

曾文水庫防洪運轉及洪水預報資訊系統改善策略

楊豐榮¹

徐安然²

周乃昉³

鄭子璉⁴

摘要

對於整合水庫最佳防洪運轉決策之資訊系統而言，有必要由上而下掌握各種水文觀測資料，推估目前及未來可能的水文流況；防洪運轉之分析方法、計算速度與資訊統合等須能達成防洪操作及決策下達之時效要求，並適度的修正推估模式之參數，以期更加符合現地水文流況與提高預估準確度。

本研究研擬之資訊系統本於曾文水庫防洪運轉操作的相關法規，依據中央氣象局提供之預估總降雨量，及水庫集水區各測站歷史降雨型態與延時、強度的統計關係，推估未來可能的雨量歷程，再選用徐昇多邊形法、高度平衡多邊形法或克利金法計算集水區平均雨量。對水庫進水量之預估以修正型水筒模式為基本架構，可選用全集水區水筒模式、分佈型水筒模式、或依臨前水文條件及降雨強度大小建立之分類型水筒模式；另依即時水文資料，修正建立即時更新水筒模式與即時檢定參數之即時更新水筒模式，以減低預測誤差。

在水庫防洪運轉的即時策略分析方面，建立仿現地運轉程序之即時防洪運轉模擬模式，提供未來 6 小時法規允許逐時放水量的上限和下限，並預估放水後的水庫蓄水狀況及下游河道控制點-走馬瀨，供操作者參考決定放水量，應用此模式可分析得水庫最高水位與下游河道控制點洪峰流量關係的取捨曲線。

在下游河道洪水演算方面，以 FRLFI 模式為基礎發展河系模式，演算繪製各重要橋樑之流量歷程，另將下游集水區分成若干小區，應用擬似二維淹水模式分析淹水潛勢，估算淹水水深與過程，在考量不妨害主系統分析能力上，主系統可選擇將需大運算時間之分析透過網路分散至備份系統運算，並自動回收分析結果繪圖展示。

過去曾文水庫有單位歷線法及貯蓄函數法估算進水量，然因無雨量之推估模式及方法，未能利用既有模式推估水庫進水量供防洪運轉參考，本文所研擬的水庫防洪運轉決策支援系統能自動推定雨型、推算各集水區平均降雨量、水庫進水量、水庫下游主河道兩側流出水量、分析水庫最佳的防洪運轉策略，對提高分析效率、制定防洪運轉的放水決策及降低下游洪災有極大助益。

關鍵字：防洪運轉、決策支援系統、即時操作

一、研究背景與目的

曾文水庫自民國六十二年完成，迄民國九十一年業已運轉 30 年之久，期間執行過近 40 次防洪運轉作業及高水位調節，其中包括民國七十年之九三水災、八十五年之賀伯颱風及九十年納莉颱風等三次大量進水情況，均能順利完成防洪操作或攔蓄，充份發揮水庫防洪功能，成效斐然。

經濟部水利署南區水資源局（以下簡稱南水局）曾文水庫從歷年防洪運轉作業經驗中，

認為在防洪運轉所需資訊與執行作業上，應即時掌握正確的集水區降雨量暨洪水進入水庫之過程，以增加防洪運轉應變時間。此外在作業時效上，大量防洪運轉資訊需在極短時間內完成分析並有效展示，以利決定適切的防洪運轉策略。

本研究目的在於精進防洪運轉有關資訊之分析方法與計算系統，以提高預估與分析之準確度；並配合現場即時觀測資訊，進行分析模式之即時修正。一套能分析並統合所有防洪運轉資訊之「防洪運轉決策支援系統」在本研究中予以加強。針對防洪運轉資訊之統合與分析方法分成五部份如下：

1. 防洪運轉決策支援系統之建立
2. 曾文水庫集水區面積雨量觀測及分析檢討

¹經濟部水利署南區水資源局 局長

²經濟部水利署南區水資源局 正工程司

³成功大學水利及海洋工程學系 副教授

⁴成功大學水利及海洋工程學系 研究生

3. 水庫即時進水量預測及下游河道兩側流出水量分析
4. 下游河道洪水演算及可能洪氾區淹水潛勢評估
5. 曾文河流域水庫防洪運轉即時策略研擬

二、曾文河流域概況

2.1 曾文水庫概要

曾文水庫為具有灌溉、給水、發電及防洪等多目標水庫，壩址以上水庫集水區面積為 481.1 平方公里，佔曾文流域 41%。地形上由東北而西南呈狹長之袋形，長約 41 公里，最寬約 17 公里。平均標高 963 公尺，平均坡度約 0.544，溪流平均坡降達 1/68。

2.2 曾文水庫下游曾文溪河道

曾文溪主流全長 138.47 公里，流域面積 1,176 平方公里，為嘉南平原上的最大河川。主要的三條支流為官田溪、菜寮溪及後堀溪，此三條主要支流上游均建有水庫。官田溪上建有烏山頭水庫，菜寮溪上游之支流鏡面溪建有鏡面水庫，後堀溪上建有南化水庫。曾文水庫至後堀溪出口平均坡降約 1:300；後堀溪出口至菜寮溪出口約 1:650；以下河段至河口約 1:3,500。自菜寮溪出口以下河段幾近平坦，河床質純為泥砂質組成。

2.3 曾文河流域氣象水文即時觀測電傳系統

1. 電傳雨量站

南水局在曾文水庫集水區中設九個雨量站，包括曾文、水山、樂野、里佳、表湖、馬頭山、龍美、三角南山及大棟山等，每一測站均同時設有電傳及普通雨量計兩種以供校驗之用。

2. 電傳水位站

南水局在水庫上游內設有山美、新美浮筒型類比式水位站及大壩氣壓型類比式水位站，在水庫下游則設有中正橋、走馬瀨、玉峰橋、北勢洲橋、曾文溪橋、麻善橋、西港橋和國姓橋八站音波型水位站。

曾文河流域電傳雨量站與水位站位置圖如圖1所示。

三、集水區面積雨量觀測及雨型分析

集水區面積雨量在空間方面採用三種方式估算：

1. 徐昇加權因子

考慮各電傳雨量站於實際操作期間可能發生故障、或訊號不良或測站受落葉異物堵塞，將各種可能情境配合子集水區分區，加以組合計算並建立資料庫，依實際狀況查詢引用。

2. 高度平衡加權因子

同徐昇加權因子建立資料庫，依實際狀況查詢引用。

3. 克利金法

克利金法屬於即時面雨量推估方式，配合線上模式及雨量站況直接分析計算各子集水區平均雨量。

雨量在時間分配方面則採用兩型概估未來降雨，交通部中央氣象局（以下簡稱氣象局）在颱風情況會對曾文水庫發布總降雨量預報，基於目前觀測雨量可知尚未發生之待降雨量多寡，並針對各電傳雨量站將待降雨量依即時推估兩型分配到未來時段，作為雨量預報概估。

降雨兩型根據徐享崑等[1993]研究中歸納分為前進型、中間型、雙峰及後退型等四種時間分布型態，其分別對應於 Huff 之第一型、第二型、第三型及第四型象限降雨兩型。利用統計平均的方法，檢討降雨型態與降雨延時、平均降雨強度及颱風路徑等統計關係，於即時應用時建議採用適當的兩型做為降雨總量預報的時間分配準則。曾文水庫集水區之兩型採用條件如表 1 所示，面積雨量計算與兩型設定如圖 2 所示。

本研究進行時，曾文水庫下游之曾文河流域並未建立雨量資訊蒐集方式，下游雨量估計暫採曾文水庫集水區雨量替代，目前正與氣象局預報中心建立連線，以即時取得下游雨量觀測資訊。

四、水庫進水量及下游集水區逕流量預估

曾文水庫進水量在未來 3~5 小時內之進水量主要由已發生之觀測雨量造成，因此降雨量預估之偏差，對於短時間的水庫進水量預估影響有限，防洪運轉資訊系統可配合每小時之定期執行更新觀測與預測推估資訊，並參照預測資訊針對水庫操作方式下達決策指令。

本研究在曾文水庫集水區進水量預估採用五種方式：

1. 時間稽延型水筒模式

將水庫集水區視為單一且均勻之方式率

訂水筒模式參數，並運用雨量歷線推估未來可能水庫進水量。

2. 分類型水筒模式

考慮水庫進水量之基流與逕流反應降雨情形受水庫臨前降雨條件影響，因此將颱風豪雨事件之前五日降雨量分為三類以 40 mm 及 80 mm 為界，另依 6 小時最大降雨量再細分 3 類以 100 mm 及 200 mm 為界，分別率定水筒模式參數，以供線上執行時期選用分析。

3. 分佈型水筒模式

考慮水庫進水量受降雨量分佈不均可能影響，影響水庫進水量在時間上分佈不均，將水庫依河系、面積及地形等因素劃分為三個子集水區，並建立串聯形式之分佈型水筒模式以率定參數。

4. 狀態即時更新之水筒模式

由於降雨時間及空間分佈不均，集水區流出反應之時變特性皆影響逕流模擬之結果，且實際可能發生雨量觀測資料錯誤、與預測資料誤差、模式架構誤差及模式參數誤差，前述三種模式可能仍不足以修正系統誤差，因此採以卡門濾波演算法由觀測流量之回饋以逐時更新系統狀態，達到有效反應流域逕流歷線。

5. 參數暨系統狀態即時更新水筒模式

同前述模式理由，將即時更新系統狀態擴增包含參數群，採用高斯-牛頓法來搜尋最佳參數。由於本模式即時更新時須一定量之觀測資訊，以避免在更新參數及狀態時發生過渡描述現象(overfitting)，故選用本方法前，應有超過一定量的觀測數據方可選用。

依據觀測及預測雨量歷線，推估水庫進水量如圖 3 所示。

曾文水庫下游集水區則依相關可運用資訊選用降雨逕流模式，南化水庫、南化水庫以下之後堀溪及菜寮溪集水區有流量觀測紀錄可以運用，採時間稽延型水筒模式推估逕流量。在曾文溪主河道兩側則沿用水利規劃試驗所曾文溪中下游治理規劃報告中採用之單位歷線法推估逕流量。

五、防洪運轉即時策略分析

5.1 防洪運轉限制與條件

建立仿現地運轉程序，協助現場運轉作業之模式，提供完整資訊及建議放水策略，使操作者在緊急的情況下，能夠臨危不亂作出適當

之決策。

模式建置應依據水庫水理能力、水利法、水利法施行細則及曾文水庫運用要點相關規定設定限制及規則，包含：

1. 水利法施行細則第一百二十四條

『有閘門之水庫於洪水期間，其最高放水流量，不得大於流入水庫之最高流量。水庫放水流量之增加率，不得超過該水庫流入量之最高增加率。

前項放水流量，在水庫下游設有下池或相當於下池功能之設施，供以調節上游水庫放水者，為調節後之放水流量。』

基於本項法令限制，可歸納出逐時放水流量兩項限制：

- (1) 最高放水流量需小於該事件已發生之最高進水流量
- (2) 最高放水流量增加率需小於該事件已發生之進水流量之最高增加率

2. 水庫最高放水流量需小於閘門自由流況

水庫放水量無法超過實際水理或水工構造物限制放水能力，模式分析時需加入本項條件，以避免模式放水量超過實際最大放水量。

3. 曾文水庫運用要點

曾文水庫防洪運轉須依據本要點執行，故應將本要點歸納整理置入。

(1) 防洪運轉啟始條件

依據運用要點第 15 點中，分別規定在颱風或豪雨情況與非颱風或豪雨情況下，允許開始進行防洪運轉的條件，非滿足本項條件前，不得進行防洪運轉，其啟始運轉條件如表 2 及表 3 所示。

(2) 啟始放水量限制

依據運用要點第 18 點中，規定開始洩洪運轉第一小時，應以最低容許洩洪量洩放，另依據曾文水庫水門操作規定第四點，閘門最低洩洪量為 300 cms。

(3) 逐時最高放水量限制

依據運用要點第 16 點第 1 款中規定『在洪峰流量未過前，洩洪量超過二千二百五十秒立方公尺時，洩洪量之增加率應小於水庫進水流量之最高增加率，洩洪量應小於最大進水流量。水庫水位超過標高二百三十公尺，或水庫水位及水庫進水量達到附表四之設計洪水情況時，即以最大容許放水量放水。』

此規定隱含在水庫放水流量小於 2,250 秒立方公尺時，並不採用水利法施行細則第 124 條，由設計原由得知，2,250

cms 為下游河道無害流量，且水庫放水設施受最小開度影響，當放水啟動時，須滿足最小放水量，此時未必已發生之最高進水流量及進水流量之最高增加率水庫可滿足最小放水量，另水庫在進入防洪運轉前，應將水庫水位降至啟始運轉水位，因此設計時，採用下游河道無害流量作為水庫調節性放水的彈性。

另外此規則亦指出，在洪峰流量未過前，當水庫水位高於標高 230 公尺或表 4 時，必須以最大容許放水量放水，亦即當水庫水位在滿足此限制條件前，決策主管可依當時水情狀況及減輕下游洪水流況來提高水庫水位蓄存洪水，降低水庫洩放水量，而不以最大容許放水量放水，然當達到此一條件時，則必須以最大容許放水量放水。

依據運用要點第 16 點第 2 款中規定『洪峰流量過後，水位低於標高二百三十公尺，洩洪量不得大於進水流量加上附表五之可增放水量，且不得大於進水流量之洪峰流量。』

水庫在防洪運轉洪峰已過時，屬於退水階段，此時水庫水位將逐漸降至正常水位或防洪運轉終了之期望蓄水位，因此水庫逐時放水量必超過當時進水量，但仍應受到水利法施行細則第 124 條之限制，以避免放水流量超過進水洪峰，另洪峰過後，水庫放水著眼在水資源的保持與維護，為避免過量放水導致水資源浪費，亦應限制最大放水流量以維持水資源蓄存於水庫內，最大放水流量限制為該時刻的進水流量加上一增放水量，表 5 為水庫水位與增放流量之關係。

(4) 防洪運轉停止條件

依據運用要點第 17 點第 1 款中規定『洪峰流量已過，水庫水位未超過標高二百二十七公尺且水庫水位及水庫進水量低於附表六之水庫水位及水庫進水量。』

此項規定同運用要點第 16 點第 2 款的設計目的，均為保持水資源以供未來使用之設計，其水庫水位與水庫進水流量如表 6 所示。

另運用要點第 17 點第 2、3 款中，規定到在洪峰流量未過前，當逐時狀況低於防洪運轉啟始條件時，亦應停止防洪運轉。此情況通常發生在颱風豪雨事件，未如氣象局預報總雨量發生預期降雨，應停止放水已減低水資源的浪費。

4. 曾文水庫水門操作規定

在溢洪道放水規定部分，於水門操作規地另有相關規則，應一併歸納整理置入。

(1) 最小容許放水量

依據水門操作規定第 4 點第 3 款中規定『閘門之開啟，應自最小容許流量開始，第一號閘門為二五〇秒立方公尺，第二號閘門為三〇〇秒立方公尺，第三號閘門為三五〇秒立方公尺。閘門開啟順序依序為第二、第三及第一號閘門；關閉時反向操作。』

由本點規定可知，溢洪道放水量最小容許放水量依序加總後，分別為 300 cms、650 cms 及 900 cms，此說明亦出現在水門操作規定第 4 點第 4 款中規定『調節性放水之放水量應不超過九〇〇秒立方公尺，並依放水量大小開啟一門、二門或三門。放水量為三〇〇秒立方公尺時開啟二號閘門；放水量為六五〇秒立方公尺時，開啟二號及三號閘門；放水量須增至九〇〇秒立方公尺時，再續開啟一號閘門。』

(2) 最高允許放水流量增加率

依據水門操作規定第 4 點第 5 款中規定『防洪運轉時洩洪量大於九〇〇秒立方公尺時，三座閘門應同時操作，並維持同一開度。閘門開度每小時得調整一次，每次調整增加之洩洪量不得超過一、五〇〇秒立方公尺。颱風或豪雨情況下可視情況每三十分鐘調整一次，每次調整增加之洩洪量不得超過一、〇〇〇秒立方公尺。』

在此規定下，水庫除須滿足水利法施行細則第 124 條，放水流量增加率需小於該事件已發生之進水流量之最高增加率，亦應滿足此規定，亦即最高放水流量增加率不得超過 2,000 cms/hr。

歸納上述各限制與條件方可作為防洪運轉模式建置之依據，並進一步提供運轉策略供決策主管參考。

5.2 曾文水庫即時防洪運轉模擬模式

曾文水庫即時防洪運轉模擬模式設計上，提供目前至未來 6 小時水庫水位及放水流量上限及最低應放水量供操作人員參考，亦可讓操作人員在允許的放水流量區間中，做必要放水量之調整，歸納上述各限制與條件方可作為防洪運轉模式建置之依據，並進一步提供運轉

策略供決策主管參考，操作介面及分析成果如圖 4 所示。

5.3 兼顧南化水庫之曾文水庫最佳即時操作策略

南化水庫完成於民國八十二年，當兩水庫同時進行防洪運轉時，因南化水庫在調節洪水之設計上為自然溢流，無法調控放水量以提前或延後放水，為避免兩水庫之放水洪峰重疊，曾文水庫之防洪運轉宜在配合南化水庫的自然溢洪情況下，以兼顧大壩安全為主並儘量避免兩水庫之放水洪峰在下游匯流。曾文水庫洩放水量後，下游河道水位另受支流、河道兩側集水區流量影響，並非曾文水庫及南化水庫放水量影響，水庫放水量雖在水利法及相關法規下，確保水庫可降低下游洪災潛勢，但若能整體考量全流域雨量及逕流等相互關係，將可發揮超過相關法規規定之減洪能力。

如前節所敘，曾文水庫下游集水區分別採時間稽延型水筒模式推估逕流量及單位歷線法推估逕流量。河道演算部份，採用馬斯金更法模擬河道蓄水流出情形。

下游河道各河段洪峰流量間相互影響，無法同時降低，但若某一河段可有效控制最高洪峰流量下，其他河段之最高洪峰流量亦可間接降低，故模式中依匯流情形，分別選擇設置走馬瀨、北勢洲、麻善橋及西港橋作為全流域系統控制點，以降低該點最高洪峰流量下，兼顧南化水庫溢洪量及流域內子集水區逕流下，建議曾文水庫最適放水歷程，如圖 5 所示。

模式分析時，依據已發生之降雨量、逕流量、水庫水位及放水量等資訊，依水庫防洪運轉期間各條限制與條件，採用線性規劃連續逼近來求得未來時段最適放水策略。

模式雖受雨量預報誤差影響，但未來數小時內之流量主要受已發生之降雨影響，水庫本身可吸收部份誤差，另可透過逐時更新來適度調整水庫下一時刻放水流量，與原水庫依進水流量逐時操作觀念相符合，可有效降低全流域可能之洪峰流量，然降低控制點之洪峰流量與水庫最高水位間實乃一取捨關係，圖 5 中之放水建議，僅是某一限制水庫最高水位下之策略，並非單一且絕對之放水方式，在法規允許下，若水庫提高防洪運轉時之蓄水風險，則控制點之洪峰水位可再降低，如圖 6 所示，透過模式自動設定不同限制條件演算，可得水庫水位與各控制點最高洪峰水位間的關係，圖 5 中之放水歷程僅是圖 6 其中一控制點上的 1 點，透過取捨關係圖，由決策主管選擇控制點線上

的任意點後，可再由模式建議在此點下的曾文水庫未來時段最適放水歷程。

六、河道洪水變量流模擬

前節考量各種不同限制條件下，水庫最適放水策略計算執行效能下，採馬斯金更法近似河道流量關係以節省分析演算所需時間，當水庫放水策略已定，則可透過變量流演算來提高下游河道洪水流況的模擬。

在河道洪水演算中，採迪聖凡南方程式為基本方程式，利用有限差分法之線性完全隱式法，而建立洪流演算模式(FRLFI)。因河系是由多條主支流交匯而成，變量流況下，沿河道各處之水位與流量之演算較為複雜。在河系的模擬方面，以 FRLFI 模式為基礎，考慮主支流交匯處之匯流演算，進一步發展為河系演算模式。本研究中，將支流後堀溪南化水庫大壩以下及曾文溪主河道曾文水庫大壩以下納入變量流演算，仍以線性完全隱式法離散化迪聖凡南方程式與匯流處節點水位連續方程式，再以矩陣雙掃法求解聯立差分式。

河道演算可由模式介面中點選全河系各主要橋樑或控制點流量歷線，如圖 7 及圖 8 所示，便於操作人員迅速了解下游河道流況情形。

七、淹水潛勢評估

前述降雨逕流模式與河道變量流演算中，均未考量區域淹水情況，針對曾文溪洪水可能溢堤之情況，以擬似二維變量流模式，評估曾文水庫放水後，下游河道兩側可能洪氾區之淹水潛勢，包括淹水範圍、深度及歷時。

淹水潛勢演算範圍為曾文溪流域，不含水庫集水區部分，考慮道路、河川、排水路及堤防等空間切割方式，採五千分之一地形圖及數值地形資料，透過格區自動劃分將格區劃分為 588 個格區，計算完成結果自動呼叫 ArcView 展示，如圖 9 所示。

八、曾文水庫防洪運轉及洪水預報資訊系統

本系統中，分離為多部份獨立進行之電腦化作業項目，其計算流程如圖 10 所示，系統建置在 Win32 作業環境下，所有操作介面及分析模組以 Visual BASIC 及 FORTRAN 語言撰寫。

系統中與防洪運轉有關之分析計算模組，均提供獨立的人機介面，使操作人員可彈性運

用系統，或進行整體運作，或進行備份模組之運轉分析。操作人員在防洪運轉過程中必要時需修正計算系統中的運轉條件，再進行運轉策略評估，允許操作人員對運轉資訊進行逐時段的分析修正。

由於防洪運轉為逐時決策，必要時得每半小時調整放水量，因此考量系統主要計算程序應控制在 10 分鐘內，以利後續報表列印、行政作業及決策主管有足夠時間判斷。預設主要計算程序在 Pentium III 1G 之電腦上，約可在 1 分鐘內計算完成，由於控制點之洪峰流量與水庫最高水位間取舍關係及下游淹水潛勢評估所須計算時間較多，則不在預設計算程序內。

為提高計算及操作時效，利用小區域網路系統，採 TCP/IP 協定將大量計算工作透過網路分配於數台個人電腦連線計算，配合數台個人電腦同時作業。由主控電腦來監視、指令所有各分析部份專用電腦之工作，並於運算完成後，統合資訊加以分析，如控制點之洪峰流量與水庫最高水位間取舍關係由前述配備之單一電腦計算約 5 分鐘，下游淹水潛勢評估約需 15 分鐘，目前僅得將此兩模式分置於不同電腦計算，兩模式內個別之平行計算部份，目前暫未考量。

另配合現地需求，另建置閘門開度分析模式及使用者操作介面，曾文水庫大壩放水閘門開度目前以閘門開度率定曲線，內插決定現有水位下的閘門開度，可透過閘門開度分析程式輔助分析。在現有閘門開度率定曲線數化範圍內，以查表內插求得閘門開度，在穩定閘門流與自由流間的紊流閘門開度分析及超過率定曲線數化範圍採用數值解，圖 11。

九、結論與建議

9.1 結論

水庫防洪運轉在法規允許放水量下，在每一時刻仍可達到無限多種放水歷程，任一時刻下之放水決策可能限制到未來逐時段最大可放水量，進而產生雖合於法規，但在學理或檢討上有較佳或較差的放水組合，甚至可能發生防洪運轉失敗的問題組合，透過逐時段最適放水策略建議與修正，可限制水庫逐時段放水策略合法，且確保水庫大壩安全，不致發生防洪運轉失敗，促使放水歷程趨近最佳歷程，協助決策主管在逐時無限多種可能的放水組合中，挑選出最適合放水歷程。

本研究發展之系統，能有效且合理依所

提供的觀測資訊自動推定雨型、推算各區域平均降雨量、推估各區域可能之平均降雨量歷線、水庫進水量歷線、水庫下游兩側流出水量歷線、水庫防洪運轉策略、下游控制點最大流量與水庫最高水位關係、水庫可行之防洪運轉策略區間及下游主河道與支流流量歷線，對水庫防洪運轉的決策與操作有極大的助益。

此外，系統能依計算進度逐一展示平均降雨量歷線、水庫進水量歷線、水庫防洪運轉策略及下游河道流量歷線，可使防洪運轉人員迅速掌握現況及未來可能發生之狀況，對防洪運轉操作分析所需時間可較傳統人工分析時間為少。各測站以圖形介面方式操作，分析人員可直接由地理位置上選取，在操作上更為單純且直接。

在計算時間較長之模組部分，透過網路將高計算量之模組獨立計算，有助於主系統之穩定及快速反應之能力，研究中以較穩定之 TCP/IP 協定傳輸網路相關資訊並進行控制，可安全穩定傳輸檔案及有效傳遞命令執行。

本研究所研提系統於納莉颱風期間實際協助曾文水庫運轉，並提供相關決策所需資訊，在納莉颱風發生以前，曾文水庫從未蓄水超過標高 228.20 公尺，而標高 228.20 公尺也僅發生在民國 70 年九三水災期間，而在納莉颱風期間，曾文水庫蓄存洪水減輕下游洪峰流量中，最高水庫蓄水位達 229.99 公尺（瞬間最高水位達 230.00 公尺），在經本研究系統提供必要的資訊中，水庫蓄洪空間的利用創歷史最高水位紀錄，該次防洪運轉另同時在水庫庫區發生適用緊急情況之 5 級地震下，仍可安全且符合法規允許放水量完成水庫防洪運轉，並適度減輕下游洪峰流量。

9.2 建議

在納莉颱風防洪運轉操作經驗中，本系統應加強改善或新增下列事項：

1. 集水區降雨預報（集水區降雨即時測報）

系統原先採用設計雨型概估且分配尚未發生之待降雨量，在此部分應加強雨量預報精度，以期提高集水區未來逕流量的可靠度。

2. 加強分佈型降雨逕流模式

納莉颱風降雨於事後檢討分析中可以得知，降雨中心明顯偏重在曾文水庫集水區中下游以下地區，目前分佈型降雨逕流模式僅分三個子集水區集水區推估逕流量，在此部分可加強子集水區分區，以期提高針對降雨不均的颱風暴雨事件逕流量推估準確度。

3. 增加大壩為控制點

颱風期間可能因停電或其他因素，導致無法取得下游即時資訊，有必要於目前四個控制點中，增加大壩為控制點，降低水庫最高放水洪峰，以大壩為控制點時，則不考慮下游洪水匯流情形，在喪失下游資訊時，可憑此盡量降低下游洪峰流量。

4. 增加下游觀測水位校正洪水流量

曾文溪下游河道有八站電傳水位站，可考慮利用下游電傳水位站即時資訊，以各水庫溢洪、洩洪即時資料逐時校正河道洪水演算模式中之河槽水位及流量。

5. 自動擷取即時電傳資料

曾文水庫管理中心現已建立電傳雨量即時紀錄系統，惟該資料系統並未與本研究之系統相結合，致使資料需重複輸入而浪費防洪運轉之重要時機，另應增加下游觀測雨量擷取功能，並建立自動資料品管與檢驗分析。

目前已著手進行本部分系統之改善，可即時擷取氣象局小時觀測雨量以報表方式呈現，如圖 12 所示，並可即時依該站降雨情況繪製時雨量組體圖，如圖 13 所示，及小時等雨量線圖，如圖 14 所示。在觀測水位部份則可展現報表及水位歷線，如圖 15 所示。

6. 水庫即時進水量改善

水庫即時水位受水位計解析度、精度、準確度影響，又受風浪效應、水位變化影響，其可信賴之觀測水位應經一定測量理論決定，另水庫即時進水量之計算係依據兩即時水位觀測差計算，若依既有演算方式其數值有偏低之情形，易使現地操作人員產生誤解及誤判，且系統在曾文水庫不同放水量下均另需由運轉室控制更新即時進水量資訊，宜將該系統與本研究系統予以結合，並將該系統資訊即時擷取納入本研究系統展示。

7. 新美水位資訊納入系統預估水庫進水量

曾文水庫集水區有山美、新美兩水位站，其中新美水位站觀測資料較充足，或可提供水庫進水量推估運用。

8. 下游雨量站網計算

系統原先採曾文水庫集水區平均雨量概估下游集水區平均雨量，應配合資料自動擷取與品管將下游平均雨量納入計算。

此外，曾文水庫運用要點中，在 2,250 cms 下，似不引用水利法施行細則 124 條規定，且水利法施行細則 124 條規定『水庫放水

流量之增加率，不得超過該水庫流入量之最高增加率。』中，若在水庫起始運轉水位過低時發生，當高進水流量時才滿足水庫起始運轉條件，可能在無閘門自然溢流水庫發生違反此一規定，或有閘門水庫依此規定放水發生防洪運轉失敗，建議宜多加檢討。另水庫運用要點第 16 點中關於『水庫水位及水庫進水量達到附表四之設計洪水情況時，即以最大容許放水量放水。』將降低水庫在放水策略上之彈性，宜釐清該條文設計原意後，再加以配合調整系統分析。

參考文獻

1. Can, E. K. and M. H. Houck, "Real-Time Reservoir Operations by Goal Programming", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 110(3), pp. 297-309, 1984.
2. Sinotech Engineering Consultants, Inc. "Estimation of Probable Maximum Flood for Tsengwen Reservoir By Typhoon Model Method", Tsengwen Reservoir Administration Bureau, Sep. 1997.
3. 吳哲雄、徐安然、周乃昉、鄭子璉，「曾文水庫防洪運轉作業資訊化初步研究」，八十八年電子計算機於土木水利工程之應用研討會，臺灣，台中，第 755 - 764 頁，民國 89 年 2 月。
4. 周乃昉、楊豐榮、鄭子璉、鄭志偉，「曾文水庫即時防洪運轉分析模式之研擬」，第二屆環境系統分析研討會，臺灣，台南，第 329 - 335 頁，民國 88 年 12 月。
5. 林柏璋、周乃昉、鄭子璉，「程式整合技術應用於水稻田平衡模擬系統」，八十八年電子計算機於土木水利工程之應用研討會，臺灣，台中，第 789 - 798 頁，民國 89 年 2 月。
6. 徐享崑、游保杉，「雨量時間分佈之研究」，國科會防災研究報告，民國 82 年 6 月。
7. 財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會，「曾文水庫防洪運轉決策資訊系統操作手冊」，成大水利海洋研究發展文教基金會，民國 89 年 12 月。
8. 財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會，「曾文水庫洪水預報及防洪運轉資訊系統改善研究（二） 技術轉移講義」，成大水利海洋研究發展文教基金會，民國 89 年 12 月。

9. 財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會，「曾文水庫洪水預報及防洪運轉資訊系統改善研究(二)」，成大水利海洋研究發展文教基金會，民國 89 年 12 月。
10. 財團法人成大研究發展基金會，「納莉颱風期間曾文水庫防洪運轉過程鑑定報告」，經濟部水利處，民國 91 年 3 月。
11. 財團法人農業工程研究中心，「曾文水庫在緊急情況下運轉操作之探討研究 第二部份 防洪運轉分析及其規則之檢討修定」，台灣省曾文水庫管理局，民國 82 年 12 月。
12. 經濟部水利處南區水資源局，「臺灣省曾文水庫運用規則」，民國 88 年 6 月。
13. 經濟部水利署南區水資源局，「曾文水庫水門操作規定」，經濟部水利署頒，民國 92 年 5 月。
14. 經濟部水利署南區水資源局，「曾文水庫運用要點」，經濟部水利署頒，民國 91 年 10 月。
15. 鄭子璉、周乃昉，「徐昇多邊形網法之數值計算」，台灣水利，第四十八卷，第三期，台北，第 43 - 51 頁，民國 89 年 9 月。
16. 鄭子璉、周乃昉，「高度平衡多邊形法之幾何計算」，中國土木水利工程學刊，第十三卷，第四期，台灣，台北，第 735 - 746 頁，民國 90 年 12 月。
17. 鄭志偉，「最佳防洪運轉下水庫洪峰水位之不確定性」，碩士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所，民國 89 年 12 月。
18. 簡俊彥、郭玉珍、黃月娟，「曾文水庫操作運轉對下游流域影響之研究」，台灣省水利局，七十三年度研究發展計劃，民國 74 年 2 月。

表 1 曾文水庫集水區降雨延時(T)、降雨強度(D)條件下之決策雨型

降雨強度 降雨延時	輕級暴雨 D ≤ 4.5	中級暴雨 4.5 < D ≤ 12	強級暴雨 D > 12
T ≤ 6	*前進型 中間型	*前進型 中間型	*前進型 中間型
7 ≤ T ≤ 12	雙峰型	前進型 *中間型	前進型 *中間型
13 ≤ T ≤ 18	雙峰型	中間型	中間型
19 ≤ T ≤ 24	雙峰型	中間型	中間型
T ≥ 25	雙峰型	中間型	中間型

*：優先建議

表 2 颱風或豪雨情況下得開始防洪運轉之水庫進水量

水庫水位 (El.M)	225	224	223	222	221	220
水庫進水量 (cms)	100	400	800	1,200	1,700	2,200
水庫水位 (El.M)	219	218	217	216	215	
水庫進水量 (cms)	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	

表 3 非颱風或豪雨情況下應開始防洪運轉之水庫進水量

水庫水位 (El.M)	227	226	225	224	223	222
水庫進水量 (cms)	500	1,000	1,500	2,000	3,000	4,000

表 4 可視為設計洪水之進水量狀況

水庫 水位 (El.M)	230	229	228	227	226	225	224
水庫 進水量 (cms)	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000

表 5 洪峰流量通過後水位低於標高 230 公尺
時之可增放水

水庫 水位 (El.M)	230	229	228	227	226	225 以下
水庫 進水量 (cms)	1,000	900	800	700	600	500

表 6 防洪運轉關閉閘門之水庫進水量

水庫 水位 (El.M)	227	226	225	224	223	222
水庫 進水量 (cms)	0	500	950	1,400	1,850	2,250
水庫 水位 (El.M)	221	220	219	218	217	216
水庫 進水量 (cms)	2,700	3,150	3,550	3,900	4,300	4,700
水庫 水位 (El.M)	215	214				
水庫 進水量 (cms)	5,100	5,450				

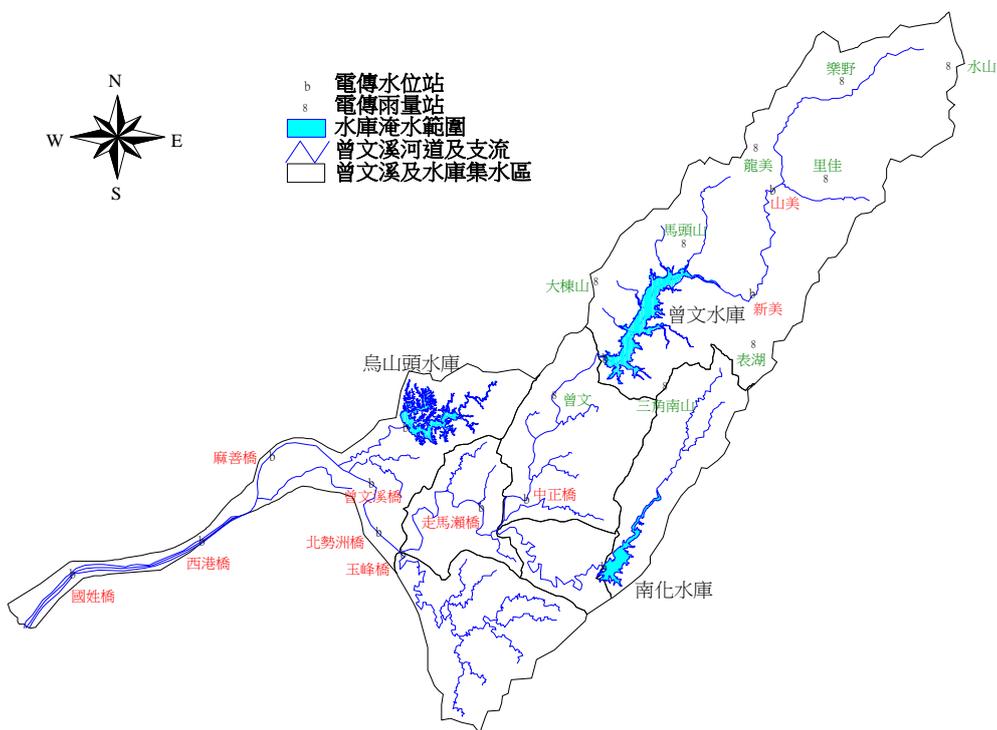


圖 1 曾文河流域南水局所屬電傳雨量站與水位站



圖 2 平均降雨量計算方式設定

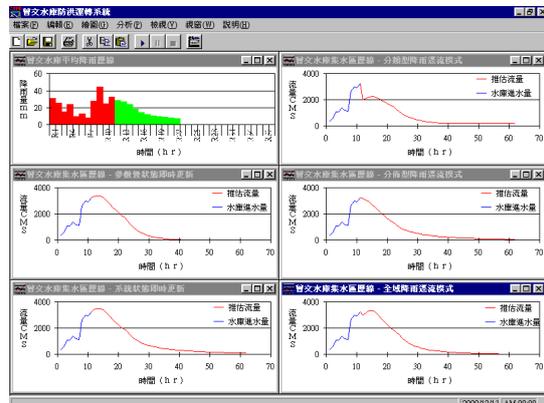
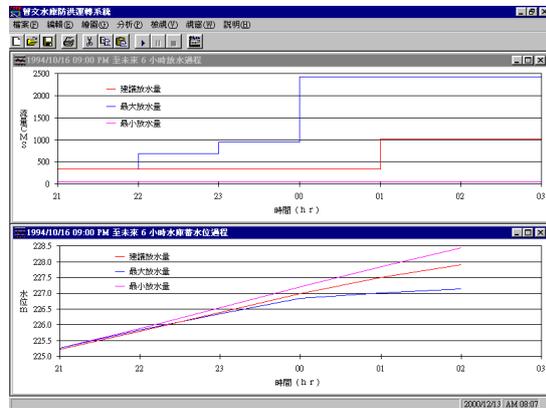


圖 3 不同降雨逕流模式計算成果展示

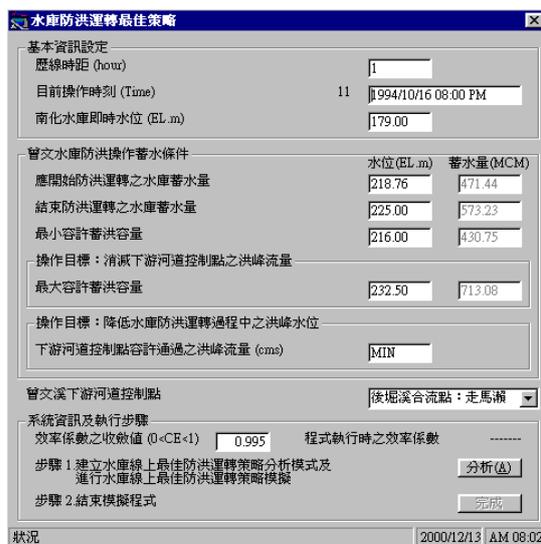


(a) 六小時放水設定

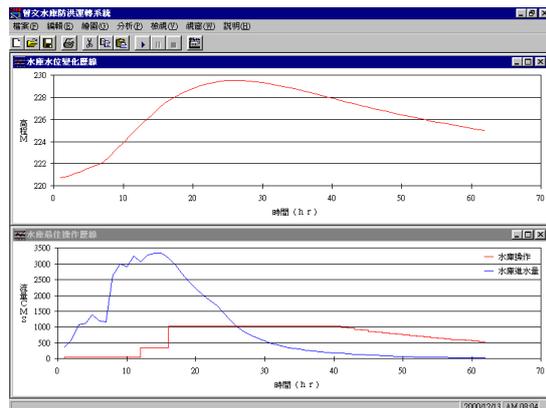


(b) 最大允許及最小必要放水

圖 4 未來 6 小時逐時允許放水量的上限和下限



(a) 最佳模式參數設定



(b) 最佳放水量與蓄水過程

圖 5 逐時最佳運轉放水與蓄水歷程

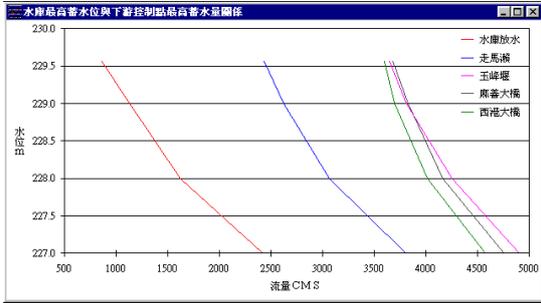


圖 6 水庫最高水位與下游河道控制點洪峰流量關係的取舍曲線

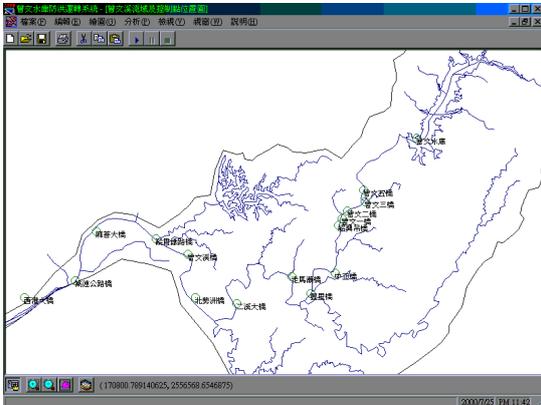


圖 7 曾文溪河道重要橋樑及控制點點選圖

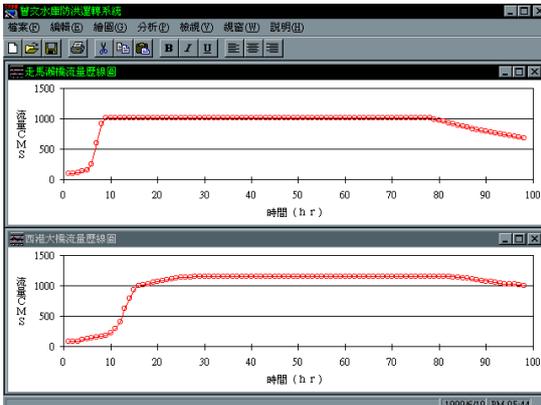


圖 8 曾文溪河道點選之控制斷面流量歷線

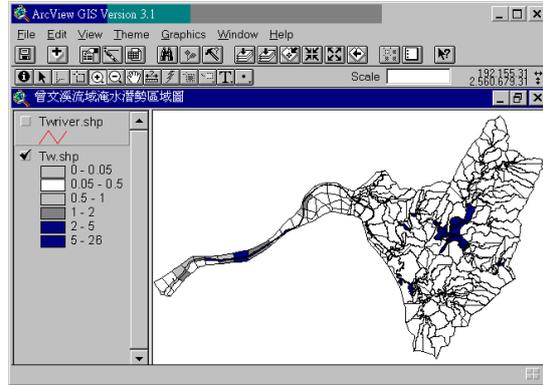


圖 9 曾文溪下游最大淹水深度展示

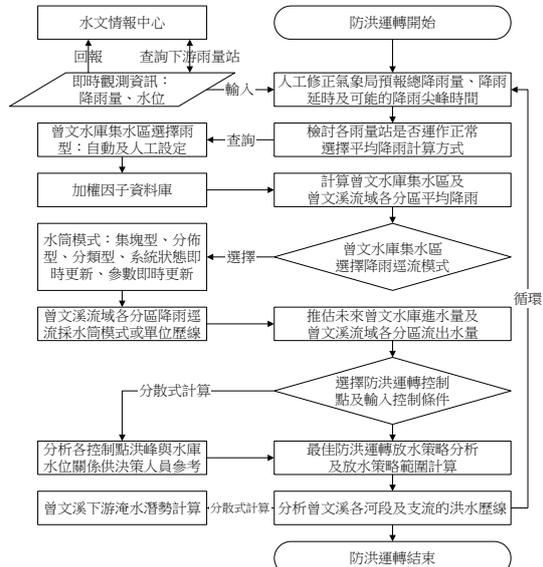


圖 10 曾文水庫防洪運轉及洪水預報資訊系統流程

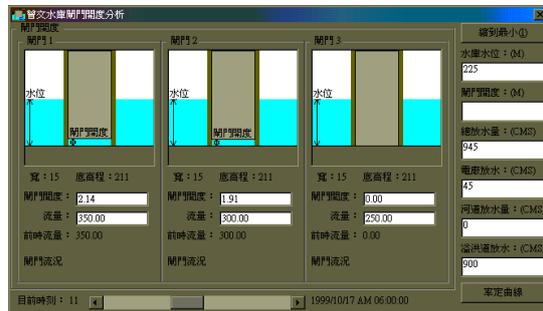


圖 11 曾文水庫閘門開度介面



圖 12 曾文水庫集水區氣象局雨量站報表

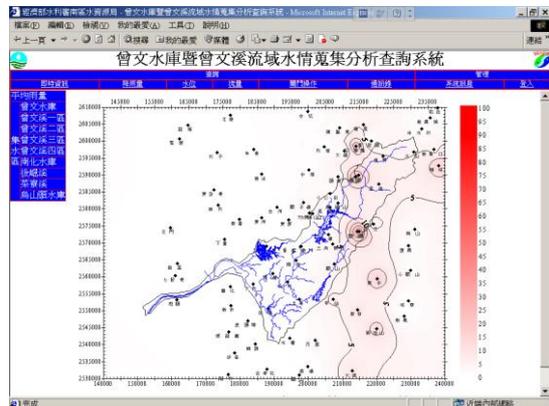


圖 14 曾文溪流域即時小時等雨量線圖

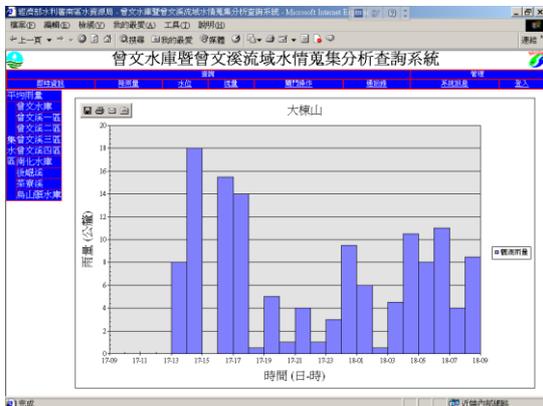


圖 13 氣象局大棟山雨量站雨量組體圖

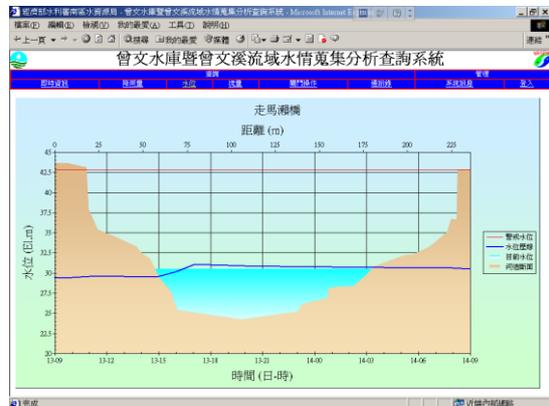


圖 15 電傳水位站觀測水位歷線與斷面關係