

科技部工程司學門主題式計畫 「精緻多元水資源利用策略之技術發展」計畫徵求公告

一、計畫背景

在氣候變遷的影響下，水文條件特性改變、極端事件日益頻繁，近年來全世界洪旱的發生均有加劇的情勢。臺灣雖然年雨量高於世界平均、然降雨量因時空分布相當不平均，臺灣降雨約 78%集中於每年 5 月至 10 月間之豐水期，11 月至翌年 4 月之枯水期僅佔 22%，另受島嶼地形特性支配，河川坡陡流急，約 60%之降雨量直流入海，且水庫之庫容受限於狹窄河谷，蓄存不易，使得臺灣地區之水資源調配困難，每人每年可分配之用水量，甚至低於沙烏地阿拉伯等沙漠氣候國家，名列世界排名第 18 位的缺水地區。

2020 年臺灣梅雨季節短促雨情不佳，汛期也沒有颱風接近或登陸，水庫僅靠夏季陣雨補充，以致於水庫整體蓄水量不足，於十月中旬政府就啟動乾旱應變作為。根據水利署的資料，過去 20 年每年 6 月到隔年 2 月降雨量平均為 1778 公釐，前 10 年有 4 次低於平均值、後 10 年有 5 次，2021 年降雨量僅有 752 公釐，較平均雨量少了 1000 公釐，早象比以往都更為險峻。2021 年春雨又為史上最低紀錄，梅雨水情也遠不如預期，以致目前早象仍持續未解，全各地區進入不同程度的減壓供水、限水、停耕等情況，就水情狀況而言，2021 年可為自 1947 年以來最嚴重之乾旱事件。

由於臺灣特殊水文地文環境，過去水資源管理一向都面臨相當的挑戰。氣候變遷導致水文條件改變，容易造成地區性或季節性的乾旱，且隨著經濟產業的繁榮發展，臺灣地區的產業用水呈現逐年成長趨勢，再加上水庫老化及水資源開發不易等諸多因素的衝擊，水庫因淤積導致供水前能降低等因素，致引發乾旱缺水的風險升高，整體水資源供需情勢會更加嚴峻。由水資源開發管理的觀點，提供足夠的水源供給，不僅是人類賴以生存根本，也是影響各國經濟開發、能源發展與糧食安全的重要因素。

乾旱雖然屬自然災害，但主要因為降水量或水資源不足以滿足人類活動的需求，其影響範圍與時間都相對廣泛，因此在不同的水文災害中，乾旱相當容易造成最大的損失。乾旱簡而言之是長時間降雨量過少，導致水資源的短缺以致於造成社會及環境的衝擊。過去相關研究大致將乾旱定義分成四類：氣象 (meteorological) 乾旱、水文 (hydrological) 乾旱、農業 (agricultural) 乾旱及社會經濟

(socioeconomic)乾旱，但彼此間相互影響。由於其成因為資源缺乏，能採取的減災因應作為也相當受限，主要也為開源、節流、調度、備援及緊急應變等措施。

2021 年的抗旱因狀況緊急而未能基於相當科學基礎進行操作，各區水資源局於操作上均只能較為被動，只顧眼前問題，有無法通盤考慮之缺憾。在強化區域調度上的操作也多依據主觀判斷，水源或調度設施的運用操作多僅依照各水庫於規劃興建時之標的及功能運轉利用，未能基於科研分析即時調整。雖然 2021 年的抗旱因應作為難以苛責，但未來整體上應思考如何透過科技發展提供更多的協助。

本專案擬分別就水管理、水量、水質三個面向，聚焦「智慧水管理」、「創新水資源」、「廢水再利用」三個關鍵議題，發展精緻多元水資源利用管理技術，根本地降低氣候變遷下台灣水資源短缺的問題。

主題一：智慧水管理

基礎資料不足為水資源統計之一大考驗。長期以來我國重開發、輕管理的水資源政策，在隨著可開發水源日益減少、及產業用水需求越來越高的情況下，思維由開發逐漸轉向管理，但目前管理制度鬆散與關鍵數據殘缺不全或錯誤，欲依此欲進行精緻管理之目標，會有所困難，如何發展重要資料的觀測分析技術或分析方法，以健全國家水資源帳作為決策依據，是個重要思考面向。過去，台灣乾旱應變多以超越機率 90%或 95%的入流條件 Q90 或 Q95 進行分析，然今年的乾旱條件已經遠超過此一標準，因此多元水資源的即時監測、調控、及操作，成為重要的課題。根據即時監測資料更新各式供水與用水的統計值，以基於更新的統計值，進一步進行情境與策略最佳化的探討，提供決策支援，可協助以達到即時、精緻調控多元水資源的目標，也能對於未來抗旱有所幫助。氣象或水文資訊在於水資源設施操作上之角色益形重要，透過預知未來之入流條件，瞭解豐枯條件，以進行操作。由於水庫供水操作之主要原則為高流量時蓄水、低流量時存水，如已知未來條件水量豐沛，現有水庫則可增加供應，而反之則需量入為出，降低供水條件。以石門水庫為例，一年平均運轉 4.7 次，假設有足夠完整資訊，則可以增加有效供水量、減少水庫滿庫溢洪的機會。簡而言之，資訊在水資源調配與水庫操作的價值，並非實質增加水量，而是提供未來條件，避免過於保守或樂觀之操作而造成水資源浪費，以增加供水穩定性。

在氣候變遷衝擊下，不同風險下的水管理因應作為更為重要，應以類似今年極度缺水情境進行探討，建立一套能模擬極度缺水時較為完整的多元水資源的模型，模擬極度缺水之情境，以檢討我國現行的水資源政策及區域水資源調配策略，

並探討高科技及其他產業在極度缺水時所面臨的衝擊，作為規劃所用。相關分析需提出不同風險程度下的供水策略，雖然近年來已加入許多跨域調配設施，如板新二期及桃園新竹備援管線等，在抗旱策略上均扮演重要角色，然其操作規則、或是造成的風險分擔條件，卻未能依據水情進行探討。供水設施之單獨或聯合運用，區域水資源整體運用檢討，係結合同流域或不同流域之水源設施、以及規劃中新增水利設施聯合運用，除掌握各設施之供水潛能或其運用現況並確定聯合運用原則，除一般水源運用分析必備之相關基本資料，尚需考量各設施下游之輸水管路及彼此間之聯絡管線，以及用水節點之相關需水資料，方能達成聯合運用功能。又因其系統相當複雜，應慎選適用之模式，該模式必須具有可隨機架構新增水利設施之特性及水源運用計算功能，且模式可執行以旬或日為基礎之水文演算，以實際反映流域及區域內各河川及水利設施之流量分配問題。

主題二：創新水資源(海岸水庫)

在過去，以水源多元化規劃理念開發新興水資源，如海水淡化、水再生利用、雨水收集貯留、地下水補注回用、農業回歸水等，政府相關報告研究已經多有著墨。而未來，針對部份新興水源開發技術面的發展與支援，值得更多元的思考，「海岸水庫」即為一例，近年來已相繼在各國推廣。海岸水庫(或稱河口人工湖、海岸人工湖)的概念，乃於河口施作蓄水湖，將河川豐水期期間之逕流量蓄存於濱海區域，為自然水資源利用方式之一，可提供相當可觀的水資源。基本上，海岸水庫為淡水水庫，可靠近河口處取得持續川流之水資源，經由儲存設施將流入海洋的逕流或洪水儲存為一般的公共用水，其水質類似陸地水庫儲水，且較不受地形限制、庫址難尋、開發成本高、及環境保護等因素的影響，若其用地及水源取得可行，海岸水庫之水資源開發方式，不失為良好之新興儲水設施。

目前荷蘭、香港、中國、南韓、新加坡等地區均有興建及開發海岸水庫作為水資源蓄水運用之案例。世界首座海岸水庫為荷蘭 1993 年於須德海興建的阿夫魯戴克大堤，其將海劃分為二區塊，形成鹹水的瓦登海與淡水的艾瑟爾湖(Afsluitdijk)。第一座以飲用為目的的海岸水庫為香港於 1968 年興建完成的船灣淡水湖(Plover Cove)，其蓄水量約 2.3 億噸，大於臺灣石門水庫約 2.0 億噸的庫容。由各國相關案例可知，海岸水庫主要是將海灣、瀉湖予以封閉，或於海岸圍堤蓄水，與水庫及平原湖泊之興建方式相當類似，不同之處在於開發區位濱海，高程較接近海平面，所須面對之區域環境與河川上游水庫有相當差異。多數海岸水庫案例主要設置於靠近河口處，可直接收集原本將直接流入海域的水流或洪水，又或透過引流方式收集不同河川水流，藉以儲存淡水供民生用水、灌溉或工業所須；其築堤材料可為混凝土，泥土或具機動性之軟壩等。

主題三：廢水再利用

隨著台灣高科技產業的迅速發展，其用水需求也逐日攀升。除了水資源不足之問題外，因產業製程廢水成分複雜，廢水中存在許多無法被有效回收與再利用的重金屬（如 Cd、Pb、Hg 等），以及具有高度利用價值的稀有金屬（如 Co、Ru、In 等）。因此，藉由水資源的有效處理與回收技術的開發，達到多元的水資源利用，同時透過智慧平台，將廢水轉變為再生水，並將水中稀有金屬有效回收再利用，不僅能舒緩台灣產業用水逐漸缺乏之問題，更能進一步達到資源永續性之循環經濟。

我國近年來積極推動以都市污水、工業廢水之回收再利用作為新興水資源，並訂定「民國 120 年時，再生水供應量達 132 萬噸/日」，此顯示再生水處理及研究，為我國水研究重要議題。以現有污水處理廠而言，包含 57 座都市污水處理廠，日處理量達 395 萬噸都市廢水；42 座工業區污水處理廠，日處理量達 360 萬噸工業廢水，以及 11 座科學園區污水處理廠，日處理量達 37 萬噸工業廢水。惟目前已經規劃之 6 座都市污水再生廠總再生水量僅約 28 萬噸/日，距離「民國 120 年時，再生水供應量達 132 萬噸/日」仍有相當大的努力空間。

除了水資源利用，隨著綠色及循環經濟之發展，水處理及回收過程中的能資源消耗及回收議題日益受到重視。傳統水及廢水處理系統所需的能源耗量極大，以美國為例，水及廢水處理設施所需的能源用量約佔全國能源總使用量的 3-4%，因此有效的降低其能源使用量，是非常重要的研究議題；而廢污水中有許多可再资源化及資源化的有價物質，如有機物、氮、磷、及有價金屬等，均具回收利用或產生能源之潛力，美國國家科學委員會（NSF）及環保署（EPA）也持續關注水-能資源-循環經濟鏈結之議題，因此為達水與能資源回收再利用的目標，無論是以都市污水或工業廢污水為水源，皆須有創新與整體考量的思維，以達水與能資源回收再利用、節能、創能與再资源化之最終願景。

二、計畫目標與範圍

本專案為跨學門整合的計畫，研究議題如下：

1. 智慧水管理

針對這次乾旱，台灣目前的做法、是前述的多元手段(抗旱備援水井、伏流水開發、下游臨時取水等)，由各自為政且缺乏至整體思考的問題，缺乏系統性規劃整備。因此本計畫預期發展利用精緻與多元的水資源的調控的相關技術，主要推動之研究議題包含以下項目：

A. 智慧化國家水資源帳

長久以來，我國水資源的各式供水(水庫、河水、地下水)與用水(生活、工業、農業)的統計值(水資源帳)存在著諸多疑慮，肇因之一是我國水資源數據仍有許多改善空間。計畫預期提出改善目前水資源帳的相關作法，藉由過往資料與先進監測技術建立大數據，進一步結合機械學習，估算多元水資源供水與用水的統計值，更需考慮將高科技產業用水納入、成為一重要參考。

B. 多元水資源監測與調控

過去乾旱應變多以 Q90/Q95 進行分析，但這項作法今年有不合所需情形，以致於缺乏完整政策基準。因此計畫預計探討規劃上如何訂定水文條件，操作上如何根據即時監測資料更新各式供水與用水的統計值，以更新資料，進一步進行情境與策略最佳化的探討，以達到即時、精緻調控多元水資源的目標，此外水源之間彼此也有競合關係，在大量取用伏流水下，對於下游水量或地下水補助的影響為何，都需整體考量，以完整進行調控，本項調控可由國家整體經濟效益的基礎出發，特別考慮國家重點產業需求，以減少對於國家發展的衝擊。

C. 氣候變遷極端缺水風險模擬

類似這次的乾旱條件、或是更嚴重的情境下如何操作，需根據過往乾旱資料、以及考慮氣候變遷的降雨情境，建立一套較為完整的多元水資源的模型進行能模擬極度缺水相關策略模擬，用來檢討我國現行的水資源政策及區域水資源調配策略，並運用探討高科技及其他產業在極度缺水時所面臨的衝擊。

2. 創新水資源(海岸水庫)

海岸水庫建置概念和陸上水庫相似，惟設置高程接近海平面，因此所面臨之工程問題與上游水庫有所差異，且目前國內對海岸水庫工法與概念較不普及，推動上所遇阻力應較多。若要實際推行必須要適當推廣海岸水庫概念，並以嚴謹研究與完善評估成果為依據予以支援。彙整建置海岸水庫所須面臨之課題如下：

A. 海岸水庫水資源分析

探討確保模型架構準確以降低後續人員維護成本；並透過機器學習針對不易模擬的製程區端來模擬製程技術，擴大模型預測分析之應用範圍

B. 海岸水庫儲水品質分析

擬訂合適工法，堤防設計需考量「海水入侵」、「海水滲入」及「海水腐蝕」等問題、進行水庫「鹽度控制」之方式考量(引流位置或鹽度擴散評估)。另由於瀕臨海域，勢必面臨海水滲透之影響(海水越堤或底泥鹽分釋放)，致使所蓄積河水，逐漸增加其含鹽比例，甚至達到不堪使用之程度，因而控制水庫內之鹽分濃度於要求範圍內亦為關鍵課題。

C. 海岸水庫安全評估

配合海岸水庫庫址位置，進行「海域環境評估」，俾利作為海岸水庫規劃設計之參酌，此包含海象條件評估(波浪、潮流、風飛沙等)、海域底泥鹽度釋放量評估及極端海象條件影響評估等。藉此進行水庫型式評估(建置於岸邊河口、海岸或離岸型式考量)，建立完備的海岸水庫評估方法與流程，並建立作業化預警系統。

3. 廢水再利用

為達到廢水回收再利用的目標並滿足科技產業的需求，本研究計畫擬以脫鹽處理技術的精進，來發展多元水資源的廢水處理技術，同時開發具人工智慧之廢水處理技術平台，建構新世代循環型智慧多元水資源利用技術。主要推動之研究議題包含以下項目：

A. 智慧廢水水務管理技術

藉由物聯網蒐集廢水處理與回收系統中的大數據資料庫，結合機器學習、建立系統中的各項模型(如：材料模型、微生物模型)，並配合監控與回饋系統，與時俱進地改良各模型的精準度。基於這些與時俱進的模型，進一步針對不同廢水來源、進行水源與水質的最佳化，以提高系統的能資源效率。

B. 先進節能廢污水處理與回收技術

先進的廢水處理技術必須要能在低能耗的情況下，快速處理廢水中的難分解污染物或回收有價物質。如有可能，同時達到處理技術或產品的能資源化與水再生利用。並且針對不同廢水來源，開發最適化的廢水處理與回收技術，以因應不同環境及產業端需求。

C. 智慧節能之水-能資-循環廢水處理系統

透過廢水處理技術與光電催化系統，搭配智慧化通訊、感測、機器學習技術，提昇廢水處理廠的水-能資-循環系統的效能，並分析相關效能指標，評估該系統之可行性及穩定性，期望可有效將科技產業廢水轉換為再生水資源，並從中回收有價物質，朝向淨零排放的目標邁進。

三、計畫書撰寫說明

- 1.本項學門主題式計畫申請時請以三年期計畫進行規劃，並以單一整合型計畫之方式提案。需說明總計畫與各子計畫間整合之邏輯與必要性，說明逐年執行內容與預計達成之目標與預期效益，並說明逐年查核點。
- 2.計畫內容必須具備完整性、可行性與應用性，且需陳述國內外現狀、所欲達成之技術指標以及與世界技術水準同步（或超前）之情形。
- 3.單一整合型計畫之申請經費以每年 900 萬元為上限。
- 4.計畫書中需說明團隊成員組成、以及過去在循環型智慧水處理技術發展之技術項目，並說明團隊成員分工合作方式與其互補性。
- 5.申請團隊之研究如需與業界銜接，當提出計畫書時，請於計畫內容簡述申請團隊與業界預計之合作方式。
- 6.申請團隊之研究如需進行國際合作研發，必須填寫國際合作研究計畫資料表（申請書表 IM01-IM03），說明所洽談合作計畫內容與共同研發之進行方式、智財歸屬情形。
- 7.若在計畫整合上需要協助，請聯繫學門召集人（土木水利：卿建業；環工：董瑞安；海洋與造船：蕭士俊）。

四、計畫內容審查與考核

（一）計畫審查重點

1. 計畫之研究主題必須具有關鍵性、創新性、可行性、及應用性。技術自主與國際領先程度為主要考量。
2. 總計畫與各子計畫間整合之邏輯性與必要性。
3. 為鼓勵跨領域合作，將以補助跨學門(土木水利、環工、海洋與造船)的整合型計畫為優先考量。
4. 團隊成員在循環型智慧水處理技術方面之資格與互補性。團隊成員應包含 45 歲以下之年輕學者擔任子計畫主持人或總計畫主持人。同時，鼓勵計畫團隊成員包括科技大學或私立大學年輕學者。

(二) 考評機制

1. 計畫主持人需以每 3 個月為期訂立詳細之技術里程碑、查核點、評量指標，以為評審委員查核之依據。此查核點須依審查委員意見從事修正。
2. 計畫預期的執行方向與進度。
3. 計畫產出及成果效益。
4. 所規劃技術突破之達成度及應用價值。
5. 培育年輕研究學者的成果。