



地下水人工補注與 伏流水開發之回顧與前瞻

丁澈士／國立屏東科技大學土木工程系 教授兼水資源教育及研究中心 主任

台灣西部平原之沿海地區，為第四紀沖積平原地質結構，其組成為多層交錯之含水層與阻水層，因地下水源被大量且集中開發，未能妥善管理，導致該些平原沿海地區產生地層下陷、海水入侵及土壤鹽化等環境地質災害。實施地下水人工補注為國際推動及解決環境地質等災害最佳方法之一，透過本土可行性研究成果，乃推動台灣第一座地下水人工補注工程；因經第一期實施試營運後經由成效評估，可達緩和地層下陷目標並尚有多餘水源可供開發，乃遵循生態取水之舊工法，付以新材料與施工技術，推動輻射井工程，汲取高品質之伏流水，提供民生用水。屏東縣政府也參考國外提出「水銀行」運作的想法產生，期望透過水銀行的操作，能使大潮州人工補注湖的營運能自給自足，達到永續經營的目標；並能將「洪水資源化—利用洪水、蓄水地下、增源減洪」經驗，提供地層下陷之縣市之新思維。本文就地下水人工補注與伏流水開發二議題之案例作回顧與前瞻論述與報導。

前言

台灣四面環海，是一個海洋島嶼的國家，面積約 36,000 平方公里，位於菲律賓海板塊和歐亞板塊的聚合邊界，為一個造山作用活躍的活動構造區；在三百萬年前左右，碰撞山脈已上升成高山，規模和現在的中央山脈相當。隨著呂宋島弧持續地衝撞，山脈不斷地向西加寬、向南延伸，發展成今日的中央山脈；從而形成了東西兩側河流的自然分界線^[1]。屏東平原由三大主要河流的第四紀沖積扇地質形成。含水層包括平原北部由滲透性極佳的礫石及粗砂構成之自由含水層及滲透性較差屏東平原南部之拘限含水層；地下水源主要來自扇頂直接降雨入滲補注及三大河系間接補注。由於沿海地區地下水源超限及不當開發，導致該平原沿海地區地層下陷、土壤鹽化及海水入侵等環境地質災害^[2]。循依黃河水利委員會委員長李儀祉先生提出以溝洫洪水（即所謂地下水人工補注）為大潮州地下水人工湖補注計畫可行性規劃階段之重要參考依據^[3]。1995 年，遂由行政院核定之地層下陷防治執行方案計畫項目經費及屏東縣

政府自籌款之下，啟動屏東縣大潮州地下水人工湖補注計畫。期間經可行性研究、規劃、環境影響評估、經濟部水資源審議委員會及行政院等審議通過；隨後於 2018 年 5 月核定實施「大潮州地下水補注湖第 1 期工程實施計畫」，第 1 期計畫先開發 50 公頃並作為先驅試驗計畫，進行補注效益評估後，俾作為第 2 期 250 公頃之依據。核定經費為 14.13 億元。並經 2021 年 9 月屏東縣政府辦理大潮州地下水補注湖第 1 期計畫效益評估，成效達預定目標，目前呈報中央審議爭取預算中^[4]。茲因本計畫成效良好，除可挹注地下水源提升沿海地層下陷區地下水位外，尚有多餘水源可供開發與利用，屏東縣政府乃啟動伏流水工程規劃，藉昔日，日本水利技師利用當地地形地貌與氣候及河川水力的特性，對河床變動不定、激流河川或水流轉變極大的河川是很好的取水工法，進行二峰圳的設計，成功地引水灌溉並且提高了蔗田的產量^[4]。以今日永續及生態工程的角度來看，圳體構造雖不是雕工精細的藝術品，但卓越的土木設計技術，見證了文化資產的

科學價值^[5-10]；因此，參考二峰圳灌溉工程之百年技術，除在高屏溪右岸沿線依序開發共 6 座輻射井，穩定地汲取伏流水供應給民生及高科技工業用水；屏東縣政府也經評估後沿用此技術在林邊溪下游處，規劃以輻射井工程方式取用多餘可供開發之伏流水予以利用，目前工程正實施中。屏東縣政府更參考了國外提出「水銀行」運作的想法，期望透過水銀行的操作，能使大潮州人工補注湖的營運能自給自足，達到永續經營的目標^[11,12]。本文就地下水人工補注與伏流水開發二議題，就近些年來由經濟部水利署、台灣自來水公司、屏東縣政府之研究、規劃設計，筆者參與或收集之計畫報告作介紹報導^[11,12]。

地下水人工補注

地下水人工補注概述

昔黃河水利委員會委員長李儀祉先生（1882～1938 年），年在 27 歲時（1909 年）到德國研讀水利工程，回國後即主張溝洫洪水（即所謂蓄水地下）。在中華叢書委員會 1956 年選輯「李儀祉全輯」第 124-125 頁寫到^[3]：

利用洪水蓄水地下，洪水之由於雨，或由於山上積雪之溶，要皆能將地面上——山上或田塍——所有對於生長植物沃美之料滌盪而去，以之入於河而納於海，噫！是誠天下之至可惜者也。

洪水之時或即多雨之期，故水在此時不為人恩，而或反為人害。然天時稍旱，雖欲得此水不可有，於是河枯井竭，苗槁舟擱，國家經濟及人民生計大受損害矣，西北黃河流域，尤感其困。洪水在綏諸省，亦有為農民引起灌溉者，然面積極小，以百分計殊等於零。余於二十年前即主張以溝洫蓄洪水，惜此事今尚未能引起國人注意。最近數年則歐人亦頗注意於此問題，尤以在德國為盛，所謂蓄水於地下。

地下本為蓄水之大庫……地下蓄水之量，既亦受天時之變異，有豐有枯，救濟其失，在如何以人力增裕地下水藏之量，溝洫之制，其一端也。

吾民宜於洪水至時，未入於海之先，竭其智能以利用之，導引以灌溉西北黃土及砂土地面，用之最大也。不能立時利用者，則導而蓄之容儲地下，其在地下並非損失，而仍能繼續全部為吾民所用：(1) 地下水面高，則禾苗可以得其滋潤，

其益較之地面上灌溉尤大；(2) 地下水可以鑿井汲引以為灌溉及飲水等用；(3) 地下水滲出地面，泌而為泉，仍為人用；(4) 地下水之流入溪流者亦增加河水流量、利航、利工、利農，其利仍在。

增裕地下水藏之法，有：(1) 在泉源之處掘深槽及滲漏地層已收泉水入地，使不至隨河水流去。(2) 在山坡容易透水之處掘深槽。(3) 地面上有苔蘚，母壤及他種不透水之覆掩足以阻水之滲入地下者，除去其層。(4) 增加及擴大已有之滲水區域。五、堰堵溪流，開鑿槽向水溝以引洪水至可以容水之處。西北之黃壤，層積至厚，容水量至大，西人有以海綿比之者，固天然滲蓄水之一物也。應極人之所能以之蓄水。

因循李儀祉先生提出之地下水人工補注概念與方法之論述及考慮林邊沖積扇頂地區地質環境及水文地質分佈之特性，經科技部及經濟部水利署補助研究經費，實施可行性研究^[13-15]。經多年之現場試驗成果發表國際期刊，顯示以林邊溪河川流量之特性，汛期或洪水期之溪水導引進入高滲透性地表滯洪補注池滲漏入地層地下含水層去增裕地下水量，可達成聯合國教科文組織提倡「善用我們的地下水庫」之主張與推薦如（圖 1 和圖 2）^[16,17]。

屏東平原概述

屏東平原位於臺灣之西南端，北與阿里山山脈的南端相隔，西接嶺口丘陵地，南接臺灣海峽，東以潮州斷層與中央山脈南端大武山山脈相隔，海拔 100 公尺以下之平原地帶面積約 1,130 平方公里。本區域南北長約 60 公里，東西寬約 20 公里，地勢由東北向西南緩斜，內有高屏溪、東港溪及林邊溪流域等三大主要河川貫穿本區，最後注入臺灣海峽。

屏東平原主要在海拔 100 公尺以下之平原地帶，此區域之地面水域位於林邊溪流域，由西擴展至東港溪，南邊延伸至士文溪。林邊溪發源於東側之南大武山，西流至來義鄉大後村（此段稱為大後溪）後，約往南流動，並於來義大橋附近與由東流入之來社溪匯流而轉成西南流（此段稱為瓦魯斯溪），並於丹林大橋附近出山谷往西南流，於新埤鄉萬興附近，與東南側之力力溪匯流後，向西南流入臺灣海峽，夏季降雨量大，加上坡陡流急，河水之沖刷力大，故強勢河水夾帶大量的砂石流往平地。河流於切穿潮州斷層出谷口後，因坡度減緩、

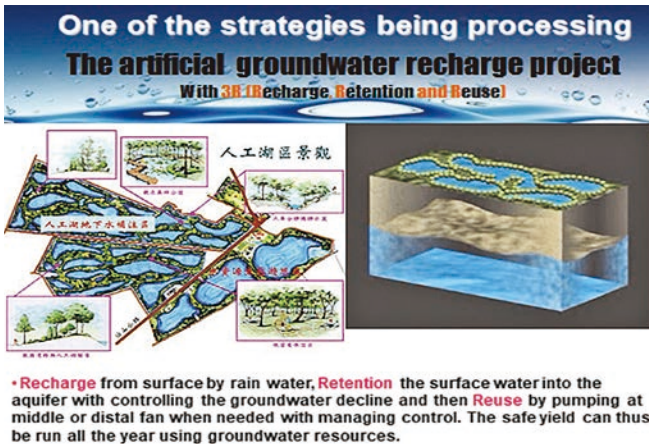


圖 1 屏東平原地下水補注與地下水庫示意圖
(資料來源：屏東縣政府，2021 [1])

流量分散，河水漸無攜帶負荷物，於潮州斷層崖下往沖積扇扇端或兩側依粒徑大小而漸次堆積，越靠近谷口堆積的粒徑越大。河川出谷後流路不穩，常有改道、分歧的情況；而多次的河道擺動後，孕育出林邊溪沖積扇地形。林邊溪沖積扇扇頂高度約 100 公尺，扇端高度約 20 公尺，扇徑約 9 公里，扇面則有台糖公司之萬隆農場、林後農場、南岸農場及泗林等農場 (圖 3) [2]。

地下水人工補注原理及案例

地下水人工補注定義：在有規劃之條件下將地面水導入在地表之入滲補注設施，藉由天然重力或加壓，進入地下含水層 (即地下水庫)，在天然補注時不足，足夠提供超過平常之安全出水量。地下水人工補注必要條件：(1) 合適的水文地質：考量含水層組成結構、沈積環境、地層水文地質特性、大氣降水、地面水與地下水三者之關聯性。地下水人工補注含水層的厚度，一般以 30 至 60 公尺為補注效果較佳，含水層產狀最好平緩且分佈廣泛，且以透水性中等之各類砂質地層或具裂隙岩層高透水性岩層最好；(2) 補注地區充裕之補注水源：在多數情況下可利用天然狀態或經過人工調節處理過的地面水以獲得補注地區較佳之補注水源，也可以利用匯集的雨水或臨時性的地面水或經過處理之回收水 (符合補注水質標準) 以獲得補注水源 [18]。

大潮州地下水人工補注湖計畫簡介

大潮州地下水補注湖計畫，緣起於林邊溪下游地區地下水超抽及上游土地利用開發，導致地下水補注不足，造成地層下陷及海水入侵地下水含水層；下陷

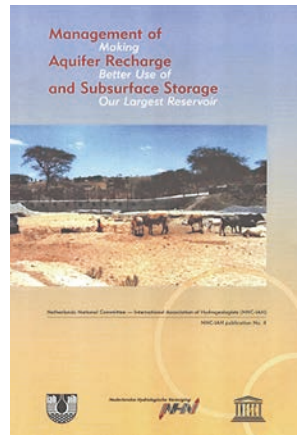


圖 2 善用我們的地下水庫
(資料來源：<http://documents.worldbank.org>)

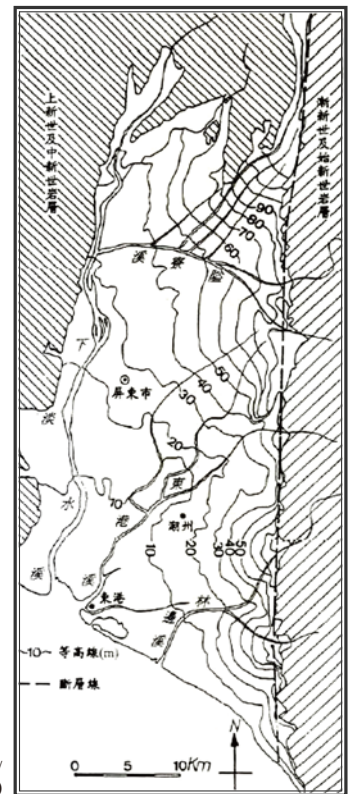


圖 3 屏東平原沖積扇
(資料來源：<http://pc183.hy.ntu.edu.tw/gwater/d1.php> [2])

區雨季排水不良，海水倒灌，影響生活品質及生命財產安全，耗費大量資源投注於各種排水防洪設施；地下水質由於補注量不足及其他因素，淺層地下水水質有惡化傾向。緣此，屏東縣政府於 1999 年間在經濟部水利署前身之經濟部水資源局補助經費支援下，委託國立屏東科技大學執行「推動屏東縣地層下陷防治工作執行計畫」及「屏東平原設置人工湖可行性評估計畫」。在委託計畫結論建議行動方案中，以人工湖規劃設置列為第一優先，建議利用林邊溪上游之台糖公司現有名為萬隆農場，於 300 公頃農場設置人工湖區補注地下水。依據該行動方案建議，屏東縣政府再於 2003 年 5 月委託中鼎工程股份有限公司規劃「林邊溪上游人工湖設置工程計畫」，業已由完成之相關可行性規劃及環評作業，藉此地下水補注工程計畫達到國土復育、分洪、疏洪及滯洪之功能 [14]。以執行近十年試驗，並取得諸多具體成果，成為推動本計畫之基礎。

行政院於 2005 年 1 月通過「國土復育策略方案暨行動計畫」及 5 月通過「國土復育條例 (草案)」。2008 年 5 月行政院核定同意屏東縣政府為開發執行單位，在「國土復育策略方案暨行動計畫」上位計畫之指導原則之下，以目前所知全台灣最佳地下水補注區域之一，積極推動規劃建置地下水人工補注湖，並

結合地層下陷地區復育計畫，以尊重及順應自然之生態新思維，推動此一以攔截暴雨期之洪水，經沉澱後以人工湖補注地下水之國土復育與保育計畫，以減緩地層下陷速率與水患頻率，並有效增加地面水之蓄存率，利用自然的涵容力量轉而成為地下水庫進行復育與有計畫開發水資源。本計畫原規劃為一次完成，為顧及台灣未曾有過地下水人工補注工程之經驗和成效與安全等因素考量，乃分二期實施。第1期計畫先開發50公頃並作為先驅試驗計畫，進行補注效益評估後，俾作為第2期250公頃之依據。原核定總經費新台幣為18.93億元。2009年莫拉克颱風後修正為14.13億元。計畫效益分別為：(1) 地下水補注及水資源涵養效益（預估年補注1.5億立方公尺，補注10年後，可提供6,000萬立方公尺的水源）；(2) 地層下陷防治效益（預估持續補注10年後與地下水開發利用管理下，地下水位可提升5公尺）；(3) 林邊溪分洪、滯洪減災效益（分洪116CMS，350萬立方公尺）；(4) 改善沿海地區地下水鹽化現象；(5) 景觀美質與週邊土地價值提升。

屏東縣政府為因應環境氣候變遷，以攔截林邊溪暴雨期的地面水蓄存於其沖積扇頂區的地下含水層，並透過地下水的流動機制，補注涵養屏東地區的地下水，俾使沿海低窪地區減少水患襲擊，進而達到防洪減災、復育地層下陷區甚至摒退海水入侵的功能。為達上

述之目標，乃設置國內第一座多功能人工補注湖—大潮州地下水人工補注湖，在豐水期時攔截多餘的地面水，挹注入地下含水層，延長其在陸地停留的時間，其補注水或長期瀦蓄在下游含水層中、改善地層下陷區的地下水位，或者於下游出滲林邊溪或東港溪地面水體，成為穩定河川基流量和改善河川水質水源；如若水量充沛，亦可評估開發多餘水資源，作為公共給水用途。「大潮州地下水補注湖第1期工程實施計畫」於2013年3月日動工，第1期工程已全部完成並持續營運。

大潮州補注湖以防洪減災、地面水/地下水資源聯合運用為目標，規劃完成補注湖第1、2期計畫工程後的補注量為每年1.5億立方公尺，係基於取水工最大引水量 $116\text{ m}^3/\text{sec}$ 、補注湖區入滲率 10 m/day 作為設計依準。為確保計畫能達到預期補注效益，已2018年底全部完成之第1期工程計畫並進行營運項目，包含：取水工程、輸水工程、調節池、第1沉澱池、第2沉澱池，監控中心、以及相關之監測系統等，希冀達成預期之補注量體（圖4）。

第1期工程計畫由2018年至2021年6月之補注操作推估顯示，3.5年之引水工引水量約3.43億立方公尺；湖區2座沉澱池補注水量每年平均約4,657萬立方公尺，3.5年累積補注量達1.6659億立方公尺。另屏東地區豐水期補注期間比同期補注前之地下水位抬升顯



圖4 大潮州人工湖第一期計畫執行成果

（資料來源：屏東縣政府，2021^[1]）

著。本計畫以美國 USGS 所發展之三維地下水流模擬 MODFLOW 模式結合二維河流演算套件 SFR 模組建構大潮州補注水量模擬模式；並採用地下水歷線分析法進行屏東平原地下水區之水平衡分析。同時導入頻譜分析法，將原時間域的地下水位觀測資料進一步轉換至頻率域進行訊號分析，以辨識所造成的補注效益。大潮州補注湖區近年之平均年補注量為 4,657 萬立方公尺，持續補注 5 年後含水層系統逐漸趨於穩定；有效地在林邊溪沖積扇扇頂區域形成一個補注水丘，扇頂區域的地下水全面抬升至少 3 公尺，扇央的地下水位抬升約 0.1 ~ 2 公尺左右，扇尾則水位變化較不明顯，10 公分的水位抬升範圍擴大了一些，約距離補注湖區有 22 公里，扇尾部分區域有 10 公分左右的抬升，但影響較小，依此推斷在固定的補注條件下，水資源系統漸趨於穩定，整體含水層涵養增加，水力梯度增大。在持續 5 年補注的成效方面，年補注量約有 2,780 萬立方公尺（比例 59.7%）進入了第 1 含水層中，涵養了地下水資源，亦有 112 萬立方公尺、42 萬立方公尺、19 萬立方公尺的補注量分別進入到第 2、第 3-1、第 3-2 含水層，深層補注量隨時間增長而增加，年補注量共有 63.4% 進入含水層中，同時有 33 萬立方公尺的量體變成邊界出流量，一樣對於減緩海水入侵起了部份成效。最後剩下的 1,671 萬立方公尺（比例 35.9%）的補注量是經由河川出滲，又再度回到了河川當中；此河川出滲量中，林邊溪與東港溪所佔的比例約為 84% 與 16%。

水位站的水位頻譜分析的結果與模式模擬結果及

水位觀測亦相吻合，扇頂扇央及扇尾區的水位升高趨勢一致，並且發現補注前後頻譜圖上出現一個明顯的 0.17 (1/day) 的水位震盪訊號，此可視為大潮州補注湖特定的補注頻率。最後，利用模式模擬計算補注事件所造成的補注效益結果，同樣吻合了實際水位的觀測結果，亦即除了自然補注造成豐枯水期的水位消長外，大潮州補注湖確實透過人為的補注操作有效抬高扇頂區的水位超過 3 公尺以上。

此外在抽補操作的模擬上，以「屏東縣轄內伏流水調查計畫」所規劃之林邊溪昌隆及建功伏流水取水方案做為取水地點之模擬，取水量分別為 4.2 萬及 5.8 萬 CMD（立方公尺/日），此抽補操作模擬取 10 萬 CMD 伏流水後，其水文量差異為含水層蓄存比例由總補注量之 63.4 % 增加到 66.8%，出滲河川比例由 35.9% 降為 32.7%；顯現取水後效益比單純補注更加提升；且可供應 10 萬 CMD 水源作為公共用水。

第 2 期先期計畫先行配置 1 池沉澱池以及補注湖 2 座。主要考量：沿山公路以北區域均設置補注湖，以南區域因目前僅設第 1 沉澱池，故再設 1 座沉澱池，以利該下游區補注湖確保水質濁度之降低，且輸水路可不再穿越沿山公路（圖 5）^[1]。

伏流水工程

根據既有文獻記載，最早有「伏流水」之名詞為中國北魏晚期酈道元的經典名著「水經注」，在該書「卷四河水」裡有這樣的記載「… 其水重源又發，南

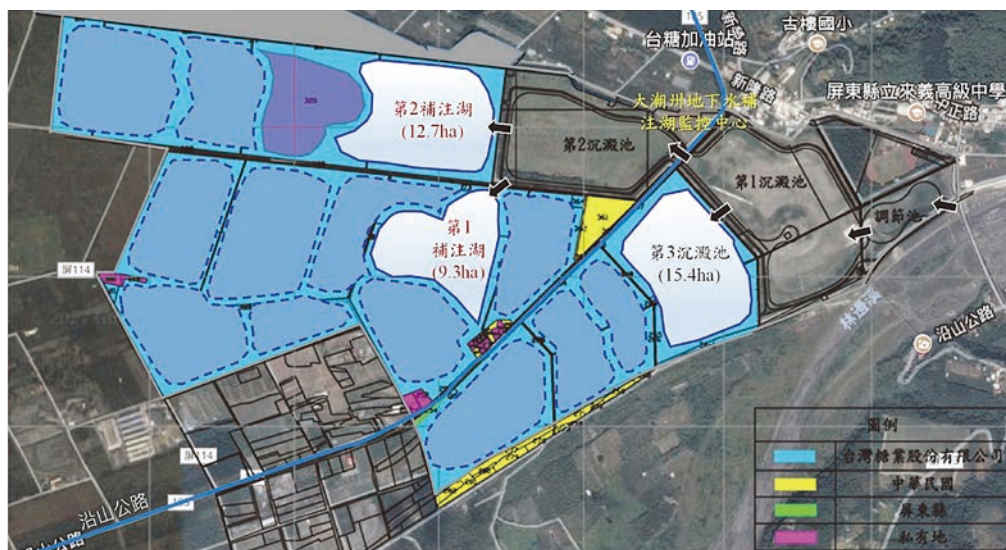


圖 5 屏東縣大潮州地下水人工補注湖第二期規劃內容

（資料來源：屏東縣政府，2021^[1]）

至西馬頭山，東截坡下，又伏流南十餘里復出，又謂之伏流水，南入於河。…」，可見該伏流水之定義較為廣泛，即不只為河床甚或河岸旁之逕流水源，若水源潛入地表下復伏流出形成逕流者，均可謂之伏流水。

開發伏流水之法源，根據 2017 年 9 月 8 日修正之《水利法施行細則》第二條定義：「水利法所稱地面水，指流動或停滯於地面上之水；地下水，指流動或停滯於地面以下之水。但水道內河床下非飽和層內之伏流水屬地面水」。

爰上述《水利法施行細則》第二條並無「伏流水」之定義，水利法對水源之定義僅有地面水及地下水 2 種，並提及水道內河床下非飽和層內之伏流水屬地面水。而經濟部乃於 2017 年 9 月 8 日以經授水字第 10620210890 號令頒布『設置寬口井、輻射井、水平式集水管或集水廊道等集水設施所取用水道內之水體，視為取用「水利法施行細則」第二條所稱之伏流水』，故可知伏流水水權登記屬於地面水為之，若於該地面水屬中央管河川，則開發伏流水源時需依規定向涉及中央管之河川區域申請水權及水利事業之興辦。

此外，《環境影響評估法》之「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第 13 條規定：抽、引取伏流水（及地面水），其抽、引取水量 2 cms（17.28 萬 CMD）以上需實施環境影響評估^[1]。

由於臺灣的河川特性大多屬於山高流短，水源儲存不易，而河床下的伏流水則因於地面下砂礫地層內流動較為緩慢，因此極具有開發的潛能。截取伏流水，不但可獲取可觀的水源量外，因所取用之水源位於河床下經砂礫石的過濾，故為名符其實的礦泉水。昔有早在日治時期 1923 年（大正 12 年）於屏東林邊溪上游，完成二峰圳地下堰堤構築，截取河床下伏流水開發技術，並已歷經近百餘年，直至今日尚流水潺潺，供應各標的用水源之所需，此水源之開發，可謂獨具匠心。當年日本水利技師利用設置地下堰堤來汲取伏流水，不僅解決了屏東旱季缺水導致農作物乾枯的問題，利用自然環境與水的性質所使用的地下堰堤永續工法，至今二峰圳的水流仍源源不絕。卓越的灌溉技術深具工程之科學意義。因此，伏流水的開發技術不啻為水資源開發及利用之舊技術亦是現今之新思維。二峰圳是座非常特別的灌溉水圳，由於特殊的構造形式及取水的方式，因此能夠汲取河床下的伏流水，用來灌溉水圳下游的農場作物。二峰圳是由日本水利技師鳥居信平所設計，並以臺灣製糖株

式會社社長山本悌二郎的雅號山本二峰，命名為二峰圳。這座水圳是日治時期臺灣製糖株式會社為了灌溉設於屏東的萬隆農場用以輪作種植甘蔗與稻田。當時萬隆農場尚未開墾前，均為粗礫石遍布的不毛之地，為了讓土地能夠有充足的水源以種植甘蔗，因此在林邊溪上游河床之下構築了一座地下堰堤。這地下堰堤能汲取河床下的伏流水，供應當時蔗田與稻田灌溉之所需。所謂伏流水，是指河川及湖泊底部或側部砂礫層中所含的地下水稱之為伏流水（interflow water）。當時日本水利技師利用地下堰堤的工程，截取滲透至溪床底層的伏流水源，透過當地的地形及地貌佈設水利設施的導出輸送，灌溉數千甲的荒蕪石礫地種植甘蔗園。其中二峰圳的灌溉，讓甘蔗產量成長了 2.2 倍。在 1936 年（昭和 11 年）日本農學會為獎勵利用伏流水開拓荒蕪地的貢獻，頒發日本農學獎給鳥居信平^[19]。

因為卓越的科學價值，經筆者提報屏東縣政府於 2008 年依據《文化資產保存法》將二峰圳登錄為文化資產中「文化景觀」這個項目保存。爾後臺糖公司將登錄文化資產的圳體範圍移交屏東縣政府。所謂「文化資產」，是指經由臺灣所制定的《文化資產保存法》指定或登錄，具有歷史、藝術、科學等文化價值之資產。水圳是一種土木類型的文化遺產，就文化遺產的價值而言，土木類型的文化遺產在藝術方面的價值不高，但卻展現了高度的科學價值。所謂文化資產的藝術價值，是指文化資產本身即是傑出的藝術成就，或是包含有經典的藝術作品。而具有科學價值的文化資產，是人類過去長期累積之研究與技術的見證，具有社群學術與技術發展的證據。日本人利用當地地形地貌與氣候及河川水力的特色進行二峰圳的設計，成功地引水灌溉並且提高了蔗田的產量。以今日永續及生態工程的角度來看，圳體構造雖不是雕工精細的藝術品，但卓越的土木設計技術，見證了文化資產的科學價值，水圳設計的知識更值得後世學習。前人所累積的智慧與文化，成為了今日解決水資源問題的珍貴技術。這些前人的技術，是現代科學再度向前邁進的重要資產。

目前台灣伏流水工程今昔介紹

1. 伏流水一般較常用之開發技術為水平式集水管、集水廊道、輻射井以及寬口井等工法，表 1 為國內主要伏流水取水技術設施及案例^[1,19]。由表中可知，以集水廊道 / 水平式集水管及輻射井工法之

表 1 國內主要伏流水取水設施案例表 (資料來源：屏東縣政府，2021^[1])

型式	取水站名稱	位置	集水斷面與尺寸	設計出水量 (CMD)	出水現況 (CMD)	完工日期
集水廊道	二峰圳	林邊溪上游 (屏東縣)	梯形堰堤總長 328 m、半圓形集水暗渠長 450 m、導水隧道 582 m、壓力暗渠 273 m、明渠 2,434 m	25 萬 (豐) 7.5 萬 (枯)	豐枯水期約 15 萬及 6 萬 CMD	1923 年
	力里溪水圳 (又稱南和圳)	力力溪上游 (屏東縣)	梯形地下堰堤總長 145 m、集水暗渠長 1,517 m、上游 U 形段長 454 m、上游 PVC 管 ϕ 600 mm	14 萬 (豐) 4.8 萬 (枯)	10 萬 (豐) 4.8 萬 (枯)	1925 年
	茨頭厝圳	大湖口溪 (雲林縣)	立式集水井 3 座，水平輸水管 70 m	3.5 萬 CMD	1.5 萬 CMD	1937 年
	金同春圳	大礁溪 (宜蘭縣)	梯形堰堤 257 m、馬蹄形堰堤 100 m	6.5 萬 CMD	已廢棄	1932 年
集水暗管	興田伏流水	高屏溪 (高雄市)	鋼骨繞線式集水管， ϕ 1,000 mm，長 40 m (試驗模場)	1 萬 CMD	0.7 萬 (豐) 0.6 萬 (枯)	2014 年
	高屏堰上游	高屏溪 (高雄市)	鋼骨繞線式集水管， ϕ 1,200 mm，長 500 m	5 萬 CMD	5 萬 CMD (備援時啟動)	2018 年
	溪浦伏流水	高屏溪 (高雄市)	鋼骨繞線式集水管， ϕ 1,200 mm，長 1,600 m	15 萬 CMD	運轉中	2019 年
	大泉伏流水	高屏溪 (高雄市)	鋼骨繞線式集水管， ϕ 1,200 mm，長 1,600 m	15 萬 CMD	尚未運轉	尚未完工
	竹寮取水站	高屏溪 (高雄市)	鋼骨繞線式集水管， ϕ 1,200 mm，長約 1,262 m	10 萬 CMD	10 萬 CMD	2015 年
	翁公園取水站	高屏溪 (高雄市)	鋼骨繞線式集水管， ϕ 1,200 mm，長約 1,010 m	10 萬 CMD	5 萬 CMD (備援時啟動)	2015 年
	利嘉溪伏流水	利嘉溪 (台東縣)	鋼骨繞線式集水管長約 324 m， ϕ 1,200 mm	3-4 萬 CMD	尚未實施	已設計
	九曲堂取水站	高屏溪 (高雄市)	ϕ 1,650 mm \times 1,506 m、 ϕ 1,650 mm \times 1,671 m、集水暗渠 \times 1,872 m (共 3 條集水管)	35 萬 CMD	8 萬 (豐)、 2~6 萬 (枯) (備援時啟動)	1984 年
	會結取水站	高屏溪 (高雄市)	ϕ 1,500 mm \times 1,000 m \times 2 條	13.5 萬 CMD	10 萬 (豐)、 5 萬 (枯) (備援時啟動)	1984 年
	昭明取水站	高屏溪 (高雄市)	ϕ 1,650 mm \times 1,136 m； ϕ 1,650 mm \times 1,045 m	15 萬 CMD	已停止運轉	1985 年
	林園取水站	高屏溪 (高雄市)	ϕ 1,500 mm \times 670 m； ϕ 1,650 mm \times 845 m	8.5 萬 CMD	鹽化，無取水	1985 年
	羅東堰	羅東溪 (宜蘭縣)	HDPE 管直徑 1 m，長約 110 m，共 8 支繞線式不銹鋼管直徑 0.4 m、長度 45 m，共 14 支	20 萬 CMD	現況伏流水出水功能不如預期	2004 年
輻射井	興田伏流水	高屏溪 (高雄市)	輻射管 8 支 (兩層)、 ϕ 200~300 mm；管長共 180 m (模場)	1 萬 CMD	1 萬 CMD (備援時啟動)	2014 年
	高屏堰上游	高屏溪 (高雄市)	2 座；每座輻射井 2 層 5 支 @50 m， ϕ 300 mm (輻射集水管總計長 1,000 m)	5 萬 CMD	5 萬 CMD (備援時啟動)	2018 年
	大泉營區	高屏溪 (高雄市)	輻射管 ϕ 800 mm \times 80 m \times 2 支，井深 24 m	0.3 萬 CMD	0.3 萬 CMD	
	六龜	荖濃溪 (高雄市)	不銹鋼繞線式集水管 ϕ 800 mm \times 36 m；400 mm \times 24 m HDPE 管 \times ϕ 200 mm \times 36 m 及 24 m	0.3 萬 CMD	0.17 萬 CMD	2010 年
	萬年溪	番仔寮溪	輻射管 ϕ 50 mm \times 18 m \times 32 支	1 萬 CMD	民眾抗爭，未營運	
寬口井	觸口淨水場	濁水溪 (雲林縣)	直徑 3 m 寬口井 (豎井) 3 座 (井深 10 m) \times 1 口	3 萬 CMD		
	甲仙淨水場	旗山溪 (高雄市)	直徑 2 m 寬口井 (豎井) 1 座 (井深 7.5) \times 1 口		0.15 萬 CMD	
	寶來溪淨水場	寶來溪 (高雄市)	直徑 1.6 m 寬口井 (豎井) 2 座 (井深 10 m)	0.12 萬 CMD	0.087 萬 CMD	2010 年
	濁水溪伏流水	濁水溪 (雲林縣林內鄉)	寬口井 (直徑 12 m 及深度約 15 m) 3 座、 ϕ 1,000 mm U2 推進管管長度約 800 m、大型集水井 (直徑 12 m 及深度約 15 m) 1 座	1 至 3 萬 CMD	興建中	

案例較多，且能集取較大之伏流量。國內所建置之伏流水集水工程歷史已久遠，如早期所開發之伏流水工程，如：二峰圳（1923年）、力里溪圳（或稱南和圳；1925年）、金同春圳（1932年）、崁頭厝圳（1937年），以及高屏溪沿岸於1970～1980年代設置之九曲堂、會結、昭明及林園等取水站。圖6為國內早期所設置伏流水集水設施之現勘照片。依據伏流水集水特色與相關既有設施，其取水之特性茲摘述如下：

- (1) 以梯型集水廊道與圓形集水管為主要取水型式。
- (2) 集水管斷面一般介於 $\phi 500\text{ mm} \sim \phi 1650\text{ mm}$ 管渠或其相當之等效斷面。
- (3) 材質為混凝土濾水管渠或不銹鋼鋼骨繞線式集水管。

- (4) 集水長度視需水量而定，一般介於 $350\text{ m} \sim 2,000\text{ m}$ 。
- (5) 埋設深度一般介於河床下 $5 \sim 12\text{ m}$ ，施工方式以明挖進行。
- (6) 豐枯水期出水量明顯有差異，集水量因設施之不同，約介於 $3.5\text{ 萬} \sim 25\text{ 萬 CMD}$ 之間。

2. 以下即針對水平式集水管、集水廊道及輻射井等工法說明之。

(1) 水平式集水管

台灣自來水公司於2015年、2016年與2019年各分別於高屏溪主流之竹寮、翁公園以及大泉、溪埔等取水站各設置1座伏流水集水管工程，取水量竹寮站與翁公園站各為10萬CMD（1.15



圖6 國內早期所設置之伏流水集水設施現勘照片
 (資料來源：屏東縣政府，2021^[11])

cms)，完工後試水性能極佳，大泉及溪埔站則各為 15 萬 CMD (1.74 cms)，而台水公司已設計之台東縣利嘉溪伏流水工程亦屬於集水管工程（預估取水量為 3 ~ 4 萬 CMD；惟該計畫目前尚未實施）。以下即針對竹寮取水站計畫與利嘉溪伏流水之設計簡介之。

(2) 竹寮取水站伏流水工程

竹寮集水管工程主要係埋設 ϕ 1,200 mm 鋼骨繞線式集水管、集水管長度 1,262 m、埋設深度平均 9.5 m。該計畫已於 2015 年 1 月 12 日取用迄今，集水水質排除初期抽水幫浦試車及水量調整擾動外，其濁度均小於 10NTU。續對照同年 5 月 25 日梅雨鋒面來襲，高屏溪水質濁度飆高 25,000NTU 期間，當日竹寮集水管集水量達 14 萬 CMD，其水質濁度僅約為 25NTU，顯見本設施工程於降低原水濁度極具成效。竹寮集水管施工照片詳見圖 7。

此外，根據 2015 年 1 月 ~ 2019 年 5 月期間竹寮取水站之伏流水取水紀錄資料彙整（詳見表 2）。由表中可知，2015 年及 2017 年豐水期平均取水量比枯水期高，惟 2016 年及 2018 年並未有此情況（2016 年豐水期略高於枯水期、2018 年豐水

期略低於枯水期）；另以單日最大出水量而言，除 2018 年豐水期（2018/06 ~ 2018/11）及 2019 年枯水期（2018/12 ~ 2019/05）較低外，其他年份不管是豐、枯水期單日最大出水均能於 10 萬 CMD 以上；另由此歷年（4 ~ 5 年）來看，集水管取水工程單日最大出水量有略微降低之趨勢，惟出水性能尚能於 7.5 萬 ~ 8.4 萬 CMD 以上。上述之取水量經對照氣象局高雄測候站之雨量紀錄分析，並無對應之關係（亦即豐枯水期與取水量並無對應關係）。

表 2 竹寮取水站每半年期伏流水之取水概況表

取水運轉期間	伏流水取水量 (CMD)			降雨量 (mm)	備註
	平均	單日最大	單日最小		
2015/01 ~ 2015/05	53,449	137,000	10,584	352	枯水期
2015/06 ~ 2015/11	80,531	123,000	26,000	965	豐水期
2015/12 ~ 2016/05	63,745	125,664	25,000	591	枯水期
2016/06 ~ 2016/11	64,849	124,440	26,928	2,540	豐水期
2016/12 ~ 2017/05	49,292	119,496	21,300	247	枯水期
2017/06 ~ 2017/11	97,371	128,736	27,552	878	豐水期
2017/12 ~ 2018/05	56,824	102,192	25,368	154	枯水期
2018/06 ~ 2018/11	49,712	74,904	24,096	2,915	豐水期
2018/12 ~ 2019/05	48,835	84,288	22,392	319	枯水期

註：降雨量係氣象局高雄測候站。
原始數據來源：台灣自來水公司南區工程處，2020 [20]。



圖 7 竹寮取水站伏流水開發之集水管施工照片圖
(資料來源：台灣自來水公司南區工程處，2020 [20])

由於上述竹寮取水站伏流水取水係為高雄地區備援系統，故以上數據分析亦應考量該取水站之豐枯水期與豐枯水年之備援取水目標。故上述之分析仍難以研判集水管是否受淤塞使導致出水效能降低之結論，並仍應持續觀測後續之出水紀錄正常與否及定期檢視集水管狀況。

3. 利嘉溪伏流水工程

根據台水公司「台東利嘉溪取用伏流水工程—初步設計報告，(2017年4月)」資料顯示，該伏流水開發場址河床高程約為 El.178 m ~ El.184 m 之間，擬於河床下埋設平行溪流之一條外徑 ϕ 1,200 mm 骨架繞線式集水管（不銹鋼材質）、長度 324 m 集水，並設置一條長內徑 ϕ 706 mm（外徑 ϕ 800 mm）HDPE 導水管（長約 540 m），銜接既設之 ϕ 600 mm 導水管，再以重力式流入利嘉淨水場；主要係為因應汛期利嘉溪原水濁度暴增，導致淨水場無法出水之困境，預計集取經河床砂礫初步過濾之潔淨低濁度伏流水，取水量為 3 ~ 4 萬 CMD，以維持台東市之供水穩定；惟本計畫因民眾反對，目前並未實施。

集水廊道

國內最著名、也最具歷史、目前亦尚在運轉中之集水廊道伏流水工程非屏東縣來義鄉林邊溪二峰圳集水工程莫屬；該工程設計係以呈 1.82 m \times 1.82 m 直角

三角形之集水斷面堰堤型式（以廊道匯集輸送水源），滲水面外鋪設濾層後再以原地礫石地層回填，堤頂開設直徑 0.42 m 之進水孔多處，估算其迎水面之開孔面積比率約為 19%，總進水廊道長約 328 m（現在河床寬僅約 180 m），由左岸至右岸以 1/100 坡度配置，堰堤底部埋設於河床下約 2.7 m ~ 9.1 m 不等。該工程係以明挖方式施工。1923 年完工 4 年後再沿河床上游縱向增設一條長 455 m、縱坡 1/100 的半圓形集水暗渠，二峰圳集水廊道平面佈置詳見圖 8、設計堰體結構則詳見圖 9。

根據蒐集台糖公司所記錄之二峰圳歷年（1942 ~ 2000 年）出水量平均約為 3,000 萬立方公尺 / 年，出水量最少為 1,000 萬立方公尺 / 年，最大 5,200 萬立方公尺 / 年。出水量多寡除受豐枯水季、豐枯水年氣象條件影響外，河床變動、取水設施維修程度等亦為重要的影響因素。該取水圳建造完成後之豐水期出水量約為 25 萬 CMD，枯水期約為 7.5 萬 CMD。

輻射井

輻射井（collector wells；或稱 Ranney wells）早在 1930 年代即於英國與美國應用於伏流水開發，最著名者為美國 Ranney 公司所負責於美國肯塔基州路易斯威爾（Louisville）水廠的伏流水第二期工程計畫，該計畫預計分 3 期（Phases）建設輻射井，以伏流水源取代取



圖 8 二峰圳集水廊道平面佈置圖

（資料來源：屏東縣政府，2021^[1]）

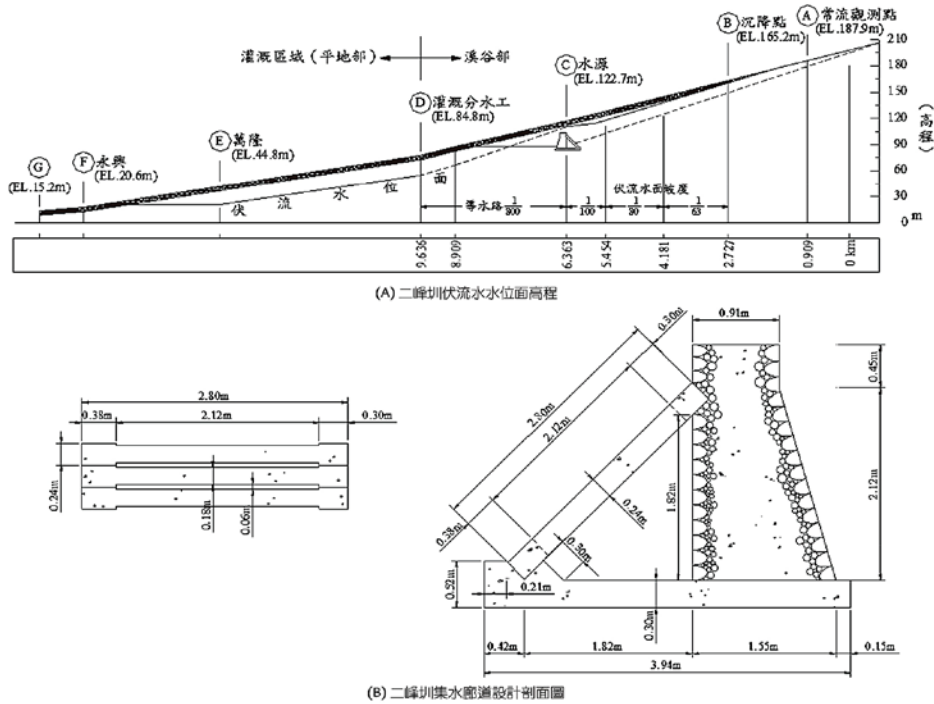


圖 9 二峰圳取水堰體結構圖
(資料來源：屏東縣政府，2021^[11])

自 Ohio 河的地面水，以滿足總取水量約 90 萬 CMD，並改善水質。其中第 2 期工程（出水 25 萬 CMD）係於砂礫含水層內設置 4 口輻射井集水；每口 8 支濾水管（繞線式不銹鋼材質），長 70 m、直徑 ϕ 300 mm，並於含水層下方岩盤設置直徑 3 m（10ft）之大型隧道式輸水管，該工程已於 2010 年完工，並榮獲美國土木工程協會「2011 年度傑出土木工程成就獎」。

國內於高屏溪上游（水利署南區水資源局，2018 年）亦設置 2 座輻射井工程；每座輻射井 2 層 5 支 @50 m， ϕ 300 mm（輻射集水管總計長 1,000 m），總出水量 5 萬 CMD，亦於營運中。

伏流水適合開發類型分析

一般而言，伏流適合取水地點為河川集水域面積廣大、溪流河床下水文地質條件佳之區域；而就水源集取類型而言，一般概分為平原區及山區二類型，此二種適合開發類型情況（圖 10），茲就其類型特性說明如下：

平原地區伏流水開發

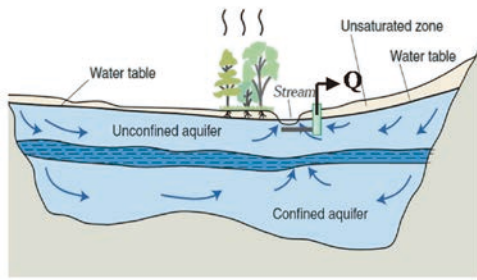
適合平原區伏流水開發類型包括河川流域面積廣大之沖積平原區，其集水水源主要為於河床下河川之滲漏水及部分之淺層含水層地下水。此伏流水開發方式如前述美國 Louisville 水廠伏流水第二期計畫工程，

係以 4 口輻射井工法開發 25 萬 CMD 出水量。而目前國內較具規模之平原區伏流水如前述之台水公司於高屏溪所開發之竹寮、翁公園、大泉、溪埔等取水站伏流水工程，皆係以集水管工法開發水源；基於已運轉之竹寮站成功經驗，目前國內亦正陸續評估規劃其他可行地點之伏流水開發。目前國內外所見山區及平原區二種型式之伏流水開發方式有寬口井、水平式集水管及輻射井等工法。

山區伏流水開發

山區伏流水開發方式係於山區溪流之河床下、岩盤上之未固結堆積物地層取水。由於山區伏流取水無顯著的沖積平原含水層，主要係集取固結岩層上方砂礫石堆積層之伏流水帶（Hyporheic zone）內水平流動與地面水向下滲漏之水源；屬於山區伏流水開發類型如前述屏東縣林邊溪二峰圳及其支流利里溪圳，以及台水公司已規劃之台東縣利嘉溪取用伏流水工程（目前尚未實施）等，前二者為建造於日據時期（分別於 1923 年及 1925 年完成），士文溪、楓港溪伏流水開發場址屬於山區伏流水開發類型，與林邊溪二峰圳伏流水類型條件相近，值得做為參考依據^[20]。

行政院目前推動之前瞻基礎建設計畫中有一重要「水環境建設加強平地人工湖及伏流水推動計畫」（第



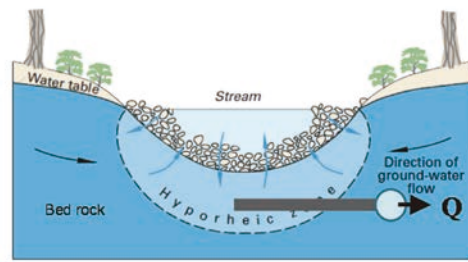
平原區伏流水

因地面水與地下水有良好水力連通性，主要集取河川滲透水與部分的地下水

案例



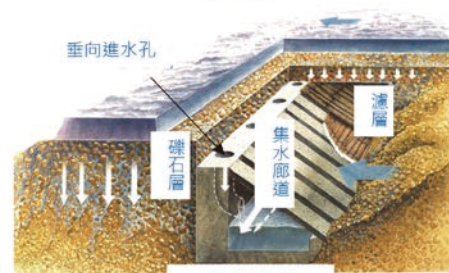
高屏溪竹寮取水站伏流水計畫



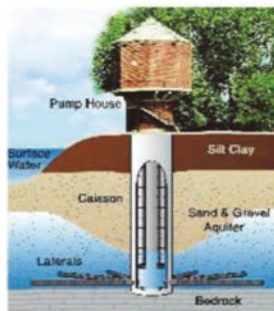
山區伏流水

集取河床下、岩盤上之間未固結堆積物砂礫石地層的孔隙伏流水源

案例



三角堰堤
二峰圳集水廊道



美國Louisville水廠輻射井



力里溪圳集水廊道

圖 10 伏流水開發類型

(資料來源：台灣自來水公司南區工程處(2020年11月)士文溪、楓港溪及隘寮溪伏流水工程可行性規劃報告^[20])

1次修正)(草案)，2021年8月，主辦機關為經濟部水利署；執行單位為經濟部水利署與台灣自來水公司。該計畫部分內容如下：

因應氣候變遷，多元水源強化水資源供水韌性，愈顯重要。伏流水因存在於河床下透水層，經砂礫層過濾可取得較潔淨之原水，除作為原水高濁度問題之有效對策，亦於枯水期可發揮備援水源功能。本計畫於去(2020)年9月奉行政院核定，鑒於去年豐水期無颱風侵臺帶來足夠降雨，加上今(2021)年春雨亦不如預期，導致水庫集水區蓄水量為歷年同期最低，造成56年來最嚴重旱象。在本次旱災應變過程，因伏流水水質潔淨且水源穩定，適時提供救旱水源。也因高雄地區有川流水、伏流水、再生水、地下水及區域

調度等多元水源，供水相對穩定，以高屏溪為例，在前瞻計畫推動完成的興田、大泉及溪埔伏流水等，總計提供每日40萬立方公尺水源，即便高屏溪水量低於3.8 cms，仍可提供穩定水源，避免進入分區供水。本次抗旱緊急水源2.0計畫(以下簡稱抗旱2.0)，於苗栗、台中、彰化各設置後龍溪、大安溪及烏溪緊急伏流水，共增加每日7萬立方公尺水源，雖為臨時設施，但也發揮良好抗旱功能，為利此設施能在旱災後繼續留作最大利用，須辦理設施安全強化及改善設備提升產水穩定及延長使用期限，以發揮最大效益；另為因應極端氣候變遷與中長期供水穩定需求，廢續於具有開發伏流水潛能河段辦理伏流水開發利用，包括油羅溪、大安溪、烏溪三期、濁水溪二期及荖濃溪等。

考量氣候遷威脅仍存在，加速推動開發伏流水作為未來緊急備援水源有其必要，以提昇區域供水系統之備援能力。而目前「水環境建設加強平地人工湖及伏流水推動計畫」修正內容採錄如下。

本次計畫書修正除新增辦理「抗旱 2.0 計畫緊急伏流水安強化及改善」外，並增辦「油羅溪伏流水工程」、「大安溪伏流水新建工程」、「烏溪伏流水三期工程」、「濁水溪伏流水二期工程」及「荖濃溪伏流水工程」等 6 項工作，計畫目標包含原核定計畫工作，除可延長抗旱緊急伏流水使用期限，發揮最大效果外，共可提供備援供水能力每日 32 萬立方公尺、總經費需求由原核定 13.3 億元，增加至 41.2 億元（增加 27.9 億元），計畫期程仍維持原核定 110 年至 114 年。

由上述揭露之伏流水推動計畫，現今水政單位對新興水資源開發伏流水，對於汛期或河川地面水高濁度時，淨水廠無法負擔處理高濃度地面水時，伏流水並可提供穩定的水源，是目前現今的救命水。在今年（2021 年）五月份早期展現其對護國神山之高科技用水，提供了穩定的水源，發揮最大的利用。政府也積極正視伏流水開發擴大實施計畫，盼伏流水能成為穩定且高品質低成本之常態用水。

結論

台灣既有的水利水資源治理模式，面臨了兩大挑戰。第一是因應極端氣候變遷下的暴雨及乾旱成災，造成水濁度高無水可用及沿海地層下陷區或低窪區淹水，乾旱時期地面水及地下水資源皆無水可供各標的用水用等困窘；第二是去彌補過去台灣天然環境的宿命及人為開發帶來的破壞，尤其是西南沿海之沖積平原的都會區之建設及山坡地之開發。以往水利設施的興建（地面蓄水如水庫或引水設施如攔河堰和淨水場），常常忽略了要充分運用自然環境中的潛在優勢，如地下水含水層（地下蓄水池）特性，將「洪水資源化」，利用洪水、蓄水地下、增源減洪，如屏東縣政府正執行的「大潮州地下水人工補注湖計畫」；另結合環境特性的生態水利工法，減少對環境的負面衝擊，在有效應用「河川滲濾」取用伏流水及積極管理地下水源之開發方式，如眾所週知的二峰圳伏流水取水工程及高屏溪輻射井取用伏流水工程。如此，才能接受兩大挑戰，調適水資源供需無虞、減緩洪水災害；這不只是工程技術的改變，這更是觀念的改變，台灣水的「枯島」才能變成為水

的「寶島」。水是我們長期的朋友，是要用心相處與經營。因此，建議在補注湖區或中下游適當地點設置取水設施，在適當的控制及管理含水層水位使不致影響環境地質災害，並善加利用得來不易的補注水資源；因而參考國外「水銀行」運作的想法產生，期望透過水銀行的操作，能使大潮州人工補注湖的營運能自給自足，達到永續經營的目標。

參考文獻

- 屏東縣政府（2021），大潮州地下水補注湖第 1 期實施計畫之效益評估。
- 屏東平原概述：<http://pc183.hy.ntu.edu.tw/gwater/d1.php>。
- 中華叢書委員會（1956），李儀祉全集。
- 鳥居信平（1936），〈伏流水利用に依る荒蕪地開拓：臺灣製糖株式會社萬隆農場創設並に其經過〉，《臺灣の水利》，第 6 卷第 6 期，第 3-27 頁。（日文）
- 林思玲、丁澈士（2014），〈潺潺流水中的永續智慧：日治時期屏東伏流水灌溉工程與文化資產保存〉，《臺灣水利》，第 62 卷，第 3 期，第 1-21 頁。
- 國立屏東科技大學（2013），〈屏東縣來義鄉二峰圳文化景觀保存維護計畫〉，屏東縣政府文化處。
- 丁澈士、王國祥（2008），〈林邊溪上游二峰圳集水廊道工程技術與應用之研究〉，《屏東文獻》，第 12 期，屏東縣政府文化處，屏東。
- 丁澈士、林思玲、賴福林、盧惠敏（2019），《向文化資產學習—屏東二峰圳與力里溪水圳伏流水取水技術與文化資產保存》，ISBN：978-986-05-9667-0，屏東：屏東縣政府水利處。
- 丁澈士、林思玲（2019），淺談二峰圳伏流水灌溉工程在水文化保存的科學價值，《大地技師期刊》，第 19 期，第 50-57 頁。
- 國立屏東科技大學（2017），〈屏東縣文化景觀二峰圳修復工程（大潮州人工湖周邊取水設施改善工程）工作報告書〉。
- 丁澈士、杜永昌（2010），治水新思維—地下水人工補注，地質，第 29 卷，第 2 期，第 44-45 頁。
- 丁澈士（2016），氣候變遷下台灣水利資源之調適與減緩，台大風險社會與政策研究中心。
- Ting, C.-S., Groundwater Resources Evaluation and Management for Pingtung Plain, Taiwan, PhD thesis, Free University Amsterdam, the Netherlands, 1997.
- 中鼎工程股份有限公司（2003），屏東縣水資源開發與保育整體規劃及林邊溪上游人工湖設置工程計畫，屏東縣政府。
- Tu, Y.-C., Ting, C.-S., Tsai, H.-T., Chen, J. W., and Lee, C.-H., Dynamic analysis of the infiltration rate of artificial recharge of groundwater—a case study of Wanglong Lake, Taiwan, Environ. Earth Sci., 63, 77-85, <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0670-8>, 2010.
- 聯合國教科文組織（2009），<http://www.unesco.org/water/>
- 吳立萍等（2004），《探家園借大地悠遊河流》，秋雨文化事業股份有限公司，臺北。
- Bouwer, H., Artificial recharge of groundwater: system, design, and management, in: Handbook of Hydraulic design, edited by: Mays, L. W., McGraw-Hill, New York, US, 1999.
- 平野久美子（2009），《臺日水的牽絆—識水柔情：鳥居信平的故鄉》，屏東縣政府文化處，屏東。
- 台灣自來水公司南區工程處（2020），士文溪、楓港溪及隘寮溪伏流水工程可行性規劃報告。

