

公務出國報告
(出國類別：出席研習會)

2007 年美國墾務局
「水壩安全評估與檢查國際技術研習會」
出國報告書

服務機關：經濟部水利署

姓名：黃建明

職稱：副工程司

派赴國家：美國

出國期間：96 年 9 月 17 日至 96 年 9 月 27 日

報告日期：96 年 11 月 22 日

摘要

近年來，由於全球各地遭逢氣候變遷及水文條件變異之影響，有關蓄水庫安全及水資源需求等議題，已逐漸引起多數國家政府主政部門及該國人民極度重視，美國壑務局（簡稱 USBR）為目前世界水庫壩工專業權威機構之一，該局為提供世界各國有關水庫安全評估與檢查技術之交流機會，爰每年一度辦理本研習會。

研習會自 96 年 9 月 17 日至 96 年 9 月 27 日止，共計 11 天，研習會內容，共分成兩大部份，第一部份係於美國科羅拉多州丹佛市之壑務局舉行，主要為水庫大壩之設計、分析、安全評估、緊急應變處理、風險分析、監測、運轉及維護等相關議題之研習，並參觀該局研究實驗室；第二部份為大壩現地觀摩及問題研討，計參訪該局所轄之 6 座水壩。

研習會主要提供國外專業人員研討及瞭解水庫安全評估與檢查技術，透過國際交流分享專業經驗，並經由室內研討包含大壩設計、施工、操作養護及實地考察水壩，使專業人員理解及建立或加強水庫安全評估及檢測能力。

目 錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
壹、目的.....	1
貳、研習行程與內容.....	2
參、研習內容摘要.....	4
肆、心得與建議.....	28

壹、目的

近年來，由於全球各地遭逢氣候變遷及水文條件變異之影響，有關蓄水庫安全及水資源需求等議題，已逐漸引起多數國家政府主政部門及該國人民極度重視，尤其隨著水庫壩體構築材料、觀（監）測、機電操控及水工機械等設備之老化，與蓄水庫下游洪氾區域人口增加等因素，已相對顯現出蓄水庫安全、操作、維護及風險管理與水資源永續經營之重要性。

美國內政部墾務局（United States Department of the interior Bureau of Reclamation，簡稱 USBR）為目前世界水庫壩工專業權威機構之一，其負責美國西部 17 個州之水資源開發、管理及維護工作，以其興建超過 600 座以上蓄水庫及壩工之經驗，並在 1978 年積極通過大壩安全法案，實施大壩安全計畫(Dam Safety Program)，足見該局對水庫安全之重視。另該局為提供世界各國有關水庫安全評估與檢查技術之交流機會，爰每年一度辦理本次「水壩安全評估與檢查國際技術研習會」。

本次研習會主要提供國外專業人員研討及瞭解水庫安全評估與檢查技術，透過國際交流分享專業經驗，並經由室內研討包含大壩設計、施工、操作養護及實地考察水壩，使專業人員理解及建立或加強水庫安全評估及檢測能力。

貳、研習行程與內容

本次研習會自 96 年 9 月 15 日啟程出發，至 96 年 9 月 29 日返抵桃園中正機場，行程共計 15 天（含啟程及返國搭機時間），共有 16 個國家 40 人參加此次研習會。

研習會內容，共分成兩大部份，第一部份係於美國科羅拉多州丹佛市之墾務局舉行，主要為水庫大壩之設計、分析、安全評估、緊急應變處理、風險分析、監測、運轉及維護等相關議題之研習，並參觀該局研究實驗室；第二部份為大壩現地觀摩及問題研討，計參訪該局所轄之 Boca 壩、Truckee River 壩、Shasta 壩、Manzanita 壩、Stony Gorge 壩及 Oroville 壩等。研習行程與內容詳下表所示：

日期	地點	研習內容
9/17 (一)	科羅拉多州丹佛 (Denver)	報到及開幕典禮 大壩安全歷史與展望 保全計畫概述 水庫操作與維護展望 大壩事故案例研討 參觀墾務局工程及研究實驗室
9/18 (二)	科羅拉多州丹佛 (Denver)	大壩安全監測及評估之破壞模式識別 地質工程師在大壩安全之重要角色概述 大壩安全之地震危害度研究 大壩之地震設計與分析 強地動監測
9/19 (三)	科羅拉多州丹佛 (Denver)	監測儀器在大壩安全之角色 土石壩監測儀器概述 混凝土壩監測儀器概述 監測行為評估 土石壩裂口處理之模擬 研習會與會人員發表(日本、西班牙、加拿大、南非)

9/20 (四)	科羅拉多州丹佛 (Denver)	有效大壩安全計畫之要素 設施緊急應變評估 早期預警系統 緊急行動之計畫、演練與報告 大壩安全之水文考量 大壩安全之風險分析與評估 Shasta 壩的溫度控制裝置設計
9/21 (五)	科羅拉多州丹佛 (Denver)	大壩附屬結構檢查 土石壩改善 混凝土壩及附屬結構之結構改善 混凝土壩檢查 大壩機械設備之檢驗與測試 土石壩檢查
9/22 (六)	科羅拉多州丹佛 (Denver)	參訪洛磯山國家公園
9/23 (日)	科羅拉多州丹佛、 內華達州雷諾 (Reno)	由科羅拉多州丹佛搭機飛抵內華達州 Reno
9/24 (一)	內華達州雷諾 (Reno)、 加州雷丁(Redding)	Prosser Creek 及 Stony Gorge 壩簡介 操作及維護計畫考量與非動力檢查 大壩之維護管理 大壩之標準操作程序 大壩之操作者訓練 現地參訪 Boca 壩、Truckee River 壩
9/25 (二)	加州雷丁(Redding)	現地參訪 Shasta 壩、Manzanita 壩
9/26 (三)	加州雷丁 (Redding)、沙加緬 度(Sacramento)	現地參訪 Stony Gorge 壩、Oroville 壩
9/27 (四)	加州沙加緬度 (Sacramento)	參訪 Napa Wine Country 參加閉幕晚宴

參、研習內容摘要

本研習會內容，係經美國墾務局精心規劃及安排，透過包括室內課程研習及戶外實務參訪方式，提供參加研習人員分享、瞭解及學習該國投入於蓄水庫壩工構造物之安全檢測評估、功能運轉及設施維護技術等多年來之工作成果，並藉由部份研習人員發表該國相關經驗、討論交流及分享專業領域相關經驗。

本次研習會內容包括：室內研習課程共計 32 項講題(含部份研習人員發表該國相關經驗)、參觀墾務局工程及研究實驗室及現地參訪 6 座水庫。以下就重要內容摘述如下：

一、室內講題課程研習

(一) 水庫操作與維護展望

美國墾務局（USBR）視水庫之操作與養護為一體兩面，兩者雖為獨立作業卻也息息相關。歷來美國墾務局之政策即為當一水庫建設完成後，即將後續之操作與養護工作及權責移轉至地方政府用水單位，而其則處於監督地位。

水庫完工後之營運操作包括每日例行流量量測、水庫或發電廠閘門操作及排放水量管制、各項監測儀器長期資料蒐集、整理與分析等。然而一些較常忽略的操作項目如洪水監測、結構行為之儀器監測、水庫設備安全之評估、年度營運計畫之準備及為確保機械設備能正常運轉及因應正常意外發生與緊急情況如洪水、地震或設備遭破壞時因應措施所執行之演練等，亦具有同等之重要性。

水庫最常見之養護工作即是隨著水庫完成而進行主要修理與復原、裝備與設施之替換及設備之增加。包括水力發電機重新設置

或升級，主要構建如閘門或活塞使用年限結束時的更換及自動控制系統之升級或替換。較少看見的例如抽水機設備周期性拆除、檢視及重建、裝備潤滑、計畫週期內的設備及裝備檢視、水庫閘門表面拋光與油漆及庫房之設備與裝置訂購與養護。總言之，有計畫性之操作與養護可視為對水庫安全性廣泛而複雜的一個承諾與活動。

水壩之操作與養護，大部分都與構件之正常磨損及撕裂有關，這些修復包括復原甚至更換構件以確保水壩之功能。另潛在缺失將影響設備使用年限，許多操作與養護工作或許不立即涉及水壩安全性，但忽視這些工作則將形成安全性顧慮，例如對壩址滲漏處不加以處理將導致水庫漏水甚至潰壩。

(二) 大壩事故案例研討

1. South Fork Dam, Pennsylvania, USA

事故經過：South Fork Dam 為一土石壩，位於美國賓州約翰斯鎮 (Johnstown, Pennsylvania, USA) 上游 14 公里，於 1852 年建造完成，藉由渠道將水源供應匹茨堡灌溉之用。水壩原由一家鐵路公司收購，於閒置 16 年後由一家俱樂部收購，並將壩頂降低構築道路及在溢洪道上建造橋樑，以供俱樂部會員釣魚之便。因 1889 年 5 月 30~31 日一場暴雨使得水庫溢洪道因阻塞嚴重致壩頂溢流破壞，造成水壩下游約翰斯鎮約 2200 餘人喪生，房屋沖毀，數以千計居民無家可歸。

事故探討：因水壩之設計或修復工程事務，欠缺工程素養及正確觀念，致造成安全上嚴重的危害，另疏忽溢洪道堵塞潛在之危險，亦將造成壩頂溢流之嚴重後果。

2. Austin Dam, Pennsylvania, USA

事故經過：Austin Dam 為一高 50 呎、長 550 呎之混凝土重力壩，位於賓州 Austin 鎮上游約 1.6 公里，於 1909 年建造完成。1910 年第一次蓄滿水位時壩體即向下游移動，下游面多處出現寬達 1.3 公分的裂縫，1911 年 9 月 30 日豪雨使水庫水位上升造成大壩潰壞，約為 4 億加侖的水向下游傾瀉，造成 80 餘人死亡及百萬美元財物損失。

事故探討：沿著基礎或基礎內剪力抵抗不足為造成壩體滑動之主因；另對基礎條件未適當留意及處理，亦將導致嚴重災害。

3. St. Francis Dam, California, USA

事故經過：St. Francis Dam 為一高 195 呎混凝土重力式拱壩，於 1926 年建造完成。原設計壩高 175 呎、容量 30,000 美畝-呎，但在施工後不久，設計者即決定將壩體提高 10 呎、容量提高至 32,000 美畝-呎，當 1925 年 7 月工程施作接近一半時，設計者又決定將壩體提高 10 呎至總高度為 195 呎，而最後容量提高至 38,170 美畝-呎，惟壩基寬度並未因而顯著增加。於 1928 年 3 月 12 日晚間 11 點 57 分潰壩，造成 10 座橋梁衝毀、1,200 餘房舍破壞，超過 450 人於此災難中死亡。

事故探討：根據破壞分析，顯示最初右壩端下游坡面移動造成水壩上游面產生張力龜裂而導致不穩定上浮壓力最後造成崩塌；另不適當的壩址調查、設計與忽視災害的警訊亦為導致壩體崩塌原因。

4. Castlewood Dam, Colorado, USA

事故經過：Castlewood Dam 為一 21 公尺高堆石壩，位於科羅拉多

州丹佛市櫻桃溪東南方 48 公里，於 1890 年建造。該壩之溢洪道設計為 110cms，惟當時已知櫻桃溪之最大流量紀錄為 283cms。於 1933 年 8 月 3 日凌晨一點大壩因一場暴雨，造成壩頂溢流而破壞，因水壩操作人員全程目睹破壞過程並即時通知相關部門緊急疏散下游民眾，致將傷亡及財物損失降至最低，惟仍有 7 人死亡及百萬元財物損失。

事故探討：不當的溢洪道設計及對壩趾潛在性破壞疏於了解，導致災害發生。

5. Baldwin Hills Dam, California, USA

事故經過：Baldwin Hills Dam 為一高 71 公尺之滾壓土石壩，位於洛杉磯山谷中，於 1951 年建造完成。於壩之襯砌層下設置暗渠以收集穿透襯砌層之滲漏水，1963 年 12 月 14 日上午 11 時 35 分操作人員發現大量水流由排水系統流出，操作人員於是開始降低水庫水位，至下午 1 時滲漏水量大為增加並再降低水庫水位，此時大壩上游面之襯砌層出現寬 1 公尺之裂縫，工人雖嘗試用砂包來阻止流水，惟效果不佳，最終水庫的水全部流失。

事故探討：(1) 穿越水庫底下之一條油田壓力輸送管發生移動；(2) 由於斷層破裂及鬆動造層沉陷。總結此事件之發生為對水庫坐落位置地質狀況未加詳查，致影響大壩安全。

6. Fontennelle Dam, Wyoming, USA

事故經過：Fontennelle Dam 為一高 39 公尺，長 1.6 公里之土石碾壓壩，位於 Wyoming 西部綠河，於 1964 年建造完成。水壩於建造期間於取水工及溢洪道發現開放節理及岩

盤裂縫，這些裂縫深入至壩墩下游面。1964 年當水壩進行第一次蓄水時，水位高約 15 公尺，水庫下游 600 公尺處開始發生滲水現象，於是停止進一步之蓄水，直至滲流穩定。

事故探討：圍堵之基礎處理方式將對腐蝕性材料填築產生不良影響（基礎處理之重要性）。

7. Teton Dam, Idaho, USA

事故經過：Teton Dam 為壩頂長約 3,200 呎，壩高約 305 呎之分區碾壓土壩，位於愛達荷州福瑞蒙特郡(Fremont County, Idaho)之 Teton River，於 1976 年建造完成。在 1976 年 6 月 5 日早上 9 點 30 分，開始發生滲水現象，四部推土機嘗試封堵滲水，但仍持續擴大。10 點 30 分，即通知負責疏散之單位，傳播媒體亦進行現場報導，並通知鄰近大壩下游居民迅速撤離。在 1976 年 6 月 5 日早上 11 點 57 分，當初次蓄水接近滿水位時，大壩潰壞，造成 14 人喪命及下游區域上億美金的財產損失。

事故探討：(1) 基礎處理、多道防線以防範滲流沖蝕及管湧的重要性；(2) 避免狹窄陡峭之截水槽挖；(3) 設計工程師在興建過程關鍵點應到現場了解現況並依現況檢討及調整設計；(4) 控制水庫蓄升能力之重要性。

(三) 大壩安全之地震危害度研究

水庫主要功能在於蓄水供應民生一切所需用水，然而壩體本身若遭受天然災害破壞嚴重時將導致生命財產損失，因此對壩體結構本身是否能抵抗地震，以保持其安全性將是一項重要研究。對於地震災害主要研究目的在於提供以下功能：

1. 研究並提供工程師在動力分析時使用之地面運動因素
2. 對位於基礎中潛在性斷層評估

任何地震災害分析主要包括地震來源特性(包括地質學及地震學)，說明如下：

◆地質學

1. 地質特性、地理位置、斷層形式、深度、最大震度及地震復發模式等
2. 相關地質文獻資料研討、空照圖、地殼構造及地質地形繪製

◆地震學

1. 地震發生區域、地表破裂長度、斷層區域、平均及最大位移資料之判讀及地表加速度
2. 地震最大震度發生時間估算、地震復發模式與統計

地震災害對水壩本身影響深遠，為確保水壩安全對於地震災害研究將視為水庫安全評估重要項目之一，對於可能性地震災害研究應包括地表運動及斷層位移兩大項，而可能性災害研究則是唯一能滿足此項問題之方法。

(四) 有效大壩安全計畫之要素

成功的大壩安全計畫包含以下要素：

1. 致力於大壩安全的關鍵人員
 - (1) 政府人員：負責公共福利
 - (2) 工程師：提供維護大壩安全之技術
 - (3) 社會大眾：將對大壩安全之關心傳達給政府人員，以爭取大壩安全之立法與資源
 - (4) 大壩管理人員：負責每日之管理，及發展中問題之早期發現
2. 有效運用資源的計畫

大壩安全計畫分類：以大壩為導向之計畫、以功能為導向之計畫

大壩普查：依據美國聯邦大壩安全指南，納入大壩安全計畫為高度等於或大於 8 公尺(25 呎)、容量等於或大於 60,000 立方公尺(50 美畝 - 呎)或其它有可能造成人命損失之大壩

3.完成必要事務的合理程序：

大壩普查：整合大壩基本資料，決定是否須納入大壩安全計畫，輔助工作規劃及排序

災害潛勢分類：下游區域因壩潰壞，所造成之人命及財產之損失，但不考慮壩的條件

低度：沒有人命損失之可能，低度經濟及/或環境損失

中度或可觀：沒有人命損失之可能，但中度經濟及/或環境損失

高度：有人命損失之可能，廣泛經濟及/或環境損失

檢查類型：

正式：最為廣泛，評估設計、建造及行為歷史，以識別出潛在瑕疵與破壞模式，通常由土木與機械工程師、地質師及其它成員之工作團隊執行徹底之現地檢查，包括所有機械設備之試操作(每 5~10 年執行一次)

期中：在二個正式檢查期間執行壩體資料複核，包括檢查前之行為歷史，通常由一位總工程師執行徹底之現地檢查，但可以選擇性試操作機械設備(每 1~2 年執行一次)

特別：檢查存在於壩的潛在問題，較平時檢查為頻繁，以彌補平時檢查無法所及之處，可由一專家執行

平時：由現場人員平時在壩上作業，執行可以正式或非正式，檢查頻率不一定有預定，現場人員應該瞭解潛在問題，及瞭解觀察要點

緊急：對壩的立即安全有存疑，在遭逢異常或大洪水、地震等極端情況，可由一專家執行，檢查頻率取決於災害潛勢分類及潰壩風險，聯邦壩安全指南規定正式檢查為每五年一次，期中檢查為每二年一次

美國大壩安全管理之未來方向以風險觀點進行決策，重視緊急應變措施(發展及演練緊急應變計畫)，並整合潰壩早期偵測於緊急應變計畫中，決定並採取最佳之大壩安全程序，協助私人籌措財源作為壩之修復改善。

(五) 早期預警系統

早期警報系統為一種被設計提供當人民遭受洪水或壩體破壞威脅而能正確提供警告與安全疏散之警報系統。不論水壩大小，一旦發生安全顧慮時，如何在正確時機發出早期警報並有效疏散居民，以將災害降低至最小程度為水壩早期警報系統之首要工作，為達成前述目標，美國墾務局將早期警報時間與生命損失間關係以下公式推算：

1. 警報時間 < 15 分鐘時，生命損失 = 15%~75% × (洪水危險區域人口數)
2. 15 分鐘 < 警報時間 < 60 分鐘時，生命損失 = 2%~8% × (洪水危險區域人口數)
3. 警報時間 > 60 分鐘時，生命損失 = 0.2%~6% × (洪水危險區域人

口數)

由上述公式可得知，愈早發出警告時間對於減少下游居民生命財產損失有明顯功效。

●早期警報系統組成要素

預警系統在於即時提供預警，以安全疏散受到潰壩或大量洩洪威脅的人民。預警系統包含：偵測（屬壩所有者責任）、決策下達（屬壩所有者責任）/通報、警告（屬地方機關責任）、疏散（屬地方機關責任）。壩務局積極研發預警系統，並類似於氣象預報之功能。

特別決策準則必需發展成為早期警告系統之一部分，以提供水壩管理者、操作者在面臨洪水或水壩安全失敗時之施行依據，而此系統也必須與緊急行動計畫結合。

●早期警報系統主要關鍵設計因素

一套完整早期警報系統需考慮以下設計因素才得以完善：

1. 危險區域人口數
2. 水壩下游災害危險結果推估
3. 警告及疏散之能力
4. 安全通道之能力
5. 集水區之反應
6. 操作釋放洪氾潛能
7. 壩體失敗危險性
8. 財物損失風險

●有效早期警報系統因素

1. 可信度高之資料
2. 良好溝通與協調關係
3. 操作與養護計畫

4. 更新與改善

●早期警報系統態度

1. 使用非結構性方法減低與水壩相關缺點之風險
2. 對較頻繁洪水及潰壩事件提供助益
3. 設計提供其他失敗模式之警告系統

●早期警報系統應用

1. 對所屬水壩均有緊急行動計畫
2. 對所屬水壩均有自動偵測標準與方法，詳密的通告程序
3. 24 小時監測設施資料蒐集
4. 異常事件時，警報裝置可在非上班時間發佈通報
5. 以衛星配合 VHF、UHF 或微波進行資料傳輸

●早期警報系統優點

1. 非結構式之方法
2. 低成本 (相較於結構變更)
3. 提升減洪操作
4. 提供多用途之資料(資料可供作其他用途如灌溉、休憩、水質，水源供應、火災及氣候應用)

(六) 緊急行動之計畫、演練與報告

水壩安全除依賴早期警告系統外，對於即將發生或已發生災害之水壩，則必須有完整之緊急行動計畫配合，方能將生命財產損失降至最低。美國墾務局將緊急行動計畫區分緊急行動計畫、緊急演練及演練報告三部份。

●緊急行動計畫：

1. 緊急行動計畫主要組成要素
(1) 一般指引包含說明或設施資訊

- (2) 反應處理程序
- (3) 事件指揮系統
- (4) 決策準則
- (5) 反應等級及區分
- (6) 通知流程
- (7) 預期發生行動
- (8) 淹沒區域地圖
- (9) 官方報告格式
- (10) 通訊聯絡簿
- (11) 支援廠商聯絡簿

2. 事件等級區分：美國墾務局將緊急事件發生及事件反應處理依其狀況分為下列各級

◆ 緊急事件分級

- (1) 一級狀況：緩慢發展狀況，大壩本身出現不平常狀況，雖有潛在性之危害衝擊但尚不嚴重，但若是繼續發展則可能形成潛在性威脅
- (2) 二級狀況：快速發展狀況，大壩開始變得不穩定且威脅到下游居民安全，必須通知危險區域居民並等候準備撤離
- (3) 三級狀況：大壩破壞即將發生、正在發生、已經發生或正威脅生命財產，應疏散危險區域居民

◆ 事件反應處理分級

- (1) 內部警戒反應處理：大壩本身發生狀況，進行內部檢查並通知墾務局及操作單位，但尚不需發佈緊急狀況
- (2) 一級反應處理：準備
- (3) 二級反應處理：大壩未發生破壞亦不會立即發生破壞，通知

下游危險地區居民準備撤離並啟動事件行動計畫

(4)三級反應處理：大壩破壞情形非常嚴重，下游危險地區居民生命財產受到影響並需立即撤離並實施事件行動計畫

(5)四級反應處理：大壩正受到破壞或已經破壞需立即疏散居民

●緊急演練計畫

- 1.緊急演練計畫責任組織必須包括官方電力組織、當地緊急管理、健康醫療部門、法律執行部門、社會服務部門、消防、氣象、公共工程及公共運輸等部門
- 2.警告功能必須包含特殊作用警告系統、辨別如何獲得即將發生威脅之正確時間點及建立公共安全消息宣傳方法
- 3.疏散功能必須包含描繪一般交通路線、建立交通控制方法、大眾避難安置地點、緊急運輸處理、對特殊居民如醫院、安養中心及監獄特殊民眾考量
- 4.準備淹沒區域地圖藉以預先判定高度危險地區及高度優先處理地區

●緊急事件操練

緊急行動計畫、緊急演練計畫皆是紙上談兵階段，即使計畫再完美若沒有實際操練就無法找出缺失，所以緊急事件操練成為維持水庫安全之重要課題。一項完美操練必須具備以下要素：

- 1.明確方向：為期在演練中能有完美結果，回顧以往計畫及處理程序並讓各階層人員參與，以從中確立操練方向
- 2.操練：對單一狀況測試以反應其功能，同時加入現場實況藉以評估及改進整體系統之反應
- 3.靜態演練：藉此操練使所有參與人員形成一協調一致之有效力

團隊，練習中在新狀況未下達之前允許片刻休息，所有行動演練及議題討論皆以緊急事件為前提。對緊急事件進行問題與解決演練

4. 實務演練：緊急事件模擬演練包括現況描述、訊息順序及演出者與模擬者間的聯繫

美國墾務局將緊急事件操練分成五大演練課程，其內容分述於下：

- 1.總部建立：執行需求評估並自行評量本身執行演練之能力，定義演練之目標及範圍，直接與間接經費支出，目的之陳述及演練之宣布
- 2.演練之研發：指定演練主管、選擇演練團隊成員、確認參與者設備、明定目標與目的、劇本撰寫、事件主要程序列表及事件詳細研討
- 3.演練實施
- 4.評估：對實施演練項目給予紀錄並在演練後予以評分及逐項檢討，並且在演練後對整體演練過程作口頭上簡短檢討
- 5.貫徹執行：演練過程中將最容易忽略部分列入下次演練評量項目內以達到缺失改進

(七) 混凝土壩及附屬結構之結構改善

美國墾務局所管轄混凝土壩約有 89 座，以其考量之大壩安全，在於保護大眾免於因壩潰壞或不可控制之出水所引致之不可承受的風險。

有關改善分為水文、水理及結構等方面功能不足之改善，安全評估工作必須嚴肅面對水文、水理及地震等外在因素之校核，同時對結構物之設計條件及現有狀況進行完整之瞭解，在完整團隊之合

作下，提出改善方案。

墾務局針對之改善主要係利用風險分析決定潛在之壩安全瑕疵，其基準可分為兩種：

1. 年潰壞機率 ($<10e^{-4}$)：在靜態、地震及/或洪水荷重條件下，水庫部份或全部潰壞機率
2. 人命年損失機率($<10e^{-3}$)：在靜態、地震及/或洪水荷重條件下，水庫部份或全部潰壞造成之下游區域災害潛勢

(八) 混凝土壩檢查

混凝土壩比土壩更具耐磨力，而其抵抗壩頂溢流能力也較土壩為佳，但也較少破壞徵兆造成更嚴重之災難。一般混凝土壩分為重力壩、拱壩、扶壁式壩及混合型混凝土壩四種。

1. 重力壩：壩體穩定度依賴本身巨大重量來支撐，對於大壩若有堅固岩盤當作基礎狀況最佳，一般主軸為直線但是時也會有曲線案例，沿著基礎滑動將是造成壩體不穩定主因之一。
2. 拱壩：藉由懸臂式壩體將水載重傳遞到兩邊岩壁及基礎。在設計拱壩有下列幾項需加以注意(1)堅固岩盤地質探測斷層節點節理；(2)壩體本身重量並非水壩穩定之最重要因素；(3)由於斷面較薄所以基礎上浮力，水平裂縫不像重力壩嚴重，由於斷面較薄且較短滲流路徑，所以滲流梯度較高；(4)適合建造於 V 型峽谷；(5)由於材料及多對稱所以拱壩對表面破壞較重力壩有較多的考慮。
3. 扶壁式壩：藉由一連串扶壁支撐相當薄之上游版或區線版支撐，並且其所承載載重藉由版或拱傳遞至基礎。每一扶壁可當成一重力壩來分析，而其設計良好之底板可安置於較軟基礎上。

二、研習會、墾務局實驗室及現地參訪水庫相片

(一)研習會會場(2007年9月17~21日、24日)



丹佛,科羅拉多州(2007年9月17~21日)



Reno,內華達州(2007年9月24日)

(二)墾務局研究實驗室(2007年9月17日)



混凝土抗壓機(Capacity : 500 萬磅)



參訪人員參觀實驗室儀器操作及解說



水工模型製作



水工模型試驗

(三)現地參訪水庫(2007年9月24~26日)

●Boca壩(2007年9月24日)



壩體及上游



溢洪道

●Truckee River 壩(2007 年 9 月 24 日)



壩體及下游



閘門控制室

●Shasta 壩(2007 年 9 月 25 日)



壩頂



溢洪道



大壩下游河道



出水工

●Manzanita 壩(2007 年 9 月 25 日)



壩體上游



壩體(土堤)

●Stony Gorge 壩(2007 年 9 月 26 日)



壩體及溢洪道



壩體下游(岩盤裸露)

● Oroville 壩(2007 年 9 月 26 日)



壩體及上游



出水工

肆、心得及建議

- 一、水庫有其規劃、設計、興建及營運之歷程，就管理或營運單位而言，深切瞭解所轄水庫各項設施現況及背景資料乃屬必要，惟透過不斷之專業教育訓練，以提升管理人員素養當更為重要；另為確保水庫整體設施安全、功能運轉正常及管理人員安全，應落實水庫設施安全之分級管理、維護作業標準化及務實之保全措施。
- 二、美國與臺灣因自然條件不同，對水壩之監督管理方式顯有差異。美國因地廣人稀，適合建壩地點多，通常由民間團體提出用水需求，再由政府評估、規劃，以決定適當建壩方案，最後再交由民間團體投資興建、營運及維護管理，政府僅負責安全規範之訂定；臺灣則因地形坡陡流短，優良壩址不易覓得，所以水壩通常由政府規劃、投資興建及營運管理。
- 三、蓄水庫安全基本資料建置對水庫安全管理與檢查評估甚為重要，就系統化建置方面，美國墾務局已有相關平台之建立，可提供各州及分區各水庫之基本資料、特殊改善修復案例及水庫操作基本現狀之查詢，並設定有開放等級之限制，其作法及經驗值得台灣借鏡；另基於管理人力、資料完整性及減少人為操作誤差，將監測系統自動化，並進行資料庫整合及安全資訊管理系統建立，以及時提供必要資訊供管理決策參考，為目前各國水庫安全管理技術之趨勢。
- 四、水壩因營運時間漸增，將產生壩體材料劣化、高額維護與營管成本、甚至潰壩風險等問題。在水壩使用年限屆滿後，美國與台灣有不同之作法，在美國有許多水壩當使用年限屆滿後即廢棄不再營運，而台灣因建壩不易，通常藉由加強水壩維護及安檢方式，

儘可能延長其壽命，惟此作法並無法完全避免風險，仍應積極尋找替代方案以為因應。

- 五、依據國外蓄水庫發生事故統計資料顯示，具有早期預警設備並有良好運作機制，對降低人員傷亡及財物損失將有顯著影響，因此蓄水庫下游應予完整設置警報系統並妥善維護；另潰壩演算為擬定避難及救災措施所必需，對重要水庫下游災害潛勢較高者，宜就災害防救法相關規定審慎通盤檢討，訂定相關防救措施。
- 六、儀器監測為水庫大壩安全管理中重要之一環，監測值須經過正確評析，方能發現大壩潛在缺失，評析工作須具備時效性，監測紀錄可圖形化便於判讀，並經由電腦自動化來加速評析流程，以便及時掌握大壩現況。
- 七、未來政府組織將朝向精簡化，水庫管理人力亦將配合調整，水庫監測系統應予自動化以節省人力，惟平時現地檢查仍應確實辦理，建議各水庫管理機關應有專責安檢部門，明確之權責分工，以推動水庫安全檢查、監測及評估等業務。
- 八、台灣地區水庫營運達三十年以上者，占有所有水庫一半以上，多數水庫下游為人口集中居住城鎮，以近年來自然環境之急速變遷，除辦理全面檢視水文、水理及地震評析工作外，應同時建立結構物改善基準及考量風險管理機制，並加強平時養護及面臨突發緊急事件時，水庫管理單位與地方行政單位能更有效率迅速配合，當為首要課題。
- 九、就台灣天然水文及地形條件而言，目前建壩蓄水仍為水資源利用有效措施之一，以往水庫因體型龐大、營運風險性高，民眾大都不能接受與水庫為鄰，若能擴大水庫觀光遊憩功能(如釣魚、划船及賞景等)，將可改變民眾對水庫傳統印象，並吸引大批遊客參

觀，此舉除可增加水庫鄰近商家之商機及提高在地居民工作機會外，再配合水庫營運收益適當回饋，作為地方公共建設發展經費，相信民眾必能感受水庫所帶來的好處，進而接受以建壩來確保水資源之觀念。

十、台灣位處環太平洋地震活動帶，常發生規模大且破壞力強之地震，由於發生頻繁且無法預測，因此對水庫安全具潛在性威脅。為因應強震發生後及時採取正確應變措施，建議於壩體及壩底設置強震儀，以便對壩體結構振動特性充分了解，並於地震事件結束後，對壩底、壩體、附屬結構物及水工機械等進行檢討，以採取正確應變措施。