



Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自來水

161

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 41 NO.1 FEB 2022

第41卷 第1期

2022年2月

中華民國自來水協會會刊

本期專題：工程技術

自來水管線使用可控制性低強度材料(CLSM)回填管溝之淺埋技術研究
大台北地區防災地下水井建置工程實務探討
機械水表以外掛裝置實現自動讀表之探討



輻射井-推管工程



集水暗管埋設工程



輸水管路工程



輻射井-沉箱工程



操控塔工程

自來水會刊第 41 卷第 1 期(161)目錄



實務研究

- 極端氣候與水處理用藥—以烏山頭、南化淨水場為例……………楊瑞芳、林信忠、楊昭端…… 1
- 臺北自來水事業處在循環經濟上的作為與省思……………邱嘉南…… 8
- 提升大用戶用水智能管理—智慧水表試辦成果……………黃心怡、江淑惠、謝素娟、董書炎…… 17
- 自來水設備維護管理機制實務初探……………李俊德…… 26

本期專題 工程技術

- 自來水管線使用可控制性低強度材料(CLSM)回填管溝之淺埋技術研究 ……………
……………劉季宇、歐尚鑫、張民崑、林家煌…… 33
- 大台北地區防災地下水井建置工程實務探討……………陳維政、林郁欽、鄧森隆、吳佳諺…… 43
- 機械水表以外掛裝置實現自動讀表之探討……………曾弋軒、黃奕欽、陳松山、曾銘淞…… 50

一般論述

- DIP粉體塗裝管之拉拔試驗及結果探討……………宋奕穎…… 57
- 抗旱期間使用建築工地地下水之水質安全監控與管理……………
……………林正隆、刁文儀、賴明芬、吳宗昱…… 67
- 應用拉曼光譜儀檢測自來水的硬度……………楊秉霖、呂永德…… 78

感性園地

- 看見澄清湖……………林頌富…… 85

協會與你

- 歡迎投稿 111年「每期專題」…………… 66
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 77

封面照片：經濟部水利署南區水資源局提供

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿每篇以不超過十頁為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 thomas7735tw@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。
- 十、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會列為技師執業執照換發辦法第四條第一項第六款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：郭俊銘

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

葉陳萼

委員

陳明州、李嘉榮、康世芳、王傳政、武經文、

駱尚廉、范煥英、洪世政、李丁來

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、
梁德明

執行編輯：曾彥中

電話：(04)22244191 轉 376

行政助理：黃香蘭

協力廠商：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769

極端氣候與水處理用藥—以烏山頭、南化淨水場為例

文/楊瑞芳、林信忠、楊昭端

摘要

台灣的飲用水水源有地下水、地面水，地面水又分為河川、水庫，對於地面水而言，水庫的水質相對穩定，這是長久以來的想法。

近幾年豪大雨造成的災情，水庫亦難倖免於土石流的傷害，自來水淨水場首當其衝，無論取水量、加藥劑量的調整，都在考驗淨水處理人員的因應智慧。

今年因經歷久旱，疑似水中或地表的有機、無機物成分濃縮，隨後幾場大雨造成原本水質相對穩定的水庫也遭逢衝擊，發生前所未有的濁度、耗氯物質居高不下之情形，此時加藥劑量之調整、淨水藥劑貯存量調度、進貨時間之管控至關重要。

智慧、經驗的累積，須靠每一次事件發生時忠實的紀錄，及事後客觀的檢討。

一、前言

極端氣候影響下，109 年台灣各地面臨史上最嚴重水荒，台灣自來水公司第六區管理處(以下簡稱台水公司六區處)經歷兩階段限水(109 年 11 月 18 日起第一階段黃燈減壓供水，110 年 2 月 18 日第二階段橙燈減量供水)，台灣西部地區各大水庫蓄水量已至底限。

110 年 5 月 30 日起的第一場大雨，舉國歡騰之際，自來水公司的挑戰方才開始，有了去 109 年 5 月 22 日起豪大雨，原水濁度劇

升，導致台水公司六區處各淨水場陸續被迫短暫停場之經驗，110 年久旱後第一次降雨前，各廠、所無不嚴陣以待。

本文紀錄及分析大雨前、後水質及淨水藥劑使用情形，期為日後面對同樣情況之參酌。

二、淨水場簡述

(一)烏山頭淨水場

- 1.水源：烏山頭水庫，淨水場之原水由設於水庫之竹仔坑抽水站抽取烏山頭水庫水。
- 2.淨水流程：傳統處理，原水經快混、膠凝、快速沉澱、快濾後產出清水(如圖 1)。
- 3.供水範圍：八掌溪以南，曾文溪以北區域(包括台南市溪北 16 區--六甲、官田、下營、麻豆、佳里、西港、七股、將軍、學甲、北門、新營、鹽水、柳營、後壁、白河、東山)及支援台南給水廠轄區台南市善化、安定和安南、中西、南等區與第五區管理處轄區嘉義縣義竹沿海地區供水。
- 4.出水量：烏山頭淨水場設計出水量為 24 萬 CMD，110 年 4 月至 5 月限水期間，為配合維持南化水庫蓄水量以延長供水期程，淨水場奉命全力超量出水，烏山頭淨水場受命全力超量出水，日出水量最高達 303,060CMD(5 月 8 日)，110 年 6 月至 7 月旱象解除，南化水庫水位回升，改由南化淨水場全力出水，烏山頭場得以喘息，日出水量最低達 160,655CMD(7 月 7 日)(圖 3)。

(二)南化淨水場

- 1.水源：南化水庫，本廠之原水全部來自南化水庫，水庫除集取後堀溪流域之水量外，並在甲仙設攔河堰引取旗山溪豐水時期餘水貯存運用。
- 2.淨水流程：傳統處理，原水經初沉、快混、膠凝沉澱、快濾後產出清水(如圖 2)
- 3.供水範圍：包括台南市東區、南區、中西區、北區、安南區、安平區及支援第七區管理處(高雄市)。
- 4.出水量：南化淨水場設計出水量為 80 萬 CMD，110 年 4 月至 5 月限水期間，為維持南化水庫蓄水量，南化淨水場受命減量出水，日出水量最低達 215,800CMD(6 月 5 日)，110 年 6 月至 7 月旱象紓解，南化水庫水位回升，改由南化淨水場全力出水，日出水量最高達 690,950CMD(7 月 14 日)

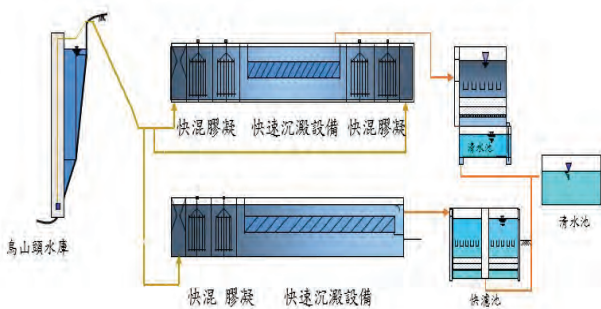


圖 1 烏山頭淨水場淨水流程圖

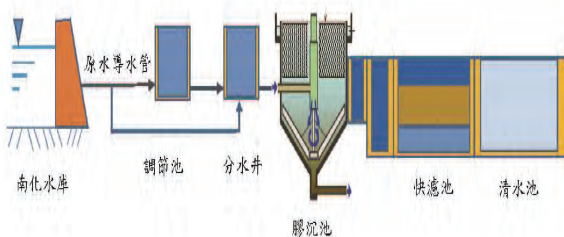


圖 2 南化淨水場淨水流程圖

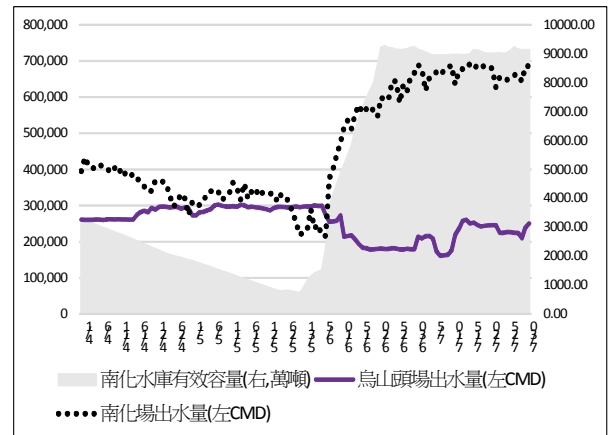


圖 3 烏山頭與南化出水量變化圖

三、用藥量合理分析

去 109 年 6 月至 110 年 5 月下旬，台灣西部地區將近 1 年未有明顯降雨，造成水庫蓄水率頻創新低，直到 5 月 30 日第一波梅雨鋒面降臨，才稍稍舒緩水情，緊接著西南氣流及彩雲颱風外圍環流影響，南部地區連續大雨、豪雨，帶來相當豐沛的水量，才為南部水庫解渴，因此解除限水。

解除限水後，各淨水場紛紛恢復正常供水，發現各淨水場淨水藥劑使用量顯著提高，淨水藥劑進貨調撥及樣品送驗頻率大增，檢視去年同期雨後記錄，此高濁度高用藥量狀況僅維持數日，不似本次濁度僵持數週不降，面對此異常情形，首先應檢視淨水場的加藥劑量是否有過量之情形，故分析如下。

(一)烏山頭淨水場：

下雨前原水濁度平均 10NTU(最高 25NTU)，氯化鐵平均加藥率 12.45mg/L，下雨後原水濁度平均 27NTU(最高 114NTU)，氯化鐵平均加藥率 19.81mg/L。由圖 4 可見，下雨前、後濁度變化烏山頭水庫高濁情形延續近半個月。

比對該場加藥曲線 26NTU 時加藥曲線建議加藥率 22mg/L，實際加藥率 19.7mg/L，差異 -10.4%，36NTU 時加藥曲線建議加藥率 29.5mg/L，實際加藥率 29.85mg/L，差異 +1.1%，皆於可接受範圍內，加藥曲線與實際加藥率(圓圈標記)套疊如圖 5，以各濁度區間平均加藥率與建議值比對，如表 1，在高濁度時實際加藥率反而比建議加藥率減少，可見加藥曲線應再修正。

表 1 烏山頭淨水場各濁度加藥率與建議值

原水濁度 (NTU)	氯化鐵 (mg/L)	氯化鐵加藥曲線建議值 (mg/L)	差異%
6.45	10.36	9.00	15%
7.66	12.99	10.50	24%
10.44	13.11	13.50	-3%
15.45	15.14	17.50	-14%
19.44	17.56	21.00	-16%
24.09	18.42	23.00	-20%
33.27	24.94	28.00	-11%
40.19	24.24	31.00	-22%
55.07	26.34	35.00	-25%
75.54	31.15	39	-20%
107.31	30.70	45.00	-32%

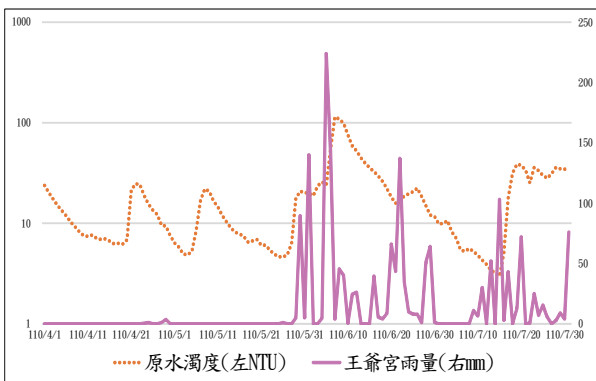


圖 4 降雨量與烏山頭淨水場原水濁度變化圖

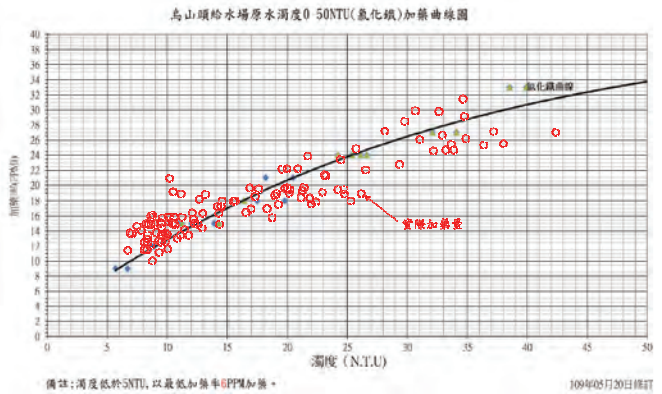


圖 5 烏山頭淨水場加藥曲線與實際加藥量套疊圖

除了濁度之影響，對耗氯物質而言，烏山頭淨水場 4-5 月間似因久旱不雨，水庫乾涸，水中礦物質(鐵)有升高之趨勢，次氯酸鈉平均加氯率 1.63mg/L，大雨後疑似大量有機物進入水庫，原水總有機碳(TOCs)升高，且遲遲不降，次氯酸鈉平均加氯率 4.02mg/L，造成烏山頭淨水場餘氯控制困難，耗氯物質變化情形如圖 6，加藥率因此節節升高，且居高不下。

經統計烏山頭淨水場氯化鐵 6-7 月用量 271,513Kg，比 109 年 6-7 月用量(166,577Kg)多出 60%；次氯酸鈉 6-7 月用量 537,914Kg，比 109 年 6-7 月用量(416,546Kg)多出 30%，烏山頭淨水場加藥率攀升情形如圖 7。

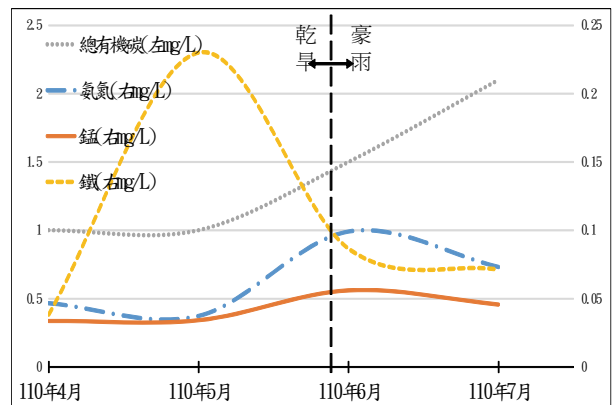


圖 6 烏山頭淨水場耗氯物質變化情形

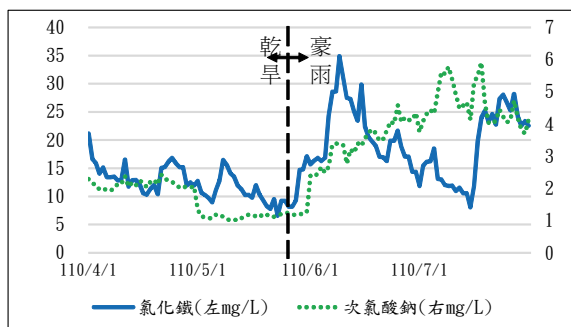


圖 7 烏山頭淨水場加藥率攀升情形

(二)南化淨水場：

下雨前原水濁度平均 14NTU(最高 95NTU)，氯化鐵平均加藥率 17.62mg/L，下雨後原水濁度平均 38NTU(最高 432NTU)，氯化鐵平均加藥率 30.54mg/L。由圖 8 可見，南化水庫下雨前後濁度變化，雨後高濁情形延續超過 2 個月。

比對該場加藥曲線 40NTU 時加藥曲線建議加藥率 35mg/L，實際加藥率 34.6mg/L，差異 1.1%，66NTU 時加藥曲線建議加藥率 45mg/L，實際加藥率 42.8mg/L，差異-4.8%，皆於可接受範圍內，加藥曲線與實際加藥率(圓圈標記)套疊如圖 9，以各濁度區間平均加藥率與建議值比對，如表 2，與烏山頭場相同，在高濁度時實際加藥率反比建議加藥率少約 20~30%，現場加藥曲線應再修正。

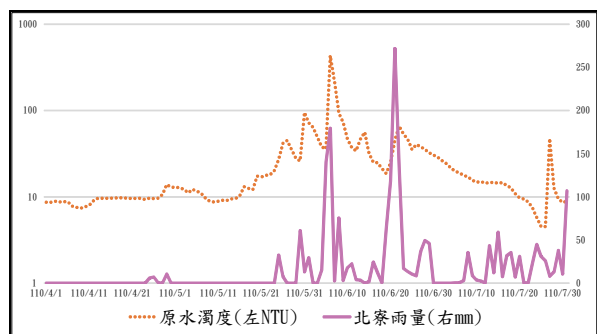


圖 8 降雨量與南化淨水場原水濁度變化圖

表 2 南化淨水場各濁度加藥率與建議值

原水濁度 (NTU)	氯化鐵實際加藥率 (mg/L)	氯化鐵加藥曲線建議值 (mg/L)	差異%
9.72	15.48	16	-3%
14.42	23.51	20	18%
20.72	25.52	25	2%
25.23	27.70	27	3%
32.22	34.20	33	4%
42.03	40.36	38	6%
50.58	33.08	44	-25%
68.62	48.45	48	1%
93.94	55.95	55	2%
214.92	50.55	63	-20%
432.43	53.14	72	-26%

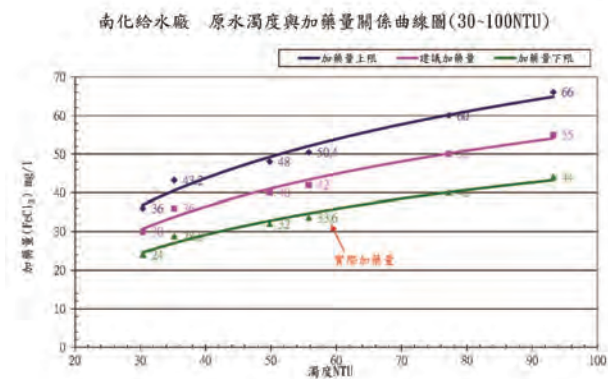


圖 9 南化淨水場加藥曲線與實際加藥量套疊圖

除了濁度之影響，對耗氯物質而言，南化淨水場原水鐵、氨氮、總有機碳在旱季末期已有升高趨勢，4-5 月次氯酸鈉平均加氯率 2.59mg/L，大雨後耗氯物質皆有緩慢降低之趨勢，此狀況與 109 年 5 月豪雨後原水氨氮持續居高又有不同，6-7 月次氯酸鈉平均加氯率 3.12mg/L，稍有增加之情況，耗氯物質變化情形如圖 10，加上南化淨水場於豐水期擔任大台南地區主要出水任務，出水量由



枯水期管控每日 35-45 萬噸，至豐水期成為供水主力，每日出水 65-70 萬噸，加藥量因此劇升。

經統計南化淨水場：氯化鐵 6-7 月加藥量 1,067,920Kg，比 109 年 6-7 月用量 (483,241Kg) 多出 120%；次氯酸鈉 6-7 月加藥量 1,027,974Kg，比 109 年 6-7 月用量 (801,102Kg) 多出 28%，未如氯化鐵增加之幅度，係因 109 年 5 月豪雨後，南化場原水耗氯物質亦有久高不降之情形。南化淨水場加藥率攀升情形如圖 11。

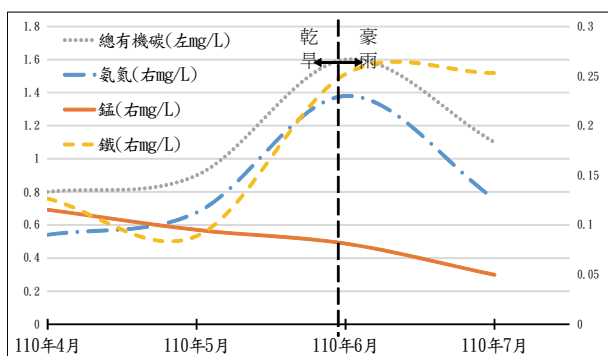


圖 10 南化淨水場耗氯物質變化情形

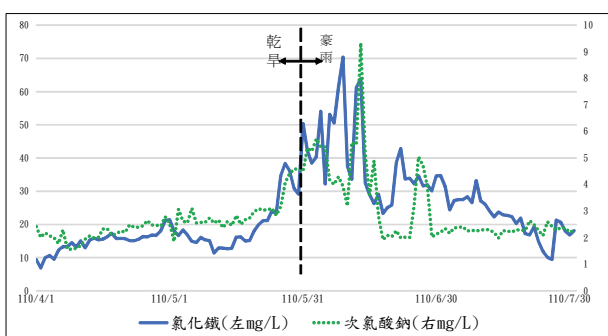


圖 11 南化淨水場淨水場加藥率攀升情形

四、汛期淨水用藥交貨問題

(一)安全庫存計算

依據台水公司飲用水水質處理藥劑使用管理作業要點，平日應保持安全存量，以「平均日用藥量×30 日」估算所需儲藥桶

數，再由其合計容量的 1/3 為安全存量：

1.烏山頭淨水場：

109 年氯化鐵平均日用量 2,971 Kg，次氯酸鈉平均日用量 6,344Kg

設置氯化鐵儲桶數之合計容量：

$$2,917 \text{ Kg} * 30\text{d} = 87,525 \text{ Kg}$$

$$\text{安全容量} : 87,525 \text{ Kg} / 3 = 29,175 \text{ Kg}$$

設置次氯酸鈉儲桶數之合計容量：

$$6,344 \text{ Kg} * 30\text{d} = 190,339 \text{ Kg}$$

$$\text{安全容量} : 190,339 \text{ Kg} / 3 = 63,446 \text{ Kg}$$

110 年 6-7 月最大用量氯化鐵 9,154 Kg (平日安全容量僅可支撐 3 日)，次氯酸鈉 14,881 Kg (平日安全容量僅可支撐 4 日)

2.南化淨水場

109 年氯化鐵平均日用量 5,167 Kg，次氯酸鈉平均日用量 10,540 Kg

設置氯化鐵儲桶數之合計容量：

$$5,167 \text{ Kg} * 30\text{d} = 155,013 \text{ Kg}$$

$$\text{安全容量} : 155,013 \text{ Kg} / 3 = 51,670 \text{ Kg}$$

設置次氯酸鈉儲桶數之合計容量：

$$10,540 \text{ Kg} * 30\text{d} = 316,200 \text{ Kg}$$

$$\text{安全容量} : 316,200 \text{ Kg} / 3 = 105,400 \text{ Kg}$$

110 年 6-7 月最大用量氯化鐵 34,547 Kg (平日安全容量僅可支撐 1.5 日)，次氯酸鈉 54,018 Kg (平日安全容量僅可支撐 2 日)

雖然下雨日期及雨量可由中央氣象局預報得知，但影響水質之嚴重程度卻難以預測，汛期每日用藥量之估算，因濁度及耗氯物質延續時日長短難測，高濁期間每日氯化鐵用量 2~4 萬 Kg，不僅廠商供不應求，場所對安全庫存之估算也有相當大的挑戰，此次汛期，第六區管理處就有跨場所或跨區處調撥支援淨水藥劑之紀錄。

(二)調撥交貨時間之掌控

台水公司六區處共有潭頂、山上、烏山頭、曾文、南化、楠玉等六處淨水場使用氯化鐵，汛期前經常發生數個淨水場同時進貨，造成交貨日期拖太長，會影響後續的啟用日期，所以一般會在兩週(10 個工作日)內完成一批次的交貨，以 6 月底南化淨水場每日使用氯化鐵約 2.5 萬 Kg 為例，6 月 22 日至 30 日進貨 60 萬 Kg，交貨後 7 日完成驗收，即 7 月 7 日可以啟用，60 萬 Kg 預計可使用 24 日，保留一週安全存量，及扣除檢驗、驗收時間，7 月 17 日前需完成下一批藥品交貨，交貨期程耗時兩週，故 7 月 3 日須開始交貨(推算如圖 12)，藥劑管理員須隨時繃緊神經，此時第一批藥劑尚未啟用，亦不知水質何時轉好，不敢貿然減少調撥量。類此，汛期間為確保整個雨季用藥充足，常常上一批藥劑尚未驗收完成，就需再進下一批藥

劑。有時藥劑剛調撥滿庫，原水之濁度、水質已然好轉，這時又得面臨藥劑過期的困擾，且在用藥孔急之當下，交貨驗收已有時間壓力，更遑論如發生檢驗不合格狀況之因應。

(三)藥槽數計算

以南化淨水場 6、7 月份高濁期間計算：第一批交貨 60 萬 Kg，需藥槽數(50 立方公尺)12 只。

第一批尚未啟用前，使用中藥劑需能撐至第一批啟用日，6 月 16 日至 7 月 7 日共使用 415,465Kg，約 9 只儲藥槽，加上第一批藥劑交貨槽，至少共需 21 只。

然依據本公司飲用水水質處理藥劑使用管理作業要點計算，109 年氯化鐵平均日用量 $5,167 \text{ Kg} \times 30 \text{ 日} / 50000 \text{ (Kg/桶)} = 3.1$ ，需設 4 只。高濁期間需用藥槽桶數(21 只)與規定設置量(4 只)差異甚大。

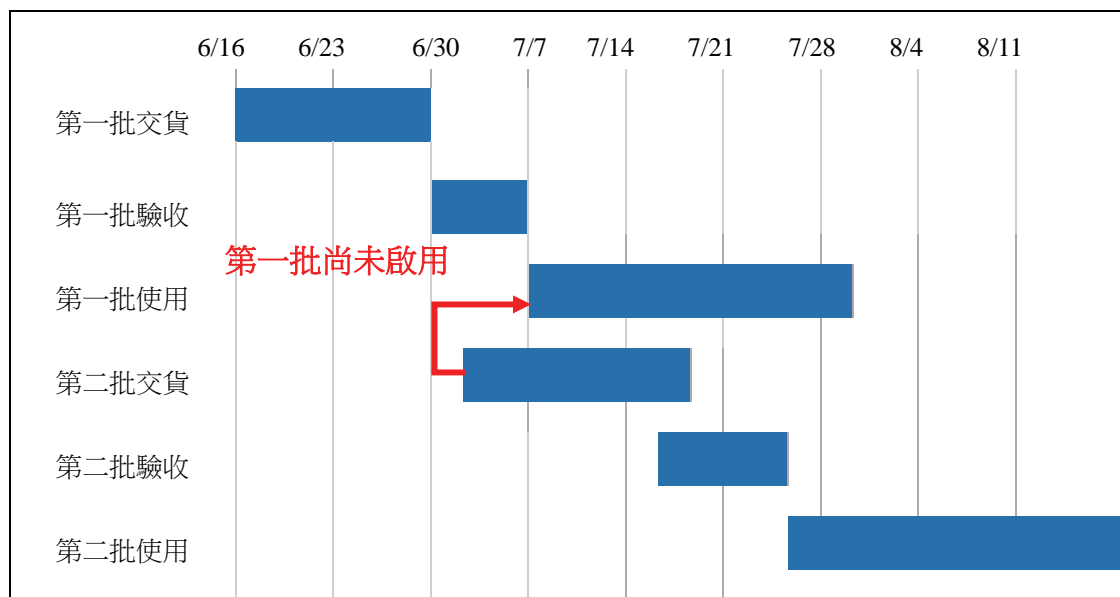


圖 12 淨水藥品交貨期程推算圖

五、結論

- (一) 烏山頭、南化淨水場皆以水庫水為原水，長久以來被視為穩定低濁的水質特性，已非必然，近兩年來幾乎每逢豪雨必濁，耗氯物質同時升高，回降速度亦難預估，此狀況已成常態，不可忽視。
- (二) 104 年間，因為行政院環境保護署增訂飲用水水質「鋁」含量的國家標準，各淨水場紛紛將鋁系混凝劑改為鐵系混凝劑，此作為是否增加原水高濁時淨水處理難度，尚待探討。
- (三) 淨水場應隨時查對加藥曲線是否已偏離並進行適時檢討修正，在發生原水濁度突增時方得因應。
- (四) 對於出水量大，擔負區域民生用水主要重責的淨水場，淨水藥劑儲藥槽之設置數量應予寬列，以免緊急用藥時無法容納。
- (五) 高濁期間淨水藥劑調度應提高警覺，往往前一批尚未啟用就需再進下一批，切勿以為當下庫存已足，就放鬆警戒，此時原水濁度是否將再上升或即將下降尚不可知，雖明知可能因淨水藥劑進藥量過多，而造成日後超過保存期限問題，仍須持續進藥，以確保安全庫存量。
- (六) 高濁過後，可能會超過保存期限之淨水藥劑，為避免違反行政院環境保護署「飲用水水質處理藥劑一般規定事項」，應速載運至其他場所使用，惟此時其他各淨水場原水水質也同時漸趨正常，需求不高，淨水藥劑無處可去，成為窘境。建議自來水事業洽主管機關

針對類此狀況，研議可行權宜方式，例如，委託第三方公證單位再次檢測品質，如未變質，不影響功能，得繼續使用，如已變質，則由廠商負責運回銷毀處理。不僅可降低基層場所緊急應變期間，淨水藥劑調度之壓力，避免物資浪費，減少運費及廢棄物處理等費用開支。

參考文獻

1. 公司飲用水水質處理藥劑使用管理作業要點。
2. 行政院環境保護署「飲用水水質處理藥劑一般規定事項」。
3. 中央氣象局日雨量資料。

作者簡介

楊瑞芳先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處、操作課課長
專長：機電工程

林信忠先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處、烏山頭給水廠
廠長
專長：化學工程、環境工程

楊昭端女士

現職：台灣自來水公司第六區管理處、操作課 工程師
專長：化學工程、環境工程

臺北自來水事業處在循環經濟上的作為與省思

文/邱嘉南

摘要

臺灣面對天然資源匱乏的挑戰及風險，高過其他國家。為了使臺灣邁向高價值的循環經濟體系，必須依據自身的自然資源條件、產業與技術、政治經濟局勢、消費文化，來設計合適的階段性策略，與完整配套措施。透過創新的變革，創造永續商業模式，並減少資源的依賴，方能建立適合臺灣的在地循環經濟。為此，政府與民間皆宣示積極參與全球減碳行列，努力達到淨零排放目標，以創造永續經營的環境。

臺北自來水事業處配合市府政策，檢討自來水取供事業流程可列入循環經濟範疇，採取了從建立管理計畫與機制，到淨水、加壓設施改善與操作管理精進，再到減少庶務用電。在兼顧供水穩定的條件下，降低用水及用電量，減少廢棄物產生，有效再利用資源。

為了達到建立永續循環經濟生活圈的目標，結合產官學界，鼓勵從產品的生產端開始，更有效率的使用原物料、水、能源等資源，以減少全新物質的耗用，降低廢棄物產量。建立經濟誘因機制，營造適合發展的環境。改變商業模式，由既有的銷售商品轉型為提供服務，以促使生產者更重視商品的品質及耐久性，延長商品在經濟體循環的時間長度。強調高價值、減量優先與資源效率，透過交換、共享、維修翻新、再製造、再設計、系統整合等方式，再創新循環體系

的變革，創造更多的永續商業機會。

一、背景說明

工業革命以來，人們一直採用線性的生產消費模式：從自然環境開採原物料後，加工製造成商品，商品被購買使用後就直接丟棄。工業製程和人們的生活方式不斷的消耗著有限的資源，在人口增長、高度都市化、供應鏈全球化的同時，氣候變遷、自然生態惡化、大量廢棄物等各種問題的嚴重性急遽升高。與線性經濟造成的資源衰竭不同，循環經濟是建立在物質的不斷循環利用上的經濟發展模式，形成「資源、產品、再生資源」的循環，使整個系統產生極少的廢棄物，甚至達成零廢棄的終極目標(循環臺灣基金會，2021(1))。

總統於 105 年 5 月 20 日就職典禮時發表有關循環經濟政見：「對各種污染的控制，嚴格把關，更要讓臺灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源，對於能源的選擇，以永續的觀念去逐步調整，國內推動資源回收再利用時，亦應同時將循環經濟政策納入考量」。爰此，環保署以循環經濟政策思維為主軸，研擬相關指標、策略及措施，推動資源循環相關之各項策略，由生產、消費、廢棄物管理及二次料市場等四大面向訂定 12 項推動策略，並請各目的事業主管機關協助提報共 93 項推動措施，共同推動資源循環，並以塑膠、金屬、營建廢棄物、廚餘作為優先推動項目(圖 1)。



圖 1 資源循環

而技術推動架構，包括有機生物資源、有機化學資源、非金屬殘渣資源、金屬資源循環等重點工作，並建立相關推動平台及智庫(圖 2) (環保署，2021(2))。

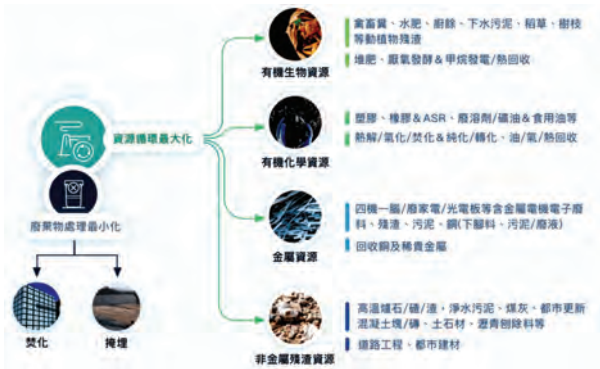


圖 2 技術推動架構

2021 年 4 月 22 日臺北市政府環境保護局宣示「積極參與全球減碳行列，臺北市邁向 2050 淨零排放目標」(臺北市政府，2021(3))，並表示為達成淨零排放是城市轉型的關鍵，減碳課題已從環保面向擴及產業與能源轉型，並關係到我國未來國際競爭力。從能源、社會、產業、經濟、民生等各個層面，整體都需要以嶄新的思維去擊劃推動轉型，因此北市在 2030 SDGs (聯合國永續發展目標)基礎上，將持續推動六大策略，配合國

家能源轉型，邁向 2050 淨零排放：推動智慧零碳建築、提升綠運輸、運具電動化、再生能源建置、投資綠色新創產業、推動低碳永續採購。

二、執行構想

依據臺北市政府發布之循環經濟跨機關重點計畫，臺北必須在自然資源、生活物資、城市基礎建設、綠色產業等齊頭並進均衡發展，才能達到永續、創新、公平、合作等目標，成為臺灣第一座成功的循環經濟城市。

該計畫並訂定循環經濟策略地圖(圖 3)，重塑資源利用模式，打造循環城市發展路徑，以首都之姿、率全台之先，由公部門先行，將循環經濟概念落實在城市治理、市民生活與產業發展，讓臺北市朝向宜居與永續發展之循環城市大步前行。



圖 3 臺北市政府循環經濟策略地圖

臺北自來水事業處配合市府政策，檢討自來水取供事業流程可列入循環經濟範疇，並積極推動。從淨水、加壓設施改善與

操作管理精進到庶務用電，減少用電量，並兼顧供水穩定，有效控制用電量不增加。為減少廢棄物產生、有效再利用資源，採取以下措施：

(一)建立管理計畫與機制：

1.供水用電(淨水、加壓) 節能

- 使用省能高效率之設備。
- 場站節能最佳操作模式。
- 採用變頻抽水機維持管網最適水壓。
- 用水離峰時段重力供水。
- 利用管線餘壓進行二次加壓。

2.庶務用電節能

- 燈管汰換為 LED，運用科技自動節電。
- 電腦、影印機、開水機節電休眠裝置。
- 採購變頻冷氣機並實施能源用量管控。
- 汰換電梯主機及增設電梯節能回饋裝置。

3.使用低碳能源及設置太陽能發電系統。

4.盤點自來水取供事業產生大宗廢棄物之流程，檢討可列入循環經濟範疇，擴大可再生的資源循環利用，提高使用效率。

(二)投入資源：

- 1.2018-2019 淨水設備汰換老舊膠羽機及管閥設備，投資 1.32 億元。
- 2.2020-2021 淨水設備汰換老舊膠羽機及傾斜管，投資 17,980 萬元。
- 3.淨水場變電站及淤泥場設備汰換投資 7,400 萬元。
- 4.汰換加壓設備變頻器投資 8,580 萬元。
- 5.長興淨水場房地提供廠商設置 2,137KW 太陽光電發電設備，廠商投資 1 億元。
- 6.庶務用電設施改善投資 396 萬元。

(三)預定目標

- 1.每度水供水耗能(淨水、加壓) 以 2016 年基期，管控維持零成長。
- 2.配合經濟部「政府機關及學校用電效率管理計畫」，以 2015 年基期維持用電零成長。
- 3.設置再生能源。
- 4.減少廢棄物、積極推動綠能、增加資源回收，擴大租用。

三、成果

(一)供水(淨水及加壓用電) 節能

自 2007 年推動環境管理系統(EMS)，統計淨水及加壓用電節能整體成效，2020 年與 2007 年推動(EMS) 的基期(2006 年) 相比，單位供水耗能 0.164(度/噸) 下降至 0.112 (度/噸) (圖 4)。

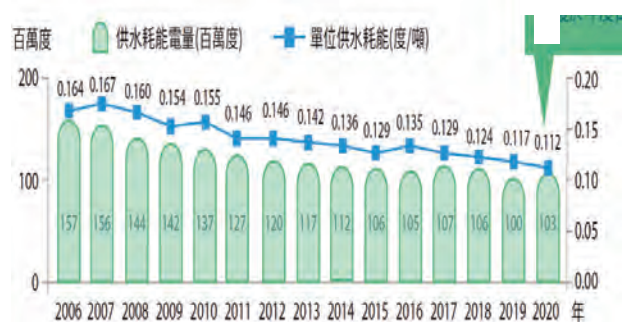


圖 4 供水耗能電量及單位供水耗能統計圖

1.淨水用電節能

汰換直潭淨水場第 3、4 座老舊膠羽機 64 組(含變頻器、馬達及減速機構)，2020 年 7 月 10 日開工，提高淨水設備效能及妥善率。

2.加壓用電節能

加壓耗能占生產用電之 90% 以上，針對加壓設備持續推動改善計畫。2020 年汰換高壓抽水機 10 組，汰換後提升加壓站抽水機運轉效率約 3~10%。汰換高壓變頻器 4 組，有效提升供水效能及節省用電(圖 5)。



圖 5 供水加壓站節能管理架構

3. 庶務節能

(1) 推動辦公室節能三步曲；建立自主管理的巡檢機制消弭潛藏之耗能，積極汰換高耗能電器，並增設自動節能裝置，減少辦公室用電。2020 年辦公場所用電較 2015 年(政府機關及學校用電效率管理計畫基期年)減少約 35.27 萬度，減幅約 18.31%，優於目標(零成長) 及全市府減幅成效(圖 6)。

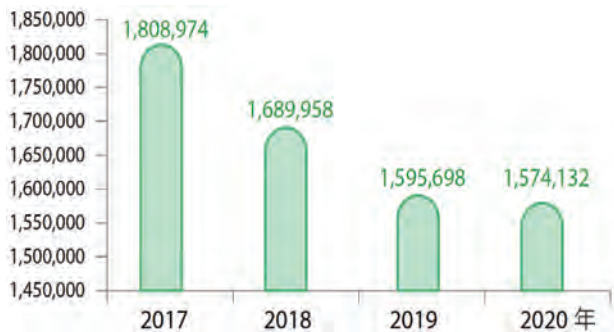


圖 6 辦公室用電(度)

(2) 直潭淨水場汰換原有水銀路燈為 LED 智慧路燈，運用 Mesh Wi-Fi 連線並採用照明自動補償機制，依據氣候、季節日照明暗自動調整路燈亮度，減少不必要之電力耗費，總計全年減少 8.1 萬度用電。

4. 推動綠能建築

(1) 全臺首座淨水場池頂加蓋太陽能板
將長興淨水場屋頂租給民間業者鋪設

太陽能板(圖 7)，2020 年收取回饋金 200 萬元，預計全年發電量達 213 萬度。經統計 2020 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日實際總發電量為 219 萬度，較預期高出 2.8%，減碳量達 1,115 公噸(依經濟部能源局發布 2019 年度電力排碳係數 0.509 公斤 CO₂e/ 度計算)。



圖 7 長興淨水場鋪設太陽能板情形

(2) 規劃企業大樓為節能低碳綠建築

為確保整體供水安全，並考量多目標利用，整併 50 年代北水處老舊辦公廳舍，規劃改建公館配水池並共構新建自來水監控、應變及行政中心等，改建後為地下 3 層、地上 3 棟。綠建築設計包括基地保水、雨水回收系統、屋頂設置太陽能、節能用電等，並於 2020 年 4 月 14 日取得「候選綠建築證書」。主體工程細部設計 2020 年 2 月 10 日核定，11 月 26 日開工動土，達成預期目標。

5. 資源循環

配合市府政策，檢討自來水取供事業流程可列入循環資源範疇，並積極推動，彙整執行成效如表 1，重點推動項目說明如下：

表 1 資源循環執行成效表(2020 年)

主題	推動措施	重點工作	項目	成果
資源回收多元應用	淨水 汙泥 100% 再 利 用	淨水廠淤泥 擴大多元應 用	淤泥再利 用率	100%
	增 加 資 源 回 收、 減 少 垃 圾 量	推動委外場 館一次性餐 具外帶計價 及分類回 收、無紙化 等	垃圾量(一 般廢棄物) 資源回收 量	35,269 公 斤 18,103 公 斤
再生能 源 利 用	淨水 場 增 設 太 陽 能 板	長興淨水場 提供設置太 陽光電發電 設備	太陽能發 電	2,242,758 度
水資源 利 用	推 動 節 約 用 水	推動降低每 人每日家庭 用水量實施 方案	臺北市每 人每日家 庭用水量	212 公升
智慧水 管 理 帶 動 產 業	傳 統 水 表 改 採 智 慧 計 量 服 務	新建物全面 安裝智慧水 表	智慧水表 安裝數	1.新建案全 面安裝智 慧水 表 2,597 只 2.新建市、 新 建社宅與 北投士林

				科技園區 安裝智慧 水 表 共 1,770 只 3.營運測試 於既有建 物安 裝 15,495 只 4.前瞻計畫 委辦木柵 二期 1,240 只
資源共 享 以租代 買	擴 大 事 務 機 器 租 賃	逐步收回雷 射印表機、 配合增租影 印機	雷射印表 機 影印機	減量 6 台 增租 6 台
	推 廣 綠 色 運 具、 減 少 公 務 車 置	購買電動機 車 搭乘大眾交 通工具及計 程車	購買電動 機車數 搭乘大眾 交通工具 及計程車	3 輛 571 次
	汰 換 電 腦 改 用 租 賃	個人電腦及 筆記型電腦	個人電腦 及筆記型 電腦	230 台

(1)擴大淨水場淤泥餅再利用多元應用：

淨水過程中產生的淤泥，未經處理就排放，將會造成河川污染。若改提供淤泥餅作為製磚及水泥之原料，經製造過程加工後，可循環再利用避免 2 次公害。最近幾年淨水處理淤泥餅清運及再利用效益如表 2。

表 2 公館及直潭場淤泥餅清運及再利用效益表

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
淤泥餅數量(噸)	53,075	50,278	31,037	21,775
淤泥再利用率(%)	100%	100%	100%	100%
節省掩埋費用(千元)	103,020	98,169	52,584	36,013

備註：(1)2019 年 2 次颱風，原水濁水度瞬間最高僅 2,289NTU，集水區四大崩塌地治理工程已幾近完成，原水水質穩定，故沉澱淤泥量較少。
 (2)2020 年淤泥餅數量較 2019 年少，係因當年無颱風直接襲台，淨水場取水時降低泥沙沖刷進入因素。

(2)增加資源回收·減少垃圾量

經由建立資源回收監測點、各大樓回收物過磅作業、廢棄物後端查核機制、垃圾總量管控、紙張減量及資源再生利用等各項積極作為，輔以不定期查核機制，並執行臺北市政府一次性餐具外帶計價及垃圾分類回收，使 2020 年資源回收率達 51.33%(圖 8,9)。



圖 8 資源回收量統計圖

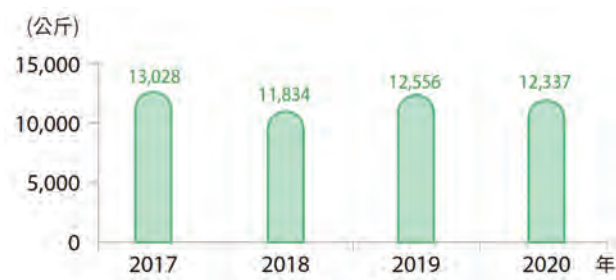


圖 9 廢紙回收量統計圖

6.積極辦理變賣廢棄物

舊廢水表、廢管材等本體含銅等基本金屬比重逾 50%以上，透過變賣予合格處理廠商，鎔鑄成銅錠，可有效廢棄再利用。2020 年依規劃執行 3,044,929 公斤(包括廢水表 338,929 公斤、廢管材 2,689,000 公斤、下腳 17,000 公斤)，使廢料得以處理再利用。(圖 10,11)。

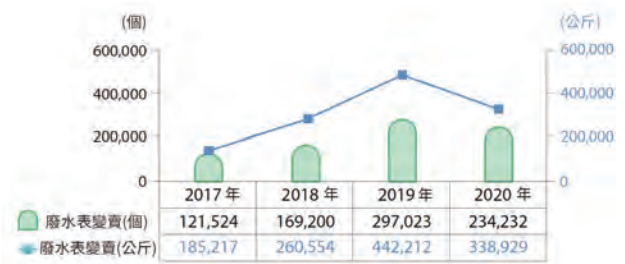


圖 10 近年廢水表變賣數量、重量統計圖

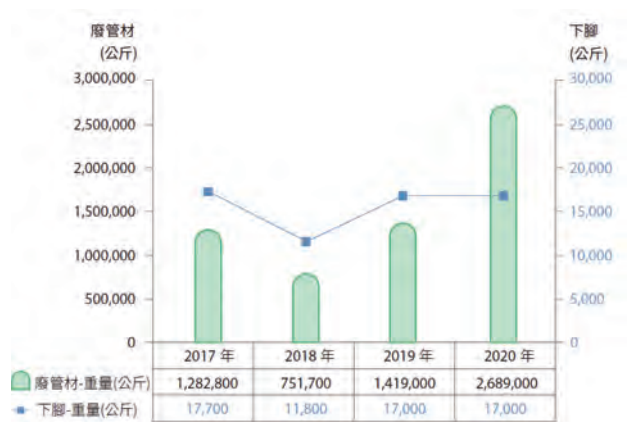


圖 11 近年管材、下腳變賣重量統計圖

(二)循環經濟的省思

有商品與金錢的交易，才能構成市場；有了市場，經濟體才能繼續運作下去(葉欣誠，2018(4))。一個成功的商業模式，可以讓企業獲利；一個成功的循環經濟商業模式，則不只可以讓企業獲利，更能同時達到資源妥善運用的效益。要理解「循環經濟」，要先瞭解什麼是「循環」，什麼是「經濟」。我

們付錢給商店，商店提供商品給我們，這就構成了「金錢流」與「物質流」。商店向生產單位(工廠、公司)調貨，需要付錢給公司；而生產單位提供商品給商店以供販賣，物質流與金錢流再度交換。我們提供勞動力給生產單位，並取得薪資，也就是金錢流；對於生產單位而言，則是付錢給我們，以取得勞動力，也就是物質流(圖 12)。

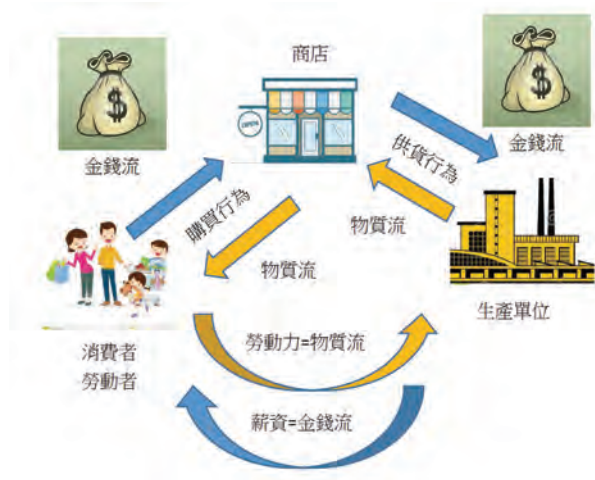


圖 12 供需流向圖

但是光有「金錢流」與「物質流」還不夠，因為還需要「資訊流」。圖 1 的循環經濟，是環保署參考荷蘭的循環經濟政策擬定的我國循環經濟政策。圖中的內圈上方有「資訊交換平台」，連結「循環」與「生產」。在循環經濟這樣的複雜系統中，只要有市場，每一種物質的上下游流向之間，必然會產生逆向的金錢流，且也會產生相關的資訊流，紀錄下物質流與金錢流的資訊。

「金錢流」、「物質流」與「資訊流」三者相符合，就是一個能持續運作的循環系統。反之，若三者之間無法平穩對接，一定會產生問題。若用現在流行的術語來說，就是「實體經濟」與「虛擬經濟」的結合。

在商品(或服務)以「物質流」在系統中流動時，因為涉及到能源的使用與衍生污染物的排放(譬如二氧化碳或空氣污染物)，因此還有「能量流」。譬如把垃圾焚化產生電力，就是典型的「物質流」與「能量流」之間的互動。所以，在金錢流、物質流、資訊流的市場架構下，加入能量流成為四流後，則可以完整地描繪出系統的每一個環節，這也就是現代社會運作的方式。

物理上的兩大基本定律：熱力學第一定律是「能量守恆」，各種不同型式的能量相互轉換，但不會平白冒出能量；熱力學第二定律則是說能量轉換過程的效率不可能達到 100%，一定會產生低品質的廢熱。你再怎麼神，也不可能做到 100%。也就是說物質與能量持續循環的過程，不可能形成完美的封閉式循環！這就解釋了為什麼我們說紙類或塑膠回收再製後，品質會下降，且再製過程亦需耗用資源能源。這就是為什麼一切必須從源頭減量開始做起，而不是說反正這是一個封閉式循環，所有東西都可以回收就盡量用。若對循環經濟產業存有浪漫的理想，認為我們要做到能源和資源在系統裡完美地封閉式循環，恐怕就有點脫離實際。

還有另一派人則是什麼事情都要求政府干預。但是循環經濟要能夠永續且確實的運作，就必須要形成市場。因為市場才能構成經濟體，政府補貼只能扮演槓桿角色，且不能扮演太久，以免癱瘓了市場的活力。例如，若回收的二次料的價格不佳，「金錢流」形成不起來(因為根本沒人要做)，反向的「物質流」也就不會形成，結果就是這些原來希望可以賣出去的二次料只好進入政

府支持與經營的垃圾收集與焚化程序。

最後，構成支持循環經濟的市場要件包括了：法規穩定開放、行政成本低、市場供需健全，並且與全球接軌。而我們必須具備「系統思考」(掌握系統全貌與流動)及「批判思考」(反思習以為常的概念)兩種能力，搭配其他的專業知識，才能夠看透循環經濟的運作原理，並讓它持續運作(葉欣誠，2018(4))。

所以想要透過資源回收支持循環經濟產業，或是想從回收中賺錢或省錢，都需要理解「循環經濟」的主題和主體都是「經濟」。所以想要切入循環經濟，需從經濟的角度來思考，若忽視「供給與需求」這個市場經濟的基本原理，就什麼產業也做不起來。

臺北自來水事業處甚至臺北市政府，若想建立永續循環經濟的生活圈，讓循環經濟的推動能夠永續，建立一個供需平衡的推動圈就顯得相當重要就像前面所說的，原本希望可以賣出去的二次料，因為沒有市場，只好進入政府經營的垃圾收集與焚化程序。

四、結語

臺北自來水事業處取用水源、人力、土地設施等眾多社會資源，肩負起大臺北民生與經濟發展的供水責任，從經濟、環境與社會三個面向訂定企業社會責任政策，致力提升水利用效能、減少能耗與排放、友善職場與社區，並以具體目標及行動呼應聯合國永續發展目標(SDGS)(圖 13)，積極實踐企業社會責任，打造臺北為水資源永續的宜居城市。為了達成以上永續發展目標，每年皆編



圖 13 聯合國永續發展目標(SDGS)

撰企業社會責任報告書(CSR),揭露包括永續發展、企業經營、穩定供水、環境保護、友善職場、完善服務等各項重大議及行動方案績效資訊，並訂定來年的行動方案。在循環經濟方面，陸續訂定汰換高、低壓抽水機與高、低壓變頻器；汰換高耗能冷氣機為變頻冷氣機；汰換電腦改用租賃；持續電腦、影印機、開(飲)水機節電休眠；辦理淨水場、加壓站設備汰換更新；積極變賣舊表、淨水污泥再利用、減少廢棄物；汰換電梯主機及增設電梯節能回饋裝置等目標，期望能以具體目標及行動呼應聯合國永續發展目標(SDGS)(圖 13)。

為了達到建立永續循環經濟生活圈的目標，鼓勵從產品的生產端開始，更有效率的使用原物料、水、能源等資源，以減少全新物質的耗用，降低廢棄物產量。建立經濟誘因機制，營造適合發展的環境，促使民間企業及個人自發地循環。改變商業模式，由既有的銷售商品轉型為提供服務，以促使生產者更重視商品的品質及耐久性，延長商品在經濟體循環的時間長度。加強各單位的交流，促進國內外產官學研社之間的相互合作，如技術、資訊、資金及商品的交換。並

提升大用戶用水智能管理-智慧水表試辦成果

文/黃心怡、江淑惠、謝素娟、董書炎

摘要

2020 年止台灣自來水公司(以下簡稱台水公司)用戶數約 732.7 萬戶，其中月平均用水量 1,000 度以上計 7,750 戶，佔總用戶數 0.11%，用戶數佔比雖低，然其用水量佔整體用水量高達 30%，為水費收入來源重要客群。對於大用水戶用水情形，採人工每 2 月或每月抄錄指針度並核計用水量，無法即時掌握水量計之計量情形(如故障、不轉或遲緩等)及用戶用水行為變化(如用水量突增減)。

透過智慧水表(水量計加裝傳輸介面)結合自動讀表監測系統(AMR)，除節省人工抄表作業外，將大用水戶過去每 2 月或每月用水記錄間距縮短至每小時 1 次，系統長期間蒐集用水數據，分析用水趨勢與歷史用水量差異，當用戶水量計不轉、故障及內線漏水突增等異常狀況可即時回饋，有效提升用水管理效率及避免水資源浪費。

台水公司擇口徑 50mm 以上且月用水量 5,000 度以上大用水戶，及每月用水量 2,000 度以上中小學計 1,700 只，加裝自動讀表傳輸介面，依安裝地區分為南部與北部二個地區，分別使用電子訊號及影像辨識二種傳輸介面，通訊方式採用 NB-IoT 或 4G、傳訊頻率為每小時記錄 1 次、每日回傳 1 次，電池保固 8 年。為利專案推動，除統一傳輸介面與監測系統之計量資料交換格式外，同時辦理「全區用戶表監測系統」功能增修，如用水資訊圖視化、介接水量計異動資料、抄表

機傳輸系統、調閱水量計照片、異常事件警訊通知等。透過大用戶智慧水表試辦，了解傳輸介面不同傳輸技術之穩定性及正確性、表位環境對智慧水表安裝與傳輸之影響，探討使用者及用戶端對系統功能的需求等，作為未來擴大推廣參考。

關鍵字：智慧水表、大用水戶、全區用戶表監測系統

一、前言

依據國發會公布「中華民國人口推估(2020 年至 2070 年)」台灣於 1993 年已經成為高齡化社會，2018 年轉為高齡社會，推估 2025 年將邁入超高齡社會。目前自來水事業依賴大量人力抄錄水量計指針數後開單計費，面臨高齡化社會恐造成勞動力短缺，為避免無人執行抄表業務之窘境，各國開始逐步推展安裝智慧水表，以取代人工抄表。

台水公司月平均用水量 1,000 度以上用戶數計 7,750 戶，用水量佔整體用水量高達 30%，為水費收入來源重要客群。對於大用水戶用水情形，採人工方式每 2 月或每月抄錄指針度後核計用水量，當抄表員發現用水量異常，當面或以貼單方式通知用戶，惟抄表週期間隔長，無法即時掌握水量計之計量情形及用戶用水行為變化，當水量計故障如遲緩、不轉、空轉、亂行等或是用戶內線漏水計量突增，增加稽複查工作及後續計量疑義之處理成本。

智慧水表為水量計加裝或內建傳輸介面(傳輸模組)，透過傳輸介面將水量計之計

量資訊轉化為訊號，回傳至自動讀表(AMR)系統，利用傳輸設備結合物聯網，經由系統長期間記錄用水數據後，產出歷史用水趨勢，並設定計量異常警戒值，如發生水量計不轉或故障、用戶內線漏水突增等狀況，系統主動發送異常事件通知，縮短異常案件處理時間，輔助管理單位掌握售水情形，並提供用戶線上查詢用水狀況，節省人工拆表成本，有效提升用水管理效率。

由於台灣水價低廉，智慧水表傳輸介面成本高，水量計全面加裝傳輸介面所需費用約為人工抄表成本約 8.5 倍，先擇大用戶及中小學用戶，計 1,700 只試辦安裝智慧水表，同時辦理「全區用戶表監測系統」功能增修，了解傳輸介面不同傳輸技術之穩定性及正確性、表位環境對智慧水表安裝與傳輸之影響，及探討使用者及用戶端對系統功能的需求等，作為未來擴大推廣之參考。

二、國內智慧水表應用現況

台水公司為掌握大用戶用水狀況，2004 年擇台南及高雄地區月均用水量大於 1,000 度之工業、商業或機關用戶，試辦電話線路自動讀表計約 280 只、建置經費約 832 萬元，後續因維護成本高昂，以及換表後傳輸碼無法讀取等問題而停用。2017 年再擇高雄工業大用戶 17 只，除依其歷史用水量評估口徑大小適宜性辦理縮小口徑外，並在電子表加裝傳輸介面記錄用戶用水資訊，同時建置「全區用戶表監測系統」，將表值回傳至監測系統，協助管理單位分析大用戶用水量是否落在水量計合理計量範圍內及用水量是否異常。

臺北自來水事業處配合臺北市政府「智慧城市」政策，2015 年擇用水量 1,000 度以上大用戶 100 只安裝智慧水表。自 2016 年起運用調整水價後增加水費收入，擴大安裝範圍，納入 200 度以上機關學校、市府新建社宅及市場等用戶，並將用水數值回傳至「智慧水管家」系統，開放系統讓用戶從手機、平板或電腦查詢歷史用水趨勢，達到自主管理節水效益，未來規劃 12 年內逐步將台北市汰換為智慧水表計 170 萬只。

為了精進馬祖地區四鄉五島自來水的水資源管理品質及提升水資源利用效益，及提升用戶供水品質，連江縣自來水廠於 2018 年執行智慧型水網計畫，將轄區內大用戶及一般家戶全面換裝為智慧水表計 3,120 戶，運用 NB-IoT、4G 物聯網傳訊架構，回傳至用戶用水分析平台，並連結既有之營運管理水費系統，完成用戶端自動讀表，免除人工抄表作業，提高水網智慧化的完整性。

金門縣自來水廠 2020 年起試辦大用戶安裝智慧水表計 151 戶，包含金門大學、金門酒廠、金門航空站等大用戶及約 140 個小型用戶，將機械表換裝為智慧水表，以了解地區智慧水表訊號之網路傳輸及電池壽命等狀況。同時建置智慧型用戶用水計量平台，整合用戶用水資訊，提供關鍵績效指標、用戶類別分析、異常型態分析、異常處理情形與節約水量分析等彙整性資訊，以利快速掌握用戶用水情形，有助於用戶用水管理與漏水分析參考。

綜上，國內各自來水事業單位逐步推動用戶安裝智慧水表，並搭配用水計量分析平台及提供用戶查閱之網站，除接收並儲存遠

端回傳監測數據外，彙整用戶用水資訊，依其歷史用水大數據研判用水量是否異常，協助自來水事業及用戶即早發現異常用水，使用水管理服務更加即時，以達到用戶自主用水管理。

三、大用戶智慧水表試辦規劃

(一)智慧水表運作架構

智慧水表運作架構分為感測層、通訊層與應用層，感測層指水量計透過傳輸介面、識別及感測計量相關資訊，即能蒐集水量計重要資訊，如狀態、事件、時間等；通訊層提供資料接收之網際網路服務，無線通訊技術包含 Wi-Fi、4G、NB-IoT、ZigBee、Bluetooth 等；應用層則提供資料接收及儲存之網路設備，並進行資料分析應用，如將水量計相關資訊轉換成水資源管理的數據基礎，提供抄表機傳輸系統、供水監測管理系統等應用，爰智慧水表與自動讀表系統需建立共通資料傳輸格式，才能將表計資料回傳至系統。

依國家標準 CNS 14273「自動讀表系統之通訊介面單元」，針對通訊用表計介面單元(MIU)之網路架構、網路傳輸方式、讀表服務協定(MRSP)及相關控制功能等，作為公用事業採用 MIU 之依據及檢驗使用，其中「附錄 B 水量計自動讀表介面功能概述」系統架構如下：

1. 密集式住宅或社區等表位距離較近之用戶，採用集中抄表模式。
2. 非密集式一般住宅用戶，採用無線通訊進行傳輸或集中抄表方式。
3. 大用水量用戶(或總表)，採用有線通信或無線通信直接進行傳輸。

4. 通訊模組資料交換格式為計量、區段、事件及選用資料，其中計量資料為必備欄位，包含表號、日期、時間、積算值、瞬間流量。

(二)智慧水表設備規範

水量計為水公司與用戶之間計量收費的計量工具，需符合度量衡法之規定，並取得經濟部標檢局型式認證；傳輸介面歸屬於「電信終端設備」或「電信管制射頻器材」設備，需符合國家通訊傳播委員會法規要求及電信法技術規範。水量計外加或內建傳輸介面後為「智慧水表」，對於水量計與傳輸介面的組合、傳輸技術、資料傳輸格式及資訊安全等無專責認證單位，需由機關納入規範自訂，以確保傳輸介面記錄表值與水量計表值同步，以及資料傳輸過程中資安防護。

各國自來水事業智慧水表推動策略，多優先擇水資源缺乏、供水成本高或人工抄表成本高的地區先行布建，本次擇具經濟效益大用戶安裝智慧水表。為評估不同傳輸技術穩定性及差異性，依安裝轄區分為南部與北部地區，於既有口徑 50mm 以上水量計加裝傳輸介面，同步辦理「全區用戶表監測系統」功能維護增修及硬體擴充，並訂定傳輸介面與監測系統統一之計量資料交換格式(通用 API 程式)，傳輸介面主要功能說明如下：

1. 傳輸方式：以 4G 以上或 NB-IoT 傳輸，資料回傳至伺服器採 MDVPN 方式辦理。
2. 供給電源：考量大用戶表位分散，使用市電不易取得用戶同意，傳輸介面為「電池供電」，電池應於每小時記錄 1 次、每日傳送 1 次保固 8 年，為節省電力消耗，通訊介面僅於資料傳輸時運作，其餘時間為

休眠狀態。

- 3.記錄及回傳頻率：以每小時記錄 1 次、每日回傳 1 次為原則，可依不同需求設定流量資料記錄及資料發信送出時距。
- 4.記憶容量：具備至少 1,488 筆資料記錄。
- 5.資料交換格式包含計量資料、區段資料、事件資料及選用資料，其中事件資料分為讀表異常(無回傳)、讀不到指針數或亂碼、自動讀表介面器異常、傳輸異常、水量計電力不足、傳輸介面電力不足。
- 6.具備 IP68 防水防塵等級：通訊模組須具有防水保護達 48 小時以上，以防止淹水浸泡損壞。

(三)智慧水表交貨及驗收

本次試辦計畫傳輸介面分別使用電子訊號及影像辨識之技術，其中電子訊號傳輸介面直接讀取水量計訊號，而影像辨識則是採影像拍攝水量計表值，利用機器學習神經網路演算法進行辨識後將資料傳出，為確保傳輸介面品質，其交貨及驗收流程如下：

- 1.傳輸介面交貨前應提供 IP68 防塵防水等級認證、電信終端設備型式認證證明、經營許可執照及自行測試性能合格之自主檢驗表等文件送台水公司審核。
- 2.傳輸介面與水量計結合後，於水量計試驗場進行傳輸性能檢驗，先辦理 IP68 防水測試(沉水於水深 1 米、48 小時以上)，再進行傳輸功能實測及穩定度測試(以每 5 分鐘記錄，每 5 分鐘傳送，連續運轉 2 天以上)，核對起始值與結束值是否與遠端顯示值一致，同時傳送成功率達 95%以上才得辦理交貨。
- 3.完成廠驗後傳輸介面陸續至各點位安裝，

並進行訊號設定及資料傳輸測試，傳輸介面以通用 API 程式回傳計量資料至全區用戶表監測系統，系統統計每日傳輸筆數並產製傳輸率報表，各只傳輸介面驗收前 3 日回傳率需達 90%以上(含前一日補回傳)才得辦理竣工及正式驗收。

(四)智慧水表安裝困難與瓶頸

1.表位問題影響傳輸穩定性

依台水公司用戶表位設置原則，僅訂有口徑 50mm 以下水量計箱尺寸，當用戶申請啟用口徑 50mm 以上大型水量計箱或水表組以併入用水設備內線由申請人施作，其箱體規範須採用水密性構造物，並無限制水量計箱體尺寸及材質，爰實務上大口徑水量計使用大理石、厚鐵板或是人口蓋等材質作為表箱蓋。廠商安裝智慧水表時，現場量測訊號發現厚重表蓋遮蔽訊號，影響傳輸訊號不穩定，需額外加裝訊號強波器或天線外移至空地，以克服訊號不良問題。此外，早期水廠時代設置大口徑窰井表位，大多無預留適當排水設施，易有淹水、泥沙淤積狀況，如窰井表位積水，因電磁波在水中有很大之衰減、訊號會被水被分散而無法回傳，需待積水消退才能補回傳，影響傳輸穩定性。



圖 1 用戶表位不良態樣

2. 水量計或傳輸介面異常影響傳輸正確性

台水公司口徑 50mm (含) 以上水量計均使用電子表，2012 年以前採用表種以豎軸奧多曼式 B 級表為主，經實地安裝測試結果發現 C 級表有助於提升用水量，自 2013 年以後改採用橫軸奧多曼式 C 級表。電子表可能因表殼漏水滲入液晶螢幕、表位潮濕或抄表後表蓋未蓋回，長時間陽光曝曬造成液晶螢幕淡化、指針數斷字、殘影或無法判讀指針數等情形，傳輸介面將無法正確讀取計量資料而判斷讀表異常，以「無回傳」或「讀不到指針數或亂碼」之事件作通知，系統則逐筆記錄異常事件，並發信通知介面廠商至現場處理，若研判屬水量計問題則轉通知服務(營運)所人員辦理換表。為加速讀表異常事件處理效率，系統已規劃將異常事件歸類為「水量計」或「傳輸介面」，如歸屬為讀不到指針數或亂碼、水量計電力不足等水量計異常案件，則發信通知所轄廠所人員處理；如歸屬為無回傳、傳輸異常或電力不足等傳輸介面異常案件，則通知介面廠商派工處理，縮短系統無法蒐集計量資料時間。



圖 2 水量計異常態樣。

四、全區用戶表監測系統規劃

(一) 智慧水表與全區用戶表監測系統介接

智慧水表涉及用戶用水資訊，從資訊蒐集開始、網路層，到最上面的應用層需具備

符合必要的資安防護要求，在資料交換上確保整個資料流(Data Flow)傳輸過程安全無虞，資料回傳至系統採 MDVPN 方式將計量數值寫入資料庫，通訊協定為 HTTPS，以 POST 方式傳送 Request，以確保傳輸安全。傳輸介面由接收中繼(中介軟體)將資料轉化為 API 通用格式，傳輸封包為 JavaScript 物件標記法(JSON)、UTF-8 編碼(encoding)，每個封包內容不能跨日。

「全區用戶表監測系統」進行功能優化，依不同使用者分為內部管理版及用戶簡易版，其資料庫資料同步抄寫，其中用戶簡易版部分提供用戶查詢歷史用水量及指針數之功能，並於第一次登錄時要求用戶設定基本資料(如手機、Email)及用水異常警戒值，以利進行用水突增減通知，目前開發建置中，而內部管理版系統增修功能如下：

1. 介接營運管理資訊系統，導入營運系統裝拆表、汰換、停用等水量計異動資料，系統可異動表號通知傳輸介面予以更新。
2. 使用者帳號介接人事管理系統，當使用者離職、職務調動等自動停止權限，以確保帳號權限控管無虞。
3. 提供水量計或傳輸介面之異常事件設定功能，如屬水量計異常通知所屬服務(營運)所，如屬傳輸介面異常通知介面廠商。
4. 使用者可指定水號、表號及日期，調閱影像辨識傳輸介面拍攝指針數照片，減少稽複查人員現場勘查，並提供為用戶計量疑義之參考。
5. 系統用戶計量資料與抄表機傳輸系統介接，取代人工抄表作業。

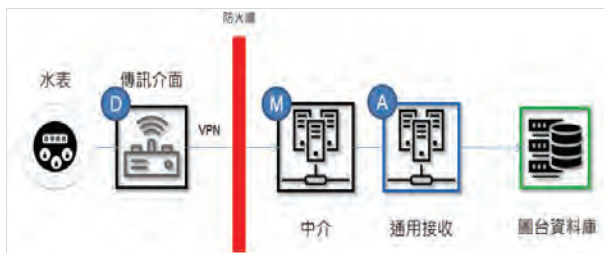


圖 3 智慧水表系統傳輸架構圖

(二)全區用戶表監測系統功能增修

以往自來水事業與用戶之間用水爭議處理方式，大多抄表後針對用水突增減案件派員至現場複查了解用水情形，導入智慧水表後每小時記錄用水量，較每 2 月或每月人工抄表記錄頻率縮短，提供即時水量查詢，同時協助管理端位更精確掌握大用戶用水狀況，藉由有效管理用水方式協助節水甚至找出漏水，及早修復避免損失水資源。

為善加利用智慧水表回傳資訊，辦理「全區用戶表監測系統」功能增修，系統內各項資料可視使用需求呈現，當使用者登入後會依組織層級區分權限，使用者種類分為組織、用戶、系統廠商及傳輸介面廠商，可依使用需求設定是否接收異常通知。此外，系統規劃提供各式功能模組，包含儀表板、水量計、事件、訊息通知、分析統計、報表結算、維修紀錄、設定、使用者管理、其它等，並圖示化用水資訊，如每日、每週、每月用水量比較等，本次新增功能說明如下：

1. 「調閱照片」指定水號、表號及日期即可調閱水量計指針數照片(如圖 4)。
2. 「設定傳訊器參數」可依使用單位業務需求，遠端調整各只智慧水表傳輸頻率或紀錄頻率，並設定調整後生效時間(如圖 5)。



圖 4 調閱照片

圖 5 設定傳訊器參數

3. 「水量計異動紀錄」導入營運系統裝拆表、汰換、停用等水量計異動資料，提供新舊表指針數、表號、換表日期等，以利系統計算換表前、後用水量(如圖 6)。

日期	水號	表號	異動類型	異動前讀數	異動後讀數	異動日期	異動時間	異動時間	異動時間	異動時間
2021-12-29 21:50:52	1048113009	08900004	17	107000015	16681	2021-12-29	09:58	09:58	2021-12-29 22:00:43	2021-12-29 22:00:43
2021-12-30 21:50:52	1048113009	135000012	12	107000015	272815	2021-12-30	09:58	09:58	2021-12-30 22:00:43	2021-12-30 22:00:43
2021-12-30 21:50:52	1048113009	08900009	11	104800001	198019	2021-12-30	09:58	09:58	2021-12-30 22:00:43	2021-12-30 22:00:43
2021-12-30 21:50:52	1048113009	104800043	18	104800001	81181	2021-12-30	09:58	09:58	2021-12-30 22:00:43	2021-12-30 22:00:43
2021-01-06 21:50:52	1048113009	107000012	17	107000015	166815	2021-01-06	09:58	09:58	2021-01-06 22:00:43	2021-01-06 22:00:43

圖 6 水量計異動紀錄

4. 「事件設定」提供使用單位依設備種類「傳輸介面」、「水量計」設定異常事件及異常警戒值比較基準，並依異常事件嚴重性分低、中、高進行通知(如圖 7)。



事件編號	事件名稱	檢查值	比較基準	比較方式	狀態
1001	日用水量/近 30 日平均日用水量	日用水量	30 日平均用水量	增/減百分比	啟用
1002	日用水量/上週平均日用水量	日用水量	上週平均日用水量	增/減百分比	啟用
1003	日用水量/上月平均日用水量	日用水量	上月平均日用水量	增/減百分比	啟用
1004	日用水量/去年平均日用水量	日用水量	去年平均日用水量	增/減百分比	啟用
1101	連續用水	日用水量	指定值	增加值	啟用
1102	連續無用水	日用水量	指定值	增加值	啟用
2001	週用水量/上週用水量	週用水量		增/減百分比	啟用
2002	週用水量/去年平均週用水量	週用水量	去年平均週用水量	增/減百分比	啟用
2003	週用水量/去年本月平均週用水量	週用水量	去年本月平均週用水量	增/減百分比	啟用
3001	月用水量/上月月用水量	月用水量		增/減百分比	啟用
3002	月用水量/去年平均月用水量	月用水量	去年平均月用水量	增/減百分比	啟用
3003	月用水量/去年本月月用水量	月用水量		增/減百分比	啟用
M001	逆流	日反向用水量		增/減百分比	啟用
T001	傳訊器斷訊	斷訊次數	無	增加值	啟用

圖 7 異常事件設定

本次進行「全區用戶表監測系統」功能優化，除善用智慧水表回傳計量資訊外，管理單位或用戶可利用歷史用水數據分析用戶用水行為，並依管理需求設定異常事件種類及警戒值，包含用水突增減、連續用水、連續未用水、傳訊異常、水量計異常等，系統主動發送通知及早發現異常案件。此外，管理單位利用「調整傳輸頻率或紀錄頻率」功能，調整傳輸頻率(如改以每 10 分鐘記錄 1 次)，藉由密集連續性觀察用水趨勢變化情形，以分析大用戶用水特性及用水量與時間軸關聯性，有助於更精確研判用水量是否異常；而「調閱照片」功能可提供水量計特定時間點之指針數，縮減人力派工的成本，減少稽複查人員現勘處理時間。

五、結論與建議

本次擇口徑 50mm 以上且月用水量 5,000 度以上大用水戶，及每月用水量 2,000 度以上中小學計 1,700 只，於既有大型水量計加裝自動讀表傳輸介面，依安裝地區分為南部與北部二個地區，分別使用電子訊號及影像辨識二種傳輸介面，同時辦理「全區用戶表

監測系統」功能增修，以利將用水數值轉化成數據資料後回傳至系統進行用水分析，本次大用戶智慧水表試辦結論如下：

(一)不同傳輸技術之穩定性及正確性

為確保智慧水表傳輸品質，規範內訂有現場安裝後 3 天回傳率應達 90% 以上之規定，惟傳輸介面記錄表值是否與水表同步，仍需靠雙軌人工抄表方式確認。本次安裝傳輸介面曾發生採影像辨識技術，因液晶螢幕不良如淡化、殘影、斷字，造成指針數辨識錯誤；或是採電子訊號技術，因各年度電子表頭韌體版本不一樣，讀表程式錯誤致讀表失敗。為避免自動讀表介面辨識錯誤造成用水量異常，誤傳至抄表傳輸系統而影響計費開單，全區用戶表監測系統新增防呆機制，對於指針數前、後筆瞬間量差異過大，該筆資料移至「計量異常資料區」儲放，傳輸紀錄視為異常資料予以排除。

(二)表位環境對智慧水表安裝與傳輸影響

舊水廠時期偏重於新增用戶數推廣，配合用戶減少用戶外線工程費，將表位設於屋後或防火巷道，且未設置適當排水設施，窰井表箱內長期積水潮濕，造成傳輸介面泡水無法傳輸，甚至水氣進入設備而有故障之情形；另部分大樓或公司行號基於美化社區環境，以大理石或厚鐵板作為水表箱蓋，表箱過厚影響傳輸品質。近年來台水公司大用戶新裝啟用時鼓勵採用立式表位，經本次實地安裝後發現立式表位無設置水表箱蓋，不會發生訊號屏障遮蔽或是積水問題，其傳輸品質較窰井表位為佳，良好的表位環境有助未來推廣安裝智慧水表。

(三)滾動檢討系統用水判斷異常準則

台水公司大用戶多為工業用戶、公司行號、政府或學校機關，用水量受產業特性、季節或景氣循環等影響，全區用戶表監測系統雖有開發異常用水事件通知，包含用水突增減、連續用水、連續不用水等，惟無法單獨設定各別用戶用水異常判斷標準，倘設定標準過於嚴苛，水量計用水異常案件比例偏高，增加稽複查人員現勘處理時間。以往抄表員如遇用水突增減案件，抄表機強制抄表員註記異常原因並拍攝指針數，減少稽複查人員現勘時間，而智慧水表安裝後密集記錄用水資訊，藉由系統歷史用水資料判斷用水量是否落於合理範圍內，並主動進行異常事件通報，即時發現用量異常及水量計故障案件。惟大用戶用水行為需透過長時間用水數據，以及蒐集相關用水影響因素，提供使用單位滾動式檢討異常判斷準則，更精確判斷用水量異常案件，避免增加基層處理異常事件工作負擔。

六、未來建議事項

(一)傳輸介面增加傳輸正確性之驗證機制

不論傳統水表或智慧水表，皆為自來水事業與用戶之間交易計價工具，智慧水表回傳用戶計量資訊，提供自來水事業及用戶即時查詢用水資訊，本次試辦經驗發現回傳計量表值與水量計表值不一致之情形，爰建議訂定傳輸計量資料正確性之現場抽驗機制，避免回傳讀值錯誤之情事，以利未來導入計費開單並取代人工抄表。

(二)鼓勵大用戶改用立式表位

台水公司訂定有「用戶表位設置原

則」、「用戶用水設備裝置工程標準作業程序與稽查要點」，凡影響抄表、水量計裝拆及表箱零件維修等作業或是排水不良均屬表位不當案件，如屬用戶因素造成應由用戶辦理改善。智慧水表傳輸品質受現場表位環境影響，窰井表位積水，造成資料無法排定時間內回傳，或是表箱蓋過厚遮蔽訊號，造成傳輸筆數不完整，為利未來推廣智慧水表，建議大用戶智慧水表(含傳輸介面)表位設置、水表箱等應納入用戶表位設置原則予以研修，並鼓勵用戶新裝使用立式表位，以利擴大推動智慧水表布建。

(三)系統新增異常案件自動派工及結案回報功能

目前全區用戶表監測系統初步判斷智慧水表回傳異常案件之設備歸屬，如屬水量計異常則通知所轄廠所人員，如屬傳輸介面異常則通知介面廠商處理，惟系統並無異常案件處理回報機制，未來規劃系統通知異常事件自動派工，增加結案回報功能，維修人員線上填報維護表單，包含維修日期、故障原因、問題排除等，除可將相關工作紀錄妥善留存外，定期產生異常案件統計報表，亦可回饋傳輸介面或水量計廠商進行設備品質改善。

(四)增加智慧水表每日回傳頻率

本次智慧水表規劃每小時記錄 1 次、每日 1 次，將用水量資訊回傳至全區用戶表監測系統，傳輸介面未啟動時為休眠狀態，以節省傳輸電力耗費。由於全區用戶表監測系統已開發可遠端設定傳輸頻率、記錄頻率，以及調閱照片之功能。實務上，使用者於系統發送指令後，傳輸介面需待隔日凌晨回傳

時，收到通用 API 程式指令，並於下次回傳時回應系統指令，使用者需待 2 天後才能確認設定功能否成功，為利加速系統發送指令到收到回應，爰建議智慧水表可依需求增加每日回傳頻率，以更即時掌握計量資料及調整介面之功能設定。

參考文獻

1. 經濟部標準檢驗局(2017b)，「國家標準 CNS14273」。
2. 智慧水表於用戶用水管理之研究，連江縣自來水廠。
3. 中華民國自來水協會技術研究委員會(2016)，「智慧水表之建置與應用發展」，中華民國自來水協會104年度研究計畫。
4. 中華民國自來水協會技術研究委員會(2018)，「進階用戶抄表管理系統導入之探討」，中華民國自來水協會108年度研究計畫。
5. 中華民國自來水協會(2015)：聰明的都市水管理方法，中華民國自來水協會季刊，第34卷第2期。
6. 中華民國自來水協會(2019)：智慧水網發展探討：智慧水表之應用研究，中華民國自來水協會季刊，第38卷第4期。
7. 中華民國自來水協會(2021)：全面推動智慧水表的契機－導入 AMR 技術的紅海策略，中華民國自來水協會季刊，第40卷第2期。
8. 金門自來水廠，109年12月自來水廠大事紀，https://water.kinmen.gov.tw/Content_List.aspx?n=D0D477346821FF51。
9. 國際經貿服務網，智慧城市大革命！美國五大都市如何打造最省錢的市政策，https://wto.cnfi.org.tw/news_detail.php?c_id=34956。
10. 新加坡公用事業局，<http://www.pub.gov.sg/>。
11. 眼底城事，<https://eyesonplace.net/2018/08/>

24/8695/。

12. 東京都水道局，智慧水表項目推廣計畫，<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/30569/File/20210427.pdf>。

作者簡介

黃心怡女士

現職：台灣自來水公司營業處組員

專長：抄表營運管理、數值分析

江淑惠女士

現職：台灣自來水公司營業處副處長

專長：自來水營運規劃與業務管理

謝素娟女士

現職：台灣自來水公司總檢核

專長：自來水工程與營運管理

董書炎先生

現職：台灣自來水公司營業處處長

專長：自來水營運規劃與業務管理

自來水設備維護管理機制實務初探

文/李俊德

摘要

設施及設備出現異常狀況往往是重大故障或失效的先期徵兆，故平時就必須做好異常狀況的處置。有效的設備檢測與維護，不僅能儘早發現異常及時處理，有效降低意外發生機率，更能減少非計畫性停機或失能，提升系統穩定度。

針對自來水設備維護管理，中央主管機關經濟部水利署訂有「自來水設備檢驗辦法」，作為自來水事業單位施行依據及準則。臺北自來水事業處（以下簡稱北水處），為確保各項設備或設施能有效率的運轉，參照制定所屬設備檢驗辦法及編訂設備維護手冊，據以執行，並且為落實權責分工，在近期建立三層次管理作業程序及實施抽查機制，讓相關單位能各司其職，以及強化檢驗品質，避免設備維護作業流於形式。

本文擬就現行法令規範、建立管理機制、執行問題分析、定期檢討修訂、維護資訊公開等幾個面向，闡述北水處在設備維護管理方面的經驗及努力，從方法與制度上建立落實誘因，最後希望未來能運用網路雲端科技建立系統性檢查機制，進行相關數據資料蒐集，並完整確實保存與分析，如此，不但能強化設備之安全管理，也可以透過數據管理回饋到設備採購需求及操作維護上。

一、前言

公共設施全生命週期以營運階段的維

護管理時間最長，維護管理不善將影響公眾使用安全，尤有甚者，將足以直接或間接造成人員傷亡、避難遷徙或重大經濟損失。

108 年 10 月 1 日宜蘭縣南方澳發生斷橋事件（圖 1），因跨港大橋意外斷裂橋體結構坍塌，造成多名人員傷亡以及船隻、車輛損壞，並連帶影響周邊居民與港務交通，另倒塌之橋樑構件壓損電力線路造成 2,000 多戶停電，最終調查報告指出，事故主要原因是吊索系統鏽蝕導致承載力不足，加上管理不當、檢測方式不完備，事故前 3 年多都未檢測而未能及時發現鏽蝕等情況。



圖 1 宜蘭縣南方澳大橋意外斷裂坍塌

此外，109 年 9 月 13 日台電南投大觀水力電廠武界壩（圖 2）其中 1 扇閘門兩度異常自動開啟放流，導致下游於栗栖溪河床野外露營的數位民眾遭大水沖走罹難，事故發生後由相關單位成立應變小組調查事故原因，初步調查結果，武界壩均依規定每半年（4 及 10 月）進行例行檢查，預計下次例行檢查為 109 年 10 月中旬，未料於下次定檢前

發生意外，疑為傳輸訊號電纜絕緣不良肇禍。



圖 2 台電大觀發電廠武界壩開門(框線處)異常開啟放水

嗣後，在 109 年 12 月 4 日台鐵瑞芳至猴硐間發生邊坡下滑事件(圖 3)，則是因連續降雨使土壤含水量達到飽和，進而造成山坡地淺層崩塌土石淹沒鐵道，所幸工務單位的連日監測及時預警通報，讓接近的列車緊急停等，致未發生人員傷亡，惟事故當日造成路線中斷列車停駛，影響了近 2 萬名旅客，經搶修後於 12 月 14 日先恢復東正線單線雙向行車，再於 110 年 2 月 3 日恢復雙線雙向通車。



圖 3 台鐵瑞芳至猴硐連續豪雨造成邊坡下滑

由以上 3 個案例可知一個機關或單位所屬公共設施之維護管理至關重要，一旦突然發生損壞或無預警的異常狀況，除了造成單

位自身的損失，亦會影響民眾生命財產的安全，因此，建立一套健全、可行且可靠的維護管理機制，不僅是為了企業的永續經營，亦是企業社會責任重要的一環。

二、相關法令規範

依據自來水法第 49 條規定：「自來水事業對各項設備應定期檢驗並記錄檢驗結果。其檢驗辦法，分別由中央及直轄市主管機關訂定之。」北水處為提升水資源之有效利用，致力於自來水設備建設與改善，而設備維護管理之良善與否，更是直接影響供水穩定與水質安全，因用戶對於自來水之安全性與適飲性的關心及要求越來越高，為確保良好水質，相關設備之維護檢驗益顯重要，其主要目的在於確保各項設備或設施能有效率的運轉，故早在 65 年即訂有「臺北市自來水設備檢驗辦法」，最新版本則為 105 年參考經濟部水利署「自來水設備檢驗辦法」(104 年版)內容修訂。

依該辦法第 2 條規定：「本辦法之主管機關為臺北市政府，並委任臺北自來水事業處執行。」北水處前於 100 年 4 月即訂定了「臺北市自來水設備檢驗項目及期程表」、「自來水設備檢驗報告表(檢驗方法)」、「自來水設備檢驗報告表」及「自來水設備檢驗缺失改善報告表」，規定自來水設備之檢驗項目、期程及檢驗方法等，讓第一線檢驗執行單位有所遵循。

同時依該辦法第 5 條規定訂定了自來水設備維護手冊，將所屬自來水設備依取水設備、貯水設備、導水設備、淨水設備、送水設備、配水設備、淤泥處理設備、水質檢驗

設備等分為 8 大類共 90 個項目，以利各權管單位確實做好維護管理，並增列安全衛生管理專章，以提醒檢驗人員注意作業時之安衛相關規定。

因自來水設備涵蓋土木、水利、機電、儀控、化學及水質等領域，各項設施要能充分發揮效益，需考量其相互間之關連性，讓檢驗人員能正確充分瞭解設備原理與功能，依據這些重要的紀錄及資料，作為排定檢修或改善設備之用。相關使用之檢驗報告表均置於各章節後，提供檢驗人員適時填報，另設備檢驗後之檢驗報告表或改善報告表則須定期提送管理單位彙整，以利於次年 4 月前函報主管機關備查。

除前述設備檢驗外，該辦法第 6-1 條又規定：「與公共安全及供水風險影響重大，且經主管機關公告之自來水設備項目，自來水事業應研訂安全評估計畫，並報主管機關備查後實施。」前項計畫應包括下列內容：設備數量及位置、評估頻率、評估項目及內容、評估方式、改善措施、其他有關安全及供水風險事項，該安全評估計畫年度實施結果，自來水事業應擬具報告，於次年 3 月底前函報主管機關備查。

依經濟部 106 年 7 月公告之「與公共安全及供水風險影響重大之自來水設備項目」原則如下：

- (一)與公共安全影響重大之自來水設備項目
 - 管徑達 800 毫米以上、平均操作壓力達 3 千克／平方釐米以上且導送水量超過每日 10 萬噸、非 DIP 或 SP 且使用年限超過 20 年之導水或送水管。
- (二)與供水風險影響重大之自來水設備項目

—管徑達 800 毫米以上且導送水量超過每日 20 萬公噸、非 DIP 或 SP 且使用年限超過 20 年之導水或送水管。

(三)其它經主管機關指定之重大設備項目。

再者，有關安全評估計畫之實施方式，其中評估頻率，即排定檢驗期程以不超過 5 年為原則。

依前述原則篩選後，目前北水處共有 4 個項目必須定期進行安全評估，最近一次安全評估則於 109 年委託專業工程顧問公司辦理並完成評估報告。

前述管理單位所辦理之各類檢查及安全評估，可參考水利署有關自來水設施維護管理機制架構（1），它形成了一座由下而上，完整且穩固的設施維護金字塔（圖 4），確保各類設施使用期間之安全及永續性。

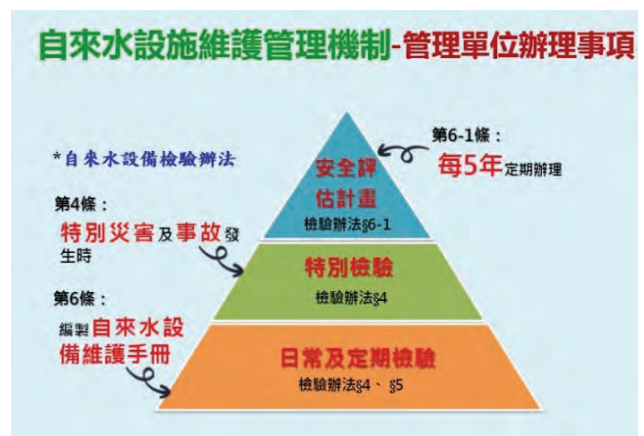


圖 4 自來水設施維護管理機制-管理單位辦理事項

三、建立三層次管理及實施抽查機制

行政院公共工程委員會（以下簡稱工程會）為維護公共設施之安全及永續利用，於 109 年 5 月召開維護管理機制盤點與檢討會議，會議結論涉及自來水事業部分（屬於水利類設施），要求各項設施維護管理應導入

三層次管理機制，即主辦機關負責管理維護、上級機關負責督導及主管機關負責監督，各司權責，藉以徹底落實維護管理制度。北水處因相關設備維護管理作業已行之有年，分工原則以各單位既有辦理事項為基礎訂定管理機制（圖 5），即所謂標準作業程序（SOP），作為後續維護執行之依據。

另為落實自來水設備維護管理各層級分工第二層督導機關負責事項，特訂定「自來水設備檢驗抽查作業實施計畫」據以執行，其中抽查作業由設備管理單位成立跨科室工作小組負責辦理，該工作小組則由管理、維護單位派員組成，並由管理單位指派 1 人擔任召集人。抽查作業每半年實施 1 次，並且採科室單位交互抽查模式，避免讓

抽查作業流於形式。

四、設備檢驗執行問題分析

依「臺北市自來水設備檢驗辦法」第 6 條規定，北水處自來水設備檢驗種類分為日常檢驗（Routine Inspection）、定期檢驗（Periodic Inspection）、暴雨或地震等突發事件特別檢驗（Special Inspection）等 3 類，其編纂之自來水設備維護手冊係多年經驗累積與傳承，對於不同設備訂有各種檢驗項目內容、檢驗週期與紀錄方法等，由各設備維護單位依訂定之檢驗標準確實進行檢驗，其中進行日常檢驗及定期檢驗時，應注意相關各設備運轉狀況並加以紀錄，另對於異常或事故發生時應實施特別檢驗。

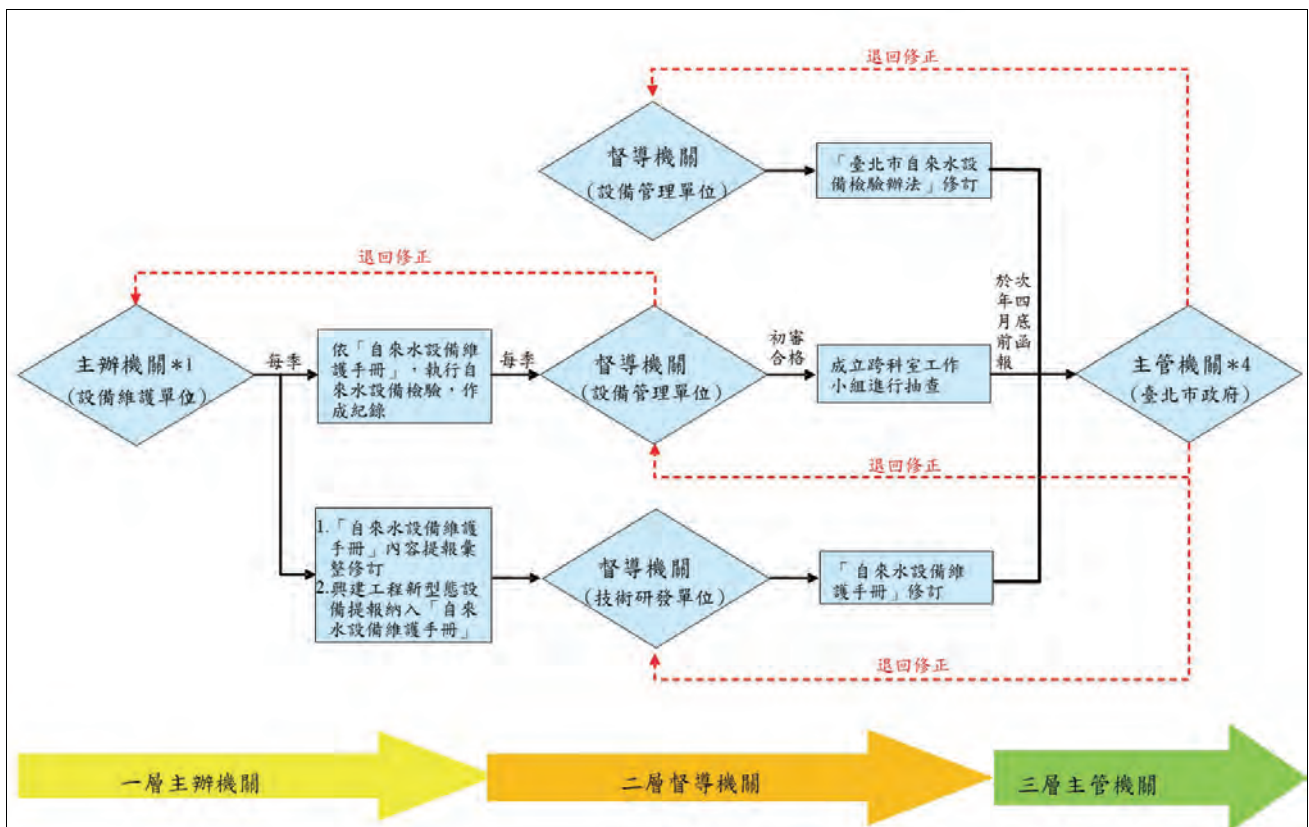


圖 5 北水處「自來水設備維護管理」標準作業程序(SOP)

其中，日常及定期兩種檢驗已訂有檢驗頻率，檢驗人員依規定期程進行作業即可，惟特別檢驗的實施時機，一般採用定性描述，如颱風前、後或地震後等，並無一定執行標準，北水處為統一作業，如颱風過境、三級以上地震等通案狀況，則參考中央氣象局發布之訊息，研判其規模、影響範圍及程度，視需要由設備管理單位以電子信箱通知設備維護單位辦理特別檢驗，嗣後並列為抽查重點項目，如此可避免檢驗過於頻繁而產生疲乏，或因疏忽而未及辦理。

再者，由於部分設備項目數量龐大或分布甚廣，自有人力無法完全負擔，委外進行維護管理已成為常態，導致由專案契約廠商負責之維護項目、頻率等與維護手冊規定不盡相同，必須適時予以整合，避免重複作業，浪費人力資源。

五、維護手冊定期檢討與時俱進

北水處水源主要為地表水，即河川水及水庫水，所屬淨水場處理流程一般採用：膠凝→沉澱→快濾→回收等傳統處理系統，使用之設備及機具均較為常見，且已累積相當豐富的實際操作經驗，其檢驗項目及頻率可依過往發生的事件或缺失予以妥適訂定。

此外，在臺灣地區未來預期還會廣泛使用兩種水源，即海水淡化（圖 6 及圖 7）及地下水井（圖 8 及圖 9），此兩種新型態水源淨水處理有別於傳統淨水流程，其中海水淡化廠主要採用逆滲透薄膜單元（Reverse Osmosis Membrane Unit）以達到脫鹽

（Desalination）目的，而地下水井汲取的水體則必須再經過去除砷、鐵、錳等物質才可供應民生使用。目前海水淡化廠及地下水井多數位於離島，數量及規模均較小，惟自去（109）年以來，隨著氣候變遷，造成臺灣部分地區面臨缺水危機，經濟部水利署已規畫本島長期將新增 6 座海水淡化廠，而地下水井部分則因符合抗旱短期、緊急的特性，日後將在桃園、新竹、台中、屏東等地陸續建置 1,250 口新鑿或恢復的水井，完工後屆時預計將會新增許多管線設施及新穎的儀控設備。

這些隨科技發展而產生的設施及設備，常被忽略或未能及時反應在設備維護手冊的檢驗項目，故應當藉由前述三層次管理機制，由管理單位負責召集各設備維護單位，定期針對現有設施及設備進行項目、數量的盤點，必要時應請供應廠商列席或提供建議，妥適修訂檢驗項目、內容及頻率，以反應實際現況，避免因遺漏而發生憾事。



圖 6 海水淡化廠砂濾系統



圖 7 海水淡化廠逆滲透薄膜處理單元



圖 8 地下水井泵浦及管線



圖 9 地下水除鐵錳設備

六、設備維護資訊公開

工程會為推動公共設施維護管理情形之資訊公開，明確各機關公開維護管理資訊之權責及辦理事項，於 110 年 1 月訂定「公共設施維護管理資訊公開作業要點」，各機

關就所管公共設施之維護管理資訊應以公開為原則，俾提供公眾瞭解。養護機關需定期盤點負責養護之公共設施，並將其維護管理資訊傳送至工程會指定之電腦資料庫，傳送之內容則會即時顯示於該會網站供民眾查詢。

北水處除依照工程會規定定期上傳所屬公共設施維護資訊（圖 10），另於所屬網站公布年度設備檢驗及改善報告（圖 11），該報告係彙整全年度檢驗結果編纂而成，並經主管機關備查，以達到資訊公開的目的。

序號	主類別	次類別	設備名稱	主管法規之中央目的事業主管機關	養護機關	上一級養護管理機關	中央部會及地方政府	養護頻率	養護日期	備註	最近一次養護日期	維護管理狀況	近期維護管理執行情形
1	水利設施	自來水設施	廣興淨水場	台北市政府(經濟部補助單位)	臺北自來水事業處供水科	臺北自來水事業處	臺北市政府	0 3	110-04	最近上傳的資料	2021/4/20	已依規定維護正常	依規定檢驗頻率辦理完成
2	水利設施	自來水設施	公館淨水場	台北市政府(經濟部補助單位)	臺北自來水事業處供水科	臺北自來水事業處	臺北市政府	0 3	110-04	最近上傳的資料	2021/4/20	已依規定維護正常	依規定檢驗頻率辦理完成
3	水利設施	自來水設施	雙溪淨水場	台北市政府(經濟部補助單位)	臺北自來水事業處供水科	臺北自來水事業處	臺北市政府	0 3	110-04	最近上傳的資料	2021/4/20	已依規定維護正常	依規定檢驗頻率辦理完成
4	水利設施	自來水設施	巨港淨水場	台北市政府(經濟部補助單位)	臺北自來水事業處供水科	臺北自來水事業處	臺北市政府	0 3	110-04	最近上傳的資料	2021/4/20	已依規定維護正常	依規定檢驗頻率辦理完成
5	水利設施	自來水設施	陽明淨水場	台北市政府(經濟部補助單位)	臺北自來水事業處供水科	臺北自來水事業處	臺北市政府	0 3	110-04	最近上傳的資料	2021/4/20	已依規定維護正常	依規定檢驗頻率辦理完成

圖 10 工程會網站-公共設施維護管理公開資訊（北水處部分）

編號	主題	上傳日期
1	109年度自來水設備檢驗及改善報告	110-04-22
2	108年度自來水設備檢驗及改善報告	109-06-23

圖 11 北水處網站-自來水設備檢驗公開資訊

七、未來展望

設備完整性所要求的設備管理是預防重於治療，由於設備狀態是動態的，而執行設備檢查的主體是人，因此良好的設備維護管理系統需俱備可及性（Accessibility）與時效性（Timeliness）。未來的目標是希望能整

合各單位需求，利用現代資訊科技將設備檢驗現行紙本填報模式導入數位化發展，包括 GPS 軌跡紀錄器（圖 12）、維護資訊就源輸入、檢驗表單電子簽核、維護記錄雲端管理等，藉以整合文件、簡化流程、減少文書作業時間，達到有效管理的目標。

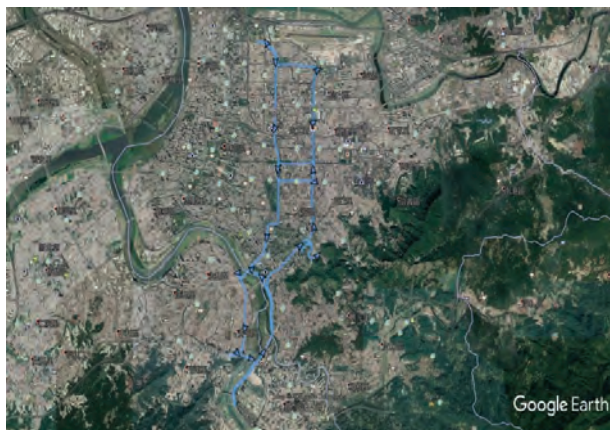


圖 12 利用 GPS 軌跡紀錄器紀錄管線巡檢路徑

參考文獻

- 1.經濟部水利署網站資料，<https://www.wra.gov.tw/>。
- 2.設備維護管理結合設備完整性與風險基礎檢查技術研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所研究計畫報告，中華民國103年。

作者簡介

李俊德先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：土木工程、自來水工程

自來水管線使用可控制性低強度材料(CLSM) 回填管溝之淺埋技術研究

文/劉季宇、歐尚鑫、張民崑、林家煌

一、背景資料收集及說明

(一)淺層埋設地下管線之肇始

各國家基礎建設已漸趨成熟，主要工務陸續轉為設施維護及管線汰換更新，特別密集都會區施作時，既有埋管方式所需施工費用及開挖規模，可能造成極大負擔。有鑑於此，日本為最早提出降低埋管成本，檢討管線淺埋可行性並真正落實施的國家。日本建設省道路局 1999 年 3 月公告「關於地下電纜、自來水、瓦斯或下水管道之埋設深度」，更新(放寬)地下管線埋設深度之規定，自來水管線部份如圖 1 所示。日本水道協會 1999 年檢討報告書則指出，除口徑 75~300mm 管線外，口徑 50mm 與 350mm DIP 的淺埋管線，管體與接頭安全性能亦無虞，淺埋規定可一體適用。

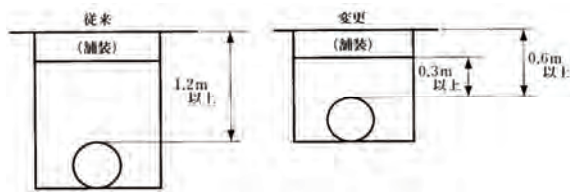


圖 1 日本自來水管線不同埋深示意圖，摘自日本延性鐵管協會(2000)

(二)DIP 及其埋深重要考量

DIP 之選用，決定於所需管徑與管壁厚度，前者由用水需求(流量)所控制，後者則取決於管溝型式、埋深、路面載重以及內水壓的大小。根據美國延性鑄鐵管研究協會(DIPRA)官網提到 ANSI/AWWA C150/A21.50

文件所附檢核表之埋深均為 75cm 或以上，埋深小於 75cm 允許依相同模式計算並決定淺埋條件下 DIP 的管壁厚度，但提醒覆土厚度不足 75cm 時，必須留意：(1)採用較原訂更高的衝擊係數，以確實反映車載彈跳在淺埋條件下的影響；(2)縱然管體結構無虞，但鋪面進行養護或第三方挖掘不慎引致的管線損害疑慮，可能喪失淺埋的效益。

(三)各國地下管線埋設深度之規定

目前各主要國家對於不同地下管線的埋深規定，彙整如表 1 所列。

二、管線一般淺層埋設分析模型與安全評估準則

本研究以有限元素分析軟體 ABAQUS 進行數值模擬，分析模型之設定方式如下。

(一)管體尺寸、管溝長寬與鋪面

1.管體尺寸：以台水公司 K 型 DIP 之 K3 型管(D3)為分析對象。凡標稱管徑小於 700mm(含)者其厚度按 CNS 之負許可差，統一減去 1mm，而凡標稱管徑大於 700mm 者則統一乘以 0.9，以此進行建模。

2.管溝長寬與鋪面：分析長度取單只直管長度 6m。建模分析時忽略厚度 10cm 瀝青混凝土鋪面不計。

(二)元素型式、土體尺寸與邊界條件

1.元素型式：以二維 4 節點薄殼元素模擬 DIP 管體，CLSM 及周圍土壤則採三維 8 節點之六面體實體元素模擬，進行線彈性分析。

表 1 各國自來水管線埋設深度規定

	最小埋深 (mm)	規範或單位	附註
美國	750 [建議]	DIPRA	DIP 適用
美國	無規定	AWWA M41	DIP 適用 (1)僅規定最大埋深 (2)內水壓較低時，部分口徑管線規定最小埋深為 0.9m (3ft)
美國	無規定	AWWA M11	鋼管適用
日本	1200		「道路法施行令(1952)」 日本管線埋深規定原始法令(含施工困難時允許淺埋)，自 1990 年代起重新檢討
日本	600 [限 300mm 以下 SP、PVC、DIP，及 200mm 以下 PEP]	日本建設省	「建設省政令第三二號・道令第五號(1999)」 放寬小口徑管線進行淺層埋設
日本	600 [追加其他小口徑管線]	日本水道協會	追加其他小口徑管線適用淺層埋設，例如 50、350mm DIP
英國	750 (750)	UK National Joint Utilities Group (NJUG)	含車行道、步行道(括弧值)之規定，後者埋深一般較淺
加拿大	無規定	EPB 276 (Canada Water Security Agency)	僅要求埋深應深於各地區之凍線

2.土體尺寸：本研究以管溝寬度(D+2B；D 為管徑、B 為至溝壁單邊淨空)為標準，管溝兩側以及底部之土體，均取管溝寬度 3 倍之範圍，納入分析。典型的管線淺埋分析模型如圖 2 所示。

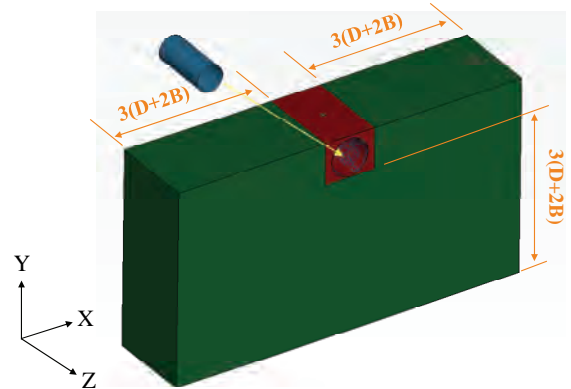


圖 2 CLSM 回填管溝之 DIP 管淺埋分析模型

3.邊界條件：參考圖 2 所標示座標系統。邊界條件為：(i)前後兩面(XY 面)：Z 向位移束制，其餘未束制；(ii)兩側(YZ 面)：X 與 Z 向位移束制，Y 向未束制；(iii)底部(XZ 面)：三向位移均束制；(iv)相異材料介面：有限元素之節點採共點方式處理。

(三)材料參數與加載條件

1.材料參數：分析模型之材料參數如表 2 所列。

表 2 淺埋分析模型材料參數

	比重 (ton/mm ³)	彈性模數 (N/mm ²)	柏松比
延性鑄鐵	7.15e-9	1.6e5	0.28
CLSM	1.80e-9	8.7e2	0.25
土壤	1.80e-9	20.0	0.30

2.管內水壓：含靜水壓與動水壓二種，參考日本延性鐵管協會「ダクタイトルの浅層埋設について」(2000)，對應之壓力值分別為 7.5 以及 5.5 kgf/cm²，總計 13 kgf/cm²，作用於直管之內壁，此內水壓荷載高於國內一般工作水壓，故分析結果可視為保守。此外，考量管線偶有空管無壓情形，故無水壓條件亦一律納入分析。

3.車輛荷載：參考美國 AASHTO HS-20 之車載定義，考量衝擊因子可保守取 1.35，得到設計用最大單輪車載為 10 噸。

4.材料自重：三種材料自重之荷載均考慮。

(四)安全評估準則

本研究為求簡化，統一取 DIP 受力安全係數為 2.0。因此，本文材料安全評估準則訂為：

- 1.延性鑄鐵材料之抗拉強度為 420 MPa，經分析後之 von Mises 應力超過 210 MPa，代表安全係數不足 2.0，未符安全要求。
- 2.CLSM 抗壓強度取 20 kgf/cm^2 (2 MPa)，參考一般混凝土之抗拉強度為抗壓強度之 1/10，故 CLSM 經分析後若受拉應力超過 0.2 MPa，視同已經開裂。此一開裂條件屬最保守假設，且即使拉應力超過，仍應視發生位置及範圍而定，未必影響管溝安全。

三、管線一般淺層埋設之分析結果

考慮 DIP 一般的淺層埋設。以 100、300、500、1000、1350、2000 與 2600mm 七種管徑，以及 30、60、90 與 120cm 四種不同埋設深度，進行建模分析，探討 DIP 與 CLSM 的材料受力及埋設安全性。

(一)DIP 受力分析結果

在僅車載、無水壓作用下，不同管徑 DIP 之管體最大 von Mises 應力如圖 3 所示。各管徑皆於埋深 30cm 時發生最大應力，其中又以管徑 100mm 時之應力為最，達 91.9 MPa，但此值遠小於 210 MPa，代表 DIP 受力符合安全要求。埋深 60cm、90cm 及 120cm 時，管徑 1000mm 至 2600mm 最大應力對埋

深並不敏感，管徑 100mm、300mm 與 500mm 則顯現埋設越深，最大應力值越低，且敏感程度隨管徑越大而越低。此現象應與力量傳遞行為與車輛荷載作用面積與管徑之相對比例有關。

在車載與水壓共同作用下，不同管徑 DIP 之管體最大 von Mises 應力如圖 4 所示。管徑 100mm、300mm 與 500mm 均於埋深 30cm 時發生最大應力，且隨埋設越深應力越低，敏感程度隨管徑越大而越低；管徑 1000mm 至 2600mm，最大應力對於埋深並不敏感。

針對 DIP 之最大應力之觀察，可以管徑 1000mm 及 60cm 為分水嶺。管徑大於 1000mm 且埋深大於 60cm 者，水壓為主要控制因素，且各管徑 DIP 於各埋深之最大應力值差異不大。管徑小於 1000mm 但不包括 100mm 者，應力隨埋深越深而越低，也隨管徑越大而越低，但水壓仍為最大應力之主要控制因素。管徑 100mm 為一特別案例，水壓對其影響甚微，埋深越深其應力值越小，埋深為其最大應力之控制因子。

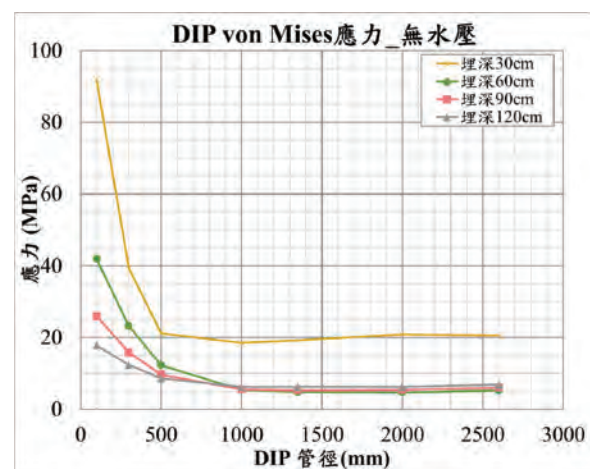


圖 3 DIP 於僅車載、無水壓作用下管體最大 von Mises 應力與管徑之關係

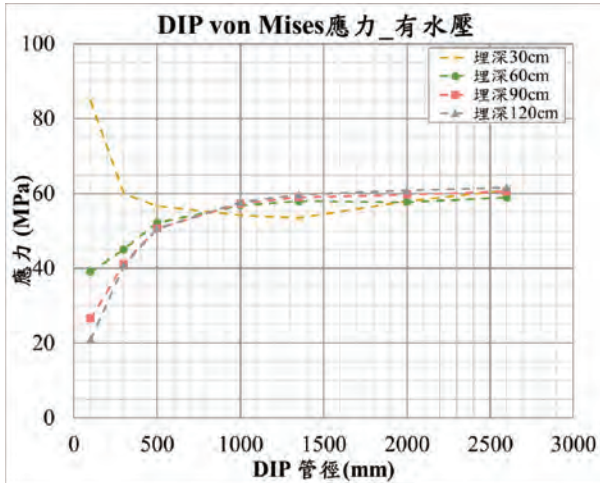


圖 4 DIP 於車載與水壓共同作用下管體最大 von Mises 應力與管徑之關係

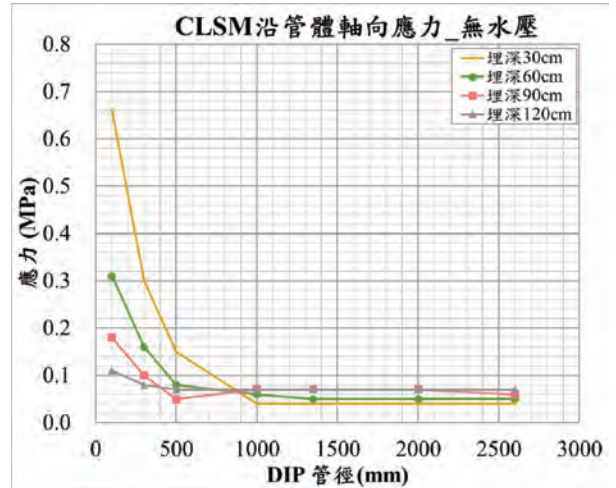


圖 5 CLSM 於僅車載、無水壓作用下沿管體軸向(Z)應力與管徑之關係

(二)CLSM 受力分析結果

CLSM 沿 DIP 軸向(Z 方向)、橫向(X 方向)及直向(Y 方向)之最大拉應力分析結果，如圖 5~圖 10 所示。

綜合針對 CLSM 各方向應力之觀察，大致呈現與 DIP 之 von Mises 應力同樣的趨勢。當管徑大於 1000mm 且埋深大於 60cm 時，水壓之影響顯著。且於有水壓之情形下，除了管徑 100mm、埋深 120cm 之案例其應力幾近開裂臨界值(0.2 MPa，屬保守之極低值)以外，其餘案例之 CLSM 沿 DIP 橫向(X 方向)之最大拉應力皆已超過所設定之開裂臨界值。然而，根據進一步的分析結果(台灣自來水公司，2022)，可確知這些最大拉應力發生的範圍，均侷限於近管底兩側的極狹扁範圍內，研判此處即過往原土回填實極難以充實及夯實的地方，因此此處即使 CLSM 因拉應力而開裂，產生垂直向裂縫，研判對於 DIP 的承載以及對於 CLSM 自身的承載應無影響，沒有導致損壞的疑慮。

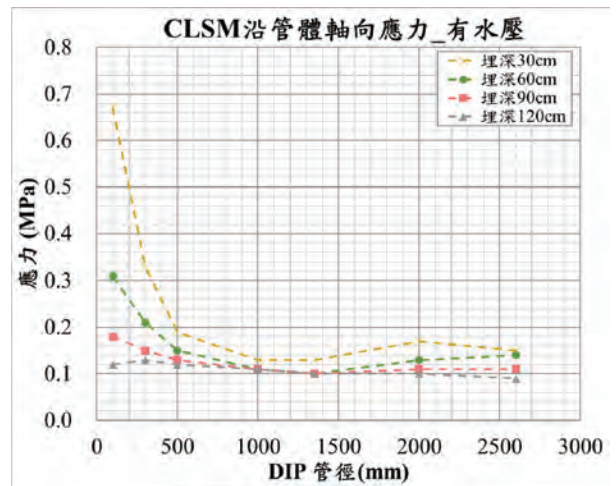


圖 6 CLSM 於車載與水壓共同作用下沿管體軸向(Z)應力與管徑之關係

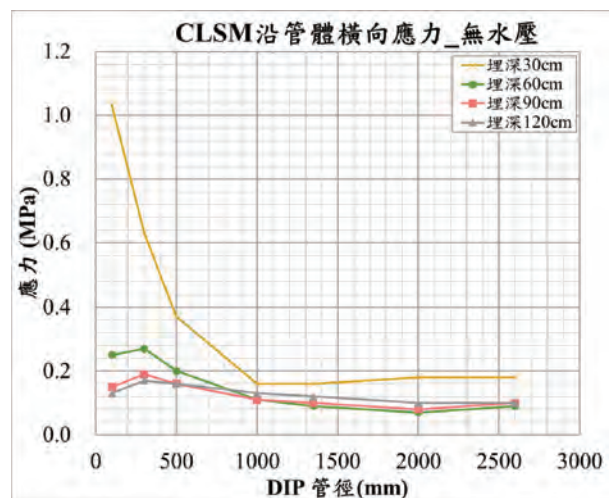


圖 7 CLSM 於僅車載、無水壓作用下沿管體橫向(X)應力與管徑之關係

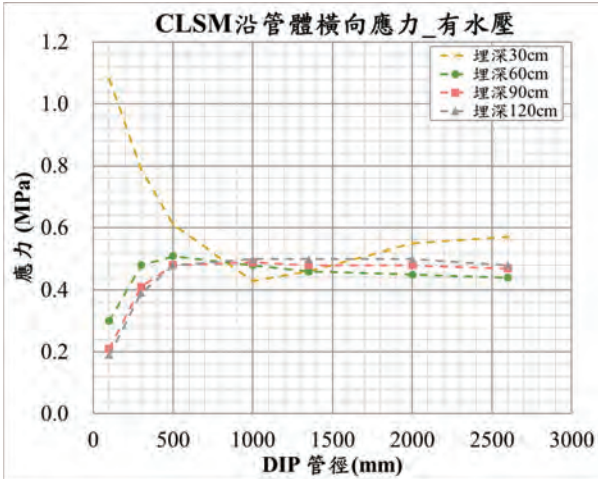


圖 8 CLSM 於車載與水壓共同作用下沿管體橫向(X)應力與管徑之關係

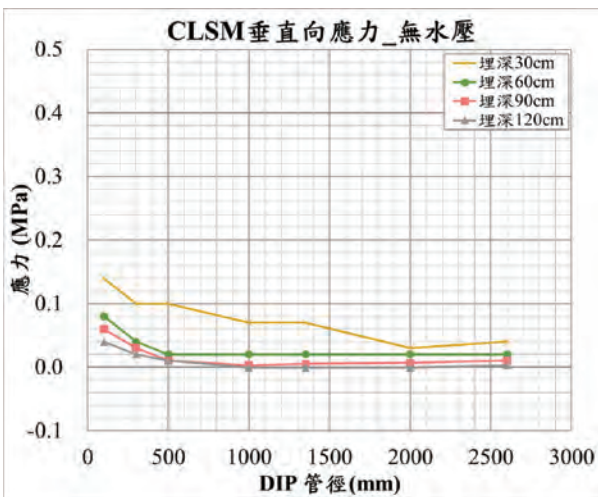


圖 9 CLSM 於僅車載、無水壓作用下垂直向(Y)應力與管徑之關係

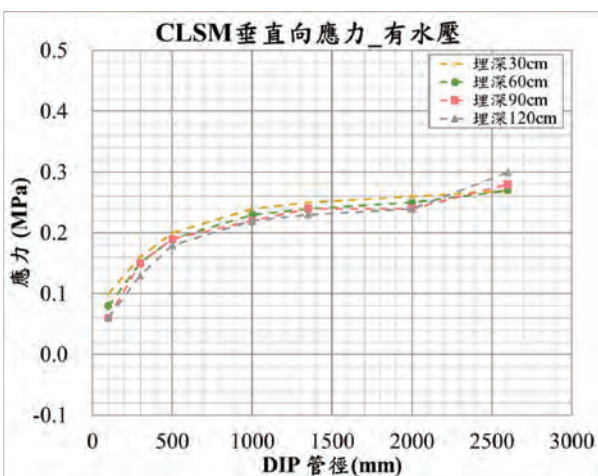


圖 10 CLSM 於車載與水壓共同作用下垂直向(Y)應力與管徑之關係

四、管線極淺埋設含加勁版之分析

RC 加勁版在管軸方向常以 1m 為長度，以管溝寬度為寬度，厚度為 20cm，尺寸與配筋方式按台水公司「自來水管線埋設深度既補強版結構計算書」(陳逸宇結構技師事務所，2015)。

(一)分析模型設定

本節之數值建模案例，較小管徑以 100mm、300mm、500mm 為代表，較大者以管徑 1350mm 為代表，針對這四個管徑的管線進行含 RC 加勁版之淺埋分析。

邊界條件中，假設管底已存在涵渠，管底與地下結構直接作剛性接觸(管體受力上升疑慮最嚴重情形)，三方向位移均採束制型式；管溝兩側考慮無束制下，管體最大應力屬最嚴重，為偏保守之設定，因此 CLSM 兩側面上不予任何束制；管溝前後兩面則 Z 向位移採束制型式，X 向與 Y 向容許位移。

(二)DIP 受力分析結果

整體而言如圖 11 所示，RC 加勁版對於 DIP 之保護作用顯著，可降低管體應力，且管徑越小時應力降低程度越大。所有案例的 DIP 管體應力均小於 210 MPa，代表 DIP 受力符合安全要求。DIP 管體應力在無水壓情況下，其降低以管徑 100mm 為最顯著，對於 500mm 與 1350mm，仍維持顯著降低；在有水壓情況下，其降低仍以管徑 100mm 為最顯著，管體應力隨管徑增大均有降低，惟保護作用遞減，水壓漸為管體應力之主控因子。

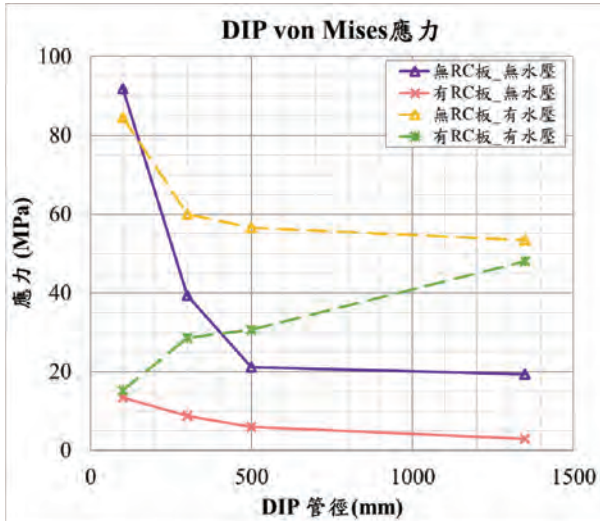


圖 11 極淺埋深 DIP 管體最大 von Mises 應力與管徑關係

(三)CLSM 受力分析結果

由圖 12~圖 14 觀察可知 RC 加勁版對於 CLSM 亦具保護作用，趨勢與 DIP 相似，隨著管徑越小，CLSM 最大拉應力之降低越顯著。原先無加勁版時，CLSM 沿管體軸向(Z)與橫向(X)之最大拉應力，會有超過開裂臨限值(0.2 MPa，屬保守之極低值)的案例，但施作加勁版後，最大拉應力顯著降低至開裂臨限值之下，表示管溝安全無虞。

CLSM 垂直向最大拉應力的部分，在無水壓的情形下，RC 加勁版將應力降低許多。在有水壓的情況下，除了管徑 100mm 的案例以外，仍為水壓控制，埋深及加勁版之影響甚微。CLSM 沿管體軸向(Z)最大拉應力的部分，加勁版之保護力隨管徑越小幅度越大，此趨勢在無水壓與有水壓的情況下一致，在無水壓時保護力的幅度大於有水壓的狀態。而當管徑大至 1350mm 時，應力分布主控為水壓，加勁版的鋪設對應力沒有產生明

顯改變。CLSM 沿管體橫向(X)最大拉應力的部分，加勁版之保護力也是隨管徑越小幅度越大，並且此趨勢在無水壓與有水壓的情況下一致，在有水壓時保護力幅度則大於無水壓的狀態，此現象與 CLSM 沿管體軸向(Z)最大拉應力的情況相反，並且加勁版在大管徑的案例仍然具有其保護作用，在無水壓時降低了 CLSM 沿管體橫向(X)最大拉應力，有水壓時也減少水壓增加的拉應力幅度。

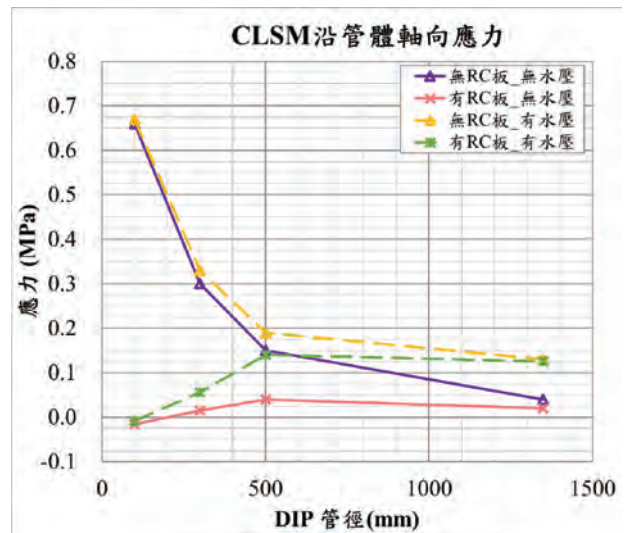


圖 12 極淺埋深 CLSM 軸向應力與管徑關係

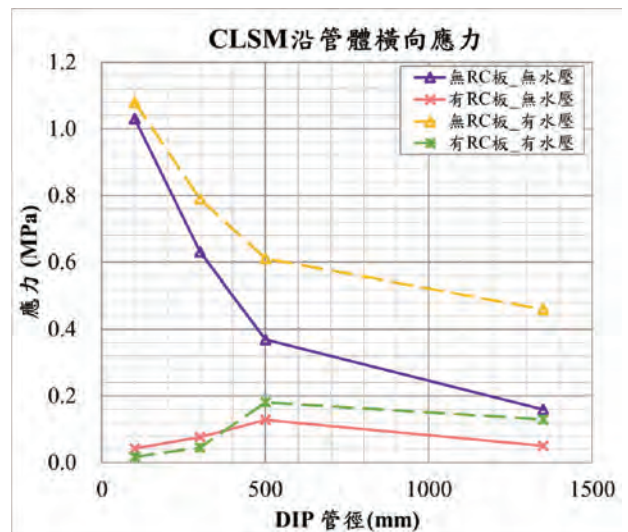


圖 13 極淺埋深 CLSM 橫向應力與管徑關係

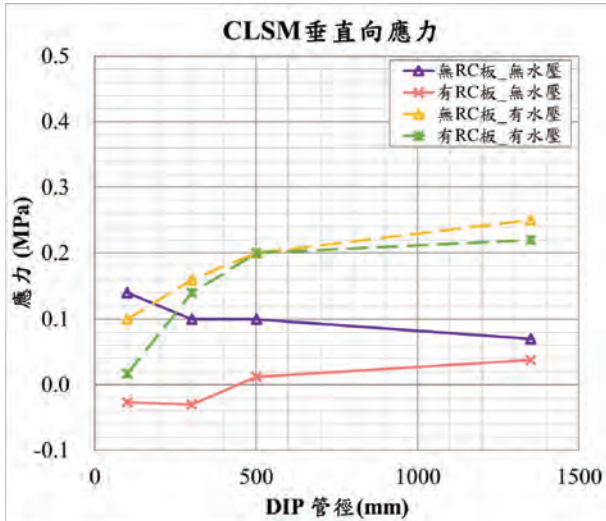


圖 14 極淺埋深 CLSM 垂直向應力與管徑關係

(四)極淺埋設深度 30cm 之可行性

綜合以上，可知當 DIP 管下方存在涵渠等剛性障礙時，在 30cm 的極淺埋設深度下，DIP 或有管體應力偏高，CLSM 或有最大拉應力超過開裂臨界值而表示發生開裂的案例，但倘若於鋪面下(管線上方)沿管軸方向鋪設 RC 加勁版，則確實具有加固保護的效果，不論 DIP 或 CLSM 均可確保安全無虞。

五、管線淺埋含加勁版之試驗與分析

(一)試驗規劃與分析模型

試驗規劃二組試體，管徑分別為 300mm、500mm。管溝尺寸同先前設定，埋設深度取 60cm。以 DN500 試體為例，其斷面與載重方式如圖 15 所示。已知管溝之底部，屬剛性邊界條件，DIP 沿管軸方向之撓曲行為應不顯著，故載重試驗之試體長度取標準管長度之半，亦即 3m。

管線淺埋試驗之進行，係將試體置放於強力地板上，並以門型構架搭配 100 噸油壓致動器(實際使用 80 噸)施力於試體上之 RC 加勁版，如圖 16 所示。試驗主要以二隻位

移計量測 DIP 管壁之變位量，配置如圖 17 所示。此外，以三軸應變計量測 DIP 管體應變，配置如圖 18 所示。試驗至加載 80 噸時，觀察二只試體之兩側 CLSM 表面均十分完好並無任何龜裂，研判在荷載 10 噸作用下，二只試體試驗之 DIP 及管溝均安全無虞。

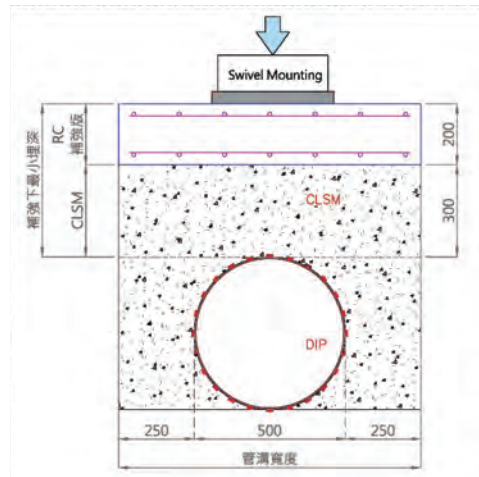


圖 15 DN500 試體斷面與載重方式



圖 16 DN500 試體試驗情形

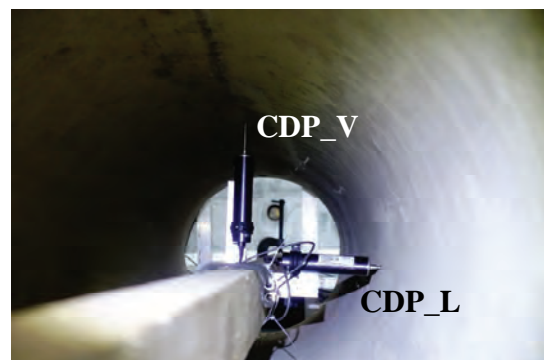


圖 17 管內位移計架設情形

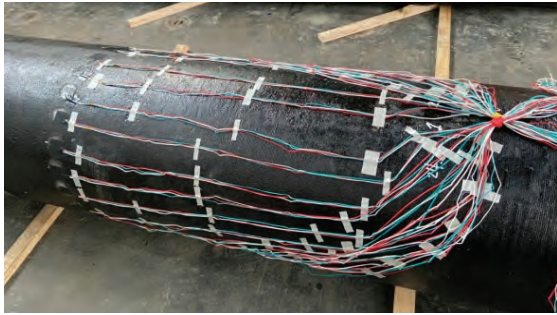


圖 18 應變計黏貼及佈線情形

試體模型包含延性鑄鐵、一般混凝土、鋼筋以及 CLSM 四種材料，材料參數如表 3 所列。

表 3 數值模擬驗證之分析模型材料參數

材料	比重 (ton/mm ³)	彈性模數 (N/mm ²)	柏松比	
延性鑄鐵	7.15e-9	1.6e5	0.28	
加勁版混凝土	2.40e-9	2.6e4	0.20	
加勁版鋼筋(#4)	7.85e-9	2.0e5	0.30	
CLSM	DN300	1.80e-9	1.8e3	0.25
	DN500	1.80e-9	2.0e3	0.25

(二)DIP 管體變形試驗與分析結果比較

DN300 試體之管體變形分析與試驗結果比較，如圖 19、圖 20 所示。管體變形之數值模擬，隨荷載增加之變化歷程呈線性關係，隨著荷載之增加，管頂逐漸受到壓迫並下沉，而管側則逐漸向外變形；荷載超過 60 噸之後，試體行為開始偏離線性行為，推測其原因很可能是邊界(CLSM 與強力地板間)或交界(DIP 與 CLSM 間)處在施力較大時，發生不可恢復(但無法觀察)之滑移。

DN500 試體之管體變形分析與試驗結果比較，則如圖 21、圖 22 所示。管頂垂直位移之數值模擬，與試驗結果十分吻合。至於管側水平位移之試驗結果，在荷載 25 噸之

前，發生異常轉折且變形斜率不穩定情況，原因應為位移計發生卡頓所導致，但荷載超過 25 噸後，數值模擬與試驗結果在變形斜率上，保有良好的一致性。

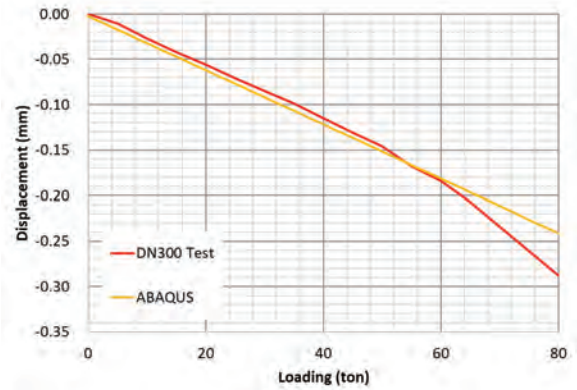


圖 19 DN300 試體管頂垂直位移(CDP_V)試驗與分析結果比較

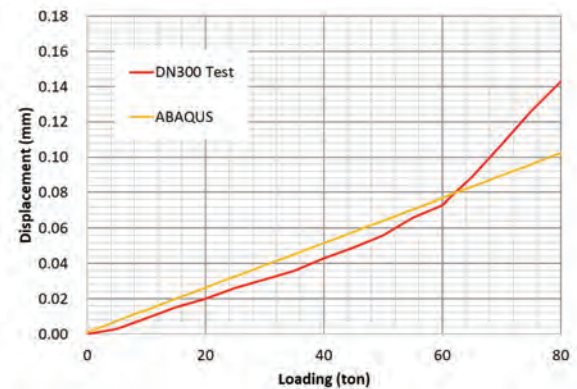


圖 20 DN300 試體管側水平位移(CDP_L)試驗與分析結果比較

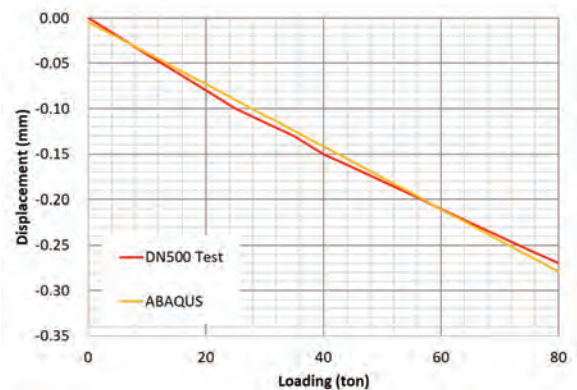


圖 21 DN500 試體管頂垂直位移(CDP_V)試驗與分析結果比較

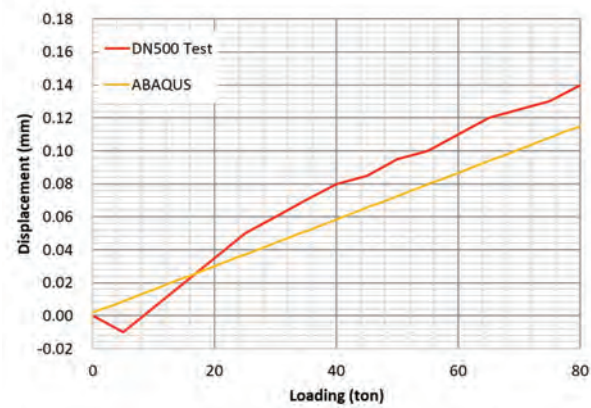


圖 22 DN500 試體管側水平位移(CDP_L)試驗與分析結果比較

(三)DIP 管體應變試驗與分析結果比較

DN300 試體在加載歷程中，對應於 10 噸、80 噸荷載的軸向與環向應變分布，數值分析與試驗結果比較，分別如圖 23、圖 24 所示(應變量放大 1,000,000 倍)。數值分析與試驗結果在管頂與管底區域均近似，但數值分析結果隨著位置由管頂逐漸移向管側，環向應變為逐漸增加，至管側時為最大，之後隨位置移往管底而又逐步減小。反之，試驗結果較不規則，並無隨著位置改變而有明顯變化趨勢的情形，在管側附近與數值分析結果有明顯差異，且隨荷載增加而更顯著，差異程度亦普遍大於軸向應變情形。此處分析結果得到較高之環向受壓應變，表示分析結果為偏於保守，實際應變值並不高。

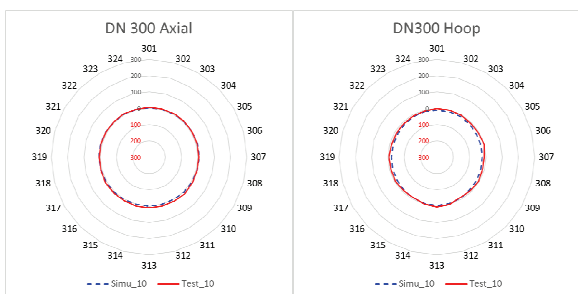


圖 23 DN300 試體荷載 10 噸下管體應變分布比較(左：軸向應變，右：環向應變)

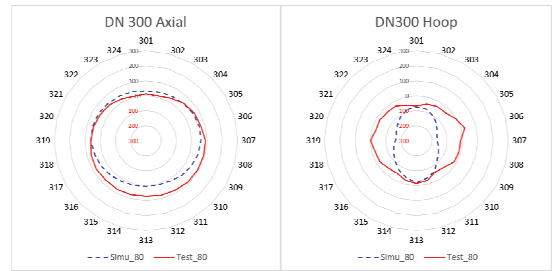


圖 24 DN300 試體荷載 80 噸下管體應變分布比較((左：軸向應變，右：環向應變)

DN500 試體在加載歷程中，對應於 10 噸、80 噸荷載的軸向與環向應變分布，數值分析與試驗結果比較，分別分別如圖 25、圖 26 所示(應變量放大 1,000,000 倍)。比較結果與 DN300 試體相仿，無論是軸向應變或環向應變，皆會隨著位置由管頂逐漸移向管側而逐漸放大，爾後隨著位置由管側移向管底逐漸變小；軸向應變在管體上半部，以及環向應變在管頂與管底範圍處，數值分析結果均與試驗結果相近似。數值分析與試驗二者的差異，隨荷載逐漸增加而變大。

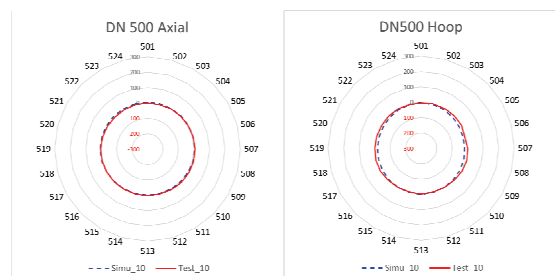


圖 25 DN500 試體荷載 10 噸下管體應變分布比較(左：軸向應變，右：環向應變)

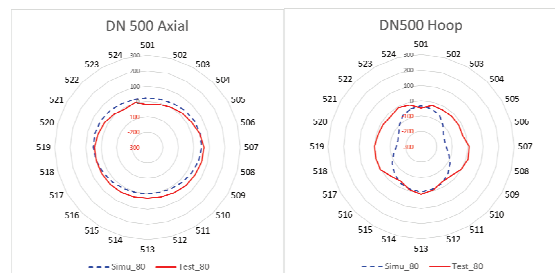


圖 26 DN500 試體荷載 80 噸下管體應變分布比較(左：軸向應變，右：環向應變)

考慮前述管體應變分析之比對，觀察可知軸向應變分析結果於上半部管體大致良好，但量測位置越接近管底時，越是產生明顯差異。至於環向應變部分，在管頂與管底附近範圍有較佳之一致性，但在管側附近範圍與實際量測有所差異。

考慮造成管體軸向應變差異之原因，本研究試驗規劃為避免 CLSM 漏漿、沾黏以及不易清除，故試體底部與強力地板之間已先行鋪設防水帆布作為隔絕。如此，實際試驗時 CLSM 與管底有可能在增加荷載過程中發生滑動甚至分離(管底軸向應變不必為 0)，這種試體底部條件，必然不同於數值建模所假設的三方向位移完全束制(管底軸向應變趨近於 0)。

六、自來水管線淺層埋設之建議

本文綜合不同管徑與埋深探討，可知即使採 30cm 之極淺埋設深度，DIP 亦無力學性破壞之疑慮。經由理論分析、試驗驗證與國外實務，對於道路下方自來水管線之最小埋設深度，建議：

- 1.一般情形下，口徑 900mm 及以下管線以 60cm 作為最小埋設深度，口徑 1000mm 及以上者，以 75cm 作為最小埋設深度。
- 2.局部遭遇管障之特殊情形下，各口徑管線得使用不小於 30cm 之埋設深度，惟此時必須：(1)採取 RC 加勁版作為加固保護措施，以確保管線及管溝安全，考量瀝青混凝土鋪面(10cm)與加勁版厚度(20cm)之合計，故必要時加勁版可直接置於管頂並與之接觸；(2)留意及避免公共安全之危害，例如當與輸送危險物質之第三方管線相鄰時，應另採專案設計。

參考文獻

- 1.AWWA (American Water Works Association), Ductile-Iron Pipe and Fittings, Manual of Water Supply Practices M41, Third Edition, Denver, CO, 2009.
- 2.AWWA (American Water Works Association), Steel Pipe—A Guide for Design and Installation, Manual of Water Supply Practices M11, Fifth Edition, Denver, CO, 2018.
- 3.DIRPA (Ductile Iron Pipe Research Association). Design of Ductile Iron Pipe, 2016.
- 4.DIRPA (Ductile Iron Pipe Research Association), Truck Loads on Pipes Buried at Shallow Depths, 2017.
- 5.日本水道協會，水道管の淺層埋設に伴う管路並びに付属器具に関する技術的検討報告書，1999。
- 6.日本延性鐵管協會，ダクタイル管の淺層埋設について，2000。
- 7.台灣自來水公司，自來水管線使用可控制性低強度回填材料(CLSM)回填管溝之淺埋技術可行性研究計畫(定稿本)，研究報告，2022。

作者簡介

劉季宇先生

現職：國家地震工程研究中心震災模擬組研究員
專長：地震風險評估、維生管線分析與試驗

歐尚鑫先生

現職：台灣自來水公司工務處工程師
專長：給水工程、環境工程

張民崑先生

現職：台灣自來水公司工務處組長
專長：築、橋樑及隧道結構分析與設計

林家煌先生

現職：台灣自來水公司工務處副處長
專長：自來水工程設計、土木工程

大台北地區防災地下水井建置工程實務探討

文/陳維政、林郁欽、鄧森隆、吳佳諤

一、前言

受地球暖化及氣候變遷影響，颱風暴雨、旱災及地震等情形頻繁發生，臺北市政府防災政策計畫各區建置防災公園及防災學校、鄰里公園，提供災害時期避難所需維生飲用水及生活雜用水，階段性目標以先完成維生用水後考量生活雜用水，並以地下水源供應，因此規劃設置防災水井，提供緊急防災期間收容民眾之生活雜用水需求，以因應天然災害如震災及早災等，於戰備或緊急狀況時，健全防災體系。

配合臺北市政府消防局規劃各行政區「防災公園」及「防災學校」等防災場域理念，臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）規劃於 12 座防災公園及 55 所防災學校或附近鄰里公園，合計設置 72 口「防災地下水井」，搭配 2 套移動式淨水設施，105 年辦理委託技術服務案，106 至 107 年施工完畢，惟辦理期間發現地下水分佈情形影響出水量及水質等重要指標，並衍生遭遇地下水水質狀況不佳時是否以移動式淨水設施處理，實際出水量與規劃目標、設計水量及鑽探結果分析比較，井位無法設置於原規劃位置，須辦理井位移點等狀況作為探討議題，期能鑑往知來，將經驗回饋爾後類似工程計畫參考。



圖 1 臺北市地區防災地下水井位置分佈圖

二、防災水井設施及規範

(一)水井系統設施

本工程整體系統主要分為地下水井及共構儲水槽與其他等三部分(如圖 2)，地下水井部份採用 SUS304 等級管厚 6 mm 之 6 吋不鏽鋼管井管、開孔率 10% 長度 6m 繞線式濾水管及 1.5 Hp 抽水機，藉以延長水井使用年限。共構儲水槽部份採用之管線皆為耐震之不銹鋼波狀管線，能保障災時管線完整性，且配置 1 座 2.5 噸球型儲水槽(圖 3 照片)，於供水階段可暫存地下水，於再次啟用民眾可立刻取得所需用水。其他附屬設施電源供應，除與連接現有台電輸電線路，也配置緊急發電機，確保災害時可獨立供水；不鏽鋼

儲物箱供放置延伸供水之消防軟管及具 8 座水龍頭之取水管架，其規格設計可迅速與消防車及水車可對接。

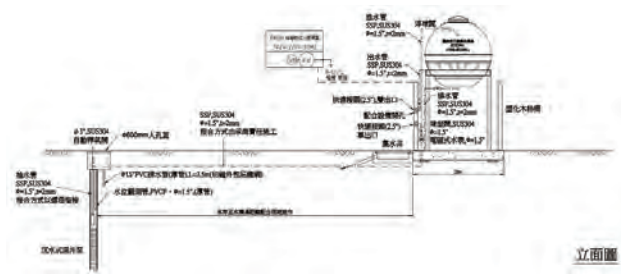


圖 2 地下水井及共構儲水槽系統配置圖



圖 3 防災水井系統共構儲水槽及取水設施配置

(二)施工要求

防災水井工程主要工項及品管作業為下管作業、擴水洗井及施工品質檢驗，下管作業施工及相關檢查步驟如下：

- 1.安裝井管及濾管：依據井體設計圖，配合井管與濾管規格及長度，繪製下管示意圖，確認濾管位置。下管時，各管由下向上依序編號拍照。如圖 4。
- 2.井管接頭屬專業責任施工：每根井管或濾管需依設計圖說提供接頭，以便焊接。接口焊接處應辦理外觀檢查，不得有焊珠、焊孔或裂縫等情形，每一處焊接必須密實不得產生空隙並磨除焊接點突出。
- 3.井管垂直：連接後，需能垂直放置於井孔

內，井管與濾管銜接處需焊接控制環，惟不得焊接於濾孔上，以免損及濾管。控制環設置應避免影響濾石填充架橋。

- 4.垂直校正：下管全程需以經緯儀或水準尺辦理垂直校正作業。
- 5.保護：井管連接完成後，井管口需切割平整，並磨除銳利邊緣。井口必須加蓋處理，避免雜物進入井內造成阻塞或污染。



圖 4 下管作業確認濾管位置及標示

擴水洗井目的為清除孔壁附近的泥餅和細粒泥砂，以發揮水井之出水性能，獲得穩定之最大出水量。使礫石濾料圈充填堅實，鞏固地層，維護井體安全。洗井擴水的基本要求係將礫石濾料填滿後隨即開始擴水以避免泥漿脫水、凝結、沉澱而增加洗刷困難或甚至無法達成預期成效。擴水工作為藉水力上下反覆激動震盪，以冲破孔壁泥膜及濾料架橋（bridging），幫助礫石圈填充完善，使含水層與井體間水流暢通。擴水須先自上而下逐層激動，然後再自下而上反覆處理。如礫石圈因夯實沉陷時，須隨時補充礫石(在濾料填充階段執行)。擴水洗井的方法繁多，一般常用的方法有超抽法、活塞震盪法、氣提法、高壓噴射水柱法等。擴水洗井

的時間 1-5 天不等，通常在透水性較好的礫石層較容易達到擴水的效果，反之，在透水性較差的細砂地層，擴水洗井之效果較不容易達成，所需要的時間也會較長。一般規範擴水應持續直至水質澄清為止，以抽出水濁度小於 5 NTU 為標準，圖 5 為現場濁度量測情形。



圖 5 擴水洗井以現場濁度量測管理施工品質

在工程品質管理部分，水井施工品質管理參考水利署「觀測井建置與維護管理作業規範」及「鑿井技術手冊」，工程品質的管理透過查核點監督、抽水試驗、直度測試及井體攝影來確保，其他各項附屬設施則透過材料型錄查核、現場查驗及試車檢核來確保工程品質。直度測試的目的係為了解水井施工的直度品質，確保抽水設備或任何進入井內之儀器設備能安全進出水井，不會被彎曲的井管卡在井內。根據美國 AWWA 之水井標準規範，6mm 厚 6 吋不鏽鋼井管直度測試以外徑 132mm (測管外徑不得小於井管內徑 0.5 吋)，長度 12m 鋼管或三節管的測管，直接放入井內直至測試深度，能自由出入者即為合格，測試深度以抽水機之設計放置深度

或濾水管頂部深度為準則，圖 6 為現場測試情形。



圖 6 水井施工直度測試作業

實施電井測具體要求裸孔深度、數據頻率(至少每 5 公分一筆)及原始成果檔案。水井濾管安裝時每支濾管銲接前予以編號，並每 120 度環狀標記拍照，並以游標尺進行厚度量測，井體攝影為全彩、解析度 540 條(高於規範 380 條掃描線，攝影速度略低於 4 公尺/分鐘。壓力式自記水位計紀錄資料 43,600 筆(大於規範 40,000 筆)。沉水式電動抽水機經材料設備審查及廠驗，安裝後依現場出水狀況檢驗抽水機額定點、參考點及實際出水量，出水量不得小於契約設計出水量。

為掌握井體完工時性能狀況，並為日後維護作業及管理工作參考，實務上建立防災水井基本資料，井體攝影為主要項目。新鑿水井井體攝影查驗由攝影機放入井內即開始記錄，所有拍攝影像製成光碟，作為未來運維檢查比較，而井體攝影檢測作業為檢查井深、檢查井篩(濾管)位置、檢查沉泥管位置及深度、以直度測試輔助檢查井體是否垂直、檢查井管接頭是否有漏水現象或不當磨

損、檢查井管是否過度淤積、積垢或留有異物、檢查濾水管篩縫出水情形或是否有濾料嵌入、檢查井水懸浮物情況、確認井水靜水位、檢查濾水管是否變形、破裂等步驟。

三、施工管理

(一)水量分析

本個案工程鑽探井為 2 吋鑽孔，為了在設井前推估水量，契約規定於鑽探後井孔採呂琴試驗或微水試驗推估出水量。呂琴試驗(Lugeon test)常為配合鑽孔深度調查不同岩體一般水力特性調查方法，例如岩體透水性或水密性等。另外，微水試驗目的通常用於求取代表含水層的水力傳導係數值，該試驗與抽水試驗比較，其具有試驗所需的設備較簡單且經濟快速，較不會擾動地下水流系統或污染分佈現況的優點，但缺點只適合透水性不高的含水層，所求得的參數值只代表水井附近的水文地質特性。由此可知，微水試驗以砂土礫石層準確度較佳，黏土層、岩層則較差，故本案工程設計要求以微水試驗難以確切推估準確出水量，雖廠商以較保守值進行預估，仍有不少水井最後抽水試驗水量比鑽探水量短少。設計階段即蒐集其他地下水文資料推估指定設計出水量計有 38 口井，其餘 34 口井則需透過契約由施工廠商進行鑽探並以微水試驗推估水量，比較 72 口水井之需水量、設計量、鑽探水量及最終之抽水試驗實際出水量。以下分類比較說明，首先，設計出水量低於計畫需水量者，實際執行結果有士林官邸公園、福林國小、蘭雅國中及大湖公園等四處未符預期，其中

士林官邸公園及大湖公園需求與供給差異最大，其可能原因為該址缺乏地下水資源，自然資源分布無法滿足行政區域指定需求，但也發生之後實際鑿井抽水試驗超出計畫需求量(蘭雅國中)，此情形必須尋求鄰近地區之替代位址(移井位)，但行政轄區範圍限制、用地取得、災後步行能力等議題，致使後續移點處置方案複雜化，此部分在移點準則探討。

其次，鑽探出水量低於設計出水量共有四處，包括東和公園、成德國中、南港公園及南港國中等，這類水井鑽探出水量低於設計出水量之差值並不多，有可能是地質含水層變化或鑽探偏差所致，此類水井低於計畫需水量時會涉及當下契約續行決策之判斷，所幸最終均能計畫需水量。最後一類，抽水試驗量低於鑽探出水量，甚至低於計畫需水量，前者涉及契約出水不足量計價及收受之爭議，後者則涉及是否續行或移井之決策判斷，依執行結果鑽探推估水量低於抽水試驗實際出水量達 8 處，占全數水井 11.1% (8/72)，占施工微水試驗井數之 23.5% (8/34)，其中士林官邸公園及大湖公園出水供應量甚至未能符合計畫需求量，而且遠低於計畫需求用水，因此造成鑿井契約執行過程波折與複雜。

防災地下水井若以抽水試驗實際出水量為基準，以原區域規劃之需水量、設計出水量、鑽探出水量為對應參數，抽水試驗實際出水量大於需水量占 91.3%、符合需水量占 4.35%、小於需水量占 4.35% (圖 7a)。

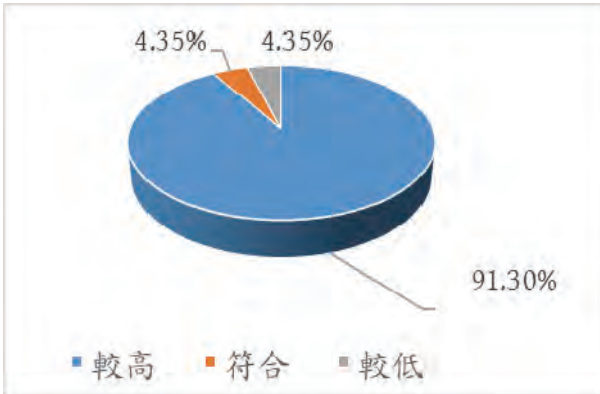


圖 7a 實際出水量與需水量比較

抽水試驗實際出水量大於設計出水量占 90.28%、符合設計出水量占 9.72%、小於設計出水量占 0% (圖 7b)。

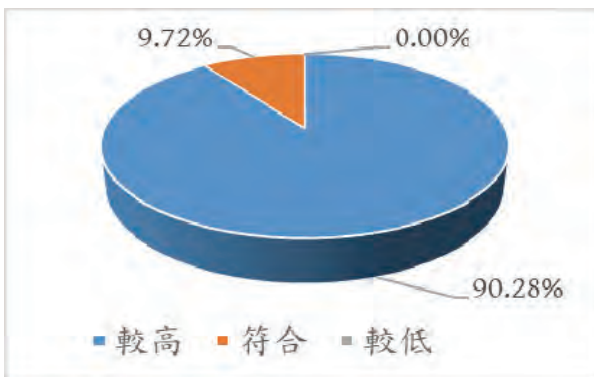


圖 7b 實際出水量與設計水量比較

抽水試驗實際出水量大於鑽探出水量占 67.65%、符合鑽探出水量占 14.71%、小於鑽探出水量占 17.65% (圖 7c)。

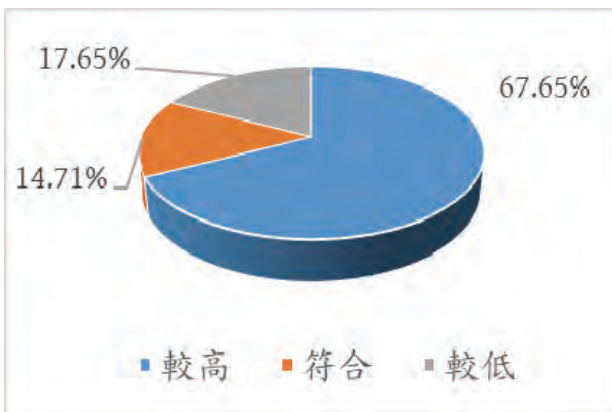


圖 7c 實際出水量與微水試驗出水量比較

依此現地試驗結果與需水量分析多數可達到需求，而與設計出水量分析均能符合設計，另與鑽探微水試驗出水量分析仍有的接近 2 成數量的水井有落差值且並不具有規律性，進而顯示於臺北地區地質條件水井出水量不適宜以微水試驗作為估計基準。

由臺北地區地下水水量分佈情形，推估臺北地區地下水於一定深度範圍內具有集中性與部份單點區域較佳，以此 72 口防災地下水井建置完成後所得水量分佈為鑑，微水試驗出水量與實際出水量在部分井位仍有落差而未達預期，在規劃時必須考量地質條件為控制出水量之重要因素，並需較為寬裕的設計階段將各項地質與地下水相關資訊整合，因而建議於規劃設計階段優先辦理鑽探作業並將現地鑽探資料納入設計出水量綜合考量後據以提出設計數值，以拉進起始規劃需求量與實際施工執行層面對於水量的差距，避免後續施工階段面臨出水量認定的問題造成契約變更設計、工期壓力、移點程序等困境，有效提升工程契約執行面的施工效能，而擬定各階段相關工作流程為參考(圖 8)。

(二)廢井程序

本工程所鑽 72 口防災地下水井中，其中海光公園、客家文化公園及松基公園為移點後新增設之地下水井，原先 3 口水井皆位於信義區，分別為松德公園(1)、眷村文化公園及信義國小，這 3 口水井於鑽設完成後發現爆炸性氣體濃度高於上限 30%，考量後續使用安全性，故最後仍採廢井方式處理。廢井方式依據相關作業規範辦理，為避免各地層因為鑽井貫穿不同含水層導致交錯污染

水量 23,350 CMD，前因考量各行政區皆須設置防災水井，故移點位置仍以同一行政區為主要，除地質因素無法設井，以相同行政區內取水量達到 300 CMD 設井。綜合上述條件，井位移點距離仍以 2 公里內為原則。

四、結語

(一)為滿足都市生活圈的防災用水需求，臺北市政府辦理都市防災水井工程計畫設置 72 口防災地下水井，工程執行過程因抽水試驗實際出水量與鑽探出水量差異，涉及契約出水不足量計價及收受爭議，或遭遇續行佈井或移井決策影響，因此，建置防災水井設計階段確實掌握地質與地下水文等資訊為工程執行順遂的關鍵因素。依本案施工數據顯示近 2 成防災地下水井數量之鑽探微水試驗出水量與實際有明顯差異，且不具規律性，故臺北地區不適合以微水試驗作為水井出水量估計，本研究建議防災水井建置應於規劃設計階段逐一完成井位鑽探及出水量評估，以準確設計數值發包施工，同時於工程契約明載減價收受條件，可使防災水井工程計畫執行更順遂。

(二)由於臺北市防災地下水井建置數量多且地點分散各行政區，事先妥善規劃協調相當重要，本研究個案分析針對防災政策預期所需用水量目標及服務品質，探討工程計畫執行困難，藉此案例經驗反饋規劃設計，建立適宜防災水井工程作業流程，期能提升防災水井公共設施採購效率，滿足災時應急關鍵用水供應，強化都市整體防災系統功能。

參考文獻

- 1.臺北市消防局網站，臺北市防災公園位置與維生系統建置，<https://fsm.119.gov.taipei/park.asp>，2020。
- 2.臺北市災防資訊網，臺北市地區災害防救計畫<https://www.eoc.gov.taipei/News/Details/2ac4caf4-4d84-4459-9b4d-745744717375>，2020。
- 3.經濟部水利署中區水資源局網站，經濟部水利署防災及備援水井建置計畫，<https://www.wracb.gov.tw/8831/38120/40433/>，2020。
- 4.台北盆地備用地下水井規劃，經濟部水利署水利規劃試驗所，2008年。
- 5.內政部自行研究案，從日本防災公園實施經驗探討我國都市公園之防災分工與建置方針成果報告，內政部自行研究案，2018。
- 6.地下水觀測井設置作業手冊，經濟部水利署，2018。
- 7.地下水觀測井及觀測儀器維護作業手冊，經濟部水利署，2018。
- 8.地下水觀測井評核作業手冊，經濟部水利署，2018。

作者簡介

陳維政先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊副總隊長

專長：自來水工程

林郁欽先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊設計科計劃股股長

專長：自來水工程

鄧森隆先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊工務科三級工程師

專長：自來水工程

吳佳諺先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊工務科四級工程師

專長：自來水工程

機械水表以外掛裝置實現自動讀表之探討

文/曾弋軒、黃奕欽、陳松山、曾銘淞

摘要

本文針對國內已安裝 900 多萬只用戶小口徑機械水表，提出符合度量衡法規及不更改自來水事業單位現行水表採購規範，實現低成本、低風險之水表自動讀表。為探討方案之可行性，本研究實體製作 20 mm 口徑水表外掛裝置。並將讀表天線安裝於臺北自來水事業處所提含凹槽式天線座之水量計箱蓋板，採 NB-IoT 進行物聯網通訊。並經無磁傳感器防磁干擾檢驗，回傳數據與機械水表顯示值一致。

關鍵字：水表自動讀表、機械水表外掛裝置、無磁傳感器、NB-IoT

一、前言

台灣自來水相關設備自二十世紀初期陸續引進，水量計與取水建設同步發展。全台第一座自來水工程「滬尾水道」建設於 1899 年，「臺北水道」則於 1907 年完工。其他城市自來水工程陸續於 1908 年至 1941 年間完工。為有效管理用水量，在日治時期台灣各地用戶已經相繼裝表計量收費。但是當時水表均從國外進口，日本及英國的進口水表一直壟斷台灣市場，日治半世紀以來各品牌水表皆有不同規格，沒有全國通用法規，水表標準不一且零件不能互換，使得當時水表維修非常困難。

直到 1955 年經濟部中央標準局頒布實施 CNS 561 ~ 565 水量計標準，國內水表產業開始步入正軌。

經濟部標準檢驗局(中央標準局)為因應國際化需求，依據水表國際標準 ISO 4064，於 2004 年制定公布 CNS 14866 取代 CNS 561 ~ 565，引領國內水表產業更上層樓。

基於水質情況與用水環境的差異，各國都有其適用的水表型式種類。台灣採用「速度型濕式多重噴嘴水量計」，超過五十年以上使用經驗，證明其為符合台灣用水環境之最穩定可靠的用戶水表型式。水表檢定有效期限長達 8 年，高於世界水平。

二十一世紀網路通訊技術十分普及，如何將現有水表人工抄表，提升為物聯網自動讀表，是自來水事業單位實現智慧水務所面臨的挑戰。

目前國內自來水事業單位試辦「自動讀表」有兩種方案：

1. 現有水表積算盤面附加照相裝置。
2. 更換現有機械水表，如機械電子式水表或磁耦合乾式水表。

前者遮蔽水表銅環上蓋所標示之檢定有效期限及水表器號，將造成水表管理之困擾。若普遍採用機械電子式水表或磁耦合乾式水表，因欠缺水表在各種使用環境之壽命可靠度數據。若貿然大量安裝使用，將存在相當高的風險。現今使用之機械水表已經歷全國使用，超過半個世紀之嚴峻考驗，證明其為穩定可靠之用水計量裝置。

不論引進新型式水表，或選擇讀表外掛裝置，關於防止磁場干擾及符合水量計箱尺

寸要求，也是自來水事業單位推動自動讀表，必須審慎思考的問題。

本文提出以現有機械水表外掛裝置，實現穩定可靠且低成本的自動讀表實施方案。主要動機在保留現有機械水表，不須承擔更換新型式水表所帶來計量收費風險。其次，若外掛裝置發生故障，可單獨維修或更換，完全不影響機械水表計量功能。外掛裝置不僅維護管理容易，更可避免計量收費糾紛。其三，從投入費用與水表管理的角度思考。在法規許可前提下，用戶可沿用仍在使用期限內的機械水表，僅需加裝外掛裝置，大幅降低自動讀表的實施成本。

表 1 為各種型式水表之性能比較表。其中機械外掛式在「保留並顯示水表故障前用水量資料」性能，明顯優於機械電子式及全電子式。該性能可大幅減少計量收費糾紛。

表 1 自動讀表水表選型性能比較表

	機械外掛式*	機械電子式	全電子式
計量原理	透過水表葉輪轉動帶動機械齒輪組計量機械字輪顯示用水量	以無磁傳感器感應水表葉輪轉動以演算法軟體計量液晶顯示用水量	以超音波原理測量水流速以演算法軟體計量液晶顯示用水量
通訊功能	○	○	○
耐長期泡水	○	○	○
保留並顯示水表故障前用水量資料	○	X	X
已取得水量計型式認證	○	○	X
漏水偵測用水模式	○	○	○

* 外掛無磁傳感器感應計量指針轉動，以演算法軟體計量。

二、機械水表外掛裝置

(一)裝置組成

水表外掛裝置由以下四部分組成：

1.不銹鋼感應片

於水表指針上方加裝不銹鋼感應片，感應片為半圓形。水表指針轉動時，該不銹鋼片亦隨之轉動。若安裝於水表最小計量單位指針上，可取得用水計量之最大解析度，如圖 1 所示。



圖 1 不銹鋼感應片

2.無磁傳感器

無磁傳感器安裝於水表積算盤面上方，並正對不銹鋼感應片。傳感器藉由發射電磁波感應不銹鋼片之轉動。並將感應訊號傳送給讀表通訊設備，記錄水表用水量，如圖 2 所示。



圖 2 無磁傳感器及讀表通訊設備

3.讀表通訊設備

讀表通訊設備具備用水量計算及物聯網通訊功能。根據無磁傳感器輸出之指針轉動訊號，計算並記錄水表用水量。並藉由物聯網通訊功能(NB-IoT)在預設時間將水表用水量上傳智慧水表管理平台，如圖 2 所示。

4.讀表天線

水量計箱為鑄鐵材質，電磁波難以穿透。因此，讀表通訊設備之天線必須安裝於水量計箱外部。有鑒於此，臺北自來水事業處提出水量計箱蓋板之凹槽式天線座設計方案。本研究之讀表天線，依照該設計方案進行安裝，如圖 3 所示。



圖 3 讀表天線

(二)度量衡器系列認證

根據水量計型式認證相關作業須知要點第 6 點，經型式認證認可之水量計，變更積算器之動標或指針型式者，不須測試，應申請系列認證核准。因此，加裝不銹鋼感應片之水表，可直接申請系列認證核准，不需重新申請型式認證。

三、現場安裝

(一)安裝於水量計箱

根據台灣自來水股份有限公司用戶表位設置原則，20 mm 口徑水量計箱內部空間最小尺寸 370 x 215 x 165 (長 x 寬 x 高，單位：mm)。讀表通訊設備寬度 50 mm，該尺寸可放置於止水栓側面，並以不銹鋼束帶固定，如圖 4 所示。

讀表天線安裝於臺北自來水事業處設計之水量計箱蓋板凹槽式天線座內，如圖 3 所示。

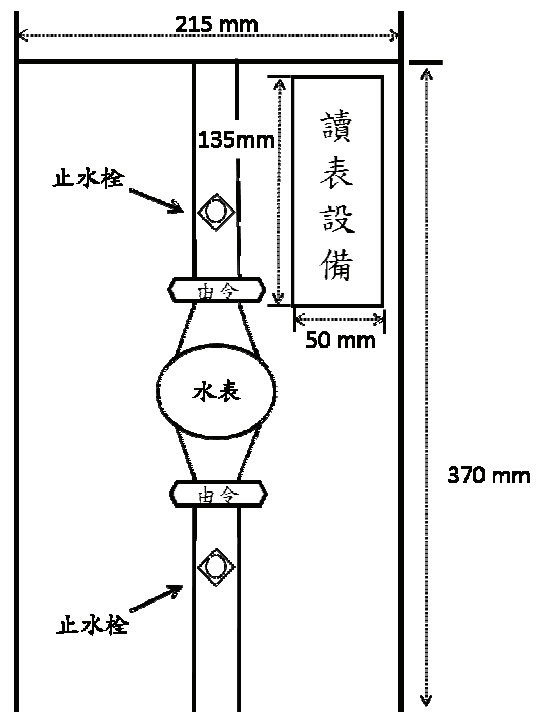


圖 4 水量計箱內之讀表通訊設備

(二)檢定有效期限、水表器號之可視性

依據度量衡法規，檢定合格水表應附加合格封印(鉛封)，並標示檢定有效期限。目前之水表積算盤面附加照相裝置，將遮蔽水表銅環上蓋所標示之檢定有效期限。此一作法，無法落實度量衡法規要求。同時，台灣自來水公司與臺北自來水事業處，要求廠商在水表銅環上蓋打印水表器號。上述照相裝

置同樣遮蔽水表器號，將造成自來水事業單位對水表維護管理之困擾，如圖 5 所示。

本研究之機械水表外掛裝置，不會遮蔽檢定有效期限及水表器號。符合度量衡法規及自來水事業單位之要求，如圖 6 所示。



圖 5 機械水表外掛照相裝置



圖 6 機械水表讀表外掛裝置

(三)防磁功能

雖然水量計型式認證技術規範，只要求水表具備防磁功能，不考慮水表外掛裝置能否抵抗外加磁場干擾。但基於自動讀表上傳數據之正確性，水表外掛裝置必須具備防磁

功能。

本研究於水表指針上方加裝之不銹鋼感應片，完全不受磁場干擾而影響其計量準確度。且無磁傳感器採電磁波感應原理，亦不受磁場干擾。根據水量計型式認證技術規範，附錄 A「防磁功能：水量計應具備 1500 高斯以上之防磁功能」。本研究以 3000 高斯磁鐵放置於無磁傳感器上，依水量計型式認證技術規範 5.5.1 節「採用磁鐵傳動密封及或具有電子裝置的水量計應依附錄 A 第 A.7 節規定，以流量 q_{min} 進行防磁功能檢驗；其度量特性應符合附錄 A 第 A.8 節之規定」。測試結果，水表準確度及無磁傳感器計量功能，不受外加磁場影響。其度量特性符合附錄 A 第 A.8 節之規定，如圖 7 所示。

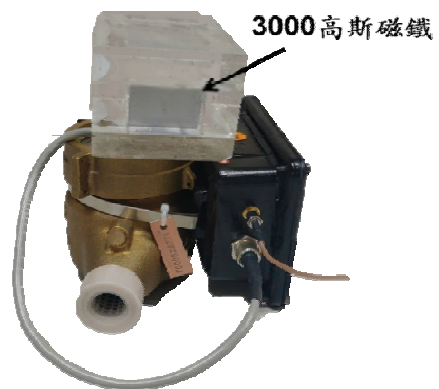


圖 7 無磁傳感器防磁功能測試

(四)外掛裝置安裝流程

安裝讀表通訊設備時，將讀表通訊設備放入水量計箱，並連接讀表通訊設備與讀表天線。接著安裝人員上網登入智慧水表管理平台，進入設備安裝網頁，輸入水表器號、設備代號、初始積算值等水表基本資料後啟動連線。連線成功後，即完成讀表通訊設備安裝作業。

四、智慧水表管理平台

智慧水表管理平台三大功能：

- 1.設備之現場安裝與更換
- 2.接收設備上傳數據
- 3.設備異常報警

管理平台為測試版本，未來管理大量讀表通訊設備時，需另行開發正式管理平台。智慧水表管理平台功能架構圖，如圖 8 所示。

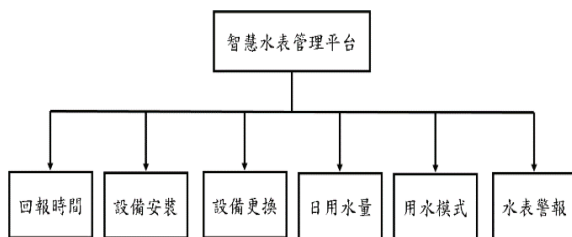


圖 8 智慧水表管理平台功能架構圖

(一)功能介紹

管理平台具有回報時間、設備安裝、設備更換、日用水量及手表警報等功能，提供管理人員掌握水表回報情況。

1.回報時間

開啟回報時間網頁，檢視讀表通訊設備每日回傳用水資料、回報時間及電池電壓。回報時間欄位，顯示該設備最近一次回報時間，如圖 9 所示。

水表器號	設備代號	積算值	電池電壓	回報時間	設備安裝日期	廠牌
1108212440	10000001	37.602	3.595	2021-09-27 00:01:21	2021-08-26	源泰
1108212557	10000002	46.231	3.57	2021-09-27 00:00:23	2021-08-28	源泰
1108325689	20000001	72.078	3.595	2021-09-27 00:00:40	2021-08-27	坤慶
1108325759	20000002	65.139	3.595	2021-09-27 00:02:40	2021-08-27	坤慶

圖 9 回報時間網頁

2.設備安裝

安裝讀表通訊設備後，開啟設備安裝網頁。輸入水表器號、設備代號、初始積算值後，啟動網路連線。連線成功後，平台將自動登錄上述資料，即可完成讀表通訊設備安裝作業，如圖 10 所示。

水表器號(10碼)	設備代號(8碼)	初始積算值(公升)	廠家
輸入器號	輸入代號	輸入積算值	選擇水表廠家

啟動連線

水表器號: 1108325689
 設備代號: 20000001
 初始積算值: 49372
 廠家: 坤慶
 連線中.....
 倒數計時: 285

圖 10 設備安裝網頁

3.設備更換

更換讀表通訊設備後，開啟設備更換網頁，輸入水表器號、設備代號、初始積算值後，啟動網路連線。連線成功後，平台將自動登錄上述資料，即可完成讀表通訊設備更換作業，如圖 11 所示。



圖 11 設備更換網頁

4.日用水量

開啟日用水量網頁，輸入水表器號、起始日期及結束日期後，即可查看水表於設定



時間段的每日用水量，如圖 12 所示。

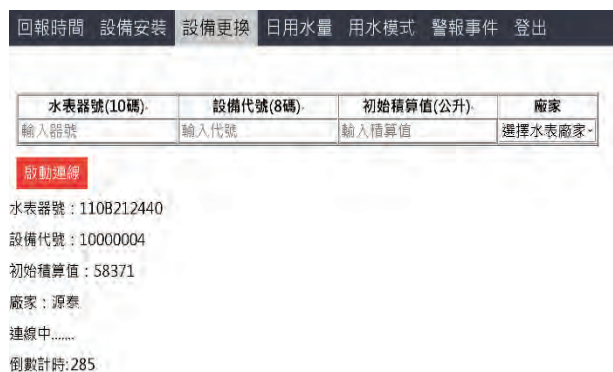


圖 12 設定時間段每日用水量網頁

5.用水模式

開啟用水模式網頁，查看每日用水量及數據回報時間。也可輸入水表器號查看該水表每日用水資料，如圖 13 所示。

每日用水資料網頁點選最右欄位之用水模式，可查看該水表當日之每小時用水量，如圖 14 所示。

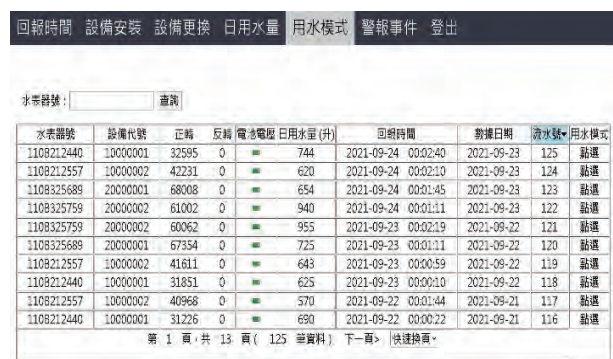


圖 13 每日用水資料網頁



圖 14 每日每小時用水量網頁

6.警報事件

若發生(1)用水量異常 (2)電池電壓異常 (3)數據未回報，讀表通訊設備將警報事件上傳管理平台。管理者可透過網頁檢視警報事件，如圖 15 所示。



圖 15 警報事件回報檢視網頁

五、結論

- (一)目前台灣已安裝 900 多萬只用戶小口徑機械水表。在法規許可前提下，將現有水表交由原製造廠商清洗、更新零件、加裝不銹鋼感應片，並以系列認證字號申請檢定。檢定合格水表可重新使用 8 年。不僅大幅減少自動讀表實施成本，並符合節能減排之世界趨勢。
- (二)本研究以機械水表外掛方式實現自動讀表。將讀表設備外掛於用戶現有水表，使自來水事業單位，以低成本，且不改變現行計量收費與水表管理方式，實現自動讀表。同時避免因選用新型式水表，導致 8 年保固風險及計量收費糾紛。
- (三)外掛讀表設備若發生故障，可單獨維修或更換故障設備，不須調整或更換水表本體。符合度量衡法規不得破壞原有封印(鉛封)之要求，同時不需更動自來水事業單位之用戶用水量紀錄。

(四)根據水量計型式認證相關作業須知要點，經型式認證認可之水量計，變更積算器之動標或指針型式者，不須測試。亦即水表指針加裝不銹鋼感應片，可申請系列認證核准。

(五)讀表通訊設備可安裝於現有水量計箱，並將讀表天線安裝於臺北自來水事業處設計之水量計箱上蓋之凹槽式天線座內。

(六)讀表通訊設備每日回報一次，數據內容包括每小時用水量、每日用水量、電池電壓。該通訊設備使用電池電源，可連續使用 8+1 年以上。

特此感謝源泰股份有限公司及億豪精機股份有限公司，在機械水表技術、設備整合及水表性能測試的支持與協助。

參考文獻

- 1.王炳鑫，認識自來水水表，深構水源水文生態園區文史館典藏文物誌，2014。
- 2.ISO 4064-2，Water meters for cold potable water and hot water – Part 2：Test methods，2014。
- 3.CNS 14866-3，完全充滿的密閉導管內水流量之量測－冷飲水及熱水用水量計－第3部：試驗法及裝備，2017。
- 4.建構無線通訊監測網的耐操透型水表箱，臺北市政府創意提案競賽創新獎季軍，臺北自來水事業處，2020。
- 5.水量計型式認證相關作業須知，經濟部標準檢驗局。
- 6.台灣自來水股份有限公司用戶表位設置原則，台灣自來水公司，2020修定版。
- 7.水量計型式認證技術規範，附錄A，2015。
- 8.全面推動智慧水表的契機－導入AMR技術的紅海策略，自來水會刊第40卷第2期，2021。

9.<https://cloudcdn.taiwantradeshows.com.tw/2019/tiww/e-letter4/ch/page04-1.html>，台灣國際水週，廠商聚焦，2019。

10.臺北自來水事業處，專利證號:M597865，水表箱蓋及水表箱，2020年7月。

作者簡介

曾弋軒女士

現職：上諾股份有限公司董事長特助

專長：智慧建築、物聯網

黃奕欽先生

現職：源泰股份有限公司水量計測試實驗室主管

專長：水量計測試、水量計製造

陳松山先生

現職：坤慶精機股份有限公司董事

專長：水量計製造測試

曾銘淞先生

現職：儀鎮精機股份有限公司董事

專長：水量計製造測試、物聯網

DIP 粉體塗裝管之拉拔試驗及結果探討

文/宋奕穎

一、前言

粉體塗裝 (Fusion-bonded epoxy coating, FBE coating) 技術最早源自於 1960 年代, 該項技術研發與傳統液態常溫「噴漆」塗裝、揮發溶劑加溫「烤漆」塗裝等技術有所差異。因粉體塗裝優點很多, 故逐漸受到人們青睞, 市佔率不斷成長, 其優點包含不需使用揮發性有機溶劑, 不會造成溶劑中毒及滲出汙染自來水的問題。噴塗技術一般多採用靜電吸附, 可均勻塗佈, 甚至可自動化塗裝, 相較液態塗裝有流漆、滴漏、表面厚度不均勻等問題, 粉體塗裝過程即便需要人力輔助, 也不需特殊訓練的漆匠。

歐美及日本等先進國家為改善鹼性物質釋出問題, 已改採環氧樹脂粉體塗裝作為 DIP 管內襯, 但由於粉體塗裝厚度僅 0.3mm, 若發生塗裝品質或施工品質不佳之情形, 將導致塗裝大面積脫落, 使 DIP 管內面失去內襯保護, 而發生銹蝕。

粉體塗裝若要廣泛應用於鑄鐵管內襯, 首要必須重視塗裝品質, 避免塗裝脫落導致鑄鐵鏽蝕。國家標準 CNS13273 對於粉體塗裝附著性檢驗方法, 是以試驗錘輕敲並以目視檢查是否有剝離現象, 判定是否符合國家標準。此法, 檢驗較主觀較難辨別塗裝品質好壞與否。鑒於粉體塗裝品質良窳應與塗裝附著力具直接關聯, 故本研究在尋求可量化附著力之檢驗方法, 用來比較國內與先進國家日本塗裝品質差異並提出建議改善

方案, 作為提升國內塗裝工藝之參考。

塗裝的黏結力測試有很多試驗方法, 例如交錯切割試驗 (Cross-Cut test)、刮除測試 (Scrape/Scratch test)、剝離測試 (Peel-off test)、拉拔測試 (Pull-off test), 每一種試驗都有國際標準組織 ISO 的規範或工業大國之國家標準可供參考, 如美國 ASTM、德國 DIN、英國 BS、中國 GB、歐盟 EN... 等等, 目的是讓試驗結果具有一致性與可靠性, 能夠互相比較, 甚至當作材料的製造品管及交貨驗收標準。

前述黏結力試驗中, 以拉拔試驗是比較常用的試驗法, 相較於其他幾種方法, 拉拔試驗可以明確定量, 而且採用垂直於塗層方向拉開塗層, 可測得出塗層完整的附著強度, 比其他的試驗法有更具量化性。目前 ISO 4624、ASTM D4541 兩個相似的國際標準是最常被參採的, 其中 ASTM 的標準更進一步規範了五種拉拔儀器, 讓儀器製造商及使用者更有依循的準則。

二、試驗方法與步驟

本研究經比較國際間相關試驗方法後, 最終採依循 ASTM D 4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers(可攜式儀器量測塗層拉拔強度試驗方法)所介紹之第 III 型拉拔儀器, 進行拉拔試驗。另外選用國內與日本的 DIP 粉體塗裝內襯直管及管件做為試驗對象, 試驗過程紀錄拉拔強度及破壞模式。

(一)拉拔器及其配件簡介

ASTM D 4541 之第Ⅲ型拉拔器及其配件之特性簡述如下(圖 1)：

- 1.拉拔器：採 ASTM D4541 介紹之 TYPE III 拉拔器，由英國 Elcometer 公司生產之 108 型之油壓式黏結力拉拔測試器 (Hydraulic Adhesion Tester)。此拉拔器可自動對心 (Self-Alignment) 能避免非正向施拉造成試驗數據之誤差，容許拉力範圍 0 至 25MPa，儀器誤差±3% or 60psi(0.41MPa) (兩者取大值)，拉力速度在 1 MPa/S 以下。
- 2.端子(dolly)：拉拔器的測試探頭，外徑 19.4mm，內徑 3.7mm，截面積 2.84mm²。
- 3.黏膠：採 3M Scotch-Wild MC 1500，最低拉力強度 20MPa，工作溫度-50 至 80 °C，塗膠厚度要小於 0.2mm。黏膠應放置陰涼乾燥且避免陽光直射之處保存，保存期限為 12 個月(應選用黏結強度大於塗層的凝聚力與塗層間的黏結力之黏膠。



圖 1 拉拔器及配件圖

(二)選用 DIP 粉體內襯直管及管件

- 1.直管部分：選用國內生產口徑 200mm 之 DIP 粉體管及日本生產口徑 200mm 之 NS

管，其內襯為粉體塗裝。

- 2.管件部分：選用國內兩家鑄鐵管製造廠商所生產之管材。管徑包含 150mm、200mm、300mm 及 400mm，管種分彎管、大小頭、短管(套筒、短管甲、乙)及三通管(聯絡用、消防用)等，另選日本生產之口徑 200 mm x2.5 度 NS 彎管 1 只(表 1)。

表 1 國內與日本管件選取

材料名稱	規格	數量
延性螺壓式承插彎管	150mmx11.25	2
延性螺壓式承插彎管	150mmx22.5	1
延性螺壓式承插彎管	150mmx45	1
延性螺壓式承插彎管	150mmx90	1
延性螺壓式承插彎管	200mmx11.25	2
延性螺壓式承插彎管	200mmx22.5	2
延性螺壓式承插彎管	200mmx45	2
延性螺壓式承插彎管	200mmx90	1
延性螺壓式承插彎管	300mmx11.25	1
延性螺壓式承插彎管	300mmx22.5	2
延性螺壓式承插彎管	300mmx45	2
延性螺壓式承插彎管	300mmx90	1
延性螺壓式承插彎管	400mmx11.25	1
延性螺壓式承插彎管	400mmx22.5	1
延性螺壓式承插彎管	400mmx45	1
延性螺壓式承插大小頭	150mmx100mm	1
延性螺壓式承插大小頭	200mmx150mm	2
延性螺壓式單突緣短管	150mm	1
延性螺壓式單突緣短管	200mm	2
延性螺壓式雙承口套筒	150mm	1
延性螺壓式雙承口套筒	200mm	1
延性螺壓式單承口單突緣短管	150mm	1
延性螺壓式單承口單突緣短管	200mm	2
延性螺壓式雙承口三通管	150mmx150mm	1
延性螺壓式雙承口三通管	150mmx100mm	1
延性螺壓式雙承口三通管	200mmx200mm	2
延性螺壓式雙承口三通管	200mmx100mm	2
延性螺壓式雙承口三通管	200mmx150mm	2
延性螺壓式單承口單突緣三通管	150mmx75mm	1
延性螺壓式單承口單突緣三通管	200mmx75mm	2
延性鑄鐵管耐震接頭(NS型)承插彎管	200mmx22.5	1

(三) 管材剖半切割

因管材內部屬拘限空間，為讓試驗數據可以更準確，試驗點位可均勻分佈於各管材部位，試驗前將待測管材剖半切割(圖 2)，以利拉拔試驗過程(表面處理、黏膠、端子除膠及拉拔器操作)將不受管內拘限空間而阻礙試驗進行(圖 3)，拉拔試驗之選點範圍也更佳廣泛且能獲得更正確的拉拔強度數據。

(四) 試驗數據紀錄：

依 ASTM D 4541 規範規定，試驗數據應紀錄拉拔強度與破壞情形。拉拔強度即直接讀拉拔器的表頭值；而破壞情形則由端面與破壞面目視後描述表示。ASTM D 4541 對破壞情形的描述是很詳盡，描述方式如圖 5 所示。



圖 2 管材剖半切割有利試驗進行



圖 3 管材未切割進行試驗較受限制



圖 4 切割後之待測管材

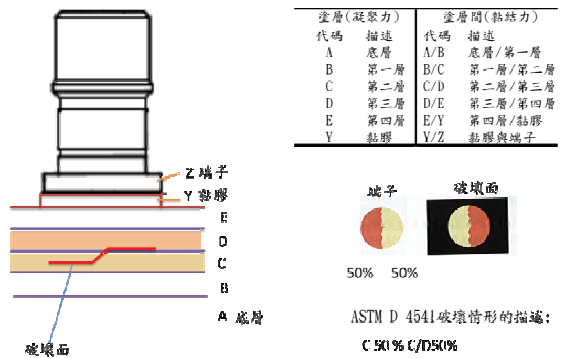


圖 5 ASTM 多層塗裝的破壞情形描述

1. 標示塗層本身間的剝離以 A、B、C... 等表示，及紀錄各層破壞所佔之比例，試片底層標為 A，隨後各塗層標為 B、C、D 等，黏膠為 Y，端子為 Z。
2. 標示塗層與塗層間的剝離以 A/B，B/C，C/D... 等表示，及紀錄各界面所佔之比例。

以下圖為例，破壞面若由 C 塗層之凝聚力破壞(Cohesion)與 C 層及 D 層介面之粘結力破壞(Adhesion)共同組成，而 C 塗層破壞與 C/D 介面破壞比例各為 50%，以 ASTM 規定之紀錄方式為 C 50% C/D 50%。

但對於 DIP 環氧樹脂粉體內襯管僅是 1 層粉體塗層而言，這樣的描述顯得複雜，本研究案將描述方式予以簡化，簡化後粉體塗裝在拉拔過程大致上會產生之破壞種類分

為 3 種，分述如下：

1.鑄鐵面破壞(Adhesion Failure)：破壞在鑄鐵與粉體之交界(A/B 面)有發生即算，如圖 6)，代表粉體與鑄鐵面有分離情形發生，鑄鐵面有裸露出來，未來極有可能發生大面積粉體剝落的情形，是較不允許發生的破壞行為，此種破壞模式拉拔強度通常較低。

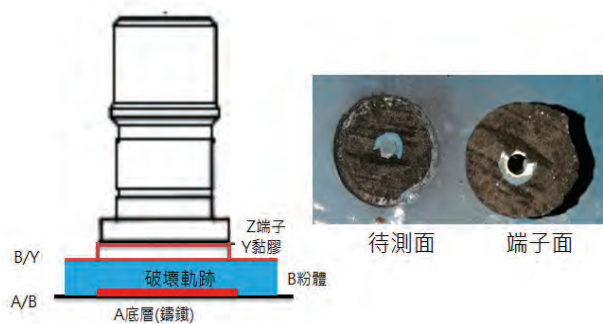


圖 6 鑄鐵面破壞情形

2.粉體破壞(Coating Failure\ Cohesion Failure) 破壞在粉體層(B 層，如圖 7)，鑄鐵面未裸露(A/B 0%)，若粉體品質無虞，此種破壞模式拉拔強度拉拔強度都頗高。

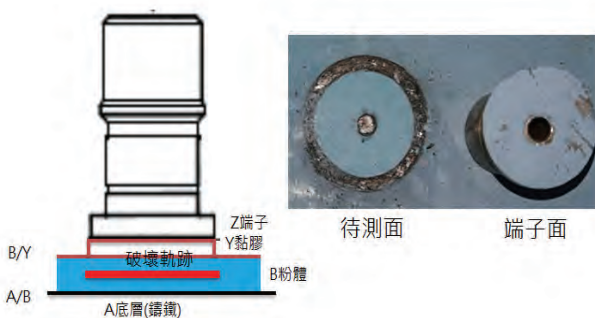


圖 7 粉體破壞情形

3.黏膠破壞(No Failure\glue Failure)破壞在黏膠面(B/Y 面或 Y 層及 Y/Z 面，如圖 8)，該拉拔讀數已失去參考性，無法真實呈現拉

拔強度，原則應改予排除)，本研究定義，當黏膠面占端子面大於 80%時，判定黏膠失敗。黏膠失敗發生的因有兩種：第 1 種是黏膠強度未發展至應有強度下之破壞，此時拉拔強度偏低，發生原因可能為表面未處理妥善、試驗過程碰觸端子、黏膠未硬化…等。第 2 種是黏膠的強度比粉體凝聚力及黏結力小造成，並非沒黏好，此時拉拔強度都很高。

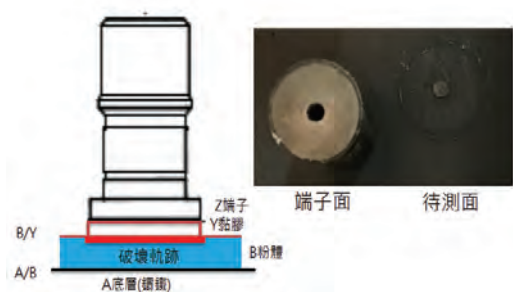


圖 8 黏膠破壞情形

(五)試驗步驟

拉拔試驗程序分為表面處理、黏膠、端子除膠及拉拔器測試等過程，每個階段都有應注意事項，稍有不慎都將減損拉拔強度，故試驗過程應注意每個細節才可以測得較真實的塗層拉拔強度，拉拔試驗主要步驟如下(如圖 10)。

- 1.待測面之表面處理：以細砂紙輕磨待測面表面，確保待測面清潔，乾燥，無油脂，並使待測面產生些微粗糙，可增進黏結效果。惟不能過度研磨而損傷待測面表面塗層；另端子的表面亦要將前次試驗殘膠清潔乾淨，並用細砂紙輕磨端子面。
- 2.端子塗上黏膠置於待測面：黏膠前將端子插銷(Dolly plug)放置端子中心。端子插銷放

置目的在防止黏貼端子與待測面過程時，避免黏膠由內部孔徑上升到端子內面。若有黏膠由內部孔徑上升，將阻礙拉拔器針頭由端子內碰觸待測面，拉拔器套筒自然無法卡住端子周圍凹槽，致拉拔試驗無法進行。黏膠應少量且均勻塗布在端子面，膠黏厚度不可太厚，於凝固初期施加重物於端子上。

3.操作拉拔器讀取拉拔強度：

- (1)逆時針轉動拉拔器轉動把手，至壓力完全釋放。
- (2)將拉拔器套筒套向端子，使金屬探針栓插入端子的正中央。
- (3)拉起拉拔器連接套筒，使拉拔器與端子緊密連接。如果套筒無法與端子緊密接合，就須使用端子工具去除端子內的殘膠(圖 9)，去除過程應小心處理，勿傷及端子，避免影響拉拔強度。
- (4)順時針緩慢轉動拉拔器轉動把手緩慢施拉(不可快速旋轉把手而影響拉拔數值，拉力速度在 1 MPa/s 以下，並於 100 秒內結束)，端子因黏膠硬化將待測面拉起，一直拉到剝離，此時表頭的讀數即為拉拔強度。

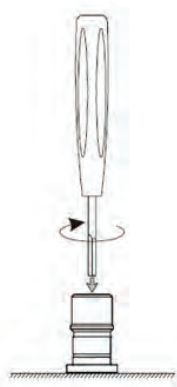


圖 9 使用工具除去端子內部殘膠



圖 10 拉拔試驗步驟

三、拉拔強度試驗結果

本次試驗管材有國內兩家鑄鐵管製造商生產之粉體直管及管件與日本生產之 NS 管及 NS 管件進行試驗。

(一)DIP 管件(彎管)拉拔強度

廠商 A 共取得 13 支彎管建立 98 點拉拔強度數據，廠商 B 共取得 8 支彎管建立 63 點拉拔數據，依每支管件之平均拉拔強度及標準差，如表 2 所示。

表 2 國內彎管拉拔強度

材料名稱	規格	廠商A		廠商B	
		平均值(MPa)	標準差	平均值(MPa)	標準差
彎管	150mmx11.25	11.50	1.28	15.43	2.4
彎管	150mmx22.5	12.08	2.96		
彎管	150mmx45	10.7	1.03		
彎管	150mmx90	9.9	1.77		
彎管	200mmx11.25	15.20	3.48	12.74	2.5
彎管	200mmx22.5	7.61	2.43	6.38	0.98
彎管	200mmx45	10.68	2.77	9.05	1.27
彎管	200mmx90	8.38	1.86		
彎管	300mmx11.25			8.83	1.86
彎管	300mmx22.5	8.13	2.03	9.21	2.17
彎管	300mmx45	4.68	1.8	11.43	2.99
彎管	300mmx90	6.9	2.24		
彎管	400mmx11.25			8.95	3.45
彎管	400mmx22.5	8.7	3.34		
彎管	400mmx45	7.14	2.53		
	平均強度	9.41		10.27	

試驗發現，廠商 A 與廠商 B 的彎管拉拔強度隨口徑越大而有強度越低的情形，且彎度越大拉拔強度越低(除廠商 B 的 300m 彎管)，推測可能與未持續加溫，且口徑大之管件因體積大，散熱快，故粉體無法在具有充足的熱能下發展凝聚力；另彎度越大表面清潔越不容易，粉體也無法咬合鑄鐵面，自然粉體黏結力較差。整體而言廠商 A 之拉拔強度平均值 9.34 MPa，廠商 B 之拉拔強度平均值 10.27 MPa(圖 11)。

廠商 A，98 點(100%)皆屬鑄鐵面破壞。廠商 B，46 點(74%)屬鑄鐵面破壞；15 點(24%)屬粉體破壞，其中 5 點拉拔強大於 10MPa；2 點(3%)屬黏膠破壞，拉拔強皆小於 10MPa，屬端子黏結不當造成。

觀察破壞模式得知，兩家廠商都以鑄鐵面破壞為主(100%及 74%)，其中廠商 B 雖有 15 點的粉體破壞模式，但僅有 5 點強度大於 10 MPa，顯示出粉體凝結力低落，推估有粉體噴塗時溫度不足或時間不足之情形。



圖 11 國內彎管拉拔試驗紀錄

(二)DIP 管件(非彎管) 拉拔強度

廠商 A 共取得 13 支非彎管之管件，建立 58 點拉拔數據。廠商 B 共取得 8 支非彎

管之管件，建立 58 點拉拔數據依管件形式求得平均拉拔強度，如表 3 所示。

表 3 國內管件(非彎管)拉拔強度

材料名稱	規格	廠商A		廠商B	
		平均值	標準差	平均值	標準差
大小頭	150mmx100mm	15.66	0.87		
大小頭	200mmx150mm	12.52	1.94	9.49	0.74
單支線短管	200mm	13.32	1.57	11.81	3.09
套筒	150mm	9.79	0.17		
套筒	200mm	19.25	1.22		
單承口單突線短管	150mm	14.49	0.27		
單承口單突線短管	200mm	14.06	0.18	18.10	3.64
三通管	150mmx100mm			16.93	2.97
三通管	150mmx150mm	9.67	0.62		
三通管	200mmx100mm	11.2	1.5	12.75	2.18
三通管	200mmx150mm	11.97	1.9	13.67	3.76
三通管	200mmx200mm	11.83	4.01	7.18	2.46
消防三通管	150mmx75mm	10.08	1.06		
消防三通管	200mmx75mm	7.99	2.47	12.30	1.57
平均強度		11.88		12.24	

此類管件不同於彎管具有彎度，廠商 A 之拉拔強度平均值 11.88 MPa，廠商 B 之拉拔強度平均值 12.24 MPa(圖 12)，兩家廠商平均拉拔強度都大於彎管(9.34 MPa 及 10.27 MPa)，數據顯示彎管是管件族群中粉體塗裝的品質較差一類。

廠商 A 有 77 點(96%)屬於鑄鐵面破壞；3 點(4%)屬於粉體破壞，而當中 3 點拉拔強大於 10MPa。廠商 B 有 50 點(86%)屬於鑄鐵面破壞；6 點(10%)屬於粉體破壞，其中有 2 點拉拔強大於 10MPa；2 點屬於黏膠破壞，拉拔強皆小於 10MPa，屬於黏膠黏結不當造成。

觀察破壞模式得知，兩家廠商都以鑄鐵面破壞為主(96%及 86%)，其中廠商 A 廠商，粉體破壞的強度都有發揮出強度，顯示出粉體品質與製程上較無疑慮，廠商 B 雖有 6 點的粉體破壞模式，但僅有 2 點強度大於 10 MPa，顯示出粉體凝結力低落，推估有粉體品質不良的情形。

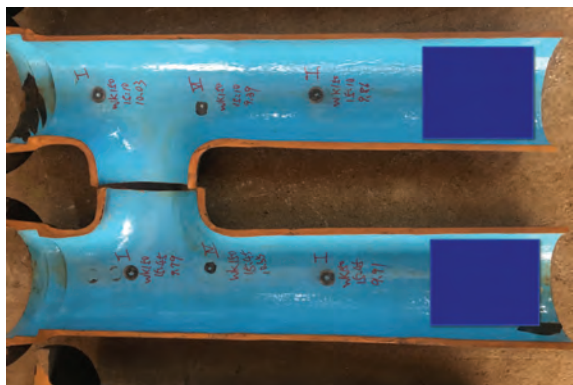


圖 12 國內管件拉拔試驗紀錄

(三) DIP 直管拉拔數據

取得國內廠商生產的 200mm 粉體直管進行拉拔試驗，共建立 40 點拉拔數據。拉拔強度平均值 18.99 MPa 比廠商 A、B 的管件強度高出許多，粉體直管內襯平整度比管件的粉體內襯平整度要佳(圖 13)。

40 點拉拔數據中，有 21 點屬於粉體破壞，鑄鐵面均未露出，拉拔強度平均值 17.50 MPa；19 點屬於黏膠破壞，拉拔強度平均值 20.64 MPa，19 點拉拔強度均大於 10 MPa，故不屬黏膠施作不當造成。



圖 13 直管拉拔試驗紀錄

(四) 日本的粉體直管及彎管拉拔數據

經拉拔栗本公司(日本)生產之 1 只 200mmx22.5 彎頭，平均拉拔強度達 21.22 MPa(表 4，圖 14)，口徑 200mm 直管平均拉


拔強度達 23.82 MPa，均屬黏膠破壞(表 5，圖 15)。栗本 NS 粉體直管比國內直管平均拉拔強度高(20.64 MPa)。彎管平均拉拔強度更是比國內彎管品質好上太多(9.34 MPa 及 10.27 MPa)，強度高出一倍之多。

表 4 NS 彎管拉拔強度


直管/管件	規格	內襯型式	拉拔強度	破壞模式
彎管	200x22.5	粉體	20.6	黏膠破壞
彎管	200x22.5	粉體	21.51	黏膠破壞
彎管	200x22.5	粉體	18.77	黏膠破壞
彎管	200x22.5	粉體	23.99	黏膠破壞
平均強度			21.22	

表 5 NS 直管拉拔強度


直管/管件	規格	內襯型式	拉拔強度	破壞模式
直管	200mm	粉體	26.28	黏膠破壞
直管	200mm	粉體	26.37	黏膠破壞
直管	200mm	粉體	26.01	黏膠破壞
直管	200mm	粉體	24.49	黏膠破壞
直管	200mm	粉體	15.45	黏膠破壞
直管	200mm	粉體	24.34	黏膠破壞
平均強度			23.82	




試驗日期：107 年 01 月 11 日
 管材：200x22.5 彎管
 製造商：栗本
 年份：2016
 最高：23.99 MPa
 最低：18.77 MPa
 平均：21.22 MPa




20.60 MPa
黏膠



21.51 MPa
黏膠



18.77 MPa
黏膠



23.99 MPa
黏膠

圖 14 NS 彎管拉拔強度試驗








				試驗日期：107 年 01 月 11 日 管材：200 粉體直管 製造商：栗本 年份：2016 最高：26.37 MPa 最低：15.45 MPa 平均：23.82 MPa			
							
26.28 MPa	26.37 MPa	26.01 MPa	24.49 MPa				
黏膠	黏膠	黏膠	黏膠				
							
15.45 MPa	24.34 MPa						
黏膠	黏膠						

圖 15 NS 直管拉拔強度試驗

四、拉拔數據分析

(一)國內與日本粉體直管品質比較

國內所生產的粉體直管，經拉拔試驗 40 筆數據發現(表 6)，無鑄鐵面破壞，19 筆粉體破壞(平均拉拔強度 17.50 MPa)；21 筆黏膠破壞(平均拉拔強度 20.65 MPa)，粉體與鑄鐵面的黏結強度(A/B)比粉體面與黏膠的黏結力(B/Y)及粉體的凝聚力(B)更強。推估鑄鐵表面的研磨、清潔、鑄鐵管加熱應有依正常工序施工，才能使粉體充分溶化後黏結在鑄鐵面上，故不易發生鑄鐵面破壞的情形。

栗本所生產的粉體直管，經拉拔試驗 6 筆數據發現，無鑄鐵面破壞，無粉體破壞，6 筆黏膠破壞(幾乎無粉體殘留端子面，平均拉拔強度 20.65 MPa)，得到結論是，黏膠強度是最弱(黏膠強度不足)，所得到的平均強度 23.82 僅供參考，若黏膠工作強度夠強時，實際拉拔強度應該更高。

表 6 拉拔強度及破壞模式比較表

口徑	廠商	國內(40筆數據)			栗本(6筆數據)		
		破壞模式	鑄鐵面破壞	粉體破壞	黏膠破壞	鑄鐵面破壞	粉體破壞
200	發生次數(比例%)	0	19 47.5%	21 52.5%	0	0	6 100%
	平均拉拔強度(MPa)	-	17.5	20.65	-	-	23.82
全部平均拉拔強度(MPa)		18.99			23.82		

(二)國內及日本粉體管件品質比較

國內 A、B 廠商與日本栗本各口徑的平均拉拔強度與破壞模式，如表 7 所示。廠商 A 與 B 的平均拉拔強度都出現隨口徑變大而有強度降低的情形，推測應與塗裝過程加溫時間不足有關，口徑越大的管材因為體積較大，鑄鐵表面溫度降溫快，粉體的附著力自然較差。

廠商 A，口徑 150mm 至 400mm 鑄鐵面破壞占比達 97.50%以上，口徑 150 mm 出現粉體破壞有 1 點，拉拔強度為 14.3 MPa 明顯高於鑄鐵面破壞，該管件為單承口單突緣短管。口徑 200 mm 出現粉體破壞有 2 點，平均拉拔強度高達 19.93 MPa，明顯高於鑄鐵面破壞，該管件為套管。發生粉體破壞的點都位於非彎管之管件，若能確實做好鑄鐵表面處理，避免發生鑄鐵面破壞，拉拔強度自然可以提升許多。

廠商 B，口徑 150mm 鑄鐵面破壞的占比為 93.75%，出現粉體破壞有 1 點，拉拔強度為 20.41 MPa 明顯高於鑄鐵面破壞，該管件為 150x100 三通管。口徑 200mm 鑄鐵面破壞的占比為 78.38%，出現 14 點粉體破壞，惟平均拉拔強度僅有 9.35 MPa 強度還不如鑄鐵面破壞的平均拉拔強度 11.38 MPa，這代表



破壞在粉體層，因粉體凝聚力不足所導致。口徑 300mm 鑄鐵面破壞的占比為 65.22%，出現 6 點粉體破壞，惟平均拉拔強度僅有 9.51 MPa 強度還不如鑄鐵面破壞的平均拉拔強度 10.4 MPa，這代表破壞在粉體層，因粉體凝聚力不足所導致。口徑 400mm 鑄鐵面破壞的占比為 100%平均拉拔強度 8.95 MPa。

表 7 國內與栗本平均拉拔強度及破壞模式

口徑	廠商	廠商A(178筆數據)			廠商B(121筆數據)			栗本(4筆數據)		
		破壞模式	鑄鐵面破壞	粉體破壞	黏膠破壞	鑄鐵面破壞	粉體破壞	黏膠破壞	鑄鐵面破壞	粉體破壞
150	發生次數 (比例%)	59 98.33%	1 1.67%	0	15 93.75%	1 6.25%	0	-	-	-
	平均拉拔強度 (MPa)	11.34	14.3	-	15.9	20.41	-	-	-	-
200	發生次數 (比例%)	78 97.50%	2 2.5%	0	58 78.38%	14 18.92%	2 2.70%	0	0	4 100%
	平均拉拔強度 (MPa)	11.17	19.93	-	11.38	9.35	4.41	-	-	21.22
300	發生次數 (比例%)	23 100%	0	0	15 65.22%	6 26.08%	2 8.70%	-	-	-
	平均拉拔強度 (MPa)	6.5	-	-	10.4	9.51	6.79	-	-	-
400	發生次數 (比例%)	15 100%	0	0	8 100%	0	-	-	-	-
	平均拉拔強度 (MPa)	7.97	-	-	8.95	-	-	-	-	-
全部平均 拉拔強度(MPa)		10.48			11.21			21.22		

廠商 A、B 管件都以鑄鐵面破壞為大宗，推估可能與鑄鐵表面的研磨、清潔及鑄鐵管加熱不確實等因素造成，加強各生產過程之品質管理，才讓確保粉體融化過程可以緊密與鑄鐵管面黏結。另外廠商 B 發生拉拔強度低的粉體破壞，顯示出粉體品質出現問題或粉體燒結不確實，使粉體的凝聚力無法有效發揮，要不然出現粉體破壞時，應該有很高的拉拔強度值。

再看栗本的 200x22.5 彎管，都是出現黏膠破壞，平均拉拔強度高達 21.22 MPa，相較之下顯示出國內管件內部粉體塗裝品質較為不佳。栗本的管件粉體強度與直管同樣屬

高品質且差異度不大，這也是為何日本的粉體管理在地底下可以 20 幾年粉體都無損壞的原因。

五、結論

1. 經尋找國內外適合測試粉體塗裝附著品質之試驗方法，以 ASTM D 4541 規範的 TYPE III 拉拔器油壓式黏結力拉拔測試器 (Hydraulic Adhesion Tester) 是較佳的選擇，該拉拔器可自動對心 (Self-Alignment) 能避免非正向施拉造成試驗數據之誤差。
2. 試驗所採用黏膠(3M Scotch-Wild MC 1500) 於拉拔栗本(日本)的粉體內襯，均出現出現黏膠破壞(黏膠占比幾乎 100%)，拉拔國內直管粉體內襯也出現 52.50%黏膠破壞(平均拉拔強度達 20.65 MPa)，這些都表示黏膠強度不足，建議可採購更高強度的黏膠以利進行試驗。
3. 試驗結果發現，國內管件大都出現鑄鐵面破壞，可能與表面清潔與研磨未確實有關。但由於管件型式種類許多，不像直管可透過機械化研磨，管件研磨必須仰賴人工處理，故所需之工時與投入成本都相對較高。
4. 試驗結果發現，國內直管大都出現粉體破壞，表示表面清潔與研磨確實，噴塗過程之溫度與時間都足夠，目前為止，國內直管粉體塗裝品質是優於管件。
5. 為避免環切擾動端子及微裂縫產生影響試驗結果，本研究建議不環切端子四周，直接施作拉拔試驗。
6. 為確保拉拔量測具有公正性，拉拔器應每年至送 TAF 校正實驗室進行校正 1 次。
7. 日本的粉體塗裝技術已可以使用 20 餘年後

粉體內襯仍完好如初，並未出現剝落情形。未來國內要大量使用粉體塗裝管，應先訂定拉拔強度之驗收標準，為粉體塗裝品質進行把關，才能逐漸提升國內粉體塗裝技術與日本並駕齊驅。

參考文獻

1. ASTM D 4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers

2. JCPA T 47 延性鑄鐵管內襯-環氧樹脂粉體塗裝
3. CNS 13273 G3254 延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝

作者簡介

宋奕穎先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處

專長：自來水工程設計、小區管理、施工及工程預算
單價編列

本刊 111 年「每期專題」

期別	主題	子 題	時程
41 卷 第 2 期	營運管理	1.供水設施營運操作、2.供水系統維護管理 3.管線失效故障分析、4.管線狀況評估、5.降低無收益水量、6.集水區保育治理、7.緊急應變及危機管理、8.管網建模及應用。	5 月
41 卷 第 3 期	水質處理	1.飲用水質政策及監管、2.水源水質管理、 3.天然有機物去除處理、4.水安全計畫、5.先進水質檢測技術、6.新興污染物調查分析處理、7.水質監測與管理、8.淨水處理藥劑申請應用及管理。	8 月
41 卷 第 4 期	供水服務	1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統、8.氣候變遷、9.抗旱期間供水服務與經驗。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~



抗旱期間使用建築工地地下水之水質安全監控與管理

文/林正隆、刁文儀、賴明芬、吳宗昱

摘要

110 年台灣地區面臨五十多年來最嚴重的乾旱，尤以中部地區為甚，為因應嚴峻的水情考驗，對抗中台灣嚴峻的旱象，除了用水調度、節水外，台水公司也積極開闢新水源，如建築工地地下水、抗旱井及伏流水等，其中使用建築工地地下水為台灣首次辦理，在世界也少有其案例，為使用該建築工地地下水為水源挹注時，如何確保其供水安全降低風險，除台水公司內部多次討論外，行政院環保署也邀請專家學者及相關單位現勘討論，綜合各方意見後分別就原水、淨水及供水方面進行水質安全評析，水源部分亦積極評估台中市多處新建建築工地地下水井水質，進行完善的水質檢驗及勘查附近有可能的污染來源，擇定水質較佳且無污染的建築工地地下水為優先；淨水方面設置臨時淨水處理設備以快濾桶處理濁度必要時增加活性炭處理有機物，再添加次氯酸鈉消毒去除生物性污染；供水部分，保持適當的餘氯量抑制微生物生長，另設置水質臨時監測站，對原水及清水設置多項 24 小時水質自動監測設備、生物性監測設備及加強人工檢測等三面向為水質把關，以確保建築工地地下水使用之安全。

關鍵字：乾旱、建築工地地下水、水質安全

一、前言

110 年台灣遭逢逾半世紀以來最嚴峻的

水情考驗—超級大旱。109 年梅雨季雨量少，同時遭逢 56 年來首次夏季無颱風登陸的記錄，加上 110 年春雨及梅雨仍不如預期，導致多處水庫蓄水量創歷史新低，尤以中部地區為甚，為因應嚴峻的水情考驗，苗栗、台中（含北彰化）自 110 年 4 月 6 日起實施「供 5 停 2」分區供水，至 6 月 6 日方才停止，時間長達 2 個月，中央旱災應變中心於 6 月 22 日解除開設，此次旱象方告一段落。110 年初隨著乾旱日益嚴重，供應中部地區主要用水的德基水庫及鯉魚潭水庫幾乎乾枯，有效蓄水量於 5 月底僅剩約 1%（如圖 1），為水庫興建以來最低蓄水量，已嚴重影響到台中地區的供水。

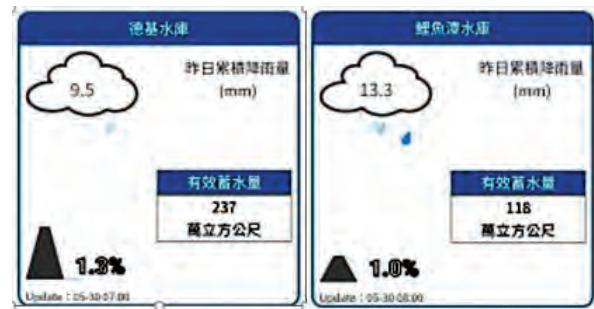


圖 1 德基及鯉魚潭水庫有效蓄水量幾乎乾枯

為對抗中台灣嚴峻的旱象，除了用水調度、節水外，台水公司也積極開闢新水源，如抗旱井、伏流水及建築工地地下水等，其中建築工地地下水，係因建築工地進行地基基礎開挖時需利用點井抽水，直到構造物重量大於基礎面水浮力為止，抽水期間長。台中市區地質屬於卵礫石層，蘊藏大量的豐沛地

下水，且近年來台中市建築工地開發計畫多，根據台中市政府經發局網站公佈資料，110 年 4 月台中市登記新建建築工程工地地下水資源再利用共計 53 處（後再增為 65 處及 72 處），每日排放出的地下水達數十萬噸，除少部分用於工業用水、消防、環保等非民生的次級用水外，其餘大都直接排放溝渠，在乾旱缺水時期，更顯得可惜。

二、建築工地水質安全評析

抗旱期間極度缺乏水源，為盡其所能尋找水源利用，各界針對台中市建築工地地下水井是否成可作為自來水水源問題進行多方面的討論，惟經查國內並無使用建築工地地下水為自來水水源的案例，國際上亦沒無有類似的案例，如何在確保取得水源的同時，亦可確保其水質安全，為首要解決的問題，以下針對國內外再利用方式、風險評估及控制、水質安全評析說明如下：

(一)國內外建築工地地下水再利用：

建築工地的開發過程，大多會為了平衡地基而面臨抽取地下水的挑戰，而抽取後的地下水，處理方式在各國雖不盡相同但大同小異，以澳洲、美國、英國、德國等歐美先進國家為例，主要是排入下水道系統、補助地下水或是地面水體，部分亦會用於澆灌、抑制粉塵灑水或是洗滌等非民生用水，而國內建築工地地下水再利用方式大致用於澆灌、抑制揚塵、道路灑水、消防、環保或工業用水等非民生用的次級用水，惟大部分仍直接排入附近溝渠放流。由於各國對於飲用水水質標準皆有嚴格控管，加上成本考量，通常並不作為飲用水之水源。

(二)風險評估及控制：

建築工地屬淺層地下水其水質良莠不一，水質易受周遭環境及活動影響，如車輛清洗及工地廢水等，故工地地下水資源常利用在次級用水如消防、環保、澆灌或工業用水等非民生飲用的次級用水，且國內外亦無發現相關案例，如貿然引入自來水管網恐大幅升高飲用水水質安全風險。如何確保作為民生用水使用的水質安全，經多方面研商，以原水、淨水及供水方面進行水質安全風險評估及控制，說明如下：

1.原水方面：

- (1)完整的水質檢測：台水公司配合政策於 109 年底乾旱中期即開始評估台中市 31 處新建建築工地地下井水質，檢測飲用水水源水質標準及 pH、鐵、錳及導電度等水質項目。至 110 年 3 月時春雨仍不如預期，且氣象預報未來可能有「空梅」的嚴峻水情考驗，故利用「臺中市建築工程工地與水利署周邊觀測井水質狀態套疊與比對結果」，將其中 9 處水質較佳的建築工地地下水，再進行完整的飲用水水質標準 68 項檢驗，以確實掌握各建案的水質特性。而後隨著乾旱的加劇，陸續擴大建築工地的檢測範圍。
- (2)避免可能的污染源：因建築工地地下井屬淺層地下水，其水質易受周遭環境影響，需了解周邊是否存有加油站或其他可能污染源，避免潛在的污染源造成水質危害風險。
- (3)完善的水質監控：設置原水 24 小時水質自動監測設備，如總有機碳、氨氮，生物性養魚試驗及以人工進行水質項目檢

測，以確保運作過程中，掌握原水的水質情形。

2.淨水方面：

妥適的淨水處理：如同一般地下水處理場淨水流程，經快濾桶過濾去除濁度（如必要使用活性碳等雙層濾料），配合次氯酸鈉消毒處理，去除生物性的大腸桿菌及總菌等微生物污染。

3.供水方面：

(1)符合供水安全衛生：為確保自來水符合安全衛生，在供水時保持一定的自由有效餘氯量，以避免水媒疾病的發生，飲用水水質標準為 0.2mg/L-1.0 mg/L，運作時一般控制在 0.3-0.9 mg/L 之間。

(2)嚴密的水質監測：於清水端設置濁度、pH、餘氯、溫度及導電度等 24 小時水質自動監測設備及加強人工檢測等為水質把關，以確保水質安全。

另為更進一步確保建築工地地下水使用水質安全無虞，行政院環保署於 110 年 4 月 7 日邀請多位專家學者、水利署、台中市政府及台水公司等進行「台中建築工地地下水適宜性專家會議」，進行工地現勘及討論。

(三)水質安全評析

針對臺中市新建建築工地，綜合考量水量（變化）、水質（變化）、用地、交通、附近自來水管網等因素，進行相關建案的水質安全評析，初期評估 9 處建築工地，以水質較佳的建築工地勤美之森、老佛爺二建案為標的，設置快濾桶（雙層濾料）過濾及配合次氯酸鈉消毒處理，並於原水及清水端設置多項 24 小時水質自動監測設備、生物性監測設備及加強人工檢測等三面向等多重屏

障，確認水質安全無虞後導入自來水管網。

隨著水情日益嚴峻，陸續以相同模式進行水質安全評估，計有第二階段的惠宇大其心、台中商銀及達麗 J12，及第三階段的惠田上書房、築願景及仰星殿，第四階段的惠民三等共計 10 處，設計出水量每日 9.8 萬噸（如表 1），以挹注台中地區供水量，使原來供應大台中地區用水的德基及鯉魚潭水庫大大減輕供水壓力，成為此次大旱的抗旱奇兵。

表 1 台中地區建築工地地下水利用一覽表

階段	項次	建築工地案名	設計出水量(CMD)	操作廠商
一	1	勤美之森	1,500	全球
			3,000	涑達
			6,000	國統
二	2	老佛爺 1	17,500	新紋
	3	老佛爺 2	20,000	國統
二	4	惠宇大其心	10,000	政東水電
	5	台中商銀	10,000	政東水電
	6	達麗 J12	5,000	詮禾工業
三	7	仰星殿	10,000	新紋
	8	築願景	6,000	政東水電
	9	惠田上書房	4,000	國統
四	10	惠民三	5,000	新紋
合計			98,000 CMD	

三、水質監測與管理：

台中地區為抗旱期間，若能妥善使用處建築工地地下水做為自來水水源，可以解台中地區缺水的燃眉之急，故自勤美之森建築工地地下水於 110 年 4 月 18 日開始挹注民生用水以來，陸續有 10 處建築工地陸續投入

自來水的生產使用，日出水量可高達 10 萬噸，在出水的同時，如何確保建築工地地下水挹注自來水管網的安全性更是各界共同關切的事項，經由每處建置完善的臨時水質即時監測站及水質安全管理與監控機制發揮了重要功能，並且比一般淨水場更為嚴密水質檢測頻率，以保證其水質安全。以下分別就其水質監測及管理方面做一說明：

(一)水質監測

為確保建築工地地下水水質安全無虞，台水公司於每處建案設有過濾及消毒等淨水設備，也設置臨時水質即時監測站，以 24 小時水質自動監測設備、生物性監測設備及人工檢測等三面向多重屏障為水質把關，分別說明如下。

1.水質自動監測設備：

於原水及清水端設置多項 24 小時水質自動監測設備，原水端設置氨氮及總有機碳線上監測儀（如圖 2），藉由水質趨勢變化可預測污染情形及加藥量調控。在清水端設置酸鹼度計(pH 計)、餘氯計、濁度計、導電度計及溫度，監控淨水處理效率及水質安全。另因臨時水質監測站的貨櫃空間有限，本次採用綜合型的 5 合一水質監測儀（如圖 3），以節省空間。

2.生物性監測

為有效阻絕毒性物質進入供水系統，於快濾桶前原水端設置「原水毒物污染監視傳統養魚試驗」監測設備，每 2 小時觀察並記錄 1 次，包含氣溫、水溫、測量存活魚種數目、大小、游泳狀態、死亡魚種數目等。利用魚類行為如遲緩、上浮、下沉、狂奔或死

亡等判別是否有毒性污染情形，如圖 4。



圖 2 總有機碳(左)及氨氮(右)線上監測儀



圖 3 五合一線上水質監測儀

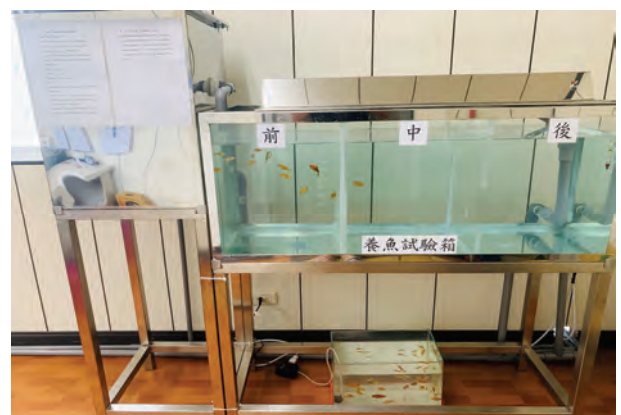


圖 4 養魚試驗箱

3.人工檢測

為加強水質的安全，每處建案均要求設置水質檢驗人員進行人工檢測，其檢測頻率原則上比照台水公司水質檢驗規範中各淨水場規定之檢驗項目及並增加施作頻率，規定原水檢測每日 1 次及清水每日 2 次(上午及下午各 1 次)，加強水質檢測外同時核對監測儀器準確性，如表 2 所示，現場相關檢測設備如圖 5。生物性檢測(大腸桿菌群及總菌落數)由區處每周檢驗 1 次。當原水氨氮、總有機碳及化學需氧量含量上升時，反映出水質風險增加，需了解水源是否受到相關污染，並同步加強檢驗原水總菌落數及大腸桿菌群頻率，以防有機及致病菌污染。此外，台水公司亦委託經環保署認證檢測機構每 2 周一次檢驗飲用水水質標準 66 項(扣除戴奧辛及亞氯酸鹽檢項)，以確保供水水質安全無虞。

表 2 建築工地地下水出水人工檢測項目及頻率

水樣	檢測項目	備註
-	天氣、氣溫	-
原水	水溫、pH 值、濁度、色度及臭味	每日 2 次(上下午各 1 次)
	化學需氧量、總有機碳及氨氮	每日 1 次
	原水毒物污染監視傳統養魚試驗記錄氣溫、水溫、pH 值、存活魚種數目、大小、游泳狀態、死亡魚種數目等	每 2 小時量測
清水	水溫、pH 值、濁度、色度、臭味及自由有效餘氯	每日 2 次(上下午各 1 次)
	ATP 生物快速冷光儀	每日 1 次
	總菌落數、大腸桿菌群	每周 1 次(區處)
	飲用水水質標準 66 項(無戴奧辛及亞氯酸鹽)	每 2 周 1 次(委外檢測)

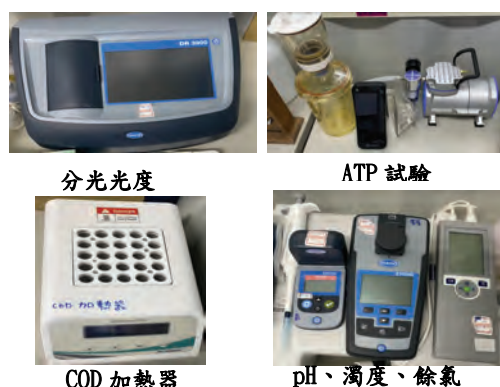


圖 5 人工檢測儀器

4.臨時水質即時監測站

配合上述水質監測儀器、生物性監測、人工檢測及巡迴檢查，以 20 尺的貨櫃屋為臨時水質即時監測站(內含冷氣機、電腦、多功能印表機、辦公桌、接水、接電設備)。為利監測儀器施設及採樣檢測，監測站外部設有混合原水及混合清水取樣口；內部則設有原水毒物污染監視傳統養魚試驗箱、馴魚箱、自動監測儀器(氨氮及總有機碳、pH、餘氯、濁度、導電度及溫度)、人工檢驗實驗桌椅、攜帶型儀器(分光光度計、濁度計、餘氯計、導電度計、ATP 生物快速冷光儀)、化學需氧量加熱爐、實驗用冷藏冰箱、電腦及印表機等設備，監測站外部及內部示意圖如圖 6 及圖 7 所示。



圖 6 水質即時監測站外觀



圖 7 水質即時監測站內部擺設

(二)水質監控與管理

1.運用科技工具，隨時掌握資訊：

為即時掌控各建築工地地下水原水及清水水質情形，原、清水自動水質監測資料均 24 小時上傳至台水公司區處的「供水監測平台」及總處的「水情資訊網－抗旱專區」，可直接由手機或電腦於遠端進行線上監控，隨時掌握數據，以確保供水安全無虞，如圖 8 所示，並可得知各場各項水質數據即時及長期的變化趨勢如圖 9。而每個建築工地建案，以施作廠家區分，利用網路即時通訊平台(LINE)成立水質群組，如圖 10 所

示，以利相關人員直接連繫提供諮詢與協助，並隨時上傳人工檢測結果，方便並掌握每個工地的最新水質訊息。

圖 8 水情資訊網水質數據顯示

抗旱專區		原水	淨水場出水	供水
縣市	內容	數值	單位	更新時間
台中	建築工地水源合計(瞬間)	97,441	CMD	2021/06/18 16:16:49
台中	建築工地水源合計(今日累積)	64,261	M ³	2021/06/18 16:16:49
台中	建築工地水源合計(差異分析)	2.37	%	2021/06/18 16:00:00
台中	建築工地水源合計(昨日累積)	97,466	M ³	2021/06/18 00:00:27
台中	勤美之森-餘氯	0.43	mg/L	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-濁度	0.12	NTU	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-酸鹼度(pH)	6.6	pH	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-溫度	27.5	TEMP	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-導電度	370.52	μS/m	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-總有機碳(TOC)	0.08	mg/L	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-氨氮	0.03	mg/L	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-300流量(瞬間)	11,477	CMD	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-300流量(今日累積)	7,094	M ³	2021/06/18 16:16:49
台中	勤美之森-300流量(昨日累積)	10,673	M ³	2021/06/18 00:00:27

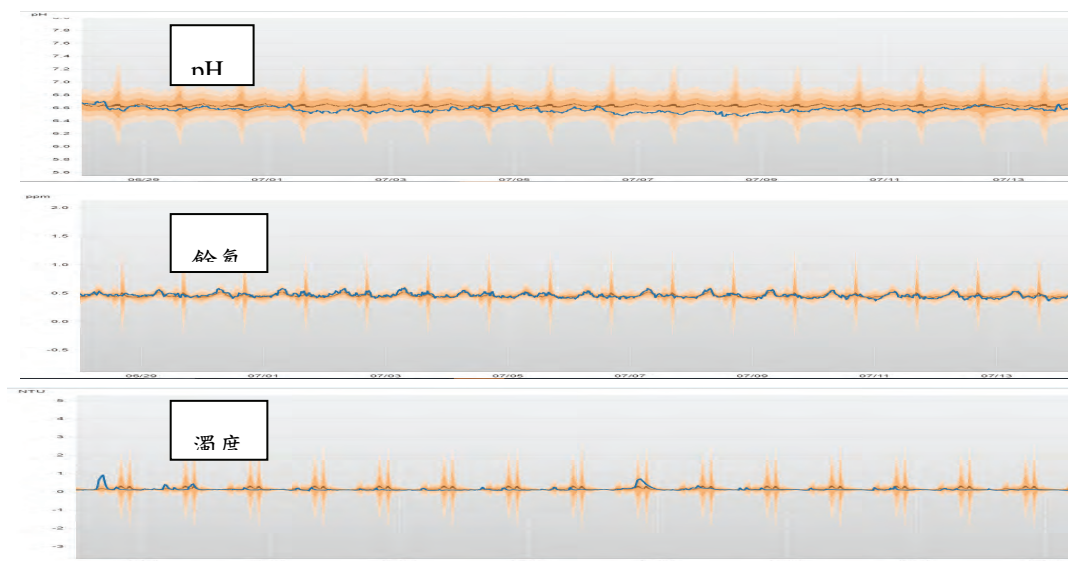


圖 9 老佛爺 1 水質 pH、餘氯、濁度項目監測趨勢 (110.6.29-7.13)



圖 10 網路即時通訊平台水質群組

2.訂定水質安全 SOP：

各建案廠商所聘請的水質檢驗人員，因時間緊迫，無法要求具有水質專業背景，因此對於相關水質規定及運作時應注意的水質事項，如超過標準時如何因應等操作程序，台水公司特別訂定了「台中市建築工地地下水使用水質安全監控與管理 SOP」（如圖 11），作為現場操作供水水質判定之參考依據及水質異常之因應措施，以維護飲水安全。SOP 簡述如下：

(1) 24 小時水質自動監測設備及人工檢測係以飲用水水源水質標準及飲用水水質標準做為判定標準，若「非影響健康物質檢項」檢測超出法規標準，則先執行檢

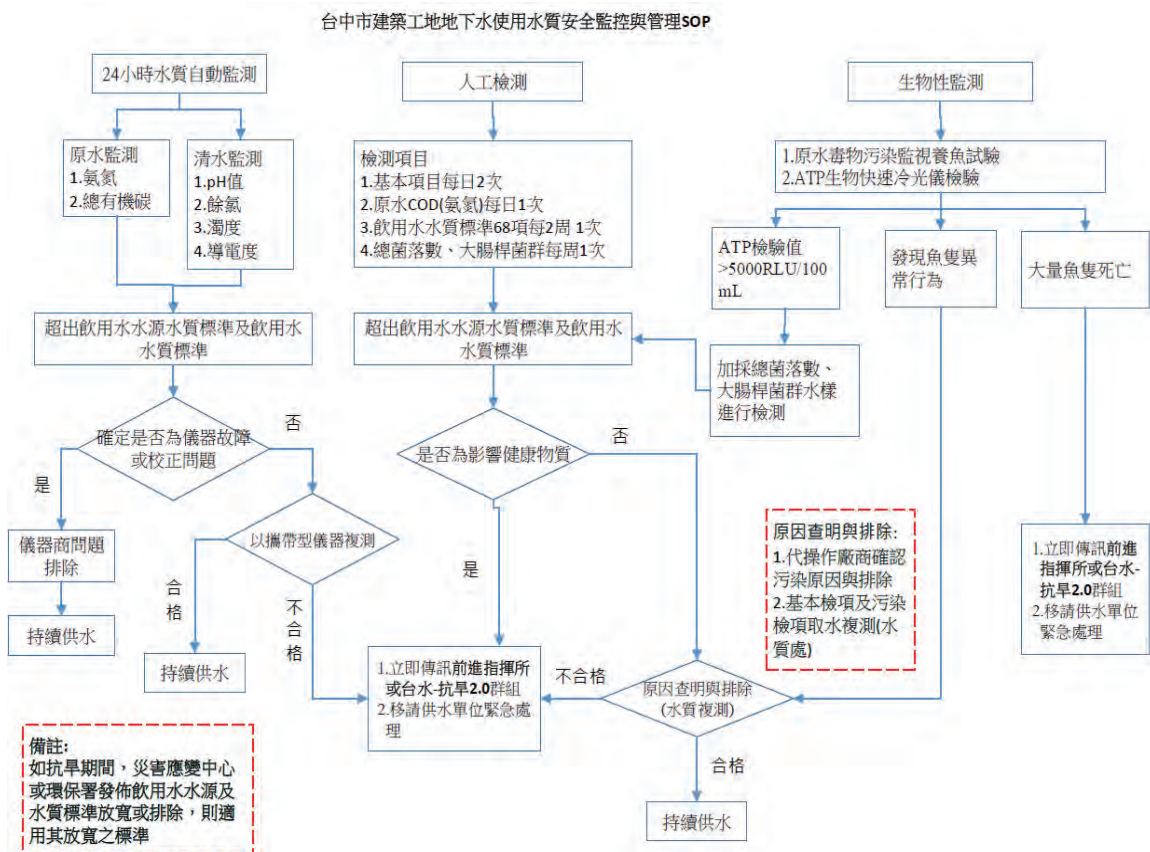


圖 11 台中市建築工地地下水使用水質安全監控與管理 SOP

驗複測並判定原因及排除，複測後合格即持續供水，惟若複測不合格或「影響健康物質檢項」檢測超出法規標準則立即傳訊「前進指揮所」、「台水-抗旱 2.0」或「供水操作平台」等通訊群組，供水操作單位立即依水質現況判定並緊急處理。

(2)生物性監測包含原水毒物污染監視養魚試驗及 ATP 生物快速冷光儀檢驗等 2 項，其中 ATP 檢驗值若大於 5000RLU/100 mL 則加採總菌落數及大腸桿菌群進行複測，並依複測結果判定處理措施。惟若養魚試驗發現大量魚隻死亡，則立即傳訊並由供水操作單位依現況判定並緊急處理。

3.完整的水質檢測

為確保建築工地地下水之飲水安全，除了 24 小時水質自動監測、生物性監測及每日基本項目人工檢測及每周由區處水質課檢驗大腸桿菌群及總菌落數外，為更確保其供水水質安全，針對已出水之建案，每 2 週 1 次委外加密檢測飲用水水質標準 66 項(扣除戴奧辛及亞氯酸鹽檢項)如圖 12，以勤美之森建案為例清水每 2 周檢測結果如表 4 所示，顯示各工地之出水水質良好，濁度皆在 0.2 NTU 以下、餘氯皆控制在 0.3~0.7 mg/L 之間、pH 在 6.7~7.1 之間，其他各項檢項如重金屬、揮發性有機物、農藥或消毒副產物等亦皆遠低於飲用水水質標準。

四、精進事項

(一)強化現場水質人員訓練：

為確保建築工地地下水使用安全，各建案要求需有一名水質人員進行各項檢驗事

宜，惟因水情嚴峻，各建案相關淨水設備及水質監測的建置，從無到有只用不到二星期即建置完成，因此往往至設備運轉測試出水，水質人員尚未就定位，而多數亦非水質專業人員，故台水公司水質處也針對委外操作承攬廠商之水質檢驗人員，主動派員積極協助輔導及訓練，使能獨立熟練原水及清水人工檢驗及監測工作，並回報水質相關數據，且能理解水質監測代表意義及相關發生危害，如圖 13 所示，未來可要求檢驗人員提前就任及訓練，以期無縫接軌。



圖 12 檢測完整飲用水水質項目

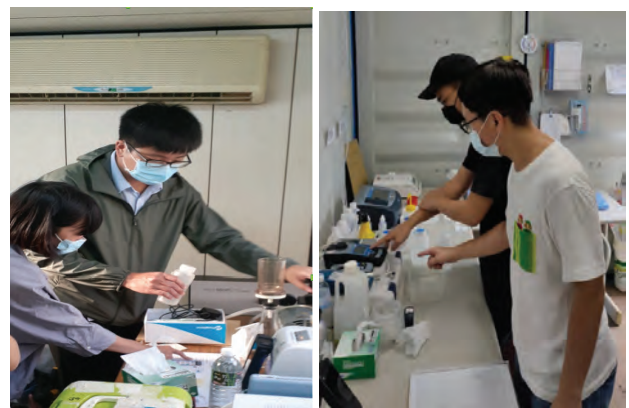


圖 13 台水公司派員輔導承攬商水質人員

表 4 勤美之森建築工地地下水每 2 周供水水質檢測結果

項目	採樣日期 單位	110.5.5	110.5.19	110.6.2	110.6.16	110.6.29	110.7.13	飲用水水質標準
		勤美之森 (西區館前路/英才路470巷口)	勤美之森 (西區館前路/英才路471巷口)	勤美之森 (西區館前路/英才路472巷口)	勤美之森 (西區館前路/英才路473巷口)	勤美之森 (西區館前路/英才路474巷口)	勤美之森 (西區館前路/英才路475巷口)	
		勤美之森(清水)	勤美之森	33-勤美之森(清水)	勤美之森(清水)	勤美之森(清水)	勤美之森(清水)	
1.濁度	NTU	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10	2
2.色度	鉻鉻	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5
3.臭度	初噴數60°C	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3
4.自由有效餘氯	mg/L	0.32	0.56	0.71	0.30	0.70	0.50	0.2-1.0
5.氫離子濃度指數	-	7.1/25.6°C	6.8/25.0°C	7.0/26.2°C	6.8/24.7°C	6.8/24.8°C	6.7/26.0°C	6.0-8.5
6.氯鹽	mg/L	15.0	14.0	13.3	14.4	11.0	14.4	250
7.硫酸鹽	mg/L	52.3	51.3	44.9	50.0	42.5	56.6	250
8.氟鹽	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	0.16	<0.1	<0.1	0.8
9.氨氮	mg/L	ND	<0.02	<0.02	<0.02	ND	<0.02	0.1
10.亞硝酸鹽氮	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1
11.硝酸鹽氮	mg/L	3.41	3.23	3.29	3.29	3.84	4.16	10.0
12.總溶解固體量	mg/L	281	237	263	255	243	251	500
13.總硬度	as mg CaCO3/L	158	157	157	154	157	161	300
14.鐵	mg/L	<0.005	0.00666	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
15.錳	mg/L	0.00180	0.00102	0.00020	0.00034	0.00023	0.00051	0.05
16.大腸桿菌群	CFU/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	6
17.總菌落數	CFU/mL	2	<1	<1	<1	<1	12	100
18.陰離子界面活性劑	mg/L	<0.05	ND	<0.05	<0.05	<0.05	ND	0.5
19.銻	mg/L	0.00010	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00014	0.00019	0.05
20.鎘	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
21.鉛	mg/L	0.00016	<0.0001	0.00035	0.00014	<0.0001	ND	0.01
22.砷	mg/L	0.00014	0.00012	0.0012	<0.0001	<0.0001	0.00016	0.01
23.硒	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.01
24.汞	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	<0.0002	0.001
25.銀	mg/L	<0.0001	ND	<0.0001	ND	<0.0001	<0.0001	0.05
26.銅	mg/L	0.00054	0.00052	0.00083	0.00064	0.00073	0.00059	1.0
27.鋅	mg/L	0.00366	0.00615	0.00959	0.00675	0.00570	0.00260	5.0
28.鎳	mg/L	0.00072	0.00021	0.00032	0.00024	0.00017	0.00135	0.02
29.鎘	mg/L	0.00431	0.00688	0.00778	0.00901	0.00718	0.00819	2.0
30.銻	mg/L	<0.0001	<0.0001	ND	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.01
31.鈾	mg/L	<0.05	0.059	<0.05	<0.05	ND	<0.05	0.2
32.氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0003
33.1,1-二氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.007
34.1,1,1-三氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.20
35.四氯化碳(四氯甲烷)	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
36.1,2-二氯乙烷	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
37.苯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
38.三氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
39.對-二氯苯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.075
40.總三氯甲烷	mg/L	ND	ND	<0.00152	<0.00152	ND	<0.00152	0.08
41.二氯甲烷	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
42.鄰-二氯苯(1,2-二氯苯)	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.6
43.二甲苯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.5
44.甲苯	mg/L	<0.001	<0.001	ND	ND	ND	ND	0.7
45.順-1,2-二氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.07
46.反-1,2-二氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1
47.四氯乙烯	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
48.達馬松	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
49.大刺松	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
50.亞素靈	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.003
51.巴拉松	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
52.一品松	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
53.靈丹	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0002
54.安殺番	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.003
55.巴拉刈	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
56.丁基拉草	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
57.2,4地	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.07
58.納乃得	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
59.加保扶	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
60.滅必靈	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02
61.酚類	mg/L	<0.001	ND	ND	ND	ND	<0.001	0.001
62.氰鹽	mg/L	ND	ND	ND	<0.004	<0.004	ND	0.05
63.溴酸鹽	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
64.菌乙酸類	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.06
65.錳	mg/L	ND	<0.0001	ND	ND	ND	ND	0.07
66.鉍	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00013	0.07

(二)建立各井水質資料

原規劃於混合原水及混合清水處各一點進行監測，惟在試車及操作期間曾有原

水濁度升高情形，為了解各井的水質資料，以提供操作人員進行水源調配，故針對各井分別施作採樣口（如圖 14），當混合原水變

化時，可以針對每口井進行分析，以利原水調配。

(三)地下井井口改善，避免濁度升高：

本次建築工地地下水作為抗旱民生用水，運作期間水質安全方面均符合原規劃，惟 5 月底第 1 次降雨時，部分建案出現原水濁度異常升高，當原水濁度約 20NTU 以上時即超過快濾桶可處理範圍，為確保供水水質只能暫停進水，經檢討查明後，發現較嚴重的部分係因井口環境不佳且缺少保護措施，大雨時地面泥水會順著井口流入淺層的地下水井中，造成原水濁度異常升高，經地下井口維護改善，並配合建立各口井水質資料以利調配，已大幅度降低雨天的影響。

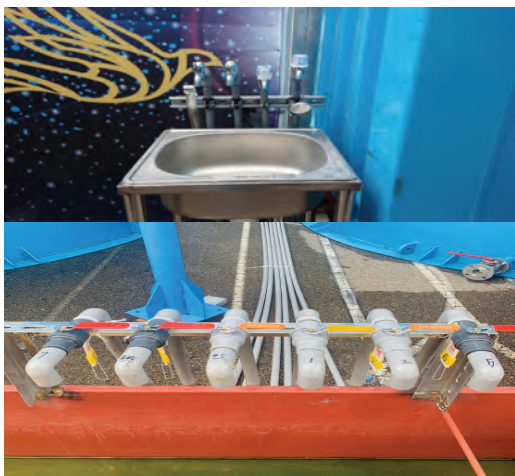


圖 14 各建築井水質檢樣點

五、結論

為因應嚴峻水情考驗，盡其所能供水，以免民眾遭受無水之苦，台水公司積極尋覓可用水源，如建築工地地下水、鑿井地下水及開發伏流水等措施。其中建築工地為首次挑戰，在考量開發新水源的同時，也肩負了確保新水源及供水水質安全的重要使命的

挑戰。

為確保供水安全無虞，台水公司針對諸多建案進行完整的水質安全評析，選擇水質較佳且有適當空間的場址，設置過濾及清毒等臨時淨水處理設備，此外更有臨時水質即時監測站，以 24 小時水質自動監測設備、生物性監測設備及人工檢測等三面向為水質多重屏障把關，另為因應水質異常情形發生，訂定「台中市建築工地地下水使用水質安全監控與管理 SOP」作為採取應變措施之依據。此外，運用科技工具，各案成立 line 水質群組，即時進行指導與協助，並透過無線網路隨時將水質監測資料傳送至「供水監控平台」、「水情資訊網」供相關人員即時掌握水質資料及變化趨勢，相關作為可作為未來相關緊急淨水設備設置之參考。

經由完善的水質監控及相關管理措施，在使用建築工地地下水為自來水水源近 2~4 個月的期間，水質得以穩定的供應，也獲得用水各界的認同，自 110 年 4 月 30 日開始出水至同年度 9 月 15 日止建築工地地下水總出水量為 856 萬噸，對於抗旱期間挹注台中民生用水有很大的幫助。

參考文獻

1. Departments of utilities of City of Palo Alto, "Groundwater Pumping From Building Sites", departments of utilities, 2015
2. Departments of utilities of City of Palo Alto, "Regulations for Groundwater Dewatering during Construction of Below Ground Structures", A How-to Guide to Meeting City of Palo Alto Dewatering Requirements, 2020

作者簡介

林正隆先生

現職：自來水公司總管理處水質處組長

專長：水質異常改善、飲用水處理藥劑、淨水改善

刁文儀女士

現職：自來水公司總管理處水質處工程師

專長：水質異常改善研究、飲用水處理藥劑研究、水質監測儀器

賴明芬女士

現職：自來水公司總管理處水質處工程員

專長：水質異常改善研究、化學分析

吳宗昱先生

現職：自來水公司總管理處水質處工程員

專長：環境工程

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

一、目的

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

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣壹萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。
上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，每類別推薦 3-4 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5 ~ 7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評：

1. 評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。
2. 同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三)選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

應用拉曼光譜儀檢測自來水的硬度

文/楊秉霖、呂永德

摘要

水中的硬度為 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 濃度的總含量，其中水的硬度可被區分為 4 個等級：第 1 級為軟水：總硬度 0~60 mg/L；第 2 級為中等軟水：總硬度 60~120 mg/L；第 3 級為硬水：總硬度 120~180 mg/L；第 4 級為超硬水：總硬度 180 mg/L 以上。而硬水依其是否可經煮沸去除，又可分為暫時硬水及永久硬水兩類，暫時硬水中主要含碳酸氫鹽（如 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ）和碳酸鹽（如 MgCO_3 ）等化合物組成，可經由煮沸而除去。另永久硬水中主要含 CaSO_4 、 MgSO_4 、 CaCl_2 、 MgCl_2 等化合物組成，無法經煮沸去除，只能由蒸餾或離子交換法等方式處理。現今科學儀器在非破壞性的檢測技術上有大幅的進步，因此，本研究採用了拉曼光譜儀對臺灣北部及南部的自來水樣品的硬度進行分析，並量測自來水樣品的彎曲振動與伸縮振動拉曼光譜特徵峰比值，並發現彎曲振動與伸縮振動拉曼光譜特徵峰比值與自來水樣品的硬度成正比。

關鍵字：拉曼光譜儀、X 射線螢光光譜儀、彎曲振動、伸縮振動

一、前言

水是生物體維持生命所必需物質，人體中水占的比例約 70%，飲用水更是人類每天生活所必需，其重要性不言而喻，而「硬度」更影響自來水口感的重要指標，依據飲用水水質標準規定自來水總硬度最大限值為

300 mg/L（以 CaCO_3 計算）。

現今自來水硬度檢測方式，主要為感應耦合電漿原子發射光譜法（ICP-AES）、原子吸收光譜法、X 射線螢光光譜法、EDTA 滴定法等，其中原子吸收光譜法、X 射線螢光光譜法及 EDTA 滴定法需對待測之自來水樣品進行處理，雖然應耦合電漿原子發射光譜法（ICP-AES）不需對自來水樣品進行額外處理，但儀器操作繁雜且設備極為昂貴，如使用拉曼光譜儀對自來水樣品進行分析，其優點在於儀器操作簡單，自來水樣品不需進行處理。

本研究針對臺灣北部、南部自來水及原水樣品（如圖 1）以拉曼光譜儀進行分析，得到了自來水樣品的彎曲振動與伸縮振動拉曼光譜特徵峰強度，並進一步計算比值。



圖 1 自來水及原水樣品取樣地點



二、研究方法

本研究分析之自來水樣品來自臺北市文山區及臺南新化區用戶端，原水則來自青潭堰及南化水庫，並於實驗室製備蒸餾水，利用科學儀器分析進行驗證，本次分析使用的儀器為：(1) 拉曼光譜儀 (2) X 射線螢光光譜儀，分別自來水樣品進行檢測分析，其中利用 X 射線螢光光譜儀測定自來水樣品樣品 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 含量及總硬度（以 CaCO_3 計算），以驗證拉曼光譜儀分析的結果。

(一) 使用拉曼光譜儀分析

拉曼光譜法系一種振動光譜技術，拉曼效應為當分子振動時，分子鍵極化率改變所產生之非彈性散射輻射。拉曼光譜系利用單色光源（通常為雷射光）將樣品激發至虛態而產生。若為彈性光散射（波長未改變）稱為瑞利散射，除用來標記雷射光波長外，非拉曼光譜學之研究範疇。當檢品鬆弛至與初始狀態不同之振動能狀態時，散射光能量與原來不同，稱為位移，相當於最終振動能態與初始振動能態間之能量差。此類「非彈性散射」光即稱為拉曼散射。於 106~108 個入射光子中約僅有 1 個光子會產生拉曼散射，因此拉曼光譜儀採用雷射光為光源。當拉曼散射光子之能量較激發光源低時，稱為史托克斯散射；反之則稱為反史托克斯散射。

本研究使用拉曼光譜儀分析（如圖 2 修改自 Smith and Clark, 2004）之優勢在於無須破壞檢品（固體、半固體、液體或較少使用之氣體），即可快速並準確地進行測量，且其樣品處理步驟簡單或甚至無須處理。

拉曼光譜包含樣品基本振動模式之資

訊，可藉此瞭解樣品振動型態。訊號一般為可見光或近紅外光，故可有效地與光纖技術並用，亦即可從任何雷射光可穿透介質中取得訊號，例如：玻璃、塑膠或水溶液檢品。本研究使用美國 Enwave 拉曼光譜儀，光源具有波長為 532 奈米 (nm) 的鐳射（如圖 3）檢測水樣品。

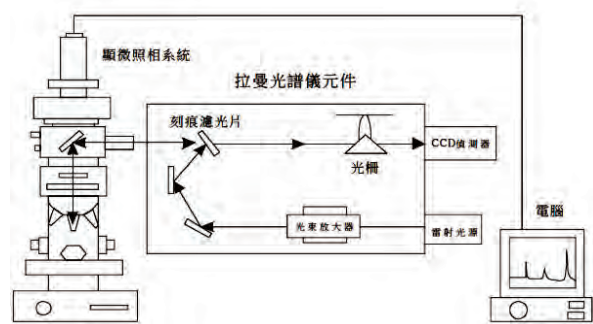


圖 2 顯微拉曼光譜儀結構圖

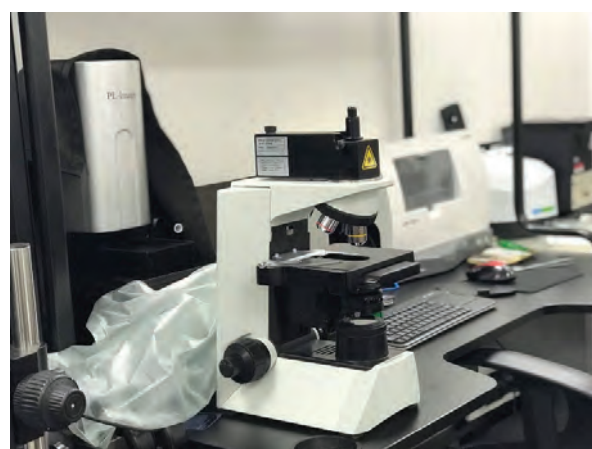


圖 3 美國 Enwave 拉曼光譜儀光源 532 奈米

(二) 使用 X 射線螢光光譜儀分析

X 光譜法為學術界與工業界最常用的光譜分析檢測方法之一，因具有非破壞性檢驗的特性，且 X 光 (X-Ray) 具有比紫外線、可見光與紅外線更高的能量，因此有相當好的靈敏度。而 X 光螢光的原理，是利用一束 X 光照射待測樣品，X 射線光子與原子產生碰撞，樣品組成原子之內層軌域電子在獲得

足夠能量之後，會被激發成帶能量之光電子，於內層軌域出現一個空洞，使整個原子處於不穩定的激發態。外層軌域的高能階電子會自發地跳躍至低能階軌域，以填補內層軌域的空洞，而再度達到穩定的基態，由於能階之間的能量差而釋出一特徵 X 射線，此能量不在原子內被吸收，而以輻射形式發射出（如圖 4），稱為 X 光螢光。因此，利用 X 光螢光來偵測並分析物質，應可對化學成分進行定性分析甚至定量分析，且得到的資料結果具有一定的參考價值。本次利用儀器為型號島津 EDX-8000 的 X 射線螢光光譜儀（如圖 5）對水樣品儀進行定量的化學分析以驗證拉曼光譜儀檢測的結果。

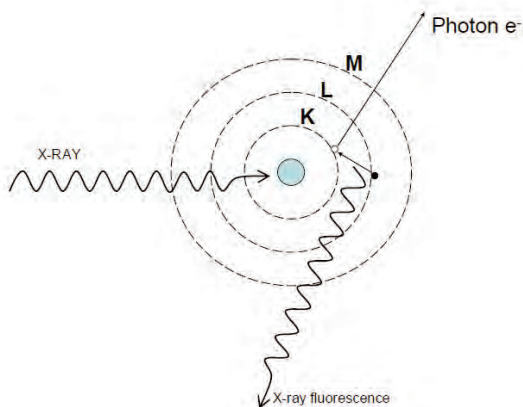


圖 4 X 光螢光生成示意圖



圖 5 日本島津 EDX-8000 X 射線螢光光譜儀

三、分析結果

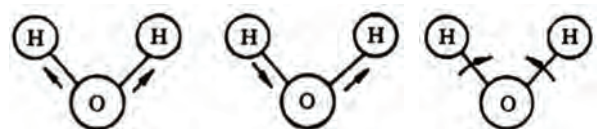
本研究分析之水樣品為臺北市文山區用戶端自來水（編號 1）、青潭堰原水（編號 2）、臺南新化區用戶端自來水（編號 3）、南化水庫原水（編號 4）及蒸餾水（編號 5），先行以 X 射線螢光光譜儀測試水樣品之硬度（如表 1），以利拉曼光譜儀檢測結果比對。

表 1 水樣品之硬度

水樣品編號	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	總硬度 (mg/L)
1 臺北文山區	7.9	3.1	32.3
2 青潭堰原水	8.7	3.6	35.6
3 臺南新化區	38.5	12.8	146.2
4 南化水庫原水	42.1	13.3	165.4
5 蒸餾水	0	0	0

(一)水樣品的拉曼光譜

水分子是由一個氧原子和兩個氫原子組成的分子，O-H 鍵之間的鍵角為 105°，鍵角 ∠HOH 發生週期變化而鍵長不變的振動稱為彎曲振動，原子沿鍵軸方向伸縮，O-H 鍵長發生變化而鍵角不變的振動稱為伸縮振動，其中依據對稱性質的不同又分為對稱伸縮振動和不對稱伸縮振動（如圖 6）。



對稱伸縮振動 不對稱伸縮振動 彎曲振動

圖 6 水分子振動方式

另外，自然界中祖母綠屬於環狀矽酸鹽礦物其晶體結構中有可容納 H₂O、CO₂ 及鹼



金屬離子的六方環狀孔道。依據 Wood 和 Nassau(1967) 的研究，在祖母綠中的水分子存在兩種類型，將以 H-H 鍵方向垂直於環面的稱為 I 型水，平行於環面的稱為 II 型水（如圖 6）。在拉曼光譜中，I 型水譜帶，位於 3594 cm^{-1} 附近；II 型水有一個譜帶，在拉曼光譜 3652 cm^{-1} 附近位置。由於 I 型水的一個 H 受鹼金屬離子影響，其頻率隨鹼金屬離子替換而變化，為非破壞檢測技術中區別天然祖母綠與人造祖母綠重要的方式。

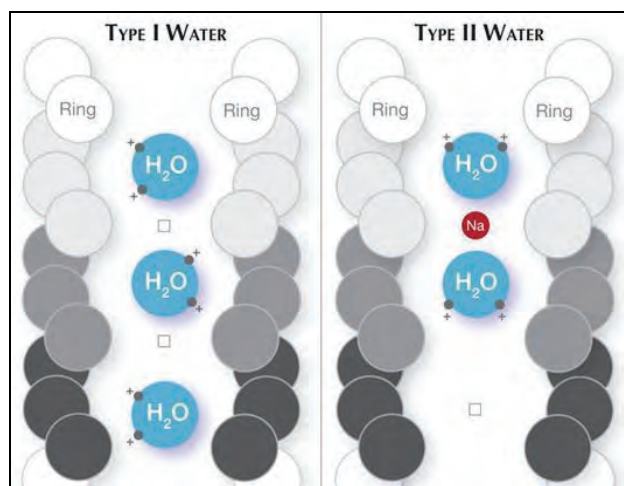


圖 6 祖母綠結構中的水分子類型

於常溫常壓環境下，水分子有 3 類振動，水分子應該有 3 條基本振動拉曼特徵譜線，由於分子的振動拉曼圖譜與紅外吸收光圖譜相對應（如圖 7），根據 Cheng Guangxu 的研究計算，水分子對應於 3 種振動方式的拉曼譜線分別位於： 1595 cm^{-1} （彎曲振動）、 3652 cm^{-1} （對稱伸縮振動）和 3756 cm^{-1} （不對稱伸縮振動）。由於水分子是較差的拉曼散射體，雖有上述 3 種拉曼理論動振動模式，但實測的水分子拉曼譜與理論值有較大的差異。實驗結果中 3756 cm^{-1} 並未顯現，在 1610 cm^{-1} 處有一相對較弱的峰（對應於彎曲

振動），而在 $3200\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ 有一相對較強的拉曼譜帶（伸縮振動），於實務應用上，水的史托克斯激光拉曼譜線中兩個特徵峰，為分析不同水樣研究的重要依據。

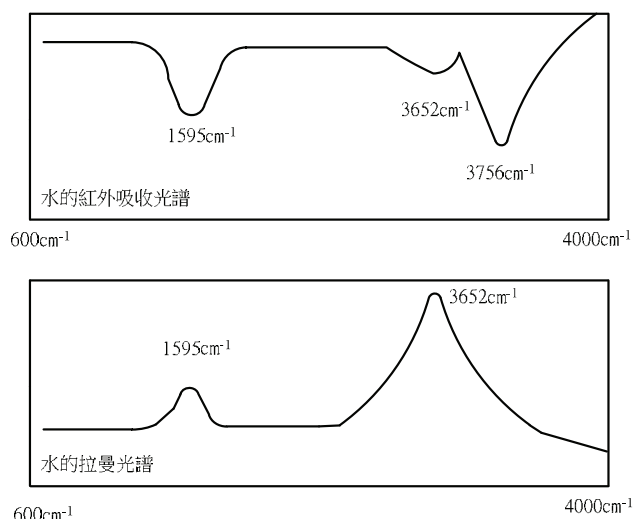


圖 7 水的典型紅外吸收光圖譜與拉曼圖譜

(二)水樣品彎曲和伸縮振動拉曼光譜的比較

圖 8 為蒸餾水樣品的拉曼光譜，由圖可知拉曼譜線中出現兩個典型的特徵峰，「特徵峰 1」為伸縮振動造成；「特徵峰 2」為彎曲振動造成，試驗結果與理論結果雷同。依據圖 8，可以進一步求出蒸餾水伸縮振動拉曼特徵峰強度 (I_1) 和彎曲振動拉曼特徵峰強度 (I_2)，惟求得的伸縮振動特徵峰為平均值。

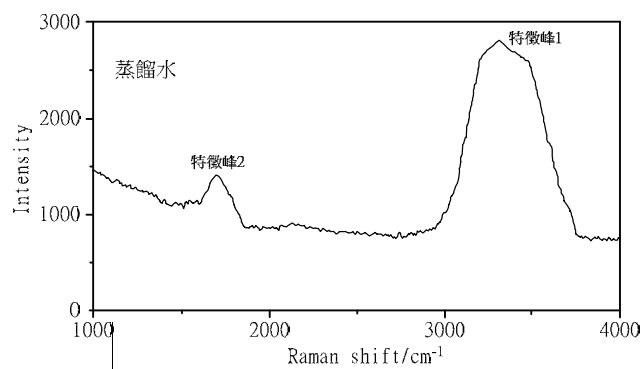


圖 8 蒸餾水的拉曼光譜

圖 9~12 為不同地區取得的自來水及原水水樣品試驗結果的拉曼光譜，可求得不同地區水樣品的伸縮振動拉曼特徵峰強度(I1)和彎曲振動拉曼特徵峰強度(I2)，不同地區水樣品的拉曼特徵峰強度可整理出表 2，進一步比較圖 8 和 9~12 發現，4 種水樣品的拉曼光譜與蒸餾水的拉曼光譜明顯不同。蒸餾水中水分子的伸縮振動拉曼特徵峰的強度明顯大於彎曲振動拉曼特徵峰，其相對特徵強度的大小可以用兩峰強度的比值 (I2 / I1) 來表示，試驗結果如表 2 所示。

在南部地區南化水庫原水及新化區用戶端自來水屬於硬水，其伸縮振動拉曼特徵峰的強度要小於彎曲振動拉曼特徵峰的強度，與蒸餾水的拉曼散射規律相反；在北部

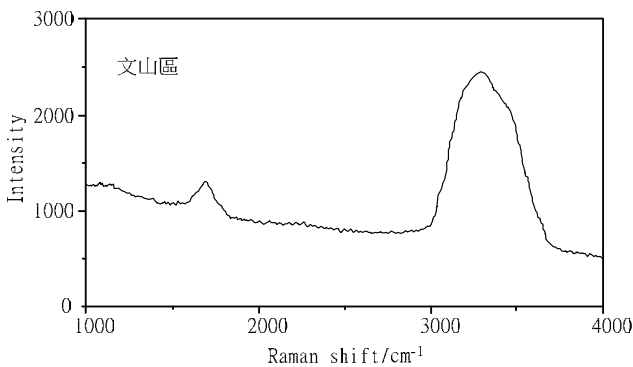


圖 9 文山區水樣品的拉曼光譜

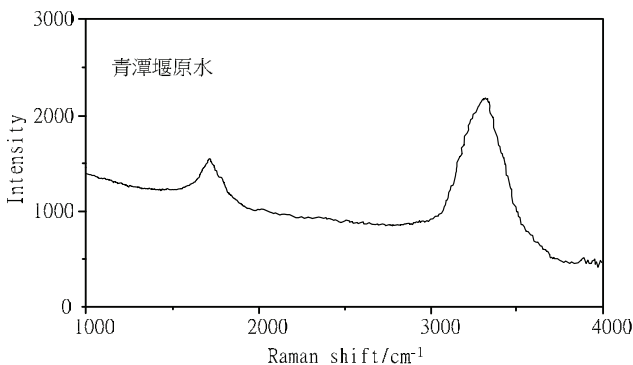


圖 10 青潭堰原水的拉曼光譜

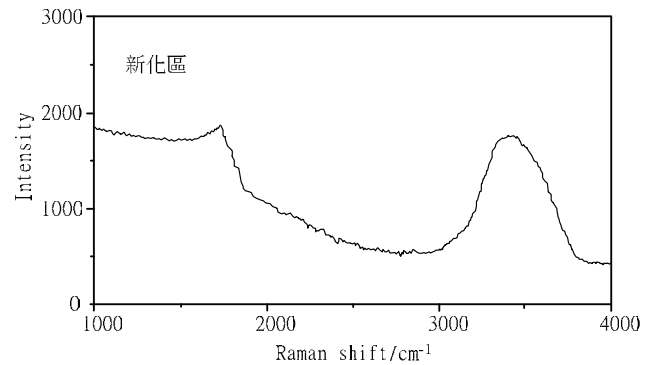


圖 11 新化區水樣品的拉曼光譜

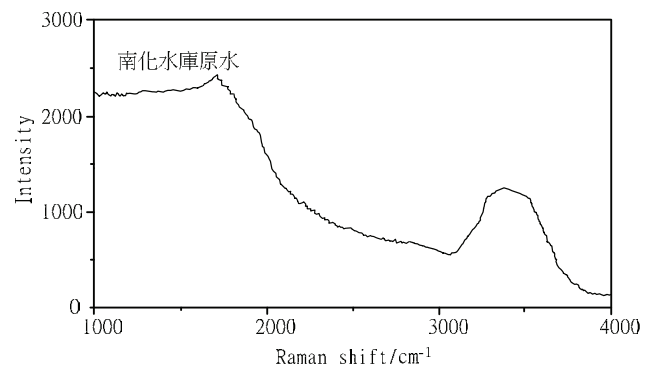


圖 12 南化水庫原水的拉曼光譜

表 2 水樣品之硬度

水樣品編號	I2	I1	I2 / I1
1 臺北文山區	1301	2456	0.53
2 青潭堰原水	1556	2196	0.71
3 臺南新化區	1873	1787	1.05
4 南化水庫原水	2413	1259	1.92
5 蒸餾水	1403	2796	0.50

地區青潭堰原水及文山區用戶端自來水屬於軟水，其伸縮振動拉曼特徵峰的強度則大於彎曲振動拉曼特徵峰的強度，與蒸餾水的拉曼散射規律相符。並且隨著水樣品總硬度的減少，彎曲振動峰與伸縮振動峰強度的比值 (I2 / I1) 隨之減少。

目前學術界對於水的伸縮振動特徵峰而言，關於彎曲振動特徵峰的研究較少，有

關彎曲振動和伸縮振動強度比 (I_2 / I_1) 的實務研究如鳳毛麟角。液態水中除了存在單個的水分子外，還存在著由若干水分子通過氫鍵結合的水分子團，這種團簇結構受溶解於水中的其他物質如各種離子等因素的影響，會對水的光譜產生影響。水中的 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 等離子與水分子作用，使水分子間的氫鍵被削弱，離子的濃度越大，分子間的氫鍵作用被削弱得也就越強。根據水結構的混合模型，在溶液中至少存在兩種水分子，氫鍵作用的水分子和因為離子作用使氫鍵完全破壞的水分子。在原水階段，由於水的硬度較大，水中的 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 離子濃度也較大。 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 離子既與水分子形成水合離子，又通過離子的電荷影響水分子之間的氫鍵，改變水的結構。拉曼光譜的測試表明， Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 離子濃度越大，水分子間的氫鍵明顯減小，造成沒有氫鍵作用的水分子的數目增加。在離子周圍的高電場作用下，水分子的有序度增加，與 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 離子濃度增加有密切關聯，水的彎曲振動特徵峰和伸縮振動特徵峰強度的比值 (I_2 / I_1) 增大，這與 Na^+ 、 K^+ 等陽離子對水的拉曼譜的影響在理論上是一樣的。故水的硬度越大，(I_2 / I_1) 比值越大，與表 1 的測試結果相對應不同地區取得的自來水及原水水樣品試驗結果的拉曼光譜，可以看出，隨著水的總硬度的增加，其拉曼譜的彎曲振動特徵峰強增加，而伸縮振動特徵峰強減小。

五、結論

非破壞檢測技術對現代科學研究日益重要，本研究針對不同地區水樣，採用拉曼

光譜法，針對水樣的硬度參數進行了研究，並且利用 X 射線螢光光譜儀進行定量分析比對 (表 1)。發現，彎曲振動拉曼特徵峰與伸縮振動拉曼特徵峰的強度的比值隨水樣品中的總硬度減少而減小。故用拉曼光譜可直接檢測自來水的總硬度，本研究為自來水的水質分析提供全新而簡易的方式，使自來水檢測技術更加多元。

參考文獻

- 1.Cheng Guangxu. Raman and Brillouin Scattering-Principle and Application. Science Press, 30-151, 2001.
- 2.Colomban, Ph. Polymerization degree and Raman identification of ancient glasses used for jewelry, ceramic enamels and mosaics. Journal of Non-Crystalline Solids 323, 180-187, 2003.
- 3.Eisenberg, D.; Kauzmann, W. The structure and properties of water. Oxford University Press. 1-7, 1969.
- 4.Franks, F. Water: a comprehensive treatise, Vol. 1. Plenum Press. 1972.
- 5.George A. Jeffrey. An Introduction to Hydrogen Bonding. Oxford University Press. 135-152, 1977.
- 6.Li Fuzhi, Zhang Xiaojian, L Mujian. Study on liquid water cluster with ^{17}O NMR. Acta Scientiae Circumstantiae, 24(1):6~9, 2004.
- 7.Ramli, Z., Nik Abdul Rahman, N.H.S. and Samian, A.L. X-ray fluorescent analysis on Indo-Pacific glass beads from Sungai Mas archaeological sites, Kedah, Malaysia. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 287:741-747, 2011.
- 8.Schwegler, E.; Galli, G.; Gygi, F. Physical Review Letters, 84:2429, 2000.
- 9.S. Shona, S. M. John, J. T. Patrick. Water quality monitoring by Raman spectral analysis. 184, 2005.

10. Smith, G. D. and Clark, R. J. H. Raman microscopy in archaeological science. Journal of Archaeological Science, 31:1137-1160, 2004.
11. Wood D L, Nassau K. Infrared spectra of foreign molecules in beryl. Journal of Chemical Physics, 47(7):2220-2228, 1967.
12. 方建能、余炳盛。拉曼光譜儀：古器物與玉石鑒定的新利器。臺灣博物，24（3）：78-83，2005。
13. 施正雄。儀器分析原理與應用。五南圖書出版公司：214，2012。

作者簡介

楊秉霖先生

職務：臺北自來水事業處工程總隊 三級工程師

專長：輻射源操作、非破壞性檢測、遺址監看、自來水工程設計及施工

呂永德先生

職務：台灣中央珠寶鑑定所 所長

專長：合成材料、處理材料與熱處理利用高階精密儀器進行圖譜研究，運用現代科學的方法對大量的原石和成品進行研究。

看見澄清湖

文/林頌富

摘要

觀光園區是二十一世紀的「綠色黃金」，澄清湖天然條件優越，環境清幽，栽植多樣性林木花卉，湖光山色風景秀麗，而有「台灣西湖」之稱，知名歌星伍佰創作的歌曲「挪威森林」中的歌詞（～那裡湖面總是澄清，那裡空氣充滿寧靜～），正是形容澄清湖風景區意境的最佳寫照。

台水公司特別用心經營維護如此寶貴的水資源環境，使其保有完整的動、植物自然生態，在一年四季中，都可以看到各類花卉盛開和昆蟲鳥類(大冠鷲、鳳頭蒼鷹、黃鸝、五色鳥等)棲息築巢的景觀，樹木散發出天然芬多精更大大改善了空氣品質，是很值得各地遊客到此一遊踏青郊遊的好去處。

如何在現有自然生態環境與歷史文化資源，改善觀光設施，營造優美景觀，讓旅客入園休閒活動時，能有愉快的遊憩體驗，是澄清湖經營管理重要的課題之一。

近年來，廣續積極擴大招募培訓建構優質環境教育志工團隊，並與嘉南藥理大學、國立科學工藝博物館等績優單位策略聯盟互動交流，全力推廣環境教育，於 2020 年 9 月 1 日舉辦「看見澄清湖一甲子風華」一系列活動後，相關慶祝活動經各大傳播媒體深度採訪廣度報導後，增加了澄清湖風景區的正向宣傳效果，吸引無數團體及遊客入園參觀及舉辦活動。

園區於 2014 年 3 月 25 日取得「高質水環境教育園區」認證，2020 年 11 月獲得行政院環保署頒發綠遊環教場所人氣王、2021 年 11 月獲得環教園區「評鑑優異」，經濟部水利署「觀光遊憩活動水庫現地考核」評定為「優等」，2021 年 12 月獲頒高雄市社會教育獎等殊榮肯定。

園區內栽種 60 種以上特色品種，逾 1200 株玫瑰花園，打造成夢幻婚紗新亮點，更吸引遠從屏東慕名而來的新人前來取景，拍攝逾 300 張專業唯美婚紗照，儼然成為台灣南部拍攝婚紗照幸福浪漫場域的首選！

前監察院張博雅夫婦、知名電視節目主持人田文仲、天主教高雄教區劉振忠總主教等人亦特別專程前來園區參觀。大愛電視台更於 2021 年 12 月間專程前來，拍攝由知名演員楊貴媚、檢場領銜主演的「天下第一招」3 天場次的外景。高雄市觀光騎警隊更將澄清湖風景區列入常態巡邏園區，與入園遊客合影互動，增添園區無限的光彩。

澄清湖以「創造幸福、盡在澄湖」為願景，透過澄清湖的優質經營管理與環境教育課程活動，讓大眾看見澄清湖風景區推動生態環境教育的成果，進而宣導民眾知水、愛水及珍惜水資源的觀念和行動，全民共同來營造永續自然環境，建構澄清湖實體生態博物館。

關鍵字：澄清湖、綠色黃金、環境教育、生態博物館

一、前言

原名「大貝湖」的夢幻澄清湖(圖 1)，面積約 375 公頃(湖面約 103 公頃)，係曹公圳灌溉系統的一部分，初為調節農田灌溉的埤塘，1955 年立法院張道藩院長蒞臨參觀，譽為「台灣第一風景區」，故有「台灣西湖」之美譽，更有古老傳說高雄市的龍脈即在澄清湖園區。

澄清湖風景區自 1960 年 9 月 1 日由前台灣省政府周至柔主席親自蒞臨剪綵正式對外開放，已逾 60 年(即一甲子)，對許多高雄人來說，澄清湖更是生命成長中的一段風景，小學時會跟著學校老師到澄清湖遠足踏青，長大後更是會來澄清湖散步烤肉談戀愛，即使在澄清湖風光半世紀後，仍有著深刻的情感。

如何在現有自然生態環境與歷史文化資源，改善觀光設施，營造優美景觀，讓旅客入園休閒活動時，能有愉快的遊憩體驗，是澄清湖經營管理重要的課題之一。

台水公司為了慶祝澄清湖風景區開放 60 周年，於 2020 年 9 月 1 日起特別規劃辦理「看見澄清湖一甲子風華」(圖 2)一系列活動，推出澄清湖之美、讀寫日常、澄清湖姊妹湖田澤湖之美的攝影展，憶澄清湖風華、水源來如此講座，以及親子喜愛的剪紙創藝 DIY、創藝彩葉貼貼樂、尋找澄清湖寶藏趣等環境教育課程。

相關一甲子慶祝活動，經各大傳播平面、電子媒體深度採訪廣度報導後，增加了澄清湖風景區的正向宣傳效果，吸引無數團體及遊客入園參觀及舉辦活動。



圖 1 夢幻澄清湖



圖 2 澄清湖一甲子風華

二、生態尋寶趣

(一)高質水環境教育園區

澄清湖是高雄地區重要的水源地，蘊藏著豐富的自然生態(動、植物)及人文景觀，湖光山色風景秀麗，於 2011 年招募成立志工大隊，近年來，廣續積極擴大招募培訓建構優質環境教育志工團隊(圖 3)。

2020 年 11 月 18 日嘉南藥理大學(圖 4)前來本園區進行戶外環境教育活動，並與本處簽訂「水資源保育環境教育合作備忘錄」。2021 年 3 月 4 日國立科學工藝博物館由陳訓祥館長率領精英團隊(圖 5)至本園區參訪，並進行環教業務交流座談會，互相結盟全力推廣環境教育。



圖 3 澄清湖優質志工團隊



圖 4 嘉南藥理大學簽訂備忘錄



圖 5 科學工藝博物館陳訓祥館長(右 3)

園區於 2014 年 3 月 25 日取得「高質水環境教育園區」認證，2020 年 11 月 17 日榮獲環保署頒發「綠遊環教場所人氣王」獎座(圖 6)。2021 年度獲 1.高雄市政府教育局頒發推展社會教育有功團體(圖 7)，2.行政院環境保護署頒發「環境教育園區評鑑優異」(圖

8)，3.經濟部水利署「觀光遊憩活動水庫現地考核優等」等榮譽獎項的肯定。

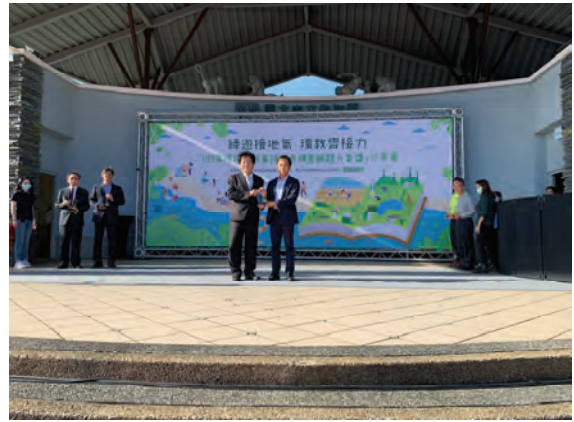


圖 6 綠遊環教場所人氣王



圖 7 高雄市社會教育有功團體



圖 8 環境教育園區評鑑優異

(二)都會森林生態環境

澄清湖園區早期有計畫栽種火焰木、黃金風鈴木、南洋櫻花、粉紅風鈴木、黃槐等全球各地多樣性特色樹木、花草，彷彿是植物聯合國場域，因而吸引大冠鷲、鳳頭蒼鷹、黃鸝、五色鳥、綠繡眼、白鷺、水鴨等鳥類、昆蟲(蝴蝶、蜻蜓)與蛙類等前來覓食、棲息、築巢、繁殖，自然而然的形成了都會森林生態環境，園區充滿芬多精，特別受到附近長庚醫院醫護人員和各地旅客們的青睞，休假期間很喜歡來園區跑步、活動。

前監察院長張博雅夫婦於 2020 年 10 月 4 日中秋節連假期間，特南下高雄澄清湖風景區踏青郊遊(圖 9)，聆聽天籟般的蟲鳴鳥叫，所演奏出清新療癒的樂音，及觀賞古色古香亭台樓閣等幽美景色，讓人有如遠離塵囂的感覺。



圖 9 前監察院長張博雅(左 2)

全台最大的澄清湖「玫瑰花園」，栽種 60 種以上特色品種，逾 1,200 多棵玫瑰花，一年四季均綻放各種不同顏色的花朵，迎風搖曳，美不勝收。2021 年 2 月 1 日知名電視節目主持人田文仲(圖 10)專程前來園區參觀總統行館特區、雙月牙灣、玫瑰花園、情人

步道及第五景深樹鳴禽碑記。



圖 10 田文仲(左 1)參觀澄清湖

2021 年 4 月 24 日天主教高雄教區劉振忠總主教(圖 11)亦前來玫瑰花園參觀，看到 21 世紀全球高評價，最香最白的玫瑰，若望保祿二世花種，特別親切，也很有感觸，劉總主教表示，當初他就是若望保祿二世所任命的嘉義教區總主教及高雄教區助理主教，因此，對於澄清湖風景區能有如此美麗浪漫的花園，留下了深刻美好的印象。



圖 11 天主教高雄教區總主教(左 2)

夢幻婚紗新亮點玫瑰花園，經自由時報 2021 年 1 月 24 日報導後，1 月 26 日立即吸引遠從屏東慕名而來的新人前來取景(圖 12)，拍攝逾 300 張專業唯美婚紗照，浪漫幸福指數破百！儼然成為台灣南部拍攝婚紗

照的首選！



圖 12 夢幻婚紗玫瑰花園

(三)台灣吳郭魚的故鄉

1946 年，被徵調到新加坡服役的吳振輝、郭啟彰先生，將當地的日本養殖場孵化約 5 天的『帝土魚』魚苗，帶回台灣養殖。

1948 年高雄縣長毛振寰，為了感念吳、郭先生在高雄縣境內大貝湖（即今之澄清湖）放養這種魚苗頗具績效，乃按兩人姓氏，將這種南洋鯽仔稱之為「吳郭魚」。1949 年台灣省政府農林廳正式發布將此魚命名為「吳郭魚」。(摘錄行政院農業委員會網站)

三、遊憩景點

(一)江南園林風格

澄清湖構建之亭台樓閣，概仿大陸各式古樸典雅的江南園林風格，闢建有三橋、六勝、八景。三橋是九曲橋、鵲橋和吊橋；六勝是自由亭（仿唐代）、更上台、豐源閣（仿明代）、百花岡、富國島和千樹林；八景為梅隴春曉、曲橋鉤月、柳岸觀蓮、高丘望海、深樹鳴禽、湖山佳處、三亭攬勝和蓬島湧金（得月樓，圖 13）。

2021 年 11 月 26 日行政院政務委員張景森前來澄清湖風景區參觀視察，並拾級 169

階梯登上澄清湖最高點中興塔(圖 14)頂樓，俯瞰風景區周遭全景，對於澄清湖風景區自然的都會森林生態環境，樹木在空氣中無形散發出芬多精，到處充滿花香鳥語，所演奏出清新療癒的樂音，留下了美好深刻的印象。



圖 13 得月樓



圖 14 中興塔(張景森,右 2)

(二)人文藝術景觀

1.博物館專區

(1)國立原住民族博物館

原住民族委員會為具體推動原住民族文化保存及推廣工作，向國內及國際社會展

現臺灣主體性多元文化面貌，規劃於原澄清湖青年活動中心場域，興建「國立原住民族博物館」，基地面積約 14 公頃，興建計畫於 2019 年 4 月奉行政院核定為重大建設，預計 2027 年開館營運，屆時將是典藏臺灣原住民族文化資產及國際原住民族文化交流之平臺，並成為南島文化研究重心。

(2) 私立世界收藏博物館

為原宮殿式仿清代箭樓建築的淡水館，樓匾「眾樂館」係王雲五於 53 年 3 月以草書題署，進行重新整理修復工程後，辦理舊建築物活化再利用招商，由私人企業得標經營私立世界收藏博物館使用，收藏並展出無數奇珍文物、藝術品。

2. 文學作品

「澄清湖八景」名稱，均由何應欽將軍邀請于右任等諸名家命名，再題詩刻石立碑在各景點旁，另園區內所闢建亭台樓閣之匾額，亦由各名家所題署，堪稱全台風景區中名家題匾署名最多之處。

澄清湖新詩(林頌富)

三亭攬勝迎春風，雕橋九曲在湖中；
蓬島湧金映彩虹，得月樓台水玲瓏。

曲橋虹影澄清湖，生態環境有保護；
浪漫風華一甲子，閤家同遊最幸福。

寧靜晨曦空氣新，樹木散發芬多精；
澄清湖面水澄清；歡迎遊客來踏青。

日出雲彩皆美景，繁花盛開水倒影；
蟲鳴鳥叫天籟音，自然療癒身心靈。

(三) 總統行館特區

澄清湖為全台灣保留最完整的總統行館特區，範圍約 12.5 公頃，包括激清樓、侍衛大樓、防核爆指揮中心、溫室花房等 4 大主題景點。進入行館特區的道路兩旁種植整排大王椰子樹迎賓，由於其高大挺拔，因此常被取諧音稱為澄清湖的「高樹（速）公路」。大愛電視台由知名演員楊貴媚、檢場(圖 15)領銜主演的「天下第一招」戲劇節目，更慕名於 2021 年 12 月間專程前來澄清湖畔雙月牙灣、椰林步道、噴水池、水漾會館拍攝 3 天場次之外景。



圖 15 楊貴媚(中)、檢場(左)到澄清湖拍片

(四) 迷宮花園

台水公司與高雄市政府 2013 年 9 月起，每期 3 年簽訂「澄清湖自來水觀光區開放高雄市民免費入園行政契約」，第 3 期 2020 年由高雄市投資 2400 萬元工程經費，將占地 0.6 公頃的原騎馬場區域，闢建為全國最大的迷宮花園，規劃種植樹蘭形成一對鴛鴦構圖造型的綠籬迷宮，及彩色涵管(管徑達 120 公分)組成路徑迷宮，並仿童話故事暨電影「魔戒」情節場景，精心打造童話哈比屋及野餐區等 4 大主題的都會親子樂園。

迷宮花園工程完工後，由台水公司於 2021 年 12 月 23 日正式對外開放，已成為全台最新奇、最熱門、最有特色的親子活動安全場域，更是獨步全台最新的打卡亮點。

高雄市觀光騎警隊亦配合澄清湖風景區迷宮花園開放(圖 16)，將澄清湖風景區列入常態定點巡邏園區，現場不定點與入園遊客合影互動，增添園區無限的光彩。



圖 16 騎警隊巡邏迷宮花園

四、結語

(一)觀光園區是二十一世紀的「綠色黃金」，澄清湖天然條件優越，環境清幽，栽植多樣性林木花卉，湖光山色風景秀麗，而有「台灣西湖」之稱，知名歌星伍佰創作的歌曲「挪威森林」中的歌詞（～那裡湖面總是澄清，那裡空氣充滿寧靜～），正是形容澄清湖風景區意境的最佳寫照。

(二)台水公司特別用心經營維護如此寶貴的水資源環境，使其保有完整的動、植物自然生態，在一年四季中，都可以看到各類花卉盛開和昆蟲鳥類(大冠鷲、鳳頭蒼鷹、黃鸝、五色鳥等)棲息築巢的景觀，樹木散發出天然芬多精更大大改善了空

氣品質，是很值得各地遊客到此一遊踏青郊遊的好去處。

(三)澄清湖以「創造幸福、盡在澄湖」為願景，透過澄清湖的優質經營管理，讓大眾看見澄清湖風景區推動生態環境教育的成果，進而宣導民眾知水、愛水、及珍惜水資源的觀念和行動，全民共同來營造永續自然環境，建構澄清湖實體生態博物館。

參考文獻

- 1.澄清湖觀光區二十年特刊 台灣自來水公司, 1991
- 2.澄清湖60年一甲子風華紀念冊 台灣自來水公司第七區管理處 2020
- 3.台灣自來水公司澄清湖網站
- 4.行政院農業委員會網站
- 5.林頌富詩集

作者簡介

林頌富先生

現職：自來水公司第七區管理處觀光課長、高雄市觀光協會理事、台南市文化資產保護協會理事
專長：環境教育、觀光導覽、文化資產、詩詞創作、測量工程、土地行政