

出國報告（出國類別：研習、考察）

## 大壩安全評估與檢查技術研習

服務機關：經濟部水利署南區水資源局

姓名職稱：盧炳堃 正工程司

派赴國家：美國

出國期間：99 年 8 月 21 日至 9 月 4 日

報告日期：99 年 10 月 15 日

## 摘 要

水庫安全關係下游百姓生命財產安全，及經濟發展等。因此，如何透過安全檢查及監測、保養與維護等工作，以確保水庫安全，甚至於災害發生前提供預警，以減少下游災害及經濟損失，為目前水庫管理單位最重要任務與工作。經由此次參加「美國墾務局大壩安全評估與檢查國際技術研習會」，可了解最新技術、觀念及作法。

美國經由失敗案例得到教訓，建立大壩安全法規，經由良好訓練專責人員，配合適當經費，邏輯程序執行大壩安全計畫，使水庫營運表現符合預期。同時，經由操作及維護，定期更新設施，透過不同頻率周期檢查與評估，以提早發現問題，進而執行改正行動。過去營運表現正常，並不代表未來一定營運安全，需定期更新大自然外力，以最新技術進行檢查與評估，找出潛在缺失及弱點，進行更新改善，方使水庫安全得以確保。

## 目 錄

摘要 .....	I
一、目的.....	1
二、過程.....	1
2.1 課程內容介紹.....	2
2.2 研討會內容重點摘要.....	3
2.3 現場模擬安全檢查與參訪研討.....	17
三、心得與建議.....	36

## 一、目的

水庫安全關係下游數十萬，甚至百萬人民生命財產安全。水庫如發生安全問題，輕則影響民生用水及經濟發展，重則下游生命安全財產受到威脅。如 2004 年鯉魚潭水庫擋水閘門事件，影響大台中地區民生及工業用水，1976 年美國 Tenton 壩潰決，造成 14 人死亡，直接或間接損失估計超過 10 億美元，1981 年元月，外雙溪水壩因開啓水閘放水排除堵塞取水口之樹枝、塑膠袋等，僅放水約 800 立方公尺，造成下游烤肉之師生，死亡 15 人，12 人輕重傷等事件。而水庫隨著庫齡增加，操作營運有儀器、設備維護是否正常妥當，及設施老化問題，且需遭受颱風、豪雨及地震考驗。因此，為確保水庫安全，需定期辦理水庫安全檢查與評估工作，及必要維修及更新改善，以維持水庫正常營運。

近年來全球氣候變遷產生之降雨極端化，例如：97 年卡孜基颱風及 98 年莫拉克颱風之降雨強度增強，皆為過去未見，尤其莫拉克颱風於曾文水庫集水區降雨量，於 8 月 6 日至 13 日 7 天帶進 12 億水量，超過曾文水庫過去歷年平均年進流量及造成相當災情，隨後數個月皆未降雨造成豐枯明顯極端化，對水庫安全、水資源調配、攔河堰水庫水門操作原則等造成嚴重衝擊，實應未雨綢繆，向國外專家汲取相關水庫安全及更新改善經驗。

近年來世界多數國家對大壩安全性及操作維護檢查關注日益提昇，美國墾務局 (USBR) 負責 400 座以上水壩之操作、維護及結構安全檢查，為提供國內、外專業人員研討，訂於 99 年 8 月 23 日至 9 月 2 日於美國科羅拉多州丹佛市舉辦「大壩安全評估與檢查國際技術研習會」(Safety Evaluation and Visual Inspection of Existing Dams International Technical Seminar and Study Tour)，對現有壩之安全檢查與評估之作法，提供最新技術及實務介紹，實為提供因應未來全球氣候變遷產生之水庫安全相關問題之良好機會。

## 二、過程

美國墾務局今年辦理「大壩安全評估與檢查國際技術研習會」，共有 15 個國家 (含美國) 43 位人員參加，各國參加人數如表 1。課程內容為前 5 天在美國科羅拉多州丹佛聯邦中心，墾務局辦公大樓里奧格蘭德室 (Rio Grande room) 上課研習，後 6 天由丹佛出發，沿路至普爾布洛壩 (Pueblo dam) 及格蘭峽谷壩 (Glen Canyon dam) 模擬安全檢查，參觀山脊盆地壩 (Ridges Basin dam)、布魯梅薩壩 (Blue Mesa dam)、及胡佛壩 (Hoover dam) 等相關大壩安全設施及現場安全檢查研討共 11 天，於拉斯維加頒發結業證書後解散。

表 1 參加國家及人數統計

參加國家	人數	參加國家	人數	參加國家	人數
巴基斯坦	8	中國大陸	4	加拿大	3
黎巴嫩	7	美國	4	韓國	3
瑞典	2	澳大利亞	2	紐西蘭	2

馬來西亞	2	以色列	1	泰國	1
加納	1	西班牙	1	台灣	1
玻多黎各 (美國屬地)	1				

## 2.1 課程內容介紹

研習會課程共 5 天，內容相當豐富，自大壩安全歷史背景介紹開始，地質、地震對大壩安全，堆填壩及混凝土壩安全檢查及監測，堆填壩及混凝土壩修護等。課程內容如表 2。

表 2 研習會課程內容

日期	地點	研習內容
8 月 23 日	美國科羅拉多州丹佛壩務局辦公大樓里奧格蘭德室及 56 棟大樓	開幕致詞及參加者自我介紹 壩務局簡介 大壩安全歷史背景及展望 安全防護計畫概述 操作及維護展望 從過去大壩意外事件學到教訓 參觀壩務局水工試驗及混凝土圓柱體試驗
8 月 24 日	美國科羅拉多州丹佛壩務局辦公大樓里奧格蘭德室	大壩安全監測及評估之破壞模式檢定 地質工程師在大壩安全計畫之重要角色概述 拱壩非線性分析之新方法 大壩地震設計及分析 強地動監測 操作及維護考量
8 月 25 日	美國科羅拉多州丹佛壩務局辦公大樓里奧格蘭德室	監測儀器在大壩安全之角色 堆填壩監測儀器概述 混凝土壩使用監測儀器概述 有效監測計畫之要素 監測成果評估 堆填壩潰口過程模式 研討會與會人員發表(澳大利亞、瑞典、以色列、大陸)
8 月 26 日	美國科羅拉多州丹佛壩務局辦公大樓里奧格蘭德室	有效大壩安全計畫之要素 設施緊急準備評估 從早期預警系統設計減少潰壩風險 緊急行動計畫、演練及報告 大壩安全之水文災害分析

		大壩安全之風險分析及評估 長期操作過程及維護操作訓練
8月27日	美國科羅拉多州丹佛墾務局辦公大樓里奧格蘭德室	附屬構造物檢查 混凝土壩及附屬構造物結構更新改造 堆填壩更新改造 機械設備之檢查維護及測試 混凝土壩檢查 堆填壩檢查

## 2.2 研討會內容重點摘要：

### 1. 大壩安全歷史背景與展望

美國有 80000 大壩，其中標的為休閒遊憩有 35%，廢礦渣壩有 10%，公共給水有 10%，灌溉有 10%，發電有 3%，防洪有 17%，魚類野生動物池塘有 15%。

以大壩完工年代統計如下表：

完工年代	數量（座）
1900 年以前	2491
1900 年至 1909 年	2127
1910 年至 1919 年	1907
1920 年至 1929 年	2252
1930 年至 1939 年	3716
1940 年至 1949 年	4053
1950 年至 1959 年	11388
1960 年至 1969 年	19310
1970 年至 1979 年	13076
1980 年至 1989 年	5017
1990 年至今	2600
其中 9500 座不知完工年代	

大壩對下游造成災害而分析，其中 68% 為低災害，14% 為高災害，18% 有明顯災害。

大壩擁有者，58% 屬私人，2% 屬公共事業，17% 屬地方政府，5% 屬州政府，3% 屬聯邦政府，未定者 15%。

大部份壩安全由聯邦政府規範，僅少數例外。德拉威州最近制定大壩安全法規，僅阿拉巴馬州未有大壩安全法規，立法懸而未決，最近一年密西根州未有大壩安全計畫之經費。州之大壩安全計畫人手不足。

大壩屬聯邦政府者，自行管理風險。

大壩安全管理計畫必須要有法規、人員及經費。

1874 年威廉堡壩潰壩，造成 139 人死亡，麻薩諸塞州立法規定大壩建造。

1911 年奧斯丁壩潰壩，造成 80 人死亡，1913 年賓夕法尼亞州產生大壩安全計畫。

1928 年聖法蘭西斯壩潰壩，450 人死亡，加利法尼亞州於 1929 年建立大壩安全法。

1963 年巴德溫希爾壩潰壩，5 人死亡，加利福尼亞州於 1965 年加強大壩安全法。

1976 年聖法蘭多下池壩幾乎潰壩，8 萬人疏散。

1972 年 2 月水牛溪 (buffalo creek) 壩潰壩，125 人死亡。

1972 年 6 月峽谷湖 (canyon lake) 壩潰壩，33 人死亡。

1972 年國家大壩檢查法，授權美國陸軍工兵團建立大壩詳細目錄資料庫及檢查大壩，但僅檢查大壩詳細目錄資料庫之壩，無足夠經費檢查其他壩。

大壩詳細目錄資料庫由美國陸軍工兵團建立，開始時超過 68000 座壩，目前約 80000 座壩，標準為 壩高 > 25 ft，且庫容 > 15 acre-ft

壩高 > 6 ft，且庫容 > 50 acre-ft

有潛在損失人命

大壩詳細目錄資料庫包含大壩基本資料。

1975 年瓦特包爾丁壩潰壩，無人死亡，但明顯財產損失。

1976 年 2 月貝爾瓦勒壩潰壩，4 人死亡。

1976 年 6 月提堂壩潰壩，11 人死亡，5 億美元財產損害，美國墾務局隨後建立大壩安全計畫。

1977 年 11 月凱莉巴耐壩潰壩，39 人死亡，導致美國陸軍工兵團檢查所有壩及聯邦大壩安全準則建立。

國會於 1972 年法案中撥款美國陸軍工兵團檢查所有非屬聯邦所有壩，在 1978 至 81 年檢查超過 9000 座高災害壩，計畫幫助很多州建立或改善其大壩安全計畫。

1979 年聯邦大壩安全準則，準則之目標在加強全國大壩安全，提昇一致性及廣泛之實務。聯邦大壩安全準則提出壩址調查、設計、施工、操作與維護，及緊急應變等規範。

聯邦大壩安全準則認為沒有壩能夠建造成完全「安全失敗」，由於未能完全了解未確定因素有：

1. 大自然破壞力量及大壩對大自然力量之反應。
2. 材料之行爲
3. 施工時不確定因素

目標在使壩實際上盡可能安全，但意味著有最大合理努力之限制。

1979 年美國卡特總統發布設立「聯邦緊急管理局」(FEMA)，整合聯邦政府減災及緊急應變工作，包含潰壩。「聯邦緊急管理局」負責幫助聯邦單位及州之大壩安全計畫，資助大壩安全訓練及提供大眾及壩所有者有關大壩安全之資訊。

大壩安全執行障礙:

1. 大壩所有者未被說服需發錢做適當維護或改善大壩情況。
2. 大壩所有者缺失資金去維護及修理他們的壩。
3. 不恰當合法權利強迫大壩所有者維護他們的大壩。
4. 社會大眾對大壩安全漠不關心。

未來大壩安全之方向:

1. 建立大壩安全決策在風險範圍內。
2. 加強緊急應變（建置及演練緊急應變計畫），整合早期失敗偵測於緊急應變計畫。
3. 加強大壩安全防護。
4. 確定及應用對大壩安全較佳工作實務。
5. 使用較好檢查技術，如無人載具遙控設備、登山攀爬技術至通常無法到達特別地方。
6. 發展創意的方法幫助私人壩所有者，資助其大壩修理經費。
7. 考慮廢壩為改正行動之替代方案。

## 2. 安全防護計畫概述

成功恐怖份子攻擊可造成災難性結果。

墾務局管理 480 座壩及 348 座水庫，容量 2 億 4500 萬 acre-ft；供水 3100 萬人口及 1000 萬 acre 農田；58 座水力電廠，產生 400 億千瓦小時電力；308 個遊憩地點，每年 9000 萬人參訪；上千萬英哩渠道、管線及隧道等。

安全防護策略：

1. 使用可信賴評估方法。
2. 無減少設施功能。
3. 風險與費用平衡。
4. 分擔決策。

安全防護因子有：威脅、弱點及後果。

大壩部份威脅有：惡意入侵與賊、網路入侵、內部威脅及恐怖份子（國內、外）

大壩遭受破壞潛在後果：大部份結構被摧毀、大量人員傷亡、功能喪失、一連串影響、衝擊其他部門及重大經濟衝擊等。

安全防護可分為人員安全防護、設施安全防護、資料安全防護及操作安全防護等。相關部份有資訊安全防護、法規加強及緊急管理。

設施安全防護作法有：

1. 分區及優先順序：設施分類、劃定重要資產及訂優先順序。
2. 安全防護風險評估：分析威脅、弱點及後果。
3. 安全防護升級：加裝監視系統（攝影機）、警報系統、進出管制系統、設置障礙物及安全守衛等。



另外有研究爆炸物之影響、發展安全防護對策、場址安全防護計畫、與緊急應變計畫結合、演練、與第一反應者協調及學習災害控制方法。

人員安全防護作法，首先對人員有 2 個基本問題調查，1.此人員適合雇用或承包？2.此人員能夠進入分類資訊等級？

決定人員安全等級有：由職位之風險及敏感程度，及進行背景調查，後依據調查結果調整。

資料安全維護作法：確認資料之敏感性及分類、決定誰有權限取得、儲存過程、傳遞過程、歸檔及銷毀過程等。

操作安全防護作法為關注於資料、活動及過程。員工需注意：那些資料被丟入垃圾桶？那些資料被貼上網？那些資料在日常聊天被洩露？那些資料在例行活動被洩露？

### 3. 操作與維護展望

操作與維護為同時作業，且很少分開作業，美國墾務局對大或多目標計畫，用自己員工負責操作與維護。對單一目標計畫如灌溉及農業用水計畫，由用水人員操作與維護，但受墾務局監督、定期檢查及複查，以確保聯邦財產。

墾務局擁有水有關公共建設，接近 358 座水庫（476 座壩/堤防），總蓄水量 4 億 2500 萬 acre-ft，超過 300 個相關水利設施（渠道系統、抽水站、隧道、管線及分水堰等）；為美國最大水批發商，每年提供 10 兆加崙水供應 3100 萬人口，灌溉 1000 萬 acres 農田，生產全國 60% 蔬菜及 25% 水果與堅果。

墾務局擁有電廠設施，為美國第 2 大水力發電，有 58 座水力發電廠，194 個發電機組，1470 萬千瓦裝機容量，420 億千瓦小時發電量，相當 8000 萬桶原油。

墾務局擁有大壩壩齡如下表：

壩齡	數量（座）
小於 20 年	4
20 年至 30 年	12
30 年至 40 年	39
40 年至 50 年	92
50 年至 60 年	104
60 年至 70 年	71
70 年至 80 年	45
80 年至 90 年	33
90 年至 100 年	35
100 年以上	41

平均壩齡為 50 年，有設施老化問題，需確實執行操作與維護，大部份操作與維護為關於正常零件之磨損及撕裂，需及時將主要部份更新或更換。許多操作

與維護工作可能與水庫安全不相關，但忽略操作與維護，則馬上造成大壩安全議題。如大壩壩址滲漏排水孔未清理，能導致滲漏水尋求其他滲漏路徑；如土壩結構，在壩體或壩下游面出現濕潤及沼澤區域之警告信息；如壩未如預期滲流路徑滲漏，則災害性結果可能發生；在混凝土壩，基礎排水孔正常功能維持相當重要，可維持上頂力在可接受範圍。

大壩操作與維護關鍵，在於這些元件為什麼設計在這裏，如修理未能即時完成改善，不論是結構、機械、電子、大自然力量，在災害作用結果下，會尋找最小抵抗力之路徑，這表示在設計系統下操作而失敗，則會影響下游社會大眾、人員，水及電力之輸送。

美國墾務局出水工設計，其進水口高程位於計畫 100 年淤積後高程（如圖 1）。但指出水庫壩齡與淤積關係相當差（如圖 2）。

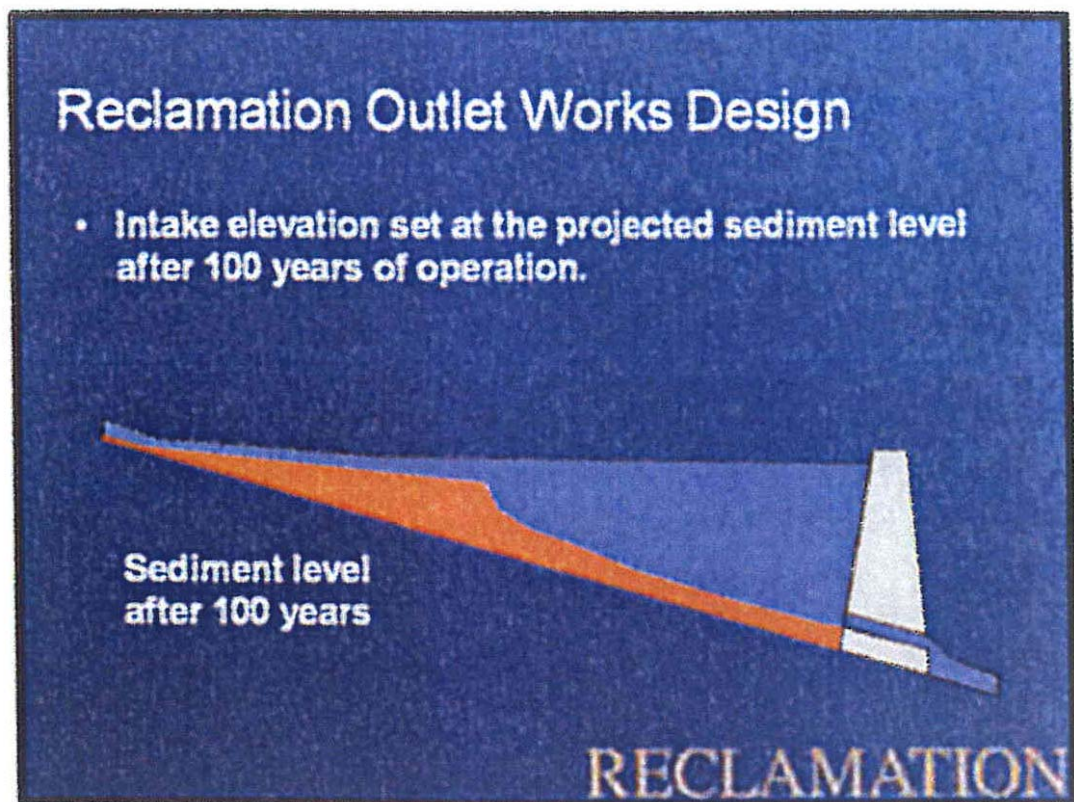


圖 1 美國墾務局出水工設計

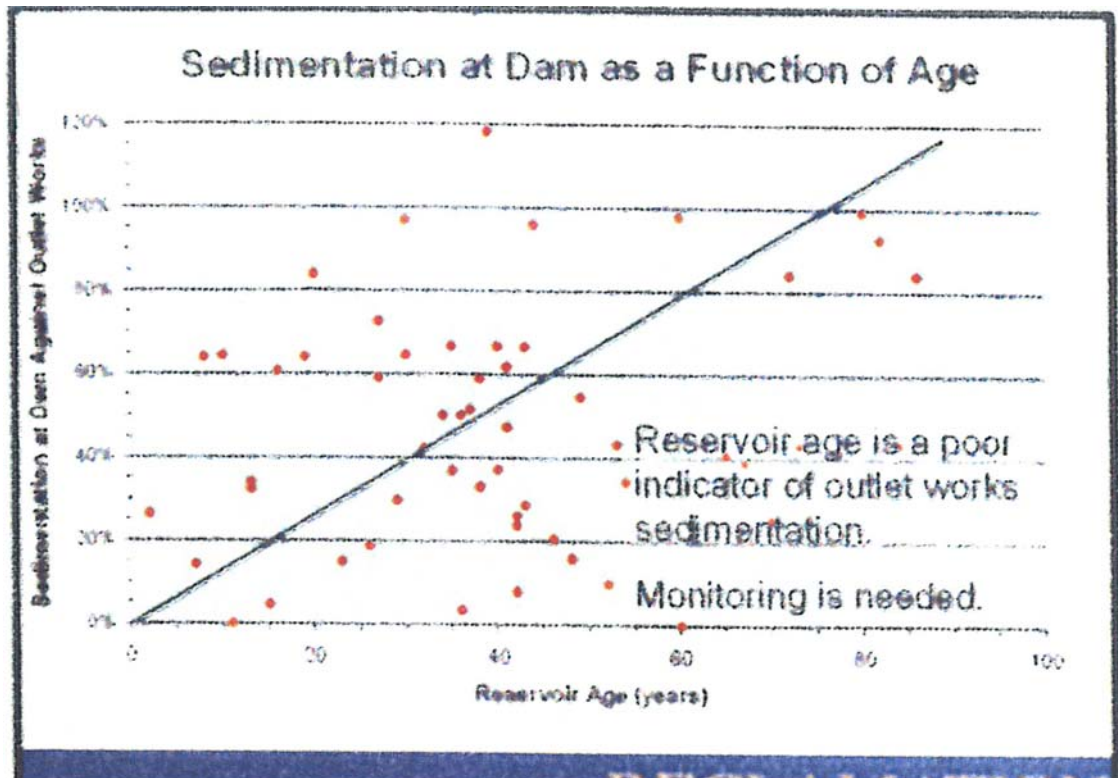


圖 2 水庫壩齡與淤積關係

#### 4. 從過去大壩意外事件學到教訓

世界上有 200 座著名失敗紀錄，美國壩高超過 50 ft 之壩，在 1900 年至 1930 年間，共有 600 座壩，其中 27 座壩失敗（失敗率 1/22）；在 1930 年至 1960 年間，共有 1050 座壩，其中 3 座壩失敗（失敗率 1/350）；在 1960 年至 2000 年間，共有 3137 座壩，其中 2 座壩失敗（失敗率 1/1568）。在這些失敗案例中，失敗原因有 1/3 為壩頂溢流，1/3 為壩體或基礎滲流及管湧，1/3 為由於基礎或其他方面原因。以下分失敗原因，介紹失敗案例及學到教訓：

##### (1) 壩頂溢流

###### a. Gibson 壩

Gibson 壩為混凝土拱壩，位於蒙大拿州，1929 年完工，壩高 60m，1964 年因洪水壩頂溢流，溢流約 1m，但未潰壩，造成壩座下游侵蝕，1980 年改善完成，改善工作包括混凝土護甲壩座及建造壩頂通氣墩柱。

學到教訓：

1. 溢流洪水大小僅現在設計之 30%，隨時更新水文資料，評估壩水文設計之適當性，使壩設計溢流量能夠容納預期洪水事件。
2. 此意外事件說明混凝土壩通常能承受壩頂溢流，但壩座及下游壩址之沖蝕須考慮，以確保結構之支撐不會流失。

###### b. Castwood 壩

Castwood 壩為 21m 高堆石壩，下游面水泥碎石圪工面建於 1890 年，容量為 1500 萬立方公尺，位於東南方 48 公里之櫻桃溪 (cherry creek)。溢洪道設計容量為 110cms，雖然櫻桃溪在當時有 283cms 之紀錄，推測設計者期望能承受偶爾壩頂溢流。首次蓄水，Castwood 壩就有可觀滲流。曾經，在上游面回填土，幫助堵住及控制滲流。

1933 年 8 月 30 日凌晨，Castwood 壩壩頂溢流約 30 公分，壩於 a.m.1:00 估計洩流洪水波為 3570cms。幸運地，洪水期間壩管理員監視大壩情形，看見缺口，警告下游公務員有危險，約上午 5:00~6:00 洪水波抵達丹佛郊外，大部份居民已疏散。然而，造成 7 人死亡，及 100 萬美金財產損失。

學到教訓：

1. 不適當溢洪道設計。
2. 了解圪工逐漸退化造成潰壩。
3. 極端載重情況未考慮。
4. 忽略潛在失敗模式及結果。

#### c. Taum Sank Upper 壩

Taum Sank Upper 壩為腎臟形混凝土面堆石壩，建造於 1960~1963 年，庫容 540 萬立方公尺，壩高 28m，以 8m 直徑，2134m 長隧道將水送至上池壩，下池壩為混凝土重力壩。計畫完工後，上池壩有滲流問題，近幾年，每天損失水量為 0.6 公尺水深。上游混凝土面版於 2004 年以地工薄膜做內襯，滲漏有明顯減少。

電廠於 1999 年升級後，能產生 450 百萬瓦電力，在 St. Louis 遙控，晚上將水抽回上池壩。上池壩水位在 2004 年安裝壓力感測器監測，安裝在內襯 HDPE 管內，未固定在混凝土面版，避免錨定螺栓貫穿內襯。備用緊急水位偵測器在 2004 年安裝 2 支於接近壩頂較高處。

上池壩比下池壩高 224m，比胡佛壩水頭高，上池壩混凝土面版以柏油襯砌，有 3m 高混凝土胸牆在壩頂上游側路肩，無溢流溢洪道。

2005 年 12 月 14 日，約上午 5:15，因壩頂溢流而潰壩，西北部沖蝕出 183m 缺口，水庫水位在 30 分鐘洩空，估計尖峰流量有 4250cms，通過 Johnson Shut-ins State Park 造成明顯環境災害，流入下池壩，由無閘門溢洪道流出。幸運地，因為 12 月無人在 state park 露營，但公園管理員、太太及三個小孩，被洪水帶離家 0.4km，但非常幸運皆生還，洪水持續往黑河下游流，在 Lesterville 鎮產生 0.6m 水位上升，約距離下池壩 6 公里。

壩缺口形成後，美國氣象服務中心立即針對洪水路徑位置，發出洪水警報快報，一些當地居民經由 NOAA 氣象電台獲得警告逃向高地。

學到教訓：

1. 上池壩按照 1940 年代最新方法建造，非 1960 年代。
2. 未執行堆石料之壓密工作及品質控制減少回填材料之細粒料。
3. 當感應器開始產生錯誤讀數，則信賴感應器為遠端遙控時，會產生災害。
4. 感應器檢驗及固定裝置維護可預防災害發生。

#### d. Frias 壩

建於 1940 年，壩高度 15m，壩頂長度 62m，上下游坡度 1:1，均勻堆石壩，上游面鋼筋混凝土面版 30 公分厚，下游面碎石圪工砂漿砌成，壩頂用石頭砂漿砌成，庫容 20 萬立方公尺，溢洪道設計流量 40cms，等於最大紀錄洪水。

1970 年元月 4 日，豪雨使得 Frias 河溢堤，而 Frias 壩溢洪道太小無法應付洪水。結果，壩頂溢流 1m，僅 15 分鐘，流出 2m 高土石流穿過 Mendoza 市，洪水到達市區，房屋被摧毀，造成超過 500 人無家，42 人死亡，60 人失蹤。

學到教訓：

1. 雖然是小壩，但可造成可觀人員死亡及災難。
2. 如地震、洪水，估計潛在風險及災害，仍不是精確科學。
3. 壩頂溢流發生非常迅速及混凝土面版不能減少失敗率。
4. 稀少降雨統計上能且會發生。

#### (2) 滲流-管湧-內部侵蝕事件

##### a. Fontenelle 壩

Fontenelle 壩，分區填土壩，完成於 1964 年，壩高 39m，壩長超過 1.6 公里，壩基鍵槽直至岩盤，沿著鍵槽中心線有一排灌漿孔及灌漿蓋。在建造期間，於溢洪道入口處有很多開口節理及裂縫，裂縫角度正向壩座下游方向，增加一排灌漿孔於溢洪道入口，以防止此區域滲流。無基礎表面處理，如填縫灌漿，使基礎與堆填壩緊密接觸，填土材料直接回填在基礎開口節理及裂縫上；為協助決定基礎是否適當緊密，蓄水計畫規劃很緩慢蓄升，以便發現滲流時，能很快處理。

1964 年夏天，水庫第一次蓄水，蓄升 15 公，離壩下游 600 公，發現滲流，進一步蓄升就停止，直至滲流獲得穩定，這是重要決定。此滲流在 170l/s 達到穩定，且發生點相當下游，因此不考慮為危險事件。

當水庫持續蓄升，則該區域滲流增加，另外靠近右壩座溢洪道洩洪渠道，及左壩座下游 910m 處，發現滲流。1965 年夏天，逕流異常大，水庫水位距最高水位差 0.6m，溢洪道開始操作，當水庫水位達最高水位時，滲流量估計有 1980l/s，在 1965 年 9 月 3 日清晨，靠近右壩座下游面發現濕潤區域，接近中午，水從該處流出產生沖蝕及泥流，到晚上滲流量估計增加到 140l/s。隔日早上，滲流量估計增加到 590l/s，及超過 7600 立方公尺壩下游坡面材料被沖走。此時，出水工正以圍堰在抽水修理，搶救行動開始，立即將擋土圍堰移開，出水工開始降低水庫水位，靠近壩儲備之拋石，傾倒至發展中孔洞，嘗試去阻止進一步侵蝕。

9 月 5 日早晨，滲流量未進一步增加，拋入孔洞中塊石顯示有阻擋侵蝕進一步發生，由於拋入石頭，滲流被迫自較高處流出，在較高水位處產生洞穴，此時假設水流從基礎岩盤流走，滲流量持續增加，侵蝕持續。9 月 6 日早晨，於壩頂區域，有 6m 直徑，突然陷落 9m 深之陷孔，壩座岩盤從孔洞旁邊出露，水流從岩盤裂縫中流出。此時，水庫水位高於孔洞之底部 4m 高，大量石頭倒入穴蝕孔洞以防止區域進一步坍塌。無進一步意外產生，水庫水位以每天 1.2m 速度持續降低，滲流量持續降低，然後完全停止。

學到教訓：

1. 基礎處理的重要性-密封基礎需回填抗侵蝕材料。
2. 迅速洩降水庫水位能力之重要性。
3. 未完全調查接近潰壩之原因及分享同事，造成一連串不適當實務工作。

#### b. Lawn Lake 壩

建於 1903 年，7.5 高土壩，高程位於 11000ft，私人灌溉公司所有，於 1982 年 7 月 15 日早晨潰壩，86 萬立方公尺水流走，尖峰流量 510cms，河道沖刷深度達 10m，土石流沖積扇進入 Fall river valley，洪水波迅速蓄滿 5m 高之 Cascade 壩（混凝土重力壩），造成 Cascade 壩壩頂溢流超過 1.2m 及潰壩，再產洪水波，尖峰流量從 130 至 450cms，造成下游 Ester 公園休閒社區災害。災害造成 3100 萬美金損失及 3 人死亡。

學到教訓：

1. 長期間大壩營運表現良好，不能確保後續安全。
2. 對潛在缺陷之施工文件及設計檢討，是非常重要的。
3. 有證據顯示侵蝕會沿著穿過壩體之管線，應立即調查及考慮相關限制。
4. 未依設計圖施工（閘體設計以混凝土包覆），施工圖為重要紀錄。
5. 洪水演算需考慮下游蓄水設施造成洪水災害增加。

#### c. A. V. Watkins 壩

U 型分區填土結構，最高 11m，超過 23 公里長，建於 1957 年至 1964 年，由於基礎土壤之高滲透性、低強度，建造時允許基礎孔隙水壓消散及沉陷，壩填築材料主要為湖沉積之砂、粉土及黏土。在建造之前，先沿壩軸開挖渠道，降低地下水位，以利壩體填築，此渠道或稱南排水，持續收集局部地下水，並穿過 Willard 進水口渠道下面，經由虹吸將水排放至大鹽湖。在 1965 年水庫首次蓄水，當水庫水位達到高程 4224（距滿水位 0.6m），壩下游址部出現無數濕潤區域。

2006 年 11 月 13 日，基礎滲流侵蝕被發現及執行緊急修補行動，基礎管湧在壩下面進行，基礎土壤砂、粉土及黏土等砂湧發現在壩下游坡址處，流至下游陷孔及下游 30m 處南排水渠道，有形成潰壩之可能。11 月 13 日傍晚採取立即緊急行動，在滲流侵蝕區域建造下游濾層/排水層餞台，緊急行動計畫完，採行第一階段反應行動，稍微比內部警戒高一等，但較高反應階段之預期行動皆使用及開始 24 小時監測，水庫水位開始洩降，但需 10 週方能降低之災損區域之水位。在 11 月 16 日確定大量的水及泥砂經由壩下面流至南排水渠道，南排水渠道為無過濾之出口，基礎侵蝕模式持續進行，需要進一步立即修補行動及在上游滲流入口處之陷孔，興建第二餞台，緊急對策處理僅在觀測到管湧周圍之部份，以允許 2007 年有限度蓄水。重裝備已安置在壩西邊，如情況危急時，打開缺口，將庫水排放至大鹽湖。

學到教訓：

1. 預期類似基礎情形有 6 公里長在壩其他區域，在水庫完成蓄水前，需進行進一步改善，進一步改善之部份需進行調查。

2. 過去 40 年營運表現正常，並未能確保後續營運表現。
3. 建造時為低災害之壩，過一段時間，歸類為高災害，由於遊憩或其他發展，但檢查之程度及監測活動並未配合提高採行為高災害之相關監測及檢查。
4. 動物洞穴被發現亦為意外事件原因，許多動物洞穴在法庭開挖時發現。
5. 由於壩長 23 公里，大部份現場檢查乘車執行。
6. 雖然滲流證據存在許多年，但影響區域並未嚴密監測變化。

#### d. Sheep Creek 壩

Sheep Creek 壩為高 18m 土壩，壩頂長度 335m，水庫標的為遊憩，主要溢洪道，由垂直跌落進水口結構連接於未支撐回填區域之混凝土管。

1970 年 5 月，集水區降下 15cm 雨量，水庫第一次蓄水，主要溢洪道開始操作，溢洪道開始操作，當溢洪道開始水流出時，就看到在靜水池管線外面有水流出，水庫水位上昇到溢洪道進水口底檻高 2m。當溢洪道開始操作幾小時後，壩缺口就形成，不到 5 小時壩整個潰掉，無人員傷亡。

學到教訓：

1. 不適當堆填壩滾壓及不良溢洪道設計。
2. 針對潛在缺陷之設計及施工文件檢討之重要性。

### (3) 地震

#### a. Lower San Fernando 壩

Lower San Fernando 壩為水力淤填堆填壩，建造於 1912 年，於 1921 年加高，壩高 43m，蓄水體積 2500 萬立方公尺。1971 年芮氏規模 6.6 地震，壩址離震央 14 公里，地震產生 15 秒強地動，基礎測得最大加速度 0.6g，主要滑動發生在上游坡面，造成水庫幾英尺之缺口，同時出水工塔因邊坡滑動而嚴重受損。

學到教訓：

1. 水力淤填壩在地震載重作用下，易液化。
2. 針對潛在缺陷之設計及施工文件再檢討之重要性。

#### b. Hebgen Lake 壩

Hebgen Lake 壩為混凝土心層堆石結構，建於 1914 年。1959 年 Hebgen Lake 地震（規模 7.5），Hebgen Lake 壩災害有溢洪道牆與底版，壩頂有許多裂縫，及基礎沉陷明顯，同時造成很大崩場地。整個盆地斷層塊掉落及向上游傾斜，整個水庫永遠乾枯，數個長週期震波將湖水溢流壩頂，幸運地，壩僅輕微受損，混凝土截水牆向下游傾斜，及至少 4 處裂縫，水經由裂縫流失，厚重混凝土心牆使壩免於侵蝕而潰壩。下游發生無數崩場地造成堰塞湖，崩塌滑動造成 120m 高，及 28 人在露營地被掩埋，美國陸軍工兵團開挖渠道將堰塞湖湖水排走。

學到教訓：

1. 極端事件如水庫完全傾斜導致壩頂溢流，非不可能潰壩模式，需加以考慮。
2. 地震後緊急應變措施可能很困難或不可能（通訊、進出道路等）。

3.需考慮地震作用下，造成崩塌災害。

#### (4) 壩座-基礎事件

##### a. St. Francis 壩

St. Francis 壩為 62m 高，混凝土重力拱壩，建於 1926 年，庫容 4700 萬立方公尺，壩 2 次加高，共加高 21ft 或 11%設計高度，而無加寬底部，僅少數壓力釋放排水孔在河段，提供有限滲流排放，基礎未有壓力灌漿，無設收縮縫，壩內無檢查廊道，基礎包含廣泛之黏土層，及雲母片岩，雲母片岩強度僅混凝土強度四分之一。

St. Francis 壩突然在 1928 年 3 月 12 日午夜之前潰敗，當時水庫接近滿庫，70 分鐘內洩光，潰壩不僅大部份壩移動，連大部份基腳也被沖走，洪水波行走 15 公里至 San Fancisquito Creek，及然後 64 公里至 Santa Clara River，再流至太平洋。在壩與太平洋之間共有 450 人遇害，尖峰流量估計超過 14000cms。

學到教訓：

1. 不適當壩址選擇及基礎處理。
2. 此次潰壩導致加州通過大壩安全立法。

## 5. 有效大壩安全計畫之要素

成功大壩安全計畫必須有 3 個基本要素：

1. 從事大壩安全之人員。
2. 計畫組成要有效使用資源。
3. 保持大壩安全之合理程序需執行完成。

(一) 從事大壩安全之人員可分為：

1. 在政府單位負責大眾福利的人，有責任支持大壩安全計畫在立法及預算。
2. 技術團體-負責大壩安全之工程師，有義務盡可能做好，提供安全的大壩，大壩操作人員及其他現場技術人員，必須操作及維護他們的壩，做好他們應該做的工作。如此，大壩能夠在所有情況下，安全蓄水及放水。由於他們在現場，這些人有最佳機會察覺發展中問題。
3. 民眾可負責大壩安全，政府通常反映一般大眾注意強調的事。因此，當民眾體會需要安全的大壩，是重要的，他們會施壓政府制定法規及提供經費給大壩安全計畫。

(二) 計畫組成，永遠無法保證大壩絕對安全，良好組成的大壩安全計畫，可能減少大壩失敗之風險。良好的大壩安全計畫組成有那些？

法規是必要的，規定責任及權限，及提供經費給事情完成。

大壩安全計畫組成，首先有二個概念先說明：

1. 功能導向概念：人員完成在大壩計畫相同功能，如檢查人員、分析人員。好處，提供專業及技術人員，因為重覆做相同工作。壞處，人員不具有各種技術經驗，另一方面，較不熟悉特殊的壩，如指派擔任不熟悉壩會可能傾向質疑一大堆事。



2. 壩導向觀念：工作人員在計畫中對指定壩完成不同功能之工作，結果工作人員具有廣泛技術背景，及對指定壩具有相當知識。壞處，工作人員缺乏特殊地方較高層級之技術。

墾務局及其他美國聯邦機構，通常以功能導向計畫運作，而州傾向以壩導向計畫運作。因為，州負責工作人員較少，及每人必須完成所有功能之工作。

### (三) 完成這些觀念-維護大壩安全之程序

包含前述人員及計畫組成

第一階段，建立每一個大壩安全基本資料之詳細目錄，目錄決定計畫要包含那些部份。小及遙控的壩，如失敗，造成對人民生命及財產威脅較小，不應由大壩安全經費支出。所以，排除這些壩。在目錄之資料能幫助在優先順序及未來工作之期程，意味著較多注意及資源，提供給對公共安全與公共建設有最大風險。

美國聯邦大壩安全規範建議需執行大壩安全計畫的大壩條件：

高度等於或大於 7.6m

庫容至少 60000 立方公尺

此外，聯邦規範建議，任何大壩如失敗，會造成人員傷亡之潛勢，則需包含大壩安全計畫。如接近大壩下游洪水平原有人居住，則明顯會造成對人民之威脅。如不明顯，則需完成潰壩淹沒範圍研究。

當大壩之詳細目錄建立完成，收集每個壩安全資料是非常重要的，大壩安全資料夾需包含目錄資訊，加上每個壩有關安全之文件及數據，如設計，施工及營運，包括圖、照片及地圖等。

大壩安全計畫程序如下圖（圖 3）：

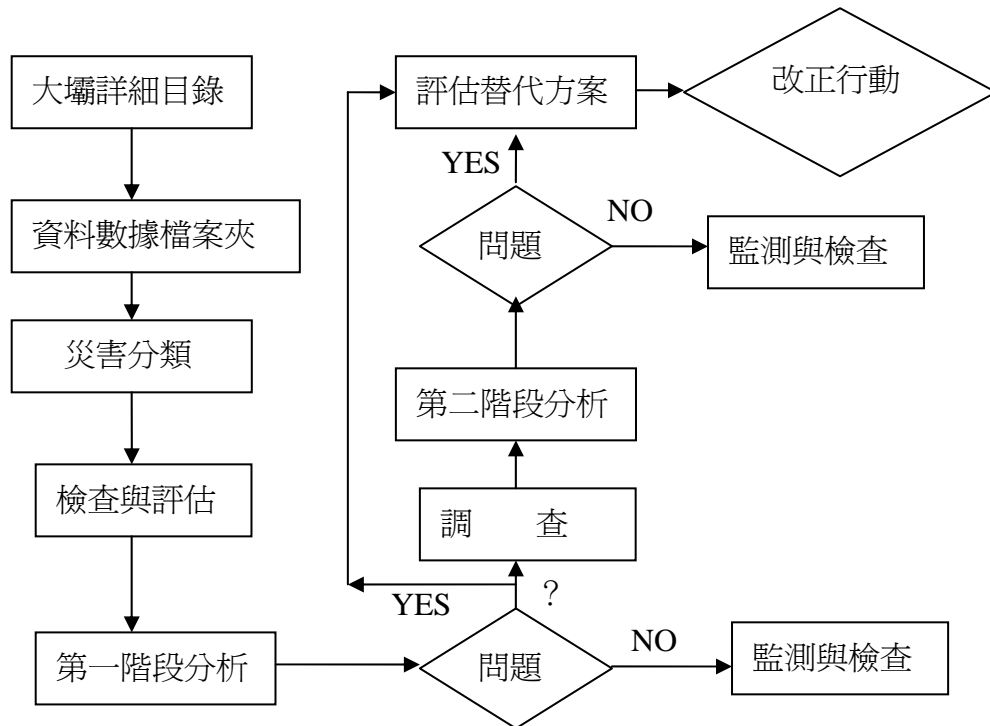


圖 3 大壩安全計畫程序

以下重點說明各程序：

災害分類不表示大壩安全狀況，美國聯邦緊急管理署在 1998 年公布 (FEMA333) 大壩安全聯邦準則，大壩災害潛勢分類系統：

高災害 => 潰壩 => 人員損失或重大經濟損失。

明顯災害 => 失敗 => 無人員損失，但明顯財產損失及生命線損害如重要公路及橋樑。

低災害 => 失敗 => 無人員損失，但財產損失僅限大壩所有人。

檢查與評估方式有 5 種，分別為正式、中間、特別、例行及緊急等。

正式檢查為最廣泛之檢查，評估設計、施工及營運歷年來，以最新技術及施工方法找出先天或潛在弱點在設計、基礎、施工及潛在失敗模式中；依據失敗模式調整監測計畫。所有設備皆現場檢查包含所有機械設備全程測試運轉。評估缺陷風險，由一組人員完成，包含土木、機械工程師、地質師及其他專家，每 5 至 10 年實施一次。

中間檢查，在兩次正式檢查期間之中間實施，所有設備皆現場檢查，但可選擇測試操作機械設備，通常由一位工程師執行，如機械設備多，可由機械工程師協助，每 1 至 2 年實施。

特別檢查，檢查大壩潛在問題（如有滲流情況），則比平時檢查間隔更頻繁，或檢查大壩特別地方，一般平時檢查無法進入（如靜水池或壩上游面，剛好抽水或水庫水位低時），通常由一位工程專家執行。

平時檢查，由現場人員實施，如維修操作時順便注意，可能非結構性檢查，可能正式或非正式，檢查頻率可能規定或可能未規定，現場人員應有體

認大壩潛在問題及什麼該去注意。

緊急檢查，當大壩有立即安全問題（如新或嚴重缺陷發生，嚴重性需立即評估），或發生不平常或特殊情況時（如大洪水或地震），可能由一位或不同工程專家執行。

檢查頻率由災害分類及大壩失敗風險而決定。聯邦規範規定每 5 年進行正式檢查，至少每 2 年中間檢查。

第一階段分析階段需篩選評估標準及使用可利用數據資料及保守假設。在第一階段分析，必須達到三項結論：

1. 對大壩無安全威脅。
2. 問題已查清，改正行動可能需要（立即暫時改正行動可能需要，直至永久解決方案可完成）。
3. 大部份通常，第一階段分析結論未確定，及額外研究需去證實或更確定問題。

如潛在缺陷未能在第一階段分析釐清，則更嚴格第二階段分析需執行。第二階段分析使用現場探查及試驗實際參數，去決定實際施工情況及材料性質，如無缺陷被證實或分析找出，則繼續定期監測檢查。

第二階段分析結論：

1. 對大壩無安全威脅。
2. 問題已確認及改正行動需要（立即暫時改正行動可能需要，直至永久解決方案可完成）。

替代方案評估，需客觀決策分析及風險評估，找出那些問題造成大壩最大風險，及在計畫中那些大壩造成最大風險。

**結論：**有效大壩安全計畫必須有良好訓練、專注的人員，經由適當立法獲得授權及經費，去組織及操作一個大壩安全計畫。最後，必須有一個邏輯程序去確認潛在問題，證實這些問題及嚴重性，確認改正行動，替代方案選擇及完成適當改正行動。

## 6. 大壩安全中監測角色

大壩安全計畫需包含 2 個例行查核大壩情況之工作，1.定期大壩檢查計畫。2.收集及評估監測儀器數據計畫。

檢查一個大壩包含使用最佳可利用監測儀器，這個監測儀器具有 2 個眼睛，2 個耳朵及 1 個鼻子連結至具有良好大壩安全知識資料庫之活動大腦，人類的檢查員能檢查大壩各方面，壩址及附屬結構物。雖然對一個大壩安全保證計畫，信賴單獨檢查有一些缺點，例如：

1. 目視檢查可能受限制於缺失實際數據及僅能發現到現場實際變化。
2. 目視檢查，由定義，僅能發現可見的情況、壩行為或功能之參數如壩體、基礎或壩座則無法由目視檢查察覺。

收集及評估監測儀器數據之計畫能滿足上述確認問題：

1. 缺失實際數據--監測儀器提供實際數據，在監測儀器設計可控制精確及敏感度，察覺到非目視檢查能注意到。
2. 限制僅能目視觀測—監測儀器能安裝於壩體、基礎、壩座及附屬結構物，得到壩體行為參數資料，非目視檢查能提供。

良好構想及良好執行監測計畫好處：

1. 幫助了解實際壩體行為表現。
2. 提供潛在問題之警訊。
3. 幫助解釋問題。
4. 證明壩體行為符合預期。
5. 評估修補對策。
6. 幫助研究。

## 2.3 現場模擬安全檢查與參訪研討

### 1. 普爾布洛 (Pueblo) 壩

8月28日早上8:0由丹佛出發，行駛260公里至普爾布洛 (Pueblo) 壩進行現場模擬檢查。普爾布洛 (Pueblo) 壩位於 Arkansas 河上游10公里及科羅拉多州 Pueblo 市西方，庫容4億3200萬立方公尺，混凝土巨頭扶壁壩型壩，兩側為堆填壩 (如圖4)，右側堆填壩壩頂長311m，左側堆填壩壩頂長220m，溢洪道在混凝土部份，頂部寬度168m，設計最大洩洪量5423cms (在最高水位)，河道放水道由2個1.2m×1.2m高壓閘門調整放水至河道，另外輔助放設施經由溢洪道底部分開3個出水工，每一個出水工由2m×2m高壓閘門。

43位學員分3組進行現場模擬檢查，分別由壩頂、廊道及靜水池進行。壩頂部份可看見混凝土龜裂 (如照片1) 及設置觀測扶壁壩結塊位移裝置 (如照片2)，廊道部份則嚴禁照相，但內部相當乾淨，有壩基孔隙水壓及擺線儀監測儀器，另外保護人員避免被鳥糞淋到，設置簡易保護設施 (如照片3)，靜水池部份地面潮溼成積水，及巨頭扶壁壩下游測頂部鳥類築巢 (如照片4)，造成鳥糞掉落地方，都提醒勿進入，對人員安全非常照顧。現場檢查表格如圖5。

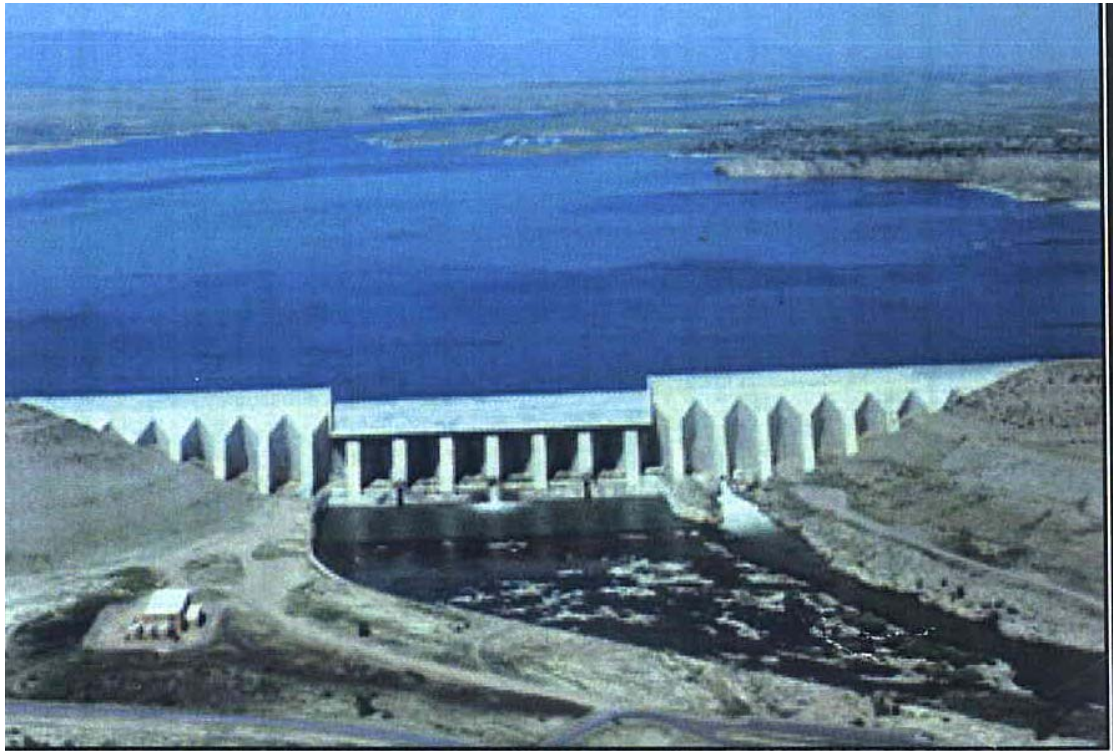


圖 4 普爾布洛 (Pueblo) 壩



照片 1 壩頂胸牆混凝土龜裂及部分脫落



照片 2 觀測位移裝置



照片 3 進入廊道前簡易保護裝備（避免鳥糞淋到）



照片 4 扶壁壩下游側鳥類築巢

**Ongoing Visual Inspection Checklist  
Pueblo Dam  
September 2006**

Schedule: Perform every month at the time instruments are read. Additionally, perform immediately following a significant earthquake in the vicinity of the dam, and as appropriate during and after a major flood event.

Inspector: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
 Reservoir Elev. : \_\_\_\_\_ feet Time: \_\_\_\_\_  
 Weather: \_\_\_\_\_ Temperature: \_\_\_\_\_ °F

**For any question below answered "YES", please provide additional information describing the situation as completely as possible under item 7, "Additional Information." A "YES" response indicates unexpected behavior that needs to be investigated. Take photographs of the situation, and include with copies of this report to be filed with the Eastern Colorado Area-Safety of Dams Office .**

**1. Dam Crest and Upstream Face of the Concrete Dam:**

- A. Any new cracking of concrete, or significant changes at existing cracks?  No  Yes
- B. Any apparent offsets at the contraction joints?  No  Yes

**2. Concrete Dam Galleries:**

**Note: Walk the highest elevation gallery from one abutment to the other, and then return to the starting point by following the stairs and galleries closest to the dam/foundation contact.**

- A. Any new cracking, or significant changes at existing cracks?  No  Yes
- B. Any apparent offsets at the contraction joints?  No  Yes
- C. Any apparent changes in foundation or form drain flows?  No  Yes
- D. Any evidence of calcium carbonate deposits or other deposits at the outfalls of the foundation drains that could impede the drain flows?  No  Yes
- E. Any new seepage or wet areas?  No  Yes
- F. Any unusual outlet works sounds in gate chambers?  No  Yes
- G. Any change in flow from lift line drill holes?  No  Yes

**3. Downstream Face of the Concrete Dam:**

- A. Any new cracking, or significant changes at existing cracks?  No  Yes
- B. Any seepage or wet areas at lift lines that exceeds what has been observed previously?  No  Yes

Continued on Back

C-1

圖 5-1 現場目視檢查表



**Pueblo Dam CFR  
Performance Parameters**

4. Spillway and Outlet Works:

- A. Any new or enlarged cracks, or spalls in concrete?  No  Yes
- B. Any evidence of unusual deformations or displacements?  No  Yes
- C. Any unusual flow patterns or changes during releases?  No  Yes
- D. Any damage resulting from flows?  No  Yes

5. Left and Right Embankments:

**Note: Inspect the crest, visible portions of the upstream slope, downstream slope and toe area of each wing embankment.**

- A. Any transverse cracks at the crest?  No  Yes
- B. Any evidence of materials being transported by seepage flows at seepage or wet areas (such as discolored seepage water or sediment deposits)?  No  Yes
- C. Any new seepage areas or wet areas?  No  Yes
- D. Any changes in conditions at existing seepage areas or wet areas?  No  Yes
- E. Any sinkholes, sloughs, or areas of unusual settlement?  No  Yes
- F. Any new seepage or change in seepage near the Bessemer Ditch?  No  Yes
- G. Any new or increased flow from the toe drain outfalls?  No  Yes
- H. Any new longitudinal crest cracks or toe bulges between stations 30+00 and 40+00?  No  Yes

6. Abutments and Downstream Areas:

- A. Any evidence of materials being transported by seepage flows at existing seepage areas (such as discolored seepage water or sediment deposits)?  No  Yes
- B. Any new seepage areas or wet areas?  No  Yes
- C. Any changes in conditions at existing seepage areas or wet areas?  No  Yes
- D. Any flow from "wet spot" drains downstream from the left embankment? If yes, measure flow(s) and report.  No  Yes
- E. Any sinkholes, sloughs, or areas of unusual settlement?  No  Yes
- F. Any significant slumping or rockfalls, or other movement of major sections of abutments?  No  Yes

7. Additional Information:

**NOTE: All descriptions should include specific location information and all other seemingly relevant information. Seepage area descriptions should include: estimated seepage amount and water clarity description (clear/cloudy/muddy, etc.). Crack descriptions should include orientation and dimensions. Descriptions of changes at joints should include the estimated amount of movement, and movement direction. Deteriorated or spalled concrete descriptions should include degree of deterioration and approximate dimensions of the affected area.**

C-2

圖 5-2 現場目視檢查表 (續)

## 2. 布魯梅薩 (Blue Mesa) 壩

布魯梅薩 (Blue Mesa) 壩，位於 Gunison 河 30mile，為分區填土壩，壩高 390ft，壩頂長 7985ft，填方體積 3080000 立方碼，溢洪道弧形閘門為 25x33.5ft，最大流量 34000cfs，出水工包含進水口結構物（如照片 5）、隧道及分歧管錨定塊，出水進水口閘門為 16ftx18f，2 個 84inch 環滑閘門與 2 個 84inch 中空噴射閘在出口處（如照片 6），在最高水位時，以 2 個中空噴射閘開度 62%，排放最大流量 5000cfs。

布魯梅薩 (Blue Mesa) 水庫總庫容有 940700 英畝呎，有效庫容 748430acre-ft，在最高水位時，水庫面積有 9180 英畝。電廠位於壩址（如照片 7），有 2 組 30000 千瓦發電機，由 2 具 41.55 馬力水輪機推動，每一具水輪機設計水頭約 360ft。1 條 16ft 直徑壓力鋼管輸送水至 2 具水輪機，同時也輸送水至出水工，從主壓力鋼管分歧管後，每條側壓力鋼管由 156inch 蝶閥控制，主壓力鋼管以 y 型分歧管減量至出水工控制閘。壩址現場有看到明顯滲流（如照片 8），及量水堰量測滲流量（如照片 9）。



照片 5 布魯梅薩 (Blue Mesa) 壩出水工進水口結構物



照片 6 布魯梅薩（Blue Mesa）壩出水工出口中空噴射閥



照片 7 布魯梅薩（Blue Mesa）壩壩址電廠



照片 8 布魯梅薩 (Blue Mesa) 壩壩址滲流



照片 9 布魯梅薩 (Blue Mesa) 壩壩址滲流量水堰

### 3.山脊盆地（Ridges Basin）壩

山脊盆地（Ridges Basin）壩靠近 Durango，為過去 3 年美國進行中最大堆填壩，83m 高，壩頂長度 500m，山脊盆地（Ridges Basin）壩及夜馬（Nighthose）湖為離槽水庫，庫容 1 億 4800 萬立方公尺，其中 3700 萬立方公尺為遊憩、魚類及水質標的。山脊盆地（Ridges Basin）壩為分區土石壩，分 6 種不同材料（如照片 10），不透水心層材料為黏土，由水庫庫區內取得，心層上、下游分別為濾層、排水層及殼層，殼層材料由壩下游河床料砂、礫石及卵石混合而成，上游保護面採用塊石拋石（如照片 11），以保護水庫波浪侵蝕，下游面保護雨水侵蝕採用大卵石及較小塊石（如照片 12）。

現場參訪介紹特別強調此壩監測儀器僅下游殼層及壩基埋設孔隙水壓，壩頂無鋪設瀝青混凝土（如照片 13），以節省經費及無運輸通行需求。此壩設計特色為無溢洪道設計，因集水區小，且離槽水庫，可控制越域引水引水量（如照片 14）。



照片 10 山脊盆地（Ridges Basin）壩分區材料



照片 11 山脊盆地 (Ridges Basin) 壩上游面塊石拋石層



照片 12 山脊盆地 (Ridges Basin) 壩下游面大卵石及小塊石拋石層



照片 13 山脊盆地 (Ridges Basin) 壩壩頂



照片 14 山脊盆地 (Ridges Basin) 壩越域引水出口

#### 4. 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩

格蘭峽谷(Glen Canyon)壩位於亞利桑那州，壩高 216m，混凝土拱壩（如照片 15），壩頂長度 476m，壩頂寬度 7.6m（如照片 16），最大壩基寬度 91.4m，溢洪道分開位於左右壩座，每一座溢洪道進水口閘門以 2 個 12m×16m 弧形閘門控制（如照片 17），溢洪道隧道下游段利用原導水隧道，每一個溢隧道直徑由 14m 減至 12m，整個溢洪道設計流量為 5900cms（在高程 1128m）。出水工靠近左壩座，有 4 條 2.4m 直徑管路，每一個出水工由 2.4 環滑閘門及 2.4 中空噴射閘控制（如照片 18），整個河道出水工設計流量為 424.8cms。Powell 湖總容量為 33 兆立方公尺，有效庫容 25.8 兆立方公尺，在正常水位水庫長度有 300 公里長，湖面有 6 億 5300 萬立方公尺。電廠位於壩址（如照片 19），由 8 部水輪機帶動，4 部 118750 千瓦及 4 部 136562 千瓦發電機（如照片 20），標示總發電量為 1021248 千瓦。8 條壓力鋼管輸送水至水輪機，每一條壓力鋼管直徑由 4.8m 縮減至 4.2m。



照片 15 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩





照片 16 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩壩頂



照片 17 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩溢洪道弧形閘門



照片 18 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩出水工中空噴射閥



照片 19 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩電廠



照片 20 格蘭峽谷(Glen Canyon)壩發電機組

#### 5.胡佛（Hoover）壩

胡佛（Hoover）壩及密德（Mead）湖，跨越亞利桑那州及內華達州，位於黑峽（Black Canyon），混凝土厚拱壩（如照片 21），壩高 221.2m，壩長 379.2m，壩體積有 248 萬立方公尺，附屬結構物 336 萬立方公尺，建造於大蕭條，1935 年完工，今年服務第 75 年，建造時為世界上最大壩。溢洪道為側渠溢洪道（如照片 22），閘門控制溢流堰，設計流量 270000cfs( 水位 1232ft)，出水工設計流量 52200cfs（水庫水位 1219.6ft），壩頂寬度 13.7m，壩基寬度 201.2m，發電機組 17 部，分 2 電廠（如照片 23），淨發電量 3254593045 千瓦小時。監測項目有流量、地震（如圖 6，地震儀佈設圖）及上舉力（壩基孔隙水壓）。廊道相當乾淨及無滲水現象（如照片 24）。密德湖庫容 348.5 億立方公尺，最大深度 151.4m，蓄水面積 63455 公頃，滿水位長度 177 公里。圖 7 為胡佛壩平面圖，其發電及出水工皆由主壓力鋼管與進水口連接，以側壓力鋼管將至水輪機，再縮減直徑將水送至出水口，容易擴充設備，布魯梅薩（Blue Mesa）壩亦相同設計。



照片 21 胡佛壩



照片 22 胡佛壩側渠溢洪道



照片 23 胡佛壩電廠

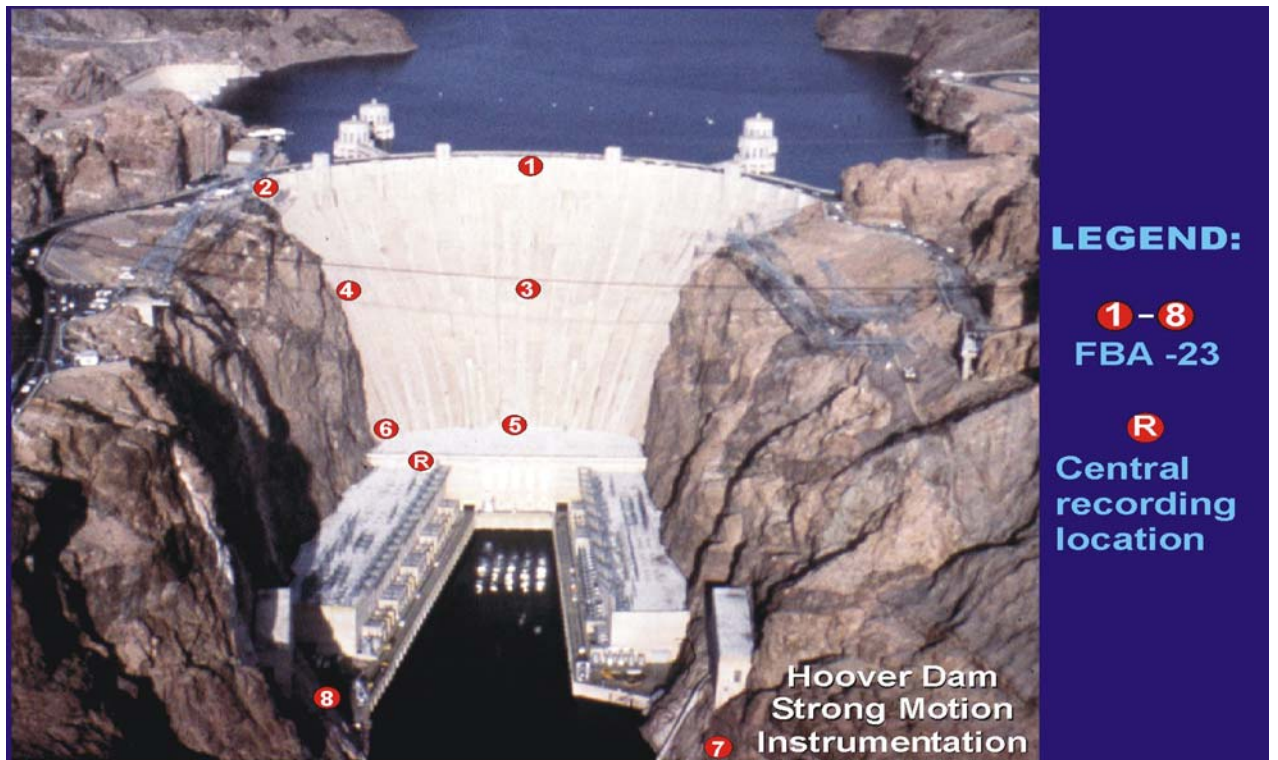


圖 6 胡佛壩地震儀分佈示意圖



照片 24 胡佛壩廊道

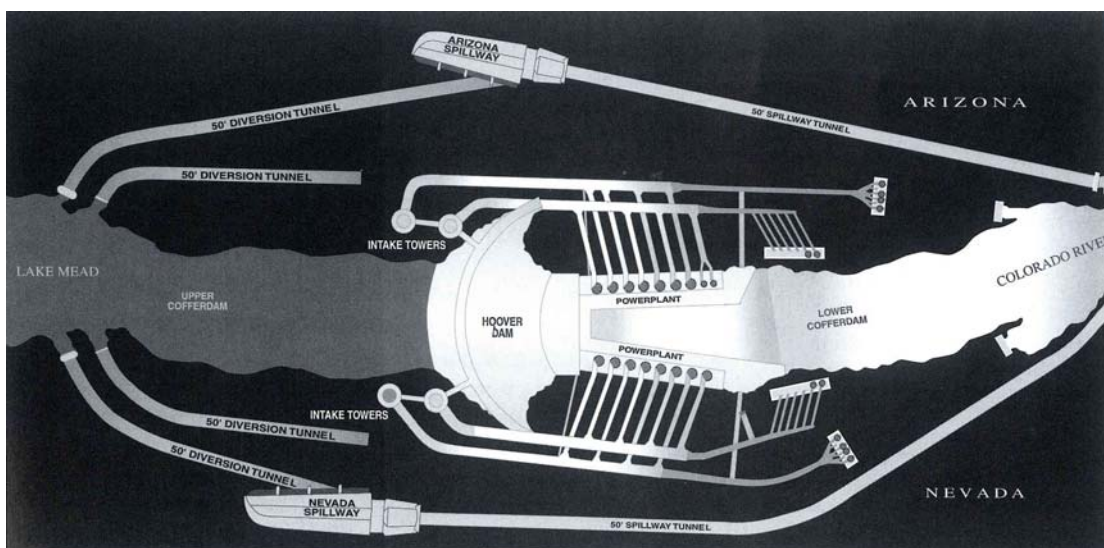


圖 7 胡佛壩平面圖

### 三、心得與建議

1. 「他山之石，可以攻錯」美國經由水庫失敗案例，建立起水庫安全立法，同時由失敗案例，探索預防失敗之方法，或其他改善，以避免水庫失敗事件發生。國內水庫安全法規之建立亦是追隨相同腳步，但對失敗之檢討，尚待努力。同時，建議比照美國建立台灣地區水庫目錄資料庫，將各水庫基本資料及相關安全資料建置資料庫，專責人員管理及更新資料庫。
2. 大壩安全計畫需要法規之要求，經費配合，透過專業專責的人員，以邏輯程序，不同檢查頻率及方式，找出缺點進行改善，甚至找出潛在問題加以改正，以確保水庫營運正常。美國聯邦政府管理水庫在經費及人力方面可配合辦理，州政府單位則部份有人力及經費問題，私人擁有者則視財源問題較大。反觀台灣亦有類似問題，宜思索後續如何使未達安全情況之水庫，如何透過立法或代管代營方式使其達安全風險範圍。
3. 過去營運表現正常，並不代表未來一定營運安全，需定期操作與維護，隨時更新大自然外力，以最新技術進行檢查與評估，找出潛在缺失及弱點，進行更新改善。平時操作與維護人員，為大壩安全檢查尖兵，如具有相關潛在問題早期徵兆之知識，可提早發現可疑點，進而預防災害發生。
4. 美國墾務局對重要及多目標大壩，皆以自己員工進行操作及維護，及進行相關安全檢查與評估，不僅技術生根，人員專業化及制度建立，並研究潛在問題及早期徵兆之線索，以確保水庫安全。反觀，台灣水庫管理單位，因人力及工作量問題，逐漸偏向將安全檢查工作及操作與維護委外辦理，不僅喪失技術生根，同時將基本安全寄託私人公司，其責任、權利及義務甚難釐清，如何能讓其善盡對大壩安全擔負全責，實有困難。建議比照美國墾務局作法，增加人員，由自己員工負責大壩操作與維護、安全檢查等工作，方能早期發現問題，確保水庫安全。
5. 基本上，美國水庫無淤積問題，出水工進水口底檻高於 100 年淤積量之高程。在於降雨情形及攔蓄水流情況，不像台灣主要攔蓄颱風豪雨為主，一場颱風帶來淤積量，有時相當數年或對過去平均數倍（如曾文水庫莫拉克颱風帶來淤積量為過去歷年平均年淤積量 19.7 倍）。
6. 大壩安全檢查監測計畫要有效及有效率，不是僅儀器監測，人員現場檢查亦是發現徵兆關鍵，儀器監測數據需及時分析評估，才能提供預警。且近年來，堆填壩採用防禦性設計（心層上下游設置濾層及排水層），配合施工機械及滾壓技術，心層及上游殼層以不埋設監測儀器，以避免影響施工進度及品質，僅在下游殼層及壩基埋設孔隙水壓計，壩體亦不埋設垂直觀測儀器（如 Ridges Basin 壩）。
7. 大壩水庫是重要設施，其失敗對下游居民生命財產造成威脅，而混凝土壩比堆填壩更容易遭受破壞而失敗，尤其拱壩。因此，美國對混凝土拱壩安全防護相當嚴格，在參觀 Glen Canyon 壩與 Hoover 壩時，進入安檢比照機場安檢進行，

胡佛壩介紹資料說明，二次大戰時由軍隊駐守，2001年911恐怖攻擊後，停止對外開放參觀，修改觀光計畫，2002年再重新開放。而參訪其他壩則無如此安檢。因此，國內對於此方面，宜比照分風險等級優先順序，及提升安全防護等作法，避免，草木皆兵，而未能掌握狀況。