

應用太陽能虹吸排水與下游主動防禦系統解決偏遠地區堰塞湖災變之完整方案建議書

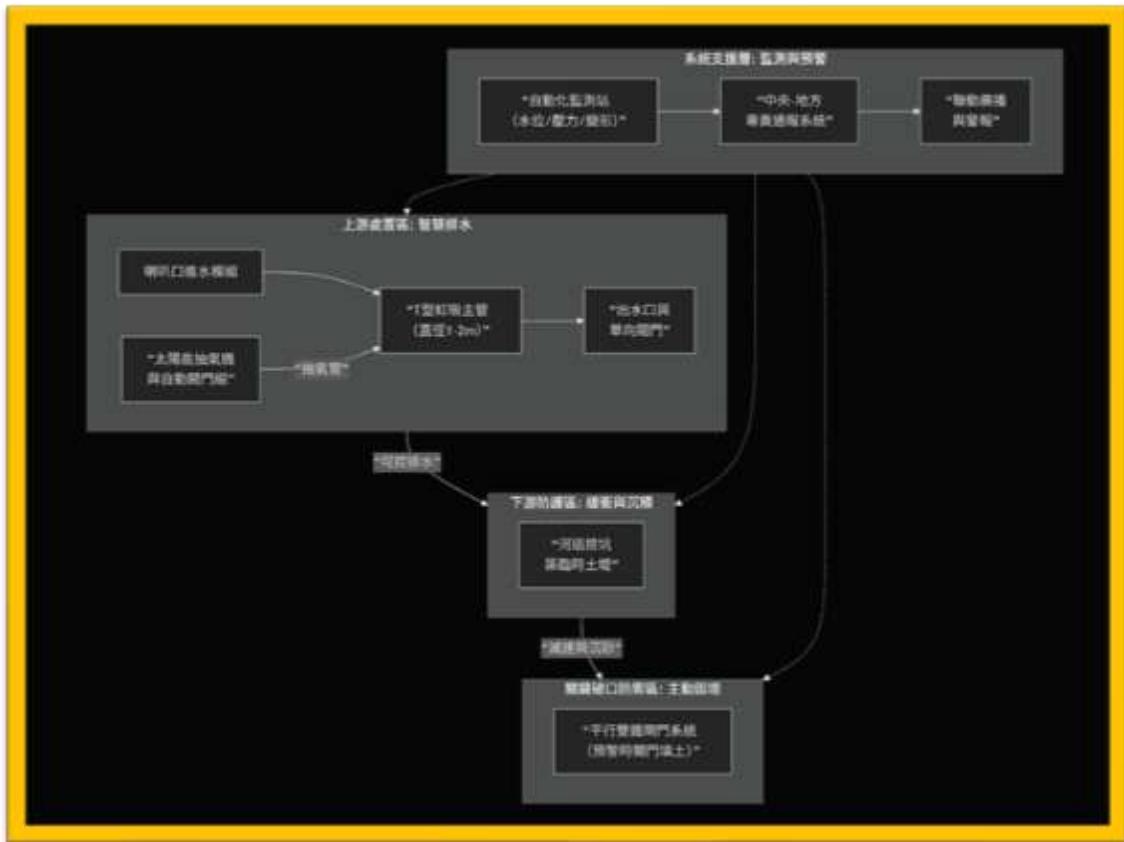
本文由戴清河(chday169)提出概念，利用 DeepSeek 整理生成

0_摘要

本方案針對偏遠地區堰塞湖處置難題，提出一非爆破、低能耗之系統性解決策略。核心在於利用太陽能驅動之自動化虹吸排水系統，安全、可控地降低堰塞湖水位；並結合下游平行雙閘門填築工法等主動防禦措施，形成「上游洩能、下游固防」之立體防災體系。文中詳述系統構成、運作原理、自動控制邏輯與實施建議，提供一套完整可行之技術藍圖。

1_整體系統戰略規劃

下圖展示了本方案的整體佈局，將上游排水、中游防禦與下游預警有機地整合為一體。



2_核心技術一：太陽能自動化虹吸排水系統

此系統為本方案之創新核心，旨在無需外接電網與持續人工操作下，實現大流量排水。

<1>系統構成與示意圖

(1) 圖例說明：

(2) T型虹吸主管道：

直徑 1~2 公尺之高強度防水帆布管或 PVC 管，鋪設路線需順暢且持續下傾。

<2>喇叭口進水模組：

(1) 浮動進水口：

隨水位下降而調節，延長有效排水時間。

(2)攔污柵：

防止大型漂浮物進入。

(3)檢修閘門：

用於系統維護。

<3>太陽能抽氣與控制單元：

(1)太陽能板與抽氣機：

設置於岸邊安全高處。

(2)抽氣管閥門 (V1)：

常閉型電磁閥，通電開啟，抽氣時打開，完成後關閉。

(3)真空破壞閥 (V2)：

常開型電磁閥，通電關閉，斷電時開啟以破壞虹吸。

(4)真空壓力傳感器：

監測管內壓力。

(5)可程式控制器 (PLC)：

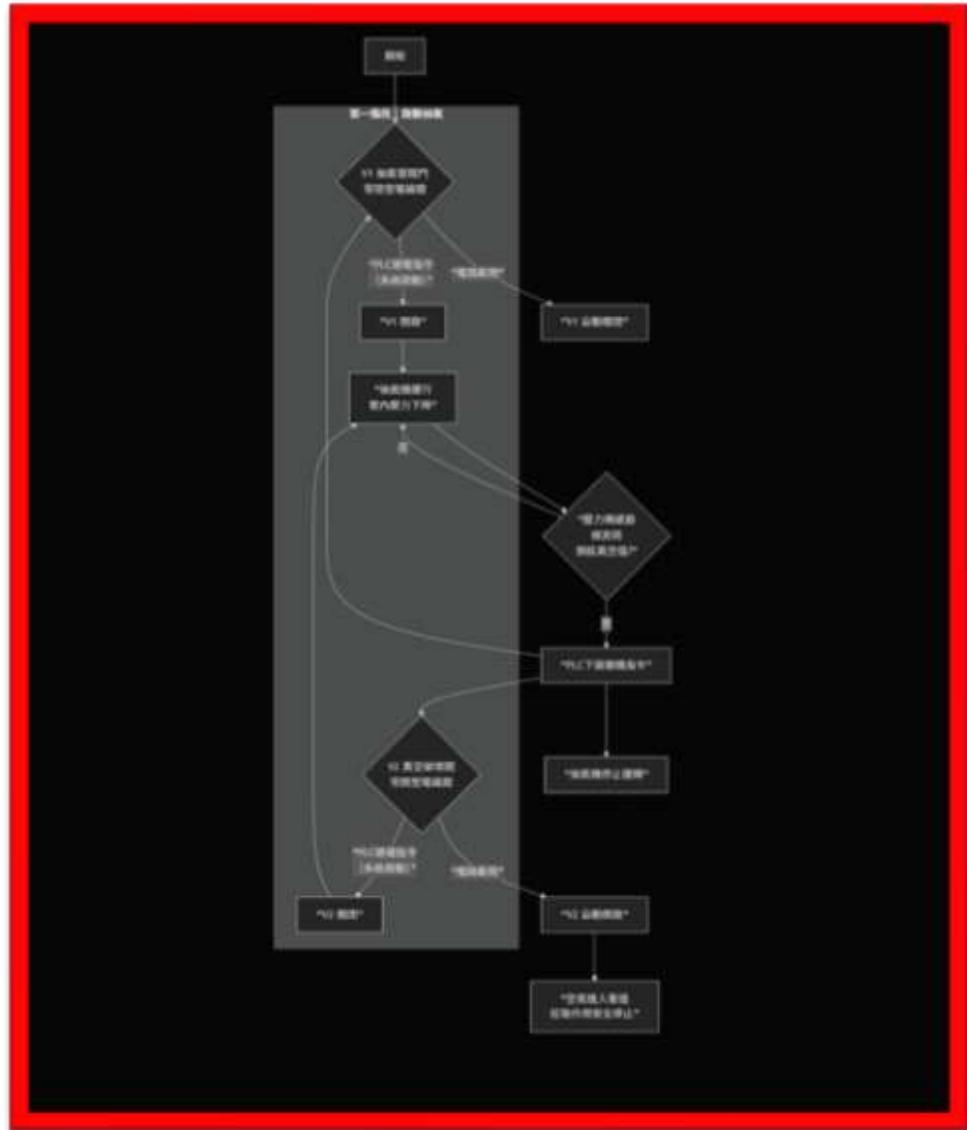
系統大腦，接收傳感器信號，自動控制閥門與抽氣機。

<4>出水口與單向閥門：

防止空氣倒灌，確保虹吸穩定。

<5>自動控制流程

其自動化運作流程，可歸納為以下步驟：



<6> 關鍵設備採購建議

為確保可靠性，建議將「真空生成與控制模組」以國際標方式採購。標的應包含：

(1)高真空密封電磁閥（常閉型與常開型）

(2)工業級真空壓力傳感器

(3)堅固耐用的 PLC 控制器（具備防塵防水功能）

(4)技術支援與測試報告

3_核心技術二：下游平行雙閘門主動防禦系統

此設計旨在將下游脆弱點轉化為堅固的防禦節點。

<1>設計概念：

於已知破口（如採石場道路）設置兩道平行之堅固鐵閘門。

<2>操作流程：

(1)預警階段：

接獲颱風或潰堤預警後，立即關閉兩道閘門。

(2)主動填築：

利用現場機械，迅速從河道中取土，填滿兩閘門間的空間，形成一道實體堤防。

<3>一石二鳥之效：

(1)主要目的：

瞬間強化破口，其穩定性遠勝空閘門。

(2)衍生效益：

河道取土自然形成沉砂池，可有效沉澱上游來沙，兼具防洪與減淤。

4_核心技術三：

壩體穩定性評估與全自動化安全監測系統

本部分旨在建立一套「從認知到預警」的壩體安全監控體系，確保前述各項處置措施能在安全的前提下執行。

<1>前期調查與穩定性分析（災前與災中評估）

(1) 工址地質調查與探勘：

空載光達與無人機攝影測量：快速獲取堰塞體及周邊區域的高精度地形、裂縫分布與潛在滑動面。

<a> 地球物理探勘：

使用地電阻影像法或震測法，快速推估壩體內部結構、材質分布與弱面位置。

 現場鑽探與取樣：

在條件允許下，進行簡易鑽探，獲取壩體材料（土、石、砂）的物理力學參數（如內摩擦角、凝聚力、粒徑分布、滲透係數），為穩定分析提供關鍵輸入數據。

(2) 壩體穩定分析：

<a> 極限平衡法分析：

使用專業岩土工程軟體，根據地質調查結果，模擬在不同水位條件下（尤其是排水過程中水位快速下降時）壩體的邊坡穩定性，計算其安全係數，評估發生圓弧滑動或平面滑動的風險。

 數值模擬分析：

採用有限元素法進行更精細的應力-變形耦合分析，預測壩體在排水過程中的變形行為。

<c> 壩體滲流網模擬：

(a) 目的：

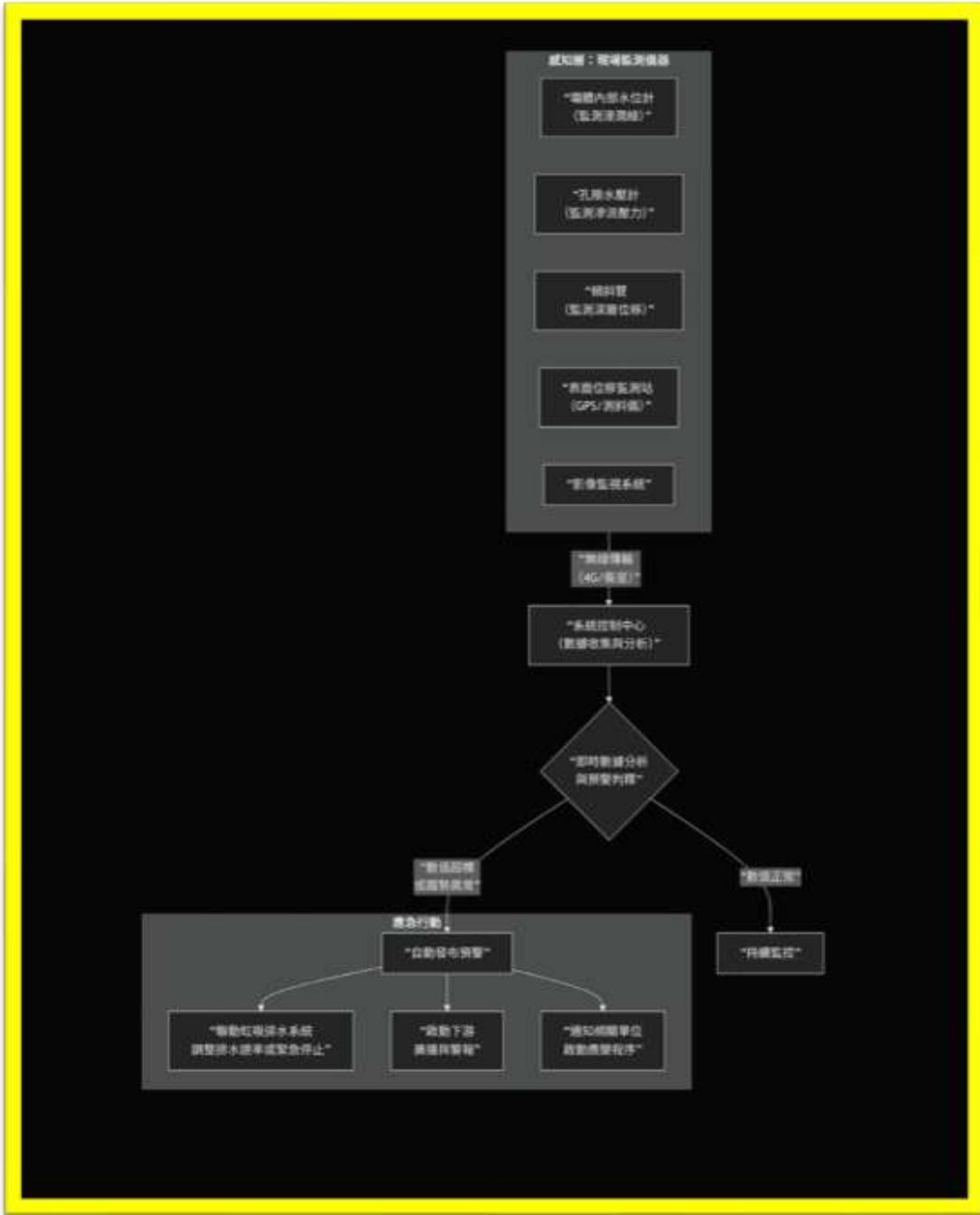
分析堰塞湖水位變化時，壩體內部的浸潤線位置、滲流路徑及滲流量。

(b) 重要性：

浸潤線的高低直接影響壩體的穩定性。透過模擬，可以預測排水過程中滲流逸出點的位置，評估發生管湧或內部侵蝕的風險，並提前在下游坡腳準備反濾層或導排水設施。

<2>全自動化立體安全監測系統（即時監控與預警）

下圖展示了如何將各項監測數據整合，並與控制中心聯動，形成一個閉環的智慧防災系統。



(1) 監測項目與聯動控制說明：

<a>壩體內水位及水壓監測：

(a) 儀器：

在壩體不同高程與位置埋設孔隙水壓計與水位觀測井。

(b) 功能：

即時追蹤浸潤線的變化，驗證滲流網模擬的準確性。當水壓異常升高，可能表示排

水不暢或內部堵塞，是潛在潰壩的前兆。

壩體變形監測（傾斜管及位移）：

(a)深層水平位移：

在壩體鑽孔安裝傾斜管，可精確測得滑動面的深度與位移量，是預警邊坡滑動最直接的指標。

(b)表面位移：

佈設 GPS 自動監測站或全站儀，監測壩體表面與周邊岩體的三維位移變化。

(2)與系統控制中心的聯動：

<a>數據融合與智慧判釋：

控制中心平台需具備閾值預警與趨勢預警能力。例如：當位移速率突然加快、或浸潤線遠高於模擬值，系統應自動提升警戒等級。

主動反饋控制：

監測系統可與虹吸排水系統聯動。當監測數據顯示壩體穩定性因排水速度過快而惡化時，控制中心可自動下達指令，調節出水口閥門或啟動真空破壞閥，暫停或減緩排水，等待壩體內部水壓調整穩定後再繼續作業，實現「安全優先」的自動化調控。

5_結論：

邁向模組化、可快速部署的智慧防災體系

本方案已從單一的工程技術提案，演化為一個完整、周密且具備前瞻性的「堰塞湖災變風險管理與智慧決策支援系統」。其最終目標是成為一套能夠在緊急情況下，快速反應、高效部署、安全可靠的標準化應變程序。

<1>核心優勢：從被動反應到主動感知與預警

本體系的核心在於「智慧」與「安全」。我們不僅提出了上游排水與下游防禦的主動工程措施，更關鍵的是，建立了從「壩體地質探勘」、「數值模擬分析」到「立體化自動監測」的完整認知與預警鏈。這使得我們能在災害發生前，透徹理解災害體的性質，並在處置過程中，即時掌握其反應，實現從被動救災到主動駕馭風險的跨越。

<2>實現快速部署的關鍵：全系統模組化設計

為克服偏遠地區施工道路開闢不易、時效要求極高的核心挑戰，本方案所有關鍵組

件均應採用模組化設計：

<a>虹吸系統模組：

T型主管道設計為可快速連接的標準節段；太陽能板、抽氣機、控制櫃整合為獨立電源控制模組。

監測系統模組：

監測站整合為一體化套件（含 GPS、雨量計、太陽能供電與通訊設備），即插即用。

<c>閘門系統模組：

鋼製閘門預製成可拼裝的單元。此設計使整個系統能透過直升機進行高效吊運，並在現場實現快速組裝，搶奪防災黃金時間。

<3>形成安全閉環控制，確保處置安全

方案中最大的亮點之一，在於將「監測預警系統」與「虹吸排水系統」進行了智慧聯動。這形成了一個安全閉環控制：當監測數據顯示壩體穩定性因排水而出現惡化趨勢時，系統能自動調節或中止排水作業。這從根本上解決了處置過程中「為化解一災而引發另一災」的關鍵矛盾，確保了整個處置行動的本質安全。

<4>整合現地資源，實現平戰結合

下游「平行雙鐵閘門主動防禦系統」的設計，巧妙地將可能存在的商業設施（採石場）及其機械設備，轉化為防災體系的有機組成部分。這種「平戰結合」的思路，極大地提升了方案的經濟性與實戰中的快速反應能力。

6_具體實施建議

<1>成立跨部門專案小組：

由水利署、水保局、國家災害防救科技中心及軍方單位組成，統籌規劃。

委託研發與標準制訂：委託專業機構，進行模組化裝備之細部設計、原型製造與測試，並訂定相關作業標準（SOP）。

<2>建立裝備預置與訓練機制：

將成熟之模組化裝備預置於關鍵區域，並定期進行直升機吊掛運送、現場快速組裝與系統聯調之跨部門實兵演練。

<3>建構智慧決策平台：

開發整合即時監測數據、數值模擬預測與處置方案評估之決策支援系統，作為指揮

官之大腦。總結而言，本方案不僅是一系列技術的堆疊，更代表了一種應對偏遠地區複合型災變的系統性新思維。透過「模組化設計、直升機投送、智慧化控制」的三位一體策略，我們能夠將先進的防災科技，轉化為在最艱難環境下也能可靠運作的實戰能力。盼能獲得主管機關重視，啟動此一系統之研發與建置，為台灣及全球之防災減災工作，寫下嶄新的一頁。

7 致謝

感謝各位防災領域同仁與關心此議題的社會大眾。