



水資源管理會刊

第二十二卷第二期 2020.12

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：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

台水公司水安全計畫現況與展望

胡南澤、吳振榮、洪世政、何承嶸 2

專論

濁度顆粒對混凝程序之影響

陳文祥 10

澎湖成功淨水場供水面臨挑戰及展望

游育晟、林正隆、洪世政 19

推動農田水利系統智慧化對精進灌溉管理之效益

李元喻、林宜昌、林賢銘 29

灌溉用水水質標準之檢討研究

廖珮好 43

學會動態

會務報導

秘書處 56

會員資料填表

秘書處 58

入會繳費方式

秘書處 60

台水公司水安全計畫現況與展望

胡南澤

台灣自來水公司董事長 代理總經理

吳振榮

台灣自來水公司 副總經理

洪世政

台灣自來水公司水質處 處長

何承嶧

台灣自來水公司水質處 副處長

壹、水安全計畫

什麼是水安全計畫？

世界衛生組織（World Health Organization, WHO）在飲用水水質準則（2004）所下定義：「能夠持續地確保供水安全的最有效的方法，是對從水源至用戶的所有環節進行綜合性風險評估與風險管理。在這個準則下所進行的所有措施，稱做水安全計畫。」

“The most effective means of consistently ensuring the safety of a drinking-water supply is through the use of a comprehensive risk assessment and risk management approach that encompasses all steps in water supply from catchment to consumer. In these Guidelines, such approaches are called water safety plans (WSPs)”

安全的飲用水是人類發展和福祉的根本，WHO 作為公共衛生和水質的國際權威機構，不斷致力於提升用水安全及品質。自 1958 年首次訂定發行國際飲用水標準（International Standards for Drinking Water）（WHO, 1958），並於 1963 年、1971 年兩次改版，WHO 希望透過水質相關文件的制訂，建議各國政府研訂基於維護民眾健康為取向的法規並進行有效的風險管理，以確保民眾飲用水的安全性。

隨著科技進步及社會變遷，水質檢驗技術大幅進步，需要關注檢項也激增，因此 WHO 於 1984 年編撰發布飲用水水質準則（Guideline for Drinking Water Quality, GDWQ）（WHO, 1984），其主要目標同樣是保護公眾健康為出發點。並評估微生物（microbial）及化學物質（chemical）

等面向所帶來健康風險，設定各項水質標準，提供各國政府參考，並應考量當地環境、社會、經濟和文化條件，訂定因地制宜水質標準，並評估相關風險，提升飲用水安全性。

飲用水安全與民眾健康息息相關，台水公司服務足跡遍及離島、海涯、山巔及偏鄉，為確保用水安全，時時刻刻默默全力以赴為用戶層層把關，只為達成讓顧客對水質滿意的終極目標。

近年來，全球氣候異常，以往風調雨順的時代已逐漸走入歷史，自來水事業面臨水資源供應不穩、水質處理益加艱難、用戶對服務品質要求更甚以往等經營困境。因此，除循常性業務之推動外，參照國際水安全計畫精神，從水源、淨水、配水至用戶所有供水環節，強調落實綜合性風險評估與安全管理，進而傳遞全民建立水安全觀念，才能達成確保全時水安全具體目標。

貳、過往水安全事件帶來的省思

在 WHO 提出水安全計畫之前，台水公司早已針對水安全四大面向，優先檢討過往重大水安全事件並配搭研擬即時對策，以利未來賡續努力方向行之有據。以下特舉二件實例進行佐證說明。

一、艾利颱風造成北部大停水事件

93 年 8 月 23 日中颱艾利挾帶破千釐米豪雨襲台，造成石門水庫集水區坡地崩塌，原水濁度高達 12 萬 NTU 以上，自來水淨水場無法短時間有效處理，致使桃園地區大停水，缺水長達 18 天之久。

然此原水濁度飆高造成淨水處理設備超負荷情事，卻因此順勢催生「石門水庫及其集水區整治計畫」：細項包括研擬緊急供水工程計畫、集水區保育治理計畫、水庫更新改善計畫、穩定供水設施與幹管改善計畫（包括改善尖山中繼加壓站、石門淨水場增設 50 萬噸原水蓄水池、龍潭淨水場擴建、桃竹雙向供水及板新大漢溪水源南調桃園－含南北桃連通等多項子計畫），其中各項降低水安全風險計畫內容已完整涵蓋水源、淨水及配水等面向。

用戶端則另考量調配及緊急用水需求，於 106 年 12 月啟用中庄調整池，儲存 492 萬立方公尺備用水，足可供應 6.2 天備援飲用水，尤其當颱風期間石門水庫原水濁度升高時提供緊急備援水源，不致影響下游板新地區及桃園地區民生用水，目前已具體發揮功能。

二、瑞芳地區原水油污染事件

104 年 8 月 6 日強烈颱風蘇迪勒來襲，水利署員山子分洪管理中心備

用發電機進行試運轉，因無預警漏油流到排水溝再匯流至基隆河，污染台水公司員山淨水場原水致無法有效取水，全案至 8 月 11 日始恢復供水，停水近一星期，影響民生至巨。

本水安全事件對於用戶用水不便及遭受損失優先予以有感回應，台水公司因此辦理水費扣減及清洗用戶水塔等綜合損失慰問金支出，實發戶數 9,548 戶，金額約新台幣 5,000 餘萬元，事件經各界諒解與肯定平息民怨。

實務面則進行檢討現有設備：如更新快濾池濾床及濾砂、改善沉澱池增設傾斜板、管網排水及洗淨工程、改善及加大暖暖淨水場及貢寮淨水場支援瑞芳地區管線等積極作為，以有效發揮支援用水，降低用戶用水不便。

水源端導入決戰境外觀念，除在基隆河增設水面油膜監測儀提供即時預警，並擴大於全台五大河系（大漢、頭前、大甲、濁水及高屏溪）增設相關線上監測儀器，包括：pH 計、濁度計、原水生物養魚監測系統、總有機碳計、氨氮監測儀及碳氫監測儀等先進設備，提供全方位水源水質監測，期許以「他山之石，可以攻錯」的認知，將水安全風險降至最低。

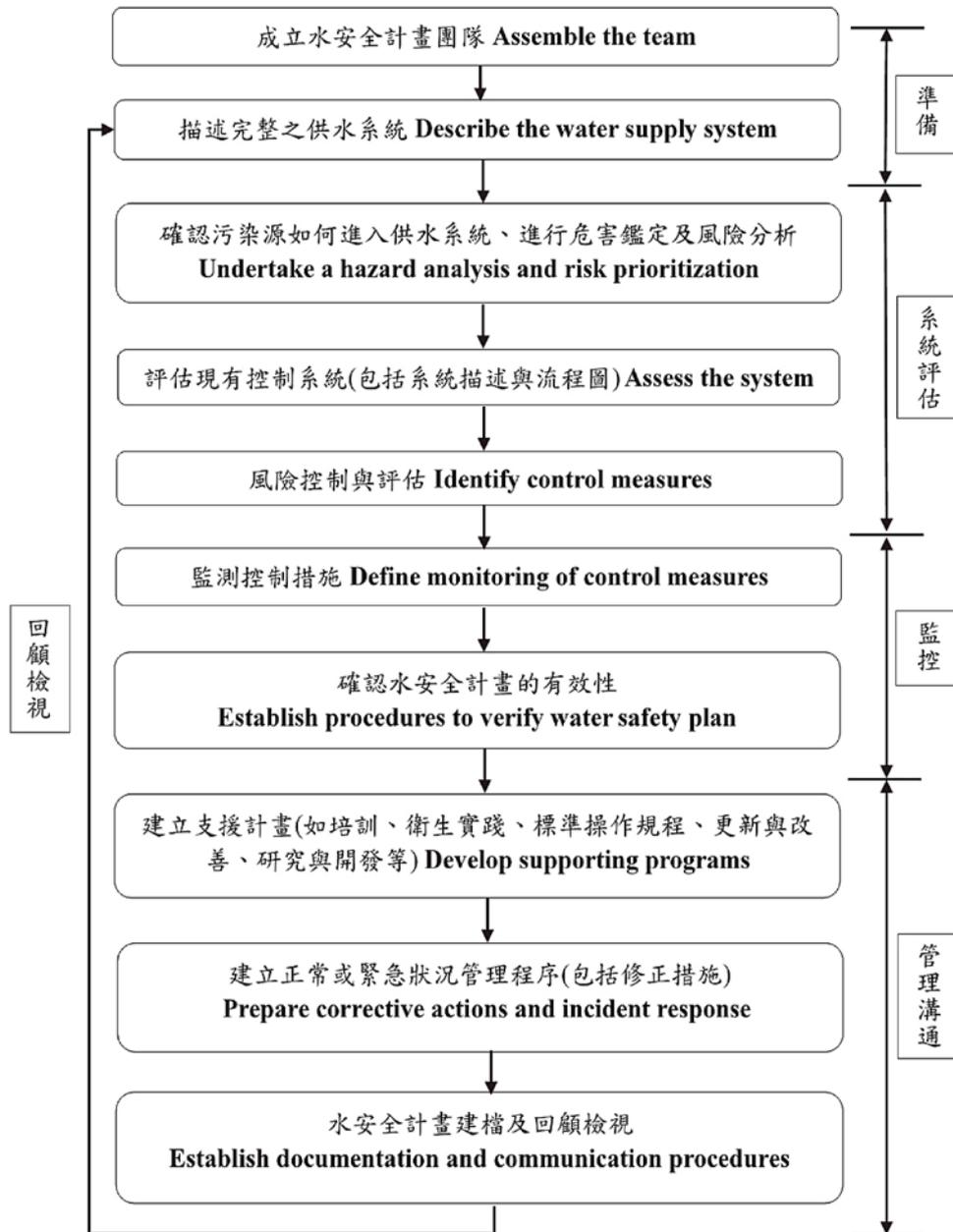
參、台水公司水安全計畫執行現況

為因應環境變動，創造「量足、質優、服務好」自來水價值，台水

公司植基「品質、創新、信賴、專業」經營理念，於 107 年 9 月參考世衛組織（World Health Organization, WHO）2004 年水安全計畫手冊、WHO 飲用水水質準則及國際自來水協會（International Water Association, IWA）波昂安全飲用水憲章，開始推動水安全計畫（Water Safety Plan, WSP），運用「水質預警系統（Alarm Data Transfer System, ADTS）」和「1910 客服系統」等資訊系統大數據，導入專家系統循序漸進、抽絲剝繭並持續檢討改善，以確保所有用戶全時段水質安全。

有鑑於管控水安全風險係無止境循環式品質管理流程（Plan-Do-Check-Act, PDCA），因此每年在總管理處召開檢討會議，由各區處處長報告其水安全計畫執行現況，以達經驗分享及未雨綢繆效應；另為完備各執行單位實務作為，每季由各區處處長召開評估會議，其內容應依循水安全計畫指引十步驟（詳如圖 1 和圖 2）進行評估、確效及檢討。

截至 109 年第三季為止，台水公司在各單位主管重視及全員參與配合下，已有 12 處淨水場啟動 WSP。其中以環保署試辦標的豐原淨水場為例，藉由運用 WSP 鎖定各水質風險，演繹該場目前水源端高濁及油污染議題、提升淨水端沉澱池及廢水刮泥設備效能，以控管鉛及濁度符合內控要求、



管網端運用監控設備，可即時應變無預警破管導致水濁水黃威脅、以及持續宣導用戶端用水設備定期維護保養（如清洗水塔），可長保飲用水新鮮又安全等具體改善措施。

綜整而言，台水公司執行 WSP 具有多項優勢，分述如下：

一、擷取行之多年水質預警系統（ADTS）和 1910 客服系統巨量數位數據協助計算風險值，相對以

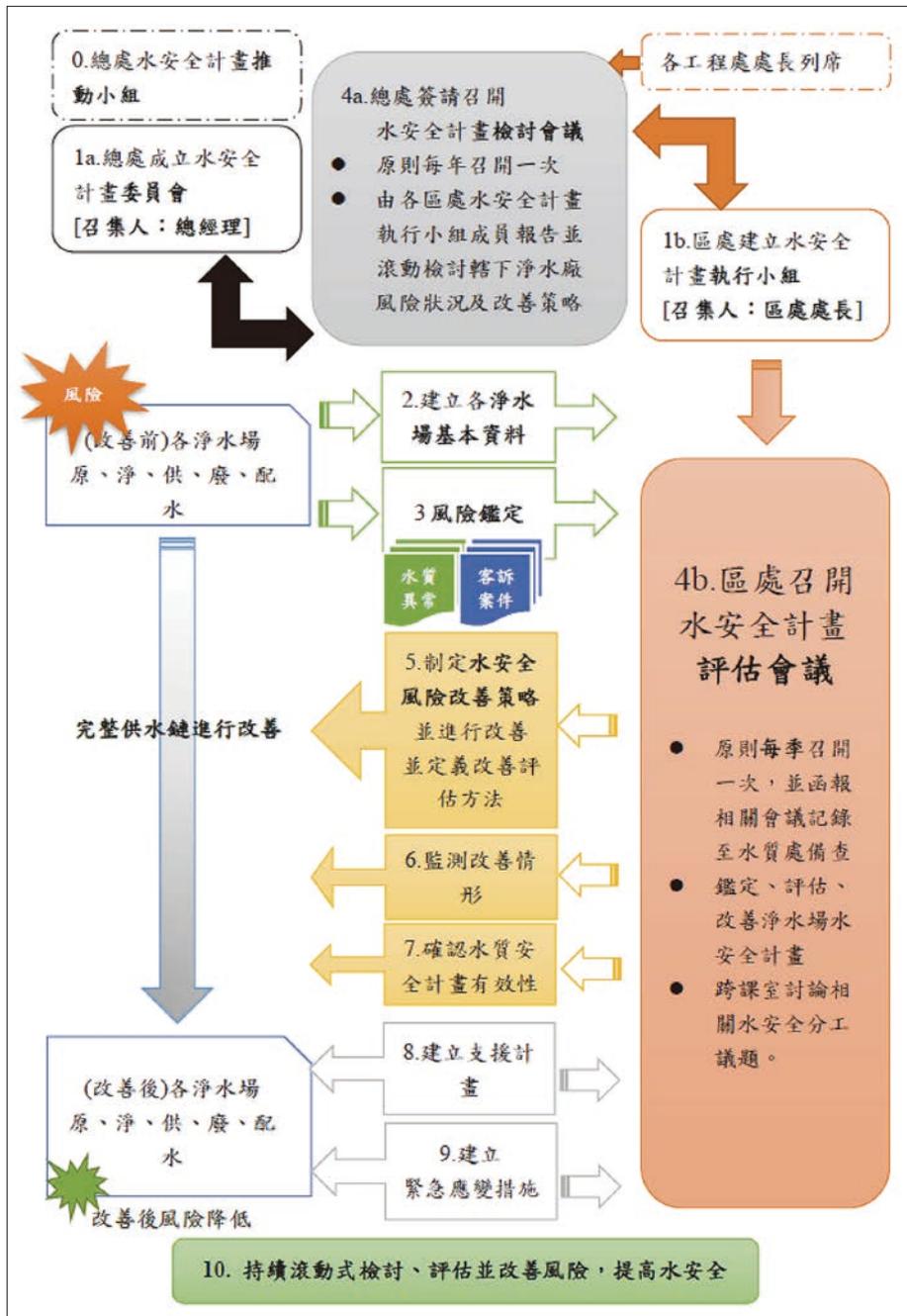


圖 2 台水公司水安全計畫推行流程圖 (2018)

手動計算水質檢測超內控數據，節省工時之效應令人驚豔。

二、運用半定量風險評估陣列 (Semi-Quantitative Scoring Matrix for

Ranking Risks)，將飲用水水源水質標準 10 項、飲用水水質標準 68 項及放流水標準 5 項等水質項目法規限值，依其影響人體健康

程度轉化為輕微到嚴重的數值計量，讓初次執行者可清楚區隔各項水質風險。

三、因應環境變遷，落實持續評估對各淨水場導入現代化淨水處理技術之可能性及必要性，以滿足用戶對用水的高品質要求。

肆、台水公司水安全計畫未來展望

台水公司為順應國際提升飲用水安全潮流，訂定「台灣自來水股份有限公司水安全計畫施行要點」，刻正持續推動重大水安全計畫包括以下六大部分。

一、取用優質原水暨多水源調配（水源端）

WHO 認為推動水安全計畫首重「源頭減污」，亦即環保署所訂「飲用水管理條例」第二章水源管理第 5 條在飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之地區，不得有污染水源水質之行為。前項污染水源水質之禁止行為至少包括防止傾倒、施放或棄置垃圾、灰渣、土石、污泥、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍骸或其他足以污染水源水質之物品。因此台水公司訂有「水源巡查作業須知」、「河川、湖泊及水庫水質採樣通則及安全作業須知」及「飲用水水源水質或淨水處理改善計畫審核準則」等內規予以呼應，以確保取用原水均符合

「飲用水水源水質標準」。同時為穩定取水及避免旱澇不均，全台各供水區域均已朝向多水源調配供應原則進行規劃，以雲林地區增設湖山水庫為例，除已達減抽地下水防制地層下陷目標，亦有效補足濁水溪因降雨產生高濁難處理的原水缺口，充份達到取用優質原水並運用多水源調配穩定供水目標。

二、淨水場現代化（淨水端）

台水公司各型淨水場共有 452 處，為改善部分淨水場因興建年代久遠設備過於老舊，考量其重要性、效益性，依三項原則（一）淨水場設備老舊需辦理改善（含整體環境評估、淨水設備或操作室老舊等）；（二）淨水處理設備無法因應水質內控標準（評估是否需加入薄膜處理）；（三）供水系統配水率偏高者（分都會區及非都會區），分年編列預算並參考國外先進淨水場設備，積極推動辦理老舊淨水廠更新、改善，以確效各淨水單元設計功能如質發揮，除清水可達「飲用水水質標準」外，更需符合台水公司內控標準（80% 法規值），甚至朝環保署內訂臨標（70% 法規值）方向努力。

三、持續降低漏水率（配水端）

遵照行政院政策指示：120 年漏水率降至 10% 及南部地區（嘉義、台南及高雄）111 年平均漏水率降至 10% 之

目標，台水公司加強推動辦理「降低漏水率計畫（102至111年）」，10年內投入新台幣約795.96億元改善漏水率；並將於該計畫執行完成後，依其執行成效及經驗，預計於下一階段持續編列每年預算約新台幣70億元經費辦理管線汰換工程、加強檢修漏及維護分區計量管網等降漏相關工作，並持續培育檢漏人員，以有效傳承得來不易的優良實務技術，確保管網水質安全。

四、建置備援管線（配水端）

另項配水端重點為加強區域供水調配，台水公司研提「備援幹管複線工程計畫」，預計110～114年期間辦理17條備援管線工程，依區域別分布於北部區域5件、中部區域5件及南部區域7件，工程總金額約新台幣145億元，埋設管徑包括600 mm～2,600 mm，長度共計約81公里，工法涵蓋明挖、推進及水管橋，完工後預期可有效降低因突發破管造成的水質污染風險、增加區域供水調配彈性，維持穩定供水量達261萬CMD，確保自來水量足質優。

五、提高供水普及率（用戶端）

台水公司肩負政府政策，滿足全民基本民生用水需求，為確保未接水家庭飲用水安全，改善其用水環境，配合經濟部水利署辦理「無自來水地區供水改善計畫第三期」延管工程，106年至110年合計編列預算約新台幣70.49億元（含公司自籌6.5億元），

預計受益戶數可達42,000戶。該等延管工程延伸至偏遠地區，用戶分散而稀少，管網建設成本相對較高，對經營事業雖不具經濟效益，台水公司仍善盡企業社會責任，積極辦理及負責後續維運；同時加強宣導偏鄉家戶接用自來水，讓安全、優質且符合環保法規要求的飲用水可以全民共享。

六、提升全方位服務品質（用戶端）

強化用戶服務效能是台水公司積極努力的目標，藉由民眾陳情案件、1910客服案件、顧客滿意度調查、負面新聞及現場第一線同仁之反饋意見，依發生頻率、影響層面及社會關注等要素，釐清服務過程所產生的缺口，並以「聚焦高度關切項目」、「強化服務遞送機制」為核心策略，提供「到位、有感、有效」之自來水服務，拉近用戶與台水公司的距離，創造全方位的服務價值。

伍、結論

今（2020）年初以來，新冠肺炎疫情重創全球，百業蕭條、經濟停滯，台水公司配合政府政策，共體時艱，仍持續推動水安全計畫。台水公司身為經濟部國營事業的一員，當與所有利害關係人建構以誠信及信賴為基礎的關係，未來仍需協同合作才能發揮最大效益。故攸關水安全計畫各面向之水源、淨水、配水及用戶等設施之

國內相關業務權責單位，涉水利署、環保署、農委會農田水利署及地方政府等事務，仍需上級及各級單位提供協調及參與溝通平台，以全方位政府思維互相提攜共同前進。

整體而言，台水公司在研提 2020 年永續報告書，具體向社會大眾報告台水公司在社會、經濟和環境議題上的承諾及努力成果。在引入水安全計畫部分，預期推行的成果將相當豐碩。台水公司當持續克盡厥責，遵循政府政策，全力推動前揭六大主軸工作，為自來水志業永續發展發光、發熱，冀期不負政府之付託、社會之期許及對用戶確保全時水安全之承諾。

參考文獻

- [1] World Health Organization, International Standards for Drinking Water, Geneva (1958).
- [2] World Health Organization, Guideline for Drinking Water Quality, Geneva (1984).
- [3] World Health Organization, Guideline for drinking water quality, 3rd edition, Geneva (2004).
- [4] World Health Organization, Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers, Geneva (2009).
- [5] Queensland Government, Preparing a Drinking Water Quality Management Plan Supporting Information, Queensland (2010).
- [6] 何承嶧、駱尚廉，「水質安全計畫之導入評估」，自來水會刊，第 34 卷，第 3 期，第 57-70 頁（2015）。
- [7] 何承嶧、駱尚廉，「水安全計畫之實務－以德國為例」，自來水會刊，第 35 卷，第 3 期，第 65-73 頁（2016）。
- [8] 行政院環保署，「飲用水管理條例」，台北（2006）。
- [9] 台灣自來水股份有限公司，「台灣自來水股份有限公司水安全計畫推動要點」，台中（2018）。
- [10] 台灣自來水股份有限公司，「台灣自來水股份有限公司水安全計畫施行要點」，台中（2019）。
- [11] 駱尚廉、王根樹、郭子寧、張湘翎、鄭蓓馨，「國內自來水水質安全計畫之推動規劃」，中華民國自來水協會 101 年度專題研究案計畫，台北（2013）。
- [12] 何承嶧、游育晟、陳威豪、陳乃菁、劉彥均、王冠中、楊昭端，「台水公司水安全計畫－以坪頂淨水場為例」，自來水會刊，第 38 卷，第 2 期，第 17-30 頁（2019）。
- [13] 游育晟、何承嶧、吳振榮，「水安全計畫的核心價值－持續確認有效性」，自來水會刊，第 39 卷，第 3 期，第 53-62 頁（2020）。

濁度顆粒對混凝程序之影響

陳文祥

台灣自來水公司供水處 副處長

一、前言

對國內淨水場而言，化學混凝一直是主要淨水處理單元之一，藉由快混及慢混程序去穩定及聚集顆粒，其操作效能關係著處理水質之優劣。快混強度會影響混凝劑在水中之分散性及顆粒之去穩定程度，大多數的淨水場均根據操作人員多年的經驗，或是藉由不定期的杯瓶試驗（Jar test）來決定混凝劑的加藥量，但因國內各淨水場之快混型式不一，且原水水質及水量變動大，操作人員無法僅利用杯瓶試驗測試不同原水參數下之最適之快混強度，且杯瓶試驗亦無法即時監控快混成效，因此常造成淨水場混凝劑加藥量不易準確掌控的現象發生，進而影響後續沉澱及快濾之效率。

混凝成效會影響沉澱池上澄液濁度與快濾池之濾程、砂濾反沖洗之時間及過濾水量。若快混程序中混凝劑分散不均，則懸浮顆粒與混凝劑無法充分接觸，顆粒之去穩定效果不佳，當處理水流經沉澱池時，上澄液濁度即偏高，沉澱效率亦不佳。流經快濾池時，濁度較高之上澄液會增加過濾

負荷，縮短濾程及反沖洗時間，出水水量亦隨著降低。

因此，快混單元需有適當之混合或攪拌，使混凝劑均勻分佈於水中，混合的均勻程度依水中之攪拌強度與時間而定，當水離開快混池時，方能順利形成微細膠羽，快混攪拌良好所形成之膠羽，沉降速度快，且上澄液之殘餘濁度少，有利後續單元之處理。

淨水場混凝單元為去除水中顆粒最常使用之方法，亦為沉澱及過濾必要之前處理單元，混凝去除之對象主要是引起水中濁度及色度之膠體及懸浮性固體，包含有機物及無機顆粒，其它如水中之溶解性不純物（如砷、氟、汞、硝酸鹽及磷酸鹽等）亦可經由混凝程序去除之。混凝程序主要藉由快混階段分散混凝劑至顆粒（含有機物）表面使顆粒去穩定後，再由膠凝單元使去穩定顆粒相互碰撞並聚集成膠羽，以利後續沉澱及過濾單元的操作。為短時間內分離水中膠體和形成快速沉澱之膠羽，必須了解快混單元膠羽表面之電化學特性及物理特性（如膠羽尺寸），由此監控顆粒去穩定效率。

二、濁度顆粒特性

水中濁度主要是由於水體中含有懸浮性固體物之膠體物質或其它不純物質所造成的，又因河川地質與地形的關係，導致不同區域之河川水體中包含不同特性的濁度顆粒。水中難以沉降之懸浮固體物之顆粒大小介於 10^{-4} m 至 10^{-10} m 之間，其中膠體 (colloid) 顆粒佔懸浮固體物比例最多，為水中濁度的主要來源。膠體顆粒之大小約介於 10^{-6} m 至 10^{-9} m 之間，此類顆粒在水體中狀態穩定且懸浮性良好，以高嶺土為例，由於膠體顆粒表面會因有機物的存在而帶負電荷，使得懸浮液呈一穩定狀態，顆粒與顆粒間因排斥力不易聚集，無法形成大顆粒藉重力作用沉降，而造成水呈現混濁。

淨水場常遭遇到之濁度水可分為高濁度水與低濁度水，當遭遇颱風暴雨時期，因夾帶著大量雨水，強烈沖刷河床，造成河川水體含大量濁度顆粒，使得水中濁度暴增，因水中濁度顆粒濃度高，故此時的水體又可稱之為高濁度水，此類水體中濁度顆粒間的排斥力強，導致顆粒不易藉由重力沉降。研究指出高濁度水之處理問題主要為污泥沉降性差，且國內北部及南部之高濁度水特性差異大，北部之高濁度水顆粒粒徑小且比重低，不易沉降；南部之高濁度水顆粒粒徑大且比重高，沉降性較佳。另外，國內北

部及南部天然高濁度水之 pH 值約為 8，屬中性偏鹼性水，水中溶解性有機物 (DOC) 含量差異不大。然而，若水體中之濁度顆粒主要來自於水庫水或地下水，因其所含的濁度顆粒濃度低，故此時的水體又可稱之為低濁度水，此類水體中濁度顆粒粒徑與比重均較小，故水中顆粒大多屬於懸浮態的小顆粒且顆粒間的排斥力並不強，但因水中濁度顆粒濃度低，顆粒間碰撞聚集的機會少，導致顆粒不易聚集成大顆粒再藉由重力沉降。

上述這些濁度顆粒其在水中之穩定性好，有些濁度顆粒即使經過初沉池的處理程序，仍然無法有效去除，因此，水中之濁度顆粒需利用化學混凝沉澱單元加以去除，而混凝效果為影響無機濁度顆粒去除之主要因素。

三、混凝機制

一般而言，混凝去除膠體顆粒之機制主要可分為四種，第一為電雙層壓縮：加入混凝劑後，增加水中反離子濃度，會使膠體擴散層壓縮，界達電位降低，因此降低顆粒間之排斥力，使顆粒愈容易碰撞；第二為吸附及電性中和：混凝劑水解後會產生帶正電荷之高分子物質或高聚合離子，這些物質吸附負電荷之膠體粒子，即產生電性中和之作用形成膠羽；第三為沉澱絆除：過量加入鐵鹽或鋁鹽時，會形成大量之金屬氫氧

化物，這些氫氧化物會以網捕及捲帶細小膠粒而形成膠羽；第四種則為架橋作用：高分子物質可在膠體與膠體間引起架橋連接作用，形成膠體－高分子－膠體的膠羽。

由上述可知，化學混凝沉澱為移除水中無機濁度顆粒及有機物質不可或缺的程序，但混凝程序對天然有機物的去除效率較濁度去除率低，其原因為有機物與混凝劑的反應過程相當複雜，有機物特性、混凝劑種類及快混操作均會影響有機物混凝的效率。因此，如何找尋不同原水水質之最適混凝操作條件為提昇濁度及有機物去除之關鍵。

四、膠體顆粒特性對混沉效能之影響

由於水中有機物會吸附於膠體表面，使得水中之膠體顆粒帶負電荷，因此，濁度愈高，需添加愈多混凝劑去穩定水中膠體顆粒，因此原水水質對混凝之影響最大，濁度的不同會影響帶相異電荷物質吸附及離子交換的能力。粒徑部分，顆粒直徑在 $1\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 間最易形成理想膠羽，比重大沉降快，若顆粒組成大小分佈均一會造成混凝效果不佳。而膠體濃度亦為影響混凝機制的因素之一，如 pH 值約 4 ~ 5 的範圍時，當膠體濃度低於一濃度時，其膠體去穩定之機制由沉澱之形成所控制；

膠體濃度於一適中之範圍時，膠體去穩定機制由吸附及電性中和或逆轉控制；膠體濃度高於一濃度時，由電雙層壓縮機制控制。

混凝程序中，有機物之存在與混凝程序之效果息息相關。若水中含有天然有機物如腐植質，有機物會吸附在無機顆粒上，藉由電性中和、錯合或沉澱等方式與混凝劑相互作用，增加混凝劑之消耗，並影響混凝速率及有機碳之去除。

五、快混參數對膠體顆粒去除之影響

(一) 攪拌強度

快混強度通常以速度坡降 (velocity gradient) G 值表示，G 值與快混混合的能量、液體的黏滯度與混合槽體之體積有關。過去已有許多研究深入探討快混階段之攪拌參數對於顆粒聚集動力及混凝效能之影響。學者曾利用微粒粒徑分析儀分析 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 的微粒於慢混程序中，在不同攪拌強度下粒徑分佈隨時間變化，發現在水中微粒體積分率不變的條件下，較廣粒徑分佈微粒群的聚集速度大於單一粒徑分佈的微粒群聚集速度。因此，混凝過程中顆粒聚集能力會隨顆粒粒徑不同而改變，主要是快混的條件改變了顆粒的碰撞機率，造成顆粒聚集的程度不同。另外，藉由類似管中快混的高速混凝反

應器，不但可提升濁度及有機物之去除率，且移除較多的親水性有機物，最適的混凝劑劑量亦少於瓶杯試驗所得的最適劑量。近年來，學者以高解析顆粒計數儀（high resolution particle counter）進行 PACl 混凝低濁水顆粒聚集行為研究，研究結果顯示攪拌強度為最重要參數，當攪拌強度 1000 s^{-1} 時，粒徑約 $1 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$ 之顆粒聚集效率最佳。綜合上述可知，淨水場混凝操作之快混控制參數相當重要，尤其處理低濁水時快混攪拌強度最為重要。

不同混凝機制下，攪拌強度對混凝之影響亦不同，若以 PACl 或鋁鹽為混凝劑，研究發現，混凝機制為吸附及電性中和時，快混攪拌強度對混凝作用存在明顯之影響，在較高的攪拌強度下，可以獲得較佳的混凝效果，因攪拌强度高則碰撞效率高，高的碰撞效率會形成聚集體與聚集體的聚集型態（cluster-cluster aggregation），此時形成之膠羽密度較鬆散，但其膠羽尺寸較大，且上澄液濁度較低，混凝效果較好，但過快之攪拌會使膠羽聚集後再破碎，上澄液顆粒數亦因此增加，因此最適之攪拌強度仍需測試方能得知；若快混強度不足，此時較低的碰撞效率會導致局部過量加藥或加藥不足之情形，使大部份之膠羽型態為顆粒與聚集體的聚集型態（cluster-particle aggregation），此時膠羽顆粒較小，沉降速度較快，膠羽密度高，

但因膠羽局部加藥過量或不足，導致上澄液濁度較高，混凝效果不佳；若混凝機制主要為沉澱網除，快混攪拌強度對混凝作用則無明顯的影響。有機物去除方面，一般而言，當轉速愈大，混凝劑分散於顆粒表面愈均勻，對於有機物之去除效率愈佳。但過快的攪拌速度則會使聚集之顆粒再度破裂而分離，因而影響有機物之去除效果，雖然水力條件會影響到顆粒間的碰撞頻率進而關係到顆粒之去除效率，但僅針對有機物混凝而言，快混強大小對有機物去穩定效果影響較不明顯，因為有機物去穩定聚集形成足以沉降的膠羽所需的反應時間較鋁物種與有機物反應還要慢很多，因此，只要快混強度足夠使鋁物種與有機物均勻混合，對有機物去穩定的影響其實不大，但還是會影響到膠羽的聚集與破碎。

（二）攪拌時間

由於實驗條件（混凝劑種類、混凝劑濃度、加藥方式、攪拌強度、攪拌槽結構）不同，最佳快混時間範圍從 20 秒至數分鐘不等，其時間較水解時間長。先前之研究指出當混凝之機制為電性中和時，攪拌時間長產生之膠羽與攪拌時間短形成的膠羽尺寸相差不大，殘餘濁度影響亦不大；但若混凝機制為沉澱網除，快混攪拌時間過長時，膠羽經破碎再聚集所形成之

膠羽較小，致使上澄液濁度較高，混凝效果下降。因此，攪拌時間長短會影響沉澱及過濾單元濁度去除效果。

由上述可知，最適當之快混攪拌參數會受原水水質特性、混凝劑種類及加藥劑量等因素影響，導致最適快混強度與快混時間範圍差異大，若以電性中和為主要之混凝機制，其最適快混強度較大，因有效鋁水解物種形成的速度快，必須快速地使其均勻分散至濁度顆粒表面進行去穩作用，故需藉由提高快混強度來達到此目的，相較於以沉澱掃除為主要之混凝機制，因主要藉由 $Al(OH)_3$ 膠體對濁度顆粒進行網除沉澱，故快混強度不需太高，但相對於最適快混時間可能較長。另外，若針對使用高分子聚合物（polymer）進行混凝時，具低電荷密度高分子量之陰離子 polymer 會使顆粒聚集速率較快，具高電荷密度低分子量之陽離子 polymer 對顆粒之聚集速率較慢，這也會影響快混攪拌時間之決定，以及膠羽之結構。

六、快混操作型式

國內淨水場混凝單元加藥之快混型式主要可分為二種，分別是機械攪拌混合及水躍式混合。

（一）機械攪拌混合

機械攪拌由於混合效率高及操

作彈性大，因此成為水場最常使用之快混方式，一般機械攪拌設備依構造及葉片型式可分三種，螺旋槳驅動輪（propellers）、渦輪槳翼（turbine impellers）以及翼片槳翼（paddle impellers）。螺旋槳翼通常為2~3片，其與另外兩種葉片之差異在於其翼片些微傾斜，因此轉動時會產生軸向螺旋水流，其轉速範圍約在400 rpm~1750 rpm，較渦輪及翼片槳翼來得快。渦輪槳翼（impellers）之直徑通常為30%~50%快混池直徑或寬度，渦流槳翼之轉速約為10 rpm~150 rpm；翼片槳翼通常有2~4個翼片，槳翼直徑通常為50%~80%池直徑或寬度，其轉速為20 rpm~150 rpm。一般淨水場通常以翼片槳翼為主，因槳翼的投影面積大，能產生較大的紊流及混合效率。

（二）水躍式混合

水躍式混合是明渠式混合之一，乃利用入流流速及重力之特性，水流會與結構物激烈碰撞，越過堰體產生跌水流況，導致槽體內部成為極度混亂之紊流流場（如渦流），藉此均勻槽體內混凝劑之分佈。一般淨水場水躍池由進水室、水躍區及出水室三部分組成，如下圖所示，進出水室是用以導引水流且進出水室有一水位落差，其間以和緩曲面連接，此區域即為水躍區，水躍區才是真正混合的地方，

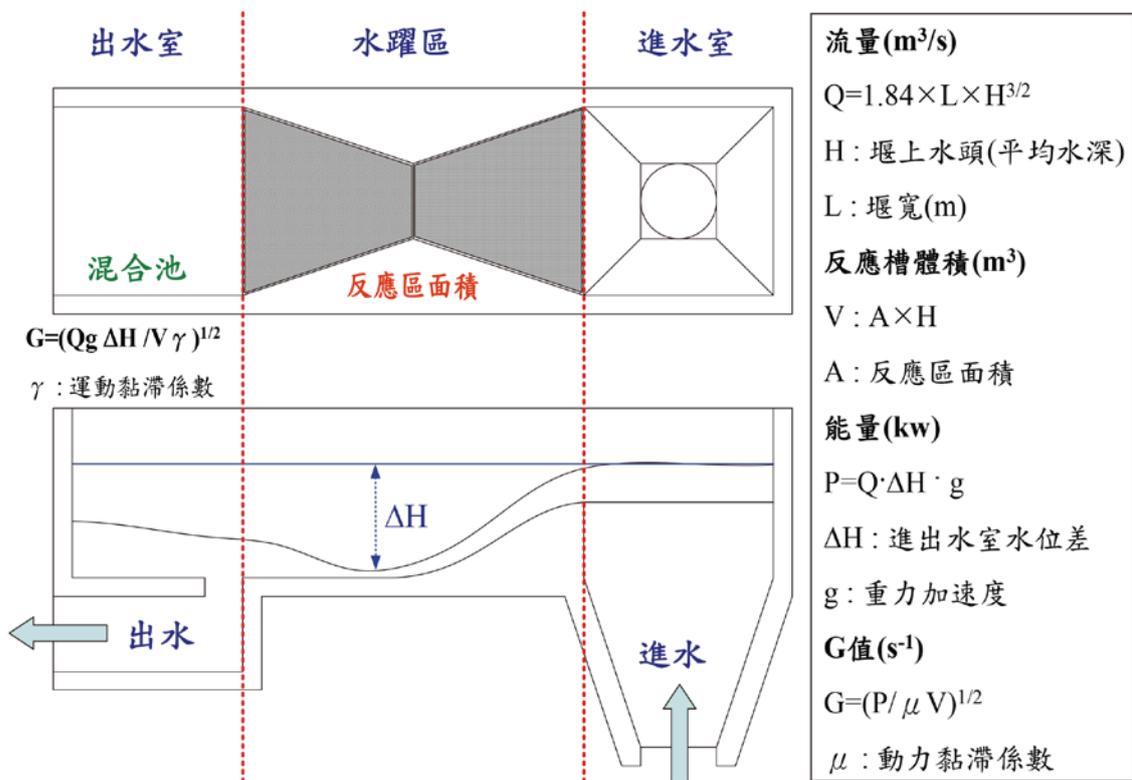
混合區域面積由兩個梯形組成，其喉部寬參照巴歇爾水槽。計算水躍池之 Gt 值時，反應槽體積可假設為水躍區面積乘上堰上水頭（平均水深），此外，在出水室也有混合效應。因此，水流流速越快及跌水落差越大，在水躍式混合池內之攪拌及擾動狀況就越好，一般淨水場水躍池之混合狀況大多由水流流速控制，故水力停留時間對水躍式混合池快混效能影響甚明顯。

在不同快混型式下以相同的快混強度進行混凝，其混沉及過濾效能亦不盡相同，因為各型式快混反應設備對水中顆粒之攪拌碰撞的效率及顆粒

與混凝劑混合的均勻程度不同，導致快混效能產生差異。

七、快混操作對沉澱及過濾單元之影響

快混程序對後續處理單元（沉澱及過濾單元）影響之研究很多，綜合其影響因素包括混凝劑種類、混凝劑劑量、原水水質、水中有機物及氧化物、攪拌器之形式、加藥點之位置、攪拌強度和攪拌時間。其中混凝劑種類及快混強度對沉澱過濾之影響最大，兩者對沉澱及過濾效率之影響詳述如下：



水躍式快混槽俯視圖及剖面圖

(一) 混凝劑種類

混凝劑種類會影響沉澱速率以及過濾時間，研究發現影響過濾性主要之因素並非為殘餘濁度而是水中殘餘混凝劑之濃度，其中鋁鹽混凝劑造成過濾性變差之程度較鐵鹽嚴重。

若使用硫酸鋁處理低濁水時，添加混凝劑後，過濾時間皆較原水直接過濾來得長。當顆粒表面達電性中和時，此時濁度去除效果最好，過濾性亦最佳。但若持續添加混凝劑，顆粒表面電性會由負轉正，導致顆粒呈再穩定現象，濁度顆粒無法有效沉澱去除，且過濾性也變差。

若使用 PACl 為混凝劑時，當顆粒表面達電性中和時，亦有最佳之濁度去除率及過濾性，持續增加混凝劑量時，上澄液之殘餘濁度及顆粒之表面電性仍然相當穩定，此與硫酸鋁為混凝劑時不同，但過濾性則與硫酸鋁相同，隨混凝劑量增加而變差，原因為上澄液殘留大量 $Al(OH)_3$ 之殘留微粒導致過濾性變差。

混凝劑為聚矽酸鐵 (polysilicic acid iron, PSI) 時，混凝劑愈多時，顆粒電荷會逆轉，殘餘濁度亦上升，但其過濾性沒有隨著混凝劑的增加而變差，原因為聚矽酸鐵之分子量較高 (500 KDa)，因此有較強的架橋能力，能形成較大之膠羽，混凝機制與硫酸鋁及 PACl 不同，因此出現與前兩者不同之混凝行為。

(二) 攪拌強度

除混凝劑種類外，攪拌強度亦會影響膠羽之沉澱時間及上澄液過濾速率。鋁鹽混凝劑之混凝機制為電性中和時，攪拌強度會影響膠羽之沉澱速度，足夠之攪拌強度雖會使形成之細微膠羽孔徑較小，膠羽密度較鬆散，使膠羽沉澱速度較慢，但若使用 PDA 監測則發現 Ratio 值較大，且上澄液濁度較低，若沉澱時間足夠，則過濾單元之負荷較低，產生之出流水質亦較佳。而當攪拌強度不足時，會使得許多顆粒無法達去穩定之作用，而使上澄液濁度較大，增加後續過濾單元處理之負擔。

另一方面，膠羽的形狀、大小、表面電性及破碎後再聚集的能力都可能影響到後續固液分離單元之效能，太多小膠羽會降低沉降的速度，及增加過濾單元的損失水頭，因而縮短濾程。一般水廠的快混強度下，即使操作已最佳化，但仍無法使 STI 降至理想的範圍內，於是增加快混強度，證實將有效降低沉澱池上澄液殘餘濁度、STI 值及殘餘鋁量，也因此降低了過濾單元的水頭損失，但若超出最適快混強度，殘餘濁度將隨之上升。超出最適的快混時間，主要以沉澱掃除機制混凝其殘餘濁度會隨之上升，若以電性中和機制混凝其殘餘濁度維持不變或更低。推測原因，以沉澱掃除機制所形成之膠羽，破碎膠羽再聚集的能力較以電性中和機制形成之膠羽差。

八、實場快混作業初探

藉由國內外淨水場快混強度對沉澱及過濾效率影響之文獻與相關資料的收集，了解影響不同快混型式對沉澱及過濾效率之操作參數。隨後，挑選國內北、中、南共五座以表面水為水源之代表性淨水場後，採取五座具不同濁度範圍（含低、中、高濁度）之淨水場原水，以進行實驗室混凝試驗評估，藉由顆粒界達電位及膠羽尺寸之量測，探討快混強度（G 值）對快混後顆粒特性之影響，並分析混沉後之上澄液特性，包括殘餘濁度、溶解性有機物（DOC）以及過濾性，以了解快混強度對顆粒及有機物去穩定程度之影響與快混強度對後續沉澱及過濾效率之影響，進而建立不同快混強度之最適混凝劑加藥模式。

另一方面，從北部、中部及南部挑選三座不同快混型式之代表性淨水場，於現場進行不同快混強度之混凝試驗，以可即時觀察膠羽生長之光纖膠羽偵測儀（PDA）於快混設備即時連續偵測膠羽成長大小，同時以高速混凝設備與實場之快混單元進行平行試驗，藉由後續沉澱效能及過濾性之分析，比較兩者快混效能對沉澱過濾之影響，以評估淨水場快混強度對現場沉澱及過濾單元操作成效之影響。

另根據實驗室研究結果顯示，在特性快混強度範圍（ $G = 150 \text{ s}^{-1} \sim 1000 \text{ s}^{-1}$ ）與快混時間（ $t = 6 \sim 75 \text{ sec}$ ）條件

下，G 值對混沉及過濾效能之影響程度會受混凝劑加藥量不同而改變，原水超量加藥混凝受 G 值改變而影響混沉及過濾效能之程度較最適加藥混凝較明顯。在濁度去除方面，在最適及超量加藥下，當原水快混時間較長時，增加 G 值會降低濁度去除效果，但若快混時間縮短，增加 G 值可有效的提升濁度去除率。此外，在 DOC 去除方面，在最適及超量加藥下，增加 G 值均能達到一最適的 DOC 去除，對 DOC 去除之最適 G 值範圍較去除濁度大。同樣的，各淨水場快混 G 值增加可減少混沉上澄液之殘餘總 Al 量，且殘餘總鋁量與殘餘濁度密切相關。在沉降性及過濾性評估上，G 值對混凝膠羽之沉降性影響無一定趨勢，膠羽之沉降性受原水水質及混凝劑加藥條件影響較大；此外，混沉上澄液殘餘濁度越高會導致過濾性越差，故快混時間較短時，混沉上澄液殘餘濁度會隨 G 值增加而降低，導致上澄液過濾性亦會隨 G 值增加而提升，此結果尤其在低濁原水下最為明顯。在膠羽特性分析上，膠羽強度與膠羽大小受快混 G 值影響之主要因素為混凝機制及顆粒聚集機制，當增加 G 值均會使膠羽強度增強，且高強度之膠羽破碎後之膠羽再生長能力較強。綜合研究結果，在最適量加藥下，對於提升混沉去除原水濁度及上澄液過濾性之最適 Gt 值範圍為 $4 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$ 。

九、結語

淨水場操作效能攸關公共給水的品質，而淨水單元操作效能的提升為各淨水場之共同目標，但大部份水場之快混強度皆固定，無因應水質變化之操作控制資料，常使混凝劑效能不佳，甚而過量加藥增加操作成本，且各淨水場混凝單元加藥之快混型式不一（如管中混合、水躍式混合或機械攪拌混合等），各種快混型式之快混強度亦不同，對原水顆粒去穩定之程度影響甚巨。

快混強度（mixing intensity）影響水中顆粒之碰撞及去穩定，不足的快混強度會導致混凝劑分散不均，造成部分顆粒仍舊穩定懸浮於水中，因此增加出水濁度，使快混單元效能低落。加上水源開發不易與原水水質污染日趨嚴重且飲用水法規標準將更嚴格下，自來水事業單位極需有效提升自來水生產操作效能以及降低營運成本負擔，並為維持民生公共給水的穩定，有必要提昇國內淨水場快混單元之操作控制及應變能力，以因應多變之原水水質。

澎湖成功淨水場供水面臨挑戰及展望

游育晟

台灣自來水股份有限公司水質處 工程師

林正隆

台灣自來水股份有限公司水質處 組長

洪世政

台灣自來水股份有限公司水質處 處長

一、澎湖地區水源水質現況

澎湖地區降雨季節分布不均且經常久旱少雨，天然水資源缺乏，主要以梅雨和颱風為主要降雨來源，依據中央氣象局統計資料，年平均降雨量約為 902 毫米，而年平均蒸發量則高達 1,650 毫米，由各月份降雨量分佈變化可知，如圖 1 所示，澎湖枯水期大約自 8 月底西南季風轉為東北季風起，直至翌年 3 月底進入豐水期，若梅雨和颱風期間水庫進水量不足，則容易發生乾旱缺水情形。另依據 100 年以後年度累積雨量資料，如圖 2 所示，除 104 年及 105 年因颱風影響累積較多雨量外，其餘年度大致與平均年雨量相同，惟相較臺灣本島地區而言，澎湖地區雨量相當缺乏，且因為當地地下水源早已逐漸鹽化，因此澎湖公共給水必須仰賴地面水及淡化水合併使用。

其中淡化水部分，可分為鹽井淡化廠及海水淡化廠，主要利用逆滲透

(Reverse Osmosis, RO) 薄膜程序，去除鹽化井水及海水中溶解性鹽類及有機物，惟因出水之鈣、鎂離子、鹼度及 pH 值偏低，增加水質腐蝕性，對於配水管網管線內面造成不同程度的腐蝕影響，進而衍生出如鉛、鎘、銅、鋅、鐵等重金屬溶出、延性鑄鐵管水泥砂漿內襯剝落、積砂、濁度、紅水及異味等腐蝕副產物 (corrosion byproducts) 問題，影響供水品質及增加飲用水污染風險。

另以地面水而言，澎湖地區地形平坦，雨水不能有效留存於地表，僅能於低窪地區或興建人工水庫方式蓄水，主要水庫包括東衛水庫、興仁水庫、成功水庫、赤崁地下水庫、小池水庫、西安水庫、烏溝蓄水塘與七美水庫等，有效蓄水容量合計約 378.8 萬立方公尺，水庫相關地理位置及資料如圖 3 及表 1 所示。然而水庫蒸發量大，當水量減少時，往往長滿植被，水庫在蓄水浸泡後，集水區範圍內土壤及泥沼中溶

出與浮游生物及細菌釋出之天然有機物 (Natural Organic Matter, NOM) 如腐植質等濃度亦隨之增加。天然有機物依其溶解狀態可分為溶解性有機物 (Dissolved Organic Matter, DOM)、膠體有機物 (Colloidal Organic Matter, COM) 及粒狀有機物 (Particulate Organic Matter, POM)，其中溶解性有機物粒徑小於 0.22 μm ；膠體有機物粒徑介於 0.22 μm 至 1 μm ；粒狀有機物粒徑大於 1 μm 。因在水體中存在之有機物種類複雜，在分析及鑑定上有

其困難，故水中有機物常以總有機碳 (Total Organic Carbon, TOC) 濃度表示，當枯水期水庫水中天然有機物含量愈高，則總有機碳濃度愈高。

水體中天然有機物 (黃酸及腐植酸等) 不但會引起色度，再加上水庫周遭附近非點源污染及居民日常生活與農牧業養殖施肥所產生之各種未截流接管廢污水亦直接沿溝渠流入水庫集水區內，造成水庫水中總有機碳、化學需氧量濃度、總磷等濃度偏高，水庫優養化，致水中藻類滋生，加上

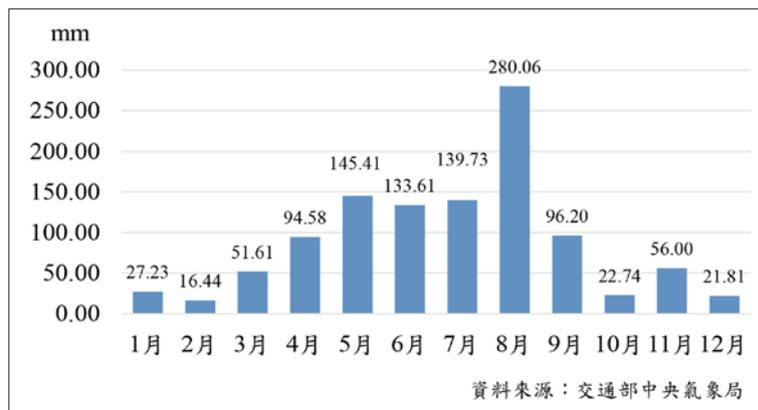


圖 1 澎湖地區月平均雨量分佈

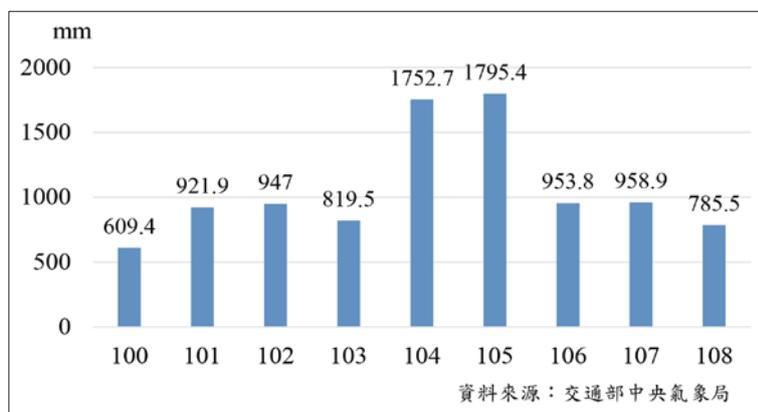


圖 2 澎湖地區年度累積雨量



圖 3 澎湖地區主要水庫位置圖

表 1 澎湖地區主要水庫一覽表

| 水庫名稱 | 建立年代 | 107 年取水量 (立方公尺) | 地點 | 所屬供水系統 |
|--------|------|--------------------|-----------------|--------|
| 東衛水庫 | 69 年 | 1,829,100 | 馬公市東衛里 (天然積水) | 馬公系統 |
| 興仁水庫 | 68 年 | | 馬公市雙港溪支流及菜園越域引水 | |
| 成功水庫 | 62 年 | | 湖西鄉港底溪及紅羅越域引水 | |
| 赤崁地下水庫 | 75 年 | 52,500 | 白沙鄉赤崁村 (天然積水) | 白沙系統 |
| 小池水庫 | 79 年 | 191,400 | 西嶼鄉大池村 (天然積水) | 西嶼系統 |
| 西安水庫 | 76 年 | 79,100 | 望安鄉西安村 (天然積水) | 望安系統 |
| 烏溝蓄水塘 | 89 年 | 4,900 | 望安鄉將軍村 (天然積水) | |
| 七美水庫 | 81 年 | 88,300 | 七美鄉東湖村 (天然積水) | 七美系統 |

久旱不雨水中污染物無法稀釋，造成水質惡化，除了影響水質外觀及適飲性，還會增加淨水處理中混凝劑使用量，經過加氯消毒後亦會產生影響健康物質的消毒副產物，如總三鹵甲烷

(Trihalomethanes, THMs) 及鹵乙酸類 (Haloacetic acids, HAAs) 等。此外，因水庫靠海邊，受海風吹拂及海水入侵影響，水中總溶解固體量含量亦偏高。

二、成功淨水場沿革及概況

成功淨水場作為澎湖馬公地區主要淨水場，位於澎湖縣湖西鄉 202 縣道 893 號，除原設有之 9,400 CMD 淨水設備，另於 82 年 6 月 7 日完成新設 6,000 CMD 淨水設備擴建，後於民國 92 年興建鹽井淡化設備後，將 6,000 CMD 系統作為鹽井水之前處理設備。傳統淨水處理原水取自成功、東衛及興仁等 3 座水庫，107 年平均水庫取水量為 5,011 CMD，觀光旺季（4 至 9 月）產水量達 8,000 ~ 9,000 CMD，淡季（10 月至 3 月）產水量約為 6,000 CMD，搭配成功鹽井淡化廠產水量 900 CMD 及馬公海水淡化一廠支援水量約 4,500 CMD ~ 4,700 CMD，合計全場實際出水量達 1 萬 1,400 CMD ~ 1 萬 4,600 CMD，供

水區域包括澎湖縣湖西鄉及馬公市，供水人口約 6 萬 2,537 人，馬公供水系統如圖 4 所示。

9,400 CMD 系統處理水庫原水，經過水躍池、膠羽池、沉澱池與快濾池後，過濾水送至 3,000 立方公尺清水池貯存。6,000 CMD 系統處理鹽井水，鹽井水經過曝氣塔、快混池、膠羽池、沉澱池與快濾池後，過濾水先進入 600 立方公尺清水池，再送至調節池後，接著透過快濾桶、微過濾桶等過濾處理程序後進行 RO 逆滲透淡化處理，最終將清水送至 3,000 立方公尺清水池貯存，淨水流程示意圖如圖 5 所示。

成功淨水場及水庫水源之總有機碳、化學需氧量及色度近十年（100 年 1 月至 108 年 8 月）水質數據，如圖 6 至圖 11 所示，整理分析如下：

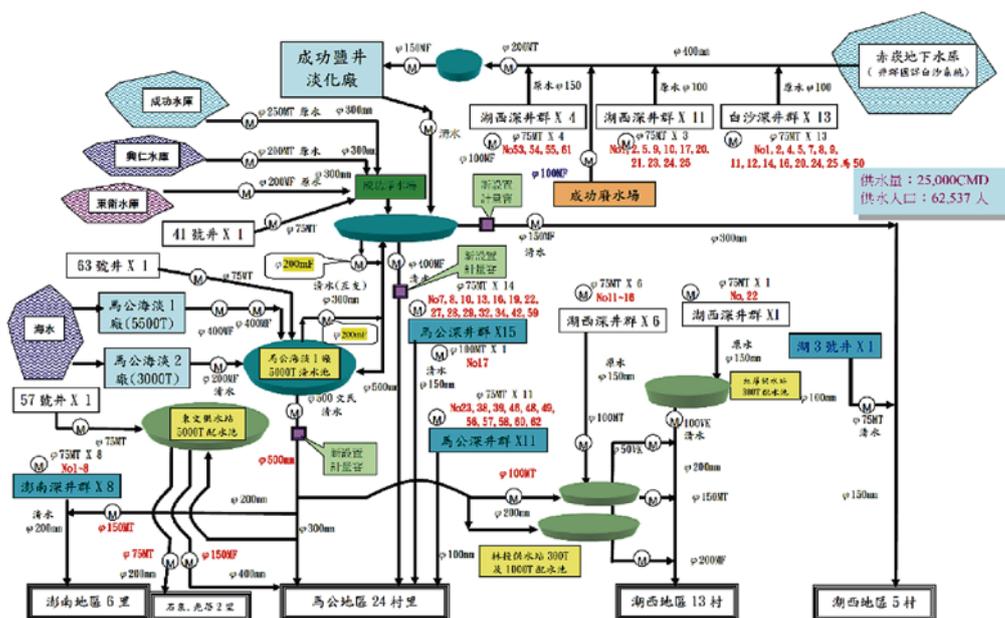


圖 4 澎湖馬公系統供水管線示意圖

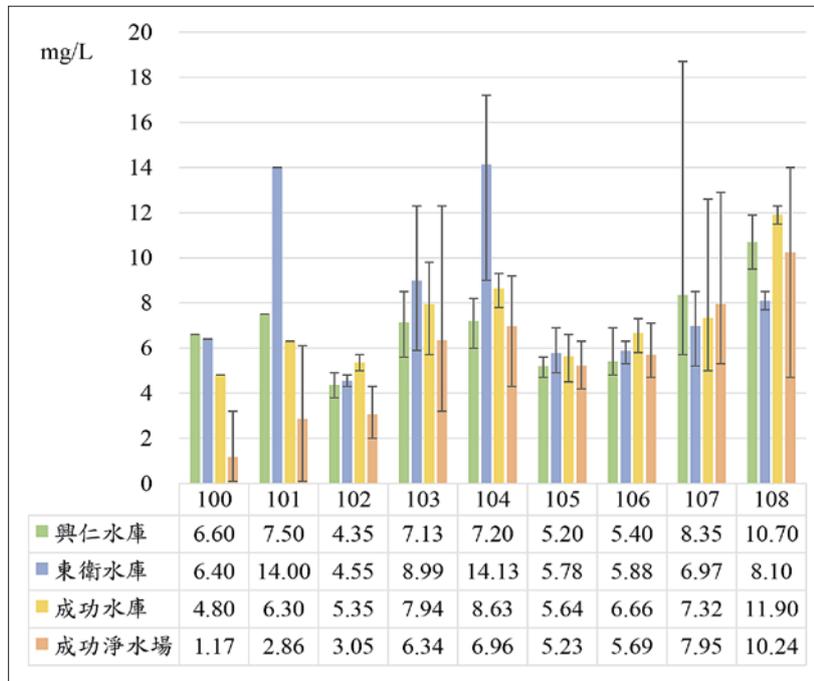


圖 7 各年度原水總有機碳濃度變化

(二) 化學需氧量

綜整各季度變化，以第一季最高（27.78 mg/L），第四季最低（19.97 mg/L），與總有機碳濃度趨勢一致以

豐水期雨季前濃度最高，另比較各年度變化，自 104 年逐漸降低後，惟受降雨量減少影響，於 108 年度化學需氧量又逐漸增加。

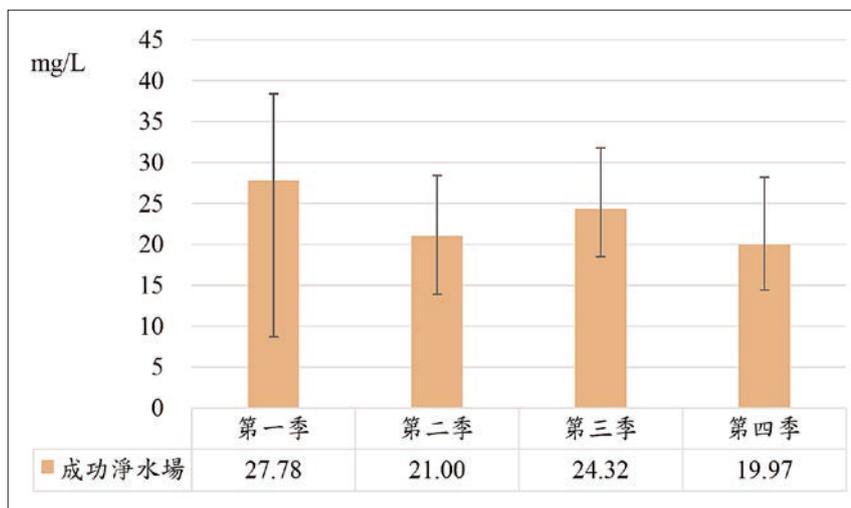


圖 8 各季度原水化學需氧量濃度變化

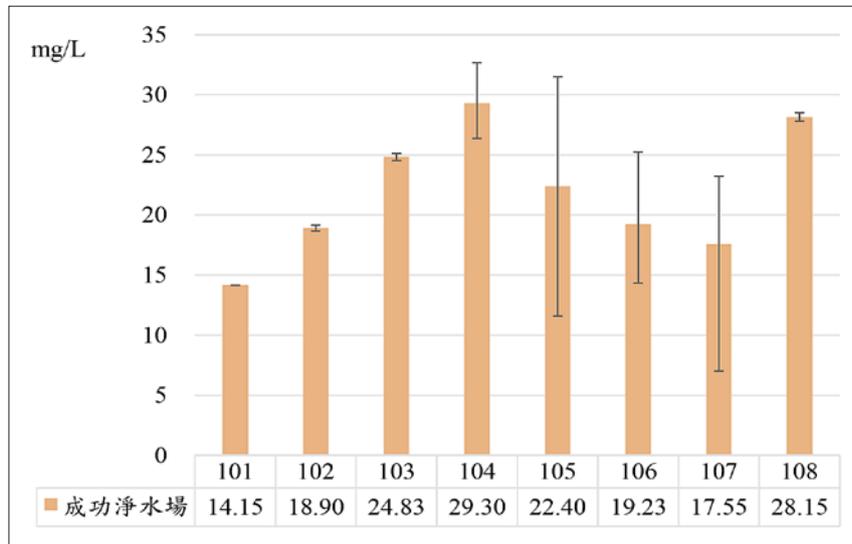


圖 9 各年度原水化學需氧量濃度變化

(三) 色度

各季度色度變化不大，均達 15 鉑鈷單位以上，另比較各年度變化，色度亦逐年升高，表示示水庫水源及淨水場原水水質已明顯惡化。

(四) 出水腐蝕性

針對成功淨水場出水水質之腐

蝕性，採用藍氏飽和指數 (Langelier Saturation Index, LSI) 及拉森指數 (Larson Ratio, LR) 作為評估指標，並分析成功淨水場傳統淨水處理濾後水、成功鹽井淡化廠、馬公海水淡化一廠及混合清水，如表 2 所示，其水質對配水管網皆具有嚴重腐蝕性。

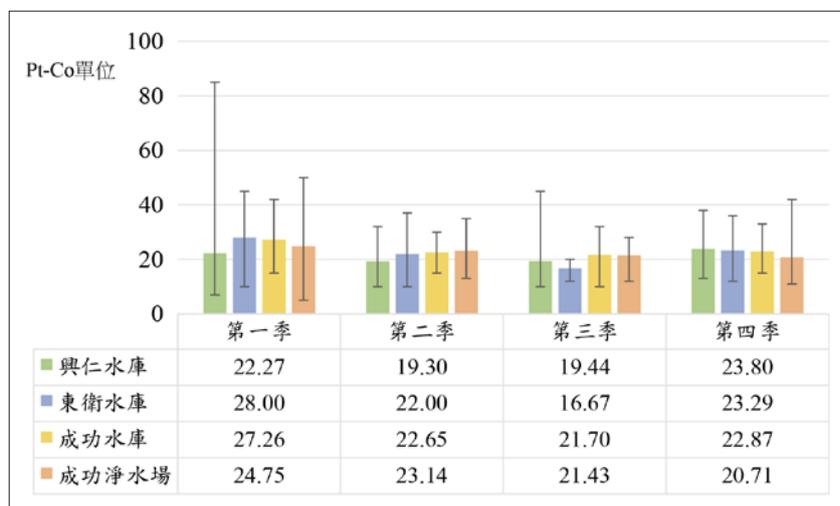


圖 10 各季度原水色度變化

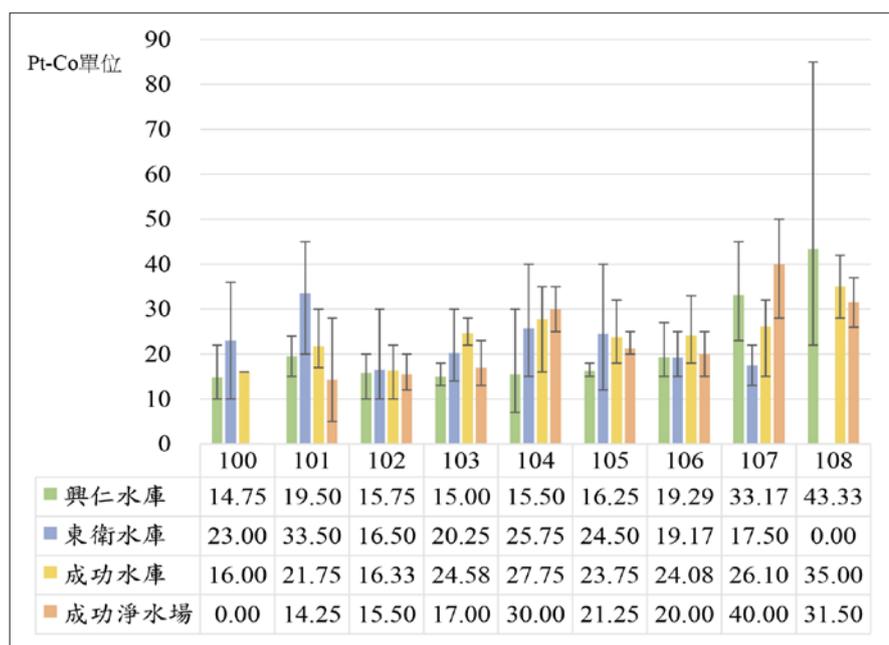


圖 11 各年度原水色度變化

表 2 成功淨水場各種處理出水及混合清水腐蝕指數

| 腐蝕指標 | 成功淨水場 水庫水經傳統淨水 處理之濾後水 | 淡化水 | | 成功淨水場 混合清水 | 建議值 |
|------|-----------------------------|-------------|--------------|---------------|-------|
| | | 成功鹽井 淡化廠 | 馬公海水 淡化一廠 | | |
| LSI | -0.93 | -2.27 | -0.89 | -1.15 | ≥ 0 |
| LR | 2.14 | 6.43 | 10.21 | 3.17 | < 0.5 |

統計區間：109.08.24 ~ 109.10.05

三、水質改善策略

行政院環保署於 86 年 9 月 24 日訂定發布「飲用水水源水質標準」後，隨即檢討並發現成功淨水場水源（成功水庫、興仁水庫及東衛水庫）之化學需氧量（15 ~ 23 mg/L）及總有機碳（5.2 ~ 6.5 mg/L）有違反飲用水水源水質之虞，台水公司爰依「飲用水水源

水質改善計畫書核作業要點」第 7 點規定，於 87 年 12 月 4 日提具「成功淨水場飲用水水源水質改善計畫書」，行政院環保署 88 年 4 月 2 日（88）環署毒字第 0017212 號函復審查完竣，准予備查，台水公司據以辦理改善，並滾動管理，方得持續使用該水源，惟因近年來成功淨水場水源水質之總有機碳（8.8 ~ 13.0 mg/L）及化學需氧量（29.3 ~ 30.2

mg/L) 進一步惡化，行政院環保署、澎湖縣政府及台水公司分別持續辦理下列改善措施。

(一) 水源端

水庫清淤：為改善水庫底泥淤積，台水公司將持續編列澎湖地區水庫清淤預算並視水庫水位適時辦理清淤工程。

污水截流：為加強源頭管制，防止家庭汙水流入水庫，台水公司除加強集水區水源巡查工作外，另於 109 年 1 月 30 日將水庫集水區、取水口等生活汙水及工廠廢水之現況提供澎湖縣政府列管改善，而澎湖縣政府雖已於水庫周遭設置雨污分流系統，惟因新興建築近年快速成長造成汙水量暴增，致使原有系統已無法負荷，澎湖縣政府爭取中央補助建置更完善雨污分流系統，辦理成功水庫及興仁水庫周邊地區雨污分流改善工程，以期減緩水質污染，提升水庫供水能力，並採三期工程施作，其中第一期工程「成功地區引水路汙水截流改善工程」於成功 1 號排水佈設汙水排放管路 1,127 公尺、成功 1-1 號排水佈設 336 公尺、成功 1-2 號排水佈設 222 公尺及成功 1-3 號排水佈設 336 公尺及圓通寺聯外道路側 439 公尺，將提供既有及未來住宅汙水接管之需，藉此改善水庫水質。

水源水質改善：為解決水庫水質優養化的問題，環保署引進日本新興發展水質淨化新法寶—多層複合濾料

(MSL, Multi-soil Layering) 水質淨化系統，削減磷、總有機碳等污染物，並已在成功水庫設置利用生物網膜 (Bionet) 曝氣過濾槽及多層複合濾料 (MSL) 試驗模場處理湖庫水質，依試驗結果均能將總磷濃度由 0.02 mg/L 削減至 0.01 mg/L，總有機碳濃度由 9.2 ~ 10 mg/L 削減至 2.2 ~ 3.3 mg/L，大幅改善水源水質。行政院已將前瞻基礎建設計畫 - 水環境建設之加強水庫集水區保育治理計畫納入於特定集水區設置總磷削減及控制設施，由澎湖縣政府評估其可行方式再報環保署申請經費補助，以加速營養鹽削減，減輕水質污染，進行水庫水質活化。

(二) 淨水端

淨水場及鹽淡廠設施改善：為減少沉澱池中藻類滋生，增加水中總有機碳負荷，已於沉澱池上方及入水口表面分別設置黑網遮陽及排放管去除藻類浮渣。另針對 6,000 CMD 系統快濾池濾床、濾頭及濾板之整修及濾料整鋪，目前刻正辦理中。此外，為加強淨水場廢水處理功能，亦委由集美工程顧問公司辦理成功場廢水設備改善工程技術服務，後續將評估以傳統淨水處理之濾後水部分導入鹽淡廠 RO 薄膜程序，同時以礦物塔調理，期能進一步改善供水水質及減緩腐蝕性。

淨水操作實場改善：除利用加強 (加酸) 混凝方式，降低水中 pH 值，

並增硫酸鋁混凝劑加藥量，以去除水中溶解性之大分子有機物質，減少水中總有機碳及化學需氧量含量，亦將前加氯點由分水井移至快濾池前，減少有機前質與水中餘氯接觸時間，同時降低加氯量。此外，加強淨水場操作維護管理及建立淨水加藥操作模式，如沉澱池排泥、快濾池洗砂、清水池清洗等工作與原水水質及流量變化時之淨水藥劑控制。依據實場驗證結果，沉澱池總有機碳去除率可提升至 33.6% ~ 38.2%，處理效能顯著增加。

(三) 清配水調配

除水源控管及淨水端改善外，台水公司積極利用成功鹽井淡化廠及馬公海水淡化一廠進行供水調配，依長期記錄混合清水（鹽淡水、海淡水支援及傳統處理）比例與水質變化關係，調整淨水場最適化調配比例（鹽淡水 + 海淡水：傳統處理約 1.2:1 以上），控制總溶解固體量及總三鹵甲烷含量符合飲用水水質標準。另為進一步降低混合清水總溶解固體量，目前由台水公司辦理馬公海水淡化二廠清水送至成功場之連接管線工程。

四、結語

澎湖地區受限於水資源缺乏，因此公共給水必須仰賴地面水、地下水及淡化水合併使用，其中成功淨水場

及成功、興仁及東衛等水庫水源之水中總有機碳、化學需氧量濃度、色度逐年升高，多年來各單位滾動管理，惟仍需精益求精，其中源頭管控實屬重中之重，若能透過水庫清淤、污水截流及多層複合濾料水質淨化系統等措施改善水源水質，將可有效減少加酸量，並減緩出水腐蝕性，再搭配辦理成功淨水場及鹽淡廠設施改善、持續提高操作效能與清配水調配方式，朝精緻化管理，期能逐步改善供水品質，確保民眾飲用水安全。

展望未來，因應氣候異常及環境變遷、淨水場設施老化、工商發展與環保法規趨嚴等因素，本公司持續強化淨水設施之處理能力，並推動供水系統安全、強化營運管理效能、提升處理技術、加強水質研究發展及淨水操作人員教育訓練，台水公司積極推動「淨水場現代化 - 增設高級處理設備規劃」，已將成功淨水場納入評估清單，以提升民眾生活品質及自來水永續經營。

參考文獻

- [1] 交通部中央氣象局 (<https://www.cwb.gov.tw/>)。
- [2] 顏尚文，續修澎湖縣志（民 94），澎湖縣政府。
- [3] 行政院，前瞻基礎建設計畫 - 水環境建設，離島地區供水改善計畫第二期（民 107）。

推動農田水利系統智慧化對 精進灌溉管理之效益

李元喻

行政院農業委員會農田水利署 副工程司

林宜昌

財團法人台灣水資源與農業研究院 研究專員

林賢銘

財團法人台灣水資源與農業研究院 研究專員

一、前言

我國在氣候變遷下水資源豐枯日漸懸殊，而在兼顧糧食安全、其他用水標的競用及水資源失衡造成之重大問題影響下，灌溉用水管理工作日漸困難且複雜；同時，政府組織改造後農業用水主管部門更肩負了灌區外農地供水之責任，在水資源不足之限制下，如何強化對於灌溉用水調配效能，來降低缺水風險並適時滿足作物生長需求，已成為我國農業永續發展之重要關鍵課題。

我國農田水利事業歷經數百年發展，已擁有完善之灌溉排水設施及管理組織，而掌管農業灌溉用水的行政院農業委員會農田水利署（以下簡稱農水署）17個管理處（原各地區農田水利會）所須維運的灌排圳路長達7萬公里。隨著全球物聯網感測、雲端運算

服務、大數據分析及人工智慧等科技成熟發展，農田水利水資源物聯網技術已逐步應用於提升灌溉用水效能上。若能積極整合應用資通訊（ICT）、物聯網（IoT）、雲端運算（Cloud Computing）及人工智慧（Artificial Intelligence）等技術來發展智慧灌溉管理，並透過示範灌區進行試辦及逐步擴大推展，將能有效提升灌溉用水供應調配之效能，擴大並穩定供水服務能量，降低農業及社會發展所面臨之缺水風險。

二、國內外農田水利系統之智慧化發展趨勢

聯合國（2018）報告指出，至2050年時全球水資源短缺問題將直接影響近2/3的人口，對經濟和整個生態系統造成重大變化。無論何時何地，

水及食物都是人類最重要的兩大基本物資：農業提供生存所需之食物，而水的供應為農業之必備條件。而如今全球氣候變遷及人口成長對農業產能造成巨大壓力，此又導致地球水資源枯竭之雪球效應。農業用水在大多國家均占其需水量之大宗，因此灌溉用水對整體水資源之運用至為關鍵。目前改善農業灌溉系統最熱門之趨勢為將系統升級為應用綠色能源之智慧化灌溉管理系統，以提升用水效率與減少用水的損失。

稍具規模的灌溉系統一般均為明渠，其流況極具動態且不易控制，配水是由個人經驗與判斷來操作。因此灌溉用水取供水系統現代化目標不外乎導入智慧型管理以提升供水服務品質同時增加人員調度能力，作法上 Rijo (2014) 將之歸納為四種：(1) 將人工操作或上游端自動控制改為下游端數位控制；(2) 設置中央管控系統，如 SCADA (監控及數據收集) 系統；(3) 設置調蓄水池；(4) 改變圳路大小。為更能了解世界最新灌溉圳路系統自動化趨勢，茲將數則國內外案例彙整如下。

(一) 國外案例

1. 伊拉克案例

在智慧型灌溉用水取供水系統中，電腦化的 SCADA 系統可用來管理任何尺寸之配水系統，但智慧化水閘

門仍為最基本的管控工具，也因各系統均廣設，其對水量管理之角色最為關鍵。智慧化閘門可使用附近或遠端即時收集之數據來調節流量或水位，同一區串接之閘門更可共同大幅提升該地區之配水效率。

有鑑於此，近年來伊拉克政府的科技與水資源管理部與美國的監視科技公司合作建置 20 處聯合監控管理配水系統 (Watch Technologies, 2020)，項目包含感測器、智慧水門、無線傳輸系統以及基地台。整體系統包括互動式網路操控軟體及其資安系統均在美國設計製造後輸入。伊拉克的操作員可利用網頁瀏覽器從遠端或就近從工作站進行操作。

2. 澳洲案例

傑馬隆灌溉公司 (Jemalong Irrigation Limited) 自 20 世紀初起即在新南威爾省操作管理一個灌溉面積達 96,000 公頃的重力式灌溉系統，在該系統現代化之前，掌水工須以手動方式控制閘門或放入擋水板，且每人每日須為此奔波 300 公里。因此傑馬隆公司在設計其系統現代化時所設定目標為：(1) 能使用平板電腦或手機即時操控；(2) 能以穩定水量供應農戶；(3) 減少操控之人力與移動距離；(4) 提升控制上的彈性以更快速因應農民的需求或供水情況變化；(5) 提升雨天操控能力，因通往水門或控制站的道路大多為簡便道路。

傑馬隆的灌溉圳路現代化計畫 (Intelligent Canal Systems, 2020) 共設置了 60 座太陽能自動閘門及 50 座太陽能遠端埤塘水位監測器。在自動模式下操作員可藉由調整水門來設定穩量之田間供水量或固定之上游或下游水位，當農民之需求有變化時，操作員只需調整設定之時間間隔。由物聯網串聯之閘門及水位感測器均以安全的高速無線網路連結並分享數據。中央控制為聯結雲端之 SCADA 系統，其操作軟體可容許操作模式及時間間距的快速調整，因此一個中控室的操作員幾分鐘內即可取代原本兩位掌水工須移動 300 公里、變動 60 座水門的工作量。此自動化系統建置後，公司可將節省之操作人力成本轉移做維護改善費用，這不但使操作更有效率，且系統可經常更新，大力提升穩定性及永續性。

3. 美國案例

南達科達州西部有一廣大的台地，其貝福胥河以北土壤黏度高、排水慢且雨量大時鹽分易上升至地表，河之南則因砂質土壤以致灌溉水量及頻率均需較高。由於極端不同的灌溉需求，該地之農業發展需要嚴格管控其灌溉系統，為此美國聯邦墾務局 (USBR) 在當地設立了貝福胥灌溉區 (Belle Fourche Irrigation District, BFID)，以維護管理該 202 平方公里灌

區之 94 英哩長之圳路幹線、450 英哩長支線及堰壩水門等。為降底水位震盪起伏程度以減少輸水損失並提升供水效率，必須設置自動化閘門系統，包括水位及閘門開度感測器、閘門開關動力系統等 (Campbell Scientific, 2020)。圳路內的水若未供給農民，會匯流至尾水溝。此機制可使圳路及回歸水內之泥沙不致進入貝福胥河，而確保下游水質。

(二) 國內案例：台灣灌溉圳路現代化之發端－自動測報

為使水資源有效運用，並減少颱風、豪雨造成之嚴重農業災害，行政院農業委員會 (以下簡稱農委會) 自民國 90 年起大力投資與輔導當時的各農田水利會 (現為農水署各管理處)，將人工水文觀測業務精進為自動化傳輸及網路系統，提升了水文資料蒐集效率，民國 93 年起又逐年增加預算補助雨量及流量自動測報系統；民國 98 年起因應防災需求，施設影像監視系統與遠端閘門遙控系統，以隨時掌握現場影像並縮短閘門操作反應時間；而隨著科技的發展，自民國 100 年起，自動測報結合相關資訊技術，開始發展雲端監控整合技術 (見圖 1)。

農田水利設施自動測報與控制系統之推動，其目的在有效掌控有限的水資源，達到精確合理分配及提高用水效率之目標。例如自計式雨量計之設置，可瞭解水庫集水區、灌區降雨量



圖 1 農水署各管理處之自動測報系統例圖

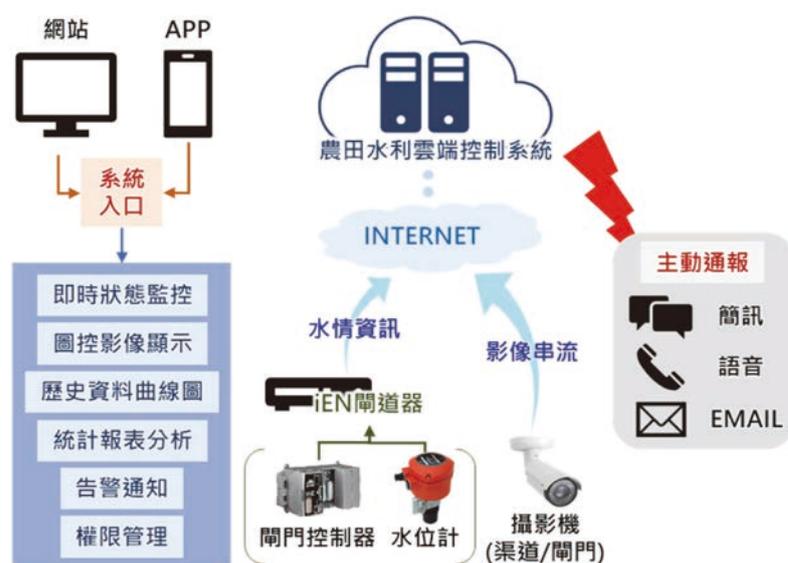


圖 2 自動測報系統成果示意

資訊，提供農水署各管理處暫停供應灌溉用水之依據；而水位－流量自動測報設施，可充分掌握河川、灌溉系統取水口及重要配水分界點的水位、流量資訊，提升水資源利用效率；對於排水系統，則可促進迴歸水利用及水門之正確操作，達到減災防洪之目的。而對於農水署各管理處應用自動測報於防災應變面向之成效，常見者有以掌握攝影機取得之即時影像，快速瞭解現地情形，並經由設定警戒值，配合灌溉系統中感測設備之運作，達成自動開啟或關閉閘門功能，以減少水患造成之損失。

以農水署石門管理處為例，農委會自 88 年起經歷 6 年合作完成石門大圳幹渠管理自動化工程暨防災預警監控系統，是國內第一個導入自動化測

報監控系統的灌溉系統。該系統可協助中心人員根據各用水計畫做出適當調配措施；如遇豪大雨，渠道水位與流量超過警戒時，可自動偵測並廣播通知外站居民，無論在水資源的精確調配或災害防救上，皆具有顯著功效。

三、應用物聯網技術推動灌溉用水取供水系統智慧化

農田水利自動測報系統之推行，已為國內灌溉用水取供水系統之現代化建立了深厚的基礎，隨著科技發展，自動測報之持續發展，已朝向與物聯網技術、架構之結合應用。在圳路系統內布建大量由物聯網串聯之感測器及可遠端操控之水閘門，由此回傳之大量數據由雲端運算之管理系統進行分析，加上介

接之氣象等即時資料，藉以做出合理之決策與行動，以獲得最大效益。管理系統可導入機器學習來預測水文狀況，作為決策根據。根據管理系統之決策，更有效地控制系統內之所有閘門，使系統內之配水、防洪等更有效率。此建構原則見於圖 3。

農水署為推動國內灌溉用水取供水系統智慧化，於「前瞻基礎建設計畫」（國家發展委員會，2017）之「建構民生公共物聯網」（科技部等，2017）

中負責主辦「精進灌溉節水管理推廣建置計畫」，利用民生公共物聯網所提供之穩定、乾淨且規格化的感測資料供應服務及運算資源以加值應用。「精進灌溉節水管理推廣建置計畫」設定桃園、石門、新竹、嘉南及高雄管理處所屬灌溉區域等水資源競用區為目標，期望藉由本計畫的推動，能整合農田水利物聯網、大數據及雲端運算等相關技術應用，來發展智慧灌溉管理技術，增進水資源競用區之配水與用水效率。

根據對環境的感知做出合理行動，以獲致最大效益的管理方式



圖 3 農田水利物聯網之設計架構



圖 4 精進灌溉節水管理推廣建置計畫推動區位

(一) 各管理處建置成果

「精進灌溉節水管理推廣建置計畫」中，相關之管理處在其示範區內之圳路、埤塘、水閘門等位置佈設物聯網感測儀器，蒐集水位、流速及水閘門開度等數據，經由數據分析、渠道演算、水理模式或水資源調度模式等方法，由電腦計算最佳灌溉配水流量，並提供水閘門建議開度及埤塘建議調度結果，作為第一線工作站人員操作水閘門之參考依據。然而，不同計畫相關管理處因其業務需求及地域條件上之不同，所採用之物聯網資訊分析應用架構亦會有所差異，但其共通之基本架構如圖 5 所示，其不同之分析應用架構則詳見表 1。以下將「精進灌溉節水管理推廣建置計畫」成果依各計畫相關管理處分類說明。

1. 農水署桃園管理處

桃園管理處運用人工智慧與物聯網技術建置貯水池、水路水文監測以及動態分析管理平台，整合雲端資源，提供資料交換及共享，建構桃園大圳智慧水源調度系統。基於其多年來發展之自動測報系統蒐集之圳路水位監測資料，結合中央氣象局與該管理處工作站之降雨量資料，使用機器學習之類神經網路演算法，依據桃園大圳上游流入工的降雨量，分析預測未來時間點之圳路水位，建立「幹線水位預測模型」。同時透過超音波、雷達波式水位計及水位監測站，搭配太陽能供電系統與低功耗傳輸設備，使用 NB-IoT、4G 及光纖網路傳輸技術將感測資料上傳至「水資源物聯網感測基礎雲端作業平臺」。此外，可利用現有桃園大圳渠道之安全輸水容量



圖 5 農田水利物聯網共通之基本分析應用架構

表 1 各計畫相關管理處資訊應用架構比較

| 管理處 | | 桃園 | 石門 | 新竹 | 嘉南 | 高雄 |
|-------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| 物聯網架構 | 項目 | | | | | |
| 感知層 | 資料蒐集 | 貯水池水位 圳路水位 即時影像 | 圳路水位 即時影像 閘門開度 | 圳路水位、流速 即時影像 閘門開度 | 圳路水位 即時影像 閘門開度 | 圳路水位 即時影像 閘門監控 |
| 網路層 | 傳輸技術 | NB-IoT/4G | GSN/ADSL 光纖網路 微波網路 NB-IoT/4G | Cat-M1/4G/ 寬頻固網 | 4G/ NB-IoT/ FTTB/FTTH | 4G/ NB-IoT/ FTTB |
| | 雲端儲存 | 1. 微軟 Azure 2. 水資源物聯網感測基礎雲端作業平台 | 1. 自建伺服器 2. 水資源物聯網感測基礎雲端作業平台 | 水資源物聯網感測基礎雲端作業平台 | 水資源物聯網感測基礎雲端作業平台 | 水資源物聯網感測基礎雲端作業平台 |
| 應用層 | 資料分析 | 1. 機器學習 2. 類神經網路 | 水情監測及水閘門監控 | 1. 水資源調度模式 RIBASIM 2. 渠道集水模型 SOBEK | 1. 渠道水量彙算模式 2. 渠道水力計算模型 | 由流末節餘水量為依據，自動控制調整灌區入流 |
| | 實務應用 | 1. 水文監測與動態分析管理平台 2. 水文監測動態分析管理 APP | 1. 自動監測圖控平台系統 2. 即時水位流量平台 | 1. 雲端輔助決策管系統 2. 水情預測模型 | 1. 遠端閘門遙控系統圖控介面 2. 精進灌溉輸配水管理模式建置 3. 渠道水量彙算模型建置 | 1. 支線取水閘門自動調控流量程式 2. 餘水/已節省水量計算程式 3. 示範區自動節水循環控制程式 |

及灌區內之埤塘，建構機動調整貯水池蓄水之操作調配建議模式。

此外，動態分析管理平台根據傳遞網路預測模式可預測水位及推估桃園大圳降雨後之入流量，利用現有桃園大圳安全輸水容量及監測站掌握之埤塘水位，建立一大尺度之桃園地區雨水收集系統，將餘裕水量調度至尚有蓄水空間之埤塘，於豐水期時有效蓄存多餘水量，颱風、豪大雨時期則可獲得特定支線取入口之未來 1 ~ 3 小時水位預報，提前配合閘門遠端控制系統進行防汛應變操作作業，減低水患、溢堤等危險。



圖 6 桃園管理處水位監測及影像監控 APP 示意圖

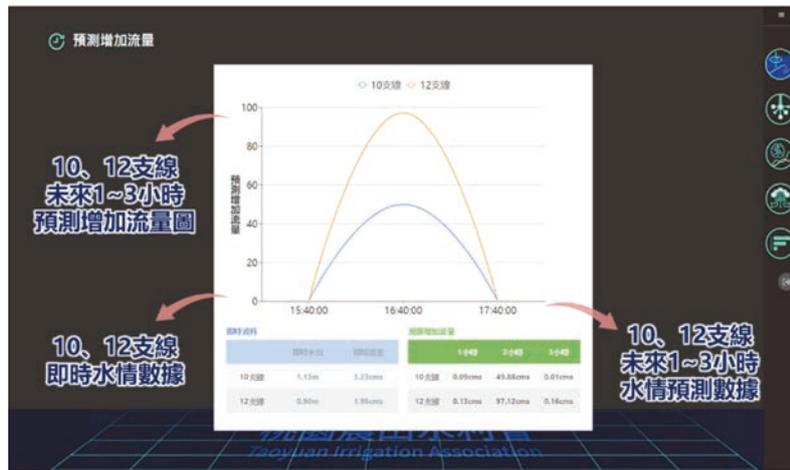


圖 7 桃園管理處幹線流量預測成果示意圖

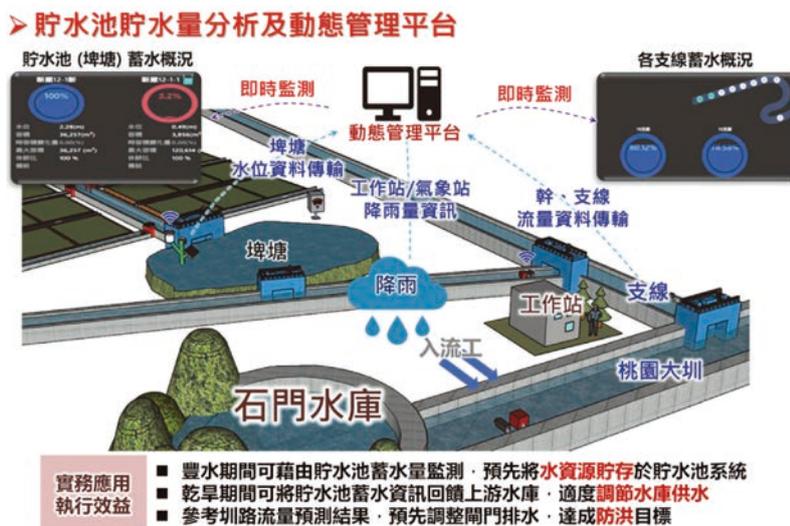


圖 8 桃園管理處智慧型灌溉取供水系統示意圖

2. 農水署石門管理處

石門大圳承接自民國 88 年起建置之自動化測報系統，在「精進灌溉節水管理推廣建置計畫」下於 107 年完成石門大圳自動化測報系統升級，108 年完成過嶺支渠自動化測報系統之建置，並於 109 年建置埤塘監測系統及水文觀測系統掌握灌區內即時降雨資訊。

系統使用 GSN / ADSL、光纖網路、微波網路等傳輸技術將感測資料收集後傳至該處自建資料庫伺服器，並將資料同時上傳至「水資源物聯網感測基礎雲端作業平臺」。幹線工作站人員便可依據各灌溉用水計畫，以及視覺化之監測圖控平台，即時做出適當用水調配措施，減少水門操作損失



圖 9 石門管理處智慧型灌溉取供水系統示意圖

及提升配水效率，提升供水穩定度及灌溉配水精準度，解決配水經驗傳承問題。若遇到豪大雨，渠道水位與流量超過警戒時，除了遠端關閉水閘門之外，更可配合警報系統自動偵測並廣播通知外站居民，達成防洪目標。

3. 農水署新竹管理處

新竹管理處以竹東圳灌區及頭前溪流域作為「精進灌溉節水管理推廣建置計畫」之示範場域，配合水情預測及雲端輔助決策系統之資料所需，於竹東圳進行相關監測站及電動水閘門之建置。灌溉系統內蒐取之感測數據透過建置於雲端之水理數值模式，配合灌區各供取水設施（包括攔河堰、水庫及埤塘）運用原則以及介接外部的即時水文氣象資料，進行水理模式計算（包括圳路渠道水位及水量），依此建立水情預測模

型。此預測模型可分別針對三種水情狀態進行決策建議，分別為枯旱時期、一般時期及防汛時期。防汛時期之水情預測模型，經過雲端運算並預測未來 1 ~ 3 小時各閘門監控站之水位，可產出各閘門防洪操作策略，提供預警訊息，減少高濁度原水進入竹東圳，以及於竹東圳集水區降雨量過大造成溢堤的風險。

新竹管理處也於雲端建立虛擬網頁伺服器，透過 Web Service 取得水文預測與演算結果，及建置水情展示與閘門遠端操作網頁，配合新設即時水情顯示看板及遠端閘門圖控系統，管理處及工作站管理人員可透過水文監測與動態分析管理平台，監看調控渠道水位流量策略、防災應變建議等結果，並可透過水文動態監視 Web App，使用行動裝置監控水情監測站與閘門遙控站，提升防災應變之效率。



圖 10 新竹管理處水資源物聯網感測器現場設施

➤ 雲端智慧灌溉管理系統

107年：開發竹東圳灌區水情預測及雲端輔助決策系統

108年：結合人工智慧技術，發展智慧化水情預測模型

109年：擴充至頭前河流域，強化雲端智慧管理



圖 11 新竹管理處智慧型灌溉取供水系統示意圖

4. 農水署嘉南管理處

嘉南管理處 107 年以烏山頭水庫灌區（北幹線）作為灌溉用水智慧管理示範區，於嘉南大圳第一號制水閘

（含導水路放水路）、林鳳營支線及支線下設置 6 處中小給自動控制水位監測站。108 年主要係完成南幹線 4 處支線閘門監控站以及 9 處水位監測

► 嘉南大圳南北幹線直接中小給水文監測系統

107年：完成林鳳營支線及第一號(五號橋)制閘門等8處閘門監控系統
完成北幹線之幹線直接中小給及林鳳營支線下共7處水位監測系統

108年：完成南幹線系統上之麻豆支線、茄拔支線等4處閘門監控系統
完成南北幹線制水閘等9處水位監測系統

109年：完成南北幹線上7處閘門監控站及7處水位監測站建置作業

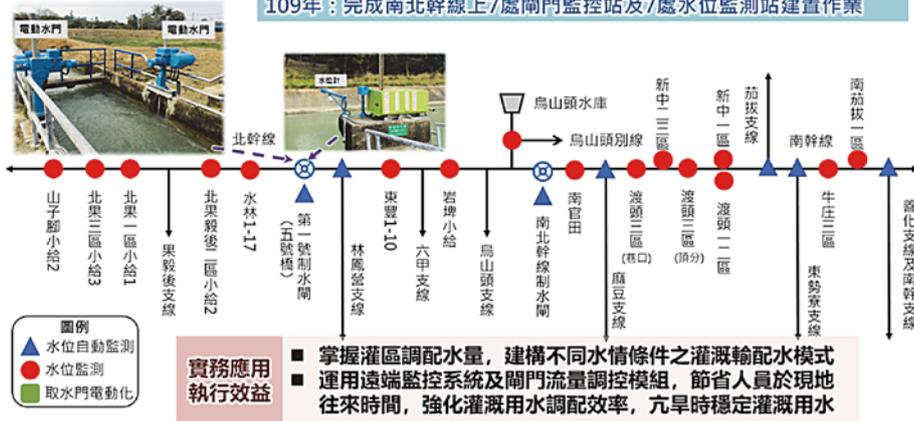


圖 12 嘉南管理處智慧型灌溉取供水系統示意圖

站，其中官田直接水位站整併至麻豆支線閘門遙控監測站。109年預計完成烏山頭、六甲、果毅後支線、查畝營支線、大腳腿支線、龜重溪制水閘及急水溪制水閘閘門監控站、龜重溪渡槽中心閘門監控站、吉貝要支線閘門監控站等10站建置。

系統使用NB-IoT、4G、光纖網路等傳輸技術，透過各監測站之水位資料開發渠道水量彙算模型，建立並校正水門開度－水位－流量之關係。灌溉輸配水管理模式可由工作站管理人員輸入灌溉查定流量，系統再以水平衡為原則，透過「查定流量給定」、「流量調整（操作水門）」及「流量調整結果回傳」等三步驟重複比較渠道設定之輸水量及4小時後輸水量之差異值，自動計算最佳化的水門建議流量及水閘門調

整策略。遠端監控系統可即時操作水閘門，達成節省工作站人員往返操作時間、強化用水調配效率及亢旱時期穩定灌溉用水之成效。

5. 農水署高雄管理處

高雄管理處107年於復興渠幹線設置幹線取水門水位監測站1處，大莊支線及挖子支線各1處閘門監控站；並於嘉峰主給1上建置智慧節水管理系統示範區，其灌溉面積約為9.46公頃。108年主要於阿蓮站入口設置水位影像監測站1處，大埔、前峰子及田厝支線、復興渠第三號排砂門及九鬮支線一輪灌區，設置共5處閘門監控站。109年預計完成中甲、港後支線，以及阿蓮抽水站及轄區幹線排砂門系統等監控站系統。

➤ 復興渠幹線閘門監控系統
 ➤ 智慧節水管理系統(示範區：嘉峰主給1)

107年：開發智慧節水管理系統，建置幹線取入、大莊、坵子支線閘門監控站

108年：建置大埔、前峰子、田厝支線閘門監控站，強化並擴充智慧節水管理系統

109年：完成中甲支線二輪灌區、中甲支線、復興渠第四號排砂門、復興渠二幹線排砂門與港後支線共5處閘門監控站，以及阿蓮抽水站與阿蓮支線共3處水位監測站之建置



圖 13 高雄管理處智慧型灌溉取供水系統示意圖

運用示範區內之水位資料，開發支線取水閘門自動調控流量、餘水／已節水省水量計算及節水自動循環控制程式。該系統可在示範區內有過多之灌溉餘水時，回饋需減供之取入流量至主要取水門，以閘門流量自動控制程式進行水量調整，藉由多次的調整時間內達到目標流量，達成灌溉餘水最佳化之作業。同時開發精進灌溉智慧節水管理系統，提供水位－取水門開度連動功能，管理人員可自行設定水位對應取水門開度，於夜間開啟此模式，若遇夜間大量降雨時，取水門開度可依幹線之不同水位情況開啟至對應安全開度，保障人員安全，並減輕配水操作能力與時間耗費，提升灌溉用水配水效益。

(二) 各管理處物聯網建置效益

1. 提升供水穩定度及灌溉配水精準度

智慧化之灌溉用水取供水系統，可藉由感測器偵測圳路之水位或流量，由自動水閘門控制流量。智慧管理系統可提供水閘門開度建議，供工作站人員參考，達成精準控制配水量及穩定供水之效益。

2. 降低人力操作成本，減少水門操作損失

灌溉用水取供水系統智慧化後，操作人員於遠端操作，可即時調控提升時效性並免去人員之奔波與現地操作之危險，所省下的人力成本可用來提升系統之維護與升級。此外，由操作人員統一控制同一地區之水利設備，

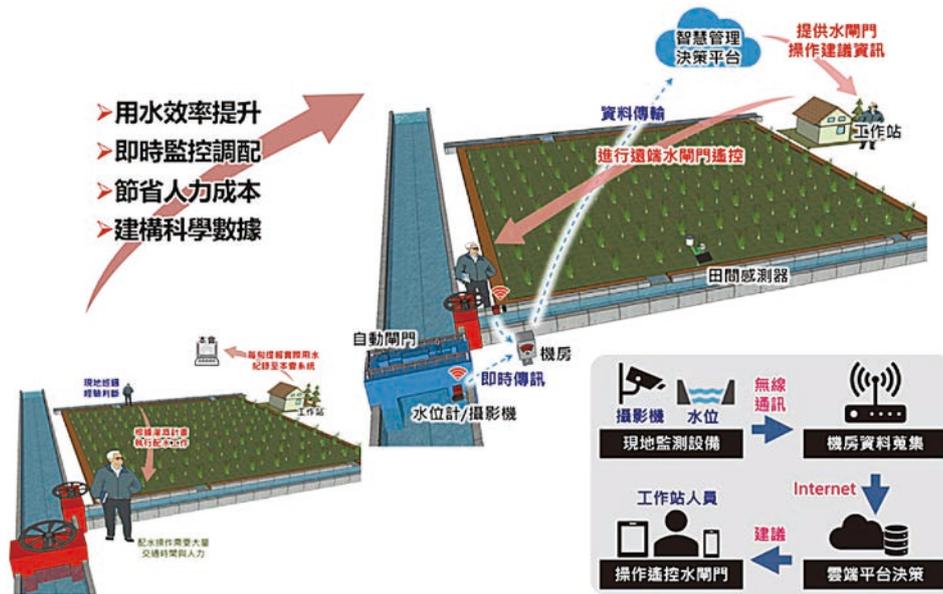


圖 14 農水署相關管理處智慧型灌溉取供水系統建置效益示意圖

可穩定圳路水位，減少水門操作造成之損失。

3. 提升地區防洪能力

智慧型灌溉用水取供水系統於防汛期間可提供閘門防洪操作策略及預警訊息，同時可透過遠端遙控及時調整閘門排水，達成防洪效果。若灌溉用水取供水系統亦包含蓄水農塘系統，則可參考流量預測結果，預先排放蓄水農塘至適當水位，增加洪水期滯洪功能，達成防洪目的。

4. 提升地區整體用水效率

若灌溉用水取供水系統搭配蓄水農塘，豐水期間可藉由貯水池蓄水量監測，預先將水資源貯存於貯水池系統，乾旱期間可將貯水池蓄水資訊回饋上游水庫，適度調節水庫供水。

四、結語

國內的灌溉取供水系統現代化工程在農水署今（109）年執行完精進灌溉節水管理推廣建置計畫，於五個計畫相關管理處所屬灌溉圳路系統建置農田水利物聯網示範區後，已進一步將原有之圳路提升為智慧型灌溉取供水系統。農田水利物聯網之灌溉用水智慧管理技術建構在歷年農田水利事業發展所創建之完善硬體設施與管理技術上，再結合臺灣在資通訊、雲端科技及物聯網等相關領域的發展優勢，以更高效率及可靠的方式進行資料擷取與資訊挖掘（智慧設備），並透過整合應用農業水資源大數據的分析基礎，科學化評估合理農業水資源量，推動適時適地灌溉用水智慧管理模式

（智慧分析），研發智慧型水旱災監測、預測、決策、操作系統，及建立農業用水多元化管理調配機制（智慧決策）。未來若能在其他非計畫相關管理處亦廣泛建構農田水利物聯網，則可更加精進灌溉管理，提升我國農業用水效率，對我國水資源永續利用將有關鍵性之影響。

參考文獻

- [1] 何逸峰。現代化灌溉自動測報與控制系統設施推廣成效。行政院農業委員會農政與農情 94 年第 155 期（民國 94 年）。
- [2] 科技部、環保署、交通部、內政部、經濟部。前瞻基礎建設計畫 - 數位建設：建構民生公共物聯網計畫（核定本）（2017）。
- [3] 國家發展委員會。前瞻基礎建設計畫（核定本）（2017）。
- [4] Campbell Scientific. South Dakota: Canal-Based Irrigation System - Campbell data loggers regulate automated check gates for water delivery efficiency. <https://www.campbellsci.com/south-dakota-irrigation>. Retrieved 2020-10-30.
- [5] Intelligent Canal Systems. Jemalong Project. <https://www.intelligentcanalsystems.com/jemalong>. Retrieved 2020-10-30.
- [6] Rijo, M. Irrigation Canals Modernization To Improve Water And Labor Savings, in book: Congress on Industrial & Agricultural Canals (pp.338-342). Editor: Porta, J. (2014).
- [7] United Nations, The. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water, Paris, UNESCO (2018).
- [8] Watch Technologies. Watch Technologies Supplies 20 Water Management Control Sites to Iraq. <https://watchtechnologies.com/category/irrigation/>. Retrieved 2020-10-30.

灌溉用水水質標準之檢討研究

廖珮妤

行政院農業委員會農田水利署 副工程司

摘要

農業係人民生活健康之基本產業，維護農業生產環境安全是確保農業永續發展之重要工作。早年國內著重經濟發展，對於國土利用之合理性缺乏整體規劃考量，是故雖然農田水利署各管理處（以下簡稱管理處，以前為農田水利會）所管圳路是以提供農田灌溉排水服務為主，其他排水應由各地方政府及目的事業主管機關負責，然早期管理處仍就既有圳路配合協助排水，並基於水資源迴歸利用之原則而受理搭排作業，以協助配合地方污水下水道尚未普及且公共排水系統不足所採之權宜措施。

「灌溉用水水質標準」係基於保護農作物安全生長、土壤永續利用之考量，於民國 92 年修正公告至今，歷經時空環境之變遷，產業型態之轉型，保護灌溉用水品質及提升食品安全健康有其必要性，為能兼顧產業均衡發展，本文以民國 106 年至 108 年管理處搭排戶放流水水質檢測數據進行分析，探討「灌溉用水水質標準」管

理搭排戶之方式是否有滾動檢討之必要，並蒐集國內外相關文獻比較導電度修正於不同限值時，對於灌溉水質管理可能產生之影響，進而提出灌溉水質保護與搭排戶管制方式之建議，期能以較具彈性的品質參考值進行管理，以兼顧產業發展、國民食品安全健康及環境永續利用等多面向之灌溉水質保護管理策略。

關鍵字：灌溉用水水質標準、導電度、水質保護、灌溉水質基準值

一、前言

臺灣水資源利用以灌溉用水為大宗，年用水量約 110 億噸，佔我國總用水量之 65%。早期取自河川用於灌溉之水質大都很優良，不致有鹽害、鹼害或污染等問題發生。但近來時空環境之變遷，產業型態之轉型，污染程度已超過河川或埤池原有之自淨能力，因此部分地區之灌溉水質呈現劣化之趨勢。政府鑑於污染事態愈趨嚴重及環保意識抬頭，陸續頒訂水污染防治有關法規暨水質管制標準。

我國灌溉水質標準設置最早始於民國 66 年，台灣省水利局、水污染防治所及農田水利協進會向中國農村復興聯合委員會（現行政院農業委員會，以下簡稱農委會）申請「灌溉水質污染監視處理試辦計畫」，該計畫的執行促成民國 67 年臺灣首次參考美國農業部（United States Department of Agriculture, USDA）之灌溉水品質分級標準及美國環保署之金屬含量標準，公告「臺灣省農業灌溉用水水質標準」，共計 28 項水質標準項目。首次公告之灌溉水質標準乃與世界各國灌溉水質標準接軌，為依據科學研究訂定的水質指標，非為限制污水排放而設立，主要應用於判定灌溉水質是否適於供灌用途，為架構在「科學依據」上之施政或水質管理的品質目標。也因為水質標準之設置乃為保護作物生產及土壤永續利用，故灌溉水質項目均為水之物理與化學因子特徵，主要在使水中的化學鹽類不會在長期灌溉後，容易累積在作物根區的土壤中，造成作物的減產或生產品質的劣化。

在水質標準首次公告之後，後續農委會於民國 92 年參據為期 4 年之水稻盆栽試驗結果，新增溶氧與鐵含量標準，且放寬總氮含量標準，另再配合歐洲、美國、日本資料，針對汞、鎳、釩、砷、鉍、錳標準值加嚴，修

訂後標準共計含 30 項水質標準項目，而民國 67 年與 92 年水質標準公告標準之比較如表 1；此標準在民國 93 年後水質標準一直未有大幅度修訂。

由於近幾十年來社會經濟快速發展，國土規劃未完整考量，使得灌溉水質遭受污水排入等影響，為解決農業生產環境保護的困境，農委會自 102 年始推動農業灌溉水質保護方案，並啟動跨部會溝通與協調會議的定期召開；因此灌溉水質標準的修訂更應立基於保護作物生長與土壤永續利用的基礎下，考量不同主管機關執掌與農業生產環境相關法規的相關性，釐清法規或標準間之競合問題，故彙整相關環境管制標準訂定之精神與目的於表 2，以供灌溉水質標準修訂方向的參考。爰農委會於相關法規制定過程中，均納入上述檢討過程與成果於「農田水利法」與現行「灌溉水質基準值」的制定中，因農田水利法已於 109 年 10 月 1 日施行，灌溉用水水質標準已自動失效廢止。

二、評析灌溉水質修訂檢討之相關研究

直至民國 100 年度農委會委託專業團隊建立「灌溉用水水質標準檢討修訂作業工作推動架構」，於 102 年度研擬灌溉水質標準修正草案共二

表 1 民國 67 年與 92 年公告之灌溉用水水質標準項目比較

| 項目 | 民國 67 年 7 月 5 日 首次公告 | 民國 92 年 11 月 7 日 修訂後公告 | 修訂前後差異 |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------|
| | 限值 | 限值 | |
| 水溫 | 35 | 35 | - |
| 氫離子濃度指數 (pH 值) | 6.0~9.0 | 6.0~9.0 | - |
| 電導度 (EC) | 750 | 750 | - |
| 懸浮固體物 (SS) | 100 | 100 | - |
| 溶氧量 (DO) | - | 3 以上 | 新增 |
| 氯化物 (Cl ⁻) | 175 | 175 | - |
| 硫酸鹽 (SO ₄ ⁻²) | 200 | 200 | - |
| 總氮量 (T-N) | 1.0 | 3.0 | 放寬 |
| 陰離子界面活性劑 | 5.0 | 5.0 | - |
| 油脂 | 5.0 | 5.0 | - |
| 鈷 (Co) | 0.05 | 0.05 | - |
| 銅 (Cu) | 0.2 | 0.2 | - |
| 鉛 (Pb) | 0.1 | 0.1 | - |
| 鋰 (Li) | 2.5 | 2.5 | - |
| 錳 (Mn) | 2.0 | 0.2 | 加嚴 |
| 汞 (Hg) | 0.005 | 0.002 | 加嚴 |
| 鉬 (Mo) | 0.01 | 0.01 | - |
| 鎳 (Ni) | 0.5 | 0.2 | 加嚴 |
| 硒 (Se) | 0.02 | 0.02 | - |
| 釩 (V) | 10.0 | 0.1 | 加嚴 |
| 鋅 (Zn) | 2.0 | 2.0 | - |
| 鈉吸著率 (SAR) | 6.0 | 6.0 | - |
| 殘餘碳酸鈉 (RSC) | 2.5 | 2.5 | - |
| 鋁 (Al) | 5.0 | 5.0 | - |
| 砷 (As) | 1.0 | 0.05 | 加嚴 |
| 鈹 (Be) | 0.50 | 0.1 | 加嚴 |
| 硼 (B) | 0.75 | 0.75 | - |
| 鎘 (Cd) | 0.01 | 0.01 | - |
| 鉻 (總) (Cr) | 0.1 | 0.1 | - |
| 鐵 (Fe) | - | 5.0 | 新增 |

附註：
本標準各項水質單位除水溫為 °C、氫離子濃度指數為無單位、電導度為 μS/cm 25°C、鈉吸著率為 √ meq/L 及殘餘碳酸鈉為 meq/L 外，其他均為 mg/L。

案，修正草案重點包括考量我國標準之完備性及數值嚴格性均甚齊備的情況下，達到本標準之灌溉用水品質可

達一定程度的確保，加以國際間灌溉用水標準均以「Water Quality」稱之，故建議水質標準名稱修訂為「灌溉用

表 2 農業生產環境相關管制標準制定之精神與目的

| 標準與法規 | 最新修正日期 | 制定精神與目的 |
|--|-----------|---|
| 灌溉用水水質標準 (農田水利法於 109 年 10 月 1 日施行, 此標準廢止) | 92.11.07 | 為保護作物生產及土壤永續利用, 重金屬項目乃考量作物中累積經食入後可能對人體健康效應。 |
| 放流水標準 | 108.04.29 | 為管制事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施排放至環境水體中的放流水水質, 以維護生態體系, 避免妨害水體之用途, 利用水體以承受或傳運放流水者, 不得超過水體之涵容能力。 |
| 地面水體分類及水質標準 | 106.09.13 | 係依水體特質規範其適用性質及其相關環境基準, 非為限制水體之用途。 |
| 地下水污染監測標準 | 102.12.18 | 基於地下水污染預防目的, 所訂定須進行地下水污染監測之污染物濃度。 |
| 地下水污染管制標準 | 102.12.18 | 為防止地下水污染惡化, 所訂定之地下水污染管限制度為預防及整治土壤及地下水污染, 確保土地及地下水資源永續利用, 改善生活環境, 維護國民健康。 |
| 土壤污染監測標準 | 100.01.31 | 土壤污染預防目的, 所訂定須進行土壤污染監測之污染物濃度。 |
| 土壤污染管制標準 | 100.01.31 | 指為防止土壤污染惡化, 所訂定之土壤污染管限制度。 |
| 底泥品質指標 | 101.01.04 | 基於管理底泥品質之目的, 考量污染傳輸移動特性及生物有效累積性等, 所訂定分類管理或用途限制之限度。 |
| 食品中污染物質及毒素衛生標準 | 109.06.17 | 依據國人膳食習慣基於風險評估結果下之「行政處分與管理」基準, 而非「健康危害」的標準, 已預留大幅度的健康風險承受區間與評估的安全係數, 重金屬含量超標時, 需立刻採取行動, 而絕不至於影響到人體健康。 |

水品質標準」。同時為能與水污染防治法配套執行, 增加品質標準之可執行性, 故也建議品質標準與地面水體丁類水質標準一致, 大多數項目可與「保護人體健康相關環境基準」之最大容許量一致, 其他再納入對於作物生長相關之電導度、鈉吸著率、殘餘碳酸鈉等標準。

103 年研擬的修正草案重點有四, 一則考量我國公共水體與放流水中確

可觀察到不同含量銻與鎘存在, 而各管理處可能由這些水體引水灌溉, 加上農地土壤確實存在銻與鎘累積疑慮, 且根據盆栽試驗成果指出, 灌溉水中銻濃度大於 0.1 mg/L, 的確會對作物生長產生影響, 故訂定灌溉用水品質標準中銻與鎘之基準值, 可對作物生產、農民作業環境安全與土壤永續利用達到一定程度保護。在考量國內環境流布資料、現行國內外相關水質標

準和灌溉用水品質標準中所列其他金屬之物化特性的相互關係後，對照國內現行放流水標準，建議銻與鎘之基準值訂定為 0.1 mg/L；而基準值在公告 3 年後，也建議依據國內外相關試驗研究結果，再行檢討其基準值。而由於 104 年底中華映管及友達光電廢污水全回收應已發揮成效，銻與鎘污染灌溉水質的疑慮已大幅降低，故此建議方案仍需再行檢討與研議。

二來因應標準名稱修訂為「品質標準」，將現行標準中管制概念之「限值」名稱修訂為「基準值」；三則為使水質標準與國際標準接軌與一致，故檢視並重新調整各標準項目之計算與表示單位，以符合國際單位制（System of International units, SI），修正之項目包括導電度（由 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C 修正為 dS/m at 25°C）、鈉吸著率（由 $\sqrt{\text{meq}}/\text{L}$ 修正為 $\text{mmol}(+)0.5/\text{L}0.5$ ）、殘餘碳酸鈉（由 meq/L 修正為 $\text{mmol}(\pm)/\text{L}$ ）之表示單位。最後第四項重點則在水質標準中增列相關條文，以明訂公告之依據和適用範圍，並強化標準實務應用之功能，和管理處應採取配套之水質保護作為。

自 105 年始，農委會委託國立臺灣大學辦理之「農業生產環境安全之預警系統及監測技術研發」計畫中，也針對高污染潛勢圳路之農業生產環境中重金屬項目，進行灌溉水質標準修訂之檢討，參考近年土壤中重金屬

累積量達土壤監測基準之土壤可使用年限計算，和以食米中重金屬限量標準回推灌溉水中重金屬容許濃度等方式，並配合人體健康風險評估的分析結果，討論灌溉水質標準修訂的方向。若考量土壤永續利用，即使是隱患區灌溉水質中較高的重金屬含量，對於土壤使用年限無太顯著的影響；若考量人類食品安全衛生，推算灌溉水質中重金屬的容許濃度，亦均遠低於目前灌溉水質的監測濃度，故計畫成果建議，灌溉水質標準免修訂，而隱患區則建議持續加強檢測，並推動總量管制區劃定。

三、灌溉水質標準修正架構及品質項目分級管理之探討

民國 92 年公告至今的灌溉用水水質標準已行之多年，實有檢討之必要，考量農業生產環境中各相關法規標準間的競合問題，加因各管理處檢測技術之限制，雖灌溉水質標準規範 30 個項目，但常態定期執行水質檢測並累積長期本土性灌溉水質數據包含初驗與複驗共計 21 項，其中重金屬項目定常監測類別僅為銅、鉛、鎳、鋅、鎘和總鉻等 6 項。同時考量管理面（目前是否進行檢測、其他環保法規管制情形等）、影響面（對於作物、土壤與人體食品安全等影響程度）和執行面（檢測難易度和檢測成本等）等不

同面向，建議灌溉水質標準區分為管制項目、品質項目及其他（如圖 1 所示），管制項目包括 pH 值、銅、鉛、汞、鎳、鋅、砷、鎘和總鉻共 9 項目，品質項目有導電度、鈉吸著率、殘餘碳酸鈉、懸浮固體物、溶氧量、氯化物、硫酸鹽及氨氮共計 8 項，其他包括水溫、陰離子界面活性劑、油脂、鐵、錳、鈷、鋰、鉬、硒、鈇、鋁、鉍及硼共 13 項。

其中管制項目對於作物生長、土壤永續利用與人類食品安全影響較為顯著，且在一般環境水體、放流水、地下水和食品中也多有管制監測；在灌溉水質定常監測作業中，除汞與砷外，也包括在初複驗檢測項目之中。且對應環保與食品法規後，建議將這 9 項水質項目與灌溉水質標準限值，訂定為灌溉水質之管制項目限值，灌溉水或搭排戶放流水中該項目含量不可超過其訂定的範圍或濃度，違者應依據「農田水利法」相關條文執行裁罰。

品質項目主要為無機鹽類、懸浮固體與有機指標，無機鹽類主要考量保護作物生長與土壤永續利用，有機指標主要考量農業生態環境與農友作業環境的品質，這些項目對於作物與土壤的影響較為顯著，但對於食品安全與人體健康影響較為輕微，且除了溶氧量之外，均已羅列於初複驗的檢測項目之中，管理處已具備其檢測能力。主要規劃考量為灌溉水質某種程

度相似於空氣品質，即使空氣品質不佳，民眾仍需呼吸空氣，惟不同族群對於不佳的空氣具不同敏感程度，對應不同敏感族群建議採取不同程度的保護，灌溉水質在實務管理與農民引灌的作業上，也有相同的情形。

而分類於其他項目之水質對於作物、土壤、人體影響程度較低，其中僅有水溫和鐵包含於初複驗項目中，故實務上其餘 11 項並未進行監測也無歷年灌溉水質監測數據。另外如鐵、錳、鋁等金屬為地殼元素，灌溉水質中含量較高，對於農作物毒性亦低，在環境中主要考量民眾飲用的適飲性與水色等感官疑慮，和自來水場或污水廠操作實務中可能造成的管線阻塞問題，對應於灌溉水質的使用與管理的精神和目的未有直接的相關性，故建議納入其他項目，視實際需要辦理短期或密集監測，用以監控灌溉水質狀況及追蹤特定污染。

除了水質標準項目之檢討與評析外，在灌溉水質管理實務部分則參考灌溉水質標準值與美國農業部頒佈的美國農業手冊所繪製灌溉水品質分級，將灌溉水質中導電度、鈉吸著率、殘餘碳酸鈉、懸浮固體物、溶氧量、氯化物、硫酸鹽和總氮量之含量數值，對應不同濃度閾值，分別換算出不同項目之副指標值（如表 3 所示），再將 8 個副指標值加總取平均後得其品質分級之總指標值（New irrigation water

quality index, NIWQI)。而計算出之總指標值再對應表 4 所列，由於不同分級對於作物生長或土壤永續利用的影響程度有所不同，故應於不同品質分級狀況下，提供對應應採取之不同灌溉水質檢測頻率、管理作為和農藝可能處理方式等資訊，協助灌溉水質管理與農友引灌時參考應用。而相關水質項目之副指標值區分的濃度閾值和對應不同品質分級的管理作為，建議後續還可蒐集更多資料與水質監測數據等，進行估算、驗證與修正，以完備其品質分級管理機制。



圖 1 建議灌溉水質標準區分為管制項目、品質項目及其他

表 3 灌溉水質品質分級項目與對應副指標值

| 副指標值 | 現行標準限值 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|--------|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| 溶氧 (mg/L) | 3.0 | $\times \geq 7.5$ | $7.5 > \times \geq 6.5$ | $6.5 > \times \geq 5.5$ | $5.5 > \times \geq 4.5$ | $4.5 > \times \geq 3.0$ | $3.0 > \times \geq 2.0$ | $2.0 > \times \geq 1.0$ | $\times < 1.0$ |
| 導電度 (μS/cm) | 750 | $\times \leq 150$ | $150 < \times \leq 250$ | $250 < \times \leq 450$ | $450 < \times \leq 750$ | $750 < \times \leq 1300$ | $1300 < \times \leq 2250$ | $2250 < \times \leq 4000$ | $\times > 4000$ |
| 懸浮固體 (mg/L) | 100 | $\times \leq 25$ | $25 < \times \leq 40$ | $40 < \times \leq 65$ | $65 < \times \leq 100$ | $100 < \times \leq 145$ | $145 < \times \leq 200$ | $200 < \times \leq 265$ | $\times > 265$ |
| 鈉吸著率 ($\sqrt{\text{meq/L}}$) | 6.0 | $\times \leq 1.0$ | $1.0 < \times \leq 3.0$ | $3.0 < \times \leq 6.0$ | $6.0 < \times \leq 9.0$ | $9.0 < \times \leq 12.0$ | $12.0 < \times \leq 15.0$ | $15.0 < \times \leq 18.0$ | $\times > 18.0$ |
| 殘餘碳酸鈉 (meq/L) | 2.5 | $\times \leq 0.5$ | $0.5 < \times \leq 1.25$ | $1.25 < \times \leq 2.0$ | $2.0 < \times \leq 2.5$ | $2.5 < \times \leq 3.0$ | $3.0 < \times \leq 3.5$ | $3.5 < \times \leq 4.0$ | $\times > 4.0$ |
| 氯鹽 (mg/L) | 175 | $\times \leq 100$ | $100 < \times \leq 125$ | $125 < \times \leq 150$ | $150 < \times \leq 175$ | $175 < \times \leq 350$ | $350 < \times \leq 700$ | $700 < \times \leq 1050$ | $\times > 1050$ |
| 硫酸鹽 (mg/L) | 200 | $\times \leq 50$ | $50 < \times \leq 100$ | $100 < \times \leq 150$ | $150 < \times \leq 200$ | $200 < \times \leq 350$ | $350 < \times \leq 600$ | $600 < \times \leq 950$ | $\times > 950$ |
| 氨氮 (mg/L) | 3.0 | $\times \leq 0.5$ | $0.5 < \times \leq 1.0$ | $1.0 < \times \leq 2.0$ | $2.0 < \times \leq 3.0$ | $3.0 < \times \leq 5.0$ | $5.0 < \times \leq 10.0$ | $10.0 < \times \leq 20.0$ | $\times > 20.0$ |

* 加粗斜體字表示對應限值等同灌溉用水水質標準限值。

表 4 灌溉水質品質分級建議架構

| 品質分級 | 優良 | 良好 | 尚可 | 不良 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| NIWQI 指標值 | New IWQI ≤ 2.0 | 2.0 < New IWQI ≤ 4.0 | 4.0 < New IWQI ≤ 6.0 | 6.0 < New IWQI |
| 狀態色塊 | 藍 | 綠 | 黃 | 紅 |
| 對作物生長或土壤永續利用的影響 | 水質優良，僅對極少數作物或土壤可能產生影響 | 對大多數作物在一般土壤環境下長期引灌，不易產生不良影響 | 對於敏感性作物與特定土壤質地易產生不良影響 | 除非特殊情形下（如抗旱時期或暫無水源等）短暫引灌，而不適合直接長期引灌使用 |
| 可能發生情形 | 定期性監測結果 | | | 長期污染或輿情發生 |
| 檢測頻率 | 維持定期性圳路水質監測 | | 針對未達標之項目增加水質檢測頻率 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 針對未達標之項目增加水質檢測頻率 2. 可佈放樹脂膠囊，以初步篩測釐清是否具重金屬污染潛勢 |
| 內部管理作為 | 維持定期性管理作業 | | 所屬圳路之水體環境進行調查，以了解圳路水體水質特徵，並移除可能影響水質因子 | <p><u>近期督導管理：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 通知農友除非特殊情形僅短暫引灌 2. 針對圳路沿線可能污染源或搭排戶進行主動稽查取締 3. 確認影響農地區域，通知農糧與衛生主管機關 4. 圳路所轄農田水利會就該圳路水體環境影響、改善技術與經濟效益等面向進行評估，依據評估結果擬定水質改善計畫，提報農委會核定後實施 <p><u>即時機動應變：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 通知農友除非特殊情形僅短暫引灌 2. 針對圳路沿線可能污染源或搭排戶進行主動稽查取締 3. 可佈放樹脂膠囊，以初步篩測釐清是否具重金屬污染潛勢 4. 確認影響農地區域，通知農糧與衛生主管機關 5. 針對圳路下游執行後續監測與追蹤，直至水質恢復常態與穩定 |

四、評析灌溉水質導電度對於搭排戶管理之分級建議

本文蒐整相關國家（機構）訂定之灌溉水質導電度限值，並彙整相關國內外文獻，依據導電度不同限值之情況下，說明對於作物、土壤或環境可能產生之影響，分別彙整如表 5。彙整結果顯示土壤或灌溉水含有過量鹽類，對作物可能造成因滲透壓效應引

起的生長遲緩、鹽類影響作物所需養分的傳輸與吸收、限制根系發展與植物體內相關代謝途徑等情形產生。雖然灌溉水中導電度可能因引灌進農田導致土壤鹽分累積而造成作物損傷，可是，相關研究報告亦提及透過淋洗、稀釋或透過廢水處理等管理方法可降低土壤鹽化之情形產生。

以目前國外設置灌溉水之導電度限值，目前最嚴格為日本 300 μS/cm、

表 5 不同導電度範圍對於作物與農業環境影響之彙整表

| 國家(機構)或相關文獻 | 導電度(μS/cm) | 重要內容摘述 |
|--------------------|-------------|---|
| 美國農業部 | 0~250 | 灌溉水品質圖解 1. C1 (0~250 μS/cm)：鹽分含量低之灌溉水，適用於大多數之作物及土壤，不致有土壤鹽害之現象發生。 2. C2 (250~750 μS/cm)：鹽分含量中等之灌溉水，施灌時，需要相當之淋洗作用，應選種耐鹽中等之作物。 3. C3 (750~2,250 μS/cm)：鹽分含量次高之作物，施灌時，應有充分之淋洗作用，必要時，應行鹽分控制管理。 4. C4 (2,250~4,000 μS/cm)：鹽分含量高之灌溉水，一般情況時，已不適於灌溉，但在特殊環境下，勉可應用，惟所灌溉之水量必須充沛，使其能產生相當之淋洗作用，適種之作物，應選擇耐鹽性高者。 5. C5 (大於4,000 μS/cm)：鹽分含量極高之灌溉水，僅勉可用於滲透性大之土壤，並應經常淋洗及選種耐鹽性極高之作物。 |
| | 250~750 | |
| | 750~2,250 | |
| | 2,250~4,000 | |
| | >4,000 | |
| 農業工程學報 | <750 | 灌溉水質標準檢討之研究 1. 低於750 μS/cm，氮含量未達3.0 mg/L者，可安全施灌。 2. 灌溉水介於1,500~3,000 μS/cm，氮含量10~20 mg/L，宣導可能之影響，短期救急為之。 |
| | 1,500~3,000 | |
| 農委會動物防疫檢疫局 | 1,000 | 工業 / 豬廢水對水稻之危害 1. 工業廢水中之導電度值如在1,000 μS/cm以上時，可能對水稻產生鹽害。 2. 豬廢水稀釋至可供應水稻生長適當氮素營養，水稻產量反而增加20~30%。 |
| 農委會 | 1,000 | 公害污染對農作物之影響研究 稻作引灌 EC 1,000 μS/cm 之灌溉水，在降雨量淋洗與水分管理下，應不會導致土壤鹽分累積問題。 |
| 農委會 | 1,200 | 畜牧業灌溉渠道搭排水質合理性之評估研究 灌溉渠道水體對於養豬場放流水 EC 具有稀釋作用，建議灌溉用水水質標準之 EC 限值可為1,200 μS/cm，以總量管制方式限制灌排渠道周圍之養豬場放流水排放量。 |
| 張文亮 | 1,250 | 灌溉水質 1. 測定灌溉水時，若是超過1,250 μS/cm時，即表示已達水稻栽培能容忍的最大限度。 2. 灌溉水導電度在1,500 μS/cm，SAR 之限值只能有5。 |
| 農技新知節錄 | 1,600 | 鹽害對水稻生長之影響 海水50倍稀釋後之導電度約1,600 μS/cm，鹽度0.8左右，水稻稔實率會受影響。 |
| 農業水利科技研究發展90年成果討論會 | 850~1,000 | 灌溉水質重要項目標準檢討 1. 按多雨地區之淋洗需要量公式推算，土壤 EC 若維持於2,000與2,500 μS/cm左右，則灌溉水質電導度可分別容許在850至1,000 μS/cm左右。 2. 以水稻可容許的 EC 值3,000 μS/cm作為土壤 EC 值之限值，灌溉水質電導度可分別容許在1,000與1,500 μS/cm左右。 |
| | 1,000~1,500 | |
| 『農業污染』專輯 | 700~1,810 | 農田灌溉用水 – 污染物的匯聚所 1. 塑膠工業廢水一般 Na ⁺ 超越正常含量，鈉吸著率特高，產生鹼害。 2. 紙廠廢水導電度在700~1,810 μS/cm者，在水稻分蘗期以後尚能忍受，若在秧苗或發育初期，往往受害，缺株率高。 3. 食品工廠廢水導電度自800~33,000 μS/cm，在此高濃度下，根本無法栽培作物。 4. 製革工廠廢水有機物含量可高達73.3%，水稻葉色呈不正常之黑綠色，基葉部分枯黃，明顯減產；化學工業廢水含有機物1.45~2.35%，造成水稻發育不良，植株矮小，葉稍枯黃，穗短，稻穀明顯減產。 5. 金屬電鍍及機械工廠廢水，導電度很高，有達數十萬 μS/cm。 |
| | 800~33,000 | |

澳洲為 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、中國大陸為 1,500 ~ 1,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、美國德州分五級（250 ~ 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）、聯合國糧食及農業組織分三級（< 700、700 ~ 3,000、> 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ），台灣則以 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 為標準。

綜上所述，本文蒐整 106 ~ 108 年全臺各管理處進行全項複驗檢測之搭排戶放流水之檢測數據，並以現行灌溉水質導電度標準（750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）、水稻最大容忍限度之導電度（1,250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）及參照農田水利會灌溉水質監視作業規範中導電度 C3 之上限值（750 ~ 2,250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）進行分析，總計檢驗 1,203 筆，導電度累積百分比如圖 2 所示，符合灌溉用水水質標準之筆數佔總筆數之 40.32%、未符合者約佔 59.69%。另再以導電度 750、1,250 及 2,250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 進

行各管理處搭排戶放流水數據之分析，顯示導電度限值愈高之情況下，搭排戶排放水符合限值之比例愈高。

考量搭排戶放流水特性主要因行業別而有所差異，如畜牧業搭排戶之水質檢驗數據以高導電度、低鈉吸著率的類型為主，因此以灌溉水質品質圖評估分析不同產業類別之複驗檢測數據，如圖 3 及圖 4。由圖中數據分布可以了解，畜牧業放流水即使導電度數值較高時，鈉吸著率仍普遍不高，對於土壤與作物之影響程度較低，若能思考有效降低放流水中導電度之方法，或可達到品質項目管理之目的。而工業類搭排戶放流水在導電度數值高的情形下，鈉吸著率也普遍升高，且工業排放之廢污水中污染物質種類多元，甚至有目前工業單位尚難以掌

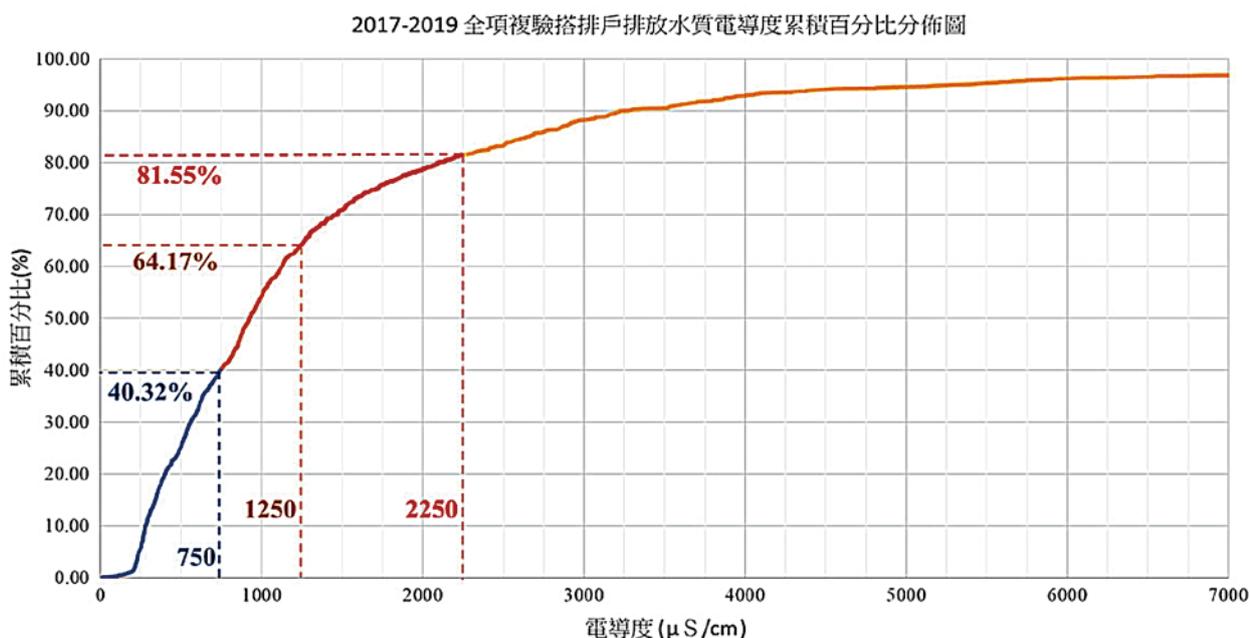
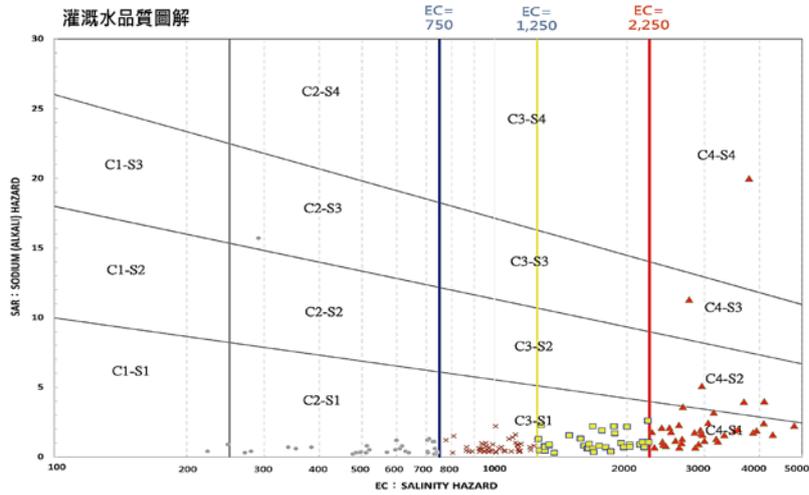
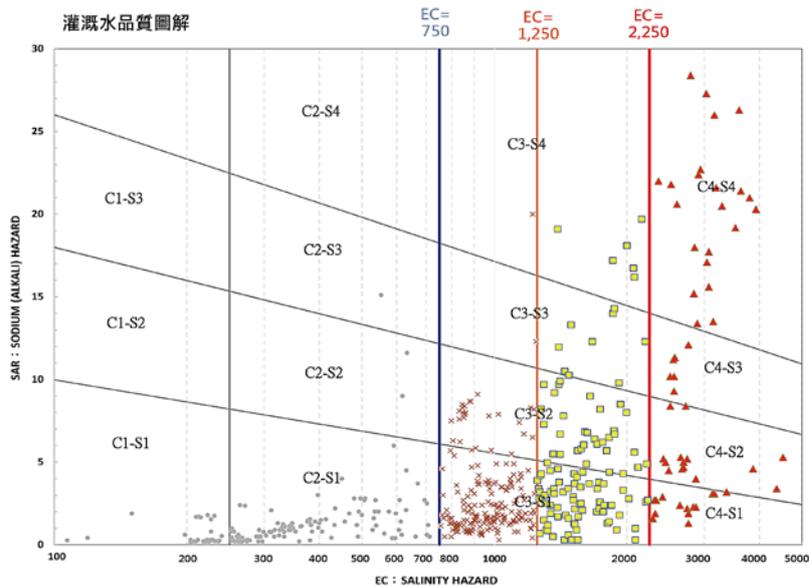


圖 2 106 ~ 108 年搭排戶放流水之複驗數據中導電度數值之累積百分比



備註：不同顏色標記代表導電度值位於不同濃度區間。

圖 3 雲林、嘉南及屏東管理處畜牧業搭排戶放流水質監測數據之灌溉水質品質圖分布情形



備註：不同顏色標記代表導電度值位於不同濃度區間。

圖 4 桃園及彰化管理處工業類搭排戶放流水質監測數據之灌溉水質品質圖分布情形

握的物種，對於土壤與作物之影響程度高出許多，仍有透過管制導電度數值來監督管理廢污水排放造成污染風險的管控需求。

五、結論與建議

本研究建議灌溉水質標準區分為管制項目、品質項目及其他項目等 3 部

分，惟品質分級使用的 8 項指標中，溶氧量尚未納入定常性的灌溉水質監測項目中，故尚缺少歷年監測數據做為評估依據，且汞、砷亦非現行灌溉水質監測的項目之一，因此灌溉水質監視作業規範、各管理處初複驗實務工作規劃、檢測頻率、相關表單，乃至是各管理處灌溉水質管理業務作業系統，均需配合重新檢視與修改。

至於導電度對於搭排戶管理之分級建議部分，建議維持導電度標準原限值，其中畜牧業搭排戶部分，若經畜牧主管機關專案認定為畜牧糞尿資源化再利用者，則建議可考量不納入導電度為管制項目；而工業搭排戶部分，其水質特性複雜且處理不易，容易造成重金屬累積與危害，影響國民食品安全健康，故建議導電度需納入管制項目，以維護灌溉用水品質。

參考文獻

- [1] 徐玉標，1985，農田灌溉用水 - 污染物的匯聚所，『農業污染』專輯，1989/05 (#233)。
- [2] 林清傑，1992，灌溉水中電導度及鈉吸著率對土壤及作物影響之研究，國立臺灣大學農業工程研究所。
- [3] 徐貴新、張尊國、徐玉標，1995，灌溉水質標準檢討之研究，農業工程學報：第 41 卷第 4 期。
- [4] 行政院農業委員會，2003，畜牧業灌溉渠道搭排水質合理性之評估研究，台灣動物科技研究所及財團法人農業工程研究中心（蘇忠楨、張大偉、黃林磁、湯司菁）。
- [5] 行政院農業委員會，2003，公害污染對農作物之影響研究，行政院農業委員會農業試驗所（陳琦玲、林正忠、石如茵、陳琳湖、張瑞明）。
- [6] 行政院農業委員會，2005，畜牧排放水土壤再利用農戶試驗計畫（II），臺灣大學農業化學研究所（陳尊賢、吳皓華）。
- [7] 徐慈鴻，2005，水污染對植物之影響，行政院農委會農業藥物毒物試驗所，台灣農家要覽（修訂三版）農作篇：553-556。
- [8] 灌溉水質重要項目標準檢討—高電導度廢水灌溉對土壤特性之影響及其標準值之檢討 -- 林正鈞、陳琦玲、朱戩良、向為民，農業水利科技研究發展 90 年成果討論會 pp.II-20，2011
- [9] 林聖淇與張尊國，2015，畜牧廢水中陰陽離子濃度組成與其導電度之關聯性探討，農業工程學報：第 61 卷第 1 期。
- [10] 行政院農業委員會，2019b，農業尚愛水（i-Water），智慧管理田水，財團法人農業工程研究中心。
- [11] Abustan, I., Hamzah, M. O. and Rashid,

- M. A. (2012). Review of permeable pavement systems in Malaysia conditions. OIDA International Journal of Sustainable Development, 4(02), 27-36.
- [12] Council for Economic Planning and Development. (2012). Adaptation Strategy to Climate Change in Taiwan.
- [13] 張文亮，臺灣大學生物環境系統工程學系，河馬教授的網站，灌溉水質，<http://hippo.bse.ntu.edu.tw/~wenlian/irr/irr-1.htm>。
- [14] 行政院農委會動物防疫檢疫局，工業 / 豬廢水對水稻之危害，林浩潭 / 鄭榮賢，植物保護圖鑑系列 <https://web.tari.gov.tw/techcd/EBOOK/%E6%B0%B4%E7%A8%BB%E4%BF%9D%E8%AD%B7/index.htm>。
- [15] 美 國 農 業 部 (UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE) ， 農 業 手 冊 # 60 (Agriculture Handbook No. 60) 。

中華水資源管理學會 會務報告

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 |
|-------------------|-----------|-----------------|--|
| 會務發展委員會 第八屆第五次 | 109.12.14 | 中工會 會議室 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成過新增團體及個人會員審查。 2. 完成 109 年度獎項評選：「卓越貢獻獎」、「傑出水資源成就獎」、「優異資深人員」、「優秀青年工程師」評選作業。 3. 完成第九屆理監事候選人審查及提名。 |
| 學術活動委員會 第八屆第六次 | 109.12.14 | 中工會 會議室 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成 109 年度優良論文獎評選。 2. 討論第九屆第一次中華水資源年會論壇議程。 |
| 財務委員會 第八屆第六次 | 109.12.23 | 秘書處 會議室 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成本會 109.12.20 收支暫結表審查。 2. 完成本會 110 年預算書審查。 |
| 理監事聯席會議 第八屆第七次 | 109.12.31 | 台電大樓 13F 會議室 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 通過新入會團體會員 2 家、永久個人會員 2 位、一般個人會員 21 位。 2. 通過本會 109 年度經費收支暫結表及資產負債表。 3. 通過本會 110 年工作計畫。 4. 通過本會 110 年經費收支預算。 5. 通過 109 年度卓越貢獻獎、傑出水資源成就獎、優異資深人員獎、優秀青年工程師獎得獎名單。 6. 通過 109 年度優良論文獎得獎名單。 |

會員人數統計（至 109 年 12 月 31 日止）

| 會員類別 | | 會員數 |
|---------------------------|----|------------|
| 團體會員 | 一般 | 28 |
| | 永久 | 32 |
| 團體會員合計 | | 60 |
| 個人會員 (經清查並刪除 無效會員後) | 一般 | 762 |
| | 永久 | 230 |
| 個人會員合計 | | 992 |

中華水資源管理學會
個人會員入會申請書

| | | | | | | |
|-----------|--|--|-------|---------------------------------|--|--|
| 會員別 | <input type="checkbox"/> 一般個人會員 | | | <input type="checkbox"/> 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 | <input type="checkbox"/> 工程 <input type="checkbox"/> 管理 <input type="checkbox"/> 法律 <input type="checkbox"/> 環境 <input type="checkbox"/> 規劃 <input type="checkbox"/> 政策 <input type="checkbox"/> 經濟 <input type="checkbox"/> 農業 <input type="checkbox"/> 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 | <input type="checkbox"/> 新申請入會(請填寫全部項目) <input type="checkbox"/> 資料更新(請填寫團體名稱及更新項目) | | | |
| 會員別 | <input type="checkbox"/> 一般團體會員 <input type="checkbox"/> 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

精進灌溉節水管理技術

-以嘉南灌區為例



智慧灌溉技術係配合水利會現行灌溉系統，利用耐候、低耗能及低傳輸費率的電控水門、電控分水箱及流量設備、智慧灌溉決策系統及行動裝置軟體，達到適量灌溉節約用水之目的。

智慧水管理 節水種好田



經濟部水利署南區水資源局

廣告



行政院農業委員會 宜蘭管理處
農田水利署

服務專線：0800-255600 <http://www.iaila.nat.gov.tw>

機關改制 服務不變

行政院於 109 年 10 月 1 日施行「農田水利法」，臺灣宜蘭農田水利會正式改制為「行政院農業委員會農田水利署宜蘭管理處」。

改制後體制更健全，有專屬的「農田水利法」可依法處理，服務不改變也不打折扣。



「幸福農村·有機田園」墨寶交接



行動水保服務網

一站查詢、單筆與批次地號查詢

土石流潛勢溪流、特定水土保持區、
山坡地範圍、查定分類等資訊查詢服務



<https://serv.swcb.gov.tw>



行政院農業委員會水土保持局

廣告

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



重大工程建設

後庄子埤制放水門改善

後庄子埤制水埤塘灌溉設施為斗六地區最重要的農用灌溉埤塘之一。因既有制放水設施老舊，中間墩柱不僅妨礙水流更成雜物淤堆之所在，有阻洪現象，造成斗六市龍潭社區排水無法宣洩，各方居民、民意代表屢屢陳情，為使取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

- 改善既有水門嚴重阻塞問題，提高排洪效率
- 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

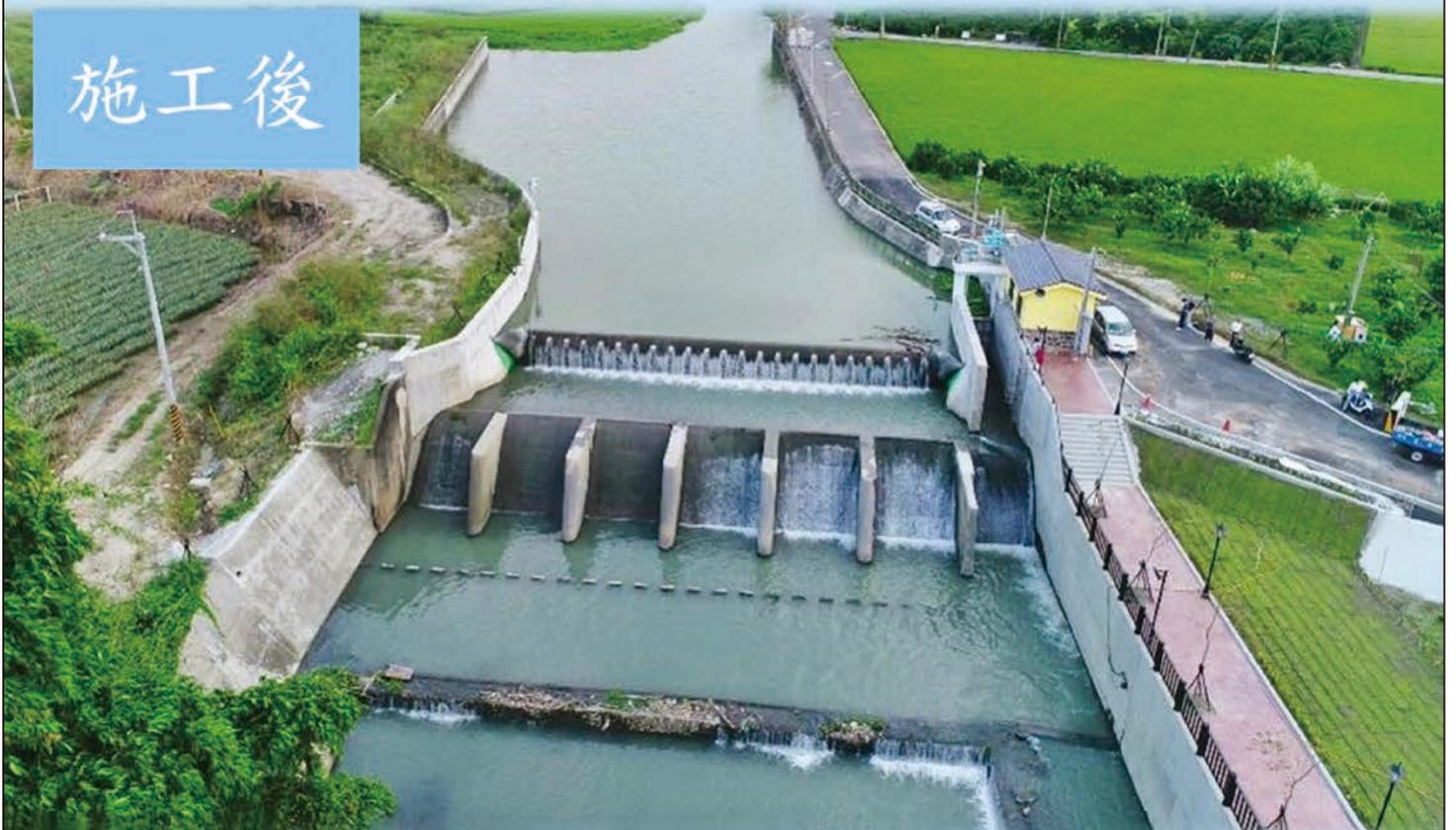


施工前



施工前

施工後





財團法人台北市
七星農田水利研究發展

【基金會】

提昇農田水利研究水準、加強國際學術交流，
積極參與農業水利生態、文化推廣宣導工作，

基金會與您共同努力! <http://www.chiseng.org.tw/>

感 謝

台灣自來水股份有限公司 行政院農業委員會水土保持局

行政院農業委員會農田水利署七星管理處 行政院農業委員會農田水利署臺中管理處

行政院農業委員會農田水利署石門管理處 行政院農業委員會農田水利署臺東管理處

行政院農業委員會農田水利署花蓮管理處 行政院農業委員會農田水利署宜蘭管理處

行政院農業委員會農田水利署苗栗管理處 行政院農業委員會農田水利署屏東管理處

行政院農業委員會農田水利署南投管理處 行政院農業委員會農田水利署桃園管理處

行政院農業委員會農田水利署雲林管理處 行政院農業委員會農田水利署嘉南管理處

行政院農業委員會農田水利署彰化管理處 行政院農業委員會農田水利署瑠公管理處

財團法人七星農業發展基金會

財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會

經濟部水利署 經濟部水利署南區水資源局 (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！