



# 臺灣智慧水文監測 技術發展 與 應用服務

馬家驊\* / 經濟部水利署水文技術組 科長  
李欣融 / 經濟部水利署水文技術組 副工程司  
阮香蘭 / 經濟部水利署水文技術組 組長

臺灣長期的水文觀測發展，對國土安全與資源管理具有關鍵意義。這些觀測成果不僅有助於因應氣候變遷，支持地面與地下水資源的運用、颱風豪雨洪水的應變、河道沖淤趨勢的掌握、河防安全的維護，以及河口穩定與海岸變遷的監測。

隨著需求日益多元，水文資訊的整合與加值應用成為趨勢。地理空間資訊的運用、水文 AI 技術的發展，以及各項資源調度，都仰賴完善的觀測資訊提供支援。

因此，水利署未來的水文觀測重點，將不僅止於既有技術的持續應用，而是逐步從「資料收集」轉型為「資料驅動決策」。未來發展方向包括：AI 賦能的觀測、建立水文分析標準化流程、推動系統自動化與 AI 演算、建置可視化平台與智慧預警支援系統，以及強化人才培育。這些措施將有助於落實臺灣水文觀測的永續發展目標，並提升實際應用服務的效能。

關鍵詞：水文觀測、水文分析標準化、水文智慧預警支援系統

## Abstract

The long-term development of hydrological observations in Taiwan is crucial for addressing the needs of climate change adaptation, the utilization of surface water and groundwater resources, emergency response during typhoon and heavy rainfall flooding, monitoring riverbed erosion and deposition trends and river defense safety, as well as estuary stability and coastal changes—all of which are key factors in national land and resource management.

In addition, the integration and value-added applications of diversified hydrological information, combined with the development of geospatial data, hydrological AI technologies, and decision-making resources, increasingly rely on observation data for support and utilization, making this an inevitable future trend.

Therefore, the future focus of the Water Resources Agency's hydrological observation development, apart from

continuing the application of existing observation technologies, will shift from data collection to data-driven decision-making. This includes establishing standardized hydrological analysis, automated system-based analysis integrated with AI computation, the construction of visualization platforms for intelligent hydrological decision-support systems, as well as talent cultivation. These initiatives aim to achieve the sustainable development goals of Taiwan's hydrological observation and its applied services.

Keyword : Hydrological Observation, Standardization of Hydrological Analysis, Intelligent Hydrological Decision-Support System

## 前言

臺灣早期的水文觀測資料主要用於河川流域規劃、水資源開發與防洪工程等，隨科技進步與業務需求擴展，物聯網（IoT）通訊技術已廣泛應用於雨量、水位、潮位等基礎觀測，監測儀器亦由單一功能朝多

\* 通訊作者，jmatjc@gmail.com

元整合發展，如結合水位與流速推估流量、整合雨量與氣象要素等，並搭配 4G、5G 等即時通訊網路，用於即時水文分析與預警，然而洪水期間高水位下的流量、含砂量及泥砂觀測仍待突破。

隨著水文監測數據廣泛應用於民生用水、工業用水、農業灌溉及防災資訊等，已成為政府水資訊的重要基礎設施，需要兼顧即時資料預警與長期趨勢研判，也因此將面臨多重挑戰，外在包括氣候變遷、產業用水需求增加、AI 技術迅速興起以及國際觀測標準提升等因素，內部則存在人力不足、觀測業務推動不易、空間資訊掌握不足及惡劣天候下觀測困難等問題。氣候變遷使極端降雨事件更為頻繁，不僅影響地表逕流與地下水補注，亦加劇沿海地區海平面上升與鹽水入侵的風險，因此必須強化即時監測與長期資料整合能力，以提升對豪雨、乾旱、暴潮等事件的預警與應變能力；人口與產業結構的變遷改變了用水的分布與品質需求，需因應不同區域特性調整都市與偏鄉的觀測站網，並加強工業區周邊地表水與地下水監測，以避免超抽與污染，支援水資源調度與產業用水規劃；快速的國土開發對自然水文循環造成壓力，必須整合地表水、地下水及集水區與流域相關資訊，作為水土保持、國土規劃與災害防治的依據，以降低水患與地層下陷等複合性風險；AI 技術的應用可整合雷達、衛星、感測器等多元資料進行即時分析與預測，使水文觀測正從「資料收集」轉型為「資料驅動決策」，建立標準化、自動化的觀測系統與資料治理機制，以提升模型訓練品質與應變效率；另外，國際間正積極推動水文觀測標準化與資料共享，衛星遙測、IoT 感測器與數位孿生<sup>[1,2]</sup>等先進技術亦日益普及，推動觀測由地點式走向網絡化與智慧化，臺灣需強化與國際接軌的能力，積極參與區域合作與災害聯防，並引進適應本地環境的新興技術；為因應防汛重點區域的監測需求，水位站設置已擴及中央管排水系統，未來亦需納入小水力發電的監測作業，然而隨著站網規模擴增，維運所需的人力與經費也將增加。此外，惡劣天候下的觀測仍具挑戰，智慧流量與含砂量監測技術尚待突破，雖已有微波雷達與 LSPIV<sup>[3,4]</sup>等非接觸式技術投入應用，但仍受限於現地環境設置困難；泥砂監測<sup>[3]</sup>在堤防、水工構造物、水力發電、橋梁、海岸漂沙及生態環境等領域皆具關鍵性，但目前自動化監測系統仍相當缺乏，亟需加強技術投入以推動普及應用；水文空間資訊需建置整合性數據平台<sup>[5]</sup>，

匯集各類水文資料並提供資料共享、分析與視覺化等功能，以支援臺灣水資源管理與災害防治決策，並朝達成聯合國 SDG6 永續發展目標邁進。

綜合而言，未來臺灣水文觀測需建立先進且具韌性的體系，以因應多重外在挑戰與內部課題，並強化資料整合與應用價值。透過導入創新技術，提升對颱風、乾旱及泥砂等特殊事件的監測能力，推動跨域資料整合與分析，結合氣象、土地利用與社會經濟等因子，提供更科學的水資源管理與災害預警依據，同時打造智慧預警支援系統建立決策展示與知識傳承平台，以支援跨單位、多領域的決策與應用，最終落實聯合國 SDG 永續目標與韌性治理。

## 執行方法

現場水文觀測資訊的重要性與發展，為了達成臺灣智慧水文監測技術發展與應用服務等目標，水利署刻提出包含「觀測效能提升及技術創新」、「資料整合及數據分析應用」、「智能應用及預警展示平台」及「人才培育及水文資訊服務」等四大執行策略，作為臺灣水文觀測技術提升與應用的發展方向，如圖 1 所示，將水文現場端資料轉為空間資訊數據，進而將資料增值轉為資訊與服務端。細部內容包括現場端之水文觀測及設備維護管理、水文觀測技術提升及研發；數據端之自動化品管及資料整合分析、水文資料庫擴大管理與精進、水文分析應用及參數檢討；分析展示端之水文演算輔助平台、AI 分析技術模組建置、智慧預警展示平台；服務應用端之人力培育及水文分析資訊服務等發展目標。

## 觀測效能提升及技術創新

現場觀測端將強化維護既有的水文觀測設備及國內水文觀測技術提升及研發等 2 大觀測，說明如下：

在水文觀測與設備維護方面，地面水包含資料下載、流量與含砂量測驗，以及測站新建、遷移、廢止與設備保養檢校；地下水則進行水位與水質監測，並辦理觀測井建置、維護、修繕、洗井與補強，以確保觀測網正常運作；近海部分則監測潮位、暴潮、波浪、風場、流場及氣象要素，強化臺灣近海水文觀測體系與資料應用價值。

在觀測站數量方面，水利署依據社會發展、環境變遷及氣候變遷等因素，定期辦理水文觀測站之通盤

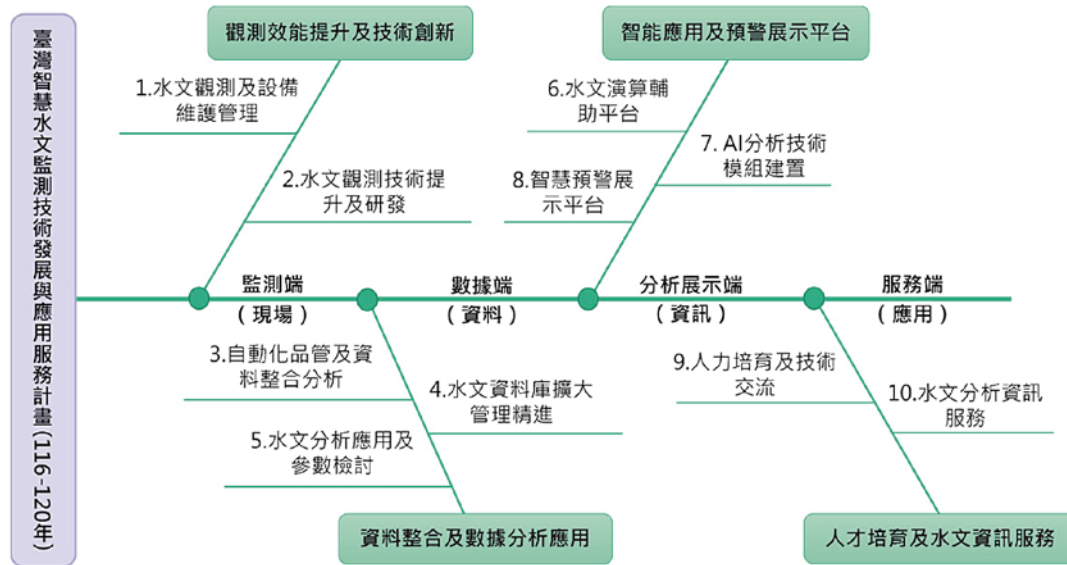


圖 1 計畫實施整體架構圖

檢討，目前已建置地面水文測站（雨量站 213 站、水位站 358 站、流量站 105 站）、地下水觀測站（地下水觀測井 822 口）及近海水文觀測站（潮位站 13 站、浮標站 7 站、雷達站 1 站）等。透過全盤檢討與調整測站設置位置，可提升水文觀測的精確度，進而提升水文分析的準確性與整體觀測效益。

在水文觀測技術研發與提升方面，地面水文觀測著重於精進國內外相關技術，包含遙測技術、自動化觀測、河床質調查及泥砂觀測技術整合等應用；同時導入非接觸式雷達水位計、影像辨識技術、ADCP 流速儀、震波式土砂監測設備、微型漂流浮標及無人載具等自動化儀器設備，以提升現地觀測的頻率與安全性。此外，透過高解析度定量降雨估計關鍵技術，整合氣象雷達、地面雨量站與衛星遙測資料，能對區域或流域在不同時間與空間尺度上的降雨量進行精確估算，增進對降雨事件的時空掌握能力。

地下水文觀測除持續運用傳統地下水觀測井進行水位變化監測外，同步導入非接觸式地下水觀測技術。透過地球物理探測及雷達遙測等非鑽井手段，可在不破壞地表或無需增設觀測井的情況下，進行大尺度地下水量變化評估，以補強現有觀測網絡在空間分布與資料取得上的盲點，建構混合型觀測系統，達成地下水監測智慧化、即時化與全面化之目標，並有助於未來地下水資源管理與地層下陷防治策略的推動。

近海水文觀測為強化臺灣海岸資源保護與防災韌性，亟需提升海岸漂沙、海岸侵淤、河口輸砂與暴潮水

位等觀測技術。目前我國多數海岸地區面臨沙洲流失、岸線退縮及地形劇烈變遷等問題。然而，現行觀測資料在密度與時效性上皆不足，無法有效支撐精準治理與災害預警需求，因此，推動自動化觀測技術的應用，在近岸與河口區設置漂沙、懸浮砂及水動力參數等連續觀測系統，以提升沙源掌握與海岸地形變遷分析效能。

現場調查資訊在數位化與技術標準方面，目前部分水文觀測作業仍須由人員親赴現場蒐集資料，內容涵蓋測量數據、影像紀錄及環境條件等。為提升作業效率與資料品質，未來將導入資訊數位化流程，結合行動裝置與數位表單進行即時記錄，可有效提升記錄效率與正確性，並有助於資料後續整理、存取與分析，也可降低人工作業錯誤及遺漏風險。為統一各單位執行標準，將制定各項水文觀測作業手冊與資料格式，涵蓋地面水、地下水與海象等不同調查類型，建立一致的技术依據，以提升作業品質與成果可比較性，作為後續長期監測與政策決策之重要依據。

### 資料整合及數據分析應用

觀測資料在進入資料庫前，會先透過自動化品管與資料分析技術，確保水文資料的可靠性與應用價值。再藉由智慧化整合流程，將原始監測數據進一步轉化為預測模型、警戒值設定及治理策略擬定的依據。此階段核心包含三項技術應用：自動化品管與資料整合分析、水文資料庫的擴充與精進，以及水文分析應用與參數檢討，藉以全面提升水文資料的品質、

效能與決策支援能力，說明如下：

1. 在自動化品管及資料整合分析方面，水文觀測資料導入自動化審核與品管分析機制，應用 AI 分析模式並結合跨系統資料庫，自動進行資料檢核與判斷，建立新一代數位化水文資料檢核作業體系。建置觀測站保養與校正履歷，並整合行動檢核 App，以支援現場作業與後續資料分析。同時，在系統端將建立即時資料異常偵測機制，確保水文資料於智慧治理與應變決策中具備高可靠性與應用價值。
2. 在水文資料庫擴大管理與精進方面，除定期辦理系統例行維護與功能更新外，強化系統穩定性監控、觀測資料即時性追蹤、設備狀態回報及觀測中斷管理機制，並將相關資訊回饋至資料庫，以提升系統靈活性，支援防救災人員於災害期間迅速查閱資料，增進異常觀測站管理與應變能力。同時，將建置統一的水文資料庫平台，進行全面性資料彙整與分類管理，透過標準化資料格式與儲存架構，確保歷史與即時資料的完整性及一致性，提升資料品質控管與應用效率。後續強化資料庫硬體資源，藉由平台與硬體優化，大幅提升全國水文資料整合效率、查詢效能與應變支援能力，打造多元、開放且安全的資料服務環境，支援智慧水資源管理與防災決策應用。
3. 水文分析應用及參數檢討：推動水文加值應用，建立水文分析標準化作業模組與預警機制，並定期檢討警戒值，以提升分析精度與決策支援效能。
  - (1) 水文分析標準化及輔助作業模組<sup>16</sup>：建置線上水文分析輔助作業模組，整合既有水文與水理模式，提供即時分析服務，提升成果品質並減少人力成本，同時培育兼具系統建置、水文判讀與資料分析能力的人才，並為後續數位孿生及 AI 應用奠定基礎。
  - (2) 預警機制建立與警戒值檢討，地面水納入近期整治成果與實測斷面資料，以提升警戒基準的準確性與即時性，並導入物聯網觀測資料、空間降雨預報及即時水位資訊，結合自動化分析與預報模型，提供河川高水位預警與決策支援，協助各單位即時查詢與趨勢研判。地下水部分整合水位、地層特性、抽水紀錄與水質參數，並針對補注潛勢評估與地層分類，研擬分區管理與評估機制。推動地下水水位預警機

制，結合模擬成果與預警參數設定，提供超抽警示與用水管制建議。海岸治理及分析應用，導入 AI 技術監測海岸地形變遷，結合無人機影像與衛星遙測資料，透過深度學習與影像辨識自動萃取海岸線等地貌變化特徵，進行長期變遷追蹤分析。未來建立 AI 監測流程，整合浮標、潮位站氣象預報資料進行動態建模，建構高解析的海況圖，支援海岸保護設計、災害風險評估與政策規劃。

## 智能應用及預警展示平台

人工智慧具備快速整合龐大資料並提供決策建議的優勢，因此建置智慧預警支援機制，提供跨領域、即時且具預測力的資訊服務，並透過水文資訊視覺化與智慧化平台進行展示，其中包含水文演算輔助平台、AI 分析技術模組建置及智慧預警展示平台等技術應用，說明如下：

1. 水文演算輔助平台建置模組化、高整合性的水文分析系統，可支援年度水文資料接收與更新，依據作業規範進行水位－流量、雨量、流量模擬等分析與建模，並提供決策建議與視覺化展示，亦可串接 AI/ML 模型，自動產出報告、圖表與資料下載。平台將整合資料接收、前處理、水文演算、水文模擬、AI 輔助、視覺化展示與決策預警等自動化模組，大幅提升水文分析的自動化與標準化程度，強化資料從接收、處理、分析到決策建議的完整流程，提供精準、高效且可視化的分析支援環境。
2. 水文整合資訊智慧預警輔助（洪、旱）支援展示平台：為整合水文、地理與風險資料的智慧預警系統，透過 API 串接即時與歷史觀測資料，搭配水文模型與地理資訊，進行洪水、旱災、地下水與氣候變遷等風險的整合分析，模擬特定降雨條件下可能發生的淹水或堤防損壞情境，提供具地理空間指標的預警輔助。同時，系統納入極端氣候下的水資源與用水風險評估，建構旱災風險分析模組，支援水資源調度與應變策略；針對地下水位變化造成的地層下陷或土壤液化風險，平台將整合監測與地質資料進行模擬，提供潛勢熱點與預警建議。另納入氣候變遷情境模擬，評估長期趨勢對水文環境、水資源可用性及災害風險的影響，協助政府進行中長期資源規劃與政策制定。

3. 新技術導入 – 模型數位孿生是指針對實體世界中的物體或系統，建立一個虛擬數位模型，以模擬不同河段的水位變化。此模型可即時接收現地感測數據進行模擬與預測，並可雙向互動。此技術結合感測器、物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 及大數據分析等技術，河川水文觀測與水理計算符合其應用條件，可於後續發展中即時呈現模擬結果，未來透過即時數據與動態模擬，能協助決策者更快速且準確地進行判斷與決策。
4. AI 分析技術模組透過 AI-Agents 整合各種水文資料來源，提供跨領域整合性答案作為智慧決策支援依據。於不同資料庫間進行資料整合與串接，如水庫水位、河川流量、地下水位、潮汐、雨量等，再結合氣象資料、地理資訊 (GIS)、土地利用及災害潛勢圖層等資料，依據水文業務需求開發各類預測模組，例如水庫水位預測與放水建議、中長期無降雨下的地下水位變化或補注情況預測，以及洪水警戒水位與未來 3 至 5 旬的乾旱預警等技術應用，全面提升水文決策的智慧化與前瞻性。

## 人才培育及水文資訊服務

為提升資料應用效益與決策輔助能力，將成立國內水文技術人才資料庫，用於開發水文分析工具與加值應用，並整合國內學術研究機構及電腦資訊工程能量，協助建置智慧化水情分析與資訊整合系統，支援現場觀測人員、技術分析人員及防災決策單位，提供準確且即時的資料判讀與情勢研判能力，從資料蒐集、分析處理、視覺化呈現至決策支援，全面提升資訊服務的深度與效能。此外，透過此資料庫的建立，可同步強化人力與技術發展，減輕現場單位在技術轉型過程中的負擔，確保未來各項水文業務執行之順暢與品質穩定，推動智慧化水利治理目標之達成。

## 結語與展望

水文觀測是水利建設、防災預警、地面與地下水資源管理及海岸防護及保護等工作的基礎，長期累積的水文資料是辦理河川及排水整治、推動河川海岸及排水環境營造、地下水資源管理、地下水補注以及建構水空間資訊的重要依據。未來必須有效運用資源與技術，才能精準監控並因應各類管理需求，降低天然災害造成的損失，透過資料整合與分享，可建立高效率的水文資訊服

務體系，藉由網際網路使水文資料的蒐集與加值分析更加快速便捷，深化數位應用並提升政府施政效能。彙整未來臺灣水文觀測發展與執行策略：

1. 在觀測效能提升及技術創新 (觀測現場端)，除持續維護既有水文觀測作業外，將研發本土化河川流量與土砂觀測技術，補強現地觀測輔助設備工具，並開發動態流量觀測與計算輔助工具等，持續針對臺灣惡劣水文環境條件下的觀測方法進行改革與突破，藉此擴充與強化現有觀測能量，提供國家建設與防災決策所需的高品質水文資訊，以因應未來異常氣候變遷挑戰。
2. 在資料整合及數據分析應用 (資料端) 與智能應用及預警展示平台 (分析端)，後續擴充與維護水文資料倉儲與開放資料平台，全面提升水文資料品質與應用價值，優化資料整合與管理流程，增進資料即時性與可用性，並透過統一平臺與 API 服務，提升使用者取得與應用資料的便利性。同時，結合感測器、物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 及大數據分析等技術，未來可透過即時數據與模擬，協助決策者做出更快速、準確且多元的智慧判斷。
3. 人才培育及水文資訊服務 (展示端) 除滿足水文業務功能需求外，將參考國內外實務經驗，建立使用者分級與資料分類架構，確保營運永續，並推動水文資訊加值服務，發展視覺化、決策支援與趨勢預測等模組，支援政府政策制定、學術研究與產業發展，全面提升資料應用效益與社會價值。

## 參考文獻

1. Yang, Y.F., Xie, C., Fan, Z. W., Xu, Z.H., Melville, B. W., Liu, G.Q. and Hong, L., (2024). "Digital twinning of river basins towards full-scale, sustainable and equitable water management and disaster mitigation", *Natural Hazards*, Vol. 1.
2. Kreuzer, T., Papapetrou, P. and Zdravkovic, J., (2024). "Artificial intelligence in digital twins—A systematic literature review", *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 151.
3. 水利署 (2023)，中央管河川自動化土砂量測技術之發展應用，經濟部水利署研究報告，臺北。
4. 水利規劃試驗所 (2024)，非接觸式人工智慧流量自動觀測技術應用研究，經濟部水利署研究報告，臺北。
5. Carlos Gonzales-Inca, C., Calle, M., Croghan, D., Haghghi, A. T., Marttila, H., Silander, J and Alho, P., (2022). "Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) in the Integrated Hydrological and Fluvial Systems Modeling: Review of Current Applications and Trends", *Water*, 14, 2211.
6. 水利規劃試驗所 (2024)，水文分析參數方法標準化作業精進之研究。 