.9	0.11	29.2	21.0	125
大湳	12.1	ND<0.01	13.8	25.9	0.11	39.2	38.9	112
龍潭	16.1	0.27	36.3	27.9	0.36	33.2	19.1	78.3
平均值	14.0	0.25	29.2	34.1	0.16	32.4	24.30	98.4
環保署監測標準值	30	10	175	220	10.0	130	1000	1000
	環保署食用作物農地之監測基準值							
	—	2.5	—	120	2	—	300	260
	農委會肥料品目種類及規格-雜項有機栽培介質重金屬標準							
	10	0.6	30	20	0.2	10	30	160

(四)淨水污泥現行清除處理方式數量

1.現行清除方式

清除污泥餅需有裝設 GPS (環保署廢棄物管制中心可由此系統監控清運全程) 合法清運車輛，依當地環保局核備清理計畫書路

線，每次清除前、後辦理上網申報清運數量。

2.現行處理方式

桃園地區現行淨水場概況，淨水污泥依處理方式可分為兩類：

- (1)直接清除及處理(或再利用)，清理方式較為單純，如平鎮場及大湳場。
- (2)進場組裝移動式板框式壓濾脫水機，自污泥塘、暫存池抽取污泥脫水產出污泥餅，再清除處理或再利用，如石門場、龍潭場。

3.清除處理數量現況

桃園地區均仰賴石門水庫水源，據查文獻，台水公司淨水污泥年產量約 17 萬 5000 公噸，北水處年產量約 2 萬 6000 公噸，澳洲雪梨市年產量約為 7300 公噸，美國年產量約 35 萬公噸^[6]，據推估全球年產量約為 365 萬公噸^[7]。僅桃園地區近年平均年產量約為 1 萬 6000 噸，換算成委託清理費用約 3 千 2 百萬元左右(詳見表 8)。

表 8 桃園地區各淨水場廢水池或污泥塘污泥餅清理數量統計表

年份	龍潭	平鎮	石門	大湳	清理數量	備註 (單位：噸)
100年	1391	2799	0	3936	8126	法令修正因素致招標困難，非常態數量。
101年	2098	7470	2682	4464	16713	估計 1-12 月。
102年	3500	5000	3000	5200	16700	估計 1-12 月。
年平均	2799	6235	2841	4832	16707	100 年非常態數量。

(五)自來水淨水污泥現行清理再利用途徑

1.產製培養土

(1)產製培養土業者扮演之角色

長久以來全國各地淨水場所產生之自來水淨水污泥，產製培養土之廠商均佔有一

席之地，相較其他清理再利用途徑而言單價較低廉、處理量大，再利用流向亦可勾稽，故一直扮演重要角色，於淨水污泥清理再利用貢獻良多。

(2)淨水污泥之前景

各淨水場產生龐大數量淨水污泥，成常態性高額支出決非長久之計，倘淨水場能自資設置淨水污泥清理機構經營模式產製培養土，先清理鄰近淨水場污泥，產銷平穩後，即研發精製商品化，運用既設各服務廠所作為銷售網路及零售站，進而推廣至各大賣場及企劃廣告宣傳等，商機前景看好。據查文獻以鄰近島國日本為例，已有很多淨水場自製培養土商品銷售，且成效卓著，適足為自來水事業單位之師法對象。

(3)政策影響

行政院農委會於 97 年修正公告新增「肥料種類品目及規格」，業者於再利用製程產製雜項有機質栽培介質，應先取得「肥料登記證」方能收受淨水污泥。下列品目歸類於介質：植物生長輔助劑腐植酸（品目編號 7-01）、雜項有機質栽培介質（品目編號 7-02）、有機質栽培介質（品目編號 7-03）。公告政策以較嚴格食用作物標準管制，產品又不得販售食用作物栽種者，導致許多廠商相繼關廠，或發生淨水場污泥囤積過多無法適時去化之窘境。

(4)提供綠、農地使用可行性

一般園藝培養土之 CN 比可控制至 12-20 間，淨水污泥原已含有揮發性固體物及營養鹽等成份，若經適當比例之摻配處理，轉換為可用資源，以為化學肥料替代品，提供綠農地使用，應是可行之方式。直

接使用淨水污泥種植，養份不夠，僅少量有機物，因黏滯性高、比阻抗高及壓縮係數大，具黏土質不透氣，屬脫水特性不佳污泥，須摻配改良素材方能用於植栽。據訪查國內天佑實業有限公司(位於新竹縣橫山鎮)清理機構(2013)案例，近年主要產品為產製園藝培養土，其園藝培養土產品之摻拌素材名稱、比例、使用功能說明等(詳見表 9)，足見淨水污泥提供綠農地使用可行性高。

表 9 天佑實業公司培養土摻拌素材建議配方

摻拌素材名稱	比例	使用功能說明
淨水污泥	5.5	使用淨水污泥當基土，因屬無機性污泥與土壤相似。
碳化稻殼	1.5	增加含碳之成份埋入土中，經發酵以增加氮肥。
椰纖	1.0	外形為長纖狀，需再經破碎處理，以增加培養土透水性及透氣性之有機性材料，防止根部腐爛。
椰土	1.0	整棵椰殼經破碎後即成，以增加培養土透氣性及其它養份。
有機肥	1.0	牛糞咖啡渣等，主要目的作為增加培養土之氮、磷等養份。
台肥 43 號複合肥料		視其用途酌量調整(詳見圖 3)。

國內近幾年淨水污泥產製園藝培養土之摻拌素材，據訪談廠商園藝培養土摻拌素材，大致如圖 2 所示供參閱。

據訪談廠商經驗，淨水污泥產製園藝培養土之摻拌素材原則上以上述四種為主，比例視其用途做調整，如主要種植花卉或果樹若另添加少量台肥 43 號複合肥料，詳見圖 3，可藉以增加其氮肥及磷肥，效果更佳，銷售成品將更受歡迎。

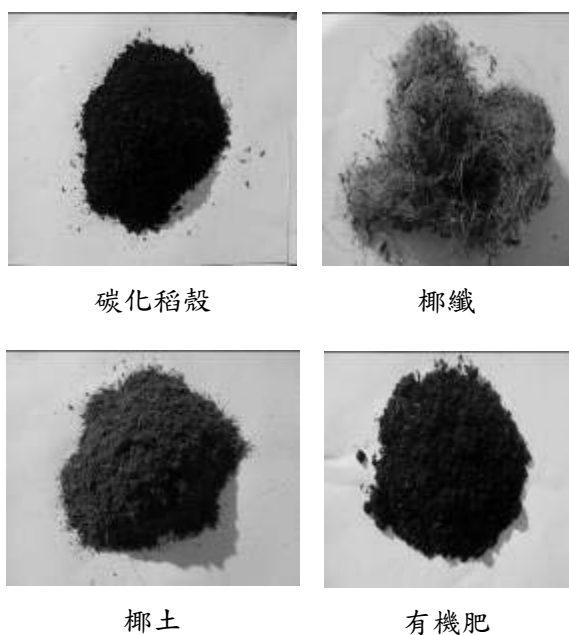


圖 2 天佑實業有限公司園藝培養土摻拌素材

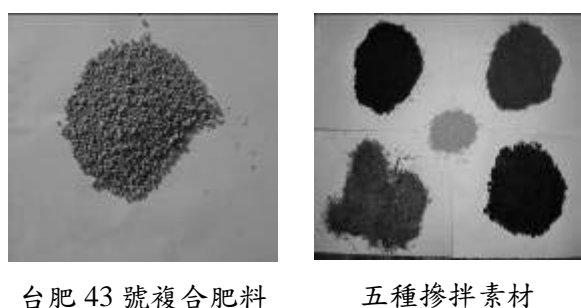


圖 3 培養土摻拌素材-台肥 43 號複合肥料

表 10 日本北九州市水道局淨水污泥再利用方式^[15]

年份	再利用方式	再利用所佔比例(%)
2005 年以後	運動設施材料	16.3
	水泥原料	51.5
	育苗土	25.1
	改良土	7.1

國外案例如表 10 日本北九州市水道局淨水污泥再利用方式^[15]所示，2001 年以後淨水污泥已達 100%再利用，井手浦淨水場淨水設施擴建工程之玄關前，景觀造景皆以淨

水場內產生之淨水污泥為素材，值得我國師法。

(5)產製培養土流程

處理或再利用機構於產製園藝培養土流程，經過接收、貯置風乾篩分整粒、風乾、摻配鬆化材料及 N.P.K(氮.磷.鉀)營養材料混練、包裝、培養土成品銷售。

(6)產製培養土銷售利潤成本分析

依文獻日本東京都及埼玉縣營淨水場均進行淨水污泥販售(以 30 元/噸)，每年均全量售完，日本埼玉縣水道局提供建議配方予產製園藝培養土業者或民眾。日本橫濱市水道局(2006)將淨水污泥產製園藝培養土，於西谷淨水場守衛室販售以 60 元/(10 公斤/袋)，亦即平均 6 元/公斤為計自製培養土販售以平均 6 元/公斤(換)為計。

國內文獻依據訪查天佑公司經營銷售經驗，一般小包裝分為 12kg/包、16 kg/包、25kg/包，售價分別約為 35 元/包、60 元/包、80 元/包，另有太空包裝 1 噸/包，約 550 元/噸(僅造粒處理未摻配椰纖等改善植栽土質素材)、太空包裝約 650~1000 元/噸(包括造粒處理及摻配椰纖等改善植栽土質素材)。椰纖、椰殼、碳化稻殼等摻配基材成本約 4 元/公斤，經核算單位成本約為 2 元/公斤，極具投資報酬的誘因。

2.產製普通磚(紅磚)

(1)產製紅磚流程

自來水淨水污泥製成紅磚流程，係將配製後之原料經由製磚機製成磚坯後，送入乾燥室乾燥，使磚坯降低水份含量，再送入隧道窯，窯內分為預熱、燒成、冷卻帶，燒成溫度約 950~980°C，化學反應成紅磚。

(2)產製紅磚控制條件

訪查大合順磚廠經驗一般原料再利用廢棄物摻配率均控制在 48% 以下(詳見表 11^[8])。

表 11 普通磚再利用操作控制條件一覽表^[8]

製程別	操作控制條件
原料處理	原料直徑(<3mm) 再利用廢棄物摻配率≤48%以下
混練擠壓成型	混料含水率(25~30%)
乾燥	磚坯含水率(2~5%)
燒成窯預熱區	溫度(50~800°C)
燒成窯燒成區	溫度(800~1050°C)
燒成窯冷卻區	溫度(800~150°C)

(3)再利用製成磚文獻

因台灣地小人稠，大量的水庫淤泥及淨水污泥等廢棄污泥採用掩埋方式並非最佳處置選擇，為能有效將此類廢棄污泥利用燒結程序資源化利用。江康鈺等人(2004)研究以豐原淨水場自來水淨水污泥進行燒結處理資源化探討，著重在討論不同溫度條件下，燒結後試體之基本材料性質，溫度達 1100°C 時，燒結試體即可符合 CNS 建築普通用磚之一等磚規範標準，且淨水污泥進行之重金屬溶出試驗程序濃度(TCLP)低於法規管制標準^[9](詳見表 12^[9])。

表 12 豐原淨水場淨水污泥之 TCLP^[9]

Item	Mean	S.D.	Regulation Limit
Zn(mg/kg)	0.07	0.05	---
Pb(mg/kg)	0.02	0.16	5.0
Cu(mg/kg)	0.02	0.04	---
Cr(mg/kg)	0.01	0.02	5.0
Cd(mg/kg)	N.D.*1	---	1.0

*1 N.D. 表示檢測值低於儀器偵測極限(儀器偵測極限 Cd: 0.008mg/kg)

無論淨水污泥或水庫淤泥，其都含有微量重金屬，故當兩種污泥之燒結磚體應用在環境中，由燒結磚體之 TCLP 分析結果得知，磚體之重金屬溶出濃度均遠小於法規標準。

3.產製輕質骨材

(1)產製流程

淨水污泥製成輕質骨材流程頗繁複，進料、陰乾、壓碎、造粒、乾燥、高溫燒結、冷卻、輸送、篩分與貯存、裝運等程序^[10]，主要是由旋窯筒體、冷卻窯、支承裝置、冷卻窯、窯頭與窯尾密封裝置、傳動裝置、進料及鍛燒裝置等部分組成。

(2)控制條件

淨水污泥製成輕質骨材製程，主要為原料加工、雛粒製造、燒製參數調適、焙燒溫度、旋窯轉數、窯筒體傾斜度、窯內氣氛等技術，藉檢驗品質，得最佳燒製參數。

(3)產製文獻

黃志彬等人(2002)研究探討利用燒結將自來水淨水污泥資源化再利用，增加營建廢棄土比例可改善燒結輕質骨材之品質，燒結溫度增加可以提高輕質骨材之強度，在 1050°C 時，即使摻配 30% 的淨水污泥，抗壓強度依然可達 200kg/cm² 以上，在 1000°C、1050°C、1100°C 時，成品比重皆小於 2g/cm³，其綜合比重、吸水率及抗壓強度之測試結果，均符合輕質骨材之基本性質^[11]，值得推廣。

劉世翊(2011)曾以國內 6 座淨水場污泥為原料，對淨水污泥製輕質骨材可行性進行研究。6 場化學成分分析均相似，主體成分為 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 皆位於 C.M.Riley 三相圖合適範圍內。由 TCLP 溶出試驗得知，6 場均為穩定無害的無機性污泥，6 場污泥物

理性質之比重與一般土壤相近，且為具可塑性粒徑細緻之粉土或粘土質沉積物，故皆適於作為輕質骨材原料^[12]。

事實上淨水污泥製作輕質骨材技術門檻並不高，品質也不會比國外進口差，業者裹足不前的原因是，台灣一般建築業多以成本考量，輕質骨材成本略高，故僅少量進入產業鏈。

4. 產製水泥

淨水污泥主要元素組成為矽、鋁、鐵等，符合水泥生料所需成分，再利用技術亦相當成熟，惟因摻量少，扮演清理再利用角色比例太低。

廖慕蓉(2007)曾研究以淨水污泥替代部分水泥原料，調控生料組成，並於不同燒結溫度下燒製富 β -C2S 之水泥。透過游離石灰含量評估熟料燒成度，並利用 reference intensity ratio (RIR) 技術定量矽酸鈣晶相。結果顯示，淨水污泥經過適當的配比計算後，可取代部分原料製成水泥生料^[13]。

林聖寰等人(2003)曾研究以淨水污泥替代黏土作為水泥生料，探討對水泥燒結及水泥品質之影響，期能提供另一種最終處理方式。結果顯示，淨水污泥之主成份與水泥用之黏土相似，因此適合替代黏土作為水泥生料。經由 CNS 水泥漿體物理實驗，顯示不同比率替代下，皆能符合 CNS 卜特蘭水泥一型標準且水泥漿體抗壓強度隨淨水污泥增加而提高^[14]。

5. 產製管溝回填料

對國內地下管線工程如自來水、下水道、電信、電力、石油、天然氣等而言，管線回填使用新工法或材料是一種挑戰，若實際回填時新工法或材料之試用成果不成

熟，將立即造成路面沈陷，於行車安全及市容皆有不良之影響。文獻於管溝回填材料應用通常分為兩個方向探討可行性：

(1) 取代管溝回填砂：

淨水污泥中一般約有 90% 通過 200 號篩，依土壤分類係屬中度可塑性土壤，具低滲透性，須添加適當混合物例如固化劑與安定劑等，方可有效利用為管溝回填料，惟目前技術上並不成熟。

(2) 拌製成高性能低強度材料 (CLSM)：

將淨水污泥為材料拌製成高性能低強度材料 (CLSM)，當細粒料使用量偏高時，其工作性較佳，隨著淨水污泥取代比例之增加，工作性趨佳，然將延緩 CLSM 初凝時間及早期強度發展，故淨水污泥應用於早強型 CLSM 時，可採用粗粒料且污泥取代比例不可過高，目前技術現況均仍需要產、官、學界努力開發與研究發展。

三、最適化清理再利用途徑現況研究分析與評估方法

(一) 藉檢驗分析淨水污泥徹底瞭解化學組成及重金屬含量之特性

1. 淨水污泥作總體化學成份特性分析

本研究經訪查操作人員現況，並依檢驗數據，歸納分析研判如下(詳見表 1)：

(1) 淨水污泥三大組成中， SiO_2 、 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 ，各淨水場約佔整體比例平均為 73% 左右，顯示砂土礦物為大多數，主因在集水取水過程中夾帶大量砂土礦物。

(2) SiO_2 組成由平鎮、石門、大湳、龍潭淨水場檢驗數據分析佔整體比例平均 13.8% 左右，與平均值差異分別為 -1.27%、-5.58%、1.82%、5.04%，可見石門、龍潭淨水場均

高於誤差值之範圍，依操作經驗分析研判石門、龍潭場快濾床濾砂流失較嚴重，須列入評估改善考量。

(3) Al_2O_3 組成即佔整體比例平均為 26.11% 左右，依操作經驗分析主因在淨水處理之混凝沉澱程序中加入混凝劑或助凝劑等無機性化學物質。

(4) 燒失量組成由平鎮、石門、大湳、龍潭淨水場檢驗數據分析佔整體比例平均 13.2% 左右，與平均值差異分別為 -1.94%、-1.08%、-1.05%、4.06%，可見各場燒失量均在誤差值範圍，而龍潭場最高，依操作經驗及取水路徑分析推論如下：A. 龍潭場在集水取水過程中夾帶大量之揮發性有機物質。B. 石門大圳輸送過程加入不少有機性污染物質。C. 龍潭場主要取水口在後池，底泥蘊藏量大，且內含揮發性有機物質含量較高。D. 龍潭場四期出水超載量最高，導致淨水、廢水處理過程中夾帶揮發性有機物質含量較高。

2. 依毒性物質特性溶出程序(TCLP)檢驗

由本研究表 6 可知淨水污泥中可溶出之毒性物質濃度皆符合法規規範，由於重金屬含量相當低，再利用於農業客土，對環境不致造成不良影響，可見作為土地施用(Land application)資源化用途無庸置疑。

3. 依土壤污染監測標準之監測項目檢測

本研究已於 101 年度委託檢驗單位檢驗(詳見表 7)，藉以瞭解淨水污泥是否符合法定土壤污染監測標準。

(1) 各場淨水污泥，鎘、鋅兩項完全低於農委會公告修正肥料品目種類及規格-雜項有機栽培介質標準；砷、銅、鎳皆略超過標準。

(2) 鎘僅大湳場低於標準，平鎮、石門、龍潭場皆略超過標準；汞僅龍潭場超過標準，其餘各場皆低於標準。

(3) 鉛僅大湳場超過標準，其餘各場皆低於標準。

然而八項重金屬分析項目均遠低於環保署監測標準值，顯見農委會所修正公布之標準較為嚴苛，對於再利用業者確實造成嚴重之衝擊。

(二) 自來水淨水污泥最適化清理再利用途徑評估分析方法

本研究分由三方面來進行。

1. 文獻調查：

自來水淨水污泥清理再利用途徑相關生產技術，及相關試驗報告等。

2. 訪談調查：

對過去曾進行淨水污泥清理再利用途徑經驗者或經營者進行訪談，由製造者方面瞭解實際生產狀況。

3. 現況研究分析與評估方法：

本研究依據國內外文獻，目前在執行中之清理或再利用途徑主要有五項，如產製培養土、普通磚、人工骨材、水泥、管溝回填料等，本研究將其作為評比途徑，訂定評估準則及選取原則，以科學評估分析方式，客觀擬定數項重要密切關聯評估因子，分析其各項特性之高品質至低品質強度，預測其影響層面，再予以評分每項特性品質強度為 5~0 分，評估分析其總分 40~0 分，最高分者即為最適化清理再利用途徑，依評估準則及選取原則加以分析可改進之策略或未來走向，提升清理效率，實為當務之急。

(三) 最適化再利用途徑之評估選取原則

本研究評估方法將針對五項途徑擬定

評估選定原則——作說明，依據基本資料蒐集及現況調查訪視，歸納八項重要密切關聯評估因子分述如下：

- 1.物理特性：僅拌合程序，不改變淨水污泥本質，無疑慮或觀感問題。
- 2.化學特性：已改變淨水污泥本質，並且會衍生疑慮或觀感問題，因需耗能源已改變物性。
- 3.現有市場需求性：全國各地皆需要使用，需用量很可觀，且隨著法令規定修正及民眾覺醒，未來市場需求性大。
- 4.對環境影響衝擊性：對環境影響衝擊程度小，充份融入環境生態體系中，無害環境。
- 5.永續經營發展性：永續經營價值高，需用量很穩定成長，則屬高品質。
- 6.再利用運作成本：再利用運作成本低廉，提高永續發展性，則屬高品質。
- 7.推廣接受度：容易推廣，不影響觀瞻，接受度高。
- 8.政策面改變性：遇法令放寬，使途徑轉成欣欣向榮的行業，廠商意願高，再利用數量提昇，則屬高品質。

本研究將根據上揭原則進行評估分析，據以評估分析評比總分最高者為自來水淨水污泥最適化清理再利用途徑，進一步決定未來最適化途徑。淨水污泥再利用途徑適合度及優劣比選定原則及評估因子分析評值表途徑主要有五項，如產製培養土、普通磚、人工骨材、水泥、管溝回填料，分別得分為 38、28、24、20、9 分。

四、成果與討論

(一)淨水污泥最適化清理再利用途徑現況研究與評估成果

本研究根據第三章評估方法，依評估分

析選取原則臚列八項評估因子，針對逐項因子進行評分及加總，經歸納為最適化清理再利用途徑依序為產製培養土(總分 38 分)、產製普通磚(總分 27 分)、產製水泥(總分 25 分)、產製人工骨材(總分 20 分)、產製管溝回填料(總分 9 分)。

(二)產製培養土為主要途徑

現行法令規範申辦管道依其管轄單位不同，分成環保局及經濟部。據訪查以產製培養土之月處理許可量 4500 噸規模之天佑公司為例：資本額約新台幣 1,000 萬元，現場設備約 500 萬元，考量銷售流向，於自來水事業單位而言，其全國各地服務廠所據點均可為銷售點，故自行投資設置培養土廠可行性甚高。

(三)產製普通磚為次要途徑

淨水場自行投資資源再利用制度面分析，據訪查以產製普通磚(紅磚)之日產量 34 萬塊磚規模之大合順磚廠為例，再利用流程自原料處理一燒成紅磚，極具專業性，無經驗者不易入門。資本額約新台幣 2,400 萬元，實際現場全部設備(含隧道窯)至少約 1 億元，投資成本過高，此外尚須考量銷售流向，故自行投資設置磚窯廠並不適宜。

(四)產製水泥途徑為最適化清理再利用次要輔助途徑

目前水泥製造業者「許可類型」為「公告再利用」者，惟執行公務單位標案規定繁複，業者意願不高，且用量低，成長空間不大，只能定位於次要輔助途徑。

(五)產製人工骨材途徑為最適化清理再利用次要輔助途徑

目前產製人工骨材製造業者「許可類型」為「公告再利用」者，現有法令配合度

高，惟業者因成本高投資意願不高，且用量低，成長空間不大，故定位於次要輔助途徑。

(六)產製管溝回填料途徑為最適化清理再利用最末輔助途徑

法令配合度不高，尚須多方配合才能加入再利用途徑之行列，仍有很大進步空間，因此只能定位於再利用最末輔助途徑。

(七)淨水場內自行設置清理機構與委託清理或再利用機構經營銷售模式現況優劣比評估探討

1.評估各清除、處理或再利用經營模式現況優劣

依據多年委託清理機構清除、處理淨水污泥經驗，綜整各清理機構經營模式資料，進一步將淨水場自行設置清理機構或委託清理機構，與經濟部再利用機構模式現況優劣比較，評估結果說明短程目標應以委託產製培養土途徑之清理機構為主，委託經濟部再利用機構產製普通磚為輔，長程目標則應以淨水場自行設置產製培養土途徑之清理機構為目標，避免長期受制於委託清理或再利用機構。

2.淨水污泥最適化清理及再利用未來方向探討

本研究依據訪查業者經營銷售經驗(天佑實業有限公司)淨水污泥最適化清理及再利用應以淨水場自行設置產製培養土清理機構為未來方向及長程目標，場內就近清理可節省清運成本至少約 450 元/噸，自行摻配椰纖等改善植栽土質素材之園藝培養土，如經營良善則同時能創造利潤並可就近使用於廠內綠美化，節省公帑，據訪查天佑公司實際進行廠內綠美化環境實績(詳如圖 5)，據日本文獻亦有類似案例供參。



圖 5 天佑公司實際進行廠內綠美化環境實績

除進行廠內綠美化外，如經營人力物力許可，同時可進行研發相關產品，例如人造輕質骨材等，用於綠美化或建築上，據訪查天佑公司曾實際以淨水污泥進行燒結人造輕質骨材成品實績(詳如圖 6)，雖未達量產成階段，卻是極佳之研發嘗試。



淨水污泥燒結人造
輕質骨材成品

淨水污泥輕質骨材用於
盆栽底層或表面

圖 6 天佑公司淨水污泥燒結人造輕質骨材成品

採用各地區自行向當地主管機關(環保局)申辦設置淨水污泥清理機構之經營銷售模式應為最佳方案，淨水污泥處理方式以摻配特定素材配方製成培養土或直接銷售為原則，依日本文獻其技術上均已成熟，銷售對象及行銷方式均無限制，有其前瞻性。

五、結論與建議

(一)結論

1. 本研究根據評估方法分析選取原則臚列八項評估因子，針對逐項因子進行評分及加總，經歸納為最適化清理再利用途徑依序為產製園藝培養土、普通磚、水泥、人工輕質骨材、管溝回填料。
2. 淨水污泥之清除、處理或再利用，均隨投標市場機制變動，而市場機制又隨法令政策而變動加劇，法令越嚴苛，清除處理成本越高，願意投入清理污泥之廠商越少，間接阻止污泥回歸山林，應調整政策腳步鼓勵淨水污泥回歸園藝培養土資源再利用方式處理，方為長遠之計。
3. 本研究淨水污泥清理再利用五項途徑中，國內現況仍無法完全依賴產製培養土途徑，法令配合度及政府公共工程積極重視程度為重要關鍵，仍需要以產製普通磚(次要途徑)及產製水泥(次要途徑)輔助，才能暫時解決淨水污泥去化問題。
4. 本研究第二章曾探討淨水污泥總體化學分析組成特性(如表 1)，自來水淨水污泥屬有機質含量較低之無機性污泥物種，用於綠美化土地時，應增加培養土中氮、磷等養份(亦即添加有機質含量高的堆肥例如牛糞咖啡渣等)、增加碳成分之碳化稻殼、增加土中通氣通水孔隙之椰纖、椰殼等，依建議配方比例摻配產製培養土，以符合綠美化土壤基本要求。
5. 由總體化學成份分析表檢測分析組成特性，將桃園地區淨水污泥與岩石、土壤中之主要無機成份相互比較分析，結果顯示淨水污泥組成特性介於岩石與砂質黏壤土之間，黏土質特性有助於增加土壤之團粒穩定度，改善土壤之抗沖蝕能力。
6. 各地區淨水場自行向當地主管機關(環保局)申辦設置淨水污泥清理機構之經營銷售模式應為最佳方案，淨水污泥處理方式以摻配特定素材配方製成培養土或直接銷售為原則，依日本文獻其技術上均已成熟，銷售對象及行銷方式均無限制，極具前瞻性，為最節省之開源節流方案。

(二)建議

1. 建請積極聯合自來水事業單位正式函報經濟部、環保署邀集行政院農委會等相關單位與學者專家共同討論三案如下：

- (1) 將淨水污泥由自來水事業單位委託產製園藝培養土，轉變成為有價資源物，使污泥還諸於山、林、土地中，需藉由農委會法令修正，放寬肥料登記證申請限制門檻，期能放寬雜項有機栽培介質重金屬限值，為淨水污泥培養土資源化開闢一條生路。
- (2) 據訪查廠商反映行政院農委會現行之重金屬濃度之限值規定，產製園藝培養土僅可用於種植草皮、路樹，卻以食品級(葉菜類肥料標準)肥料規定為發證門檻，過於嚴苛，期能分別另訂園藝培養土及食品葉菜類培養土之申辦肥料登記證不同重金屬濃度規定，較符合實際。
- (3) 淨水污泥大部分均來自山林表土被充蝕，若能經由再利用產製園藝培養土途徑，再輾轉用於山坡地復育，還之於山林，極符合永續經營理念，期能將園藝培養土列為公告再利用之物種，開放全國大小規模業者取用，可免經濟部核發許可證之繁複程序，加速消化大量淨水污泥，節省公帑。

參考文獻

1. Bohn, H.L., 1985, Soil chemistry, John Wiley & Sons, NY, USA. pp.341.
2. Mason and Moore, 1982; 乃依 Richardson and Sneesby, Mineralogy Mag. 19, 309, 1922。
3. Hseu, Z.Y., Chen, Z.S., Tsai, C.C., and Tsui, C.C., 2002, Baseline concentrations of ten metals in the freshwater sediments of a watershed in Taiwan. J. Environ. Sci. Health: Part A-Toxic/Hazard Substances & Environmental Engineering 37(9), pp.1633~1647.
4. 經濟部水利署北區水資源局石門水庫及寶山第二水庫水質監測與生態環境調查研究計畫 (2011~2013).
5. 康世芳、劉明仁、林志麟 2001, 日本大阪市淨水場污泥餅資源化之經驗與現況, 222~226 頁, 環保月刊第一卷第四期。
6. Ippolito J.A., Barbarick K.A., Redente E.F., 1999, Co-application effects of water treatment residuals and biosolids on two range grasses. Journal of Environmental Quality, 28, pp.1644-1650.
7. Dharmappa, H.B., Hasia, A., Hagare, P., 1997, Water treatment plant residuals management. Water Science and Technology, 35, pp.45-56
8. 彰化縣大合順磚廠, 經濟部是業廢棄物再利用許可申請書—無機性污泥(自來水淨水污泥)第三次修正版(通案再利用展延許可)。
9. 江康鈺、陳宜晶、簡光勵, 2004, 淨水污泥燒製磚材之材料特性研究, 38~48 頁, 中華民國自來水協會會刊第二十三卷第三期。
10. 國立中華輕質骨材協會, 自來水淨水污泥再利用成輕質骨材之可行性研究報告, 台灣自來水公司委託案, 101 年 1 月完整報告 55~57 頁。
11. 黃志彬、袁如馨、劉又瑞、王敏儒, 2002, 淨水污泥燒結資源化利用-製磚與人造骨材的探討, 第十七屆廢棄物處理技術研討會, 中華民國環境工程學會第十四屆論文集。
12. 劉世翊, 淨水污泥再製輕質骨材可行性研究, 中興大學土木工程學系, 碩士論文, 2011。
13. 廖慕蓉, 2007, 淨水污泥燒製富 β -C2S 水泥之研究, 成功大學, 中華民國環境保護學會學刊, 第 28 卷第 2 期, 第 135-144 頁。
14. 林聖寰、郭容忍、黃志彬、袁如馨, “淨水污泥取代黏土作為水泥生料對卜特蘭水泥影響之研究”, 第十八屆廢棄物處理技術研討會, P.4-27 (2003)
15. 國立中興大學生物科技發展中心, 自來水公司淨水污泥自資資源化之研究, 台灣自來水公司委託案, 97 年 7 月期末報告。

作者簡介

王興舜先生

現職：台灣自來水公司第二區管理處操作課工程師、
環境工程技師
專長：自來水工程、水及廢棄物處理、分區計量管網
規劃及建置

原水藻類引起快濾池阻塞實場改善研究

文/林信忠、郭得祿

摘要

近年來由於供應潭頂淨水場嘉南大圳南幹線改為鋼筋混凝土輸水渠，每年的 2 月至 4 月期間，圳路原水濁度低於 10 NTU 以下，在春天陽光充足、溫度適當等條件下，水中藻類大量生長，導致原水 pH 值日夜呈現較為劇烈循環變化，本場以鋁系混凝藥劑硫酸鋁進行加藥混凝沉澱仍無法有效將藻類去除，造成快濾池濾層嚴重阻塞影響過濾，導致淨水處理量大幅減少，影響正常供水。

為改善快濾池濾層嚴重阻塞問題，本場針對快濾池相關設施和各項自動連續監測儀器進行檢測及校正，並對原水和各淨水單元水質及水中藻類委外進行檢測分析，經確認原水中藻類是造成快濾池濾層嚴重阻塞影響過濾的主要原因之一，在參考寶山給水廠快濾池嚴重堵塞之研究實例(林氏，2009)及學者專家指導建議，改以鐵系 40% 氯化鐵(FeCl_3)作為淨水混凝藥劑進行加藥後，混凝產生膠羽顆粒較大，沉澱池沉降效果佳，快濾池濾層阻塞，濾程縮短等問題，亦獲得大幅改善，茲將整個過程撰寫成本報告，以提供相同情形之淨水場淨水處理之參考。

一、前言

潭頂淨水場的原水經由嘉南大圳南幹線引入，嘉南農田水利會於 96 年陸續將嘉南大圳南幹線土堤輸水渠，改建為 U 型鋼筋混凝土製輸水渠後，每年 2 月至 4 月期間，在低濁度原水(10 NTU 以下)(如圖 1)情況

下，淨水場淨水處理過程會有下列現象發生：

- (一)原水 pH 值日夜呈現較為劇烈循環變化(7.74~8.69)(如圖 2)，高於液體硫酸鋁最適宜 pH 值範圍(6.0~7.8)(高氏，1990)，導致淨水場混凝劑加藥效果不良，形成之膠羽顆粒細小，沉降性差。
- (二)過濾水濁度上揚(16:00~04:00)，超過 2.0 NTU(飲用水水質標準)以上。
- (三)快濾池濾層嚴重阻塞，濾程縮短，反沖洗頻率增加，反沖洗廢水量增加，甚至發生反沖洗水塔水量有供應不及等現象。

二、現況說明

- (一)潭頂淨水場隸屬於台灣自來水公司第六區管理處台南給水廠，位於台南市新市區潭頂里 544 號，本公司於民國 59 年完成潭頂淨水場第一期工程處理量 9 萬 CMD，後於 68 年完成第二期處理量 9 萬 CMD 之擴建，合計全場設計出水量達 18 萬 CMD。潭頂淨水場之原水源自曾文水庫放水至烏山頭水庫經嘉南大圳南幹線重力引入本場(目前平均取水量約 12 萬 CMD)，除暴雨期間濁度可能突增較高外，其水質因有「烏山頭水庫水源水質保護區」之劃設，長期以來均屬良好(近 3 年平均濁度約為 33.0 NTU)，再經本場淨水處理後，皆可符合飲用水水質標準。場區平面配置圖(如圖 3)，淨水處理流程圖(如圖 4)。

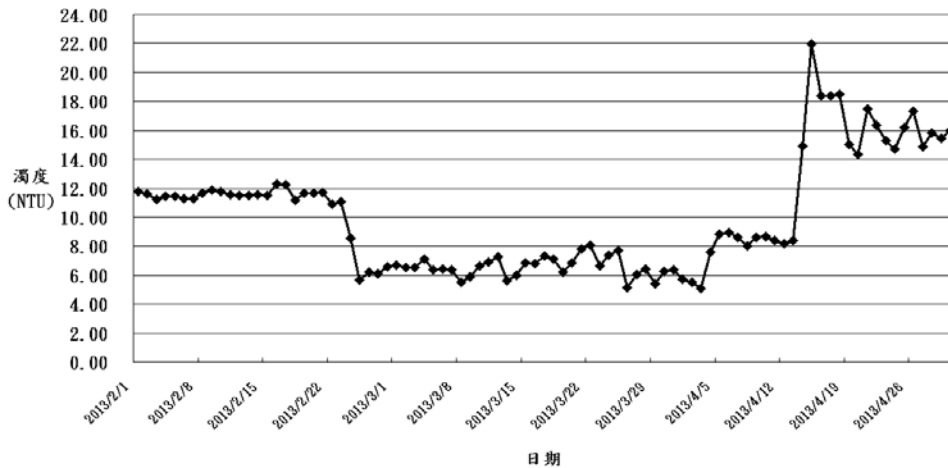


圖 1 102 年 2-4 月份原水日平均濁度曲線圖

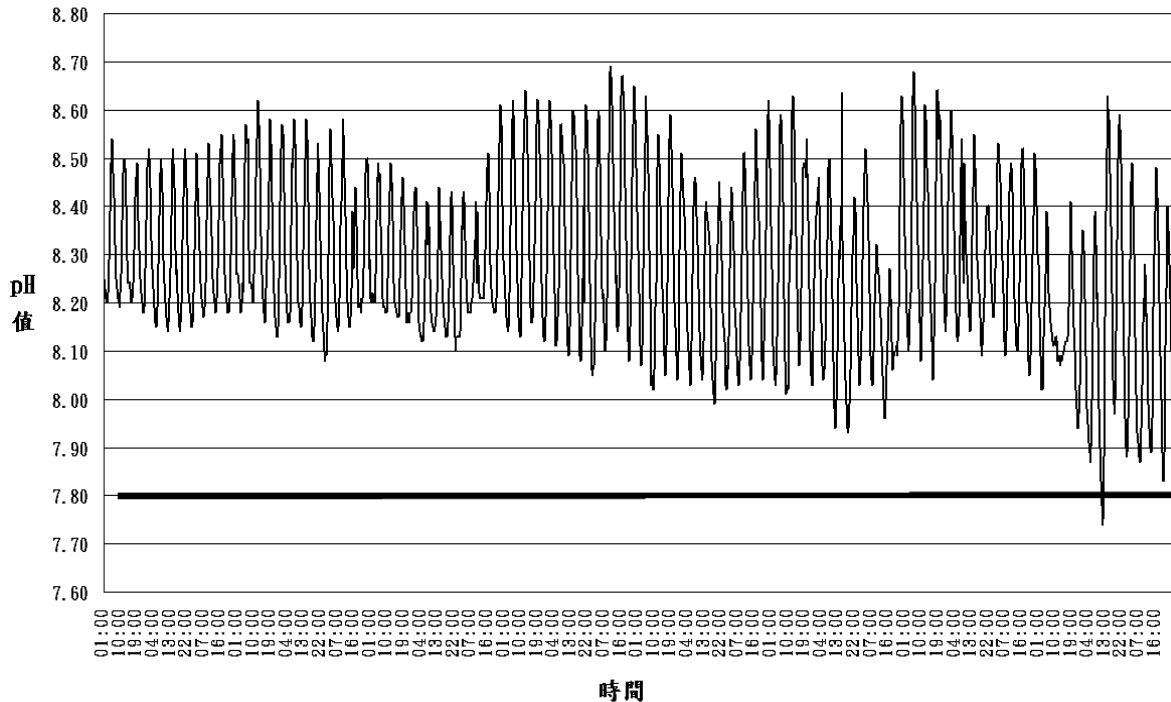


圖 2 102 年 2-4 月份原水 pH 值曲線圖

(二)往年(97~101)的 2 月至 4 月期間，潭頂淨水場在低濁度原水(10 NTU 以下)情況下的處理方法，是採取加強混凝操作，以瓶杯試驗結果獲得液體硫酸鋁之最佳加藥率，作為(00：00~12：00) 實際加藥率，(12：00~24：00)期間則提高加藥率至 1.3~1.5 倍之策略，以沉澱拌除方

式使膠羽顆粒在沉澱池沉降去除，藉由混凝劑的加藥率提高及加藥時間改變等方法，均能順利將過濾水濁度上揚及快濾池反沖洗頻率增加問題加以改善，並使過濾水濁度保持在內控標準 0.5 NTU 以下，確保出水水質符合飲用水水質標準。今年延續往年處理方法，適度的提

高混凝劑的加藥率及加藥時間改變，卻無法達到同樣良好的處理成效；因快濾池濾層的嚴重阻塞，導致濾程縮短至不到 16 小時（如圖 5），平常濾程均可達 48 小時以上，反沖洗頻率增加，反沖洗廢水尖峰濁度大幅降低至約 170 NTU（如圖 6），一般正常反沖洗廢水尖峰濁度均為 1500 NTU 以上，反沖洗廢水量增加，過濾效能嚴重降低，導致淨水處理量減少。

(三)本場有關人員共同針對快濾池濾層嚴重阻塞，導致淨水處理量嚴重減少問題，積極進行以下措施：

1.對快濾池所有附屬濾率及反沖洗電動閥

門，各別進行檢測和調校。

2.對快濾池所有附屬文氏管濾率流量計、水頭損失計、沉澱水及過濾水濁度計等線上自動監測儀器，各別進行維護及校正。

3.對快濾池進行目測觀察檢視。

4.對正在進行反沖洗之快濾池目測觀察檢視、濾層膠羽貯留分析及濾砂取樣委外(宏盛科技檢驗有限公司)進行粒徑分析。

5.除平常淨水場所辦理的各項水質檢測外，並委託七區檢驗室及交通大學防災與水環境研究中心，針對本場原水、沉澱水和過濾水總有機碳含量及水中藻類進行檢測分析。

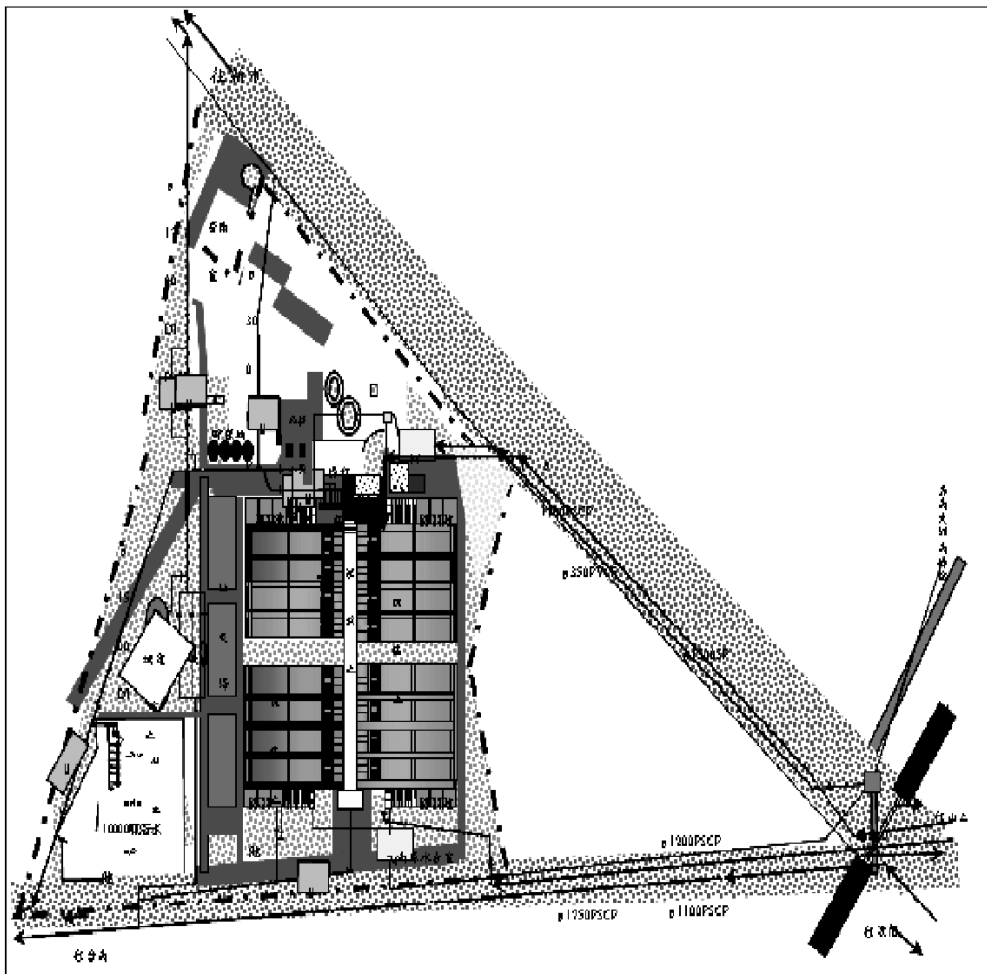


圖 3 潭頂淨水場場區平面配置圖

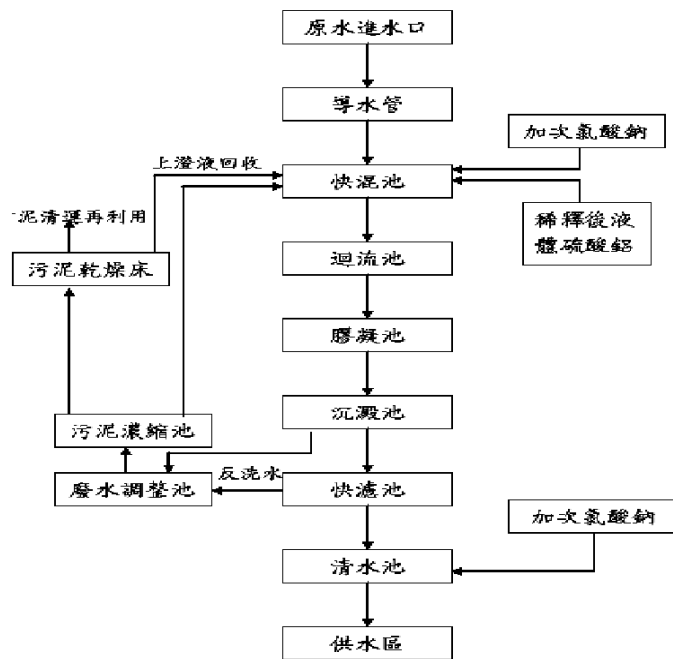


圖 4 潭頂淨水場淨水處理流程圖

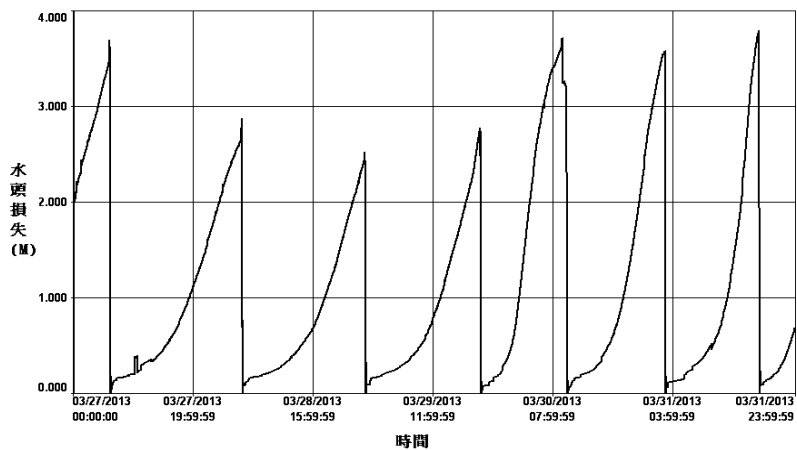


圖 5 快濾池水頭損失歷線圖

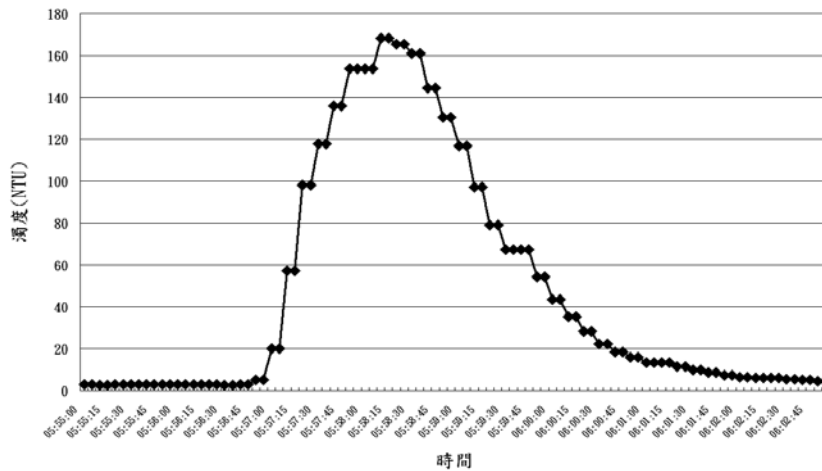
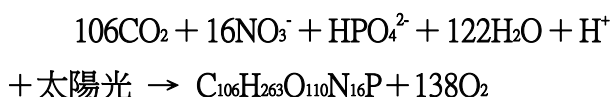


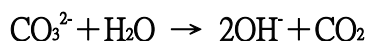
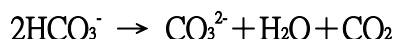
圖 6 快濾池反沖洗廢水濁度歷線圖

三、研究及改善過程

(一)每年 2 月至 4 月期間，在低濁度原水(10 NTU 以下) (如圖 1) 情況下，原水 pH 值日夜呈現較為劇烈循環變化(7.74 ~ 8.69)，經研判嘉南大圳南幹線圳路原水在流速緩慢、低濁度（透光度增加）及白天陽光充足、溫度適當等條件時，原水中藻類會進行光合作用，增殖成長並產生氧氣，使水中含氧量增加，以下列方程式來表示：



當藻類迅速繁殖，水中缺乏游離碳酸時，則分解氫碳酸成為碳酸鹽，再進一步將碳酸鹽分解為氫氧化物(OH⁻)，導致 pH 值最高可上昇至 10~11，其化學反應式如下：



(二)本場有關人員共同針對快濾池濾層嚴重阻塞問題，所進行各項措施得到結果如下：

- 1.經本場有關人員和協力廠商針對快濾池所有附屬每個電動閥門、設備和儀器進行調整、檢測、維護及校正，並確認快濾池機械設備正常。
- 2.對快濾池進行目測觀察檢視發現反沖洗廢水尖峰濁度大幅降低，在反沖洗廢水中有棉絮和絲狀的濁度膠羽顆粒。
- 3.濾層膠羽貯留分析結果（如圖 7）發現，大部分濁度物質均貯留於濾層表面 0~10 公分處，且濁度貯留物質數量很少，濾砂掏洗濁度只有 140 NTU。
- 4.濾砂取樣委外(宏盛科技檢驗有限公司)進行粒徑分析結果（如表 1），平均有效粒徑為 0.638 mm、及均勻係數 1.57，尚屬合理範圍。

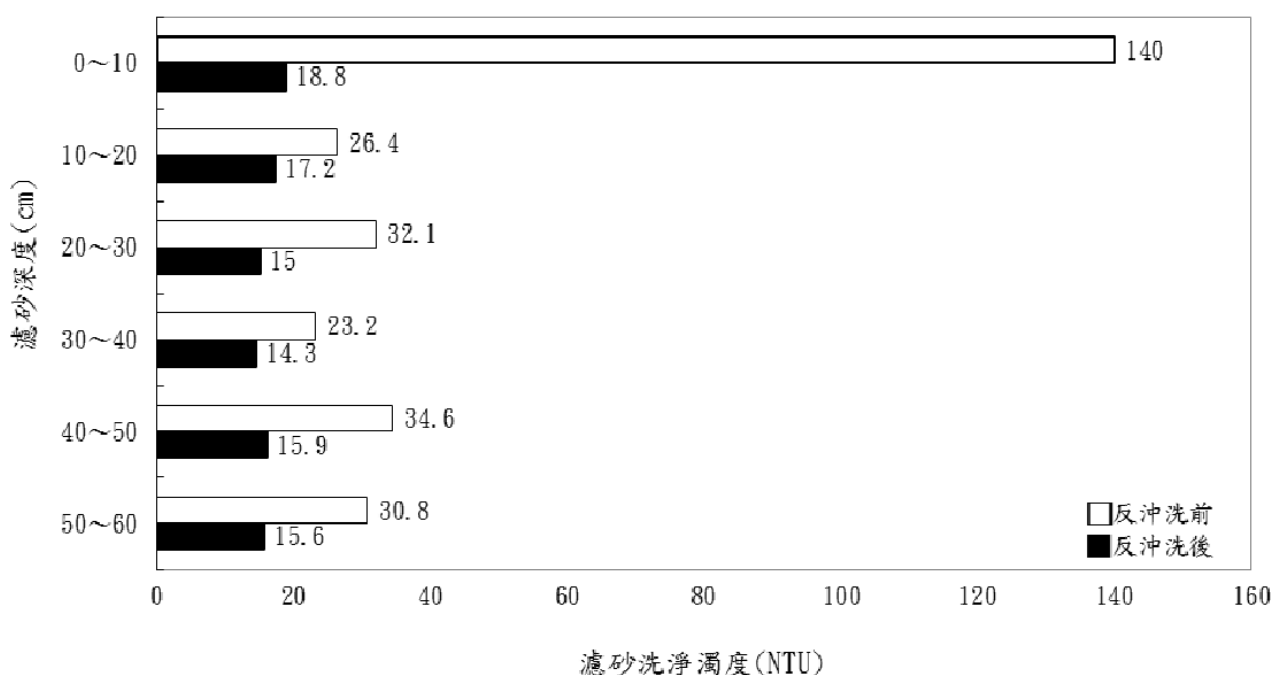


圖 7 快濾池濾層濾料膠羽貯留分布圖

表 1 快濾池濾砂平均有效粒徑及均勻係數

快濾池編號	3 號	5 號	11 號	13 號	平均值	設計值
平均有效粒徑(mm)	0.62	0.63	0.63	0.67	0.638	0.55
均勻係數	1.53	1.59	1.52	1.64	1.57	1.50

5.本場對原水、沉澱水和過濾水等採樣後，委託七區檢驗室進行總有機碳含量檢測分析結果如表 2 所示，總有機碳含量略高。

表 2 原水、沉澱水和過濾水總有機碳檢測結果

水樣別	原水	沉澱水	過濾水
總有機碳含量(mg/L)	1.30	1.50	1.70

6.本場對原水、沉澱水、快濾池前段反沖洗水和快濾後段反沖洗水等採樣後，委託交通大學防災與水環境研究中心進行水中 DOC、藻種及藻類細胞數量檢測分析結果如表 3。

綜合上述分析和一系列檢測結果發現，原水中藻類數量為 1200 cell/mL，經沉澱池後末端出水藻類數量為 1467 cell/mL 並無沉澱去除效果，各種藻類細胞大小介於 10~30 μm，容易大量累積於快濾池濾層表面(快濾池前段反沖洗水藻類數量為 10400 cell/mL)，應是造成快濾池濾層嚴重阻塞的主要原因。

由於本場之原水源自曾文水庫放水至烏山頭水庫經嘉南大圳南幹線重力引入，因此無法針對水源進行源頭控管處理，以降低引入原水中藻類的數量，只能在淨水場內進行末端處理，希望能在沉澱水流入快濾池之前將藻類盡量去除，避免造成快濾池濾層阻

塞。

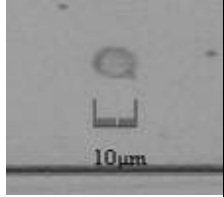
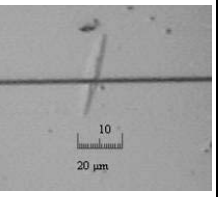
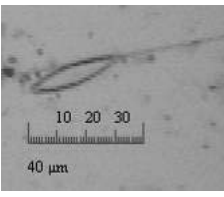
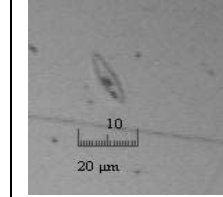
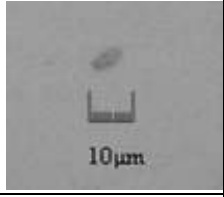
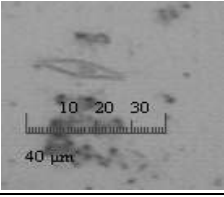
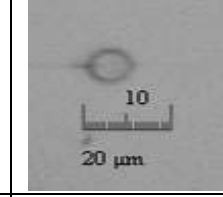
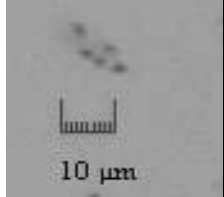
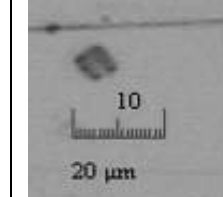
在參考寶山給水廠快濾池嚴重堵塞之研究實例(林氏，2009)及學者專家指導建議下，本場有關人員共同研議出三個可能去除原水中藻類方法：

- 1.提高前加氯(次氯酸鈉)劑量，殺死原水中藻類後，再加入粉狀活性碳和混凝劑(液體硫酸鋁)一起進行混凝沉澱，利用粉狀活性碳吸附藻類及其分泌物質，經沉澱池沉澱去除。
- 2.改以高錳酸鉀作為前加氯消毒藥劑，氧化殺死原水中藻類後，再加入混凝劑(液體硫酸鋁) 經混凝沉澱去除藻類。
- 3.改以鐵系 40% 氯化鐵(FeCl₃)作為淨水混凝藥劑，使混凝產生較大膠羽顆粒和藻類在沉澱池沉降去除。

上述前兩種方法中，所需添加之粉狀活性碳和高錳酸鉀兩種藥劑，必須重新辦理採購，採購時效不及，且本場以往並無添加之粉狀活性碳和高錳酸鉀等藥劑之加藥經驗，因此暫不考慮採用。另本場為改善清水中殘餘鋁含量問題，曾於 101 年 11 月 26 日至 12 月 15 日期間在嘉南藥理科技大學團隊協助下，進行混凝劑變更為鐵系 40% 氯化鐵實場添加之經驗，且本處(六區)物料課已完成氯化鐵採購契約，因此決定採用第三個方法，改以鐵系 40% 氯化鐵(FeCl₃)作為淨水混凝藥劑。

表 3 原水、沉澱水、反沖洗水藻類檢測結果

採樣日期：102.03.25

水樣類別	原水	沈澱水	快濾池前段反沖洗水 [#]	快濾池後段反沖洗水 [#]
DOC	1.61 mg/L	2.75 mg/L	2.78 mg/L	1.58 mg/L
藻數	1200 cells/mL	1467 cells/mL	10400 cells/mL	1400 cells/mL
藻種	球藻*、菱形藻、卵囊藻、鼓藻、針桿藻、微囊藻	球藻*、菱形藻*、顫藻、舟型藻、鼓藻	球藻*、菱形藻*、顫藻、舟型藻、鼓藻、卵囊藻	球藻*、菱形藻*、舟型藻、鼓藻、直鏈藻
	卵囊藻	舟型藻	舟型藻	舟型藻
				
	菱形藻		舟型藻	球藻
				
	微囊藻			鼓藻
				

*：優勢藻種

#：快濾池前段反沖洗水：指快濾池開始反沖洗後約 1 分鐘之反沖洗水。

#：快濾池後段反沖洗水：指快濾池反沖洗結束前約 1 分鐘之反沖洗水。

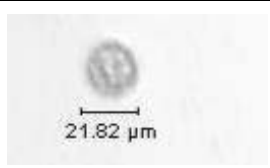
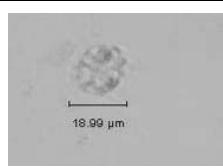
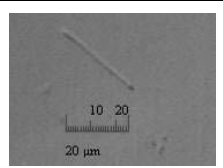
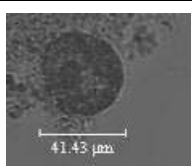
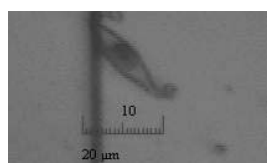
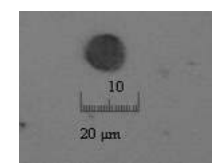
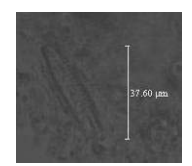
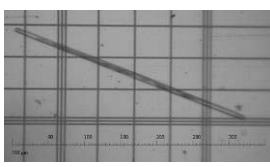
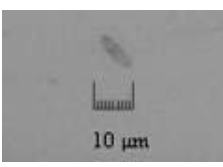
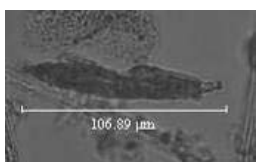
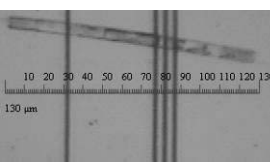
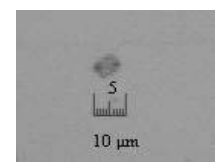
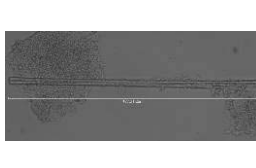
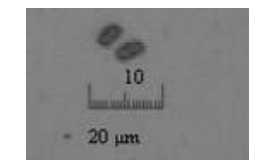
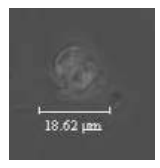
四、成果分析

在 40% 氯化鐵辦理檢驗合格後，於 102 年 4 月 1 日至 14 日期間進行半場(一期) 混凝劑變更為鐵系 40% 氯化鐵實場添加後，102 年 4 月 3 日再次對原水、沉澱水、快濾池前段反沖洗水和快濾後段反沖洗水等採

樣，進行 DOC、藻種及藻類細胞數量檢測分析結果(如表 4)，原水中藻類數量為 2200 cell/mL，經沉澱池後末端出水藻類數量降低為 467 cell/mL，藻類在沉澱池的沉澱去除效率達 78.77%，快濾池濾層嚴重阻塞問題，獲得大幅改善，反沖洗頻率減少，淨水處理水量亦明顯增加(如圖 8)。

表 4 潭頂淨水場原水、沉澱水、反沖洗水藻類檢測結果

採樣日期：102.04.03

水樣類別	原水	沈澱水	快濾池前段反沖洗水	快濾池後段反沖洗水
DOC	1.67 mg/L	2.47 mg/L	8.29 mg/L	2.57 mg/L
藻數	2200 cells/mL	467 cells/mL	3333 cells/mL	867 cells/mL
藻種	小環藻*、針桿藻*、菱形藻、鼓藻、舟型藻、裸藻、腎形藻、直鏈藻	小環藻*、針桿藻、菱形藻、鼓藻、裸藻、直鏈藻	小環藻*、顫藻、針桿藻、鼓藻	小環藻*、鼓藻、舟型藻、針桿藻
藻類 圖片	小環藻	小環藻	顫藻	小環藻
				
	舟型藻	裸藻		舟型藻
				
	肘狀針桿藻	菱形藻		舟型藻
				
	直鏈藻	鼓藻		肘狀針桿藻
				
腎型藻			鼓藻	
				

*：優勢藻種

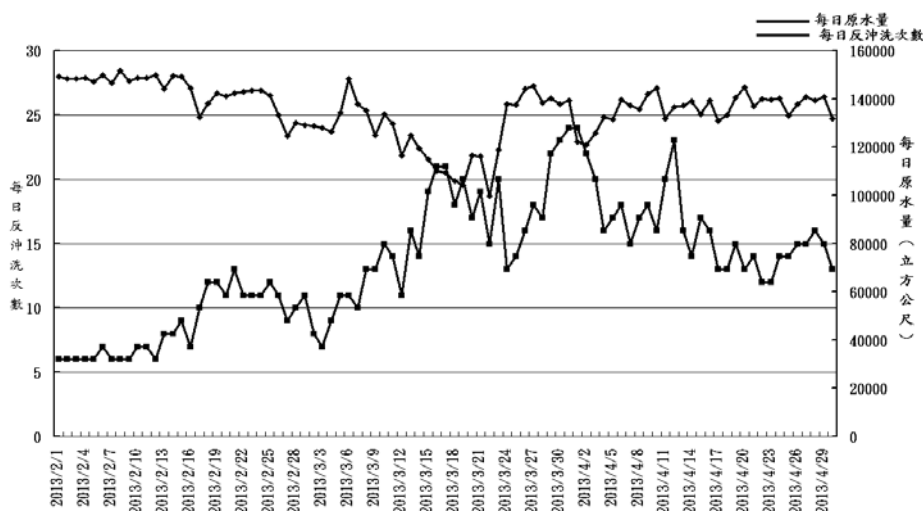


圖 8 102 年 2-4 月每日快濾池反沖洗次數與原水量統計圖

五、結論

- (一)造成快濾池濾層嚴重阻塞的主要原因，是原水中細胞大小介於 $10\sim 30\mu m$ 的各種藻類大量繁殖增生，經混凝沉澱仍無法有效沉澱去除，因而流入快濾池後在濾層表面堆積，造成濾層之過濾孔隙快速阻塞。
- (二)潭頂淨水場在 2 月至 4 月期間，原水低濁度 (10 NTU 以下)且各種藻類大量繁殖增生情況下，若採取加強混凝操作，提高混凝劑(液體硫酸鋁)之加藥率，是無法以混凝沉澱方式去除藻類。
- (三)變更混凝劑為鐵系 40% 氯化鐵進行實場添加混凝，進入沉澱池後可有效沉澱去除藻類數量達 78.77%，減輕快濾池濾層負荷，大幅改善快濾池濾層嚴重阻塞問題。

六、誌謝

林志麟博士和交通大學防災與水環境研究中心協助進行水中 DOC、藻種及藻類細胞數量檢測分析工作，在此特別表示感謝。

參考文獻

- 1.高肇藩，1990，給水工程（衛生工程，自來水篇），國立成功大學環境工程學系。
- 2.林志麟、袁如馨，2009，藻類特性及前氧化劑對藻類混沉及過濾移除之影響，中華民國自來水協會會刊，第28卷，第2期，16-26。
- 3.陳伯堦，2010，鯉魚潭淨水廠中快濾池去除水中藻類與藻類阻塞問題之模廠試驗研究，國立中興大學環境工程學系碩士論文。
- 4.邱莉婷，2010，淨水程序中快濾池去除藻類效能之研究，國立中興大學環境工程學系碩士論文。

作者簡介

林信忠先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處南化給水廠工程師兼股長

專長：自來水工程規劃及設計、淨水處理、水質檢驗及管理

郭得祿先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處台南給水廠工程師兼廠長

專長：自來水工程規劃設計及施工、自來水產製、水資源調配與管理

應用生物性混凝劑處理高濁度原水初步研究

文/郭玉樹、黃三益、廖偉宏、鄭蔚辰、陳克維

摘要

台灣地區因特殊的地理特性、集水區上游水土保持不佳及地震後地表土質鬆動等因素影響，每當夏季暴雨或颱風來臨時，洪水夾帶大量泥砂進入河川，造成水庫蓄水濁度遽升，有時甚至高達數萬濁度單位，超過自來水淨水場混凝沉澱程序處理極限，必需採取減量供水甚至停止供水的措施。因此，如何使自來水事業單位於高濁度原水期間，快速的降低原水濁度，且滿足飲用水安全標準，是目前水資源處理最重要的課題之一。飲用水處理單位為了快速解決高濁度原水的問題，常需進行混凝程序，目前公告可使用的混凝劑主要包括無機鹽類混凝劑及高分子凝聚劑兩類；其中，無機鹽類混凝劑處理高濁度原水效果並不理想，而高分子絮凝劑超量使用則可能影響人體健康。因此，現有之混凝添加劑均無法有效且快速解決高濁度源水之問題。本研究利用無毒性的幾丁聚醣搭配少量無機鹽的生物性混凝劑對澄清湖水庫現地土樣、高嶺土與渥太華標準砂所配製的高濁度原水進行杯瓶試驗，以瞭解生物性混凝劑之添加藥量對降低原水濁度之效果。試驗結果顯示，生物性混凝劑有良好的濁度去除效果；當原水濁度為 52000NTU(接近莫拉克颱風後最高濁度)時，只需添加生物性混凝劑 0.2ml/L，即可使原水濁度快速降至 25NTU，符合飲用水之水質標準(30NTU)；顯示生物性混凝劑應可提高淨水場混凝程序操作效率，使淨水場能在高濁

度原水期間持續供水。

關鍵字：幾丁聚醣、混凝劑、高濁度原水、濁度

一、前言

隨著台灣經濟發展及生活品質提高，民眾對飲用水之需求量及品質要求日漸提高，為了快速解決高濁度原水問題，目前常用方法為在淨水處理中添加混凝劑進行混凝程序。目前台灣淨水場公告許可添加之混凝劑可分為無機金屬鹽類如鋁鹽、鐵鹽混凝劑以及高分子凝聚劑兩大類，而其中又以鋁鹽為多，如硫酸鋁(明礬)及多元氯化鋁(PAC)，然而鋁鹽混凝劑於高濁度原水時處理效果不佳，往往需加大藥量，方能有效降低濁度；高分子凝聚劑雖能有效降低濁度，然因可能有致癌風險，故在國內外嚴格的限制使用並有最大使用劑量，由於過度攝取無機鹽類混凝劑及高分子凝聚劑，可能影響人體健康甚至造成永久性之損傷。近年來，幾丁聚醣(Chitosan)逐漸被應用於淨水處理中，其為一無毒性、具生物可分解性之天然高分子聚合物，相關研究指出，其也能單獨作為混凝劑並與無機金屬鹽類搭配，有與高分子聚合物類似的效果，卻不會有致癌風險，為一種新興的混凝劑，本研究即採用幾丁聚醣與少量之無機鹽類搭配之混凝劑，將其稱為生物性混凝劑。

為使颱風過後之高濁度原水快速降至符合飲用水水質標準，本研究利用生物性混凝劑對高濁度原水進行混凝程序，以降低高



濁度原水之濁度，同時評估不同土砂來源引致高濁度原水於添加生物混凝劑之效果。本研究預期目標為將所得之結果，可供淨水場於高濁度原水發生期間參考，以提高混凝操作效率，使飲用水品質提升及出水量增加。

二、淨水場之淨水處理流程

(一)淨水處理流程

一般淨水場之淨水處理流程如圖 1 所示，主要程序包含混凝、沉澱、過濾及消毒等程序，經處理達出水標準後才送往供水區，表 1 為我國環保署訂定之自來水飲用水質標準。其中混凝即為混凝藥劑添加之階段，主要去除對象為水中之膠體物質，亦為本研究主要針對之淨水處理流程。混凝又分為快混與慢混兩個步驟，原水加入混凝劑後在快混池中利用快混機高速攪拌，使藥劑迅速均勻分布，破壞膠體在水中的穩定狀態，並達到快速混合作用，使水中殘留雜質與所添加的藥劑充分結合，形成「粒子」的懸浮顆粒，此一步驟稱為「去穩定」過程，之後再進入膠凝池繼續緩慢攪拌，使粒子間相互

碰撞吸附逐漸變大變重後，形成所謂「膠羽」(Floc)的懸浮物質，此階段稱為「膠凝」過程，之後再引進沈澱池進行後續處理程序。

(二)混凝劑之種類及特性

據環保署公告，目前許可使用之混凝劑主要分為無機鹽類混凝劑及高分子凝聚劑兩大類。我國淨水場較常使用之混凝劑為多元氯化鋁、硫酸鋁、氯化鐵，其中鋁鹽混凝劑使用率約佔國內淨水場九成之多。不同混凝劑之選擇考量主要為混凝效果、藥品安全性、適用原水之 PH 值、膠體沉降及可濾性、污泥量之多寡及價錢等因素；而高分子凝聚劑為一種有機聚電解質，可有效去除水質濁度，具有用量少且 PH 值適用範圍較廣，對水中 PH 值影響不大，受鹽類及環境條件影響小、產生的污泥量少且脫水性佳等特性。但國內對於高分子凝聚劑之使用有其限制，當原水濁度大於 250NTU 時才可添加，且有最大加藥量限制。表 2 為不同混凝劑之優缺點比較，表 3 為各國對於高分子凝聚劑使用之時機與限制。

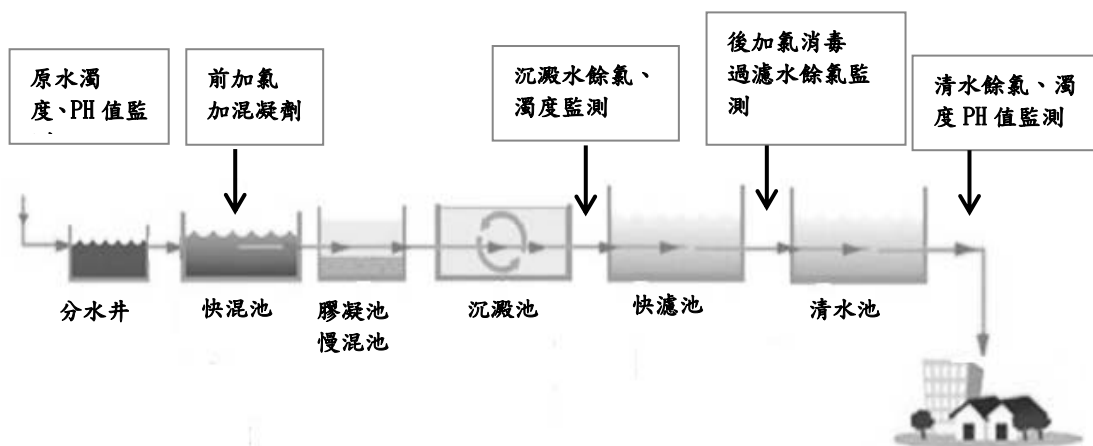


圖 1 淨水場淨水流程(台灣自來水公司)

表 1 自來水飲用水質標準

原水濁度(NTU)	清水濁度最大限值(NTU)
<200	2
200-500	4
500-1500	10
1500>	30

表 2 不同混凝劑優缺點比較[陳(2011)]

項目	鋁鹽	鐵鹽	高分子凝聚劑
成分	多元氯化鋁(PACL) 硫酸鋁(明礬)	氯化鐵	聚丙烯醯胺(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 Polyamines)
優點	價格低 效果穩定 無色度殘留	所需劑量少 膠羽密度高 PH 值範圍大(4~9)	不受 PH 值影響 污泥體積少
缺點	具有致病性 膠羽密度大 污泥體積大 PH 值範圍小(6~9)	價格高 具腐蝕性 易造成色度殘留	可能有致癌性、效果不穩定 原水濁度大於 250NTU 方能使用，且有添加量限制

表 3 各國使用高分子凝聚劑之時機及限制

	使用時機	聚丙烯醯胺		聚氯化己二烯二甲基胺		氯甲基一氧三環二甲基胺聚合物	
		最大添加劑量	單體含量	最大添加劑量	單體含量	最大添加劑量	單體含量
台灣	原水濁度大於 250NTU 時	1ppm	0.05wt%以下	10ppm	5wt%以下	20ppm	20ppm 以下
美國	取得州政府許可	1ppm	0.05wt%以下	10ppm	2000mg/Kg	10ppm	20ppm 以下
英國		1ppm	0.05wt%以下				
日本	禁止使用於飲用水處理						
瑞士	禁止使用於飲用水處理						

(三)生物性混凝劑

本研究所採用之藥劑為 Seattle Environmental Science and Technology, Inc.公司出產之 C-11 藥劑，其外觀呈淡黃色液狀，主要成分為幾丁聚醣搭配少量無機鹽類之幾丁聚醣藥劑。幾丁聚醣為幾丁質去乙醯化(deacetylation)所形成，製備流程如圖 2 所示。其去乙醯化後所裸露之胺基(-NH₂) [Al-Sinaiyah (2012)] 以及兩個活性羥基基團，為使幾丁聚醣具有各種活性之重要官能基，去乙醯化程度為幾丁聚醣形成的重要因子，它會影響幾丁聚醣溶解度及特性，當去乙醯化為 65%以上成為可溶於酸性溶液之天然陽離子高分子聚合物。幾丁聚醣可吸附油脂、膽固醇，可當做膳食纖維。而幾丁聚醣除了具備吸附特性外還具有其他特性，如在酸性之條件中其自由胺基(NH₂)會形成帶有正電荷之胺基(NH₃⁺)，故帶有抗菌活性(antibacterial activity)及止血特性[Sudarshan et al (1992)]。幾丁聚醣也具有生物可分解性，可以被人體血清中之溶菌酵素(lysozyme)所分解[Kjell et al (1997)]。由於幾丁聚醣為多功能對環境友善的現代材料，可應用領域非常廣泛，包括重金屬吸附劑、抑菌劑、機能性食品、化妝品、抗凝血劑、傷口膚料及人工皮膚等[張(2008)]。

近年來幾丁聚醣逐漸被應用於淨水程序上，因幾丁聚醣已被證實能有效的去除水中濁度、且能維持較少體積之污泥量[駱等(2009)]，故將其做為混凝劑取代傳統鋁鹽及人工合成聚合物，將可避免水中殘留鋁及合成聚合物對人體健康之影響及降低淨水程序之負荷。

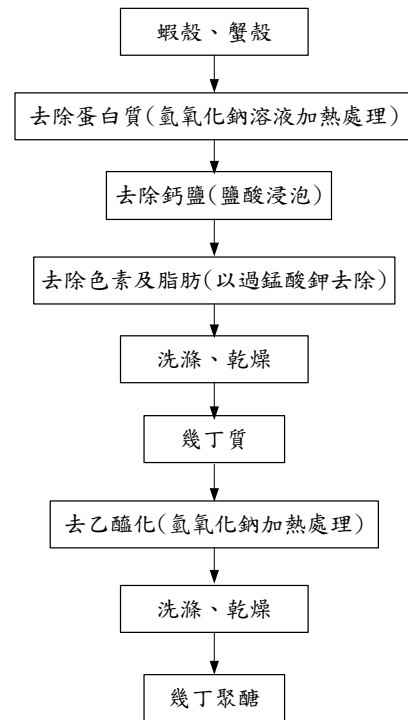


圖 2 幾丁聚醣製作流程

三、研究方法

(一)實驗方法與流程

本研究統計歷年颱風發生後之原水濁度，於室內配置對應之高濁度水體以模擬水廠所需處理之高濁度原水，並添加生物性混凝劑進行杯瓶試驗(Jar Test)，探討加藥量、攪拌速度、沉降時間對混凝程序去除濁度之影響。實驗流程如圖 3 所示，首先進行濁度配製材料之物理特性分析，再依實驗條件以人工配製出高濁度原水以進行杯瓶試驗，試驗條件如表 4 所示。於每一燒杯中以 150rpm(快混)之轉速下滴入生物性混凝劑，攪拌時間為 1 分鐘，隨後將轉速降至 50rpm(慢混)，並持續攪拌 5 分鐘，待其靜置 30 分鐘後(經本研究測試，實驗中選定之原水濃度條件下，加藥後之上澄清液殘餘濁度約在 25 分鐘後趨於穩定)，抽取上層澄清液進行濁度測定即完成原始資料量測。

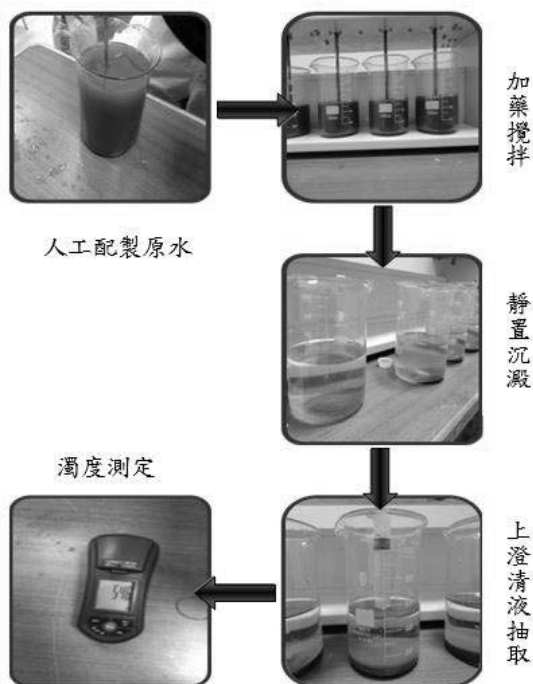


圖 3 杯瓶試驗流程圖

(二)實驗材料與高濁度原水配製

本研究用以配製高濁度原水之土砂材料為高嶺土。高嶺土為高凝聚性之土砂材料，主要用以評估生物性混凝劑對高嶺土造成之高濁度原水的濁度去除效果。高嶺土之比重為 2.7，主要成分為 SiO_2 和 Al_2O_3 ；本研究之試驗採用過 200 號篩之高嶺土土砂材料。

四、結果與討論

(一)濁度與泥沙濃度之關係

由於本研究使用之濁度計量測範圍僅能測量至 1000NTU，而配製出高濁度原水濁度則需上萬 NTU 以上，濁度計無法量測其濁度，故需藉由高嶺土土樣之濁度與濃度關係，先將高濁度原水以濃度 (PPM) 進行配製，實驗後再以濁度單位進行量測，以方便與飲用水水質標準比較。圖 4 為本研究中高嶺土之濁度與濃度關係圖，其中 T 表示為原水濁度，C 表示原水濃度。高嶺土之濁度與濃度關係呈現良好之線性關係。

(二)高嶺土對生物性混凝劑處理高濁度原水之影響

圖 5 為以生物性混凝劑處理高嶺土配成之高濁度原水其殘餘濁度變化圖。殘餘濁度定義為高濁度原水經杯瓶試驗後，靜置沉澱所得之上澄清液之濁度。圖中之結果顯示生物性混凝劑對於高嶺土配製之高濁度原水有良好之濁度去除效果，當添加藥劑量達

表 4 人工配製原水實驗設計條件

原水來源	濃度 (PPM)	加藥濃度 (ml/L)	攪拌方式	土樣來源
自來水	4000、5000、6000、7000、8000、9000、10000、11000、12000、30000、50000、70000、90000、110000	0.2、0.4、0.6、0.8	快混後再慢混 慢混	1.澄清湖土樣 2.高嶺土 3.標準砂
		特定幾個濃度將多進行 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0		
海水	5000、10000、30000、50000、70000、90000、110000	0.2、0.8	快混後再慢混	1.澄清湖土樣 2.高嶺土 3.標準砂

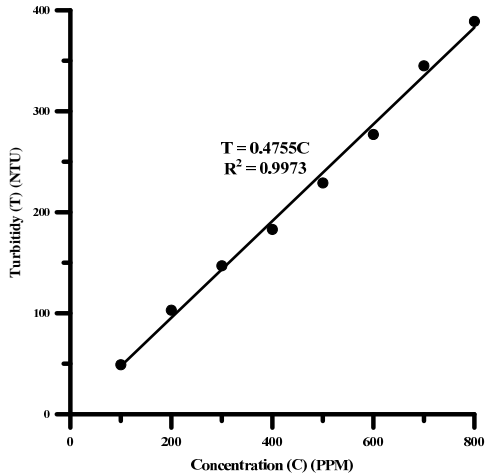


圖 4 濁度與濃度關係圖

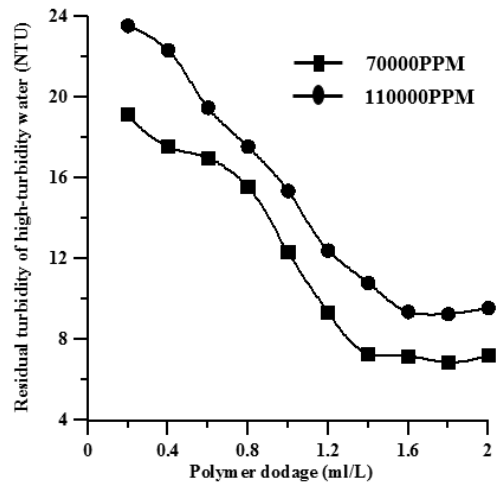


圖 7 生物性混凝劑加藥量對高嶺土樣原水殘餘濁度影響

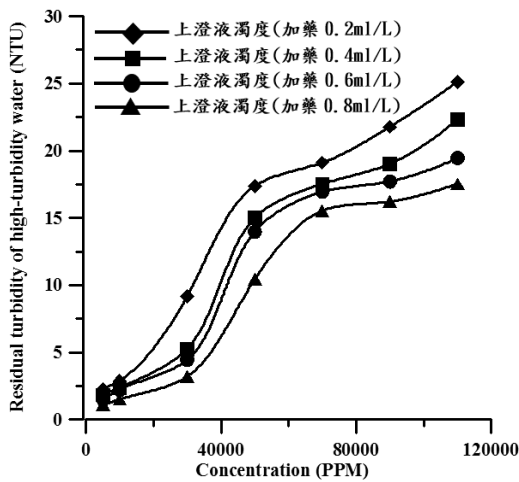


圖 5 生物性混凝劑對高嶺土混凝試驗殘餘濁度變化

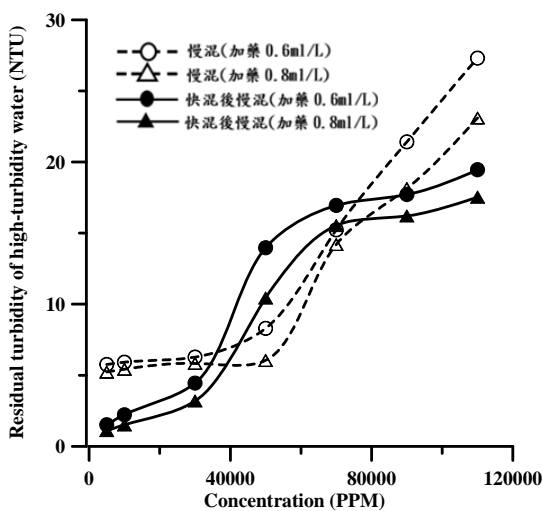


圖 6 生物性混凝劑對高嶺土樣混凝試驗攪拌方式比較

0.2ml/L 時，能使濃度 110000 PPM 以下之高濁度原水於混凝試驗後水中殘餘濁度降至飲用水水質標準。而原水殘餘濁度隨著加藥量增加而降低，加藥越多則原水濁度去除效果越好。然而，當加藥量接近生物性混凝劑之最佳濁度去除效果時，水中殘餘濁度將無法繼續降低。如圖 5，當加藥量增加時，殘餘濁度之變化曲線並無明顯趨於穩定，表示並未達到最佳濁度去除效果。

將圖 5 透過圖 4 所得之濁度與濃度關係將濃度轉換為濁度單位。由圖 4 可知高濁度高嶺土原水在濃度 110000PPM 下約 5 萬 NTU。高嶺土土樣在濁度 15000NTU 以下，生物混凝劑加藥達 0.2ml/L 時即能使原水殘餘濁度降至 10NTU 以下，符合飲用水標準濁度 30NTU 以下。高濁度高嶺土原水於濁度 10000NTU 以上時，生物性混凝劑濁度去除效果降低，當加藥達 0.8ml/L 時殘餘濁度曲線斜率同樣甚大，濁度去除效果稍差。

(三)攪拌方式對原水濁度降低效果之影響

本節將模擬實際水廠之混凝方試進行試驗，先對高嶺土土樣原水進行快混 1 分鐘

後再慢混 5 分鐘，並另進行慢混 15 分鐘之試驗以比較不同混凝方式對生物性混凝劑去除濁度效果之影響。圖 6 為生物性混凝劑加藥量 0.6ml/L、0.8ml/L 對高嶺土土樣原水進行不同攪拌方式混凝試驗之殘餘濁度變化。圖中可明顯看出快混後再慢混的攪拌方式比單獨慢混有更好的濁度去除效果。

(四)生物性混凝劑加藥量對高濁度原水混凝試驗分析

圖 7 為生物性混凝劑加藥量對高嶺土土樣原水之殘餘濁度影響。圖中為濃度 70000 及 110000PPM 之高濁度原水，於試驗中逐步將藥劑從 0.2ml/L 添加至 1.6ml/L。整體而言，加藥量越高其濁度去除效果越好。圖中可看出每一濃度原水有其極限殘餘濁度，當原水殘餘濁度達到此極限時，即使增加藥劑量也無法再使濁度降低。

五、結論

針對我國淨水場於颱風暴雨期間高濁度原水引致之供水問題，本研究以生物性混凝劑對高濁度原水進行混凝試驗。由混凝試驗結果得結論如下：

1. 生物性混凝劑於混凝試驗中對高濁度原水有極佳之濁度去除效果，當原水濁度小於 15000NTU 時，加藥量 0.2ml/L 即可使水中殘餘濁度降至約 5NTU 以下，滿足飲用水水質標準，並減輕淨水廠後續處理程序之負擔。
2. 杯瓶試驗中混凝效果之優劣與攪拌方式有很大的關係。由研究結果知模擬水廠之攪拌方式比單獨慢混之濁度去除效果更好，

但於本研究中慢混之方式仍能使濃度 110000PPM 以下之原水殘餘濁度降至符合飲用水標準(30NTU)。

3. 當生物性混凝劑達最佳之濁度去除效果時，原水中殘餘濁度趨於穩定，不會有再穩定現象發生。

參考文獻

1. Al-Sinaiyah, P.O. (2012). " The use of chitosan as a coagulant in the pre-treatment of turbid sea water" , Journal of Hazardous Materials, Vol. 233, pp. 97-102.
2. Gauthier, E., Fortier, I., and Courchesne, F. (2000). " Aluminum forms in drinking water and risk of Alzheimer' s disease" , Journal of Environmental Research ,Vol. 84, pp. 232-246.
3. Knorr, D. (1984). " Use of chitosan polymers in foods challenge for food research and development" , Journal of Food Technology, Vol. 38, pp. 85-97.
4. Kjell, M.V., Mildrid, M.M., Ragnhild, J.N.H., and Olav, S. (1997). " In vitro degradation rates of partially n acetylated chitosans in human serum" , Journal of Carbohydrate Research, Vol. 299, No. 1, pp. 99-101.
5. Lin, J-L , Huang , C-P, Pan , J-R,Wang , and D-S. (2008). " Effect of Al(III) speciation on coagulation of highly turbid water" , Journal of Chemosphere, Vol. 72 , pp. 189-196.
6. Luig, R., Annamaria , D. G., Marialuisa G., and Vincenzo B. (2008). " Coagulation chlorination of surface water: A comparison between chitosan and metal salts" , Journal of Separation and Purification Technology, Vol. 62 , pp.79-85.
7. Sudarshan, N.R., Hoover,D.G., and Knorr, D. (1992). " Antibacterial action of chitosan" ,

Journal of Food Biotechnology, Vol. 6, pp. 257-272.

8. 翁韻雅(2003)，以高分子凝集劑處理高濁度原水研究，國立成功大學碩士論文。
9. 陳富鈴(2011)，以幾丁聚醣及鋁鹽凝劑處理高濁度原水之研究，國立台灣大學碩士論文。
10. 張煥獎，江建忠(2007)，南化廠高濁度時凝劑及助凝劑之應用，台灣省自來水公司研究報告。
11. 張煜欣(2008)，含幾丁聚醣吸附劑的製備與特性研究:重金屬移除，國立交通大學博士論文。
12. 駱尚廉審訂(2009)，栗田工業株式會社編著，水處理技術。

作者簡介

郭玉樹先生

現職：國立成功大學水利及海洋工程學系助理教授
專長：天然災害防治、海洋再生能源、海域大地工程

黃三益先生

現職：國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
專長：淨水處理

廖偉宏先生

現職：國立成功大學水利及海洋工程學系研究生
專長：數值分析

鄭蔚辰先生

現職：川尚股份有限公司
專長：污染物處理、水資源工程

陳克維小姐

現職：國立成功大學水利及海洋工程學系研究生
專長：數值分析、海域大地工程

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

98 年 2 月 10 日第十六屆理監事會第十次聯席會議審議通過(99 年 5 月部分修正)

一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文，以提升本會會刊研究水準，特設置本項獎勵辦法。

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中評定給獎論文，最多三篇，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，推薦 6-9 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5~7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評，選出給獎論文，報經本會理監事會議遴選核定後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

台灣本島海淡水源納入自來水系統營運之可行性探討

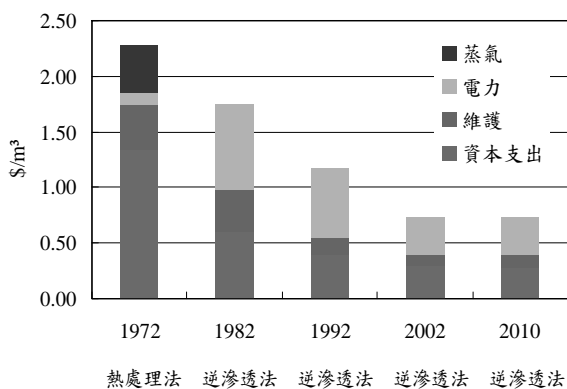
文/蔡善潔、林冠伯、蔡文魁、李丁來

一、海淡水之定義

依「新興水源發展條例」(草案)規定，新興水源涵蓋雨水、海水、污水及廢水。海水之定義係海域內位於平均低潮位以下，海床地面以上之水。而海淡水，係指海水淡化經處理所產生可利用之水，屬新興水源之一。

不同於再生水及貯留雨水，海淡水為現階段已直接使用於飲用水及生活用水的新興水源。然受到處理技術及材料的限制，現階段的處理成本仍較傳統地面水及地下水為高。

惟現今用水需求之成長漸超越傳統水源之開發速度，且傳統水源開發之難度漸增，相對海水淡化隨著材料及處理技術進步，建設及營運成本已較三十年前大幅降低。相較於成本漸增的傳統水源，若有適當的水價背景，將海淡水納入供水水源屬可行，如圖 1 所示。



*Water costs for San Diego, Monterey, Perth, Sydney, and Barcelona

資料來源: Water Reuse Association, Seawater Desalination Costs White Paper September 2011; Revised January 2012

圖 1 逆滲透海淡成本趨勢

二、海淡水納入自來水系統營運之可行性評估

(一)法律方面

目前與海淡水開發及利用相關之法規包括：新興水源發展條例(草案)、飲用水管理條例、飲用水水源水質標準、飲用水水質標準、自來水水質標準及環境影響評估法。現階段海淡水屬飲用水管理條例第三條第二項第三款：其他經中央主管機關指定水體之飲用水水源。且依據環境影響評估法「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第 13 條第一項第二款：「海水淡化廠興建或擴建，申請每日設計出水量一千公噸以上。」應實施環境影響評估。

(二)財務方面

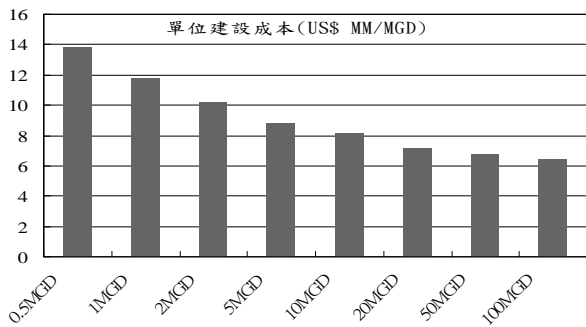
由於海淡廠的建造及營運成本受設計規模影響，處理量小於 1 萬 CMD 者，其建造及營運成本達設計量 2 萬 CMD 者的兩倍以上，故設計規模應以 2 萬 CMD 以上較具經濟效益。以現階段國內海淡廠計畫為例，新竹海水淡化廠及桃園海水淡化廠的設計規模皆為 3 萬 CMD，七股鹽田廠址海淡廠設計規模為 10 萬 CMD，惟建造及營運成本均介於 15~17 元/ m³ 之間(詳表 5)，海淡水之產水成本約 31~32 元/ m³。以台灣自來水公司(簡稱台水公司)於澎湖海淡廠實際運作經驗，因設計產水量規模不同影響，攤提建造成本後之產水成本從 34.41 元/ m³ 到 92.93 元/ m³ 不等。

現階段海淡廠在成本上遠高過傳統處

理成本，若欲推行海淡水納入自來水系統營運，其外在條件及財務面須符合以下幾點：

1.海淡廠設計規模應大於 2 萬 CMD

由於海水淡化具有高建造成本及高營運成本的特性，且在能源耗用方面會因淡化處理設計不同而呈現差異。由文獻資料顯示，海淡廠若設計規模過小，無論是在營運或是建造成本上效益皆屬偏低(如圖 2 所示)，惟當海淡廠設計規模大於 2 萬 CMD，其單位造水成本及營建成本變化則趨於平緩與設計規模無明顯關係，故海淡水製程的推行應將最適成本列為必要考量。



資料來源: Water Reuse Association, Seawater Desalination Costs White Paper September 2011; Revised January 2012

圖 2 海淡水廠設置規模及單位處理成本之關係

2.合理水價或政策性補貼

由表 1 可知，現階段國內海淡水產水成本約 31-32 元/ m³，比傳統原水+淨水成本約 10.9 元/ m³ 多出 20.1-21.1 元/ m³，故宜合理反應於水價或以政策面補貼價差，以利海淡水之推動。

以海淡水產水成本約 32 元/ m³ 為例，與傳統原水+淨水成本約 10.9 元/ m³ 比較，超出達 21.1 元/ m³，當海淡水供應量在總供水量佔有的比例每提升 1%，基於替代成本考量，相對應提高 0.211 元/ m³ ((32 元/ m³-10.9 元/ m³)*1%)在水價成本上。

若改採以工業區等需提送用水計畫單位為海淡水供應對象，則可採行差別計價方式，以較低的申請用水門檻提供大量用水戶足量的水源，並由用水對象負擔較高的產水成本，或視用戶端需求提供品質稍低但低價的海淡水藉以達到使用者付費的目標。

爰實務上反應合理水價尚需考量變動成本之複雜性因素。

表 1 澎湖地區海淡成本概況

場別	經營模式	契約建造成本	契約購水成本 ¹	目前購水成本 ²
馬公海淡一廠 4500 噸+5500 噸	BTO+ROT	10.41 元/ m ³ (扣除公務預算投資 3.5 億)	24 元/ m ³	24 元/ m ³ (營運後 34.4 元/ m ³)
馬公海淡一廠 3000 噸	購入清水	-	32.80 元/ m ³	43.94 元/ m ³
望安 400 噸 海水淡化廠	ROT	27.60 元/ m ³	65.33 元/ m ³	65.33 元/ m ³ (營運後 92.93 元/ m ³)
西嶼 750 噸 海水淡化廠	BTO	公務預算投資 1.89 億	42.50 元/ m ³	48.70 元/ m ³

1 契約購水成本—海淡廠規劃設計時預估之成本。2 目前購水成本—海探廠實際營運期間之成本。

3.具擴充性/調整性的硬體設計

伴隨淡化技術及材料的進步，相較於二十年前，海水淡化所耗費的電力及產水成本已大幅降低，適當的汰換及更新機制，可提升既有硬體之性能，且有助於降低營運成本，並提升供水品質。

(三)實務方面

1.新加坡 Tuas 海水淡化廠，設計量為 13.6 萬 CMD，可供應新國約 10%的用水需求。興辦方式以公私夥伴關係(Public Private Partnership, PPP)為基本架構，由 PUB (新加坡公用事業局，全名為Public Utilities Board) 與 SingSpring 公司簽訂「設計—建造—擁有並經營(Design-Build-Own and Operate, 以下簡稱 DBOO)」契約，並由該公司供應海淡水 20 年，於營運結束後轉移資產給政府。水價方面，商業用水及家庭用水每月小於 40 立方公尺者係以 1.17 新元/ m³ (約 26 元新臺幣)計算，但對於家庭用水，每月超過 40 立方公尺者，水價則為 1.40 新元/ m³ (約新臺幣 32 元)，目前新加坡水價約新台幣 30~80 元/ m³。

且為有效達到水資源管理的統一調度及管理，新加坡以單一單位與組織(PUB)執掌水資源有關供水、排水及污水整合性的政策與推動工作。PUB 隸屬於新加坡環境及水資源部(Ministry of the Environment and Water Resources)，新加坡政府通過「公用事業法」，賦予 PUB 廣泛、完善且獨立的規制權力，其權責統一可避免跨部門間整合所衍生的問題與計畫推動上的難題。

2.以澳洲 Perth 海水淡化一廠為例，產水量可達 13 萬 CMD，並可擴充到 25 萬 CMD，可提供 Perth 地區 70%的用水需求，海淡水購

入價格為 0.48 美元/ m³，目前澳洲水價約新台幣 32~36 元/ m³。

營管方面，澳洲政府係透過傳統採購模式，將具有公共性的基礎設施工程承包給民間機構參與，而有關具公共性的服務則採取外包(Outsourcing)方式與民間機構建立起服務購買的契約；為有效引進民間機構的效率與活力，並有效降低投資成本，澳洲政府於 2008 年 11 月 29 日公佈國家公私夥伴關係政策與指針 (the National Public Private Partnership Policy and Guidelines, 以下簡稱 NPPPPG)。

Victorian 海水淡化計畫係以 NPPPPG 模式興辦，由得標廠商 AquaSure 集團參與設計、興建與營運，並負責融資計畫，模式為設計、融資、興建、營運與維護 (design, finance, construction, operation and maintenance, DFCO)。AquaSure 集團需於合約期限內提供海淡水給維多利亞政府，水源供應與利用的權利為州政府所擁有，AquaSure 集團僅擁有海水淡化廠計畫相關的資產，並未擁有海淡水使用或利用的權利，其目的在於保障水源使用的公眾性。

3.目前以色列水價約新台幣 40 元，以色列 Ashkelon 海水淡化廠，海淡水產量可達每年產 1 億 m³ (約 273,972 m³/日)，係以 25 年營運契約的 BOT 方式由特許公司辦理，並保證以 0.527 美元/ m³ (約新台幣 18 元/ m³) 向特許公司收購淡化水，其中固定成本(海水淡化廠的建造成本，操作營運之固定成本以及利潤)約佔 58%、變動成本(能源費用，操作營運之變動成本，薄膜與化學藥品費用及利潤等)則佔 42%。

海水淡化廠的規劃主要是由以色列水

及淡化管理局(the Water and Desalination Authority,WDA)負責整個計畫的監督與管理工作,該局(WDA)係由以色列水務管理局、財政部會計處、財政部預算處及國家基礎建設部代表所組成。透過公私夥伴關係(PPPs)的方式以「興建－營運－擁有－移轉)Build-Own- Operate and Transfer,BOOT)」或者是「興建－營運－擁有(Build-Own-Operate,BOO)」2種模式進行新興水源服務的採購。

綜上而論,新加坡、澳洲及以色列的海淡水推動系統及體系皆有「授權單一單位全權處理」、「以政策或利基提升團隊配合度」及「水價條件足以支持/鼓勵新興水資源發展」的共通點。

依據國內促參法,民間機構可參與公共建設之方式詳如表 2,目前台水公司採行的促參方式以有償 ROT(擴建整建－營運－移轉)、有償 BTO(興建－移轉－營運)及政府採購法第 99 條為主,三者皆由民間負責

投資興建及營運,且民間機構可於計畫期間藉由營運回收建造及營運成本,具有「權責較單純」及「民間機構獲益較穩定」之特色。

在決策層面,由於海淡水運用權責、土地取得、設計、建造、營管及監督的分工,尚無既定作業標準可循,導致推行工作欠缺整體性。

故建議國內應優先調整海淡水推行單位之權責分配,並培養專業團隊以提升分工及執行效率。

(四)政策方面

就目前台水公司離島地區已營運之海淡水廠,除馬公一廠—3000CMD 海淡水場屬政府採購法第 99 條方式辦理外,馬公一廠—5500 CMD 海淡水場採有償 BTO 方式辦理,馬公一廠—4500CMD 海淡水場、望安 400CMD 海淡水場皆採 ROT 方式辦理,然以往海淡水場之設立多屬政策性考量,致設計規模小、建造及營運成本皆較高,爰採取政策性補助,致未將成本完全納入台水公司供水成本計算,惟政策

表 2 民間機構可參與公共建設方式列表

參與方式	投資興建	營運期間		營運期屆滿後	
		所有權	營運	所有權	營運
BOT	民間	民間	民間(自行)	政府(移轉)	政府
無償 BTO	民間	政府(無償)	民間(受委託)	政府	政府(歸還)
有償 BTO	民間	政府(一次或分期給付)	民間(受委託)	政府	政府(歸還)
ROT	政府(現有) 民間(受委託、租賃、整、擴建)	政府	民間(受委託)	政府	政府(歸還)
OT	政府	政府	民間(受委託)	政府	政府(歸還)
BOO	民間	民間	民間	民間	民間
BO	民間	民間	民間	拆除	

性補助仍與現行水價存有價差，迭造成台水公司相當大的負擔。故後續於財務上無論是採行合理調整水價亦或於政策面落實補貼，皆應考量避免持續擴大台水公司之財務虧損。有關評估本島海淡廠納入自來水系統事宜之營管模式分析如下：

1. 台水公司自行操作及營運

係由台水公司自行營運管理，期間作維護、汰換、更新、災害發生之復建等及其他一切必要之費皆由台水公司自負盈虧。且自來水之供應相當敏感，承包商自行操作及營運可充分利用現有人力資源及其操作維護經驗，同時在經營管理費用上也必定較低(人力充分利用情況下)，惟鑒於營管期間之操作人力或維護、汰換、更新費用等業超出台水公司能力所及，爰應配合合理的水價調整機制或政策性補貼，並提供足量之收益和人力編制才具可行性。

2. 設備另行委託專業公司代操作

計畫工程完成後，由台水公司委託民間單位操作，期間維護、汰換、更新、災害發生之復建等及其他一切必要之費仍由台水公司自負盈虧。代操作公司除應符合資格外，海水淡化系統與既有傳統淨水系統(目前台水公司自行操作及營運者)間之處理水質界面問題，必須在雙方合約中明確訂定出互相處理水質之標準範圍，故委外辦理所需之後續營運及管理所需之成本較前者為高，仍須依賴合理的水價收益或政策性補貼因應。然長期評估，委託代操作方式在人力編配上具有較高的彈性。

3. 建造完成後海淡設備由承包商負責代操作再轉移業主自行操作營運

本方案乃建議又分為兩種情況，由承包

商於海水淡化處理設備完工且試運轉完成後繼續 3-5 年的短期代操作；在承包商代操作期間，業主自行選定有相當程度且經國外受訓之操作維護人員，實際全程參與這幾年之操作，以達成技術移轉之目的。若將代操作期限延長至 10~15 年以上，除技術轉移外，亦因代操作期間承包商須兼顧代操作之穩定性，期間可得到較佳的設備維護及維修品質。

4. 建造完成後由承包商負責全場之代操作

由承包商辦理設計、建造、營運及管理，可藉由合約明確訂定出處理水質、水量等管理標準，確保出水質量，且代操作期間維護及維修關係到承商操作營運效益及履約保證，亦可提升承包商在海淡水在技術及營運管理上改良的誘因。此外人力編配同 2. 方式，因採用之人力非屬編制，具有較高的彈性，僅需配合合理的水價調整機制或政策性補貼，確保台水公司之財務平衡即可。

為推廣海淡水使用之普及性，有效降低天然水源之依賴，減緩水源短缺的衝擊，為確保海水淡化廠長期經營之穩定，減緩水源短缺的衝擊，以統包工程建造完成後由承包商負責全場之長期代操作之模式為較佳方案，俾結合政府的使命及民間豐沛的資源、經驗、管理、專業能力及效率，提供民眾高品質的公共服務。

(五) 案例效益分析

由水利署公告之用水供需圖可知，目前以台南及桃園海水淡化廠列入興建方案較為可行。其中桃園海水淡化廠係以專供工業用水為導向規劃，而未來桃園地區之用水成長規劃由板二計畫供給因應；而台南地區預估至民國 120 年之工業用水將大幅成長，又

因規劃之曾文越域引水計畫暫緩進行，以致供水缺口及風險擴大，將影響大台南地區之用水調配。

參考經濟部水利署水利規劃試驗所，台南海水淡化廠可行性規劃-工程可行性規劃報告，規劃於台南七股鹽田廠址以每 10 萬 CMD 之規模興建海水淡化廠，其經濟效益、副產品效益及納入自來水系統可行性之評估說明如下：

1.經濟效益評估

(1)總工程經費：

海水淡化廠各項工程經費估算將參照行政院公共工程委員會所編撰之「公共建設工程經費估算編列手冊」進行估算。總工程經費共計 79.66 億元。建造成本共計 84.55 億元（詳表 3）。

海水淡化廠之操作維護費主要包括能源費用、人事費、土木機械與電器設施更新

表 3 七股鹽田廠址海淡廠工程經費估算總表

成本項目	工程費(億元)	備註
壹、設計階段作業費	0.62	直接工程成本之 3%
貳、用地取得及補償費	—	
一、漁業權補償費	0.51	需補償範圍面積約 128 公頃，每公頃以 40 萬元估計
二、用地取得費	0.29	取得價格 490 元/m ²
參、工程建造費	—	
一、直接工程成本	—	
(一)取排水及海事工程	16.25	取水管 ϕ 1750mm，L=3,440m，鋼管 排放管 ϕ 1500mm，L=4,240m，鋼管
(二)輸水工程	7.21	輸水管 ϕ 1350mm，L=9,725m，DIP 管
(三)海淡廠工程	37.11	分期產水規模：第 1 期 50,000CMD，第 2 期 50,000CMD
(四)施工安全衛生及環保措施	1.21	(一)~(三)項總合之 2%
小計(直接工程成本)	61.78	(一)~(四)項總合
二、間接工程成本	6.18	直接工程成本之 10%
三、工程預備費	6.18	直接工程成本之 10%
四、物價調整費	2.25	平均每年上漲 1.5%複利計算
肆、其他費用	1.85	直接工程成本之 3%
伍、總工程經費	79.66	壹~肆項之和
陸、施工期間利息	4.89	總工程費年息 3%複利估列
柒、建造成本	84.55	伍~陸項之和

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，台南海水淡化廠可行性規劃-工程可行性規劃

及維護費、藥品費、薄膜更換費及其他費用等，估算七股鹽田廠址海淡廠每年操作維護費約 5.68 億元（詳表 4）。

(2)年計成本：

年計成本係指在 20 年經濟分析年限內，每年平均分攤完工建造成本之固定年成本、營運期間之年營運費用等費用。其中固定成本包括利息、賠償基金，營運費用包括期中換新準備金、保險費及稅捐、運轉維護費等，以年利率率 3%估算公有公營採購法興

辦下，單位造水成本，結果詳表 5。

開發規模 10CMD 建造年計成本約為 5.54 億元，營運年計成本為 5.78 億元，單位營運成本為每立方公尺 15.82 元。單位供水成本為每立方公尺 30.99 元。

綜合上述，台南海水淡化廠工程（七股鹽田廠址）年計成本（含建造與營運成本）為 11.32 億元；年計效益包括每年售水收益約為 3.83 億元，本計畫供水直接效益之益本比僅 0.34。

表 4 七股鹽田廠址海淡廠年操作維護費用估算表

名稱	金額(元)/年	備註
1.能源費用	327,405,000	整廠所需電力估算，每 CMD 產水 UF 約耗電 0.3 kWh、RO 約耗電 2.4 kWh、其餘耗電 0.4 kWh、輸水耗電 0.8kWh，每度平均費用以 2.3 元估算
2.藥品費	38,325,000	主要為取水管線、加氯消毒、RO 清洗等設施之混凝劑、膠凝劑及抗垢劑等藥品費用
3.人事費用	18,900,000	包含廠長、行政、化驗人員共 4 位，技工、操作、維護人員及輪班人員 24 人，共計 28 人，平均每人年薪以 675,000 估算
4.土木、機械、電器設備更新及維修費	30,890,000	以工程經費之 0.5%估算
5.膜更換費	145,392,000	膜每 5 年重大更新 1 次，平常年度估列部分備用金
6.其他費用	7,200,000	清潔維護與清運、水質檢驗分析、設施校驗費等費用
合計	568,112,000	

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，台南海水淡化廠可行性規劃-工程可行性規劃

表 5 七股鹽田廠址海淡廠不同供水情境之年計成本預估表

項目	情境
年建造成本	規模 10 萬立方公尺，每日產水 10 萬立方公尺
利息(億元)	2.39
償債基金(億元)	3.15
小計(億元)	5.54
年營運成本	
維護運轉費用(億元)	5.68
保險及稅捐(億元)	0.10
小計(億元)	5.78
單位建造成本(元/噸)	15.16
單位營運成本(元/噸)	15.82
單位供水成本(元/噸)	30.99

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，台南海水淡化廠可行性規劃-工程可行性規劃

2. 副產品效益評估

本計畫台南海水淡化廠除了產水主要功能外，亦考慮鹵水再利用的可行性。

關於海淡廠鹵水再利用技術，目前仍皆處於研究階段，僅有製鹽為現階段較為可行的應用方式，除了以色列 Eilat 海水淡化廠排放鹵水與海水依特定比例混和後提供鄰近製鹽廠使用，天津北疆電廠海淡廠排放鹵水預計提供製鹽廠使用。但製鹽產品經濟價值偏低可能限制未來發展。

台灣製鹽發展自 17 世紀開始，至民國 70 年間因勞動成本偏高，台鹽總廠曾嘗試引進收鹽機械以降低成本，但因受限於天候條件，以及無法與低廉的進口曬鹽競爭，於民國 91 年 5 月宣告停止曬鹽，台南沿海鹽田從此閒置至今，國內僅有 1 座通霄精鹽廠以抽取海水配合電透析方式進行製鹽。海淡廠鹵水中含鹽濃度約為海水濃度 1.5~2 倍左右，看似優於引用海水的鹽田曬鹽。然以海水淡化廠日產淡水 3 萬立方公尺為例，產水率 50% 情況下之鹵水產量約每日 3 萬立方公尺，蒸發池深度若以 1 公尺估計，需要 3 公頃面積方可容納單日鹵水量；台灣西南沿海年平均蒸發量 2,000 毫米換算日平均蒸發量約 5.48 毫米，若單以日照蒸發方式約需半年時間方可將水分去除。考量土地面積需求與製鹽經濟效益，初步評估於台南地區不具商業應用可行性。

3. 納入自來水系統可行性評估

本案納入台南自來水系統之影響，詳列如下：

此區域供水係由南化淨水場以其優勢之操作水頭(高程 141M)採重力式送水至本

區及高雄地區供水，無須再加壓操作。

- (1) 若配合海淡廠輸送至混合池，以混合池暫定位址安南區其平均高程均在 10M 而言，自混合池需再設置抽水機加壓供水，勢將耗損寶貴位能，並改變供水區整體送水模式及操作，不但大幅增加動力費，日後維護費及重置費亦相形增加，不符節能減碳政策。
- (2) 以至少 5 萬 CMD 容量之混合池估算(池深以 5M 計)其面積需求至少 12,000M² 以上，就台南地區而言用地取得困難。
- (3) 配合混合池之設置，除須新設進、出水管及送水專管外，由於供水操作模式、送水方向與現況相反，致須變更現有管線口徑及辦理管線汰換，除因現有道路已佈滿地下管線施工困難外，勢將增加龐大經費，並對供水區產生大幅之衝擊及影響。
- (4) 由南化淨水場送至混合池其距離長達 50KM，供水路線長，將增加不必要之漏水損失並影響售水率。

綜上；海淡水納入台南自來水供水系統將嚴重混淆既有供水操作模式並增加作業及改善成本，此外，民眾之用水疑慮亦應納入考量。

海淡廠實屬耗能產業，以台水公司立場而言台南海水淡化廠不具經營投資效益，未來若納入台南供水區亦將對該區送水及操作造成重大衝擊，基於操作模式、營運成本、用水安全、民情向背等因素考量，若欲推動興建台南海水淡化廠建議以專管供應工業區以滿足工業用水缺口，並落實使用者付費原則，要求用水人分攤相關費用，為較可行之推動方式。

三、鹵水再利用之可行性

依據民國 89 年經濟部水資源局「海下技術季刊」所提供之鹵水特性表顯示(如表 6 所示)，鹵水成分主要受 RO 設備之產水能力影響，其鋰、鎂、鈉、鉀等成分濃度至多約一般海水 2 倍。而鹵水回收再利用方式多用於製鹽、水產養殖、生產次氯酸鹽等，近年更有利用鹵水濃縮精製碳酸鋰、氧化鎂等(前者為鋰電池的主要原料，後者則多應用於半導體產業製程上)。

以以色列 Eilat 海水淡化廠為例。Eilat 海淡廠產水規模約 1 萬 CMD，該廠將逆滲透處理後之排放鹵水送至鄰近之精鹽製

造公司，海水混合後製鹽，對製鹽廠而言，因取水鹽度增高，可節省約 15~20%能源與操作處理費。

然以台南海水淡化廠日產 3 萬 m³淡水為例，產水率 50%情況下之鹵水產量約 3 萬 CMD，蒸發池深度若以 1 公尺估計，處理單日鹵水量需土地約 3 公頃；台灣西南沿海年平均蒸發量 2,000 公厘換算，日平均蒸發量約 5.48 公厘，若單以日照蒸發方式約需半年時間方可將水分去除。考量土地面積需求與製鹽經濟效益，初步評估於台南地區不具商業應用可行性。

表 6 世界各地具代表性天然鹵水特性表

來源型態	國家	地點	Li ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
		一般海水	0.18	1,280	10,700	399
鹵水	美國	Clayton Valley	23	-	6,500	400
鹵水	智利	Atacama Salt Minesm	1,500	9,600	72,000	18,000
鹵水	中國	柴達木盆地	13	58,000	29,000	15,000
老鹵	中國	柴達木盆地(產光鹵石後)	13	12,000	1,200	300
海水	以色列	死海	20	4,000	30,000	6,000
湖水	美國	猶他州鹽湖	60	8,100	70,000	4,200
湖水	美國	Bonneville Utah	70	4,200	95,000	6,300
湖水	美國	Silver Peak Nevada	200	200	62,000	4,000
海水	美國	Salton Sea California	220	300	57,000	15,600
海水	台灣	台灣	0.18	1,280	10,700	399
鹵水	台灣苗栗	通霄精鹽廠	12.6	35,300	29,100	37,000
鹵水	台灣澎湖	馬公海淡廠	0.21	1,610	13,700	465
鹵水	台灣恆春	核三廠海淡廠	0.3	2,690	22,700	755

資料來源：經濟部水資源局「海下技術季刊」，民國 89 年

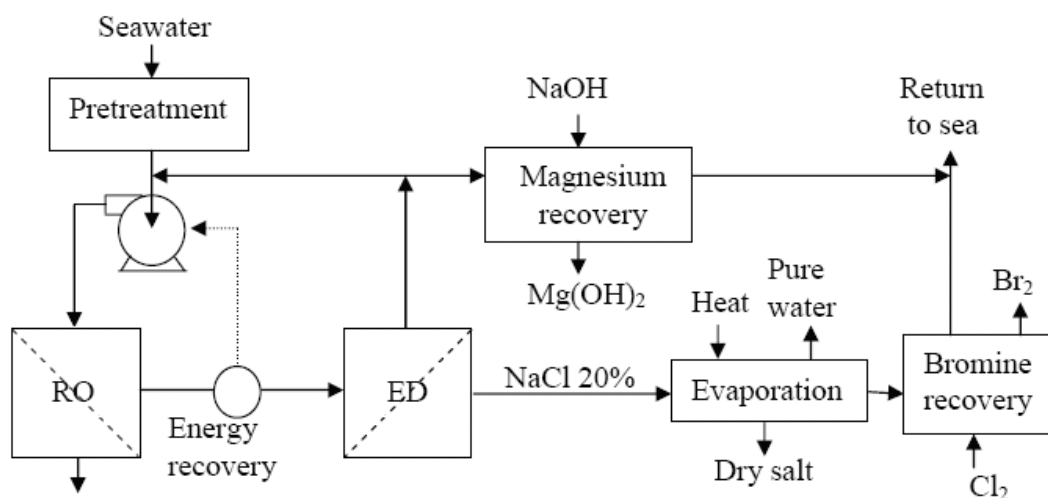


綜上，海淡鹵水再利用之推動應以較簡易的程序提供利潤較佳的副產品為主，以美國南卡羅來納大學 (University of South Carolina) 研究提出的鹵水零排放(ZDD, Zero Discharge Desalination) 系統為例，該系統主要係以電透析方式配合可分離單價離子的選透薄膜，將 RO 單元產生的鹵水含鹽量提升至 20%，並利用汽化及溶解度差異分離為蒸餾水、鹽及溴氣，並在流程中添加氫氧化

鈉與鎂離子產生氫氧化鎂(如圖 3 所示)。

藉由此程序處理後的排放水，除鉀與硫酸鹽外，鈉、鎂、鈣、氯、溴等離子濃度皆略低於一般海水，藉以減低排放造成的影響。

另外，台水公司委託台鹽實業股份有限公司與國立成功大學共同執行，於 1997 年所提出的「海水淡化廠排放液資源化之技術開發」報告內容建議案如圖 4。



資料來源：University of South Carolina Research Foundation, Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 111, May 2006

圖 3 鹵水零排放系統示意

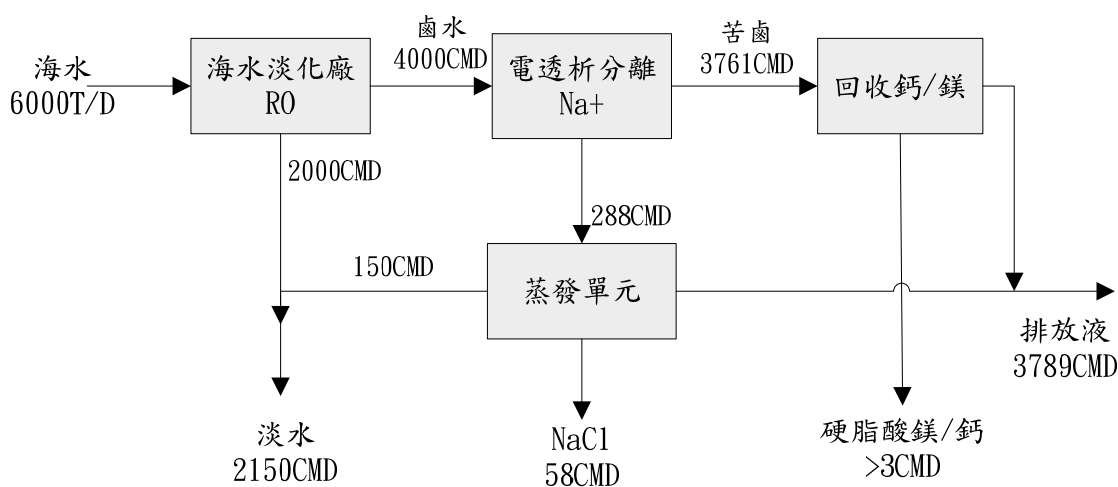


圖 4 海淡廠排放液資源化流程方案

主要係將 RO 系統排出的鹵水以電透析單元分離為單價離子較濃的製鹽用水及單價離子濃度較低的苦鹵，其中製鹽用排放液經蒸發單元可製得氯化鈉(鹽)產品及蒸餾

水，而苦鹵加入食用級硬脂酸並分離出硬脂酸鈣後，其排出液與蒸發單元產出的蒸餾水調合後，排放液的 TDS 將與海水相近，其成本概估如下：

1.電透析廠投資成本：

(1)建廠費用

產能	
3~4N 鹵水(CMD)	280
產鹽量(噸/年)	20000
投資(百萬)	
電透析設備	71.25
其他	17.5
設計、施工	7.5
試車	
運費	1.75
總計(百萬)	98

(2)操作成本

電力(度/公噸鹽)	270
動力費(以 2.5 元/度)	\$675
生產成本(元/公噸鹽)	
折舊(10 年直線折舊)	490
利息(10%)	490
維修(1%)	49
總計(元/公噸鹽)	\$1,704

2.蒸發單元投資成本：

(1)建廠費用

產能	
3~4N 鹵水(CMD)	280
產鹽量(噸/年)	20000
投資(百萬)	
蒸發單元	100
設計、施工、試車	5
運費	0.2
總計(百萬)	105.2

(2)操作成本

動力費(元/公噸鹽)	\$300
生產成本(元/公噸鹽)	
折舊(10 年直線折舊)	526
利息(10%)	526
維修(1%)	53
總計(元/公噸鹽)	\$1,405

3.產鹽成本評估：

(1)建廠費用(千元)

電透析單元	121000
蒸發單元	100000
混合+其他	4000
合計	225000

(2)操作成本(元/公噸食鹽)：

電透析單元	1,704
蒸發單元	1,405
混合+其他	44
合計	3,153

參照台水公司「海水淡化廠排放液資源化之技術開發」研究報告，若食鹽以每噸售價 790 元計算，生產每噸食鹽即虧損 2363 元(3153-790=2363(元))，而硬脂酸鈣以售價以每公斤 40 元計算，每公斤約有 8.644 元的利潤(40-31.356=8.644(元))。

雖然提高硬脂酸鈣的生產可提供較高的利潤，但在選擇鹵水回收之高價產物時，除生產效率及純化難易度外，亦應考慮其銷售管道及市場需求，且回收技術實際運用於大型海淡建設時，其生產率及經濟效益仍應進一步研究分析。

四、結論

(一)海淡水與經淨水處理後之地面水或地下水性質相當，均可符合飲用水水質標準，且 RO 薄膜處理流程，造成積垢或腐蝕問題亦有相對技術可解決。惟每單位之海淡水處理成本仍較目前自來水處理成本高出許多，將造成新興水源的服

(3)硬脂酸鎂/鈣單元(以鹵水處理量 2000CMD 為例)：

操作費用(元/每公斤硬脂酸鎂/鈣)	
原料	
食用級硬脂酸	19.15
氫氧化鈉	11.5
其他	0.27
電費	0.1
折舊(10 年直線折舊)	0.16
利息(10%)	0.16
維修(1%)	0.016
合計	31.356

務難與傳統的自來水競爭，又海淡水與現行水價之價差迭造成台水公司相當大的負擔。

(二)海淡水納入自來水系統之營管，除政策面應落實合理水價或政策性補貼外，於海淡廠計畫階段尚應審慎考量最適成本，另具擴充性/調整性的硬體設計亦是推動新興水源的必需條件。

(三)若欲將海淡廠納入自來水系統營管，初評以建造完成後由專業廠商負責全場操作方式較適當，除可加強海淡技術，更可結合私部門技術資源及效率，維持供水安全穩定，輔以明確的契約規範加強承商在營運效益及履約保證能力改善的誘因。俾結合政府的使命及民間豐沛的資源、經驗、管理、專業能力及效率，提供民眾高品質的公共服務。

(四)鹵水再利用部分，以計畫中的台南海淡廠為例，若採行傳統曬鹽方式，考量其土地面積需求及製鹽經濟效益，初步評

估不具商業應用可行性。而採納鹵水零排放系統之概念，雖可提供利潤較佳之副產品並降低鹵水排放之影響，然副產品的選擇上應審慎考量其生產效率、純化難易度、銷售管道及市場需求，故實際應用於大型海淡設備時，其效益應進一步研究分析。

五、建議

- (一)海淡產水成本依其規模而異，與目前自來水產水成本相較仍偏高，其規設應審慎考量最適規模，若納入自來水系統，將影響聯通之供水管網，應考量設置專管及配水池，以緩衝供水水質及水量變動，所需建設及操作營運費用，應一併納入計畫考量。
- (二)為落實使用者付費原則，海淡水之水價與現行自來水售價之價差，建議由使用單位支付，若考量整體水資源調配運用，或考量可由公務預算補貼，不宜由台水公司自行吸收，而擴大財務虧損。
- (三)海水經脫鹽淡化處理後的海淡水，可直接作為工業與民生的使用，現已於離島澎湖等地區正常運作，台水公司可積極配合政府未來規劃運用海淡水之政策方向，妥為研議具體之經營策略，並預作各項必要條件之準備，以期減緩傳統水資源開發之壓力。

參考文獻

1. Water Reuse Association, Seawater Desalination Costs White Paper September 2011; Revised January 2012
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，台南海水淡化廠可行性規劃-工程可行性規劃，民國100年12

月

3. 經濟部水利署，政府採購民間新興水源服務模式之研究，民國100年11月
4. 經濟部水資源局，海下技術季刊，民國89年
5. University of South Carolina Research Foundation, Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 111, May 2006
6. 台灣自來水公司，海水淡化廠排放液資源化之技術開發，民國86年8月

作者簡介

蔡善潔女士

現職：台灣自來水公司第九區管理處工程員

專長：水權管理、淨水處理

林冠伯女士

現職：台灣自來水公司供水處工程員

專長：土木工程

蔡文魁先生

現職：台灣自來水公司供水處組長

專長：土木工程、勞工安全、供水調度管理

李丁來先生

現職：台灣自來水公司供水處處長

專長：自來水工程規劃、設計、營運管理及研究



矩形水池頂底版及水池組結構設計之研討

文/曾浩雄

一、矩形水池頂版之設計

(一)說明

矩形水池池牆之設計已於本會刊第 33 卷第 1 期刊登之「矩形水池結構設計之研討」乙文詳述過，本節乃接續上期之範例再針對其頂版及底版之設計加以敘述。

(二)頂版之厚度

- 1.頂版單位面積之荷重(ω)：(1)池頂厚度 30 cm，其單位面積之重量 = $2.4 \times 0.3 = 0.72 \text{ T/m}^2$ ，(2)設水池上方覆蓋 90cm 之土壤(假設其密度 = 1.6 T/m^3)，其單位重量 = $1.6 \times 0.9 = 1.44 \text{ T/m}^2$ 。(3)活載重 = 0.5 T/m^2 ，合計 2.66 T/m^2 。
- 2.假定頂版係以鉸接方式支撐於四邊池牆上。當 $b/a = 12/6 = 2$ 時，由表 IV 查得最大力矩係數為 0.1，故最大力矩 = $0.1 \times \omega a^2 = 0.1 \times 2.66 \times 6^2 = 9.58 \text{ T-m}$ 。最小有效厚度 $d_{\min} = (9.58 \times 1,000 / 19.58)^{0.5} = 22.11 \text{ cm}$ 。選用 $d = 25 \text{ cm}$ ，總厚度 $t = 25 + 4 + 1 = 30 \text{ cm}$ ，與假定相符，OK。

(三)鋼筋需要量

- 1.假定全部荷重循較短距離傳播，則長池牆上頂版邊緣之剪力 $V = 0.50 \omega a = 0.5 \times 2.66 \times 6 = 7.98 \text{ T/m}$ 。惟荷重係由雙向之支撐所分擔，經查鋼筋混凝土手冊，邊緣之剪力應為 $V = 0.50 \times C_1 \omega a$ ，當池牆之長邊與短邊之比 $b/c = 12/6 = 2$ 時， $C_1 = 0.86$ ，故頂版長向邊緣之剪力 V 應折減為 = $0.86 \times 7.98 = 6.86 \text{ T/m}$ 。核算剪應力 $v = V / jbd = 6.86 \times 1000 / (0.862 \times 100 \times 25) = 3.18 \text{ kg/cm}^2 < 4.2 \text{ kg/cm}^2$ ，OK。

- 2.短向鋼筋面積 $A_s = M / ad = 9.58 / (0.01207 \times 25) = 31.75 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O = V / j\mu d = 6.86 \times 1000 / (0.862 \times 12.36 \times 25) = 25.75 \text{ cm}$ 。採用 22mm ϕ 圓筋，其間距 = 12 cm，則實際 $A_s = 32.3 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O = 58 \text{ cm}$ ，其中每間隔一根向上彎起，另一半延伸至支點內 15cm。靠兩邊池牆 1/4 跨徑內之鋼筋，其間距可放大為 16cm。
- 3.長向最大力矩(發生在中點) $M = 0.038 \times 2.66 \times 6^2 = 3.64 \text{ T-m}$ ，需要鋼筋量 $A_s = 3.64 / (25 \times 0.01207) = 12.06 \text{ cm}^2$ ，採用 16mm ϕ 圓筋，間距 = 16cm，其中每間隔一根向上彎起，另一半延伸至支點內 15cm。其靠兩邊池牆 1/4 跨徑內之間距可放大為 20cm。

(四)接縫及防止龜裂鋼筋

在池角處，此一雙向鋼筋混凝頂版常有脫離支撐點之趨勢，為阻止此趨勢，可於頂版與池牆之間加接縫鋼筋。又牆角之頂版可能因變形的關係，而於上層表面發生龜裂，故頂版之上層須加若干鋼筋，其最小量 $A_{s\min} = 0.005bd = 0.005 \times 100 \times 25 = 12.5 \text{ cm}^2/\text{m}$ ，鋼筋長度 = $a/4 = 6/4 = 1.5 \text{ m}$ 。當然亦可將頂版底層鋼筋之一半彎上延伸至支撐點，並彎入池牆兼做為接縫及防止龜裂鋼筋之用。

二、矩形水池底版之設計

(一)底版厚度之設計

- 1.台水公司規定水池底版之設計必須採用筏式底版。若池底土壤均勻堅實，則可假設底版基礎反力為均佈力。若底版兩邊之突緣(有助於池牆鋼筋之綁紮)延伸至牆外 30 公分，則其面積 $A = (6 + 2 \times 0.35 + 2 \times 0.3) \times (12$

$+2*0.35+2*0.3)=97.09 \text{ m}^2$ 。水池底版總重量為：(1)頂版及其上部土壤之荷重 $=2.66*6.7*12.7=226.34\text{T}$ 。(2)池牆重量 $=2.4*4.8*0.35*2*(6.35+12.35)=150.8 \text{ T}$ 。
(2)合計：377.14T。

2. 計算底版反力可以按地基反力直線分佈計算。一般情況下，直接作用於底版上之池內水重和底版自重與其引起的地基反力直接抵消，而不產生彎曲應力。只有由池牆和池頂、支柱作用在底版上的力所引起的地基反力才會使底版產生彎曲應力。當水池組中之分池盛水時，地基反力可按照局部均佈荷載下，直線分佈之原則計算。此時應採分格滿池下最不利之情況，再按照單向版或雙向版進行靜力結構計算。

3. 基礎單位面積淨反力 $\omega'=W/A=377.14/97.1=3.88\text{T/m}^2$ ，此值比頂版之單位荷重 $\omega=2.66 \text{ T/m}^2$ 大，故其有效厚度至少須採用 30 公分；總厚度至少須 35 公分。惟依台水公司規定水池底版之厚度不得小於 40 公分，故應採用 40 公分厚。

(二)鋼筋需要量

與頂版之設計步驟完全相同，故不再贅述，惟因其作用力方向正好相反，故底版主鋼筋應與頂版主鋼筋之排列相反，即頂版之主鋼筋應排在其下層；底版則應排在上層。

(三)基礎單位面積總反力

基礎單位面積總反力：(1)淨反力 $=3.88 \text{ T/m}^2$ 。(2)池內水重： $1*4.8=4.8 \text{ T/m}^2$ 。(3)水池底版重 $2.4*0.4=0.96\text{T/m}^2$ 。(4)底版下 5cm P.C.之重量 $=2.3*0.05=0.12 \text{ T/m}^2$ 。(5)合計： 9.76T/m^2 ，小於一般基礎土壤容許承載力 10 T/m^2 ，故所假設之面積應屬合理且安全。

三、水池組之設計

(一)水池組

數個水池結合而成之水池而有共同池牆者，因相鄰水池之水位會有很多變化，有時全部滿池；有時部分滿池而另一部分空池。故池牆之應力很複雜且甚難求得一精確之數值。但此類對稱式水池之設計，前文所述之力矩係數及剪力係數，大部分都仍可適用，僅池牆相交處之力矩係數稍加修正即可。下述之假設及計算步驟，隨然均為近似值，但若應用在一般設計上仍不會有太大之誤差，而且相當安全。

(二)水池組之力矩係數

1. 一個三邊或四邊支撐之水池若其中一邊轉角處發生旋轉，對鄰近轉角處之力矩雖有影響，但其影響值甚小，故小池組或獨立水池之池牆，其力矩除數牆相交之轉角處外(兩池以上共同轉角)，實際上均相差甚小，故可假設相等。由表 V 及表 VI 中，查得知力矩係數可標明為“L”係數，可適用於水池組池牆外角(如圖 1 之 A)，亦即各水池獨有之 L 形轉角處，同時也適用於所有池牆之中間斷面，及 $Y=b/4, Y=0, Z=c/4$ 及 $Z=0$ 之處。

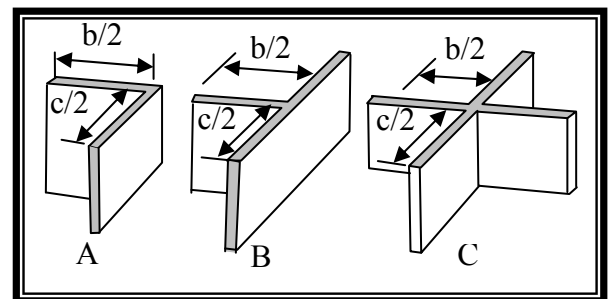


圖 1 三池牆直交成 T 形示意圖

2. 設計數牆(三牆以上)相交之內角各牆角斷面用之力矩係數，則須視產生最大力矩之荷重情形及相交池牆之數目與其組合狀態

而定。

3.圖 1 之 B，三池牆直交成 T 形，若其沿直線方向連續之兩池牆為兩鄰接矩形水池之長邊，共同池牆為短邊時(圖 2)，則當兩池都盛滿液體時，連續池牆相交處之力矩為最大。在此對稱荷重之情形下，池牆交角由於外力之平衡，而不會發生旋轉，故可視為固定，其力矩係數可標明為“F”係數。可由表 I、表 II 及表 III 按各種不同池牆頂端及底端之束制情形而查得。

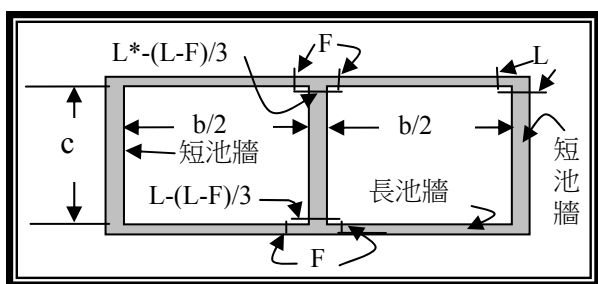


圖 2 組合水池牆角之力矩係數圖

4.若沿直線方向連續之兩池牆為兩鄰接矩形水池之短邊，亦即共同池牆為長邊時(圖 3)，則以一池盛滿液體而另一空池之情形時，相交一邊池牆之力矩以連續池牆相交處之力矩為最大。此時共同池牆(長邊)之端點力矩為三池中之最大值。

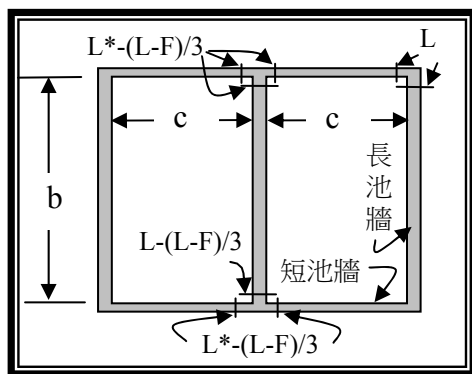


圖 3 組合水池牆角之力矩係數圖

5.在這種荷重之情形下，力矩數值約在“L”係數與“F”係數之間。如將該交角不受荷重之第三邊略去，而不予考慮其剛性，則受荷重兩池之力矩恰如圖 1 之 A 所示外角之情形，其力矩係數即為“L”係數；反之，如假設第三邊池牆之剛性為無限大，則該交角處變為固定而無旋轉，其力矩係數即為“F”係數，其比較接近實際情形之中間值，可由下式求得：端點力矩係數 = $L - n/(n+2) * (L - F)$ ，式中之 n 為鄰近不受荷重之池牆數目。此式當 n=0 或無限大時均可適用。若 n=0 時為外角 L 形牆角，故端點力矩係數 = $L - 0/(0+2) * (L - F) = L$ ；若 n=無限大時 $n/(n+2) = 1$ ，則端點力矩係數 = $L - (L - F) = F$ 。

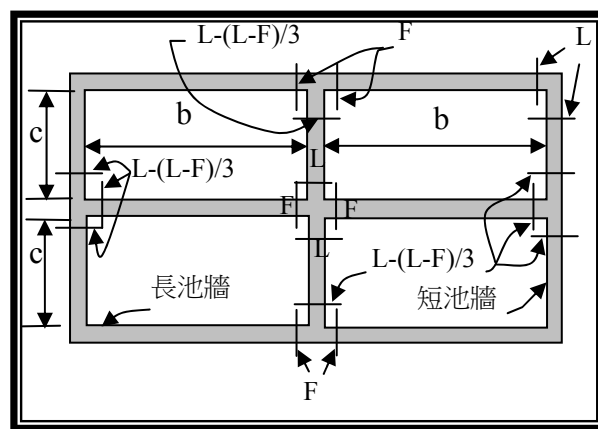


圖 4 組合水池牆角之力矩係數圖

6.圖 1 之 C 所示為兩連續池牆相交成十字形，若四池均為正方形時，因每池內之水壓自我平衡，無論何池盛滿液體，該交點均無轉動發生，故當任意兩池盛滿液體時，其交接點之力矩為最大，在此情形下表 I、II 及 III 之“F”係數可適用。而相交池牆之較長者，以長池牆之一側兩池盛滿液體之情形時，有最大力矩(類似圖 1 之 B

之情形)，其值因交點無轉動發生，故須採用“F”係數；而相交池牆之短邊則以對角之兩池牆盛滿液體之荷重情形，有最大力矩，（類似圖 1 之 A 之情形），其值應採用“L”係數。

7.圖 2 及圖 4 所示為兩個或四個水池互相連接而成之水池組，其池牆交點處之力矩係數。其中外角處之係數一律採用表 V 及 VI 之“L”係數。

四、長隔牆兩水池組之設計

(一)力矩係數

1.圖 5 為共有長池牆之兩鄰接水池，其水池之尺寸為長池牆 $b=12m$ ，短池牆 $c=6m$ ，池深 $a=4.8m$ ，池牆頂端為自由端；底端為鉸接端。此水池係由四個 L 形與兩個 T 形牆交點組合而成。

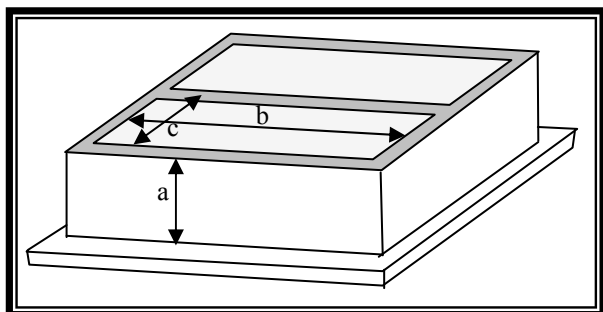


圖 5 長隔牆之兩水池組示意圖

2.當 $b/a=2.50$ 及 $c/a=1.25$ 時，由表 V 查得之“L”及“F”係數詳列於表 1 至表 5。表中所列之 F 係數僅適用以計算 $L-(L-F)/3$ 之係數值。此乃供設計圖 3 所示內交點隔牆端點力矩之用。中央隔牆之係數為採用一池盛滿液體；而另一空池時之荷重情形，負號表示其所受之荷重為拉力。若換為他池空池時，則所有的符號都應變號。

表 1 長外池牆 L 係數表

長 外 池 牆						
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 表 V 查得之 L 係數					
	Y=b/2		Y=b/4		Y=0	
	Mx	My	Mx	My	My	Mx
0	0	-0.092	0	0.035	0	0.069
1/4	-0.018	-0.089	0.015	0.034	0.026	0.059
1/2	-0.016	-0.082	0.031	0.031	0.045	0.048
3/4	-0.012	-0.059	0.034	0.020	0.044	0.029

表 2 短外池牆 L 係數表(一)

短 外 池 牆						
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 表 V 查得之 L 係數					
	Y=b/2		Y=b/4		Y=0	
	Mx	My	Mx	My	My	Mx
0	0	-0.010	0	-0.030	0	-0.092
1/4	-0.002	-0.003	-0.006	-0.024	-0.018	0.089
1/2	0.008	0.007	0.003	-0.012	-0.016	-0.082
3/4	0.018	0.008	0.011	-0.002	-0.012	-0.059

表 3 短外池牆 L 係數表(二)

短 外 池 牆				
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 由表 II 查得之 F 係數		L-(L-F)/3	
	Z=c/2		連續端修正值	
	Mx	My	Mx	My
0	0	-0.034	0	-0.073
1/4	-0.008	-0.042	-0.015	-0.073
1/2	-0.010	-0.049	-0.014	-0.071
3/4	-0.009	-0.044	-0.011	-0.054

表 4 中央隔牆 L 係數表(一)

中 央 隔 牆						
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 表 V 查得之 L 係數					
	Y=0		Y=b/4		Y=b/2	
	Mx	My	Mx	My	My	Mx
0	0	0.069	0	0.035	0	-0.092
1/4	0.026	0.059	0.015	0.034	-0.018	-0.089
1/2	0.045	0.048	0.031	0.031	-0.016	-0.082
3/4	0.044	0.029	0.034	0.020	-0.012	-0.059

表 5 中央隔牆 L 係數表(二)

中 央 隔 牆					
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 由表 II 查得之 F 係數			L-(L-F)/3	
	Y=b/2		Y=b/2		
	Mx	My	Mx	My	
0	0	-0.138	0	-0.107	
1/4	-0.026	-0.132	-0.021	-0.103	
1/2	-0.023	-0.115	-0.018	-0.093	
3/4	-0.016	-0.078	-0.013	-0.065	

3.表 VII、表 VIII 及前文(上期)之圖 1 與圖 2 所示之剪力係數均可適用於隔牆及外牆。既因剪力控制牆之厚度,則前文所示之開頂獨立水池中所設計之牆厚 35cm,仍可用於本例中之外牆。但中央隔牆則須增至 38cm 厚,如此可使所有轉角點之鋼筋面積均相等。

(二)隔牆(長池牆)之水平負鋼筋

隔牆水平負力矩產生於池牆頂端(X=0 處),其大小 $M=-0.107\omega a^3=-0.107*110.59=-11.83T\cdot m$ 。由短牆垂直邊緣傳來剪力之水平向拉力可由前文之圖 2 查得,當 b/a=1.25 時之係數為-0.03,並進而計算出 $N=-0.03\omega a^2=-0.03*23.04=-0.69T/m$ 。該值甚小,對長池牆之水平應力影響甚微,故不另予核算。若不

計軸向拉力時,水平負鋼筋之面積為 $A_s=11.83/(0.01207*30.5)=32.14cm^2$ 。若採用 22mm ϕ 圓筋@11cm,得 $A_s=35.19cm^2$,多餘之鋼筋面積可作為承受軸向拉力之用。

(三)隔牆中點之水平負鋼筋

- 1.因本例之牆厚採用 38cm,比前文之開頂獨立水池所設計之牆厚多 3cm,而水平正力矩跟它相等,故可採用相等之鋼筋量,即採用 22mm ϕ 圓筋@18cm, $A_s=21.6cm^2$,應已足夠。
- 2.此隔牆之鋼筋應兩面同樣排列,以應付左池或右池滿水;而他池為空池時之荷重情形下所產生之應力。

(四)短牆與長牆交接處之水平負鋼筋

- 1.短牆連續端之最大負力矩發生在池牆上部 1/4 深度以上,其力矩係數為-0.073,故力矩 $M=-0.073*110.59=-8.07T\cdot m$ 。由長隔牆傳來之軸向拉力由連續短牆各分擔一半,由前文之圖 2 查得,當 b/a=2.50 時,在 c/4 池深處之剪力係數為-0.3,故短牆連續端所受之拉力為 $N=-0.3\omega a^2/2=-0.3*23.04/2=-3.46T/m$ 。因此水平受拉鋼筋之偏心距 $E=M/N+d''=8.07/-3.46+(27.5-7.5)/(2*100)=-2.23m$, $i=E/(E-jd)=-2.23/(-2.23-0.862*0.275)=0.90$ 。
- 2.鋼筋需要量 $A_s=NE/adi=3.46*2.23/(0.01207*27.5*0.9)=25.83cm^2$ 。鋼筋周長 $\Sigma O=N/j\mu d=3.46/(0.862*12.36*27.5)=11.81cm$ 。
- 3.同長池牆採用 22mm ϕ 圓筋@12cm, $A_s=32.3cm^2$, $\Sigma O=N/j\mu d=58cm$ 。雖然此處之鋼筋使用量比其所需之量較多,但為排紮鋼筋方便計,如此設計應屬合理,由下(6)圖可看出此項增加之鋼筋,其長度並不長,應不致太浪費。若真為節省鋼筋量以降低

工程費，亦可改用 22mm ϕ +2 支 19mm ϕ 圓筋@36 cm， $A_s=26.6\text{cm}^2$ ， $\Sigma O=53\text{cm}$ 。

(五)其他各斷面之水平鋼筋

同前文之開頂獨立水池所計算之結果(詳如圖 6 所示，上部 3c/4 深度間水平鋼筋排紮情形)，故不另贅述。

(六)豎向鋼筋

同前文之開頂獨立水池所計算之結果，故不另贅述。長池牆之垂直鋼筋採用 19mm ϕ 圓筋@15cm。短池牆之垂直鋼筋採用 16mm ϕ 圓筋@18cm。

(七)水平鋼筋之綁紮

1.圖 6 所示為池牆水平鋼筋綁紮及彎折情形之詳圖。它係依據前述各斷面所需正、負鋼筋面積加以配置。

2.長隔牆中央兩側所需之鋼筋，每 18 公分一根 22mm ϕ 圓筋，其中每 36 公分一根兩端在距轉角前 150cm 處截斷，另一根 U 形鋼筋延伸至轉角並彎折進入短外牆外側，以利錨定，並幫助長隔牆端點之負鋼筋承受負力矩。長隔牆端點鋼筋需要量為每 12 公分一根 22mm ϕ 圓筋，其中每 36 公分一根由中央正鋼筋延伸而來，因此在兩端每 36 公分再加二根 L 形鋼筋補充之，形成每 12 公分一根鋼筋。

3.長外牆中央外側鋼筋需要量與隔牆同為每 18 公分一根 22mm ϕ 圓筋，亦為每一根 U 形鋼筋延伸並彎折進入短外牆內側，幫助短外牆端點承受負力矩。另一根直鋼筋兩端在距轉角前 150cm 處截斷。

4.長外牆端點內側鋼筋需要量與隔牆同為每 12 公分一根 22mm ϕ 圓筋，除其中每 36 公分一根係由短牆外側中央正鋼筋延伸彎入，再每 36 公分另加二根 L 形鋼筋補充

之，合計每 12 公分一根 22mm ϕ 鋼筋。

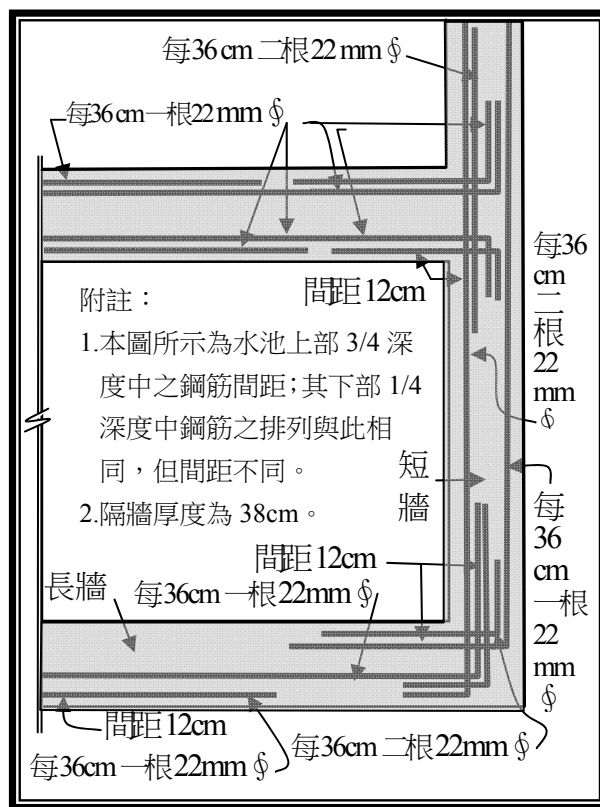


圖 6 池牆鋼筋排紮平面示意圖

5.短牆外側鋼筋需要量為每 36 公分一根 22 mm ϕ U 形圓筋，兩端延伸至轉角並彎折進入長外牆內側，幫助承受負力矩。

6.短牆內側鋼筋，在內外兩端點之負鋼筋需要量為每 12 公分一根 22 mm ϕ 圓筋，其中每 36 公分一根 U 形鋼筋貫穿短牆全長，延伸至內外轉角並彎折進入長外牆外側，以利錨定。另於兩短牆連續端每 36 公分再加二根直鋼筋，兩端均在距長隔牆支撐面 150cm 處截斷。於短牆外端除一根 U 形鋼筋及一根由長外牆外側鋼筋延伸彎折進者外，再每 36 公分加二根 L 形鋼筋補充之。

(八)垂直鋼筋之綁紮

因本例之水池荷重大部分由水平方向承受；垂直方向只承受極小部分之荷重，且



以水平鋼筋為主，故水平鋼筋應排紮在池牆兩側之外層，而將垂直鋼筋邦紮在內層，以便水平鋼筋獲得較大之有效深度，並發揮其最大之效應。

五、短隔牆兩水池組之設計

(一)力矩係數

1.圖 7 為共有長池牆之兩鄰接水池，其水池之尺寸為長池牆 $b=12.0\text{m}$ ，短池牆 $c=6.0\text{m}$ ，池深 $a=4.8\text{m}$ ，池牆頂短為自由端；底端為鉸接端。

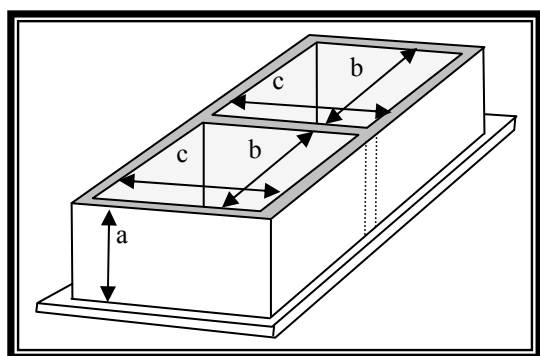


圖 7 短隔牆之兩水池組示意圖

2.此水池係由四個 L 形與兩個 T 形池牆交點組合而成。當 $b/a=2.50$ 及 $c/a=1.25$ 時，由表 V 查得之“L”及“F”係數如下列之表 6 至表 10。表中所列之 F 係數僅適用以計算 $L-(L-F)/3$ 之係數值。

表 6 短外池牆 L 係數表

長 外 池 牆						
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 表 V 查得之 L 係數					
	Y=b/2		Y=b/4		Y=0	
	Mx	My	Mx	My	My	Mx
0	0	-0.09 2	0	-0.03 5	0	-0.06 9
1/4	-0.018	-0.08 9	0.015	0.034	0.026	0.059
1/2	-0.016	-0.08 2	0.031	0.031	0.045	0.048
3/4	-0.012	-0.05 9	0.034	0.020	0.044	0.029

表 7 長外池牆 L 係數表(一)

短 外 池 牆						
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 表 V 查得之 L 係數					
	Z=c/2		Z=c/4		Z=0	
	Mx	My	Mx	My	My	Mx
0	0	-0.092	0	-0.030	0	0.010
1/4	-0.018	-0.089	0.006	-0.024	-0.020	0.003
1/2	-0.018	-0.082	0.003	-0.012	0.008	0.007
3/4	-0.012	-0.059	0.034	-0.002	0.018	0.008

表 8 短外池牆 L 係數表(二)

x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 由表 V 查得之 L 係數	
	Y=b/2	
	Mx	My
0	0	-0.138
1/4	-0.026	-0.132
1/2	-0.023	-0.115
3/4	-0.016	-0.078

表 9 中央隔牆 L 係數表(一)

中 央 隔 牆						
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 表 V 查得之 L 係數					
	Y=0		Y=b/4		Y=b/2	
	Mx	My	Mx	My	My	Mx
0	0	-0.010	0	-0.030	0	-0.092
1/4	-0.002	-0.003	-0.006	-0.024	-0.018	-0.089
1/2	0.008	0.007	0.003	-0.012	-0.016	-0.082
3/4	0.018	0.008	0.011	-0.002	-0.012	-0.059

表 10 中央隔牆 L 係數表(二)

中 央 隔 牆				
x/a	b/a=2.5, c/a=1.25 時, 由表 II 查得之 F 係數		L-(L-F)/3	
	Y=b/2		Y=b/2	
	Mx	My	Mx	My
0	0	-0.034	0	-0.073
1/4	-0.008	-0.042	-0.015	-0.073
1/2	-0.010	-0.049	-0.041	-0.071
3/4	-0.009	-0.044	-0.011	-0.054

(二)外牆之最大力矩

1.外牆之最大力矩發生於三牆交接處之長外牆端點，即 $X=0$ 之處，其力矩係數由表 8 查得-0.138(大於前文之開頂獨立水池及本列表 4 所列之-0.092)，故其最大力矩 $M=-0.138 \times \omega a^3 = -0.138 \times 110.59 = -15.26 \text{ T}\cdot\text{m}$ 。

2.最小厚度 $d_{\min} = \sqrt{15.26 \times 1000 / 19.58} = 27.92 \text{ cm}$ 。剪力與前文之開頂獨立水池相同，故採用有效厚度為 32.5 公分，總厚度=40 公分，此厚度足以承受剪力及力矩。

3.由於從短牆傳來之水平拉力甚小，故可予省略。若不計軸向拉力時，其鋼筋面積 $A_s = M / ad = 15.26 / (0.01207 / 32.5) = 38.90 \text{ cm}^2$ 。採用 25mm ϕ 圓筋@13cm， $A_s = 39.0 \text{ cm}^2$ 。

(三)中央短牆之最大力矩

1.最大力矩 $M = -0.073 \times \omega a^3 = -0.073 \times 110.59 = -8.07 \text{ T}\cdot\text{m}$ 。該值約為外牆之最大力矩之半，故其厚度可予酌減，採用有效厚度 22.5 公分， $t=30$ 公分。

2.由外牆剪力傳來之水平拉力(一池滿水；另一池空池)， $N = -0.3 \times \omega a^2 = -0.3 \times 23.04 = -6.91 \text{ T}$ 。水平受拉鋼筋之偏心距 $E = M / N + d'' = -8.07 / -6.91 + (22.5 - 7.5) / 100 = 1.32 \text{ cm}$ 。 $I = E / (E - jd) = 1.32 / (1.32 - 0.862 \times 0.225) = 1.17$ 。

3.需要鋼筋面積 $A_s = 8.07 \times 1.32 / (0.01207 / 22.5 \times 1.17) = 33.53 \text{ cm}^2$ 。需要鋼筋握裹周長 $\Sigma O = N / j\mu d = 6.91 \times 1000 / (0.862 \times 12.36 \times 22.5) = 28.23 \text{ cm}$ 。採用 25mm ϕ 圓筋@13cm， $A_s = 39.0 \text{ cm}^2$ ， $\Sigma O = 61 \text{ cm}$ 。其他斷面之水平及垂直鋼筋均與前文之開頂獨立水池所求得之面積相同，不另贅述。

六、四池合成水池組之設計

(一)池牆交接點狀況

1.如圖 8 所示為四個水池之組合，每池尺寸為牆深 $a=4.8 \text{ m}$ ，長牆長度 $b=12.0 \text{ m}$ ，短牆長度 $c=6.0 \text{ m}$ 。

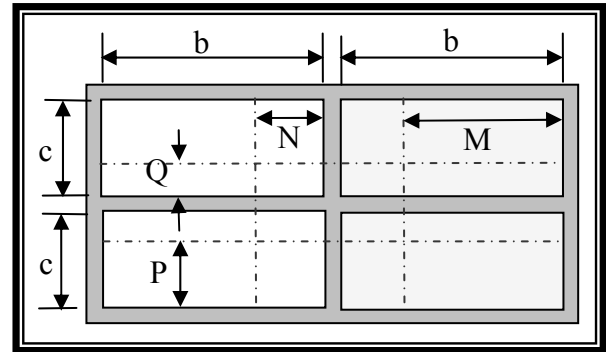


圖 8 組合水池十字交點牆端力矩係數圖

2.池牆交點狀況計有：L 形構造四處、T 形構造二處及十字形構造四處。其外牆與 L 形及 T 形交點之設計與前節(四、長隔牆兩水池組)及上節(五、短隔牆兩水池組)之計算步驟相同，故不再贅述。只就十字形池牆交點之牆端點力矩加以討論。

(二)長隔牆

1.長隔牆在十字形交點之牆端點力矩，以長池牆之同一側兩水池滿水；另側兩池為空池之荷重情形下，其值為最大。

2.在此荷重情形下，因鄰接兩池之水壓平衡條件，十字形交點無轉動發生，其端點力矩應為端點力矩，採用“F”係數。當 $b/a=2.5$ ， $c/a=1.25$ 時，由表 II 查得頂端自由；底端鉸接之池牆之力矩係數如上節(五、短隔牆兩水池組)長外牆力矩係數表之 F 係數。

(三)短隔牆

1.短隔牆在十字形交點之牆端點力矩，以對角兩水池滿水；另兩池為空池之荷重情形下，其值為最大。

2.在此荷重情形下，其端點力矩與 L 形池牆轉角無異，其值應為“L”係數，由表 V 查得：端點之力矩係數如上節(五、短隔牆兩水池組)短長外牆力矩係數表之“L”係數。

七、四池合成水池組頂版之設計

(一)頂版之設計

1.如圖 8 之水池組，其頂版之單位荷重(ω)：

(1)池頂厚度 30cm，其單位重量=2.4*0.3=0.72 T/m²，(2)水池上方覆蓋 90cm 之土壤(假設其密度=1.6)，其單位重量=1.6*0.9=1.44T/m²。(3)活載重=0.5 T/m²，合計 2.66 T/m²。

2.由中國工程師手冊或「鋼筋混凝土計演算法與實例」^[2]查得，跨距比 b/c=2.00 時，長跨距方向之應力係數 C₁=0.06，短長跨距方向之應力係數 C=0.89。

3.假設頂版四周之支撐均為簡支情況。再依 ACI 之規定就單向版之力矩係數分別核算各方向力矩如下。(1)長跨距方向之力矩：(a)正力矩 C₁* $\omega b^2/14=0.06*2.66*12^2/14=1.64T\text{-m}$ ；負力矩 C₁* $\omega b^2/9=-0.06*2.66*12^2/9=-2.55T\text{-m}$ 。(2)短跨距方向之力矩：(a)正力矩 C* $\omega c^2/14=0.89*2.66*6^2/14=6.09T\text{-m}$ ；負力矩 C* $\omega c^2/9=-0.89*2.66*6^2/9=-9.47T\text{-m}$ 。

4.最小厚度 $d_{\min}=\sqrt{9.47*1000/19.58}=22\text{cm}$ 。採用有效厚度為 25 公分，總厚度=25+5=30 公分，與假設值相同，OK。

5.短跨距最大負鋼筋面積 $A_s=M/ad=9.47/25/0.01207=31.38\text{cm}^2$ ；短跨距最大正力矩鋼筋面積 $A_s=M/ad=6.09/0.01207/25=20.18\text{cm}^2$ 。採用 19 mm ϕ 圓筋@14cm ($A_s=20.4\text{cm}^2$)，作為底層短跨徑方向之鋼筋。其中每二根向上彎曲一根，承擔頂層

之負力矩。另由相鄰跨間底層正鋼筋彎上至頂層，使之合計鋼筋量為 20.4cm²。另加一根 16mm ϕ 頂層負鋼筋，使之平均等間距相錯排列，則得 28/3 公分一根鋼筋， $A_s=30.6\text{cm}^2$ ， $\Sigma O=64\text{cm}$ 。

6.兩端支撐均為簡支之短跨徑向剪力為 $V_1=0.89*2.66*6/2=7.10T$ 。因連續端之力矩為 9.47T-m；而簡支端之力矩=0，故增加之剪力 $V_2=(M_1-M_2)/L=(9.47-0)/6=1.58T$ 。因此總剪力= $V_1+V_2=7.10+1.58=8.68\text{T}$ 。

7.核算頂版之總剪力 $v=V/bjd=8.68/0.862/25/100=4.03\text{kg/cm}^2<4.2\text{kgf/cm}^2$ ，OK。

8.核算鋼筋握裹力 $\mu=V/(jd\Sigma O)=8.68*1000/(0.862*64*25)=6.29\text{kg/cm}^2<12.36\text{kgf/cm}^2$ ，OK。

9.上述短跨徑方向鋼筋之排列間距及鋼筋之直徑適用於圖 8 之 M 區範圍內，其中正鋼筋每二根有一根延伸進入支撐點內 15 公分以上，以符合規範之要求。

10.圖 8 之 N 區範圍內之鋼筋需要量得比 M 區範圍內之鋼筋量少 25%。故 N 區之配筋得比 M 區之鋼筋小一號，採用 16mm ϕ 圓筋而間距維持不變，或仍採用 19mm ϕ 圓筋而間距放大 25%，為 18 公分亦可。

11.長跨徑方向之鋼筋按雙向力矩之比例，應為短跨徑方向鋼筋之 27%，惟依規範之規定最少應為短跨徑方向鋼筋之 1/3。故在圖 8 之 P 區範圍內之正鋼筋量為 $A_s=20.2*1/3=6.7\text{cm}^2$ 。

12.採用 16mm ϕ 圓筋@18cm，直式及彎式相間排列，實際總面積 $A_s=7.07\text{cm}^2$ 。其排列方式比照短向鋼筋辦理。

13.另依規範之規定，最少正鋼筋量為 $A_s=0.0025bd=0.0025*25*100=6.25\text{cm}^2$ 。因此

Q 區範圍內之鋼筋亦採用 16mm ϕ 圓筋 @28 cm。此時不能再如 N 區範圍內一樣減小一號鋼筋或放大間距。

八、水池埋設之安全深度

(一)水池池牆之高度

水池之最高水位及其容量係依淨水場之水利計算結果而定。當水池之最高水位確定後，因限於導水系統之操作水頭，須將水池建於地下時，應就工址之土壤條件求其安全埋設深度。一般而言：水池中的水常因地震而晃動，因此水池的牆高除須符合其操作水頭之要求外，尚須增加 30 至 60 公分之出水頭(Free Board)。

(二)水池埋入地下安全深度

1. 假設水池之長 * 寬 * 高為 12.0m*6.0m*5.1m，有效水深為 4.8m，池牆厚度為 35cm，底版厚度為 40cm。滿池時之水重為 $1*4.8*12*6 = 345.6 T$ ，池牆之重為 $2.4*0.35*[(12+6)*2+ 0.35*4]*5.1 = 171.36T$ ，底版重量為 $2.4*0.4*(12.6+6.6) = 79.83T$ ，底版下之 5cm PC 之重量為 $2.3*0.05*(12.6+6.6) = 2.2T$ ，水池總重量 $\approx 600T$ (含滿池水重)。若工址之土壤條件如圖 9 所示，底版兩側之突緣各為 30 公分。水池底版之土壤反應力 $q = 600/(12.7+0.3*2)/(6.7+0.3*2) = 6.18T/m^2$ 。
2. 假設水池建成後，其四周全面填土 0.8m，而水池埋設深度為 2m，則池底土壤之反應力 $\gamma*D_f = 1.6*0.8 + 1.8*(D_f-0.8) = 1.8 D_f - 0.16$ 。
3. 假設水池埋在黏土層，依「基礎工程題解」^[3]所述：黏土層之淨極限承載力 $q'_{ult} = 1.3c * N_c$ ------(1) 故 $q'_{ult} = 1.3*0.53*0.52 = 0.36T/m^2$ 。以其容

許承載力計，即 $q_a = q$ ， $q_a = q'_{ult}/FS + \gamma*D_f$ ------(2)

依照規範安全係數 FS 須取 3 以上，故 $q_a = 0.36/3 + 1.8 D_f - 0.16 = 6.18$ ， $1.8 D_f = 6.18 + 0.16 - 0.32$ ，得 $D_f = 3.34m$ 。因此水池安全埋設深度至少為 3.34 公尺。

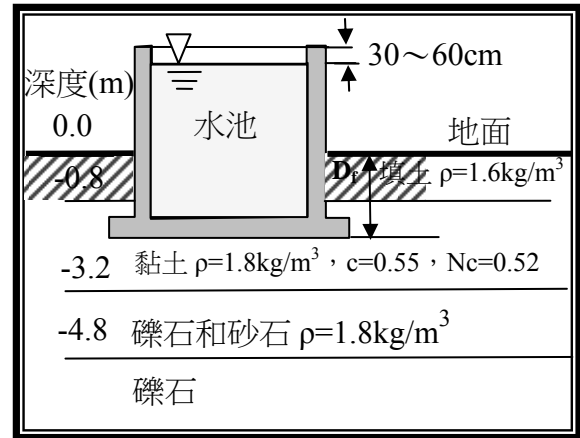


圖 9 水池埋於地下之安全深度示意圖

九、核算水池之浮力

(一)向下重量

1. 以上述水池為例，水池重量=牆重+底版及版下 PC 重= $171.36+79.83+2.2T=253.4 T$ 。
2. 水池埋於地下 3.34m，底版兩側突緣上方之土重 = $1.6*2*(13.3+6.7)*3.34*0.3 = 64.13T$ 。則向下之總重量 $253.4+64.13 = 317.53 T$ 。

(二)向上浮力

設地面下每逢雨季，地下水水位必定會上升至距地面 1 公尺處。則水池必會承受浮力 $B = 1*[(3.34-1)*(12.7*6.7)+0.45*(13.3*7.3)] = 242.8T$ 。

(三)水池外牆承受之摩擦力

水池外牆與土壤接觸，其四周必然承受土壤之摩擦力。在土壤未浸在水中之部分，其摩擦係數一般都在 0.5 左右；至於浸在水



中(3.34 m 深)之部分，因該層係屬飽和土壤，其摩擦角必然降低。假設摩擦係數降為0.15，則其總摩擦力 $=0.5*(12.7+6.7)*2*1+0.15*[(12.7+6.7)*2*(3.34-1)+0.45*(13.3+7.3)*2]=35.8T$ 。

(四)水池承受上下之淨力

水池受向下之淨力 $=317.53-242.8+35.8=110.53T>0$ 。故此水池並無向上浮起之虞。

(五)地震垂直力之影響

地震垂直力會增加建築物之垂直壓力或拉力。在台灣地區所發生之地震，其震動之週期約1至2秒，而垂直震度約在0.1至0.2之間，若以0.2計，則當地震發生時，水池會因地震垂直力增加其重量 $0.2*253.4=50.68T$ 。該短期重量會抵消水池上浮之力量；當水池因地震垂直震度減少其重量時，其最大值也只有 $50.68T$ ， $110.53T>>50.68T$ ，亦即於水池承受向下之淨力 $110.53-50.68=59.85T>0$ ，因此仍屬安全，可不予考慮。

十、結論與建議

(一)水池短牆與長牆之比值

- 1.有蓋版(頂版)之水池，其跨距(長短邊池牆之長度)若太大，會造成頂版或底版之端點力矩偏高，因為其力矩 $M=C\omega l^2$ 。一般以6m為上限。
- 2.以上述水池頂版之設計為例，長邊池牆與短邊池牆長度之比=2時，頂版之厚度須採用30cm厚。由表IV查得若其比值達到3時，最大力矩係數為0.118。最小有效厚度 $d_{\min}=\sqrt{9.58*1.18*1000/19.58}=24.02\text{cm}$ ，故仍可選用 $d=25\text{cm}(t=25+4+1=30\text{cm})$ ，因此影響不大。

3.由表IV可知水池短牆與長牆之比值越大，其最大力矩係數也越大。

(二)組合式水池頂版之力矩

第一節之(二)所述：矩形水池之頂版係屬單一水池式之頂版，故其力矩可依據b/a之比值，由表IV查得其力矩係數；但組合式水池之頂版因係屬連續性之平版，故其力矩須依照美國A.C.I.相關規範之規定計算之：

- (1)正力矩：(a)端孔徑：非連續端且不受控制者 $C=\omega L^2/11$ ；若不連續端與結構連成一體者 $C=\omega L^2/14$ ；(b)端孔徑：C皆 $=\omega L^2/16$ 。
- (2)負力矩：(a)內孔徑第一個支撐之外側面，兩孔徑者： $C=\omega L^2/9$ ；多於兩孔徑者；(a)內孔徑其他支撐面C皆 $=\omega L^2/11$ ；(3)在所有支撐上，若版之跨徑不超過3m及兩柱之剛比合與梁或大梁之剛比超過8時，C皆 $=\omega L^2/12$ ；(4)若端孔徑之端點與結構連成一體且此結構為邊梁時，端點之內側面 $C=L^2/24$ 。其實水池組加設頂版之設備在自來水設施上並不多見。

(三)水池底版之設計原則

水池底版之設計分為兩種情形，其一，有地下水可能造成水池有上浮之虞者宜採用筏式基礎設計；其二，無地下水上浮者，則採用簡支版設計，以節省工程建造費。

(四)池外水浮力

當建址有地下水時，地下水對池體之浮托力也不容小覷，因此池牆外側除須考慮地下水壓外，還應考慮地下水位以下因水浮力降低土壤之有效密度致影響土壓力。是否足可能引起結構抗浮不夠等工程事故。在水池抗浮力不足時可考慮於池頂上方增加覆土，至於其厚度則需大到能滿足抗浮力之要

求。必要時也可考慮每年停水維修清泥時段，安排在冬季枯水位，以避免發生水浮力造成水池之安全等問題。

(五)水池頂版構造對池牆彎矩之影響

當水池設有頂版時，頂版與池牆頂端交接條件應根據頂版與池牆連接之構造狀況而確定。當池牆之剛度為頂版剛度之 5 倍以上時，可假設池牆頂端為鉸接，否則應按彈性固定計算。設有頂版之池牆，其所承受之彎矩會大幅減小。因此當採用頂版結構有困難時，應儘可能從池牆挑出走道，以減小池牆所承受之彎矩。

(六)鋼筋直徑之選定

池牆及底版之受力鋼筋宜採用小直徑鋼筋和較密之間距，盡可能採用採用高級鋼筋。水池各部位之鋼筋間距應在 100~250 mm 範圍內。如果鋼筋間距太密，會影響混凝土之搗實；而鋼筋間距太大，容易產生裂縫。

(七)設置暗梁、暗柱及接縫/防裂鋼筋

RC 造水池最容易在角隅處出現裂縫，因此必須在池牆轉角處加設接縫鋼筋、暗梁或暗柱，以抵抗角隅因水壓而引發之力矩。至於池牆與頂版相交處須設置防裂角隅鋼筋，以免版面發生裂縫或脫離支撐點。

(八)核算滑動安全係數

1. 混凝土與土壤接觸面之摩擦係數一般均假定為 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。抗滑係數於不計地震力時應不小於池牆水平推力之 1.25 倍；計地震力時應不小於池牆 1.0 倍。
2. 一般而言，水池之基礎均建在地面之下，因此水平地震橫力對水池之滑動並無大影響。因為在台灣地區水平震度約在 0.4 左

右，而池底與土壤接觸面之摩擦係數都在 0.5 左右，其阻滑安全係數 = $0.5 \cdot W / 0.4W = 1.25$ ，已屬安全，若另加上基礎因土壤被動側壓力之阻滑作用，會增加水池之阻滑安全係數，故無滑動之虞，因此一般均不予考慮。

(九)核算傾倒安全係數

1. 以基礎底為軸心計算抗傾倒力矩 M_r ，其值不計地震力時，應不小於傾倒力矩 M_{max} 之 1.5 倍；若加計地震力，應不小於傾倒力矩 M_{max} 之 1.25 倍。
2. 若水平地震度以 0.4 計，以上述水池為例，地震橫力對水池之傾倒力矩 = $0.4 \cdot [(171.3 \cdot (5.1/2 + 0.45) + 79.83 \cdot (0.4/2 + 0.05) + 2.2 \cdot 0.05/2)] = 213.57T \cdot m$ 。而整座水池之抵抗傾倒力矩 = $253.4 \cdot (6/2 + 0.35 + 0.3)/2 = 924.91T \cdot m$ (暫不計基礎因土壤之被動側壓力所產生之力矩)。其傾倒安全係數已達 $924.91/213.57 = 4.33 \gg 1.5$ ，相當安全，因此一般也均不予考慮。

參考文獻

1. 水池設計(一)--矩形鋼筋混凝土水池：陳榮藏，台灣自來水公司員工訓練所編印，1985年12月
2. 鋼筋混凝土計演算法與實例：蘇棋福編著，有志出版社印行，1975年4月 383頁。
3. 基礎工程題解：施國欽編著，2006年9月，文筆書局出版，第3-30頁至3-31頁。
4. 關於淺論鋼筋混凝土矩形水池設計：中國315期刊網，<http://big.hi138.com/gongxue/gongyeshaji/201111/361615.asp>。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師

專長：自來水工程規劃、設計及施工



塑化劑 DEHP 與自來水

文/江弘斌

一、前言

塑化劑 DEHP 因被非法添加入飲料食品中而鬧得沸沸揚揚，引起食品藥物管理署與環保署的關切。鑑於美國環保署多年前即已將其列入飲水標準中，未來環保署亦可能將其納入為台灣飲用水水質標準，飲用水業者宜儘早因應為宜。

二、塑化劑

塑化劑 (plastizer) 亦有稱之為增塑劑、可塑劑者。填加塑化劑入主材料 (包括 PVC 塑膠、混凝土、水泥、石膏等) 中可改變主材料之物性使其更具柔軟性、彎彈性、液化性等。而最常被提到、並廣泛使用的塑化劑係指加入 PVC 塑膠中之鄰苯二甲酸酯系列化合物，例如 PVC 塑膠管即因填加了塑化劑使其材質更具有彈性、柔軟、易於彎曲、塑形等，PVC 保鮮膜即因填加了塑化劑使其材質更為柔軟且增加了黏著性而廣泛使用於食品之包裝。惟塑化劑填加於塑膠中，並非以化學鍵鍵結於聚合物中，所以容易自塑膠成品中移釋出 (migrate out)，且受到溫度、時間、油脂環境與否、pH 等影響因而造成食物或環境程度不一之污染。常被提到的該系列化合物如表 1。

其中用量大、最典型、最具代表性的該系列塑化劑則非 DEHP 莫屬。

三、DEHP

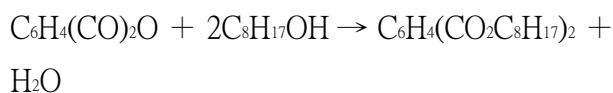
DEHP 是一種無色、亦近無味 (低特殊氣味) 之油性液體，其本身係由鄰苯二甲酸酐與 2 乙基己醇在高溫與催化劑條件下經酯

化反應製得。化學反應先快速酯化成單酯，再慢速酯化成雙酯，可使用酸性或雙性催化劑。

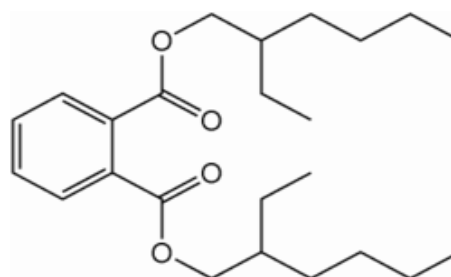
表 1 常用塑化劑一覽表

1	BBP 【butyl benzyl phthalate】 鄰苯二甲酸 丁基苄基酯
2	DBP 【di-n-butyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二丁基酯
3	DEP 【diethyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二乙基酯
4	DEHP 【di (2-ethylhexyl) phthalate】 鄰苯二甲酸 二 (2-乙基己基) 酯
5	DIBP 【di-isobutyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二異丁基酯
6	DIDP 【di-isodecyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二異癸基酯
7	DINP 【di-isononyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二異壬基酯
8	DIOP 【di-isooctyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二異辛基酯
9	DnHP 【di-n-hexyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二己基酯
10	DnOP 【di-n-octyl phthalate】 鄰苯二甲酸 二正辛基酯

DEHP 反應式如下：



DEHP 結構式如下：



DEHP 相關資料與特性如下表 2：

表 2 DEHP 相關資料與特性⁺

鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	
IUPAC 名 Bis (2-ethylhexyl) phthalate	
英文名	Bis (2-ethylhexyl) phthalate Di (2-ethylhexyl) phthalate Dioctyl phthalate Dioctyl orthophthalate 1,2-benzenedicarboxylic acid dis(2-ethylhexyl)ester
縮寫	BEHP、DEHP、DOP
性質	
化學式	C ₂₄ H ₃₈ O ₄ (CAS No 117-81-7)
分子量	390.56 gram/mole
外觀	Colorless oily liquid with a slight odour
密度	0.986 gram/mL at 20°C
折射率	n _{20/D} 1.488
蒸汽壓	0.056×10 ⁻⁷ kPa at 20°C
熔點	-55°C
沸點	385°C at 101.3 kPa
溶解度 ⁺⁺	<0.01 wt% (slightly dissolved in water)
閃點	218°C
自燃溫度	241°C
水解半衰期	> 100 years at pH 8 & 30°C

⁺ 數據因引用來源不同，可能有所差異

⁺⁺ 溶液在近溶解度時會形成分散性膠霧狀液。

DEHP 係屬大分子油性酯類物質，不易溶於水，在水中水解性很差，惟在生物中體內則容易透過生物體內酵素將酯分解為 MEHP【mono(2-ethylhexyl) phthalate】、鄰苯二甲酸和 2-乙基己醇(再進一步氧化→醛→酸)，以單酯結合(conjugated mono-ester)型式

或葡萄糖苷酸(glucuronide)衍生物型式排出體外。

四、DEHP 的生產與使用

較早時期 DEHP 塑化劑佔了約 50% 鄰苯二甲酸酯系列塑化劑之使用量，惟因恐對健康的考量和法規的要求，時至 2005 年，DEHP 在所有塑化劑使用量在美國已降為約 10% (西歐約 18%，日本約 52%，亞洲其他地區約 62%)。美國業界所生產的 DEHP 在 1975 年產量有 180000 噸，1993 年產量降為 109000 噸，2005 年產量更降至 88000 噸。DEHP 約有 95% 被用填加為 PVC 塑膠產品塑化劑，其典型含量介於 1-40%，少量的 DEHP 則用於非屬 PVC 塑膠的塑化劑，亦有少量用於其他用途如電容器絕緣油、真空幫浦油、化妝品填加等。有報導指出在 2005 年，有 40% 的 DEHP 被用於醫用裝置，30% 的 DEHP 被用於顧客貨品，另 30% 的 DEHP 則用於工程建築相關用品。

五、DEHP 的入侵、代謝、毒性與水質標準

由於 DEHP 塑化劑被廣泛的使用於各種塑膠產品中，開始入侵周遭環境造成程度不一的污染。光分解 DEHP 在大氣層內是重要的，但在水中則不易分解（惟在生物體中則容易生物分解），在地面水中生物分解的半衰期約 50 天，在含氧底泥半衰期約 300 天，在低溫和厭氧環境下生物分解則更為緩慢，分解後主要產物為 MEHP【mono(2-ethylhexyl)phthalate】。

儘管 DEHP 可經由口腔、皮膚及肺部進入人體，惟仍以經由口腔進入人體為大宗。

DEHP 既是塑化劑容易由塑膠成品中移釋出 (migrate out)，其本身屬油溶性(lipophilic)物質，在非水性及高溫環境下更容易釋出，故應避免有加塑化劑的保鮮膜包裝奶油、乳酪、肉品、蒸煮食物等，避免有加塑化劑的塑膠袋裝熱性湯液（尤其帶油性的更不宜），避免有加塑化劑的塑膠玩具提供給嬰幼兒（尤其在嬰幼兒口腔期間），以及避免使用有加塑化劑的醫療管線容器等。動物實驗顯示低劑量的 DEHP 進入生物體內很快的被吸收和分佈於生物體內，也很容易的被代謝（在人體會在 48 小時內代謝 90%）而排出體外。

DEHP 不易溶於水，亦不易揮發到空氣中，它易觸黏於土壤顆粒上，在土壤或水中可被微生物分解為較沒有害的化合物。一般而言環境中存在之 DEHP 量很低、代謝快、不易累積而不致對人體產生傷害。世界衛生組織（WHO; World Health Organization）指出 DEHP 鄰苯二甲酸酯類化合物進入人體和動物體內，會有類似雌激素的作用會干擾內分泌是一種潛在的內分泌干擾物，長期暴露於 DEHP 環境下，除了會促進女性第一和第二性徵的發育成熟作用，還會增加患上乳癌、子宮內膜癌的風險。有研究指出孕婦體內鄰苯二甲酸酯濃度愈高，產下男嬰生殖器官陰莖短小、先天畸形、尿道下裂與隱睪症的風險就愈高。另外也有研究指出孕婦血液測量出來的 DEHP 的代謝產物與新生男嬰的陰莖變細、肛殖距變短、睪丸下降不全有明顯關係，而成年男性體內鄰苯二甲酸酯濃度愈高，精子的數量就會愈少，品質和活動力也愈差。

DEHP 在攝入量低的情況下容易被生物體代謝及排出，在動物體內為低急毒性物質（Lethal Dose LD50 \geq 20 gram/kg body weight），而在 DEHP 長期口服致癌實驗中，則會在鼠類產生肝細胞腫瘤。IARC（International Agency for Research on Cancer）將其歸類為對人類可能致癌物質（Group 2B）。其研究結果導出：

$$\text{NOAEL} = 2.5 \text{ mg/kg body wt /day}$$

依物種不同而訂不確定因子為 100，則

$$\text{TDI} = 2.5\text{mg/kg} / 100 = 25 \text{ ug/kg}$$

60kg 的成人每天喝進 2L 的飲水，TDI DEHP 分配到飲水內的佔攝入的 1%

則依下列計算得到 1993 年 WHO 對飲水中所含 DEHP 量之指引值 8 ug/L：

$$\text{GV} = \frac{25\text{ug/kg} \cdot 60\text{kg} \cdot 1\%}{2 \text{ L}} = 7.5 \text{ ug/L} \quad \doteq 8 \text{ ug/L}$$

NOAEL：No-observed-adverse-effect

TDI：Tolerable daily intake

GV：Guideline value

美國環保署則於 1994 年在飲水標準 Phase V Rule 訂定中將飲水中之 DEHP 最大容許量(maximum contaminant level)訂為 6 ug/L。

台灣環保署於 2007 年 4 月委託淡江大學康世芳教授等進行為期三年之”飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫”中將 DEHP 納選入 30 項「新增未列管污染物候選清單(Contaminated Candidate List; CCL)」之中，並於第二 (2008) 年 5-10 月間針對坪頂、澄清湖、鳳山及板新淨水場之原水、沉澱水、清水進行 DEHP 檢測，結果均

是未能檢出。台灣自來水公司後續亦委託上準環境科技股份有限公司曾於 2011 與 2012 年分別針對台灣全島各地淨水場供水及新竹地區各淨水場原、清水進行 DEHP 含量分析調查，結果均小於最低可檢測量 5 ug/L，顯示台灣水源及自來水受 DEHP 污染的情形可能輕微有限，應和 DEHP 分子大、極性低（因此容易黏著吸附於土壤底泥）、地面淨水場多處地面水源上游及每年豐雨季節沖刷、水源置換頻繁有關。鑑於台灣環保署未來極可能將其增列入為飲用水水質標準之新增檢項，台灣自來水公司已於 2012 年底購入設備，並於 2013 年起，依環保署環境檢驗所公告之 NIEA W801.52B 水中半揮發性有機化合物檢測方法－氣象層析質譜儀法嘗試建立分析能力，並實際檢測台水公司各地面淨水場水中 DEHP 等六種塑化劑，期能建立水中含量背景資料。

台水公司原初認為如能以 NIEA W801.52B 水中半揮發性有機化合物檢測方法－GC/MS 法順利進行 DEHP 等六種塑化劑微量分析將是十分經濟的做法，因未來可沿用本儀器同時對一大群半揮發性有機污染物篩測用途。惟實驗室實際分析經驗顯示效果並沒有想像中理想，雖然 GC/MS 可以檢測 DEHP 等六種塑化劑，惟方法偵測極限難以降低(台水公司委託代檢似也有此種情形，其檢測 DEHP 結果定量下限不甚理想，亦僅能以 $< 5 \mu\text{g/L}$ 表示)，分析不穩不理想原因可能跟前萃品質有關，也可能 DEHP 等塑化劑分子量大，容易在注樣口積存(如提高設定 Injector 溫度，過高則又可能產生分子裂分解現象)，或在 Column 前端堵集，或殘積存於 column 中造成微量分析穩定持久度

不易維持，儀器要經常 down 機進行清理維修。理論上較大分子量有機污染物之分析可能需要搭配 HPLC 之檢測方法較好，但仍需經實做印證。

結論

DEHP 毒性不高，存在於飲水中的量不高，惟環保署有意訂定為飲用水水質標準之新增檢項，飲用水應儘早因應建立檢測能力及水中減除 DEHP 技術為妥。

參考文獻

1. ATSDR Public Health Statement for DEHP (September, 2002), <http://www.astdr.cdc.gov/toxprofiles/tp9-c1-b.pdf>(上網搜尋日期 2013年12月12日)
2. ATSDR ToxFAQs™ for Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), <http://www.astdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=377&tid=65>(上網搜尋日期 2013年12月12日)
3. Bis(2-ethylhexyl)phthalate 117-81-7 ChemicalBook, <http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty-EN-CB8708555.htm>(上網搜尋日期 2013年12月13日)
4. EPA Ground Water and Drinking Water Homepage, <http://water.epa.gov/drink/index.cfm>(上網搜尋日期 2013年2月10日)
5. EUR 23384 EN/2, Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) Summary Risk Assessment Report (2008), <http://echa.europa.eu/documents/10162/060d4981-4dfb-4e40-8c69-6320c9debb01> (上網搜尋日期 2013年12月18日)
6. Report on Carcinogens, Twelfth Edition (2001) <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/twelfth/roc12.pdf> (上網搜尋日期 2013年6月16日)
7. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 3rd

Edition, WHO Geneva, 2004.

8. 塑化劑-維基百科，自由的百科全書，
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A1%91%E5%8C%96%E5%8A%91>(上網搜尋日期 2013年8月16日)
9. 鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯-維基百科，自由的百科全書，
<http://zh.wikipedia.org/wiki/DEHP>(上網搜尋日期 2013年8月16日)

作者簡介

江弘斌先生

現職：台水公司水質處組長，已退休

專長：水質分析、水質管理及淨水處理

本刊 103 年「每期專題」

期別	專題主題名稱	副主題項目	時程
33 卷第 3 期	氣候變遷與調適	氣候變遷、全球暖化、水源調度、災害應變、供水應變、水源污染與保護、抗旱準備、緊急應變及危機管理	8 月
33 卷第 4 期	自來水營運管理	供水設施及資產管理、資訊管理與應用、供水管網、自來水營運、客戶服務、人力需求、收費、水量與水壓、能源管理	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

第 8 屆臺、美、日自來水設施耐震對策研討會紀實

文/朱聖心、范川江、鄭錦澤、范煥英、王桑貴

一、前言

地震是地殼急速變動所產生之地層振動現象，由於地震極具破壞力，會造成生命、財產之慘重損害。臺灣位於環太平洋地震帶上，且位處菲律賓板塊及歐亞板塊交界處，前者每年約以 7-8 公分向西北方位推移後者，因此地震不斷發生，該地震帶發生地震比率約佔全世界 80%，同屬帶上之美國、日本和臺灣，每次大地震均造成許多生命財產之損失，深值吾人警惕。

自來水設施為水資源系統之一環，亦為維生系統中極重要的一部分，人類如長期無水可喝，將無法生存。地震時如自來水設施遭受損壞，其損壞將不僅是構造物之破壞，更藉由震後災區生活用水缺乏或消防用水不足等障礙，進而引起火災擴大或疾病流行等二次災害，因此震災後自來水之維生供應能力，將直接或間接影響地震防災及救災工作之成效，另地震後如何應變、救急、持續供水等風險管理，是一項亟待深思之課題。有鑒於自來水系統之重要性及近年國際間大規模地震對於都會區供水設施之破壞，美、日等先進國家對於自來水系統的耐震性能與震後應變研究一向不遺餘力。透過美國自來水協會研究基金會（America Water Works Association Research Foundation, AWWARF）與日本自來水協會（Japan Water Works Association, JWVA）為平台，於 1999 年起，美、日兩國之專家學者每 2 年輪流主辦「美、日自來水設施耐震對策研討會」。

且自第 3 屆起即有擴大參與之構想，連續邀請英國、臺灣等國之自來水協會人員或學者參加並發表論文，就自來水相關設施之系統效能分析、風險評估與管理、震後應變與恢復、震害經驗與防治技術等議題進行廣泛交流，其目的不外乎相互學習、精進職能之意。

本研討會參與對象包含自來水協會研究人員、自來水事業單位之實務人員與學者專家，且歷屆美、日與會人員多為各地自來水事業單位之主管與資深工程師，實為自來水耐震研究與實務交流之一大盛會。此次輪由美國於加州奧克蘭主辦第 8 屆研討會，中華民國自來水協會與國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心、台灣自來水股份有限公司、臺灣世曦工程顧問股份有限公司及臺北自來水事業處，共同派員於 102 年 8 月前往參與此屆研討會，及後續於舊金山灣區相關自來水事業體進行技術參訪，表 1 為研討會歷年舉辦之時間與地點，表 2 為此次與會及參訪的行程。

二、研討會會前協商（2013/8/20）

我方代表由中華民國自來水協會王秘書長桑貴率領，成員包含國家地震工程研究中心鍾立來博士、劉季宇博士及葉錦勳博士；代表國家災害防救科技中心且任教於臺北科技大學的施邦築教授；台灣自來水股份有限公司的施澍育高級研究員；臺灣世曦工程顧問股份有限公司的周永川副理；臺北自來水事業處工程總隊的范煥英總隊長、范川江科長及事業處的鄭錦澤科長、朱聖心股長

等。於 8 月 19 日搭乘班機自臺北抵達舊金山，並驅車前往下榻的旅館。

表 1 臺、美、日自來水設施耐震對策研討會歷年舉辦之時間與地點

屆次	時間	地點
第 1 屆	1999	美國舊金山
第 2 屆	2001	日本東京
第 3 屆	2003	美國洛杉磯
第 4 屆	2005	日本神戶
第 5 屆	2007	美國奧克蘭
第 6 屆	2009	臺灣臺北
第 7 屆	2011	日本新潟
第 8 屆	2013	美國奧克蘭

研討會舉辦地點是在位於舊金山市東側之奧克蘭 (Oakland) 之 EBMUD (East Bay Municipal Utility District) 公司總部。研討會開始前即由臺、美、日三方代表針對未來自來水之發展、技術合作、研究主題等進行協商，並訂立日後執行方針，會中並決議由於 311 東日本大地震的自來水設施受災及復舊情形非常值得借鏡，因此下次會議將由日本於 2015 年主辦，然日本 JWWA 有七處分區，由何區主辦及地點，日方將再協調討論。

表 2 研討會及參訪行程

日期 Date	行程考察單位 Visiting place	考察內容 Visiting content
8/19 (Mon)	臺北→舊金山	飛至美國舊金山
8/20 (Tue)	參加台美日地震研討會 會前會	拜會美方主席 (Introduction to Mr. Alexander Coate, General Manager - East Bay Municipal Utility District) 及參加會前會
8/21 (Wed) ~ 8/22 (Thu)	參加台美日地震研討會	專題演講、分組報告研討與綜合討論 workshop (East Bay Municipal Utility District)
8/23 (Fri)	研討會工程參觀 San Francisco Public Utilities Commission Tunnel Project	舊金山公共事業委員會整體幹管隧道計畫-卡拉韋拉斯壩補強重建計畫- Calaveras Dam Replacement Project
8/24 (Sat) ~ 8/25 (Sun)	舊金山市政參觀	舊金山市政參觀與整理會議資料
8/26 (Mon)	康特拉科斯塔水務公司 (CCWD) 拜會參訪與研討	Contra Costa Water District (CCWD) Los Vaqueros 水庫擴建計畫、Middle River 取水口及加壓站、Ballman 淨水廠
8/27 (Tue)	東灣水務局 (EBMUD) 拜會參訪與研討	與 East Bay Municipal Utility District (EBMUD) 就舊金山高地供水設施、管網耐震改善計畫、管網測漏技術多項主題進行研討
8/28 (Wed) 8/29 (Thu)	凌晨起程 舊金山→臺北	離美 (China Airline) 搭乘客機回臺北

三、技術論文發表(2013/8/21~08/22)

會議在研討會在主辦單位總經理 Coate 先生，及美國 Water Research Foundation (WRF) Cline 先生、日本 Japan Water Works Association (JWWA) Nagaoka 教授及我國自來水協會 (CTWWA) 王桑貴祕書長致歡迎詞(如圖 1)後展開。接著分由美/日/台專家代表分別進行本研討會之三場主題演講 (keynote Speech)。



圖 1 CTWWA 代表致詞

本研討會之三場主題演講 (keynote Speech)，首先是 EBMUD 的 Irias 先生以 "Improving Seismic Reliability for Water Infrastructure Using Info-Gap Robustness" 為題：說明傳統不確定性分析方法的限制，使得以往在危害度的分析及設計施工，在遭遇極端氣候或天災(如地震、海嘯)發生時，結構或設施的危害度及發生機率來考量。針對自來水基礎設施的抗震規劃，可運用 INFO-Gap 決策理論及健全度決策法 (Robust Decision Making, RDM)，於極端不確定因素下就自來水基礎設施的各項策略進行評估分析，並可提供具體量化資訊供決策參考。第二場是由 JWWA 的 Okubo 先生以 "2011 The Great East Japan Earthquake and Activities of

Japan Water Works Association" 為題：說明 2011 年在東日本發生的 311 大地震，震後不僅發生地盤變位與眾多生命財產損失，於鄰近震央附近岩手縣 (Iwate)、宮島縣 (Miyagi)、福島縣 (Fukushima) 之供水設施、原水幹管、供水分支管等均嚴重受損，造成 250 萬戶無法供水，震後 JWWA 於東京設立了總部，除對緊急供水方式等提供對策，並由協會成員、學校教授、工程師等組成調查小組進行調查，本演說對其調查分析評估結果、緊急應變方式等進行說明。並提出對於廣域大面積及海嘯影響之震損破壞，應進行自來水之設計規範及飲用水輻射污染檢驗標準的修正。最後一場則是由我國國家地震中心的劉季宇博士以 "Implementation of Seismic Loss Estimation of Water Systems to Utility Emergency Response in Taiwan" 為題，說明都會區震後管線之受損評估佔重要角色，劉博士說明了我國相關機構近年來在自來水設施的耐減震研究進程，及國家地震中心此部份管線耐震研析技術與配合不同管種、口徑及地質液化之資料庫研析成果。目前國家地震中心已經收集臺北及宜蘭地區的自來水管線資訊，進行地震受損的模擬研究，其分析成果可供我國自來水管線弱點區域預測，未來如於資料庫建置更多地區管線資訊，可擴展其應用範圍。

緊接在主題演講後，隨即進行第一日的論文發表。本次研討會會議期間之論文宣讀共計 37 篇，分別於 1.5 天內同時進行報告與討論，由於參與人員多，為使研討會進行流暢，論文宣讀過程嚴格控制時間，簡報 12 分鐘，討論 3 分鐘，第二天下午大會則安排直接與論文宣讀者及就各項議題進行多方

討論。除使研討會進行流暢，亦可讓有興趣者集中並就各國作法之差異性進行熱烈討論與比較。與會代表們紛紛就自來水設施與問題進行前瞻問題發言，並就所遭遇的問題進行討論與交流，咸認收穫頗豐、獲益匪淺。

第 1 日 4 個技術主題計有 21 篇論文發表及討論：第 1 個技術主題是地震災損評估 (SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT)，主要研討地震災損評估之相關方法，由美國普萊特 (David Pratt) 先生與日本大久保 (Takuji Okubo) 先生共同主持，共有 3 篇論文報告。

第 2 個技術主題是地震研析與評估 (EARTHQUAKE STUDIES AND EVALUATIONS)，本單元主要研討地震研析與評估之方式，由日本 Hiroshi Nagaoka 教授與我國鍾立來博士共同主持，共有 5 篇論文報告，我國在此主題亦有 3 位代表提出論文發表，由於當前臺北都會區相關斷層研究，咸認為臺北盆地西緣的山腳斷層屬於高活動度之正斷層，因此北水處的朱聖心股長及台灣世曦的周永川副理，都針對山腳斷層的相關研究提出報告。

接著的技術主題是地震減輕措施 (SEISMIC MITIGATION MEASURES)，本單元主要研討地震減輕措施之相關方式，由北水處工程總隊長范煥英與美國 Craig Davis 先生共同主持，共有 6 篇論文報告。

第 4 個技術主題是風險分析技術 (RISK ANALYSIS TECHNIQUES)，由我國地震中心的葉錦勳博士與日本的 Nagahisa Hirayama 先生共同主持，共有 7 篇論文報告。北水處工程總隊設計科的范川江科長對北水處自來水加壓站建物耐震能力評估補強，提出案例

介紹。地震中心的葉錦勳博士，針對全國土壤液化區域的機率式地震危害度分析提出報告，報告內容涵蓋臺北市及新北市的液化潛勢地區，可作為供水設施耐震規劃參考。臺北科技大學的施邦築教授，在此技術主題中，也介紹大臺北地區的供水系統，施教授指出供水系統有 4 類破壞模式，以事件樹 (Event tree establishment) 於震災發生後，進行 7 種狀況模擬，再以損害樹 (Fault tree establishment) 分析法，進行地震危害度的風險量化分析，分析結果所得到的損害分級，可以提供預防及應變決策參考。

研討會的議程雖然安排的十分緊湊，但主辦單位在 Tea Break 的時間準備了豐盛的點心飲品，並由舊金山灣區相關自來水事業機構，以壁報方式將其相關設施耐震業務做了詳細的呈現，也提供與會代表在休息時間還能繼續進行意見交流及增進熟悉彼此的機會。

在第 1 天的論文發表及討論結束後，大家在暮色中返回旅館，美方於 San Francisco Public Utilities Commission (SFPUC) 準備了歡迎晚宴 (如圖 2)，美味的輕食與美酒，不僅使賓主盡歡，也一掃與會代表整天會議後的疲累。



圖 2 研討會第 1 日晚間的歡迎晚宴 (中立者為康乃爾大學知名的管線耐震研究學者 Prof. Thomas O' Rourke)

研討會第二日繼續進行後續 2 個 (5-6) 技術主題的論文發表及討論：第 5 個技術主題是管線耐震對策 (SEISMIC MEASURES FOR PIPELINES)，由日本之宮島 (Masakatsu Miyajima) 教授及美國邁克爾 (Michael Stuhr) 先生共同主持，共有 7 篇論文報告。日本 JFE Engineering Corp. 公司提出過斷層鋼管應用的發展探討，主要說明日本活斷層多達 2000 餘條，發生錯動影響幹管位置不易確定，故多採鋼製管材穿越斷層；亦因不同斷層位移型式，管材發生有拉伸 (正斷層)、壓縮 (逆斷層)、多方向變位 (平移斷層) 行為，然一般鋼管管材受斷層錯動，其管壁易開裂，故該公司所生產之特殊鋼管 SPF 其管壁設計脊背形塑性區，於斷層錯動免於開裂及導致大量幹管漏水，並能維持自來水幹管於震後維持大部份通水斷面。北水處鄭錦澤科長也在此主題說明臺北地區是我國政治及經濟的中心，對於各類型災害的威脅，應有最壞的打算與最好的準備。基此，2012 年藉由委託財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心研究「山腳斷層模擬山腳斷層地震自來水管線災損推估」案，評估發現臺北地區因鄰近山腳斷層，其管線受損的主要原因為「斷層開裂位移」及「液化沉陷」，以及推估相關災損數量。在前述 2 種狀況下，北水處評估參照現有自來水業相關之合約承商施工人員數量、庫存材料，並提出因應考量之風險管理方案及因應措施。此外，亦選擇以永福水管橋作為示範例實施耐震詳細評估，包含線性靜力與動力歷時分析、非線性靜力側推分析與非線性動力歷時分析，評估其耐震性能水準與檢核，結果發現在行車

方向表現不如設計預期，需進行補強及因應措施。國震中心鍾立來博士也說明，由水利署及北水處等委託國震中心，研究針對自來水延性鑄鐵管，選擇台灣目前主要使用之延性鑄鐵管 K 型接頭、早年鋪設且所佔比例仍相當高之延性鑄鐵管 A 型接頭，以及與用戶水表接續或者淨水場內各單元間常用之接續平口接頭等進行耐震性能試驗。相關受測單元包含：軸拉、軸壓等試驗係以 500 噸萬能試驗機作為施載系統，以分析及探討自來水延性鑄鐵管現況，經測試如地質條件良好，K 型接頭仍具部分耐震能力，及供未來發展探討應用。

最後 1 個技術主題是緊急應變及復舊 (EMERGENCY RESPONSE AND RECOVERY)，由美國約翰 (John Eidinger) 先生與中華民國施邦築教授共同主持，共有 6 篇論文報告。其中日本千葉縣水道局針對東日本大地震災損與緊急應變探討提出報告：主要說明日本千葉縣水道局服務客戶達 300 萬戶，每日供水量約達 100 萬噸，管轄有 4 處取水站、5 處淨水場、14 處抽水站、8700km 管線，震後有 83% 之災損發生於開墾區，並有 766 處滲漏，漏水主因為接合處之脫落 (耐震管 NS type 接頭則無災損)，由於無法於短期內修復，水道局於國小及抽水站等處緊急供水；另外，東京電力之福島核電廠有災損限電，鄰近水源 (河川與湖泊) 亦發現有受輻射污染情形，初期之降雨，千葉縣水道局暫停取水，且在取水站加注粉狀活性炭 (powdered activated carbon) 以去除吸附之放射性碘 (iodine)；2011 年 3 月 25 日以後，水道局於處理後之水，偵測所得之放射性碘

已低於標準 (100 Bq/kg)，2011 年 4 月 15 日後，則已無偵測到放射性碘；放射性銫 (radioactive cesium) 之標準為 200 Bq/kg，2011 年 4 月 27 日後，亦已無偵測到放射性銫，但先前淨水場含銫之泥餅因受污染，不可隨意棄置回填，僅可置於處理場內，因數量很大，故其處理甚為困難，相關應變非常值得參考。

本日下午的主題是綜合討論，由於 2011 年發生了 311 東日本大地震，相關自來水事業的受災情形，先由日本自來水協會針對協會在災區受災時的緊急維生供水及復舊所扮演之角色作一報告，也引發我國及美國對於現行機制及未來因應作為的熱烈討論。綜合討論由三方的代表共同主持 (如圖 3)，由於該次地震不僅規模達 9.0 十分驚人，震後又引起海嘯侵襲，造成重大的人命財產損失。受災區域自來水設施的損壞與未損壞情形，及災後供水系統的復原工作、緊急維生用水的供應運作方式，都是臺、美代表關注及亟欲了解的課題，也造成討論發問欲罷不能的情形 (如圖 4)。

在結束了研討會的論文發表議程後，晚間大家驅車前往任職於 EBMUD 的好友 David Pratt 位於湖濱的家，享用了一頓充滿歡樂的 BBQ 晚餐。我方與日與會代表也以實際行動感謝美方主辦單位在此次會議的安排及招待。三方代表除繼續於席間討論未完的問題外，也分別學習以中、美、日語彼此敬酒並致意並留下合影 (如圖 5)。晚餐就在「乎乾啦」不絕於耳聲中熱切的結束，大家回到飯店休息準備次日的參訪行程。



圖 3 綜合討論的主持代表



圖 4 熱烈進行的綜合討論



圖 5 湖畔 BBQ 晚宴

四、研討會工程參訪

結束 2 天密集、緊張且充實的研討會後，接著是主辦單位安排的技術參訪 (Technical Tour)，目的地是舊金山公共事業委員會整體幹管隧道計畫 (San Francisco Public Utilities Commission Tunnel Project) 的

卡拉韋拉斯壩補強重建計畫(Calaveras Dam Replacement Project)，Calaveras 壩為灣區最大的壩(地理位置如圖 6 所示)，舊壩始建於 1913 年，壩高約 1,200 英尺，長度約 245 英尺，為當時世界上最大的土壩及舊金山灣區之主要水源；為穩定水源及提昇供水水壩耐震性，乃於舊壩附近更新新建水壩。但由於鄰近 Calaveras 斷層，舊壩於 1918 年曾受震，因孔隙水壓增大，壩體產生平行裂縫而開裂倒塌。後雖經修復並重新啟用，但由於大壩受震後之安全性仍有甚多顧慮，加州州政府舊金山公用事業委員會(SFPUC)基於大壩安全，故自 2001 年以來大壩降低水位，並僅填補做到了滿負荷的 40%。目前施工階段則僅維持 25%之庫容量。新壩考量強化設計，除可抵抗規模 7 以上之地震外，並預留未來增大庫容提昇水位之需求，完成後，新壩水位恢復原蓄容面積 96,850 英畝，庫容 310 億加侖；新土石壩將具 220 英尺高度和 1,210 英尺長壩頂，底座厚度的 1,180 英尺，壩頂厚度 80 英尺，溢洪道長 1550 英尺，取水口/井直徑 20 英尺、深 163 英尺、魚梯、直徑 72~78in 之導水鋼管隧道等設施。在 2011 年 9 月動土，預計於 2015 年完成。工程費達 6 億 2,100 萬美元。本工程原邊坡係規劃採 H:V=1.3:1.0 之坡度進行修坡，但施工時現地發現斷層破碎帶之地質狀況不佳與潛在邊坡大規模滑移問題。經進行鑽探、監測調查後，依其成果進行了 2 次變更，邊坡改採 H:V=2:1 之坡度，較原契約增加 300 萬立方碼(cubic yards)的土石方。另右岸之局部坍塌地則以地錨、型鋼與木矢版等擋土設施作為短期穩定，完成壩底基礎開挖施工後則逐步回填穩定邊坡(如圖 7)。



圖 6 Calaveras Dam 位置



圖 7 右岸坍塌邊坡以地錨暫時穩定

現場也看到施工單位於邊坡部份設立沉陷釘水準監測點，利用高精度之 GPS 儀器以半自動方式量測沉陷變位，現場資料即時儲於行動式電腦，完成後再儲存於辦公室資料庫，方便省力(詳圖 8-9)。施工完成後亦於壩體及邊坡規劃設置水壓計、傾度管等儀器進行監控。參訪人員並合影留念(如圖 10)。



圖 8 邊坡設立水準監測點



圖 9 利用 GPS 量測位移



圖 10 工程參訪人員合照

五、聽取San Francisco Public Utilities Commission (SFPUC) 之The Bay Division Pipelines (BDPLs) 3 and 4 穿越Hayward斷層計畫簡報

本計劃是在前一屆研討會時，由 SFPUC 負責供水系統改善計畫的 Julie Labonte 女士提出設計介紹。其先進的設計觀念，對於供水設施常會遭遇或經過斷層的日本及台灣，提供了相當好的借鏡。因此日本 JWJA 的 Takuji Okubo 先生特別情商主辦單位，希望能在本屆的研討會獲知其最新的施作情形。舊金山公共設施委員會 (San Francisco Public Utilities Commission, SFPUC) 所轄的 Hetch Hetchy Regional Water System，提供舊金山灣區 250 萬人口每日約 100 萬噸的飲水

需求。這個供水系統興建迄今已經接近百年，不僅提供區域內民眾充足、安全且衛生的飲水，也是區域內經濟活動能穩定發展的重要因素。

Hetch Hetchy Regional Water System 的水源是來自 Yosemite National Park 的融雪，先在 Hetch Hetchy Reservoir 儲集後，再經由 167 英哩的輸水管線，配送到舊金山灣區的供水區域內 (如圖 11)。

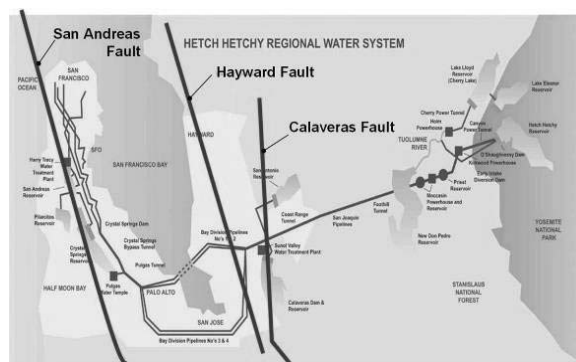


圖 11 Hetch Hetchy Regional Water System 配置圖

區域供水系統改善計畫此供水系統雖然已持續穩定運作接近百年，但系統卻經過三大活動斷層：San Andreas, Hayward, 和 Calaveras 斷層。美國地質調查所在 2008 年發布的分析認為，在未來 30 年內，這三條活動斷層會引致大規模地震的機率達到 63% (2007 Working Group on California Earthquake Probabilities, 2008)。因此 SFPUC 在 2002 年起即著手擬訂供水系統改善計畫 (Water System Improvement Program, WSIP)，希望灣區的供水系統改善後，於遭遇大地震事件時，仍能在 24 小時內恢復基本穩定的供給。WSIP 計畫包含 81 個子計畫，執行地區跨越 7 個郡，整個計畫費用達到 46 億美元，改善

內容涵蓋一座新的淨水場；改善輸水設施包含輸水管、輸水隧道、加壓站；也包含改善貯水設施如水壩、水庫、配水池等設施。計畫希望能達到 4 個可靠度目標：耐震、運送、供應及水質的可靠度。這個改善計畫也是美國境內近年最大的供水改善計畫之一。

在 WSIP 計畫內，被認為風險度最高的部分，有一項就是 Bay Division Pipelines 編號 3 和 4（BDPL 3 and 4）的輸水管，這兩條輸水管在 Fremont 地區的州際公路附近通過 Hayward 斷層（如圖 12）。Hayward 斷層長約 119 公里，分佈在加州人口密集的舊金山灣區，為該區具重大威脅性的斷層之一。此斷層為聖安地列斯斷層系統（San Andreas fault system）成員之一，該斷層系統調節太平洋板塊與北美洲板塊的相對位移，屬於災難型的活動斷層。由其歷史地震紀錄及地震危害度的分析指出，此斷層再次錯動並引發地震是不可避免的，經過分析，BDPLs 以回歸期 975 年的地震最大地表加速度 1.05g，水平位移 6.5 英尺作為設計基準，輸水管與斷層之交角在 Trace A、B、C 處約為 45-50 度，相關的設計區域參數如表 3。

由 BDPLs 調查得知該斷層每年平均位

移量達 6mm，主要可能之地層破裂帶寬約 23m，第二可能之裂損之區域則約達 60m，為確保耐震性，計畫目標為震後 24 小時內

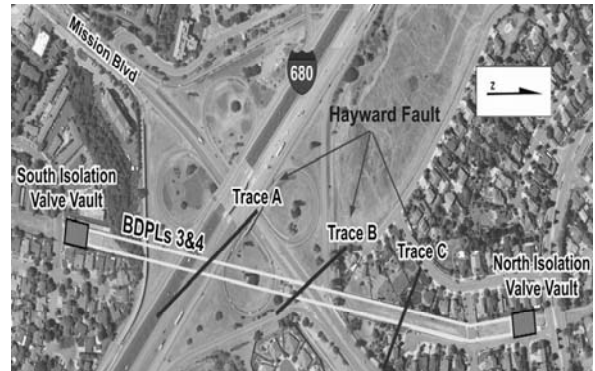


圖 12 BDPLs 位置圖

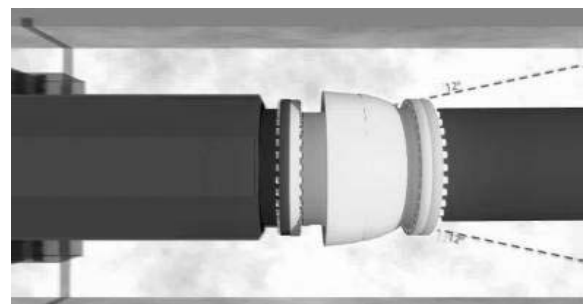


圖 13 Ball Joint 示意圖

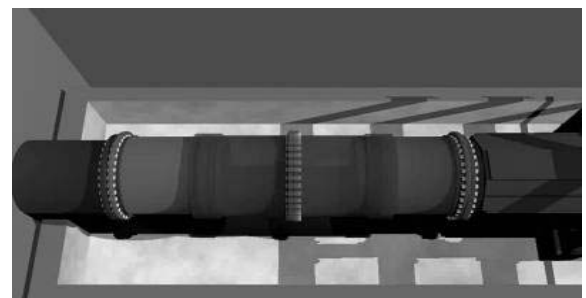


圖 14 Slip Joint 示意圖

表 3 BDPLs 設計區域參數 (WLA, 2008)

Trace	Design Horizontal Displacement (feet)	Design Vertical Displacement (feet)	Width of Primary Zone (feet)	Width of Secondary Zone (feet)
Trace A	1	0.7	213	213
Trace B (main trace)	6.5	0	75	196
Trace C	0.5	0.5	33	134

恢復供應基本用水量（平均冬季需水量）及 30 天內恢復供應平均日供水量。SFPUC 於穿越此斷層之設計，新設 72 英吋（1830mm）供水鋼管，並設計節塊混凝土箱涵包覆於輸水管外，節塊混凝土箱涵總長度 300 英吋（91 公尺），區分 11 個節塊，節塊間之間隙 6 英吋（15 公分），每個節塊寬 20 英吋（6 公尺），高 18 英吋（5.5 公尺），其中 9 個節塊 45 度菱型設計長度總計 200 英吋（61 公尺），箱涵置於 9 英吋（23 公分）底板上，以減低斷層錯位對管線的影響。箱涵外之 3 英吋（91 公分）切削樁施工中可作為擋土壁使用，完工後亦可達到保護箱涵之作用。這樣的設計方式，也在美國國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）的資助下在康乃爾大學的地震工程研究中心，進行了縮尺 1/10 的大型室內試驗來驗證其可行性。另外為因應可能產生的變位，BDPLs 也採用特殊的 Ball Joint 及 Slip Joint 等耐震管件設施，其中球型接頭（Ball Joint）於箱涵內斷層破裂帶兩側設置，在操作水壓為 125 psi 狀況下，容許 12 度之旋轉，本接頭亦多造一組在製造工廠內進行測試（如圖 13-14）。現場兩處接頭間施作可滑動支承座（sliding support），以輔助輸水管受斷層錯位移動使用。而特製的可滑動接頭（Slip Joint）於箱涵內斷層破裂帶北側設置 1 處，在操作水壓為 125 psi（ $8.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ）情況下，容許 9 英吋（2.7 公尺）壓縮滑動量及 1 英吋（0.3 公尺）伸張滑動量，可承受 95kip-ft（13t-m）彎矩及 55kip（25t）剪力。本接頭亦多造一組作為驗證測試使用。接頭南側施作導引輔助支承座（Guided supports），其以型鋼製桁架及可滑動承座束

制輸水管，以減少斷層錯位時輸水管所受之彎矩與剪力之傳遞，主要讓軸力傳遞至可滑動接頭作用。本 BDPLs 計畫在 2011 年完成規劃設計後，於 2012 年中開始動工，已完成部份可滑動式混凝土箱涵及管線按裝，至 2013 年 8 月的工程進度達到 25%。

WSIP 計畫在穿越 Hayward 斷層處的 BDPLs 設計，是採用最高的耐震標準，相關的設計及試驗，也有國家級的研究單位提供資助，期望能達成地震後 24 小時內即可恢復基本供水需求，此種重大維生管線的災損預防規劃，值得我們參考。

六、自來水設施耐震研討與交流 Contra Costa Water District (CCWD) 水庫、配水池加壓站耐 震改進技術參訪

我方成員除國家地震工程研究中心人員另有行程，其餘人員繼續與灣區相關自來水事業，進行自來水設施耐震研討與交流。8 月 26 日來到 Contra Costa Water District (CCWD) 之取水壩、取水口及加壓站淨水場參訪，並聽取現場簡報及說明。CCWD 位於舊金山灣東側，主要提供權屬範圍內約 50 萬人之安全乾淨用水。該單位成立於 1936 年，逐步發展為重工業、工廠、農場和沿三角洲農耕興起利用的淡水供應者，現為加州最大的城市供水區、飲用水處理技術的領導者，並肩負水源保護之任務。加州供水系統主要由水庫與導水渠道串聯而成，Contra Costa Canal 完成於 1948 年，為州政府中央河谷計畫（Central Valley Project）中最早完成的原水渠道。CCWD 所養賴取水之三角洲係由 Sacramento and San Joaquin Rivers 匯流所

形成，此水源供應約三分之二加州居民之飲用水及數百萬英畝之灌溉用水，主要之降雨期間為冬季 10~4 月，5~9 月夏/秋季雨量少屬缺水季節，於夏末至初秋之旱季時，海水由海灣進入三角洲，產生鹽化現象，既有之取水口(如 Old River 取水口及 Rock Slough 取水口)因設置位置的關係，原水水質不佳；為改善此一問題，CCWD 於 2004 年開始「替代取水口計畫」(Alternate Intake Project, AIP)，於他處新建取水口。於冬/春季三角洲鹽度低時，抽水至 Los Vaqueros Reservoir 儲存，夏/秋季再將 Los Vaqueros Reservoir 儲水釋放至三角洲渠道混合，以降低鹽度，為保護魚類，春季長達 90 天將減少從三角洲抽水，其中 30 天停止取水，完全由 Los Vaqueros Reservoir 供應。本次即參訪「替代取水口計畫」之加壓站及 CCWD 所屬的 Los Vaqueros 水庫擴建計畫 (Los Vaqueros Expansion Project) 及 Ballman 淨水場。

替代取水口計畫所屬加壓站的設施包含 5 台 3000HP 垂直渦輪式幫浦，其中 2 台為變頻式 (如圖 15)，泵送速率為慢速 250 CFS(Cubic Feet per Second)，使魚類可游開不被吸入。另設 1800 平方英尺不鏽鋼製攔汙柵 (孔目六分之一英吋)，亦為魚類保護設施之一。及自動耙污機 (如圖 16)、水錘抑止系統、69KV 變電站及配電機房等。

CCWD 所屬的 Los Vaqueros 水庫係於 1994 年開始興建並於 1998 年完成，蓄水面積達 100,000 英畝，原興建目的係為三角洲之緊急備用供水水庫、提昇供水水質(三角洲鹽化問題)、及提供水資源管理等，工程造價為一億兩千萬美元。由於原壩於設計時已預留擴充容量及安全係數，故壩體增高，整體

穩定性仍在安全範圍內。進入 21 世紀後，為減輕極端氣候影響，在乾旱期間提供可靠的水量與水質，CCWD 遂提出擴建 Los Vaqueros Reservoir 水庫容量計畫，將水庫蓄水面積由原 100,000 英畝擴大至 160,000 英畝 (如圖 17)，並增加淹沒區之休閒觀光服務，另將因水庫擴大而具較高水位與水頭下之加壓站幫浦更新。



圖 15 5 台 3000HP 豎軸式渦輪幫浦



圖 16 自動耙污機

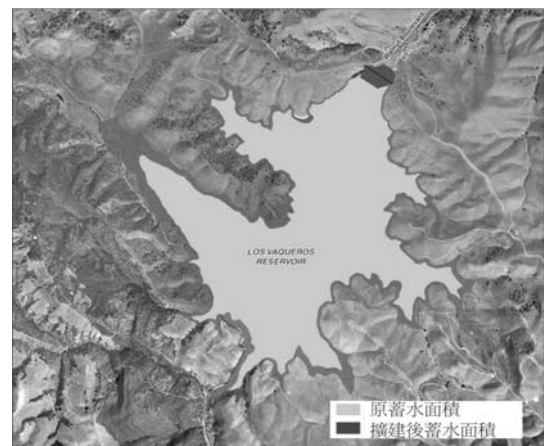


圖 17 Los Vaqueros 水庫擴建區域圖

擴建工程自 2011 年 4 月 1 日動工施工過程將壩高由 EL.472 英尺提昇至 EL.507 英尺。但需先將水位降至 EL.430 英尺，以降挖舊壩至 EL. 440 英尺，方可使既有之粘土心層（不透水層）與濾層出露，以重新調整壩心中軸，並將土壩回填至更高高程，壩體每一新施工區塊回填僅允許 10ft 之自由水面（freeboard）。

本日尚參訪了 CCWD 所屬的 Ballman water treatment plant，這個淨水場建於 1968 年，除以最先進的儀控設備監控 CCWD 全區各抽水站水量與水庫水位高程外，該廠因原水有機物質含量較高，採用臭氧消毒，以避免形成致癌化合物。每天可處理超過 350 萬噸的水，處理後之污泥則於脫水後，外送作為路堤填築材。另由於原水池滋生水生藻類植物，故定期遣人划船割除藻類，以降低水質優養程度。

七、東灣水務局（EBMUD）之拜會參訪與研討

我方成員於 8 月 27 日再度拜會 EBMUD，並與該局同仁就舊金山高地供水設施、管網耐震改善計畫、管網測漏技術多項主題又進行研討交流。

這項討論在 EBMUD 的 David Lee 先生、Chieh Wang 先生及 Andrea Chen 小姐事前精細的準備下，雙方成員就上述議題進行熱烈的經驗分享及意見交流。會後我方一行人還享用了由 Chieh Wang 先生堅持款待的美味中國菜，才和美國友人說聲珍重再見後，抵達舊金山國際機場，搭機返國。

這一次由 EBMUD 所舉辦臺美日自來水研討會相當圓滿成功。在兩天的會議過程

中，來自日本、美國、臺灣前輩專家針對自來水相關議題熱烈討論、交換意見，讓每位與會人士收穫良多。加上主辦單位精心安排的技術參訪、經驗交流及盛情款待，以及在小地方處處用心的精神，讓我們感動不已，相當值得學習，也體會美國友人對於這次研討會的重視。下屆臺美日自來水研討會將在兩年後（2015 年）由日本主辦，相約下次在日本再和老朋友相會！

參考文獻

- 1.臺北市政府公務出國報告：參加「第8屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」暨考察舊金山自來水耐震及高地區加壓設施心得報告

作者簡介

朱聖心先生

現職：臺北自來水事業處股長

專長：自來水工程設計、施工、管考

范川江先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊設計科長

專長：自來水工程規劃、設計

鄭錦澤先生

現職：臺北自來水事業處技術科長

專長：供水調度及管理、淨水處理、技術研發、工程規劃與管理

范煥英先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊總隊長

專長：自來水工程規劃與施工、淨水處理技術、管網分析與調度

王桑貴先生

現職：中華民國自來水協會秘書長

專長：自來水系統規劃與施工、地下管線免開挖更生工法

東京水道復興建設努力之方向

文/朱健行

一、前言

2011 年日本東北地方發生太平洋沖地震，主震發生於 2011 年 3 月 11 日，發生時間 05:46:23UTC (14:46:23JST)，震央日本三陸沖，規模 9.0Mw8.4Mj 震源深度測得數據 24.4 公里並引發最高 40.5 英尺的海嘯，確認死亡 15,854 人，失蹤通報 3,155 人，傷者累計 26,992 人，東京所在的關東地方於地震發生時的有感晃動時間長達 5 分鐘。總共遭受破壞的房屋 1,168,453 棟^[2]，如圖 1。歷經兩年東京水道局「設施再建設基本構想」草案策定成案公告上網。此一構想是水道設施再建設之時，現狀及將來可能發生危機或緊急應對之對策，因而提倡「確保新的安全度」。為了這些草案能實現，不只是避免設施更新能力降低，且為了確保淨水設施容量及能力，則管線必須二重化施行。今後自來水事業，可能因使用電力受到強烈的限制，例如東京都水道局因受到 311 大地震大規模停電事故後之影響，或因發電所容量不足。在考慮建設強韌的自來水系統下，因此水源確保或設施整備等必要之執行方向，應能有效確實執行，將此次東日本 311 大震災視為重要寶貴經驗。在推估人口將逐年減少下，雖然迎接自來水再建設時代的到來，需水量一致的推估，則可能無法再確定。然而其中相同構想，確立了日本東京都今後自來水設施再建設先導推進處理制度，此制度可為寶島台灣之良好典範。

二、復興建設時之安全度^[3]

首先提出基本構想策略著手背景，東京自來水淨水場幾乎在 1950 年~1960 年，因應二次大戰後，大建設需要而急劇增加，一起迎向更新時代。如今一方面因水源之脆弱性，並加入現有氣候變遷課題之擴大，與未來自來水事業目標相互影響之猜疑下，因此考慮在未來更新時，克服自來水風險與危機。

(一)將不確實性吸收

在日本，全體國民皆能從水龍頭直接飲水，且確保安全供水，此是自來水之重要責任。因此未知之危機，明顯的仍是很有可能的。設施需建設多少？此乃是必要知道的。因此再次強調之三大目標是：

第一目標「能夠實現安心安定給水」預期東京都首都圈每 1 人貯水量，是紐約市或韓國首爾市之 10 分之 1。為了「安全度提高」及水源的確保，有效執行設施的整備，此在任一危機情況下，皆是非常重要的，如圖 2。

第二目標「徹底水質的確保」依據受氣候變遷之影響，各種物質對原水的影響皆非常重要，高度淨水處理、給水水源持續調度，自來水系統(水質良好性)相對的建立。

第三目標「努力減低能源耗損」今後社會要求各種環境負荷減低，從東日本 311 大震災之教訓得知供水危機，是因為長期電力供電的不足。但核能電廠若全面停止的話，將會造成東京都電力不足之憂慮。

(二)提倡「新的安全度」

具體之處理方針及設施改善，強調的是



「新的安全度」；強韌的自來水系統，未來仍可能顯示全體不穩定性，必須能夠全面吸收風險以保障安全，並確保水源及設施整備完妥為目標。震災時是否仍能出水，其他人皆對首都東京都復舊提出關切。因此，震災時一邊停止淨水，同時又一邊從別的管線融通配水，如此給水能夠繼續面對未來之危機，能夠有效對應，並考慮系統再建設之完全性。

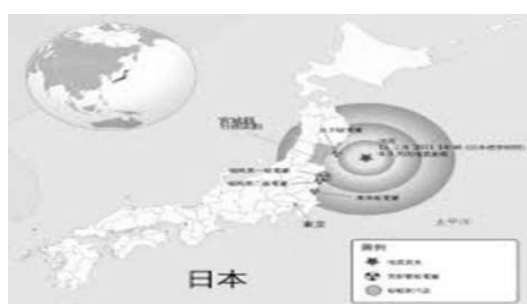


圖 1 日本 311 大震影響範圍

(三)能力增強又更新

若能將自來水系統在建設實現時，將淨水設施先更新，如此將超前供水；具體的是以自然流下慢速供水，經淨水場之過濾，新的快速過濾高度處理場的導入，且處理能力增強，以重力流下方式配水，更新時必須防止配水能力降低。有關管線二重化之推進，是企圖更新耐震化之重要方針，安全度高之管線補強是不可欠缺的。

三、遠比經濟性還安全

安全度與經濟有著完整且密切之關係，東京都是日本首都，也是世界排名前幾名的都市，此次 311 震災引起自來水事故之大斷水，要求迅速恢復復舊，長時間延宕才完成是不允許的。此 100 年間自來水系統，是從一開始就整備。將比下一個 100 年系統安全安定。

(一)禍根將來不殘留

人口減少中，實際水費收入減少，設施更新年限有很大變化；但是設施必會碰到壽命問題的到來，大地震發生時的迫切感，耐震化或備援機能之強化推進等，現在之目標與將來危機之對應，「確保安全度」是不可欠缺的；特別是，震災時若因自來水不能使用，造成社會重大的損失。雖然認真經營，但若是不能推進著實耐震化，則避免遺留嚴重禍根。

(二)安全度確保為使命

能夠有強度的耐震化，盡速確實推進更新，「完全安全度的確保」是自來水的使命；電力、瓦斯中止則仍可生存，自來水中止則居民無法生存眾所周知。以上那一種於大震災時表現最佳，遭受破壞少、災害最小，且迅速復舊最快，則以預防保全的觀念優先於投資之前。

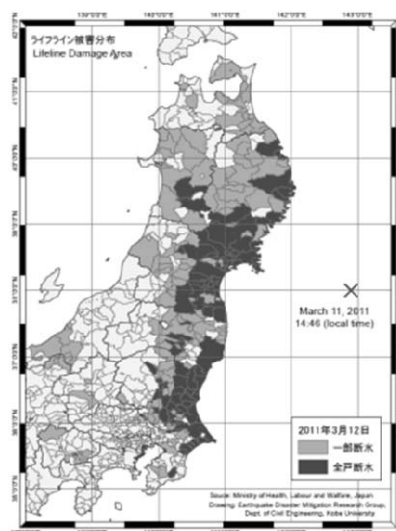


圖 2 日本 311 大震後市町村斷水分布

(三)財源確保與居民理解

具體之基本想法是財政不可欠缺的。但是東京水道局從原本實際 8000 人職員削減約一半而僅存 4000 人。隨著局內核心業務特

殊化，將基本核心業務監理團隊，推進成擔任全體的事業體制，建立而成為一有效率之事業營運水道局。

然而已經支出人事費用占費用之百分比大約是 7%，已是自來水復興再建設推進設施能力最大限，但水道局培養的技術仍能維持住，進行「確保完全安全度」使命所需費用及相關工程順利進行的考慮。大規模淨水場更新基金運用等之財政措施，必須深入討論。

特別是管線埋設地底下投資之必要性，一般人很難理解，現狀毫無任何問題，而執行工程時卻常發生問題；但是，管線占自來水資產 70%，全部的投資將可能造成都民未來殘酷之遺憾，加上關東地區環狀管線之更新，因應考慮耐震化之考慮則必須讓居民詳加瞭解。

(四)中小水事業持續致富的再分配

自來水事業大半是中小規模事業支持，因此財富的再分配是必要的。簡易自來水補助金分配較困難，例如將市、街、村或超過廣大區域聯繫之都、道、府、縣，有效率的組織起來。其收入與效率較差的組織，如在同一地域中核可，將造成弊端，則此「新的安全度」計畫將很難成功的。

另一點，單獨事業繼續時，稅金投入是必要的。更不用說自來水費提高若干值，必要之財源須計量好，備用稅金是否準備妥當。

四、在地球大區域中水源確保

日本臨太平洋與日本海間水源互相融通配合性不佳，例如原本 2004 年初一直乾旱，夏季卻又一直承受雨颶，當旱災解除反

而因雨水帶來水害。近年來大規模的乾旱較少、50 年、100 年一次頻率的乾旱，如雨不降下是不夠用的。且太平洋與日本海兩邊不降雨，則是得不到水的。在地球大區域內水資源之考慮是非常必要的。這次東京水道局長期水資源構想盛行，自來水系統將來應「確保安全度」，以面對水資源危機。考慮未來的水資源之不確定性，深恐今日水源確保量不足，特別是水源，擁有廣大的不同意見，各事業體將在不負擔水源之條件下，考慮能否有更大之安全度；從上游取水或水源大區域之構想持續考慮下，反覆超理想的考慮是非常重要的。

廣區域化期間之標題的解決策略，是事業體間自行的調整。例如：設定正確之水費，更新設施的改善計劃必須加速，廣區域化設施改善提出檢討；一方面民間企業業務委託，雖然單向設施之管理等的委託較佳，但對設施更新等投資業務較難，部分民間的委託仍具效率性。視其為常見挑戰持續下去，日本多摩市區水道廣區域化推進，可確立單獨市、街無法實現之「安全度確保」。多摩市此廣域中較好的實例，雖然今後自來水事業營運之解釋並非全國推廣；但長期之構想使其具現代化，是相當不容易的。東京自來水 110 年以上替代用意是持續的。這次以 50 年、100 年一次頻率之設施整備方向展示，雖不能完全滿足，但已考慮向優良自來水系統推進。

五、解說

東京自來水設施再建設基本構想~將東京都持續創造安全・安心安定之自來水

(一)基本構想之背景・目的

近年來自來水被包圍之環境，及氣候變遷所進行大規模自然災害之發生等；未來對自來水事業之影響，存在著多項憂慮因素。西元 1955~1965 年時當局集中改善維生管線，龐大自來水設施一起更新視為再建設時代，預想將來危機時代之課題，視為長期方向確定之標的。

(二)自來水設施建立之再定目標

東京水道局(簡稱當局)可能限定須確保安定給水，自來水設施安全度完備，但是對未來自來水事業看起來，「完備安全度」將無法對應。新的安全度，從長期觀點來看未來危機之對應，例如複數危機同時發生時，水道系統以全體系統對應，今後當局以「新的安全度」嚴加完善備妥。

(三)東京自來水現狀與將來自來水設施危機

當局了解水源之脆弱性，對策是探討淨水設施能力為何降低，因為更新・耐震化不佳設施之存在，則探討自來水事業營運環境負荷有何種標的。此外尚有氣候變遷之缺水危機風險大增或原水水質惡化等，有關環境負荷使用電力，經濟動向、人口動態、生命型態等之變化，自來水需求之不確定性等各種課題，應做有效之準備，如圖 3。

(四)努力向三方向再建設

全年安全・安心自來水安定的供給：

- 1.能夠安心安定給水的實現；
- 2.徹底清潔水質之循環；
- 3.導入低耗損能源再生能源，留下利用之位置，活用較少能源。

揭示水道設施安全度確保標的七目標：

- 目標 1：東京保存水源之確保
- 目標 2：確保安定給水支援供給能力
- 目標 3：淨水場效率之配置

目標 4：可持續淨水系統之建立

目標 5：確保未來備載機能

目標 6：能源耗損最小化

目標 7：防災機能高度化

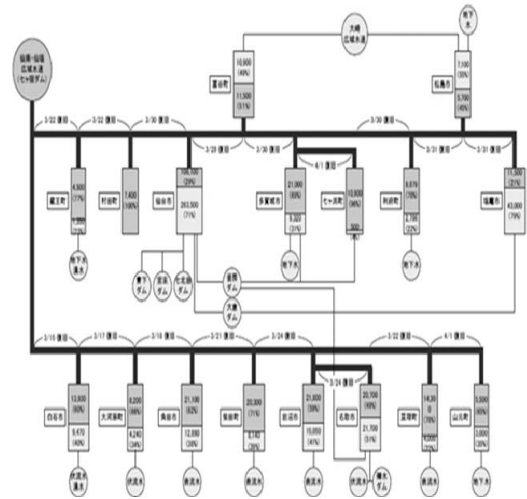


圖 3 廣域自來水受水市町村水源平衡

今後 7 目標達成方向 > 現在、建設水源之確保 > 大規模淨水場之更新代替淨水場之改善 > 節能減碳模式淨水場之改善 > 向淨水場等自用電發電設備之增強整備 > 更新時期看準方向，配水管網及二重化 > 自來水管線耐震接頭化等，具體對策展開執行。

六、更新替代・節能減碳模式淨水場之現狀與展望~淨水場一起更新且安全度確保

當局於 1955~1965 年間以高度經濟成長期為中心急增建設淨水場，為了自來水需求要儘早通水為第一優先，且淨水場短期集中改善。有關新的水質管理強化處理能力，紛紛耐震補強或高度淨水處理設施，因而補修改良工事等停止再議。

(一)低碳型事業營運之處理

因東京都水道局淨水處理或配水過程，使用過多電力能源，局內總電力使用量

家用發電設備或太陽能發電、水力發電以及再生能源之導入，此外非常用發電設備不只是經常使用發電設備裝置；除日常業務使用，及電力使用尖峰削減省能縮減實現之外，發電伴隨排熱回收排水處理過程，並加溫將回收用發電，同時建立回收廢熱水暖氣系統。

(一)自家用發電設備之增強及自動水質計器監視器之不斷電化之探討

東日本大震災後計畫性停電時，一部分地區斷水或發生水濁，發生影響波及約 26 萬戶。且監控中心監視器收集自動水質計器，因計畫停電，電力供給中斷等原因，資料有欠損，有關水運用水壓、水質等狀況應能有效掌握，避免障礙發生。

1.增強自家用發電設備

震災教訓上浮出電力確保之課題，震災經過一年，電路通路依然不明確，從電力公司供給之電確保，必須依賴電源之配合。

因大規模淨水場能力極限因而發展自家用發電設備。從淨水場或給水所等自家用發電設備之改善，以企圖電力自立化，從非常時期給水確保之檢討開始。

2.監控中心監視點及自動水質計器無停電化

監控中心監視器是將水壓或流量之資料收集，靈活運用東京都內各給水所及配水管設置、配水量預測或水運用計畫、淨水場或給水所之泵浦運轉控制等。

因此監視器或自動水質計器，在震災或廣域停電時，若電源供給中斷時，因而無法收集得到資料；因此，重要的是不斷電對策的實施：今後停電時電源確保對策，並增強不斷電電池之設置。

(二)燃料的確保

電力自立化推動，確保自家用發電設備操作燃料視為大目標。長時間自家用發電設備運轉，雖然加強是有可能的，但道路寸斷難行預計輸送石化燃料困難；燃料順利到達之方法，唯有檢討是否自家發電燃料容量之增量。

(三)電力安定性之確保

自來水事業體淨水場或給水所(加壓站既配水池)持續運轉是非常重要的；因此今後電力公司需依賴生命線事業者，確保強韌電力對策。當局自家用發電設備之改善，或增強監視器自動水質計器之自備電池搭配，並檢討強化大規模災害時之對策推動。

八、給水管耐震性提高~防火巷給水管全部不鏽鋼化—東日本大震災之教訓

2011 年 311 地震東京自來水災害受損計 414 件，其中配水管分歧部分到水表之給水管損害 331 件，顯示聚氯乙烯管損害特別嚴重。

防火巷內給水管新耐震強化對策：

(一)新設給水管對策

建物新建設置防火巷內之給水管材質，從配水管分歧部直到宅地內第一止水栓全用不鏽鋼管 SSP，防火巷內應徹底 SSP 化。

(二)既設給水管對策

防火巷內給水管改善工事，是從配水管將埋設對象範圍設置給水栓 3 個以上，則私道擴大給水管 SSP 化。然而配水管末端部設置，排水栓設施(構造與消火栓設置相同)；並且相關排水作業等，除日常維持管理利用之外，震災時可向附近靈活運用緊急給水。

而且配水管理設時，給水栓 2 個以下防火巷內給水管將以 SSP 取代既設之聚氯乙烯管。耐震化策略能有效推進，以便確保自來水給水正常。

(三)能源最小化~加壓站省能對策

東京都依據環境確保條例改正下，2010 年 4 月東京都內，為了將大規模事業所溫室效應氣體排出總量削減義務化，因而此成為更進一層環境負荷減低之目標。改正後同條例「地球暖化對策推進優良事業所削減義務率之要務」，為了接受認定事業所 CO₂ 排出削減。從推進體制導入到省能設備，運用狀況有關至 269 項目，在第三者機關檢證及取得東京都環境局審查 80 點以上高的評價點。省能對策推進直到認定優良，削減義務率可從 6% 減輕至 3%。

(四)環境負荷減低目標處理組合

加壓站之省能對策推設備或將加壓設備使用狀況檢證，使消耗電力量能定量掌握。回轉數控制液體抵抗器使用之外，大小泵浦特性及管路特性、速率皆在控制範圍，由於加壓站切換頻繁，運轉效率較低；消費能源定量掌握為目標。使用能源管理系統，能源「顯見」減少之企圖，且為了推動省能源，加壓站全體改良後消耗電力極少，且照明設備亦經改良處理。當加壓站容量正常化，以 input 回轉數控制台數並導入高效率照明，省能泵浦運轉對策實現前後比較起來約削減 7%。

九、職員訓練系統之充實~東日本大震災之經驗

(一)危機管理對應模擬開發

東京都自來水事業使用中設備有水源

設施、淨水場、給水所及 2 萬 6 千 KM 送配水管網等龐大多樣設施。水道設施適切管理、運用高水準服務技術提供安全的服務，職員責任感高是技術力不可缺少的。但是近來經驗豐富之職員大量退休、伴隨著自來水事故減少且設施改善進步下，事業環境變化，在現代少數精銳體制下，技術繼承或突發事故對應能力的確保，為日常的重要課題。職員訓練系統，其中「危機管理對應模擬」早已開始實施，是從 2008 年職員研修開始靈活運用。東日本從大震災發生於 2011 年度，已開始模擬危機管理，編成訓練手冊：

1. 「大規模地震發生(維持管理編)」
2. 有關新規定「震災對應(維持管理編)」自來水管預計漏水「水道管漏水事故對應」
3. 油流向河川造成汙染「水質事故對應」
4. 預計淨水場藥品洩漏「設備事故對應」。

2011 年度大規模地震發生預定有關淨水場·給水所「震災對應(運轉管理編)」「用戶對應」，2012 年度 6 本對應震災說明書供職員研修。

(二)劇情說明大震災教訓

311 震災得到許多教訓，淨水設備或配水管等一向是自來水設施直接災害外，尚有通信不通或交通現場狀況掌握困難；受大規模停電之影響，有關燃料調配困難、放射線物質堆積等，皆沒經驗，形成特殊事例。硬體面災害、資訊聯絡或職員變動，是為能源供給前提下，探討行動方向之重要課題。

此次震災教訓編定為 2012 年度研修實施腳本包括既存「震災對應(管路維持管理編)」新規範預定「震災對應(運轉管理編)」「用戶對應」企圖修正詳實，以供職員研修。

(三)研究背景詳實說明

本模擬之特徵，是從突發事故之事例介紹，或預先防止對策告知，從以往型態普遍得來經驗，體驗事故對應之訓練講義。

震災型對應攜帶電話或採用 NTT 迴路使用替代資訊聯絡；衛星攜帶電話或業務用無線電話為主力機器；交通狀況路上清點檢查手段，緊急通行車輛、二輪車點檢報告。

自來水從降下雨水中放射線濃度探測；或從核能事故方向端研究推測，可從用戶發出聲響，得知放射線之反應。

(四)人才育成流程

現在少數精銳體制，職員正確的順利執行人才育成之急務，本模擬有效考慮。培育養成今後事業環境變化對應之研修人才。

十、感想與建議

(一)感想

東日本 311 大震災後，日人根據震災後，自來水設施淨水場操作單元、管材設備等各方面得到的慘痛經驗，把這些教訓，下定最大的決心「痛定思痛」，仔細調查研究、召開研討會將震災損害透明化，努力企圖從失敗地方再站立起來。東京都是日人精神守護神的象徵也是整個國家復興起來的重心，視為日本各地方之榜樣，充分改革革新，如同小水滴般聚集，確保「完全安定、安心的安全度」；以上敘述日本東京都自來水預定防震作法，其自我檢討及欲改進作法如下：

- 1.水濁耐震管之推進，期待長壽命對應之新型管，企圖依據 AWWA 規格化。
- 2.從大震災至今將近 2 年，應當復興起來，寄望持續可能之強韌設施。

- 3.水質試驗編輯新的手冊，確保安全供水。
- 4.脆弱的財政基盤，疲乏的技術力，公民合作期待之程序步驟書。
- 5.震災復興之熱心度與新穎方法，全面支持。
- 6.水循環基本法之制度召開公聽會，邁向立法化第一步。
- 7.根據水公共性綜合水資源管理之理念，也反映住民意見。
- 8.探知各國水價加強聯繫，將初級職員派遣國外，推展人才交流。
- 9.今後加強探討維護管理制度，空氣閥災害時態調查，深入了解土壤力學液狀化實務。
- 10.國際整合化，執行 JIS 規格制定，並將自來水資源管理及工程特性，有效反映。
- 11.電力安全及自家用發電設備增強，及完整電力確保。

(二)建議：震災防災，臺北自來水事業處尚有進步空間

災害因素：建物損害、停電；日本 2011 年 311 地震導致配水池及加壓站建物損壞及電力中斷造成無法加壓供水，更由於局部輸配水管線斷裂，而無法供給受災戶用水。

震災改善方式^[4]：

- 1.建物、水池及管網耐震能力分析：在淨水場耐震能力評估方面，辦理建物及水池耐震評估，優先進行長興、公館淨水場自來水設備安全評估，提升耐震強度，對結構體變位，主結構梁、柱之鋼筋腐蝕、混凝土抗壓強度等，提出維護檢查報告，以利執行資產延壽工程計畫，提升耐震能力，達到建築物耐震設計規範之規定，並儘速編列相關後續補強經費。另對供水管網系統中之老舊幹線，定期進行維護管理工

作，以提升管線耐震能力，及管線妥適率以降低漏水。

- 2.建置緊急發電機及儲油槽：檢討淨水場及加壓站設置之緊急發電機發電量及儲油槽油量是否足夠備載量，以備緊急狀況時發電供水用。
- 3.採用耐震管材：推動輸配水及給水管材耐震化，以避免地震後，供水管線耐震強度不夠因而造成淨水、供水系統損害，無法供水。加壓站的機電設備遇事故損害，不僅須負擔設備修護費，且供水中斷，供水品質降低，若需其他場站支援供水，將額外增加耗能及電費，加強防護之重要性。
- 4.維生系統：建置防災維生系統提供每人每日 3 公升持續 28 天最基本飲用水，供災民取用；北水處已建置完成送水管、取水站、維生儲水槽及配水池取水站 13 處，可提供 31.7 萬噸維生飲用水，供轄區 377 萬民眾維持 28 天緊急使用。預防性檢測已是未來保養的必然趨勢，其目的為在不降低維修品質條件下，做到嚴謹、精確及高效率的維修。
- 5.建立備援機制；興建直潭淨水場第二原水幹管，與第一原水幹管相互備援。興建兩條清水幹線間橫向聯絡管線，已完成安康、中和、公館、長興及民生五條支線，信義支線興建中，利用支線供水連成管網，確保輸水功能減低供水風險。檢討支援各供水分區之備援管網，建立輸水幹線搶修機制，於緊急狀況發生時，提供安全供水。
- 6.操控模式標準化：因應現代化企業管理之潮流，自來水事業供水設施正積極邁向自

動化之目標，除可提升供水品質並提高危機應變處理能力，更可藉由電腦化監控功能來增進設備之有效管理。包含管中加壓、水池加壓、間接供水、直接供水、混合供水(直接+間接)、定速或變頻操作等不同類別加壓站，同類型加壓站建立操控模式標準化，如此，可降低設備異常機率，並使操作管理作業朝效率化及省力化精進。

- 7.核災：災害因素：震災引起核能事故，對自來水影響可分為輻射塵及放射性物質污染。其中輻射塵污染水源部份，依目前淨水場之淨水處理方式，可有效過濾，如緊急時可加活性炭處理，對人體不會產生影響，亦不致造成災後無水可用情形；而對於放射性物質之去除方式，淨水設施適用性尚須研究。因此當水源輻射監測結果超過危害量時，北水處應評估，並立即執行淨水處理。

參考文獻

- 1.柳中明，全球環境變遷，2010.7.
- 2.維基百科，2011年日本東北地方太平洋近海地震。2012.12.
- 3.日本水道新聞，特集・東京水道施設再構築基本構想2012.3.26.
- 4.林昆樺譯，地球環境百科，2011.8.1.

作者簡介

朱健行先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師
專長：自來水資源管理、氣候變遷