# 自來水會刊第 39 卷第 1 期(153)目錄

## 實務研究

**老舊高地社區用戶加壓受水設備改善策略之探討**……曾彥中、陳信利、林清鑫、李嘉榮……1

## 本期專題　工程技術

**利用AMR流量計進行DMA夜間分步測試**……黃嘉昌、黃裕泰…… 8

**自來水幹管潛盾工程設計施工**……吳世紀……14

**台南高雄水源聯合運用調度輸水工程計畫執行現況與供水調配**……

……蕭任修、謝東穎、徐俊雄……27

**建構穩定節能的高地供水自動調配模式－以陽明山系統為例**……沈政南……41

**延性鑄鐵管耐震接頭（NS型）之引進－以台灣自來水公司為例** ……

……陳彥翔、林家煌、徐俊雄、李嘉榮……52

## 一般論述

**輸配水幹管鑽損修復求償及管線設備巡查機制**……李中彥、田友仲……63

**卡爾森「營養狀態指數（TSI）」探討** ……周國鼎……70

**大用水戶水量計最適口徑與智慧管理探討**……黃心怡、林浩淳、丁思賢、吳淑卿……79

## 學術活動

**赴里斯本參加2019國際水協會（IWA）理事大會紀實**……吳陽龍、王根樹……88

## 協會與你

**歡迎投稿 108年「每期專題」**……40

**中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法**……51

**封面照片：延性鑄鐵管　日本延性鑄鐵管協會（日本ダクタイル鉄管協会 Japan Ductile Iron Pipe Association）提供**

## 自來水會刊雜誌稿約

一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。

二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天等文稿。

三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。

四、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。

五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。

六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。

七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 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、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。

十、本會刊內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。

十一、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程料」。

---


## 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**
葉陳蓌

**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

印　　刷：松耀印刷企業有限公司
地　　址：台中市北區國豐街 129 號
電　　話：(04)22386769

# 老舊高地社區用戶加壓受水設備改善策略之探討

文/曾彥中、陳信利、林清鑫、李嘉榮

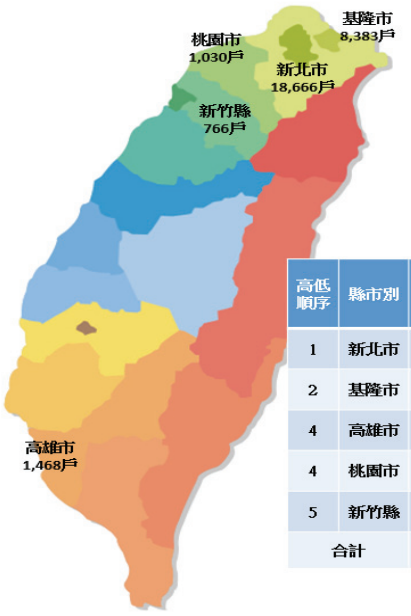
## 一、前言

鑒於早期政府相關法規或政策未臻完善，未明確規範建商若於自來水事業供水水壓未及之山坡地區域開發社區，對於自設用戶加壓受水設備供水所應負擔之責任與義務，故多數建商當時選用價格便宜之經濟管種及設備，完成初期設備新穎、運作良好，惟使用多年後因供水設備老舊或操作不當，造成社區內部管線漏水嚴重，除增加水資源浪費外，更可能因為漏水量持續增加，而產生安全性疑慮而危及生命財產，但因改善高地社區供水設備費用動輒數千萬元，住戶無力負擔龐大的設備修理經費，致漏水問題日益嚴重，卻遲遲無法解決。

台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)經 108 年調查其供水轄區內有 68 處老舊高地社區總計 3 萬 313 戶(詳圖 1)，多數集中在新北市及基隆市山坡地區域，經檢視其用水水費單據發現部分社區住戶每期漏水量甚至幾乎等同於當期之用水量，顯示高地社區漏水改善有其必要性與急迫性，為此，台水公司遂著手研擬老舊高地社區改善之策略方法，並提出具體之改善計畫報請經濟部轉陳行政院核定，希能有效解決國內目前高地老舊社區供水問題。

## 二、問題分析及改善策略

高地社區對於維護管理自身用戶加壓受水設備能力相較自來水事業不足，時有故障停水情形發生。107 年 6 月端午連假期間，基隆市壯觀台北社區就因為發生社區內線破管造成居民無水可用，經媒體報導後才透過民意代表協調建商汰換管線，台水公司亦協助緊急加派水車支援送水業務才解決燃眉之急，惟相關作為僅能治標，無法徹底解決當地居民用水問題。




| 高低順序 | 縣市別 | 高地社區 | 總戶數 |
|---|---|---|---|
| 1 | 新北市 | 47 | 18,871 |
| 2 | 基隆市 | 8 | 8,178 |
| 4 | 高雄市 | 8 | 1,468 |
| 4 | 桃園市 | 3 | 1,030 |
| 5 | 新竹縣 | 2 | 766 |
| 合計 | | 68 | 30,313 |

圖 1　台水公司老舊高地社區戶數統計

多數社區管理委員會常因無法負擔或因未達成支付龐大加壓受水設備工程改善經費而遲遲未能辦理汰舊換新，以致社區內線漏水問題無法根本解決，加上用水設備管理不當或管線設施維護未落實而引發社區居民對於飲用水「安全」疑慮，或者因為建商於區內繼續接續開發後期社區，因供水設備能力不足影響供水穩定度等情事，都是高

地社區常面臨的水問題；然而位處山坡地開發之社區，最令人擔心的莫過於因為常年漏水嚴重造成房屋建物或進出道路地基掏空流失，嚴重危及社區居住安全。

老舊高地社區「水」的問題叢生，漏水嚴重也造成寶貴水資源浪費，執行改善策略即希望一勞永逸解決老舊高地社區的供水問題，本文前言已提及早期相關法規或政府政策並不完善致高地社區漏水嚴重問題發生，政府應承擔部分改善之責任及義務，遂研擬透過政府補助經費協助改善後，再交由自來水事業接管用戶加壓受水設備(即設備產權移交自來水事業)，如此則能永久避免漏水復發，讓老舊高地社區用戶所繳水費不因漏水而增加，並確保社區長期用水無虞。另由政府相關部門著手研修自來水法及相關行政規章，杜絕未來新建高地社區演變為「老舊」高地社區，避免類似事件一再重複發生，也預防政府需要無窮盡地投入資源辦理改善。

考量實務層面，高地社區是否提出申請同意辦理社區內加壓受水設備改善，仍須由社區取得共識自行決定，甚至部分社區表示目前自行維護管理良好並無申請之意願，而社區意願為計畫目標值達成與否之關鍵因素；目前研擬採兩階段方式執行老舊高地社區供水設備改善計畫，第一階段於 109 年開始接受申請，然後進行評比及現勘等作業，執行改善作業自 110 年至 113 年止(4 年)期程，於第一階段實施滿 1 年後檢討執行作業，實施滿 2 年後檢討研擬第二階段實施策略。

## 三、訂定接管計費標準

查「自來水法」第 23 條第二項規定：「前項加壓設施中屬自來水事業依本法第六十一條規定無法供水者，自來水用戶為接用自來水，於總表後至建築物前所設置之加壓設備、蓄（配）水池、操作室、受水管、開關及水栓等設備，統稱為用戶加壓受水設備。」針對自行設置用戶加壓受水設備之高地社區，社區之開發單位或管理單位向自來水事業單位申請接管，其工作項目包括：遠端監控、巡迴操作、破管搶修及設備汰換。(如圖 2)

以台水公司為例，對於接管用戶加壓受水設備收取工程改善費、操作維護費及其他一切必要費用之相關規定，其項目內容分述如下：

(一)工程改善費：在接管前須先將損壞之供水設備先行辦理改善，確保台水公司後續能順利接手營運管理。改善項目包含管線工程費、土木工程費及機電工程費，依現有設備估算改善至台水公司可正常供水所需費用。

(二)操作維護費：本項費用為接管供水設備後所須負擔之營管成本。經濟部水利署(以下簡稱水利署)在 108 年 8 月 7 日召開之「研商高地社區供水改善問題第 4 次會議」結論六：「既有老舊社區及新開發社區操作維護費如何計算，請本署業務單位邀集各自來水事業，召開會議研議統一標準；標準訂定前，請各自來水事業就個案估算所需接管費用提供建商參考。」，經水利署、台水公司及臺北

自來水事業處(以下簡稱北水處)於 108 年 9 月 9 日召開會議研議，確認接管之用戶加壓受水設備之計費標準，如屬老舊高地社區，以下列計費方式收取 20 年之接管操作維護費：

1.動力費：為基本電費與流動電費之總和，依台灣電力股份有限公司電價表計算合理動力費。

(1)流動電費按實際使用電度計算：計算公式=抽水機功率(kW)÷抽水機效率x每日運轉小時x三百六十五天x平均流動電費（備用馬力不計入）。

(2)基本電費按經常契約容量計算：計算公式=夏月經常契約電價x經常契約容量x夏月時間(依台電公司公告為準)+非夏月經常契約電價x經常契約容量x非夏月時間(依台電公司公告為準)。

2.人事費：

(1)指實際（輪班）所需操作人員費用。

(2)其費用以 2,000 戶用 1 人操作管理為計算基準(費用以台水公司士級平均每人年度人事費用計費，近十年平均考核及績效獎金月數)。

3.通訊費：估算供水設備監控系統之一年通信費。

4.保全費：依台水公司委外保全費編列基準表估算保全供水設備之一年保全費用。

5.維護費：依台水公司工程規劃報告，土建設備為百分之一點五、管線設備為百分之一、機電設備為百分之二點五。

6.折舊費：依行政院主計總處財產分類一覽表各供水設備最低使用年限依比例攤提土建設備為百分之二點五、管線設備為百分之二點五、機電設備為百分之十二點五。

7.前兩款參數值百分比係指佔「各供水設備換算本公司新建成本」之比例。

(三)其他一切必要之費用：其項目包含辦理塗銷及設定地上權費用及其他規費等，依個案核實代收代付方式計費。

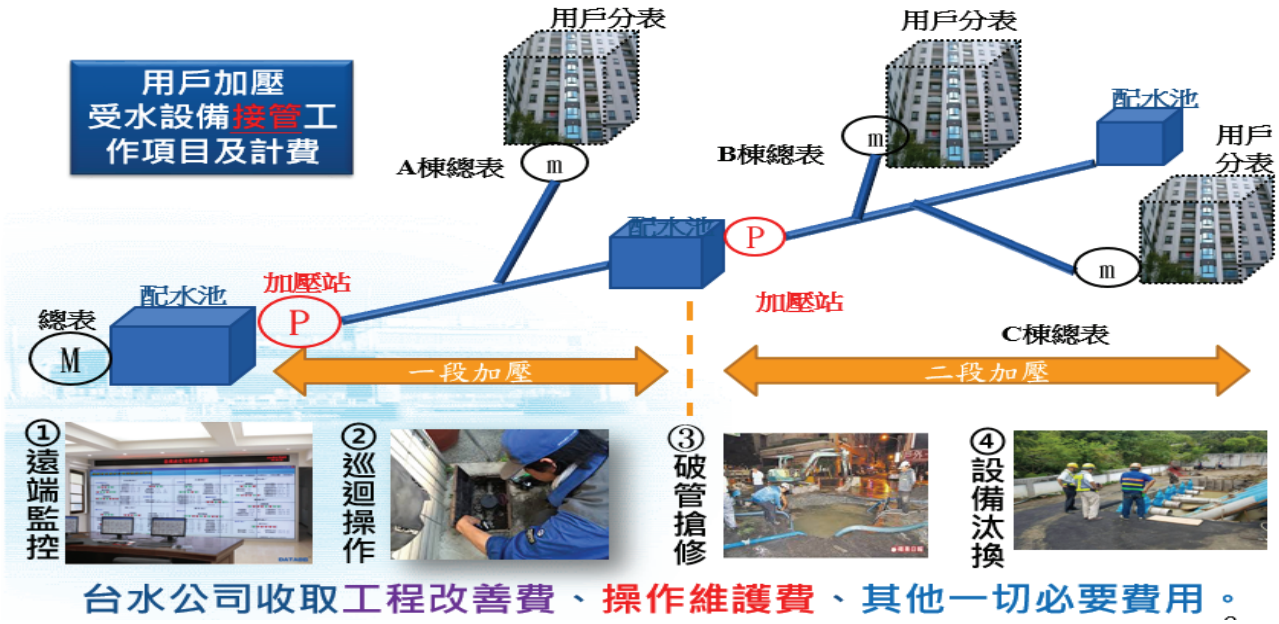



圖 2　台水公司接管工作項目及收費項目示意圖

## 四、具體可行之執行方式

考量有限之人力及經費資源，台水公司就社區申請資格、社區內加壓受水設備所座落之土地處理方式及執行流程等，研議下列具體可行之方式，在符合公平正義原則下，確保順利執行計畫。

**(一)規範申請資格**

集建住宅申請人應為依「公寓大廈管理條例」設立之管理委員會，無管理委員會者，為管理負責人、召集人或經主管機關指定之臨時召集人。

社區應符合「老舊」高地社區之定義，社區提出計畫申請時，如屋齡未滿 20 年者，不予同意申請，隨著屋齡越高其評比權重相對酌予提高。

**(二)用戶加壓受水設備土地處理方式**

用戶加壓受水設備所座落之土地為最棘手難以處理部分之一，往往因設備所座落之土地地主陳情抗議要求拆除設備，影響社區民眾用水權益。考量接管後用戶加壓受水設備產權屬台水公司所有，社區將該土地所有人應先將土地設定地上權予台水公司或依「自來水法」第 61 條之 1 第 4 項「視為有地上權存在」，先向地政機關辦理地上權設定登記並再移轉台水公司。

**(三)研擬評比機制確保公平性**

為符合公務預算經費運用之公平性，以各申請個案依研擬之評比基準表進行評比(內容詳表 2)；如社區向台水公司申請改善總經費未超過當年度預算，當年度申請所有申請個案原則均能全數核定。

**(四)訂定排富機制**

因部分高地社區為透天別墅或豪宅社區，由政府編列預算補助再由全體納稅人買單顯不符公平正義原則，故為有效運用有限資源並考量全國做法之一致性，個案社區如依底下定義認定為高級住宅者，不予同意申請，高級住宅定義如下：

1.每戶總價 3,000 萬元以上。

2.成交金額達每坪單價 40 萬元以上。

3.每戶 90 坪以上。

4.社區符合上述任一要件之戶數達 70%以上者，則整社區列為高級住宅。

**(五)訂定執行之步驟(詳如圖 3)**

1.於計畫期程內每年度 2 月底前接受社區申請，由申請人向所在地台水公司區管理處提出申請。

2.由台水公司該區管理處擇期現勘評估工程改善經費。

3.於 2 月底申請截止日後，台水公司區管理處於一個內（ 3 月底）將社區申請資料函報台水公司總管理處彙整，由台水公司總管理處於當年度 4 月底前召開會議辦理評比，排定各社區用水設備改善執行優先順序，並通知社區於期限內繳交用戶配合款，再提報經濟部水利署核定，水利署及地方政府依核定結果通過之社區編列預算，並通知台水公司總管理處及副知申請案所在地之縣市政府編列下一年度預算。

4.依立法院預算審議結果確認辦理改善供水設備之社區，再由台水公司總管理處將核定結果通知區管理處，由台水公司區管理

處與社區簽訂接管契約書，俟收到中央政府投資經費、地方政府配合款及用戶部分自付款後，施作改善工程，並辦理後續接管作業。

## 五、補助期程與資源需求

### (一)補助之期程

考量計畫目標與實施內容之環境變遷條件之下，能持續改善老舊高地社區供水環境，計畫期程訂於 109 年 2 月底前開放第一年度申請，109 年 4 月底前由台水公司召開第一年度評比會議，經費執行期程自 110 年至 113 年止。

第一階段計畫實施前期以推廣鼓勵社區提出申請為主，訂定改善目標值為改善總社區數為 68 個社區之 4 成(即 27 個社區)或改善社區用戶數 12,125 戶以上，改善成果訂為第 1 年度完成 4 個社區，後續第 2-3 年度每年完成 8 個社區，第 4 年度完成 7 個社區，並於接管後向社區民眾做滿意度調查，除可瞭解民眾對於本計畫之看法外，並可作為後續改善策略之參考。

### (二)經費來源及計算基準

一個具體可行之計畫最重要的就是經費來源，經多次協調結果，補助之工程改善費及接管操作維護費由政府編列投資配合款及部分用戶負擔方式處理。(詳表 1)

1.地方政府配合款

工程改善經費或操作維護費未超過每戶政府負擔上限 10 萬元時，地方政府配合款之部分：

(1)屬財力二級者，負擔工程改善費及操作維護費 28%。

(2)屬財力三級者，負擔工程改善費及操作維護費 25%。

2.中央政府投資經費

由中央政府公共建設預算支應，並由經濟部以投資自來水事業方式辦理。

3.用戶部分自付款

工程改善經費之用戶部分自付款為總經費 20%，操作維護費之用戶部分自付款為總經費 20%，用戶自付款為上述兩費用之總合。另工程改善經費若超過每戶政府負擔上限 10 萬元時，超過部分亦須由社區用戶自行負擔；操作維護費亦同。

表 1　本計畫政府補助及民眾負擔對照表

| | 政府補助 | 民眾負擔 |
|---|---|---|
| 工程<br>改善費 | 80%<br>(上限 10 萬元) | 20%<br>(一次繳) |
| 操作<br>維護費 | 80%<br>(上限 10 萬元) | 20%<br>(分期 20 年) |

4.預估總改善經費

經台水公司統計 68 處老舊高地社區工程改善所須經費 18.05 億元，接管之 20 年操作維護費為 12.88 億，合計 30.93 億元，因考量本第一階段計畫訂定改善目標值為改善總社區數 68 個社區之 4 成(即 27 個社區)或改善戶數 12,125 戶以上，計畫目標之總經費約 12.37 億元(中央政府投資經費約 6.56 億元、地方配合款約 3.34 億元、用戶部分自付款約 2.47 億元)。

表 2　老舊高地社區用戶加壓受水設備改善計畫評比基準表

| 項目 | 內容 | 權重 |
|---|---|---|
| 社區屋齡<br>(15分) | 未滿20年 | 不予申請 |
| | 20年以上，未滿30年 | +5 |
| | 30年以上，未滿40年 | +10 |
| | 40年以上 | +15 |
| 社區戶數<br>(15分) | 未滿100戶 | +2 |
| | 100戶以上，未滿500戶 | +5 |
| | 500戶以上，未滿1000戶 | +10 |
| | 超過1000戶 | +15 |
| 每戶工程改善經費/每戶平均每期差額漏水量(元/度)<br>(30分) | 50,000元以上 | +6 |
| | 20,000元以上，未滿50,000元 | +12 |
| | 10,000元以上，未滿20,000元 | +18 |
| | 5,000元以上，未滿10,000元 | +24 |
| | 未達5,000元 | +30 |
| 每期差額水量總量<br>(30分) | 未滿5000度 | +6 |
| | 5,000度以上，未滿10,000度 | +12 |
| | 10,000度以上，未滿20,000度 | +18 |
| | 20,000度以上，未滿30,000度 | +24 |
| | 30,000度以上 | +30 |
| 申請次數(10分) | 前一年度曾申請未獲核定 | +10 |

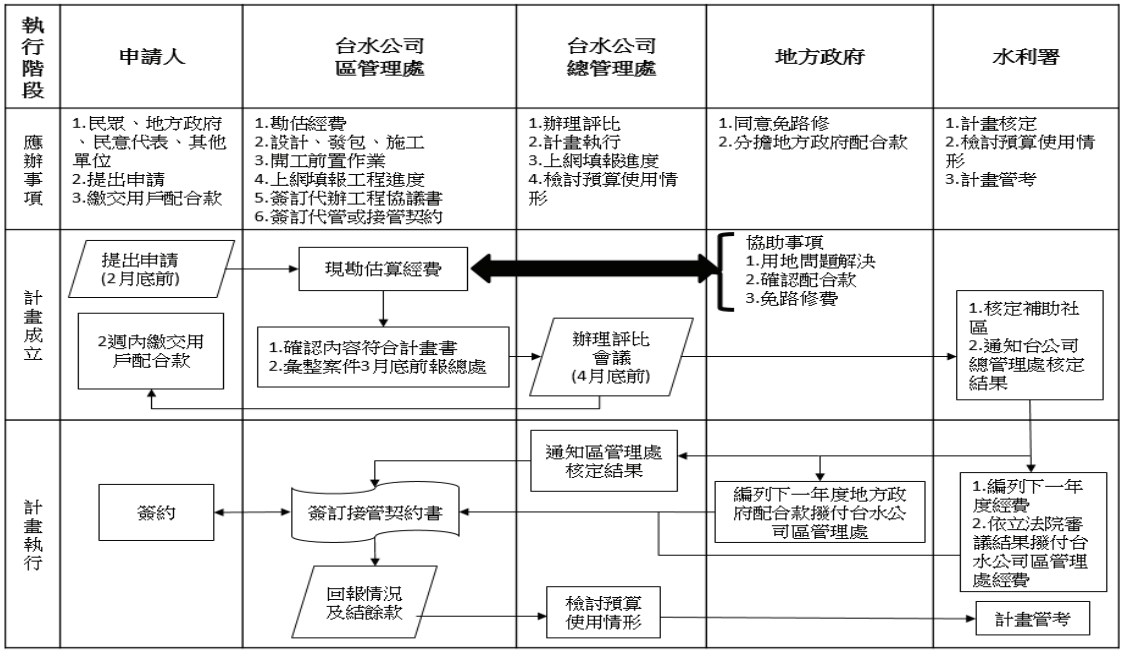



圖 3　老舊高地社區申請改善計畫辦理流程圖

## 六、預期效果與影響

### (一)減低民眾水費負擔

經評估計畫執行完畢後預期可改善 27 個老舊高地社區或 12,125 戶長期漏水問題，改善該老舊高地社區供水品質、確保水

質安全，並避免因漏水導致的安全性問題。未來改善後之高地社區供水設備交由台水公司接管，民眾無須再負擔用戶加壓受水設備漏損之水費，及其增壓供應所衍生的龐大電費。光以節省水費而言，本計畫辦理完成後預估每年可節省 81.7 萬立方公尺水量(屬總分表差額水量)，以 107 年度台水公司決算平均售水單價為 11 元/度，可替民眾省下 899 萬元/年，20 年即可省下 1 億 7,980 萬元。

**(二)節省能源資源**

藉由本計畫協助解決民眾用水問題，並促進水資源之有效利用，以計畫目標之 12,125 戶，公務預算負擔 9.90 億元計，預計每年可節省 81.7 萬立方公尺水量(屬總分表差額水量)，以及相對節約省下的電力，在近年旱災頻仍及用電吃緊之情況下，對於減少能源浪費有相當助益。

**(三)降低社會成本**

因老舊高地社區用戶加壓受水設備漏水嚴重，連帶空戶亦須負擔一筆可觀的分攤社區公共用水費，以及供水不穩情形而常有用戶透過民意代表、縣(市)政府、消基會或中央等單位陳情，多次協調、現勘投入大量人力及時間處理說明，增加不少社會成本，預計本計畫完成後將可大幅改善此情形。

## 七、結論與建議

(一)台水公司研擬之「老舊高地社區用戶加壓受水設備改善計畫（110-113 年）」，業奉行政院於 108 年 12 月 12 日以院臺經字第 1080039074 號函核定，台水公司已通函各區管理處應加強轄區老舊高地社區宣導作業、成立專責窗口，俾備妥開放接受社區申請作業。

(二)本計畫辦理老舊高地社區加壓受水設備改善，係以接管為改善之優先條件，對於部分社區建議「代管」(產權不移交)或僅補助「工程改善」等方式，為本計畫所排除，以避免未來多年以後重蹈覆轍一直新興出現「老舊高地社區」。

(三)未來應由政府相關部門會同檢討修正相關法規並積極落實，杜絕目前供水不及地區由建商新開發社區，獲利了結多年後罔顧社區內設施設備管理維護責任，故倘舊有高地社區建商目前仍有營業者，應先採取適當法律措施要求建商善盡責任，以維護用戶權益。

(四)經費到位與廠商施工能量是計畫能否達成目標的關鍵，未來臺北自來水事業處供水區所轄新北市行政區部分納入辦理，將可逐步實現改善老舊高地社區供水問題。

## 作者簡介

**曾彥中先生**

現職：台灣自來水公司供水處工程員

專長：供水調配、電力工程

**陳信利先生**

現職：台灣自來水公司供水處組長

專長：供水調配、職業安全衛生、電力工程

**林清鑫先生**

現職：台灣自來水公司供水處處長

專長：供水實務、土木工程

**李嘉榮先生**

現職：台灣自來水公司副總經理

專長：自來水工程規設及營運管理、土木工程

# 利用 AMR 流量計進行 DMA 夜間分步測試

文/黃嘉昌、黃裕泰


## 摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)自2010 年開始，對於施工後售水率無法達改善目標之分區計量管網(DMA)，多以次小區直接法(巷弄直接法)方式，以找出漏水巷道，另為能在 DMA 施工改善複評計量前先行了解管改成效，常自行以巷弄直接法驗證，現已成北水處各營業分處 DMA 管改能一次通過之標準作業程序。而北水處近年提出以精緻化的方式，先於 DMA 內挑選漏水較嚴重的巷道，一個 DMA 或許在數十條巷道內，僅需施工改善幾條巷道，就能使售水率一次提升至改善目標 90%以上，但事前的巷道挑選及管段漏水調查就必須更縝密仔細，才能有效鎖定改善目標。以巷弄直接法測試巷道內是否漏水，雖然直接有效，但因本法使用上必須逐巷以消防栓水帶連接跨巷之消防栓，費時耗力且必須停水實施造成用戶不便。

北水處 2018 年已開始於 DMA 進水點按裝具自動讀數、無線回傳功能之自動讀表(AMR)流量計，可藉由現場制水閥的啟閉控制，切割縮小區域，以測試該小區域是否有無漏水情形；本測試經由 AMR 回傳之流量資料，不須關閉用戶水表止水栓，以不停水、不抄用戶表的方式，利用 DMA 夜間最小流的特性，於夜間分步切割隔離管段，透過即時的流量變化，找出 DMA 內較可能漏水的巷道。希望藉由 AMR 流量計使用上的便利性，利用本研究測試，以最不費力的方式，幫助 DMA 施工前的巷道挑選工作，及施工後之成效評估。


## 一、測試緣由

北水處近年來以弱區先行為原則，823 個 DMA 中，統計 2005 年至 2018 年底已將初評售水率 50%以下 DMA 由 247 區降低至 87 區，因售水率 50%以下代表該 DMA 內整體管線體質不佳以致有較多的漏水點產生，若僅修理了某區內的一些漏水點，卻可能使原本已接近臨界點之未漏水脆弱管線引發漏水，導致改善後售水率有不升反降的情形，故針對體質不佳的 DMA(售水率 50%以下)仍舊必須採用一步一腳印的方式，紮實的全區檢討汰換管線以杜絕漏水。

然因管汰施工量能有其限度，針對售水率次低的小區(售水率 50%~75%至 2018 年共有 132 個 DMA)，其區內管線體質較優，北水處近年提出以精緻化的方式，先於 DMA 內挑選漏水較嚴重的巷道，一個 DMA 或許在數十條巷道內，僅需施工改善幾條巷道，就能使售水率一次提升至改善目標 90%以上，但事前的巷道挑選及管段漏水調查就必須更縝密仔細，才能有效鎖定改善目標。

自 2010 年開始，對於施工後售水率無法達改善目標之 DMA，多以巷弄直接法方式(如圖 1)，逐巷以消防栓水帶連接跨巷之消防栓，以找出漏水巷道，另為能在 DMA 施工改善複評計量前，能先行了解管改成效，常

自行以巷弄直接法驗證，現已成北水處各營業分處 DMA 內管改能一次通過之標準作業程序。

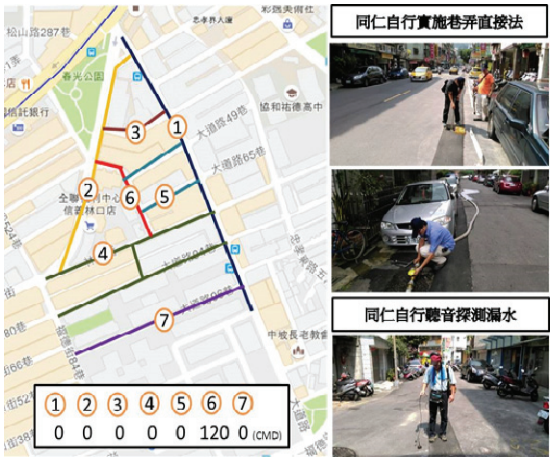



圖 1　北水處同仁操作巷弄直接法

雖然巷弄直接法測試漏水是目前最有效也最直接的測漏方式，但以一條簡單的街道而言，若非專業人員，則必須耗費 3 至 4 位人力半天的時間來測試漏水，測出巷弄有漏水反應時，必須再另外使用專業的人力以聽音的方式，尋找確切漏水點後開挖改善，實施時相當耗費人力與時間。

為使各 DMA 能更有效的管理與應用，北水處於 2018 年開始於部分 DMA 進水點按裝具無線回傳功能之流量計，首批流量計型式為電磁式，口徑 200mm(如圖 2)及 300mm，可藉由 4G 網路傳訊顯示流量計內自來水之瞬間流量及累積流量值，另外於流量計窨井內按裝壓力計，一併回傳管網水壓。為使經由 AMR 回傳之 DMA 流量、壓力資料可藉由數據處理得到有效的應用，北水處已規劃建立 DMA 管理網站系統，以系統化方式整合現有的 DMA 資訊，將回傳資料如流量、壓力，以各種類型呈現，如 1、7、14、30 日的連續折線圖，或將每日 24 小時的趨勢圖予以疊合呈現等。除資料的呈現外，可更進一步以 AMR 流量計回傳之資料進行智慧化的監測與管理，工程師可利用回傳資料與北水處相關系統資料進行分析運用。

例如利用夜間最小流監測 DMA 的漏水情形，或結合區域內用戶抄表資料即時計算售水率，另外將這些回傳的流量及水壓資料疊合於 24 小時座標軸，以產生流量及壓力分布區間帶，依發生機率設置流量及壓力警訊值，超過警訊值即代表突發漏水或者制水閥遭到關閉，可即時處理避免狀況惡化。

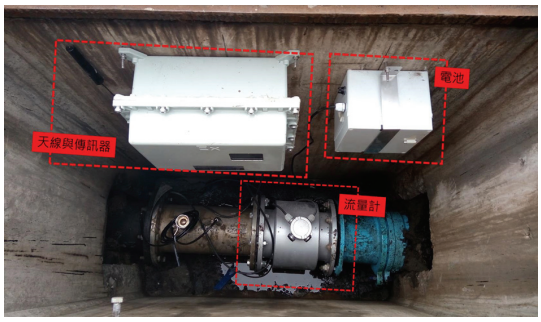



圖 2　200mm 電磁式 AMR 流量計

除了監控 DMA 是否有突發漏水，本文利用 AMR 回傳之流量資料，並配合現地制水閥埋設位置，將 DMA 分割為更小的次小區，進行分段或次小區漏水檢核，使得檢核漏水的方式不再侷限於巷弄直接法，且不須關閉用戶水表止水栓，以不停水、不抄用戶表的方式，利用夜間分步切割隔離管段，透過即時的流量變化，以找出 DMA 內較可能漏水的巷道。

## 二、夜間分步測試原理介紹

夜間最小流量測係於 DMA 主幹管進水點安裝流量計，主要利用夜間用戶用水較少

之特性，經由長時間紀錄流量資料推估漏水量，因無需動員人力抄讀用戶水表度數，作業上較直接法(直抄)簡易，但半夜如有用戶持續進水，利用本法所得最小流量常包含夜間用戶用水，造成漏水量估算準確度較實際量測為差，但所得之最小流仍有相當的參考價值。一般而言，DMA 若是一般住宅區，因無明顯夜間商業活動，於深夜 3 點至 6 點可測得明顯的 DMA 最小流量(如圖 3)。

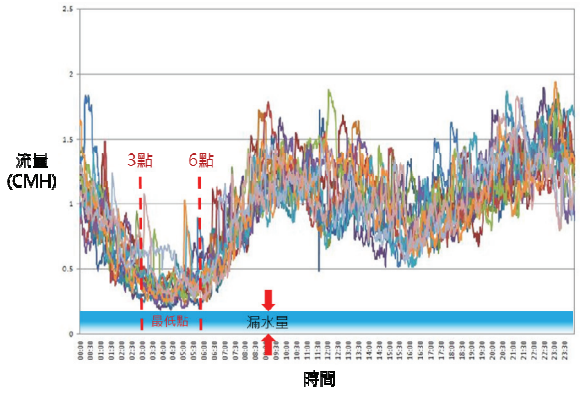



圖 3　夜間最小流通常出現於 3 點至 6 點

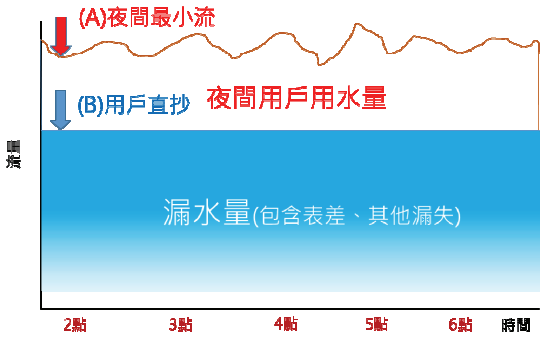



圖 4　夜間最小流與用戶直抄所代表漏水量

一般純住宅區住戶夜間多已就寢，以圖 4 為例，當夜間用戶用水量越少，(A)夜間最小流將越接近(B)用戶直抄所得的流量，代表夜間最小流幾乎等於實際 DMA 漏水量，夜間分步測試是利用實際漏水量與夜間最小流量接近的 DMA，規劃以現場制水閥位置，將 DMA 切分為更小的單元後，利用夜間 3 點至 6 點時進行制水閥操作，區隔分出的管段，這樣可以在流量計紀錄上取得小單元被區隔時的即時流量，當漏水嚴重的區域被切割排除在計量範圍外，在流量圖上就可以看到明顯的下降，以圖 5 為例，區域 1 至區域 3 在切割時並未出現流量下降，代表區域 1 至區域 3 並無漏水，而區域 4 切割以後，流量出現明顯的下降，代表區域 4 有漏水情形，並可由流量的下降幅度估計漏水量，並可再切割為更小的單元以更能確認漏水位置，但原則上現場必須有制水閥可以進行操作。

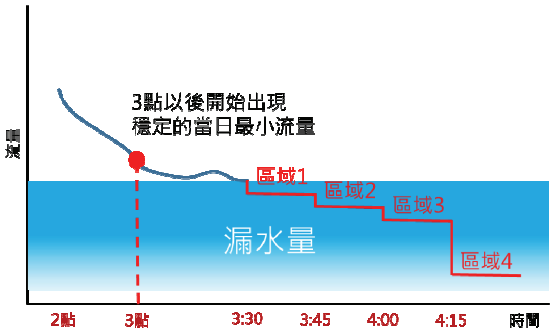



圖 5　夜間分步測試示意圖

如果規劃各小單元的進、出水點得宜，每個單元的用戶將不會停水，但必須明確確定各單元的所有用戶水表位置以及那些位置是不可以被區隔的。另分步測試必須大量操作制水閥且於夜間來執行，制水閥操作時利用消防栓排水，所排出自來水水質狀況於夜間較難以判斷，對於用戶用水有潛在性的危害，所以，雖然分步測試於夜間 3 點至 6 點作業，但對於事前的準備，包含制水閥啟閉切割單元及操作排水等，必須先於日間進行妥善的前置作業。

以往若是沒有 AMR 流量計，北水處安裝之 DMA 流量計計量時須至現場打開道路上之窨井蓋，連接電腦下載數據，在市區道路上操作非常不方便且具危險性，尤其是在夜間。隨著北水處 2018 年開始按裝具自動讀數、無線回傳功能之 AMR 流量計，夜間分步測試僅需要控制現場制水閥的啟閉，管理者可於辦公室或攜帶手機至現場即可追蹤 DMA 夜間最小流變化情形，大幅增加夜間同步測試的便利性並降低危險性。

## 三、實際現場應用範例

### (一)應用 DMA 選區

本文利用臺北 E10024 分區進行測試，本分區係位於臺北市松山區光復北路以東、三民路以西、延壽街以南、健康路以北，本區域位於民生社區，為單純的住宅區(如圖 6)，於 2010 年進行用戶直抄初評售水率為 73.01%。

圖 6　臺北 E10024 DMA 位置圖

初評時除了實際於 7 日內直接抄讀區內用戶所有水表流量，並以分區流量計計算真實售水率外，亦以夜間最小流方式計算售水率為 70.05%，與實際售水率差別不到 3%，顯示此 DMA 夜間最小流所包含的夜間用戶用水極低，非常適合進行夜間分步測試。

### (二)前置作業說明

為能測試 E10024 目前的售水率，北水處自 2019 年 3 月開始進行封閉計量，以夜間最小流的方式量測 11 天的流量，在 3 月 23 日所量測到最低流量 25.12 cmh，並以量測 11 日小區平均流量 1883.67 噸，推算售水率為 67.99%(如圖 7)，接近於 2010 年的 70.05%，顯示 8 年後售水率狀況並無明顯變化，另於本次測試可發現每日深夜 2 時至 5 時出現較穩定的最小流量，代表本測試可於 2 時至 5 時進行。

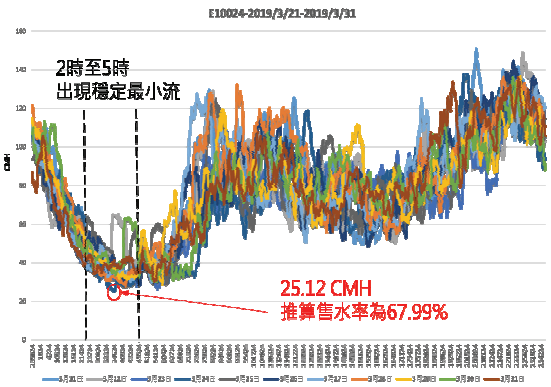



圖 7　E10024 夜間最小流量測

依照 E10024 現場制水閥位置，主要可切割 4 個次單元(如圖 10)，且為避免造成用戶停水，同時規劃切割單元之進水點，例如當區域 A 作業時關閉「A 關」制水閥時，另組人員開啟「A 開」制水閥，使得區域 A 不會停水，而當區域 A 完成測試後，依序進行區域 B 與區域 C 之切割，最後當區域 C 切割後所量測之數值即為區域 D 之最小流量。因所有實際作業係利用夜間操作制水閥，為避免危害用戶用水品質，作業前須利用日間將所有測試用制水閥進行操作及排水(如圖 8)。

圖 8　利用日間先進行閥栓測試

圖 9　夜間分步測試操作閥栓情形

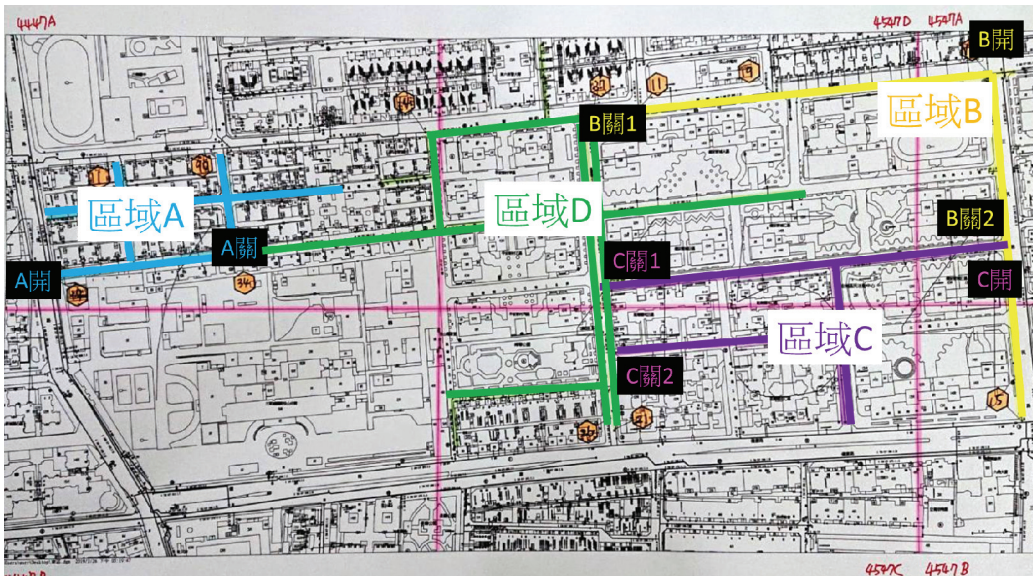



圖 10　E10024 夜間分步測試預計切割區域

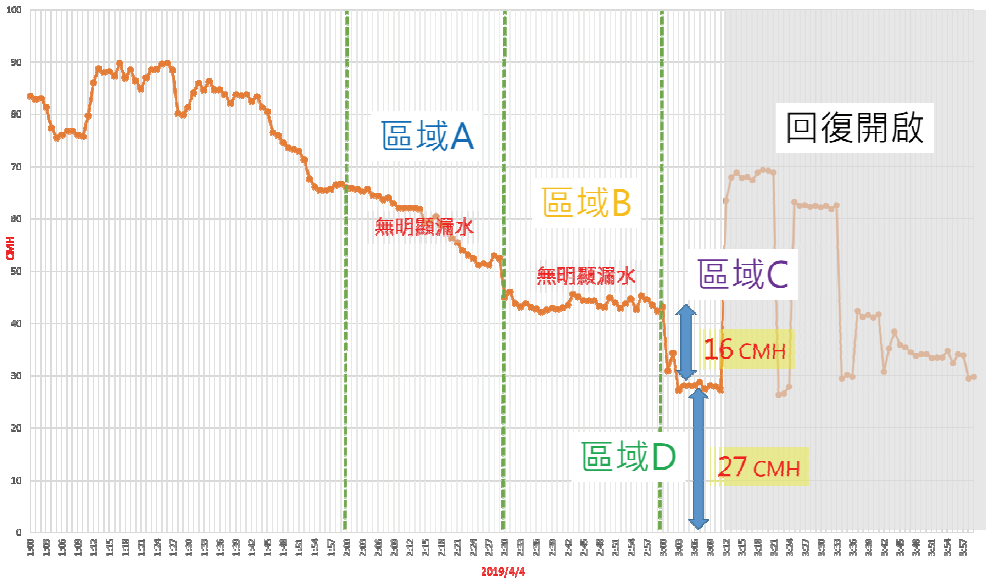



圖 11　E10024 夜間分步測試結果

**(三)夜間同步測試情形與分析**

本測試利用 2019 年 4 月 4 日 2 時至 4 時進行，如圖 10 依照原規劃範圍，於 2 時切割區域 A 後停留 30 分鐘，2 時 30 分切割區域

B 再停留 30 分鐘，3 時切割區域 C，直至 3 時 30 分後再由區域 C 開始反向恢復封閉區塊，現場夜間操作情形如圖 9。

測試所得結果如圖 11，當切割區域 A 後流量計所測得流率沒有變化，代表區域 A 並無漏水情形，而切割區域 B 之流率亦無明顯變化，代表區域 B 也沒有漏水情形，而當 3:00 時切割區域 C，立即下降了 16 cmh，而切割區域 C 以後，剩下的 27 cmh 代表區域 D 的流量，因本測試曾在 2019 年 3 月 23 日測得夜間最小流為 25.12 cmh，而區域 C、D 合計之最小流量 43 cmh 大於 25.12cmh，顯示測試時區域 C、D 包含用戶用水，本測試無法估計用戶用水，但可顯示區域 A、B 並未漏水，測試結果可分析出 E10024 小區漏水範圍縮小至區域 C、D，且區域 D 的漏水量最大。

**(四)精緻化作業**

北水處近年提出小區精緻化作業，一個售水率原本就高於 50%的 DMA 或許在數十條巷道內，僅需施工改善幾條巷道，就能使售水率一次提升至改善目標 90%以上，以 E10024 統計配水管總長度為 3,850 公尺、給水管總長度為 1,335 公尺，經由本次 1 個晚上的夜間分步測試，已將可能漏水的配水管長度縮小為 2,329 公尺、給水管長度縮小為 811 公尺，合計 E10024 小區僅須汰換區內 60%的給、配水管線，應可使售水率達目標 90%以上，後續更可藉由各種方式與設備，如巷弄直接法、聽音或噪音收集器等，在已經縮小的範圍中，再將可能的漏水範圍予以精緻化，找尋真正漏水的位置。

## 四、結論與建議

2012 年以前北水處採埋入式流量計計量，計量人員須至現場打開道路上之地下消防栓蓋，將流量計數據盒與電腦連接下載數據，且下載需耗費一定的時間，使用上並不方便且具危險性，自 2012 年開始雖已改由窨井式安裝流量計，但對於數據的取得仍必須打開笨重的窨井蓋才有辦法下載。隨著北水處開始按裝 AMR 流量計，搭配夜間分步測試僅需控制現場制水閥的啟閉，管理者可於辦公室或攜帶手機至現場即可追蹤夜間最小流量變化情形。目前北水處已開始逐步安裝 AMR 流量計，盼藉由 AMR 的便利性，搭配夜間同步測試，對於次低售水率 DMA，能輕易的達到精緻化，以快速鎖定目標，有效率地完成管線汰換工作。

## 參考文獻

1.黃裕泰、黃嘉昌，分區計量長期管理結合智慧水網應用模式探討，第35屆自來水研究發表會，2018。

2.臺北自來水事業處，小區計量管理用無線傳輸流量計設備契約，2017。

3.黃嘉昌、林哲生，臺北市區自來水管線全面汰換與局部改善之效益評估，第34屆自來水研究發表會論文集，2017。

4.Julian Thornton，Water Loss Control Manual，2008。

## 作者簡介

**黃嘉昌先生**

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：小區計量、管網改善

**黃裕泰先生**

現職：臺北自來水事業處供水科一級工程師

專長：小區計量、漏水控制

# 自來水幹管潛盾工程設計施工

文/吳世紀

## 一、前言

潛盾工法之構想雛型自十九世紀初發明問世迄今將近二百年，工法技術不斷地演進及提升。其對環境影響衝擊最小、可靠度高，世界各先進及發展中國家已廣為應用在各種重大工程建設，舉凡交通、自來水、污水、排水、電力等各類工程於地下進行鑽掘興建，無不仰賴潛盾工法。

國內首先採用潛盾工法為 1976 年臺北衛生下水道污水幹管，當時引進國內第一部潛盾機，及至 1980 年起臺北捷運路網陸續開工，潛盾工法開始大量在國內普及。至於國內自來水管之首次應用，係臺北自來水事業處工程總隊(簡稱北水工程總隊)於 1994 年創先應用於大臺北第二條清水輸水幹線工程(基隆路東段)。其後因臺北都會區大口徑自來水幹管之佈設需求，潛盾工法之應用亦漸趨普及。

相較於捷運或電力工程等一般大口徑鑽掘之潛盾工程，自來水管潛盾洞道口徑較小且必須於隧道內進行管線穿管裝接等二次施工作業。其設計及施工與一般潛盾工程差異頗大，具有其獨特之處。本文除討論潛盾工法應用於自來水輸水幹管工程在設計、施工方面應考量因素及重點之外，並歸納北水工程總隊近年來潛盾工程輸水幹管之實務案例經驗作為參考。以使設計、施工人員能具備自來水潛盾工程之基本智識，確實掌握重點，順利推動執行業務。

## 二、潛盾工法

### (一)特性概述

潛盾工法係利用潛盾機於地下鑽掘前進，同時於潛盾機後方進行出土及襯砌環片組立之方式施作洞道。屬於免開挖工法之一種，僅需開挖隧道二端之工作井，作為潛盾機出發及到達處，受外部環境干擾影響較小，工期較易掌控；且施工人員於潛盾機盾殼內作業，勞工作業安全性高。同屬免開挖之推進工法推力來自後端工作井之反力座，推進作業時全線管體均與土體產生摩擦，對於周遭地盤之變動影響較大，風險亦高(圖 1)。至於潛盾工法之前進之動力係來自於前端，利用環片作為潛盾機前進之反力，且潛盾機通過後隧道環片立即組立形成穩固的環狀隧道構造，對洞道周遭地盤及地下構造之影響相對較小，風險低(圖 2)。

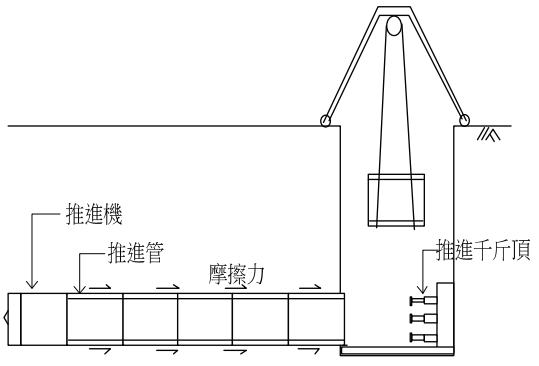



圖 1　推進工程示意圖

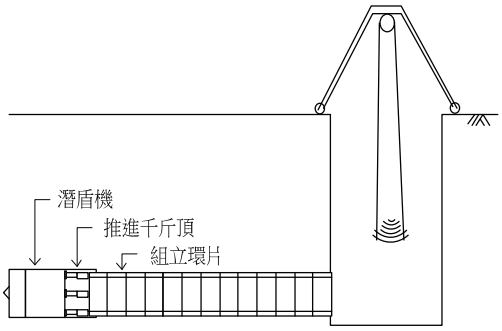



圖 2　潛盾工程示意圖

雖然潛盾工法造價比推進工法高，因此一般評估工法時會優先考量經濟性並以推進工法為主。然而，自來水推進工法除施工過程風險較高外，另有其侷限性，包括:推進長度受限、工作井數量需求多、曲線推進困難等因素。致使推進工法在自來水管實務應用上多侷限於直線管段或中短距離之幹線，長距離幹線則需要較多的工作井中繼或採中壓方式分段推管(圖 3)。此外，曲線推進工法多運用於電力、排水等非壓力管，尚難以應用於壓力管如自來水管等。因此，自來水幹管在長距離、曲線、中繼工作井取得困難等之條件下，採用潛盾工法成為主要之選項。

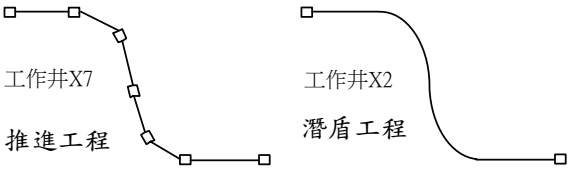



圖 3　推進與潛盾工作井配置圖

## (二)主要構成

1.潛盾機：潛盾工程最重要的機具設備顧名思義就是潛盾機(Shield)，分為盾首、盾身及盾尾三大構造。其最大的挑戰在於挖掘土體的同時又要維持開挖面的穩定平衡，使周遭地盤土體之變形最小化。為達前述目的，一般潛盾機型式大致分為土壓平衡式及泥水加壓式二大類，亦有二類混合式。並依據不同地質條件選用，一般普通地質條件者以土壓平衡式為主，係利用開挖土積存於盾首土艙抵抗開挖面之土(水)壓，維持平衡穩定；至於特殊或複雜之地質時會考量採用泥水加壓式，將濃度、比重適宜的調配泥水注入盾首泥水艙內，以泥水壓來平衡開挖面土體之穩定，需配置泥水處理設備等，控制開挖面穩定性佳但費用較高(圖 4)。

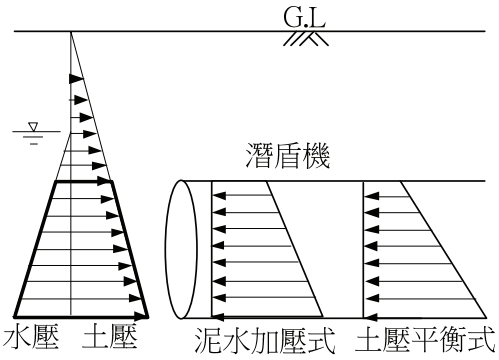



圖 4　潛盾開挖面壓力平衡圖

2.工作井：潛盾工作井可分為出發井及到達井，擋土型式應依據實際鑽探地質條件進行設計，常用的包括:鋼板樁、連續壁、沉箱、鋼襯鈑等工作井擋土型式。出發井為潛盾機鑽掘出發之工作井，井內設施包括底版、反力牆、出發台、鏡面工等構造(圖 5)。其空間除須能容納潛盾機吊運外，也是所有潛盾作業附屬所需之機具、材料等進入之處所，尺度較大(圖 6)。且出發工作井周邊必須有暫置棄土、環片等相關大型機具材料之腹地，因此用地需求較大，為

潛盾工程最主要的作業基地。至於到達井主要係供潛盾機到達出坑之用，使用時間短，尺度需求亦較小，但仍須有鏡面工作為潛盾機到達破鏡止水之用。

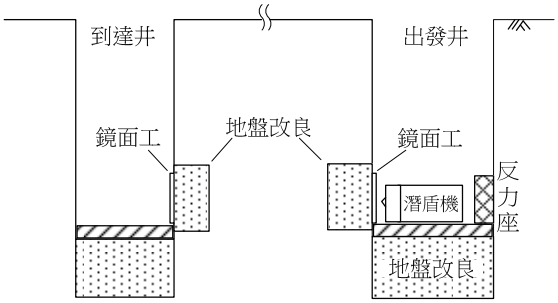



圖 5　潛盾工作井設施圖

圖 6　潛盾沉箱出發井

3.潛盾環片：環片為洞道的主要構造，屬於預鑄品，國內常用之材質主要為鋼筋混凝土環片及鋼環片二大類。鋼環片體積小、質量輕，隧道內運輸方便，但單價高，因此國內鋼環片多僅限於應用在急彎大曲率段之異形環片配置。其他一般性管段之潛盾洞道仍以單價較低的鋼筋混凝土環片為主流。在環片型式方面，視口徑尺度作環狀分割，一般情況下以數個 A 型環片、二個 B 型環片及一個 K 型環片分割組合而成。環片軸向長度一般約 1 公尺左右，環片之間軸向與環向均以弧形螺栓或直螺栓加以連結固定；而每環軸向之連接必需錯位，避免環向接合線處在同一軸線上(圖 7)。潛盾機往前推進後隨即組裝環片，並須從環片灌漿孔向外部進行背填灌漿，以補足潛盾機外殼與環片之間的空隙，控制沉陷(圖 8)。

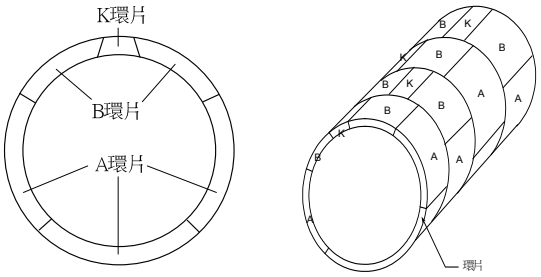



圖 7　潛盾環片環向及縱向配置

圖 8　潛盾機後端環片組裝

## (三)自來水管之應用

相較於一般捷運、電力等設施之潛盾工程，自來水工程在潛盾工法之應用上有獨特性。一般而言，其所需之潛盾洞道口徑較小，環片內徑約介於 2~3.5 M 之間，視內穿管口徑而定，較小尺度之潛盾機後端施工作業包括出土、環片組裝等空間亦相對狹小，作業不易。此外，自來水潛盾洞道內需再佈設自來水幹管，因此潛盾洞道口徑設計上必

須考量自來水管之佈管空間。一般多以穿管背填方式設計，此方式在水管口徑固定下之潛盾洞道口徑能最小化，節省經費(圖 9)，然維修時必須停水由管內進行檢修。此外，亦可採預留檢修通道之方式進行設計，惟其所需洞道口徑較大，換言之，相同潛盾洞道所能容納之水管口徑較小，故其成本遠高於背填方式(圖 9)。

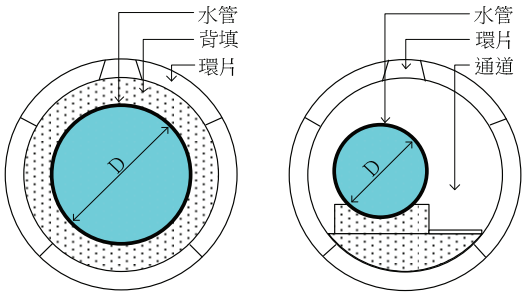



圖 9　穿管背填與預留檢修通道

考量一般大口徑幹管並非須經常性檢修，況且檢修洞道必須建置日常通風、照明等設備及自來水管之定期塗裝等經常性維護及相關費用(圖 10)，未來整體維護成本亦高。因此，除非有特殊性之需求，否則設計上宜採穿管備填方式較佳。

圖 10　預留檢修通道之洞道

## 三、自來水幹管潛盾設計

潛盾工程之規模大，規劃階段應審慎調查，包括：用地取得、地籍調查、測量、地質鑽探、地下構造物調查套繪、公有地使用之相關法令規章等，確認無虞後才能進行後續設計；設計階段之內容大致包括:定線、工作井、環片、地盤改良、監測範圍及頻率等。茲分別就規劃與設計階段之重點臚列說明如下：

### (一)規劃階段

規劃階段主要在確認用地取得之可行性，包括工作井用地及潛盾路線用地。鑒於私有地使用協商之不易，故實務上皆以使用公有地、避開私有地為原則。然倘不得已必須經過私有地時，得依自來水法第五十二條、五十三條之規定：使用後應恢復原狀並擇其損害最小之處所及方式為之，亦即以不影響其土地未來可能之使用功能為原則，再進行可能之補償評估。其中，工作井用地範圍除工作井主體外，更應考量未來施工機具運輸進出動線及潛盾相關附屬設備、材料之必要空間用地；另外，潛盾路線沿公有地上設施諸如:道路或河川高灘地等之下方鑽掘新設管線，雖無須挖掘道路或高灘地之申請，惟仍須向道路或高灘地等設施主管機關申請使用准許埋管於其設施下方，避免日後之爭議。於規劃階段應確認上開主要用地之使用及申請無虞後，方能進行後續設計及發包作業。

### (二)工期及預算

相較於一般自來水管明挖工程，潛盾工程規模大、時程久，屬性特殊，其工期及預算之設計編列應依據實際條件及個案進行分析計算。近年來北水工程總隊辦理之自來水幹管潛盾工程相關實績案例(表 1)，洞道幹

管型式均為內穿延性鑄鐵管 DIP(U 型)並背填方式。於工期及預算方面累積相當多的經驗可循，可供作類似性質工程之參考，俾於規畫及初設階段能掌握大致之工期預算輪廓，助益頗大，惟實際仍須依實地條件及個案進行精算及調整。

表 1　北水近年潛盾工程一覽表

| 編號 | 工程名稱及口徑(∮mm) | 總長(M) | 總工期(日曆天) | 預算(萬/M) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 關渡二∮2000 | 3,500 | 1,030 | 29.8 |
| 2 | 安華線∮1500 | 2,400 | 1,100 | 28.4 |
| 3 | 安華延伸∮1500 | 1,380 | 800 | 27.6 |
| 4 | 關渡三∮2000 | 4,380 | 1,210 | 26.1 |
| 5 | 淡海線∮1200 | 2,250 | 1,340 | 23.7 |
| 6 | 東湖線∮1000 | 1,200 | 860 | 18.7 |
| 7 | 忠孝線∮1500 | 1,500 | 1,150 | 26.8 |

上表所列工程除編號 5 淡海線(施工標，不含設計)之外，其餘均屬含設計加施工之統包工程。因此表列在總工期方面分為二部分，其中設計工期約 130 日曆天，其餘為施工工期。主體施工工期主要徑工項依序為：出發井施築(4~5 月)、潛盾掘進(3~4M/日)、穿管背填(12M/日)、試水銜接及窨井施築復舊(2~3 月)等。()內所指為一般實務經驗值，實際會依口徑、線型及地質等各種條件而有所變化。以口徑∮1500mm 幹管為例分析，扣除設計工期之總平均施工進度約 1.5~2.5M /日。

預算方面，表列潛盾工程每公尺造價約介於 18~29 萬之間，以口徑∮1500mm 幹管為例大約介於 26~28 萬/M 之間。主要工項包括：潛盾機及附屬設備、工作井、環片、管材等。其中潛盾機得依特殊地質條件規定新機，如表列編號 5.淡海線屬於複合式地盤規定採全新潛盾機，因此造價較未規定新舊機之工程為高;另管材以延性鑄鐵管 DIP(U 型)為主，直管單價約介於 50~60 元/kg(管件約 100~110 元/kg)，管徑越大單價越高。除以上所述外，主要差異尚有洞道口徑、工程規模、線型、工作井數量、地質條件以及區域物價差異等影響因子均可能左右整體潛盾工程之造價。

**(三)工作井主體**

1.尺度深度：潛盾主體工作井之長、寬尺度應以能容納潛盾機及相關主要機具設備之吊運方便為原則，主要視潛盾機之長度而定，一般自來水潛盾工程工作井之尺度至少約長 10M X 寬 5M 或 10M 直徑。至於深度則必須配合潛盾洞道深度，除特殊考量之外，實務上自來水潛盾管頂深度多介於約 6~10 公尺之間(開挖深度約 8~12 公尺)。深度太淺除較容易遭遇地下管線等埋設物之外，另外還可能有上方覆土不足導致管道浮力過大之顧慮；太深則增加工作井深度及經費，且與上部管線連結時之水流水頭之損耗大。

2.擋土支撐：潛盾工作井擋土型式主要以鋼板樁、連續壁及沉箱等居多，部分地質穩定且無地下水之條件下亦會採鋼襯鈑。鋼板樁施工效率佳且價格低廉而被廣泛設計使用，然而其變形量較大，必須特別注意所引起之周遭地盤結構物變形。此外，相較於鋼板樁及鋼襯鈑等型式，連續壁及沉箱等屬於剛性大之鋼筋混凝土結構，壁厚大(約 50~80cm)、勁度高，因此周遭地盤沉

陷等變形小，安全性較高，但工程經費亦高，通常應用於尺度及深度皆大之工作井。無論鋼板樁或連續壁擋土均需內支撐系統，其受力、變形量等均應透過計算分析，常見的開挖擋土系統電腦分析軟體有 TORSA、RIDO 等，並據以設計擇定安全的支撐配置與構件。實務上支撐構件包括橫擋、主支撐及角撐等多以 H 型鋼為主加以組合。通常支撐深度間距大約 2.5~3M 一撐，上層支撐常設計 H300 或 H350 型鋼，越下層支撐受力越大，常見以二支 H400 或 H428 型鋼作支撐。內部支撐系統佔據工作井空間，影響機具材料之吊運，因此無須內部支撐之圓形 RC 沉箱工作井亦逐漸普及，其內部空間之運用較一般須搭配支撐系統之長方形連續壁構造為佳。然而，沉箱構造施築下沉過程之控制不易，靠近鄰房之工址需特別注意下沉精度或設計採用精度控制較佳之壓入式沉箱，否則易引起周遭地盤變形損鄰事件。

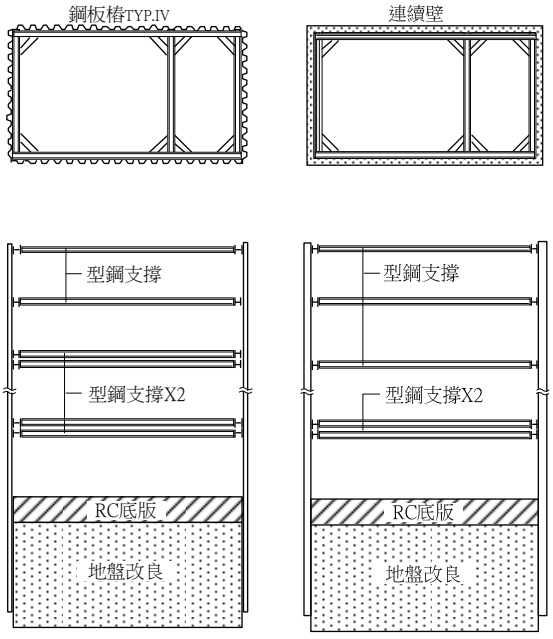



圖 11　工作井平、剖面示意圖

圖 12　潛盾推進井配置

3.地盤改良：工作井之開挖過程為高風險之施工作業，須輔以必要之地盤改良才能確保穩定及安全。地盤改良之主要目的為固結土體增加土壤支承力以及止水，最主要的地盤改良範圍在於工作井底部以及潛盾破鏡之出發端及到達端。底部灌漿範圍與強度必須能抵擋塑性滑動、底部隆起、砂湧等開挖過程可能之其他破壞力；此外潛盾出發、到達端之灌漿目的在於止水，避免地下水於潛盾機進、出工作井破鏡之際，沿潛盾機外殼形成水路湧入工作井內。出發、到達端改良之範圍依下列原則設計:a.於潛盾機盾殼外緣左、右各加 1/2 潛盾機直徑。b.機頂向上加 1/2 潛盾機直徑，底部向下延伸 1/3 潛盾機直徑。c.長度：出發段為潛盾機長度之 1.5 倍；到達段為潛盾機長度加 2 環片長。確實的地盤改良能避免潛盾機進出工作井破鏡時之災變風險。盤改良工法概分為單孔管灌漿(CCP)、二重管高壓灌漿(JSG)及三重管之超高壓灌漿(CJG)等三大類(圖 13)，設計實務上不指定灌漿工法，承包商應依照不同地質條件選用不同的灌漿工法，並達到設計要求

之範圍、強度及透水性。一般設計地改規定改良土體之單壓強度大於 10kg/cm$^2$、透水係數低於 10-5cm/s。

| 工法分類 | 灌漿材料 | 噴射管 | 噴射壓力(kg/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| CCP 工法 | 水玻璃+水泥系 | 單重管 | 60~200 |
| JSG 工法 | 水玻璃+水泥系 | 雙重管 | 200 |
| CJG 工法 | 水玻璃+水泥系 | 三重管 | 200~400 |

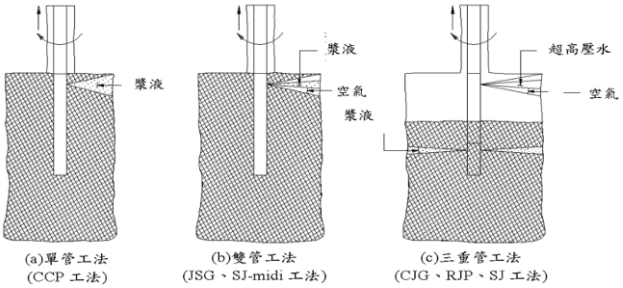



圖 13　地盤改良工法比較

4.其他設施：工作井內其他主要設施包括:反力座、發進台、鏡面工等，屬於較零星之工項，惟仍佔整體工作井一定比例預算。一般潛盾出發井之反力座提供潛盾機發進破鏡之反作用力，其強度應妥為設計核算。於潛盾機出發掘進入坑後，反力座即可拆除以增加工作井內部空間，屬於臨時性設施；發進台則作為支撐潛盾機之主要構造，於潛盾機入坑後拆除以利後續台車軌道鋪設(圖 14)；至於鏡面工則必須進行止水性試驗以確保出發端地盤改良的水密性。以上相關作業設備之強度檢核及費用均應於設計時一併考量計入。

**(四)環片設計**

環片為潛盾工程的主要工項，設計內容應包含環片厚度、材質、材料強度、分片及接合型式之構造圖說等。其應力分析應就可能之荷重型態進行檢討，在隧道橫斷面應考慮施工中(短期)及使用階段(長期)作用於隧道周圍之各方向土壓、水壓等靜態荷重等(圖 15)；至於隧道縱方向主要應考量地震力，耐震分析以反應變位法作為主要分析方式。常用自來水潛盾預鑄混凝土環片之設計厚度約 20cm 左右，混凝土 28 天強度 fc=450kg/cm$^2$，鋼筋 fy=2800、4200kg/cm$^2$(圖 16)。

圖 14　潛盾出發井之發進台

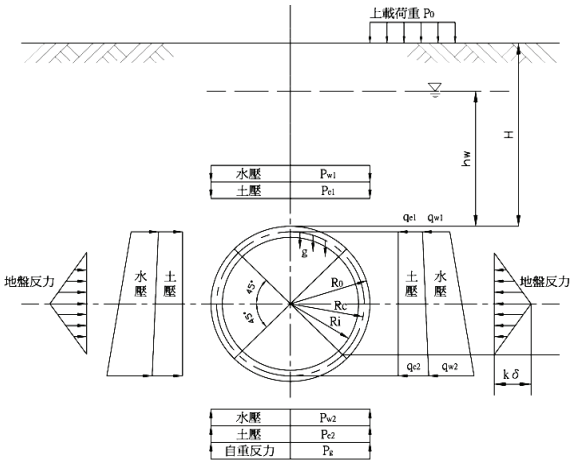



圖 15　潛盾環片受力示意圖

無論鋼筋混凝土或鋼環片，其設計主要除須確保組合完成後之隧道結構強度能夠

滿足上開條件之外。尚包含組合前環片所受之施工載重包含：堆置、吊裝、搬運、組立自重、潛盾機千斤頂推力、背填灌漿壓力等外力載重(圖 17、18)，均應予以分別檢核。

圖 16　鋼筋混凝土環片配筋

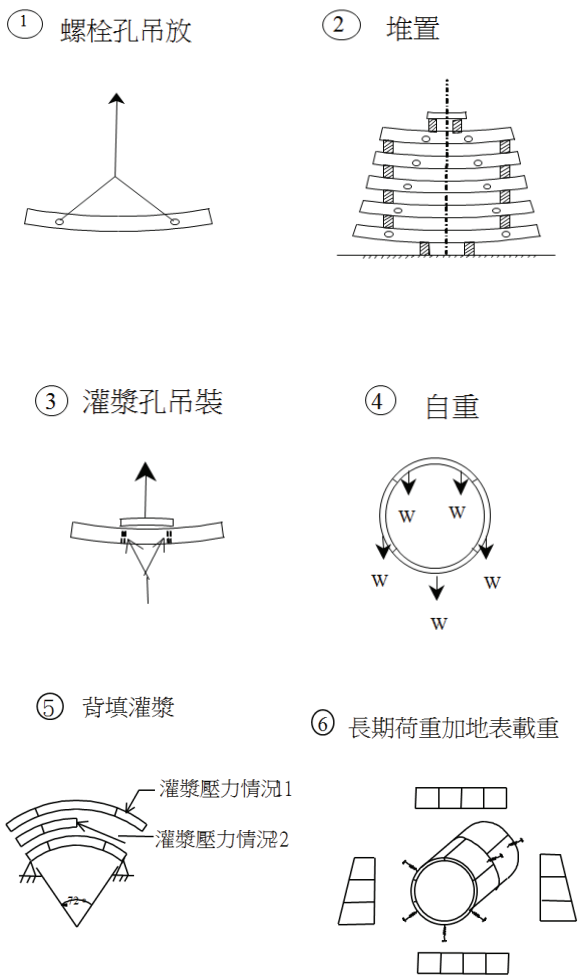



圖 17　環片受力分析樣態

圖 18　環片堆置狀況

**(五)線型要求**

相較於捷運工程等提供列車運行之潛盾洞道必須滿足極為嚴格的線型曲率及洞道內包絡線淨空間等諸多之限制。自來水潛盾工程之設計線型及曲率要求無須如捷運工程般嚴格，然而仍必須至少滿足隧道內台車運送管材之通行等基本需求，以及確保未來管材之穿管空間。

依據設計線型，潛盾工程於地下鑽掘行進，透過潛盾隧道測量定線，維持潛盾機行進在設計路線上，以確保避開私地、障礙等。其行進方向及洞道線形之控制精準與否攸關工程成敗至鉅，也是潛盾工程施工品質的重要指標。因此，設計必須明確規範潛盾行進過程之線型測量頻率及數值資訊回報，俾能立即實掌握實際狀況於掘進過程及時修正。同時應明訂線型之容許偏差，舉例而言，捷運工程規定環片內緣任一點與設計位置之偏移(包括線型偏移或環片變形)不得超過 100mm；而且規定除須具備基本之隧道線型檢查測量外，潛盾機頭另須具備測得機頭掘進走向、方位之設施，規定甚為嚴格；北水工程總隊參考下水道等其他相關類似使用功能之潛盾洞道偏移容許規定，目前線

型偏差容許值訂為 D/10(D:環片外徑)(圖 19)，倘超過容許值而雖不影響使用功能時，應予課處相關罰則。此外，並另案發包測量勞務標案，委託第三方專業測量公司進行潛盾洞道複測作業，於重要關鍵位置處進行線型複測，以避免施工廠商隱匿線型偏差。

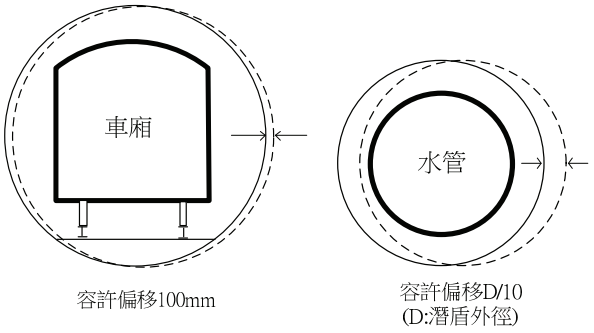



圖 19　捷運與自來水線型偏差標準

線型偏差標準應考量自來水潛盾工程特性，因為自來水工程每一段潛盾掘進長度動輒二公里以上，遠較捷運工程長，而且工作井狹小後視(BS)距離短，隧道內長距離導線之誤差傳播放大效應更顯著(圖 20)。故在此條件下之隧道測量誤差控制更為困難，因此，D/10 之偏移容許誤差標準不可謂不嚴。務實之作法應針對路線風險及潛盾條件，針對個案評估需求並據以訂定合適之線型偏差標準，避免標準過度嚴苛而衍生履約問題。

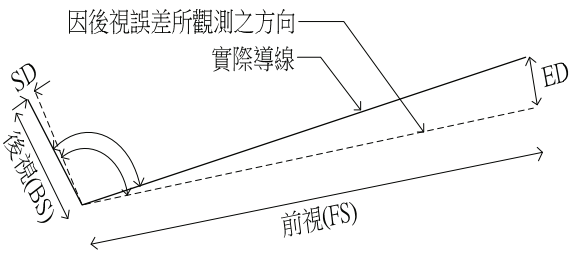



圖 20　測量誤差傳播放大效應示意

**(六)安全監測**

潛盾掘進過程擾動地盤所造成之變形及沉陷，大致分為潛盾機通過前、中、後等三個歷程階段之沉陷為主(圖 21)。過程中必須針對隧道經過之影響範圍內進行安全監測及作必要之保護，對於地盤造成之沉陷必須控制在容許範圍，以免造成鄰近結構損害。影響範圍一般係以潛盾隧道底部以 1.5：1 之斜率往上延伸至地面之影響線範圍內，應納入監測範圍(圖 22)。此外，當潛盾路線鄰近或穿越重要設施如:高架道路橋梁或其他時，應依設施管理單位之標準監測，且監測歷程應拉長至潛遁穿越設施前、中、後一段期間確認在容許範圍且穩定後方能解除監測。

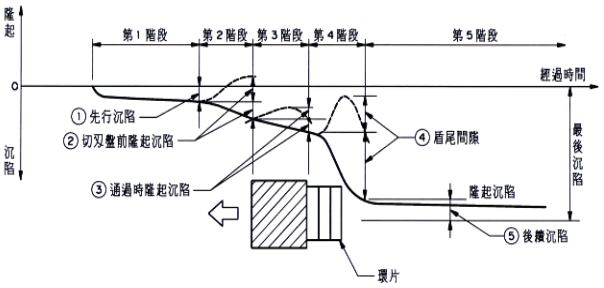



圖 21　潛盾機與地面沉陷關係

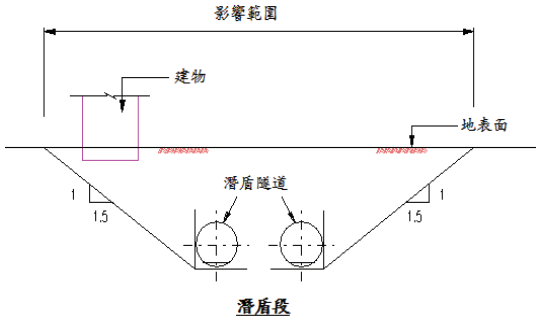



圖 22　潛盾洞道監測範圍影響線

常見之安全監測點功能及佈設方式茲述如下：

(1)永久水準點：錨定於礫石、岩盤或標準貫入試驗 SPT 值大於 50 之承載層至少 1.5 公尺，使用外套管使其與周圍土壤隔離。其功能為決定潛盾隧道施工期間其他沈陷參考點高程之控制水準點。其高程應每月檢核並將結果提送甲方。

(2)沈陷點：裝設於結構物、公用管線、地表或淺層地下之固定測點。所有沈陷點均以光學測量儀器監測，以監測潛盾施工時是否發生垂直變位。

(3)傾斜計：設於傾斜板上之活動式或永久式裝置，用以監測潛盾隧道施工時，鄰近結構物之單軸或雙軸轉角或傾斜角。傾斜板為裝設於牆、樓版或支撐構架上之基座。

(4)水壓計：裝設於鄰近潛盾隧道周圍垂直鑽孔中之多孔元件，在一定深度處之儀器反應區間，應以皂土封填料加以隔離。用以量測特定深度或特定土層處因潛盾施工所產生之水壓變化。

(5)土中傾度管：裝設於鄰近潛盾隧道周圍土壤中之垂直鑽孔內。傾度管內裝置雙軸感應器，用以監測地層內不同深度因潛盾施工所產生之側向位移。

(6)裂縫計或裂縫儀：為裝設於建築物或其他結構物上，橫跨結構裂縫，用以觀測及量測鄰近建築物或其他結構物上，因潛盾隧道施工所產生之裂縫大小變化率。

(7)連續壁壁體內傾度管：儘可能設於工作井連續壁壁體內已裝設之垂直外套管內。傾度管得延伸至連續壁下方之緊密土層。傾度管內裝置雙軸感應器，以監測施工期間連續壁各深度是否產生水平位移。

(8)應變計：裝設於工作井臨時內撐系統之撐件上。應變計可間接量測所在構件之應力。惟應同時量測溫度，以便於計算應變時依溫度效應作修正。

**(七)管線配管設計**

自來水潛盾工程之線型配置與一般明挖幹管工程有所差異，主要設施大多集中配置於工作井之處(圖 23)，作為日後維護管理之重要進出之處。茲就各類設施設計原則分述如下：

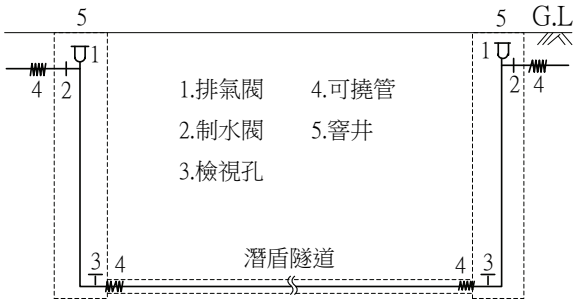



圖 23　自來水設施配置示意圖

1.排氣閥：位於工作井垂直管段之最上方處容易累積空氣，應於該處設置適當口徑之排氣閥。

2.制水閥：二端或中間工作井處應考量設置制水閥開關以利分段維護。

3.檢視孔：潛盾幹管位於地下深處，無法自外部開挖維護或檢修，故應預留檢修孔及窨井，以利日後進出管內。

4.可撓管：於工作井垂直轉折處，容易產生差異沉陷，及地震產生之錯位位移，應設可撓管吸收變位保護管線。

5.窨井：應設計永久性工作窨井，並將相關

閥類設施作適當之整合納入窨井內，以利未來維護。

其他諸如排水管、洩壓閥等設施亦應視實際需求考量設計。

關於潛盾工程之管材，可設計採用延性鑄鐵管(DIP)或鋼管(SP)。考量鋼管位於管道內侷限空間焊接施工之品質及勞安控管均屬不易，又防蝕處理之效果確保不易。因此，北水工程總隊均設計採用容易於隧道內組裝且防蝕性能較佳之 DIP，作為潛盾洞道內穿管之主要管材，並以內鎖式之 U 型接頭 DIP(圖 24)，於管材內部進行接頭止水施工。然而管材必須配合洞道之線型走向曲率配置合適之彎管等管件，必要時得配合線型之需採非規格小角度之 DIP 彎管。因管材外部有環片及填充材保護，故直管管材之厚度設計應務實地採用較薄之第四種管材(D4U)即可，避免過度設計浪費。

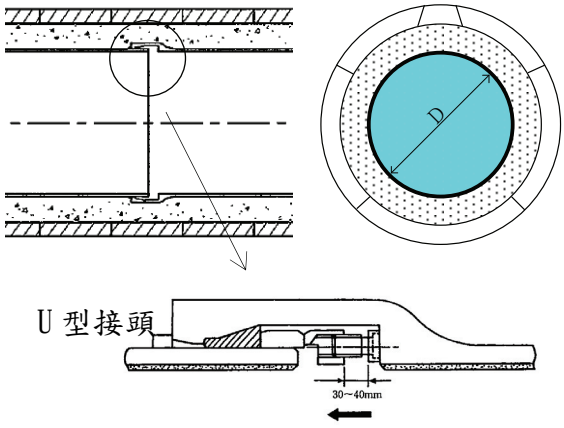



圖 24　穿管安裝及接頭示意圖

至於管材與環片之間隙填充，主要目的在於固定管材，而不在其充填材強度。且就耐震性而言，越低強度之填充材能隔絕環片受力變形傳遞至管材。因此，適合以流動性高、低強度為主之水泥砂漿系列產品，包括輕質氣泡砂漿或低強度、高流動性混凝土等。國內實務做法上係以由隧道內台車運送混凝土至穿管背填處再泵送灌漿(圖 25)。國外日本類似工程之背填灌漿可直接從工作井上面之填充材儲槽透過配管直接押送高流動性填充材至穿管處進行背填(圖 26)，相當節省人力及快速，值得參考。

圖 25　洞道內穿管背填混凝土

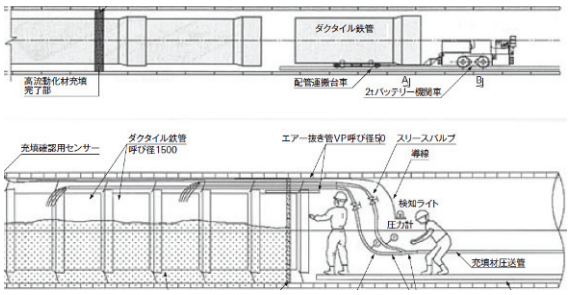



圖 26　直接押送式背填灌漿

## 四、招標作業實務

自來水潛盾工程規模大多屬鉅額工程(採購金額達二億元)以上，故其分標、決標原則、廠商資格等項目之訂定相較一般管線工程差異頗大。為使能順利發包、如期完工，就一般實務上採行之原則及優劣，茲述如下：

### (一)設計及施工分標原則

此類工程涵蓋範圍包括潛盾隧道及自

來水管線等二大類工程專業，設計須涉及潛盾隧道結構安全計算分析等作業，且規模較大，礙於人力限制故常採專業委託設計。因此，機關辦理此類工程可採先委託設計標再發包施工標之二段式發包或以統包(設計+施工)一段式發包之方式辦理。前者二段式除耗時較久外，最大的問題仍在於國內顧問公司對屬性特殊之自來水潛盾工程之設計及監造實務經驗不足，設計容易形同閉門造車或考量未盡周延，而設計與施工分屬不同廠商之介面及協調更易發生扞格，導致施工後變更設計頻繁或相關責任歸屬問題，造成工程內耗延宕及機關執行不易；反觀後者統包方式，在同一統包團隊下，能將設計與施工廠商之考量與顧慮納入整體設計作業中，消彌介面協調問題又兼具未來施工之可行性及安全性，施工階段之運作與協調似乎也較為平順，對於機關後續之執行較為有利。整體而言，統包方式以施工廠商為主體之統包團隊雖較有利於執行，然而，設計廠商也容易變成施工廠商之附庸，完全依照施工廠商之意見進行設計，倘若如此對於工程安全性恐為一大隱憂。因此，機關監造單位必須自我提升潛盾工程之專業能力，並在設計審查階段進行嚴格實質之要求及規範，並落實於設計施工作業。

**(二)決標原則**

自來水潛盾管線工程主要為功能性需求，大多僅針對幹管起、訖連絡銜接點及管線口徑予以規範。在滿足前開條件下，其餘包括:工作井型式、數量、大小、潛盾機、環片、路線線型等均得由設計廠商發揮專業及創意進行最妥適之設計。因此，此類工程存在相當程度之異質性，不同廠商就異質性部份可能具有極大之設計差異，故該部分宜由廠商自行發揮。然而早期機關辦理採購為減少爭議多採用最低標之決標原則，又低價搶標長期以來一直被視為工程品質低落之主因。因此近來國內公共工程之採購政策上逐漸轉向以最有利標之原則，以臺北市政府為例，規定二千萬元以上之工程採購案應以最有利標為原則，最低標為例外，翻轉過去之作法。再加上自來水幹管潛盾工程具相當大之異質性，因此，不同廠商所提方案優劣利弊，不宜單以價格作為唯一之評量標準，應以最有利標之方式進行評選為決標原則。期能杜絕低價搶標之流弊，提升公共工程品質。故未來機關對於標案預算價格之編列更應審慎與縝密，兼顧預算合理性及可行性。

**(三)廠商資格**

自來水管線潛盾工程包括自來水管線及潛盾工程二者專業之結合，因此廠商之基本資格部分以此二種工程專業為主。潛盾工程部分以「甲級綜合營造業」或「地下管道專業營造業」為主體廠商、自來水管線部分則是「甲級自來水管承裝業」。以此二類工程業別結合共同投標為原則，同時兼具二類專業者則可單獨投標。此外，廠商特定資格部分，主要規定「甲級綜合營造業」或「地下管道專業營造業」應於一定期限內(五年或十年)具有相當之潛盾工程實績經驗，同時應出具最近一年顯示財務狀況正常之財務報表，以確保廠商之履約能力。

## 五、結論

自來水潛盾工程技術門檻及風險均

高，施工技術多仰賴施工廠商自主品管，因此廠商能力及素質影響整體工程甚鉅。主辦機關或監造單位倘無足夠專業能力，則容易流於「施工廠商主導技術施工、機關或監造單位負責行政流程收拾善後」之弊，陷工程於高風險之困境。因此，提升工程主辦機關之工程核心專業乃為根本之道，能於施工過程及時匡正，防範於未然，降低工程風險。本文乃基於北水工程總隊多年累積歸納之粗淺經驗，期能對相關工程人員有所助益，順利推動工程業務。

## 參考文獻

1. 潛盾工程隧道開挖(2018)，公共工程委員會綱要規範第02414章
2.潛盾隧道規劃要點(2013) 中興工程顧問公司 張吉佐 王建智 邱德夫
3.多樣化潛盾機型式探討(2014) 台灣世曦工程顧問公司 李魁士
4.延性鑄鐵管指引(Ductile Iron Pipe Guidebook 2018)，日本延性鑄鐵管協會
5.水道施設設計指針(2012)，日本水道協會

## 作者簡介

**吳世紀先生**

現職：臺北自來水事業處工程總隊 股長

專長：自來水管線工程規劃、設計、施工

# 台南高雄水源聯合運用調度輸水工程計畫執行現況與供水調配

文/蕭任修、謝東穎、徐俊雄


## 摘要

經過民國 98 年莫拉克風災後，因南部地區既有水源設施供水潛能減少(水庫淤積量增加)、曾文越引計畫因故緩辦、高屏溪原水濁度偏高等問題，致使南化水庫與高屏攔河堰難以發揮水源聯合運用之功能，且面臨用水需求持續成長，缺水危機迫在眉睫，故台水公司配合水利署之「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」，辦理「臺南高雄水源聯合運用調度輸水工程」，並加強供水調配，屆時於豐水期末(11~12 月)由高雄支援台南之管線輸水能力最大可達 20 萬 CMD，以解決南部地區迫切之用水問題。

本文將針對台水公司執行本工程計畫之目標、高雄系統現況概述、工程內容、北嶺加壓站上游管網分析、供需分析檢討、供水調配模式及效益作概括性之介紹。


## 一、前言

近年來因全球性氣候變遷對台灣地區降雨特性影響甚大，又以南部地區最為明顯，尤其民國 98 年莫拉克風災後，南部地區遭遇空前之供水難題，包括 1.既有水利設施之供水潛能減少、2.高屏堰水源北送至南化水庫供水區之供水量不足、3.曾文水庫越域引水計畫因災變無法如期完工供水、4.高屏堰豪雨原水濁度過高，停水事件頻傳、加上 5.用水需求仍持續成長。有鑒於此，台水公司研擬「嶺口至鳳山厝送水工程」、「大泉淨水場暨下游輸水工程」及「坪頂淨水場改善工程」等子計畫組成之「臺南高雄水源聯合運用調度輸水工程計畫」作為下游搭配之自來水工程計畫，其中「坪頂淨水場改善工程」係提昇高雄供水系統整體調度供水能力；「嶺口至鳳山厝送水工程」具有穩定輸送手巾寮深井水源至北高雄地區之功能，係高雄供水系統豐水期增出之水量能否滿足北高雄用水，進而跨區支援台南之重要關鍵因素；另本計畫仍需覓得替代水源及興建下游供水設備以達成豐水期跨區支援台南地區之供水目標，經多次勘選評估後，以水利署規劃開發之興田伏流水為本計畫主要水源，並以南化水庫(及甲仙堰)豐水期餘水及高屏攔河堰剩餘水量作為補充水源，並於高屏攔河堰上游處大泉營區土地興建淨水場及設置清水加壓設備，再沿 186 縣道及高 52-1 線道路埋設送水管至澄觀路與高雄系統供水管網銜接，以供應北高雄用水，同時北嶺加壓站增設加壓設備並於下游沿台 1 線增埋送水管，一方面滿足當地用水需求，另一方面高雄系統多餘水量經加壓後藉台 1 線既設幹管直接跨區支援臺南地區[4]。

## 二、高雄系統現況概述

### (一)供水範圍

本計畫供水區係以高雄區供水系統涵

蓋區域為主，包含高雄市政府所轄行政區域，除高雄市旗山、內門、茂林、美濃、甲仙、六龜、杉林、那瑪夏及桃源等 9 區，多為獨立自來水系統或簡易自來水系統，非屬本計畫供水區[4]。

**(二)水源概述**

高雄系統之水源大部分取自高屏攔河堰（豐水期水量充沛，但枯水期水權及可取水量均不足），水源量 90~110 萬 CMD (約 54%)、東港溪攔河堰水源量 30~35 萬 CMD (約 18%)、伏流水水源量 16~37 萬 CMD (約 15%)、深井地下水及其他水源水源量 19~27 萬 CMD (約 13%)。

**(三)淨水場概述**

高雄系統近年由各淨水場供應之自來水配水量約在 155~160 萬 CMD 左右，以高屏攔河堰為主之水源，其下游淨水場包括坪頂、澄清湖、拷潭、翁公園及鳳山(民生用水)淨水場，係供應高雄地區大部分自來水用水區，另取用伏流水及地下水源為補充或備用水源，以上取用高屏堰為水源之各淨水場設計處理能力為 166 萬 CMD，實際出水量將近 115~118 萬 CMD；而鳳山淨水場抽取東港溪原水處理後供應高雄區工業用水，設計處理能力為 40 萬 CMD，實際處理量約 28 萬 CMD；嶺口淨水場處理手巾寮深井水供應北高雄地區，設計出水能力 10 萬 CMD，實際出水量約 9~10 萬 CMD；路竹淨水場水源來自阿公店水庫，供應南科路竹園區用水，設計處理能力約 12 萬 CMD，實際出水量約 2~4 萬 CMD；另位於台 1 線之北嶺加壓站係高雄系統與台南地區雙向跨區支援之供水樞紐，經此加壓站之清水可藉其加壓設備進行跨區支援，考量台 1 線高雄北送台南送水幹管輸水能力、供水區承受潛能，由高雄北送台南之最大支援能力為 20 萬 CMD。各淨水場設計及實際出水能力彙整如表 1 ，各淨水場分布位置詳圖 1。

**(四)供水現況**

依民國 107 年版「臺灣自來水事業統計年報」資料，本計畫供水區之高雄區供水系統供水普及率97.18%。年配(供)水量約148.15萬 CMD，年抄見量約 119.10 萬 CMD，抄見率為 80.39%，有效未計費水率約佔 10.34%（含水表不感度水量、事業工程用水、消防用水、漏水及竊水等）[5]。依該年報資料，民國 107 年高雄區供水系統每日民生用水配水總量約 119.75 萬 CMD，每日工業用水配水總量約 28.4 萬 CMD，配水量總計 148.15 萬 CMD。高雄區供水系統目前以鳳山、坪頂兩大淨水場為主要供水中心，坪頂場供水量約 49~52 萬 CMD，鳳山場供水量約 46 萬 CMD。南高雄地區除鳳山場之外，另拷潭及翁公園場合計出水 15~20 萬 CMD，澄清湖場亦支援部分供水區域，南高雄地區因部分水源來自東港溪地表水，淨水場出水狀況較不似高屏溪原水易受豐枯水期與原水濁度高低之影響，供水相對穩定；北高雄除了坪頂場之外，另以澄清湖場及嶺口場供應部分區域用水，岡山以北地區以往亦常由台南系統支援部分水量，因北高雄供水區相對遼闊，未來工業發展潛力可期，用水量將有成長之空間，且主要淨水場供水亦常受豐枯水期及高屏溪原水濁度高低影響，若需與台南地區水源跨區調配支援，其淨水場等設備容量仍有待提昇，故此區域屬高風險之供水區，水

源量、供水設備不敷未來需求及備援供水能力之不足為此區域面臨之重要課題。

## 三、本工程計畫內容

### (一)規劃構想

本計畫各項工程規劃構想，先行穩定高雄地區既有供水來源，並設法開發或尋覓可行之水源以替代高屏大湖，以充裕大高雄地區之水源，優先滿足北高雄用水需求，進而適時跨區支援台南地區。本工程計畫平面圖如圖 2[4]。

表 1　高雄系統現況各水源出水量及淨水場出水能力一覽表

| 狀況別 | 水源 | 水源量(萬 CMD) | | 淨水場 | 設計出水能力(萬 CMD) | 目前供水量(萬 CMD) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 豐水期 | 枯水期 | | | 豐水期 | 枯水期 |
| 現況水源及淨水場(108 年) | 高屏攔河堰 | 110 | 90 | 坪　頂[1] | 80/65 | 52 | 49 |
| | 竹寮大樹深井 | 4.5 | 4 | 澄清湖 | 45 | 30 | 30 |
| | 拷潭翁公園深井 | 2.5 | 2 | 拷　潭 | 22.5 | 14 | |
| | 竹寮伏流水 | 10 | 4 | 翁公園 | 3.6 | 3.5 | |
| | 翁公園伏流水 | 10 | 4 | 鳳　山[2] | 70 | 46 | |
| | 會結伏流水 | 7 | 4 | | | | |
| | 九曲堂伏流水 | 10 | 4 | | | | |
| | 東港溪攔河堰 | 35 | 30 | | | | |
| | 手巾寮深井 | 10 | | 嶺　口 | 10 | 10 | |
| | 阿公店水庫 | 10 | 3 | 路　竹[3] | 12 | 4 | 2 |
| | 南化水庫[4] | (46) | | | | | |
| | 小　計 | 209 | 155 | | 228.1 | 159 | 155 |

註 1：坪頂淨水場原設計出水能力為 80 萬 CMD，因飲用水水質標準改變(原設計處理 4 NTU，後水質標準降為 2NTU)及高屏溪原水濁度過高(遠超出原設計濁度)，致設計出水能力降為 55 萬 CMD，另新增 10 萬 CMD 淨、廢水處理設備，計 65 萬 CMD。

註 2：鳳山淨水場水源包括高屏溪(民生用水)及東港溪原水(工業用水)，該場民生用水設計出水量 30 萬 CMD，實際出水量 18 萬 CMD；工業用水設計出水量 40 萬 CMD，實際出水量 28 萬 CMD。

註 3：路竹淨水場豐水期配合阿公店水庫空庫排砂(每年 6 月 1 日~9 月 10 日)，出水量減少，枯水期則充分利用庫容配合水利署調配出水。

註 4：南化水庫水源量藉南化高屏聯通管送高屏堰之最大輸水能力約為 46 萬 CMD。

圖 1　高雄系統各淨水場分布位置

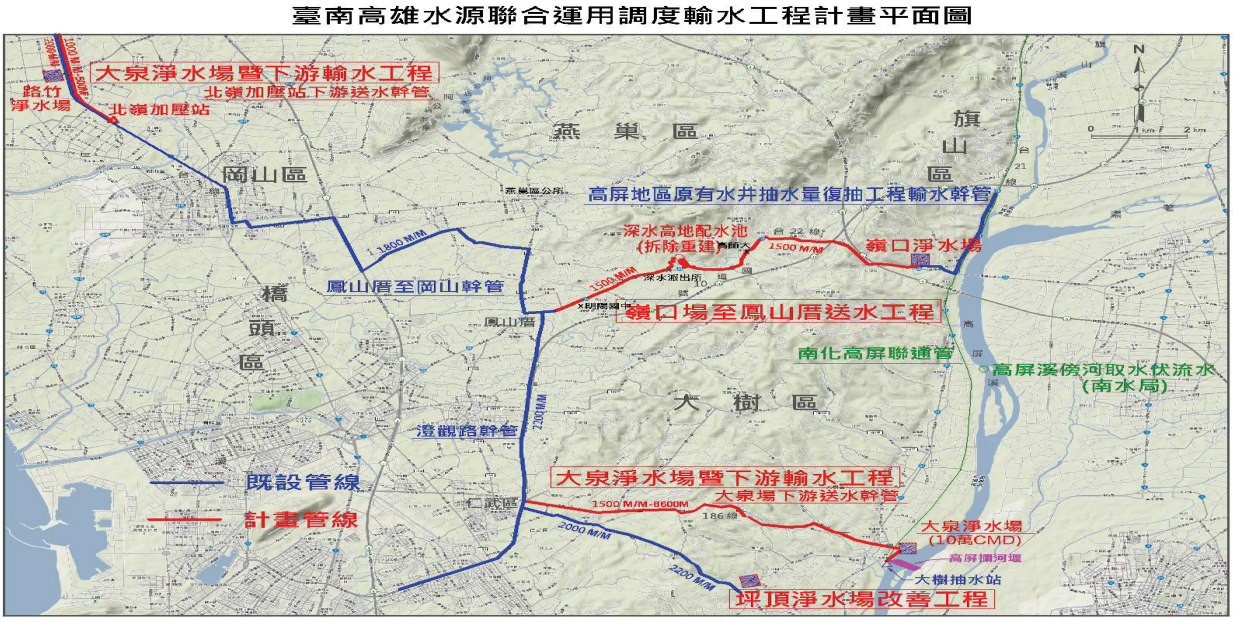



圖 2　本工程計畫平面圖

## (二)嶺口場至鳳山厝送水工程

送水管工程：嶺口淨水場原規劃作為「高屏大湖計畫」下游供送自來水之中繼加壓站，因「高屏大湖計畫」環境差異分析已遭退回，經檢討後未來仍以處理手巾寮深井水源為主，將再增加供送「高屏地區原有水井抽水量復抽工程」新增之水源量(原規劃 10 萬 CMD，現況約 2.5~5 萬 CMD)，現有送

水管口徑僅為 $\phi$1200mm，無法負荷未來輸送水量，故本計畫擬自嶺口淨水場沿旗南三路、台 22 線公路經深水高地配水池至鳳山厝地區增埋 $\phi$1500mm 幹管，全線埋管長度約 9,600M，已於 107 年 1 月完工。

深水高地配水池工程：因池體老舊破漏導致調配供水功能不彰，本計畫擬改善擴大其供水調配功能，於原地拆除後重建 45,000M3 配水池，並埋設 $\phi$1500mm 進、出水管路，需取得之私人用地。

**(三)大泉淨水場暨下游輸水工程**

大泉淨水場工程：取用水利署開發之興田地區伏流水為主要水源。計畫於高屏攔河堰上游約 600M~1,000M 處大泉營區一帶取得約 7.6 公頃土地，新建大泉淨水場。初期擬於大泉營區土地新建處理能力 10 萬 CMD 之淨水場，增設原水抽水設備及埋設高屏堰至大泉營區導水管引取藉南化高屏聯通管輸送之南化水庫多餘水量與高屏攔河堰剩餘水量作為補充水源。未來「高屏大湖工程計畫」完成後，高屏大湖原水將取代興田伏流水為大泉淨水場主要水源，屆時大泉場再增設 5 萬 CMD 淨水處理設備，其最終淨水處理能力將可達 15 萬 CMD，預定於 109 年底完工。大泉淨水場平面配置圖如圖 3[4]。

送水管工程：經大泉淨水場處理後之清水，計畫沿 186 縣道及高 52-1 鄉道埋設 $\phi$1500mm 送水幹管 8,600m 至澄觀路與高雄供水系統既設 $\phi$2200mm 幹管銜接供水，已於 107 年底完工。另自北嶺加壓站沿台 1 線增埋 $\phi$1000mm 送水幹管 5,000m 經岡山至路竹地區，與當地配水管網銜聯結，預定於 109 年底完工。

北嶺加壓站增設加壓設備：配合本計畫增設 $\phi$1000mm 幹管供送高雄市岡山以北地區之用水，於北嶺加壓站既有 5,000M3 配水池設置 150HP(27,000CMDx28M)抽水機 4 台(含 1 台備用)、水量計及監控設備，已於 108 年 3 月完工。

**(四)坪頂淨水場改善工程**

改善工程概要：坪頂場原設計處理能力 80 萬 CMD，因近年來高屏溪原水濁度驟增(遠超出原設計濁度)及自來水水質標準愈趨嚴格，淨水處理產生之污泥量過高，造成後段廢水處理無法負荷，致實際出水能力已降至 55 萬 CMD，若增設部分廢水處理設備可提升效能，使操作較順暢；另為配合豐水期增加出水能力，坪頂場增建 10 萬 CMD 淨水(含廢水)處理設備，可提昇坪頂場出水能力至 65 萬 CMD，已於 108 年 4 月底完工。

工程內容：增設部分廢水處理設備：增設廢水 調勻池、廢水沉澱池及上澄液回收池、污泥池、第一段污泥濃縮池及濃縮污泥貯存池及污泥暫存池。增建 10 萬 CMD 淨水(含廢水)處理設備。改善工程平面配置圖如圖 4。

**(五)原工程經費及期程**

執行期程 103~108 年，執行經費 53.4 億元，由公務預算補助部分之建造成本為 44.4 億元，由台水公司自籌經費辦理項目之計畫經費約 9 億元。

**(六)修正計畫**

曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫(第 3 次修正業於 108 年 11 月 7 日奉行政院核定在案)，本工程計畫期程修正為 110 年 6 月完工，工程總經費不變。

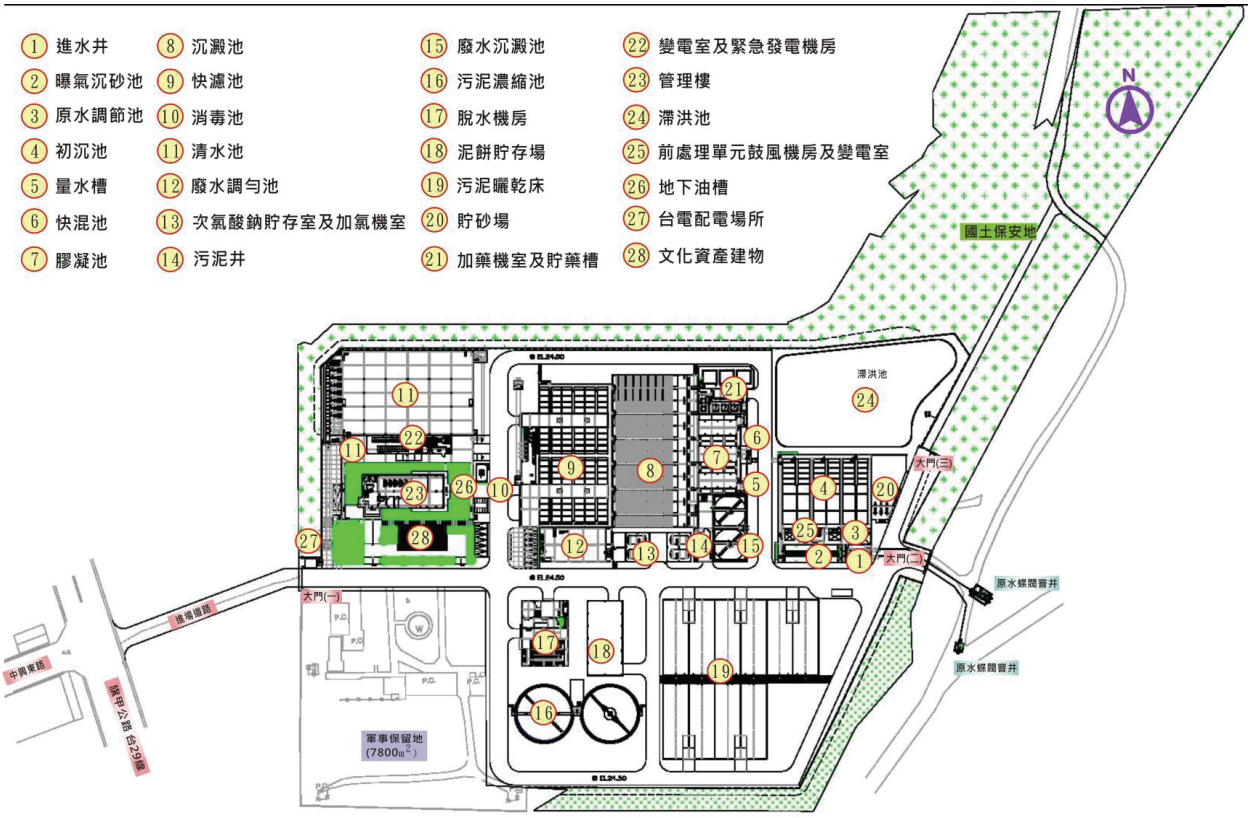



圖 3　大泉淨水場平面配置圖

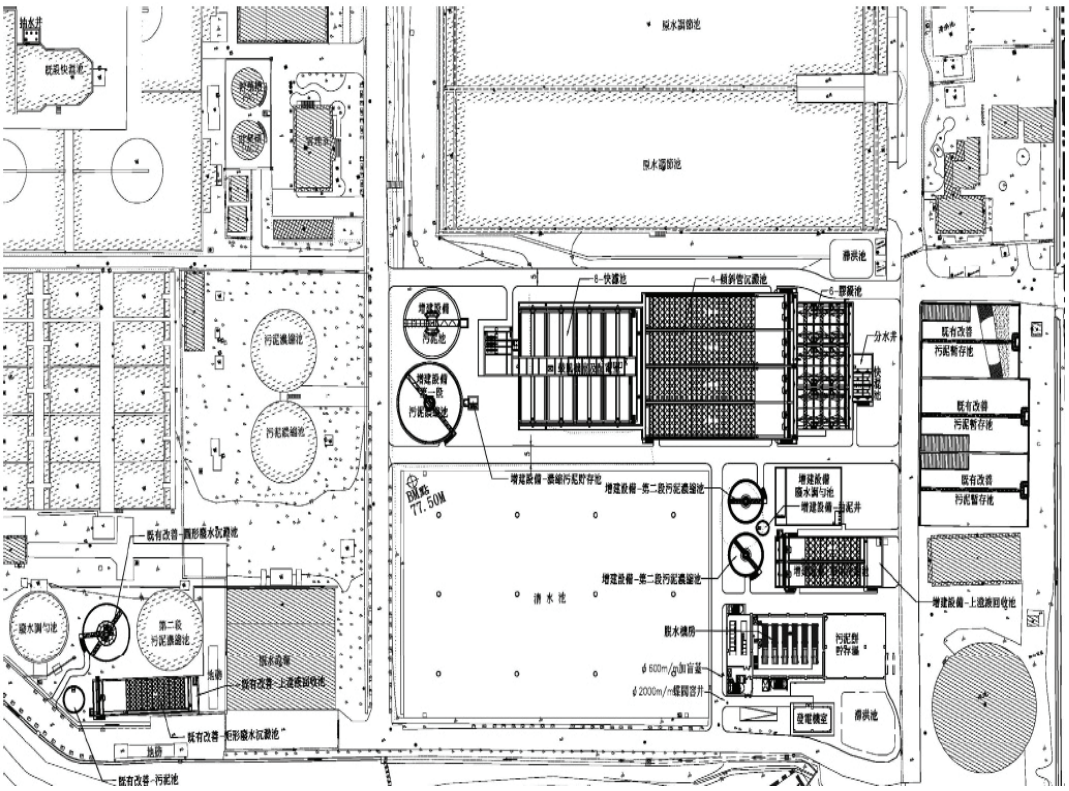



圖 4　坪頂淨水場改善工程平面配置圖

## 四、其他辦理中供水計畫工程

### (一)各工程項目

在本工程計畫推動同時，水利署及台水公司亦積極辦理其他多項工程，藉各工程之功能發揮與本計畫搭配結合下，改善南部地區尤其是高雄系統之常態、備援水源供水能力，紓緩高雄系統之供水壓力。相關工程包括屬於「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」項下之「高屏溪伏流水開發工程」、「高雄地區增設地下水及伏流水工程」、「東港溪原水前處理工程」及「高屏地區原有水井抽水量復抽工程」等，其中第 1 項係本計畫大泉淨水場之主要水源，第 2、3 項工程係提昇高雄系統備援水源供水能力，第 4 項係增加高雄系統常態水源量。台水公司亦逐年籌編經費改善「鳳山厝至岡山幹管工程」之輸水瓶頸，可強化高雄系統跨區支援台南地區之供水調度能力[4]。

### (二)高屏溪伏流水開發工程(興田伏流水)

於高屏溪河畔傍河取用伏流水作為備援用水，開發 10 萬 CMD 出水量作為大泉淨水場之水源，工程總經費為 12 億元[1]。

### (三)高雄地區增設地下水及伏流水工程

於竹寮及翁公園之高屏溪河床上分別施設§1200mm 集水管 1.25 公里及 1 公里引取高屏溪伏流水，豐水期個別取水量均為 10 萬 CMD，該水源再送至本公司淨水場處理，其功能係提供大高雄地區豐水期 20 萬 CMD 及枯水期 10 萬 CMD 緊急備援水源[2]。竹寮及翁公園伏流水工程分別於 104 年 3 月及 10 月底完成，工程總經費約 4.94 億元。

### (四)東港溪原水前處理工程

本工程係配合鳳山淨水場既有民生淨水處理流程(含高級處理設備)，增設 30 萬 CMD 原水前處理設備以處理東港溪原水，並於高屏溪汛期高濁度及枯水期間供作民生用水需求，預期效益係增加高雄地區 20 萬 CMD 備援水源量[2]。本工程配合「曾南烏供水計畫」已於 106 年 8 月底完成，工程總經費為 3.34 億元。

### (五)高屏地區原有水井抽水量復抽工程

於高雄市旗山區手巾寮地區改善既有深井 10 口及新鑿深井 8 口，計畫最大取水量為 10 萬 CMD，並自手巾寮至嶺口淨水場間埋設§600mm～§2600mm 導水管 16.2 公里，將深井水源導送至嶺口場處理後供送下游供水區。惟於手巾寮地區新鑿深井遭遇地方民眾抗爭，僅新鑿 2 口深井，約增加 1.5 萬 CMD 水量，已於 105 年 5 月完成既有深井復抽及輸水管工程，配合下游送水幹管工程完成後，將增加北高雄地區最大 2.5~5 萬 CMD 供水量，工程總經費為 14.2 億元。

### (六)鳳山厝至岡山送水幹管工程

本工程配合坪頂場增加出水供送北高雄，進而跨區支援台南地區用水，完成後將有助本計畫恢復南化水庫與高屏攔河堰水源聯合運用跨區支援供水能力，其工程內容係以高雄市燕巢區鳳山厝為起點，沿燕巢區角宿路往北埋設§1800mm 送水幹管，與高雄供水系統之§1500mm 幹管銜接，管線全長約 12.2 公里。已於 103 年 5 月底完成，工程總經費約 5.16 億元。

## 五、供需分析檢討

### (一)需水量推估

依據 106 年 3 月 10 日行政院核定之「台灣南部區域水資源經理基本計畫」高雄系統各目標年推估需水量，詳如表 2[3]。

表 2 高雄系統各目標年推估需水量

單位：萬噸/日

| 目標年 | 105 | 110 | 115 | 120 |
|---|---|---|---|---|
| 趨勢中成長 | 157.2 | 164.6 | 170.1 | 171.0 |

**(二)供需評估**

依「台灣南部區域水資源經理基本計畫」之高雄地區自來水系統用水供需圖如圖 5[3]。

## 六、北嶺加壓站上游管網分析

**(一)供水現況**

目前高雄系統供應岡山以北地區水量約 8～10 萬 CMD，大多藉岡山段舊台一線既有§1500mm 幹管於阿公店溪南側匯合坪頂、嶺口等淨水場調配水量，該幹管將水量沿岡山市區及台 1 線輸送至北嶺加壓站(北嶺加壓站前水壓約 0.7~0.8kgf/cm$^2$)，再由北嶺加壓站加壓後分送岡山地區及續沿台 1 線北送路竹、湖內及茄萣等區，若有多餘水量可支援台南用水(目前於豐水期末支援量約 5 萬 CMD)，北嶺加壓站上游既有管線設備分布位置如圖 6[6]。

**(二)北送台南 20 萬 CMD 可行性**

由北嶺加壓站高揚加壓後，利用台 1 線既有§2000mm 幹管北送支援台南，並以低揚抽水機藉由新設之§1000mm 管線送水至高雄市岡山以北各區民生及工業用水需求。推估 110 年岡山(阿公店溪)以北地區平均日需水量為 13.55 萬 CMD，最大日需水量約 15.8 萬 CMD。若需支援台南地區供水，必須先滿足岡山(阿公店溪)以北地區用水需求。最大日水力分析如圖 7，支援台南 20 萬 CMD 條件，於每年 11~12 月跨區支援供水，且路竹場出水量須提升至 10 萬 CMD，高雄系統供送北嶺加壓站 32 萬 CMD。水力分析結果：新增§2000mm 幹管連接既有§1000mm 及§2000mm 幹管之輸水量為 32.8 萬 CMD，岡山段舊台 1 線§1500mm 幹管變為備援管線，北嶺加壓站前壓力為 2.98kgf/cm$^2$ [6]。

**(三)水力分析與實際供水面臨問題**

水壓偏低：高雄系統主要送水幹管水壓大多維持在 1.0kgf/cm$^2$ 左右。依操作現況，北嶺加壓站前壓力僅有 0.7~0.8kgf/cm$^2$，故藉由岡山段舊台 1 線§1500mm 幹管往北輸送至北嶺加壓站之水量將難以提昇，為充分利用北嶺加壓站配水池之調蓄功能加壓北送台南 20 萬 CMD，站前水壓至少應維持 1.6kgf/cm$^2$ 以上(配水池 HWL.25.5M，GL.10M)，現階段站前水壓僅能使配水池發揮部分供水調蓄功能，無法達成支援台南 20 萬 CMD 之目標需求。

管線老舊：岡山段舊台 1 線§1500mmPSCP，管齡約 30 年，另後段連接至北嶺加壓站之§1750mmPSCP 及§2000mmDIP 及 PCCP，管齡亦超過 25 年，目前使用狀況尚稱穩定，短期間暫無汰換改善之迫切性，惟仍應配合管線使用狀況，及早規劃辦理管線汰換工程。另此幹管沿線配水支管多屬老舊管線，恐成為未來管線發生破漏之高風險地區。

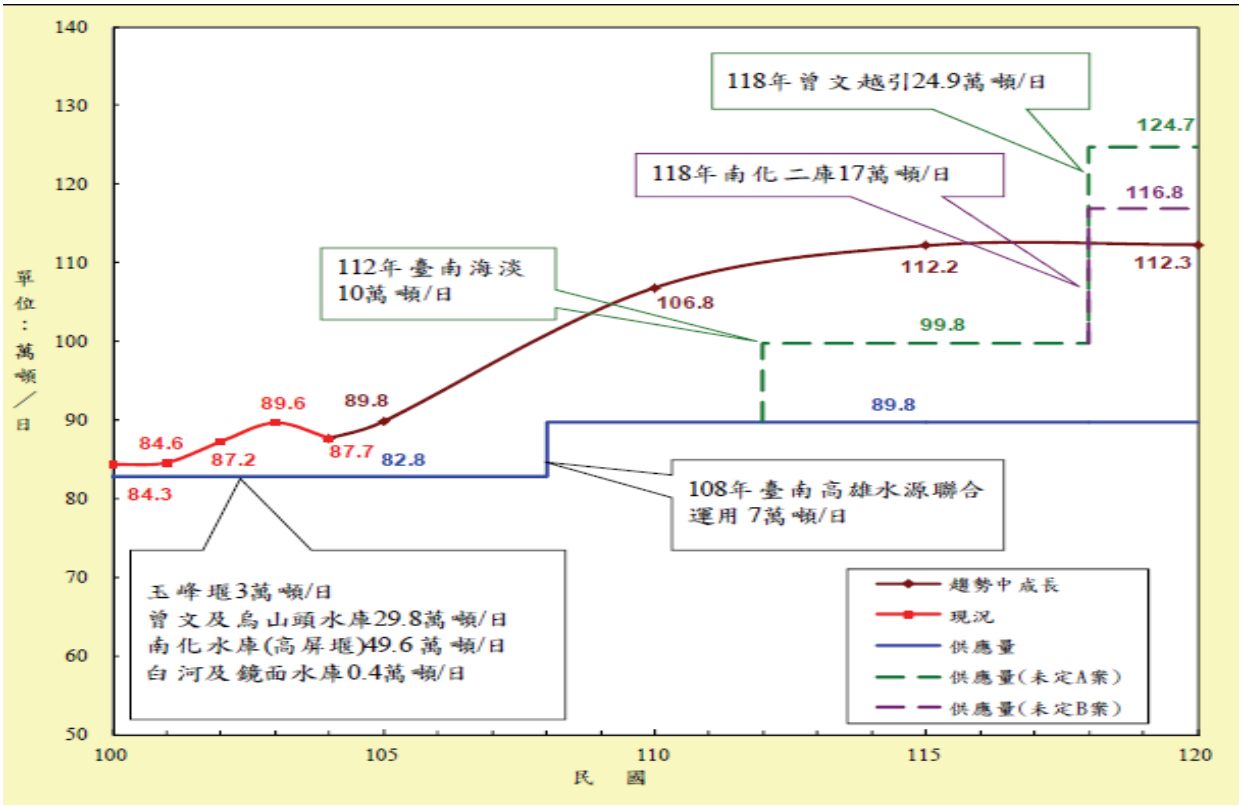
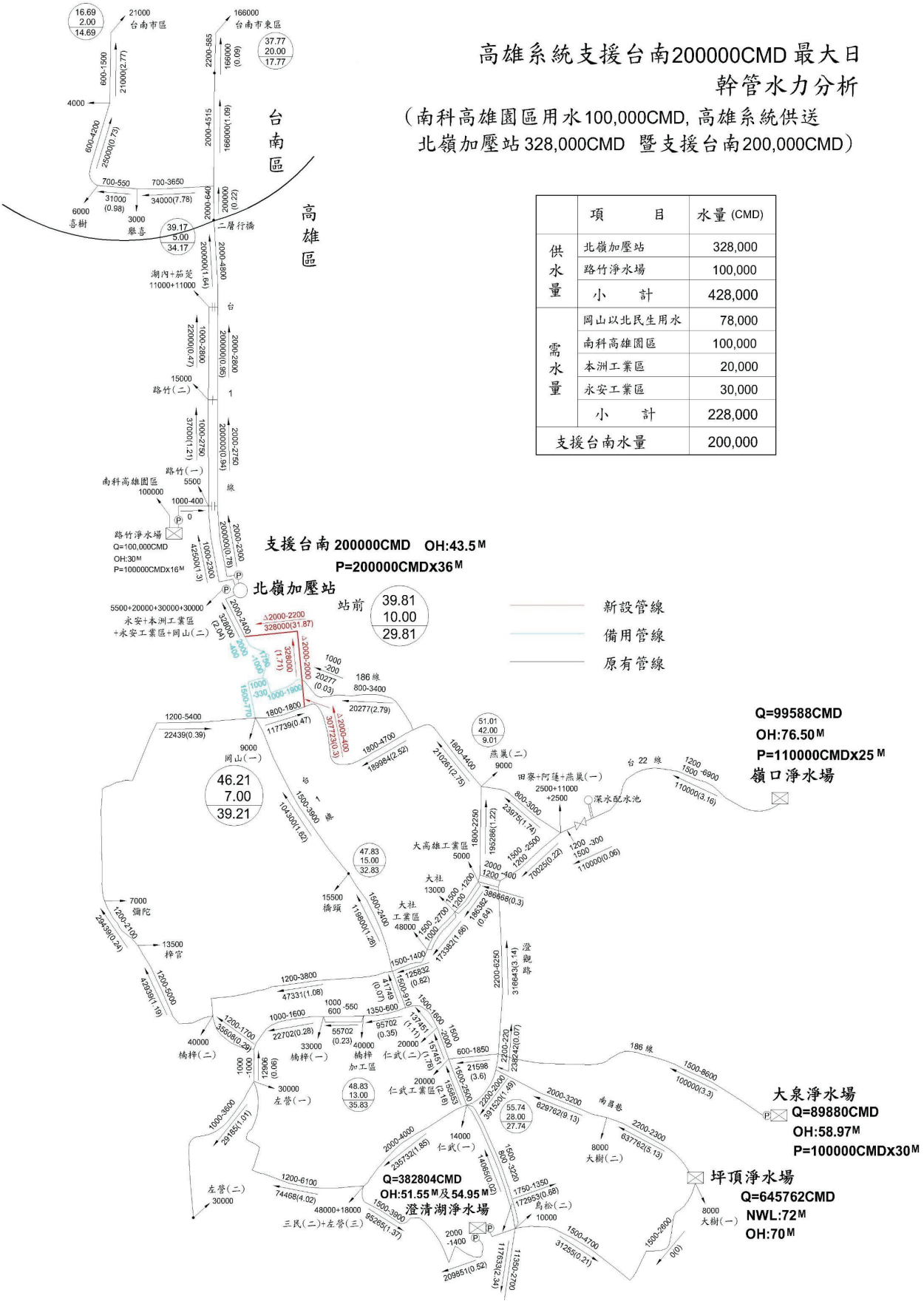



圖 5　高雄地區自來水系統用水供需圖

圖 6　北嶺加壓站上游既有管線設備分布位置圖




| | 項　　目 | 水量 (CMD) |
|---|---|---|
| 供水量 | 北嶺加壓站 | 328,000 |
| | 路竹淨水場 | 100,000 |
| | 小　　計 | 428,000 |
| 需水量 | 岡山以北民生用水 | 78,000 |
| | 南科高雄園區 | 100,000 |
| | 本洲工業區 | 20,000 |
| | 永安工業區 | 30,000 |
| | 小　　計 | 228,000 |
| 支援台南水量 | | 200,000 |

圖 7　最大日水力分析圖

汰換不易：岡山段舊台 1 線§1500mm PSCP 往北銜接§1750mmPSCP 管段具有供送北高雄及支援台南用水之功能，若未來需汰換或增埋送水管線，現有埋管之舊台 1 線道路地下管線密佈，交通量甚大，施工不易，若原管汰換，亦難以配合施工而停水；新台 1 線為高雄捷運岡山路竹延伸工程之預定路線，恐無法再新埋大口徑幹管。故增埋替代管線仍需另覓路線妥善規劃[6]。

**(四)解決方案**

提高供水壓力：於北嶺加壓站前水壓由 0.7kgf/cm$^2$ 提高至約 1.7kgf/cm$^2$(使其 OH 為 27M，略高於配水池高水位之 25.5M)即可。汰換老舊配水管線:因輸水幹管壓力提高，由台水公司第七區處儘速檢討送往北嶺加壓站之幹管沿線配水支管之供水安全性，針對老舊易漏之配水管段優先辦理汰換。短期改善計畫：自 186 線道路既有§1800mm 幹管新設§2000mm 分支管，沿聖森路往北埋設，以水管橋方式跨越阿公溪，再埋管至岡燕路上，連接既有之§1000mm 幹管，藉此幹管沿岡燕路、大德路及民有路至舊台 1 線與§1500mm 幹管及§1750mm 連結，總長度約 400M。中期改善計畫：自岡燕路、聖森路口往北繼續埋設§2000mm 幹管至嘉新東路，再往西沿嘉新東路、嘉新西路埋管至台 1 線(縱貫公路)與既有§2000mm 幹管連結，總長度約 4,200M。增埋設幹管路線如圖 8[6]。

## 七、高雄支援台南10萬CMD供水調配方式

**(一)高雄系統供水調配**

高雄系統由澄清湖場及坪頂場增供 12~13 萬 CMD 北送經北嶺加壓站既有 2 座 40,000M$^3$ 配水池調蓄加壓後，利用台 1 線現有§2000mm 幹管直接北送支援台南，於二層行橋增加供水壓力約 0.2kgf/cm$^2$。高雄市岡山以北各區之用水需求，則由北嶺加壓站內既有 5,000M$^3$ 配水池內水量以低揚加壓後，藉辦理中之北嶺加壓站至路竹之§1000mm 新設幹管供送。因受限於支援幹管需同時兼負滿足沿線用戶之供水需求，其水量水壓無法有效分流調控，提高水壓支援台南時，鄰近地區破管風險亦同時提高，短期可提高水壓增加支援量，長期台水公司已研議於台南二層行地區興建 4 萬噸配水池因應，可兼顧支援量、供水穩定及節省動力費等多重效益。

**(二)台南端供水受援區域及操作**

受援水量供水區域以沿台 1 線北上，越過生產路口後，於國民路口折往西供水，並將原南化供水水源隔離於生產路口。二層行橋監控站需保持管壓 2.5kgf/cm$^2$ 以上。七區支援六區供水範圍示意圖如圖 9。

**(三)測試結果**

於108年7月29日10時開始測試，七區處北送水量達5萬CMD後提高水壓，接續六區處操作幹管閥門關閉南化場水源，並引導支援水量沿台1線往北越過生產路，於大同路監控站再折往國民路供水。於30日18時30分二層行監控站北送支援瞬間流量達100,183CMD(水壓約2.31 kgf/cm$^2$)，至夜間23時北送水量均維持10萬CMD以上，第七區處為避免破管而降低支援水壓，接續至31日凌晨二層行橋監控站大致可保持約6-9萬CMD

圖 8　增埋設幹管路線圖

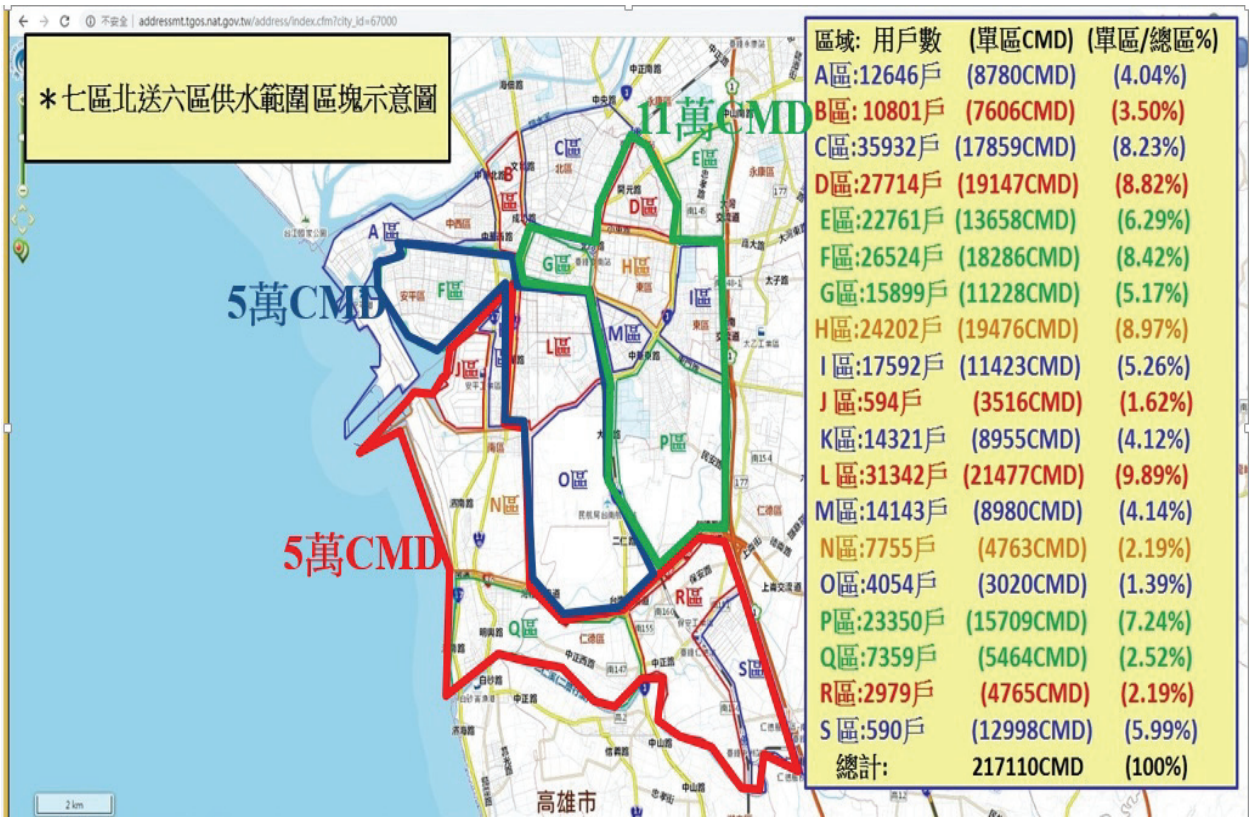



圖 9　七區支援六區供水範圍示意圖

支援水量。之後於 31 日 10 時因第七區處辦理北送支援作業之北嶺水池進水況不如預期，以及區內部分管網因水壓變化太大發生水濁事件，無法再支援水量，爰於 31 日 12 時終止測試作業。二層行橋監控站水量及水壓變化與相關操作說明如圖 10。

於 109 年 1 月 5 日至 1 月 10 日測試期間，七區處北送水量平均可達 9.7~10 萬 CMD。

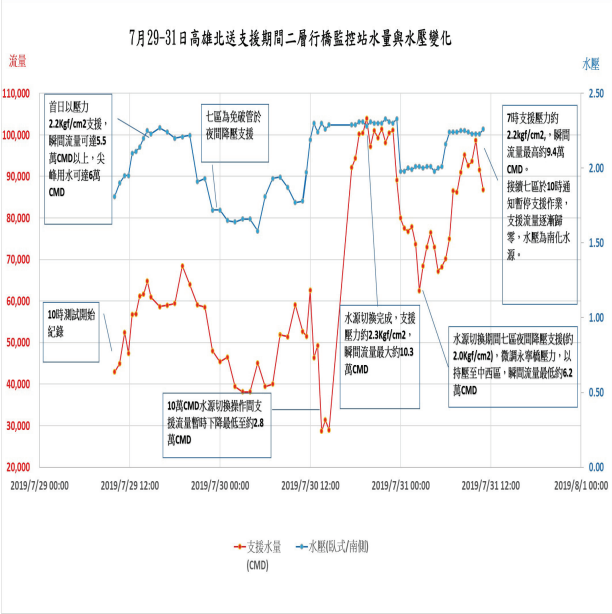



圖 10　二層行橋監控站水量及水壓變化與相關操作說明

## 八、計畫效益

### (一)直接效益

本計畫興建之大泉淨水場，以水利署開發之興田伏流水為水源，於豐水期具有穩定提供北高雄地區 10 萬 CMD 水量之能力，配合坪頂場改善後增加出水量及新增嶺口場至鳳山厝送水管穩定增供手巾寮深井水源，除供應北高雄用水需求外，多餘水量將可跨區支援台南地區，在伏流水源充分供應之條件下，最大跨區支援台南地區水量可達 20 萬 CMD。另當高屏溪原水濁度暴增時，高屏堰抽水量驟減或需暫停抽取時，將影響下游各淨水場出水，此時興田伏流水及手巾寮地下水源應可不受影響穩定出水。

### (二)間接效益

提供北高雄較充裕之常態供水量及降低台南枯水期之缺水風險，可提高工商產業投資之誘因，促進經濟發展。

## 九、結論

本計畫完成後，於豐水期末跨區支援台南地區最大水量可達 20 萬 CMD，係配合水利署開發興田伏流水為主要水源，新建大泉淨水場暨下游輸水工程，於豐水期時該場最大出水量達 10 萬 CMD，另同時改善及提昇北高雄地區主要淨水場出水能力，並持續改善汰換老舊管線及增設備援管線，在各淨水場充分調配及伏流水源穩定供應之條件下，達成跨區支援台南地區最大水量約 20 萬 CMD。

## 參考文獻

1.曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫(第1次修正)，經濟部水利署，2013。
2.曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫(第2次修正)，經濟部水利署，2015。
3.臺灣南部區域水資源經理基本計畫(第1次檢討)(核訂本)，經濟部水利署，2017。
4.台南高雄水源聯合運用調度輸水工程計畫，台水公司南工處，2014。
5.107年版「臺灣自來水事業統計年報」。
6.北嶺加壓站上游送水管瓶頸改善評估報告(第2次修正)，台水公司南工處，2019。

## 作者簡介

**蕭任修先生**

現職:台灣自來水股份有限公司工務處規劃組工程師

專長：自來水工程規劃

**徐俊雄先生**

現職：台灣自來水股份有限公司工務處處長

專長：自來水事業經營及工程規劃設計、施工管理

**謝東穎先生**

現職：台灣自來水股份有限公司工務處規劃組組長

專長：自來水工程、環境工程、水資源管理

## 本刊 109 年「每期專題」

| 期別 | 主　題 | 子　　題 | 時程 |
|---|---|---|---|
| 39 卷<br>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<br>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 |
| 39 卷<br>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<br>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 |
| 39 卷<br>第 4 期 | **供水服務** | 1.提昇服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統。 | 11 月 |

**～歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優～**

# 建構穩定節能的高地供水自動調配模式
## —以陽明山系統為例

文/沈政南


## 摘要

臺灣本島因板塊擠壓，造山運動發達，導致山地及丘陵地佔全島三分之二以上，平原面積約 9,500 平方公里（約 26%），山坡地面積則約 9,700 平方公里（約 27%），其餘則是高山地區面積約 16,800 平方公里（約 47%）；且由於臺灣人口數高達 2,300 萬，地狹人稠，許多高地區有相當多民眾生活其間。然而高地區的自來水供應限於水源分散、水量有限，且易受天候及水文影響外，囿於地形、地勢阻隔，部分地區難以形成自來水管網互相支援，以致枯水期或因暴雨影響水質時，容易發生局部區域供水不足情形。

再者，由於高地水資源珍貴有限且開發不易，部分地區隨著人口與商業活動的成長，當地水源逐漸無法滿足用水需求，需仰賴加壓站加壓補充供應。然而加壓供水耗費能源，就成本與環保考量，在建構穩定充足的供水系統時，應優先充分運用高地水源。本文藉由陽明山高地供水系統調配效能提升案例，探討如何運用供水系統中即時回授的供水狀況訊息，例如水質變化、出水流量、管網壓力、配水池水位與控制閥開度等，經由 SCADA 系統(supervisory control and data acquisition) 及 PLC(programmable logic controller)，建立可自動即時操作的關聯系統整合調配模式，於提升高地水源有效運用效率時，同時兼顧供水穩定與減少加壓供水耗能。


關鍵字：高地供水、自動控制、環保節能

## 一、陽明山高地供水系統簡介

陽明山高地區自來水水源主要有鹿角坑、陽明山第一水源、竹子湖、大坑溪、山豬湖及三溝泉水源等，其中鹿角坑水源需 3 段加壓至最高點配水池後重力供水，其餘經水處理後即採重力供應；區內總出水量約 17,000～27,000 CMD，不足部分除依靠區內配水池調蓄外，仰德大道沿線則由平地系統以 5 段加壓補充，北投高地區則由新民加壓站加壓供應。

陽明山高地區供水範圍含括臺北市士林、北投兩行政區，總用戶數約 6,000 餘戶，供水區域如圖 1。其中區內文化大學學生人數高達 26,000 人，因此用水特性相當程度受學生上課與作息時間影響，故其周邊區域用水尖離峰差異顯著；另山區住戶多另自行引用山泉水作為補充水源，故其自來水使用需求恰與山區降雨量成反比；此外，區內北投高地區溫泉產業發達，其用水行為亦與一般住宅區域頗有差異，主要因泡湯所耗水量大，故受是否適合泡湯的季節、氣溫、假日以及時段所影響。

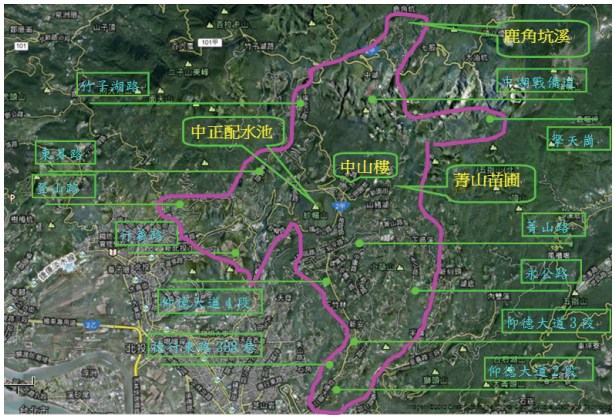



圖 1　陽明山高地區供水範圍圖

## 二、原有供水調配模式風險分析

北水處為確保陽明山高地區供水穩定，除運用小區計量進行管網改善降低漏損外，並依據水源、高程與地勢特性進行次小區劃設（如圖 2），同時於次小區間邊界進行管網聯通，使供水風險較高的次小區得以獲得調度支援，以大幅降低季節性與突發天災造成的缺水危機。

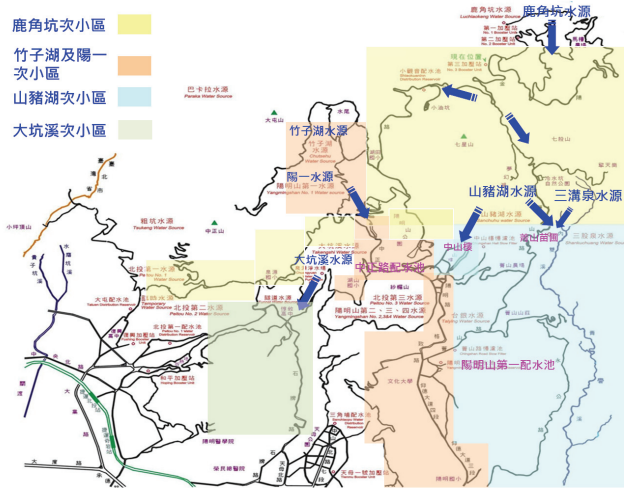



圖 2　陽明山高地區次小區示意圖

陽明山高地各小區供水情形、風險及供水調配方式分述如下：

### (一)鹿角坑次小區

1.供水情形：鹿角坑次小區位於陽明山最高點，原水取自鹿角坑溪，設置 4 座快濾桶進行淨水處理，出水量約為 2,500~5,500CMD，區內需水量則約為 2,500~3,500 CMD；供水系統係 3 段加壓將水量分為兩線輸送至小觀音及夢幻湖最高點配水池後，再以重力供水，累計揚程達 400 公尺，系統並設有 2 座原水池計 1,500 噸、6 座清水池共 2,600 噸，合計調蓄水量約達 4,000 噸，有效蓄水量約 3,000 噸，供水系統示意如圖 3。

2.供水風險：鹿角坑水源位於國家公園生態保護區，故人為活動影響極少，水質穩定良好。然而近年極端氣候及颱風頻繁，短時強降雨常造成溪谷嚴重沖刷崩塌，使原水濁度瞬間飆高，無法以快濾桶處理，且持續時間經常達 20 小時以上，造成短期間水情緊繃，待濁度降低後即可迅速恢復正常。

3.調配方式：本系統係採高揚程加壓至高點配水池調蓄供應，故須儘量減少使用以避免耗能；且其配水池位置高程較高，可負責支援竹子湖及陽一次小區與山豬湖次小區。因此，系統平時均將各配水池以高水位操作，藉由調蓄水量因應濁度突升無法正常出水危機；另當竹子湖及陽一次小區與山豬湖次小區有民眾通報無水時，即派員現場調整邊界支援開關，並於供水穩定後，再次派員調整回復系統狀態。

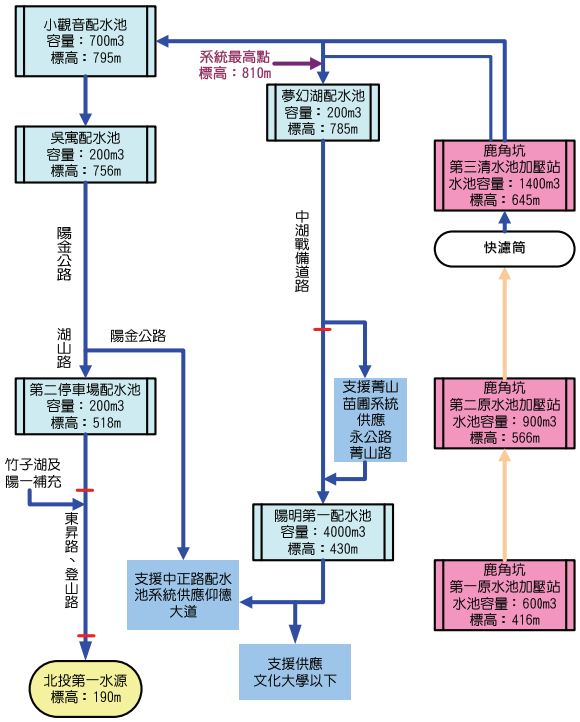



圖 3　鹿角坑供水系統示意圖

## (二)竹子湖及陽一次小區

1.供水情形：本系統原水分別來自竹仔湖及陽明山第一湧泉，出水量約為 7,000~9,500CMD，區內需水量則約為 5,000~8,000 CMD；供水系統均以重力供應，設有 1 座中正路配水池（容量 200 噸）進行調蓄，供水系統示意如圖 4。

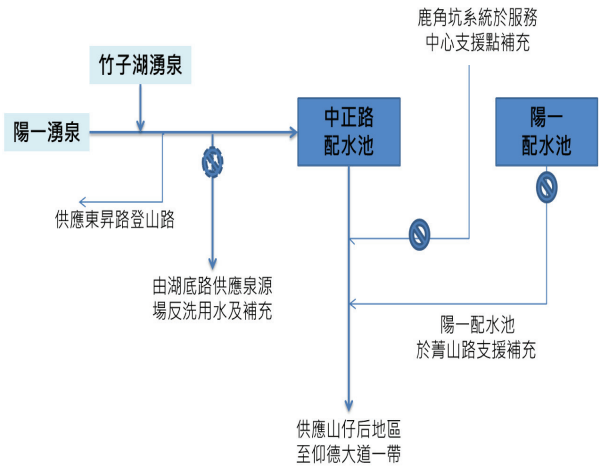



圖 4　竹子湖及陽一供水系統示意圖

2.供水風險：本系統水源為深層湧泉，出水量相對穩定，然本系統主要供水範圍為山仔后文化大學一帶，因此用水量尖離峰差異大，尖峰時段主要為學期間平日午餐時段 11~15 時以及夜間盥洗時段 21~2 時，晚餐時段因部分學生下課返家，用水量未大量增加。因配水池蓄水量較為不足，其中尖峰時段須由其他系統補充約 2,500CMD（約 950 噸），方能滿足區內水量及水壓需求；離峰時段多餘水量，則經由管網下放至天母次高地系統。

3.調配方式：本系統以中正路配水池水位為控制指標，當水位過低或有民眾通報無水時，即派員現場調整鹿角坑及山豬湖邊界支援開關，並於供水穩定後，再次派員調整回復系統狀態；然因系統內配水池容量較小，為避免經常發生無水或水壓不足情形，故過往多定量由鹿角坑或山豬湖系統補充，遇特殊狀況方進行調整。

## (三)山豬湖次小區

1.供水情形：本系統原水取自山豬湖地面水源及三溝泉小型加壓站，經由 2 座快濾桶淨水處理，出水量約為 300~3,000CMD，區內需水量則約為 1,500~3,000 CMD；供水系統均以重力供應，設有 1 座山豬湖清水池（容量 150 噸）進行調蓄，另於系統末端設有陽明第一配水池（容量 1,000 噸）存蓄鹿角坑與山豬湖系統多餘水量，供水系統示意如圖 5。

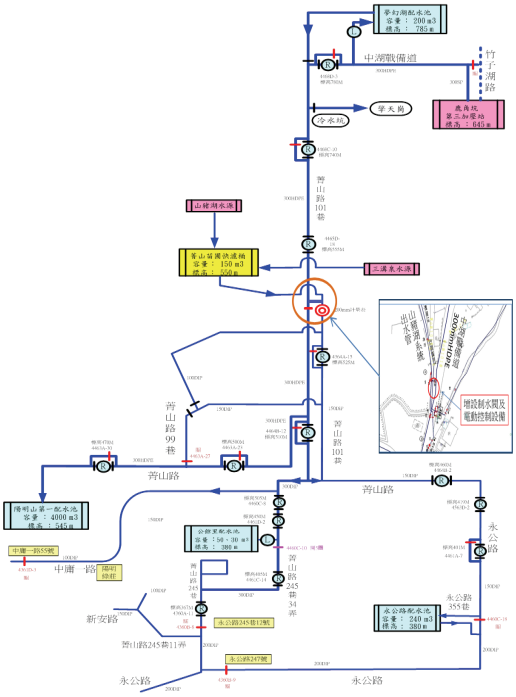



圖 5　山豬湖供水系統示意圖

2.供水風險：本系統水源為地面水，於颱風暴雨期間，即因濁度飆高無法取水處理；另系統供水區域內多為早期定居住戶，普遍自設有山泉水系統，當枯水期地面水驟減，用戶用水量因無山泉水補充即大增，而豐水期反而用水量少。因此本系統在枯水期間，會發生水量不足情形，尖峰用水時段更為嚴重；豐水期有多餘水量，則須妥為調蓄，使高地水源充分運用。

3.調配方式：本系統以山豬湖清水池水位為控制指標，當水位過低或有民眾通報無水時，即派員調整鹿角坑邊界支援開關，並於供水穩定後，再次派員調整回復系統狀態；然因系統內配水池容量較小，為避免經常發生無水或水壓不足情形，故常以鹿角坑系統定量持續補充，至於離峰多餘水量，則進入陽明第一配水池調蓄，該水池並依水位現場操作調控，將多餘水量補充竹子湖陽一次小區尖峰不足。

**(四)大坑溪次小區**

1.供水情形：本系統原水取自大坑溪地面水及北投第三湧泉，由泉源淨水場處理，出水量約為 7,000~10,000CMD，區內需水量則約為 7,000~9,000 CMD；供水系統均以重力供應，設有龍鳳谷配水池（容量 1,000 噸）調蓄，供水系統示意如圖 6。

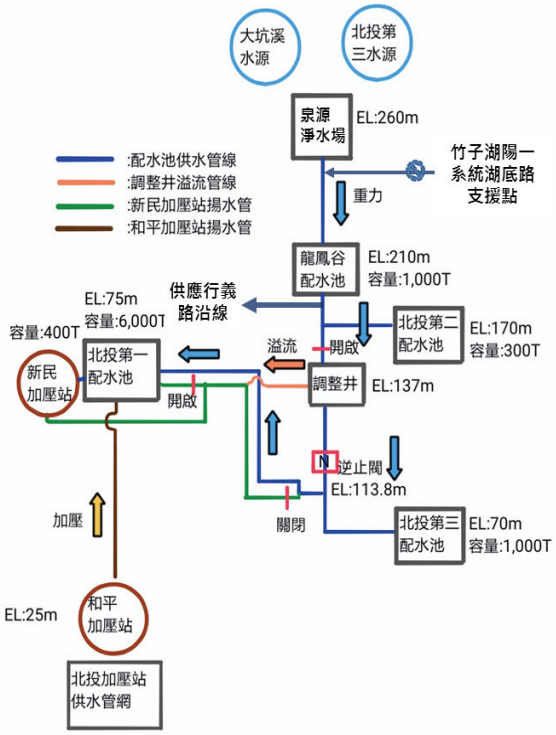



圖 6　大坑溪供水系統示意圖

2.供水風險：本系統水源主要為大坑溪地面水，依據歷年操作經驗，於颱風暴雨期間濁度飆高，然仍於淨水場容許負荷內。系統供水主要風險，係農田水利灌溉系統亦擁有大坑溪水權，且其取水點在自來水取水口上游。當枯水期時農田灌溉系統先行取水後，下游淨水場所取水量更顯不足；另系統供水區域包括行義路、溫泉路等北投溫泉遊憩區，溫泉業屬高耗水產業，且

休閒泡湯已成為國民運動，未來隨著行義路溫泉取供事業營運，需水量預期也會持續增加。

3.調配方式：本系統以龍鳳谷配水池水位為控制指標，當水位過低且趨勢持續時，即派員將部分區域調整由新民加壓站供應，並於供水穩定後，再次派員現場調整回復系統狀態；然因前述作業需現場操作多只制水閥，且多為夜間尖峰用水時段，人力動員須特別注意安全。

由上述陽明山高地小區的供水風險及調配模式分析，可發現北水處為提升高地用水的安全與穩定，給予民眾良好用水品質，業已建構支援管網，然而就有原有調配模式仍有下列須更精進之處：

(1)被動啟動調度耗時

高地區水量調配作業啟動，除由各系統配水池水位變化情形研判外，主要為接獲民眾無水通報後方開始進行。因此，調配作業經常是在管網已出現水量不足之後才進行。且因山區住戶較為分散，且位置高程分布亦不同，當影響範圍持續擴大，個案狀況排除將更為耗時。

(2)人員調派操作耗時

北水處雖已建立完善 24 小時客服系統，可於接獲民眾無水或水壓不足通報後，即時聯繫調派人員赴現場勘查處理。然經趕赴現勘確認為該系統水量不足需調配支援時，已耗費相當時間，以致整體處理時效相對延誤。

(3)支援水量輸送耗時

由於山區管線綿延且高差大，為避免漏損且提供適當服務水壓，自來水單位多以配水池出水閥開度及管網間佈設的持減壓閥進行水壓與水量調控。因此由高點配水池增加的支援水量，需逐段滿足持壓閥設定壓力後，方能繼續流往下一管段，因此需相當時間方能供應至支援系統內，影響水量緊急輸送效率。

例如由鹿角坑子系統支援竹子湖陽一子系統時，需由小觀音配水池提供，輸送至陽明山第二停車場外邊界支援點，管線長達 4,000 公尺，期間並設有 9 只持減壓閥調解壓力並供應附近居民使用；以及鹿角坑子系統支援山豬湖子系統時，需由夢幻湖配水池提供支援水量，輸送至山豬湖清水池外菁山路 101 巷支援點，管線長度約 2,500 公尺，期間設有 3 只持減壓閥分段持壓供應周邊用戶使用。

此外，倘水量遲未補充，管網將因而發生氣塞，復水調度作業須配合排氣，復水更為緩慢耗時造成用戶抱怨。

(4)系統恢復耗能耗時

山區自來水管線系統配合地勢高低起伏，且住戶分散高點管末端多，當出現無水情形時，常需針對特殊地點逐一排水排氣方能改善，相當耗時。而且當系統供水穩定後可減少支援時，需再行通知人員現場操作制水閥進行水量調配，無法及時進行調控，常造成高成本水量浪費；且平常為避免偶發性無水情形，亦採確保水量的保守方式操作，以致需加壓供應的高成本、高耗能使用水量無法有效降低。

## 三、建構迅速自動化調配系統

高地區發生無水情形成因，主要為設備異常如管線漏損或持壓閥失靈等突發情形，以及水量不足供需失調兩大類。北水處已於管網系統重要控制點設置 PLC 或 RTU，即時進行供水資料採集與回授控制，使設備突發異常可盡早發現處理；然當系統水量需求遠大於供應，需由其他水源調度支援時，如何提前研判、主動因應，即為穩定高地供水的困難課題。

北水處為提升高地管網系統供水效能，針對原有調配模式不足原因，研議具體改善策略如下：

### (一)建立主動預警調度系統

北水處經由統計分析陽明山高地區各系統不同時期出水量、關聯配水池開度與水位等趨勢變化，掌握關聯系統間支援模式。其後運用 SCADA 系統的圖控介面，於確保水池水位及出水閥開度條件下設定操作參數，當某一主要配水池水位持續下降時，可即時依據季節與特殊狀況進出水量變化趨勢，提前自動啟動整體水量調度作業。

### (二)調控支援水量及時配送

針對各系統支援點位置與設備進行檢討調整，並於選定的支援點設置電動閥與 PLC，期藉由維持上游端管內水壓，並依據需求自動調整開度，除確保初期支援水量可就近補充，及確認後續補充水量輸送情形外，同時配合需求調整支援水量。此外並可搭配管網系統關鍵壓力監視點回饋數值（如圖 7），及時掌握供水狀態恢復情形，以進一步優化水量調度作業。

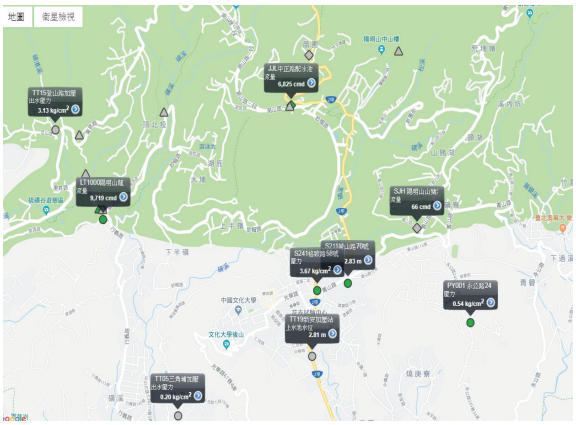


圖 7　供水管網壓力監視圖控系統

### (三)系統遠端自動控制操作

運用各配水池及管網中設置的 PLC 或 RTU，SCADA 圖控系統除可充分掌握供水情形外，並可由遠端自動及時操作電動閥，發揮即時調控效能，減少人力動員及人員耗時往返奔波。

### (四)關聯供水系統自動調控

由於各系統水量供需失衡情形，與其區域用戶用水特性有關，所發生的時段與需補充水量均有不同。例如竹子湖與陽一次小區，於文化等學校學期中，平日午餐與夜間盥洗時段，均會出現大量用水；而山豬湖次小區用水尖峰則與一般住宅區相近，主要係出水量嚴重不足所致。因此，為確保補充水量得以在需求時段充足供應，避免配水池水位過低，空氣進入管，形成氣塞影響供水外，且於系統穩定後自動調節恢復，以減省高成本加壓補充水量。故需建立上下游關聯配水池間水位及出水閥連動機制，並由 SCADA 圖控系統自動操作抽水機及電動閥調控進行，使高地水量運用最佳化。

依據前述策略建構的陽明山高地供水系統操作及支援模式概述如下：

**(一)鹿角坑次小區**

本系統配水池位於供水區域最高點，無法由其他系統支援。為確保系統供水穩定，北水處設置 2 座原水池、6 座清水池，且各水池均採高水位操作，由 SCADA 圖控系統進行監控，即時啟動抽水機補充維持水位，以提高有效蓄水量。除可因應短時強降雨或颱風造成濁度而暫時飆升無法出水情形，並保持彈性支援其他系統的能量。

**(二)山豬湖-鹿角坑系統**

為迅速提供支援水量，將鹿角坑支援點移設於靠近山豬湖清水池處，同時將閥前壓力回授，以確保支援管段的水壓與水量（施工規劃如圖 8）；同時依據山豬湖清水池水位變化，於 SCADA 圖控系統設定支援配水池(夢幻湖）出水電動閥及支援點電動閥的相應開度，圖控畫面如圖 9。當山豬湖水量供過於求時，為使高地水源有效運用，則自動將水量調配進入陽一配水池，以備補充竹子湖及陽一系統於用水尖峰需求，其操作歷線如圖 10；而當山豬湖出水量無法滿足區域用戶需求，清水位持續下降時，圖控系統除發出警報訊息外，並自動依據變化趨勢開啟支援開關，同時支援配水池亦同步增加供水量，以確保補充水量持續輸送，操作歷線如圖 11。由上述歷線圖可發現，調配作業經常於深夜進行，透過圖控系統可自動操作，有效減少高成本動力水量的使用，以及人員調度時間延遲與成本。

圖 8　鹿角坑支援山豬湖施工規劃圖

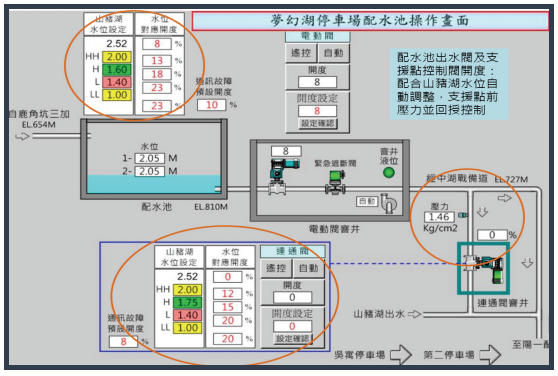



圖 9　鹿角坑支援山豬湖圖控畫面

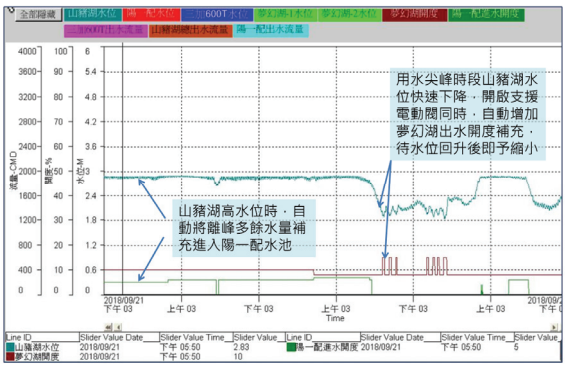



圖 10　山豬湖豐水期操作歷線

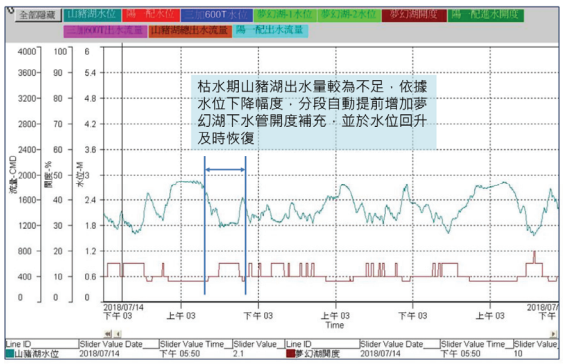



圖 11　山豬湖與鹿角坑關聯操作歷線

### (三)竹子湖及陽一－鹿角坑系統

竹子湖及陽一系統為天然湧泉，出水量相當穩定，然囿於系統僅有一座容量 200 噸的中正路配水池，調配功能極為有限，以致學期間的平日午間 11~15 時與夜間 21 至凌晨 2 時尖峰時段，供水量不足，需由鹿角坑系統中第二停車場配水池外服務中心及山豬湖系統中陽一配水池支援（管線圖資如圖 12）。

由於陽一配水池主要水源為山豬湖地面水，出水成本較低，因此規劃優先運用（圖控畫面如圖 13），依據中正池水位先行增加出水閥開度，以就近先行補充管網用水；當中正路配水池水位下降過快，為避免空氣進入水池出水管線造成氣塞影響水量輸送，即自動啟動鹿角坑系統服務中心支援點電動閥，運用其位置高程水壓迅速補充水量（圖控畫面如圖 14），同時其上游吳寓配水池亦配合自動調整出水電動閥開度（圖控畫面如圖 15），使支援水量得以持續補充，讓中正路配水池水位快速回升，確保供水穩定。

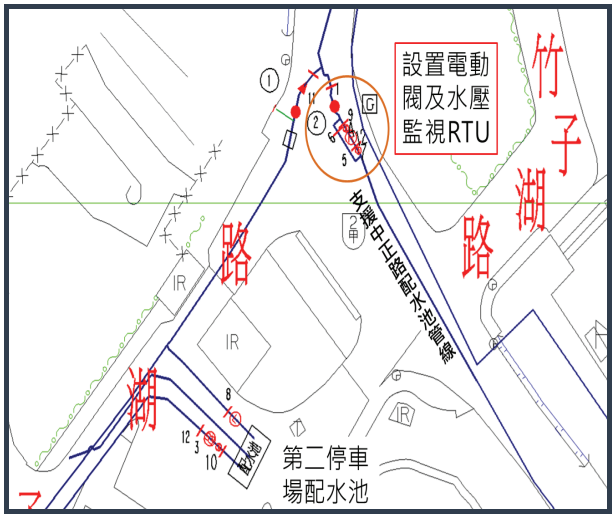



圖 12　服務中心支援點管線圖

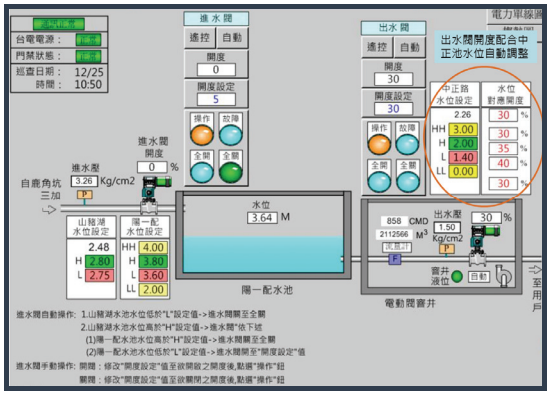



圖 13　陽一配水池圖控畫面

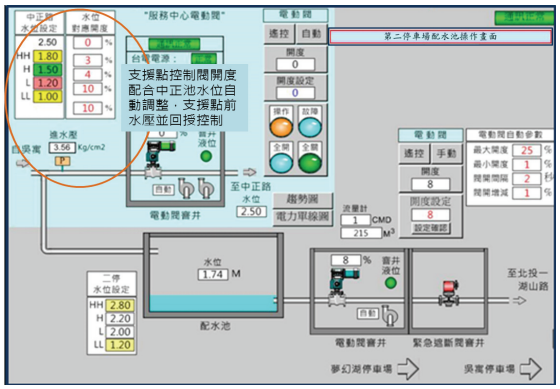



圖 14　服務中心支援點圖控畫面

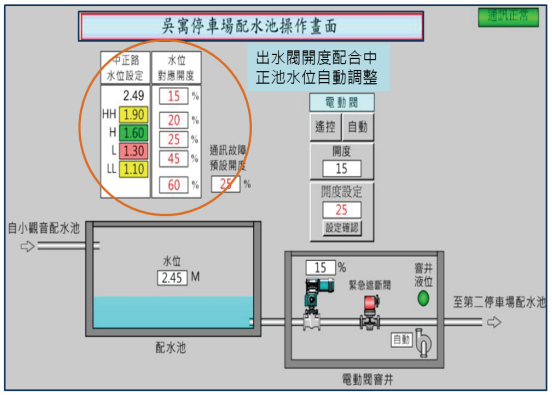



圖 15　吳寓配水池圖控畫面

### (四)大坑溪－竹子湖及陽一系統

當大坑溪系統供水量不足時，原係將部分區域改由新民加壓站供應，供水系統切換如圖 16。然因需待人員調整道路制水閥後，方能進行切換，故須提前因應，由供水系統中龍鳳谷配水池水位變化歷線（如圖 17）可說明現階段調配方式。

經本研究分析該區域管線系統，發現陽一與竹子湖系統部分區段水量輸送出現瓶頸，經現場操作測試後，規劃進行管網改善作業（設計如圖 18），預定於 107 年底前完成，屆時可增加水量約 2,000~3,000CMD，同時規劃後續配水池（中正池）擴建工程，平時可充分將高地水源留供高地使用，減少加壓供水動力費，緊急狀態時亦大幅提高供水系統應變能量。

待竹子湖陽一系統水量增加後，將有餘裕可於短時間支援大坑溪系統。因此，規劃於位於湖底路支援點設置電動閥，完成後將可由圖控系統自動配合龍鳳谷與中正路配水池關聯水位，以及泉源淨水場出水量遠端調整開度，除可即時因應水量變化需求外，將可有效減少新民加壓站動力支出，以及人員調度時間延遲與成本。

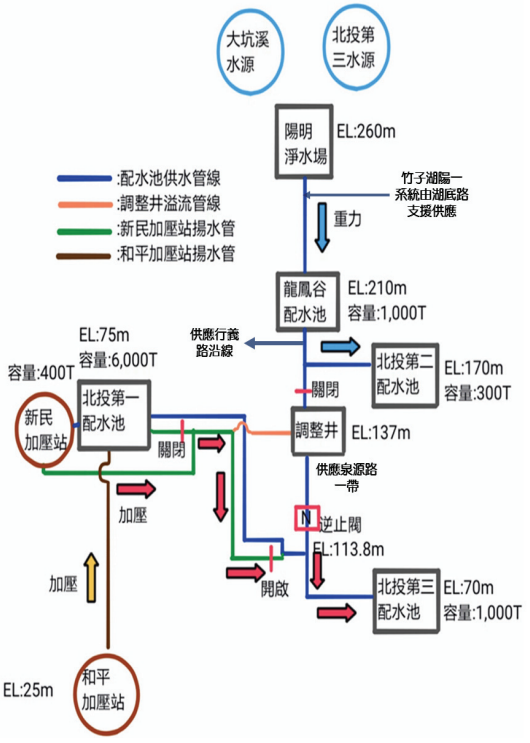



圖 16　大坑溪水量不足緊急供水示意圖

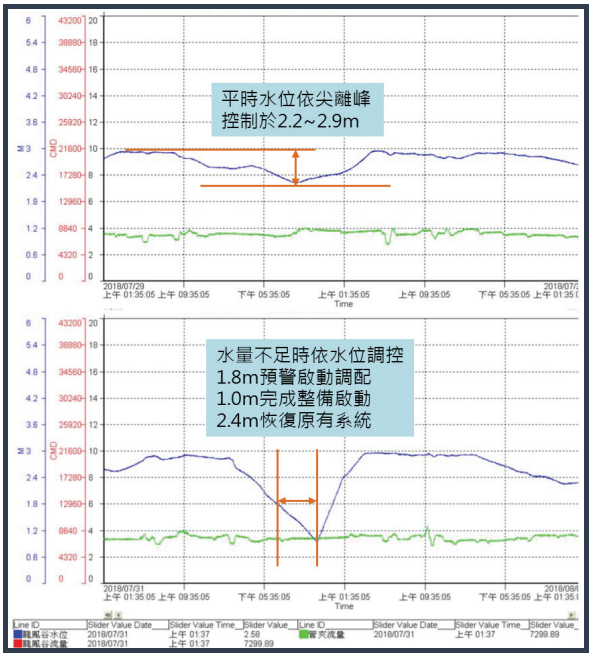



圖 17　龍鳳谷配水池水位變化歷線

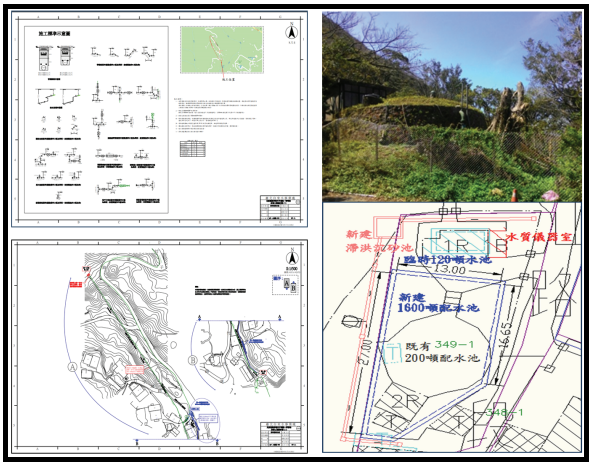


圖 18　竹子湖陽一管線改善及中正池擴建

## 四、自動化供水調配模式成果分析

高地供水首重將高地水源充分且有效的運用，也是自動化調配的目標，而其成果顯現於兩個方面，首先是確保供水的正常穩定，提高用戶滿意度，其次為高耗能高成本水量的控制與減量。本控制模式建構運轉後，陽明山以竹子湖氣象站的降雨量統計，106 年 8 月降雨量僅 23mm，甚至不到氣候值的 1 成，是近年來最乾旱的月份；而 107 年

3~6 月合計 4 個月降雨量僅有 340mm，更少於近幾年的 1/3，(降雨量統計如圖 19、降雨日數統計如圖 20)；且 107 年在連續乾旱後，7 月上旬即迎來對士林、北投地區影響劇烈的瑪麗亞颱風，緊接著 8~9 月數波「超大豪雨等級」的短時強降雨，除造成部分地區淹水災情外，也對自來水淨水處理與供水調配產生難題。然而在這段大旱大澇期間，高地自動供水調配模式都能妥適因應，均未發生因水量調配不及導致用戶無水案件。此外，對於突發系統設備問題，例如大量漏水或持減壓閥故障，亦數次由圖控系統自動調整因應，同時發出警報提醒工程師前往確認及排除，有效提高供水穩定與用戶滿意度。

此外，在高地水源有效運用的評估方面，由陽明山供水成本最高及負責支援主要任務的鹿角坑系統出水量比較，105 年日平均出水量為 3,888 噸，至 107 年 11 月，雖然直接供水範圍擴大，然出水量仍調控在 3,600 噸，並未因降雨大幅減少且嚴重不均而增加，亦即支援量反而減少近每日 300 噸，顯示自動調配模式運轉成效相當良好。

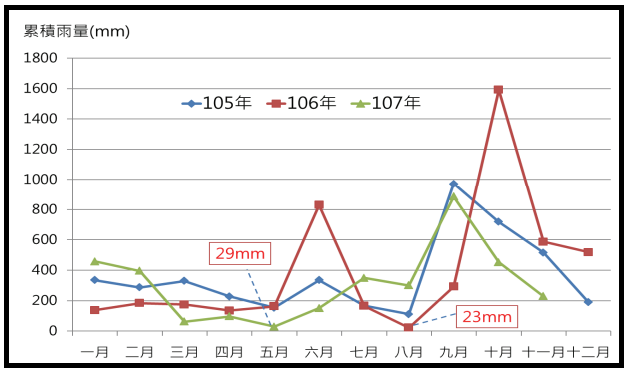



圖 19　105~107 年 11 月竹子湖氣象站降雨量統計

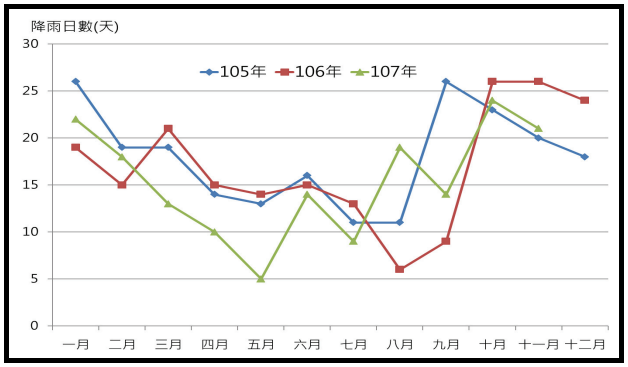



圖 20　105~107 年 11 月竹子湖氣象站降雨日統計

## 五、結論與建議

陽明山高地區因季節性水量豐枯明顯，而供水管線受限於山區高程及地勢起伏，難以建立全面管網聯通調度。北水處依據水源分別建立供水管網系統，並克服困難於系統間連通支援調度管線，以避免因天候等因素造成停水過久引致民怨。然原調配模式係以人員現場操作為主，故有被動啟動調度耗時、等候人員調派操作耗時、支援水量輸送耗時以及系統恢復耗能耗時等不足之處。

北水處由建立主動預警調度系統、調控支援水量及時配送、系統遠端自動控制操作及關聯供水系統自動調控等四策略面向，運用資深人員累積的經驗，於管網增設 PLC 由 SCADA 圖控系統進行調控，以建構自動供水調配模式，同時亦藉由圖控系統容易進行 PLC 指令調整優點，配合季節或特殊情形進行最適化調整。此調度模式經過 107 年上半年連續枯旱與颱風及短時強降雨的考驗，不僅使供水穩定正常，高成本的支援加壓水量甚至較往年減少，證明此模式已發揮良好成效。

此外，本研究中竹子湖陽一系統支援大坑溪系統的支援點，目前仍採人員現場操作方式調度。然北水處持續優化系統，近期即將該支援點改為遠端控制電動閥，屆時自動調配模式將更為完整周延，除可增加系統水量調度彈性外，因調度水源為水質水量相對穩定的湧泉，亦可成為防災應變的調度關鍵，有效提升高地供水系統的安全與穩定。

## 參考文獻

1.白耀宏，「建立陽明山高地供水調配機制模組」，臺北自來水事業處員工提案編號1021012。

2.沈政南、鄭志斌，「如何提升高地水源的供水效益」，水利產業研討會，2015。

## 作者簡介

**沈政南先生**

現職：臺北自來水事業處淨水科二級工程師兼場長

專長：自來水工程、小區計量、供水管網規劃

## 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。

# 延性鑄鐵管耐震接頭(NS 型)之引進
# —以台灣自來水公司為例

文/陳彥翔、林家煌、徐俊雄、李嘉榮


## 摘要

延性鑄鐵管(DIP)為我國及日本自來水主要管材之一，而日本早期研發之柔性接頭，僅能承受一般中、小規模地震，面對日益頻繁之大規模地震，耐震性能顯然不足，故日本隨著地震所造成之管線損害日趨嚴重，積極研發及應用耐震型接頭，包括S(Seismic)型、NS(New Seismic)型及更進化之所謂次世代 GX(GeneX)型。我國自來水管材長期以來依循日本規格，目前國內所普遍採用之接頭型式(K 型)即沿襲日本早期研發之柔性接頭而來。

107 年 2 月 6 日花蓮地區發生芮氏規模 6.0 之地震，台水公司管線多處損毀並造成萬戶停水，雖投入大量人力、物力搶修並於最短時間內恢復供水，然鑑於台灣位處地震帶，供水管線係維生重要設施，台水公司遂規劃引進日本延性鑄鐵管耐震接頭（NS 型）辦理管線汰換工程，除幹管採用耐震接頭外，用戶外線亦一併更換採用不銹鋼波狀管(SSP)；另考量 105 年 2 月 6 日於台南地區亦發生芮氏規模 6.6 之地震，造成約 40 萬戶停水，台南部分地區屬液化之高潛勢區域，故本公司擇定於第六、第九區管理處優先進行試辦。

本研究透過引進耐震接頭(NS 型)之辦理過程，蒐集勞務標、施工標、材料標以及相關教育訓練、施工觀摩等之遭遇問題、解決方法及建議，期能藉由此案例分享作為日後推廣耐震管材之參考。


關鍵字：耐震管材、延性鑄鐵管耐震接頭、NS 型

## 一、前言

我國自來水管材長期以來常依循日本規格，國內延性鑄鐵管所普遍採用之接頭型式（K 型）乃沿襲日本早期研發之柔性接頭，僅能承受一般中、小規模地震，面對日益頻繁之大規模地震，耐震性能顯然不足。其後日本隨著地震所造成之管線損害日趨嚴重，因此積極研發及應用耐震型接頭，包括S(Seismic)型、NS(New Seismic)型及更進化至所謂次世代之 GX(GeneX)型。

107 年 2 月 6 日花蓮地區發生芮氏規模 6.0 之地震，本公司管線多處損毀並造成萬戶停水，公司雖投入大量人力、物力搶修並於最短時間內恢復供水，然鑑於台灣位處地震帶，供水管線係維生重要設施，本公司董事長於行政院長視察災情時表示，日本開發出之 NS 型耐震接頭多次於地震中表現良好，本公司計畫引進相關材料及技術並辦理試辦工程，以提升管線對於地震之抗性。

本計畫之試辦工程除幹管採用耐震接頭外，用戶外線亦一併更換採用不銹鋼波狀管(SSP)；試辦地區則考量 105 年 2 月 6 日於台南地區亦發生芮氏規模 6.6 之地震，造成

約 40 萬戶停水，且台南地區屬液化之高潛勢區域，故本計畫擇定於本公司第六(台南)、第九區(花蓮)管理處優先進行試辦。

本計畫期望透過試辦工程觀察採用耐震接頭及不鏽鋼波狀管之成效、獲取 NS 型耐震接頭之經驗及技術(包含設計、施工及監造各階段)，並透過教育訓練培育本公司監造 NS 型耐震接頭工程之能力，並提升國內廠商之施工技術，為日後推廣 NS 型耐震接頭奠定基石。

**(一)研性鑄鐵耐震接頭 NS 型簡介**

DIP 管耐震接頭是自 1970 年代在日本開始採用的材料，平時有防止漏水、施工簡便等優點，重點是當地震發生時仍可穩定維持正常供水的耐震性能，以下說明其概要

**(二)日本 DIP 管耐震接頭的種類**

DIP 管耐震接頭研發緣起，係因 1964 年日本新潟地震所引發的土壤液化等災害造成自來水管線受損，促使業者研究開發能因應前述災損的管材。目前日本國內主要鑄鐵管供應商所開發的耐震管接頭型式演進，如表 1。不同管材及接頭的耐震性能比較結果如表 2 所示。

**(三)DIP 管耐震接頭的性能**

目前日本國內採用的 DIP 管耐震接頭，管徑 400mm 以下是 GX 型，450mm~1000 mm 以 NS 型為主，1000mm 以上則為 S 型，NS 型直管的主要接頭性能如表 3，其結構如圖 1 所示。該性能可吸收地震時管線水平方向或垂直方向的變位量等。

表 1　DIP 管耐震接頭種類與適用管徑範圍說明

| 耐震接頭型式 | 適用管徑 (mm) | 規範訂定年 | 特徵 |
|---|---|---|---|
| S 型 | 500-2600 | 1979 | ・第一代耐震接頭<br>・具伸縮功能及防脫功能<br>・僅有直管，管件使用 UF 型 |
| NS 型 | 75-1000 | 1995 | ・第二代耐震接頭<br>・具伸縮功能(有效長度的±1%)及防脫功能(3DkN，D:管徑) |
| GX 型 | 75-400 | 2014 | ・第三代耐震接頭<br>・具伸縮功能(有效長度的±1%)及防脫功能(3DkN，D:管徑)<br>・改良塗裝及施工便利性 |
| UF 型 | 800-2600 | 1975 | ・內面接合<br>・通常適用於推進工法、潛盾工法<br>・具防脫功能 |
| US 型 | 800-2600 | 1984 | ・內面接合<br>・通常適用於推進工法、潛盾工法<br>・具伸縮功能及防脫功能 |
| PⅡ型 | 300-1350 | 1984 | ・適用於 Pipe-in-pipe(管中管)工法<br>・具伸縮功能及防脫功能(1.5DkN，D:管徑) |
| PN 型 | 300-1500 | 2005 | ・適用於 Pipe-in-pipe(管中管)工法<br>・具伸縮功能及防脫功能(3DkN，D:管徑) |

表 2　各管材(接頭)之耐震性能比較

| 管材與接頭 | 配水管所需之耐震性 | | 送水幹管所需之耐震性 | |
|---|---|---|---|---|
| | Level 1 地震發生時，雖受輕微的損害，但仍可維持其原有功能。 | | Level 1 地震發生時，原則上未受到任何損害。 | Level 2 地震發生時，雖受輕微的損害，但仍可維持其原有功能。 |
| CIP | × | | × | × |
| DIP | NS 型 | ○ | ○ | ○ |
| | K 型 | ○ | ○ | △ |
| | A 型 | ○ | △ | × |
| SP(焊接) | ○ | | ○ | ○ |
| PVCP | 膠圈接頭 | ○ | △ | × |
| | 膠合接頭 | × | × | × |
| PEP | 焊接接頭 | ○ | ○ | △ |

Level 1：預測設施使用期間內，其所在地區可能發生的地震規模。

Level 2：預測設施所在之地區上未來可能發生的最大地震規模。

評估結果：○：符合要求的耐震性。

△：部分符合要求的耐震性。

×：不符合要求的耐震性。

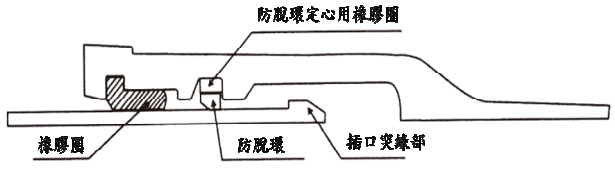



圖 1　NS 型直管的接頭構造(標稱管徑 75~450)

表 3　NS 型直管的接頭性能

| 標稱管徑 | 直管配管時最大伸縮量 (mm) | 設計核對用最大伸縮量 (mm) | 防脫力 (kN) | 地震時地層陷下的最大彎曲角度 | 配管施工時可許彎的曲角度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 75 | ±45.5 | ±42 | 225 | 8° | 4° |
| 100 | ±45.5 | ±41 | 300 | 8° | 4° |
| 150 | ±60 | ±54 | 450 | 8° | 4° |
| 200 | ±60 | ±52 | 600 | 8° | 4° |
| 250 | ±60 | ±50 | 750 | 8° | 4° |
| 300 | ±69 | ±60 | 900 | 6° | 3° |
| 350 | ±70 | ±60 | 1050 | 6° | 3° |
| 400 | ±71 | ±60 | 1200 | 6° | 3° |
| 450 | ±73 | ±60 | 1350 | 6° | 3° |

註 ① 代表接頭直管接合時的伸縮量。

② 將接頭彎曲至配管施工時之許可彎曲角度為止的伸縮量，等同管長的 1%。管線的耐震性等，可利用此伸縮量進行檢核。

1.伸縮量

直管接合時具有等同管長±1%的伸縮量。表 4 顯示 NS 型直管之管徑與長度。

表 4　NS 型接頭之標稱管徑與有效長度

| 標稱管徑(mm) | 有效長度(m) |
|---|---|
| 75-100 | 4 |
| 150-250 | 5 |
| 300-1500 | 6 |
| 1600-2200 | 4/5 |
| 2400-2600 | 4 |

2.防脫力

接頭伸展至最大長度後，將藉由防脫環扣住插口突出部位的方式，產生等同 3D kN(≒0.3D tf、D：標稱管徑)的防脫力，而此防脫力相當於在地底下將 100m 管線拉動時配管與土壤間的摩擦力，可讓鎖鏈式管線吸收每處接頭之伸長量(管長的±1%)乘以 100m 管線間之接頭數量，得出管軸方向位移量。

此數值以標稱管徑 200mm 為例，其每處接頭之伸展量為管長 5m 的 1%，亦即 5cm，100m 管線間的接頭數量為 20 處，每處 5cm 可得軸方向位移量為 1m，此計算方式在其他標稱管徑時亦可適用。

3.彎曲角度

配管施工時的許可彎曲角度與 K 型接頭標準相同，但因地震或地層下陷等情況，可彎曲至最大彎曲角度。

NS 管因具有上述如同鎖鏈般伸縮及彎曲等性能，故可達到防止接頭脫接的管路結構，如圖 2。

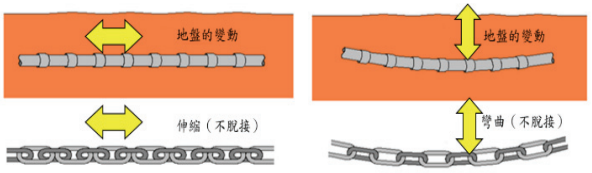



圖 2　鎖鏈結構管示意圖

## (四)日本國內採用 DIP 管耐震接頭原則

根據日本水道協會編撰之「水道設施耐震工法指針、解說」，耐震管材規劃設置原則如下：

1.幹道管線

優先以配水運用中重要且無替代路線的幹道管線。

2.通往重要設施的管線

通往醫療設施、災害應急設施、緊急避難設施、行政及經濟上重要的設施、公共設施等處的管線。

漏水發生時會造成龐大影響的幹道管線。

3.地質條件不佳的管線

在海埔新生地、以挖填方式形成之土地、液化可能性極高的地區等埋設的管線。

4.既有材質不佳的管線

目前使用耐震性低的普通鑄鐵管、塑膠管、混凝土管之管線。

## (五)日本國內採用 DIP 管耐震接頭的情形

最近 20 年來，日本國內發生數次規模達 7 級以上的大地震，如：1997 年阪神淡路大地震、2004 年新潟縣中越地震、2011 年東日本大地震、2016 年熊本地震等，證明 DIP 管耐震接頭優異的耐震性能，如表 5 統計說明。

因此，日本國內 DIP 耐震接頭的出貨量年年增加，至 2015 年，耐震接頭的出貨長度比率超過 90%，自來水管幾乎全面採用耐震接頭，如圖 3。

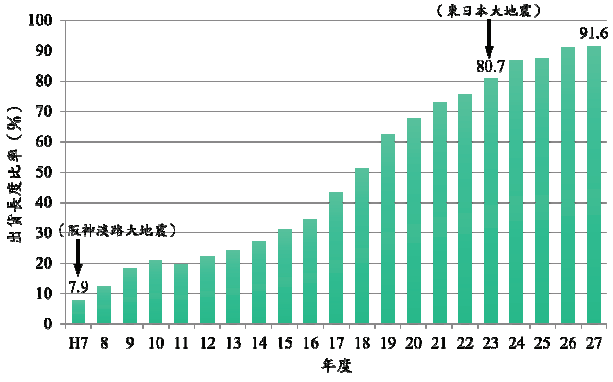



圖 3　DIP 管耐震接頭的出貨長度比率

表 5　過去日本大地震所造成之主要管種損害情況

| 管種 | 接頭 | 主要損害情況 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 東日本大地震(2011) | 新潟縣中越地震(2004) | 阪神淡路大地震(1995) |
| 延性鑄鐵管(DIP) | DIP(耐震) | 無損害 | 無損害 | 無損害 |
| | DIP(其他) | 接頭鬆脫 | 接頭鬆脫 | 接頭鬆脫 |
| 鑄鐵管(CIP) | 臼口 | 接頭鬆脫、管體受損 | 接頭鬆脫、管體受損 | 接頭鬆脫、管體受損 |
| 鋼管(SP) | SP(焊接) | 腐蝕部位漏水、可撓管鬆脫 | 無損害 | 焊接部位受損 |
| 鋼管(SGP) | SP(其他) | 接頭鬆脫、管體受損 | 管體受損、接頭鬆脫及受損 | 管體受損、接頭鬆脫及受損 |
| 高密度聚乙烯塑膠管(VP) | VP(RR) | 管體受損、接頭鬆脫及受損 | 管體受損、接頭鬆脫及受損 | --- |
| | VP(其他) | | 接頭鬆脫、管體受損 | 管體受損、接頭鬆脫及受損 |

### (六)臺灣引進 DIP 管耐震接頭的情形

臺北自來水事業處 2010 年曾進行 NS 型接管訓練講習，嘗試引進 DIP 管耐震接頭，但因當時相關條件不足，無法進行後續作業。

2016 年 2 月台南地震發生後，臺北自來水事業處重新引進 NS 型耐震接頭，同年該處指派相關人員到東京都水道局及日本國內鑄鐵管供應商參訪考察，回國後經考察報告會議，決定進行引進 DIP 管 NS 型耐震接頭試辦計畫，如表 6。

表 6　臺北自來水事業處引進 DIP 管耐震接頭(NS 型)試辦計畫概要

| | |
|---|---|
| 執行模式 | 主辦：臺北自來水事業處技術科<br>協辦：臺北自來水事業處供水科<br>設計、監造：臺北自來水事業處東區營業處<br>材料供應商：興南鑄造廠股份有限公司<br>施工廠商：明泉水電工程有限公司<br>技術支援：東京水道國際有限公司 |
| 計畫期間 | 自 2016 年 12 月至 2018 年 |
| 計畫區域 | 臺北市松山區復興北路以西、民權東路以北、龍江路以東、民族路以南 |
| 汰換長度 | 約 4km |
| 口徑 | 200mm、300mm |
| 計畫預算 | 約 9,200 萬元 |

## 二、自來水公司引進NS型耐震接頭辦理情形

### (一)辦理方式及分工

本公司引進計畫分為 3 部分進行：本公司總管理處辦理勞務標、第六區及第九區管理處分別辦理材料標及施工標，分述如下：

1.由總管理處辦理委託技術服務之勞務標，得標廠商需協助設計、並於第六、第九區管理處分別辦理二梯次教育訓練(本公司同仁之設計、監造訓練及得標廠商之施工訓練)，由勞務標廠商提供師資、採購訓練材料及工具供本公司訓練使用，本公司提供場地及受訓名單等。

2.參照臺北自來水事業處之辦理經驗，因 NS 型耐震接頭相關材料、另件需由日本進口，如採用連工帶料方式恐影響包商投標意願，故本計畫採公司供料方式，由第六、九區管理處分別採購管材，交由得標廠商

施工。另為避免進口之管材浪費，本試辦案完成後多餘之材料將移至本公司員工專業訓練中心作為訓練用備料。

3.本案相關材料規範、施工規範初期將參照臺北自來水事業處試辦 NS 型耐震接頭案使用之規範，並由第六、第九區管理處主辦編製設計圖、預算書及招標文件等作業，勞務標得標廠商則提供協助，後續案件則依初期辦理經驗及教育訓練成果，視需要修正為適用本公司之規範。本案用戶外線需一併汰換為不銹鋼波狀管，波狀管部分則由施工廠商連工帶料。

4.上述施工標發包後，由總處勞務標得標廠商辦理本公司員工及施工廠商之教育訓練，訓練經測驗核可之人員由總管理處頒發工作證，持工作證之人員始得參與工程案之施工。

**(二)標案經費與期程**

1.總管理處勞務標：採購金額 6,184,483 元(含稅)，於 107 年 6 月 14 日公告，6 月 27 日第一次開標未達法定家數流標，6 月 28 日第二次公告，7 月 5 日決標，由東京水道國際有限公司得標。

2.六區處工程標：採購金額 33,088,604 元，於 107 年 12 月 7 日公告，12 月 19 日第一次開標未達法定家數流標，12 月 21 日第二次公告，12 月 27 日決標，由程景營造有限公司得標。

3.六區處材料標：採購金額 25,735,952 元，於 108 年 1 月 15 日公告，2 月 27 日第一次開標未達法定家數流標，3 月 5 日第二次公告，3 月 19 日超底價廢標，3 月 20 日第三次公告，3 月 27 日超底價廢標，3 月 29 日第四次公告，4 月 3 日決標，由興南鑄造廠股份有限公司得標。

4.九區處工程標：採購金額 18,502,050 元，於 108 年 3 月 22 日公告，4 月 10 日更正公告，4 月 23 日未達法定家數流標，4 月 29 日第三次公告， 5 月 6 日決標，由雄聖工程有限公司得標。

5.九區處材料標：採購金額 3,842,534 元，於 108 年 3 月 13 日公告，3 月 28 日第一次開標未達法定家數流標，4 月 1 日第二次公告，4 月 19 日超底價廢標，4 月 24 日第三次公告，4 月 30 日超底價廢標，5 月 7 日第四次公告，5 月 14 日超底價廢標，5 月 20 日第五次公告，5 月 27 日超底價廢標，6 月 3 日第六次公告，6 月 11 日決標，由興南鑄造廠股份有限公司得標。

**(三)協助設計服務**

由本公司依需求繪製一般 K 型接頭設計圖，勞務標廠商需協助轉繪為 NS 型接頭設計圖，並提供設計階段之諮詢、NS 材料估算(含數量及預估價格)等，另亦須協助本公司編製施工標案採購文件，包括契約、投標須知、施工規範、預算書等。

**(四)教育訓練**

本計畫勞務標廠商須聘請由日本水道協會認證合格技師進行本公司監造及施工廠商之理論解說、現場示範及實作教育訓練，並指導本公司人員學習設計實務操作等，細節如下：

1.由勞務標廠商負責採購耐震接頭(NS 型)訓練用相關耗材、零件及機具，本公司提供訓練場地及受訓名單等。

2.本教育訓練所使用之耐震接頭(NS 型)管

材，因數量較少且屬訓練用耗材，管材及相關配件不辦理材料取樣檢驗，由廠商提出原廠自主檢查紀錄、出廠證明等作為品質保證之文件。

3.教育訓練講師人員資格及人數如下：

(1)耐震接頭(NS 型)拆解組裝講師(1 人)及助理講師(2 人)：須同時具有日本水道協會規格(JWWA)配水管工技能講習會講師證以及一般及耐震接頭配水管技能登錄證。

(2)耐震接頭(NS 型)拆解組裝助理員(2 人)：須具有日本水道協會規格(JWWA)一般及耐震接頭配水管技能登錄證。

4.廠商需提送教育訓練計畫(含設計及施工要領課程教材及講義，須翻譯為繁體中文，講師、助理講師及助理員名冊與相關證照影本)，經本公司審查同意後實施。

本計畫教育訓練已分別於 108 年 6 月 18~21 日及 6 月 25~28 日，於本公司第六、第九區管理處辦理完成，課程前二日為本公司設計、監造人員訓練，後二日為施工廠商人員訓練，課程設計原則如表 7，訓練照片如圖 4。

**(五)現場施工指導及技術觀摩**

本計畫勞務標廠商需於現場開工後派技師駐廠技術指導 10 工作天，並提供諮詢服務，此外本公司為能推廣 NS 耐震接頭，特別於 108 年 7 月 26 日於六區處舉辦施工觀摩，並邀請經濟部水利署、臺北自來水事業處、中華民國自來水協會、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、本公司各工程相關單位共襄盛舉。觀摩活動照片如圖 5。

表 7　NS 耐震接頭教育訓練課程設計原則

| 訓練項目 | 內容 | 設計、監造課程 | 施工廠商課程 |
|---|---|---|---|
| NS 管設計 | NS 管設計要點說明及實習 | O | |
| NS 管施工 | NS 管施工要領說明 | O | O |
| NS 管施工觀摩 | 講師示範 NS 管施工作業 | O | |
| NS 管施工實習 | 依循講師指導，學員實際進行NS 管施工作業 | | O |
| NS 管施工技術測驗 | 學員獨自進行NS 管施工並由講師檢核是否依施工要領進行作業 | | O |

圖 4　教育訓練照片

圖 5　觀摩活動照片

## 三、遭遇問題、解決方法及建議

本公司係第一次引進 NS 型耐震接頭技術及材料，辦理過程雖有勞務標廠商及臺北自來水事業處之協助，惟仍遭遇諸多問題，詳述如下：

### (一)設計階段

1.工程標設計圖均由本公司同仁自行依 K 型接頭設計繪製，後交由勞務標廠商轉繪為 NS 型設計圖，因同仁無相關經驗，且設計階段尚未進行教育訓練，對於轉繪後之設計圖仍需多次與勞務標廠商溝通討論及修正，額外增加設計時程。建議爾後類似試辦案件可提前辦理設計訓練課程，設計人員先行掌握其技術或材料之概念，可有效縮短作業。

2.NS 型耐震接頭管溝須以砂回填至管頂，與我國大部分直接以 CLSM 回填之作法不同，而本公司不同於台北自來水事業處為政府機關，相關工程須依程序提出路權申請，可能造成路權主管機關疑慮及執行之困難。本計畫係透過六區處與路權主管機關多次溝通，係為提升供水穩定而辦理之試辦工程，並保證日後路面發生問題之修繕責任後始取得同意。

3.NS 型耐震接頭主要施工機具與傳統 K 型接頭不同，原設計階段曾考量二種方式辦理：

(1)本公司採購施工機具，提供施工廠商使用。

(2)施工廠商自行購買/租借。

而後考量由本公司購供可能衍生財產損壞賠償等問題，責任較難釐清，而施工廠商自行購買因部分機具單價偏高且目前案量較少，恐影響廠商投標意願，故最後本案採預算編列施工機具租賃費用方式辦理，一方面降低廠商負擔，一方面公司持續推出 NS 型接頭案件，廠商如能備妥施工機具則較具優勢。

### (二)招標階段

1.NS 型耐震接頭相較傳統 K 型接頭，施工費用約 1.2~1.5 倍，差異不大，然管材全數由日本進口，材料費用約達 5 倍，且因試辦性質管材採購數量相對較少，無形中增加進口廠商成本，故本計畫之材料標均開標多次始能決標(六區處 4 次，九區處 6 次)，此問題亦為日後推廣 NS 型耐震接頭之一大阻力。為提升整體管網耐震性能，本計畫建議未來持續辦理 NS 型耐震接頭管線工程，當國內需求量得以延續甚至逐步提

升，生產廠商才有意願投資設備，則管材國產化後可大幅降低成本，加速管網耐震之普及。

2.承前述因材料均需由日本進口，且國內無相關規範，故進口時程、檢驗標準等尚無可依循，由本次採購經驗，進口商得標後向日本材料商下訂並透過海運抵台，交料時則以日本材料商出具日本水道協會檢驗證明，本公司作書面審查方式檢驗，總時程預估 2.5 個月。爾後案件建議工程設計圖確認後材料標可先行招標，或於工程標招標文件內加註開工條件，避免供料不及或衍生其他爭議。

**(三)施工階段**

本計畫勞務標廠商經過 108 年 7 月 15 日至 8 月 2 日現場指導後，針對施工階段提出建議如下：

1.NS 管材置於施工現場應確實在管材底下放置枕木，避免傷及管材表面，若有發現塗裝剝落之情形，建議使用防蝕噴漆修補損傷處。

2.橡膠圈、襯墊筒定心用橡膠等橡膠類配件容易因紫外線或高溫產生變形或劣化，因此在現場暫置橡膠類配件時，應注意避免放在日照處、柏油路面或管材表面，倉庫放置時亦同。

3.管材吊入管溝到接合完成期間，承口與插口建議確實使用原有的樹脂製蓋子或防蝕套膜進行保護，因插口或承口處若有砂石附著，在接合時容易傷及止水橡膠進而導致漏水。

4.接合前承插口處要確實清潔，插口處若有損傷時應以銼刀修平並塗抹修補塗料。另外，若管溝內積水致使泥土或砂石流進插口環溝槽時，插口環須拆下並確實清潔乾淨。

5.由於台灣環境高溫炎熱致使潤滑劑容易乾燥，因此建議潤滑劑塗抹後應馬上進行接合作業；另外，雨天施工或是管溝內積水時，潤滑劑容易因水而無法發揮原有的潤滑效果，故施工時管材應盡量保持乾燥。此外，潤滑劑的保存方面，於塗抹完潤滑劑後，應隨時將該容器加蓋避免塗料乾燥硬化或讓砂石混入潤滑劑罐內。

6.保護套膜作用為阻絕土壤水分及氧氣以達到防蝕之效果，如在管件底下或套膜有破損情形時，建議以套膜交疊方式進行包覆較佳。

7.管溝寬度因考量接合工具及施工空間，依照指導期間技師建議之寬度即可(埋設 ϕ 200mm 管件開挖 80cm 寬)。另外在深度的部分，建議開挖至規定深度後，管溝底部應以機具或人力整平。由於接合作業必須於水平狀態下進行，若管溝底部凹凸不平，容易影響配管間的水平狀態，特別是在承口部，由於重量較重易出現下沉之情形，導致接合時無法保持水平狀態。必要時建議以管台或木板調整高度。

8.NS 型耐震功能是由直管伸縮及防脫功能組成，因此接合完成的配管，在回填時建議先以鐵鏟將砂土確實平均填滿於配管的左右兩側及底部，待配管確實固定住後，再大量倒入砂土至規定高度，藉此避免配管因回填作業造成晃動，進而影響直管伸

縮量。

9.NS 型耐震接頭檢查項目及裝接配件眾多，除應案檢查表確實檢查外，建議在裝設橡膠圈前先參考圖資確認有幾處須裝設襯墊筒，以避免發生止水橡膠拆除並重新裝設的情形，且由於止水橡膠拆除過程中容易造成損傷，建議拆除後立即更換新品並將損傷之橡膠圈丟棄。此外，在管件與直管加裝襯墊筒時，則要確實測量承口深度並標示於插口上作為插入量的標記，未接合至標記位置，或是承插口上裝設接合工具的間距不足，容易造成接合深度不足而影響施工品質。

10.管件接合作業時，容易因施力點偏移導致無法順利完成接合作業，建議可使用輔助工具以三點施力的方式進行作業，抑或於接合過程中，維持棘輪吊車的牽引方向與插口處於水平狀態下進行接合作業。

11.施工現場曾發生因螺栓鎖緊的順序不當，造成同時出現 A 與 C 判定的情形(橡膠圈偏移過多)，NS 套筒接合時由於下方的螺栓不易施工，容易出現未達鎖緊規定值的情形，因此安裝壓圈的過程中，必須平均施力將螺栓鎖緊，並使用扭力板手確認扭力值。此外，本次工程中所使用之壓圈為兩件式組合，組合時須注意接合缺口方向是否正確無誤。

12.本次工程中所採購臨時性管塞，除管塞本體外另附有專用壓圈及橡膠圈。因此，在管理時須注意避免與 NS 型管材混用。

13.彎管及三通管等管件，於接合及檢查完成後均須將防彎曲環螺絲鎖緊，執行該作業時須特別注意配管下方處螺絲是否有確實鎖緊。

14.本次工程套筒接合作業都是以扭力扳手鎖緊螺栓，然由於扭力扳手屬於精密工具，建議用於最後扭力值的確認作業，先前之暫鎖緊作業可比照 K 型使用棘輪扳手，最後再以扭力扳手進行確認。此外，因扭力扳手屬於精密工具，建議 1 年進行一次校驗以確保其準確度。

15.後續為提高施工效率，建議在管溝開挖階段除參考圖資規劃配管外，現場依據管溝環境於有障礙物或其它既有管線出現時，施工廠商與現場監造人員應保持良好溝通因地制宜決定配管方式。除此之外，建議現場可指定一位領班人員根據目前的施工進度，規劃人員配置並制定作業優先順序，預先準備所需之材料或工具，如此可更進一步提高施工效率。

## 四、結論

本計畫截至 109 年 1 月底施工進度約 80%，本研究將持續蒐集彙整各階段遭遇問題及解決對策，期為日後推廣 NS 型耐震管材之參考。最後提出幾點建議如下：

1.NS 型接頭於日本使用多年且耐震成效良好，相較於歐美或台灣自行開發之耐震接頭性能較優，為提升國內管線耐震性能，建議可持續推廣使用。

2.目前 NS 型接頭均於日本製造，因進口單價過高且台灣水價調整困難，短期內要大量採用並不容易，建議以試辦方式持續推動以維持固定需求量，除讓國內材料廠商對 NS 型管材具有信心，增加投資意願，也避免施工廠商因久未接觸而使技術生疏。

3.除前述試辦工程持續推動外，建議人員之教育訓練亦逐年進行，耐震接頭的結構比 K 型接頭複雜，施工技術要求嚴謹，無施工經驗廠商須經受訓才能學會正確的施工程序，且目前核發之工作證以 3 年為一期，如將來國內每年穩定採用 NS 型時，必須建置官方主辦的訓練系統，以健全體系。

## 參考文獻

1.商東京水道服務股份有限公司臺北分公司(2018)。DIP管耐震接頭概要。日商東京水道服務股份有限公司臺北分公司，台北市。
2.日本水道協會(2009)。水道設施耐震工法指針、解說。日本水道協會，日本。
3.厚生勞動省(2004)。平成17年度新潟縣中越地震水道施設被害等調查報告書。厚生勞動省，日本。
4.日本水道協會(1995)。1995年兵庫縣南部地震之水道管路被害及分析。日本水道協會，日本。
5.日本延性鑄鐵管協會(JDPA)(2015)，日本
6.詹士旻、張正忠、鄭錦澤(2018)。北水處延性鑄鐵管耐震接頭(NS型)施工實務性探討。臺北市自來水事業處，台北市。
7.陳明州、時佳麟、許敏能、黃欽稜、 張正忠、呂紹禎、宋奕穎(2018)。自來水配水管材選用策略之研究－以北水處供水管網為例。臺北市自來水事業處，台北市。
8.吳世紀(2014)。延性鑄鐵管耐震能力評估及發展(頁47-55)。自來水會刊第33卷第3期，台北市。
9.鄭錦澤等10人(2016)。研習延性鑄鐵管耐震接頭(NS型)設計、施工及材料等教育訓練(出國報告)。臺北市自來水事業處，台北市。
10.鄭錦澤、陳輝哲、林志成(2017)。借鏡日本耐震管材改善管線與提升耐震能力探討。自來水會刊第36卷第1期，台北市。

## 作者簡介

**陳彥翔先生**

現職：台灣自來水公司工務處工程師

專長：土木工程

**林家煌先生**

現職：台灣自來水公司工務處組長

專長：土木工程、自來水工程

**徐俊雄先生**

現職：台灣自來水公司工務處處長

專長：土木工程、自來水工程

**李嘉榮先生**

現職：台灣自來水公司副總經理

專長：自來水工程規設施工、供水系統規劃、自來水管線工程、淨廢水處理、供水設備、自來水園區工程規設監造、水管橋、水池結構

# 輸配水幹管鑽損修復求償及管線設備巡查機制

文/李中彥、田友仲

## 一、前言

輸配水幹管為自來水事業單位維持穩定供水之關鍵，一旦發生挖損或鑽損事件，嚴重時會造成大區域的停水，及供水調度困難，北水處以建立第一及第二條清水幹線，以及相關聯繫清水幹線之相關支線，對穩定大台北地區供水，以及發生緊急狀況時調度支援，有莫大助益。

然而，如輸配水幹管遭到其他工程施工單位挖損或鑽損，其切換調度供水系統，仍有一定難度及風險，此外，輸配水幹線遭到鑽損，為確保其功能，需進行停水維修，採用外部補強，或進入內部以內套環方式進行修復，其需花費之人力，物力，時間，經費均甚高，往往挖損或鑽損單位無力或不願負擔，造成應收工程款催繳不易，最後走上訴訟一途。輸配水管線修好了，才是自來水事業人員噩夢的開始，無止盡的訴訟程序，尤其對非法律背景的工程人員，是非常嚴峻的考驗，如何於訴訟過程找到對自來水事業有利的關鍵點，予以闡述，最後取得修復工程應收帳款，將事件圓滿落幕，可能比修復過程更加辛苦。

北水處現有管線設備於北水處「設備管理手冊」對於維護管理週期已有明確規定，惟遭受損壞主要係外單位施工所造成（尤其以鑽探、打樁、建築工地施工等為主），故如能加強外單位施工之巡查，防範施工損壞於未然，對於維護供水穩定將有明顯助益。

## 二、清二幹線公館支線遭鑽損後修復求償案例

本案為 ST 工程顧問有限公司受市府水利局委託辦理「OO 等河濱公園自行車道跨越設施整建委託技術服務」工程，ST 公司並與 HS 公司訂立次承攬契約，由 HS 公司進行工程中之鑽探作業，HS 公司於 100 年 2 月 18 日在臺北市永福橋與福和橋間自行車道旁進行鑽探施工，其受僱人鑽損自 82 年間於臺北市中正區公館地區所埋設管徑 2400mm 之輸水幹管(清二輸水幹管公館支線)，造成輸水管線破損而漏水，嗣兩造及臺北市水利處分別於 100 年 2 月 21 日、同年 3 月 8 日於事故發生地辦理現場會勘，並於會勘後確認事故確為 ST 公司行為所致。為修復管線及回復原狀，即協同配合廠商至現場進行導水及事後搶修工程。

北水處西區營業分處於 100 年 6 月 19 日函臺北市政府水利工程局（副知 ST 工程顧問有限公司），請水利局協助催請 ST 公司繳交挖損工程（料）費 1,68 餘萬元，其中敘明：「…經估算旨案花費 358 萬元，考量部分設施之修復及新設尚可歸屬北水處維管事項，由北水處自行負擔費用約 190 萬元，餘下檢視、搶修及復舊費用約 168 萬元，則依 100 年 3 月 8 日會勘結論，由鑽損廠商 ST 工程顧問有限公司負擔」。

後 ST 公司遲不繳納相關費用，北水處西區營業分處於 100 年 11 月 23 日簽准提起訴訟，後於 101 年 4 月 13 日簽辦訴訟裁判費用，本分處為考量訴訟策略其追償經額提高為 336 餘萬元。

本案民事訴訟案經臺灣臺北地方法院 103 年 4 月 29 日一審判決，被告「ST 工程顧問有限公司…」(以下簡稱 ST 公司等)，需賠償北水處金額新臺幣 333 餘萬元。

ST 不服一審判決，乃向臺灣高等法院提起上訴，案經高等法院二審判決，廢棄第一審判決，改判 ST 公司等被告無須負損害賠償責任。

北水處不服第二審判決結果，遂向最高法院提起上訴，經最高法院判決，除假執行部分外廢棄，發回台灣高等法院更為審理。

高院更審於 105 年 4 月 28 日、6 月 20 日、8 月 8 日、11 月 3 日召開 4 次準備庭，於第 4 次準備庭前，本案參加人 OO 產物保險公司以民事陳報狀表示：「倘兩造能達成和解，參加人願賠付 178 萬元」，另 11 月 3 日開庭時法官亦尋求兩造和解意願。

本案訴訟兩造最主要的爭執點為北水處竣工圖是否準確，以及新工處圖資系統內之管線位置是否正確，更一審法官亦表明圖資正確與否為本案後續判決關鍵，爰就圖資準確性進行進一步檢討分析，首先 ST 公司主張有調閱新工處管線圖資系統，惟經查新工處挖管系統位置基本上亦與北水處竣工圖相符，但未標示相對位置，故無法判斷現地管線位置，故有警語要調閱各相關管線單位之竣工圖（圖 1）。

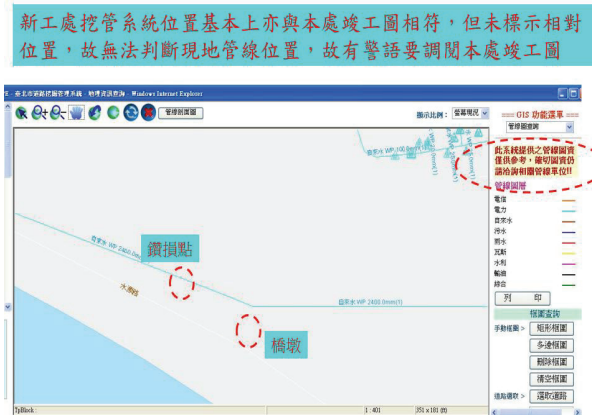



圖 1　新工處挖管線桶管線圖資

北水處圖資系統管線位置與航照圖套疊詳如圖 2。

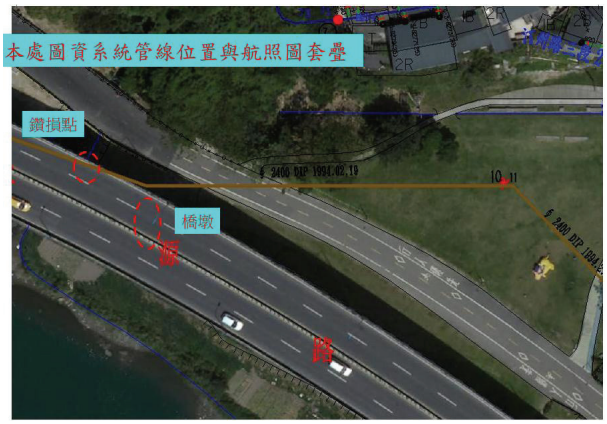



圖 2　北水處圖資與航照圖套疊

另調閱台北市政府都市發展局台北市歷史圖資系統民國 80 年航照圖(已有橋墩，橋面版未施工)，北水處 83 年竣工圖即以橋墩為參考座標（圖 3）。

圖 3　民國 80 年航照圖

利用橋墩作為不動點，北水處同仁利用電子測距經緯儀進行線地測量還原，發現以橋墩及竣工圖長度還原之排氣閥位置與現場相符，詳如圖 4。

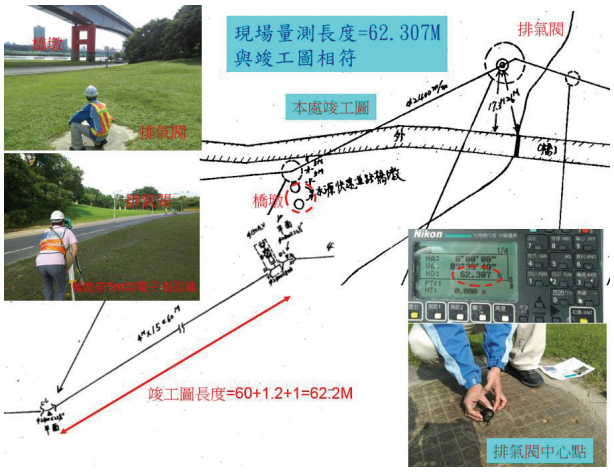



圖 4　利用橋墩不動點現地測量檢測排氣閥位置與圖資相符

最後推算 100 年鑽損點位置，與竣工圖相符，詳如圖 5，證實若能調閱北水處竣工圖，應可正確指定線場管線位置，不致發生鑽損事件。

圖 5　現地測量還原鑽損點位置

經分析旨案挖損求償與訴訟過程，最初求償金額為 168 餘萬元，後因訴訟策略提高為 336 餘萬元，一審北水處勝訴，二審北水處敗訴，顯見法官見解不同，以二審判決敗訴理由指出，另本案鑽損地點位於公館寶藏巖附近高灘地，地形地貌與民國 83 年管線埋設後有大幅變化。故竣工圖之調閱為本案避免鑽損之關鍵，當時 ST 公司如能調閱北水處竣工圖，利用橋墩不動點位置應可準確推算本處管線位置，避免鑽損。

綜上分析本案修理過程，致使訴訟過程中法官看法歧異，自 101 年北水處提出訴訟至今歷經地方法院，高等法院，最高法院，高等法院更一審等仍無法有所定案，已耗費大量訴訟人力及聘請律師之財務支出，即使後續判決對北水處有利，亦未必能取得全部求償費用，另 ST 公司勢必再行上訴。如本案後續兩造任何一方提出上訴，上訴至最高法院訴訟律師費用 7 萬元，最高法院如又發回高等法院更審（更二審）律師費用又須 7 萬元，其中如有任何一審判決北水處敗訴，尚需額外負擔訴訟費用 12.5 萬元，此皆為後續持續訴訟可能衍生增加之成本。

鑒於訴訟已耗時四年，依據 105 年 7 月 12 日台北市政府第 1895 次市政會議，市長亦針對各機關訴訟案件作有「能和解的儘量和解」之裁示，以和解方式追償旨案挖損工程（料）費，亦為可行作法。

本案依上述原始竣工圖經過現地測量比對竣工圖不動點進行還原本處管線位置與竣工圖相符，由此迫使 ST 公司主動拋出和解意向，最後於高等法院更一審與北水處完成和解共識，順利取回修復工程應收工程款及相關訴訟期間衍生利息費用，結束近五年之訴訟程序。

## 三、催生北水處管線設備巡查計畫

以前述案例可知，輸水幹管遭到鑽損衍生之問題非常龐雜，訴訟過程又何其艱鉅，故如能於源頭避免施工挖損或鑽損，為平時維護管理一項重要議題，本案例經驗，也催生北水處研訂管線設備巡查計畫。

輸水幹管必須維持必要之水量，以及適當而均勻的水壓，且不受外來污染，並有應付不同時刻需水量之需要及偶發事故之應變功能，使自來水之供應能夠維持正常與穩定。其輸送方式有重力自然流、泵浦加壓以及併用等方式。

北水處供水轄區主要由直潭淨水場淨水處理後之清水，以重力供水方式，利用現有二條主要清水送水管輸送，其中第一條清水送水管全長約 17.3 公里，第二條清水送水管全長約 17.4 公里，當管線通過深谷、河川處設置水管橋橫越（或將水管附掛於既有橋樑上）；另外，尚有設置於管線縱斷面突出部位或水管橋中央之排氣閥、具有截斷與控制水流功能之制水閥，於管線低處排放雜質污水之排泥管、供管線檢驗、維修出入之窨井等。

自來水設備大都埋設於地面下，無法由目視查看管線情形，各設施竣工後完善之圖資繪製及建檔工作極為重要，為確保各設施系統的機能正常運轉，有賴於平常的巡檢及設施維護，另外，尚需加強人員的教育及訓練，以提升緊急事故發生時之應變能力。

北水處現有管線設備於北水處「設備管理手冊」對於維護管理週期已有明確規定，惟遭受損壞主要係外單位施工所造成（尤其以鑽探、打樁、建築工地施工等為主），故如能加強外單位施工之巡查，防範施工損壞於未然，對於維護供水穩定將有明顯助益。

### (一)輸水幹線巡查

第一類：清水幹線

範圍：清一、清二幹線。

第一條清水送水管，管徑由Φ3,400mm至Φ2,000mm，主幹線自直潭淨水場向北延伸，穿越新店溪經安康、中和，再跨越新店溪經公館沿建國南、北路而至新生公園大同配水池暨加壓站，全長約 17.3 公里。其間自主幹線分出兩條支線，其一為三重支線，管徑由Φ1,650mm 至Φ1,000mm，自公館沿水源路、羅斯福路、南昌路、愛國西路、中華路，跨越忠孝大橋至三重配水池暨加壓站，全長約 8.6 公里。另一為松山支線管徑Φ1,650mm，接自建國北路與民生東路口，沿民生東路、敦化北路、民權東路而至松山配水池暨加壓站，全長約 3.9 公里。

第二條清水送水管，管徑由Φ3,800mm至Φ2,400mm，主幹線自直潭淨水場向北延伸，以水管橋跨越新店溪，沿新店溪右岸環河快速道路堤外便道至福和橋下，經轉向公館圓環，再沿基隆路、敦化南路北上，終至大同加壓站暨第二座配水池，全長約 17.4 公里。為與第一條清水輸水幹線互為檢修備用幹管功能，設置 7 條支線，分別為安華支線、安康支線、中和支線、公館支線、長興支線、信義支線及民生支線，自上游到下游依序分

述如下：安華支線Φ2,200mm，沿安華路至安華加壓站，全長約 93 公尺；安康支線管徑Φ800mm，自安康路與安和路口沿安康路至安康加壓站，全長約 1,250 公尺；中和支線管徑Φ2,000mm，自秀朗橋東橋頭起，跨越新店溪經景平路至中和加壓站，全長約 1,060 公尺；公館支線管徑Φ2,400mm，自福和橋下堤外便道穿越萬盛溪進入公館加壓站，與清一幹線系統連接進入公館前池，全長約 700 公尺；信義支線管徑Φ2,400mm，自敦化南路沿信義路至建國南路，全長約 1,100 公尺；長興支線管徑Φ2,000mm，起自基隆路沿長興街而至長興淨水場清水池，全長約 430 公尺；民生支線管徑Φ2,000mm，自敦化北路沿富錦街而至民生配水池暨加壓站，全長約 330 公尺（如圖 6、圖 7）。

每月 1 次，包含閥栓巡視每 3 個月 1 次

巡查人員及作法：由供水科辦理巡查。

具體作法：排定巡查路徑，巡查人員依路徑巡查，過程以 GPS 紀錄巡查路徑，不另填寫巡查紀錄，如有發現外單位施工則拍攝施工告示牌照片，交由工程師研判具體位置是否影響北水處輸水幹線，必要時舉辦會勘確認

第二類：重要幹線（清水幹線支線及加壓站重要出水管線）

範圍：安華支線、安康支線、中和支線、公館支線、三重支線、信義支線、松山支線及安華加壓站(安康線及新店線)、民生加壓站(南港線)、松山加壓站(過河線及過橋線)、大同加壓站(大直線北投幹線)；及其他經過高灘地之重要管線。

巡查週期：每 2 個月 1 次，包含閥栓巡視每 6 個月一次。

巡查人員及作法：由供水科辦理巡查。

具體作法：排定巡查路徑，巡查人員依路徑巡查，過程以 GPS 紀錄巡查路徑，不另填寫巡查紀錄，如有發現外單位施工則拍攝施工告示牌照片，交由工程師研判具體位置是否影響北水處輸水幹線，必要時舉辦會勘確認。

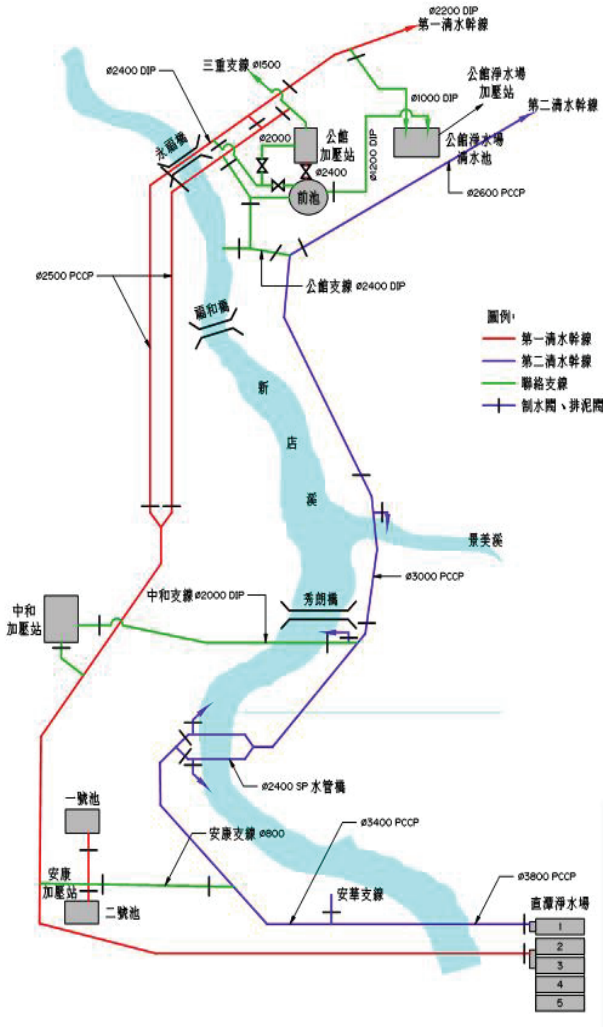



圖 6　北水處清水幹線及其支線示意圖(南側)

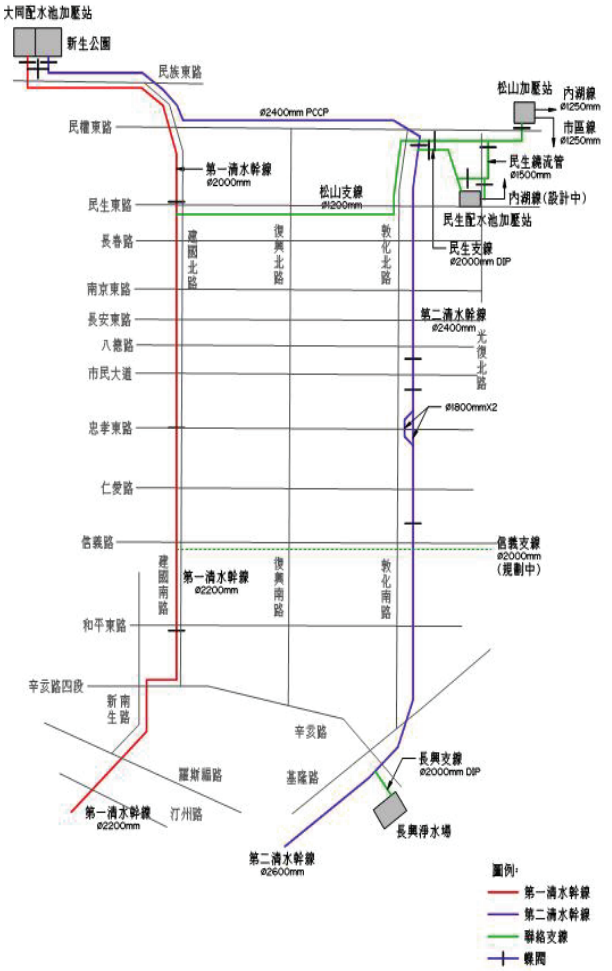



圖 7　北水處清水幹線及其支線示意圖(北側)

**(二)其他管線巡查**

1.巡查項目：

(1)捷運工程

(2)衛生下水道工程

(3)人行道改善及騎樓整平工程

(4)側溝改善工程

(5)其他五大管線施工管障

2.巡查資訊來源：

(1)各外單位會勘資訊

(2)北市工務局新工處道路道路挖掘施工資訊及時通報系統

(3)新北市道路挖掘管理系統

(4)水利單位施工資訊資訊蒐集：目前未建立相關整合資訊系統，資料蒐集來源包涵台北市政府工務局水利工程處、新北市政府水利局、經濟部水利署第十河川局，蒐集資訊包涵堤防整建、排水箱涵更新、側溝更新等資訊。

3.巡查業務派工（頻率）：

每日例行巡查由分處指派工程師負責上述資料過濾及篩選，研判外單位施工等資訊與北水處管線（設備）之影響，於每上班日上午排定當日巡查地點路順，由分處指派人員赴現場巡查。

## 四、結論與建議

自來水設備大都埋設於地面下，無法由目視查看管線情形，各設施竣工後完善之圖資繪製及建檔工作極為重要，為確保各設施系統的機能正常運轉，有賴於平常的巡檢及設施維護，另外，尚需加強人員的教育及訓練，以提升緊急事故發生時之應變能力。

對於輸配水幹管不幸發生挖損或鑽損事件，除了當下進行緊急供水調配調度，管線修理外，高額之求償金額往往使挖損或鑽損單位不願支付，維修工程經費形成呆帳，經常需進行訴訟程序，如何在訴訟過程尋求對自來水事業單位有利之關鍵點，使法官採信自來水事業單位之說法，或迫使挖損單位接受賠償金額，需有賴正確之竣工圖資訊及專業判斷，因應現場定形地貌的改變，利用不動點進行測量還原，可有效證實圖資之正確性。

落實推動管線設備(尤其是重要輸水幹線)之巡查，可有效避免可能發生之挖損或鑽損事件，對供水穩定安全有相當大之助益。

## 參考文獻

1.臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計畫」，2003。
2.臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫－長程策略方針」，2006。
3.陳明州、吳奕均、楊境維，「小區計量工法於管網系統漏水管理之應用」，2008。
4.郭志東、林哲生、李中彥，「小區售水率提昇之瓶頸與突破」，自來水會刊第28卷第3期，2009。
5.李中彥、林永芳、時佳麟，「山坡地社區NRW 過高時之標準化改善作業－以新北市潭之鄉社區為例」，自來水會刊第32卷第1期，2013。
6.李中彥，「臺北舊城區之自來水漏水改善策略」，自來水會刊第32卷第4期，2013。
7.臺北自來水事業處，「本處管線設備巡查計畫」，2014。

## 作者簡介

**李中彥先生**

現職：臺北自來水事業處西區分處股長

專長：自來水工程設計、施工、契約規範。

**田友仲先生**

現職：臺北自來水事業處西區分處三級工程師

專長：自來水工程設計、施工。

# 卡爾森「營養狀態指數(TSI)」探討

文/周國鼎


## 摘要

我國判定湖泊或水庫水質好壞與否乃依據行政院環境保護署所訂「卡爾森指數(Carlson Trophic State Index, CTSI)」,「卡爾森指數(CTSI)」值超過 50 者，該水庫就被歸類為「優養」(eutrophic)類別；低於 40 者，歸類為「貧養」(oligotrophic)類別；介於 40 與 50 之間者，則歸類為「普養」(mesotrophic)類別。我國使用「卡爾森指數(CTSI)」迄今已有超過 30 年的歷史。

我國所採用之「卡爾森指數(CTSI)」,顧名思義該指數發明者之名字為卡爾森，惟實際上,「卡爾森指數(CTSI)」與卡爾森於 1977 年所發表「營養狀態指數(Trophic State Index, TSI)」相較，僅水質的透明度、葉綠素 a 濃度、磷濃度等 3 個參數之計算方程式雷同(亦非完全相同)，二者判斷水質營養狀態之方式則不同。我國使用「卡爾森指數」之名稱，容易誤導使用者或閱聽者認為其與卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」完全無異。

磷進入水體，易使藻類滋生，進而導致水質透明度下降。卡爾森根據所收集之數據，發現透明度、總磷及葉綠素 a 三個參數間具有高度相關性，因此所研發的「營養狀態指數(TSI)」只需要量測透明度，即可透過方程式計算得知水質的營養狀態及其他營養參數數值，無需量測所有營養參數。卡爾森所研發三個不同參數之方程式中，除透明度者為理論方程式，其餘者係取對數後線性迴歸而得。

卡爾森指出，「營養狀態指數(TSI)」不適用含有大量非藻類顆粒物質的湖泊或高色度的湖泊之狀況；此外，如生物性營養狀態指數值與總磷營養狀態指數值不同的情況下，將這些不同數值加總求其平均值是不宜的。


關鍵詞：優養化、卡爾森指數、CTSI

## 一、前言

我國判定湖泊或水庫水質好壞與否乃依據行政院環境保護署所訂「卡爾森指數(Carlson Trophic State Index, CTSI)」，水質之「卡爾森指數(CTSI)」值超過 50 者，該水庫就被歸類為「優養」(eutrophic)類別；低於 40 者，歸類為「貧養」(oligotrophic)類別；介於 40 與 50 之間者,則歸類為「普養」(mesotrophic)類別。我國使用「卡爾森指數(CTSI)」迄今已有超過 30 年的歷史。

我國所採用之「卡爾森指數(CTSI)」,顧名思義該指數發明者之名字為卡爾森，惟實際上,「卡爾森指數(CTSI)」與卡爾森於 1977 年所發表「營養狀態指數(Trophic State Index, TSI)」相較，僅湖泊水質的透明度、葉綠素 a 濃度、磷濃度等 3 個參數之計算方程式雷同（亦非完全相同），二者判斷水質營養狀態之方式則不同。我國使用「卡爾森指數」之名稱，容易誤導使用者或閱聽者認為其與卡爾森所研發之「營養狀態指數(TSI)」完全無異。

為充分了解卡爾森發展「營養狀態指數(TSI)」之緣由及該指數之意涵，俾利政府相關機關正確判斷我國湖泊或水庫水質的營養狀態，進而採取適當措施及投入資源改善水質，以免水質惡化而影響飲用水安全，乃本文之目的所在。

## 二、TSI緣由

### (一)出處

卡爾森「營養狀態指數(TSI)」係出自卡爾森於 1977 年所發表「A Trophic State Index for Lakes」(中譯：湖泊營養狀態指數）之論文。卡爾森全名為 Robert E. Carlson，時任職於美國明尼蘇達大學湖沼學研究中心，後為美國肯特州立大學(Kent State University)生物學系教授。卡爾森已於 2010 年退休，畢生致力於湖泊營養狀態之研究，並曾發表多篇相關學術論文，其中「A Trophic State Index for Lakes」論文被引用次數迄今已高達 5,000 次。

### (二)目的

卡爾森當年之所以要開發一種新的湖泊營養分類方法，是因為在 1970 年代時，傳統的湖泊營養分級系統無法簡單明瞭的向公眾說明湖泊的當下性質或狀態以及未來湖泊整治後的狀況，所以需要新的系統藉以溝通。卡爾森所開發的這個系統稱為「營養狀態指數(TSI)」，內容包括了定義營養狀態和判定湖泊狀態的方法。

## 三、TSI參數

### (一)湖泊營養狀態的意涵

要正確選擇湖泊營養狀態具有代表性的指標，應該要先了解湖泊營養狀態的意涵為何。

湖泊營養狀態，一般常稱之為優養化。根據維基百科，優養化又稱作富營養化，是指湖泊、河流、水庫等水體中氮、磷等植物營養物質含量過多所引起的水質污染現象。由於水體中氮、磷營養物質的富集，引起藻類及其他浮游生物的迅速繁殖，使水體溶解氧含量下降，造成植物、水生物和魚類衰亡甚至絕跡的污染現象。

根據上述的意涵，水中溶氧、營養物濃度、底棲動物、浮游植物、生物質量或其它產物的量測值，皆可作為判斷湖泊營養狀態的參數或指標。

### (二)「單一參數指標」或「多參數指標」

用於判定營養狀態的大量標準促使人們認為營養概念是多面向的，涉及包括營養負荷、營養物濃度、生產力、動物和植物之數量和質量，甚至湖泊形態測量等方面。因此，營養狀態無法只透過檢查一個或兩個參數來評估，而這種論點可能助長了多參數指標的產生，惟當考量需要測量參數的數量時，多參數指標的實用性就會受到限制。此外，某些指標中參數之間假設的線性關係並不成立。

相對於多元營養的概念，就是單一參數指標，例如有機物質或營養物質進入到湖中的速率。單一參數指標可能既明確又對變化敏感，然而，當時對於營養狀態單一參數的選擇尚未達成共識，並且單一參數指標未來能否被廣泛接受也是令人質疑的。

「單一參數指標」及「多參數指標」，二者各有利弊，應視使用者之實際狀況及條件作選擇。

### (三)國際間常用指標

對於湖泊營養狀態之指標及分類方式，國際上並無一致的標準及作法。就以指標參數的數目而言，國際間常用指標就分為「單一參數指標」及「多參數指標」二種。「單一參數指標」係以單一參數來判斷湖泊營養狀態，而「多參數指標」之判斷方式則涉及不只 1 項參數。國際間採用「單一參數指標」及「多參數指標」之案例分別說明如下。

1.單一參數指標

「單一參數指標」者係以單一參數來判斷湖泊營養狀態，採用者包括美國環保署、堪薩斯州、經濟合作暨發展組織(OECD)及日本等。

(1)美國環保署

美國環保署判斷湖泊營養狀態之參數（詳表 1）有 3 項，包括透明度、葉綠素 a 及總磷，可以選擇其中之一來判斷。

表 1　美國環保署判斷湖泊營養狀態之參數及標準

| 營養狀態 | 總磷 (μg/L) | 透明度 (m) | 葉綠素 a (μg/L) |
|---|---|---|---|
| 貧養 | < 10 | > 3.7 | < 4 |
| 普養 | 10-20 | 2-3.7 | 4-10 |
| 優養 | > 20 | < 2 | > 10 |

(2)美國堪薩斯州

採用葉綠素 a 之「營養狀態指數(TSI)」值作為判定指標。

(3)經濟合作暨發展組織(OECD)

OECD 判斷湖泊營養狀態之參數（詳表 2）亦有 3 項，項目完全相同於美國環保署者，可以選擇其中之一來判斷，惟其各參數之判斷標準值，則不相同於美國環保署者。

(4)日本

採用 OECD 葉綠素 a 之年平均值判定水庫營養狀態（優養：Chl-a > 8 $\mu$g/L）。

表 2　OECD 判斷湖泊營養狀態之參數及標準

| 營養狀態 | 總磷 ($mg/m^3$) | 透明度 (m) | | 葉綠素 a ($mg/m^3$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 平均值 | 平均值 | 最小值 | 平均值 | 最大值 |
| 超貧養 | < 4 | > 12 | > 6 | < 1.0 | < 2.5 |
| 貧養 | < 10 | > 6 | > 3 | < 2.5 | < 8.0 |
| 貧養 | 10-35 | 6-3 | 3-1.5 | 2.5-8 | 8-25 |
| 優養 | 35-100 | 3-1.5 | 1.5-0.7 | 8-25 | 25-75 |
| 超優養 | > 100 | < 1.5 | < 0.7 | > 25 | > 75 |

2.多參數指標

「多參數指標」者係以不只一項參數來判斷湖泊營養狀態，採用者包括我國、美國佛羅里達州、中國大陸等。

(1)我國

採用透明度、葉綠素 a 及總磷各參數 TSI 值之加總平均值，也就是 [TSI(SD)+TSI(Chl-a)+TSI(TP)]/3，作為水庫營養狀態之判定指標。

(2)美國佛羅里達州

當總磷(TP)為限制營養源時[(TN/TP) > 30]，採用總磷、及葉綠素 a 二參數之 TSI 值加總平均值，也就是 [TSI(Chl-a)+TSI(TP)]/2，作為水庫營養狀態之判定指標。

(3)中國大陸

採用「綜合營養狀態指數」(TLI)，此指數選用葉綠素 a (Chl-a)、總磷(TP)、總氮(TN)、透明度(SD)、化學需氧量(COD)等 5 項參數，計算出綜合營養狀態指數(TLI)值，該值的範圍為 0 至 100，據此對湖泊或水庫的營養狀態分類。

## 四、TSI參數之選擇

如前所述，水中溶氧、營養物濃度、底棲動物、浮游植物、生物質量或其它產物的量測值，皆可作為判斷湖泊營養狀態的參數或指標，而卡爾森選擇了透明度、總磷及葉綠素 a 等 3 項參數，分別代表了物理性、生物性及化學性指標。此外，卡爾森還整理出 3 項參數指數的計算公式。

### (一)背景

卡爾森當年開發新的湖泊營養分類方法，是為了能夠簡單明瞭的與公眾溝通。

藻類生物質本身的數值不易在指數中使用，因為生物質是一個定義不明確的術語，通常是依次由一個或多個參數估計而得，例如乾重或濕重、細胞體積、顆粒碳、葉綠素或沙奇盤透明度。卡爾森採用沙奇盤透明度的可能範圍來構建指數，除了沙奇盤透明度值易於轉換為方便使用的尺標之外，沙奇盤透明度是最簡單且最常用作湖泊量測工具之一，所量測的數值很容易被理解。

### (二)各參數之意涵

1.透明度

對於社會大眾而言，水質的透明度應該是最容易了解的指標。直覺上，水質清澈往往代表水中物質少，透明度愈高，就表示湖泊營養物質愈少；反之，則代表湖泊營養物質愈多。

透明度是一種物理性指標，不僅簡單易懂，且操作容易（如操作上安全無虞）。標準檢測方法為水體透明度測定方法(NIEA E220.51C)，只要利用沙奇盤(Secchi disk)或沙奇管，量測水面至其可見之距離，即為水體之透明度，又稱沙奇透明度(Secchi Transparency)。

鑒於透明度之簡易性，完全符合卡爾森發展「營養狀態指數(TSI)」之初衷，雖然卡爾森一共列出了透明度、葉綠素 a 及磷等 3 項參數指數的計算公式，實際上透明度才是卡爾森主要想使用作為判定水庫營養狀態之參數，其緣由將於後續章節說明。

2.磷

水質優養化是指氮、磷等植物營養物質含量過多，導致藻類及其他浮游生物的迅速

繁殖的現象，因此水中氮、磷的濃度可作為預期未來藻類繁殖狀況的參數。

不過，氮主要以硝酸鹽氮的型式進入水體，通常是河口優養化的最主要的限制性因數之一；磷則是以溶解態與顆粒態的型式進入水體，通常是湖泊優養化的最主要的限制性因數之一。

磷是一種化學性指標，採樣檢測上較透明度複雜許多。水中磷之標準檢測方法有 2 種，包括分光光度計／維生素丙法(NIEA W427.53B)、分立式分析系統比色法(NIEA W463.50B)。

3.葉綠素 a

水質優養化是指水體中植物營養物質含量過多所引起的水質污染現象，具體呈現的就是藻類及其他浮游生物的迅速繁殖。卡爾森之所以選擇藻類生物量作為營養狀態指數的參數之一，主要是因為藻類大量繁殖（又稱藻華）是公眾關注的問題，選擇這種公眾關注特別敏感的指數有助於湖沼學家與公眾之間的溝通，而水中葉綠素 a 的濃度可代表藻類繁殖的狀況。

葉綠素 a 是一種生物性指標，與磷的檢測一樣需在實驗室中進行，採樣檢測不似透明度簡易。水中葉綠素 a 之標準檢測方法有 2 種，包括丙酮萃取法／分光光度計分析法(NIEA E507.04B)、乙醇萃取法(NIEA E508.00B)。

## 五、TSI參數間之相關性

理想的「營養狀態指數(TSI)」應包含「多參數指標」及「單一參數指標」兩種方式中的各自優點，不僅保留多參數指標對於營養狀態的多面向表達方式，且同時具有單一參數指標的簡單性。如果常用的營養標準是相互關聯的，就可以達到這個目標，而以下 2 個卡爾森所舉案例即可說明。Sakamoto (1966)以及 Dillon 和 Rigler (1974)找出春季磷濃度和藻類生物量之間的關係，而該藻類生物量係以葉綠素 a 濃度表示；Lasenby (1975)使用沙奇盤透明度值來預測區域底層湖水的缺氧狀況。

如果許多常用的營養標準可能與一系列的預測方程式有關，就不再需要測量所有可能的營養參數來判定營養狀態。單一的營養標準，例如藻類生物量、營養物濃度或營養物負荷量都可以作為指數的基礎。從這個指數，藉由已建立的關係式，可以估算或預測出其他營養標準；同樣的，也可以使用任何一個營養標準的量測值來判定營養狀態為何。

### (一)「營養狀態指數(TSI)」建構基礎

「營養狀態指數(TSI)」將大多數湖泊納入 0 至 100 的範圍內，從 0 開始，數值每增 10 個單位代表藻類生物量的倍增；由於生物質濃度與沙奇盤透明度之間的倒數關係，藻類生物量的每次倍增都會導致透明度減半。指數數值可以從幾個參數中的任何一個計算，參數包括透明度、葉綠素和磷等。

### (二)透明度

雖然葉綠素是最能夠直接代表水體營養狀態的指標，不過卡爾森選擇了透明度作為主要判定參數，除了沙奇盤透明度值，也就是湖泊透視深度（以公尺計），易於轉換為方便使用的尺標之外，沙奇盤透明度是最簡單且最常用作湖泊量測工具之一，所量測的數值很容易被理解。

卡爾森認為尺標上的零點應該是大於任何沙奇盤透明度值中曾經記錄過的值，而當時紀錄最大值是日本 Masyuko 湖的 41.6 公尺，該值是由 Hutchinson (1957)所記錄的。而在以 2 為底的對數刻度上，下一個最大整數值是 64 公尺。在 64 公尺時的營養狀態指數(TSI)值為 0，此值可從指數數值 6 減去 log 2 64 而得之，進而產生 TSI 方程式如方程式(1)：

$$TSI = 10(6 - \log_2 SD) \qquad (1)$$

該數值之所以還要乘以 10，是因為卡爾森要使尺標的範圍是從 0 到 100，而不是 0 到 10。

尺標刻度從 0 開始，代表沙奇盤透明度值是 64 公尺；32 公尺時為 10；16 公尺時為 20；8 公尺時為 30；依此類推。

該方程式是一個理論方程式，其透明度理論上限值是可以無限的大，但實務上的極限值是 100 或 110（分別代表 6.25 公分和 3.125 公分）。

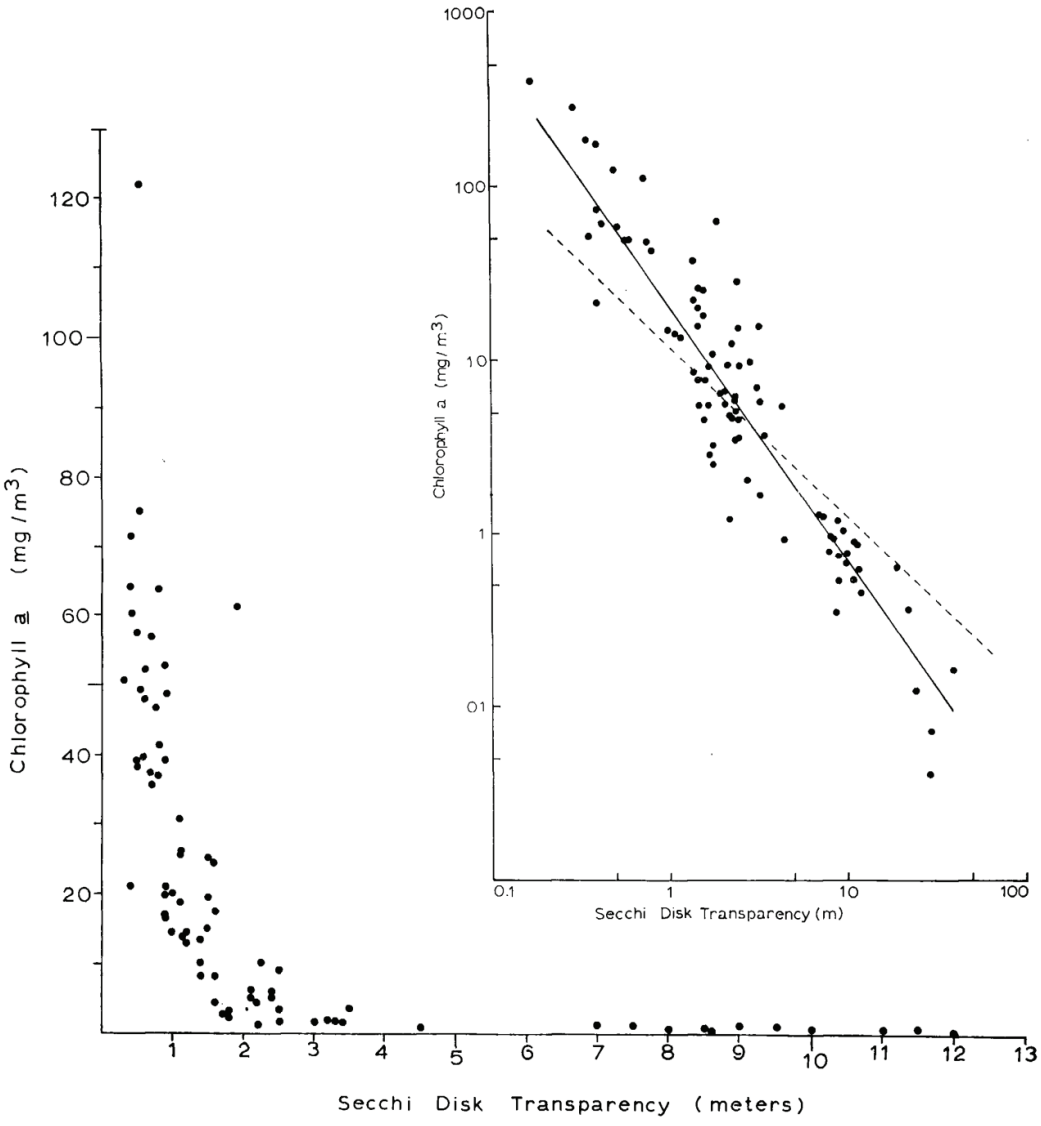



圖 1　沙奇盤透明度與葉綠素 a 濃度之關係。內圖為圖 1 之數據取對數後之結果，虛線者代表斜率為 1。（取自 Carlson, R. E (1977), A Trophic State Index for Lakes, Limnology and Oceanography）

**(三)透明度與葉綠素 a**

卡爾森繪製沙奇盤透明度與藻類生物量參數（例如葉綠素 a）之關係時，獲得一個雙曲線（見圖 1），而不具有線性關係，因此將數據進行雙對數轉換，得到方程式(2)。

$$\ln SD = 2.04 - 0.68 \ln Chl \qquad (2)$$

由於透明度與葉綠素 a 之線性關係，因此只要知道了透明度值，除了可以得知其「營養狀態指數(TSI)」值，亦可得到對應的葉綠素 a 濃度值。

**(四)透明度與磷**

卡爾森因為沒有足夠磷與透明度的可用數據，無法得到有意義的迴歸分析。然而，將葉綠素對總磷進行迴歸分析，可以得到方程式(3)。

$$\ln Chl = 1.449 \ln TP - 2.442 \qquad (3)$$

卡爾森再將得到的方程式(3)與方程式(2)組合，產生了「磷—透明度」方程式(4)。

$$\ln SD = 3.876 - 0.98 \ln TP \qquad (4)$$

惟筆者發現，卡爾森推導之方程式(4)有誤，應修正為方程式(4*)：

$$\ln SD = 3.701 - 0.985 \ln TP \qquad (4^*)$$

由方程式(4*)可得到透明度與磷之線性關係，因此只要知道了透明度值，除了可以得知其「營養狀態指數(TSI)」值，亦可得到對應的磷濃度值。

**(五)營養狀態指數對照表**

完整的營養狀態指數數值及其相關參數如表 3 所示。

表 3　相關參數營養狀態指數對照表

| 營養狀態指數 (TSI) | 沙奇盤透明度 (m) | 表水磷 ($mg/m^3$) | 表水葉綠素 ($mg/m^3$) |
|---|---|---|---|
| 0 | 64 | 0.75 | 0.04 |
| 10 | 32 | 1.5 | 0.12 |
| 20 | 16 | 3 | 0.34 |
| 30 | 8 | 6 | 0.94 |
| 40 | 4 | 12 | 2.6 |
| 50 | 2 | 24 | 6.4 |
| 60 | 1 | 48 | 20 |
| 70 | 0.5 | 96 | 56 |
| 80 | 0.25 | 192 | 154 |
| 90 | 0.125 | 384 | 427 |
| 100 | 0.0625 | 768 | 1,183 |

## 六、結論

### (一)只需量測透明度

如果不同營養狀態參數間具有高度相關性，就無需測量所有營養參數來判定營養狀態。

卡爾森所採用判定湖泊營養狀態的 3 項參數，包括透明度、總磷及葉綠素 a，根據其收集之數據加以線性迴歸，參數相互間具有高度相關性。因此，要判定湖泊營養狀態只需擇 1 參數檢測，再藉由其指數方程式計算可得，無需全數為之。當然，就透明度、總磷及葉綠素 a 三者而言，透明度不僅量測方式最為簡易，且如委託專業人士量測，價格也最為低廉，自然也就會成為首選的參數。

### (二)不適用情況

卡爾森所設計之「營養狀態指數(TSI)」，在以下水質狀況並不適用：

- 對於含有大量非藻類顆粒物質的湖泊或高色度的湖泊，透明度可能會給出錯誤的 TSI 值。
- 水中生物質量之主要產出為附著的藻類或水生植物，而非浮游植物。
- 當磷並不是浮游植物生長的營養限制因子。

### (三)加總平均值是不宜的

如生物性營養狀態指數值與總磷營養狀態指數值不同的情況下，將這些不同數值加總求其平均值是不宜的，因為該平均值既不代表營養物濃度所預測的營養狀態，也不能代表根據生物標準所估計的生物狀況。

不過國際間仍時有所見將透明度、總磷及葉綠素 a 三者根據卡爾森推導營養狀態指數方程式所計算之數值，不論其數值間之差異性為何，一律取其加總平均值作為判斷依據。

卡爾森推導營養狀態指數方程式所計算之數值為取對數後之數值，再將取對數後之數值予以加總平均，其數值是否具有意義，值得商榷。例如再依特定環境內有 2 個音源，其音量分別為 70 分貝及 50 分貝，該特定環境內之平均音量應該不是直接取其加總平均而為 60 分貝。(註：分貝是通過把測量值與參考量值之比計算基於 10 的對數，再乘以 10。)

### (四)大自然也會發生優養化

湖泊或水庫集水區由於人為活動增加，帶入大量營養鹽，導致水體浮游動植物迅速繁殖，造成水體生態系變化，使水質嚴重惡化，這是屬於人為的優養化。

不過湖泊於自然生態系中，因降雨逕流沖刷，導致富有營養鹽之地質基質或土壤流入水體，亦會逐漸造成湖泊水質優養化，此乃是自然生態系必然的演替過程。換言之，湖泊優養化並非只肇因於人為，實際上大自然也會發生的。

### (五)「營養狀態指數」與「水質指數」是不同的

「營養狀態指數」與「水質指數」是不同的，質量一詞代表了一種主觀判斷，最好要與營養狀態的概念分開。

優養化通常被視同於水質差，實際上，水質良莠與否的判斷，應取決於該水的使用方式和當地人的態度。例如，某水庫水質長年被列為「優養」類別，惟該水庫用水僅供

農業灌溉使用，原則上，富有營養的水質用於農業灌溉，是優於被列為「貧養」類別之水源。

營養狀態的定義及其指數應該是保持一個免於受到這種主觀判斷影響的框架，而在其中可以進行各種水質評估。此外，卡爾森希望「營養狀態指數」可以作為營養量測的標準及有價值的湖泊管理工具，可以在湖泊系統的許多化學和生物組成部分之間進行比較，而這些組成部分與營養狀況有關。

## 參考文獻


1.行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網，卡爾森指數，檢自https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx (Dec. 15, 2019)

2.行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網，相關詞彙及定義－卡爾森指數(Carlson’s TSI)，取自 https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Vocabulary.aspx (Dec. 15, 2019)

3. 維基百科，優養化，檢自 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AF%8C%E8%90%A5%E5%85%BB%E5%8C%96 (Jan. 1, 2020)

4.Carlson, R. E (1977), A Trophic State Index for Lakes, Limnology and Oceanography

5.Carlson, R. E (1984), The Trophic State Concept A Lake Management Perspective, Lake and Reservoir Management

6.Carlson, R. E. and J. Simpson (1996), A Coordinator’s Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods, North American Lake Management Society

7.Robert Carlson - Google Scholar Citations，Retrived from https://scholar.google.com/citations?user=_0fG4ucAAAAJ&hl=en (Jan. 5, 2020)

8.Trophic Classification of Texas Reservoirs, 2016 Texas Integrated Report for Clean Water Act Sections 305(b) and 303(d), Retrived from https://www.tceq.texas.gov/assets/public/waterquality/swqm/assess/16txir/2016_trophic.pdf (Jan. 5, 2020)


## 作者簡介


**周國鼎先生**

現職：行政院環境保護署科長

專長：自來水工程、空氣污染防制、綠色採購

# 大用水戶水量計最適口徑與智慧管理探討

文/黃心怡、林浩淳、丁思賢、吳淑卿


## 摘要

台水公司第七區管理處楠梓服務所（以下簡稱楠梓所）口徑 350mm 以上大用水戶，原設置表種為傳統機械葉輪式水量計，第七區管理處已購置同口徑之電磁式水量計辦理換新，惟囿於個別用戶表位長度、電力供應、用水量等因素，換裝電磁表後偶生用水爭議案件，造成雙方困擾。

本研究針對楠梓所5只口徑350mm以上大用水戶，依歷史用水資料及現場表位狀況，辦理口徑變更為 300mm 速度型橫軸奧多曼式水量計，並設置自動讀表傳輸設備。依口徑變更前、後之年用水量差異分析換裝效益，藉由全區用戶表監測系統圖台（以下簡稱自動讀表圖台）紀錄用水資訊，評估水量計口徑與實際用水量之匹配性。

研究結果顯示楠梓所 350mm 以上大用水戶口徑變更為 300mm 後，有助於增加抄見量、降低水量計採購成本及減少年度檢測作業。另建置全區用戶表監測系統圖台，即時讀取用戶用水資訊、瞬間流量等，可作為分析水量計最適口徑之管理工具，對於台水公司大用戶水資源管理有正面效益。


關鍵字：口徑變更、用水量差異分析、自動讀表系統

## 一、前言

至 108 年 12 月止，台水公司用戶數計約 720 萬戶，其中口徑 50mm 以上大型水量計用戶數約 1 萬 5 千戶，佔總用戶數 0.2%，數量雖少，但用水量佔用戶總用水量 30%，扮演本公司水費收入極重要角色。台水公司透過遠端監控系統管理管網水壓、水質、水量已行之有年，惟用戶端數量龐大難以全面納入監控系統，傳統人工抄表每月或每兩個月抄錄一次指針度數為計費依據。惟人工抄表作業無法即時掌握用戶用水行為及水量計運作情形，大用戶因用水量大，用戶端表後內線用水設備發生異常，如水池水塔、管線、閥栓等漏水、或是水量計故障、不轉等狀況，未能即時發現及處理，不只是流失水量大造成用戶損失，亦浪費水資源。

口徑 350mm 以上大用戶裝置機械葉輪式水量計，因大口徑管線水量較大，機械齒輪傳動機構故障率偏高且計量精度低，為提升大用戶水量計之計量準確性及降低故障表維護成本，106 年擇高雄地區工業大用水戶辦理口徑變更，及建置全區用戶表監測系統圖台，透過電子式水量計及自動讀表介面即時回傳用戶用水資訊，搭配自動讀表圖台將用水數值轉化成數據資料，以觀測水量計運作狀況以及用戶用水變化。

(一)針對楠梓所轄區內 5 只口徑 350mm 以上葉輪式水量計，更換表種並縮小為 300mm 速度型橫軸奧多曼式水量計，分析口徑變更前、後用水量差異。

(二)自動讀表圖台系統可紀錄用戶用水資訊，藉由最大、最小瞬間流量，分析用戶實際用水量與水量計口徑匹配性。

## 二、口徑縮小執行過程

本次楠梓所擇大用戶表，由口徑 350mm 變更 300mm、及口徑 500mm 變更 300mm，為確保穩定供水及消除大用戶對口徑變更是否會對用水量產限制之疑慮，楠梓所逐一拜訪用戶說明水量計口徑變更目的，並取得各大用水戶同意書，排定新購水量計廠驗時間、換表日期後，進行水量計管件變更及安裝施工。

考量口徑 300mm 橫軸奧多曼式水量計長度 500mm，較舊有口徑 500mm 螺旋漿式水量計長度 900mm 為短，無法直接銜接原有表位，倘重新更換設計配水管線及變更表位，花費成本高且施工時間長，恐影響大用戶產線。本次採縮管方式施工，配合現有窨井表位將原有大口徑配水管口徑 350mm 或 500mm 以平口接頭縮小為 300mm，並換裝彈性座封開關，施工較為便利且速度快，避免長時間停水影響大用水戶用水。

表 1　楠梓所大用戶水量計口徑變更資料

| 項目 | 水號 | 施工日期 | 口徑變更 |
|---|---|---|---|
| 1 | 773******07 | 106.06.29 | 500→300 mm |
| 2 | 773******24 | 106.07.14 | 500→300 mm |
| 3 | 773******09 | 106.07.14 | 350→300 mm |
| 4 | 773******08 | 106.06.29 | 350→300 mm |
| 5 | 773******02 | 106.07.27 | 350→300 mm |

## 三、測試資料分析

### (一)水號：773******07

該公司產業類型屬石油及煤製品製造業，口徑變更前一年無用水；口徑變更後用水量第一年 58,700 度、第二年 26,278 度，年均用水量 42,489 度，每期介於 0~21,283 度(詳如表 2)。該公司因政策因素，目前該址已停產、人員設備遷移，廠區僅餘儲槽繼續使用，故生產用水停止進水，惟仍以自有水源持續供應轄內宏毅、宏榮、宏南等三里約 2 千 7 百戶員工宿舍用水，口徑變更後各期零星用水係偶有支援民生用水需求。

該公司因政策停產致用水量劇減，無法進行用水量之差異比較，故不予分析口徑與用水量之匹配性。

表 2　水號：773******07 近三年用水量

| 水號：773******07 | |
|---|---|
| 口徑變更前一年用水量 A | 0 |
| 口徑變更後第一年用水量 B | 58,700 |
| 口徑變更後第二年用水量 C | 26,278 |
| 口徑變更後年均用水量 D=(B+C)/2 | 42,489 |
| 年用水量差異 E=D-A | +42,489 |
| 年用水量差異率 F=E/A*100% | NA |

### (二)水號：77******24

該公司以生產塑膠原料、化學品、人造纖維為主，口徑變更前一年用水量為 1,026,911 度，每期介於 56,216~201,001 度；口徑變更後用水量第一年 1,261,722 度、第二年 1,239,614 度，年均用水量 1,250,668 度，每期介於 59,232 度~164,998 度。口徑變更前、後(500→300mm)年用水量差異+223,757 度、差異率+21.79%（詳如表 3）。

比較口徑變更前、後各期用水量差異，除第 8 期及第 11 期用水量減少外，其餘各期用水量均增加，又以第 2 期差異量+5,782 度增幅最多，整體用水量呈現逐年上揚的趨勢

（詳如圖 1）。另從自動讀表圖台觀察最近一月最大瞬間流量 404m³/hr、最小瞬間流量 1.56 m³/hr，偶有小流進水（詳如圖 2），其用水量低於口徑 300mm 橫軸奧多曼水量計常設流量（600m³/hr），其裝置口徑與用戶用水量尚屬合宜。

表 3 水號：773******24 近三年用水量

| 水號：773******24 | |
|---|---|
| 口徑變更前一年用水量 A | 1,026,911 |
| 口徑變更後第一年用水量 B | 1,261,722 |
| 口徑變更後第二年用水量 C | 1,239,614 |
| 口徑變更後年均用水量 D=(B+C)/2 | 1,250,668 |
| 年用水量差異 E=D-A | +223,757 |
| 年用水量差異率 F=E/A*100% | +21.79% |

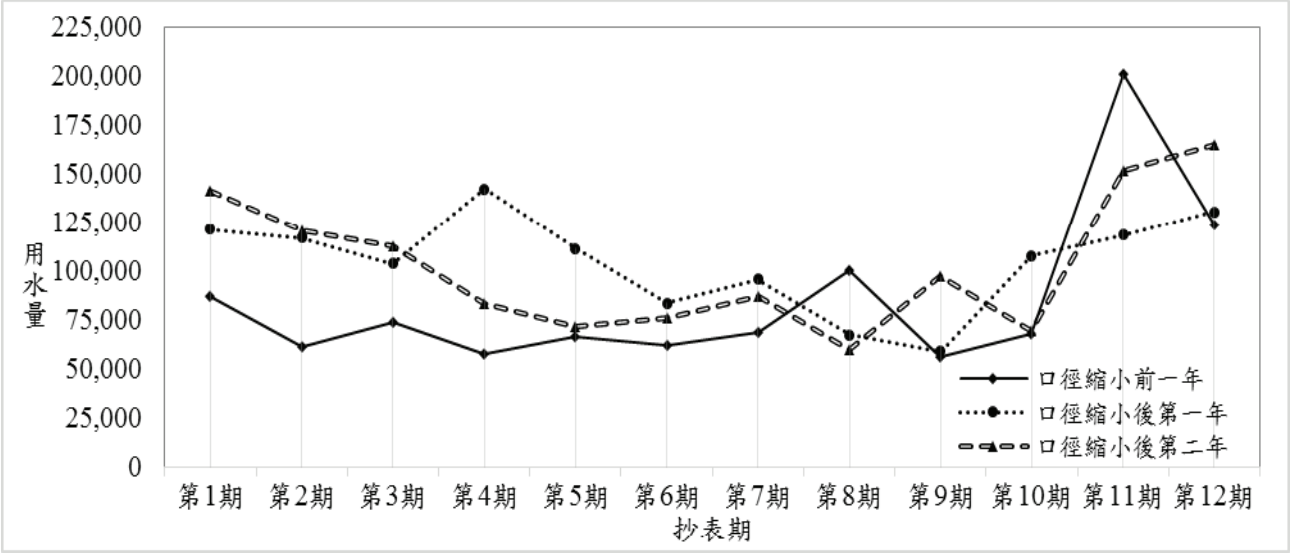



圖 1　水號：773******24 口徑變更前、後每期用水量折線圖

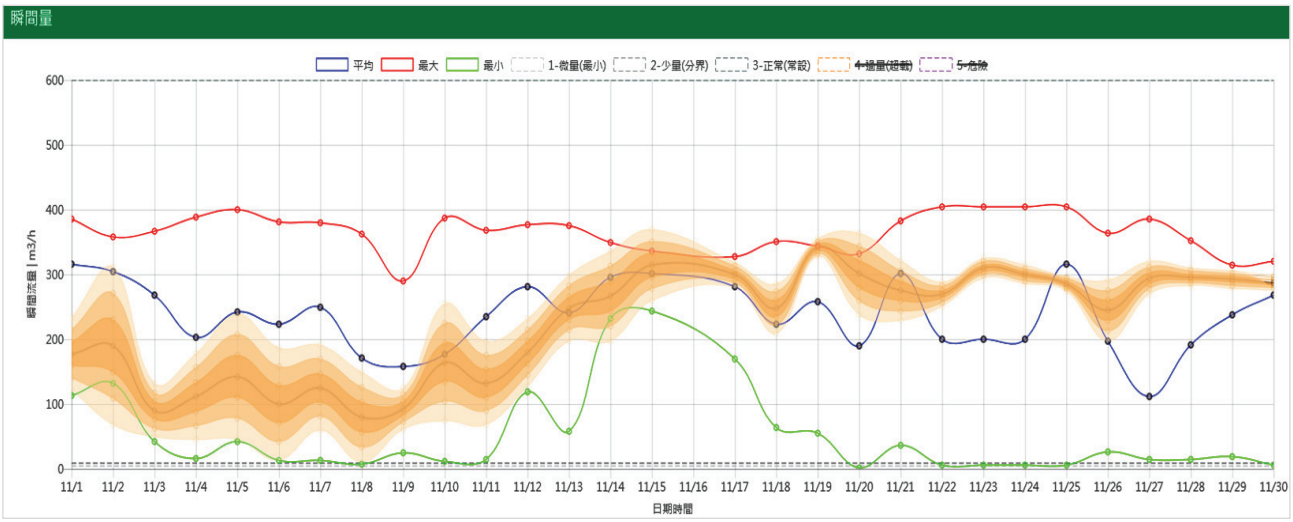



圖 2　水號：773******24 最近一個月瞬間流量趨勢圖

**(三)水號：773******09**

該公司產品線以多角化發展，包含甲醇、溶劑、電子化學品、橡膠及高性能塑膠等各事業單位，高雄楠梓廠區主要負責產品為石油化學類。口徑變更前一年用水量 618,161 度、每期介於 43,414 度~62,627 度；口徑變更後用水量第一年 655,006 度、第二年 660,396 度，年均用水量 636,584 度，每期介於 42,486 度~63,894 度。口徑變更前、後（350→300mm）年用水量差異+39,540 度、差異率+6.4%，用水量呈現成長趨勢（詳如表 4）。

比較各期口徑變更前、後用水量差異，除第 2 期、第 6 期及第 12 期用水量減少外，其餘各期用水量均有增加，又以第 9 期差異量+11,150 度增幅最多（詳如圖 3）。另從自動讀表圖台觀察最近一月最大瞬間流量 413m$^3$/hr、最小瞬間流量 0m$^3$/hr（詳如圖 4），無小流進水情形，其用水量低於口徑 300mm 橫軸奧多曼水量計分界流量以下（600m$^3$/hr），顯示裝置口徑與用戶用水量尚屬合宜，甚至可進一步縮小為 250mm。

表 4　水號：773******09 近三年用水量

| 水號：773******09 | |
|---|---|
| 口徑變更前一年用水量 A | 618,161 |
| 口徑變更後第一年用水量 B | 655,006 |
| 口徑變更後第二年用水量 C | 660,396 |
| 口徑變更後年均用水量 D=(B+C)/2 | 636,584 |
| 年用水量差異 E=D-A | +39,540 |
| 年用水量差異率 F=E/A*100% | +6.40% |

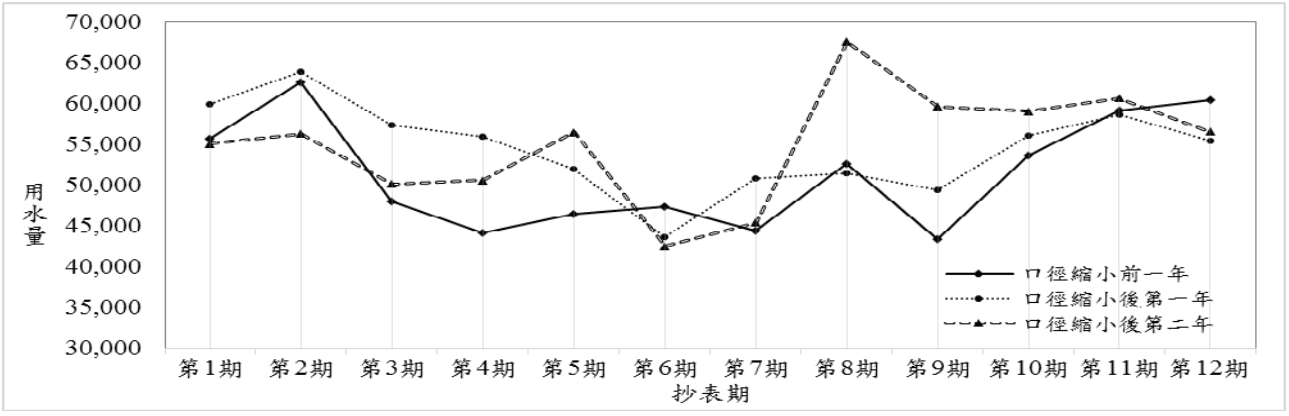



圖 3　水號：773******09 口徑變更前、後每期用水量折線圖

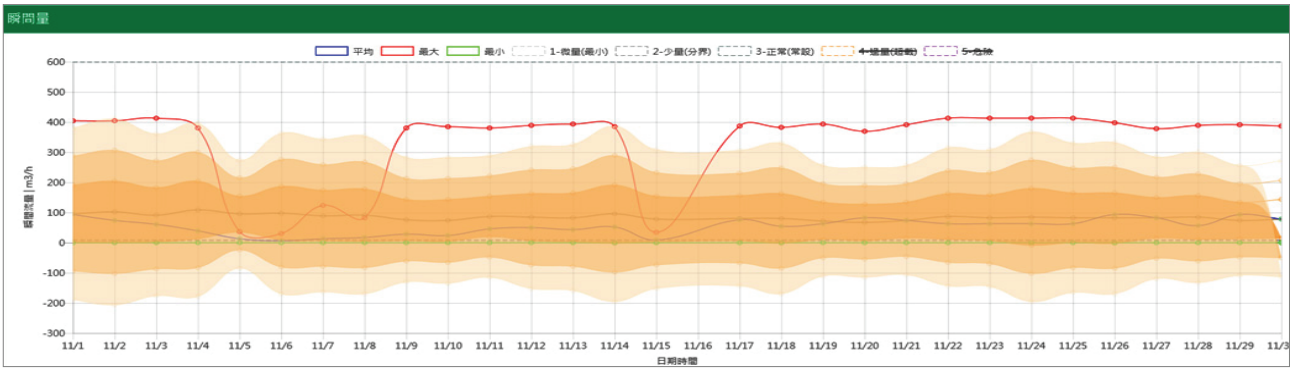



圖 4　水號：773******09 最近一個月瞬間流量趨勢圖

### (四)水號：773******08

該公司行業別為石油、煤、化材及特用化學品製造業，生產石化及化纖產品，廠區內裝置 2 只大型水量計，除本次口徑 350mm 縮小 300mm 1 只外，另 1 只為口徑 300mm 水量計（水號：773******01）共同供水，依相同用水期間加計該只用水量記錄如表 5。

口徑變更前一年用水量 1,803,582 度、每期介於 45,190 度~194,113 度；口徑變更後用水量第一年 2,347,312 度、第二年 2,756,283 度，年均用水量 2,551,798 度，每期介於 145,812 度~264,528 度，口徑變更後年用水量差異+748,216 度，差異率+41.48%，整體用水量呈現成長趨勢。

比較各期口徑變更前、後用水量差異，口徑變更後用水量均增加，又以第 4 期差異量+115,668 度增幅最多（詳如圖 5）。另從自動讀表圖台觀察最近一月最大瞬間流量 349$m^3$/hr、最小瞬間流量 0$m^3$/hr（詳如圖 6），其用水量低於口徑 300mm 橫軸奧多曼水量計常設流量（600$m^3$/hr），裝置口徑與用戶實際用水量尚屬合宜，可考量進一步變更為 250mm。

表 5　水號：773******08(含子表)近三年用水量

| 水號：773******08、773******01 | |
|---|---|
| 口徑變更前一年用水量 A | 1,803,582 |
| 口徑變更後第一年用水量 B | 2,347,312 |
| 口徑變更後第二年用水量 C | 2,756,283 |
| 口徑變更後年均用水量 D=(B+C)/2 | 2,551,798 |
| 年用水量差異 E=D-A | +748,216 |
| 年用水量差異率 F=E/A*100% | +41.48% |

### (五)水號：773******02

該公司主要產品為苯乙烯單體 SM、ABS、氫氣 H2 及尼龍 66，其中石化產品（SM）營收占比約 45.47%。口徑變更前一年用水量 2,686,283 度、每期介於 200,171 度~246,973 度；口徑變更後用水量第一年 2,658,551 度、第二年 2,646,714 度，年均用水量 2,652,633 度，每期介於 126,437 度~252,571 度。口徑變更 （350→300mm）年用水量差異-33,651 度，差異率-1.25%。除口徑變更後第一年第 10 期用水量突減外，其餘各期用水量平穩，變化不大，經洽該公司表示係因該期計量期間部份廠區停機歲修將近 1 個月，致用水量下降約 10 萬度（詳如表 6）。

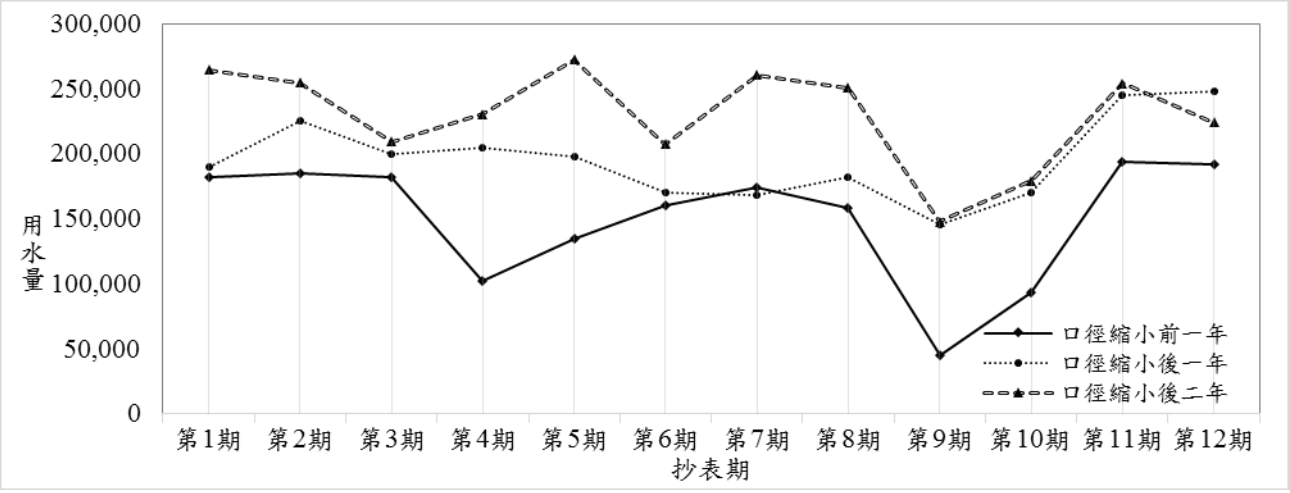



圖 5　水號：773******08（含子表）口徑縮小前、後每期用水量折線圖

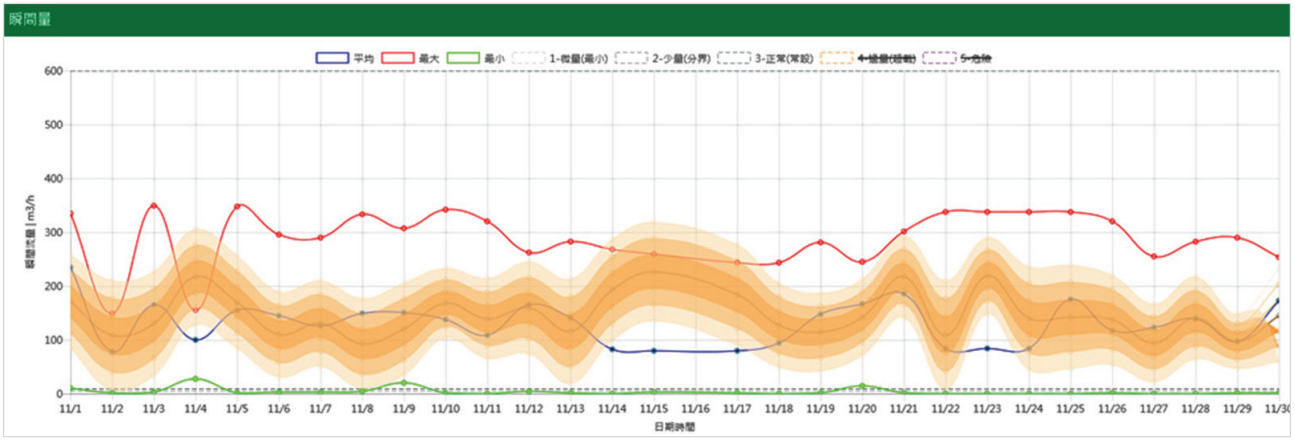



圖 6　水號：773******08（含子表）最近一個月瞬間

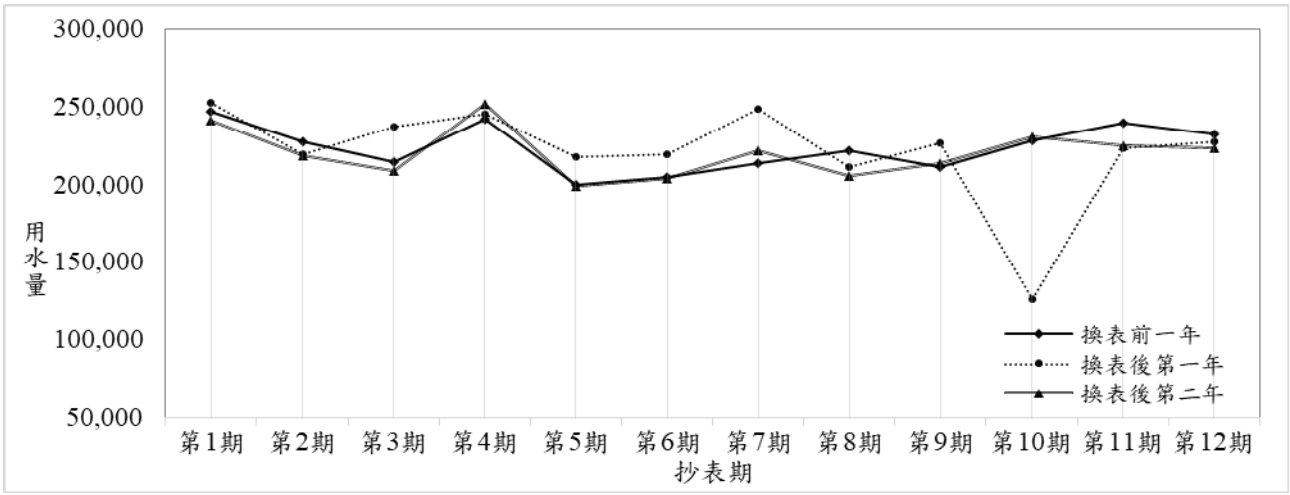



圖 7　水號：773******02 口徑變更前、後每期用水量折線圖

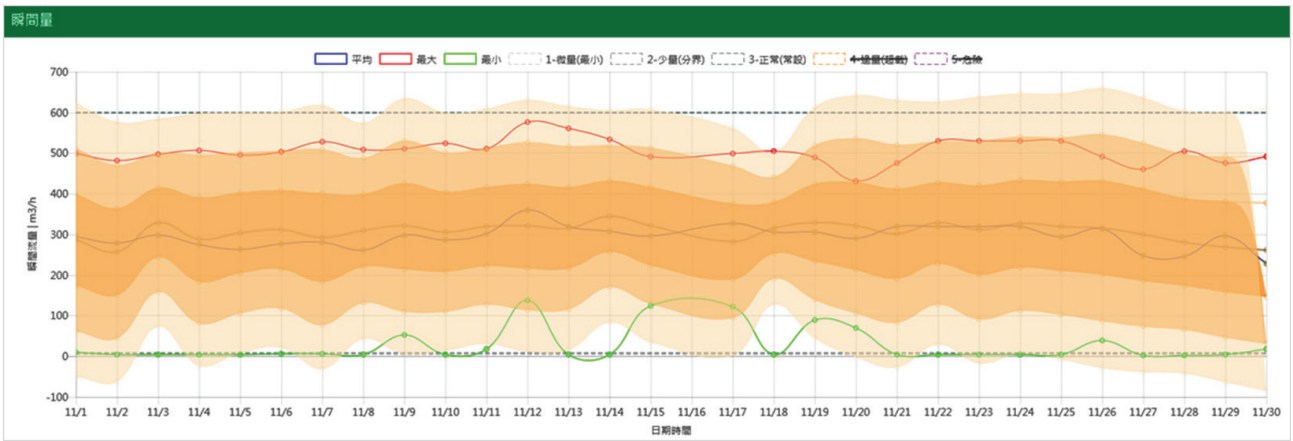



圖 8　水號：773******02 最近一個月瞬間流量趨勢圖

比較各期口徑變更前、後用水量差異，除以第 2 期、第 8 期、第 10 期、第 11 期及第 12 期口徑變更後用水量略減，其餘各期為用水量略增，又以第 7 期差異量+21,223 度增幅最多（詳如圖 7）。另從自動讀表圖台觀察最近一月最大瞬間流量 576$m^3$/hr、最小

瞬間流量 0m³/hr（詳如圖 8），其用水量落於口徑 300mm 橫軸奧多曼水量計分界~常設流量範圍（9~600m³/hr）之間，裝置口徑與用戶用水量尚屬合宜。

表 6　水號：773******02 近三年用水量

| 水號：773******02 | |
|---|---|
| 口徑變更前一年用水量 A | 2,686,283 |
| 口徑變更後第一年用水量 B | 2,658,551 |
| 口徑變更後第二年用水量 C | 2,646,714 |
| 口徑變更後年均用水量 D=(B+C)/2 | 2,652,633 |
| 年用水量差異 E=D-A | -33,651 |
| 年用水量差異率 F=E/A*100% | -1.25% |

## 四、口徑變更之效益

### (一)增加水費收益

本次擇口徑 500mm 變更為 300mm 2 只、口徑 350mm 變更為 300mm 3 只，共計 5 只水量計，除水號 773******07 用水型態改變及水號 773******02 廠區歲休減少用水外，其餘 3 只水量計口徑變更後大多有助於提升用水計量。又大用水戶為獨立表，基本費按口徑收取，口徑愈大基本費愈高，口徑變更後減收基本費，爰以增加水費收入與減少基本費分析口徑變更之效益。

1.水費收入：5 只水量計執行口徑變更後年用水量差異+999,235 度，考量大用水戶水價多以第四段單價（每月抄表 51 度以上）12.075 元/度計收，以增加年用水量乘以水費第四段單價，每年水費收入增加 12,065,762.6 元（999,235 度*12.075 元）。

2.基本費差異：台水公司每月抄表基本費口徑 500mm58,119.6 元、350mm41,626.2 元及 300mm29,184.75 元。口徑 500mm 變更 300mm 每月基本費減少 28,934.85 元，每年減少 347,218.2 元;口徑 350mm 變更 300mm 每月基本費減少 12,441.45 元、每年減少 149,297.4 元。

3.口徑變更效益：以每年水量收入增加 12,065,762.6 元、基本費減少 1,142,328.6 元，其水費收益+10,757,597.6 元/年，假設水量計使用有效年限維持計量精度，8 年總水費收益+86,060,780 元（詳如表 7）。

### (二)降低水量計採購成本

依據台水公司營業章程第十九條之規定，水量計由台水公司提供，用戶應妥善保管。水量計口徑越大、採購成本越高，口徑

表 7　楠梓所大用水戶口徑變更之水費收益

| 項目 | 水號 | 口徑縮小 | 年用水量差異(度) | 每年水費收入增加(元) | 每年基本費減少(元) | 每年水費收益(元) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 773******07 | 500→300 mm | +42,489 | 513,054.7 | -347,218.2 | +165,836.5 |
| 2 | 773******24 | 500→300 mm | +223,757 | 2,701,865.8 | -347,218.2 | +2,354,647.6 |
| 3 | 773******09 | 350→300 mm | +18,423 | 222,457.7 | -149,297.4 | +73,160.3 |
| 4 | 773******08 | 350→300 mm | +748,216 | 9,034,708.2 | -149,297.4 | +8,885,410.8 |
| 5 | 773******02 | 350→300 mm | -33,650 | -406,323.8 | -149,297.4 | -555,621.2 |
| 合計 | | | +999,235 | 12,065,762.6 | -1,142,328.6 | +10,757,597.6 |

口徑最直接效益為節省購表成本，以電磁表每只單價口徑 500mm 為 582,160 元、350mm 為 467,980 元，橫軸奧多曼水量計口徑 300mm 為 212,281 元。口徑 500mm 變更為 300mm 2 只水量計，每只價差為 369,879 元，可節省 739,758 元；口徑 350mm 變更為 300mm 3 只水量計，每只價差 255,699 元，可節省 767,097 元，故水量計採購成本降低 1,506,855 元。

**(三)水量計可依循檢驗管道申請鑑定**

依據經濟部標準檢驗局頒訂「水量計檢查檢定技術規範（CNMV49）」，其適用範圍不包括口徑大於 300mm 水量計。為維持口徑 350mm 以上大用戶表之計量準確性，台水公司每年定期辦理水量計檢修及檢測作業，十分耗費人力，且維修費用高昂。如用戶對用水量產生疑慮時，均委由台水公司水表場自行檢驗器差或與用戶協調更換新表方式處理。水量計口徑變更為 300mm 後，台水公司依水量計使用年限定期辦理汰換，如遇計量疑義時可依「糾紛度量衡器鑑定辦法」辦理水量計鑑定，對用戶及台水公司雙方都具有保障性。

**(四)提昇客戶滿意度**

對產業大用水戶來說，穩定供水是穩定生產的必要條件，因為擔心供水量不足會影響生產線之進行，初期不願意配合台水公司辦理變更口徑之計劃。經楠梓所與各大用水戶多次接洽及溝通說明後，獲得用戶認同，同意配合辦理水量計口徑變更，透過本次變更水量計口徑，讓用戶了解台水公司對於大用戶供水之重視，換裝計量精度較佳且具傳輸功能之電子式水量計，提昇計量準確度及掌握即時用水資訊，作為未來針對工業用水戶推動口徑管理之最佳案例。

**(五)水量計管理智慧化**

透過自動讀表圖台可即時取得水量計「當日流量合計」、「當日最大/最小流量」、「流量分佈」、「資料傳輸」及「地圖檢視」等資訊。系統可設定日、周、月、年用水曲線圖，提供水量計之瞬間流量、用水量、壓力等參數資料。對於單一用戶裝置多只水量計，可透過群組用水量分析之功能，觀察每只水量計用水變化及用戶用水趨勢。

自動讀表圖台有助於了解用戶用水動態，以及其流量範圍是否落在水量計的最佳計量範圍，例如藉由最小流量判斷內線設備是否漏水、反向流量判斷止水閥是否失靈、最大流量判斷水量計是否有超載使用等功能。就管理層面而言，自動讀表圖台雖可提供各項即時用水資訊，惟仍須藉由人工定時觀察水量計是否有斷訊、用水突增減等異常情形，未來系統應透過大數據判斷水量計運轉狀況並提供警示資訊，以減少稽複查人員負擔，並與輸配水系統端結合，是台水公司面臨重要議題。

## 五、研究限制與建議

**(一)研究限制**

1.機械葉輪式水量計僅提供有限用水資訊

原大用水戶裝置口徑 500mm 及 350mm 為機械葉輪式水量計，無法記錄瞬時流量、最大流量、累績用水量等用水資訊功能，故本研究僅就口徑變更前、後用水量（抄表指針數）進行差異分析。

2.產業別景氣對用水量的影響因子

各產業別景氣循環有其脈絡可循，特別是石化產業，產量與用水量息息相關，本研究以口徑縮小前、後年用水量進行比較，非

依各產業之景氣榮枯循環為分野，景氣因子對用水量的影響並未納入本研究探討範疇。

3.研究期間及樣本數限制

水量計有效年限為 8 年，大型水量計送修後可再延長 2 年，水量計之計量準確度及精確度是否隨使用年限而變化，本研究尚無法討論相關耐久產之影響議題。又大用水戶分散各工業區，雖可利用自動讀表圖台系統進行用水量稽查及抄表，惟目前納入用戶數少且各表位不集中，無法評估導入系統是否有助於降低人事成本。未來自動讀表圖台系統趨於成熟，並逐步擴大針對工業區大用水戶裝置傳輸設備及納入自動讀表系統後，可再評估簡化稽複查及抄表人力之效益。

**(二)後續研究建議**

1.口徑管理機制

增加水費收益，除提昇水量計精度外，用戶實際用水量與水量計口徑匹配性，亦是準確計算用水量的重要管理機制。工業大用戶用水量的變化，往往以短期季度或長期年度甚至數年循環的方式呈規律趨勢，台水公司可訂定調整口徑之時機及標準，藉由用戶歷史用水趨線、瞬間流量變化等，作為判斷水量計口徑適宜性，倘口徑變更有助於減少不感流量，且預估水費收入將大於基本費損失，應建立水量計動態口徑調整的管理機制。

另各區處受理新裝案件，口徑選用應確實依「自來水用戶用水設備標準」及「用戶用水設備申裝作業要點」等相關規定辦理，避免水量計口徑設計不當，逾越水量計之計量範圍，造成用水計量不準確及水量計損壞等情況。

2.自動讀表圖台系統的延伸運用

目前台水公司建置自動讀表圖台僅供內部管理者使用，為利大用水戶進行水資源管理，未來應開放讓用戶參與使用，並依用戶需求適時調整圖台系統，或訂定平台使用之收費標準收取服務費，亦是台水公司增加營業收入的方式。

## 參考文獻

1.弓銓企業股份有限公司網站https://ems.com.tw/產品導覽/軸流奧多曼電子式水量計

2.經濟部台灣自來水公司：C級電子水量計測試計畫（2012）

3.亓培耀：〈淺談對C級水錶的應用研究〉,《城鎮供水》第二期,（2009年）頁40-43。

4.楊崇明、蘇政賢、陳宗霆、林于程：〈C級電子式水量計經濟效益評估研究〉(2010) .

5.經濟部標準檢驗局：水量計檢定檢查技術規範 CNMV 49 第四版。

## 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：水量計營運管理、數值分析

**林浩淳先生**

現職：台灣自來水公司第七區管理處楠梓服務所股長

專長：營運規劃及業務管理

**丁思賢先生**

現職：台灣自來水公司第七區管理處楠梓服務所

專長：用水稽查

**吳淑卿女士**

現職：台灣自來水公司第七區管理處楠梓服務所

專長：抄表管理

# 赴里斯本參加 2019 國際水協會(IWA)理事大會紀實

文/吳陽龍、王根樹

## 一、前言

國際水協會(International Water Association (以下簡稱 IWA))係目前世界最大的水專業協會，依據 2019 年 9 月的統計，IWA 會員遍及 142 個國家，現有 58 個國家會員、7511 個個人會員、355 個企業會員、50 個大學會員，我國以中華民國自來水協會(CTWWA)於 1983 年成為 IWA 國家會員之一。

IWA 的願景為由各種水相關行業專業人士組成的溝通網路，致力於建立一個水資源能得到智慧、永續及公平管理的世界。日常會務由執行長率倫敦總部及曼谷、新加坡、北京、乃諾比、塞內加爾等地區的辦公室主管及職員共 74 位處理。此外，IWA 並設有策略委員會、財務委員會、出版委員會等會務發展相關委員會，並組成 50 餘個專家委員會(Specialist Group)、工作委員會(Task Group)等專業領域組織，以推展相關業務。

理事大會(Governing Assembly)為 IWA 最高的決策組織，討論及審決 IWA 之議案、預算、政策及執行方案，由國家會員組成，各國家會員可指派 1-3 位代表出席參與討論，但表決時僅有一票。

2019 年理事大會於 10 月 3 及 4 日在葡萄牙里斯本的國家土木工程實驗室(如圖 1)舉行，中華民國自來水協會經國際委員會討論，指派副主任委員王根樹教授及吳秘書長代表出席，主要目的為：

- 參加理事大會預備會議
- 參加理事大會
- 選舉下屆 IWA 理事長及 2024 年世界水大會主辦城市

圖 1　葡萄牙國家土木工程實驗室

## 二、活動內容

### (一)理事大會預備會議

本屆理事大會於10月3日下午舉行預備會議，除提供各出席代表互相交流之機會外，同時針對參與理事會國家代表之職責、各國國家代表之工作經驗等進行交流，由葡萄牙及日本之代表針對其國內 IWA 理事會之運作方式提供經驗分享，其中日本報告其 IWA 組織是由 JWWA(Japan water Works Association)及 JSWE(Japan Society on Water Environment)所組成，JWWA 的會員包含日本 1351 個自來水事業及 372 個個人會員組成，JSWE 的會員包含 2300 位個人會員(大部分為大學教授及研究人員)及 137 個企業會員，其會員均積極參加 IWA 各項活動，這也是 IWA 在日本的會員最多的原因。隨後各國代表針對國家 IWA 理事會之功能、運作進行討論。

在 YWP（Young Water Professionals）的運作方面，由芬蘭及烏干達之代表就其國內如何加強青年水工作者之活動、如何鼓勵參與 IWA 活動、如何改善 YWP 運作現況等進行經驗分享。接著由 IWA 將各國代表預先分組，各組分別就 YWP 設定的議題進行討論，再由各組代表說明各組討論之結果，提供與會國家代表參考。

在討論各國 IWA 運作方面，IWA 重新將各國代表分組後，由各組針對國家代表如何在其國內辦理或推廣區域性 IWA 活動、IWA 秘書處在各項事務方面是否有可改善之處進行討論，包含「國家代表如何有效傳遞 IWA 及各項國際組織之訊息給該區域及地區之水相關人員？」、「國家代表如何將其區域及地區之水相關人員所面臨之問題或最佳實務操作經驗提供給 IWA？」、「國家代表如何通知或影響 IWA 關注的議題，以促使 IWA 能將其專注議題維持在區域性需求，以避免與現實脫節。」等議題，各議題均引起各國代表之熱烈討論。完成分組討論後，隨後同樣再由各組代表說明各組討論之結果，提供各國推動 IWA 活動參考。

### (二)理事大會(Governing Assembly)

1.出席代表

本屆理事大會於 10 月 4 日舉行(圖 2)，由 IWA 會長 Diane d'Arras 主持及致歡迎詞，先確認出席人數及代理人，目前 IWA 理事大會共 54 國家會員單位(增加斯里蘭卡，減少直布羅陀及墨西哥)，在 52 個有效國家會員單位中有 37 個會員國出席、11 個會員國指定代理，合計出席代表共計 48 個席次，確認達到法定出席席位後，即開始討論本次會議議程，接著確認 2018.9.15 在東京理事大會的會議紀錄後正式開始會議。

2.報告事項

(1)會長報告

會長 Diane d'Arras 報告 2018 年的內容包括因為東京世界水大會成功，回饋近 150 萬歐元給 IWA 總部，使 IWA 的財務回到穩定的狀態，同時也報告現今 IWA 會員狀況，探討 IWA 會員人數下降的問題，也導入隨後討論各國 IWA 委員會運作、如何提供會員更有效服務及提昇青年水工作者（YWP）對 IWA 活動的參與、IWA 內部運作關係、未來五年會務推動政策與執行步驟等主要工作。

(2)執行長報告

執行長 Kala Vairavamoorthy 報告 IWA 會務，除持續執行 2019-2024 年的五年策略規劃外，主要重點內容包括考慮 IWA 及 IWA 出版社（IWAP）的關係，IWA 正規劃將現今荷蘭海牙的辦公室遷往倫敦，除能更緊密連結 IWA 及 IWAP 的關係外，在整體財務上也能更保障 IWA 的財務穩定。IWA 近 7500 名個人會員中，亞洲及歐洲即各有約 2700 名會員，合計已超過會員總數的三分之二，為提供會員更加的服務，IWA 也在南京成立營運辦公室（原有的北京辦公室服務範圍為大中國區），以提供亞洲地區會員更多的服務。

針對未來幾年可能發生的改變及對水事業的挑戰，IWA 的相關部門及各會員組織針對解決這些挑戰的可能作法展開嚴謹的討論。為達成這個目的，IWA 將提供一個開放且有秩序的平台，讓新技術和新方法的研發和應用能有更多的交流，促使此平台能成為一個傳播訊息、相互交流及驗證的平台。

由於未來所面臨日益嚴峻的水資源匱乏和轉型壓力的挑戰，IWA 將盡力成為提供創新性解決方案的來源。IWA 將努力把最具前景的發展方向和最佳解決方案加以聯結，以共享世界各地水專業人員的經驗和成果，同時尋求更廣泛的會員參與，促進和鼓勵不同語言、年齡和性別多樣性的會員結構。

IWA 吸取歷年的經驗，向理事大會、策略委員會、各專家委員會、YWP 以及各會員國及地區代表進行闡述以獲得支持及認可，整合多次諮詢磋商的結論，顯示 IWA 必須更加關注會員，因為會員是 IWA 的核心價值。

(3)策略委員會報告

策略委員會由執行長 Kala Vairavamoorthy 負責報告，延續 2018 年的報告重點，說明 2019-2024 年策略規劃，包括五個重點：

- 擁有敬業且均衡的會員-在全球水部門範圍內代表了多個細分市場的參與者和實踐領域者。
- 先進水知識的來源-加強作為水知識的權威來源和提供全球參考，告知及處理新興和潛在破壞趨勢，擴展更廣闊的水世界。
- 提供專業人士交流水知識的空間-提供一個受到全球水務部門重視具廣泛的專業內容和作業程序的空間及平台。
- 研究與實踐之間的橋樑-在橋接過程中發揮關鍵作用，降低研究與實踐之間的鴻溝，以促進水知識的發展、創新及傳播。
- 支持對合國實施與水相關的可持續發展目標（SDGs）-透過專業能力培養及加強水事業的發展，使各國人民和國家能夠追求與水及衛生有關的聯合國永續發展指標的目標。

在 2019-2024 的策略規劃中，IWA 承諾為會員營造更強大的服務文化，實現獨特的水專業價值定位，透過職涯發展規劃、IWA 內部及對外的領導能力培養、務實制定各項議程，激發會員的榮譽感、透過專業性的全球網路，為會員提供溝通、交流看法的機會，達成 IWA 做為一個會員服務的組織的目的，並實現 IWA 的願景和使命，IWA 將以

「會員參與」成為未來所有活動的核心。IWA 也將制定一項實施前述未來五年策略發展的工作計畫及設置合理的時間表。這些作法包括：

- 透過智慧化資料管理，最大限度的提高會員參與度。包括地區營運的日常工作中收集、追蹤和分析會員資料（同時合理的保護隱私），使 IWA 能夠更好的識別會員所屬領域，並為其量身定制更加個性化的服務，這將有助於確保最佳的維持會員策略和會員服務文化。
- 將「會員參與」置於 IWA 所有活動的核心，意味著 IWA 組織結構的重新調整。未來 IWA 會把更多的重點和更多的時間放在如何向會員提供更好的服務。
- 透過關注會員的期望和需求，在加強資料分析和最佳組織配置的支援下，促使 IWA 成為一個更有活力的國際組織，進一步建立其全球支持度及聲譽。
- IWA 提供一個平臺，幫助大家理解和溝通各國水事業所傳達的永續指標廣泛價值。支援和推動實現聯合國永續發展指標所需的議題，包括解決投資缺口和優先考慮縮小人力資源差距。支援 IWA 會員和其他利害相關者透過個別的工作提高其實現聯合國永續發展指目標中 SDG 6（乾淨用水與衛生）的能力。

(4)理事會議決事項：

- 確認 2018.9.15 在東京理事大會的會議紀錄。
- 確認 2018 年度財務報告(2018 年營餘 880,089 歐元)。

**(三)下任會長選舉及 2024 年世界水大會主辦城市**

圖 2　理事大會(Governing Assembly)開會情形

1.選舉下任會長

依據 IWA 備忘錄及組織章程規定，會長候選人應由理事提名，其資格為目前為理事會副會長或已經擔任不少於四年理事會成員代表，並承諾當選後可以對外代表 IWA 推動各項業務，並參加任職期間所有理事會預定的會議。當選後喪失理事國代表資格並由該理事國另派代表。

下任會長有兩位候選人，包括 Prof. Hamanth Kasan (南非)及 Mr. Tom Mollenkopf (澳洲籍)。選舉投票前先由兩位候選人發表 10 分鐘演講(如圖 3)，並接受在場各國代表詢問後投票。結果由 Mr. Tom Mollenkopf 當選下任會長（President Elect）。Mr. Tom Mollenkopf 於當選後謝謝我方的支持，並與吳秘書長及王根樹副主任委員合影留念(如圖 4)。

2.選擇 2024 IWA 水大會主辦區域

依據 IWA 的慣例，選擇主辦世界水大會需要考慮包括各洲輪流辦理、各國會員人數、或是需要積極提升該地區 IWA 活動能見度等因素。經過公開徵求主辦城市後，收到印度德里及中國蘇州兩個城市表達主辦 2024 年世界水大會的意願。後續經 IWA 秘書處現場勘查評估及主辦城市報告，並徵求理事大會各會員國的意見後，預定 2020 年第一季送交常務理事會決定主辦城市。

Prof. Hamanth Kasan 演請

Mr. Tom Mollenkopf 演講

圖 3　會長候選人演講情形

圖 4　IWA 新會長 Mr. Tom Mollenkopf 與吳秘書長及王根樹副主任委員合影

## 三、結語

本次參加 2019 里斯本國際水協會(IWA)理事大會，順利選出澳洲藉的 Mr. Tom Mollenkopf 為下任 IWA 會長，其過去與我國代表常有交流又同為亞太地區之代表，對日後我國辦理 2021 年 IWA-ASPIRE 年會及展覽會將會有所助益。

IWA 的會務包含水資源、自來水、排水、污水、海水淡化及水再生利用等水務工作領域，今年 IWA 邀請日本報告其國內 IWA 的組織及會員組成，除 JWWA 外亦包含 JWSE 等組織成員，目前我國參加 IWA 僅本協會(CTWWA)，日後可邀請其他協會如水資源協會、下水道協會、水再生協會等其他水務團體加入，以促進國際交流。

IWA 在 2019-2024 的策略規劃中，IWA 承諾為會員營造更強大的服務文化，實現獨特的水專業價值定位，透過職涯發展規劃、IWA 內部及對外的領導能力培養、務實制定各項議程，激發會員的榮譽感、透過專業性的網路，為會員提供溝通、交流看法的機會，達成 IWA 做為一個會員服務的組織的目的，並實現 IWA 的願景和使命，亦可作為本協會未來推動會務發展加強會員服務活動的方向及參考。

### 作者簡介

**吳陽龍先生**

現職：中華民國自來水協會秘書長

專長：自來水事業經營管理、自來水工程規劃與管理

**王根樹先生**

現職：國立台灣大學公共衛生學系教授

專長： 飲用水水質安全、水處理技術