

# 曾文水庫第六次定期安全評估

## 摘要本

管理機關：經濟部水利署南區水資源分署

中華民國 115 年 1 月

# 結論與改善事項

## 結論

項目	結論
0121 地震 評估	<p>一、中央氣象署針對 0121 大埔地震研究成果，本次事件芮氏規模(ML)6.4，震源深度在 15.8 公里，已遠超過基底滑脫面深度(5-6 公里)，其發震構造可能為造山帶地殼中較深處盲斷層破裂導致。根據地礦中心研究「觸口斷層」孕震深度約 7.5~8 公里、「口宵里斷層」僅 5 公里深度來看，皆遠淺於此次地震震源位置，加上後續餘震更深達 10~16 公里，顯示此次地震與已知斷層並無直接關聯。</p> <p>二、0121 地震曾文水庫測得壩址測得最大 PGA=513.3gal，約 0.52g。</p> <p>三、曾文水庫地震儀均有辦理定期維護(一年 2 次)，且亦有委託中華民國地球物理學會辦理地震儀感震器校驗，故蒐集到之地震資料應屬正確。</p> <p>四、經本次安評委辦團隊至現場進行檢查，以及複核 1140121 地震特別檢查報告，地震後各設施狀況大致良好。</p> <p>五、0121 地震測得 PGA(0.52g)值，均未超過本次校核分析(詳表 6-1-7)採用之 PGA 值。</p> <p>六、0121 震後壩頂沉陷約 1cm，與 0121 地震實測值之動態分析結果相符，壩頂與壩趾分析所得加速度歷時趨勢亦與大壩實測值趨勢相似，皆有縮小的現象，分析成果與大壩實際狀況尚且符合。</p> <p>七、綜上，研判曾文水庫遭受 0121 地震後，無立即危及大壩安全之情形。</p>
地質	<p>一、曾文水庫壩址附近之地層以上新世隘寮腳層為主，由周邊局部露頭調查得知右壩座邊坡出露岩性以淡灰色輕度風化層狀砂岩偶夾薄頁岩為主，層理位態約呈 N25°~30°E/30°~35°E，無明顯節理發育，岩層完整連續均一；左壩座則出露青灰色輕度風化厚層砂岩，層理位態約呈 N20°E/40°E，層理不甚明顯；大壩下游溢洪道左岸有連續岩層露頭出露，岩性以層狀砂岩為主，層理位態約呈 N15°~20°E/30°E，岩層完整連續均一。本次調查成果大體與歷次安評調查成果一致，岩性與地層位態及弱面位態並無太大差異，亦無新發現之地質構造或特殊地質情況。</p> <p>二、根據本次曾文二號橋以北至曾文水庫南岸調查結果，沿跨越可能斷層跡兩側並未發現明顯斷層證據，地層均屬完整且連續，層理位態並無類似曾文二號橋南端露頭般顯著變化，因此研判口宵里斷層向北延伸之可能性不大，口宵里斷層於曾文二號橋以北可能已尖滅。</p>
校核 地震	<p>零、本次校核地震採用之資料來源、分析方法、評估依據...等，均已於 113/4/23 地震校核分析專家會議核定採用。</p> <p>一、斷層震源            參考「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析(1/4)」(地礦中心，2013)之觸口斷層系統之破裂分段，主要分為以下四種破裂事件：            A：觸口斷層(28 公里)            B：大尖山斷層南段+觸口斷層(14+28=42 公里)            C：觸口斷層+崙後斷層(58 公里)            D：大尖山斷層南段+觸口斷層+崙後斷層(14+58=72 公里)            基於地礦中心最新公佈之活動斷層分佈圖(2021)僅有觸口斷層(28 公里)；臺灣地震模型無觸口斷層系統；中央大學應用地質研究所完整觸口斷層系統，故本次觸口斷層系統之破裂分段權重，設定為 A(0.7)、B(0.1)、C(0.1)、D(0.1)，其中較高的權重給予地礦中心已公布之觸口斷層(28 公里)，其他可能的複合破裂模式給予較低的權重。</p> <p>二、地動預估式</p>

本次針對地殼震源與隱沒帶震源有分立各自模型，對於地殼震源(斷層和區域震源)，採用四組地動預估式並給予相等權重，包含 Lin (2009)、Lin et al. (2011)、Phung et al. (2020a)及 Chao et al. (2020)。隱沒帶震源則是採用三組地動預估式並給予相等權重，其包括 Lin and Lee (2008), Phung et al. (2020b)及 Chao et al. (2020)。

### 三、校核地震綜合評估

水庫各項設施各司其職功能有所不同，各設施對水庫整體安全影響程度亦有所差別，故本次參考水利建造物檢查及安全評估技術規範-蓄水與引水篇 1.5.2 地震一節，對曾文水庫各設施遭受地震時允許破壞程度進行分級，說明如下。彙整一覽表詳下表。

1. 壩體因最為重要，故依規範 6.2.1.5 節建議，採 10,000 年 1.5 倍標準差 MCE(0.851g)進行分析，以確保大壩安全餘裕。
2. 溢洪道、發電進水口應屬受 DBE 地動時，允許發生日後可予修護之損壞，但不能產生重大之變位或變形；水庫上之主要設施須保持操作之功能之設施。本案為求保守，將其採用之地震力提升為 1.0 倍標準差 MCE(0.642g)。
3. 防淤隧道、PRO 及其他附屬設施應屬在 OBE 地震下，應保持其功能，不容有任何損壞之設施。本次為求保守，將其採用之地震力提升為 1.0 倍標準差 DBE(0.550g)。

分級	設施	評估標準	PGA 採用值	$K_h$ 及 $K_v$ 採用值	備註
等級一	壩體	允許有限度損壞，但不得造成無法控制之出水(即潰壩)	0.851g (10,000 年 1.5 倍 MCE)	$K_h=0.24$ $K_v=0.16$	MDE 值
等級二	溢洪道、發電進水口	主要排洪設施，損壞可能造成溢頂風險	0.642g (10,000 年 1.0 倍 MCE)	$K_h=0.20$ $K_v=0.13$	為求保守，由 DBE 提升至 MCE
等級三	防淤隧道、PRO 及其他附屬設施	輔助排洪設施，允許發生可修護之損壞，但不能產生重大之變位或變形	0.550g (1.0 倍 DBE)	$K_h=0.17$ $K_v=0.12$	為求保守，由 OBE 提升至 DBE

### 校核洪水

- 一、暴雨位移與露點調整法：可能最大降雨量，配合瞬時單位歷線推估可能最大洪水量，受此次露點溫度(30.7°C)高於前(第五)次露點溫度(26.4°C)影響，最大可能降雨量為 3,023mm 高於前(第五)次安評 2,300mm 約 1.3 倍，推估之可能洪水量為 17,256cms，已遠高於克里格經驗公式最高上限值 12,843cms，應屬不合理。
- 二、颱風模式法：參考莫拉克颱風中心移動速度，降雨尖峰發生在過中央山脈後 7 小時，推估之可能洪水量為 11,494cms，略低於前(第五)次成果。
- 三、綜上，故沿用前(第五)次颱風模式法成果 12,958cms 作為本次校核洪水量。

### 結構物水理

- 一、溢洪道  
 流況檢討：以最大排洪量(Q=11,006cms)進行模擬時，三座溢洪道閘門門樞高程皆高於洪水位，出水高亦有 5 公尺之高度，堰面水位面流況不影響閘門安定性。  
 穴蝕分析：以最大排洪量(Q=11,006cms)進行模擬時，溢洪道最高流速為 37.79~38.68m/s，最低穴蝕指數約為 0.21~0.22。雖溢洪道最高流速略高於 35m/s，然穴蝕指數尚高於 0.2，其發生穴蝕可能性較低，且依現場檢查結果，溢洪道陡槽底板表面並無發現穴蝕現象。
- 二、永久河道放水道(PRO)出口 2 門射流閘門控制流量，採能量方程式進行計算。本次依上述公式及原則檢核結果，各開度之流量率定曲線與 113 年 4 月公告之「曾文水庫水門操作規定」率定曲線差異不大。
- 三、防淤隧道流量採能量方程式進行計算。本次依上述公式及原則檢核結果，弧型閘門各開度之流量率定曲線與 113 年 4 月公告之「曾文水庫水門操作規定」率定曲線差異不大。

### 水庫淤積

- 一、依 113 年淤積測量成果顯示，有效容量為 49,181 萬 m<sup>3</sup>。109~112 年淤積淤積率介於 36.51%~37.03%之間，無明顯增加之趨勢，113 年因受凱米颱風影響，淤積率略微提

	<p>高至 38.76%。</p> <p>二、水庫壽齡計算結果，曾文水庫壽齡為 154 年(可營運至民國 266 年)，高於工程界認定之合理水庫經濟壽命(50 年以上)。</p> <p>三、曾文水庫清淤方式現況主要以抽泥船辦理庫區清淤，並配合進行陸面機械開挖與水力排砂作為水庫主要清淤對策，後續待曾文水庫放水渠道及擴大抽泥工程完工後，預計每年可增加約 306 萬 m<sup>3</sup> 的清淤量，進一步以淤積零成長為目標，逐年恢復庫容。</p>
排洪設施排洪能力	洪水歷線沿用前(第五)次安評核定結果(洪峰值 12,958cms)，依水庫運用要點保守假設起始水位 EL.230m，配合最新水庫 H-A-V 曲線，並考慮閘門實際操作時之開度限制進行滯洪演算，於第 62 小時達最高洪水位 EL.234.60m，此時最高總出流量為 12,197cms，略低於水庫現有排洪設施之最大出流總量 12,595cms。
壩體出水高度	正常水位時加計出水高度所需壩頂高程為 EL.233.42m，校核洪水發生時加計出水高度所需壩頂高程為 EL.237.0m。由設計資料可知，壩頂防浪牆最低標高為 EL.237.3m，均大於本次校核情境之出水高度，故曾文水庫壩體出水高度足夠。
大壩	<p>一、壩體上、下游坡面無裂縫、滑動、凸起、下陷等異狀。亦無不良植生及漂流木堆積等情形。大壩上游側部分水溝頂蓋破損堵塞排水溝，<u>已於 114 年 10 月更新完成</u>，以維排水功能。</p> <p>二、經檢視壩頂道路無下陷、裂縫等異常。此外，防浪牆、人行道及排水孔亦無異常變位或裂縫，整體狀況良好。</p> <p>三、右山脊邊坡除局部縱向排水溝有嚴重破損及基礎流失淘空情形、部分路面或邊溝有沉陷破損變形，及零星淺層表土或風化層岩屑崩滑狀況，整體而言右山脊邊坡大致仍屬穩定。</p> <p>四、本次調查結果顯示目前大壩左山脊邊坡現況大致穩定，惟檢查期間發現靠近中段區域有零星表土或風化層岩屑持續崩滑狀況，南水分署將持續觀察。另邊坡上方一座電桿傾斜情況，係因其依現場傾斜地形豎立，造成下方視線錯覺，經南水分署會同台電公司會勘後研判電桿尚屬穩定尚無傾倒之虞，目前均定期派員巡檢。</p> <p>五、排水廊道(DT1~DT8)及灌漿廊道(GT1)與前(第五)次相比無異常變形、混凝土龜裂或劣化等現象，量水堰水質均清澈無雜質，整體狀況尚屬良好，惟有局部照明故障(DT1、DT8)，<u>已於 114 年 10 月改善完成</u>。</p> <p>六、壩體滲流分析結果顯示，浸潤面經過大壩心層沿著下游濾層至壩址，下游殼層部分區域均位於浸潤面以上，未於下游坡面滲出，濾層發揮良好排水效果。壩體與壩基在水庫水位 EL.230m 時之總滲流量為 370.55CMD，未超過國內外監測資料對於滲水量的容許經驗值標準，壩體的滲流行為應屬安全無虞。</p> <p>七、大壩安定分析結果顯在受地震力及無地震力之影響下，穩態滲流與急洩降兩情境之安全係數皆達設計之最小安全係數要求。</p> <p>八、民國 113 年 7 月編號 202403 凱米颱風侵台，7 月 22 日 23 時 30 分發布陸上颱風警報，7 月 26 日 8 時 30 分解除海上陸上颱風警報，颱風期間因集水區發生 24 小時累積雨量超過 500 毫米之雨量，故依曾文水庫安全維護手冊規定辦理特別檢查。根據特別檢查報告結論(詳附錄 E)，凱米颱風特別巡檢結果，大壩、溢洪道及其餘附屬設施整體狀況均大致良好，未發現有立即危及水庫蓄水安全的問題。</p> <p>九、本次動態分析採用之模型經 0121 地震實測資料驗證，壩頂沉陷量約 1cm，與實測壩頂沉陷變化量相符。本次以 10,000 年 1.5 倍標準差 MCE(PGA 採 0.851g)之校核地震作為輸入震源進行分析。</p> <p>(一)震後壩頂最大沉陷約為 2.01m，依目前曾文水庫壩頂防浪牆最低標高 EL.237.3m，震後壩頂最低將下降至 EL.235.29m(加計防浪牆)，仍大於壩體受震之出水高度 EL.233.42m 需求，顯示受震後出水高度仍屬足夠，不致產生庫水溢頂之危險</p> <p>(二)震後上游側產生 2.25m 之水平滑移量，下游側產生 4.6m 之水平滑移量，雖變形量偏</p>

大，但受震時無壩體液化情形，且震後壩頂出水高仍足夠無溢頂風險，由剪應變增量等值圖亦可知未發生深層圓弧滑動，可研判水庫應無立即性危險。

(三)由於本次採近年最新斷層調查資料，以及「水利建造物檢查及安全評估技術規範-蓄水與引水篇解說」於112年12月將機率法校核地震PGA值上調至1.5個標準差，以至於本次分析之MCE(0.851g)均大於歷次安全評估結果，甚至已超出第一次安全評估之MCE(0.42g)兩倍以上。

(四)綜上，在日趨嚴格的規範要求之下，當曾文水庫遭遇10,000年再現週期1.5個標準差MCE(0.851g)之地震，仍符合規範1.5.2「地震」所述「MCE：…水利建造物於遭遇最大可能地震時，允許發生有限度之損壞，但不能造成無法控制之出水，主要設施在此一地震下應能維持運轉。…」之標準。為確保大壩在未來倘若遭遇最大可能地震時，仍具備足夠的耐震能力，南水分署將持續進行壩體定期巡檢，並在發現異常情況時，及時採取必要修繕措施，以維持水庫的耐震能力與整體安全性。

#### 一、溢洪道

安定評析：溢洪道堰體之抗傾、抗剪滑和抗浮分析，在各種不同載重組合下，其安全係數均大於規範訂定之安全準則值。

結構應力評析：正常及異常荷重情況下混凝土張、壓應力均低於容許值，混凝土不會發生開裂或壓裂破壞；極端荷重情況下，局部混凝土最大張應力大於容許值，然因該處有配置鋼筋，且鋼筋之容許拉應力遠大於最大張應力，鋼筋可提供足夠之抗張強度，則因鋼筋未降伏故開裂不會向內發展，開裂程度將受到限制，研判結構物尚屬安全。

#### 二、落水池

(一)長度檢核：溢洪道於校核流量下，躍射距離為130.9m，低於落水池長度222.6m，故落水池長度足夠。

(二)淘刷深度檢核：最大排洪量11,006cms情況下，採水工建築物手冊(1992)建議之公式計算其淘刷深度結果，沖刷深度約為17.73m，大於原設計沖刷深度14.8m，主要係因本次係採用校核洪水之最大排洪量(11,006cms)進行分析，高於原設計排洪量(9,470cms)，結果應屬合理。另依據歷年落水池中測量結果瞭解，落水池於莫拉克颱風事件至今已回淤約11.06m，且落水池受淘刷最深處大致位於中央，對兩側護坡基礎尚無立即影響，不致影響通往電廠道路及壩頂道路坡面之穩定。

#### 三、發電及永久河道放水道進水口

「曾文水庫發電及永久河道放水道進水口改善工程設計」曾針對各個結構單元進行分析，當時水平地震係數 $K_h$ 採0.192，而本次針對水庫各設施採用之地震力重新進行評析分級後，發電及永久河道放水道採用之水平地震係數 $K_h$ 為0.17，故本結構物應為安全無虞。

惟本次現場檢查於庫水位較低時發現兩側邊坡表層有岩層出露之情形，考量地表雨水逕流及水庫水位操作可能造成表層岩層剝落，故針對發電及永久河道放水道進水口邊坡進行安定分析，分析成果得知暫無淺層滑動之風險，顯示發電及永久河道放水道進水口應屬安全無虞。

#### 四、防淤隧道豎井閘室

防淤隧道豎井閘室結構經三維有限元素校核成果，各結構部位設計強度大於需求強度，原設計配筋皆符合相關規範要求，研判防淤隧道豎井閘室結構應屬安全。

#### 五、永久河道放水道閘室

永久河道放水道閘室結構經三維有限元素校核成果，各結構部位設計強度大於需求強度，原設計配筋皆符合相關規範要求，研判永久河道放水道閘室結構應屬安全。

#### 六、永久河道放水道(PRO)通氣斜坑及聯通管壓力鋼管銜接段至木瓜園消能設施段

(一)本報告節錄使用前安全複核成果，經綜合評估結果，設計資料、施工階段資料、現場檢查內容及試運轉內容均符合要求。

	<p>(二)PRO 通氣斜坑完成後，放流量 100cms 之平均風速為 12.09m/s，相較未改善前放流量 50cms 平均風速 15.53m/s，有明顯改善情形。</p>
<p>隧道結構安全</p>	<p>一、永久河道放水道隧道</p> <p>(一)曾文永久河道放水道為一壓力隧道，分為鋼襯段及混凝土襯砌段。襯砌段之軸力、剪力、彎矩均在設計容許範圍內，隧道襯砌結構仍屬於安全。</p> <p>(二)鋼襯內壓校核結果，安全係數均大於原始設計之容許安全係數，故鋼襯承受內壓水位時之強度仍屬安全。</p> <p>(三)鋼襯外壓校核結果，安全係數均大於原始設計之容許安全係數，故鋼襯承受外壓水位時之強度仍屬安全。</p> <p>(四)本次檢查共發現有 3 處鋼襯隆起，其中 2 處(0k+11m、0k+13.2m)隆起位置與前(第五次)位置重疊，1 處(0k+14.15m)為本次檢查新增，除此之外，前(第五次)發現(共 6 處)之其餘 4 處隆起，均已完成修補且無再次隆起。</p> <p>(五)經 3 維水理數值模擬分析，若排空操作情境下若通氣管堵塞無通氣，將對入口處彎管段造成 5.5kgf/cm<sup>2</sup> 之負壓，已超過鋼襯容許最大外壓 2.01 kgf/cm<sup>2</sup>，研判可能為造成鋼襯隆起的原因之一；另根據第三次安評，曾評估鋼襯隆起之原因係外水壓經由岩盤裂隙進入混凝土襯砌而到達鋼襯邊緣，致使原本僅設計作為模板用之鋼襯在排空時承受了額外之外水壓，因而造成鋼襯之隆起。南水分署擬優先辦理 PRO 通氣管洞口雜物清理及格柵修復(預計 115 年 4 月改善完成)，後續將再就通氣影響情形及鋼襯狀況進一步評估，釐清鋼襯反覆隆起原因及規劃改善對策。</p> <p>二、防淤隧道模擬各情境載重下之結構受行為，並取分析所得之最大軸力 P、剪力 V 及彎矩 M 檢核各結構部位，各結構部位原計算強度均大於需求強度，顯示原設計採用之荷重加載方式屬相對保守，研判隧道襯砌結構應屬安全。</p>
<p>壩基座及水庫周邊邊坡</p>	<p>一、壩基座</p> <p>溢洪道開挖邊坡之上游部份為砂岩、粉砂岩及頁岩所組成，依開挖坡度可分為三區：第一區開挖坡之位態為 N75°W/21°48'S (2.5:1)；第二區開挖坡之位態為 N90°E/26°34'S(2.0:1)；第三區開挖坡之位態為 N75°E/33°41'S (1.5:1)。此區岩楔主要由層面及 9 組垂直之斷層所構成，而層面位態為 N30°E/32°S，第一區及第二區之開挖坡面坡度較弱面為緩，並無岩楔滑動產生，第三區坡面皆較岩楔之滑動方向為緩，故並無產生大規模岩楔滑動之疑慮。</p> <p>二、右山脊</p> <p>右山脊邊坡除局部縱向排水溝有嚴重破損及基礎流失淘空情形、部分路面或邊溝有沉陷破損變形，及零星淺層表土或風化層岩屑崩滑狀況，整體而言右山脊邊坡大致仍屬穩定，115 年度預計針對右山脊排水溝嚴重破損及基礎流失淘空區域等 2 處辦理改善工作(預計 115 年 6 月改善完成)。</p> <p>安定分析顯示於常時(FS=1.3)及震時(FS=1.0)情境下安全係數略低於要求值，暴雨(FS=1.1)情境下符合要求值，分析之滑動面經檢討多為覆蓋土層處之淺層滑動。動態分析結果顯示震時可能較大位移處屬覆蓋層之淺層滑移，且經現場監測儀器及現場檢查顯示近年多屬零星淺層表土或風化層岩屑崩滑狀況，無大規模滑動情形發生，整體而言，右山脊邊坡現況不致發生大規模邊坡滑動破壞，惟仍需於發生地震、颱風及豪雨前後加強觀測各孔之滑移量變化，以利持續追蹤右山脊邊坡穩定情形。</p> <p>三、左山脊</p> <p>坡現況大致穩定，惟檢查期間發現靠近中段區域有零星表土或風化層岩屑持續崩滑狀況，南水分署將持續觀察。另邊坡上方一座電桿傾斜情況，係因其依現場傾斜地形豎立，造成下方視線錯覺，經南水分署會同台電公司會勘後研判電桿尚屬穩定尚無傾倒之虞，目前均定期派員巡檢。</p> <p>四、蓄水區邊坡</p>

	<p>(一)本(第六)次蓄水區邊坡檢查結果，淹沒區周邊崩塌情形與前(第五)次比較，無明顯新增崩塌地，有 24 處崩塌地或不穩定邊坡有持續觀察必要。</p> <p>(二)依據經濟部水利署(經水政字第 11453051020 號公文)與農業部農村發展及水土保持署(農保監字第 1142602442 號公文)，0121 大埔地震共造成 27 處崩塌地，其中位於曾文水庫集水區共 6 處，崩塌面積在 0.11~0.37 公頃，屬於小面積淺層岩屑崩滑，對曾文水庫主體結構物無影響。</p> <p>(三)根據「114 年水庫集水區巡查暨衛星影像變異點調查計畫」，地震發生前後水庫蓄水區除調查點 1、3 及 8 附近疑有崩塌情形，其餘點位並無明顯崩塌情形發生。</p> <p>(四)114/3/13 辦理 0121 震後蓄水區邊坡現場檢查結果顯示，庫區邊坡大致穩定，順向坡及崩塌地岩盤裸露處與地震前相比變化不大。僅零星表層覆蓋層(如覆土或礫石層)易受地震與豪雨侵蝕影響土石鬆動，導致小規模的局部岩屑崩塌，尚不致對水庫主體結構造成影響。</p> <p>五、廊道</p> <p>DT1~DT8 及 GT1 與前(第五)次相比無異常變形、混凝土龜裂或劣化等現象，量水堰水質均清澈無雜質，整體狀況尚屬良好，惟有局部照明故障(DT1、DT8)，南水分署將定期巡檢維護。</p>
<p>監測儀器資料觀測</p>	<p>一、曾文大壩孔隙水壓計近年監測結果顯示各區域監測成果無明顯變化，研判大壩滲流行為仍屬正常。</p> <p>二、壩頂位移沉陷監測成果顯示壩頂無明顯變化。</p> <p>三、壩面位移沉陷監測成果顯示大壩上、下游坡面並無整體沉陷之趨勢，研判壩面無滑動或整體沉陷現象。</p> <p>四、溢洪道地下水位井水位分布穩定亦不隨庫水水位變化，研判地下水位不影響溢洪道之安定性。</p> <p>五、溢洪道側牆位移觀測監測成果顯示，溢洪道側牆位移沉陷無明顯變化，研判溢洪道整體沉陷趨勢尚屬穩定。</p> <p>六、右山脊廊道量水堰變化受降雨影響明顯，豐水期時各廊道排水量有顯著的增加，研判排水廊道排水功能良好。</p> <p>七、右山脊邊坡傾斜觀測成果並無明顯變化，研判右山脊邊坡尚屬穩定，將持續觀察。</p> <p>八、防淤隧道象鼻引水鋼管光纖光柵傾斜計放淤操作期間，安裝於抗渦出挑鋼罩上之 Ch01 及 Ch03 有較明顯之角度變化，研判兩傾斜計角度變化係來自水壓及水流而非結構不穩造成；餘期間傾斜計角度均無明顯變化，亦無往同一側持續偏移之情形，研判結構尚屬穩定。</p> <p>九、防淤隧道出水口中間柱監測成果顯示各應力計及應變計監測數值無明顯變化，且監測成果亦小於防淤隧道安全維護手冊建議之警戒值，研判出水口中間柱屬穩定狀態。</p>
<p>水工機械及機電設備</p>	<p>一、曾文水庫之水工機電設備外觀及結構整體上無嚴重損壞者，依循正常維護週期進行適當之維護，即可保持設備的妥善及延長設備使用年限。</p> <p>二、各水工機電設備試運轉順暢，無異常震動、升溫或異音等情形，整體運轉狀況正常。</p> <p>三、閘門鋼索無扭結、變形、斷線，量測值均在標準內。</p> <p>四、溢洪道弧形閘門 No.1~3 底水封及側水封皆有輕微滲漏情形、防淤隧道弧形閘門門扉底部局部銹蝕(已於 113 年 4 月特別維護完成保養)。</p> <p>五、溢洪道弧形閘門、發電進水口取水閘門、永久河道放水進水口取水閘門、發電放水尾水閘門、防淤隧道緊急/維護閘門、防淤隧道控制閘門等，各閘門皆屬「正常載重」控制。三維分析各閘門所承受之應力及變形均在容許範圍內，研判各閘門結構應屬安全。</p>
<p>操作運轉</p>	<p>一、操作運轉檢討評析</p> <p>(一)曾文水庫操作運轉主要依據運用要點與水門操作規定辦理，上述兩者分別於民國 113</p>

及警報系統	<p>年4月12日進行修訂，內容符合實際營運操作之需求，應屬合宜。</p> <p>(二)參考曾文水庫管理中心操作營運紀錄顯示，水庫防洪運轉皆依運用要點及水門操作規定辦理調節性放水、防洪運轉等操作。</p> <p>二、警報系統檢討評析</p> <p>(一)曾文水庫下游設有水文監視系統主控站及監視站20站、發電尾水警報系統6站、河道區放水警報24站，易淹水區63處洩洪處警報站。</p> <p>(二)系統佈置已考量運轉時，水庫排洪及排砂造成水位漲升情況之掌握、操作人員反應時間、操作安全、洩洪警報及資訊安全等條件進行系統架構之設計，並由專業廠商每季定期保養與檢查，系統整體可靠度應屬良好。</p>
下游河道輸洪能力	<p>一、下游河道輸洪能力評估結果，經河道危害度潛勢分析，0~178斷面之間，左岸共有72處危險度屬中等，右岸共有64處危險度屬中等，其餘皆為危險度低。</p> <p>二、考量河道淤泥放淤量約840萬立方公尺/年，以4,450cms調節放水條件下，沖淤模擬結果顯示河道暫置淤泥與24道可潰式土堤，在高流量衝擊下各暫置區沖刷率為96~100%以上，平均沖刷率為97%，顯示此操作情境下可有效將暫置區淤泥運移至下游。</p>
潛在破壞模式檢討	<p>一、民國106年邀請國外專家來台指導完成的潛在破壞模式分析(PFMA)，屬定性之風險分析，已完整辨識出曾文水庫大壩之8項關鍵潛在風險，歸納出各項潛在破壞模式發生之原因、過程、歷史事件之影響、現況條件之有利及不利因素、風險分級及說明及、可能的災減措施及對策。</p> <p>二、民國109及110年所辦理之定量風險分析則將潛在破壞模式之破壞發生率及損失量化，並訂定社會風險可忍受之範圍及調降風險策略。可更精確掌握潛在破壞模式之風險。經本次歸納所提出之破壞模式，PRA考量之破壞模式已涵蓋PFMA所列之8項主要潛在破壞模式，僅PMF6：「溢洪道沖蝕破壞」經檢討篩選後排除，未進行量化風險分析，比較表詳表6-15-3。建議管理單位可依據106年PFMA所訂定之8項關鍵潛在風險並參考潛在破壞模式評析表之可能的災減措施及對策執行水庫安全管理作業。</p>
資訊安全	<p>本分署自108年起開始辦理資訊安全導入，曾文水庫管理中心亦於110年完成B級資安所需工作項目，且112年辦理ISMS維護與定期追查，確保ISO27001 ISMS驗證持續有效，113年通過ISO 27001:2022 ISMS認證，達到國際最高標準。未來亦將持續精進ISMS，及加強人員資安意識。</p>
遙感探測資料	<p>「曾文水庫大壩安全監測分析及檢查」、「水庫集水區衛星影像監測暨巡查管理計畫」、「曾文水庫淤積測量工作」均有利用UAV針對水庫大壩或水庫集水區進行大範圍拍攝，彌補傳統現場檢查僅能以人員至定點進行目視判釋，無法量化呈現之不足，並建立長期觀測記錄，藉以瞭解水庫大壩或水庫集水區整體的變化，尚屬合宜。</p>
水庫營運管理評核及未來改善	<p>由曾文水庫管理中心操作營運紀錄顯示，水庫營運皆依運用要點及水門操作規定辦理，且目前管理人員與組織分工皆屬合宜。</p>
潰壩演算及災損評估	<p>一、潰壩演算</p> <p>本次採用DAMBRK演算程式進行曾文水庫潰壩分析，並採用由美國陸軍工兵團(USACE)所開發之河川分析系統軟體採用二維模式HEC-RAS(2D)進行潰壩後洪犯區淹水情形模擬，藉所得之淹水範圍及深度。</p> <p>二、災損評估</p> <p>主要分為受災人口、經濟損失(工商業損失及農漁業損失)、文化資產損失、生態環境損失等四部份。</p> <p>(一)受災人口</p> <p>由統計分析結果推估淹水範圍內可能受影響之戶數約31,125戶，受災人口數約800,167人。</p>

## (二)經濟損失

工商業損失約 7,898 億元，農業損失約為 82.57 億元，漁業損失約為 5.48 億元，經濟總損失金額主要係根據雨天潰壩淹水範圍進行災損評估，經概算本次經濟總損失金額約為新台幣 7,986 億元。

## (三)文化資產損失

依據曾文水庫潰壩淹沒範圍及比對內政部營建署公告資料，淹沒範圍有公告之文化古蹟、歷史建築及史蹟保存區，本案包含一級、二級、三級、市定國定古蹟等，並含有歷史建物及文化遺址。

## (四)生態環境損失

雨天潰壩洪水對曾文水庫溢洪道至曾文一號橋河段之影響範圍，可能影響之物種包括食蟹獐、山羌、白鼻心等哺乳類動物，曾文二號橋至二溪大橋河段，可能影響之物種包括南臺中華爬岩鰍、台灣石鮒、高身小鰈魷、粗首馬、口鱧、短吻小鰈魷、臺灣石魚賓、臺灣鬚鱧、南臺吻鰕虎及斑帶吻鰕虎等 10 種臺灣特有魚類物種，二溪大橋下游至河口，流速趨緩惟淹水面積廣，除魚類物種需注意諸羅樹蛙及東方草鴉等兩棲陸域物種。河口處鄰近台江國家公園，其淹水深度不大且流速已不高(河道外流速均在 1m/s 以下)，造成之生態環境損失有限。