



AIoT 導入牡丹水庫智慧管理平台之實踐

中華電信資訊技術分公司智慧聯網處高級工程師 / 傅詩凱
中華電信資訊技術分公司智慧聯網處工程師 / 張哲瑋

關鍵字：AIoT、智慧水庫、智慧管理平台、無人機巡檢、AI 影像辨識、水質監測、藍綠藻預警、永續工程

摘要

牡丹水庫由經濟部水利署南區水資源分署管理，位於屏東縣牡丹鄉，集水區面積約 69.2 平方公里，每日供水量約 10 萬立方公尺，供應屏東南部 15 個鄉鎮及重要公共設施用水，是區域供水韌性的關鍵節點。面對氣候變遷造成的水文變異、極端降雨、水質波動與設施參考文獻安全風險，傳統仰賴人工巡查與分散式監測的管理模式，已難以滿足即時掌握、跨源整合與主動預警的治理需求。UN-Water 指出，氣候變遷將提高水循環變異、降低水資源可預測性並影響水質；UNESCO 近年的 AI 水管理報告亦顯示，AI 與機器學習已廣泛應用於監測、預警、風險管理及決策支援。

本文以牡丹水庫 AIoT 智慧管理平台為案例，說明其如何整合水質、水位、雨量、監視影像、無人機巡檢與 AI 影像辨識技術，建立兼具即時監測、智慧告警、陸空聯防巡檢與決策支援的治理架構。平台透過 Dashboard、歷史資料查詢、月報彙整，以及 LINE、Email、簡訊等多通道推播機制，提升管理效率、降低高風險人工作業、強化水質與藍綠藻風險掌握，並支援水庫營運決策。更重要的是，牡丹水庫後續維運已延伸至水質浮台更新、告警設定優化、人形偵測設備增設、機房設備整備與資安修補，顯示此案並非一次性展示，而是逐步形成制度化、可持續運作的智慧治理能力。AIoT 在牡丹水庫的價值，並不僅在於新增設備，而在於將管理流程重構



為即時感知、資料融合、主動告警與持續維運的治理閉環，具體回應「智慧驅動的工程轉型：智慧融合與價值再造」之核心命題。

一、前言

當前水庫管理面臨兩項同步升高的挑戰。其一為外部環境不確定性，包括極端降雨、枯旱交替、原水濁度變化與優養化風險；其二為內部管理流程對即時性、整合性與可追溯性的要求，例如設施安全、巡檢效率、告警傳遞及資料留存。UN-Water 明確指出，氣候變遷將迫使水管理從傳統分工模式走向更具韌性的整合治理。對水庫場域而言，僅能看見單點監測數值已不足以支撐治理，管理者更需要持續感知、即時辨識、快速告警與追溯分析能力 [2]。

牡丹水庫為屏東南部重要多目標水庫，除日供水量約 10 萬立方公尺外，亦負責下游公共給水與灌溉等任務。官方資料顯示，其主要集取四重溪上游汝仍溪與牡丹溪流域水量，供應恆春、滿州、牡丹、車城、枋山、枋寮等 15 個鄉鎮及重要設施用水。正因其具有區域關鍵水源地位，牡丹水庫的管理工作不能停留在單點量測或事後彙整，而必須進一步發展為跨設備、跨場景、跨層級的智慧治理體系 [1]。

本文聚焦於牡丹水庫 AIoT 導入、水庫智慧管理平台建置、陸空聯防巡檢、水質與藍綠藻預警、影像辨識、車牌辨識、告警推播與跨年度維運等面向，藉以呈現智慧工程如何在實際水庫場域中形成治理閉環。

二、智慧水庫與 AIoT 發展趨勢

2.1 智慧水務已由單點監測走向資料融合與決策支援

近年智慧水務研究普遍指出，smart water management 並非單一感測器或單一演算法的導入，而是將量測、通訊、資料處理、模型推論與應用介面整合為一體的管理系統。相關文獻顯示，智慧水管理已涵蓋智慧量測、漏損管理、水質分析、作業最佳化與系統架構整合；感測器與遙測技術的真正價值，在於支援即時監測、雲端警示與遠端控制，使水資源管理由被動反應轉向主動調度。這也與 UNESCO 所提出的 AI 水管理觀點一致：工程轉型的關鍵，並非僅是設備數位化，而是將治理流程資料化、平台化與決策化 [3,5,6,11]。

2.2 水質監測與藍綠藻預警已成為智慧水庫治理前線

IoT 化水質監測的重要性，在於能將原本仰賴人工採樣、時間解析度有限的監測作業，提升為連續化、遠距化且可即時比對的風險掌握機制。研究指出，IoT 型水質監測可結合感測器、通訊協定與雲端分析，建立即時且具延展性的監測能力；其他綜述文獻則進一步說明，水質感測器、地理資訊、機器學習與即時資料整合，已成為水質治理的重要發展方向。另一方面，世界衛生組織於 2024 年新版《Management of Cyanobacteria in Drinking-Water Supplies》中強調，飲用水系統若存在藍綠藻風險，應建立監測、分級管理與應變處置機制，以維護公共衛生。對



水庫管理而言，pH、水溫、濁度、溶氧、葉綠素與藍綠藻相關參數的即時監測，已不再只是環境資料蒐集，而是供水治理的重要一環 [4,7,8]。

2.3 無人機與 AI 影像辨識提升巡檢安全與可視化能力

在水工設施與大壩工程領域，無人機已由影像蒐集工具逐漸發展為巡檢、三維重建與異常判讀平台。研究指出，無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）影像結合三維重建（3D reconstruction）可支援大壩緊急監測與設施檢查；深度學習搭配三維重建技術，亦可用於壩體與溢洪道表面缺陷辨識。這代表巡檢模式正由「人員進場拍攝」轉向「設備先感知、影像先判讀、管理者再確認」，在提升巡檢頻率與覆蓋率的同時，也降低坡地、水邊與偏遠設施等高風險場域的人員暴露 [9,10]。

三、牡丹水庫智慧管理平台建置架構

3.1 感測層與傳輸層

牡丹水庫智慧管理平台的感測層已整合水質浮台、上游濁度站、下游水位站、雨量與水位設備、監視影像，以及自主無人機巡檢資料。水質浮台監測項目包括 pH、溶氧、水溫、濁度、葉綠素、氧化還原電位與藍綠藻相關參數，並可與人工採樣及既有測站資料進行交叉比對。傳輸層則負責將感測站與影像資料持續回傳至平台，並配合水利署「水資源物聯網感測基礎雲端作業網絡」進行資料格式轉換、詮釋資料更新與雲端上傳，使場域資料由單站使用擴展為可串接、可分析的資料資產。此種由現地量測、網路傳輸到雲端匯流的設計，與智慧水務文獻所強調的即時監測與多源整合方向一致 [5-7]。



圖 1 牡丹水庫集水區雨量監測站

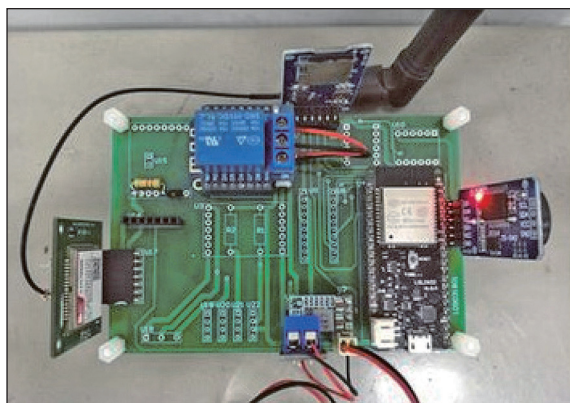


圖 2 雨量計 NB-IoT 傳輸模組

若以架構觀點說明，牡丹水庫平台可概括為「感測層（浮台、雨量、水位、濁度、影像、無人機）→ 傳輸層（IoT 回傳、API 串接、雲端匯流）→ 平台層（Dashboard、

圖控、歷史資料、月報）→ AI 應用層（人形辨識、水質分析、影像變異判讀）→ 管理應用層（LINE、Email、簡訊告警、巡檢輔助、維運追蹤、決策支援）」，形成由前端感知到後端決策的完整鏈結。

3.2 平台層與 AI 應用層

平台層的核心任務，在於將分散的監測數據轉化為可被管理者快速理解與運用的操作介面。牡丹智慧管理平台已建置首頁 Dashboard、圖控頁面、歷史資料查詢、水管管控分析、檔案管理，以及月營運報表自動彙整與匯出等功能。各項測值可連結至歷史報表，一方面有助於管理者掌握即時狀況，另一方面也便於後續異常追蹤與跨期間比較。

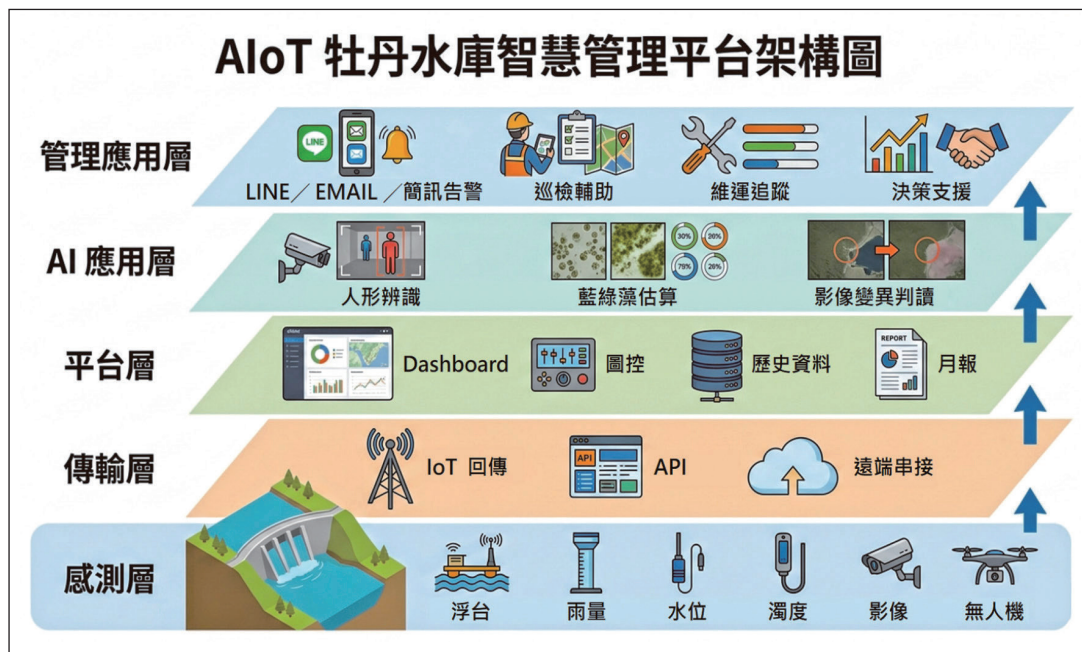


圖 3 AIoT 牡丹水庫管理平台架構圖



AI 應用層則進一步將資料轉化為事件與判讀成果，例如透過葉綠素、藍綠藻相對螢光強度與濁度資料推估藍綠藻風險，以影像辨識執行人形入侵偵測、車牌辨識與場域異常事件判讀，並結合無人機影像進行滑坡、建物、堆置與人為開發等變異輔助分析。透過白名單管理、異常車輛辨識與事件截圖留存，平台已將傳統影像留存模式提升為可辨識、可告警、可追溯的智慧安防機制。Shao 等人於 2025 年提出的 reservoir monitoring 四層架構，即以 perception、data、model、application 建立閉環管理體系，與牡丹水庫的建置邏輯高度相符 [3,11]。

3.3 管理應用層與治理閉環

管理應用層的價值，在於把平台輸出直接轉化為現場決策與維運動作。牡丹平台除既有簡訊與 Email 告警外，亦導入以 LINE 為基礎的行動推播機制，並透過 API 串接水質預警、邊坡安全預警、地震事件、智慧安防、下游水位、無人機推播及其他異常事件類型。平台檔案管理功能亦可搭配告警傳遞表單或報表下載連結，讓事件不再停留於監控畫面，而是形成「事件產生、即時通知、作業追蹤、歷程留存」的治理閉環。這正是智慧工程與傳統監測系統之間最本質的差異 [5,6,11]。

四、AIoT 導入作為、應用成效與綠色轉型價值

4.1 平台化治理

牡丹水庫智慧化最關鍵的改變，在於管理型態由多系統分散、人工彙整，轉為單一

平台統治理。Dashboard 可集中呈現水庫即時資訊、水質、雨量站與水位站數據；歷史資料可快速查詢；月營運報表可自動彙整並匯出保存；檔案管理模組則可依不同業務屬性管理表單與報表。平台化治理的效益不僅是介面整合，更在於將原本高度依賴人工作業的資訊蒐整流程，轉化為可持續、可追溯、可交接的管理機制，使人力得以集中於異常判讀與後續處置。這類從資料來源到應用介面的整合，正是智慧水管理的核心價值 [5,6]。

4.2 水質智慧監測與藍綠藻預警

牡丹水庫水質浮台除持續監測 pH、水溫、溶氧與濁度外，亦將葉綠素與藍綠藻相對螢光強度納入藍綠藻數自動估算邏輯，並透過平台燈號與行動告警傳遞風險訊息。當數值超過警戒值時，系統即建議加密監測並通知淨水端。此種將監測資料直接連結至分級警示與應變建議的作法，與 WHO 對飲用水供應系統建立 cyanobacteria 風險監測、分級管理與應變處置的建議高度一致 [4,7,8]。

歷史資料亦顯示，牡丹水庫浮台監測結果與人工採樣在濁度及葉綠素變化趨勢上具有一致性，且每年 6 至 9 月藻類監測值較高，屬優養化風險需加強注意的季節。由此可見，牡丹水庫的智慧水質管理並非取代人工檢測，而是以前端連續監測縮短風險發現時間，再以人工採樣、毒素檢測與淨水端應變作為後續確認機制。藉由連續監測、分級警示、人工複核與管理應變的串接，水質風險管理已由事後應對逐步前移為事前掌握 [4,7,8]。



圖 4 牡丹水庫水質監測浮台



圖 5 水質監測站水質分析儀維護示意圖



4.3 陸空聯防巡檢

牡丹水庫巡檢機制已不再侷限於固定頻率的人力到場，而是結合陸域監視與空域巡檢形成陸空聯防。陸域部分，壩區重要設施除建置人形入侵辨識攝影機外，亦納

入車牌辨識與場域進出管理機制，可針對警戒區域、重要出入口與警衛亭周邊進行持續監看。當系統偵測到異常人員逗留、陌生車輛進入或其他異常事件時，即會透過平台產生告警並保留影像紀錄，以利管理人員快速判斷。



圖 6 牡丹水庫人形偵測電子圍籬示意圖



圖 7 牡丹水庫車牌辨識車輛示意圖



空域部分，水庫建置自主無人機巡檢系統與停機坪自動充電功能，可依任務排程執行正射影像拍攝，並透過影像對位與 AI 模型輔助判讀滑坡、建物、堆置及人為開發等變異情形。地面辨識與空中巡查互為補充，使巡檢模式由被動查核轉向事件導向與主動應變。

值得注意的是，官方資料亦顯示牡丹水庫屬無人機禁限航區，政府機關、學校或法人如需進入禁限航區飛行，仍須依規定提出申請。這反映出水庫場域導入自主無人機巡檢，不僅涉及硬體與影像辨識技術，更涉及空域管理、任務申請、標準作業程序與維運制度。從國際文獻來看，UAV 結合三維重建與 AI 辨識，確能提升大壩與水工設施巡檢的效率與安全性；而牡丹案例的實務價值，則在於將這些技術落地於受管制、受限制且需長期維運的關鍵場域 [1,9,10]。

4.4 AI 應用成效與治理提升

牡丹水庫的 AI 成效，不宜僅以單一辨識模型或單一設備效能衡量，而應從整體治理流程提升的角度觀察。平台已將人形入侵辨識、車牌辨識、水質預警推估與影像變異輔助判讀等能力納入日常管理流程，使原本仰賴人工持續監看、事後調閱與經驗判斷的作業，逐步轉為由系統先行辨識異常，再由管理者確認與處置。這不僅提升事件掌握的即時性，也使管理注意力能更聚焦於真正的異常事件，而非例行性監看。

在巡檢與安全管理方面，AI 使巡檢模式由固定排程進一步轉為可由事件驅動的動態

管理。地面監視系統可透過人形或車牌辨識發現異常進出情形，空域無人機則可依任務排程或事件需求提供影像支援，形成由固定攝影機、事件辨識、平台告警到空中補充巡查的聯動機制。此一設計有助於降低高風險場域的人員暴露，也提升巡檢覆蓋率與異常事件回應速度。

就水質治理而言，AI 的價值則表現在風險前移與輔助判讀。平台透過葉綠素、藍綠藻藻數與濁度等參數推估藍綠藻風險，並配合燈號、分級預警與行動推播機制，使水質風險得以及早納入管理流程。對供水型水庫而言，這意味著水質監測已由單純的數據蒐集，提升為可支援警戒、追蹤與應變的治理工具。

整體而言，牡丹水庫的 AI 成效並非只來自辨識準確度的技術表現，而是來自 AI 已與感測、平台、告警及維運流程實際整合，進一步提升事件辨識效率、巡檢安全性、告警即時性與資料可追溯性，成為由智慧化建置走向智慧治理的重要標誌。

4.5 告警推播與決策支援

牡丹平台的告警邏輯已由單一通道提升為多通道、多事件的主動推播機制。平台不僅整合既有簡訊與 Email 推播，更進一步導入以 LINE 為基礎的行動告警服務；其推播內容涵蓋水質預警、河道水位、邊坡安全、人形入侵、車牌辨識、人臉辨識、無人機事件與地震事件等，顯示平台已將 AI 辨識結果直接納入事件管理與應變流程。更重要的是，平台並非僅發布「異常發生」訊息，而是搭



配場域資訊、門檻值、截圖、時間戳記及建議處置，使管理者能在第一時間判斷事件類型與風險程度。

平台的另一項價值，在於將告警、查詢、報表與檔案管理串聯為完整作業閉環。Dashboard 不僅展示即時資訊亦提供切換至歷史報表的功能，可自動彙整月營運報表後下載保存，檔案管理功能則可將強震檢查單、新聞稿、防汛表單等資料與告警事件結合，透過簡訊、Email 或 LINE 傳遞給管理者。對管理實務而言，這代表事件從發生、通知、查核到留存與追蹤，已建立完整鏈結，也使水庫日常管理由經驗依賴逐步轉為資料依據。此種將資料流轉化為作業流的做法，正是智慧水管理最具價值再造意義的部分 [5,6,11]。

4.6 維運、資安與永續治理

智慧工程若僅停留於初期建置，往往難以形成長期治理能力；牡丹案例的重要性，在於其已呈現跨年度維運的延續性。後續維護更新項目包括水質監測浮台更新與耗材更換、飛行作業及 AI 辨識變異報告、水質儀濁度計維修、平台告警設定調整、網頁功能維護、汛期系統維運、虛擬化平台更新、不斷電系統迴路修改、消防系統電池模組更換、主機防毒與資安修正，以及新增閘閘室與運轉室人形偵測設備。這些工作顯示，智慧水庫並非「設備裝設完成即告結案」，而是必須伴隨設備更新、環境適配、機房管理與資安維護的長期工程。

牡丹水庫作為國內重要關鍵基礎設施，亦已納入符合 B 級需求之資通安全工作，

包括安全性檢測、資通安全健檢、威脅偵測管理機制、政府組態基準導入、防護建置、教育訓練與安全憑證部署，並配合水利署雲端作業平台維護虛擬主機資源。就綠色工程與永續治理而言，這些維運與資安作為的價值，在於確保系統能長期穩定、資料可信、事件可追，避免智慧化淪為一次性展示。換言之，牡丹案例的永續轉型價值，不僅來自降低高風險人工巡檢與提升管理效率，更在於其逐步形成可持續改善、可跨年度運作且可供其他水庫場域借鏡的治理能力 [6,11]。

五、結論

牡丹水庫的 AIoT 實踐顯示，智慧水庫的核心不在於增加多少設備，而在於能否將感測、通訊、平台、AI 辨識、告警推播與管理流程整合為一套可持續運作的治理系統。從水質浮台、水位與雨量設備、影像監視、自主無人機，到 Dashboard、歷史資料、分級預警與跨年度維運，牡丹水庫已逐步將傳統人工巡檢與分散監測，重構為「感知、傳輸、平台、告警、決策」一體化的智慧治理模式。此一模式一方面使資料更即時、完整且具可追溯性，另一方面也使管理者能以較低的人工作業風險，掌握水質、水庫安全與場域異常 [1-4,11]。

若從「智慧驅動的工程轉型：智慧融合與價值再造」加以評價，牡丹水庫至少展現三項值得擴散的經驗。第一，工程轉型的重點在於流程再設計，而非單點設備升級。第二，智慧融合的關鍵，在於將水質、水位、雨量、影像、無人機、AI 辨識、告警與報表管理整合為單一平台能力。第三，價值再造



的具體表現，則在於提升巡檢安全、告警即時性、資料可追溯性與維運持續性。牡丹水庫案例因此不僅是單一場域的數位化成果，更是 AIoT 促進綠色工程與永續治理轉型的具體樣本 [5,6,9-11]。

參考文獻

1. Ministry of Economic Affairs Water Resources Agency Southern Region Water Resources Branch, "Mudan Reservoir," *Water Resources Agency*. [Online]. Available: <https://www.wra.gov.tw/wrasb/cp.aspx?n=31315> [Accessed: Jun. 9, 2026].
2. UN-Water, *UN-Water Policy Brief on Climate Change and Water*. Geneva, Switzerland: UN-Water, 2019.
3. A. Moreno-Rodenas, K. Verbist, A. Mertens, et al., *Applications of AI for Water Management*. Paris, France, and Delft, Netherlands: UNESCO and Deltares, 2025. <https://doi.org/10.54677/VGVL7976>.
4. World Health Organization, *Management of Cyanobacteria in Drinking-Water Supplies: Information for Regulators and Water Suppliers*, 2nd ed. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2024. <https://doi.org/10.2471/B09130>.
5. É. Soares Ascensão, F. Melo Marinangelo, C. F. Meschini Almeida, N. Kagan, and E. M. Dias, "Applications of Smart Water Management Systems: A Literature Review," *Water*, vol. 15, no. 19, Art. no. 3492, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15193492>.
6. S. A. Palermo, M. Maiolo, A. C. Brusco, et al., "Smart Technologies for Water Resource Management: An Overview," *Sensors*, vol. 22, no. 16, Art. no. 6225, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22166225>.
7. F. Jan, N. Min-Allah, and D. Düşteğör, "IoT Based Smart Water Quality Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic Applications," *Water*, vol. 13, no. 13, Art. no. 1729, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13131729>.
8. P. Jayaraman, K. K. Nagarajan, P. Partheeban, and V. Krishnamurthy, "Critical Review on Water Quality Analysis Using IoT and Machine Learning Models," *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 4, no. 1, Art. no. 100210, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2023.100210>.
9. S. Zhao, F. Kang, J. Li, and C. Ma, "Structural Health Monitoring and Inspection of Dams Based on UAV Photogrammetry with Image 3D Reconstruction," *Automation in Construction*, vol. 130, Art. no. 103832, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103832>.
10. K. Hong, H. Wang, B. Yuan, and T. Wang, "Multiple Defects Inspection of Dam Spillway Surface Using Deep Learning and 3D Reconstruction Techniques," *Buildings*, vol. 13, no. 2, Art. no. 285, 2023. <https://doi.org/10.3390/buildings13020285>.
11. S. Shao, F. Zhou, Y. Wang, and J. Wu, "An Integrated Multi-Sensor Information System for Real-Time Reservoir Monitoring and Management," *Sensors*, vol. 25, no. 18, Art. no. 5730, 2025. <https://doi.org/10.3390/s25185730>.