

# 自來水會刊第 37 卷第 2 期目錄



## 實務研究

- 速度型多重噴嘴水量計(multi-jet)慣性效應探討……………林哲生…… 1  
以機動型加壓設備處理用戶無水案例……………文其正…… 12

## 本期專題 營運管理

- 南化水庫清淤策略探討……………林文俊、林秉學、黃政欽…… 17  
總表口徑縮小之效益分析……………黃欽稜、蔡裕國、曹俊傑、施俊宏…… 22  
太陽能溫室乾燥系統應用於淨水污泥減量潛力探討…顏嘉亨、黃盟舜、洪仁陽、李丁來…… 31  
利用巨量資料優化間接供水抽水機排程……………林志憲…… 44

## 一般論述

- 自來水管線工程規劃設計理論與實務……………吳世紀…… 57  
從自來水供應業常見之職業災害探討其定義與範疇……………陳信利、汪欽賢…… 69

## 工作現場

- 台17線濱海公路1000m/m幹管搶修個案探討……………陳柏維、葉清華、馮垣凱、蔡銘達…… 76

## 廠所的一天

- 穿越時空處理處理日據時代老舊管線……………田友仲、李中彥…… 82

## 國際視窗

- IWA—水智慧城市原則……………本刊編輯小組…… 88

## 協會與你

- 歡迎投稿 107年「每期專題」…………… 16  
本刊新增「自來水廠(所)的一天」單元…………… 56  
中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 11

封面照片：取材自臺北自來水事業處業務簡報

# 速度型多重噴嘴水量計(multi-jet)慣性效應探討

文/林哲生

## 摘要

目前國內口徑 50mm (含)以下所用之水量計，多採用速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter)，此類水量計之計量方式，係由水流速度直接衝擊葉輪，再將葉輪之移動透過機構傳送至指示裝置，進而顯示出流量。但是，不同的水流壓力、流量、啟停次數以及時間變化率等，都會對葉輪轉動產生不同的能效，換言之，也就代表壓力、流量與啟停狀態等環境的變化，都會影響水量計實際量測出來的結果，所以，如果把水量計裝設在一個不穩定的計量環境下，即便是完全符合度量衡關規範的水量計，也可能會產生不可預期的誤差。

隨著國人對生活品質要求的提升，一般用戶家中用水設備日趨精緻與多樣，如淨水設備(如：逆滲透…)以及 spa 淋浴設備等，此類用水設備常導致通過水量計之水流有瞬間流量較低、水壓較高，以及頻繁、瞬間啟閉等現象，這使得水量計處在一個極不穩定的計量環境中，而頻繁、瞬間變動的流況，是否會使速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 因為葉輪自身慣性因素，影響計量之正確性，即屬重要。本研究透過模擬家戶常用的用水設備配設方式，實際測試在不同的流量、不同的瞬間起閉次數、以及不同的加壓馬達(型式、馬力與安裝方式)使用狀態下，速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 慣性效應的變化。

測試結果顯示，以「抽」水過表的方式進行加壓，對於處於常設流量  $Q_p$  下水量計之慣性效應並無明確影響，但當流量降低至接近分界流量  $Q_t$  時，隨著瞬間啟閉次數增加，會有正器差之虞。

另外，同樣以「抽」水過表的方式，若改以恆壓變頻變速馬達來進行加壓，測試結果發現，對原本在低流量時發生的正器差有減緩趨勢，推判應為恆壓變頻馬達之緩啟動與穩定持壓之特性，產生了降低速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 慣性效應之效。

研究中，另外嘗試將馬達改裝設在水量計的進水端，以「推」水過表的方式進行加壓，結果顯示，此一改變對水量計在低流量時所發生的慣性效應有明顯改善效果，且此效果不受馬達型式、馬力等因素影響，具「防呆」之特性。

研究結果顯示，在低流量、高壓力、頻繁的瞬間起閉情況下，速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 有發生正器差之情形，此現象應為水流衝擊葉輪後，當關閉進水瞬間，葉輪因為本身慣性效應，仍會有些許轉動，無法立即停止所致，而此一慣性效應，隨著流量越低、壓力越高、瞬間啟閉次數越多，慣性效應越為明顯。

而若改採恆壓變頻馬達，或改以「推」水過表的方式加壓，對於低流量時，因為葉輪本身慣性所發生之正器差有改善效果。雖然最終改善效果能否呈現，仍取決於用戶實

際用水設備 (口徑、水塔高度…)與用水模式 (用水設備開關次數、流量、每開一次的收集量…)，但仍值得相關從業人員及有改裝需求人士運用、參考!

## 一、前言

水量計係法定度量衡器，國內自來水經營單位在採購之新水量計時，除需依「度量衡器型式認證管理辦法」第 2 條規定取得型式認證外，尚需依度量衡器檢定檢查辦法規定：「口徑小於三〇〇毫公尺之容積型、速度型(奧多曼、單一噴嘴及多重噴嘴)、連結式及渦流型水量計，製造出廠前或輸入時應經檢定。」基此，相關單位所採購之水量計，皆經取得國內型式認證且出廠前業已檢定合格，並經過驗收程序合格之新品，經此程序把關後，所有水量計均符合度量衡法等相關法規之規定，計量之準確性無虞。

而水量計之量測與檢驗，係依循中國國家標準 (CNS) 14866-3 之規定。規定中水量計在進行檢測時，水流壓力、流量等都有嚴格律訂，換言之，也就代表壓力、流量等環境的變化，都會影響水量計實際量測出來的結果，所以，如果把水量計裝設在一個不穩定的計量環境下，即便是完全符合度量衡關規範的水量計，也可能會產生不可預期的誤差。

水量計是一種用來計算通過流體體積的工具，計量是否準確，除了水量計本體構造需精確外，流體通過水量計時流場是否受到擾動？壓力是否穩定等，都會影響到計量結果，除此之外因目前國內口徑 50mm (含)

以下水量計，多採用速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter)，如圖 1，此類水量計之計量方式，係由水流速度直接衝擊葉輪，再將葉輪之移動透過機構傳送至指示裝置，進而顯示出流量，所以水量計現地設置的情形 (是否水平？有無歪斜？表前直管段是否足夠？等)，以及裝設後實際使用的方式與狀況，都會直接影響計量的準確性。由上述說明可知，一個精確的計量，除了要求水量計本身構造精度之外，水流的狀況與安裝的環境都是重要的決定因素。

一般用戶家中用水設備日趨精緻與多樣，如目前逐漸普及的淨水設備(如：逆滲透…)以及 spa 淋浴設備等，此類用水設備有著瞬間流量低、啟閉頻繁，以及運轉需求水壓較高等特性，而在水塔所生自然重力無法滿足情況下，裝設加壓馬達就變成一個普遍、立即有效的解決方式，此一現象普遍出現在建築物頂樓與水塔高度不足的舊式公寓建築中，但因馬達的啟閉會造成水流急劇的變化，讓水量計處在一個極不穩定的計量環境中。

為瞭解不同的流量、不同的起閉次數、以及不同的加壓馬達(型式、馬力與安裝方式)，對速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 慣性效應的影響，本研究即分別針對前述變因，對速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 進行實際測試，藉以瞭解不同運轉環境情況下，multi-jet meter 型水量計其慣性效應的變化，以供相關從業人員運用、參考。



圖 1 速度型多重噴嘴水量計

## 二、水量計相關規定

國內針對自來水所採用水量計之構造、安裝與檢驗等，訂有 CNS 14866 (密閉導管內水流量之量測-冷飲水用水量測) 加以規範，其中 CNS 14866-2 針對水量計的選用、附屬配件與安裝條件等，有詳細規定，而相關規範除了適用於水量計測試與規劃作業外，在用戶端進行現場安裝時，亦須加以參照、遵守，方能確保水量計之準確性，相關規定概述如下：

CNS 14866-2 中規定水量計在安裝後應保持滿水，以確保運轉準確與壽命。另外，安裝環境中如果有空氣進入水量計的疑慮時，必須依製造廠商的程序在上游端安裝排氣閥，因為若當空氣混入水量計後，除將影響計量準確性外，亦可能損及水量計內部構造，這一點對於增設馬達加壓的用戶須特別注意。另外規範中亦提到：「水量計之方位應與該型相合」，如前所述，目前國內口徑 50mm(含)以下所採用之用戶水量計，是屬於速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter)，在安裝上需注意水平並避免轉置，否則會有影

響計量準確之虞，而若是容積型水量計，則較不受安裝方位的影響，可配合現場狀況，以水平、傾斜，甚至垂直的方式進行安裝。

另外，有關水量計的量測與檢驗，則須依循國家標準 (CNS) 14866-3 之規定。規定中水量計在進行檢測時，水流壓力、流量等都有嚴格律訂，換言之，也就表示壓力、流量與溫度等環境的變化，都會影響水量計實際量測出來的結果，所以，如果把水量計裝設在一個不穩定的計量環境下，即便是完全符合度量衡相關規範的水量計，也可能會產生不可預期的誤差。而在 CNS14866-3 中則針對水量計測試作業相關的方法、設備與數據定義等，訂有詳細規範。其中摘錄主要的項目概述如下：

### (一)水質：

規範中針對檢驗用水的水質規定：「檢驗用之水要以公共供應之可飲用水或符合相同規定之水。如果採用循環水，必須要有方法以防止殘留在水量計內的水變質有害人體。檢驗用之水不該含有會使水量計損壞或影響其運轉的任何物質，且不得含有氣泡」。

測試用水的水質對水量計測試結果影響甚劇，不佳的水質除了會影響計量準確性之外，還可能會造成水量計本體的損壞。

### (二)檢驗安裝：

規範中提醒需注意水量計檢驗台的設計與建造，不可因檢驗台本身構造、性能上的缺失 (如震動、維護不良等)，造成水量計檢驗的誤差。

另外，規範中亦規定檢驗時水量計內水溫需介於 0 至 30°C 之間，否則檢驗結果即

須再作溫度修正。

### (三)器差檢驗：

「器差」是顯示水量計性能表現的重要指標，在水量計性能測試作業中，水量計在特定流量點所測得的器差，即為評判該只水量計計量性能是否合格之依據，所以如何量測水量計的「器差」就顯得格外重要。在 CNS14866-3「器差檢驗」一節中，對此規定說明如下：「本標準中所用以決定器差的方法是所謂收集法，其係利用一個或多個收集容器收集流經水量計的水量然後以容量或稱重來決定水量，其它可達到本標準所規定準確度的方法亦可被採用」，一般所採行的方法有「收集法」與「標準表法」二種，其中「收集法」不論是用計算容量或稱重等方式，都是直接計算通過水量計總水流體積的方式來與水量計所計得數據作差值比較，這種方式直觀且明確，但需要較大的測試場地，尤其如果需要做大口徑水量計測試作業時尤甚。而「標準表法」則有測試結果較不直觀，且容易有標準表本身準不準的疑慮。

### (四)檢驗開始及終止的誤差：

CNS14866-3 中特別提到，水量計在運轉計量的過程中，當水流停止（開關關閉）時，水量計會因為與水流間綜合慣性的關係，無法立即停止而導致誤差，也就是一般業界俗稱的「開關效應」，而當這項誤差持續累積後，將導致可觀的誤差，所以國家標準中特別針對如何避免前項誤差的發生，作了以下的規範：

CNS 中對此項誤差的描述如下：「當水流停止時，水量計之運動組件及在水量計內

作旋轉運動之水流的綜合慣性可能在某種型式水量計及某種檢驗流量下引起可觀的誤差。在這種情形下，仍然沒有一個簡單的經驗法則，可以設定出條件而使這種誤差減少至可忽略的程度」，由以上說明可以明確看出，此項慣性誤差的重要性與無法避免，而為免此項誤差對測試結果產生決定性的影響，規範中建議採行下列 2 種方法：

#### 1.增加檢驗容量及時間：

因為水流啟閉所產生的誤差是隨著開關次數而累積，所以在同一次開關中，增加檢驗容量及時間，可以降低因開關效益所生誤差占整個收集量中的比例，達到稀釋的效果。

#### 2.用其他一種或以上的方法所得到的結果比較：

規範中特別建議採用的量測方式為：「水量計在穩定流動狀態下轉換水流方向時讀表的檢驗」，也就是一般所謂的「動態法」。

慣性誤差是水量計在水流啟閉時所產生的，所以如果計量過程可以避開水流啟閉的階段，在水流穩定流動狀態下來計量，當可避免慣性誤差的發生，執行的方法就是在水流進入收集容器前，設置一個水流，讓水流在穩定狀態下，透過轉向開關的切換，把水導向收集容器，並同時紀錄水量計的數值，達到設計收集量時，同樣利用轉向開關，把水導離容器，同時紀錄水量計的數值，如此整個計量過程水流都是處在穩定狀態，即可避免開關效應的發生。

上述幾項，是 CNS14866-3 中對水量計

測試作業最基本、最重要需加以瞭解的部分，規範中尚有很多其他規定，例如：如何判定測試結果，壓力損失的檢驗，最大不確定度…等，欲瞭解相關細節者可詳閱國家標準（CNS）條文，而由前述國家標準的相關規定中可以明確看出，用水設備的開關所造成水流急劇的變化，將對水量計計量之準確性產生影響。

### 三、測試作業

透過以上的說明中可以得知，一只水量計要能準確計量，除了本身計量機構外，水量計現地裝設的計量環境對準確性亦有非常大的影響，而為瞭解頻繁瞬間變動的流況，對速度型多重噴嘴水量計（multi-jet meter）葉輪慣性效應所生之影響，遂模擬實際用戶在分表後端加裝馬達加壓之模式，進行相關測試，以下分別針對整體測試作業的規劃、測試設備與結果進行說明：

#### (一)測試作業規劃：

目前常見的用戶在分表後裝設加壓馬達之方式如圖 2 所示，亦即在水量計出水端到用戶家中用水設備之間加裝一只定速馬達，以「抽」水過表的方式來進行加壓。

而為了研析各種不同加壓方式對速度型多重噴嘴水量計（multi-jet meter）葉輪慣性效應所生之影響，故除了圖 2 目前用戶常用方式外，亦構思其他可能的加壓方式，一併納入測試，以取得較具全面性之結果，並進行比較，嘗試提出較佳方案，以供相關人員參考、應用。以下即針對各可能方案進行說明：

1.改用恆壓變頻變速馬達：

恆壓變頻變速馬達具有緩啟動與穩定持壓的特性，改用此類馬達應可減少水流瞬間啟閉對水量計慣性效應所產生的影響，如圖 3。

2.在馬達與水表間加裝一個緩衝蓄水桶：

此類作法與現行要求用戶總表須先設置水池方可進行抽水的間接加壓方式相同，如圖 4，因為馬達是由蓄水桶抽水，不會影響水量計，理論上是最佳的加壓方式，但是因為會佔據用戶屋頂可使用的空間，可行性甚低。

3.改用「推」水過表的方式加壓：

不論是定速馬達或是恆壓變頻變速馬達，各類馬達都是在控制加壓後出水端的壓力，換言之，馬達出水端的壓力遠較進水端穩定，所以把加壓馬達改裝在水表之前，用「推」水過表的方式進行加壓，將可使水量計處在較為穩定的計量環境中，如圖 5。

4.改以「壓力筒」的方式加壓：

讓馬達加壓後的水先進入一只壓力筒，再透過壓力筒提供水量計穩定的加壓水流，如圖 6，理論上這樣的加壓方式等同於高架水塔，不會因為加壓設備的啟閉造成水量計的誤差，但是市售壓力筒價格偏高，而且需佔用住戶屋頂空間，此法與加裝緩衝蓄水桶一樣，都較不具實際可行性。

綜上，本研究採用不同型式（定速、恆壓變頻變速）、不同馬力的加壓馬達，分別以「抽」水過表，以及「推」水過表的方式來進行加壓，統計水量計在不同加壓模式下所產生的器差，以評估各種加壓方式對速度型多重噴嘴水表計量慣性效應所生之影響。

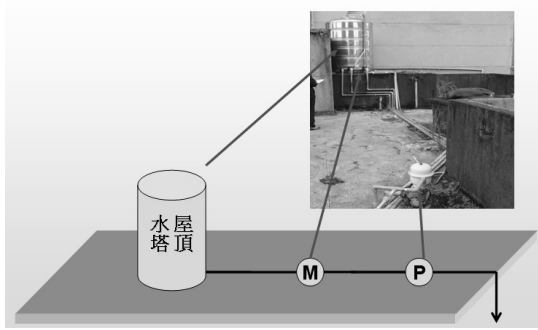


圖 2 常見加壓馬達裝設方式

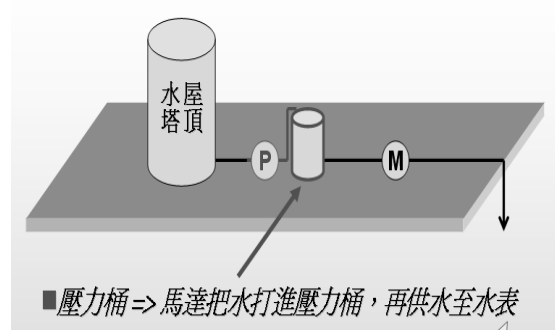


圖 6 改以「壓力筒」方式加壓

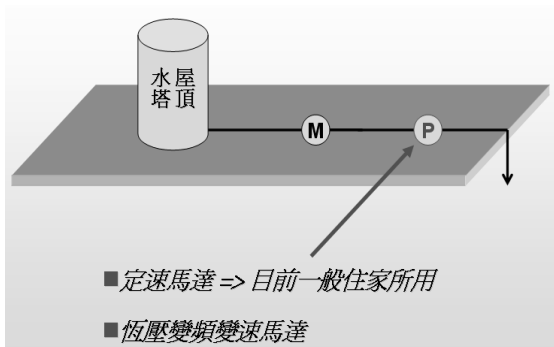


圖 3 改用恆壓變頻變速馬達

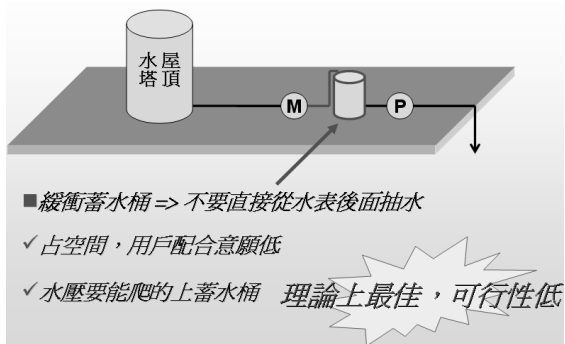


圖 4 加裝緩衝蓄水筒

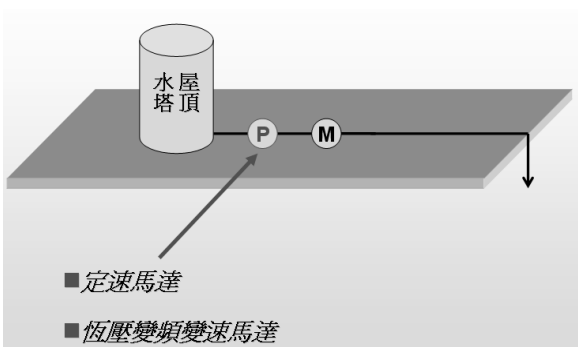


圖 5 「推」水過表方式加壓

### (二)測試設備：

為瞭解不同馬達型式以及不同馬力對水表計量之影響，本研究共採用了 3 台加壓馬達，其中，定速馬達部分有 2 台，分別為大井水壓機 TP825P，以及大井水壓機 TP820P，如圖 7，另外，恆壓變頻變速馬達部分則採用宏川背負式變頻馬達 220V/1HP，如圖 8，水量計則分別採用 20mm 及 25mm 速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 各二只來進行測試。



圖 7 定速馬達



圖 8 恆壓變頻變速馬達

### (三)測試結果：

以下將分別針對不同型式的馬達、不同馬力以及不同的裝設方式（「抽」或「推」）的測試結果做說明：

#### 1. 「抽」一定速馬達

如前所述，為了滿足日趨精緻與多樣化的用水設備使用需求，目前常見到頂樓用戶在分表後裝設加壓馬達，如圖 2 所示，此類改裝所導致頻繁變動的流況，對速度型多重噴嘴水量計（multi-jet meter）葉輪慣性效應所生之影響，是本研究最為關注的重點。

本研究中分別針對在家戶分表中採用口徑數量最多的 20mm 以及 25mm 進行測試，而為瞭解是否對一般常態用水產生影響，我們特別針對流量在常設流量  $Q_p$  附近的測試結果進行觀察。在說明結果之前，我們先就選擇常設流量  $Q_p$  的原因進行說明。

每一只水量計 CNS 都律訂了幾個特定的流量值來呈現該只水量計的計量特性，如圖 9，而其中所謂的常設流量  $Q_p$  (Permanent flow-rate) 即為該只水量計最妥適的計量流量，此流量點在 CNS14866-1 中說明如下：「水量計在正常使用狀況下以適當的方式操作時的流量」，實務上，常設流量（ $Q_p$ ）就是該只水量計能發揮最佳計量性能的流量。而用戶用水設備設計者（建築師、水電技師）在規劃各戶所需水表口徑時，均會根據實際用水設備（水龍頭、馬桶、洗臉盆）的數量，計算出足以充分供應設備使用所需的水表口徑與流量，而此流量當與水量計的常設流量  $Q_p$  相配，以確保用戶用水無虞以及水表計量的準確性，因此我們將  $Q_p$  視為一般用戶正常用水況下的一個參考

流量，20mm 與 25mmB 級流量計的  $Q_p$  分別為  $2.5\text{m}^3/\text{h}$  以及  $3.5\text{m}^3/\text{h}$ 。

我們仿照目前常見公寓、大樓，屋頂水塔對頂樓用戶供水壓力不足的供水條件（水塔： $0\text{kg}/\text{cm}^2$ ），分別針對 20mm 以及 25mm 水量計以定速馬達「抽」水過表的加壓方式，來計算器差。

測試結果顯示，裝設馬達進行加壓對一般正常用水情況下（流量接近  $Q_p$ ）的水量計，並未產生明顯、具一致性的器差，由此顯示，對一般正常用水型態的用戶而言，使用馬達加壓對其用水計量上並沒有影響。

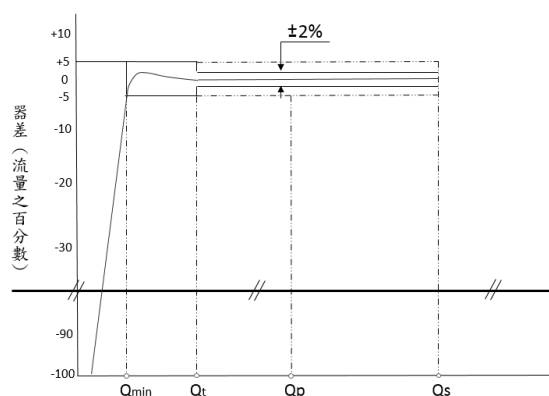


圖 9 水量計器差曲線

惟實驗中發現，當測試流量下降到接近分界流量  $Q_t$  時，隨著加壓馬達瞬間啟停次數的增加，水量計會產生正器差，而且加壓馬達的馬力越大，正器差越明顯，此一現象可以分別由圖 10 及圖 11 看出，在進一步解析前，我們先就「分界流量（ $Q_t$ ）」作個說明。

此流量點在 CNS14866-1 中說明如下：「發生在超載流量及最小流量間的一個流量值，流量範圍在此分為兩區，"上區"及"下區"，每區各訂定有最大許可誤差。」，以上是國家標準中的規定，而我們進一步利用

器差曲線來進行說明，由圖 9 的器差曲線中可以看出，一只水量計進入穩定計量後，所計得的水量，依誤差數值的不同，分為 2 個階段，分別是在較低流量區的正負 5%，以及較高流量區的正負 2%，而所謂分界流量（Qt）就是這二個誤差區間的交界流量，而在水表口徑的設計與選用上，會讓用戶用水時的流量大於分界流量（Qt），也就是落在正負 2% 誤差區間內，以確保水量計能精確計量，並儘可能的落在 Qp 附近，如此可使水表計量更趨穩定。對分界流量（Qt）作完簡單的說明後，接下來分別針對圖 10 及圖 11 的測試結果進行說明。

首先，圖 10 是採用定速馬達 825P，以「抽」的方式對一只 25mm 水量計，在進水壓力為 0kg/cm<sup>2</sup> 情況下進行加壓，測試結果發現，當加壓馬達僅啟閉 1 次時，不論測試流量為何，均無明顯器差。但當測試流量降低至分界流量 Qt 附近時，隨著啟閉次數增加，就會有正器差的出現，而且啟停次數越高，正器差比例也越高。另外，當加壓馬達的馬力提高，在低流量（分界流量 Qt 附近）時所出現的正器差也會有增高的情形，如圖 11 所示。

在執行前述測試中發現，在同樣的控制變因下，所測得之器差數值並不一致，但呈現出類同的趨勢，依此趨勢顯示，針對某些流量低微，頻繁瞬間啟動的用水設備（如逆滲透濾水系統），裝設加壓馬達將會讓水量計有產生正器差之虞。

當然，因為這都是在極低流量下才有發生的可能，而且即便發生，實際累積水量也極少，所以，即便是家中有裝設前述特殊用

水設備，用戶並不會由水費中感受到差異，惟對於水資源維護與管理的相關單位仍應對此現象有所瞭解。

▶以 25mm，水塔 0kg，825P 『抽』為例(近似一般公寓)  
【表號: c-14\*\*\*】

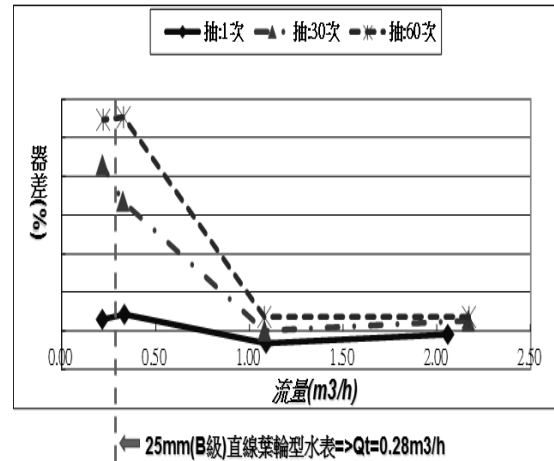


圖 10 器差與馬達瞬間啟停次數之關係

▶以 20mm，水塔 0kg 為例(近似一般公寓) => 『定速馬達』  
【表號: B-14\*\*\*】

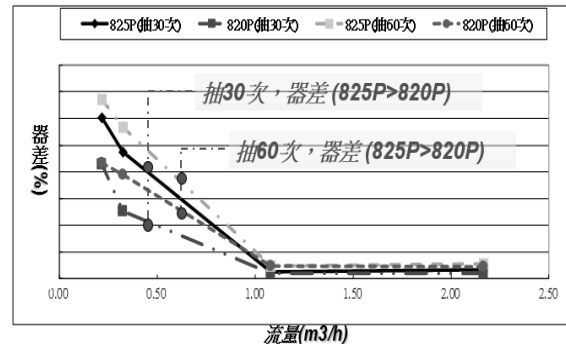


圖 11 馬力與器差之關係

## 2. 「抽」一恆壓變頻變速馬達

接著嘗試改用恆壓變頻變速馬達來取代目前家戶常用的定速馬達，同樣以「抽」水過表的方式進行加壓，觀察不同型式的馬達是否對計量結果產生差異。本研究購置了宏川背負式變頻馬達 220V/1HP 一台，具有壓力可調以及緩啟動、穩定持壓的特性，測試結果如圖 12。

►以25mm，水塔 0kg 為例(近似一般公寓)

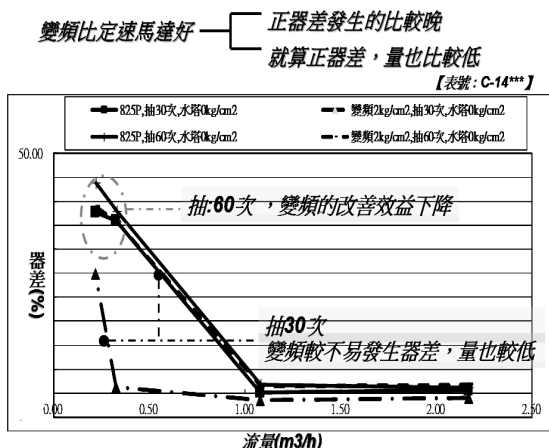


圖 12 恆壓變頻變速馬達與器差之關係

由圖 12 中可以觀察到，當加壓馬達啟閉次數為 30 次時，改用恆壓變頻馬達對低流量時所發生之正器差有明顯的改善效果，除了發生正器差時的流量更低外，即便發生，正器差的比例也明顯較採用定速馬達者為低。

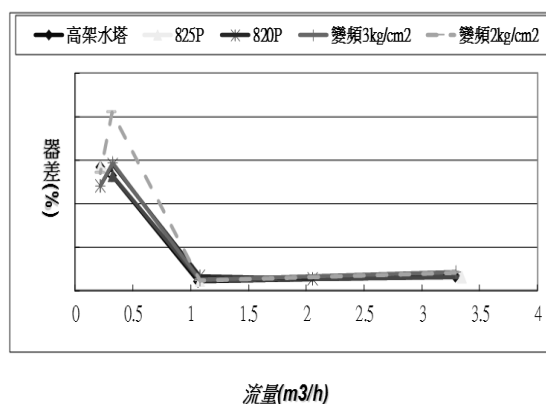
惟前述改善的效果，會隨著加壓馬達啟閉次數的增加而降低，由圖中可以看出，當啟停次數達到 60 次時，恆壓變頻馬達所產生的器差就會趨近於定速馬達所造成的結果。

「抽」水過表的加壓方式，對水表計量所造成的影響，決定因素很多，除了流量、加壓馬達啟閉次數外，馬達的型式、馬力、水表進水端供水壓力等等，都會影響結果。改用恆壓變頻變速馬達來「抽」水加壓，雖非對所有用水設備與用水模式都具有改善低微流量時正器差的效果，惟其所具有之緩啟動、穩定持壓的特性，確實可讓水流較為穩定，產生降低速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 葉輪慣性效應之效，當用戶有安裝加壓設備之需時，是一個值得參考的改善作為。

### 3. 「推」水過表加壓方式

接著，我們將加壓馬達裝設的位置進行調整，把馬達改裝在水塔與水量計之間，改用「推」的方式來進行加壓，如圖 5，而馬達部分則與前述測試相同，分別採用定速馬達與恆壓變頻變速馬達，以不同型式、不同馬力的馬達來進行測試，結果如圖 13 與圖 14。

【水表口徑:20mm，表號：B-14\*\*\*，推30次】



\*用「推」的，不論加壓方式(自然重力、變頻、定速)&馬力，器差情形變化不大!!

圖 13 「推」30 次

【水表口徑:25mm，表號：C-14\*\*\*，推60次】

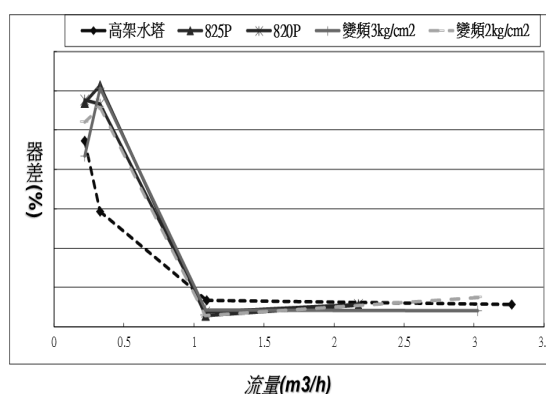


圖 14 「推」60 次

從圖 13 與圖 14 中可以明顯看出，改用「推」水過表的方式來進行加壓，不論是採用定速馬達 (825P、820P) 或是恆壓變頻變速馬達，在不同馬力、不同開關次數以及不

同水表口徑下，水量計整個器差曲線都呈現幾近相同而重疊的情況，而特別的是，各種加壓方式在  $Q_t$  附近低流量所產生的正器差也都接近一致。換言之，也就是改以「推」的方式來進行加壓，可以不受馬達型式、加壓馬力、用水設備開關次數等等變數之影響，具有「防呆」的功能。另外，跟「抽」水過表的加壓方式比較，「推」的加壓方式所產生的正器差也有降低的趨勢。

正如本文前面所述，不論是定速馬達或是恆壓變頻馬達，所控制的都是馬達出水端的壓力，所以將水量計改裝在馬達出水端，可以讓通過水量計的水流較為穩定，降低速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 葉輪之慣性效應。

▶以水表25mm，水塔0.9kg/cm<sup>2</sup>，定速馬達825P：

『推』的器差明顯比『抽』的輕微!!

【表號：C-14\*\*\*】

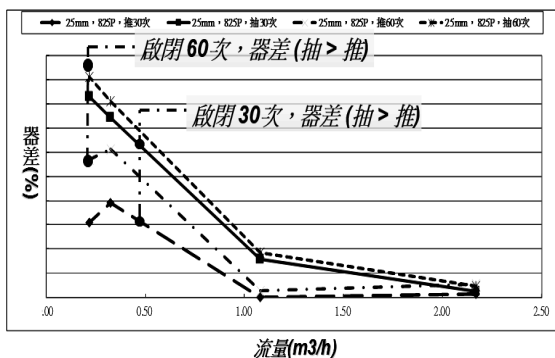


圖 15 「推」器差較「抽」為低

#### 4. 「推」v.s. 「抽」

最後，我們針對「推」水過表以及「抽」水過表二種加壓方式對水量計的影響作一個比較，圖 15 是採用定速馬達 825P 針對口徑 25mm 水表，分別以「推」及「抽」的加壓方式，在啟閉 30 次與 60 次的情況下，所測試出來的結果，由圖中可以明顯看出，在相同流量條件下，「推」水加壓所生器差明顯較「抽」水加壓為低，對降低速度型多重

噴嘴水量計 (multi-jet meter) 葉輪之慣性效應有正面的助益。

#### 四、結論與建議

研究結果顯示，針對目前家戶所普遍採用以定速馬達「抽」水過表的加壓模式，在一般正常用水模式下 (流量在  $Q_p$  附近) 的水量計，並無明確影響，惟當流量降至分界流量  $Q_t$  時，會有正器差之虞，惟因該流量極低，一般用戶並無影響。

在低流量、高壓力、頻繁瞬間起閉情況下，速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 有發生正器差之情形，此現象應為水流衝擊葉輪後，當關閉進水瞬間，葉輪本身因為慣性原因，仍會有些許轉動量，無法立即停止所致，而此一慣性效應，隨著流量越低、壓力越高、瞬間啟閉次數越多，越為明顯。

針對一般所採「抽」水過表的加壓模式，若改用恆壓變頻變速馬達，對原本定速馬達在低流量時所發生的正器差有減緩趨勢，推判應為恆壓變頻馬達緩啟動以及穩定持壓，降低了葉輪慣性效應所生之效果，惟此效果會受到流量、用水設備啟閉次數外、馬達的型式、馬力、水表進水端供水壓力等眾多因素影響。

而將馬達改裝在水量計進水端，改以「推」水過表的方式進行加壓，則發現對速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 在低流量時所發生的正器差有明顯改善效果，且效果不受馬達型式、馬力、水表進水端供水壓力等因素影響，具「防呆」之特性。

改用恆壓變頻變速馬達或改採「推」水過表的方式加壓，能不能改善低流量、頻繁瞬間啟閉時，速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 水量計的慣性效應，仍取

決於用戶實際用水設備 (口徑、水塔高度…) 與用戶實際用水行為(用水設備開關次數、流量、每開一次的收集量…)，沒有絕對，但是普遍來講，這二種作法都對穩定水流，避免通過水量計的水流瞬間產生急遽變化，可降低速度型多重噴嘴水量計 (multi-jet meter) 之慣性效應，其中，以「推」水過表的加壓方式，能不受馬達型式、馬力、進水壓力等變數影響，值得相關從業人員及有加壓需求時參考。

## 參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北自來水事業處水量計規範」，2011。
2. 國家標準 (CNS)，「密閉導管內水流量之量測-冷飲水用水量計」，2004。
3. 鄭錦澤，「從台北好水探討提升用戶用水設備效能」，機電現場技術，2013。

## 作者簡介

### 林哲生先生

現職：臺北自來水事業處供水科二級工程師兼股長

專長：自來水工程設計、工務及管理

## 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。

# 以機動型加壓設備處理用戶無水案例

文/文其正

## 一、前言

臺北自來水事業處轄區（以下簡稱北水處）內位於都會區之用戶常因地小人稠，防火巷加蓋屢見不鮮，加蓋後可能將原有自來水管覆蓋，對管線維修及更換造成很大的困擾，如管線破損造成無水，在無法立即維修及抽換的情況下，又遇用戶拆除原有蓄水池而為馬達直接抽水時，此時派遣水車並無法解決用戶無水的問題；或部分地區因位於高地供水區域，或位於加壓站、輸水幹管附近之用戶，平均水壓可能維持在  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  以上，此等區塊內之用戶，為節省能源常自行拆除水池及加壓設備，使自來水藉由配水管的供水壓力，能夠直接供應至五、六樓頂之屋頂水塔，甚至有些建物連屋頂水塔都未設置，自來水直接進入家戶中，此等用戶也因無蓄水池，如遇管線破損造成無水，派遣水車支援或設置供水站都無法使用戶內線立即有水，面對這種情況工程人員通常束手無策，相當棘手。

本文以實際發生於臺北市和平東路二段 118 巷 52 弄 13 至 15 號用戶因管線漏水造成用戶無水之案例，以自行研製之機動加壓設備，解決用戶突發性無水，緊急以外部加壓之方式，將水送至水塔，解決用戶燃眉之急做說明，本案研發設備能通案解決用戶無水池無法以水車灌水的情況，使保障用戶用水安全方法應用更趨完備。

## 二、案例說明

本案例為發生於 106 年 12 月 7 日臺北市和平東路二段 118 巷 52 弄 13 至 15 號一至四樓用戶，該公寓共同給水外線為口徑 50mmPVC 管，因破裂漏水造成所有用戶共 16 戶立即無水，因管線破裂處位於防火巷，遭各戶一樓違章加蓋完全無法維修及抽換，經本處測漏廠商於某用戶屋內檢測出一處疑似漏水點，經協調用戶始同意於屋內挖修，惟開挖後未發現漏水點，再次請檢漏廠商測漏，已無另外漏水疑似音，因無法確認漏水位置，考慮管線重新埋設，但現場 16 只直接表表位均位於屋後，而防火巷毫無空間可供重新埋設管線(如圖 1、2)，且因該等一樓用戶已將原有蓄水池拆除，派水車支援亦無法灌水，用戶即將面臨無水可用之窘境，且一時之間尚無法重新埋設管線，情況緊急。

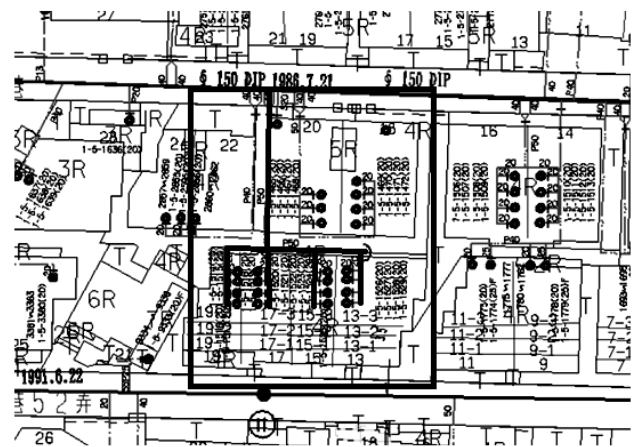


圖 1 13 至 15 號共同給水外線位於加蓋防火巷內，無法維修及改善

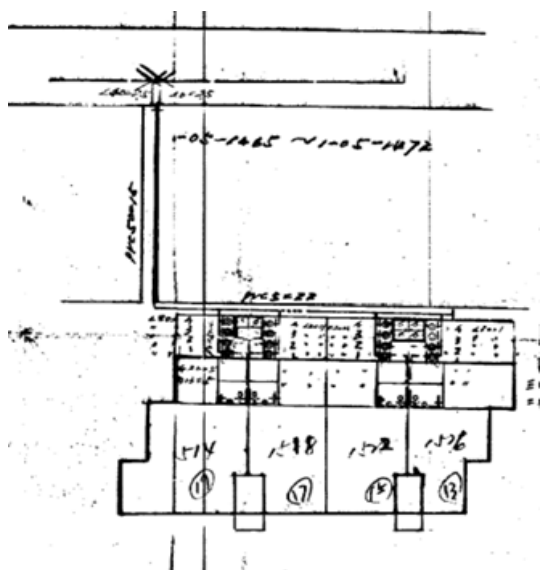


圖 2 13 至 15 號原始台帳圖面

為免用戶無水可用，故立即動員本分處人員及機具到場支援，架設機動型加壓裝置，配合發電機，以消防水帶銜接附近地下消防栓，連結加壓馬達加壓灌水(如圖 3~4)，因所有水表均位於屋後，如需經由用戶內線加壓至屋頂水塔，水管須由每戶一樓屋前經過屋內客廳至屋後銜接水表表位處，甚為不便，故決定佈設 25mm 塑膠管經由樓梯間通往屋頂水塔。



圖 3 106 年 12 月 7 日以機動加壓設備灌水情形



圖 4 以 25mm 塑膠軟管經由樓梯佈設至屋頂

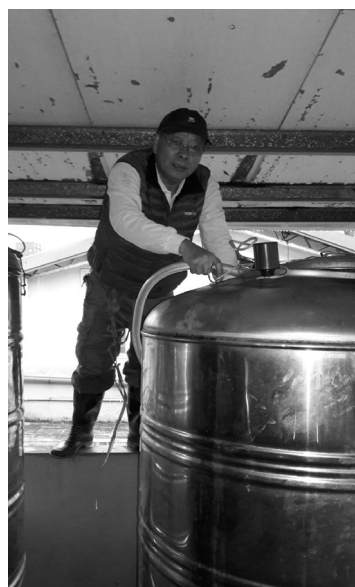


圖 5 北水處職員灌水至屋頂水塔

因該公寓一至四樓均為直接表用戶，故 13 至 15 號一至四樓，除各戶一樓外屋頂共有 12 只水塔，本分處人員啟動加壓馬達將水由消防水帶直接送到四樓頂水塔，逐一檢查及灌滿所有水塔(如圖 5)，一個下午即可完成作業，在 106 年 12 月 7 日至 10 日發生管線破裂無水，檢測漏水及維修至重新埋設水管完成之 4 天內，一共前往現場灌水二次，所有用戶均未因水管破裂感到用水不便，里長更數次至現場道謝，北水處相關工程人員

均表示，此設備相當的好用，完全可以解決長久以來當客服中心接到無水案件後派水車至現場，卻因用戶無蓄水池，無法為用戶灌水的窘境。

本案因現場防火巷完全蓋滿，無法埋設新管，經多次協調，其中 1 戶一樓用戶願意犧牲，同意由屋前埋設 2 支 50mmSSP，經由客廳及餐廳，埋設至屋後廚房供大家做為水管引進之路徑(如圖 7)，再由屋後廚房牆壁洗孔裝配管線至其他戶所有表位，施工相當困難，在承商動員大量人力及用戶的無條件配合下施工完成，暫時解決了這次的危機。



圖 6 106 年 12 月 9 日再次以機動加壓設備灌水情形



圖 7 管線經由用戶屋內銜接 16 只直接表

而此 2 支 50mmSSP 管線經過私人屋內，只是暫時應急的解決方法，用戶有權隨時要求管線遷移，接下來本分處仍要持續勸導該公寓所有 16 只直接表用戶，將表位移出至屋前由本處派工重新改接，最終將原經由私人屋內之管線斷除，才是最終解決的辦法。

### 三、本案使用設備說明

北水處南區營業分處設計製作出機動加壓設備，以一組 1HP 之加壓馬達，配合組裝相關管件及可上公寓五樓樓頂之塑膠軟管，電源以發電機發電或就近向用戶接電，直接灌水至屋頂水塔，本設備可以通案解決水車因用戶無水池無法灌水的問題。本分處辦理相關零件採購及組裝，使用材料費約 12,000 元，可以消防栓、表前或臨時供水站為水源，連接表後管線或揚水撈管進行緊急送水作業，管線設備連接皆利用消防栓快速接頭，不用工具即可進行組裝，相關設備如圖 8~9。

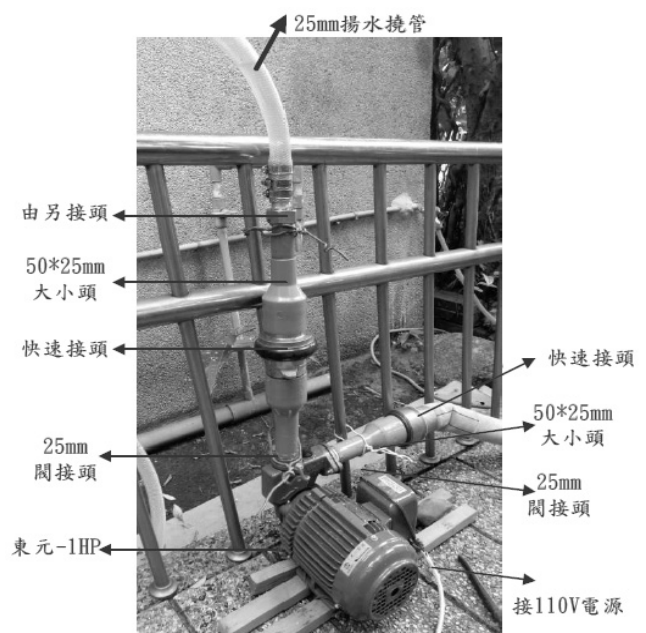


圖 8 機動加壓設備細部零件圖



圖 9 25 公尺長口徑 25mm 塑膠軟管

本案所使用的裝置簡單實用，以機動加壓的方式，可解決所有無一樓蓄水池之無水用戶，或高水壓區無水池水壓直上屋頂水塔之用戶，以起動馬達後水壓可達  $5\text{kg}/\text{cm}^2$  的壓力來換算(如圖 10)，應可加壓至 10 層樓高，同時可加速進水縮短作業時間，此機動加壓設備可通案解決水車無法解決的問題，功效卓著，對於用戶用水安全的維護，助益甚大。

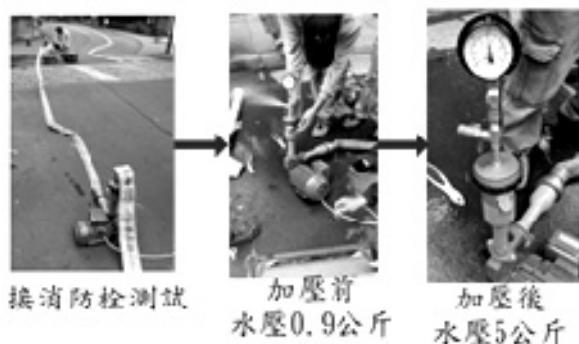


圖 10 組裝壓力測試

本項機動加壓設備經測試結果對於間接用水送水效率可大幅提升，設備連接水源方式有 3 種，無論是由有水表前接水、消防栓、臨時供水站等皆可當作送水來源，加壓送水時可以用佈設揚水軟管直接送水至屋頂水塔，或利用用戶原有內線等方式送水至屋頂水塔，使用性相當方便，可以馬上解除

用戶緊急需水要求，減低對用戶用水影響。

本設備多項組件皆為同仁利用報廢消防水帶接頭或既有零件組裝，大幅減少採購項目及節省經費，如連接供水站之雙公轉換接頭，雙母轉換接頭，利用快速接頭可與消防水帶銜接，拆裝迅速，本分處工程人員將以實際現場經驗回饋，持續研究改良，讓本項設備更加精進。

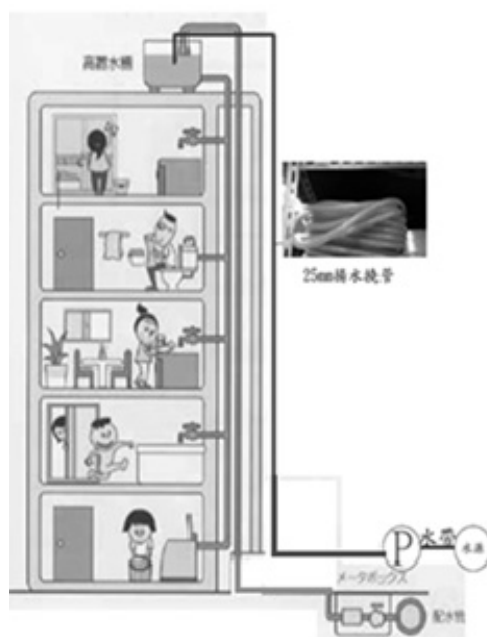


圖 11 加壓設備操作示意圖

#### 四、結論

如同本案例，北水處轄區內有相當多之用戶給水外線位於防火巷內，因防火巷加蓋漏水無法維修，亦無法改接，而為節省使用空間又拆除蓄水池，管線破損造成無水，在無此機動加壓設備發明之前，就算派水車緊急供用戶灌水亦無水池可灌，相當不容易處理，現在此設備已可彌補這塊缺口，直接鋪設軟管至屋頂水塔，啟動加壓馬達即可直接灌水，完全解決了水車在特殊狀況無法處理的情形。

另一種情形為用戶位於壓力偏高之供水區塊內，無一樓蓄水池，私自拆除馬達使其自來水直上屋頂水塔，以節省加壓之電力費用，但如遇到壓力調節，水壓不穩，或管線破損，局部區域水壓降低，這時此等用戶用水即發生問題，如以此加壓設備可通案暫時解決用戶燃眉之急，爭取時間進行供水壓力調配或緊急搶修管線，使供水恢復正常。經實地測試效果良好，搭配推車及發電機，適用於任何狹小巷弄，可短時間內緊急補充大量自來水至用戶屋頂水塔，以彌補架設供水站或水車送水，仍需用戶上下樓提水之不便。

本研究案之機動加壓設備只是當發生用戶缺水時之應變裝備，治本之道還是對於私自拆除蓄水池及加壓馬達之用戶，勸導其恢復原有設備，才不會在水壓發生變化或管線破裂時無水可用，造成自身之不便。

#### 作者簡介

##### 文其正先生

現職：臺北自來水事業處南區營業分處二級工程師兼股長

專長：管網改善工程規劃、設計、監造、小區計量及漏水搶修。

### 本刊 107 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
37 卷 第 3 期	水質處理	水質安全、多重屏障、水質檢驗、水質監測、淨水藥劑、消毒、過濾、臭味處理、供水操作、淨水處理、海水淡化、淨水高級處理、綠色生產等。	8 月
37 卷 第 4 期	新興議題	新興水質項目應對、突發事件預警、供水緊急應變、危機管理、氣候變遷與調適、國際水情、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

# 南化水庫清淤策略探討

文/林文俊、林秉學、黃政欽

## 一、南化水庫概要

南化水庫為供給民生用水單一功能的水庫，水源來自後堀溪上游及甲仙攔河堰，供應台南、高雄地區每日 60~100 萬噸之民生用水，扮演台灣南部地區水資源供給非常重要之角色。但民國 97 年卡玫基及 98 年莫拉克等颱風帶來極端降雨後，水庫集水區崩塌面積暴增，伴隨著後續土壤沖蝕與崩塌土砂隨洪流入庫，衍生水庫淤積問題，目前淤積面高度已達 148 公尺(如圖 1)，庫容已減少約 41%，蓄水量嚴重縮減並危及取水及供水功能。因此如何有效進行水庫清淤以達成增加庫容與穩定供水的目標是迫在眉睫的工作。

## 二、清淤方案檢討與分析

為了確保南化水庫在未來水源區域調度、氣候變遷情境下，能維持有效庫容、防

洪安全與穩定供水目標，台水公司特別執行「南化水庫防洪防淤整體綱要計畫」，規劃短中長期清淤計畫(圖 2)，本文特別針對庫區陸挖及抽泥做檢討和分析，比較過去和現在工法的差異，並提出對抽泥影響外界環境的因應對策。

### (一)原有工法檢討及分析

南化水庫經過 97~98 年嚴重淤積後，台水公司自 101 年開始進行機械清淤工作，包含陸挖清淤及抽泥清淤兩種作法。

#### 1.陸挖清淤

陸挖清淤是將露出水庫水面之土砂以挖土機及砂石車等機具予以清除；此法於枯水期水位較低時施工，惟施工通達道路南市 179 線遇豪雨即崩塌，且有載重 20 公噸之限制，諸多問題使此法無法有效清淤。

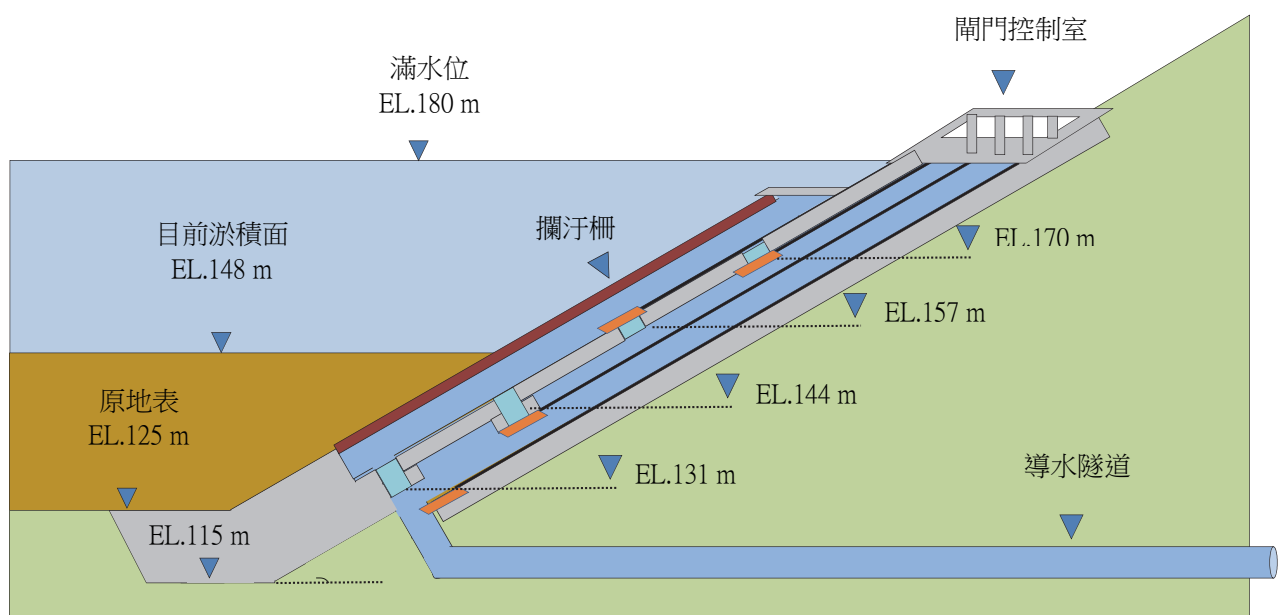
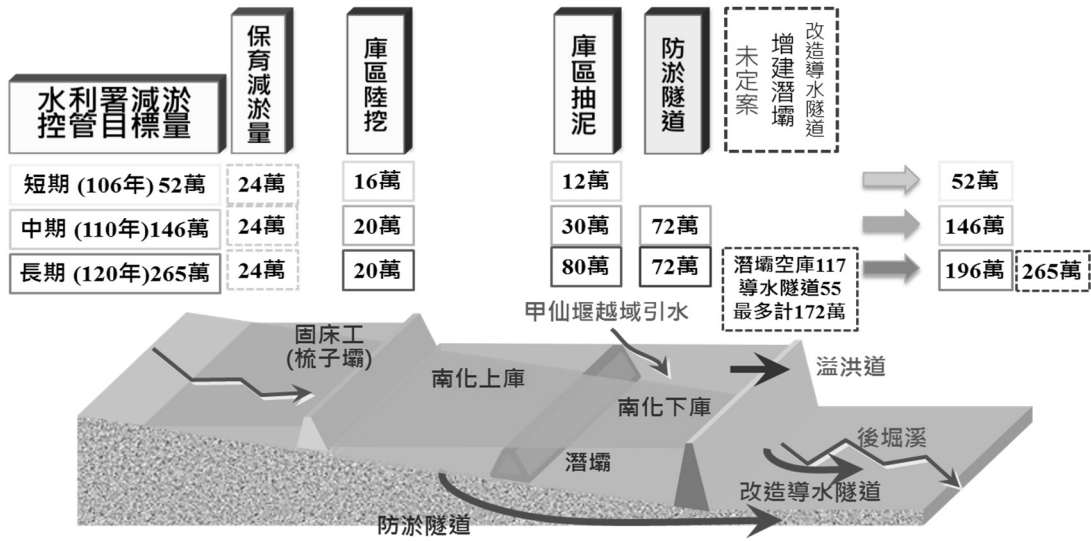


圖 1 南化水庫取水口前庭淤積示意



單位：噸

圖 2 南化水庫短中長期清淤計畫

## 2.水中抽泥(測量計價)

過去抽泥是將沉積在水庫底泥以平台船及抽砂頭等設備抽至大壩落水池旁之沉砂池暫置，待 25 天泥沙沉澱後再測量確認抽泥數量。此法雖不受水庫水位及季節影響，但因沉砂池僅能容納 4 萬 m<sup>3</sup>的泥沙，每次施作都必須等待泥沙沉澱 25 天及測量後挖除土砂的工期，一年施作 3 次也僅能清淤 12 萬 m<sup>3</sup>，數量有限。

### (二)濃度流量計價的水中抽泥工法

因上述種種限制下，過去的方式無法達成長期土砂平衡目標，為增進清淤效率，故參考曾文水庫改採濃度流量計價方式辦理抽泥工程。

所謂的濃度流量計價水中抽泥法也是以平台船及抽砂頭設備作業，除了抽砂頭增加絞刀可將壓密的沉泥攪散後抽出之外，與前述水中抽泥(測量計價)工法最大的差異在於計價方式。泥砂被抽出後通過流量計、濃度計等精密儀器量測後，再以計價計量軟體程式進行綜合計算(公式 1)後，累計得知每分

鐘抽出泥沙之重量(噸)並據此計價。此方法計價工序較繁複，影響計價的濃度計及軟體程式技術性高，若計量不精準容易引起爭議，為提高計價準度的需求，參考統計學常態分佈「兩個標準差內信心水準 95%」的方法，將濃度計誤差可接受範圍訂為±5%。另外，施工初期採用光學及超音波組合之濃度計，合格率約 50%，後來改採時域反射泥砂濃度計 (Time Domain Reflectometry，縮寫為 TDR) 後，目前合格率可達 80~90%。

公式 1：

$$\text{濃度} \left( \frac{mg}{L} \right) \times \text{流量} \left( \frac{m^3}{sec} \right) \times 10^{-6} = \text{乾土重} \left( \frac{tons}{sec} \right)$$

### (三)新舊機械清淤工法比較

相較於陸挖及抽泥(測量計價)，新式抽泥做法可全年無休連續施作，不受豐枯水期限限制亦不受沉砂池容量大小限制，成本也遠低於過去清淤方式(表 1)。以目前於南化水庫執行抽泥作業的機具能量(300mm 口徑管線)來看，每日可抽取 1 萬噸泥水，平均濃度為 28~30 萬 ppm，核算每日清淤量可達 3,000 噸

(3,300m<sup>3</sup>)；未來如果加大機具能量改採 400mm 管線，依曾文水庫抽泥經驗，平時每日可達 5,000 噸(5,500m<sup>3</sup>)，若颱風時期產生泥砂異重流時，甚至可達 10,000 噸(11,000 m<sup>3</sup>)，預期可達成防洪防淤綱要計畫的清淤目標。

**(四)外部因素的因應**

根據上述實際運作結果可以知道，採用新式抽泥方式後可大幅提升清淤量，而泥水在完成計量計價後便直接往下游放流。然而南化水庫下游許多農民平時取溪水灌溉果園或農作物，農民的抽水馬達若直接抽取高濃度之濁水可能因此故障，導致無法灌溉而

產生民怨，且高濃度泥水可能會對環境帶來衝擊。為解決此一問題，採用下列方式改善此一情況。

**1.土堤及生態放流水**

仿照淨水流程中沉澱過濾取上層液的概念，在水庫下游自大壩起算 4.5 公里內申請河川公地，取得做為淤泥放流暫置區的許可，沿途取河道砂土堆置四道高 1~2.5m 不等之土堤，使抽泥放流水累積在土堤上游側形成大水池，高濃度濁水沉澱在池中，清澈水則由土堤上層溢流口流至下一土堤(圖 3)；經過四道土堤的過濾後，放流水都很清澈且符合乙類水體標準。

表 1 南化水庫清淤三種工法的成本比較

年度	決標金額(元)	清淤數量(m <sup>3</sup> )	清淤成本(元/m <sup>3</sup> )
<b>(一)陸挖清淤成本</b>			
105	4,022,250	33,250	121
106	17,480,000	93,750	186
陸挖清淤計	21,502,250	127,000	<b>169</b>
<b>(二)水中抽泥(測量計價)</b>			
101	36,660,000	160,000	229
102	34,707,302	118,000	294
103	18,360,000	83,600	220
104	28,280,000	187,500	151
抽泥(測量計價)計	118,007,302	549,100	<b>215</b>
<b>(三)水中抽泥(濃度流量計價)</b>			
106	31,277,400	440,000	<b>82</b>
106(第三方公正)	4,900,000		
抽泥(濃度流量計價)計	36,177,400		



圖 3 南化水庫清淤暫置土堤及過濾池鳥瞰

在淤泥放流暫置區內的水質越接近抽泥放流口處泥沙濃度越高，為了讓 4.5 公里內農民也能穩定抽水灌溉，本公司在沿岸防汛道路旁將生態放流水放至溝渠內供農民抽取，不僅能平撫民怨，再加上抽泥放流水後亦可維持 3,000CMD 河川基流量，達到環境保育之成效。

## 2. 水資源作業回饋金

因南化水庫主要目的為供給民生用水，集水區劃設為水質水量保護區，區內每年分配回饋金，惟集水區皆屬水庫上游，下游受抽泥影響卻無法獲得相關回饋，因此當地居民時有怨言。本公司未來規畫參考水利署「水資源作業基金公益支出經費編列及執行管考要點」內容，清淤(疏濬)數量每立方公尺 10 元回饋地方村里，協助偏鄉改善社區道路與生活環境改善，讓里民能一同支持清淤作業，創造雙贏局面。

## 三、未來規劃檢討與分析

在南化水庫防洪防淤整體綱要計畫中，對於未來的規劃包含新建潛壩清淤的構想，不過因為背景因素的改變，對於興建潛壩的效果有重新檢討的必要。

### (一) 建置潛壩的檢討

潛壩(圖 4)原始規畫是在水庫內興建頂部高程 165m 的潛堰(南化水庫滿水位為 180m)，目的是利用梅雨季將上庫完全放乾，進行空庫排砂操作，希望達到減淤的效果；另外亦可利用後堀溪河道蜿蜒的特性，將潛壩形成的屏障導流颱風季節之異重流，使其由防淤隧道排出。若是於水庫尚未淤積時即興建潛壩，由於下庫有約 7,000 萬  $m^3$  容量及甲仙堰引水可支應梅雨季上庫空庫排砂之供水調配之有利條件下，是一個長期減淤排砂的可行方案。然而莫拉克、卡玫基等颱風事件造成嚴重淤積，2017 年下庫蓄水量僅餘 2,820 萬  $m^3$ ，在此條件下如遇乾旱年，梅雨季節雨量不豐且甲仙堰無多餘水量供給下庫，將造成供水極度不穩定，除外，不只建設成本高，興建期間如何供水調配也是一大難題。

### (二) 替代方案-囚砂導流潭

鑑於上述興建潛壩的作法恐怕無法達到預期效果，提出囚砂導流潭之構想(圖 4)；囚砂導流潭是將防淤隧道進水口往上游以水中抽泥方式挖出深 15~20m、底寬 100m 頂寬 300m、長約 1km、容量約 300 萬  $m^3$  的囚砂深潭，利用高差形成的天然屏障，將颱風期間高濃度異重流引導到開啟的防淤隧道內自然排出。此種方法與潛壩有異曲同工之效果，甚至潛壩欲以空庫排砂的泥砂，亦可於梅雨季節先囚禁於導流潭內，待颱風豪雨時再開啟防淤隧道一併將短暫沉積軟泥一次排出，隨著大量的洪水直接由後堀溪進入曾文溪，甚至帶入大海，減少泥砂沉積於河道影響生態的風險；另外，於水文條件不足以水利排砂時，亦可利用抽泥方式清淤，82

元/m<sup>3</sup>的成本僅約防淤隧道排砂 293 元/m<sup>3</sup>的 28%，且不影響目前供水調配方式，不會增加供水穩定的風險。

#### 四、總結

(一)南化水庫在歷經莫拉克、卡玫基等颱風事件肆虐後，嚴重造成泥砂淤積進而影響供水穩定，如何減淤排渾成為迫在眉睫的問題。經過不斷的嘗試後終於找出不受季節影響、成本最低且最有效率的清淤方式-水中抽泥，在使用濃度流量計價後，可以精確計算出抽泥量，亦可穩定作業。至於如何保護下游生態及減少沿岸民眾的怨言，就以建置土堤過濾高濃度泥水，使其成為清澈溪流往下游，並採「水資源作業基金公益支出」方式回饋受影響的下游居民，令居民都能支持水庫清淤作業，得到雙贏的結果。

(二)在未來規畫上，原本計畫興建的潛壩，因為水庫淤積情況嚴重，不論是施工中的配合或施工後的使用，對於供水穩定性方面都有極大風險，因此提出囚砂導流潭的構想；此法以抽泥方式將防淤隧道上游挖出深潭，平時可做為抽泥基地，梅雨季時可存放軟泥，颱風豪雨時再配合防淤隧道開啟將大量泥砂排出水庫，不論是供水穩定或排砂清淤，都是可長可久之計。

(三)依循過去的經驗及技術，要達到庫容平衡幾乎是無法達成的難題，如今經過不斷的努力構想出可行的清淤作法，使得延長水庫壽命的任務出現一道曙光，期望未來能順利完成使命，讓全台最大民生用水水庫能繼續服務大眾。

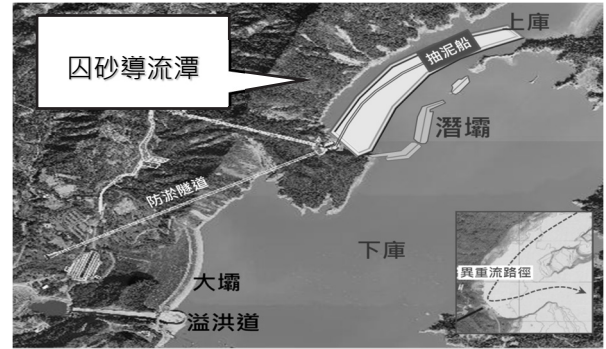


圖 4 南化水庫潛壩與囚砂導流潭的位置

#### 作者簡介

##### 林文俊先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處發包中心工程師

專長：專案管理、工程採購及履約、工程規劃設計

##### 林秉學先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處南化暨鏡面水庫管理所營管股長

專長：抽泥工程設計及監造

##### 黃政欽先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處南化暨鏡面水庫管理所技術士

專長：抽泥工程設計及監造

# 總表口徑縮小之效益分析

文/黃欽稜、蔡裕國、曹俊傑、施俊宏

## 一、前言

臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）自 2011 年起，逐年進行小口徑總表「口徑縮小」作業，迄今執行滿 7 年，對象為口徑 40mm（含）以下的 12 萬只總表，共三種口徑：40mm、25mm、20mm，透過數據分析學理篩選其中計量效能不佳的總表，共 4.8 萬只，予以縮小一號口徑，即 40mm→25mm、25mm→20mm、20mm→13mm。

本文將簡單回顧為何水表口徑需要縮小、以及 7 年前所發展的數據篩選準則，並由水費系統擷取這些口徑縮小的總表，涵蓋

了 2009 年初至 2017 年底之間的抄表數據，約 265 萬筆抄表資料，每筆包含總表本身度數、以及後方分表度數和。透過巨量數據分析技術，以視覺化方式呈現，一窺口徑縮小的實際效益，由於本次分析為每一個口徑縮小的水表行為，並非小規模抽樣，故結果為母體實質效益之呈現。

## 二、為何水表口徑需要縮小？

### (一)給水設計隱含安全係數，致口徑偏大

欲使水表準確計量，必須挑選能夠「匹配」實際工作流量的口徑，若口徑過大，將對於小流量不靈敏或不感應，如圖 1。

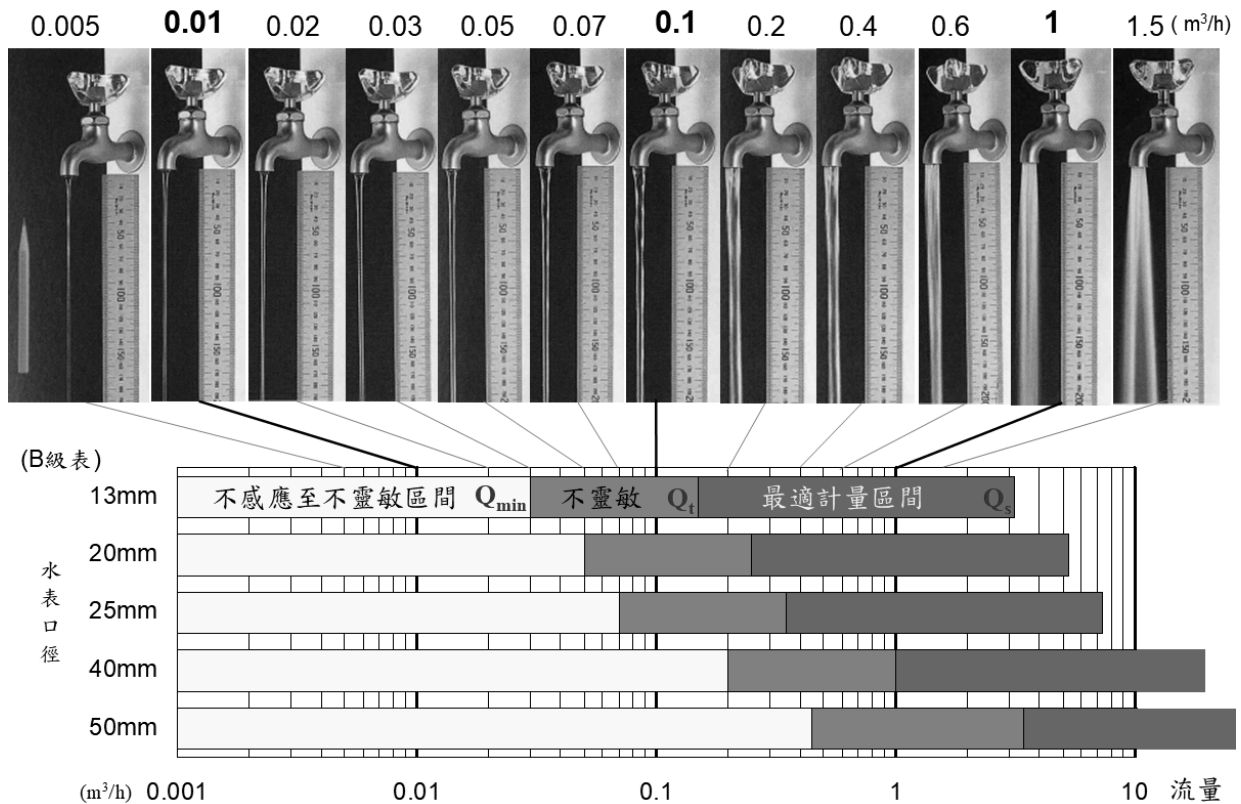


圖 1 各口徑水表的最適計量以及不靈敏、不感應區間

然而水表口徑的決定，都是居民尚未入住前，技師依照用水設備的水理計算式「概估」出來的口徑，國內外的公式均以滿足最大使用流量為目的，不僅過度偏保守，而且都使用安全係數加碼，所算出來的口徑太大，無法匹配實際流量，對小流量的靈敏度偏低，各國工程師們均有同感。

**(二)國外水公司口徑過大的問題**

近二十年來，隨著 IWA 及 AWWA 推廣產銷分析表，各國水公司為了降低產銷表的帳面損失 (Apparent Loss)，陸續著手進行調查，才發現水表口徑匹配不良的問題十分嚴重。

因此各國除了新建物水表口徑設計的

Meter Sizing 規範之外，也開始有研究人員及工程師倡議 Meter Re-sizing，或者 Down-sizing (口徑縮小)，亦即水表裝出後，再回頭檢視尺寸的合理性，進行「口徑管理」，動態調整使用中水表口徑，以避免俗稱「地磅量羽毛」、「大馬拉小車」等度量衡匹配缺失。

**三、哪些表要縮小？怎麼縮？**

各國對於需要口徑縮小的對象，都有不同的方法，大部分是透過抄表度數分析，當用水量低於一個門檻就進行縮小。也有水公司安裝紀錄器，或分析 AMR 回傳值，以更細緻的數據製作流量譜，比對水表最適流量區間，逐一診斷是否縮小水表尺寸。

**(一)巴西聖保羅，1997**

數量	口徑適當	口徑過大	口徑過小	
354	99 (28%)	248 (70%)	7 (2%)	試辦計畫
26700	NA	22695 (85%)	NA	全面調查

**(二)美國4城市，2004**

口徑	數量	口徑適當	口徑過大	口徑過小	未知
25mm	9976	1349	8303	78	246
40mm	1604	211	1224	160	9
50mm	2471	633	1679	33	126
75mm	199	26	164	5	4
100mm	121	19	96		6
150mm	85	36	42	6	1
200mm	42	25	17		
250mm	5	5			
合計	14503	2304 (16%)	11525 (79%)	282 (2%)	392 (3%)

國外許多水公司並沒有「基本費」或者不依照水表口徑收取，因此，口徑縮小後並不會短收基本費，應用上比較不受限制，口徑縮小的對象由總表、直接表、到分表都可執行。

並非所有的水表都適合縮小，北水處因地制宜，選擇符合縮小原則的水表，並非全面縮小口徑，以下為挑選原則及施作方法：

### (一)間接供水的總表

- 1.總表沒有基本費：北水處的直接表、分表都按照口徑收取基本費，口徑愈大基本費愈高，唯獨總表不收，如果不分水表類型全面縮小口徑，損失的基本費將很可觀，即便小口徑的水表比較便宜，而且準確度較高，可多計收一點水量，但仍抵不上基本費的損失。因此 165 萬只水表中，只有 12 萬只總表可以縮小。
- 2.總表後有水池水塔：為「間接供水」給前述蓄水池，再經過分表由水龍頭出水，這些間接供水的用戶，用水設備的瞬間出流量與總表口徑無關，只與水塔高程及下水管口徑有關，總表很適合縮小。即便少數

用戶將一樓或地下室的水池填平，但頂樓仍有水塔，如果連水塔也拆除，形成直接供水，則不建議縮小總表口徑（圖 2）。

### (二)計量效能不佳的總表

為了利用抄表數據辨識表現不佳的總表，2011 年北水處研究人員透過建物「總表度數」與「分表度數和」兩個可互相勾稽的數據，發展了「宏觀指標」數學模型，並將 2004~2010 年數百萬筆的抄表數據，計算得出宏觀指標後，填入二維度座標（詳圖 3），便能以視覺化的展示，快速辨識數據統計特徵。很明顯在此座標平面中，計量效能不佳的總表均集中在左下方（圖 3 為 40mm 總表的計量效能展示圖，而 25mm 及 20mm 口徑的總表也各有一張，為了方便說明，本文僅列出 40mm 總表的圖形）。宏觀指標的計算方式詳圖 4。此外，為了避免總表口徑縮小後，水池補助不及，因此另外設定兩條安全門檻，排除總表度數過大、分表用戶過多者，最後，凡落於圖 3 梯形面積內的總表，均可進行口徑縮小。

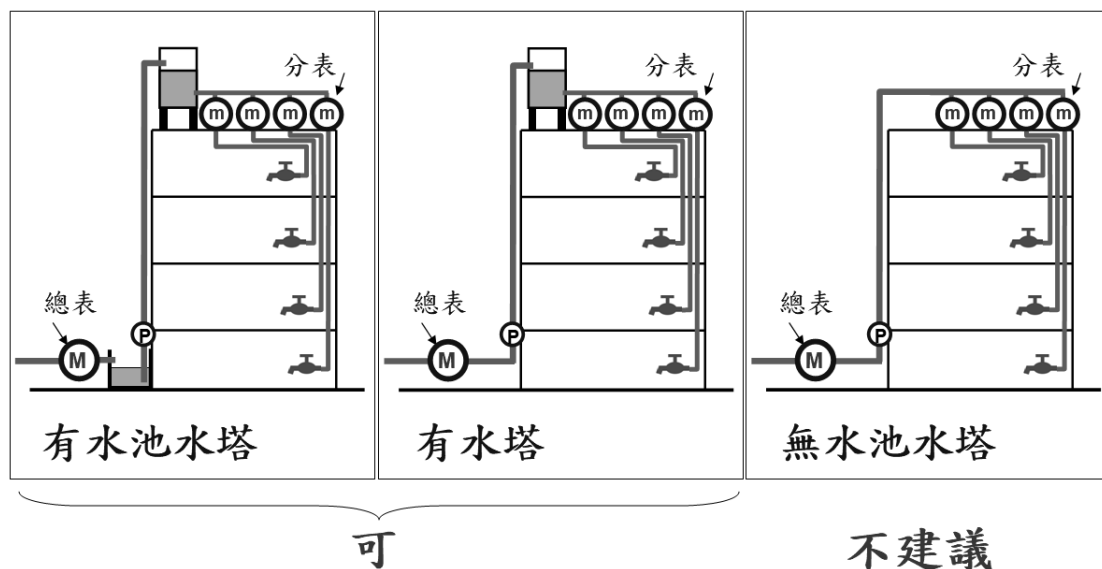


圖 2 北水處挑選間接供水的總表進行口徑縮小

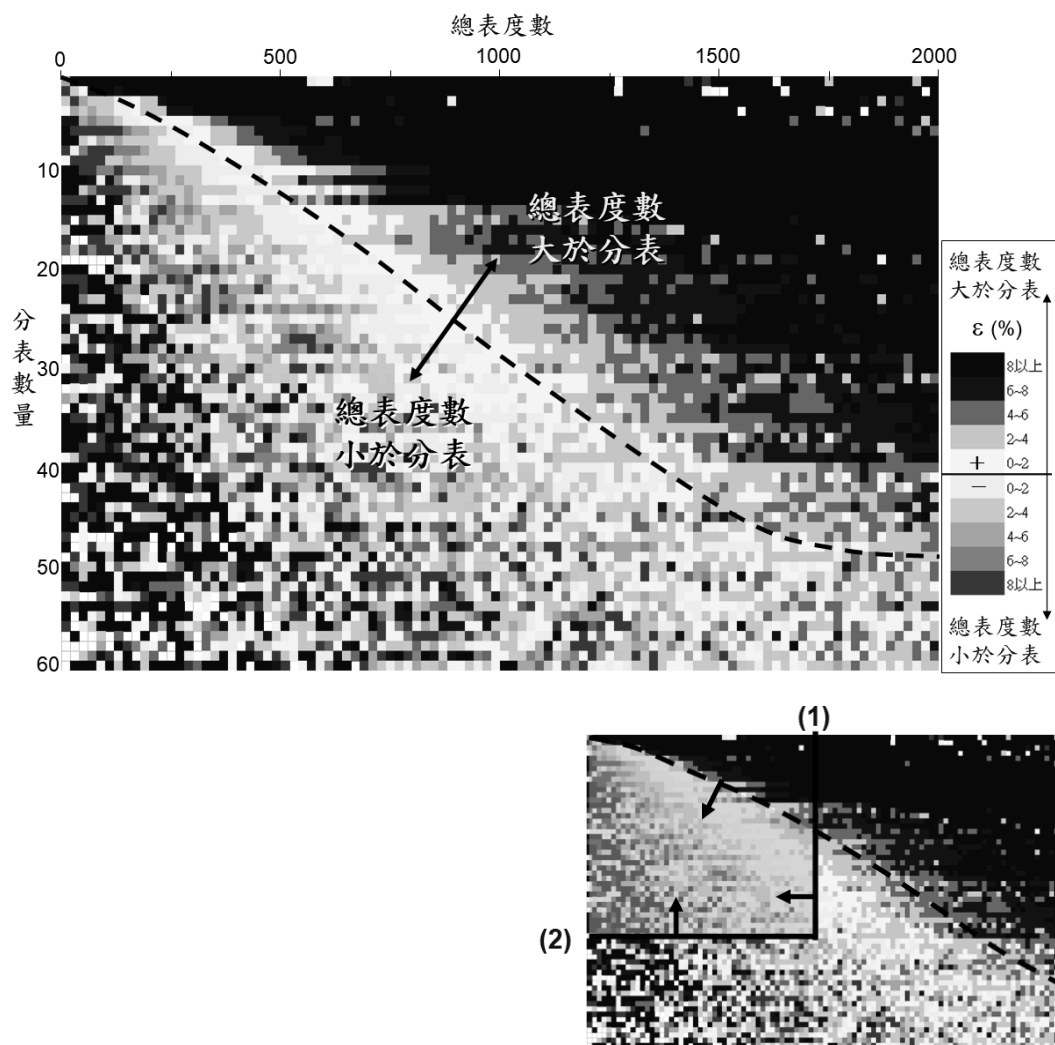


圖 3 二維度座標（總表度數、分表數量）找出計量效能不佳的總表

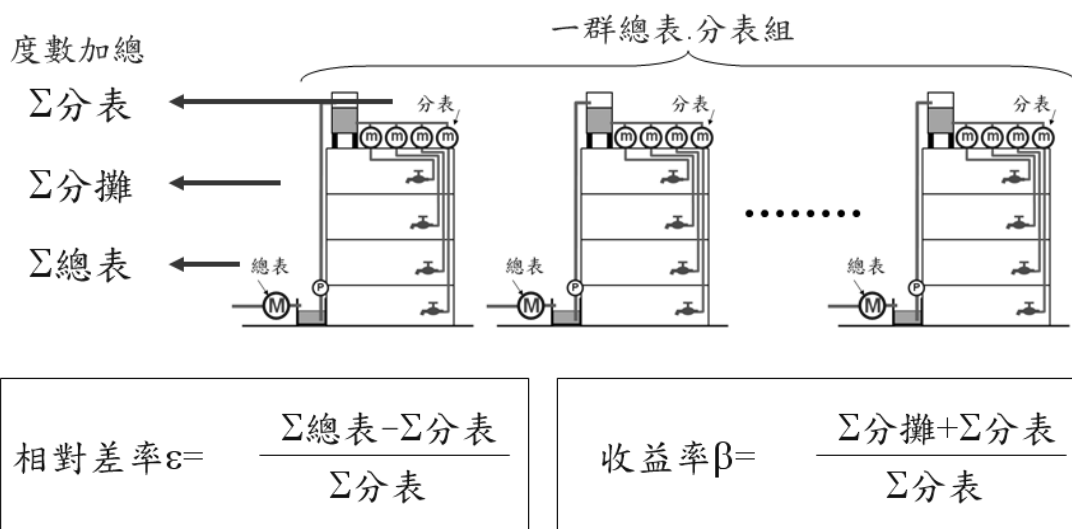


圖 4 以抄表度數計算宏觀指標：「相對差率」、「收益率」

圖 3 二維座標中總表計量度數低於分表和，並設定兩個安全門檻：(1)總表度數不宜太大、(2)分表數量不宜太多。落於此範圍內的總表即進行口徑縮小，圖 4 計算的宏觀指標數值「相對差率」色階圖，其值愈大，則總表的度數大於分表和愈多，俗稱「總表分攤」建物。然而，在上述梯形面積內，相對差率大多為負值，甚至有的逼近-8%，代表建物的總表度數小於分表度數和，俗稱「低總表和」建物。北水處低總表和建物約佔 45%，以二維座標可輕易找出低總表和密集的區間，極為方便。

### (三)使用「縮接頭」縮小口徑

如果全面將上述篩選出的數萬只水表一次更換，固然能夠立刻看出口徑縮小的成效，然而許多水表並未達到 8 年的使用年限，甚至有許多水表才剛剛安裝不久，就被迫改裝成小口徑，而且換下來的表堆積如山，不利倉儲管理。因此必須搭配水表的使

用年限，搭配年度換表作業，於水表屆齡時，順便縮小口徑。按照這樣的作業方式，每年縮小一部分計量效能不佳且屆齡的總表，整個口徑縮小工作將於 7 年完成。

為方便換表廠商作業，北水處於每年屆齡的水表清冊註記需口徑縮小的總表，並提供「縮接頭」予廠商，便可事先將水表兩端鎖上縮接頭，如同穿上靴子，再整批攜出到現場，按照清冊換表，讓水表更新、口徑縮小兩件事情一次做到位(如圖 5)。

對於已經縮小一級的總表，即便其計量效能不良，相對差率仍為負值，但北水處不會再縮小其口徑，因為造成「低總表和」的問題可能另有成因，再縮小口徑恐將造成水池進流量過低，甚至尖峰用水期間水量不及補充。如果縮小之後，用戶反映用水量不足，只要將縮接頭與水表拆下換回原口徑即可，不需拆換管線。

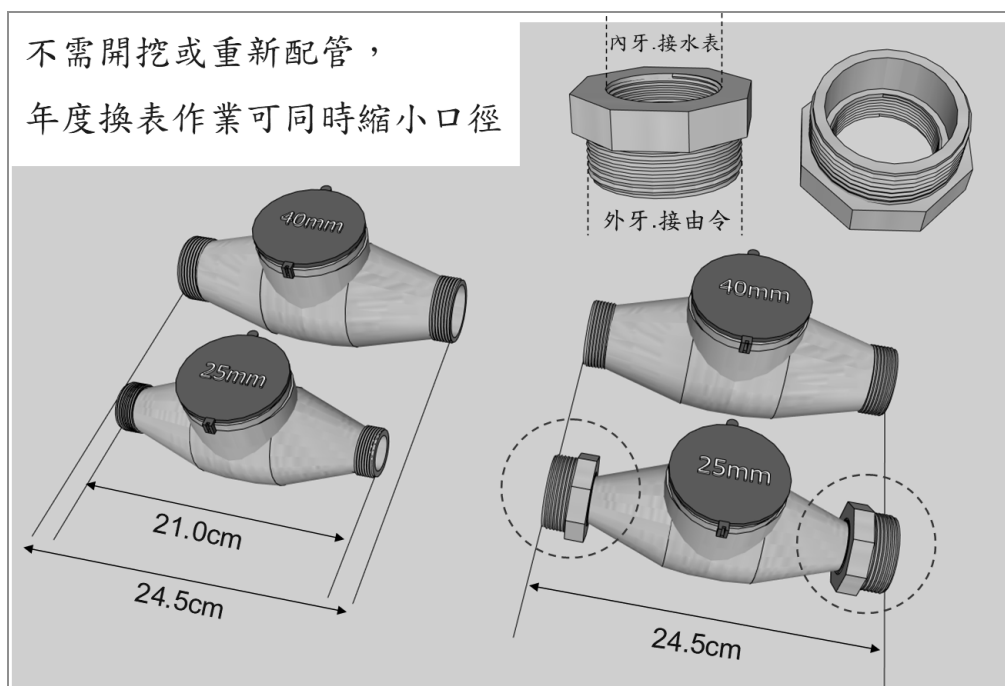


圖 5 北水處使用「縮接頭」由年度換表廠商同時換表及縮小口徑

#### 四、口徑縮小的效益

北水處近四成的總表縮小一級口徑之後，預期可帶來三項效益，而且這些效果是持續存在的，並不會發生效益衰退的問題，因此北水處才會持續推行口徑縮小的政策迄今：

##### (一)減少帳面損失

1. 營收增加：比對總表口徑縮小前後的整體分攤增量」比率，就可量化總表準確度提升所帶來的水量收益為何。詳圖 6 右上表格，北水處 7 年來一共縮小 20mm 總表 7,135 只、25mm 總表 31,355 只、40mm 總表 9,585 只。其中以縮小 40mm 的效益最

，總表水量增加了 0.69%、縮小 25mm 次之，增加了 0.61%，然而縮小 20mm 卻沒有明顯效益，整體水量增加比率為 0.56%。

如果將原口徑及口徑縮小後每個總表的「相對差率」分別計算出來，並以直方圖呈現其大數據的分布，詳圖 6 左方，以 40mm 總表為例，可看出原口徑分布圖較為對稱，近似 Cauchy 分布，口徑縮小後則稍有向右移動變形的趨勢，將兩個圖形疊合起來，就可觀察到口徑縮小讓「低總表和」的數量減少，所以分布圖左翼退縮，而且「總表分攤」數量增加，右翼增長，這樣一增一減之下，才讓口徑縮小後的水量收益增加。

#### 總表「口徑縮小」成效分析

以 100~106 年 40mm 以下總表口徑縮小前後，約 265 萬筆抄表數據（約縮小了 4.8 萬只）進行分析

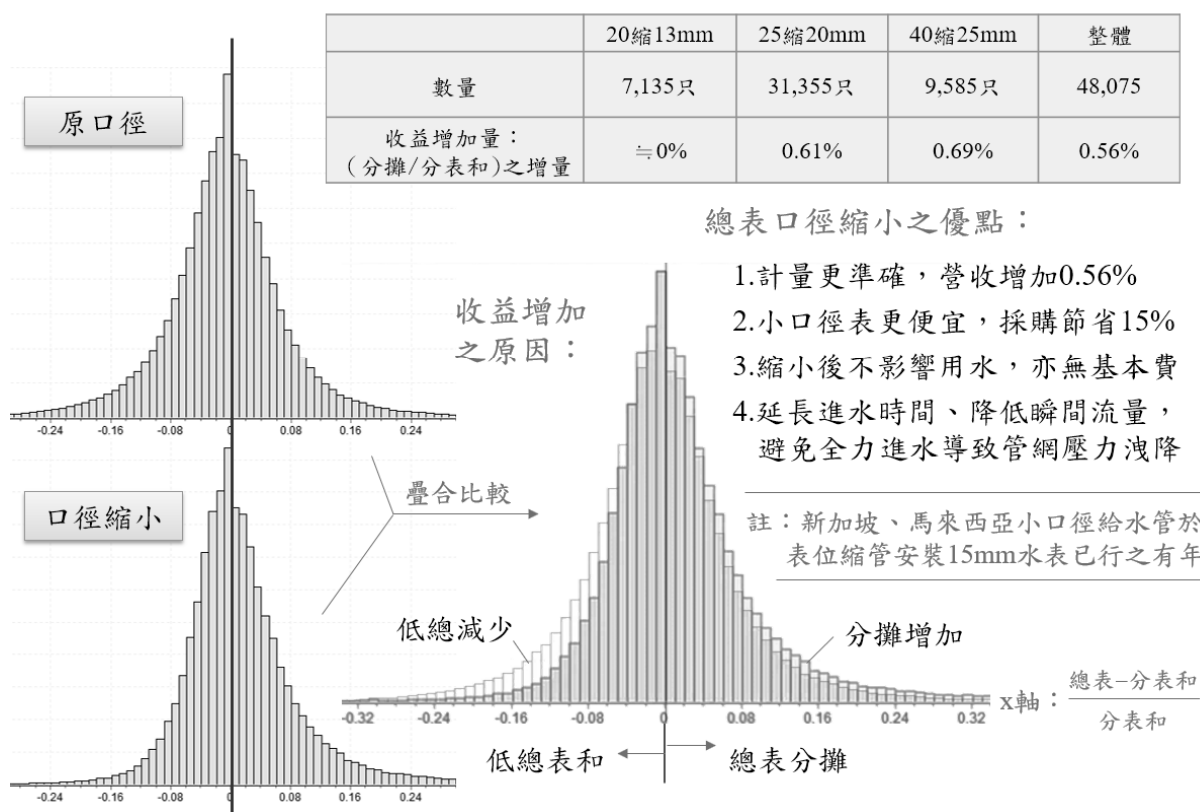


圖 6 小口徑總表縮小前後之水量收益差異與成因

## 2.降低轄區 NRW：

北水處 2017 年轄區日配水量平均約為 182 萬 CMD，其中通過總表的水量約為 65%，佔 118 萬 CMD，如果總表計量準確度微幅提升 0.5%，每年將可減少無收益水量 215 萬噸，而且更可直接反映在水費收益的增加。由於總表數量僅佔全部水表數量的 7.3%，數量很少，計量的水量卻很多，絕對是降低帳面損失的關鍵。

目前大規模實施口徑縮小標的為 40mm（含）以下的總表，縮小後的成效如上述，水量增加率為 0.56%。而 40mm 以上大口徑刻正採用不同的方式評估口徑適當性，以記錄器分析流量譜，逐一分析判斷每只總表，並等待水表屆齡，再進行口徑縮小，現階段尚無法分析最終成效。

但某些個案顯示大口徑總表縮小的效益極高，有些甚至增加 2%，因為大口徑水表對小流很不靈敏，當水池浮球閥閉合不良時的微量進水通常無法被感應，而且大口徑總表數量更少，水量更大，所以有必要逐一檢視約 4 千只大總表口徑的適當性，以期降低帳面損失，才能搭配管線汰換計畫消弭實際漏水量，雙管齊下，逐步讓轄區 NRW 減少。

## (二)降低購表成本

總表口徑縮小雖然能夠提升水量收益，但僅僅是個位數的百分比增量，平均不會超過 1%，所帶來的水費增加有限。最有感的效益或許是購表成本降低，因為口徑降低一級之後，採購的水表價格落差很高，以

北水處 7 年來口徑縮小的總結，平均水表成本約減少 15%，為兩位數的百分比降低，而且一旦縮小口徑之後，爾後將維持採購小口徑水表，成本的降低是長久不變的。

## (三)穩定管網壓力

大口徑水表進水瞬間流量較大，可以很快蓄滿水池，但缺點是會對管網壓力造成洩降，如果遇到尖峰時段，多個大表一起進水，壓力降低過鉅，將會影響直接表用戶的水龍頭流量，甚至使其熱水器無法點燃，雖然北水處透過遠端壓力回授控制加壓站，以變頻的方式拉高水泵轉速，增加出壓與水量，但變頻回授控制仍無法全面照顧管網每一吋區域，某些末端地帶仍時有水壓不穩的問題，而且瞬間進完水之後，沒有活水稀釋，自來水於水池內停滯時間變長，餘氯衰退的速度也比較快。

如果進行口徑縮小，將可限縮瞬間流量，讓水表附近管網壓力洩降的幅度降低（詳圖 7），並延長進水時間，可拉長水池內活水流動期、保持足夠的餘氯。唯有大規模的總表口徑縮小，集體效益才會展現，如同調整每個總表的持壓閥，將上游一次側的水壓微幅調高，讓尖離峰水量調度平坦化，壓力分佈也會更均勻。

## 五、結論與建議

本文分析北水處 7 年來大規模實施口徑縮小的數據，證實具有多項效益。然而北水處僅止於縮小無基本費的總表，無法擴大適用對象至分表、直接表，因此建議以下兩點：

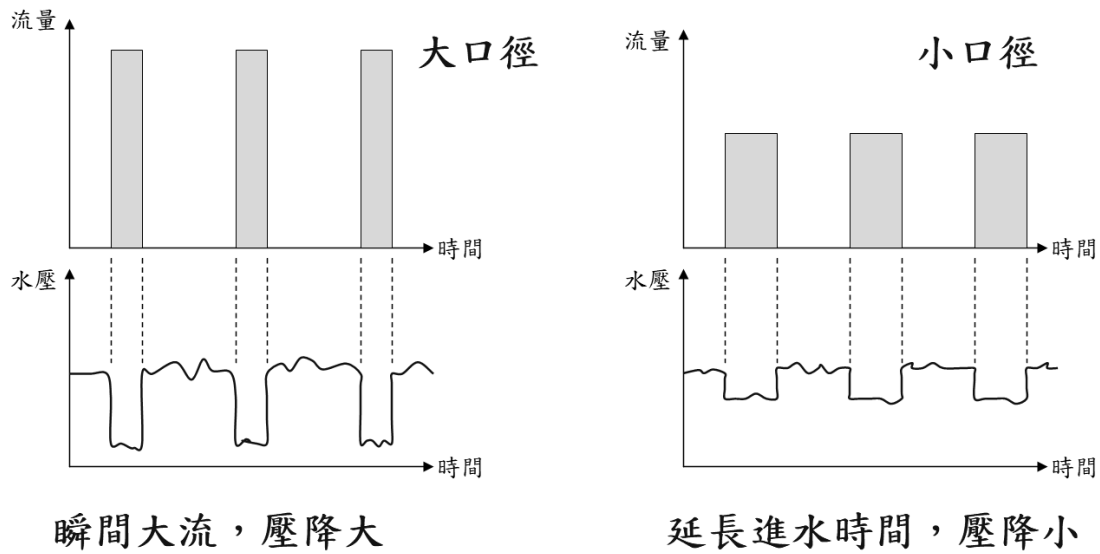


圖 7 口徑大小與壓降關係

### (一) 檢討基本費收取方式

目前北水處收取基本費的方式係按照水表口徑，當口徑愈大，基本費愈高，乍聽之下很合理，但用戶的供水量多寡，以水理分析的觀點，與用戶給水管的「管徑」有較大的關聯，反而與水表口徑較無關，因為給水管長度很長，所有壓力水頭損耗都來自管線部位，水表影響較小，北水處多年口徑縮小並未接獲民眾反映水量不足之情事，即為證明。此外，用戶申裝給水管的埋設費用都集中在管線，水表反而是由北水處免費提供。因此若以用戶出水量大小、民眾申裝外線費用多寡為基本費收取的依據，建議應改為用戶外線給水管「管徑」作為收取標準，較為恰當。

如此一來，北水處便可對所有種類的水表，包含總表、分表、直接表進行口徑縮小，而不擔心損及基本費收入，對於水表的 management、準確度提升、降低帳面損失、甚至增進水量交易的公平性…都有所助益。

### (二) 檢討給水設計規範

經考察新加坡、馬來西亞等地自來水事業，發現用戶給水管幾乎都縮管安裝小一號的水表，對於一般住宅，甚至清一色使用 15mm 最小口徑的水表計費，已行之有年。當地的給水設計規範與臺北有明顯差異。

雖然北水處於 2013 年已修訂規範，調整建物進水管口徑設計公式參數，在設計階段就稍微縮小管線口徑，但仍存在著給水管徑與水表口徑必須一致的思維，每年新建物採用的水表依循既有給水設計規範，「口徑綁管徑」的概念不變之下，水表口徑偏大的問題將無法徹底解決。

探究臺北「口徑綁管徑」的歷史成因，可能是管線屬於隱蔽部位，在早年圖資尚未電腦化的年代，查詢不易，唯一能夠辨識管徑的地方，就是露出部位的水表了，因此透過綁定水表口徑，以茲辨識隱蔽管徑。

如果基本費未來改成按「管徑」收取，將是臺北修改規範的最好時機，建議屆時可

參考星馬一帶的給水設計規範，在建物新設之初，就將水表口徑縮小，由源頭一次解決水表口徑過大的問題。

### 參考文獻

1. Smith, J.: Impact of Large Meter Sizing on Unaccounted for Water. in: AIDIS-Interamericana FSAWWA 2004 Seminar.
2. Arregui, F., Cabrera Jr., E., Cobacho, R., and Garcia-Serra, J.: Key Factors Affecting Water Meter Accuracy, in: Proceedings of Leakage 2005 Conference, Halifax, Canada, September 2005.
3. 鄭國華、許敏能、黃欽稜、周家榮、蔡淑惠、蔡裕國。用戶總表計量效能之宏觀分析與計量效能提升對策，102年度中華民國自來水協會研究報告。

### 作者簡介

---

#### 黃欽稜先生

現職：臺北自來水事業處技術科 股長

專長：管網改善、漏水控制、數值分析、計量技術

#### 蔡裕國先生

現職：臺北自來水事業處技術科 水量計量測研究中心 實驗室主管

專長：流量計測、水表管理、不確定度分析、實驗室溯源

#### 曹俊傑先生

現職：臺北自來水事業處技術科 水量計量測研究中心 技術主管

專長：流量計測、表場儀控、自動讀表、技術研發

#### 施俊宏先生

現職：臺北自來水事業處業務科 三級管理師

專長：水表管理、水費帳務、帳損控制、自動讀表

# 太陽能溫室乾燥系統應用於淨水污泥減量潛力探討

文/顏嘉亨、黃盟舜、洪仁陽、李丁來

## 摘要

污泥乾燥在自來水管理中扮演一項重要的角色，通過該程序可以有效減少待處理污泥的體積，進一步減少運輸和代處理的費用，尤其在淨水污泥代處理費用日益昂貴的情況下，更顯得污泥減量的重要性。但熱處理相對是一種耗能的過程，因此，如何有效率的利用自然的太陽能進而替代機械乾燥方法，則是一直以來各國研究的重點。目前，溫室設計被認為是較為適切的太陽能乾燥系統，透過溫室房中熱能的累積，能有效降低污泥的含水率，縮短乾燥時間，還可以避免臭味和粉塵的逸散，以及降低再被淋濕風險。而經過太陽能溫室系統乾燥後污泥之含水率通常可以降至 30% 以下，且乾燥時間亦能控制在 30 天內，相比於傳統乾燥床至少 2 個月以上之乾燥期，更能夠有效地利用土地面積，提高污泥乾燥效率。同時，隨著不同地域的氣候特性，亦可以結合多種輔助熱源，進一步提升污泥的乾燥效率。對於國內而言，中南部縣市常年日照充足，太陽能溫室乾燥技術確實具有其應用之潛力。

關鍵字：污泥減量、乾燥、太陽能、溫室

## 一、前言

水是人類生活的關鍵命脈，其與社會和科技之發展息息相關，故隨著世界人口急遽增加，以及科技進展一日千里，造成水資源的使用量也在同時遞增。在水資源的消耗下，廢(污)水處理則是其後續所衍生的必要過程，而該過程中所產生污泥之去處亦是同

時將面臨之問題。污泥處置已是國內近來重要的環境議題之一，相關資料指出<sup>[1,2]</sup>，國內之淨水污泥、下水污泥及工業區污泥之日產量分別約為 450、280 和 260 公噸，污泥產量總和幾近為 1,000 公噸/日。雖然現行之廢(污)水處理程序針對出水水質已有極大的改善，但其所衍生之廢棄物通常多含有病原體或是有害物質，若處理不當，作為副產品之污泥仍可能會對環境構成不利的威脅，故污泥管理一直被認為是全球污水管理的一項重要挑戰<sup>[3,4]</sup>。

淨水污泥乃屬於有機質含量較低之無機污泥，其性質與產量會隨著水源、添加藥劑與處理單元的不同，而有所差異，但一般而言，各淨水廠的污泥品質相對穩定。目前，國內淨水污泥多由淨水廠自行招標並交由廠商進行代處理，水泥、培養土與紅磚為最主要的再利用方式。而每公噸淨水污泥之再利用代處理費則視投標廠商數、淨水污泥之化學組成及淨水場地理位置等，介於三百至一千元不等，成為自來水營運主要的支出費用，且少數地理位置較偏遠之淨水場，有時會遭遇無廠商願意投標代處理之現象，而使得淨水污泥代處理費用更加昂貴<sup>[5]</sup>。故雖然淨水污泥沒有衛生掩埋的議題，但若能減少污泥產量，仍可減少部分營運成本，或是減少清運頻率，提高代處理廠商之意願。簡而言之，自源頭予以「減量」，即減少待處理之污泥量，為最根本且係現階段較為可行之手段。

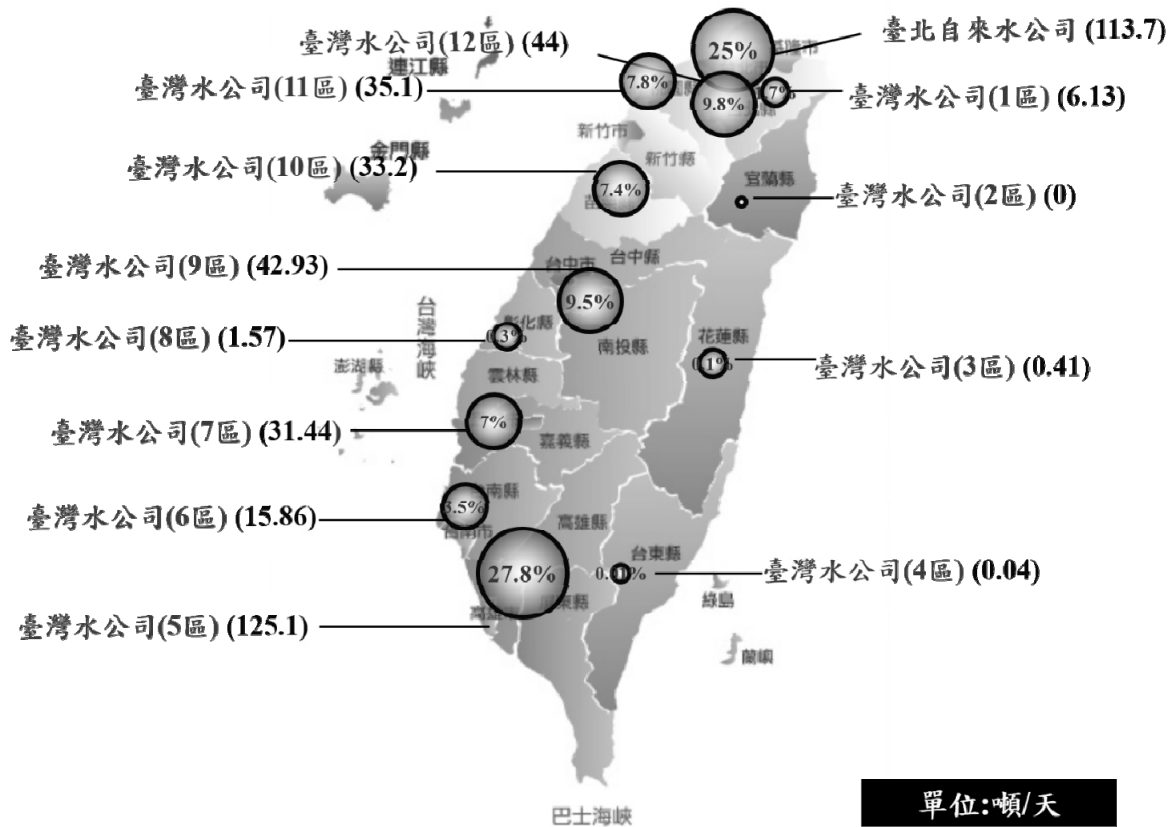


圖 1 國內淨水污泥產量及分佈<sup>[2]</sup>

就污泥減量而言，「乾燥」為值得推廣的處理方法之一，污泥乾燥是透過加熱的行為使得水分蒸發，進而降低污泥中的含水率。根據供給熱源的方式，可分為自然乾燥與機械乾燥；若以乾燥方法而言，則可歸類為對流、傳導及太陽能。根據「污水下水道第五期建設計畫」<sup>[6]</sup>，國內 10 處污水處理廠將於 109 年度前增設完成污泥乾燥設備，預計減少污泥量 208 公噸/日，減量效果達 58%，顯示透過乾燥方式來進行污泥減量是現階段相對可靠之方針。雖然污泥乾燥係屬於一種處理過程穩定，且對環境二次污染程度較低之處理方式，但熱處理相對是一種耗能的過程。以機械乾燥而言，其過程勢必需要消耗額外的燃料與電力，儘管能透過後續

節省運費或委託處理費，或是能應用部分厭氧程序所產生之沼氣熱能，亦僅是有望達到收支成本之平衡。而自然乾燥方面，常見的則為傳統乾燥床，透過陽光的照射達到乾燥之目的，操作成本低廉，但受到土地面積的侷限以及鄰近民眾輿論之影響，故推廣相對不易；近年來，太陽能污泥乾燥技術逐漸受到重視<sup>[7,8]</sup>，係因透過太陽能溫室房的設計，搭配適當之污泥翻滾運作，能夠大幅度提升污泥乾燥之效率，亦可減少所需的土地面積與來自民眾的負面觀感。

## 二、污泥乾燥技術

以傳統的污泥乾燥程序而言，根據供給熱源的方式，可分為自然乾燥與機械乾燥，

自然乾燥泛指透過曝曬手段達到污泥乾燥目的方法；而機械乾燥則係指透過機械設備利用能源轉換的方式給予污泥熱能。雖然機械乾燥設備佔地甚小，且處理時間較短，但卻會消耗大量電能，除非因污泥清運成本極高，以及處理場址面積確實有限，否則相對不建議使用。而隨著科技的進步，污泥乾燥領域亦不斷的進行開發新的技術與設備，故大多不再以熱的來源方式來進行區分，而是以乾燥方法的不同來進行分類，主要分為三種模式[9]：對流乾燥(Convective drying)、傳導乾燥(Conductive drying)及太陽能乾燥(Solar drying)。儘管如此，前述多種方法並非只能單獨存在，皆可自由的進行技術結合或搭配，用以達到污泥減量最佳化之目的。詳細內容分述如下：

### (一)對流乾燥

對流乾燥係指利用熱空氣透過直接接觸的方式，將污泥中的水分蒸發。而產生熱空氣通常可藉由燃料烘烤、蒸氣、或電熱等方式，其中，以蒸氣最為泛用，係可以結合廠內之廢熱，但以水分蒸發率而言，則以電熱方式較佳<sup>[10]</sup>。常用的機型包含：旋轉窯乾燥機(Rotary dryer)、箱型乾燥機(Cabinet dryer)、帶狀乾燥機(Conveyer/Belt dryer)、流體化床乾燥機(Fluidized-bed dryer)、氣流乾燥機(Flash dryer)等。而前述乾燥設備每移除 1 公噸水蒸氣的能耗通常介於 700-1,400 kWh；若以脫水速率而言，則以氣流乾燥機較差(0.2 kg/m<sup>2</sup>-h)，而帶狀乾燥機較佳(30 kg/m<sup>2</sup>-h)<sup>[11]</sup>。

### (二)傳導乾燥

類同於對流乾燥，其熱源可以來自於燃

料、蒸氣、或電熱等，但主要差異在於傳導乾燥係藉由加熱乾燥器與污泥的接觸面進行熱量的傳遞，以間接加熱的方式進而蒸發水分。一般而言，熱傳導式較熱對流式所引起的粉塵較少，但所排出的氣體濕度稍高，且污泥若黏度高時有不易清除之困擾。常用的機型包含：槳葉攪拌乾燥機(Paddle dryer)、轉鼓乾燥機(Drum dryer)、盤式乾燥機(Disc dryer)等。以前述設備而言，轉子(Rotor)型式的不同為設備間主要的差異，係因其設計對污泥傳輸之影響具有極重要的決定性因素。傳導乾燥設備每移除 1 公噸水蒸氣的能耗通常在 800-1,000 kWh 之間；而脫水速率則介於 7-35 kg/m<sup>2</sup>-h<sup>[9]</sup>。

### (三)太陽能乾燥

太陽能乾燥即是指透過日曬的方式，利用熱輻射將熱量傳遞至污泥進而減少其含水量，通常會以「露天」及「溫室」兩種模式來進行該乾燥行為。露天方式即是最傳統的曬乾床，一般係將 20-30 cm 污泥層鋪放在砂床(或其他多孔介質)上進行曝曬，而砂床底下則通常設有排水管，且具有 1-5%的坡度，適合於小型廠以及無土地成本考量之情況下使用，操作成本低，但有乾燥期較長和容易受氣候和環境影響之缺點；溫室方式則相對在近年來受到關注，係利用太陽的短波輻射穿透玻璃後(見圖 2)，會轉換成長波輻射且無法離開室內，使得大量熱能被累積形成溫室，進而利用該熱量移除污泥中的水分<sup>[12]</sup>。太陽能溫室充分的利用了太陽輻射能，有效地提高了乾燥的溫度，進一步縮短了乾燥時間，於日照充足的情況下，相對於曬乾床能在相同時間內處理更大量的污泥，且含水率更低。

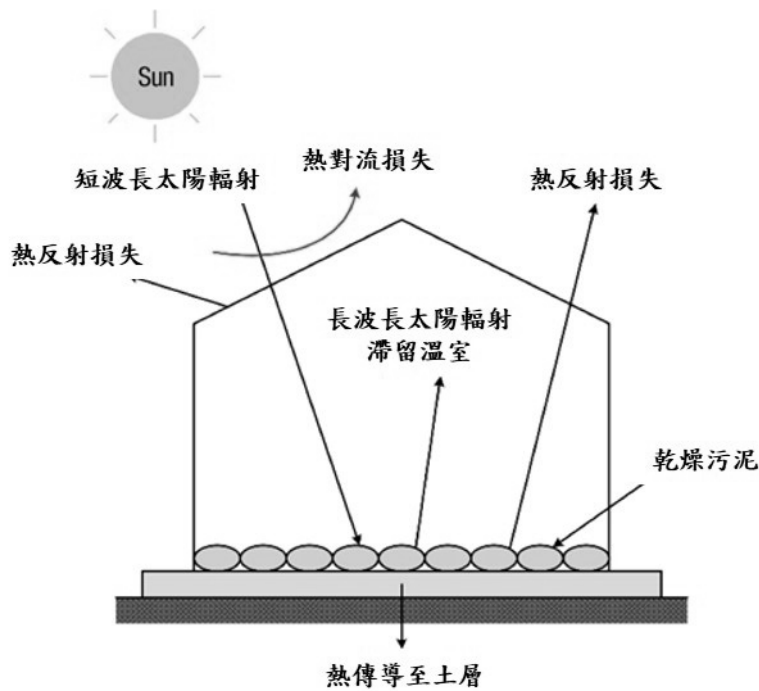
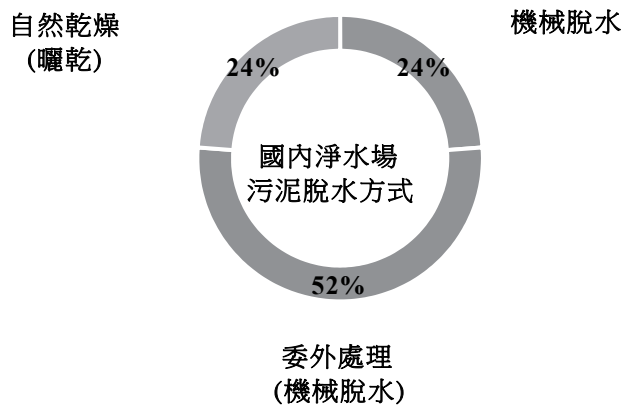


圖 2 溫室乾燥原理<sup>[12]</sup>



資料參考：暖暖場、龍潭、大桶、平鎮本廠、平鎮調節池、石門、新竹第一、新竹第二、員峽、豐原第一、林內、坪頂、牡丹、路竹、成功、澄清湖、鳳山、拷潭、屏東、北斗營運所下壩、板新，共 21 座淨水場。

圖 3 國內淨水場污泥脫水方式

以國內淨水污泥現況而言，污泥含水率大多介於在 50-70%，污泥處置多數透過委外處理，其中，以自然乾燥方式進行污泥脫水之淨水場於國內僅有 24% (見圖 3)，剩餘皆以機械脫水為主。儘管自然乾燥屬於較為節省污泥處理成本之技術，仍無法有效地普及

於國內淨水場，係因國內地狹人稠，土地面積相對難以取得，故曬乾床技術的運用較為侷限。近年來，國外已逐漸針對污泥曬乾床技術進行改良，其方針大多為傾向更有效率地運用日光，即使用太陽能溫室技術<sup>[8, 9, 13]</sup>，使曬乾床於相同日曬時間內能夠處理更大

量的污泥，減少處理時間與土地使用量。相對於大部分的國家，國內常年擁有充足之日照時間，屬於相當適用太陽能溫室技術之地區，若可以有效率地使用日光，則可以節省不必要的能源消耗。

### 三、太陽能溫室乾燥系統

#### (一) 太陽能溫室乾燥系統的類型

對熱帶和亞熱帶國家而言，由於日照時間相對充足，故太陽能乾燥系統屬於一種具有吸引力與潛力的應用技術。雖然以太陽能進行污泥乾燥確實是一種有效降低乾燥成本之替代程序，但隨著早晚和氣候所造成的溫度變化，其乾燥行為並非恆定不變，因此，如何有效地利用陽光，即是太陽能乾燥系統最重要的設計因子。目前，溫室設計被認為是較為適切的太陽能乾燥系統，透過熱能的累積，能有效降低污泥的含水率，還可以避免臭味和粉塵的逸散，以及降低污泥中

的病原體<sup>[7,13]</sup>。若以污泥乾燥而言，溫室乾燥技術亦可分為「直接型太陽能乾燥系統」與「複合型太陽能乾燥系統」，其差異點在於直接型乾燥系統主要僅以太陽能作為污泥乾燥之熱源；而複合型乾燥系統則除了原有的太陽能系統外，同時，亦結合了其他的輔助熱源，並以同步或交叉使用之方式進行污泥乾燥，達到加速污泥乾燥之目的。

直接型太陽能乾燥系統係指單純使用溫室房進行污泥乾燥之程序，僅搭配風扇或其他通風設備進行空氣流通，並輔以機械翻土設備於定時間進行污泥翻滾與運輸(見圖 4)。SUEZ 公司開發的 Heliantis™ 太陽能溫室乾燥系統則指出<sup>[14]</sup>，其乾燥系統可以針對多種類型之污泥，並將固體物濃度調整至 35-85% 之間，且轉換成無臭的顆粒狀污泥，而後續可根據污泥特性選擇作為農業再利用或是進行焚化。

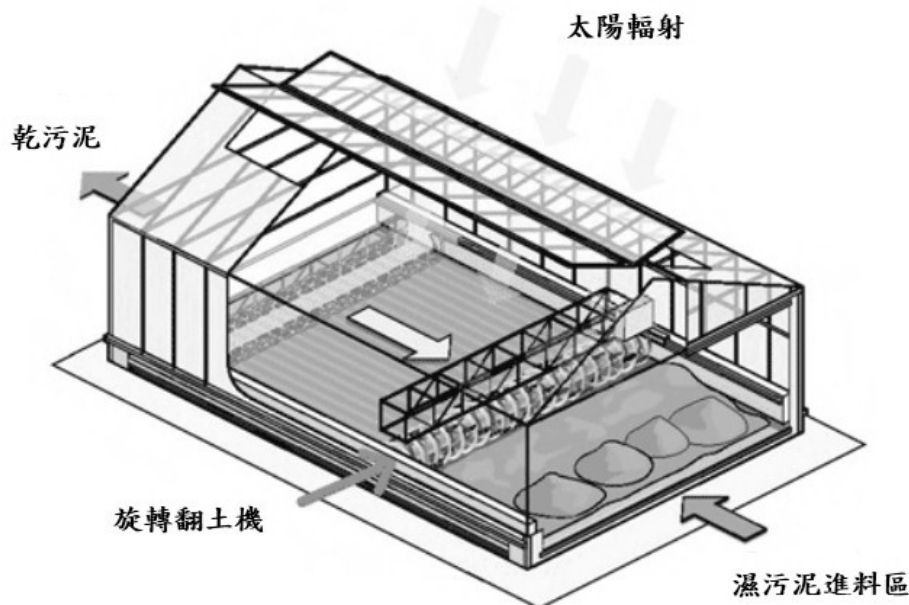


圖 4 太陽能溫室乾燥系統示意圖<sup>[14]</sup>

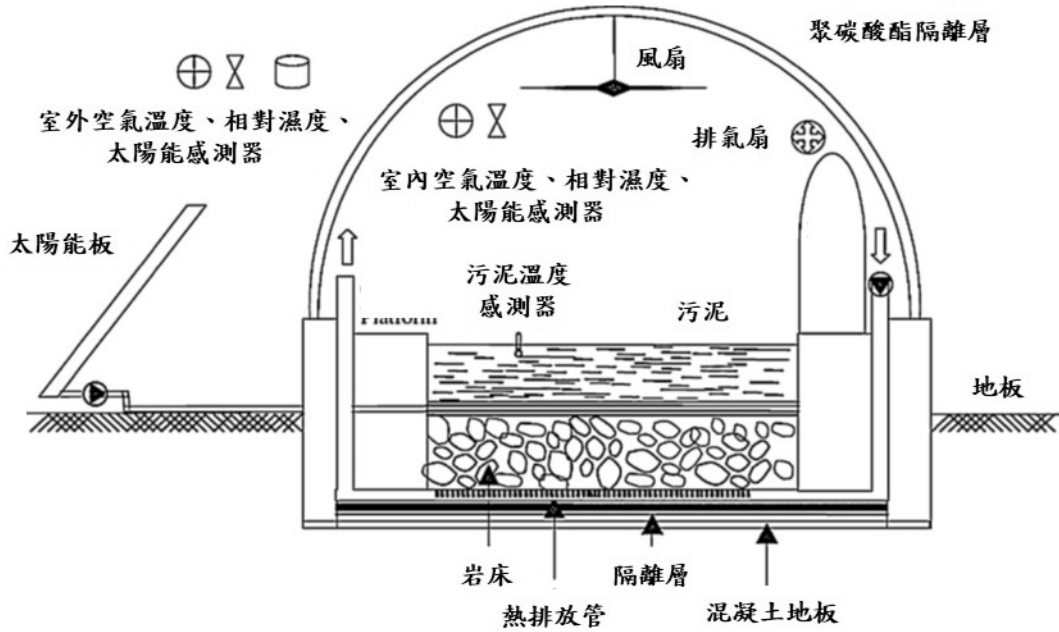


圖 5 太陽能溫室乾燥系統結合加熱地板示意圖<sup>[13]</sup>

複合型太陽能乾燥系統乃是溫室房搭配其他熱產生設備進行污泥乾燥之程序，例如：熱泵、紅外線燈、太陽能熱水器加熱溫室地板、利用岩床儲存熱能等<sup>[7, 13]</sup>，而最常見的型式為加熱空氣和加熱地板的運用，加熱空氣主要是透過空氣加熱器，主動將熱風導入溫室房，達到縮短污泥乾燥時間之目的；而加熱地板則是以熱水管線或是其他導熱設備，將熱量儲存及釋放於鋪放污泥之溫室房地板下方，達到可同時於給予污泥外層與底層熱能之效果，提高污泥的乾燥速率。Salihoglu 等人<sup>[13]</sup>研究顯示，其利用相同規模之曬乾床與結合了加熱地板之太陽能溫室乾燥系統(見圖 5)進行比較性探討，發現當太陽能溫室系統之污泥達到含水量 20%時，曬乾床之污泥含水量僅降到約 60%，同時，太陽能溫室系統所能節省之污泥處置費用，相對於設備投資之成本可以於 4 年內達到收支平衡。

## (二) 太陽能溫室乾燥系統的實際應用

美國佛羅里達州中部設有一污水處理廠，其每日水處理量約 2,000-4,000 公噸，故每年需要花費 10 萬美元在污泥輸送和衛生掩埋的處置上，因此，為了降低營運成本，該污水處理廠設置了三座由 Parkson 公司開發的 Thermo-System® 太陽能溫室乾燥系統<sup>[15]</sup>。前述太陽能溫室乾燥系統除了包含基本的溫室房外，還具有兩個特別的設計(見圖 6)，首先，是在常見的前後排風系統外，在溫室房上方梁柱設置換氣風扇，其功能在於提供污泥上方的湍流空氣運動，以及通過強制對流來進行水分的蒸發；另外，則是小型機器人車輛的自動化運作，以遠端控制的方式負責污泥的翻滾，相對於傳統橫向的制式機械翻土裝置，能夠更自由地選擇位置進行污泥調整。而在設置太陽能溫室乾燥系統後，污泥的含水率能有效從約 85% 降至 25%，且整體的運行成本比原來脫水後運輸至衛生掩埋節省了 80% 的費用。

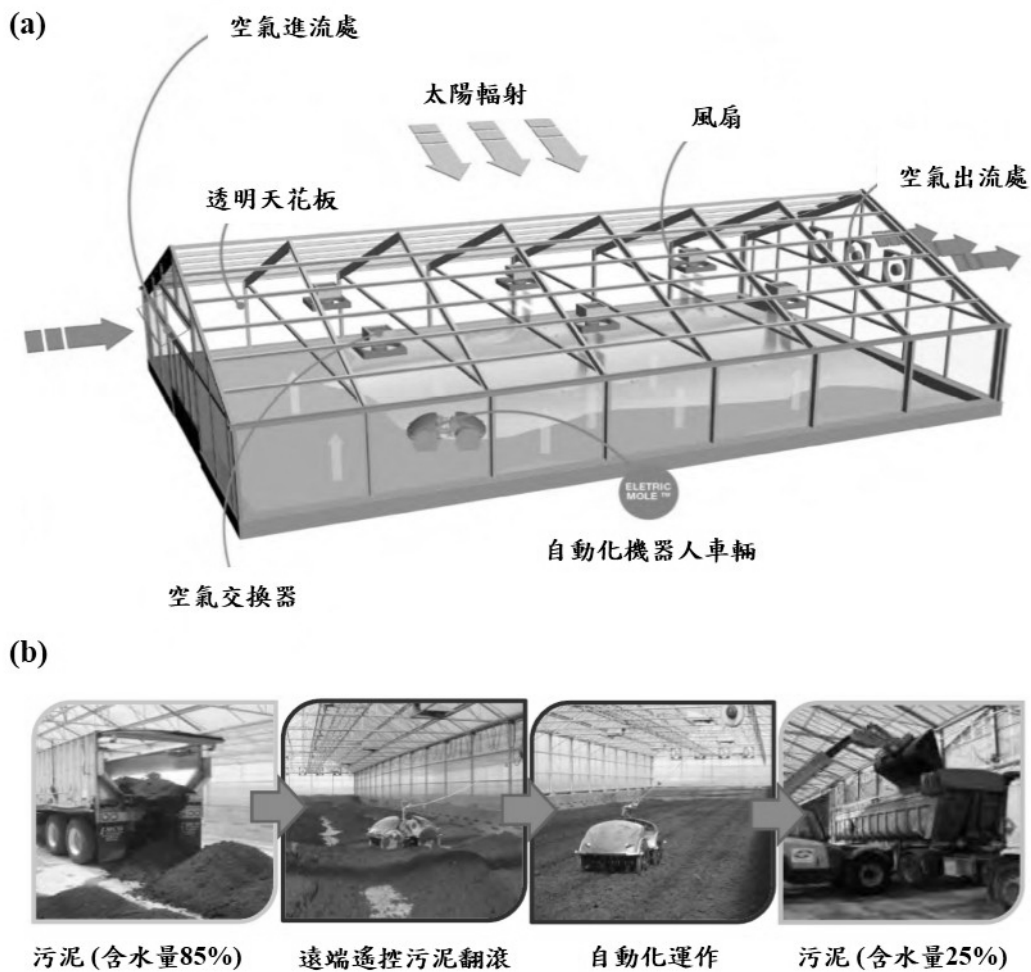


圖 6 Thermo-System®：(a)太陽能溫室乾燥系統示意圖，(b)機器人車輛工作情形<sup>[16]</sup>

儘管太陽能溫室乾燥系統能夠有效降低污泥的含水率，並減少處置成本，但氣候變化依然是該系統的限制因子，當日照時間不足或室外溫度相對較低的情況下，污泥的乾燥效率將會有所下降。Lei 等人<sup>[17]</sup>利用太陽能溫室系統進行污泥乾燥實驗，其研究結果顯示，以降低到相同含水率(44%)的基準上，夏季僅需要 125 小時，但冬季卻需要 550 小時，乾燥速率相差 4 倍以上。前述結果進一步表明了，若欲讓太陽能溫室乾燥系統能夠在多種環境變化下維持較高的運作效率，則具有加熱設備輔助的複合型太陽能乾燥系

統更有其優勢。

位於德國南部 Bayreuth 的污泥處理廠，其每日需處理約 300,000 人口當量之污泥，而原本係利用廢熱進行污泥乾燥，現今則透過 Huber 公司於 2016 年設置了複合型太陽能溫室乾燥系統(見圖 7)<sup>[18]</sup>，除了基本的溫室房設計外，其在於溫室房上方設置了多個加熱器，將附近沼氣廠的廢熱導引進入至溫室房中，進一步提高污泥乾燥的速率。此外，該太陽能溫室乾燥系統另有一特殊設計的污泥鏟刀 Sludge Turner SOLSTICE®，其具有二個呈現 S 型的旋轉鏟刀，能夠有效率運輸與

翻滾污泥，每小時可以處理高達 1,000 m<sup>3</sup> 的污泥，且污泥之含水率皆可以降至 40% 以下。

同時，Huber 公司亦提出適切的太陽能溫室乾燥系統操作策略，首先，在無加熱設備的輔助下，可建立污泥緩衝池，儲存冬季無法有效處理完的污泥，並於乾燥效率較佳的夏季進行清空；接著，若有廢熱提供的情況下，將可以根據季節變化選擇性將廢熱導引進入溫室，輔助提升工作效率；最後，若有土地面積的限制，則可以於溫室下方設置加熱地板，給予乾燥系統額外的熱源，盡可能在低能耗的條件下，進一步提升污泥的乾燥效率，換而言之，相對較高的水蒸發效率則意味著可以節省更多的空間。

### (三) 太陽能乾燥系統的設計重點

太陽能溫室乾燥過程雖然屬於一種滑動的準靜態程序，但仍需考慮溫室中的空氣組成和周圍環境的轉移現象，而在各種污泥乾燥的技術中，最重要的指標必定是其水分的蒸發率。溫室系統中，則以太陽輻射、室外溫度、通風速率、污泥乾基比例<sup>[7]</sup>，為影響水分蒸發率較為關鍵之操作參數。Slim 等人<sup>[19]</sup>曾於研究中指出，溫室的組成為屋頂、地面、溫室內的空氣和污泥，若欲設計一太陽能溫室乾燥系統，並建構其模型，則必須考慮以下因子：

1. 太陽輻射的能量需分成三份，首先，是太陽穿透溫室屋頂的能量；二者，被溫室屋頂材料吸收的能量；最後，則是反射出去溫室的能量。

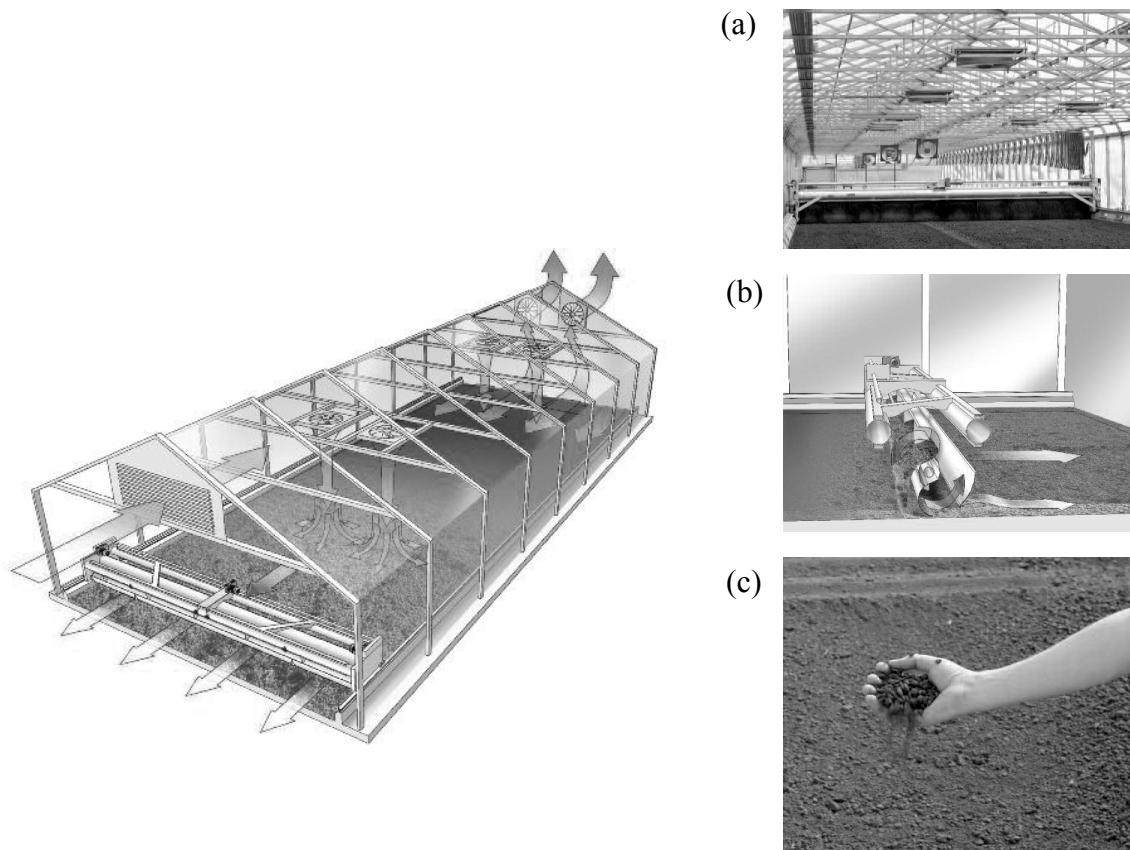


圖 7 Huber 太陽能溫室乾燥系統：(a) 實際照片，(b) 旋轉鏟刀，(c) 乾燥後污泥<sup>[18]</sup>

- 2.將屋頂建構成一維模型，能量主要是透過傳導來傳遞。
- 3.污泥和溫室內的空氣會透過對流來轉換能量。
- 4.溫室內的空氣和屋頂會透過對流來轉換能量。
- 5.戶外環境空氣與屋頂會發生熱對流。
- 6.假設污泥層與屋頂平行，考慮屋頂與污泥之間的熱輻射交換。
- 7.污泥底部與溫室底板的具有熱傳導效應。
- 8.需同時考慮污泥表面和內部的蒸發速率。
- 9.模型是屬於動態的。

另一方面，翻(鏟)土設備的控制亦是太

陽能溫室乾燥過程中重要的一環(見圖 8)，其提供了諸多功能，往往關係者溫室系統的運作效率，包含：(1)將污泥平均散布到整個溫室；(2)定期將較為乾燥的表面污泥和下層含水率較高之污泥進行交換；(3)防止不受控制的發酵現象；(4)通過混合維持穩定地乾燥品質和有效地進行成粒；(5)自動將已乾燥完成的污泥逐漸搬移至另一端<sup>[20]</sup>。此外，翻土設備的前進速度、轉筒的旋轉速度和鏟刀進入污泥層的深度皆可以進行調整，同時亦影響了整體的乾燥效率，通常根據不同地區氣候特性來修正，而一個由功能正常太陽能溫室乾燥程序所生產出來之污泥顆粒大小約介於 1-4 cm，污泥含水量可低於 40% 以下。

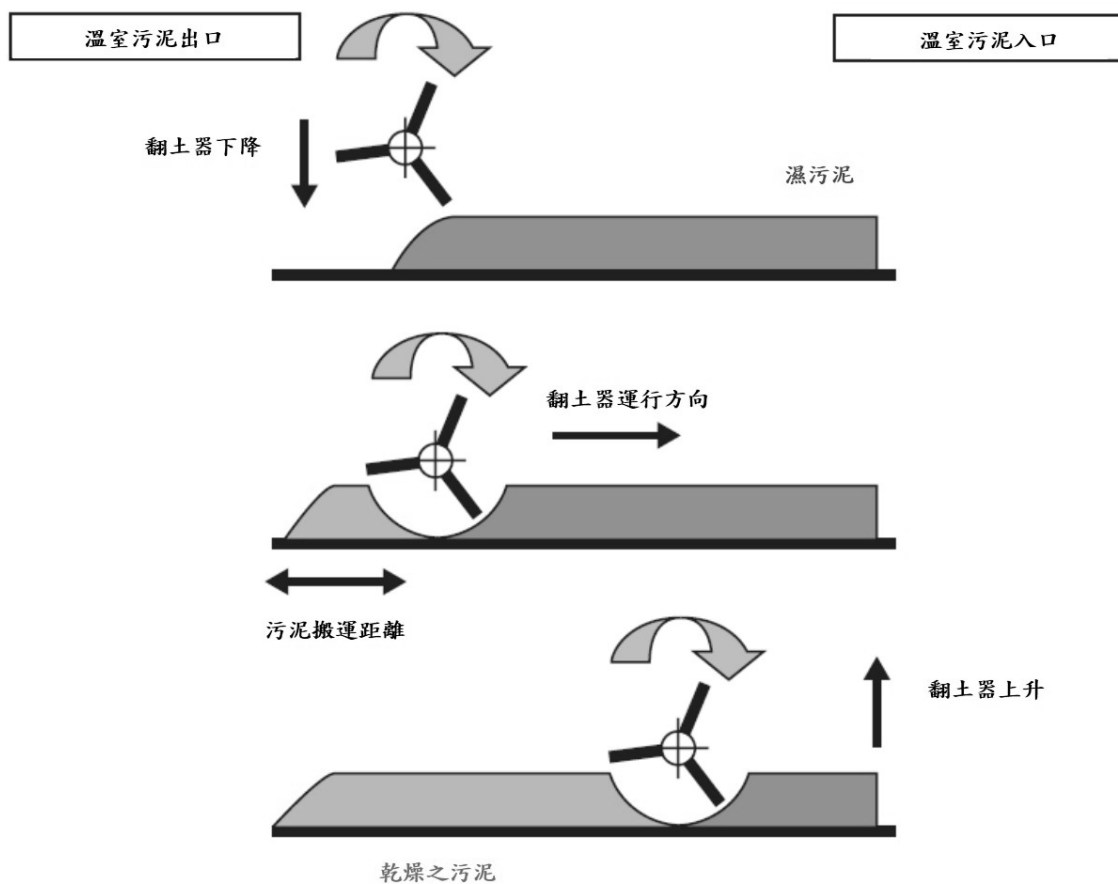


圖 8 翻土設備於太陽能溫室乾燥的運作原理<sup>[20]</sup>

#### (四) 太陽能乾燥系統的展望

以污泥減量的成本考量而言，使用自然的太陽能來進行污泥乾燥是相當具有誘因的，若選擇日照頻率充足的地區，所能節省的污泥運輸和處置成本是相當可觀的。即使在日照頻率較低的區域，亦可以透過存儲的方式，隨著日照量調整溫室之處理負荷；而若處於空間稀少的情況下，則可能需要其他輔助加熱裝置來提高乾燥系統的效率，例如：熱泵、紅外線燈、太陽能熱水器加熱溫室地板、利用岩床儲存熱能等。但若無廢熱或額外熱源的供應下，使用輔助加熱裝置將會導致部分操作成本的增加，因此，如何有效率地使用加熱裝置亦是太陽能乾燥系統重要的課題。

綜合而言，為了使得太陽能溫室乾燥系統的實施和運行能夠取得持續性的成功，溫室系統的智慧化控制將是未來發展的方向，主要係透過溫室內外的氣候感測器，給予各機械設備下達對應的指令，例如：調整排氣風扇強度進行溫室內之空氣循環、以及控制翻土裝置運行的速度與頻率、甚至進一步選擇啟動輔助加熱裝置的使用時機等，讓溫室持續保持在理想的乾燥環境。目前，太陽能溫室乾燥系統為世界公認的綠色技術之一，但在部分地域的氣候因素下依舊受到侷限，若能透過智慧化系統進行自動化控制，則可以利用最小的能耗，進一步將污泥乾燥效率最大化。相較之下，我國部分地區擁有得天獨厚的日照條件，使得太陽能溫室乾燥系統相對將具有乾燥效能較佳且操作成本低廉之優勢，同時，對比於國內衛生掩埋容量日漸減小和處置成本不斷的攀高的

情況下，太陽能溫室程序確實屬於一種極具應用潛力之污泥乾燥技術。

#### 四、太陽能溫室乾燥系統應用於淨水污泥之可行性

國內使用水水源係以河川、湖泊、水庫等地表水為主，並後續透過淨水場處理進而獲得品質良好且穩定之自來水，而淨水處理過程中所產生之污泥則通常由懸浮固體物、有機物、無機鹽類、混凝劑及水分所組成，其特性往往受原水水質、淨水程序、混凝劑種類等因素所影響。一般而言，懸浮固體主要來自原水中所夾帶的黏土與細砂，其組成多為  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；而原水濁度的高低則會影響混凝劑之使用量，較長所使用之混凝劑則分為鐵系及鋁系兩大類，其中，鋁鹽污泥之沉降速度相對較快，但脫水則較為不易。

由於淨水污泥具有含水率高、體積大等特性，故其處置通常以減量為優先考量，而國內淨水場最常使用之程序多為濃縮、調理及脫水等方法<sup>[21]</sup>。以污泥脫水為例，常見的方法多以曬乾床和機械脫水為主，曬乾床程序亦曾於前述章節提及，其運行成本低廉但需要足夠的日照與較大的土地面積；而機械脫水部分，則可分為離心式、真空式、帶濾式、壓濾式等方法，其中，通常以壓濾式脫水效果較佳。林氏研究指出<sup>[22]</sup>，鐵鹽污泥經壓濾式脫水設備可以將污泥含水率降至 40% 以下；而鋁鹽污泥僅能降至約 80%。

太陽能溫室乾燥技術係將大量的輻射熱能累積形成溫室，進而利用該熱量移除污泥中的水分。由於溫室有效地利用了太陽的輻射能，故往往較曬乾床的所獲得之乾燥溫

度更高，可進一步縮短了乾燥時間，能在相同時間內處理更大量的污泥，且含水率更低。根據國外多個太陽能溫室場址的實際操作經驗(見表 1)，經太陽能溫室系統之乾燥污泥其含水率通常可以降至 30% 以下，且所需之乾燥時間皆在 30 天以內；相比於國內現行曬乾床淨水污泥之乾燥效果，其乾燥後污泥之含水率平均為 50%，而所需之乾燥時間則通常在 60 天以上，假若將國內曬乾床修改為太陽能溫室乾燥系統，則處理設施所需之土地面積應至少減少一半，且後續污泥處置成本可以減少 30% 以上。

此外，前述提及之案例其污泥乾燥對象多以都市下水污泥為主，下水污泥中之有機成分通常比淨水污泥更高，相對更難以脫水，但其污泥含水率皆仍可以降 30% 以下，相比於國內現行之壓濾式脫水設備於淨水污泥之效果，太陽能溫室乾燥技術亦相當具有其競爭性。同時，台灣為一海島國家，部分季節將會受到颱風所侵襲，若適逢颱風期間，淨水場原水之濁度往往高達數千 NTU，故須比平常使用更大量之混凝劑，而污泥產

量將可能會暴增為平常之 25 倍以上<sup>[26]</sup>，其待處理之污泥量則相當龐大。故若國內嘗試選擇太陽能溫室乾燥技術，則有望能提高污泥乾燥速度，且進一步減少污泥體積，而後續所能節省之污泥清運、掩埋、代處理等費用將會極可觀。

## 五、結語

乾燥法係是透過加熱的行為使得污泥中的水分得以蒸發，進而達到污泥減量的目的，其過程屬於一種穩定的處理方式，且對環境二次污染程度較低，但熱處理相對是一種耗能的過程。以機械乾燥而言，其過程勢必需要消耗額外的燃料與電力，儘管能透過後續節省運費或委託處理費，或是能應用部分厭氧程序所產生之沼氣熱能，亦僅是有望達到收支成本之平衡。因此，低營運成本的太陽能污泥乾燥技術逐漸受到重視，透過使用日照所營造的溫室，搭配適當之污泥翻滾運作，能夠大幅度提升污泥乾燥之效率，例如：降低污泥含水量、減少乾燥時間等優點。目前，國內現行之曬乾床通常只能將污

表 1 國外太陽能溫室乾燥系統實際應用情形

國家	太陽能溫室乾燥系統	
	乾燥後污泥含水量(%)	乾燥時間(Day)
美國 <sup>[15]</sup>	<25	---
德國 <sup>[18]</sup>	<40	---
土耳其 <sup>[23]</sup>	15	2-2.5
希臘 <sup>[7]</sup>	<10	7-15
西班牙 <sup>[24]</sup>	30-40	---
尼加拉瓜 <sup>[25]</sup>	10-30	20-30

泥含水量降至約 50%，且需要 60 天以上之乾燥期，但經過太陽能溫室系統乾燥後污泥之含水率通常可以降至 30% 以下，乾燥時間亦能控制在 30 天內，相較下確實具有其應用之潛力。雖然隨著不同地域的氣候特質的差異，將使得太陽能溫室乾燥系統的效能於部分地區或是季節將會有所下降，但透過緩衝池的建置、廢熱的應用、和輔助熱源的設置等方式，皆能克服這些不利的因素。整體而言，太陽能污泥乾燥技術仍是值得在國內推廣與應用，但仍需因應台灣海島型的氣候特徵，進行評估與驗證，以確保其可行性與減量效益。

### 參考文獻

1. 於望聖，公共污水處理廠營運與污泥處理現況，污泥預處理及減量技術研討會，2016。
2. 黃志彬，污泥處理及再利用，工業技術研究院專題演講，2017。
3. Lam, C.M., Lee, P.H., Hsu, S.C., 2016. Eco-efficiency analysis of sludge treatment scenarios in urban cities: the case of Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3028-3039.
4. Hong, J., Hong, J., Otaki, M., Jolliet, O., 2009. Environmental and economic life cycle assessment for sewage sludge treatment processes in Japan. *Waste Management*, 29, 696-703.
5. 鄭秀娥、陳啟明，淨水污泥之處置及再生利用探討，台灣自來水公司，1998。
6. 內政部營建署，污水下水道第五期建設計畫，2014。
7. Bennamoun, L., 2012. Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1061-1073.
8. Kurt, M., Aksoy, A., Sanin, F.D., 2015. Evaluation of solar sludge drying alternatives by costs and area requirements. *Water Research*, 82, 47-57.
9. Bennamoun, L., Arlabosse, P., Leonard, A., 2013. Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 29-43.
10. Leonard, A., Vandevenne, P., Salmon, T., Marchot, P., Crine, M., 2004. Wastewater sludge convective drying: influence of the sludge origin. *Environmental Technology*, 25, 1051-1057.
11. Arlabosse, P., Ferrasse, J.H., Lecompte, D., Crine, M., Dumont, Y., Leonard, A., 2012. Efficient sludge thermal processing: from drying to thermal valorisation. *Modern Drying Technology: Energy Savings*, 4, 295-329.
12. Sahdev, R.K., 2014. Open Sun and Greenhouse Drying of Agricultural and Food Products: A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3, 1053-1066.
13. Salihoglu, N.K., Pinarli, V., Salihoglu G., 2007. Solar drying in sludge management in Turkey. *Renewable Energy*, 32, 1661-1675.
14. SUEZ, 2018. Heliantis™ solar sludge drying. <http://www.degremont-technologies.com/Heliantis-TM-Solar-Sludge-Drying>.
15. Mattfeld, B., 2012. Solar sludge drying system helps reduce hauling costs. *WaterWorld*, 28, 26.
16. PARKSON, 2018. Thermo-System®. <https://www.parkson.com/products/thermo-system/active-solar-sludge-dryer>.
17. Lei, Z., Dezheng, C., Jinlong, X., 2009. Sewage sludge solar drying practise and characteristics study. *Proceedings of power engineering conference, IEEE*.
18. HUBER, 2018. Largest solar sewage sludge drying site in Southern Germany fully equipped by

HUBER.

<http://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/largest-solar-sewage-sludge-drying-site-in-southern-germany-fully-equipped-by-huber.html>.

- 19.Slim, R., Zoughaib, A., Clodic, D., 2008. Modeling of a solar and heat pump sludge drying system. International journal of refrigeration, 31, 1156-1168.
- 20.SUEZ, 2018. Sludge drying to an intermediate dry solids content. <https://www.suezwaterhandbook.com/processes-and-technologies/dewatered-sludge-treatment/drying/sludge-drying-to-an-intermediate-dry-solids-content>.
- 21.張琰竣，探討淨水場廢污處理與再利用，工業污染防治 第131期，2015。
- 22.林聖寰，淨水污泥取代黏土作為水泥生料對卜特蘭水泥影響之研究，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，2003。
- 23.Kurt M., 2014. Evaluation of solar sludge drying alternatives on costs and area requirements, Middle East Technical University, Thesis.
- 24.Scharenberg, U.M., Poppke, M., 2010. Large-scale Solar Sludge Drying in Managua/Nicaragua. Water and Waste.
- 25.Ritterbusch, S., Bux, M., 2012. Solar Drying of Sludge - Recent Experiences in Large Installations. 3rd European Conference on Sludge Management, Spain.
- 26.康世芳，淨水污泥餅再利用技術調查及應用於台北自來水事業處淨水場可行性評估期末報告，台北自來水事業處，2001。

## 作者簡介

---

### 顏嘉亨先生

現職：工業技術研究院水科技研究組研究員

專長：水處理材料開發、廢水處理、水回收技術

### 黃盟舜先生

現職：工業技術研究院水科技研究組研究主任

專長：水處理材料開發、廢水處理、水回收技術

### 洪仁陽先生

現職：工業技術研究院水科技研究組副組長

專長：水處理材料開發、廢水處理、水回收技術

### 李丁來先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處處長

專長：自來水規設及營運管理、漏水防治管理

# 利用巨量資料優化間接供水抽水機排程

文/林志憲

## 摘要

在傳統抽水機排程係單純以水位上、下限條件自動控制抽水機運轉，並且以固定值設定水位上、下限，而人工控制亦未有精準計算基礎，未能確知為優化排程。本研究提出排程系統，首先為即時水量需求推測模組（Real-time Water output Forecasting Module，簡稱 RWFM），係利用中位數動量修正法（Median Momentum Approach，簡稱 MMA）為基礎發展出即時水量需求推測。接著為即時抽水機排程模組（Real-time Pump Scheduling Module，簡稱 RPSM），以抽水機性能高低規劃優化組合，採用時間窗移輸入推測水量執行抽水機時窗排程，運用計算機快速執行處理能力，經優化演算過程，求取經濟排程，以進行即時抽水機排程。

由 RWFM 及 RPSM 組合之系統，在間接供水模式下，經電腦實驗證實，與傳統水位自動控制抽水機排程比較，可有效降低淨水場抽水機尖峰用電需求及電力成本。以實現智慧水管理所強調更有效率操作與管理自來水系統、有效即時自我調控、降低生產成本及提高經濟價值之目的，符合現代化之需求。

關鍵字：巨量資料 (Big Data)、智能系統 (Intelligent System)、智慧水管理 (Smart Water Management)、抽水機排程 (Pump Scheduling)

## 一、前言

拜監控系統 (Supervisory Control And Data Acquisition，簡稱 SCADA) 所賜，利用資訊

及通訊科技，以偵測與收集自來水供應狀況，與用戶端的自來水使用狀況。再用這些資訊來調整自來水的生產與輸配，或進一步改善家庭及企業用戶的用水量，以此達到節約能源、降低成本及損耗、增強供水品質的目的。

電力缺口主要是在於無法滿足尖峰用電時段需求所致，若能降低尖峰負載，將也為台灣預計 2025 年達成非核家園目標盡點心力。有鑑於此，就自來水生產輸送中使用電力最大宗的抽水機操作進行探討，試圖找出一種可以滿足用水需求，且可減少尖峰用電，降低動力費支出的方法。

為控制動力費問題，台水公司節約動力費用作業要點<sup>[2]</sup>指出控制動力費作業要領，其中第(8)項為建置最適化合理操作模式，探究電動抽水機運轉組合主要係依據電動抽水機性能試驗效率高，搭配配水池水位依序作啟動、停止控制。實際上，水位上、下限控制設定與電動抽水機運轉組合之搭配並未有精準計算基礎，主要憑藉資深操作人員累積過去所感受天候、節慶假日等影響用戶用水習性之經驗<sup>[8]</sup>，與自來水設施操作限制與異常事件，予以經驗性調整設定值。

為降低生產輸送成本，利用台電公司為鼓勵用戶使用離峰用電給予優惠費率措施，配合優惠措施，於離峰時間啟動抽水機蓄滿配水池，尖峰充分利用水池緩衝功能合理放流。而配水池具有調蓄功能，如同蓄電池，做為突發大量供水及調節水壓之用，具有一定時間之緩衝功能。此外，區域用水需求，

有一定的時變周期模式，若能利用簡單的演算法工具推估可用的水量需求數據，將有助於設計出滿足供水穩定的供應系統。結合上述的觀念，將發展抽水機排程系統，充分運用配水池調蓄功能，搭配抽水機性能高低規劃運轉組合，設定經濟運轉目標，進行即時抽水機排程，以達成生產輸送省能節費之目的。

## 二、文獻回顧

抽水機用電支出佔總動力費 70%，因此抽水機各項節約能源措施將影響整體動力成本之大宗。抽水機所使用電力與機械性能、供水量  $Q$  及供水壓力  $H$  均息息相關，因此在滿足自來水量足質優條件下，生產輸配及操控如何能符合節約能源之要求，是值得探討之課題。林芳松（2002）等提到有關抽水機排程及淨水場離峰蓄滿配水池操作原則<sup>[6]</sup>，其多部抽水機之操作步驟為：A. 找出單台抽水機之特性曲線。B. 繪出組合抽水機之特性曲線。C. 繪出系統所需之  $H-Q$  操作曲線。D. 找出每日各時段之流量變化。E. 根據不同流量，找出各種抽水機組合之  $H-Q$  及利用  $H-\eta$  求出總耗電量。F. 滿足系統操作水頭之需求，選用耗電量最小者。G. 將各流量對應之最適抽水機組合列表，以供操作參考。

另外林芳松（2002）等亦提到配水池配合尖離峰電價節能操作，由於時間電價之離峰費率較為便宜，為充分利用離峰電力，在全日抽水機運轉時數相同之下，儘量於離峰時間抽水，利用尖離峰費率差額以達節省電力費用之目的。常見之操作方式為水位控制，即配水池水位到達高水位，則關閉抽水機；俟配水池水位到達低水位時再行啟動抽水

機。這樣的操作並未考慮到利用時間電價，因此歸納出兩個操作之基本原則，首先於尖峰時間開始前將配水池蓄滿高水位，其二為離峰時間開始前將配水池用至低水位，在不增加設備情況下節省電費。此種操作方式為現行水位控制，再加上不同時間水位條件設定；如處於尖峰轉為離峰時刻，視水位上升速度及先前水位下降速度設定條件，決定延緩啟動抽水機之時機，待離峰時間再行啟動。前述原則非傳統 PLC 控制可輕易達成的控制邏輯，一般而言需加入人工操作才得以實現，然人工操作卻因人員經驗及習慣差異，加入水量需求隨時變化，增加問題複雜度，難以建立穩定可靠的節費目標。

進一步觀察國外研究，Barán 等（2005）提出多目標進化式演算法（Multi-objective Evolutionary Algorithms，簡稱 MOEAs）解決抽水機排程問題，選擇用電成本、抽水機維修成本、最高用電功率及水池水位變化量共四個目標函數求取多目標之最小化，從  $2^{120}$  可能解中求取最佳解，發現採用強柏瑞圖進化演算法（Strength Pareto Evolutionary Algorithm，簡稱 SPEA）優於其他五種 MOEAs<sup>[9]</sup>。探究該研究所採用 MOEAs 及以 1 小時為 1 時段、排程 1 日 24 小時做為最佳化，會有較大之計算機資源需求；且當每日水量時變存在差異情形時，將無法有效推測及提前反應至抽水機排程。

綜而言之，即時水量推測建模時，將採用計算機資源小、具有短期應變力強特性的動量修正中位數法，進行水量推測。而抽水機排程建模時，因考慮出水量時變差異，除使用水位控制或時間條件設定控制方式，並結合即時推測之水量變化資訊，參酌 Barán

等 (2005) 所提出之目標函數限制式概念，學習傳統淨水場實際操作經驗，設計適當之排程時窗，以啟發式演算法 (Heuristic Algorithm, 簡稱 HA) 降低問題複雜度，減少計算機資源需求及避免因長期水量推測誤差導致之排程誤差，建立即時抽水機排程模組。結合前述二模組，做為生產輸送即時調控、降低電力成本之有效解決方案。

### 三、研究方法

出水量值，為淨水場營運管理之重要數值。影響出水量之變動因素有時間、週號、氣溫、天候、生活習性、產業活動、節假日活動、自來水設施故障或維護及不可預知因素等，可區分為規律性變化及非規律性變化，而依地區用水習慣亦有不同流量趨勢，如商業區與工業區之別；在如此多變因之出水量推測工作，若能開發易於使用維護之預測模組，將有助於淨水場管理技術之提升。自來水生產輸送須利用一部或多部抽水機抽取或加壓，輸送至水池及管網用戶，各個

抽水機視需求規劃及製造工藝，會有不同性能差異，而不當之抽水機排程組合，將會造成能源損耗及生產成本提高。

#### (一) 研究架構

本系統係由二階段模組組合而成，分別為 RWFM 及 RPSM。RWFM 是依據過去之歷史水量資料，以日為周期，採用 MMA 法做為未來水量推測，使推測值更接近實際未來水量數值，如圖 1 所示，其中中位數法是模擬其規律變化，而動量修正是即時修正產生合乎現狀的不規律變化。擷取 SCADA 之線上即時水量資訊，輸入 RWFM 產生推測短期未來水量。而 RPSM 則根據 RWFM 輸出所推測水量，及場站操作設備參數，與實際配水池水位訊號，經優化演算過程建立節省電力費用並符合操作穩定性之抽水機經濟排程，以 HA 法快速求出當下最佳之運轉排程，以提供外部抽水機操作參照。系統架構流程如圖 2 所示，圖中虛線部份屬外部系統，非本研究範圍。

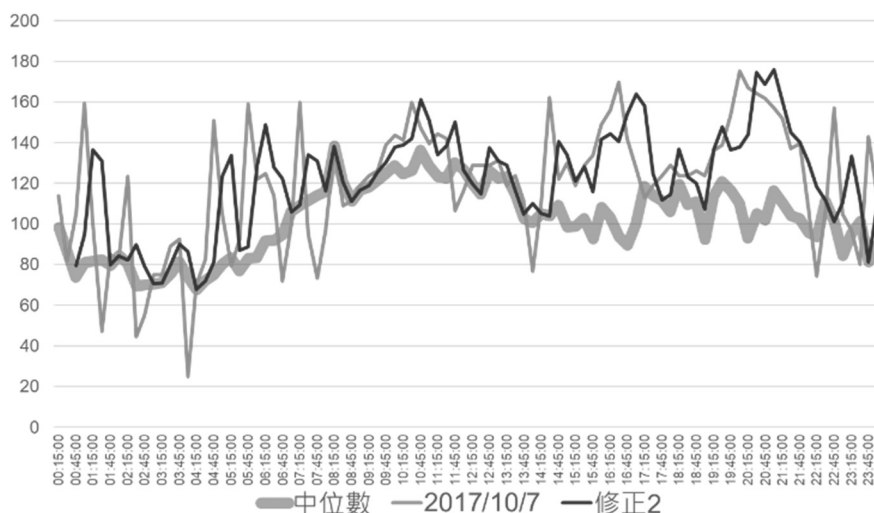


圖 1 利用 MMA 法推測水量圖

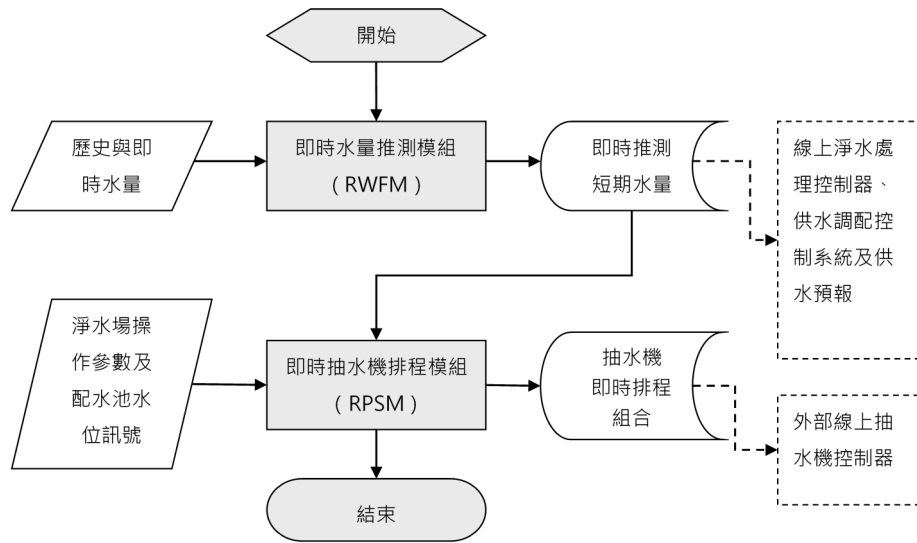


圖 2 系統架構流程圖

## (二)即時抽水機排程模組 (RPSM) 設計

首先觀察場站操作環境及 SCADA 紀錄數據，使用計算機建立抽水機排程模擬環境，模擬驗證確定各項場站操作數據，接著參酌 Barán 等 (2005) 所提出之用電成本、最高用電功率及水池水位變化量等指標，採用 HA 法開發排程模組，利用即時推測短期水量，求出當下優化經濟排程。在進行抽水機排程前，必須先對供水系統之設備特性及操作環境了解，充分蒐集資料，進行比對分析，確認數據的完整與可用性，其中抽水機運轉組合應於現場實際紀錄求出各組性能資料，找出該場站之水力管網、抽水機及配水池操作規則，以利設定抽水機排程之條件，將可能的運轉組合及條件，在出水量變化趨勢及不同之時間電價下，運用所發展的演算法，以求全域近似最經濟之時窗排程方式，建立即時抽水機排程，提供未來抽水機操作控制器之用，實現降低電力成本之目的。當中亦須注意其最佳化工具處理問題之速度，是否可滿足即時控制之需求。

### 1. 提取淨水場有效資料

有效的淨水場數據是即時抽水機排程首要關鍵，若未充分考量數據所隱含特徵意義，將無法正確使用此等數據，影響後續所發展的系統效能驗證甚鉅。包括全部抽水機運轉可能組合之抽水量及用電量、水池尺寸、出水量、用電時間電價、契約容量限制及水力限制條件。以下就針對各項參數分別探討。

(1) 確認供水模式

抽水機供水模式分為間接供水及直接供水模式，詳如圖 3 所示，間接供水係抽水機抽送水量至水池，利用重力流供應至管網，此種模式可利用水池調蓄功能，以水池水位上、下限控制抽水機停止、啟動運轉；若水池容量大，則可令抽水機減少運轉，降低尖峰間用電，仍可滿足出水需求。而直接供水係抽水機未經水池直接抽送至管網，此時抽水量即為出水量，因此抽水機就必須因應需求持續運轉，一般以水壓高、低控制抽水機降頻、升頻(若多台組合，則可配合部分機組停止、啟動)；而本研究將僅針對間接供水模式做為程式開發。

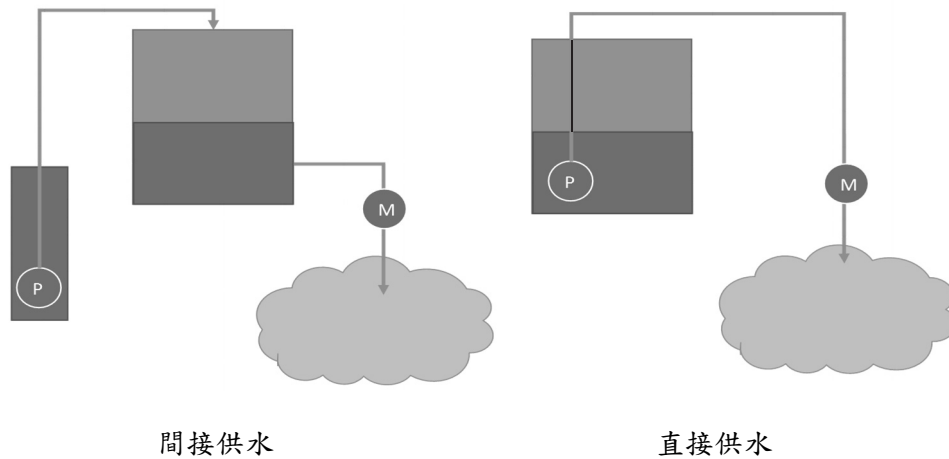


圖 3 抽水機供水模式

### (2) 確認水池容量

水池主要調查其尺寸，如截面積及池高，以及水位與有效容量之關係。單純方、圓形柱體水池，水位與容量屬線性關係，若橢圓形則非線性，必須詳細量測以確認相對關係。一般而言，這些數據最好依據實物現狀調查，以免引用錯誤。

### (3) 蒐集水池出水量及水位

水池出水量及水位分為歷史及即時數值，歷史水量係提供未來水量推測的建模使用，歷史水位則可運用在水量換算及模組效能驗證用，即時水量及水位則提供即時排程的輸入資料項。

### (4) 提取抽水機運轉紀錄

在 SCADA 系統中會將抽水機起、停狀態當作事件(Event)紀錄於資料庫中。另一種是抽水機紀錄點位(Tag)運轉時數，這項點位是紀錄抽水機運轉的累積時數，是以每分鐘記錄一筆方式記錄於 SCADA 中，經由轉換得出運轉起停狀態。考量計算機效能及問題複雜度，所規劃運算的時段分為一日為 48 時段及 96 時。

### (5) 確認申請電價規則

場站用電係以台電非包用電力電價申請計價，而電價是由基本電費、流動電費、功率因數調整費、超約附加費等四項組成。流動電費費率依用戶選擇可採用時間電價或非時間電價，而時間電價可分為低壓、高壓及特高壓供電計費，按使用需求可申請為二段及三段式，考量用電季節又分為夏月(6月1日至9月30日)及非夏月(除夏月以外之月份)。視用電時變特性分週號或特別日，及尖、半尖、離峰等多種不同之計價方式。若以高壓三段式時間電價、夏月週一至週五為例，且不考慮週六半尖峰及假日、特別日離峰時間，電價計費方式如圖 4 所示，比較發現，尖峰用電費率竟為離峰時之 3.5 倍，為半尖峰時之 1.6 倍。因此不同的電價規則，必須確認場站採行的電價，以免電價直接影響排程結果。

### (6) 量測各種抽水機組合性能

常用的抽水機為離心式抽水機，其特性如圖 5 所示，而抽水機分為抽水機本體及電動機，抽水機的特性主要為 HQ 曲線、輸入軸功率曲線、抽水機效率曲線及 NPSHR，而電動機特型有輸入電功率曲線、輸出軸功率



曲線、電動機效率曲線，以及整體的總效率曲線。應實地量測記錄以修正為符合實際的數值。在間接供水模式下，抽水機操作點變動率小，在某些情況下，可以利用部分的操作點測試而推定未測操作點的性能數據，並且收斂至僅需紀錄各種組合抽水量及用電量，便能提供後續運算所需的資料。

(7) 建立電腦模擬環境

撰寫程式模擬實際抽水機運轉與水池水位關係，利用水池進(出)水量、水池水位、抽水機運轉紀錄、各總組合抽水量及用電量、水位設定上下限值等記錄數據，在電腦模擬實際運轉情形，用此模擬程式驗證前述各項可用性，如發現模擬水位無法重現擬合實際水位時變趨勢時，則需再次確定從 SCADA

提取的水量、水位、運轉紀錄的可用性，若為可用則必須修正抽水機組合的數據，經過這項調整各種組合將符合大部分運轉結果。

2. 抽水機優化組合

假設一個抽水系統有  $g$  部抽水機，全部可能的運轉組合有  $2^g$  種，因此當機組越多則問題複雜度越高，所以必須採取降低複雜的作為。實地抽水機都有部分機組為相同規格，雖為相同規格但其效率卻有所差異，就因為這項緣故，我們可以將抽水機組合中排除效率差的相同規格組合。依據操作原則，單位出水用電量低者優先運轉，排除性能低之運轉組合，如此可大幅減少求解空間，降低計算所需時間，即為優化處理。

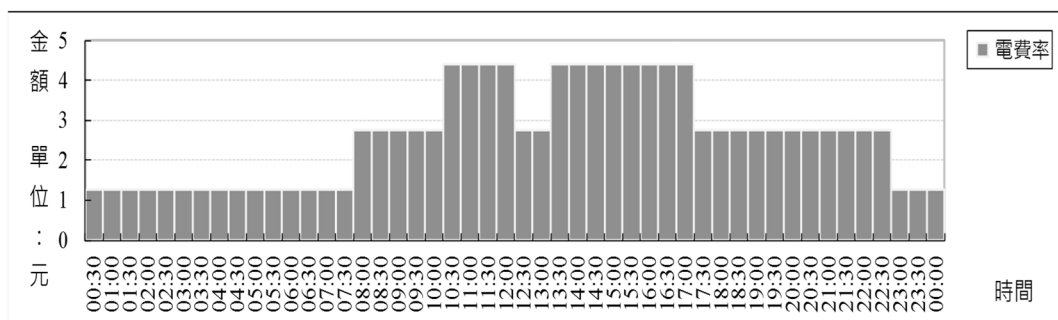


圖 4 台電電價(高壓三段式時間電價、夏月週一至週五)

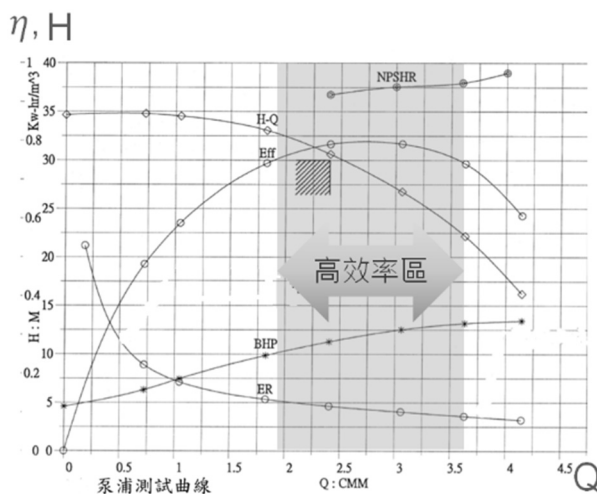


圖 5 抽水機性能曲線

若再考慮淨水場之出水量變化與配水池容量關係，依據過去操作人員之經驗，當配水池容量小，致利用離峰時間所蓄滿之水量無法充分提供尖峰出水量總和時，可選擇適當容量之最低單位出水耗電量抽水機做為常時運轉，規劃為固定運轉機，如此一來，亦免於將之排入最佳演算過程，以降低最佳化排程問題之維度。

### 3. 規劃優化排程法則及限制條件

規劃優化經濟排程主要之目的在於求取抽水機排程之最小電力成本，如公式(1)表示在時窗排程中，滿足安全供水條件下，該時窗排程組合必須為最小電力成本。電力成本之計算係各個時段用電量乘以該時段電費率之合。

$$COST = \text{Min} \left[ \sum_{i=INT}^{INT+k-1} C_i P_{ij} \right], j \in COMB \quad (1)$$

其中 INT：時段序號

k：時窗中之時段數量

$C_i$ ：時段  $i$  之電費率

$P_{ij}$ ：各時窗排程組合  $COMB_j$  中時段  $i$  之用電量

前項安全供水的條件，在於使出水量可以穩定且安全輸出，也就是以推測出水量為基礎，而排程過程中藉由配水池之調蓄功能，在間接供水模式下，即反應為水位之變化  $L_x(i)$ ，利用水池水位與出水量及抽水量之關係，即可計算出抽水量需求。其中水池水位基於最大有效容量限制，及最小安全備用儲水量，必須設定水位上限及下限，故在進行時窗排程過程中使用公式(2)檢驗，時窗中之排程組合所計算求得的每個時段的  $L_x(i)$ ，若不能滿足則予以排除其組合。

$$L_{\max} \geq L_x(i) \geq L_{\min} \quad (2)$$

其中  $L_x(i)$  是第  $i$  時段之水位，而  $i$  屬於時窗排程中之時段

### 4. 優化抽水機排程演算

優化抽水機排程演算法是本研究的核心技術，也是主要的程式模組。抽水機排程問題複雜度與抽水機數量及分割時段多寡成指數相關，假若有  $g$  部抽水機，以 1 日為 1 時窗而分割為  $k$  個時段，則有  $2^{gk}$  個排程組合；意思為 5 部抽水機，1 小時分割為 1 時段，1 日時窗則有 24 時段，就有  $1.33 \times 10^{36}$  個可能的排程，要從可能組合中找出最佳排程是相當困難，所以使用窮舉法求解必須有超級雲端計算資源才有辦法，因此不適合實際運用。為解決此項問題，引用本文作者(2007)<sup>[5]</sup>提出時間窗移 (time window shift) 輸入推測水量執行抽水機時窗排程方法，依據一般計算機資源能處理的可能排程求最佳解，以決定排程時窗  $k$  值最大限制。本研究試圖從實際操作及觀察模擬環境程式測試結果以找出規則，在時窗中全域範圍比對找出最佳解，排除不可能解，減少問題空間，降低求解時間。

利用現今計算機處理能力，以抽水機優化組合、水量及水位限制條件，預置離峰蓄滿尖峰充分放流排程策略，減少問題空間及排除不可能解；依據時窗中各時段之抽水量及用電量，利用淨水場參數及水池水位初值計算時窗中各時段之水池水位，以計算該時窗排程之用電成本，使用公式(1)以求得最小成本之抽水機運轉排程組合，最後利用時窗排程中第一時段之運轉組合，即時提供淨水場操作人員或是控制器做為抽水機運轉之操作策略；依據時窗之推移進程，重複上述

程序，完成每時段抽水機運轉策略，以提供即時抽水機控制系統使用。

以圖 7 示範具有經濟節費抽水機排程說明，於離峰時間利用低電費率時間(圖中 A-B 區間)啟動抽水機以蓄滿配水池；隨著出水量趨勢，在半尖峰時間儘可能增加抽水機運轉，直至水位接近配水池水位上限。在尖峰時間(圖中 B-C 區間)，盡可能保持低用電量之方式運轉抽水機，利用低費率期間所抽取儲存於配水池之水量，供應出水量之需求。在半尖峰時間(圖中 C-D 區間)亦配合出水量需求，啟動適當數量抽水機運轉以供應足夠之抽水量，故可發現當出水量較小時，則該時段耗電量較小；當出水量大時且為了保持配水池安全存量需求，則增加用電量以提供更多之抽水量，其基本原則仍以維持供水安全下使水池充分放流。圖中 D-E 區間離峰時間，則逐步提高抽水機運轉，以使水池水位蓄高。

歸納本優化抽水機排程演算，整理以下幾點啟發策略：

- (1)離峰時段蓄滿水池：於低電費率轉高費率前調高水位下限。
- (2)尖峰時段充分利用水池出水：於高電費率期間調低水位上限。
- (3)採用 MMA 進行未來水量推測：利用中位數法搭配即時水量動量(Momentum)修正預估水量，以滿足實際用水變動需求。
- (4)時窗推移排程：找出合適的時窗時段數並比較績效；利用水池容量及滿足推測水量條件下，計算出最低電費的排程組合。
- (5)排除不合理組合：排除水位超限(上、下限)組合，減少問題複雜度，縮短排程運算時間。

最後為了檢驗本模組之排程績效，將與實際抽水機運轉紀錄所得出的動力費進行比較，以確認本研究發展出的排程程式是否有降低動力費的效果。

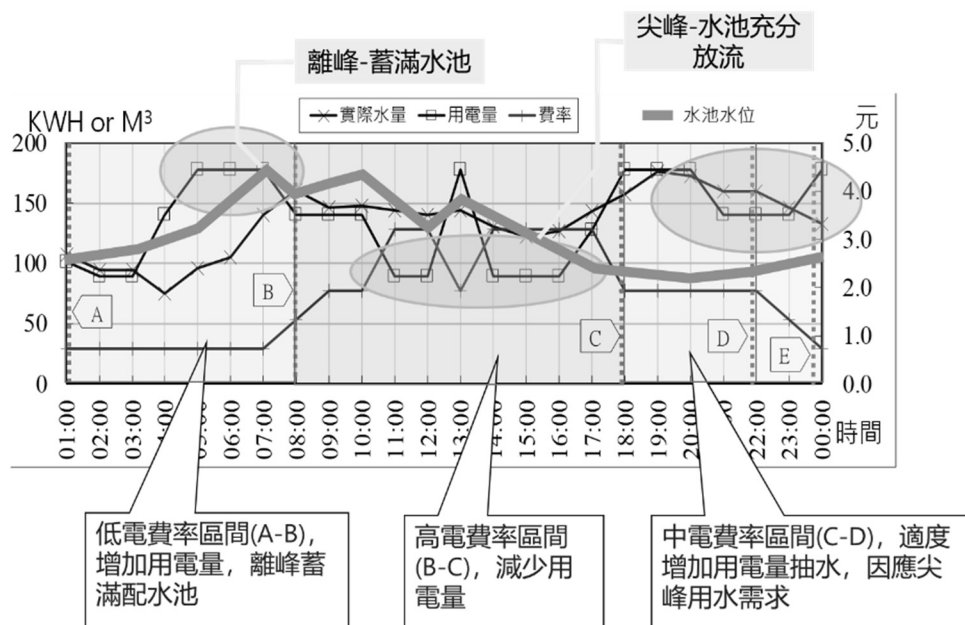


圖 7 模擬抽水機排程結果圖

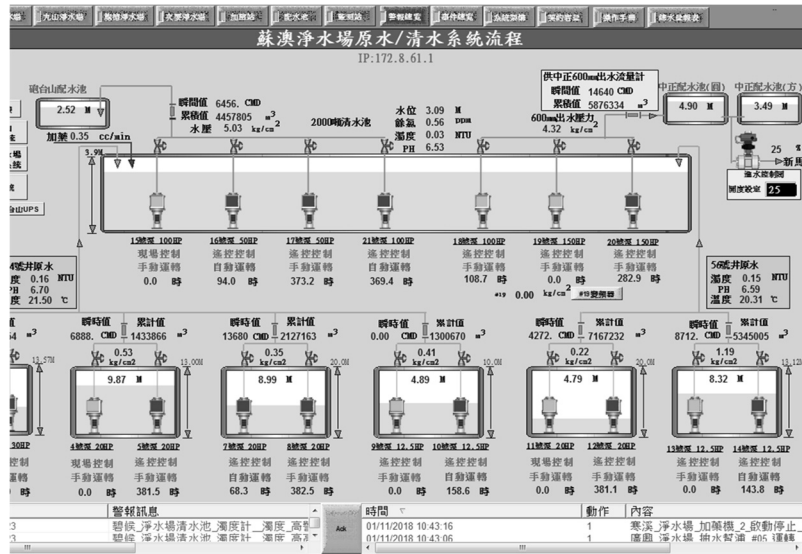


圖 8 第八區管理蘇澳淨水場 SCADA 畫面

#### 四、執行結果與討論

為了確認 RWFM 及 RPSM 之績效，以程式實作進行驗證，使用 Intel Core™i5-8250U CPU @1.60GHz 1.80GHz, 8GB RAM, Microsoft Windows 10 家用版 1709 版次 64-bit 計算環境，以 Visual Studio Community 2017 15.5.4 版次 IDE 軟體掛載 R 工具 1.3.31108.1213 版次撰寫及執行程式。首先蒐集第八區管理處蘇澳淨水場資料及其 SCADA 系統歷史資料並予以前處理，輸入 RWFM 及 RPSM 模組執行，以與實際抽水機運轉紀錄所得出的動力費比較，討論其效益結果。

##### (一)實驗對象

觀察第八區管理處管轄的場站，發現蘇澳淨水場供水區變化相對小，抽水機數量較多，採用間接供水模式，SCADA 資料可以於遠端讀取下載歷史資料。該場接間接供水模式依標的不同，分為砲台山配水池、中正配水池及清水池三套抽水機系統，砲台山配水池係由 100HP×2 台、50HP×2 台抽水機供應清水，中正配水池則由 150HP×2 台、100HP×

1 台抽水機供應清水，清水池由 30HP×2 台、20HP×4 台、12.5HP×4 台抽水機供應原水，詳圖 8 所示。由於三套抽水機系統各自獨立，因此決定以此場砲台山配水池為實驗對象。

在讀取 SCADA 107 年 1 月歷史資料發現，砲台山抽水機系統僅有 100HP×1 台、50HP×2 台運轉。由於該系統無程式計算所需的輸入資料，必須經由換算才能提供可用數據供程式排程，所以對於資料分析及前處理是較耗時的一項工作。如無出水量計僅有進水流量計，必須經過換算得知；需由抽水機運轉時數換算成抽水機運轉紀錄；現場環境調查確認淨水場參數正確性；利用抽水機排程模擬程式調校及檢驗有效數據。以上工作都必須時先整理完成，以免輸入錯誤的數據，程式將會計算出錯誤的排程。

##### (二)執行結果

本研究是以蘇澳淨水場 107 年 1 月 1 日至 31 日 SCADA 歷史紀錄，進行測試驗證，以前 7 日歷史水量作為水量推測的基礎資料，因此就 1 月 8 日至 31 日間提取有效資料予以節費率比對，經篩選僅有 8、9、12、13、

20、23、24、26、27、28 及 30 日共 11 日資料驗證為可用有效，所以節費率比較就針對這 11 日以 48 時段與 96 時段進行排程(48 時段為每 30 分鐘為 1 時段，96 時段則以 15 分鐘為 1 時段)。結果如圖 9 所示，與傳統實際抽水機排程電費比較，48 時段平均節費率為 3.89%，96 時段則為 6.51%，以 96 時段有較佳的效能。

其中就採用 48 時段於 2018/1/30 傳統排程與優化排程比較，詳圖 10 所示，傳統水位控制排程電費為 8,272 元，本程式優化排程電費 7,868 元，節省電費率為 6.0%。而採用 96 時段於 2018/1/30 傳統排程與優化排程

比較，詳圖 11 所示，本程式優化排程電費 7,690 元，節省電費率為 7.0%。

為了討論水池大小與優化排程節費率關係，分別以 1 至 4 倍水池容量測試效益，並以 2018/1/30 使用 96 時段排程進行比較，結果詳圖 12 所示，當 2 倍水池容量時節費率為 12.5%，3 倍時為 17.0%，4 倍時為 21.4%。4 倍水池容量是原水池的 3.06 倍節費率，顯見水池容量越大效益越高。本例砲台山水池供水區平均出水量為 4,934CMD，而水池有效調蓄容量為 238M3，平均調蓄緩衝時間為 1.16 小時；換而言之，水池可供調蓄時間若為 2.32、3.48 及 4.64 小時，則節費率分別為 12.5%、17.0%及 21.4%。

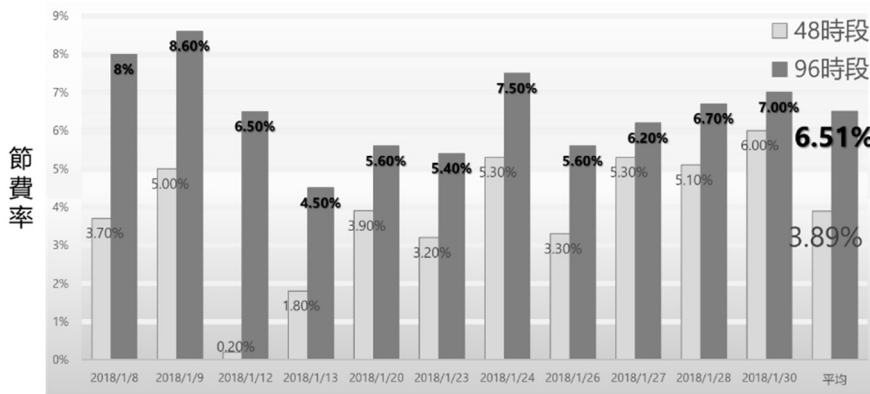


圖 9 48 及 96 時段排程效益比較

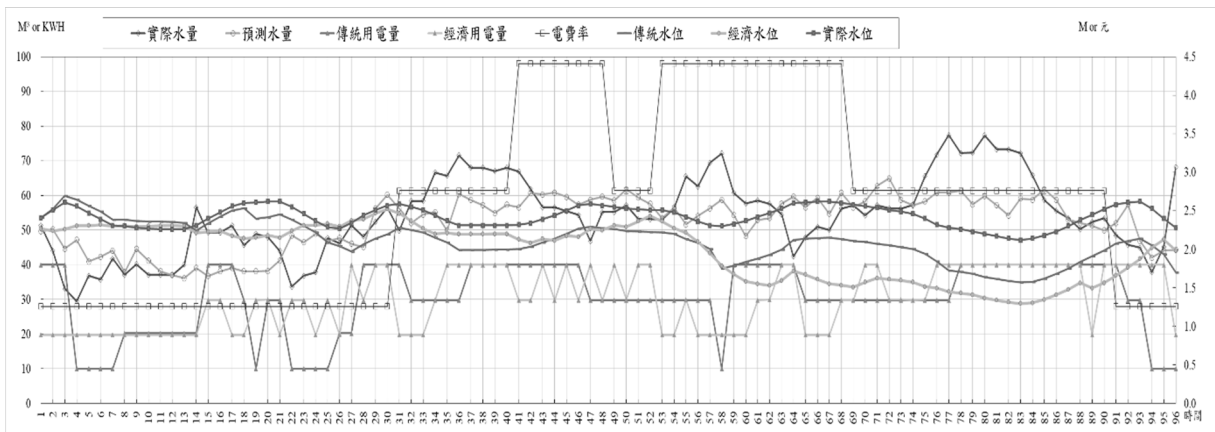


圖 10 2018/1/30 48 時段排程結果比較圖

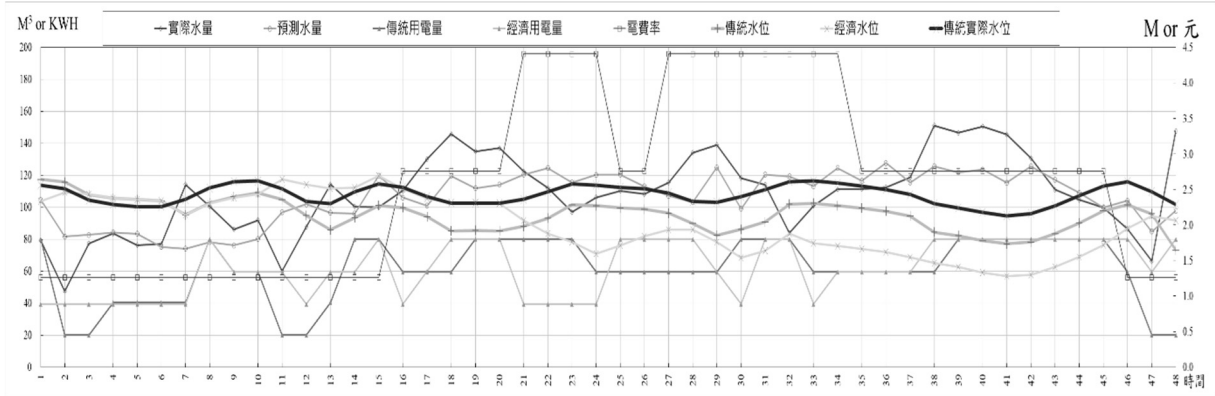


圖 11 2018/1/30 96 時段排程結果比較圖

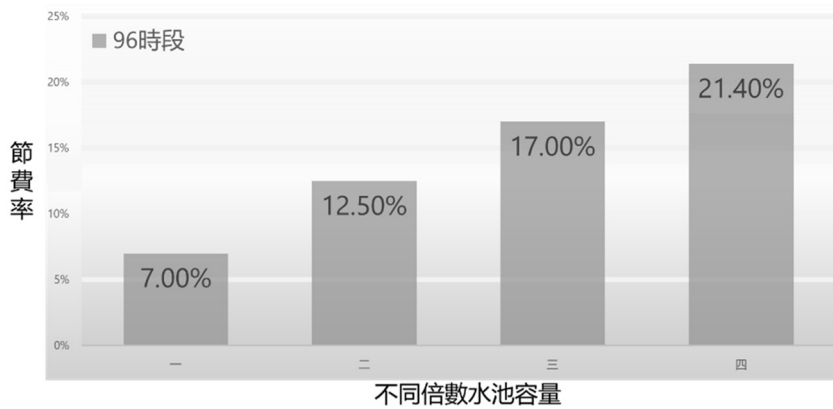


圖 12 2018/1/30 不同水池容量 96 時段排程效益比較圖

### (三)執行討論

從本次實驗對象、執行過程及結果發現，影響優化抽水機排程節費效益因素如下：

#### 1.電費率差異

節費的基礎在於尖、離峰電費差異，故差異越大，效果越顯著。

#### 2.有效水池容量

水池容量越大，越能減少尖峰時段抽水機運轉，本例發現 4 倍水池容量(可供調蓄時間 4.64 小時)為原水池的 3.06 倍節費率，顯見效益放大效果。

#### 3.水位上下限範圍

水池水位上下限範圍若能放大，可供調蓄容量放大，相對可供調蓄時間增加，因此效益也隨之增加。

#### 4.現有常用抽水機組合的單位出水用電量差異

優化排程的特性，除水位限制條件外，盡可能以單位出水用電量低的抽水機組合優先運轉，若各組合單位出水用電量差異小，也就會減少與傳統水位控制排程的差異性，節費率效益伴隨降低。

#### 5.推測水量準確度

本優化排程係基於滿足推測水量而求其最低電力成本，若推估水量嚴重失準，除影響系統安全度外，也可能無法減少電費；因此，為避免失效風險，採用 MMA 法推估，可確保系統穩定且有效益。

而在時窗排程中，執行過程也發現一些狀況，整理其注意事項如後：

1. 本研究所建立抽水機運轉模擬環境程式與優化排程程式，係依據所設定的時段逐次計算抽水機運轉與否，然而實際水位控制係無時段排程，故時段內抽水機運轉狀態不足時，將會造成比對誤差，績效比較時必須予以納入考量。
2. 抽水機組合性能調查係執行過程中很重要的工作，調查結果必須與當下實際運轉性能擬合，藉由觀察長時間 SCADA 歷史數據，以驗證並確認數據正確性。
3. 抽水機系統模擬環境程式建立，提供驗證各項數據彼此間的合理性，避免導入錯誤資料進行排程，並且可做為效益比對工具。
4. 時窗推移中，決定時窗所採用的時段數，必須考慮若選擇長時窗則會造成運算時間長的狀況，若採用短時窗則會影響節費效益，乃須在二者之間擇定合適時段數。
5. 從排程的結果發現，若使用多時段(如 96 時段)則抽水機啟停次數較多且運算時間較長，而少時段(如 48 時段)則相對的運算時間較短，因此時段的選擇也必須依賴環境條件而決定。

## 五、結論與建議

以即時水量需求推測模組(RWFM)及即時抽水機排程模組(RPSM)組合系統進行間接供水抽水機排程，經電腦實驗證實，與傳統 PLC 水位自動控制抽水機排程比較，確實具有可降低淨水場抽水機尖峰用電需求及電力成本。除減少台電尖峰期間供電緊張外，亦可降低營運成本，以下先針對本研究結論與貢獻說明：

- (一)以台水第八區管理處蘇澳淨水場砲台山配水池間接供水模式為對象，水池平均

調蓄緩衝時間為 1.16 小時，採用台電 106 年高壓三段式夏月非假日時間電價計算，本優化排程與傳統實際抽水機排程電費比較，96 時段平均節費率為 6.51%。若為 4 倍水池容量，平均調蓄緩衝時間為 4.64 小時，則 96 時段節費率單日提高至為 21.40%。

- (二)提出中位數動量修正法(MMA)作為即時水量推測工具，作為即時抽水機排程的重要依據。
- (三)檢討發現的影響抽水機排程節費效益因子，不僅可改善優化排程外，亦可提供抽水機系統規劃、設計及操作參考。
- (四)建立優化抽水機排程的研究方法，可供後續發展應用。

本研究受限於研究時間，尚有工作方向值得留待未來發展，分述如下：

- 實地測試

本案僅就電腦程式實驗，未來可赴實場以優化排程結果，人工實際操作，驗證實地績效。

- 持續優化演算法

經比較，優化排程仍較傳統排程之抽水機起停次數為多，應該再深入探討修正演算法，以減少抽水機啟停。其二，持續再觀察模擬環境績效差異，從中再找出優化操作模式，以利歸納出新規則，滾動改善效能。

- 發展直接供水模式的優化排程

本研究現階段僅針對間接供水模式發展程式，未來可搭配 R 語言 EPANET toolkit 應用發展，針對變動揚程需求問題(含直接供水)，深入較為複雜的直接供水模式排程程式開發，找出最佳排程演算法。

## 參考文獻

1. 台灣電力公司經營績效網頁，<http://www.taipower.com.tw/>，2018。
2. 《台灣自來水公司節約動力費用作業要點》，台中，2015。
3. 台灣電力公司，電費表，2017。
4. 林志憲，〈利用大數據以人工智慧之水量需求預測〉，《自來水會刊》，第36卷第1期，2017。
5. 林志憲，〈設計以類神經網路為基礎之智慧型淨水場時出水量預測與即時調控機制〉，佛光大學資訊學研究所碩士論文，2007，第34-47。
6. 林芳松等，《自來水供水設備及操作方式在節約能源運用上之探討》，中華民國自來水協會，2002。
7. 洪名梓等，《自來水設施操作維護手冊》，中華民國自來水協會，1993。
8. A. An, C. Chan, N. Shan, N. Cercone, & W. Ziarko: “Applying knowledge discovery to predict water-supply consumption”，IEEE Expert, vol. 12(4), 1997, pp. 72-78.
9. B. Barán, C. von Lüken, & A. Sotelo: “Multi-objective pump scheduling optimisation using evolutionary strategies”，Advances in Engineering Software, Vol. 36, 2005, pp. 39-47.
10. M. Dumas, M. Salmerdn & J. Ortega: “ANNs and GAs for predictive controlling of water supply networks”，Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks of the IEEE-INNS-ENNS, vol. 4, 2000, pp. 365-370.

## 作者簡介

### 林志憲先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處工務課長

專長：工業控制、監控、抽水機、機器學習

## 本刊新增「自來水廠(所)的一天」單元

「自來水廠(所)的一天」，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之認識，以激勵自來水基層單位士氣，並留下歷史印記，含照片每篇最多六頁(3000字以內)，歡迎踴躍投稿。

# 自來水管線工程規劃設計理論與實務

文/吳世紀

## 一、前言

工程之規劃設計理應有一套設計標準及作法，然而自來水管線工程之規劃設計實務上，所能依循之資料有限，設計準則或標準散諸各類專業圖書文獻，惟坊間出版圖書內容時間久遠且多著墨於理論，與現階段實務應用上存有落差，對設計者實際工作難有實質助益，導致實務上設計者多參考以往前人經驗或類似案例，依樣畫葫蘆，並未確切瞭解設計內容之原意及功能，造成「只知其然不知其所以然」之普遍現象，當遭遇不同情境條件下仍不知因應調整，容易發生設計上之謬誤，進而影響後續工程之執行；而且，設計者之間專業智識傳承也易因時空環境、人員異動而中斷，使後進工程師逐漸喪失工程核心技術，設計作業無所依循，形成管線工程設計品質有日益低落之趨勢。

有鑑於此，本文彙整管線工程設計相關之標準及指針，並結合實務經驗及作法，歸納整合管線工程規劃、設計之理論基礎及實務作法，期能提升管線工程師核心技術能力，並使設計者在管線工程專業基礎智識上除能達到「知其然並知其所以然」之程度，並能因應不同條件及情境，進行最妥適及正確的設計，更重要的是，在面對各類管線工程規劃或設計作業時，能站在更高的視野以達到「見樹又見林」的境界，擊劃更長遠可靠的自來水管線設施。

## 二、管線功能概述

自來水管線是整體供水系統中極為重要之設施，從集水區之蓄水設施取水後，由原水導水管引水至淨水場，淨水處理後經送水幹管輸送至供水轄區內各配水池及加壓站，再由各配水池加壓站經配水管配送至用戶前，最後由給水管進入各用戶端之用水設備(圖 1)。都靠管線擔任輸送之機能，因此管線設施之健全與否關係整體自來水供水系統之功能。

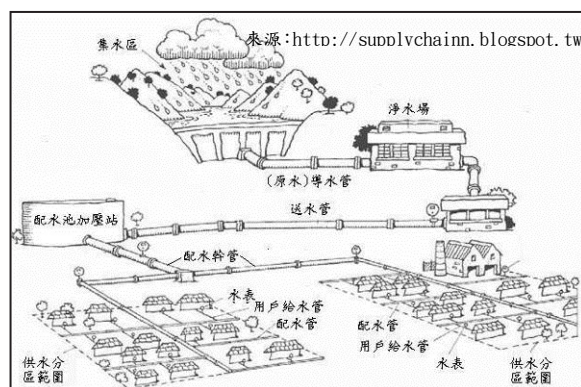


圖 1 供水管線系統示意圖

依其功能屬性可概分為導水管、送水管、配水管及給水管等四大類，茲分別說明如下：

(一)導水管：將原水從集水區取水設備導引至淨水場進行淨水處理之管路稱之為導水管，其輸送之流體為尚未淨化處理之原水，導水管斷面如滿水時則有壓力，與導水明渠的自然流有所不同，一般導水管肩負輸送整體供水系統之原水需求量，故其口徑通常最大，常採隧道襯砌

方式、鋼筋混凝土渠道方式施築，亦有採用預力混凝土管等管材穿管或埋設方式。

- (二)送水管：將自來水自淨水場輸送至供水轄區之配水池加壓站或配水管網之管路稱之為送水管，輸送之流體為經淨化處理後之清水(自來水)，採重力自然流或抽水機加壓方式輸送淨水場至配水池間之清水，送水管系統必須輸送充足之水量以及維持適當而均勻的水壓，其口徑僅次於導水管。
- (三)配水管：自配水池或加壓站為起點，將清水配送至用戶用水設備間之管線稱為配水管，顧名思義，即分配清水至用戶端，主要由配水幹管及配水支管所組成，配水幹管主要為鄰近配水池加壓站出口端之幹管，口徑較大，一般為  $\phi$  500mm 以上，配水幹管原則上不接用戶給水管，至於一般配水支管口徑則以  $\phi$  400mm 以下為主，配水管為用戶給水管最主要接水來源，通常沿都會區道路、巷弄等佈設成綿密之供水管網，佔整體管線設施之最多數。
- (四)給水管：從配水支管上引孔安裝分水栓或三通分支至用戶端水表前之小口徑管線，稱為用戶給水管，一般為口徑 50mm 以下，少數大量用水戶如廠房等工業用戶之給水管採用口徑 75mm、甚至 100mm 以上，屬於用戶用水設備之一部分，其所有權歸用戶所有，但表前公共道路(人行道)範圍內之給水管由供水單位負責維護，用戶負責表後屋內之用水設備。

### 三、供水規劃

#### (一)計畫水量

規劃一供水區域之每日自來水計畫水量主要係以該區域計畫目標年之人口數與每人每日用水量之乘積為計算基礎，人口數須考量人口成長因素，至於每人每日用水量，依據經濟部水利署定義「每人每日生活用水」為：「一天生活中，無論在家庭或工作場所之平均實際所需用水量」，計算方式如下： $\text{每人每日生活用水量(公升)} = \text{生活用水總量(公升)} \div \text{用水人口} \div 365 \text{ 日}$ ，一般習慣以公升/人/日 (LPCD-the liter per capita per day) 表示，其中生活用水包括：家庭用水、機關、學校及營業用水等(不含工業用水)。依據水利署統計資料，全台灣 105 年「每人每日生活用水量」平均值約為 275 LPCD，其中都會區因外來移動人口多、經濟活動興盛，故生活用水普遍較高，其中臺北市為 330LPCD(不含輸送漏水損失)。因此，計畫供水區域內每人每日用水量之推估應考量區域屬性，做為供水量規劃之基礎，俾能滿足未來需求。

自來水之供水量，依氣候、生活作息等不同因素會有時間性變化，一年之內會有季節性幅度高低之變化，一日之間也會因生活作息而有尖、離峰需水量之不同，故自來水供水量分別以平均日(整年平均一日供水量)、最大日(一年之內最大之一日供水量)及最大時(最大日當天之最大一小時供水量)供水量等表示，故應依據上述時間性變化訂定需求，作為設計供水量依據，俾能於任何時間均滿足最大量之用水需求。一般而言，供水系統規模越大，變動性越低，其尖峰係數( $K = \text{最大值} \div \text{平均值}$ )越小。以臺北自來水事

業處供水轄區為例，依據歷年用水統計資料，最大日供水量均不超過平均日之 120%，故最大日需水量之尖峰係數 K 值訂為 1.2，最大時需水量之尖峰係數 K 則為 1.3。例如：假設臺北市內計畫人口數 10,000 人之住宅重劃區域，則其最大日需水量之推估計算如下： $[10,000 \text{ 人} * 330 \text{ LPCD}] * 120\% = 3,960 \text{ CMD}$ ，最大時需水量為： $3,960 * 130\% = 5,148 \text{ CMD}$ ，並以此為基準進行後續供水設備之規劃設計。供水設備之計畫配水量必須滿足平常最大時需水量，以及火災時滿足最大日需水量加計消防用水量，換言之，即是採上述二式之較大值作為計畫配水量，此為計算配水管徑之基礎。

## (二)供水方式

供水方式主要可分為重力式、加壓式等二大類(圖 2)，重力式供水乃利用地勢位能由高往低自然流下供水，其管線之任一點高程不得高於動水力坡降線，否則將產生負壓，此種供水方式節省加壓能源且不受停電或抽水設備故障影響，最為經濟可靠，但對水壓之調節較不易，通常必須透過持(減)壓閥來調節不同高程區域之水壓變化；加壓式雖需耗費加壓電能，但其優點為較易透過抽水機等設備操作調節管網水壓，且於必要時立即停機或減壓供水；以上二類方式各有優缺點，因此，實務上發展出二者併用之方式，在重力流餘壓足夠前提下直接進入管網供水，離峰時間以重力流為主供水，並於尖峰時間加壓輔助，擷取各自優點，達到既節能又容易調節之供水模式，成為實務營運上最常採用之供水模式。

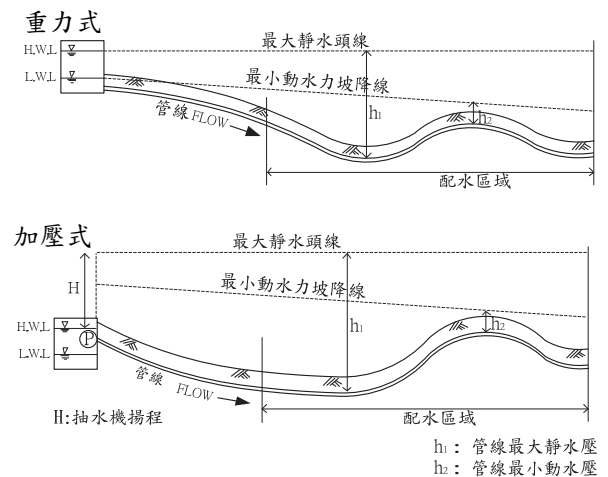


圖 2 重力式及加壓式供水示意圖

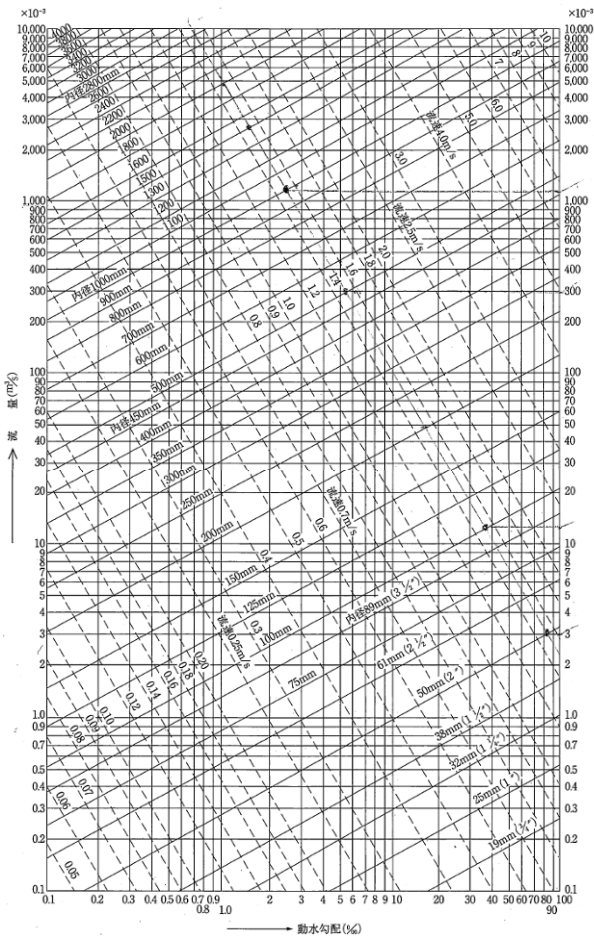
## 四、管線設計

管線工程設計除應確實瞭解局部現況及需求外，更要進一步掌握所設計管段在整體供水系統中之功能及定位，瞭解水從何處來往哪裡去，依據未來之量能及壓力需求，決定最適切之管徑、管材及閥栓附屬設備等。茲述如下：

### (一)管徑與流量

計畫配水量及供水方式通常在規劃前期階段即已定案，設計者依據規畫方案決定供水區配水池容量及管線口徑，配水池容量須能滿足最大日需水量 8 至 12 小時之用水需求；至於管徑，於最大日需水量之大量用水條件下同時開啟消防栓仍不得產生負壓為前提，以最大時需水量或最大日需水量加計消防用水量之大者為基準，計算所需管線口徑，管流之計算相當複雜，其水頭損失與流速係數 C 值(與管壁粗糙度、彎折、流速相關)、管徑及長度等因子均有關，故實務上常以 Hazen-Williams 公式圖表(表 1)查詢各種管徑於特定流速係數 C 值，不同管徑及流速條件下之輸送流量。

表 1 Hazen-Williams 圖表 (C=110)



管線設計流速宜適中，管徑越小則流速越快，對管材內襯摩擦損耗大且水頭損失及加壓動力費用均高，管徑太大則流速過慢導致水滯留時間長，且易孳生管垢影響水質，我國「自來水工程設施標準」規定原水導水管流速應界於 0.3~3 m/s 之間，至於一般配水管流速，實務設計上考量分區計量之流量計在低流速條件下計量可能失準，故整體流速以介於 0.6~3.0 m/s 之間較佳，茲分別以流速 1.5 及 3.0 m/s 推算各管徑之管流流量(表 2)。

設計者依據流量需求設計管徑，較大管徑雖然一次建設成本高，但因水損小故未來長期加壓動力費相對較低，反之小口徑建設成本雖低，然而加壓動力費高，二者之間必須取得平衡，考量管線建置後之全生命週期

成本再據以決定最適切管徑，即為經濟管徑(圖 3)。

表 2 流量試算表(C=110) 單位 CMD

流速 φ 口徑	1.5 m/s	3 m/s
50mm	260	520
100mm	1,100	2,200
200mm	4,200	8,400
500mm	26,000	52,000
800mm	67,000	146,000
1000mm	104,000	208,000
1500mm	240,000	480,000
2000mm	420,000	840,000

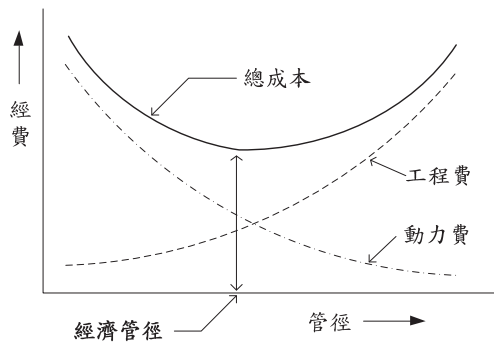


圖 3 經濟管徑關係圖

(二)設計水壓

在管線材質能承受之水壓範圍內，較高的配水管網供水壓力有形效益包括:擴大直接供水高度樓層範圍、降低水池之依賴避免水池污垢影響水質、減少用戶馬達抽水之整體能源消耗、消防用水救災效率高、管線遭受外部流體侵入污染水質機率低、管內壁污垢不易滋生等，整體而言，高水壓之供水品質效益較佳；然而，當整體管線網絡漏水率仍偏高之情況下，過高水壓所伴隨而來的是更高之漏水量，此外對管線供水安全的穩定



亦存在隱憂，因此，適當的水壓是配水管網系統供水營運極重要之一環。

綜合上開因素，「自來水設備工程設施標準解說」訂定配水管最小動水壓至少需  $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 、但以不超過  $5\text{kg}/\text{cm}^2$  為原則，相較於漏水率低之先進國家其供水動水壓多在  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  以上，國內自來水事業單位動水壓平均約  $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$  左右，部分區域水壓甚至低於  $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ ，顯見還有很大進步空間；至於最大靜水壓係不得超過所有使用管種規格容許之最大水壓，考量早期管網中混用各類管種包括：PVC 管、鑄鐵管、延性鑄鐵管、鋼管等不同耐壓強度之管材，故該標準解說係以最低強度 PVC 管之耐壓標準  $7.5\text{kg}/\text{cm}^2$  作為系統之最大靜水壓，然而國內除特殊地勢供水外，一般平地配水管網系統之實務操作上，鮮有超過  $7.5\text{kg}/\text{cm}^2$  之靜水壓力。

理論上，設計管線之管內水壓強度應能滿足操作最大動水壓再加計水錘所造成之瞬間額外增壓(水錘壓)，其中水錘壓主要與閥栓啟閉速度、流速、水頭、管長、管材彈性係數等因子相關，「自來水設備工程設施標準解說」概估金屬類管材(含 DIP、SP 等)水錘壓力約  $5\text{kg}/\text{cm}^2$  左右，以 DIP 配水管材為例，其完工耐壓試驗應據此為基礎訂定，意即最大動水壓( $5\text{kg}/\text{cm}^2$ )加水錘壓(約  $5\text{kg}/\text{cm}^2$ )= $10\text{kg}/\text{cm}^2$  較為合理，然而在特殊高地高程落差大之管線最大動水壓可能超過  $5\text{kg}/\text{cm}^2$  上限，此時可參考美國水道協會 AWWA C600 規範建議以最最大工作壓力之 1.5 倍作為試壓標準。綜上，金屬類管線設

計測試水壓標準，宜以  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  或最大工作壓力 1.5 倍二者之較大者作為管線完工通水之試壓標準，且設計選用之管材及相關閥件之最大容許耐壓強度必須能滿足試壓標準。

實際上，一般金屬類管材容許耐壓強度遠高於  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ ，管線系統上之承插式接頭、平口接頭及相關閥件設施等之水密性耐壓等級也應一併考量，整體應以不低於  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  為原則，須特別注意的是，閥件本身及用來連接閥件之平口接頭耐壓等級區分為  $7.5$ 、 $10$ 、 $16$ 、 $20\text{kg}/\text{cm}^2$  四級，平口接頭  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  以上(含)等級應使用 RF-GF 型式平口法蘭及對應膠圈(圖 4)，設計使用上須對應管線系統之耐壓等級，避免誤用形成弱點。

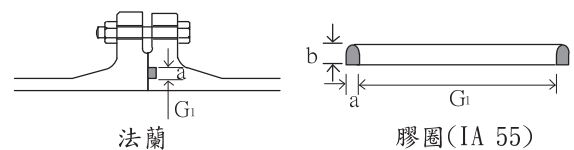
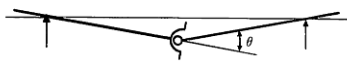


圖 4 RF-GF 耐高壓型平口法蘭(10~20K)

至於國內一般使用 DIP K 型、U 型、T 型以及日本耐震接頭 NS 型、GX 型等承插式接頭之耐壓性，依據日本延性鑄鐵管協會水壓試驗結果顯示，上述接頭在具撓角情況下，均能承受高達  $25\text{kg}/\text{cm}^2$  以上之水壓而無滲漏(表 3)，顯見此類接頭耐壓水密性之高，故一般管線設計並無需考量此種柔性承插接頭之耐壓性，惟須注意的是彎頭、三通、末端等管件應以固定台、防脫接頭等妥予束制加固，特別是管線試壓時端點封管處之加固錨定強度應妥予計算，避免管內高壓不平衡內力造成脫接甚至爆管引發危害。

表 3 DIP 承插接頭耐壓強度表

接合形式	呼び径	負荷水圧 (MPa)	曲げ角度 ( $\theta$ )	継手部の状況
GX形	100	2.5	8°	漏えいその他異常なし
	250	2.5	8°	〃
NS形	75	2.5	8°	〃
	200	2.5	8°	〃
	400	2.5	6°	〃
	500	2.0	7°	〃
	1000	2.0	7°	〃
S II形	400	3.0	4°	〃
S 形	500	2.5	4°20'	〃
	800	2.5	2°17'	〃
	2000	2.5	1°56'	〃
K 形	300	2.5	5°	〃
	700	5.0	3°	〃
	1200	2.5	2°52'	〃
	1800	2.5	2°35'	〃
T 形	150	2.5	5°	〃
	250	2.5	5°	〃
	500	2.5	6°	〃
	1000	2.5	4°	〃
	1500	2.5	4°	〃
	2000	2.5	4°	〃
U 形	1000	2.5	2°06'	〃
	2000	2.5	1°58'	〃
	2600	2.5	3°	〃

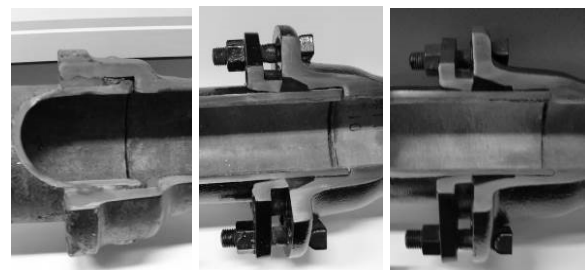


(三) 管材選用

國內開啟現代化自來水建設迄今已逾百年，歷經不同階段之發展，管材因工業技術提升及時代演進而不斷進化，時至今日現存使用中之管材相當多元，大致上可分為鑄鐵管、鋼管、混凝土管及塑膠管等四大類材質之管材，其中以鑄鐵類材質佔最大宗。設計者對於各類管材特性及其適用條件應深入瞭解認知以能正確設計採用，茲分別概述如下：

1. 鑄鐵管類：國內在 20 世紀初日治時期開始發展現代自來水系統(註:臺灣首座現代化自來水「淡水水道」即採購英國進口之鑄鐵管)，從最早期的灌鉛白口接頭普通灰口鑄鐵管(無內襯，簡稱 CIP)演進至膠圈止水之美國式機械接頭灰口鑄鐵管(有內襯，簡稱 MJP)，其後材質再進化成球狀石墨鑄鐵之延性鑄鐵管(簡稱 DIP)同時改良機械接頭(有內襯，K 型接頭)，詳圖 5。

早期建置之 CIP、MJP 等管種迄今多已逾 40 年甚至百年以上，管齡普遍老舊，故一般優先列為汰換更新之標的，至於目前新設之延性鑄鐵管 DIP，其材質為球狀石墨鑄鐵，具有高強度、高韌性等優點，搭配柔性承插式接頭，埋設於地下能順應地盤之變形；另相較於鋼管，延性鑄鐵材質電阻高且接頭膠圈具絕緣效果，更能避免電化學反應引起之腐蝕，耐腐蝕性較佳，再加上現場施工組裝容易等優勢，國內自民國 60 年代中期開始引進設備生產後，已成為實務應用最廣泛、使用最普遍也最可靠之自來水管輸配水管之管材，實際量產口徑包括  $\phi$  100mm~2600 mm，除一般中小口徑之配水管普遍採用此類管材外，更大口徑之導水及輸送水幹管等亦廣泛採用，臺灣自來水公司及臺北自來水事業處使用之各類管材中，均以延性鑄鐵管佔最大宗。



灌鉛白口接頭 機械接頭(A型) 改良接頭(K型)

圖 5 DIP 管材各類接頭型式

表 4 DIP 直管管件耐壓強度表 單位 kg/cm<sup>2</sup>

直管(mm)	水壓	管件(mm)	水壓
$\phi$ 75~300	60	$\phi$ 75~300	30
$\phi$ 350~600	50	$\phi$ 350~600	25
$\phi$ 700~1000	40	$\phi$ 700~1000	20
$\phi$ 1100~1500	30	$\phi$ 1100~2600	15
$\phi$ 1600~2600	25		



相較於美國 AWWA 規格之 DIP 分為 150、250、350psi(約 10.5、17.5、24.6 kg/cm<sup>2</sup>) 三種耐壓等級，我國國家標準 CNS10808[延性鑄鐵管]及 CNS13272[延性鑄鐵管件]規定，直管本體規定之耐壓強度依口徑別為 25~60kg/cm<sup>2</sup>，管件則為 15~30 kg/cm<sup>2</sup> (表 4)，管徑越小耐壓度越高，最低耐壓強度為 15kg/cm<sup>2</sup>，換言之，DIP 之耐壓等級最小為 15kg/cm<sup>2</sup>，至於超過者則需視個案評估適用性。然而，DIP 彎頭另件等之規格尺度固定，於較複雜的地形條件下欲配合不規則彎折調整較為僵化不易，甚或必須調整接口撓角始能順利裝接，另在明管及懸掛之配置下設計採 DIP 柔性接頭容易脫接，須採防脫接頭或作適當之固定防護，以避免影響接頭水密性甚至脫接，因此，設計管線在複雜曲折線型、明管或懸掛條件需求下之配管設計宜採一體化之銲接鋼管以利配合現場調整線型，避免僵化之 DI 管件逐只組裝，徒增接頭數及脫接漏水之風險。

2.鋼管類：相較於延性鑄鐵管，鋼管比重稍大，但相同規格之鋼管厚度較薄，故其重量反輕，延展伸長率較高，利用銲接接合能成為無接頭連續性之一體化線性結構，具有高耐震性、延展性等特點，且能配合地形環境不規則彎折之線性構造，主要適用於須配合不規則地形調整線型之大口徑導水、輸水幹管、水管橋及其他配管等之用途，管線之主要接合方式為焊接，除需專業技術銲工施工外，接合作業工率亦低，又電阻低易致電化學反應，抗腐蝕性稍差，必須做好防蝕處理或改採不銹鋼 (SSP) 材質，然因不銹鋼管價格昂貴，僅適

用於長度較短之局部管段或高腐蝕性區域，對鋼管維護管理主要在於其防蝕保護，明管部分如水管橋等需定期進行防蝕塗裝。依據我國國家標準 CNS6568[輸水用塗覆裝鋼管]及 CNS6666 [輸水塗覆裝鋼管管件]規定，直管本體之耐壓強度依管種分別為 20~35kg/cm<sup>2</sup>，管件則為 12.5~ 35 kg/cm<sup>2</sup> (表 5)。整體而言，鋼管應用於自來水管之侷限較多，然其於特殊地形條件下仍具有其適用之必要性，彌補無法採用延性鑄鐵管之環境。

表 5 SP 直管管件耐壓強度表 單位 kg/cm<sup>2</sup>

直管(種類)	水壓	管件(種類)	水壓
STW290	25	F12	12.5
STW370	35	F15	15
STW400	20 (25)	F20	20
		F25	25
		F29	35

3.混凝土管類：由於早期使用之混凝土管為抗壓性有限之鋼筋混凝土管(RCP)，後來加入預力鋼鍵成為預力混凝土管(PSCP)，然預力鋼鍵易受管內水滲透腐蝕，故於管內部再增加一筒狀鋼襯版予以阻隔，而成為後來較常用之鋼襯預力混凝土管(PCCP)，主要用在大口徑之上游導水管或輸送水管居多，以鋼襯預力混凝土管為代表性管種，其組成包括混凝土、預力鋼鍵、鋼襯環等材料(圖 6)，屬於複合式材料管種，依據我國國家標準 CNS12285 [鋼襯預力混凝土管]規定，直管分為 5 等級，其耐內水壓強度依管種分別為 4~18 kg/cm<sup>2</sup>，因採雙膠圈之止水機制故可進行接頭逐口試水壓，

尚需外壓測試，耐外壓強度依不同管種及口徑分別為 5.1~ 28.7t/m(表 6)。相較於 DIP 及 SP 管材，PCCP 整體耐壓性普遍較低，而且並無管件標準，導致設計使用上常須搭配特殊轉換接頭轉接鋼製或延性鑄鐵之另件，造成管線系統混合搭配不同材質，徒增接頭及漏水機率且亦降低整體線性系統之耐震性。維護管理必須特別注意管體結構內部如預力鋼件等重要構件之功能，是否腐蝕甚至斷裂將影響管線輸水之安全。整體而言，其安全可靠度較延性鑄鐵管及鋼管等管種低，然因價格低廉，故於特定條件下仍具其適用性。

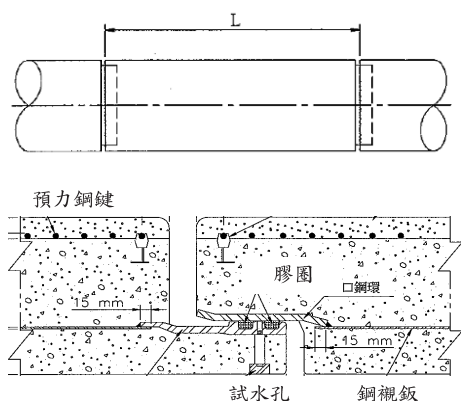


圖 6 PCCP 直管及接頭構造圖

表 6 PCCP 直管耐壓強度表 單位 kg/cm<sup>2</sup>

種類	內水壓(kg/cm <sup>2</sup> )	外壓(t/m)	
內壓管	5 級	18	11.0~28.7
	4 級	14	9.4~23.8
	3 級	10	7.8~18.8
	2 級	6	6.0~14.5
	1 級	4	5.1~11.4

4. 塑膠管類：主要應用在用戶給水管以及 200mm 以下之小口徑配水支管為主，例如聚氯乙烯管(PVCP)及耐衝擊硬質聚氯乙烯管(HIWP)等，該類管種價格低廉，運搬、

組裝等施工容易，又管壁光滑流速係數 C 值高，使其早期普遍使用在中小口徑自來水管線，然其強度遠低於金屬類管種，耐內外壓之強度較低，國家標準 CNS4053-1 [自來水用硬質聚氯乙烯塑膠管]之耐水壓限制為 7.5kg/cm<sup>2</sup>，受限於使用壓力，國內臺灣自來水公司及臺北自來水事業處早期均採用塑膠管作為用戶給水管或小口徑配水管之管材，然因塑膠類有材質強度低及老化問題，長久下來影響管體強度而易生漏水。

以上四類管種分析優劣比較整理如表 7。

表 7 各類管材優劣比較表

管種	優點	缺點
DIP	1.高強度、韌性、耐衝擊、耐久、耐蝕 2.柔性接頭能順應地盤變形 3.施工性佳	1.重量大 2.須於彎頭等必要處設置固定台或防脫防護 3.另件規格固定，不規則配管困難
SP	1.高強度、韌性、耐衝擊、耐久 2.焊接一體成形防脫離 3.不規則加工成型容易	1.熱膨脹率大須設伸縮接頭 2.須防電蝕 3.焊接及現場塗裝費時 4.管溝積水不易焊接施工
PCCP	1.耐腐蝕電蝕性佳 2.能耐外壓 3.價格低廉	1.無另件規格 2.接頭可撓性及水密性較差 3.複合材質品質難控管 4.粗重體積大，運搬施工不易
PVCP	1.耐腐蝕電蝕性優 2.質輕運搬施工易 3.內壁光滑水損小 4.價格最低廉	1.耐內外壓強度均低 2.低溫耐衝擊性差 3.不耐溶劑、熱及紫外線接觸，易老化

#### (四)管線附屬設備

管線附屬設備包括:制水閥、接合并、排氣閥、救火栓、排水(泥)管、持(減)壓閥、檢視孔、流量計等，設計者應充分瞭解其功能並於管線系統之適當位置配置相對應之附屬設備，以維持管線之正常功能，發揮最大效益，各類設備之設計考量因素茲分別列述如下：

1.制水閥：制水閥為維持管線功能所必要之重要設施，主要型式分為閘閥與蝶閥，閘閥之體積尺寸(高度)較大，故一般適用於 $\phi$  400mm 以下配水管，國內常用之規格品為彈性座封閘閥，其止水性較佳，因此更適用於常閉閥例如排水(泥)閥；至於 $\phi$  500mm 以上幹管則多採體積較小之蝶閥型式，早期蝶閥除關閉止水功能外，尚可部分開啟並依據閥瓣開度作為流量控制功用，因此在主要幹管上設計使用相當普遍，惟近來流量控制專用閥類更能有效精確控制流量，故蝶閥已專作為大口徑管線止水功能。

制水閥為管線系統上最主要之設備，必須考慮日後管線維護操作之方便，以操作少數制水閥能使停水區域局限於最小範圍，縮小影響區域，適當設置制水閥之位置包括但不限於以下：

- (1)應於管線起點設置制水閥作為整體供水管線系統之總開關，於必要時操作可控制全系統之供水。
- (2)主管線分歧部除分歧管須設制水閥外，另應於主管分歧點之下游端增設制水閥，使能調控整體供水。
- (3)過河底、鐵路或橋梁等穿越重要地形或設

施之管段二端應設制水閥，俾於緊急狀況時先行關閉前後開關，避免災情擴大。

- (4)不同配水區塊系統間之連絡管設制水閥，平時各自獨立供水，需要時開啟支援供水。
  - (5)於特殊閥或流量計前後應設置制水閥，俾利維修或汰換時，利用前後之開關止水拆卸安裝。
  - (6)排氣閥、消防栓前端增設制水閥開關，當停水更換排氣閥、消防栓等作業時，不影響主管供水。
  - (7)壓力在  $4\text{kg/cm}^2$  以上之高壓大口徑管線( $\phi$  400mm 以上)，於空間許可條件下，應考量增設約  $1/5\sim 1/4$  主管口徑之副閥以利未來之順利操作。
- 2.接合并：於導水、送水等大口徑專管上適當位置設置銜接上下游之接合并，使管內之高壓或水錘能於接合并內藉自由水面釋放，保護管線本體安全，並能降低下游側管段之靜水壓(圖 7)，同時藉由接合并自由水面高程能確實掌握管線系統之水頭壓力，具有消壓及平壓之功能，因此又稱為消壓或平壓井(塔)，其設置必須考量適當之用地及上下游管段壓力之平均分散。此外，導送水管埋設路徑上任一點之高程，不得高於水力坡降線，否則高於水力坡降線之區間管段將產生負壓，此時應設法提高水力坡降線，可藉由放大上游段之管線口徑以降低水損提高水頭及水力坡降線，或於高點處增設接合并，以消彌管段之負壓(圖 8)。

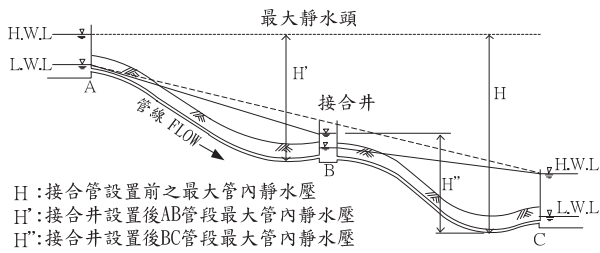


圖 7 增設接合井減輕管段水壓示意

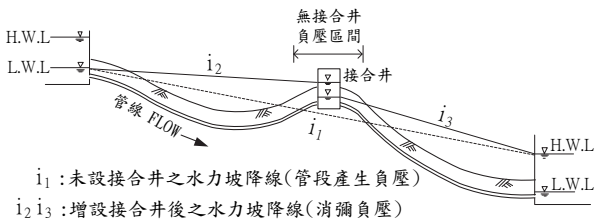


圖 8 增設接合井消彌管段負壓示意

3.排氣閥：管線輸送水過程中所產生之空氣累積會影響水流斷面甚至妨礙通水，並增加水錘危害風險，排氣閥能排除管內空氣、避免輸水效能降低、減緩水錘影響，此外，排氣閥兼具吸氣功能，避免管內負壓保護管線，故應於易生空氣(負壓)或聚積之處設置排氣閥，包括抽水機出水口、管線線形之局部高點及其他處所等(圖 9)。

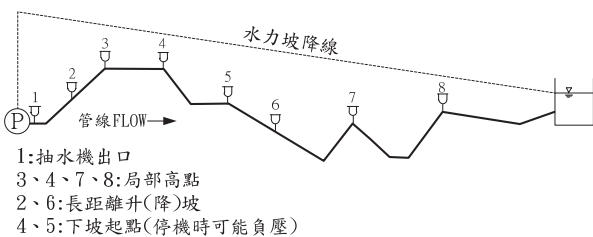


圖 9 排氣閥設置位置示意圖

此外，於新設空管或停水修理後之通水，均應特別考量管內大量空氣之排除通路，並於設計相對應口徑之排氣閥，各排氣閥口徑對應之適用之本管口徑(表 8)。而排氣閥應水平裝設，才能充分發揮排氣之功用；至於  $\phi 800\text{mm}$  以上管線之排氣設計宜以支

管  $\phi 600\text{mm}$  以上之丁字管轉接兼為檢修人孔，並在丁字管上裝設大小頭及排氣閥，排氣閥前應附設制水閥以利維修； $\phi 20、25\text{mm}$  等小口徑之排氣閥不宜採短管直接鑽孔，改以鞍帶固定該處短管及排氣可避免鑽點處鬆動漏水。

表 8 排氣閥與本管口徑對應表

複合式排氣閥(mm)	25	75	100	150	200	200 2只
本管(mm)	100   350	350   800	700   1100	1100   1650	1500   2200	2400 以上

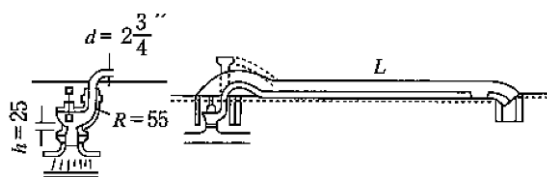
4.救火(消防)栓：救火栓一般設置在配水支管上，我國「救火栓設置標準」規定救火栓裝設之間距在市中心以每隔 60 公尺至 120 公尺設置一處為原則，並須視當地之區域性質、消防設備、人口密度、建築物、氣象條件等相關因素設置，使每處救火栓之消防能力範圍與其四周救火栓彼此銜接。救火栓型式分為地下式與地上式，各有單口與雙口二種，出水口徑為  $\phi 63.5\text{mm}$ ，地上式雙口救火栓應加設螺旋式  $\phi 102\text{mm}$  之出水口用以連接消防抽水機。實務上，國內救火栓之型式以地下式單口、地上式雙口為主要設置原則，其中，地下式採用  $\phi 75 \times 63.5\text{mm}$  規格之單口救火栓，應裝於  $\phi 100\text{mm}$  以上配水管，設計時透過支管  $\phi 75\text{mm}$  救火三通轉接地下式救火栓，地下室救火栓頂端出水口距地面之深度為 20cm，最多不能超過 30cm，以免影響救災時效；至於地上式則採用  $\phi 150 \times 63.5\text{mm}$  ( $\phi 102\text{mm}$ ) 規格之雙口救火栓，應裝設於口徑  $\phi 200\text{mm}$  以上之配水管，透過支管  $\phi$

150mm 三通分出消防支管，並於該支管設制水閥。限制消防栓設置本管口徑下限之目的在於開啟消防栓救火時避免影響本管壓力甚至負壓發生，因此救火栓設置所在本管口徑應盡量偏大，但附近無其他消防用水水源時，不得已時得於口徑  $\phi 75\text{mm}$  之配水管裝設單口救火栓。另「救火栓設置標準」規定救火栓之放水量，單口式至少每分鐘 1 立方公尺，雙口式為每分鐘 2 立方公尺，不同水壓下之出水量概算表如表 9，救火栓應設在便於消防作業之地點，如街道交叉口、分歧點附近或路旁，並應儘量避免妨礙交通。

表 9 救火栓出水量概算表

本管水壓 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	軟管管長 L(m)			
	6	10	16	20
0.5	0.9	0.76	0.64	0.59
1.0	1.26	1.03	0.9	0.83
1.5	1.55	1.32	1.11	1.02
2.0	1.79	1.52	1.25	1.17
3.0	2.20	1.57	1.56	1.44

單位： $\text{m}^3/\text{min}$



5.排水(泥)管：排水管以設計在管線高程之低處為原則，選在河川、渠道、排水系統等適當排水通路附近設置排水管及排出口，設計排水管口徑一般為本管口徑之  $1/4 \sim 1/2$ ，並在合理之範圍儘量放大，惟如排入側溝等小容量排水設施，則應評估其排水通路容量是否適配，再據以決定設計合適之排水管口徑，排水管排水量概算如

表 10。排水口高程應高於放流體之高水位，以降低受污染機率，且河川之排出口週邊應為堅固護岸，以免遭受放流水沖毀，其設計配置示意如圖 10。

表 10 排水管排水量概算表(排水管 50M)

排水管徑 (mm)/開度	本管水壓( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )					
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	
100	半開	0.91	1.29	1.57	1.82	2.24
	全開	0.95	1.35	1.65	1.90	2.33
200	半開	5.2	7.4	9.0	10.4	12.7
	全開	6.1	8.1	10.0	11.5	14.1
300	半開	14.5	20.5	25.0	29.0	35.5
	全開	17.0	24.0	29.4	34.0	41.6
400	半開	28.4	40.1	49.1	56.7	69.5
	全開	34.8	49.2	60.2	69.5	85.1

單位： $\text{m}^3/\text{min}$

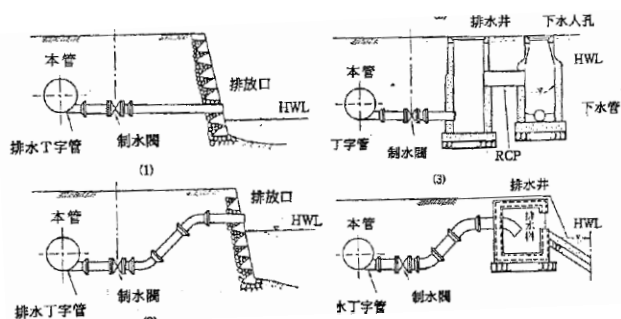


圖 10 排水管設計示意

6.持、減壓閥：供水區域範圍內之管線壓力會因距離加壓站遠近或地勢高低而有所不同，透過持、減壓閥的設置，能夠維持低壓區的管壓並降低高壓區壓力，均化同一供水系統內之管壓，避免局部管線壓力過高及偏低二極化，不利供水營運。設計原則如下：位處地勢高、水壓偏低區域之管線下游端應設置持壓閥，並設定持壓閥上游側之壓力數值據以維持供水水壓；至於

地勢較低處水壓偏高，此時應於管線上游端設置減壓閥，並可設定減壓閥下游側壓力數值減輕下游供水區域之壓力(圖 11)，使最大水壓不超過所用管種規格容許之最大靜水壓，以避免水壓超過正常需要而使維護管理增加困難。設計高地供水時，高差約 30 公尺設置一供水區，持、減壓閥應設置窰井以利維護操作，且其前後應設置制水閥開關，以利停水維修。

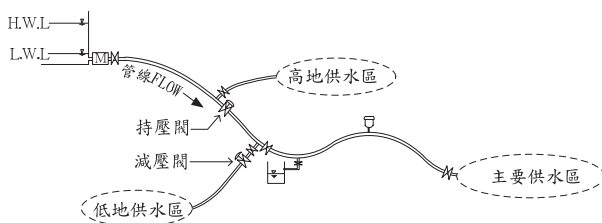


圖 11 持、減壓閥設計位置斷面示意

7. 檢視孔：大口徑幹管明挖修復或汰換所須挖掘面積大、對道路交通影響範圍廣，管線採明挖外部維護施工之可行性低，故一般管徑在  $\phi 800\text{mm}$  以上之大幹管，設計時應在適當位置設置檢修人孔，以利未來進入管內進行維護及檢修，一般以支管  $\phi 600\text{mm}$  以上三通管件作為檢視人孔，通常配合上方縮管增設排氣閥，平時作為排氣功能，必要時可拆卸排氣閥及縮管作為人員進入之檢修人孔，並應配合設置窰井妥予維護。
8. 流量計：流量計為供水管理的重要設施，確保計量準確性為首要設計考量，超音波與電磁式流量計之準確性高，實務上以大口徑採超音波、小口徑採電磁式流量計為主要設計原則。此外，保持管流之流速、滿管及穩定亦為計量準確之前提，因此，設計位置應保持流量計前後管段之筆直，

前 10D 後 5D 之直線長度為一般設計要求 (D：流量計口徑)，必要時可考量縮管以增加流速及穩定管流，或於流量計前端增設排氣閥以減少空氣干擾等措施，均有助於提升計量之準確性。

## 五、結論

良好合宜的設計品質須建立在充分之專業智識基礎上，本文所述僅為自來水管線工程基礎專業之一隅，作為自來水工程專業工程人員，除應不斷從工作經驗中學習外，更應主動積極汲取涉獵廣泛之專業技術並落實於設計及施工作業，以提升國內自來水工程之專業技術水準。

## 參考文獻

1. 水道設施設計指南(2012)，日本水道協會
2. 自來水設備工程設施標準解說(1995)，中華民國自來水協會
3. 配水管工程設計標準(2003)，臺北自來水事業處工程總隊
4. 自來水工程設施標準(2003)，水利署
5. 自來水技術人員管理類技術知識概要(2014)，水利署
6. 救火栓設置標準(2003)，水利署
7. Installation of Ductile-Iron Water Mains and Their Appurtenances(1999)，美國水道協會 AWWA C600-99
8. ダクタイル鉄管管路設計と施工，日本延性鑄鐵管協會 JDDPA T23

## 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

# 從自來水供應業常見之職業災害探討其定義與範疇

文/陳信利、汪欽賢

## 一、前言

大數據(又稱為巨量資料)之所以可以做為包括趨勢、圖樣分析,以及開發不同的分類、預測預報系統的關鍵因素,在於基礎資料的完整與正確;職業災害統計分析類型的趨勢做法,同樣也需建立在定義及範疇相同的基礎上。依據職業安全衛生法規規定,事業單位應訂定職業安全衛生管理計畫應包括之職業災害、虛驚事故、影響身心健康事件之調查處理及統計分析等事項,作為事業單位後續擬定目標及改善策略之重要依據,然此前提應清楚何謂職業災害,明確勾勒出職業災害的邊界,彙整之資料才有意義,分析出來的結果才有價值。

依據台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)105 年委外辦理之「形塑安全文化研究」報告指出,台水公司所屬各單位職業災害類型有普同性,也有特殊性,經統計台水公司自 84 年至 106 年之職業災害類型分佈,以員工發生工作中交通事故類型最為常見,所屬承攬商勞工則以發生物體倒塌、崩塌之災害類型為最高。但究竟事故發生為一般意外或是工安事故,常常讓人無法第一時間判斷後立即展開通報及後續防範措施,或是焦頭爛額忙了一陣子,才發現是歸屬於一般普通事故。常見的情況例如一般人常問的上下班交通算是職業災害?給水廠廠區內受傷沒請假就不是算職業災害?交付承攬的管線汰換工程之承攬商勞工因自身疾病

於工地死亡是不是職災?承攬商雇主本身在工地從事勞動罹災就不算職災?諸如此類相關問題不但有人經常討論,而且常常莫衷一是。反覆思考這些問題都圍繞在一個癥結上,那就是「職業災害」的界定範圍,以及所延伸的職業安全衛生或是勞動條件的法規規定層面上。

另外一般公司行號常見委外勞務採購之對象主體,可分為自然人及法人,對於自來水事業單位與其權利主體不同而簽訂之勞務採購契約,事業單位在「職業安全衛生法」所應負擔的責任義務為何?將以台水公司某區管理處 106 年發生勞務委外環境整理,承攬人於區處鄰近之廢水池失足溺斃案例分析及探討,以協助自來水事業單位正確評估風險程度,並對潛在之職業災害風險做出適當有效之管控措施,進而達成降低企業經營風險,是本研究的主要目的。

## 二、職業災害定義

依據 102 年 7 月 3 日總統華總一義字第 10200127211 號令修正公布之「職業安全衛生法」(原名稱:勞工安全衛生法,以下簡稱職安法)第 2 條定義「職業災害」,稱指因勞動場所之建築物、機械、設備、原料、材料、化學品、氣體、蒸氣、粉塵等或作業活動及其他職業上原因引起之工作者疾病、傷害、失能或死亡。

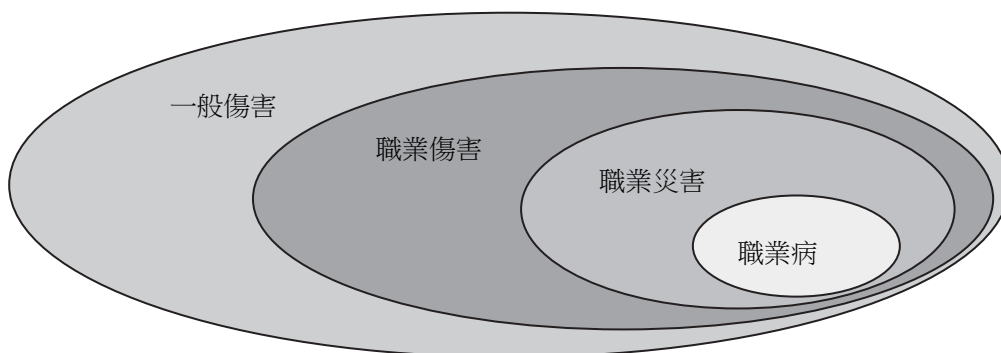
其中「勞動場所」的定義最為寬廣,於職安法施行細則第 5 條說明勞動場所,包括

於勞動契約存續中，由雇主所提示，使勞工履行契約提供勞務之場所，或是其他受工作場所負責人指揮或監督從事勞動之人員，實際從事勞動之場所，例如奉派公出、出差的工作中途都算。有關「職業上原因」參據職安法施行細則第 6 條規定，係指隨作業活動所衍生，於勞動上一切必要行為及其附隨行為而具有相當因果關係者。至於「工作者」於職安法第 2 條，載明工作者指勞工、自營作業者及其他受工作場所負責人指揮或監督從事勞動之人員。而勞工指受僱從事工作獲致工資者；自營作業者，指獨立從事勞動或技藝工作，獲致報酬，且未僱用有酬人員幫同工作者；其他受工作場所負責人指揮或監督從事勞動之人員，指與事業單位無僱傭關係，於其工作場所從事勞動或以學習技能、接受職業訓練為目的從事勞動之工作者，如派遣工、技術生、建教合作班之學生等與其他性質相類之人員均屬之，倘事業單位以承攬方式，委請外部廠商提供「設備修繕」、「餐飲服務」、「清潔」及「保全」等服務，而該等人員受事業單位工作場所負責人指揮或監督從事勞動，則須納入「非屬受僱

勞工之其他工作者」之人數計算。

從上面的敘述可以知道，對於工作者罹災是因為在勞動場所由職業上原因所引起，就是職業災害，簡言之，除上下班交通外，因為職業上原因而發生事故者均屬之。職業傷害及其職業災害相對範疇，詳如下圖所示。

或許有人會說員工是因為工作時間的規定，才有上下班的行為，為何此行為所衍生意外不算職業災害？其實困擾的是，在一些公文文書上也曾出現上下班交通事故之職業災害等語，難怪讓一些同仁看得霧煞煞。參考職業安全衛生署公布於該署網站的資料說明可以得知，勞工於上、下班通勤中發生之交通事故不屬於職安法第 2 條所定提供勞務之場所範圍，雇主尚無須依職安法第 37 條第 2 項規定，於 8 小時內通報勞動檢查機構，但需注意勞工倘係於執行職務(例如公出開會、受訓或郵寄文件過程中)發生交通事故，則符合職災定義。一般人在意的是，有關上下班途中之通勤災害，得否請領補償、保險給付或請公傷假等，其權益與是不是職災有何差異？為此，勞動部勞工保險局（以



災害事故歸屬範圍示意圖

下簡稱勞保局)訂有「勞工保險被保險人因執行職務而致傷病審查準則」(勞動部 105 年 3 月 21 日勞動保 3 字第 1050140140 號令修正發布施行)可供遵循,勞保被保險人於上、下班途中發生事故視為職業傷害。當事人向勞保局申請職災保險給付時,應填具相關保險給付申請書表,對於初次申請者應同時填具勞保局印製的「勞工保險被保險人上下班、公出途中發生事故而致傷害證明書」,但不得有上開審查準則第 18 條所規定未領有駕駛執照、闖紅燈、闖越平交道、酒駕或蛇行等行為,否則不得視為職業傷害。上下班交通證明書由投保單位確認蓋章後寄送勞保局,勞保局審查通過後核發職傷給付。

### 三、職災認定注意事項

瞭解職業災害的範圍定義後,再進一步參考勞動部發布之「加強職業安全衛生法第 26 條及第 27 條檢查注意事項」,以拼圖方式就職安法對於職業災害所衍生其應注意事項,再做進一步釐清及探究:

#### (一)承攬關係之認定

- 1.承攬與僱傭關係認定:「稱承攬者,謂當事人約定,一方為他方完成一定之工作,他方俟工作完成,給付報酬之契約。」;「稱僱傭者,謂當事人約定,一方於一定或不定之期限內為他方服勞務,他方給付報酬之契約。」,於民法第 482 條及第 490 條定有明文。承攬在當事人二者之間不具從屬關係,有關承攬關係之認定,除依上述原則外,仍應就民法債編中所提承攬人特徵,如品質保證、瑕疵修補、解約或減少報酬損害賠償、危險負擔等加以分析認定。
- 2.事業單位將工程部分工作,以代工不帶料

方式交付自然人施工,勞動檢查機構應調查該自然人是否以提供勞務為主,及事業單位對該工程是否具統籌規劃、管理及指揮監督權限。調查事實及證據時,應就整體工程範圍之統籌規劃、管理及指揮監督權等層面認定之,且勞務給付部分,只要存在有部分從屬性,即可從寬認定為勞動契約。自營作業之認定,以管理、監督、指揮之有無決定之,如未能證明其不受管理、監督、指揮,一般以僱傭關係視為勞工。

- 3.綜上可知,若原事業單位將一部份或全部事業交付承攬,而承攬商勞工於勞動場所發生意外,應稱該罹災勞工所屬之事業單位發生職業災害,縱向承攬關係各事業(含原事業單位)應稱為發生工安事故,而非各事業單位皆各稱為發生職業災害。對於自來水事業將事業之一部分交付承攬,例如常見之管線汰換工程或是委外勞務採購,只要不具直接管理及指揮監督權限,一般在承攬關係認定偏屬原事業單位之角色,若工地承攬商勞工因職業上原因罹災,應稱為「某某自來水事業交付承攬之某某承攬商發生職業災害」或是「某某自來水事業交付承攬之工地發生工安事故」,而不能直接稱為「某某自來水事業發生職業災害」。

#### (二)原事業單位之認定

- 1.事業單位將其事業之一部分交付承攬是否認定為「以其事業交付承攬」,一般以事業單位之實際經營內容、經常業務活動及所必要之輔助活動作個案認定。雖然在實務上偶爾會遇到因為勞動檢查機構的檢查員

執行認定標準不一，或許是溝通解釋出了問題，而未有一致的作法及結果，這是因為法規僅規定原則方向，但實際態樣卻是玲瑯滿目，各有不同而主事者採個案認定所致；對勞動檢查之檢查員而言，他們是視該事業單位之經營內容、規模、組織、人員能力及機具等，加上交付承攬對象之執行承攬管理能力，整體綜合考量後判定工程主辦機關是否為業主或原事業單位；對工程主辦機關而言，工程既已交付承攬，若所交付事項非事業經營明定之項目，或為一般常態性勞務(如清潔、保全等庶務性工作)，或新技術、工法等非主辦機關熟知者，均自認本身應為業主而非原事業單位，而未實施必要之指導及告知，而遭罰鍰甚或發生職業災害。

2. 譬如自來水事業將管線汰換工程交付承攬，承攬人將其中有關部分施工工項交由再承攬人施作，倘再承攬人之勞工於工地遇險，則以罹災勞工所屬之雇主為調查對象；自來水事業單位在此工程之承攬關係，則以原事業單位視之；對於獨立施工區域之如新建圍牆工程施工，因非屬自來水事業之一部分，自來水事業則歸屬於業主的角色，而非原事業單位。雖然勞動檢查機構往往會採較為嚴謹的角度做認定，但未來勞動部若能羅列已具體認定不同特殊個案為業主或原事業單位的案例，公告周知以為遵循最佳，畢竟不管交付承攬之主辦機關為業主或原事業單位，自以為不適用條文而未辦理相關管理作為，而發生人員傷亡事故總是大家所不樂見的，況且加強宣導亦可減少許多爭議案件。

### (三)共同作業之認定

1. 依據職安法施行細則第 37 條規定，所稱共同作業指原事業單位與承攬人、再承攬人分別僱用勞工於「同一期間」、「同一工作場所」從事工作。作業活動之場所不論施工期間長短或是否經常出入，如有重疊部分均屬同一期間、同一工作場所範疇，雖工作僅數小時之吊運鋼筋至工地等作業，亦有共同作業之事實，但工作完後，無重疊時自可退出協議組織運作。因此，「同一期間」宜以同一工程之期間作為認定；至「同一工作場所」則宜以工程施工範圍所及，且彼此作業間具有相互關連或幫助關連認定之。
2. 同一工作場所原事業單位本身無勞工進行作業時，則不產生職業安全衛生法第 27 第 1 項勞工安全衛生統合管理義務。至於事業單位本身勞工有否進行作業則以該事業單位有否實施工程施工管理論斷。
3. 對於鄰接道路新增埋設自來水管之工程，雖於工程施作過程均未與承攬人或再承攬人之勞工於「同一期間」、「同一工作場所」從事工作，但若於期初或工程完工前與各級承攬人有介面者(如停供水量、新舊管連接或進出同一工作場所者)，則會以存有共同作業之事實認定。

### (四)傷害與失能

1. 在職業安全衛生領域裡，「傷害」泛指一般受傷事件，除疾病與罹災致死事件之外，不論嚴重與否均可稱為傷害事件，如果因傷害事件造成工作者因此必須被迫停止提供勞務而有損失日數者，又可區分罹災者不能繼續正常工作，損失工作時間在一日

以上(包括星期天、休假日或事業單位停工日)，暫時不能恢復工作之「暫時全失能」，以及造成罹災者肢體之任何一部分完全失去，或失去其機能者之「永久部分失能」，與任何足使罹災者造成永久全失能，或在一次事故中損失雙目、一隻眼睛及一隻手，或手臂或腿或足或不同肢體中之任何手、臂、足或腿兩種以上者，稱「永久全失能」，以及「死亡」等四種。

2.在分析「失能傷害頻率」時，不管是「暫時全失能」、「永久部分失能」或「永久全失能」，均計列失能傷害人次數，而其嚴重程度，則於計算「失能傷害嚴重率」時考量各案損失天數；對於損失天數的計算，其總日數不包括受傷當日及恢復工作當日，但應包括經過之星期日、休假日，或事業單位停工日，及復工後由該次傷害所引起之其他全日不能工作之日數。對於「死亡」及「永久全失能」損失天數均為 6,000 日，而「永久部分失能」不論當場傷害或經外科手術後之結果，均應按照勞動部職安署公布之表列或圖列數字登記傷害損失日數計列，但最高不得逾 6,000 日；而「暫時全失能」則應接受傷後所經過之損失總日數登記。

3.計算數值應要求嚴謹，因為在計算公式及方法統一之下，所計算的統計資料才有比較的意義，否則基準不同會導致統計數據失真，無法呈現事業單位真實的工安管理績效樣貌，而且對於按部就班認真登載的事業單位也不公平。

#### 四、案例分析

(一)台水公司某區管理處於 106 年 4 月委外辦理環境整理勞務作業時，承攬人(自營作業者)於廢水初沉池週邊環境進行割草作業，疑似不慎掉落廢水池而遭溺斃。對自來水事業而言，不論交付承攬之工作項目究竟與其事業是否相關，為強化承攬管理，均依法規辦理事前危害告知及共同作業時之必要措施，惟本案例當時採購時並未限定須具備公司行號之法人資格方可投標，乃由自營作業者承攬辦理，依據職安法規定對於工作者之定義，自營作業者罹災歸屬於事業單位之工作者，雖然後來檢查員在實施勞動檢查時，發現該承攬人有聘用有酬人員幫同工作之事實，故將罹災者由自營作業者的身分轉為雇主，而認定本案例非台水公司之重大職業災害結案，但承攬人對作業環境之可能危害因素認知不足及入場作業管理有待加強等，仍讓台水公司積極進行後續普查防範改善，以及加強辦理教育訓練等措施，避免再度發生類似案件。

(二)另一案例是台水公司某一區管理處辦理汰換管線工程，承攬人僱主新僱 1 名作業勞工，該勞工第 1 天上班即因身體不適請假半天返家休息，隔日繼續進場工作時被同事發現有流鼻血情形，工作至下午 5 時許準備收工時，該勞工突然發生自發性昏倒，並有抽搐現象，當下經同事呼喊後轉為清醒並給予適當水份，並經救護車送醫檢查，後因腦部出血開刀治療仍不幸死亡。初期罹災者因自身疾病所造成認定非屬職業災害為方向

辦理，惟因法醫出具的相驗屍體證明書載明其原因疑似對撞性硬腦膜下腔出血所致，故勞動檢查機構遂表示將由原非屬職業災害而改以職災案件處理。

(三)再從台水公司近十年(97 年至 106 年)職業災害類型統計分析結果顯示，員工發生「工作中交通事故」之職業災害類型超過五成，所占比例仍最高，應可藉由每年定期辦理安全防禦駕駛教育訓練，以逐步降低員工自身不安全駕駛行為而導致相同類型之事故一再發生；另台水公司主要交付承攬之工程仍以管線埋設為大宗，故對於交付之承攬人所屬勞工發生之重大職業災害，還是以「倒塌、崩塌事故」類型最為常見，除應要求所屬各級承攬商應落實「營造安全衛生設施標準」第五章有關露天開挖之規定辦理外，應加強承攬商不預警工地督導抽查，以勤查重罰方式要求承攬人按照施工圖說按圖施作擋土支撐措施，藉以保障工地承攬人勞工不會因為物體倒塌、崩塌災害，而造成勞工家庭的破碎。

## 五、檢討與建議

(一)國內自來水事業之勞工人數均超過 50 人，依據職安法第 38 條規定按月填載職業災害統計時，應特別注意勞動部職安署職業災害統計資訊網路填報系統 (<https://injury.osha.gov.tw/>)對於填表代碼說明仍包含上下班公路交通、鐵路交通、船艙或航空器交通及其他交通事故災害，故雖上下班交通事故災害非屬職業災害，但仍應按月填列統計資料。

(二)對於上下班交通事故雖非屬職安法所定義之職業災害類型，可是一樣造成人員傷亡，且非僅涉及所屬勞工本身，其對象更可能為一般社會大眾，故對於上下班交通的意外事故，可比照職業災害調查分析處理模式，找出其原因屬於過勞、不安全駕駛、機械設備原因或是其他等因素，納入防範改善措施，以擴大安全衛生管理綜效。但是因為上下班交通事故發生之比率相對為高，建議在實施計算分析時應與真正之職業災害類型分開統計，以避免彙整分析時造成統計資料母數增加，不利自來水事業顯現真實職業災害類型。

(三)另外還有一點值得注意的是，職安法第 37 條第 2 項的 3 款規定，勞動場所發生災害之罹災人數在一人以上，且需住院治療者，事業單位應於八小時內通報勞動檢查機構，另於「勞動檢查法施行細則」第 31 條規定，所稱重大職業災害其中一款係指氨、氯、氟化氫、光氣、硫化氫、二氧化硫等化學物質之洩漏，發生一人以上罹災勞工需住院治療之災害。兩者之差別只在於罹災勞工若因上開所列之化學品致災者為重大職業災害，非者歸屬為一般災害，因職災網路通報系統亦無特別提醒該罹災勞工是否因特定化學品所導致，故若自來水事業之罹災勞工係為「氯」所引起者，應於通報時特別註明。

## 六、結論

釐清職業災害的範疇有助於事故第一

時間有效之處置及通報，對該事故各項間接原因及基本原因立即採取對策，對症下藥，也避免因為誤判而造成資源浪費，但是不管是不是歸屬職業災害，「災害」總是人們所不樂見，面對不同的災害類型與屬性，同樣地仍需盡最大的努力將傷害降至最低，並檢討防範再次發生的可能。本文僅就探討職業災害的範圍界線，希望有利於爾後面對勞工罹災案件時，確認災害歸屬與原因，避免因適用法源不同而延誤通報及進行後續之必要處置，以及免去遭受勞動檢查機構依據職安法而處以有期徒刑、拘役或科或併科罰金或罰鍰之處分，而使得事件順利圓滿結案。

### 參考文獻

- 1.職業安全衛生法，勞動部，102年7月3日修正
- 2.職業安全衛生法及其施行細則，勞動部，103年6月26日修正
- 3.職業安全衛生管理辦法，勞動部，105年2月19日修正
- 4.營造安全衛生設施標準，勞動部，103年6月26日修正
- 5.勞動檢查法施行細則，勞動部，103年6月26日修正
- 6.加強職業安全衛生法第26條及第27條檢查注意事項，勞動部，106年9月22日修正
- 7.勞工保險被保險人因執行職務而致傷病審查準則，勞動部，105年3月21日修正
- 8.台灣自來水股份有限公司形塑安全文化研究期末報告書，第47-49頁，馮靜安、宋碧娟，陳昱珍，2017。

### 作者簡介

#### 陳信利先生

現職：台灣自來水公司工安環保處工安組組長

專長：安全衛生管理

#### 汪欽賢先生

現職：台灣自來水公司工安環保處處長

專長：自來水工程、安全衛生管理

# 台 17 線濱海公路 1000m/m 幹管搶修個案探討

文/陳柏維、葉清華、馮垣凱、蔡銘達

## 一、前言

107 年 4 月 25 日深夜台灣自來水公司第六區管理處(以下簡稱本處)位於安南區安明路二段(台 17 線 181k+200) (詳圖 1) 1000mm DIP，其過排水箱涵處採 SP 鋼管(民國 88 年埋設)，疑似發生滲漏造成路面掏空(詳圖 2)，影響用路安全，本處台南給水廠於 4 月 26 日接獲通知後，隨即進場搶修，並於 4 月 27 日凌晨搶修完成，因該處漏水點從漏水孔及漏水量研判，似乎不致造成路面掏空，懷疑另有較大漏水孔，因此使用兩點相關儀進行檢測，確認箱涵下方另有滲漏點，經緊急開會研商後，因該點搶修困難且避免日後再發生鹹水侵蝕管線導致漏水事件，遂決議辦理汰換作業，改埋於排水箱涵上方，並於 5 月 4 日施工完成。

## 二、事件經過

- (一)107 年 2 月 21 日台南市李姓魚塢業主，透過副議長郭信良服務處向本處反映，安明路海尾大排與本淵寮大排間之小排內半鹹水的河海水有變淡之情形，可能是自來水管漏水所致，請本處查處。
- (二)本處台南給水廠旋即派員會同李先生現勘，經查小排位於安明路下之箱涵(φ 1,000m/m 管線由底穿越)，看不出有滲水(詳圖 3)；檢驗小排內水又無餘氯反應，經查 SCADA 也無明顯壓降。台南廠人員向李先生說明查不到有漏水現象，但將會持續巡查。



圖 1 台 17 線 181k+200 路面掏空位置



圖 2 路面掏空現場照片



圖 3 路面無漏水現象

(三)4 月 25 日 23 時，台南市政府大台南管線 line 群組接獲通報，安明路該小排箱涵南端路面下陷一大洞，立即請道路養護單位進行交通警示管制(詳圖 4)。



圖 4 大台南管線 line 群組市府通報水利局查處

(四)4 月 26 日上午台市政府邀集相關單位會勘，請本公司先行開挖探查，結果發現穿越箱涵底部  $\phi$  1,000mm/m SP 船型管之斜管段焊道 1 處蝕孔漏水(詳圖 5)。

(五)  $\phi$  1,000mm/mSP 船型管斜管段焊道蝕孔漏水，於 107 年 4 月 27 日凌晨搶修完成，4 月 27 日下午路面整修後恢復正常交通。

(六)因該處漏水點從漏水孔及漏水量研判，似乎不致造成路面掏空，懷疑另有較大漏水孔，因此使用兩點相關儀進行檢測，發現箱涵底尚有 1 處漏水(詳圖 7、8)，經評估需開挖 8 米深度，搶修難度高，且其它焊道陸續亦可能發生腐蝕漏水，決議進行汰換，管線改採 DIP 並改埋箱涵上方。

(七)遷管工程內容：埋設  $\phi$  1,000mm/mDIP 約 25 公尺及 2 處斷管連絡，因埋深只 70 公分，管身用混凝土保護(詳圖 9)，工程已於 5 月 3 日完成管線改遷部份(詳圖 10)，5 月 4 日完成路面並開放車輛通行。

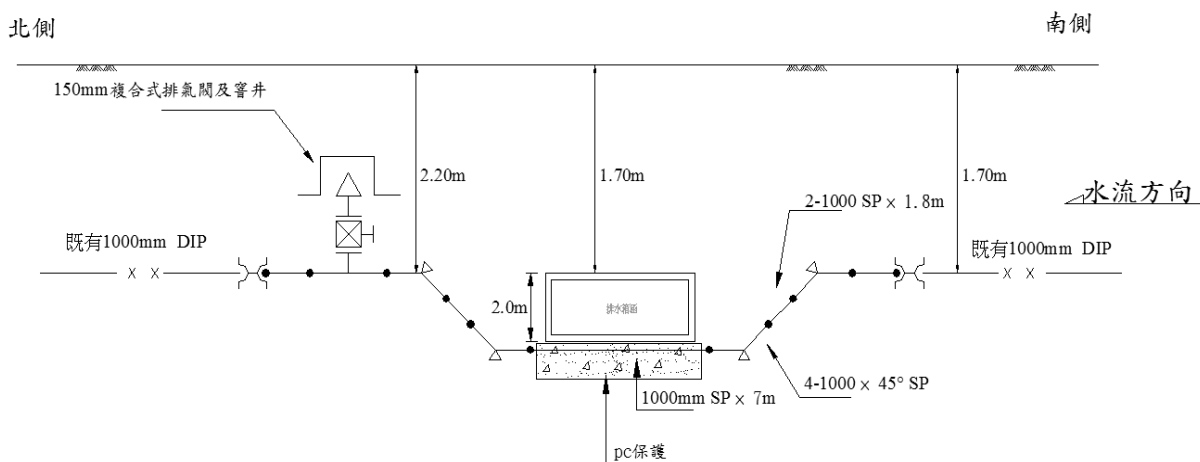


圖 5 漏水點 1 位置



圖 6 107.04.27 焊道滲漏搶修

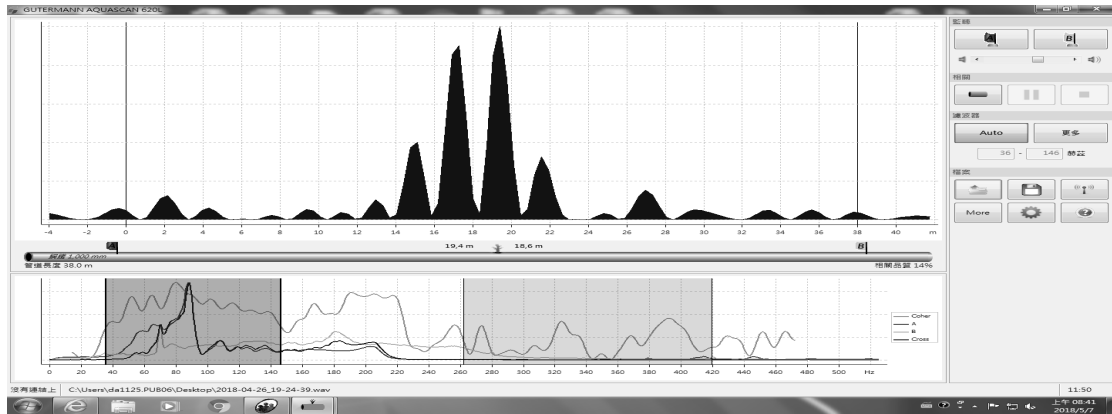


圖 7 兩點相關儀檢測結果

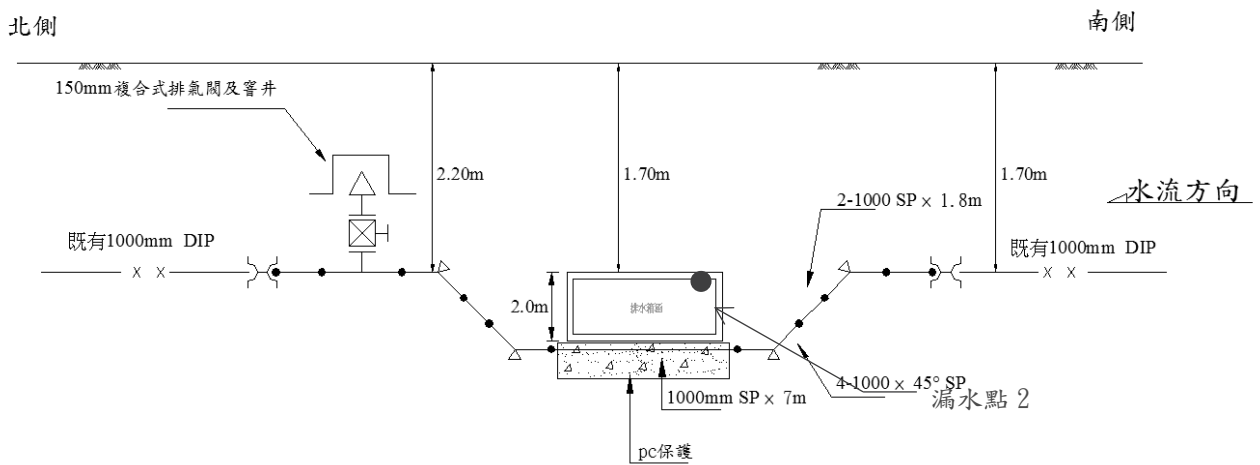


圖 8 漏水點 2 位置圖



北側

南側

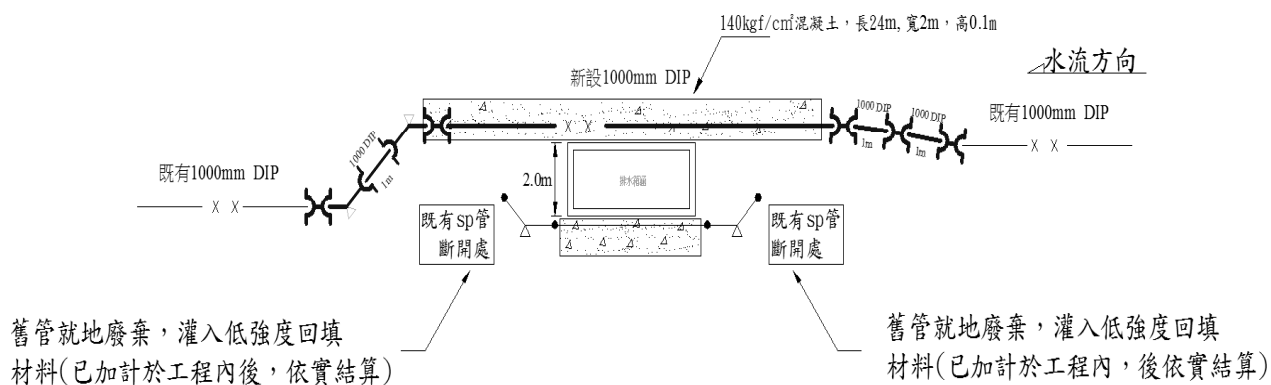


圖 9 改遷 1000mmDIP 管線圖



圖 10 107.05.03 管線進行管線汰換

### 三、原因分析與責任

本案發生位置位於安明路二段(台17線)過箱涵處，其管線埋設於長期土壤鹽分較高地區，其焊道或管材較容易鏽蝕，致發生滲漏。

於107年2月21日接獲民眾通報魚塢週

邊半鹹水的河海水變淡後，本處台南給水廠即與陳情人辦理現場會勘，並下小排箱涵內檢視；因本案漏於箱涵底部，滲漏水直接匯入箱涵內，故無法輕易發現漏水，惟當時久未下雨，雨水沖淡鹹分之機率小，查勘人員應該優先考量可能是自來水漏水所致。其經

驗不足，忽略上開因素未請專業檢漏人員協助進一步檢測確認，有需待改善。

#### 四、結論與建議

(一)本案係屬地下暗漏的一種，其有別於以往以「電解度」或「含氯量」來判斷是否為本公司漏水案件，其針對水質「鹽

度」的判別，尤其是鄰近海邊處，為一種可參考之重要數值，故本處台南給水廠為因應本次案件，採購鹽度計做為參考使用(詳圖 11)，並經由該魚塢業主指導使用(詳圖 12)，俾利日後針對過箱涵之水質作查處檢驗，俾利判斷是否漏水。



圖 11 修復後採小排內水樣檢測鹽度



圖 12 李姓魚塢業主指導使用鹽度計



(二)針對管線易發生滲漏管段於本年度(107)增設壓力監測站，原 2 處再新增 3 處(1.臺南科技園區服務中心站 2.工業三路 1 號站 3.鹽田路 81 號站)(詳圖 13)，俾利及時藉由大數據分析找出漏水之可能。



圖 13 現 2 處監測站

(三)本次利用「兩點相關儀」精準檢測出特殊管段漏水位置，本處將要求檢漏人員善用該設備加強特殊管段之檢測，並針對漏水潛勢區域，提高巡檢頻率，必要時納入管線汰換計畫辦理更新。

(四)針對 800mm 以上幹管，本處擬試行導入「管線狀況評估技術」設備或線上漏水監測設備，俾早期發現漏水，降低漏水量，提昇供水效率及維護供水穩定。

## 作者簡介

### 陳柏維先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處台南給水廠工程師兼股長

專長：土建及管線工程規劃設計

### 葉清華先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處秘書兼代理廠長  
專長：淨廢水處理及供水調配

### 馮垣凱先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處台南給水廠技術士

專長：幹管修漏作業

### 蔡銘達先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處操作課檢漏隊工程師員

專長：檢漏作業

## 穿越時空處理處理日據時代老舊管線

文/田友仲、李中彥

### 一、前言

臺灣在甲午戰爭後成為日本之殖民地，為了殖民統治之需要，日本殖民政府進行許多重大的水利工程建設，比如嘉義的嘉南大圳及烏山頭水庫，還有臺中的白冷圳及屏東的二峰圳等，都是非常成功且永續的水利工程。

當時在臺北也有現代化的水利建設，除瑠公圳外，也包括自來水工程的建置，在日據初期，日人為改善因衛生環境欠佳所引發的疾病等問題，將改善臺灣的衛生當作治理重點，故開始展開自來水設施的規劃。1896 年，日本總督特聘英國衛生工程顧問威廉巴爾頓(William K. Burton)來臺，並派遣技師濱野彌四郎協助，進行全臺衛生工程及自來水建設的調查工作。

1903 年「臺北市街給水調查委員會」成立。依據巴爾頓的規畫為藍圖，運用公館觀音山的地勢，於山腳下的新店溪畔設置取水口、在觀音山麓建造唧筒室(圖 1、2)、淨水場及蓄水池等自來水管線設備，並陸續於 1908 年完工。

1909 年正式開始供水，並命名為「臺北水源地慢濾場」。臺北水源地取水及供水流程，係先以唧筒室內抽水機抽取新店溪的原水，將原水送入淨水場進行淨化處理，淨化程清水後，再以抽水機輸送到觀音山上的配水池(圖 3)，在藉由重力方式自然流下，再於市區道路下方埋設輸配水及用戶給水管，供應當時臺北行政中心(今中正區)及當



圖 1 自來水唧筒室



圖 2 自來水唧筒室



圖 3 觀音山配水池外觀

時商業住宅區(今萬華區、大稻埕與大龍峒一帶)等 12 萬人口飲用水，此為臺北現代化自來水的開始，臺北率先全臺，享有現代化的自來水系統。

日據時代所埋設管線迄今已一百多年，早已超過使用年限，依常理判斷這些埋在臺北舊城區道路底下所埋設的管線現在都應已廢棄不用，然而，因為地下管線錯綜複雜，圖資轉繪遺漏等種種因素，仍有部分日據時代老舊管線未徹底拆除，還存在道路地下，隨著公共建設的推動，在捷運施工時或下水道建設時，偶爾會有它們蹤跡，這時就需要我們現代自來水工程師穿越時空來處理日據時代的老舊管線。

這些日本水管在現代圖資裏並沒有記載，導致現代工程師無法從圖資系統判斷是否為自來水管線設備，常使工程師摸不著頭緒，而造成誤判，導致無法及時與其他機關配合處理這些管線，日本水管遭挖損時會造成工地內淹水，亦對管線汰換及漏水改善成效有著重要的影響，這就有賴現代的自來水工程師扮演偵探和歷史學家的角色，利用各種舊有圖資，穿越時空來研判、處理，最後斷除這些老舊管線。

以下就 3 個實際案例來說明臺北自來水事業處(簡稱北水處)如何以特殊手法來處理日治時期老舊管線的過程。

## 二、台北賓館內線漏水案件處理

台北賓館，是日據時期台灣總督的官邸，位於凱達格蘭大道上，目前仍是隸屬於外交部所有，並由外交部負責管理維護。台

北賓館曾是日據時期台灣地區最高領導人的官邸，建築格局建築宏大，且美輪美奐，為當時首屈一指的建築。總督官邸始建於明治三十六年(1901 年)，日本統治台灣的五十一年中，從第四任兒玉源太郎總督開始使用，至第十九任總督安藤利吉為止，共有十六位總督曾住過這裡。總督官邸的建築風格屬於文藝復興後期的歐式風格，樓高三層，坐北朝南，官邸後方闢有日式庭園，並設有一座大水池。

台灣光復後，總督官邸改為「台北賓館」，隸屬外交部，做為款待外賓及舉行國宴的場地。

106 年 3 月，台北賓館向北水處反映其倉庫(原馬廄)附近有下陷現象，倉庫(圖 4)附近水溝亦有清水流動(圖 5)，北水處接獲通知後即派員勘查其倉庫漏水位置及清查相關內線圖資資料。

經調閱台北賓館用戶給水申請資料，從明治 42 年(1909 年)至昭和 19 年(1944 年)間，均有給水申請撤廢紀錄，台北賓館原係台灣總督府總督管邸，其官邸內依總督官舍、水池、工作人員及警衛宿舍區等均有不同水表供水，與現今型態大致相符，另官邸內有一支 100 管線穿越其中(圖 6)。其中反映有下陷的庫房，早期係做馬廄使用，於內線亦有水栓拉至馬廄前供馬廄清潔使用(圖 7)，後經關水測試確認係原供映馬廄之舊管漏水，北水處參考舊有給水圖資並經聽音確認，將研判漏水位置提供台北賓館館方修繕，解決長年漏水問題。



圖 4 台北賓館倉庫（原馬廄）



圖 5 台北賓館倉庫（原馬廄）後方水溝內清水

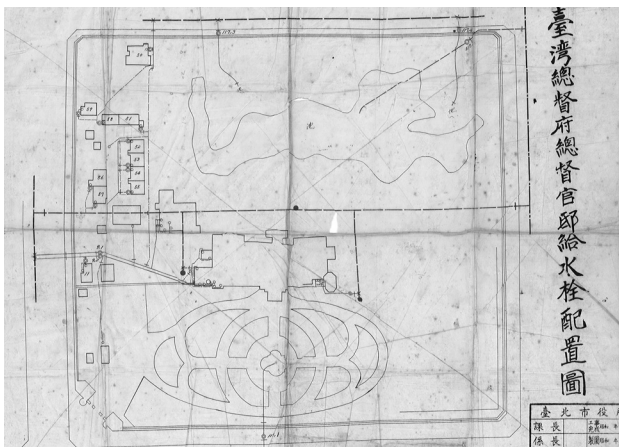


圖 6 台北賓館舊有給水台帳

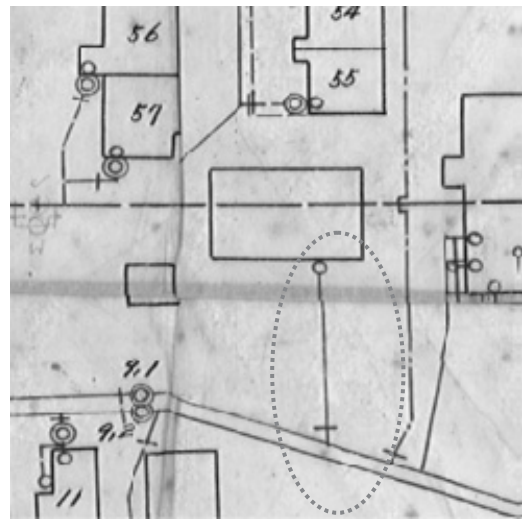


圖 7 舊有馬廄附近水栓及內線配置

### 三、捷運萬大線施工挖損自來水管線

臺北市中正區南海路與牯嶺街口在日治時期屬佐久間町，這一帶不但是專賣局建築所在，也成為文武町（今建國里）官署建築所在公務人員的眷舍興建地點。

除此，該町周邊亦有官衙分支處、學校或銀行、會社行號設立等。也因此，日治時期此地區均為日本人為主的住宅區與商人街，猶如小型日本之街通，也造成日本和式建築店舖與住宅並排而立。

1945 年，日治時期結束，原本住在此地區日本人返回日本。日宅空屋遷入者多為來自中國北部、中部及江浙省份的新住民，因此此區域成為台北市眾多眷村之一。日式建築與商店店舖也快速變更服務於新住民的商舖。其中，又以牯嶺街舊書街最享盛名。

牯嶺街在清朝末年已經開闢，原為龍口街的一部分。臺灣日據時期初期，改稱龍口街三丁目、四丁目。大正 11 年（1922 年），又改稱佐久間町一丁目、二丁目、三丁目，為古亭莊到龍口莊之間的主要道路。當時街

上建有日式建築，住有不少高等文官，為臺灣總督府宿舍區。

1945 年日本投降後，在台日本人陸續被遣返日本，遂將一些難以攜帶的書籍、字畫等物品隨地擺攤求售，「舊書攤」因而聚集起來。1949 年，軍公教人員陸續遷入，使得舊書來源更加充份，並以牯嶺街為中心，擴大到鄰近的福州街、廈門街及南海路一帶。牯嶺街舊書攤總數在極盛期曾多達二百餘家，其中部分舊書攤擴大營業成為舊書店。

106 年 12 月 20 日，捷運萬大線工地向北水處反映在臺北市中正區南海路與牯嶺街口施工不慎挖損管徑 100mm 之 CIP 自來水管線，造成工地內嚴重淹水（圖 8），北水處接獲通知後立即調閱圖資並派員緊急搶修。



圖 8 捷運工地嚴重漏水

經查閱北水處管線設備管理系統後，發現圖資系統內並無該管線，再打開廢棄圖層亦查無該管線（圖 9），一般這類管線會被歸類為不明管，但是這真是不明管嗎？經工程師深入利用臺北市歷史圖資展示系統網站比對日據時期圖資（圖 10）得知該水管係日據時期埋設之自來水管，它的歷史大約已有 1 世紀之久。



圖 9 北水處圖資

本案善用網路資源，鍥而不捨，深入比對日治時期圖資，終能從源頭封除日治時期老舊管線，不僅配合市政協助捷運興建亦能減低漏水的發生。



圖 10 日據時期圖資

#### 四、日據時代老舊管線穿越兩水箱涵

自從民國 103 年高雄發生地下管線爆炸後，地下不明管線便受到社會大眾的重視，各地方政府紛紛投入清查管線及測量定位管線的工作，尤其是在兩水箱涵中會阻礙水流降低通水斷面的管線，更是被列為清查及改善的重點。

106 年 12 月臺北市政府工務局水利工程處在臺北市中正區重慶南路一段與襄陽路

口的一處雨水箱涵內發現一口徑 100mm 之 CIP 不明管穿越雨水箱涵(圖 11)，經邀集各管線單位會勘後均無法查出該管線究竟是何管線？

因管線穿越箱涵位置位於台北舊城區內，研判有可能是日治時期所遺留的管線，便著手往日本管線方向調查。

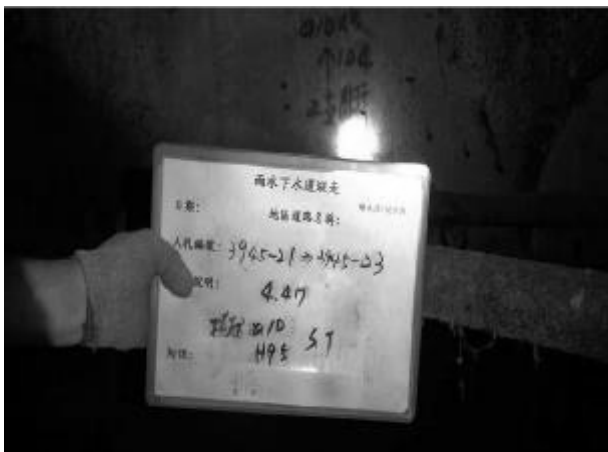


圖 11 穿越與水箱涵知不明管線

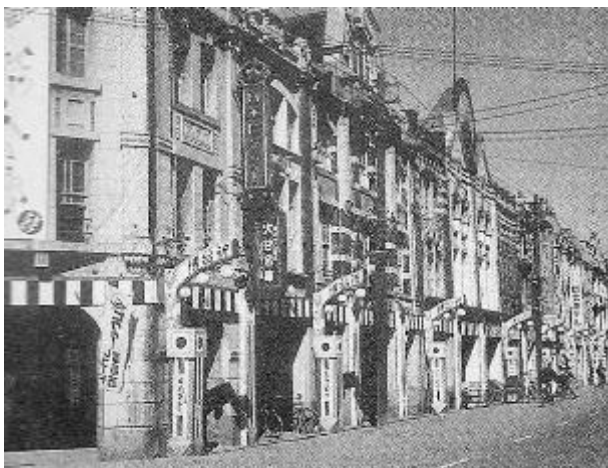


圖 12 本町通

重慶南路一段在日治時期名為「本町通」(圖 13、14)。位在本町三丁目的新開發商圈，即今重慶南路、開封街、懷寧街及漢口街之間的區域，名為「樂天地」。

此地方自日治時期起，就是繁華的商業地區，當時也有三和銀行、台北專賣分局、

日本石油等重要商業機構。其中，專賣分局是戰後二二八事件的主要起始點。

襄陽路上的二二八和平紀念公園起建於明治 32 年(1899 年)，直到明治 41 年(1908 年)初步落成的，成為臺灣第一個承襲歐洲風格的近代都市公園，由於已移作他用的天后宮尚未拆除，所以當時的公園範圍僅為現今公園範圍的南半段。由於此公園的興建與落成時間，皆晚於明治 30 年(1897 年)落成的圓山公園(臺北第一座大型公園)，所以命名為「新公園」。

大正 2 年(1913 年)，總督府執行「市區改正」，拆除臺北大天后宮，並於臺北大天后宮原址北側興建「兒玉、後藤紀念館」(今國立臺灣博物館)(圖 13)，於大正 4 年 1915 年完工，且公園的腹地亦隨之向北拓展，整體格局就此確立。由於公園位置鄰近臺灣總督府等行政機關與日本內地人聚居地，因此經常成為政策活動的舉辦地點。在昭和 10 年(1935 年)底舉辦的臺灣博覽會當中，新公園亦為主要會場之一。



圖 13 國立臺灣博物館

工程師經比對日治時期水道圖(圖 14)研判該管線應為日治時期的廢棄自來水管，在臺北市政府工務局水利工程處的協助



下，派員進入箱涵內封除舊管，讓雨水箱涵可以沒有障礙且排水順暢。

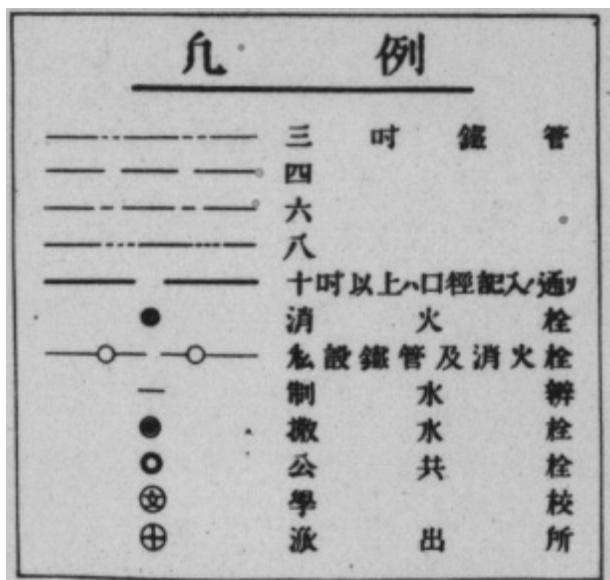


圖 14 日治時期水道圖

## 五、結論與建議

圖資的建立對管線單位而言是非常重要的。因為管線埋設後，一旦路面回填，就只能從圖資獲得管線的位置、深度與走向等相關資料。

在上述案例中，北水處工程師可以迅速協助用戶處理內線用水漏水，並配合捷運施工斷除不明管線、改善管線穿越箱涵的問題，就是借助就台帳及歷史圖資，再透過北

水處內部團隊合作，將舊圖資與現場地形地貌綜合研判，才能將事情處理完妥。

經過北水處徹底斷除捷運萬大線工地內老舊日本線線後，工區內以不再有漏水狀況，可見封管已發揮成效，建議管線工程在汰換管線時，務必將舊管拆除，才不會占用道路下寶貴的空間，也可避免錯接，甚至是舊管還有通水導致頻頻路面漏水而無法根除。

有一句台語諺語說：「醫生怕治咳嗽，水電師傅怕修漏。」一件漏水案發生時，最怕就是找不到漏水點，水從四面八方過來根本不知從何挖起，這時便有賴工程師冷靜分析，細心及有耐心的蒐集各種資料，快速即時進行專業判斷，如台北賓館漏水案，北水處多次前往勘查，也請專業測漏公司於夜間進行聽音測漏，針對測漏結果開挖修理，終能協助台北賓館解決長年漏水問題。

## 作者簡介

### 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、圖資管理。

### 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。

# IWA—水智慧城市原則

文/本刊編輯小組編譯

## 一、前言

《國際水協會-水智慧城市原則》係為幫助城市管理者，在確保人人可獲得水資源和衛生服務的基礎之上，制定和實施城市水資源永續發展的願景。“水智慧城市原則”基於城市的彈性規劃和設計，其目的係利用共同願景為基礎的協同合作，促使地方政府、水務專家和市民積極參與，共同面對城市水管理問題，未來城市水管理將受以下三種轉變因子的驅動：

### (一)資源有限：我們需要合理利用資源，用更少的資源做更多的事情

隨著城市人口的增長，需要對水、能源和物料加以仔細使用、回收再利用和更新。

### (二)城市化既是經濟增長的機會，同時也是對宜居性的威脅

到 2030 年，城市人口預計將超過 60 億。人口多，密度大的城市將需要提供更加高效的服務。水是保證城市居民的生活品質、安全以及社會共融的基本要素。

### (三)未來的不確定性將伴隨城市規劃

城市的歷史發展經驗往往並不適用於指導未來水系統的規劃，氣候變化和人口增長具有不確定性，規劃更加模組化和獨立化的水系統，將使其能夠更好地應對不可預見的趨勢和事件。

這是個艱巨的任務，但要達到安全、具兼容性和彈性的城市目標是可能的，須激發共同的新願景，實踐聯合國最近頒布的永續發展目標（SDG），特別是目標 6（SDG 6 確

保人人可以獲得水資源和衛生服務，以及對水資源和衛生服務進行可持續管理）和目標 11（SDG11 建立包容、安全、彈性、永續的城市及人類社區），為了實現更安全、更具兼容性和彈性的城市目標，需要藉由各界的合作力量，需要各利益關係人和全體市民的積極參與，提升永續城市水資源的管理。

以下原則建立了一個幫助城市適應上述轉變因子的框架。依據智慧資產管理策略，在既有和老化基礎設施需要更新的地區，可應用這些原則引導資產更新的策略。在即將建設新設施的地方應用這些原則，為建立創新體系開啟了機會，將說明城市以最佳方式解決前述轉變因子帶來的挑戰。

水智慧城市原則分為五個區塊和四個逐級遞進的行動計畫，一系列原則使城市中的各利益關係人促成水智慧社區，確保打造永續的城市水環境。(如圖 1)

## 二、打造永續城市水環境的五大區塊

### (一)願景

- 建立共同的願景，使各利益關係人不再是僅從其所處的利益角度出發去維護某些特定的解決方案，而是為了城市社區的最佳利益去訂立一套共同的行動計畫。
- 共同的願景是確保新政策和戰略最終實施的重要前提。包含水資源的彈性城市（resilient city）建設願景能促成跨學科、跨規模的相互合作，帶動長期投資措施所需的政策支持，並且使其在不同政治週期下都能保持連貫性。

**(二)治理**

- 治理和制度為城市中的利益關係人相互合作提供了框架，打破隔離，將水資源管理服務於建築、社區、都市、流域的等不同層面。
- 政策為城市中的利益關係人實現跨領域協作提供了動力，使水資源對城市的益處得以最大化。

**(三)知識和能力**

- 實施永續的城市水資源目標起始於城市中的各利益關係人的既有能力。

- 為了充分地實現目標，各方需提升能力，通過分享其他城市的成功案例、學習使用新工具、整合資源，並對其他領域採用的方法措施保持開放態度。

**(四)規劃工具**

- 資產管理、總體規劃或決策支持體系是城市利益關係人開展行動的方法。
- 由不同部門開發和使用的規劃工具，可以用於風險評估、確定專案利益、定義服務水準，以及確保各利益關係人的所有權。

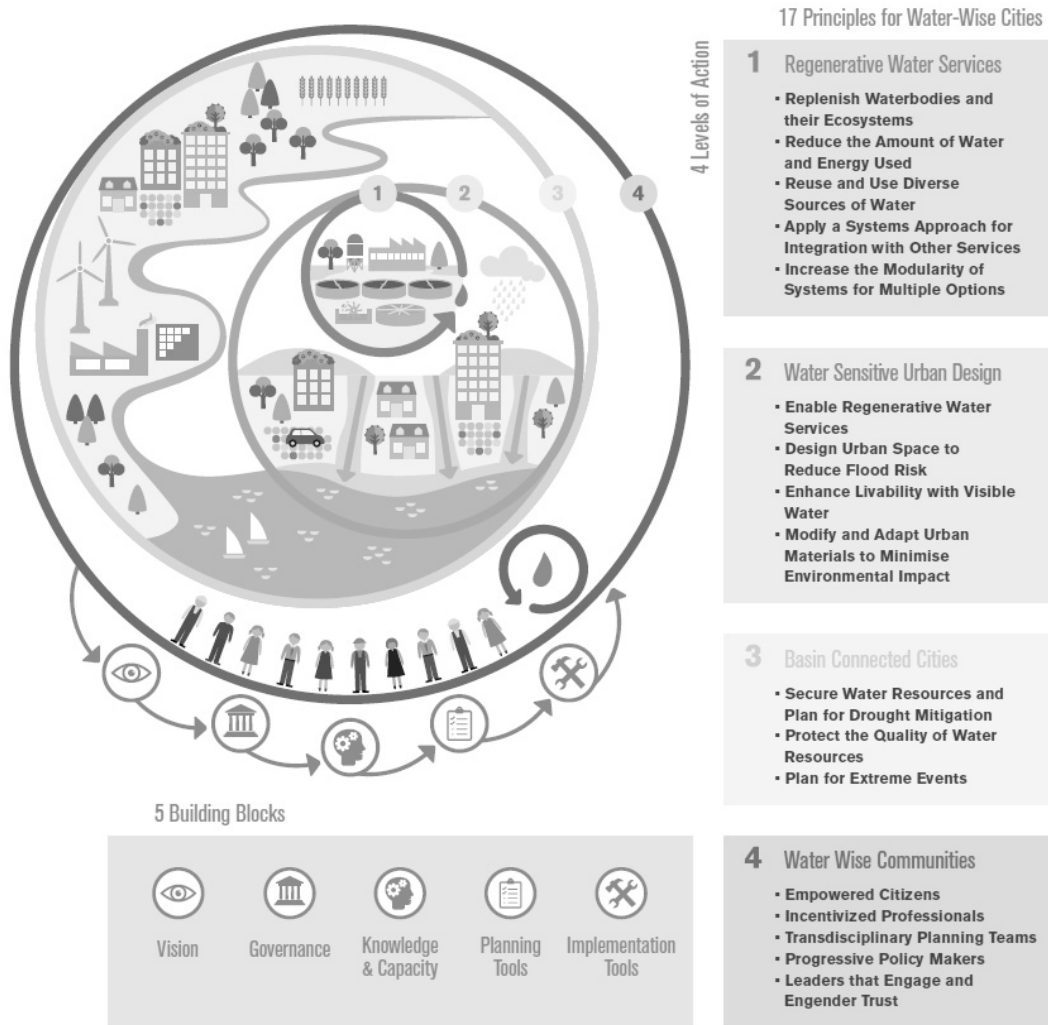


圖 1 水智慧城市原則框架：五大區塊和四級行動計畫，幫助城市中的各利益關係人，打造永續的城市水環境

### (五)實施工具

- 監管法規可以創造動力。基於品質保證、公平、透明度、問責制和健全金融體系的監管法規為各利益關係人提供了投資永續城市水環境所需的堅實框架。
- 與嚴格的資產管理計畫掛鉤的金融工具保證了持續提高的服務水準和維護良好的基礎設施。
- 注重解決方案適應變化能力和災後恢復能力的金融工具能夠使城市採取更加高效的應對措施，並且朝著需要小規模更頻繁投資的系統進行轉變。結合短期投資的綜合型服務以及對互利共贏的提倡，將為城市帶來更多的融資機會，幫助城市彌補資金的不足。
- 吸引社會資本和公營資本以及循環型經濟機制的創新工具，加強傳統的金融模式和合同模式，將開啟更多的投資機會，促進永續的水資源服務。

### 三、四級行動計畫

四級行動計畫建立於基礎原則之上，即所有城市居民都應得到安全飲用水和衛生服務，這就需要對涉及水和衛生的人權進行規劃、優先考慮、監督和彙報。

#### (一)第一級：為全民提供永續的水資源服務

主要目標是通過提高水、能源和物料的使用和生產效率，為後代子孫營造良好的公共衛生條件，滿足其所用所需，以及保護水資源的品質和數量。永續的水資源服務包含五個原則。在改造、擴建、或新建供水和污水處理系統時應用這些原則將保護資源，避免過度開發；同時通過從污水中回收能源和

營養物質等創造更多價值，實現新的收入來源，為城市帶來更加廣泛的經濟、社會和環境效益。

- 1.恢復在向流域內的水體及其生態系統取水和排放時，都不應超過其所在自然環境的承受能力。減少取水量，保證水體水量能夠保證自然環境的自我更新；保護水質免受污水和城市徑流的污染，使水質不影響生態系統的基本功能，並且能夠利用盡可能少的處理步驟實現利用。
- 2.減少水資源和能源的使用量。依照水資源儲量盡可能減少用水。在輸送和處理城市水資源（包括雨洪水）時儘量減少能耗。
- 3.回收再利用並且利用多元水資源，根據水的不同用途以及水資源綜合管理原則（Integrated Water Resources Management, IWRM）來管理處理水質。從水中回收熱能、生物能、水利動能等；循環利用資源，認可資源回收的價值，例如污水中的回收營養鹽和有機物。
- 4.系統方法 應用整合其他相關領域服務的系統方法。考慮水系統的不同部分，以及其他的相關領域，如在水資源管理中整體考慮廢棄物和能源，使解決方案趨向節約和回收再利用，更加高效地提升服務成本效益。
- 5.增加模組化管理方式，確保有在資源、處理、存儲和運輸的管理過程中有多種備選方案，以保持服務水準，使系統能更加靈活有效地適應和應對逐步的變化或突發事件。

在適應人口增長和氣候變化影響的過程中運用永續服務原則，水資源服務將能為

城市碳減排和流域修復做出貢獻。

## (二)第二級：水敏型城市設計

尋求結合管理、保護、維護整個城市水循環系統的一體化城市規劃模式。保護城市環境，使其對水資源永續性、彈性和宜居性的共同利益保持“敏感”。第二級行動包括以下四個原則：

1. 規劃和實施城市設計，確保永續的水資源服務。在設計市政和工業設施及建築時遵循永續水資源服務原則。這種設計方式能夠降低了建築的水足跡、能源足跡和碳足跡，通過減少每月水電支出，提高住房的經濟可承受度。同時，這種設計方式能提高河道水質，有益於生態系統和城市居民，同時也提高了社會和城市的宜居舒適程度。規劃中也包括建設綠色基礎設施，以收集和處理雨水並實現一系列協同效益。
2. 設計城市空間，以減少洪澇風險。結合城市基礎設施設計，制定城市排水解決方案，增加城市抵禦洪澇風險的靈活應對能力。通過這種方式打造安全的防洪空間，使城市成為一塊“海綿”，限制溢流，使雨水以資源的形式釋放出來。在設計重要基礎設施時，使其能夠迅速從災害中恢復正常使用。
3. 通過景觀用水提高宜居性。在路邊建設綠色基礎設施、“藍-綠道”，打造多功能空間和設施，使之在市民休閒娛樂、多功能公共空間、經濟發展和交通運輸上發揮有益作用。公園和花園能提供足夠的陰涼處，緩解城市熱島效應，而城市水資源服務是確保公園和花園永續灌溉的關鍵。

4. 改進和調整城市建築材料，以儘量避免對水的污染：城市屋頂、牆壁、表面、道路、傢俱的材料應經過嚴格篩選，以防止其在陽光和雨水作用下釋放污染物。

## (三)第三級：流域城市

城市本質上連接于並依賴於其所屬或鄰近的流域。通過主動參與流域管理，城市得以保護水、食品和能源資源，降低洪澇風險，開展更多有助經濟健康的活動。第三級行動包括三個原則：

1. 保護水資源。與流域其他用戶（即對流域和城市經濟做出貢獻的農業部門、工業部門、能源部門，以及其他城市）分享水資源，以此來保護水資源和制定抗旱減災戰略計畫。
2. 保護水質。與流域的其他利益關係人一同保護水質，以確保通過最低限度的處理、能耗和生態系統供給（如森林集水系統、濕地等）即可獲得高品質的飲用水。
3. 預防極端事件，如風暴、強降雨等，措施包括管理河流的流態、保持流域中的足夠植被，最大程度地降低山洪暴發風險，以及投資沿岸風暴風險減緩措施和洪澇預警系統。

## (四)第四級：水智慧社區

上述三級原則的實施，需要整體性方法和緊密的相互合作。第四級行動是關於人們在其既有能力的基礎上進行治理和規劃；專業人員在其所在專業知識領域增加“水智慧”，使其能夠跨行業整合涉水議題，突顯綜合性解決方案的互利共贏性，激發更多投資。第四級行動也強調市民其日常行為中增強“水智慧”。這一級別的行動是過渡的開

始，每個利益相關者開始意識到為了帶來改變他們需要起到哪些作用。第四級行動激勵人們在向“水智慧”轉變的過程中帶動以下五類重要人群的參與：

- 1.城市居民。參與實踐永續城市水資源目標的城市居民。擁有“水智慧”的市民能夠以他們對風險（洪澇、資源短缺）和機遇（資源回收、減少對不確定的未來資源的依賴、增加幸福感）的理解來推動城市規劃和設計。“水智慧”市民將接受促成永續水資源服務的解決方案，願意為服務付費，同時督促相關人員確保合理的收費標準。
- 2.具有不同專業知識（金融、技術、社會）的專業人士。了解城市各個行業共同利益的專業人士可以為城市居民和商業動規劃和實施最佳解決方案。水資源與城市規劃、建築、景觀以及能源、垃圾和交通運輸服務之間存在協同作用和依賴關係。水資源服務需要能源，但是城市中的水資源反過來也可以在當地產生能源。城市綠色空間所需的水可以通過雨水收集、污水回收再利用來獲得。在意識到這些與綜合性城市規劃方案相關聯的市場化和非市場化共同利益後，專業人士將可以催生創新的永續解決方案。
- 3.跨學科的規劃和營運團隊將水整合到城市規劃中。所有形式的水資源（淡水供應、雨水、河水，海水和污水）彼此之間相互關聯，並且與其他城市系統（公園、道路、能源和垃圾）緊密相關的，因此需要通過協作以實現高效和互惠。專業人員在實施永續的城市水資源方案需要一個有能力意

識上述相互關聯、開展跨部門合作的城市規劃機構的支援。

- 4.政策制定者能夠實踐有關永續水資源服務、“水敏型”城市規劃和城市流域的各項原則。擁有“水智慧”的決策者制定相關政策和金融機制（如可以回應和適應未來變化的水價、合夥關係，通過激勵和獎勵創新性解決方案來推動永續城市水資源戰略。政策制定者將淘汰那些對有害環境的現有補貼政策和稅收優惠。同時，決策者將基於不斷變化的未來需求開展監督、評估和調整各項政策。
- 5.管理者將提出漸進式的目標願景和治理框架，在四個層面（流域、都市、社區和建築）和不同學科之間統籌各項工作。中央和地方開展治理的相關人員可以過統籌和整合來促進永續的城市水環境建設，促進“可增強信任及參與，既高效且可行的治理方式”。

## 五、結語

水智慧社區將使用五大區塊來實踐各項水智慧城市原則。就以下三個層次，逐步實施水智慧城市原則：1.為全民提供永續的水資源服務，2.水敏型城市，3.流域城市，加強上述五類主要參與群體在城市水智慧社區建設中的作用。

本文譯自「The IWA Principles for Water-Wise Cities」，資料來源：<http://www.iwa-network.org/projects/water-wise-cities/>

## 自來水會刊雜誌稿約

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

## 自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：胡南澤

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

李丁來

委員

駱尚廉、葉宣顯、康世芳、王根樹、林財富、  
陳曼莉、范煥英、洪世政、莊東明

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、  
梁德明

執行編輯：陳品如

電話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁苓

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769