



牡丹水庫 第三次定期安全評估



經濟部水利署南區水資源局

中華民國 110 年 2 月

結論與建議

結論

一、地質

- (一)計畫區域內最主要地層為牡丹層，在牡丹水庫以厚層雜亂砂岩及薄層砂頁岩互層(獅子頭砂岩)為主。蓄水庫周邊及集水區，除大梅溪斷層經過集水區的西緣外，目前並未發現明顯的斷層構造。
- (二)溢洪道落水池抽乾後，並未發現特殊的地質異狀，溢洪道地質狀況與先前的地質調查成果並無明顯差異。
- (三)經此次勘查水庫及壩區地質，結果並未發現異常之地質現象，坡體整體上並無大的地質災害足以危害水庫安全。

二、設計地震

- (一)本計畫皆以機率法計算MCE、DBE及OBE之設計PGA值，分別為0.77g、0.46g、0.38g，並依水庫分級觀念，牡丹水庫屬大型水庫且其災害潛勢極嚴重，因此其MDE為MCE地動值即0.77g。
- (二)本次評估中採用之公式、參數之定義及觀念方面與以往有下列差異：遵循「水利建造物檢查及安全評估技術規範-蓄水與引水篇」(2017)；使用之地震資料已增補至2018年底；恆春斷層暨南部重要斷層之斷層參數更新；收集最新國內外公佈之NGA預估式與本計畫建立之預估式比較；採用機率法計算MCE、DBE及OBE之設計PGA值。
- (三)本計畫斷層活動性評估各學術界之研究成果所得之相關參數，更新斷層參數，其中恆春斷層之滑移速率更新為4.0、6.0和8.0(mm/yr)，故本次評估之DBE及OBE地動值提高，但本計畫新建立的地動預估式為場址相依地動預估式，可合理反應台灣南部暨牡丹壩址的震波衰減特性，避免過估地動值變異性而造成危害

度的過估，所以本次評估之10,000年再現期地動值仍不至於太高，而與第二次安全評估由定值法推估的0.77g結果相當。

(四)本次安評之定值法同樣以恆春斷層為控制斷層，其設計地震規模從第二次安全評估採用的6.7更新為7.2，因本次採用場址相依地動預估式，計算結果反而降為0.61g。本計畫參照法規採用機率法分析，將MDE訂為10,000年再現期之地動值為0.77g。

(五)本計畫以雙冬國小(TCU071)測站之921集集地震強震資料，作為擬合設計反應譜之原始地震紀錄，後續採RSPMATCH程式製作吻合設計反應譜之人工合成加速度歷時曲線，該合成地震歷時曲線具有真實地震紀錄外觀與相角特性(phase property)，且與壩址設計反應譜吻合情況良好。

三、設計洪水

本次分析採用暴雨移位與露點調整法配合瞬時單位歷線推求設計洪水，考量目前水庫設計洪水已相當保守，設計洪水仍採用3,815cms。

四、大壩

(一)壩體上、下游坡面無裂縫、滑動、凸起、下陷等現象，僅部份胸牆施工縫開裂。

(二)大壩下游 EL.135公尺平台與水平排水溝交接處表面濕潤，研判係殘留雨水所致，惟植生現象已大幅減少。檢查平台發現管理單位已修補部份脫落油毛氈，比較檢查及監測成果研判平台應安定無虞。

(三)壩頂道路、護欄與人行道均無異常變位或裂縫等現象。

(四)壩基及壩座檢查無滲水及凸起，排水溝常有草木植生；左壩座部份結構物破損；右壩座擋土牆裂縫無變化且未延伸至路面，研判應為溫度裂縫或轉彎處應力集中。

(五)灌漿廊道及排水廊道無異常變形、混凝土龜裂或劣化等現象，狀

況良好。左山脊(LD-2)出水狀況明顯，顯示地下水量較大。壩趾滲流量觀測廊道無異常情況。

(六)下游坡面與壩址經滲流模擬分析與實地檢查，結果均未發現異常滲漏或潮濕現象。

(七)壩體靜態、仿靜態安定分析演算成果顯示，無地震力之影響下，穩態滲流與急洩降兩情況之安全係數皆達設計之最小安全係數要求，其滑動面通過帶範圍愈接近壩頂安全係數愈高。

(八)牡丹大壩有效應力分析結果，壩體受震後未達初始液化狀態；震後大壩垂直向有效應力均屬壓力作用，並無明顯液化情形產生。

(九)本次結果與前期結果比較，壩體受震後最大剪應變皆發生在上游側，發生剪應變的位置皆形成一條圓弧線，可預測壩體受震時上游側可能發生圓弧形滑動，下游側發生的機會較上游側低。

五、附屬結構物(水理)

(一)牡丹水庫依水庫運用規則所規定起算水位為EL.132.0 m，並配合水庫H-A-V曲線進行水庫排洪演算，最高洪水位為EL.142.13m。

(二)溢洪道、排水道及何本閘，三種排洪設施之流量率定曲線均與原設計之流量率定曲線相符。

六、附屬結構物(土木結構物)

(一)引水牆未發現明顯變化，整體結構良好。

(二)溢流堰面部分施工縫有磨損及堰面輕微裂縫，而第一、二號堰面有地下水滲出，依據竣工圖說，溢洪道於構築時，為避免地下水產生之上頂力影響底版之穩定性，因此於底版下方埋設300mm直徑之混凝土透水管排水系統，故兩節塊接縫地下水滲出研判應是滲水處下游透水管阻塞，且接縫水封失效所致。另混凝土表面有磨損及閘墩有裂縫；檢查舊有閘墩鋼筋外露已修補，整體堰面尚屬正常。

(三)左、右岸側牆混凝土情況良好，而右岸側牆第4、5節塊處伸縮縫

開裂研判應為施工時該處位於底部搗實不易所致。

- (四) 戽斗整體結構完整，且戽斗備援取水設施狀況良好，惟戽斗與溢洪道末端有磨損，而戽斗末端與明隧道交接處填縫料(水封)剝落。
- (五) 堰頂橋面與大樑整體混凝土完整且結構良好。
- (六) 落水池及下游河道堤岸狀況良好，既有落水池右岸局部沉陷亦無明顯變化，新設尾檻及整體狀況屬穩定。由抽水後地形測量及檢查可知池底沖刷坑已修補，鋼筋裸露及混凝土剝落等缺損亦均未擴大或已改善，且無新發現明顯坑洞，而沖刷區改善後配合尾檻高度，應可於洩洪時發揮水力消能效果。
- (七) 取排水設施閘閥室結構完整，與壩座拋石銜接處密合，水下檢查攔污柵及RC結構均無明顯變化，而枯木停留及淤積情形仍不致影響取水作業，設施功能狀況良好。
- (八) 溢洪道及取排水設施等結構物經安定分析皆符合規範，故判定安定性應為穩定，而應力分析含一處溢洪道之鋼筋檢核均符合規範，研判結構屬安全。
- (九) 輸水路整體結構完好無重大缺損，些許損壞大多發生在混凝土隧道段，且無太大變化，鋼襯隧道及暗渠段完好幾無異狀。
- (十) 取水口結構之抗傾、抗剪滑及抗浮能力足夠，結構屬安全且穩定之狀態。
- (十一) 落水池抽至見底，經測量發現落水池混凝土底板前緣岩盤沖刷區經改善工程後，現場構造物高程估算修補後底部(EL.70m)與原落水池高程(EL.75m)比較，最大深度約5公尺。
- (十二) 落水池長度經檢核，躍射距離為50.34公尺，小於落水池長度(152.64公尺)，故落水池長度足夠。
- (十三) 落水池已於2014年進行改善，由現地檢查及檢核發現落水池底部並無明顯坑洞。

七、壩座及邊坡

- (一)左壩座破損部分歷次檢查並未明顯擴大且噴凝土表面均完整，研判階梯損毀可能係因淘刷使階梯失去地面支撐而斷裂。
- (二)右壩座植生狀況良好，未見明顯不穩定或其他異狀，惟右壩座南側擋土牆發現縱向裂縫，惟無明顯位移或變形而尚屬穩定。
- (三)前次安評C線道路多數裂隙均已修補完成且道路已重鋪；本次調查發現在下邊坡之人行步道新增張力裂隙，且部份道路下方土石沖刷造成鏤空。C線道路之破壞應仍持續發生，豪雨後應注意是否造成土石淘刷，進而影響C線道路及人行步道之安全，惟規模較為趨緩。
- (四)C線道路對照此區測傾管歷年監測有緩慢往下邊坡潛移趨勢，與此區裂隙型態顯示此區多受到張力破壞情況相符，然近期已趨緩，且針對邊坡現況於強降雨時進行分析，可得安全係數達1.33符合規範最小要求，顯示C線道路邊坡現況尚屬良好。
- (五)右山脊破壞情形無太大差異並未發現新裂縫產生，且針對右山脊邊坡於強降雨時進行分析，可得安全係數達1.18符合規範最小要求，並比對檢查成果，研判右山脊並無明顯變化，顯示本邊坡目前尚屬穩定。

八、監測系統

- (一)壩基1處與壩體5處水壓計、溢洪道基礎水壓計3處尚仍自動監測量得資料。土壓計則有16處尚可進行量測，測沉鈹因測傾管部分深度發生阻塞無法量測，已建議停止量測作業
- (二)量水堰之儀器狀況良好，惟V形堰鈹與自動監測量水箱內有雜垢沉積。
- (三)部份異常之監測儀器大都係因裝設年代已久無法發揮其正常功能，且因埋設位置而無法更換，但仍可以鄰近之監測儀器研判大壩之行為。
- (四)現階段執行之監測頻率，應可達到監控大壩及附屬設施之要求。

(五)綜合各監測儀器之觀測結果顯示，大壩壩體目前應屬穩定，建議持續觀測以維大壩之安全。

九、水庫淤積

(一)牡丹水庫於1995年完工迄今共完成13次淤積測量工作，依最新(2018)測量成果顯示，滿水面積1.42 km²，水庫總容量為31,400,000 m³，水庫有效容量為26,328,750m³。迄2018年水庫總容量約減少15.56%，年平均淤積量為20.705萬立方公尺。

(二)主要淤積來源為2009年莫拉克颱風後造成之崩塌區域與局部河道邊坡與各支流之裸露地，其中汝仍溪及壩前右側、支流上游處呈局部淤積情形，且多集中在河道彎曲處，另與庫底交接處亦有局部淤積情形，淤積高度皆為1~2公尺。

(三)水庫預期壽齡計算結果，牡丹水庫之水庫壽齡為139年(可營運至2155年)，超過工程界認定之合理水庫經濟壽命(50年以上)。

(四)為達成維持庫容之目標，牡丹水庫庫容有效維持實施計畫辦理集水區保育治理、上游河道及蓄水範圍機械清淤及水力排砂等工作，109年已達成淤積零成長，110年起逐年恢復庫容7.5至10.5萬立方公尺。

十、水庫排洪演算

(一)依據2017年最新修訂之「牡丹水庫運用要點」，並配合三種排洪設施流量率定曲線及2018年實測之水庫水位-面積-容量(H-A-V)曲線，計算出流尖峰流量為3,758.58秒立方公尺，水庫設計洪水水位為EL.142.13公尺。

(二)溢洪道穴蝕分析結果，不同流量下最低穴蝕指數分別為0.395(3,704.37cms)及0.490(816.72cms)未達穴蝕發生標準，惟在渠道表面不平整情形下仍有穴蝕發生的可能。

十一、壩體出水高

考量風浪高、波浪爬高、地震浪高及壩型加值與閘門控制安全加

值等因素，推估壩體出水高程為EL.145.0公尺，考量動態分析震後沉陷結果與既設1公尺高防浪牆，牡丹水庫出水高度應仍屬足夠。

十二、水庫周圍環境

- (一)經檢查水庫周邊邊坡並無明顯新生崩塌地，既有崩塌亦無擴大趨勢。蓄水區周邊27處崩塌地中部分整治現況尚屬良好，而未經整治之崩塌地局部已有植生復育，且本次調查新增崩塌地多以淺層岩屑崩滑為主而規模不大，距離大壩甚遠，對水庫安全影響甚微。
- (二)本計畫套繪大規模岩體滑動邊坡範圍，發現兩處水庫上游可疑大規模崩塌區，一處即莫拉克颱風造成之大規模崩塌區域(L1)；另一處則位於牡丹溪中游，距離大壩直線距離約2.5公里，即於佳德橋下游400公尺處之左岸邊坡(L2)。L2邊坡雖屬順向坡，然地層傾角均較邊坡坡度為陡，且地層多為較均質之厚層頁岩，研判發生大規模岩體滑動可能性不高，邊坡大體仍屬穩定。

十三、水工機械設備

- (一)牡丹水庫之水工機電設備(含吊門機之馬達、油壓設備、鋼索等)外觀及結構整體上無嚴重損壞，依適當維護即可保持設備的妥善率及延長設備使用年限。
- (二)各閘門試運轉過程順暢，無異常震動或聲音，電壓、電流及啟閉速度均與原設計相符，整體運轉狀況良好。
- (三)接地避雷系統及儀控設備(含絕緣電阻)之檢驗已定期維護及檢查；訊號線路及接點等將視使用年限及狀況進行汰換，目前運作正常；除了定期檢查外，平時將閘門驅動馬達的無熔絲開關關閉，可避免誤動作。
- (四)本次檢測各單元之鋼板厚度均與原設計一致並無銹蝕現象，閘門強度安全無虞。
- (五)水工機械主要設備外觀及安裝大致良好，惟檢查溢洪道弧形閘門底部有輕微滲水、部分面板銲道及底緣有輕微銹蝕，部分底緣輕微變形等情況，惟其變形量不大，暫不影響閘門功能性。

(六)各閘門模型分析所承受之應力強度及變形撓度均符合規範，可判定原設計弧形閘門應為穩定安全。

十四、操作運轉及警報系統

(一)牡丹水庫操作運轉主要依據運用要點與水門操作規定辦理，上述兩者皆於2003年訂定，亦分別於2017年11月1日及2016年9月5日進行最新修正。

(二)參考牡丹水庫管理中心提供之運轉資料顯示，水庫水工閘門於蓄水利用運轉與歷次防洪運轉時，皆按規定實施操作，未見不安全之狀況。

(三)警報系統之有效距離、電源供應與維修保養經評析均屬正常合宜。

十五、潰壩演算及災損評估

(一)本計畫潰壩分析採用DAMBRK計算潰壩出流歷線，FLO-2D二維模式進行模擬淹水情形。

(二)主壩潰壩之淹水範圍包含牡丹鄉(石門村)及車城鄉(溫泉村、統埔村、保力村、福安村、福興村、射寮村、新街村、埔墘村、田中村及海口村)。

(三)災損評估

1.受災人口：約3,735人。

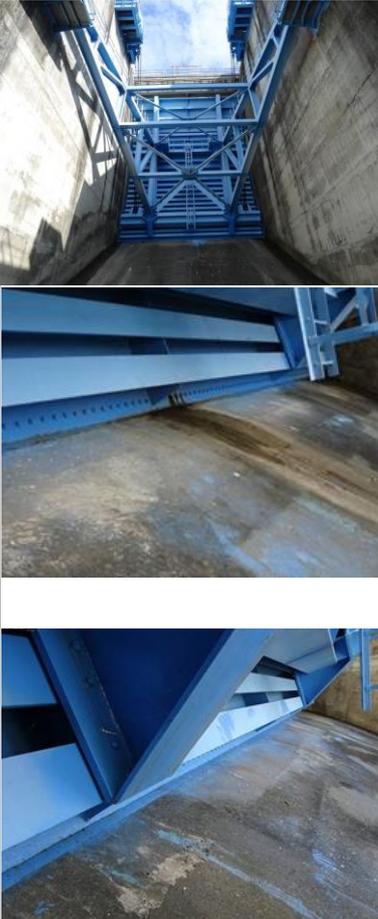
2.經濟損失：農業損失9.55百萬元、漁業損失約2.6百萬元、工商業資產損為新台幣224.6佰萬元。

3.文化資產損失：僅存有二座極具文化保存價值之資產(車城福安宮與石門古戰場)。

4.生態環境影響：無。

建議

類別	項目	建議事項	辦理情形	現況說明
限期改善事項	附屬結構物	溢洪道右岸側牆於第 4、5 節塊處伸縮縫開裂建議可適時以混凝土修補改善之。	已修補。 	持續追蹤修補狀況，若發現改善處剝落，擬再行修補。
	(土木結構物)	戽斗末端與明隧道交接處填縫料(水封)剝落，建議重新更換之。	已修補，但因放水產生負壓仍有些許剝落現象，於汛期前會再次修補。 	持續追蹤修補狀況，若發現改善處剝落，擬再行修補。

類別	項目	建議事項	辦理情形	現況說明
	水工機械設備	<p>溢洪道弧形閘門建議可先重複啟閉閘門觀察其滲水有無改善或水庫水位於EL.127.5m 以下更換底部橡膠水封，面板底緣變形處建議持續觀察，另於年度維護時針對面板除銹補漆，以防銹蝕加深影響結構安全。</p>	<p>橡膠水封已更換完成。</p> 	<p>水封與面板狀況皆定期檢查維護並更新，現場操作人員即時監視，若夾到異物則再次開啟閘門排除異物。</p>
		<p>壩體上、下游坡面部份胸牆施工縫開裂，建議可以填縫料或無收縮水泥砂漿填補改善，而歷次雨後坡面均易有局部植生及漂流木堆積，建議定期檢視坡面情形並予以清除。</p>	<p>胸牆施工縫已填補，清潔人員固定每二個月清除壩面植生與漂流木。</p>	<p>持續追蹤填補狀況，定期派員維護管理。</p>
計畫改善事	大壩	<p>大壩下游 EL.135 公尺平台與水平排水溝交接處表面濕潤，建議增設電容式土壤水分計，以利比對降雨及濕潤區的關係，另該處植物應定期清除，以防植物根部深入壩體鬆動土壤；平台應定期檢視裂縫狀況，若開裂擴大則建議全面以噴凝土</p>	<p>106 年牡丹水庫智慧營運與管理技術建置案，已於雜項填方區設置電容式土壤水分計。定期清除雜草，若開裂擴大則評估全面以噴凝土重噴保護。</p> 	<p>持續監測濕潤區狀況，進一步了解濕潤區及降雨關係；定期派員維護管理及追蹤開裂變化。</p>

類別	項目	建議事項	辦理情形	現況說明
項		重噴保護。		
附屬結構物		溢流堰滲水情況建議觀察滲水是否攜出細顆粒，若發現細顆粒遭攜出，應辦理堰面下方排水改善，並鋪設濾層；表面磨損處則應先將劣質混凝土鑿除，再以環氧樹脂混合石英砂修補。	已先於溢洪道鄰近之 C 線道路邊坡增設排水孔；溢洪道表面磨損處已修補。	持續追蹤堰面滲水及磨損修補情況，若惡化將進行整體改善。
(土木結構物)		輸水路混凝土隧道段滲水及噴水處建議以環氧樹脂混合石英砂材料進行填補；表面蜂窩及裂縫處雖無變化，為能維持輸水路結構長期安定，建議後續追蹤檢查並比較是否發展惡化。	輸水路混凝土隧道段屬內外水壓平衡段，故停水時易造成滲水情況，隧道結構應無安全疑慮，110 年 6 月前擬配合牡丹水庫小水力發電新建工程期程，辦理停水檢查，追蹤異狀變化情形。	待 110 年檢查成果，確認滲(噴)水狀況，進一步研擬改善對策。
監測系統與觀測		建議以鄰近之監測儀器研判大壩之行為，如大壩水壓計損壞可改採 IM2 量測水位，供大壩監測資料參考評估。若仍無法評估安全性，則建議於下游坡趾雜填區增設水位觀測井。	目前已加強滲流量水堰觀測，並於 IM2 增設自記式水位計，將持續觀測，並評估是否足夠評估壩體安全，另智慧營運與管理技術建置案雜填區有設水份計，可收集相關資料後加以研判。	持續監測評析大壩安全性。
水庫淤積		牡丹水庫主要淤積問題集中在汝仍溪上游區及水庫前區域，可採用水力抽泥船(絞吸式，吸頭裝設絞刀)工法配合陸面機械開挖方式進行清淤。	目前正執行機械清淤工程(採絞吸式)。	積極辦理清淤工程及集水區治理，以維水庫永續經營。

說明：

- (一)立即改善—建造物損壞並至影響其功能者；或其他應立即改善事項
- (二)限期改善—建造物局部損壞，應防止其損壞擴大者；或其他應限期改善事項
- (三)計畫改善—建造物已顯現缺陷或經評估需改善其功能或年久需維修者；或其他計畫改善事項