



水資源管理會刊

第二十一卷第一期 2019.7

ISSN 1606-2604

行政院新聞局局版

北市誌第 2415 號

發行人：楊偉甫

發行所：中華水資源管理學會

總編輯：張敬昌

副總編輯：虞國興

出版委員會委員：毛振泰 王藝峰

李振誥 林國華

林鎮洋 張良正

張尊國 陳清田

陳榮福 葉陳萼

虞國興 鄭友誠

簡昭群 蘇明道

(按姓氏筆劃排列)

本期企劃：張敬昌 / 虞國興 / 葉陳萼

執行編輯：陳英仁

會址：10055 台北市中正區
仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6349

電話傳真：(02) 2396-4260

電子信箱：

water23926349@gmail.com

呈印者：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區
中興路 98 號 4 樓之 1

電話：(02) 2322-1930

目錄

特別企劃

自來水智慧水網 — 在分區計量管網之運用

吳界明、陳永彬、趙汝鵬、楊鈞煦 2

專論

南化淨水場導水管線小水力發電設備建置

溫維煌、蔣承廷、謝玉盛、徐俊雄 12

綠能新解方 — 自來水事業建置太陽能光電設備的前景與挑戰

陳文祥、蔡耀德、武經文 23

曾文 — 烏山頭水庫系統灌區枯旱期間因應措施與行動

楊明風 33

稻作轉旱作與農業水資源的利用 — 石門農田水利會灌區為例

呂芳堅、林昆賢、鄒永慶、徐同麒、方文村、簡傳彬 41

學會動態

會務報導

秘書處 54

會員資料填表

秘書處 56

入會繳費方式

秘書處 58

自來水智慧水網 — 在分區計量管網之運用

吳界明
台灣自來水公司 副處長
陳永彬
台灣自來水公司 組長
趙汝鵬
台灣自來水公司 組長
楊鈞煦
台灣自來水公司 工程員

摘要

台灣自來水公司（以下簡稱台水公司）為求加速降低漏水率，辦理為期 10 年之降低漏水率計畫（102 至 111 年），共投入經費約 800 億元辦理各項作業，其中一項係透過建置分區計量管網作為漏水率管理之工具，至 107 年底已建置完成 2,427 個小區管網，且為提升檢漏效率、加速漏水修復，台水公司於 106 年成立大數據小組，參考國際先進公司作法，由台水公司員工自行利用開放原始碼軟體撰寫程式，開發先進漏水偵測系統 WADA（Water Advanced Data Analysis），用來偵測小區管網異常供水事件，並透過公司內部郵件通知相關人員，WADA 系統已經將台水公司的 8 個區處的部分小區管網納入分析，計畫於 108 年底將全部（12 個）

區處的部分小區管網都納入系統分析，以避免因基層人力不足造成漏水案件延遲修復情形，目前 WADA 系統運作情形及成效均十分良好。

一、前言

台水公司為求迅速降低漏水率，於民國 102 年起辦理為期 10 年之降低漏水率計畫（102 年至 111 年），計畫內容包含汰換管線、分區計量管網、相關配套措施（檢漏作業、修漏作業、GIS 地理資訊系統）、委託國內外專案團隊（固定資產投資、委託技術服務）等作業，期望透過短時間大規模投入經費，儘速將漏水率降低，讓台水公司漏水率從 102 年 19.25% 逐年降低至 111 年目標 14.25%，且為達到行政院要求加速降低漏水率目標，更將達標期程再縮短

2 年至 109 年底前達成漏水率目標。

台水公司採用與國際接軌的降漏策略，分為二大面向，在降低實際損失水量面向採水壓管理、主動漏水控制、管線資產管理、修漏速度及品質等四大策略，在降低帳面損失水量面向，採用降低水表誤差計量、降低數據傳輸誤差、降低數據比對誤差、查緝違章用水（竊水）等四大策略，至目前執行成效十分良好，且均可達成每年度降漏目標。

為能迅速發現管網中漏水案件，縮短檢漏範圍提升檢漏效率進而及早修復漏水管線，台水公司於 93 年起逐年建置分區計量管網，至 107 年底已於供水轄區建置 2,607 個分區計量管網（DMA），其中小區管網數量已有 2,427 個。惟台水公司目前小區管網達成率（售水率超過 85% 之比例）尚未達 50%，仍有大幅進步空間，探究其原因，主要係受限於各區處管理及執行人力不足，且台水公司管線長度超過 62,000 公里，每年辦理汰換管線長度比例已超過國際平均值 0.92%，尚無法於短時間內全面汰換舊漏管線以迅速解決管線漏水問題，僅能採取檢漏、修漏等手段來抑制漏水率惡化，但因管網體質會隨老化而有漏水復發情形發生，需有更積極做法來確保漏水率維持降低趨勢。

台水公司於 106 年度成立大數據小組，多方參考國際先進公司作法，由

台水公司員工自行利用開放原始碼軟體（open source software, OSS）撰寫程式，開發先進漏水偵測系統 WADA（Water Advanced Data Analysis），用來偵測小區管網異常供水事件（如：疑似漏水事件、供水異常事件、設備異常），並透過台水公司內部郵件立即通知相關人員，包含廠、所主管、股長、小區管網維護人員、供水操作人員等，大數據小組並已建置異常事件管理系統，從事件發生原因、處置作為、到處理完成時間等過程均會記錄於系統中，系統亦可查詢歷史紀錄並具有統計功能，供管理者了解各小區體質，可提供汰換管線參考。

二、開發緣由與歷程

台水公司雖已建置為數眾多的小區管網，並已可掌握各小區隔月售水率狀況，惟從眾多小區管網中篩選漏水較嚴重小區卻是一件勞力密集的工作，即使輔以最新的技術或設備，例如漏水檢測儀器、噪音記錄器、多點相關儀等，這項工作仍然不易藉由昂貴的儀器和專業的技術人員得以有效且全面執行。須於隔月統計數據才能發現小區管網售水率不佳，無法於漏水事件發生初期即診斷出異常。目前監控水量、壓力的方法除了透過監控電腦依簡單的算式判斷警示外，其餘大多以人工憑經驗判斷，由於每個人所知有限，不一定能及

時發現漏水，往往錯失處理先機，造成了更多的水量損失。

WADA 系統是由台水公司大數據團隊使用開放原始碼軟體開發完成，是專門針對分區計量管網漏水進行偵測的系統。而 WADA 之所以能被成功開發出來，其中首要因素就是獲得高階主管的支持，加上有堅強及專業的領導人與團隊，以及各業務單位、執行單位的配合，提供正確的資料及業務 Know How，台水公司亦定期召開知識分享及團隊會議，作為標竿學習，讓團隊成員可以集思廣益、腦力激盪，透過充分的討論釐清問題、需求及解決方案，讓 WADA 系統越臻成熟實用。

在應用價值方面，由於 WADA 是利用大數據分析的系統，將機器學習演算法納入系統並持續精進及改良，

可廣泛用於分區計量管網漏水偵測，且由於 SCADA 資料具有時間序列特性，WADA 系統同樣可應用在台水公司預測售水率及其它具有時間序列特性之業務。

三、WADA 架構與分析原理

(一) WADA 架構

WADA 系統架構如圖 1 所示，主要是經由台水公司的線上 SCADA 系統（產水監控系統及供水監測平台）收集封閉小區即時的流量及水壓數據（10 分鐘一筆）並儲存於 WADA 系統專用的資料庫，作為歷史資料與即時分析大數據之用。WADA 系統會定期以背景方式執行，將即時之流量及水壓數據經由台水公司自行開發的演算法所訓練的模組來進行分析。

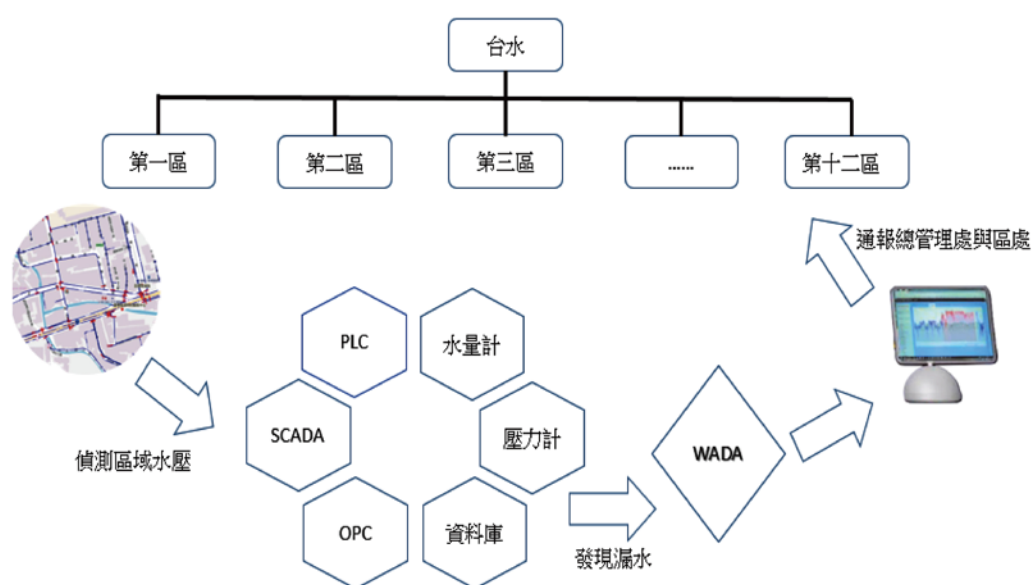


圖 1 WADA 系統架構組成

系統目前可以產生 4 種異常事件，包括流量異常、水壓異常、設備損壞異常及夜間最小流量異常。依據事件所屬的區處及廠、所分別以郵件通知相關管理人員，同時將事件寫入異常事件管理系統資料庫，廠、所同仁收到事件後將依據其事件處理的 SOP（如圖 2）來進行初判是否為該小區內水池進水、抽水機運轉或其他已知原因所引起，若否，則派員至該小區檢漏，並將檢修漏情形填報於異常事件管理系統，如圖 3、4。

本系統除設定排程自動執行外，亦可手動選擇欲分析之小區執行分析。如圖 5

（二）WADA 分析原理

WADA 系統使用多種機器學習演算法作為警示事件產生的依據，其中演算法包含了 MA、Lasso 及 Random Forest，以下對這三個演算法進行簡略介紹：

1. MA（Moving Average）：又稱「移動平均線」，使用移動平均法進行預測能平滑掉需求的突然波動對預

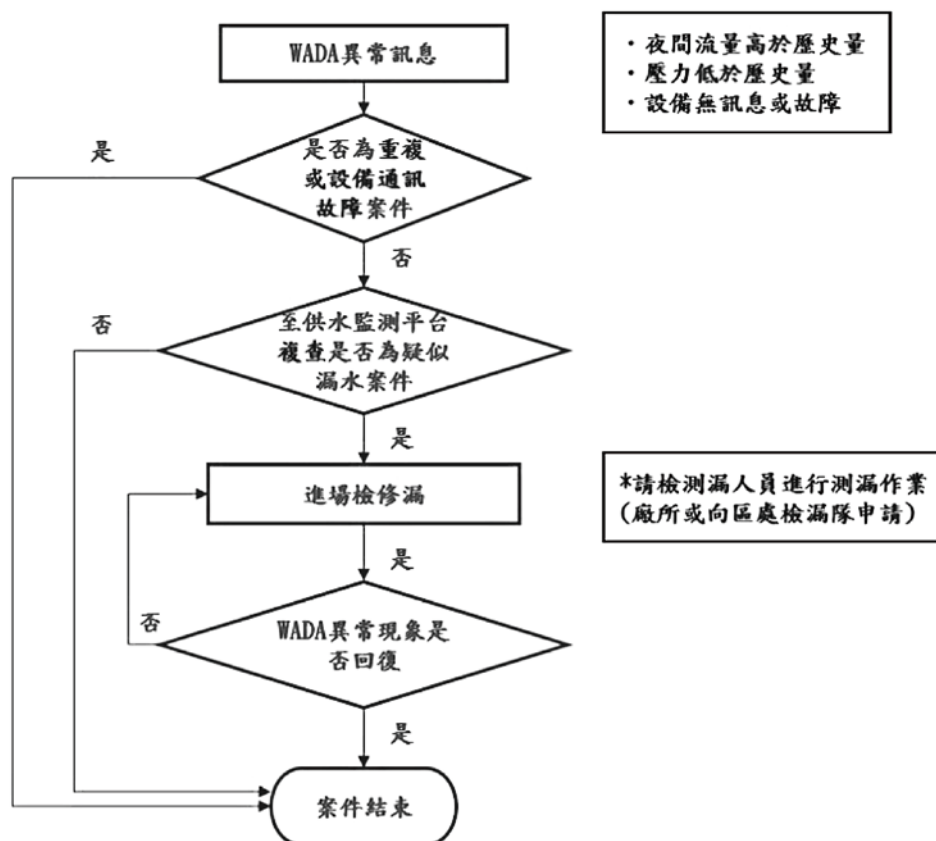


圖 2 WADA 案件接收處理流程 [流量或夜間流量高於歷史量、壓力低於歷史量]

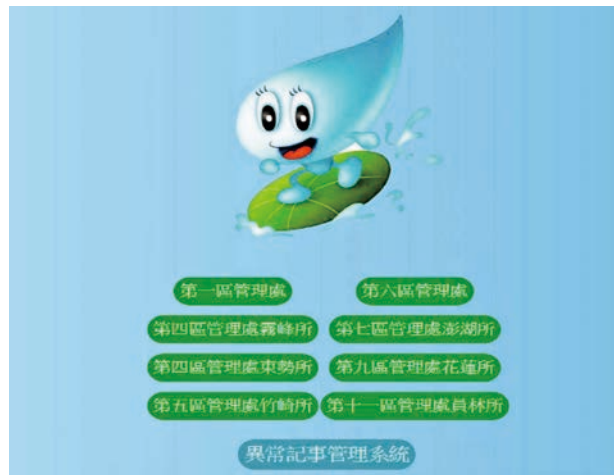


圖 3 WADA 系統分析首頁

全選	異常	獨立	異常名稱	區處	小區	開始日期	結束日期	處理情況
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區丁台路559巷旁	2019-04-26	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區中校車路一段460巷12號前	2019-04-23	2019-04-27	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區新厝路300巷115號	2019-04-23	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區西港南路59-1號	2019-04-23	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區丁台路313號	2019-04-20	2019-04-24	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區六股路248巷	2019-04-23	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 夜間流量高於歷史量值(紅色線條為異常)	四區霧峰所	六股小區流量計	2019-04-24	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	五區竹崎所	東成小區竹崎港海豐里6-25附近	2019-04-25	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	五區竹崎所	鹿港小區竹崎鄉東豐村坑口10-7號	2019-04-24	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	五區竹崎所	鹿港小區竹崎鄉溪州49-5號附近	2019-04-24	2019-04-29	
☐	☒	☐	2019-04-30 壓力低於歷史量值(紅色線條為異常)	七區麥寮	五股小區白沙井保福水壩	2019-04-24	2019-04-29	

圖 4 異常事件管理系統

WaterADA for 4區 東勢所漏水偵測			漏水偵測	夜間最小流量比
小區名稱	V1	V2		
鹿港小區	2019-01-22 00:00:00	-266.30		
	2019-01-22 00:10:00	-577.10		
	2019-01-22 00:20:00	175.90		
	2019-01-22 00:30:00	-18.50		
	2019-01-22 00:40:00	19.40		
	2019-01-22 00:50:00	-203.50		
	2019-01-22 01:00:00	-99.95		
	2019-01-22 01:10:00	74.40		
	2019-01-22 01:20:00	330.70		
	2019-01-22 01:30:00	-143.55		

圖 5 WADA 系統手動執行分析畫面

測結果的影響。但移動平均法運用時也存在著如下問題：

- (1) 加大移動平均法的期數（即加大 n 值）會使平滑波動效果更好，但會使預測值對數據實際變動更不敏感。
 - (2) 移動平均值並不能總是很好地反映出趨勢。由於是平均值，預測值總是停留在過去的水平上而無法預計會導致將來更高或更低的波動。
 - (3) 移動平均法要由大量的過去數據的記錄。
2. Lasso：一種能同時進行特徵選擇（找出對預測結果影響較大的特徵值）和正規化（於損失函數上增加懲罰項）的回歸分析方法，能夠有效解決過擬合（over fitting）的問題。
3. Random Forest：主要是處理分類與回歸問題，可以在沒有提高運算量的情況下提高預測精確度。優點有以下兩點：
- (1) 有效的處理少量資料。
 - (2) 對於數據挖掘、檢測離群點和數據視覺化分析非常有用。

四、WADA 運行成果

WADA 系統目前已導入至台水公司第 1、4、5、6、7、8、9、11 區管理處部分小區管網。本文引用第 1 區

管理處瑞芳所、第 4 區管理處霧峰所、第 6 區管理處歸仁所及第 7 區管理處澎湖所的偵漏事件作為案例說明。

（一）壓力異常事件

WADA 系統於 108 年 8 月 19 日至 9 月 2 日區間偵測到第 6 區管理處歸仁所西北仁德小區有壓力持續低於歷史值的狀況發生，在該處同仁派員進行檢漏及修漏作業後，壓力值也逐漸回復正常。圖 6 小箭頭所指的曲線為 WADA 演算法所推估的值。異常情形如圖 6 黑色圓圈範圍，也就是供水壓力變化曲線。從圖 6 的後半段我們可以看到管線進行修漏後，小區管網的實際壓力值已經回復到正常範圍（不再顯示紅色）。

（二）設備異常或傳訊異常事件

若有設備異常導致沒有資料的狀況發生時，WADA 系統亦會通知各區管理處人員，區處人員收到警示便能前去監控設備所在地排除設備無法傳訊的狀況。如圖 7 中，第 1 區管理處瑞芳所瑞芳工業小區接收到設備無訊號之通知，經派修之後，已能正常傳輸訊號（圖 7 之黑色圓圈）。

（三）流量及夜間最小流量異常事件

流量案例一

本（108）年 7 月中，在第 1 區管理處瑞芳所逢甲小區中有發出夜間流量異常通知，由圖 8 可以明顯看到用水量（黑色圈圈內的紅色曲線）有急

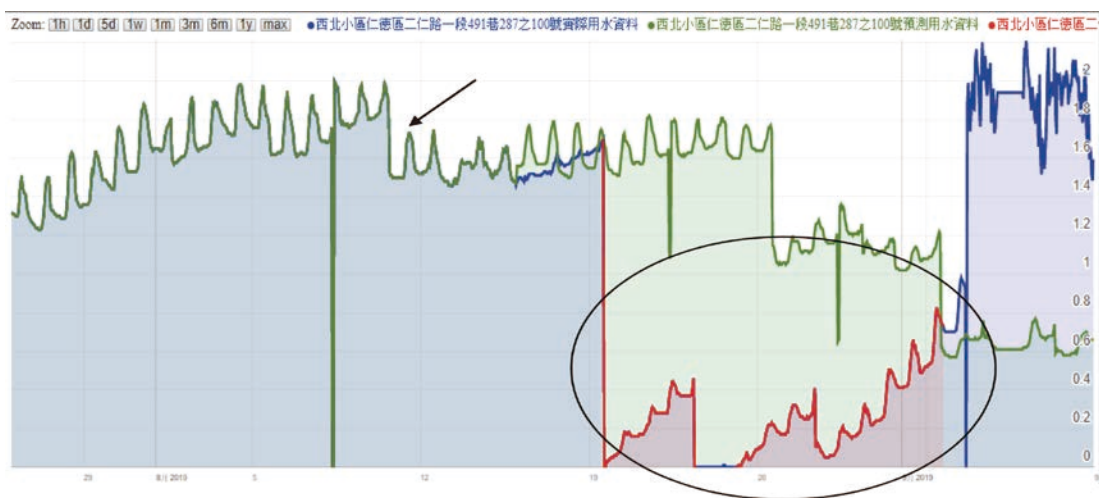


圖 6 西北仁德小區壓力異常事件圖

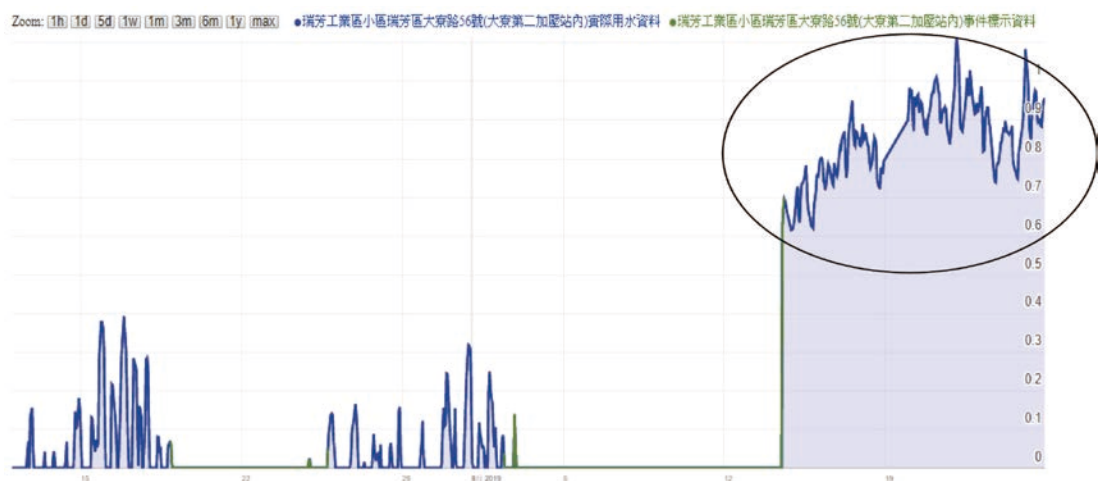


圖 7 瑞芳工業小區設備無訊號異常圖

速往上增加的趨勢。進行檢修之後，用水量也漸趨於漏水警示之前的數值。圖 9 為區處檢漏人員回報此事件之真實修漏情形，透過記錄每筆異常事件及真實修漏案件，可以作為往後改進 WADA 偵測異常演算法之依據。

流量案例二

除了夜間流量外，WADA 系統亦能單純對流量高於歷史值之異常發出

警示，系統於 108 年 6 月 10 日～6 月 15 日區間偵測出第 4 區管理處霧峰所大同小區有流量高於歷史值之異常狀況，如圖 10 所示，紅色部分為疑似漏水之曲線，經人員檢修漏後，用水曲線已恢復至漏水之前的情況。

流量案例三

第 7 區管理處澎湖所莒光新村小區中可以發現黑色圓圈是發出警示的

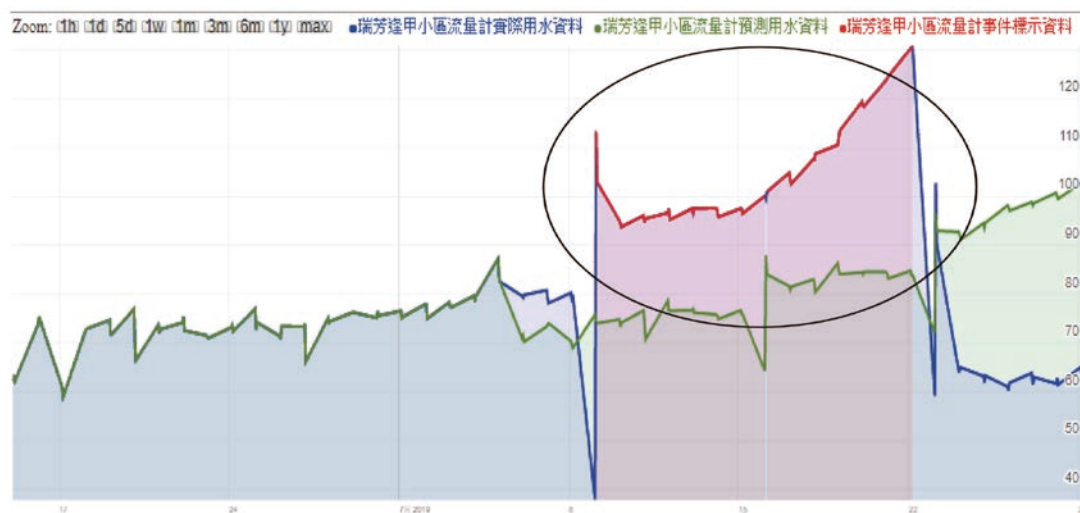


圖 8 逢甲小區夜間最小流量漏水預測趨勢圖

2019-07-15	夜間流量高於歷史量紅色曲線為異常	一區基院所	瑞芳逢甲小區流量計	2019-07-09 2019-07-22	經檢漏出逢甲路72號之處線似有漏水情形，已訂於108年7月16日進場緊急搶修。修漏完畢後將持續觀測流量計數值。	已結案 2019-07-16	1C10800582	新北市瑞芳區瑞甲路66之1號-50m/m pvc管破裂地下水滲漏處理完成	2019-07-25 09:42:54	地下水管
------------	------------------	-------	-----------	-----------------------	---	----------------	------------	--------------------------------------	---------------------	------

圖 9 異常事件管理 — 區處回報情形

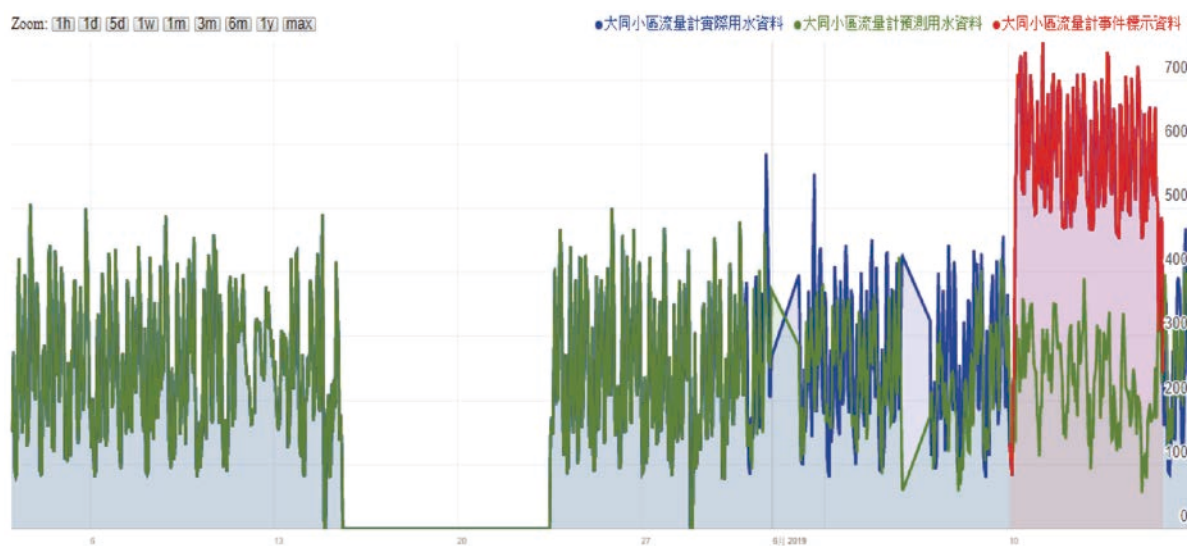


圖 10 大同小區流量異常事件圖

區間，日期為 108 年 2 月 25 日～3 月 1 日，在圖 11 中可以明顯看出完成修漏後的流量曲線已經恢復正常。

截至目前 WADA 系統偵測各區處小區管網漏水事件數及漏水量級成果統計如表 1。

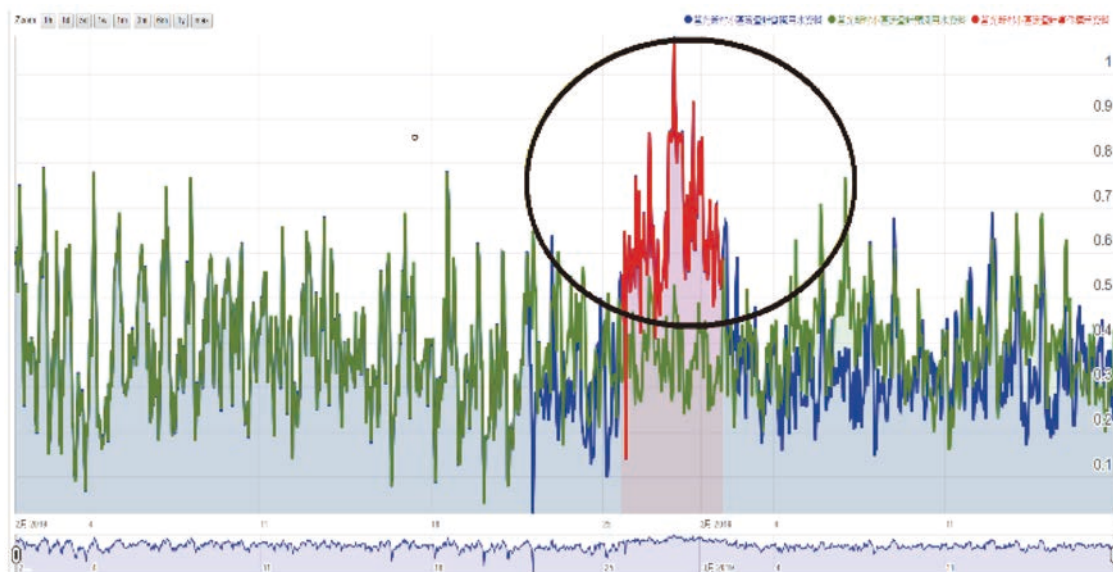


圖 11 莒光新村流量異常事件圖

表 1 WADA 系統偵測漏水事件及漏水量級統計表

區處別	納入 WADA 之 DMA 數量	納入 WADA 日期	最近半年平均供水量 (CMD) 合計	確定漏水件數	漏水量 (CMD) 10706 ~ 10806	廠所
一區	44	107/08	40,044	13	3,677	基隆、瑞芳、萬金所
四區	24	107/06	18,987	27	1,844	霧峰、東勢
五區	11	107/06	10,693	17	1,701	竹崎所
六區	10	108/04	2,962	4	14	歸仁、佳里、白河、玉井
七區	42	107/08	12,284	11	1,455	澎湖所
八區	5	108/05	5,414	1	646	深溝、廣興
九區	6	107/08	9,367	3	547	花蓮所
十一區	7	107/08	8,468	1	56	員林所
合計	149		108,219	77	9,980	

資料來源：台水公司漏水防治處 108 年 6 月調查彙整

五、未來重點工作

台水公司計畫於 108 年底前將全公司 12 個區管理處已建置且已確認封閉的小區管網，全部納入 WADA 系統

自動排程分析，以有效管控小區管網的漏水率，避免因為各區處廠、所管理或操作人力不足而有延遲修復漏水的情況。

目前 WADA 系統所發送的異常通知，僅可針對疑似漏水小區管網發送事件，然因小區管網範圍仍然太大（小區管網管線長度通常超過 10 公里）不利於短時間檢出漏水點，台水公司大數據小組目前正研發縮小檢漏範圍演算法，嘗試先以演算法模擬將小區範圍縮小為次小區（每個小區再切分為 3 ~ 8 個次小區），模擬於每個次小區指標點位置裝設壓力傳訊器以反映該次小區異常事件，期可有效提高檢漏效率及成功率，惟目前仍處於開發階段，待開發完成後會進行測試比對工作，於模擬次小區現場裝設壓力傳訊器，用來與演算法計算結果進行比對，作為修正演算法之依據。因受限於管網圖資資料正確性有待驗證、現場閥栓開度無法確定、部分閥栓遭路權單位以路面平整要求下地等因素，演算法開發時程尚無法確定。

六、結語

台水公司大數據小組開發之 WADA 系統目前運作情形良好，深獲各區管理處人員肯定，該系統已能提早發現小區管網漏水事件，有效減少水量的損失，大數據小組將在現有基礎上持續推動運用廣度及深度，且將持續精進演算法之改良及優化，並將導入國際先進技術及工具，開發適合台水公司使用的軟體，期能對於降低漏水率做出更大的貢獻。

南化淨水場導水管線 小水力發電設備建置

溫維煌

台灣自來水公司工務處 工程師

蔣承廷

台灣自來水公司工務處 工程員

謝玉盛

台灣自來水公司工務處 工程師兼組長

徐俊雄

台灣自來水公司工務處 處長

摘要

南化水庫位於台南市南化區曾文溪支流後堀溪上，在曾文水庫南方約 10 公里，以阿里山山脈與曾文水庫相隔，水庫集水面積約為 108.3 平方公里，水庫水源除本身集水區外，另由高屏溪支流旗山溪的甲仙攔河堰於豐水期越域引水。其下游管線主要分為往下游南化淨水場管線以及往高屏聯通管線，為台水公司南化給水廠及高雄給水廠之主要原水來源，地勢起伏所形成管線水位差及流量經評估為小水力發電的適合地點。

台灣自來水股份有限公司（簡稱台水公司）計畫採公開招標以標租收取回饋金方式辦理南化淨水場小水力發電設備建置，以 20 年為租賃期，提

供自有土地約 3,200 平方公尺出租，建構最低發電設備裝置容量為 1,160 瓩（KW）小水力發電設備。利用南化水庫至南化淨水場原水輸水管路流量與水位位差，以旁通方式（BYPASS）設置分歧管、水工機械、水輪發電發電機組設備、尾水池及尾水路、儀控及輸變電設備，期能作為台水公司轄區小水力再生能源開發之建置先驅。

一、緣起

台水公司原水處理流程包括取水、貯水、導水、淨水、送水及配水。為將水庫、河流、湖泊等地水源送水至淨水場，經氣曝、混合、膠凝、沉澱、過濾、加藥等淨水程序處理後，再將自來水送至各地用戶使用，而在取水、貯

水、導水到淨水之間通常鄰近山區，地勢起伏形成高水位差往往造成管線或設備的損壞，一般來說都是設置水池、減壓功能裝置等設備將高水位差直接洩能或減緩，未能將高水位差及流量轉作其他用途，殊為可惜。

最近，政府為推行綠色能源政策，陸續於 106 年 1 月 26 日公布修正「電業法」、107 年 4 月 11 日修正「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」、108 年 5 月 1 日修正「再生能源發展條例」等法，逐漸開放電力市場、採綠電先行政策、闡釋再生能源的認定、實施再生能源憑證及免實施環境影響評估的適用範圍，促使民間相關業者願意積極引進能源新技術及投資再生能源發電設備。為配合政府綠色能源政策，積極多元創能，促進潔淨能源發展，全力擴大再生能源發展於 2025 年占比達 20% 以上，台水公司積極盤點轄區供水管線之高水位差位置，開發小水力發電。而南化水庫下游管線之南化淨水場原水供水管線水利條件適當，是適合地點之一，如何利用高水位差，開發再生能源小水力發電，增加營收，或許是台水公司未來值得發展的方向之一。

二、工程規劃設計

水力發電係利用河川、湖泊、水庫或其他水力設施等位於高處具有位

能的水流至低處，將水位差或產生的流速帶動水輪機，推動發電機發電。當水位差或流速低時則輸出的電力將減少，水位差或流速高時則輸出的電力將增加，但當水位差或流速太大時，渦輪如選擇不恰當將旋轉太快而導致乘載器壽命減損，所以必須配合當地的流量及水流特性選擇適當的水力發電機及安裝技術要求。台水公司為了解南化水庫下游管線水位差之發電可行性，委託中興工程顧問股份有限公司調查及研究，並於 105 年完成完整成果報告書。其報告顯示南化水庫下游管線小水力發電設備建置，須考量的方向及建議事項。

(一) 南化水庫水位及下游管線流量

台水公司為南化水庫管理機構，依南化水庫運用規線分上限及下限，如圖 1 南化水庫運用規線圖，並依下列規定調配供水：

1. 水庫水位在上限以上時，依據計畫配水量供水，並得視各地區用水需求增加調配之。
2. 水庫水位在上限與下限之間時，依據計畫配水量供水，並得視高屏溪攔河堰取水狀況調整，以調配各地區之供水。
3. 水庫水位在下限以下時，視各地區用水需求量，與其他水源聯合運用機動調配供水，必要時應予打折供水。

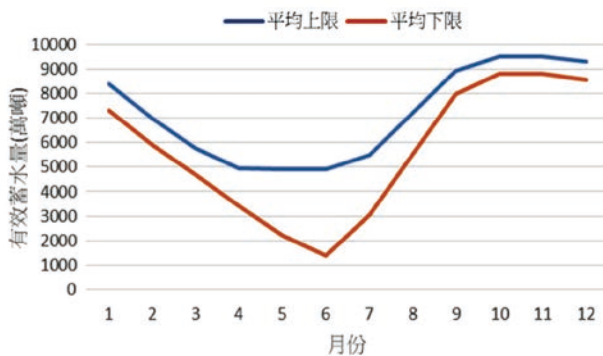


圖 1 南化水庫運用規線圖

先前研究報告以 1997 年 1 月 1 日至 2014 年 12 月 31 日為調查期間，分析統計南化水庫水位及流量等資料，顯示南化水庫歷年月平均水位約 EL.172.17 公尺，水庫發生較低水位在 4 ~ 5 月間，月平均水位低於 EL.165 公尺；水庫發生較高水位在 8 ~ 12 月間，月平均水位高於 EL.175 公尺。

南化水庫下游管線主要分為往下游南化淨水場管線以及往高屏攔河堰聯通管。經統計南化水庫供應南化淨水場月平均供水量為 5.78 cms，其水庫供水方式係屬於常態放水，即以 24 小時連續放水方式供應下游之需求。分析得到南化淨水場管線原水供應月平均之變化介於 4.74 cms（2 月）至 6.88 cms（9 月）之間。

另以最近 5 年（2014 年至 2018 年）南化水庫水位及流量為調查期間，分析統計南化水庫水位及流量等資料，南化水庫歷年月平均水位約 EL.173.78 公尺，水庫發生較低水位在 4 ~ 5 月間，月平均水位低於 EL.167 公尺；水

庫發生較高水位在 8 ~ 12 月間，月平均水位高於 EL.176 公尺，如圖 2 南化水庫月平均水位歷線圖。而南化水庫供應南化淨水場歷年（2014 年至 2018 年）月平均供水量為 5.81cms。分析得到南化淨水場管線原水供應月平均之變化介於 4.73 cms（1 月）至 7.40 cms（9 月）之間，如圖 3 南化淨水場月平均供水量歷線圖。兩者分析統計均顯示南化水庫每月供水之變化不大，此穩定之水源有利於水力電廠之開發。

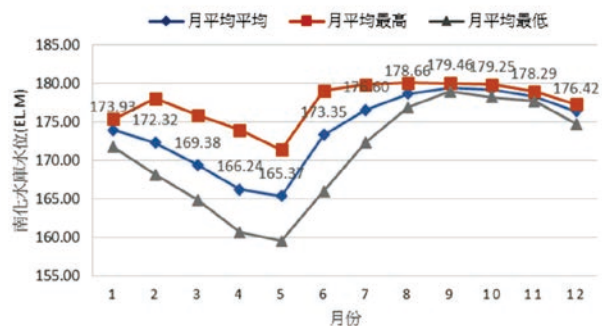


圖 2 南化水庫月平均水位歷線圖

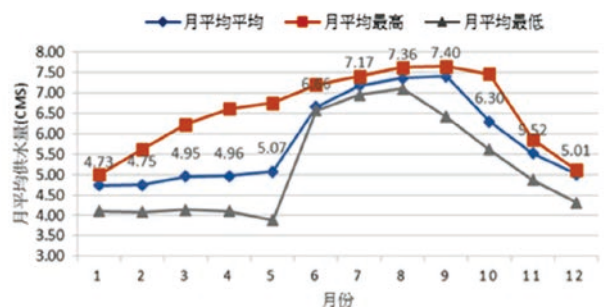


圖 3 南化淨水場月平均供水量歷線圖

(二) 發電可用水量及水位分析

初步分析南化水庫每日水位資料，日供水量變化不大，95% 之機率

可供水 4.17 cms，最高供水量為 7.7 cms；發電水位由水輪機組特性及南化水庫水位統計結果所決定，本研究發電常水位為 EL.172.55 公尺，發電最低水位係配合機組的特性訂定，本研究依採用之 S 型管流式水輪機組效率曲線，訂定設計水頭的 65% 為最低發電水頭，即 EL.166.04 公尺處為最低發電水位。經統計分析約有 78% 機率水庫水位高於此最低發電水位，估計每年水庫水位高於最低發電水位天數約有 285 天。

(三) 管線類水輪機組及發電機分析

水輪機係將水能轉換為旋轉機械能的水力機械。利用水輪機帶動發電機將旋轉機械能變為電能的設備，稱為水輪發電機機組。由於河流自然條件和發電廠的開發方式不同，各個電廠的水頭、流量和出力相差很大，因此需要設計和製造多種類型的水輪機來適應不同情況需求，以期最有效的利用水力資源。

依水流能量轉換特徵，一般將水輪機分為衝擊式（Impulse）及反力式（Reaction）兩大類，衝擊式水輪機再根據水流方向可以分為水斗式、斜擊式及橫流式等三種；反力式水輪機亦可依水流方向分成混流式、斜流式、軸流式及管流式等四種，其機組選用範圍如圖 4。

水力發電機組之選用主要與其設

計流量與設計水頭相關，一般可參考圖 4 水輪機選用示意圖進行選用。由研究可知，本計畫電廠之機組之額定水頭約為 18.6 公尺、額定流量 7.5 cms，本計畫可選用克普蘭式水輪發電機（Kaplan turbine）、橫軸法蘭西斯式水輪發電機（Francis turbine）或 S 型管流式水輪機（S-type Tubular Turbine）。

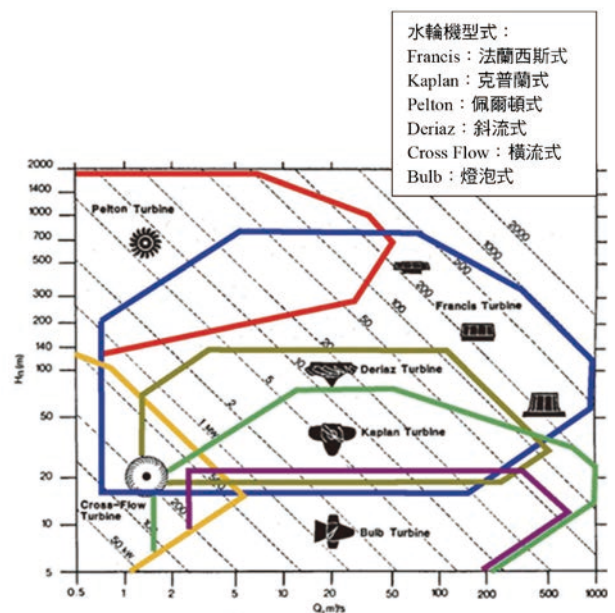


圖 4 水輪機適用範圍示意圖

一般小水力發電所採用之發電機主要為同步發電機及感應發電機兩種型式，同步發電機轉子係利用外部直流電源供應激磁電流而自行產生磁場，而感應發電機之轉子無法自行產生磁場，須由定子旋轉磁場感應所產生。因本研究之發電機將與台電系統併聯運轉，以達供應廠內設備用電及剩餘電力售電之運用，故採用同步發電機較符合需求。與台電系統併聯運轉或

當台電系統停電時，具有電壓、頻率及功因控制穩定，可符合持續供應廠內設備用電需求，且剩餘電力時可逆送台電系統售電，電力品質符合台電公司併聯技術要點規定等優點。而台水公司為加速建置再生能源工程，引進能源工程新技術，本計畫採購採標租方式辦理，僅規定基本的構造與設備。

(四) 水輪機效率探討

傳統機組包括法蘭西斯式、克普蘭式、佩爾頓式、橫流式，一般而言 200 公尺以上高水頭常採用佩爾頓式，中高水頭採用法蘭西斯式，低水頭採用克普蘭式，超低水頭（約 20 公尺 ~ 4 公尺）則採用橫流式及燈泡式。各傳統機組最高運轉效率在 80% 至 93% 之間，且可靠度亦高，各型機組之效率曲線如圖 5，當運轉之流量或水頭等工況與設計工況變化越大時，效率會降低。

而由各型不同水輪機效率圖（圖 5）可知，橫軸法蘭西斯式水輪發電機之效率隨流量的變小較 S 型管流式水輪機（S-type Tubular Turbine）（屬 Full Kaplan）為差，在額定出力時，其效率相當，但流量小於額定出力時，則以 S 型管流式水輪機較佳，S 型管流式水輪機可適應流量變化大且維護容易。

克普蘭式水輪機之葉片及運作與

S 型管流式水輪機的設計是相同型式，克普蘭水輪機為直立軸設計，適合較高水頭；S 型管流式水輪機則為橫軸設計，適合低水頭，本計畫經詢問相關設備廠家，以本計畫之設計條件 S 型管流式水輪機較克普蘭式水輪機經濟。

在同一水頭條件下，S 型管流式水輪機不僅能量特性佳，且橫軸水輪機組布置簡單、開挖量小，故可降低投資經費；又由於 S 型管流式為雙重調節，故能獲得較平坦的效率特性，其高效區寬，提高了運行的穩定性。

綜合評估 3 種水輪機型，考量水輪機適用性、普遍性、製造廠家、每瓩之機組成本以及水輪機效率等因素，建議本計畫水輪機採用 S 型管流式水輪機。

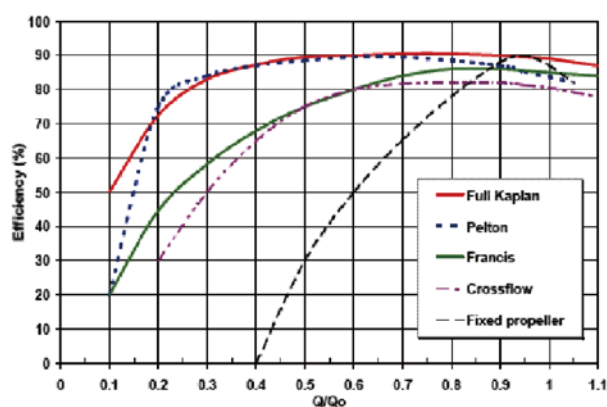


圖 5 各型水輪機效率圖

(五) 台灣小水力電廠案例評析

有關台灣地區小水力電廠目前已蒐集包括桂山發電廠、蘭陽發電廠、大甲溪發電廠、明潭發電廠…等，總

計含分廠機組共有 31 座電廠。開發單位多以台灣電力公司為主；名間發電廠、烏山頭發電廠、西口發電廠、八田水力電廠與卑南發電廠等五座則為民間單位開發之電廠。其中烏山頭發電廠於 2000 年 2 月獲得經濟部核發籌設許可，同年 4 月與台灣電力公司完成電能購售電合約，至 2002 年完工並取得電業執照，為台灣首座民營水力發電廠。名間發電廠係以 BOT 方式推動辦理，2004 年 3 月 11 日經濟部水利署中區水資源局與「名間電力股份有限公司」簽約，電廠於 2007 年完工啟用。由於四座民間營運水力電廠（名間發電廠、烏山頭發電廠、西口發電廠與卑南發電廠）與台電公司簽約時「再生能源發展條例」尚未公布實施，未能適用條例中之再生能源電能躉購費率，其與台電公司簽訂之躉購費率共有兩種，分別為「再生能源發展條例（草案）」中之小水力電能購售契約躉售電力每度 2 元，以及台電公司當年度之小水力購電費率（分容量費率（元/瓩）及能量費率（元/度）），而八田水力電廠由嘉南實業有限公司開發，於 2017 年 8 月啟用，當時再生能源川流式水力躉購費率為 2.9512（元/度）。

依據經濟部 108 年 2 月 1 日經能字第 10804600710 號公告之 108 年度再生能源發電設備電能躉購費率，目前再生能源川流式水力躉購費率為

2.8325（元/度），其他（海洋能、氫能或其他經中央主管認定可永續利用之能源）躉購費率則為 2.1107（元/度）。本計畫係為密閉式壓力流小水力發電，其躉購費率是否實施分級費率及適用再生能源類別，須由中央主管機關考量認定。

三、小水力發電設備建置適用法規

本計畫小水力發電設備經評估後最低發電設備裝置容量為 1,160 瓩（KW），依據「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第 29 條第一項第二款，利用其他水利設施，未達 20,000 瓩之小水力發電系統，得免辦理實施環境影響評估，惟程序上仍需填寫「開發行為應否實施環境影響評估開發單位自評表」向行政院環保署行文確認。

為享有再生能源發電設備電能躉購費率，本計畫小水力發電設備得依據「再生能源發展條例」第 4 條第二項向臺南市政府主管機關申請再生能源設備認定，經主管機關認定為再生能源發電設備後，得依據電業法第 8 條第一項再生能源發電優先併網及調度，及第 45 條第二項再生能源發電業所生產之電能，得透過電網轉供電能予用戶，向台電公司申請系統併聯審查，透過台電公司輸配電網轉供用戶。另依據電業法第 45 條第三項，再

生能源發電業所生產之電能，亦得設置電網直供電能予用戶。

又依據「再生能源發展條例」第12條第三項，用電大戶需設置一定容量之再生能源發電設備，無法配合設置之用戶須以購買再生能源憑證或電力、繳納代金的方式替代。本計畫所生產再生能源電能經輸配電網轉供、直供用戶或自用，得向經濟部標準檢驗局依相關規定申請及核發再生能源憑證。

鑒於本計畫包含山坡保育地及其他附屬建設，是否需向主管機關提出水土保持計畫及申請雜項執照或建築執照，建議於施工前先向主管機關函文釐清，以避免施工時衍生非必要困擾。

四、標租建置和小水力發電設備規格及要求

為加速發展再生能源政策，推動小水力發電產業，引進能源新技術設備，以使既有資產活化再利用，本計畫以公開標租建置方式辦理。

(一) 標租範圍

1. 承租廠商應自租賃標的清冊內，於不影響出租機關（台水公司）原定用途及操作維修條件下，挑選並評估合適可供設置小水力發電設備之處所，據以完成投標設備設置容量。

2. 臺南市南化區南化淨水場調節池旁土地設施寬度約 40 公尺、長度約 80 公尺，座落於臺南市北寮段 882、28、27-3 地號等 3 筆土地，詳租賃標的清冊，並以租用土地面積計算承租面積。

(二) 標租裝置容量

1. 由南化淨水場調節池旁之既有 2,200 mm 導水幹管（原水管）流入調節池前約 100 公尺設置分歧管及水輪機組發電設備引水發電，出租機關所使用之水源為南化水庫水庫水，經淨水處理後供應南部地區自來水。
2. 本計畫最低發電設備裝置容量為 1,160 瓩（KW）。投標廠商須自行評估本計畫小水力發電潛能及風險，決定合理之裝置容量及機組型式，所投標之設備裝置容量為本計畫之系統裝置容量。

(三) 小水力發電設備建置規格及要求

1. 壓力鋼管及頭水平壓塔
 - (1) 本計畫頭水路採用鋼管銜接既有進水管路，新設頭水壓力鋼管全長約 40 公尺，管徑 2.2 公尺，接入電廠入口閘前管徑漸縮至 1.75 公尺。電廠前約 14 公尺處之鋼管上方設置平壓塔，並以直徑 0.91 公尺制孔與新設頭水鋼管相連，平壓塔內徑約 8.0 公尺，高

度約 44 公尺，基礎底部設有 16 公尺長寬之基礎版與 25 支樁徑 1.5 公尺，長 20 公尺之基樁確保結構安全。未來詳細設計前應加強地質鑽探等調查資料。

- (2) 本計畫鋼管、部分平壓塔及部分電廠位於地下，臨調節池側採用由於空間較受限制且避免影響調節池安全，採用鋼軌樁做臨時擋土支撐，且調節池水力發電廠側須設置足夠強度之擋土牆，開挖區距離調節池可保有約 20 公尺安全間距；其餘皆採明挖方式施作，開挖較深時採部分邊坡保護。施工時優先開挖至平壓塔基礎版高程，以全套管方式打設基樁以避免震動。於平壓塔基礎完成後，配合廠房機組的組裝進行壓力鋼管埋設，平壓塔上部結構採滑動模板及塔式天車進行結構體施工。
- (3) 平壓塔高度雖達約 44 公尺，但內徑亦達約 8 公尺，其牆面連續並與下方基礎版相接，亦設置樁徑 1.5 公尺基樁做支撐，經初步分析，此平壓塔承受水平地震係數估計約為 $K_h = 0.20$ ，未來牆筋與基樁鋼筋可設計固定於基礎版內，在工程設計上均可符合規範規定；而基樁除可承壓外亦可承拉，對整體結構穩定而言並無疑慮。

2. 地面式廠房及尾水池

- (1) 電廠廠房為一地面式廠房後面接續之尾水池，皆為鋼筋混凝土結構，位於南化淨水場調節池東側，廠房長約 18.0 公尺，寬約 11.0 公尺，高 14.5 ~ 16.25 公尺。場內裝設 S 型管流式水輪發電機組，額定水頭約 18.6 公尺，額定流量為每秒約 7.5 立方公尺，裝置容量為 1,160 瓩；機組間內水輪機動輪中心標高約 140.35 公尺，裝機間及控制室位於機組間上層，其地面標高同原地面高程為標高約 147.5 公尺，並於廠內配置移動式天車乙台。水輪機出口銜接長約 7.5 公尺之吸出管，吸出管自水輪機出口向下游延伸為一漸擴斷面至電廠外側銜接尾水池，吸出管末端寬約 3.0 公尺，高約 1.8 公尺。

- (2) 電廠與尾水池之施工，先於調節池側靠近既有鋼管處，施作鋼軌樁擋土；其餘面相可採明挖施工，駁坎可先打除再回填。

3. 控制閥的選用

- (1) 本計畫之分岐管下游側設置之控制閥開啟可控制原水進入發電管路經機組發電後進入調節池消能井，控制閥關閉可控制原水由既有管線進入調節池消能井控制閥。依台水公司閥門選用

規定，控制閥可採用蝶閥、球型控制閥或單噴孔錐型控制閥等，蝶閥開關構造係採用旋轉圓盤形之閥盤 90°，以進行開關水路流體；球型控制閥開關構造係採用旋轉球形之旋塞（旋塞內設置圓形斷面之水路）90°，以進行開關水路流體；單噴孔錐型控制閥開關構造係採用橫式套筒之行程，控制橫式錐狀型噴孔管之水路斷面，以進行開關水路流體。

- (2) 控制閥依蝶閥、球型控制閥及單噴孔錐型控制閥等 3 種閥類，就結構性、水頭損失係數、設備費、操作及維護費、製造廠商等項目加以比較。因控制閥係配置於發電水路中，以球型控制閥（Ball valve）之水頭損失係數最小可以增加機組發電效益，且國內有製造廠商可以增加維修保養便利性為最優先選擇。爰基於南化水庫原水含有樹枝等雜物及流量控制操作方便性等因素，本計畫案控制閥依實際使用需求及經驗，建議採用單噴孔錐型控制閥。

(四) 發電設備建置與南化淨水場調節池旁 2,200 mm 導水管及土地使用規定

1. 廠商於規劃設計小水力發電設備

時，須優先考慮本計畫南化淨水場 2,200 mm 導水管及相關設施輸水效益與安全，其發電及相關設備架設安裝後不影響南化淨水場 2,200 mm 導水管及相關設施輸水功能與安全，應於投標之「設置使用計畫書」相關章節內敘明設備架設之詳細規劃及安全性、機組運轉（含操作儀控設備型式）與安全維護管理檢修及緊急吊（抬）離措施等規劃內容。

2. 在南化淨水場 2,200 mm 導水管設計流量下，小水力發電機組運轉時管路內壅水高度不能高過出水高，不能導致南化淨水場 2,200 mm 導水管滿管溢流或爆管影響取輸水效益。履約期間須提送水理計算書由技師簽證，經出租機關同意後方可施作。
3. 發電設備及相關設施之基礎，以自設為原則，租賃標的土地地下管線不得損傷、鑽鑿及破壞等行為。2,200 mm 導水管設計及監造須提出技師簽證，地下管線如需辦理遷移部分，須經出租機關同意後方可由承租廠商施作。

(五) 租賃期間

1. 本標租之標的，其租賃期間以決標次日起算 20 年，得以依規定辦理續租。
2. 於簽約後次日起 750 日曆天內，得標廠商應完成投標設備裝置容量，完成投標設備裝置容量的認定為系

統至少須完成併聯試運轉。

(六) 回饋金計算方式

1. 回饋金 = 售電收入（元）× 回饋金百分比（%）。
2. 售電收入（元）= 小水力發電設備發電量（度）× 躉購價格（元）。
3. 回饋金百分比（%）不得低於 2%（由投標廠商自行評估該段發電潛能填寫）。
4. 每年回饋金金額應大於或等於該年土地租金，若有不足廠商應補足差額，差額未依限補足則於履約保證金扣抵。未滿一年時則依租賃日數佔該年日數按比例計算應補差額，土地租金計算式 = 租用土地面積（平方公尺）× 當期申報地價 × 10%，本案租賃標的 107 年申報地價為 112 元 / 平方公尺。

(七) 決標方式

1. 本標租計畫參考「採購評選委員會審議規則」及「最有利標評選辦法」等相關規定辦理評選，以準用最有利標方式辦理，採序位法，價格納入評比。
2. 本標租計畫倘僅有一家投標，其所投標內容符合投標文件規定者，亦得開標、決標。
3. 評選委員會議評定優勝廠商後，評選結果簽報出租機關核定後，辦理決標。

五、結論

台水公司於臺南市南化區南化淨水場出租土地約 3,200 平方公尺，提供優勝廠商建置小水力發電設備工程。依實際承租面積計算，收取回饋金並保有最低收入，其他有關本工程建置均由廠商投資興建，所需文件申請，台水公司配合辦理。本計畫小水力發電設備之售電，以向台電公司申請收購為原則，其適用之躉購費率，依據經濟部能源局「再生能源發電設備設置管理辦法」辦理。

本計畫採密閉式壓力流水力發電，對既有輸水管路保護性及功能性要求高，經台水公司委託中興工程技術顧問公司評估其可行性，需有基本的平壓或洩壓輸水管路保護設施及控制閥開關，以確保用戶自來水供應。另本計畫之年平均發電量預計為 6.424 百萬度（容量因數為 63.2%），為將水位差及流量轉為電量而非利用設置水池、減壓功能裝置等設備直接洩能將為台水公司創造新的營收且也能配合政府綠色能源政策，積極多元創能，促進潔淨能源發展。

先前本計畫侷限於再生能源發電設備認定、環境影響評估及台水公司營業項目等因素，延遲無法進行開發，後來經濟部能源局考量水力發電對環境友善及再生能源永續發展有利及助益之前提下，研討修正「再生能源發展

條例」，其中，對於川流式水力的定義，已更改為小水力發電設備，後續「再生能源發電設備設置管理辦法」預定於 108 年底完成修正。屆時可依據新法令，申請適用再生能源發電設備，享有再生能源躉購費率，免提出環境影響評估計畫，讓小水力發電的推廣更進一步。

本計畫建置模式可作為日後類似小水力電廠開發興辦之參考，並提昇台水公司對於密閉式壓力流水力發電的專業知識及開發能力。而本計畫營運期間的操作經驗及經營管理，可作為台水公司觀摩及學習的對象，以延伸多角化經營、增加土地出租收入，有利提升整體績效。

參考文獻

- [1] 南化水庫下游管線水力發電可行性研究委託技術服務案完整成果報告書，中興工程顧問股份有限公司，2016 年 9 月。
- [2] 開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準，行政院環保署，2018 年 4 月。
- [3] 再生能源發展條例，經濟部能源局，2019 年 5 月。
- [4] 電業法，經濟部能源局，2019 年 5 月。

綠能新解方 — 自來水事業建置 太陽能光電設備的前景與挑戰

陳文祥

台灣自來水公司供水處 組長

蔡耀德

台灣自來水公司供水處 工程師

武經文

台灣自來水公司第七區管理處 處長

摘要

我國政府為實現環境永續逐步達成「非核家園」願景，以及《溫室氣體減量及管理法》明定 2050 年溫室氣體排放較 2005 年減少 50% 之溫室氣體減量目標，啟動國家能源轉型工程，全力發展綠能，已成為施政當務之急。

台灣自來水公司（簡稱台水公司）為響應政府綠能政策，乃配合政策推動再生能源，初步已於所屬 6 個淨水場辦理清（配）水池頂設置太陽

光電發電設備標租，分屬六家不同廠商施作，其施設方式及未來營運效益可加以評估比較，另為更進一步發展再生能源，達到穩定供電，並將綠能直供大型企業，邁向非核家園的目標，台水公司未來在設置太陽光電產業鏈擁有哪些條件或困難須克服，以因應未來的發展策略。目前已完成共 5 個光電案場（表 1），目前各案場之發電效能，顯示介於 3.1759 度 / kW ~ 3.8863 度 / kW，其中最高為林內淨水

表 1 淨水場清（配）水池頂設置太陽光電發電設備標租案場彙整表

原標項	案場	實際建置 容量 (kWp)	太陽能模組 安裝數量 (片)	太陽能模組 安裝面積 (m ²)	裝置 方位	裝置 型式	發電 性能 評估
第二標	台南給水廠中崙加壓站清 配水池頂	1961.37	6,327	10,293	南	距置型	佳
第三標	林內淨水場清配水池頂	2145.2	6,920	11,258	東西向	雙斜 棚架式	夏季 較差
第四標	公園淨水場清配水池頂	968.19	3,282	5,339	南	距置型	佳
第五標	台南給水廠永康配水 中心清配水池頂	867.30	1,350	2,196	東西向	雙斜 棚架式	夏季 較差
第六標	拷潭淨水場清配水池頂	428.42	1,382	2,248	南	距置型	佳

場清配水池頂的 3.8863 度 / kW，其次則為台南給水廠中崙加壓站清配水池頂的 3.5064 度 / kW，拷潭淨水場清配水池頂以 3.1759 度 / kW 最低。

關鍵字：綠能、太陽能光電、清水池

一、前言

隨著全球氣候變遷與節能減碳的議題逐漸受到國際重視，再生能源已成為全球科技發展的焦點。然而能源是推動國家發展的原動力，近年能源危機及二氧化碳溫室效應，世界各國莫不致力尋求潔淨之替代能源，在全球高度重視氣候變遷與節能減碳的趨勢中，綠色再生能源儼然成為全球科技發展新潮流。而所謂再生能源係指太陽能（Solar Energy）、水能（Hydroelectricity）、生質能（Bioenergy）、風能（Wind Energy）、海洋能（Ocean Energy）與垃圾發電（Renewable Waste Energy）等六大類，尤以永續且無污染的太陽能備受矚目。太陽光電（Photovoltaics, PV）能源具有低污染、操作簡易、安全性高等特色，且發電可依需求調整等特色，目前全球約有 40 餘國在政府主導下，藉由法規制定、補助獎勵、優惠電價回購、租稅減免等相關措施，推動太陽光電發電系統設置推廣。

未來太陽光電已不再是單一電力能源供給，電力的應用與電網的發展從傳統的集中到分散，單一變多元，

由簡至繁，從生產者（Producer）變成產銷者（Prosumer），電力消費使用者亦可以是電力產生者；市民不是只有耗能，也可參與生產，透過安裝綠能生產發電，產消者（Prosumers）的概念將可延伸出新的電力營運機制，如：民間機構團體共同合作推動的公民電廠模式。

二、發展太陽能光電模式之現況

太陽光電具有設置流程簡易與應用廣泛之特性，也成為各地方政府配合中央政策積極推廣之主要目標，尤其以日照量佳、設置腹地較大之中南部縣市，如：台中、雲林、台南、高雄、屏東等地，以綠能特色專區結合地方綠能推動政策最具成效。然而從目前各縣市在太陽光電設置推動經驗上來看，我國因地狹人稠，土地資源有限使設置場域不足，加上既有饋線有限、相關法規尚未鬆綁，也使地方政府在推動上面臨困難，造成阻礙。

為有效結合中央、地方政府資源推動太陽光電，經濟部能源局協助地方政府規劃推動方向與宣導策略，並提供相關設置諮詢服務，更鼓勵各地方政府搭配地方自治條例共同推動，藉由中央地方資源統合，預期可帶動縣市政府推動符合地方特色之太陽光電相關措施，並吸引國營事業與具有大量屋頂面積的公有單位投入設置。

其中，中央公有屋頂部分，透過推動中央公有單位屋頂（包括中央政府所屬機關與學校、國營企業、行政法人、政府捐贈之法人、農田水利會等）設置太陽光電，並提供標租須知及契約等招標文件範例，設置諮詢專線協助中央公有單位解決專業技術及標租等相關問題，鼓勵中央公有單位運用太陽光電能源服務業（PV-ESCO）模式（如圖 1 所示），由各單位依據可設置屋頂，將屋頂出租給廠商，並由廠商負責設置與 20 年維運，藉此達到活化空間並帶動民間示範之效益，提升民眾設置意願。為振興經濟，政府鼓勵國營事業應積極投資、多元發展、響應政策及促進經濟繁榮。同時，為配合我國太陽光電擴大推動政策，擴大盤點公部門及國營事業空間資源也是積極推展策略之一。

太陽光電發電設備設置技術與後續長期維運，為此導入太陽光電能源

服務業（PV-ESCO）之模式，由能源技術服務業者向國營事業租賃屋頂或土地等可利用之空間，擴大案場設置容量以降低設置成本，並簡化融資流程，降低投入之門檻有利國營事業與業者積極參與，拓展系統普及設置。

太陽光電能源服務業（PV-ESCO）之模式：

- (1) 公部門出租屋頂或土地予太陽光電業者。
- (2) 由太陽能業者負責太陽光電發電系統之建置、融資及後續營運維護。
- (3) 公部門依合約收取租金及分享售電利潤。

太陽光電能源服務業（PV-ESCO）之特色：

- (1) 引入 ESCO 能源技術服務業精神。
- (2) 公部門無需編列預算負擔設置成本。
- (3) 結合電能躉購費率機制及金融融資。



圖 1 PV-ESCO 出租屋頂商業模式

台水公司依據可設置屋頂或空間，將屋頂或空間出租給廠商，並由廠商負責設置與 20 年維運，不需額外編列預算，該太陽能發電設備由廠商專責營運及維護，可有效利用閒置空間，活化國有資產，享有固定的租金收益貢獻國庫，標租作業流程如圖 2 所示。

屋頂設置太陽能對頂樓具有隔熱效果，可減少屋內空調用電，節約能源與電費支出，同時也藉此樹立設置典範與帶動民間設置，達到示範效益。此外，由於出租著屋頂或土地面積大小、設置難易度、日照條件等皆不相同，難以訂定合理且一致性的回饋金標準，建議透過公開標租與競爭，由

太陽光電設置業者進行各項評估，可取得更合理的回饋金。

三、設置太陽光電設施之分析

評估台水公司現有設備設施：蓄水池、淨水處理設施（快混池、慢混池、沉澱池、過濾池、清配水池等）、加濾消毒設施、加壓供水設施、廢水處理設施、攔河堰引水道與攔河堰抽水機等，設施類型相當多元包含：操作大樓、RC 結構操作水池及週遭土地等。推動太陽光電發電設施若考量結合台水公司既有相關設施，可發展屋頂型及地面型等二種型態設置。

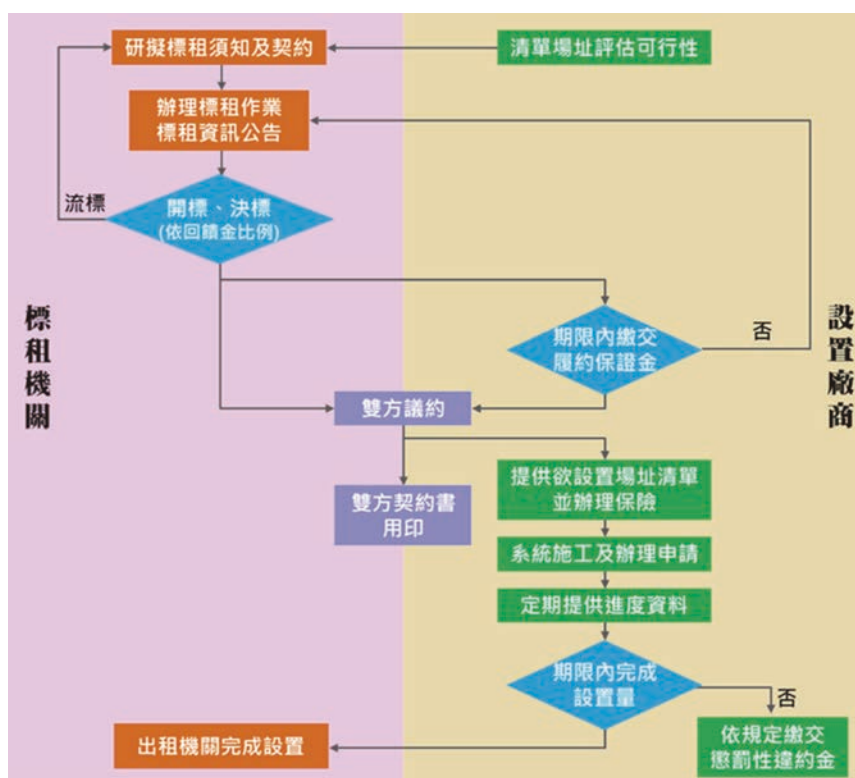


圖 2 屋頂標租作業流程

(一) 屋頂型設置型式

廣義而言即是在屋頂上設置太陽能發電系統，將太陽光能轉換成電能，而太陽能版裝設在屋頂上同時也兼具遮蔭降溫的效果。屋頂型的太陽光電，結合台水公司操作大樓或抽水站等結合既有設施建物設置，對員工及民眾也是最好最直接的能源教育方式，同時也響應政府再生能源政策。

屋頂的設置條件與選用模組的轉換效率等，都可能會影響可裝設容量。一般而言，若屋頂是平的，通常 1 瓩的太陽光電系統約需 10 平方公尺（約 3 坪）的設置面積，若屋頂是斜的，則為 7 至 8 平方公尺左右，而在相同面積下，使用較高轉換效率的模組產品，可裝設的系統容量也會較大。此外，在評估頂樓面積可裝設多少系統容量時，還須考慮到屋頂是否有女兒牆、水塔、樹木或附近是否有建築等會造成遮蔭的物體，以免降低系統發電量。

此外，設置場址若有漏水疑慮，承租廠商設置太陽光電發電設備前，需評估設置場址範圍內是否有漏水情事的可能，若有則承租廠商須進行防漏措施；太陽光電發電設備建置完成後，設置場址範圍內若有漏水的情事發生，且可歸責於廠商之責任，概由承租廠商負責。

如何具體評估台水公司轄下建築是否適宜設置，需先確認建築物屬合法建築，合法建築應具有下列條件之一：

- (1) 依《建築法》規定取得建造執照及其使用執照，或合於《建築法》第九十八條規定之合法建築物。
- (2) 實施建築管理前，已建造完成之合法建築物（依法令得免請領建造或雜項執照者，應檢附設置場址所在地主管建築機關之免建造或雜項執照同意備查函影本及竣工同意備查函影本）。
- (3) 經直轄市、縣（市）政府依其自治條例所許可設置太陽光電發電設備之建築構造物。

若建築物或設施屬非屬上述條件，而屬下列其中之一，則須再進一步評估後設置：

- (1) 法定古蹟。
- (2) 雜項工作物。
- (3) 無使用執照之建築物。

(二) 地面型設置型式

地面型太陽光電系統，即主要設置於地面上的太陽能發電系統。地面型太陽光電建議可結合既有停車場、自來水處理場閒置空地或可作為相關設施遮蔭，以達一地多用之目標。

在太陽光電場域土地資料查核上需注意相關事項如下：

- (1) 土地清冊（筆數面積、分區、用地及權屬）。
- (2) 土地編定圖、表（土地使用空間關係）。
- (3) 地籍圖（確認是否有遺漏未列入範圍或未登記土地）。
- (4) 相片基本圖（基地與周邊土地使用、公共設施、道路系統及自然地形條件初步判讀，比對開發前後地形變更）。

地面型太陽光電發電設施設置受土地管制法規規範（如表 1 所示），應先確認該區塊位於都市土地還是非都市土地，適用之土地法規各有不同。若為非都市土地，則依據非都市土地使用管制規則附表 1 各種使用地容許使用項目及許可使用細目表（圖 3 非都市土地設置太陽光電發電設施之相關規範），須依據上述表格確認該地目是否允許設置。若再生能源屬該

表 1 再生能源發電設施用地規範

土地類別	適用法規	辦理方式	
都市土地	都市計畫法	以台灣省施行細則為例： 依使用分區區分得否設置，並有 70% 建蔽率。	
非都市土地	非都市土地使用管制規則	容許使用	第 6 條附表 1 各種使用地容許使用項目及許可使用細目表
		變更	使用分區變更：第 11 條第 1 項第 7 款 開發之土地面積達二公頃以上，應變更為特定專用區。（依第三章相關規定辦理） 使用地變更編定：第 30 條 申請人應擬具興辦事業計畫。 （依第四章相關規定辦理）



圖 3 非都市土地設置太陽光電發電設施之相關規範

使用地類別容許使用項目，開發規模小於 2 公頃，設置逕為容許。但使用地有點狀設置之限制：以一宗土地做為管制點狀使用面積不得超過 660 平方公尺。另外，部分使用地需經過使用地主管機關許可後，始得設置，包含了下列土地以及相關的審查內容。

推動建置太陽光電系統需考量周邊環境條件，包含座向角度、鄰近是否有遮陰、設置場址的結構安全、可利用面積大小、系統的設置形式、預估發電量等，如何有效的提升太陽光電的發電情況，上述條件將是關鍵因素。除了發電條件之外，在符合法規規定之下，太陽光電系統的結構安全也是非常重要，且不同的設置型態關係著：施工方式、施工成本、設置彈性等，以及系統建置完成後，需考量的太陽光電系統維運規劃也略有差異，不同形式之太陽光電設置型態分析如表 2 所示。

台水公司主要事業設施包括蓄水池、淨水處理設施、加濾消毒設施、加壓供水設施、廢水處理設施及攔河堰引水道與攔河堰抽水機等（舉例如圖 4），因部分水池內有攪拌設備運作，不宜於池中設置支柱，若設置太陽光電發電設備則需自池邊架設結構體橫跨池面，惟基於安全考量，須注意整體結構安全，避免颱風、強震毀損設施。

四、現有租賃太陽能光電系統評析

台水公司現有 5 處光電標租案場分別展開進行其發電效益的評估比較，各案場的標廠商、建置容量及併聯日期等資訊如表 3 所示。

（一）台南給水廠中崙加壓站清配水池頂

本案場位於台南市安定區中沙里中崙 13 之 5 號，標租總面積達 13,604

表 2 太陽光電設置型態分析

項目	屋頂型太陽光電	植樁架高地面型太陽光電
施工方式	需視屋頂現況評估，工程難度不高	須重機具配合
施工成本	成本較低	成本較低
技術層面	國內技術成熟	國內技術成熟
設置彈性	固定設施，不易遷移	固定設施，不易遷移
優點	1. 技術與成本較易掌握，系統穩定性高 2. 防水隔熱，頂樓降溫 3. 減少土地利用	技術與成本較易掌握，系統穩定性高
缺點	設置於屋頂，業者維護須經室內至頂樓	土地需求大

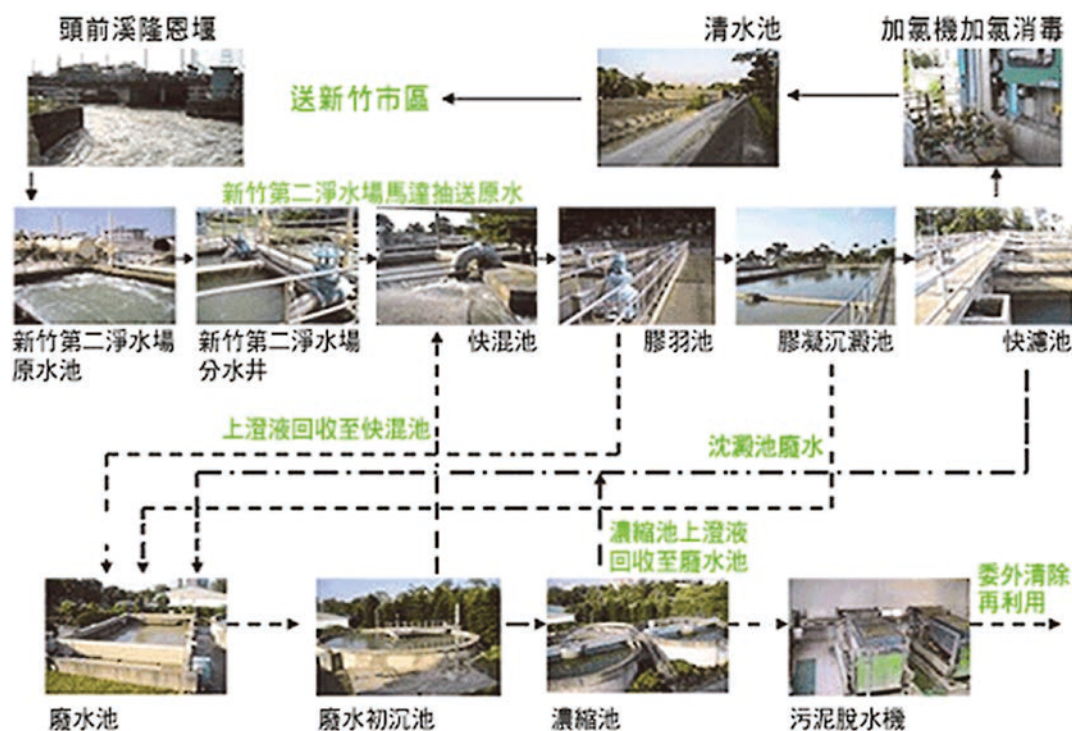


圖 4 淨水場處理流程及相關設施（示意圖）

平方公尺，設置廠商將其規劃成四期太陽光電發電系統設置，分別第一期、第二期、第三期均為 499.72 kWp，第四期為 461.21 kWp，四期總共設置 1961.37 kWp，本案場採用三片式距置型面南設置。

（二）林內淨水場清配水池頂

本案場位於雲林縣林內鄉長源路 180 號，標租總面積達 12,152 平方公尺，設置廠商將其規劃成五期太陽光電發電系統設置，分別第一期、第二期、第三期、第四期均為 496 kWp，第五期為 161.2 kWp，五期總共設置 2145.2 kWp，本案場採用雙斜棚架型面偏東西向設置。

（三）公園淨水場清配水池頂

本案場位於嘉義市民權東路 46 號，標租總面積達 7,988 平方公尺，設置廠商將其規劃成二期太陽光電發電系統設置，分別第一期為 469.64 kWp，第二期為 498.55 kWp，二期總共設置 968.19 kWp，本案場採用二片式距置型面南設置。

（四）台南給水廠永康配水中心清配水池頂

本案場位於台南市永康區中山南路 316 巷 2 號，標租總面積達 5,548 平方公尺，設置廠商將其規劃成二期太陽光電發電系統設置，分別第一期為 398.25 kWp，第二期為 469.05 kWp，

表 3 台水公司 5 處案場標租資訊

原標項	案場名稱	得標廠商	標租面積 (m ²)	投標設置容量 (kWp)	實際建置容量 (kWp)	模組容量 (Wp / 片)	回饋金比例 (%)	併聯日期
第二標	台南給水廠中崙加壓站清配水池頂	永梁股份有限公司	13,604	2,025.54	1961.37	310	16.00	107/06/29
第三標	林內淨水場清配水池頂	海利普電子科技股份有限公司	12,152	2,150.00	2145.20	310	13.00	107/06/29
第四標	公園淨水場清配水池頂	博斯太陽能股份有限公司	7,988	942.23	968.19	295	12.88	107/08/03
第五標	台南給水廠永康配水中心清配水池頂	旭忠能源股份有限公司	5,548	864.00	867.30	295	13.00	107/06/08
第六標	拷潭淨水場清配水池頂	永漢股份有限公司	3,055	434.62	428.24	310	21.50	107/04/03
合計				9,616.39	6,370.30			

二期總共設置 867.3 kWp，本案場採用雙斜棚架型面偏東西向設置。

(五) 拷潭淨水場清配水池頂

本案場位於高雄市大寮區仁德路 12 號，標租總面積達 3,055 平方公尺，設置廠商將其規劃成一期太陽光電發電系統設置，其中，第一期為 428.42 kWp，本案場採用三片式距置型面南設置。

光電案場若以相同的設置條件、環境日照條件下，方位角則以面正南最佳，另外在台灣設置傾斜角建議為（8 ~ 19）度最佳發電性能。再則，一般以正南發電量最佳，如表 4，該圖也說明各種太陽能電池，1 kWp 所需設置之面積，若廠商為了衝高設置容量就會以東西向雙斜設置（會減少 5 ~ 25% 發電性

能）。已完成之案場各種設置型式說明如表 4 所示，其發電效能（度 / kW）介於 3.1759 度 / kW ~ 3.8863 度 / kW，其中最高為林內淨水場清配水池頂的 3.8863 度 / kW，其次則為台南給水廠中崙加壓站清配水池頂的 3.5064 度 / kW。

五、未來太陽能產業的發展

台水公司所屬淨水場分布全台各地，應先進行光電場域全面性盤點，再依據盤點結果，初步建議可分三階段推動方向進行，屋頂型設置相較簡易及快速應優先推動，亦可同步累積經驗，水面型是既有選擇的最大宗所以為次選擇，最後因為土地相對少所以列為最後的推動標的。

表 4 案場設置型式說明整理表

原標項	案場	實際建置 容量 (kWp)	太陽能模組 安裝數量 (片)	太陽能模組 安裝面積 (m ²)	裝置 方位	裝置 型式	發電 效能 (度/kW)
第二標	台南給水廠中崙加壓站 清配水池頂	1961.37	6,327	10,293	南	距置型	3.5064
第三標	林內淨水場清配水池頂	2145.2	6,920	11,258	東西向	雙斜 棚架式	3.8863
第四標	公園淨水場清配水池頂	968.19	3,282	5,339	南	距置型	3.4018
第五標	台南給水廠永康配水 中心清配水池頂	398.25	1,350	2,196	東西向	雙斜 棚架式	3.1851
第六標	拷潭淨水場清配水池頂	428.42	1,382	2,248	南	距置型	3.1759

註：發電效能統計時間為發電起始日至 108 年 1 月 31 日

而坐落於生態保護區或水源區的推動，容易面臨對地方人士和環保團體的反對聲浪，以及污染水質之疑慮，建議於設置推動前進行在地溝通，預先了解在地民眾及相關團體之意見並予以溝通協調。且應於招商遴選機制中，納入生態維護與景觀之評比機制，降低外界對景觀生態衝擊之疑慮。

就中央近年推動之太陽光電發展應用政策，依台水公司事業型態及相關資源條件，建立未來太陽光電策略，台水公司發展太陽光電的關切議題，包括：

(1) 事業設施散據各處

台水公司雖於全台皆有事業據點或設施，但也有相當多位於山區，裝置太陽能光電板效益不如在台灣中南部地區陽光強烈又少雨的地區。因日照條件不若南部縣市，年平均發電度數較差，鄰近可能缺乏足夠饋線，以致廠商投資意願或台水公司自營設置經濟誘因不足。

(2) 擁有水庫與非典型建築型態

台水公司雖有許多事業設施，但與一般工廠、商辦建物或辦公大樓相對較少，主要有蓄水池、淨水處理設施（快混池、慢混池、沉澱池、過濾池、清配水池等）、加濾消毒設施、加壓供水設施、廢水處理設施、攔河堰引水道等，設施類型相當多元。台水公司還管理許多水庫，具有發展水面型太陽光電之潛能，但對習於地面與一般房舍屋頂興建安裝太陽光電板之廠商而言，較具挑戰性也恐減損其投資意願。

台水公司未來將配合中央推動政策，全面盤點具太陽光電潛勢發展之各場域進行優劣分析，篩選優先推動之適當場域，配合綠能憑證市場發展情況，研擬興建安裝或委外發包策略，未來整合相關單位，針對各項事業設施事範應用型態，提出規劃方案，引導廠商投入。

曾文－烏山頭水庫系統灌區 枯旱期間因應措施與行動

楊明風

嘉南農田水利會 會長

一、前言

嘉南平原早期為看天田，農作物灌溉水源都依靠降雨，1930 年完成嘉南大圳系統；1973 年完成曾文水庫，曾文、烏山頭水庫串聯營運，提高了兩水庫可供水量。依以水稻為主的耕作方式與灌溉制度由早期的三年一作提升到目前的三年二作，輪流灌溉嘉南平原約 6.4 萬多公頃農作物，農業發展及稻米產量增加，將有限的水資源分配給全地區農地共同享用，提升農業技術及提高農民生活水平，一躍為臺灣重要的米倉。

近年來受氣候變遷影響，氣候及水文條件每年變化差異增大，尤因 2009 年莫拉克風災影響，曾文水庫淤積量高達 9 仟多萬立方公尺，曾文、烏山頭兩水庫蓄水容量銳減，更感受枯水期之調配水困難，往往造成年年抗旱的景象，本會面對水資源日益缺乏困境，充分發揮機動調配功能，以「適時、適量」加強用水管理因應措施，充分利用有效降雨量，將有限的水資源發揮最大效益。

二、嘉南會灌溉水情概述

（一）降雨量分析

106 年度本會灌區豐水期之降雨量不如預期，其重要供水來源曾文、烏山頭水庫 106 年 9 月之蓄水量，與近 15 年同時期水庫蓄水量相比為倒數第二低，而曾文、烏山頭水庫集水區降雨量也相當稀少，106 年 8 月至 12 月累計雨量僅有 780 公厘，低於近 15 年同期累計雨量 2,309 公厘 35%（如圖 1）。降雨量較往年平均不如預期，因此在一期作供灌前應予預為推估未來水庫蓄水量供需情況，以應一期作灌溉之決策參考依據。

對此，為因應 107 年第一期稻作供灌用水需求，本會自 106 年 8 月起，提前加強用水管理措施，包括水情監控、審慎調度及加強宣導節約用水，以穩定枯水期供水需求。經濟部水利署南區水資源局亦於 106 年 10 月起召開抗旱應變會議，與相關單位共同檢討節水措施，透過滾動式檢討應變作為，模擬可能之缺水情境，提早預為因應區域用水與整體水源調配需求。

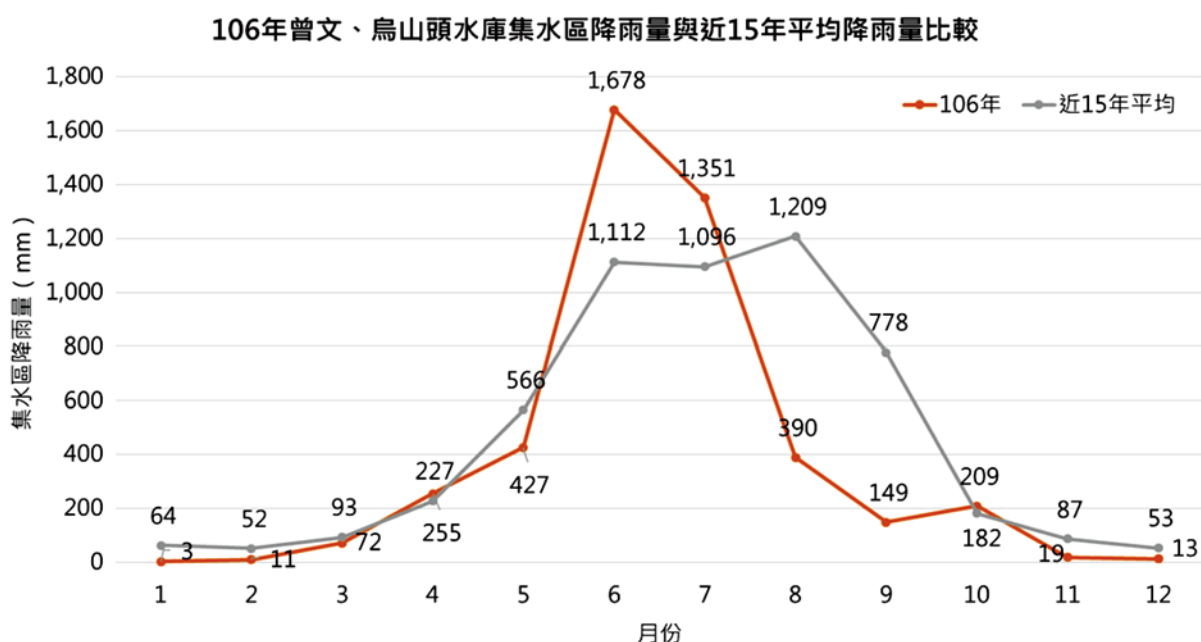


圖 1 106 年曾文、烏山頭水庫集水區降雨量與近 15 年平均降雨量比較

(二) 水庫蓄水情形

本會於 106 年 11 月 4 日順利完成全區二期作水稻灌溉任務，當時曾文－烏山頭兩水庫蓄水量 31,959 萬噸，低於水庫運用規線下限值 36,000 萬噸。其歷年枯旱排序第 8 位缺水（8/44），較歷年蓄水量平均 45,524 萬噸減少 13,565 萬噸；近 10 年枯旱排序第 1 位缺水（1/10），較近 10 年蓄水量平均 43,061 萬噸減少 11,102 萬噸。來（107）年各標的用水調配已顯窘境，更須評估 107 年一期作之灌溉因應作為，因此本會 107 年 1 月下旬至 5 月上旬以歷年平均進水量之 20%、107 年 5 月中、下旬以 40% 進行推估，預計水庫可運用水量總計為 27,963 萬噸。

三、曾文－烏山頭水庫系統 107 年第一期作灌溉計畫調整

莫拉克風災後增加曾文水庫 9,000 多萬立方公尺淤積量，可供利用水量銳減約 12,000 萬噸水量，且 106 年豐水期降雨偏少，曾文、烏山頭水庫蓄水量恐不如預期。在 106 年第二期作水稻供灌同時，本會亦開始著手推估來年一期作供灌與水庫情，供一期作灌溉之參考依據。完成 106 年二期作水稻灌溉後，106 年 11 月 30 日經濟部水利署南區水資源局召開「嘉南灌區 107 年度春耕用水供灌檢討」會議，為確保各標的用水需求，決議 107 年春耕用水以 21,000 萬噸總量控管。

本會 107 水文年春耕計畫農業用水量如表 1 所示，為期水情穩定，經

檢討後暫停供灌 107 年春季第二、三次甘蔗雜作，「107 水文年度曾文－烏

山頭水庫系統灌溉計畫」原始灌溉計畫為表 2、表 3 所示。

表 1 107 年第一期作水稻灌溉計畫表

期作別	計畫灌溉面積（公頃）	用水量（萬噸）
第一期水稻	18,143	23,566
春季第一次甘蔗、雜作	43,040	7,077
春季第二、三次甘蔗、雜作	—	10,071
合計	61,183	40,519

表 2 107 年第一期作水稻灌溉計畫用水量

管理處別	新化	麻豆	新營	嘉義	朴子	幹線消失量	計	備註
灌溉面積（公頃）	556	3,778	5,927	4,510	3,372		18,143	
整田水深（公厘）	140	140	140	140	140			
支分線消失量（cms）	0.358	0.813	0.890	1.616	1.059	1.278	6.014	

單位：萬噸

管理處別		新化	麻豆	新營	嘉義	朴子	幹線消失量	計	備註
1 月	下旬	88	574	802	764	481	121	2,830	
2 月	上旬	77	495	676	656	421	110	2,435	
	中旬	66	387	516	523	340	110	1,942	
	下旬	50	287	383	391	256	88	1,455	
3 月	上旬	61	347	462	475	309	110	1,764	
	中旬	63	359	478	489	319	110	1,818	
	下旬	61	362	485	487	317	111	1,823	3/24-3/25
		74	443	592	595	387	121	2,212	計畫間斷 2 日
4 月	上旬	67	439	590	541	382	110	2,129	
	中旬	48	294	394	394	257	92	1,479	4/11-4/13
		69	420	563	563	367	110	2,092	計畫間斷 3 日
	下旬	67	403	538	541	352	110	2,011	
5 月	上旬	62	358	477	488	317	110	1,812	
	中旬	44	192	246	287	187	110	1,066	
計		754	4,497	6,047	6,036	3,938	1,292	22,564	
		788	4,076	6,323	6,313	4,118	1,320	23,566	

註：灰底粗體字係扣除間斷灌溉後之用水量。

表 3 107 年第一次春季甘蔗、雜作灌溉計畫用水量

管理處別		新化	佳里	麻豆	新營	嘉義	朴子	烏山頭	計
灌溉面積	甘蔗	2,695	2,922	1,265	2,511	1,852	5,758		17,003
	雜作	5,203	6,648	2,033	2,755	1,707	7,691		26,037
	合計（公頃）	7,898	9,570	3,298	5,266	3,559	13,449		43,040
灌溉水深（公厘）		100	100	100	100	100	100		
		120	120	120	120	120	120		
支分線消耗量 (cms)		3.348	2.273	0.672	0.821	0.372	2.338		9.824

單位：萬噸

管理處別		新化	佳里	麻豆	新營	嘉義	朴子	烏山頭	計
二月中旬	甘蔗用水量	135	146	63	126	93	288		851
		162	175	76	151	111	345	50	1,070
	雜作用水量	260	332	102	138	85	385		1,302
		312	399	122	165	102	461	50	1,611
	支分線消耗量	289	196	58	71	32	202		848
	小計	684	674	223	335	210	875		3,001
二月下旬	甘蔗用水量	108	117	51	100	74	230		680
		129	140	61	121	89	276	50	866
	雜作用水量	208	266	81	110	68	308		1,041
		250	319	98	132	82	369	50	1,300
	支分線消耗量	231	157	46	57	26	162		679
	小計	547	540	178	267	168	700		2,400
三月上旬	甘蔗用水量	27	29	13	25	19	58		171
		32	35	15	30	22	69	10	213
	雜作用水量	52	66	20	28	17	77		260
		62	80	24	33	20	92	10	321
	支分線消耗量	58	39	12	14	6	40		169
	小計	137	134	45	67	42	175		600
合計	甘蔗用水量	270	292	127	251	186	576		1,702
		323	350	152	302	222	690	110	2,149
	雜作用水量	520	664	203	276	170	770		2,603
		624	798	244	330	204	922	110	3,232
	支分線消耗量	578	392	116	142	64	404		1,696
	小計	1,368	1,348	446	669	420	1,750		6,001
		1,526	1,540	512	774	491	2,018	220	7,077

註：灰底粗體字係表示減水深後之灌溉水深暨用水量。

為達成 107 年春耕用水以 21,000 萬噸總量控管之目標，水稻灌溉計畫延至 107 年 1 月 29 日起開始供灌（原計畫 1 月 21 日），計畫水量打七折，以供 9 停 4、供 9 停 7、供 8 停 8、供 7 停 7 四種輪灌方式，視現地水稻生長情形機動調整灌溉計畫，估算一月下旬至五月下旬總用水量，預期可將用水量管控於 18,000 萬噸範圍內。春季第一次甘蔗、雜作灌溉計畫延至 2 月 26 日起開始供灌（原計畫 2 月 11 日），配合加強清查現地實際種植面積及嚴格執行輪灌秩序的灌溉管理方式，預期可將用水量管控於 3,000 萬噸。並且籲請輪值灌區內會員預作準備，配合施灌日期與遵守輪灌秩序，俾滾動式利用水量之調配，共體時艱，節約用水，以克服灌區缺水困境。

1. 供 9 停 4：依原計畫水量打七折供水，整田期 1/29 ~ 2/13 九成供水，2/2 ~ 5/30 採供 9 停 4 灌溉推估。
2. 供 9 停 7：本田期 3 月起採供 9 停 7 灌溉推估。
3. 供 8 停 8：本田期 4 月起採供 8 停 8 灌溉推估。
4. 供 7 停 7：預估 5 月起為抽穗期，為因應水稻生長其情況，另採供 7 停 7、供 8 停 5、供 7 停 4 三種供灌方式推估。

四、加強灌溉管理措施

因應嘉南地區 106 年 8 至 9 月份降雨不如預期，本會依據經濟部南區水資源局 106 年 9 月 11 日召開「南部地區各標的供水情勢評估 106 年下半年第 1 次會議」會議決議，自 106 年 9 月 21 日啟動加強灌溉管理作業，並取消 106 年秋冬季甘蔗、雜作灌溉。期間本會持續視水情變化滾動檢討用水調配，除要求掌水人員加強巡視水路有無堵塞或漏水情形，排除非法取水灌溉行為；並視現地作物生長需求給予適度灌溉，積極採取各項亢旱應變措施並於 11 月 4 日順利究成全區二期作水稻灌溉任務，該期水稻計畫用水量 44,662 萬噸，實際灌溉用水量 34,326 萬噸，節省供灌 10,336 噸水量。

本會原春耕計畫一期作水稻及春季第一次甘蔗、雜作灌溉用水量合計約 31,000 萬噸，因曾文 — 烏山頭水庫水情持續不佳，又農耕用水以 21,000 萬噸管控營運，勢須研擬缺水因應計畫並提報農委會及水利單位，督導加強落實執行，包括加強灌溉管理、抽水機加強維護正常出水、充分利用排水路迴歸水、動員掌水工及小組長積極巡查圳路執行田間配水、各區管理處與工作站及本會成立巡水隊，更落實現地用水管理措施，期以穩定供水並順利完成任務。本次抗旱加強管理因應措施包括：

(一) 工作站用水管理事項

1. 工作站於灌溉一星期前調查各筆土地耕作現況，以利執行輪灌用水管理。
2. 配合水利小組長適時妥善運用小組業務經費維修水路，俾利輸水暢順。
3. 工作站應按照實際灌溉計畫調節各給水門水量，並督導及協調水利小組僱用掌水人執行責任灌溉。
4. 灌溉期間，工作站人員每日應到現地督導灌溉運行、適當解決用水困難、用水糾紛調處，並將狀況報告站長，以利掌控轄區內整體用水調配及適時之機動調節用水措施，維持灌溉秩序。
5. 經常巡查維護水門和量水設備，以維用水調配之正確和順利。
6. 配合降雨量減供用水或暫斷供水，以免作物受浸害及避免水源浪費。
7. 灌溉期間應與水利小組長密切連繫配合執行營運管理，以利配水供灌之順利。
8. 記錄用水量及時間，灌溉後應調查檢討灌溉執行成果，以為嗣後擬訂灌溉計畫之參考。

(二) 水利小組田間灌溉操作項目

1. 小給、小排水路及補助水路之維持及補修。

2. 實際執行輪灌配水工作，以掌水人員供灌，各田坵按輪灌計算所分配之用水量和用水時間依序引水灌溉。

(三) 輪灌實施前之準備作業

1. 灌溉地台帳和灌溉地籍圖之校對，輪灌給水區藍圖分組及漆色，以及灌溉區域、灌排系統水路之現地調查和整理，並確立給水區輪灌供水順序等。
2. 各水利小組輪灌配水計畫書及給水通知單應確實整理及通知掌水工、小組長和會員知照準備。
3. 所有小給水路、量水設備、分水箱等務必清理妥善，以利正確配水。
4. 水利小組基層組織之強化及活動，適時召開小組會議，說明田間用水管理秩序，擇定施行供灌制度引灌之操作方式，以及辦理田間灌排水路維護清理和修補工作等。

(四) 田間輪灌配水之執行操作

1. 掌水工責任灌溉之推行，主要係因應灌溉水源短缺，需採行輪作制度及輪灌方式之田間配水操作管理。
2. 掌水工由水利小組僱用，原則以一中小給水門以下輪區僱用一人處理，專責該輪區田間灌溉管理，如有需要可再增僱用一人輪流。



圖 2 抗旱加強管理因應措施現地執行情況

五、抗旱因應行動之成效

(一) 水庫水情

雖然水庫水源水量無法滿足農業灌溉用水各期作計畫灌溉需水量，但依據水文狀況及現地需要機動調配，加

強用水管理措施（如間歇灌溉、延長輪流灌溉期距、減少灌溉水深等），有利順利完成灌溉任務。截至 107 年 6 月 4 日曾文、烏山頭兩水庫蓄水量合計約為 2,070 萬噸，總蓄水率 3.9%，與歷年同期比較整理如下表 4：

表 4 曾文、烏山頭水庫歷年蓄水量比較

水庫	滿水位 (m)	有效 蓄水量 (萬噸)	現況 蓄水量 (萬噸)	蓄水率	歷年同期 平均 (萬噸)	莫拉克風災後 同期平均 (萬噸)	104 年 蓄水量 (萬噸)	102 年 蓄水量 (萬噸)
曾文	227	45,373	1,549	3.4%	21,116	23,184		
烏山頭	58.18	7,828	521	6.6%	(-19,046)	(-21,114)	31,716	29,375
合計	—	53,201	2,070	3.9%	排名 (5/44)	排名 (1/9)	(-29,646)	(-27,305)

(二) 節水成效

透過上千名掌水工日夜輪班方式巡視調水節控，嘉南農田水利會原定的 105 天灌溉日實際上僅供灌 54 天，有效降低配水過程中不必要之浪費。截至 107 年 6 月 3 日，本會一期作水稻實際用水量約為 18,000 萬噸，較計畫用水量節省約 13,088 萬噸，低於管控用水量約 3,000 萬噸，詳細節水成效如表 5。

六、結語

南部地區廣闊的平原，為臺灣最重要的糧食生產基地，惟農業的生產必須仰賴水資源的滋潤，否則難保豐收。由於南部雨水豐枯分布懸殊，農

田如無法適時灌溉則會影響收成，且灌區內工業區林立如台南科學園區、台南科技工業區等，人口增加；工業用水及民生用水量遽增，遇亢旱缺水時，常需移用農業用水，使水資源不足之窘境，更是雪上加霜，因此水資源開發利用對南部地區實不容忽視的課題與重要，嘉南水利會灌區內有嘉南大圳、曾文水庫及烏山頭水庫重要水利設施調蓄水資源，使得嘉南平原成為臺灣重要的糧倉之一。「工欲善其事，必先利其器」要先規劃並嚴謹模擬推估水源水量運用，做好水資源調配供應策略方案準備，等待時機據以執行，適度調撥支援民生、工業用水，以免臨渴掘井，影響廣大農業生產效益及社會經濟發展。

表 5 107 年春耕灌溉實施加強用水管理措施節水成效

期作別	計畫 灌溉 面積 (公頃)	實際 灌溉 面積 (公頃)	計畫 用水量 (萬噸)	預計 管控 用水量 (萬噸)	實際用水情形			節水成效	
					實際 用水量 (萬噸)	預估至結束 尚須用水量 (萬噸)	合計	較計畫 節省水量 (萬噸)	較管控 節省水量 (萬噸)
一期作水稻	18,143	16,200	24,206	18,000	15,900	0	15,900	8,306	2,100
春季第一次 甘蔗雜作	43,039	32,721	6,882	3,000	2,100	0	2,100	4,782	900
合計			31,088	21,000	18,000	0	18,000	13,088	3,000

稻作轉旱作與農業水資源的利用 — 石門農田水利會灌區為例

呂芳堅

臺灣石門農田水利會 會長

林昆賢

臺灣石門農田水利會 總幹事

鄒永慶

臺灣石門農田水利會 工務組長

徐同麒

臺灣石門農田水利會 灌溉股長

方文村

財團法人農業工程研究中心 研究員

簡傳彬

社團法人台灣省水利技師公會 水利技師

一、前言

台灣受到全球氣候變遷的影響，降雨型態改變、氣候極端事件頻率增加，致使水資源供應與農業生產的風險加大。由於農業生產與糧食供應息息相關，進而衝擊台灣的糧食安全。根據聯合國糧農組織（FAO）所提出「世界糧食和農業領域土地及水資源狀況」（The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture）報告指出，估計到 2050 年，因應人口與收入增長需求，全球糧食產量需在 2009 年的基礎上增長 70%。另灌溉面積將由 2009 年的 3.01 億公頃增加到 2050 年

的 3.18 億公頃，增長幅度為 6%（Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011）。因此，「提高水庫埤塘調蓄能力，降低區域缺水風險」與「提高國內糧食生產，掌握潛在糧食自給率」已成為台灣水資源及糧食安全政策的首要課題。

面對前述農業水資源供應的風險加大以及如何提高水庫埤塘調蓄能力的課題，陳淑貞等（2013）、陳淑貞等（2014）及簡傳彬（2019a）進行貯水池應用管路串並聯之規劃研究以提高水資源運用效率降低缺水風險。其後簡傳彬等（2018）進行考量短期氣候預報之桃園灌區埤塘串聯研究，以及簡傳彬、

方文村（2017）進行灌區減供灌溉用水下結合短期氣候預報之埤塘串聯研究，以因應氣候變遷下之農業水資源供應的風險。

考量水稻生產過剩為目前台灣水稻產業重要課題，以及國人飲食習慣的西化與改變，有必要重新調整糧食生產結構以平衡稻米與雜糧的供需。可能的調適措施包括：水旱輪作制度、友善環境直接給付制度推動、獎勵農友種植雜糧等（方文村，2018）。以提高雜糧生產的產量與品質為主軸，搭配水稻栽種生產，以及環境友善的整合型管理方法等，利用水稻涵養水源的特性與雜糧作物輪作以確保水資源及友善環境，建立區域性多元化的糧食生產體系。在前述水旱輪作制度下之灌溉配水研究，包括：方文村等（2014）對水旱田提出之動態灌溉配水，陳淑貞等（2015）進行水旱田灌溉系統合理配運用之研究；以及簡傳彬等（2015）進行氣候變遷下作物調整與灌溉管理之探討，此外，有關水旱田灌溉系統之績效評估的有簡傳彬等（2014）研究如何整合休耕田復耕與節水技術於水旱田的灌溉系統評估。

綜合前述，台灣面對全球氣候變遷，石門水庫供給北部最大糧倉桃園台地的灌區將由過去的兩期作水稻種植，逐漸形成水旱田混作或水旱田輪作的種植情形。因此，本研究將以石門農田水利會灌區水稻轉旱作，以及轉作後的農業水資源利用課題提出相關數據，供相關單位未來決策之參考。

二、研究區域概述

石門農田水利會之灌溉事業區域主要為石門大圳供水之灌溉系統，石門大圳於民國 51 年由石門水庫建設委員會渠管工程處負責興建完成，幹渠全長 27 公里餘。石門農田水利會於民國 53 年成立後，即負責接管石門大圳幹渠及其附屬設施（原包括支渠 18 條、分渠 43 條及小給水路 1,700 公里，此包含高低揚灌區）。石門大圳通水迄今已達 50 餘年，原計畫灌溉面積為 21,926 公頃，近年來由於都市計畫、道路等公共設施之開發，及高低揚灌溉區域劃出石門農田水利會灌溉事業區域，目前灌溉面積約為 12,085 公頃，涵蓋新北市、桃園市、新竹縣共 12 個鄉鎮市區，灌溉系統有支渠 16 條，分渠 33 條。

石門農田水利會灌區位處台灣北部，其降雨因受到東北季風影響，降雨日數冬季多於夏季，雨量在季節分配上多集中於 3～8 月，夏季雖較冬季為多，但冬季並不過分乾旱，以本區灌溉供水期（即每年 2 月至 11 月）之 10 個月期間可利用之有效雨量率約達 20%，惟仍需視實際降雨等水文條件而異，部分時間常低於 20%。然夏季降雨以雷雨及颱風雨為主，又夏季時因台地酷熱，蒸發旺盛，且台地地形雨水較不易保存，若遇乾旱時，灌溉用水便出現短缺，農田即面臨休耕的情形，這也是早期農民普遍在農地上開築埤塘貯水的原因之一（簡傳彬，2010；簡傳彬，

2012；簡傳彬、方文村，2017）。由於區域的發展，埤塘由原有的 460 口，降到目前的 398 口，有效蓄水量約為 1,037 萬立方公尺。

石門農田水利會共設有 7 個工作

站，除幹線站負責石門大圳之用水調配至各支渠外，其餘 6 個工作站分別為八德、中壢、過嶺、楊梅、富岡及湖口工作站，皆有各自負責轄區及灌溉區域如圖 1 及表 1。



資料來源：石門農田水利會，2004。

圖 1 石門農田水利會所轄灌溉區域

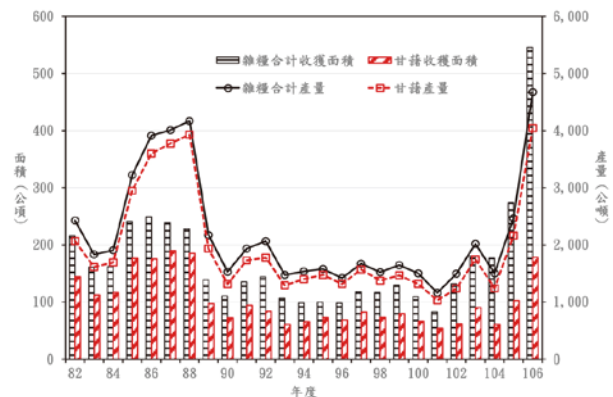
表 1 石門農田水利會灌溉工作站所轄區域及灌溉渠道

工作站	所轄區域	灌溉渠道
八德工作站	桃園市桃園區 新北市鶯歌區 桃園市八德區 桃園市大溪區	員樹林支渠
中壢工作站	桃園市中壢區 桃園市平鎮區	社子支渠 / 埔頂支渠 / 南勢支渠 / 東勢支渠 / 中壢支渠 / 平鎮支渠
過嶺工作站	桃園市中壢區 桃園市平鎮區 桃園市新屋區 桃園市觀音區	過嶺支渠
楊梅工作站	桃園市平鎮區 桃園市楊梅區 桃園市新屋區	山溪支渠 / 環頂支渠 / 高山頂支渠 / 山麓支渠 / 大金山支渠
富岡工作站	桃園市新屋區 桃園市楊梅區	繞嶺支渠 / 長岡嶺支渠
湖口工作站	新竹縣湖口鄉 新竹縣新豐鄉 新竹縣竹北市	湖口支渠

三、稻作轉旱作趨勢與經濟效益

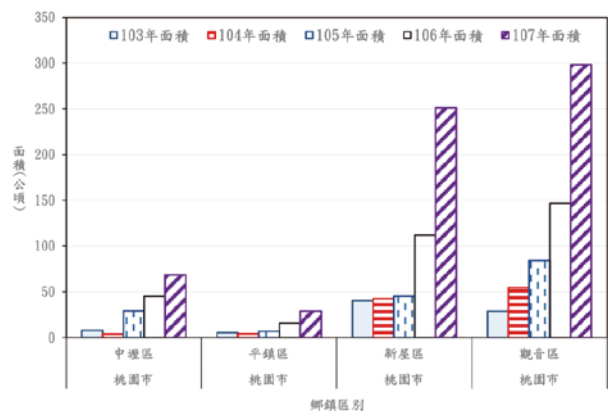
由於全球氣候與社會環境的變遷以及工商業的發展，除農業用水減少外，其餘各標的用水量均大幅上升，在石門水庫供水量有限之條件下，當乾旱時期供水量不足以供應各標的需水量時，可能就需減供或停供農業用水，以水利資源調配。因此石門水庫灌區在水庫供水量不足時，部份水田將即轉為種植低耗水性作物，如大豆、蔬果等旱作物。桃園地區現行栽種之農作物，係以水稻為主，依據簡傳彬（2009）之資料顯示：桃園農田水利會灌區除水稻外，其餘作物之栽培方式以露天栽培為主，在露天栽培作物中以蔬菜及果品作物最多。唯前述研究距今已逾十年，簡傳彬（2019b）更新資料顯示：雜糧作物自 2015 年（民國 104 年）開始有增加之趨勢如圖 2。分析石門農田水利會灌區之作物種植趨勢，以過嶺工作站灌區鄉鎮為例，圖 3 繪出該工作站民國 103~107 年雜糧收穫面積，顯示石門農田水利會過嶺工作站灌區鄉鎮雜糧作物自 2015 年（民國 104 年）開始有增加之趨勢。

針對台灣的農業將以提高雜糧生產的產量與品質為主軸，搭配水稻栽種生產，利用水稻涵養水源的特性與雜糧作物輪作以確保水資源及友善環境，建立區域性多元化的糧食生產體系。因此，方文村（2018）於北部新



資料來源：簡傳彬，2009、2019b。

圖 2 桃園市雜糧收穫面積及產量歷線



資料來源：桃園市政府統計處網站，2019。

圖 3 石門農田水利會過嶺工作站民國 103 ~ 107 年雜糧收穫面積

屋、觀音地區進行「水稻及大豆」輪作試驗調查，瞭解其作物需水量、灌溉用水量、產量、節水效能、成本效益及配水方式之影響，期能建立不同輪作方式適切之灌溉配水模式，探討水稻與不同雜糧作物輪作體系之農田水利灌溉技術調整研究。

臺灣大豆主要栽培品種及特性如表 2 所示。黑豆栽培品種有臺南 3 號、5 號及 9 號，臺南 3 號為青仁黑

表 2 臺灣大豆主要栽培品種及特性

品種	類別	品種特性
臺南 3 號	青仁黑豆	種皮黑色，子葉綠色，百粒重 10 ~ 13 公克，保健成分高，但對日照稍敏感，易感染白粉病。
臺南 5 號	黃仁黑豆	種皮黑色，子葉黃色，百粒重 23 ~ 26 公克，易感染白粉病。
臺南 9 號	黃仁黑豆	種皮黑色，子葉黃色，種臍黑色，百粒重 36.5 ~ 44.1 公克，對露菌病及白粉病抗病性優。
金珠 (十石)	黃豆	國立嘉義大學 103 年命名，秋作栽培具早熟性，百粒重 14 ~ 18 公克，水解後異黃酮含量 3.376 毫克 / 克。
臺南 10 號	黃豆	種子外表光滑鮮亮，種臍黃色，百粒重 24.8 ~ 27.1 公克，白粉病抗病性優。
花蓮 1 號	黃豆	百粒重 20 ~ 25 公克，對溫度及日照稍敏感，不抗白粉病。
高雄選 10 號	黃豆	百粒重 14 ~ 18 公克，對溫度敏感，對日照鈍感，易感染白粉病。

資料來源：林禎祥、葉永銘，2016。

豆，可供為黑豆粉、黑豆芽、碳焙黑豆、浸酒入藥黑豆茶、黑豆豆漿及豆腐等利用；臺南 5 及 9 號則可作為蔭油加工、蜜黑豆、豆豉、味噌、豆漿及豆腐等原料。黃豆栽培品種則有金珠（十石）、臺南 10 號、花蓮 1 號及高雄選 10 號等。

大豆為耐旱作物，惟其生長發育仍需水分供給方能維持，適時適量灌溉為確保產量的必要工作。大豆生育初期地上部莖葉生長較根系慢，土壤適宜含水量 40 ~ 60%，若水分含量過高將不利根部生長，造成根系生長量減少且分布較淺，嚴重時會導致根部因缺氧而死亡。因此，生育初期增加土壤通氣性有利根系發育，開花期及莢果充實期則需補充水分以提高產量。在實務操作上為避免積水或排水

不及，灌溉時供水量以畦溝灌水 6 ~ 8 分滿，讓水分藉毛細管作用擴散至畦面濕潤即可。大豆生育期間視田間乾濕狀況進行灌溉次數的調整，一般於開花前灌溉 1 次，開花後豆莢充實期灌溉 2 ~ 3 次，開花至果莢充實期為植株最需要水分的階段，適時灌溉將可提高種子產量（林禎祥，2018）。

因此在配合大豆品種、桃園氣候條件等因素分析後，在適時、適地原則下，選擇台南 3 號等大豆適宜品種並於 8 月進行種植，於 11 月底 ~ 12 月初進行收穫。即採水稻（3 ~ 7 月種植）_大豆（8 ~ 11 月種植）之輪作方式，以利後續灌溉配水操作。方文村（2018）經就兩期作水稻及水稻 _ 大豆輪作之作物產量、生產成本及收益分析結果如表 3 所示，顯示：在配合中央政府及地

方政府獎勵「提高國內糧食生產，掌握潛在糧食自給率」的糧食安全政策，以及臺灣水稻生產過剩的問題，臺灣有必要重新調整糧食生產結構以平衡稻米與雜糧的供需，可能的調適措施有：水旱輪作制度、友善環境直接給付制度推動、獎勵農友種植雜糧等，獎勵措施包括行政院農業委員會之轉（契）作、稻作及生產環境維護措施獎勵每公頃 6 萬元，及桃園市府補助非基改大豆種子及田間管理補助，每公頃最高可獲得 1 萬 1,000 元，總計獎勵及補助達 7 萬 1,000 元。水稻_大豆輪作之淨效益為 107,905 元 / 年 -ha，不僅高於二期作水

稻的 31,076 元 / 年 -ha，也高於水稻_綠肥的 74,447 元 / 年 -ha、水稻_翻耕的 71,447 元 / 年 -ha。另前述水稻_大豆輪作之淨效益係依據行政院農業委員會 106 年農業統計年報大豆產量資料、大豆契作價格每公斤以 50 元計算、生產成本採第一種生產費計算。107 年度試驗觀測田區因調整種植時間，其大豆產量達 2,000 公斤，惟價格亦下滑至 30 ~ 40 元 / 公斤，以 35 元 / 公斤進行估算，則水稻_大豆輪作之淨效益為 123,575 元 / 年 -ha，但如大豆價格為 30 元 / 公斤，則淨效益將下滑至 113,565 元 / 年 -ha。

表 3 二期作水稻及水稻大豆輪作之作物產量、生產成本及收益分析

處理別	產量 公斤／公頃		粗收益 元／公頃		生產成本 元／公頃		轉(契)作、 稻作及生產 環境維護措 施獎勵 元／公頃	非基改大 豆種子及 田間管理 費補助 元／公頃	淨收益 元／公頃		
	一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作			一期作	二期作	合計
水稻—水稻 ¹	5,412	3,437	140,712	89,362	98,265	100,733	-	-	42,447	-11,371	31,076
水稻—綠肥	5,412	-	140,712	-	98,265	13,000	45,000	-	42,447	32,000	74,447
水稻—翻耕	5,412	-	140,712	-	98,265	5,000	34,000	-	42,447	29,000	71,447
水稻—大豆 ²	5,412	1,088	140,712	54,400	98,265	59,942	60,000	11,000	42,447	65,458	107,905
水稻—大豆 ³	5,412	2,002	140,712	70,070	98,265	59,942	60,000	11,000	42,447	81,128	123,575

備註：1. 稻穀價格每公斤以 26 元計算；生產成本係依行政院農業委員會 106 年農業統計年報調查報告，採第一種生產費計算。

2. 大豆產量依行政院農業委員會 106 年農業統計年報資料、大豆契作價格每公斤以 50 元計算；生產成本採第一種生產費計算。

3. 大豆產量依本研究試驗觀測田區產量資料，大豆價格因本年度產量增加，單價降低至 30 ~ 40 元 / 公斤，以 35 元 / 公斤進行估算。

4. 資料來源：農業工程研究中心，2018。

四、稻作轉旱作與農業水資源應用

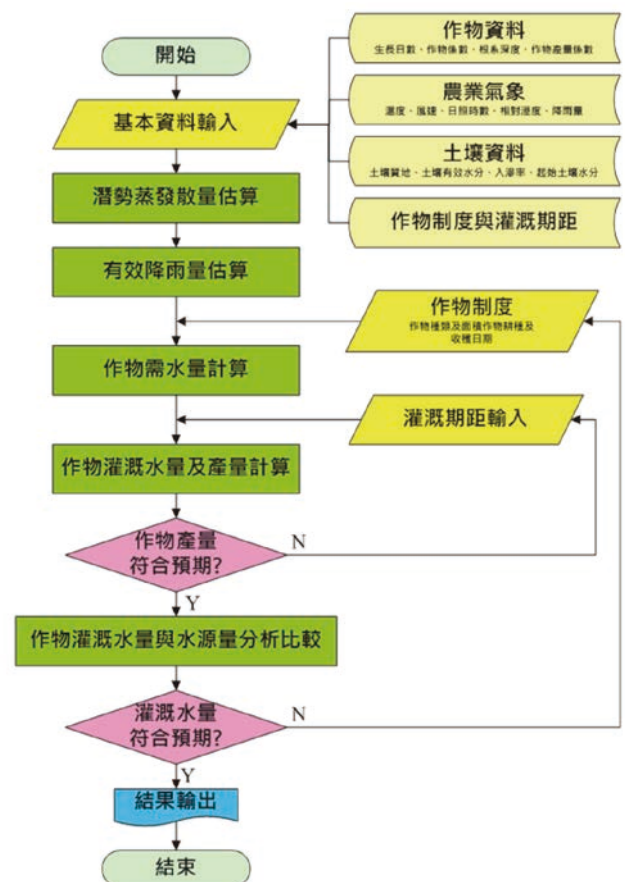
本研究考量石門農田水利會灌區已有稻作轉旱作，因此再就稻作轉旱作與農業水資源應用進行探討。考量石門農田水利會灌溉計畫過去係以兩期作水稻進行規劃，因此本研究採用FAO所發展之CROPWAT模式，作為不同灌溉方式作物所需水量之分析工具，推估水田與旱田之田間用水量，以評估糧食作物灌溉用水量之需求。模式需輸入氣象參數、作物係數、土壤參數、灌溉制度等。由於所需參數少且FAO亦有提供多種作物與土壤之基本參數，而參數之驗證與調整簡單，計算時間亦可相對縮短。

CROPWAT模式可進行作物參考蒸發散量、作物需水量、作物灌溉需水量之計算，亦能規劃管理不同供水條件下的灌溉時程、產量評估等。本研究將所推估用水量與水利會之計畫用水量以及實際用水量進行比較，以驗證模式在用水量推估之可靠性後，接著利用該模式依據所研擬的稻作轉旱作調整方案進行模擬，並提出初步建議。

模式所需輸入之灌溉管理資料包括氣象、作物、土壤等。氣象資料包括：(1) 最高、最低溫度；(2) 相對溼度；(3) 風速；(4) 日照時數；(5) 降雨量等。模式利用Penman Monteith法估算潛勢蒸發散量，有效雨量估算法包括：

(1) 固定比例法、(2) FAO/AGLW公式法、(3) 經驗公式法、(4) 美國農業部土壤保持法(USDA)。相關灌溉管理基本資料輸入完成後，模式可提供作物生長期間旬別之相關資料，包括：(1) 作物係數；(2) 葉面積指數；(3) 作物蒸發散量；(4) 滲漏量；(5) 整田需水量；(6) 有效雨量；(7) 作物灌溉需水量等。模式分析流程如圖4所示。

本研究經以中央氣象局新屋氣象站之氣象資料，配合過嶺工作站之土壤質地(粘土)，進行作物需水量及田



資料來源：簡傳彬，2014；方文村，2018。

圖4 CROPWAT模式分析流程圖

間灌溉需水量分析。經分析結果如表 4 所示，土壤質地以黏土為例，一期作水稻之田區灌溉需水量為 772 mm（石門農田水利會灌溉計畫為 713 mm）；二期作水稻之田區灌溉需水量為 889 mm（石門農田水利會灌溉計畫為 812 mm）；二期作大豆之田區灌溉需水量為 417 mm。依據前述資料初步推估水稻_大豆輪作之灌溉水量僅約為兩期作水稻的 71.6 ~ 74.1%，節水效率約為 25.9 ~ 28.4%。另，於 107 年氣候條件下，試驗觀測田區二期作大豆僅於大豆發芽初期施灌一次，故 107 年度試驗觀測田區節水效率高於前述數值（方文村，2018）。

前述研究係以二期作進行轉作分

析，但近來氣候異常頻仍，一期稻作期間時常面臨供水不穩定風險。以民國 104 年乾旱年為例，石門水庫經由石門大圳供應灌溉水量（2 ~ 11 月）為 0.60 ~ 7.06CMS（平均約為 3.86CMS），與灌溉計畫之石門水庫配水量為 3.10 ~ 7.06CMS（平均約為 5.63CMS）比較，各旬滿足度為 12% ~ 100%（平均為 67%），上述滿足度之定義為灌溉實際用水量除以灌溉計畫用水量之值（行政院農業委員會，2015）。其中民國 104 年第一期作石門大圳灌溉旬用水如表 5 所示。由表 5 顯示：3 月份之各旬滿足度均不到 40%，實有賴石門農田水利會工作同仁努力，方得以度過缺水危機。

表 4 不同期作作物別之田區灌溉需水量

期作_作物別	土壤質地	田間（作物） 需水量（mm）	有效雨量 （mm）	田區灌溉需水量 （mm）
一期作水稻 ¹	粘土	1,016	244	772
一期作水稻 ²	粘土	1,000	287	713
一期作水稻 ²	粘壤土、植壤土、壤土	1,036	287	749
一期作水稻 ²	砂壤土	1,264	287	977
二期作水稻 ¹	粘土	976	87	889
二期作水稻 ²	粘土	944	132	812
二期作水稻 ²	粘壤土、植壤土、壤土	991	132	859
二期作水稻 ²	砂壤土	1,223	132	1,091
二期作大豆 ¹	粘土	417	-	417

備註：1. 參考方文村（2018）新屋試驗田區之粘質壤土資料，假設該田區土壤與過嶺工作站之粘土相當。

2. 參考石門農田水利會灌溉計畫、農業工程研究中心（2002）。

表 5 民國 104 年第一期作石門大圳灌溉旬用水分析

月別	2			3			4			5			6			7		
旬別	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
水庫放水計畫量 ¹ (CMS/D)	5.12	5.12	5.12	6.08	6.08	4.92	4.92	4.92	4.92	5.05	5.05	5.05	5.48	6.02	6.88	6.12	6.12	7.06
水庫實際放水量 ¹ (CMS/D)	2.42	3.84	3.84	3	2.9	2.35	2.5	2.1	2.03	2.15	2.2	0	5.35	5.72	6.88	5.41	6.12	7.06
實際放水天數 ¹ (天)	4	6	6	10	8	2	7	7	9	2	8	0	7	9	8	7	8	11
石門大圳供灌溉水量 ² (CMS/D)	0.94	2.89	3.20	2.86	2.16	1.74	1.93	2.09	1.69	2.19	1.73	0.6	4.05	5.46	5.83	4.59	4.93	7.06
滿足度 ² (%)	18.42	56.48	62.55	47.11	35.53	35.31	39.29	42.54	34.37	43.33	34.26	11.88	73.91	90.73	84.72	74.98	80.47	100.00

資料來源：1. 邱顯達，2018。

2. 經濟部水利署北區水資源局，本研究分析整理。

其後，行政院農業委員會農糧署配合經濟部水利署及早因應氣候變遷調整耕作模式，並經綜合考量維持糧食安全、糧價穩定與農民收益等透過政策引導農民，自 108 年起結合「對地綠色環境給付計畫」推動「水資源競用區一期稻作轉旱作試辦措施」，針對桃園、新竹、苗栗及嘉南等水資源競用區內（石門水庫、新竹上坪堰、明德水庫及嘉南等 4 水庫灌區）經選定之試辦灌區內的農地，列如表 6。

石門農田水利會停灌分區分為兩區，第 1 分區包含八德、中壢、過嶺工作站灌區，第 2 分區包含楊梅、富岡、湖口工作站灌區，工作站灌區分布如圖 1，「108 年水資源競用區一期稻作轉旱作試辦措施」選定之灌溉系統試辦灌

區為石門農田水利會第 2 分區。

「108 年水資源競用區一期稻作轉旱作試辦措施」於 107 年 12 月完成定案後，行政院農業委員會農糧署即於 107 年 12 月 14 日以農糧產字第 1071092998 號函請各地方政府農業局通知灌區農民自由參加。於確保原一期作種稻農友收益不受影響之原則下，比照生產環境維護措施之給付標準（種植綠肥或景觀作物每公頃 4.5 萬元、辦理翻耕每公頃 3.4 萬元）給付獎勵金，結合經濟部水利署提供節水獎勵金（桃竹苗灌區每公頃 2.7 萬元，嘉南灌區每公頃給付 4.2 萬元），鼓勵稻農轉作。「水資源競用區一期稻作轉旱作試辦措施」的轉作模式及給付獎勵金總額如下：

表 6 108 年水資源競用區一期稻作轉旱作試辦措施試辦灌區

水利會	石門	新竹	苗栗	嘉南
試辦區域	石門水利會 第 2 分區 楊梅、富岡、湖口工作站 灌區（5,633 公頃）	上坪堰竹東圳 第 9、10 及 11 小組 （200 公頃）	大潭工作站 綠洲、龍昇、九車 一、九車二小組 （228 公頃）	朴子工作站 六腳小組 （260 公頃）
所在鄉鎮	楊梅、平鎮、 新屋、湖口、 新豐、竹北	竹東	造橋、後龍	六腳

資料來源：行政院農業委員會農糧署，2018。

- (1) 轉作「對地綠色環境給付計畫」之獎勵作物（契作戰略作物、地方特色作物之 40 項全國適用品項及地方自選 5 項）或種植綠肥、景觀作物者，給付桃竹苗灌區每公頃 7.2 萬元，嘉南灌區每公頃 8.7 萬元，其中「對地綠色環境給付計畫」給付每公頃 4.5 萬元。
- (2) 不種植作物辦理翻耕者，給付桃竹苗灌區每公頃 6.1 萬元，嘉南灌區每公頃給付 7.6 萬元，其中「對地綠色環境給付計畫」給付每公頃 3.4 萬元。
- (3) 種植非計畫獎勵作物（甘藍、花椰菜、結球白菜等大宗蔬菜及大蒜、果樹類等易產銷失衡作物除外）者，給付桃竹苗灌區每公頃 2.7 萬元，嘉南灌區每公頃 4.2 萬元。

五、結語

考量水稻生產過剩為目前台灣水稻

產業重要課題，以及國人飲食習慣的西化與改變，有必要重新調整糧食生產結構以平衡稻米與雜糧的供需。可能的調適措施包括：水旱輪作制度、友善環境直接給付制度推動、獎勵農友種植雜糧等。以提高雜糧生產的產量與品質為主軸，搭配水稻栽種生產，以及環境友善的整合型管理方法等，利用水稻涵養水源的特性與雜糧作物輪作以確保水資源及友善環境，建立區域性多元化的糧食生產體系。亦即台灣面對全球氣候變遷，石門農田水利會灌區將由過去的兩期作水稻種植，逐漸形成水旱田混作或水旱田輪作的種植情形。因此本研究以石門農田水利會灌區水稻轉旱作，以及水稻轉旱作的農業水資源利用課題提出相關數據，供相關單位未來決策之參考。

由於全球氣候與社會環境的變遷、工商業的發展，各標的用水需求量，除農業用水減少外，其餘各標的用水量均大幅上升，在石門水庫供水量有限之條

件下，當乾旱時期供水不足以供應各標的需水量時，可能就需減供或停供農業用水，以利水資源調配。因此石門水庫灌區在水庫供水不足時，部份水田將即轉為種植低耗水性作物，如大豆、蔬果等旱作物。桃園地區現行栽種之農作物，係以水稻為主。除水稻外，其餘作物以露天栽培為主，在露天栽培作物中以蔬菜及果品作物最多。以石門農田水利會過嶺工作站所屬鄉鎮區民國 103 ~ 107 年雜糧收穫面積為例，顯示石門農田水利會過嶺工作站所屬桃園市中壢、平鎮、新屋及楊梅區之雜糧作物自 2015 年（民國 104 年）開始有增加之趨勢。

經就兩期作水稻及水稻_大豆輪作之產量及經濟分析結果顯示：在配合中央政府及地方政府獎勵，包括行政院農業委員會之轉（契）作、稻作及生產環境維護措施獎勵每公頃 6 萬元，及桃園市府補助非基改大豆種子及田間管理補助，每公頃最高可獲得 1 萬 1,000 元，總計獎勵及補助 7 萬 1,000 元條件下。水稻_大豆輪作之淨效益不僅高於二期作水稻，也高於水稻_綠肥、水稻_翻耕的收益。相關水稻_大豆輪作之淨效益係依行政院農委會 106 年農業統計年報大豆產量資料、大豆契作價格每公斤以 50 元計算、生產成本採第一種生產費計算，惟如大豆價格下降，則淨效益將有所調降。

經以中央氣象局新屋氣象站之氣象資料，配合石門農田水利會過嶺工作站之土壤質地，進行作物需水量及田間灌溉需水量分析。經分析結果如表 4 所示，一期作水稻_粘土之田區灌溉需水量為 772 mm（石門農田水利會灌溉計畫為 713 mm），；二期作水稻_粘土之田區灌溉需水量為 889 mm（石門農田水利會灌溉計畫為 812 mm）；二期作大豆之田區灌溉需水量為 417 mm。依據前述資料初步推估水稻_大豆輪作之灌溉水量僅約為兩期作水稻的 71.6 ~ 74.1%，節水效率約為 25.9 ~ 28.4%。

近來氣候異常頻仍，一期稻作期間時常面臨供水不穩定風險。以民國 104 年為例，石門水庫經由石門大圳供應灌溉水量（2 ~ 11 月）為 0.60 ~ 7.06CMS，與灌溉計畫之石門水庫配水量為 3.10 ~ 7.06CMS 比較，各旬滿足度介於 12% ~ 100%（平均為 67%）。其中民國 104 年第一期作石門大圳灌溉旬用水資料顯示：3 月份之各旬滿足度均不到 40%，有賴石門農田水利會工作同仁努力，方得以度過缺水危機。因此石門農田水利會近年來積極進行各項基礎與應用研究，包含以遙測技術調查灌區內農作物分佈與需水量推估計畫、以及因應亢旱石門大圳之配水研究計畫，期能因應全球氣候變遷下之農糧政策與區域水資源利用，提供石門農田水利會灌溉配水操作及相關單位決策之參考。

參考文獻

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011, The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture-Managing systems at risk.
- [2] 方文村，2018，「水稻與雜糧輪作體系之農田水利灌溉技術調整研究」計畫研究報告，行政院農業委員會補助，計畫編號：107 農科 -7.7.5-利 -b1，財團法人農業工程研究中心執行。
- [3] 方文村、簡傳彬、陳淑貞，2014，水旱田之動態灌溉配水 — 以嘉南農田水利之白河水庫灌區為例，2014 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 871-884。
- [4] 石門農田水利會，2004，臺灣省石門農田水利會成立四十周年紀念會誌。
- [5] 行政院農業委員會，2015，2015 農業灌溉白皮書。
- [6] 行政院農業委員會，2018，106 年農業統計年報。
- [7] 行政院農業委員會農糧署，2018，108 年水資源競用區一期稻作轉旱作試辦措施。
- [8] 林禎祥、葉永銘，2016，北部地區大豆栽培要領，桃園區農業專訊，96 期，pp. 2-5。
- [9] 林禎祥，2018，北部地區大豆栽培技術，桃園區農技報導，第 77 期，107 年 6 月。
- [10] 邱顯達，2018，104 年石門大圳一期作抗旱實務（石門大圳幹渠輸配水）。
- [11] 桃園市政府主計處網站，2019，統計年報（民國 91～106 年），2019 年 7 月 5 日取自 <https://dbas.tycg.gov.tw/home.jsp?id=206&parentpath=0,13,47>
- [12] 陳淑貞、方文村、簡傳彬，2014，貯水池應用管路串並聯之規劃研究 - 以桃園大圳 11 支線灌區為例，2014 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 885-899。
- [13] 陳淑貞、簡傳彬、方文村，2013，桃園農田水利會貯池應用管路串並聯之規劃研究（桃園大圳 10 支線灌區），2013 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 1090-1103。
- [14] 陳淑貞、簡傳彬、方文村，2015，水旱田灌溉系統合理配運用之研究，2015 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 575-587。
- [15] 農業工程研究中心，2002，「石門大圳用水計畫檢討」計畫研究報告，臺灣石門農田水利會委託。
- [16] 簡傳彬，2009，「桃園地區農田種植不同作物之水資源及經濟效益評估」計畫研究報告，桃園農田水利研究發展基金會委託研究，財團法人農業工程研究中心執行。

- [17] 簡傳彬，2010，「桃園農田水利會貯水池應用管路串並聯之規劃研究（桃園大圳 10 支線灌區）」計畫研究報告，財團法人桃園農田水利研究發展基金會委託，財團法人農業工程研究中心執行。
- [18] 簡傳彬，2012，「桃園農田水利會貯水池應用管路串並聯之規劃研究（桃園大圳 11 支線灌區）」計畫研究報告，財團法人桃園農田水利研究發展基金會委託，財團法人農業工程研究中心執行。
- [19] 簡傳彬，2014，「氣候對水文環境影響下作物調整與田間水源管理之建議」計畫研究報告，經濟部水利署水利規劃試驗所委託，財團法人農業工程研究中心執行。
- [20] 簡傳彬，2019a，貯水池應用管路串並聯之規劃研究 - 以桃園農田水利會觀音地區為例，臺灣桃園農田水利會創會 100 週年學術研討會特刊，pp. 575-587。pp. 192-207。
- [21] 簡傳彬，2019b，桃園地區農田種植不同作物之效益評估，臺灣桃園農田水利會創會 100 週年學術研討會特刊，pp. 575-587。pp. 92-106。
- [22] 簡傳彬、方文村，2017，桃園灌區減供灌溉用水下結合短期氣候預報之埤塘串聯研究，2017 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 305-306。
- [23] 簡傳彬、方文村、陳淑貞，2014，整合休耕田復與節水技術於水旱田灌溉系統之績效評估，2014 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 856-870。
- [24] 簡傳彬、方文村、陳淑貞，2015，氣候變遷下作物調整與灌溉管理之研究 - 桃園大圳灌區為例，2015 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 563-574。
- [25] 簡傳彬、方文村、陳蘭香、陳淑貞，2018，考量短期氣候預報之桃園灌區埤塘串聯研究，2018 年台灣農業工程研討會論文集（網路版），pp. 171-191。

中華水資源管理學會 會務推動報告

秘書長 簡俊傑

各項會議召開時間、地點及重要決議

會議名稱	時 間	地 點	討論事項與重要決議
財務委員會 第八屆第三次會議	108.3.20	雲林農田 水利會	1.108 年募款計畫案。
學術活動委員會 第八屆第三次會議	108.4.10	水利署 台北辦公室	1.學會相關學術獎項審查及作業時 程討論。 2.本年度水資源論壇議題討論。
出版委員會 第八屆第二次會議	108.4.17	中國土木水利 工程學會 會議室	1.討論第 21 卷第 1 期、第 2 期出版 事宜。
網站工作小組 第一次工作會議	108.7.30	水利署 台北辦公室	1.網站架設草案。 2.討論網站架構。 3.提出第一次報價。

中華水資源管理學會

會員人數統計(至 108 年 7 月 31 日)

會員類別		會員數
個人會員	一般	870
	永久	226
合 計		1,096
團體會員	一般	22
	永久	30
合 計		52

會員入會費及永久會費

會員項目		會費標準
個人會員	一般常年	500 ~ 1,200 元/每人/每年
	一般入會	500 元/每人
	永久個人	5,000 元/每人
團體會員	一般常年	5000 元/每團體/每年
	一般團體	10,000 元/每團體

中華水資源管理學會

個人會員入會申請書

會員別	☐ 一般個人會員 ☐ 永久個人會員		
姓 名		出 生 年 次	
性 別		身分證字號	
畢業學校及最高學歷			
專長領域	☐ 工程 ☐ 管理 ☐ 法律 ☐ 環境 ☐ 規劃 ☐ 政策 ☐ 經濟 ☐ 農業 ☐ 其他 _____		
服務單位		職稱：	
單位地址	□ □ □		
永久地址	□ □ □		
聯絡電話		傳真電話	
E-mail			
會員證號	(新申請入會者由學會填寫)		

填表日期：中華民國 年 月 日

* 個人資料僅供本會審核會員資格及通訊使用，不作其他用途。

中華水資源管理學會

電話：(02)2392-6325

傳真：(02)2396-4260

電子信箱：water23926349@gmail.com

地址：10055 臺北市中正區仁愛路2段1號4樓

中華水資源管理學會

團體會員資料表

項 目	☐ 新申請入會(請填寫全部項目) ☐ 資 料 更 新(請填寫團體名稱及更新項目)			
會員別	☐ 一般團體會員 ☐ 永久團體會員			
團體名稱				
單位電話		傳真號碼		
單位地址	□□□□			
負 責 人		職 稱		
成立日期		員工人數		
業務項目				
會員 代表 (二名)	姓名	性別	職稱	年次(民國)
會員證號	(新申請入會者由學會填寫)			
填表人		聯絡電話		

填表日期：中華民國 年 月 日

* 團體單位資料僅供本會審核會員資格及通訊使用，不作其他用途。

中華水資源管理學會

電話：(02)2392-6325

傳真：(02)2396-4260

電子信箱：water23926349@gmail.com

地址：10055 臺北市中正區仁愛路2段1號4樓

入會繳費方式

會費繳付方式如下：

一、郵政劃撥：

戶名：社團法人中華水資源管理學會

劃撥帳號：19369414

二、支票：

抬頭：社團法人中華水資源管理學會

三、會員類別與收費標準

■ 一般個人會員：第一年申請入會時，需繳交入會費 500 元，會員應每年按期繳納常年會費，本會會期每屆三年，凡個人會員於該屆繳納二年以上之會費者得享有優惠，會費收取標準如下：

1. 一次繳交一年：新台幣 500 元

2. 一次繳交二年：新台幣 900 元

3. 一次繳交三年：新台幣 1,200 元

■ 永久個人會員：一次繳付 5,000 元整，終生享有會員權益。

■ 一般團體會員：第一年申請入會時，需繳交入會費 10,000 元，第二年開始每年需繳納常年會費 5,000 元。

■ 永久團體會員：一次繳付 100,000 元整，該團體終生享有會員權益。

■ 學 生 會 員：第一年申請入會時，需繳交入會費 200 元，第二年開始每年需繳納常年會費 200 元。

中華水資源管理學會

電話：(02)2392-6325

傳真：(02)2396-4260

電子信箱：water23926349@gmail.com

地址：10055 臺北市中正區仁愛路 2 段 1 號 4 樓

感 謝

台灣自來水股份有限公司
行政院農委會水土保持局
財團法人七星農業發展基金會

經濟部水利署

經濟部水利署南區水資源局

臺灣新竹農田水利會

臺北市七星農田水利研究發展基金會

臺北市七星農田水利會

臺北市瑠公農田水利會

臺灣台中農田水利會

臺灣石門農田水利會

臺灣宜蘭農田水利會

臺灣花蓮農田水利會

臺灣屏東農田水利會

臺灣苗栗農田水利會

臺灣桃園農田水利會

臺灣高雄農田水利會

臺灣雲林農田水利會

臺灣嘉南農田水利會

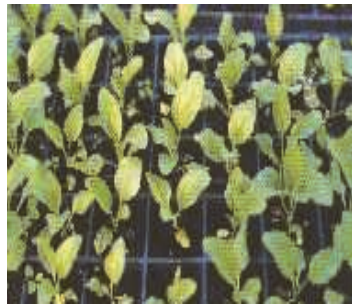
臺灣彰化農田水利會

臺灣臺東農田水利會

（依筆畫排序）

感謝以上單位的贊助，
協助本刊順利發行，特此銘謝！

財團法人七星農業發展基金會



本會配合政府推廣休閒農業，辦理學童農業推廣教育、農村綠美化及培養農業人才，推行各項農業及水利政策，提昇生活品質，建立安詳富足的社會。

地址：台北市內湖區民權東路六段 90 像 18 號 4 樓

電話：02-27961525-6

傳真：27928323

網址：www.agri.org.tw



臺灣宜蘭農田水利會

服務專線：0800255600

<http://www.ilia.gov.tw>

創新業務 服務農民

宜蘭農田水利會戮力實現－「幸福農村、有機田園」之願景

積極創新辦理各項服務農民業務及活動，有邀請學有專精名人舉辦大型公益講座、並開辦會員子女獎（助）學金、各種免費研習活動，同時透過水利建設宣導活動教育民眾愛護水資源，業務不斷革新提高服務農民而努力。



插秧農事體驗活動



大型公益講座



頒發子女獎助學金





臺灣雲林農田水利會
Taiwan Yunlin Irrigation Association

重大工程建設 新頂埤頭大排改善工程

新頂埤頭大排周邊屬雲林西螺蔬菜生產核心地區，因既設閘門設施及構造老舊，遇豪雨及颱風常造成潰堤淹水，為使排水順利及保障人民財產安全，本會爭取經費辦理更新改善。

工程效益

- 有效提高排洪效率，解決當地淹水問題
- 形成優美景觀河道，創造農村再生新象
- 宣揚政府農業德政，兼顧生產生活生態

施工前



施工後

