

公務出國報告
(出國類別：考察)

赴美國研習洪水操作與水庫安全管理

服務機關：臺北翡翠水庫管理局

出國人：局長 康世芳

正工程司兼股長 朱孝恩

幫工程司 許元郎

出國地區：美國

出國期間：95年3月11日至20日

報告日期：95年6月20日

公務出國報告提要

出國報告名稱：赴美國研習洪水操作與水庫安全管理

頁數：49 含附件：否

出國主辦機關／聯絡人／電話：

臺北翡翠水庫管理局 許元郎 (02) 26664922

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

康世芳 臺北翡翠水庫管理局 局長 (02)26667680

朱孝恩 臺北翡翠水庫管理局 水庫操作科 正工程司兼股長 (02)26664928

許元郎 臺北翡翠水庫管理局 安全檢查科 幫工程司(02)26664922

出國類別：考察

出國期間：民國 95 年 3 月 11 日至民國 95 年 3 月 20 日

出國地區：美國

報告日期：民國 95 年 6 月 20 日

分類號／目：公共工程／公共建設

關鍵詞：水庫洪水操作、大壩安全檢查、水庫安全管理、潰壩、水文分析、

水權、洪災消滅、大壩觀測儀器

內容摘要：

翡翠水庫(本水庫)大壩安全關係到大臺北地區數百萬居民生命財產安全，因此為確保大壩安全，翡翠水庫洪水操作及水庫安全檢查與評估之安全管理措施需不斷被檢討與精進，而參訪學習先進國家之水庫安全管理經驗，為提昇本水庫安全管理之捷徑。美國內政部墾務局負責美國大西部 17 個州水資源管理、開發及保護，負責 400 多座水庫大壩之操作維護及結構安全，擁有豐富水庫管理經驗及技術，值得本水庫學習。另美國曾有數個水庫潰壩之教訓，藉由本次參訪獲取其教訓，可避免本水庫發生類似事件。本次考察按既定計畫拜訪墾務局下科羅拉多區辦公室、胡佛壩、戴維斯壩、帕克壩、墾務局鳳凰城分區辦公室、中樞阿利桑納水源管理處，經由技術交流及參觀活動獲致重視災害警訊、加強電子媒體防災功能、加強輸水路建設、加強水資源教育、切實定期大壩安全檢查等結論。

目 錄

壹、前言與考察目的	1
貳、考察行程	2
一、行程概要	2
二、參訪單位概述	3
(一)墾務局	3
(二)中樞阿利桑納水源管理處	9
參、參訪心得	13
一、水庫洪水操作	13
(一)面對水文不確定情況，未雨綢繆審慎因應	13
(二)流域水庫洪水聯合操作，洪災消滅與水源利用兼顧	14
二、大壩安全檢查與評估	15
(一)大壩安全風險分析	15
(二)大壩安全檢查	17
三、潰壩經驗教訓	18
(一)南福克壩	19
(二)聖法蘭西斯壩	21
(三)提頓壩	23
(四)由美國潰壩教訓檢核翡翠水庫	25
四、綜合事項	28
(一)水利機關事權統一、法令規章與時俱進	28
(二)卓越工程專業知識為決策之基石	30
(三)嚴密的大壩及辦公室保全	32
(四)電子媒體之重要性	32

(五) 壩工技術需與時俱進	33
肆、結論與建議	34
伍、參考文獻	39
陸、附錄	40
一、參訪相片集錦	40
二、美方主要技術交流人員名片	48

圖目錄

圖 1	墾務局所轄範圍（美國西部十七州）	5
圖 2	下科羅拉多分區轄區範圍	6
圖 3	中樞阿利桑納計畫布置概要	12
圖 4	大壩安全風險分析評估圖	16
圖 5	資料為中心的決策支援系統	31

表目錄

表 1	考察行程概要	2
表 2	新店河流域與科羅拉多河流域水文比較	14
表 3	由美國潰壩經驗看翡翠大壩安全性檢核表	26
表 4	科羅拉多河流域相關法案	29

照片目錄

照片 1 南福克壩潰壩前後對照	19
照片 2 聖法蘭西斯壩潰壩前後對照	21
照片 3 提頓壩潰壩前後對照	24
附照片 1 參訪人員與墾務局下科羅拉多區技術交流人員合影	40
附照片 2 參訪人員聆聽墾務局下科羅拉多區技術人員簡報	40
附照片 3 墾務局下科羅拉多區人員聽取我方簡報	41
附照片 4 胡佛壩下游面，照片下方為電廠	41
附照片 5 胡佛壩下游河道	42
附照片 6 戴維斯壩下游面，圖中橫跨河道攔索用於阻擋下游舟艇	42
附照片 7 戴維斯壩上游面，發電進水口	43
附照片 8 參觀戴維斯壩電廠	43
附照片 9 帕克壩下游面	44
附照片 10 帕克壩發電進水口前攔污柵	44
附照片 11 參觀帕克壩電廠運轉中心	45
附照片 12 與墾務局鳳凰城分區辦公室人員技術交流	45
附照片 13 聽取 CAP 人員簡報	46

附照片 14	CAP 運轉控制中心-----	46
附照片 15	CAP 設施之源頭（六部抽水機，揚程 250 公尺） -	47
附照片 16	CAP 貫穿城市之水路-----	47

壹、前言與考察目的

翡翠水庫（本水庫）大壩安全關係到大臺北地區數百萬居民生命財產安全，因此為確保大壩安全，本水庫洪水操作及水庫安全檢查與評估之安全管理措施需不斷被檢討與精進，而參訪學習先進國家之水庫安全管理經驗，為提昇本水庫安全管理之捷徑，是為本考察行程安排之緣起。美國內政部墾務局負責美國大西部 17 個州水資源管理、開發及保護，負責 400 多座水庫大壩之操作維護及結構安全，擁有豐富水庫管理經驗及技術，值得本水庫學習。另美國曾有數個水庫潰壩之教訓，藉由本次參訪交流獲取其教訓，可避免本水庫發生足以危害大壩安全的類似事件。

此次考察之目的可歸納如下：

- 一、 拜訪美國內政部墾務局，進行水庫安全管理與洪水操作技術與經驗交流。
- 二、 參訪墾務局水庫大壩安全管理經驗，精進本水庫洪水操作及大壩安全檢查與評估等之大壩安全管理體系。
- 三、 參訪墾務局所屬數個水庫，汲取水庫管理相關經驗。
- 四、 瞭解潰壩事故之經驗教訓，檢討本水庫之安全管理。

貳、考察行程

一、行程概要

本次考察行程自 95 年 3 月 11 日至 20 日止，共計 10 天，為實際了解水庫洪水操作與安全管理，先後拜訪墾務局下科羅拉多區辦公室、科羅拉多河流域（Colorado River）之胡佛（Hoover）壩、戴維斯（Davis）壩、帕克（Paker）壩、墾務局鳳凰城分區辦公室、中樞阿利桑納水源管理處（Central Arizona Water Conservation District，CAWCD），涵蓋範圍包括美國西部之加州（California）、內華達州（Nevada）、阿利桑納州（Arizona）等三州。考察行程重點摘述如下表：

表 1 考察行程概要

日期	考察行程	考察內容
3/11(六)	臺北-舊金山	去程
3/12(日)	舊金山-韓德生 (Henderson, 位於 內華達州)	去程及資料準備
3/13(一)	韓德生	早上拜訪墾務局下科羅拉多區辦公室（位於 Boulder City）進行大壩安全管理相關技術交流。下午前往胡佛壩現地參觀。
3/14(二)	牛頭城（Bullhead City, 位於阿利桑 納州）	參訪科羅拉多河戴維斯壩
3/15(三)	哈維舒湖城 (Havas Lake)	參訪科羅拉多河帕克壩

日期	考察行程	考察內容
3/16(四)	帕克壩 - 阿利桑納州鳳凰城	從帕克壩移動至鳳凰城
3/17(五)	鳳凰城	參訪墾務局鳳凰城分區辦公室及中樞阿利桑納水源管理處
3/18(六)	鳳凰城 - 舊金山	資料整理及返程
3/19(日)	舊金山 - 臺北	返程
3/20(一)	舊金山 - 臺北	返程

二、參訪單位概述

(一) 墾務局

墾務局為美國內政部(Bureau of Interior)所轄，負責美國西部地區之水利相關業務。墾務局創立於 1902 年，早期(1902~1928)之工作主要為發展、改善工程技術，以因應大型水利工程需要。1929 至 1944 年為因應美國經濟大蕭條，推出胡佛、大考利(Grand Coulee)、莎士塔(Shasta Dams)等大型計畫，以解決民眾失業等經濟問題。二次大戰之後，墾務局進入快速發展期(1945~1967)，該期間水利發電成為發展工、商業之重要角色，執行大型水利工程計畫高達 69 項。

隨時代演進，美國民眾之價值觀由早期之對大自然資源儘量利用，轉為與自然環境共存共榮，墾務局於 1968 年開始面臨工程開發對環保的衝擊影響問題，開始調整其以往以工程開發為主之工作。為面對日益複雜的挑戰，墾務局以各相關用水人及消費者的權益最大化作為有限水資源利用的運用準則，並以運用卓越的工程技術進行大壩安全、水利發電、水源保育、水源再利用、水質、環境保護與野生動物復育、休閒娛樂、原住民部落水權保護等作為施政主軸。墾務局負責美國西部十七個州之水利事務（見圖 1）。此行參訪之墾務局下科羅拉多區辦公室、胡佛（Hoover）壩、戴維斯（Davis）壩、帕克（Paker）壩、墾務局鳳凰城分區辦公室皆隸屬於墾務局，三個大壩皆位於科羅拉多河（Colorado River）下游。經由與墾務局下科羅拉多區辦公室之經驗技術交流，我們從美國三個潰壩經驗中汲取了若干教訓。三個潰壩分別為賓州 1889 年南福克壩、加州 1928 年聖法蘭西斯壩、愛德華州 1976 年提頓壩。前二壩為早期壩工技術不甚成熟年代所完成，與墾務局並無關係，但墾務局亦有深入研究。提頓壩則係由墾務局所設計。

科羅拉多河發源於科羅拉多州落磯山脈，流經猶他州、阿利桑納州、內華達州、加州、墨西哥後注入加州灣。全長 2,330 公里，流域

面積 629,100 平方公里，流量約從 570 m³/s (乾旱)至 28,000 m³/s (洪水) 之間，經由各水庫調控後，最大流量超過 2,000 m³/s 之機會已經很少見。

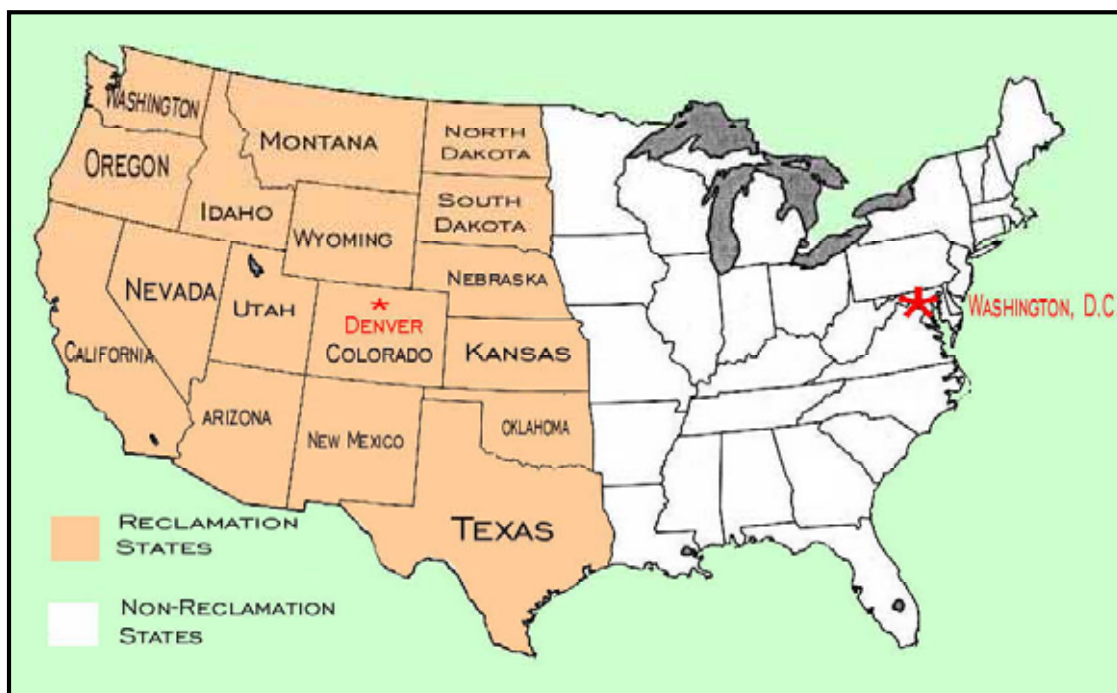


圖 1 墾務局所轄範圍（美國西部十七州）

1. 墾務局組織：

墾務局總部辦公室位於華盛頓特區及丹佛（Denver）兩地，墾務局設局長一名，下設秘書長一名及副局長三名，分工掌理各項業務。墾務局將所負責的西部十七州依照用水分區，下分五大分區 (Region)，分別為大平原區 (Great Plains)、西北太平洋區 (Pacific Northwest)、中太平洋區 (Mid-Pacific)、上科羅拉多區 (Upper

Colorado) 和下科羅拉多區 (Lower Colorado)。本次參訪之組織及水庫皆屬於下科羅拉多分區。下科羅拉多分區的轄區範圍包括加州、阿利桑納州、內華達州、猶他州與新墨西哥州的部分區域 (如圖二所示)，下科羅拉多分區依據功能及區域分別成立鳳凰城分區辦公室 (area office)、南加州分區辦公室、Yuma 分區辦公室、Boulder Canyon 操作部門及下科羅拉多大壩部門。本次參訪之三個大壩胡佛壩、戴維斯壩、帕克壩分別位於科羅拉多河之下遊區域 (參見圖二)。



圖 2 下科羅拉多分區轄區範圍

2. 胡佛壩基本資料：

胡佛壩為混凝土拱壩，位於科羅拉多河下游，大壩右岸為內華達州、左岸為阿利桑納州。大壩工程從 1931 年 4 月開始興建，1936 年 3 月完工，工期四年十個月。胡佛壩是美國人的驕傲，目前每年遊客超過 100 萬人，被譽稱為美國現代土木工程의 七大奇景之一，並曾在 1999 年被選為 20 世紀十大建築成就之一。胡佛大壩壩高 221 公尺、壩長 379 公尺、壩頂寬 14 公尺、壩基厚 201 公尺，大壩混凝土使用量 249 萬立方公尺。電廠位於大壩下游兩岸樓高 8 層、寬約 200 公尺，共有發電機組 17 組，左岸 8 組、右岸 9 組，裝機容量達 2,074 百萬瓦。大壩設施尚包括 4 座取水塔，塔高 120 公尺，頂端直徑 19.2 公尺，每一取水塔連接一壓力鋼管至電廠。兩岸各有二條壓力鋼管，直徑 9.1 公尺。兩岸各設一座溢洪道，溢洪道總容量 11,330 立方公尺/秒。上游之水域稱為密爾德湖 (Lake Mead)，水庫容量 352 億立方公尺 (可容納科羅拉多河二年年流量)，水域面積 633 平方公里。

3. 戴維斯壩基本資料：

戴維斯壩位於胡佛壩下游 107 公里，1942 年施工，1950 年完工，為土石壩，壩高 60.95 公尺，壩長 487.67 公尺，溢洪道容量 6,062 立方公尺/秒，共設發電機組 5 組，裝機容量 251 百萬瓦，溢洪道容量 6,062 立方公尺/秒。水域上游稱為墨黑湖（Lake Mohave），容量 22.43 億立方公尺。戴維斯壩的功能為調節科羅拉多河河水，從事發電、防洪、灌溉、航行、觀光遊憩及提供民生用水，並參與水鳥保護及相關保護方案。

4. 帕克壩基本資料：

帕克壩位於戴維斯壩下游約 100 多公里，1934 年施工，1938 年完工，為混凝土厚拱壩，壩高 123.44 公尺，壩長 260.91 公尺，壩頂寬 12 公尺，壩基寬 30 公尺，溢洪道容量 6,062 立方公尺/秒，共設發電機組 4 組，裝機容量 120 百萬瓦，溢洪道容量 11,330 立方公尺/秒。水域上游稱為哈維舒湖（Lake Havasu），容量 7.99 億立方公尺。帕克壩的主要功能為調節科羅拉多河河水，從事發電、防洪、灌溉、航行、觀光遊憩、提供民生用水、環境保護等功用。

(二) 中樞阿利桑納水源管理處 (Central Arizona Water Conservation District, CAWCD)

1. 組織

中樞阿利桑納水源管理處係成立於 1971 年，由阿利桑納水源委員會 (Arizona Water Commission, AWC) 依法建置，其轄區包括 Maricopa (內含鳳凰城) 、Pima (內含古城 Tucson) 及 Pinal。中樞阿利桑納水源管理處係由十五人組成之委員會領導，委員由各分區選舉產生，任期六年，為無給職，固定每月集會一次。中樞阿利桑納水源管理處專門負責中樞阿利桑納計畫 (Central Arizona Project, CAP) 之設計、施工及營運發展，中樞阿利桑納計畫關係著阿利桑納州之發展命脈，為一重大發展計畫。中樞阿利桑納計畫目前共有 400 多人，約一半人於鳳凰城 CAP 總部上班，其餘人員則分配於各系統設備處。

2. 中樞阿利桑納計畫目的

阿利桑納州屬於沙漠地形，年平均降雨量僅約 100 毫米，因此水源為該州經濟發展與人民生活品質之最重要物質，充分之水源對於阿利桑納州原是一場夢，但經由中樞阿利桑納計畫 (CAP) 的提出並實現，完成阿利桑納州的夢想，

中樞阿利桑納計畫已提供阿利桑納州足夠水源，足供未來該州之經濟發展需求。

3. 中樞阿利桑納計畫歷史

中樞阿利桑納計畫，從計畫構想、規劃到施工完成共歷時七十餘年，發展歷史值得回味。阿利桑納州的主要水源為科羅拉多河，而科羅拉多河尚供應美國西部其他六州—加州、內華達州、新墨西哥州（New Mexico）、懷俄明州

（Wyoming）、科羅拉多州和猶他州（Utah）的用水。早在 1922 年，為了分配有限水源，美國聯邦政府與七州代表制訂科羅拉多河協議（Colorado River Compact），將科羅拉多河用水分為上科羅拉多區與下科羅拉多區（涵括加州、內華達州與阿利桑納州），上下區各分配水源 750 萬 acre-feet (92.55 億立方公尺)。阿利桑納州對於下科羅拉多區水源之分配一直有意見，經過 22 年的協調折衝，直至 1944 年阿利桑納州終於同意三州之水源分配協議，協議如下：加州 440 萬 acre-ft、阿利桑納州 280 萬 acre-feet、內華達州 30 萬 acre-feet。接著，因科羅拉多河水源離阿利桑納主要用水區相距三、四百公里，為了能夠實質利用到水源，於 1946

年，阿利桑納州成立中樞阿利桑納計畫協會（ Central Arizona Project Association），負責推動中樞阿利桑納計畫，一方面教育民眾中樞阿利桑納計畫的重要性，一方面說服國會同意興建該計畫。又經過了 22 年的努力，美國總統終於在 1968 年同意動支預算興建。整個工程自 1973 開工，歷時 20 年工期，於 1993 年完工。總工程費約 40 億美元。

4. 工程概要：

CAP 的工程布置如圖 3 所示，基本數據如下：

- ✧ 水路長度：336 miles(541 公里)
- ✧ 取水源頭位於帕克壩上游之 Lake Havasu，終點至 Tucson 南部
- ✧ 水路最高高程：2900 ft（884 公尺）
- ✧ 抽水加壓站：14 座
- ✧ 取水口：45 個
- ✧ 輸水量：源頭 3000cfs(85cms, 每日 734 萬立方公尺)



圖 3 中樞阿利桑納計畫布置概要

參、參訪心得

一、水庫洪水操作

(一) 面對水文不確定情況，未雨綢繆審慎因應

美國下科羅拉多河流域之水源利用係以胡佛水壩為樞紐，依進流量推估及各用水標的需求、售電合約，作為年營運計畫依據，以滿足加州、內華達州及阿利桑納州與墨西哥等地之用水及用電客戶，至 2005 年止雖有連續多年流量偏低狀況，尙未有限水枯旱狀況發生。

科羅拉多河系統之水源年需求量為 160 至 180 億立方公尺，其系統水庫容量高達 740 億立方公尺；新店溪系統水源年需求量約為 11 億立方公尺，却僅有翡翠水庫 3.3 億之有效庫容調節(如表 2)。科羅拉多河與臺灣地區之水文條件雖不相同，但墾務局對於水文不確定性的處理可由近期發展的下科羅拉多河流域缺水方針(Lower Basin Shortage Guidelines) 與 Lake Mead 及 Lake Powell 的聯合運轉策略的建立，顯示其對水源廣大的用戶之審慎態度。

臺灣北部地區近年枯旱頻傳(91、92 年枯旱、95 年新竹地區枯旱)，除了加強區域水源調度之外，水源開發之工作更是根本解決之道。在與美方討論水源開發議題時，美方表示環境影響評估對於水源開發案有重要影響，需舉行一系列

的公聽會，以取得社會共識。此種水源開發方式，頗值我國借鏡。

表 2 新店河流域與科羅拉多河流域水文比較

	科羅拉多河系統	新店河流域
用水需求	160 至 180 億 立方/年	11 億立方/年
水庫總容量	740 億立方	3.3 億立方
平均年進流量	186 億立方 (過去百年平均)	北勢溪：9.8 億 南勢溪：11.7 億
水庫容量 / 用水需求	4.3	0.3
年平均流量 / 水庫容量	0.25	2.96(北勢溪)
年進流量 / 用水需求	1.1	2.0

(二) 流域水庫洪水聯合操作，兼顧洪災消滅與水源利用

本次訪問之三個水壩，洪水操作之樞紐為較上游之胡佛壩。胡佛壩設有遙控設施，可直接控制位於百里外之戴維斯壩、帕克壩之水門設施。遇有洪水狀況時，以水力河道演算方式，可推估各壩址進流歷線，進而作出適當的放流計畫。

科羅拉多河流域，河川坡度較緩，水流速度較慢，且河川長度長、水庫庫容大，洪水經過水庫適當的調蓄，及透過其下游水庫增加取用水量，河川水位相對穩定(戴維斯及帕克水庫水位年變動量約為 2 公尺)。

臺灣地區地勢坡陡流急，以翡翠水庫集水區之颱風降雨為例，上游降雨至壩址之集流時間僅約 1 至 2 小時，洩洪時期翡翠大壩至淡水河口之時間亦僅約 6 至 7 小時。在如此緊迫之時間壓力下，正確的水文資訊蒐集，以作為洪水操作研判的依據更顯重要。而淡水河系的石門、翡翠兩水庫，因庫容皆不及科羅拉多河系水庫，無法攔蓄全部洪水，目前運作模式為操作水情互通，密切聯繫，以達聯合操作之功能。

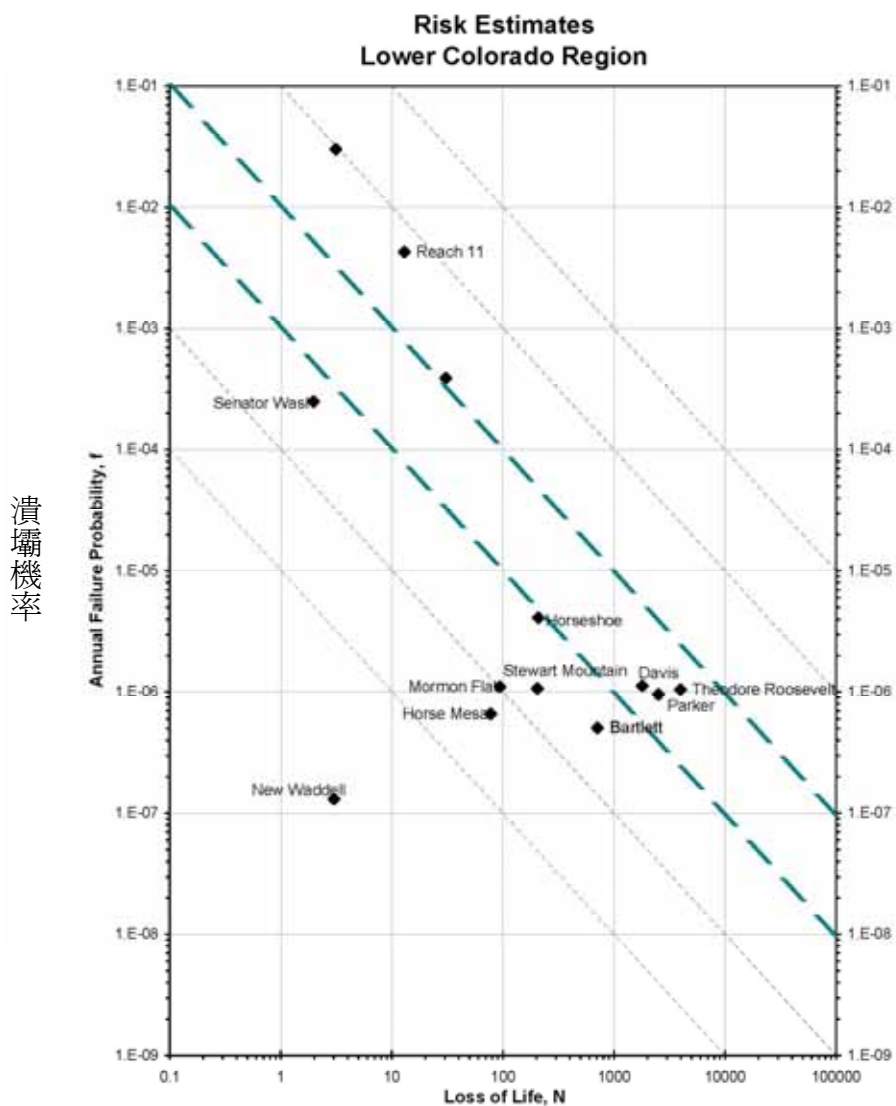
二、大壩安全檢查與評估

(一) 大壩安全風險分析

美國國會在 1972 年通過國家大壩檢查法案(National Dam Inspection Act)，授權美國陸軍工程師團普查及檢查所有非聯邦管轄的堰壩，普查結果，全美國約有 78,000 座堰壩。為了管理數量龐大的堰壩，美國政府提出大壩安全計畫，依照壩高、蓄水容量、災害潛勢擬定大壩安全檢查之類型與頻率。下科羅拉多區則利用大壩安全風險分析，繪製潰壩機率與人命損失關係（如圖 4 所示）來評定所轄堰壩之安全等級。

翡翠水庫位於新店溪上游，下游即為人口密集的大臺北

都會區，其重要性無可置喙，然而重要性如何則很難切實說明，如能仿效下科羅拉多區利用潰壩機率與人命損失關係圖來比較其他堰壩，或將更能具體說明翡翠水庫的重要性。目前翡翠壩並未推算潰壩機率，將來應可針對潰壩機率之計算做進一步之探討。



潰壩可能之生命損失

圖 4 大壩安全風險分析評估圖

（二）大壩安全檢查

墾務局管理 400 多座堰壩，其大壩安全檢查的工作係由各分區的大壩安全檢查部門負責執行，大壩現場的工作人員並不負責大壩安全檢查工作。墾務局會根據各壩檢查的目的訂定不同的時程與頻率，需檢查的壩大略包括三種：1) 僅完工數年的新壩。2) 明顯有瑕疵的舊壩。3) 材料已劣化的老壩。其採取之檢查頻率則取決於災害潛勢分類及潰壩風險。一般依照聯邦大壩安全指南規定正式檢查為每五年一次，期中檢查為每二年辦理一次。

翡翠大壩的大壩安全檢查模式與墾務局大不相同，翡翠大壩下游即為人口稠密的大臺北都會區，其潰壩所造成之損失，社會絕對無法承受，因此特別設置安全檢查科負責大壩安全檢查與維護，並建置大壩安全監測系統及大壩強震儀系統，舉凡現場的資料收集、觀測儀器維護、資料分析評估等大部分皆由該科人員所獨力完成。此模式有優點為大壩安檢人員熟悉大壩資料、人員資料充足、反應迅速，然而亦有缺點，大壩安檢人員只研析自己的壩，少有機會觀摩學習到其他壩的經驗，無法達到宏觀的技術視野。翡翠水庫的觀測儀器布置與墾務局的也略有不同；墾務局的儀器布置著重在功

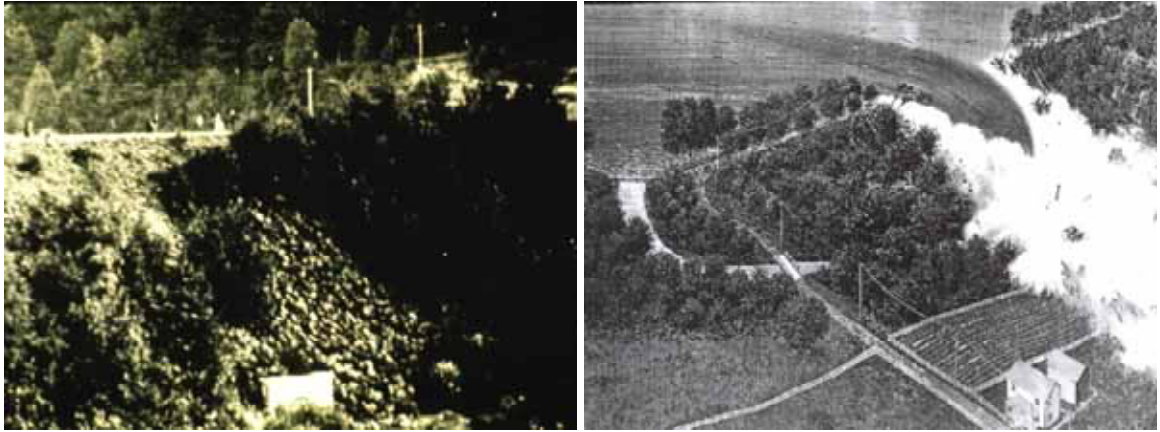
能上，常見的儀器主要為滲水量測定堰、上舉水壓力計、傾斜儀、測量線等，大部分為人工量測；而翡翠水庫的觀測儀器則種類數量眾多，除了以上所提儀器外，還有變位計、應力計、應變計、溫度計、無應力應變計等等，而且已經建立自動監測系統，平時可定時量測，於颱風來臨時可全程監測，於地震發生時會自動啟動量測。綜觀，在觀測儀器的布置與監測上，翡翠壩比墾務局者來得精緻細膩。惟墾務局儀器的布置重要而簡單，適合於大量堰壩的管理。

三、潰壩經驗教訓

美國曾發生幾個大壩事故，造成重大生命財產損失，由此等大壩事故之檢討得到相當可貴的經驗，希望藉由美國的事故經驗，用來檢核翡翠大壩之大壩安全，以期提高翡翠大壩之安全性。

以下為南福克壩（South Fork Dam）、聖法蘭西斯壩（St. Francis Dam）及提頓壩（Teton Dam）之潰壩案例，並由其相關經驗教訓來檢討翡翠大壩之相關布置。

(一) 南福克壩



照片 1 南福克壩潰壩前後對照

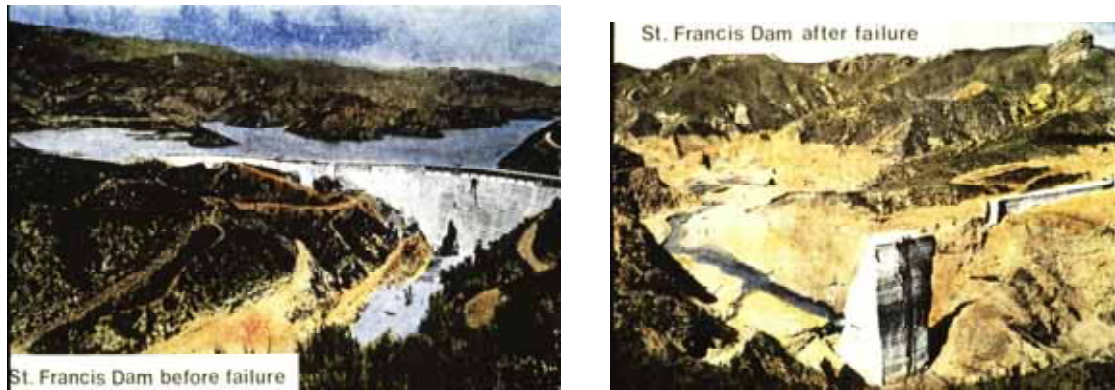
南福克壩為土石壩，位於賓州約翰斯鎮(Johnstown, Pennsylvania)，完成於 1852 年，供水標的為灌溉用水。南福克壩在 1862 年曾發生潰壞，很幸運當時為乾旱，水庫僅蓄存一半壩高之庫水，並未造成大災害。1879 年水壩開始進行修繕工作，並於 1881 年完成。完成後，南福克壩的溢洪道常為流木及土石堵塞，但管理單位並未積極處理。1889 年 5 月 31 日清晨，由於豪雨，水庫水位相當高，且水位上升速率很快約為每小時 4~6 吋，水位升高快速，而溢洪道卻因雜物阻塞無法宣洩庫水，大水可能造成溢流影響大壩安全，在當日早上 10 點左右，管理工作人員嘗試在壩的西側挖掘一溢洪道。惟情況持續惡化，水位持續升高，大壩隨時將溢流

潰壞，此時管理單位通知下游約翰斯鎮大壩即將潰壞，最後在下午三點十分時，南福克壩潰壞。由於通報系統之不完善及訊息通知之怠慢，庫水全部傾瀉至約翰斯鎮之河谷，造成 2,209 人喪生，數以千計人無家可歸。

南福克壩潰壩之教訓：

- (1) 修繕缺乏專業技術：在 1889 年 5 月 31 日發生潰壞之前，大壩已經於 1862 年發生過潰壞，可惜，於 1879 至 1881 年之修繕並未針對大壩安全進行全面性之檢討，以致不幸之發生。
- (2) 不當的水庫設施維護管理，致水位由壩頂溢流：南福克壩的溢洪道常為流木及土石堵塞，但管理單位並未積極處理。土石壩如果溢流，將造成潰壩之危險，顯然此重大缺失未獲得管理人員之正視。如果該壩能維持溢洪道之暢通，或許大壩不致於潰壞。
- (3) 不良的災害通報作業：通報作業之機制及時機，若能在災害發生前有效運作，當可減少生命財產的損失。當水位逼近壩頂，而溢洪道卻不能發揮作用時，應即時通知下游疏散。

(二) 聖法蘭西斯壩 (St. Francis Dam)



照片 2 聖法蘭西斯壩潰壩前後對照

聖法蘭西斯壩位於加州，為混凝土拱壩，建於 1924~1926 年，原設計壩高 53 公尺、容量 3,700 萬立方公尺，但在開工後不久，設計者 Mulholland 決定將壩體提高 3 公尺、容量提高至 3,900 萬立方公尺，設計亦配合略為變更。然而在 1925 年 7 月，當工程已接近一半時，Mulholland 又決定將壩體再提高 3 公尺至總高度為 59 公尺，最後容量提高至 4,700 萬立方公尺，惟壩基寬度並未因而顯著增加。

完工後，在 1926~1927 年間，壩體逐漸出現許多裂縫，有的裂縫甚至開始滲水，設計者 Mulholland 檢視裂縫後，認為無重大影響。在 1928 年 3 月 7 日，St. Francis 水庫首次蓄滿水，大壩管理者發現新裂隙，但 Mulholland 認為此裂隙輕微不足影響安全。另外，東側壩座(事後證實位於一

古地滑)當時正興建一條新路，且在 1928 年 3 月 8 日以炸藥開炸。

1928 年 3 月 12 日早上，大壩管理者又發現一新裂隙，經過 Mulholland 調查後，認為係混凝土壩之典型問題，認為這些裂隙不致於影響安全。然而，在 12 小時後，1928 年 3 月 12 日晚間 11 點 57 分大壩即潰壞，下游 10 座橋梁被衝毀、1,200 個房舍被破壞，至少超過 450 人死亡。

聖法蘭西斯壩潰壩之教訓：

- (1) 不適當的壩址調查與設計：本壩之潰壞，大壩之設計者應負完全之責任，設計者將設計壩高提高二次，增加六公尺，已顯露設計者未周詳考量大壩設計要件的缺失。施工一半竟然要再增加壩高，當然壩基彼時已無法相對應增加，早已埋下潰壩不幸的種子。事後檢討壩址調查不確實亦為造成設計者誤判之因素。
- (2) 忽視災害的警訊，重大警訊的評析由設計者自行進行：此壩從完工後，就開始發現裂縫，且發生裂縫滲水。於首次蓄滿水，又一次發生新裂縫。於潰壩當日早上又發生新裂縫。於潰壩前，至少

發生三次重大裂縫，也都經設計者檢核，卻無法看見災害的警訊。設計者或許陷入某種迷思，因此重大警訊的評析工作若能交由非設計者來進行，或能更客觀。

- (3) 壩座遭受人為的破壞：拱壩係利用壩體將所承受的外力，導引至兩岸壩座，由壩座之岩盤來承受外力。此壩之管理者竟然同意於壩座進行新路之開設，而且還以炸藥進行開路。大壩管理單位應重視壩區週遭重大工程對水庫安全營運之影響。

(三) 提頓壩 (Teton Dam)

提頓壩位於愛達荷州福瑞蒙特郡(Fremont County, Idaho)，為墾務局設計之多目標水庫設施，提供灌溉用水、防洪、水力發電及休閒景點等功能。壩頂長約 960 公尺，壩高約 93 公尺，最大容量為 35,600 萬立方公尺，為滾壓土壩，1972 年 2 月開始興建，於 1976 年完工。

提頓壩在 1975 年 10 月 3 日開始蓄水，但河道放水口隧道及輔助放水口隧道還未打通。蓄水速率約每天 1 公尺，大於墾務局原定第一年之每天 0.3~0.6 公尺的升水速率。然而，墾務局認為 1 公尺的日升水速率可以被接受，但採取加

密量測滲流量及壩下游地下水位的措施。



照片 3 提頓壩潰壩前後對照

在 1976 年 6 月 5 日早上 8 點 30 分，大壩開始發生滲水，四部推土機嘗試封堵滲水，但仍持續擴大。10 點 30 分時遂以電話及挨家挨戶方式通知下游民眾緊急疏散，電子媒體收音機及電視臺記者亦同步進行現場報導，大部份民眾由於電子媒體的大量傳播完成疏散。在 1976 年 6 月 5 日早上 11 點 57 分，當初次蓄水接近滿水位時(容量約 3 億立方公尺)，大壩潰壞，造成 14 人喪命及下游區域 4 億美金的財產損失。

提頓壩潰壩的教訓：

- (1) 此壩為墾務局設計，且完成於 1976 年，那時已經屬於壩工技術成熟的年代，潰壩不僅震憾美國，也震憾全

球的壩工界，墾務局屬於壩工技術領先者，還是發生潰壩，顯示大壩安全技術還存在增進的空間，此為一個重大啓示。

- (2) 滾壓土壩技術缺失：事後經研究才發現，低塑性土壤在高度壓密後，當處於低液性指數、低圍壓及高剪力之環境，則易生成裂縫。據調查，提頓壩壩體內部曾發生二處裂縫，以致於後來庫水流入裂縫中，而沖蝕成一較大通路而潰壩。
- (3) 基礎處理缺失：基礎處理的缺失包括未建立多道防線以防範滲流沖蝕、管湧、截水槽太狹窄未能有效引導滲流。
- (4) 未嚴格控制初期蓄水之蓄升速度：墾務局原定第一之年之升水速率為每天 0.3~0.6 公尺的。可是當時蓄水速率約每天 1 公尺，大於原認定之標準，雖經墾務局當時重新評估認為可以被接受，但是可能已經鑄下大錯。如果不是因資料的更新，而改變原來設計要件，表示原來的安全係數已經被犧牲了，同時大壩的潰壩機率也跟著增加。

(四) 由美國潰壩教訓檢核翡翠水庫

他山之石，可以攻錯。別人的教訓值得我們深切警惕，
以下使用美國潰壩所得之教訓來檢核翡翠壩之安全性。

表 3 由美國潰壩經驗看翡翠大壩安全性檢核表

壩名	壩型	所得教訓	翡翠大壩檢核	翡翠大壩安全性
南福克壩	土石壩	修繕缺乏專業技術	翡翠壩體目前並無破壞修復之經驗。	高
		不當的水庫設施維護管理，溢洪道阻塞未處理，致水位由壩頂溢流	本局對於大壩安全進行定期觀測，包括每日、每週、每月、每半年、每年、每五年定期進行各種大壩安全檢查，並對檢查之缺失進行改善追蹤。目前大壩各項設施維護良好。混凝土拱壩如洪水溢流並不會造成像南福克壩土石壩一般之潰壩破壞。但溢流可能造成機電設施之破壞，壩頂溢流還是要極力避免。	高
		不良的災害通報作業，無法使損失減至最小。	本局已建置完善之緊急應變處理措施及完善廣播系統，如發生緊急事件，可透過各種管道，疏散下游民眾。	高

聖法蘭西斯壩	混凝土拱壩	不適當的壩址調查與設計	本壩址經過詳細地質調查分析，確認壩址適合興建拱壩，壩址目前為止所收集到之最大地震僅為三級，顯示壩址優良。	高
		忽視災害的警訊，重大警訊的評析由設計者自行進行	為確實掌握大壩的結構行為，翡翠壩體共裝置有十七種，三百餘項儀器，定期監控大壩行為，大壩行為目前無任何異常。大壩行為如有異常，監測儀器定能確實反應，本局亦針對不同儀器設置警戒值，謹慎研判各儀器警訊。	高
		壩座遭受人為的破壞	目前壩址附近並無任何類似之工程。未來對於壩址周遭之工程，本局亦會嚴加監控大壩結構行為。	高
提頓壩	滾壓土壩	滾壓土壩技術缺失	翡翠壩為混凝土拱壩，並無此問題。	高
		基礎處理缺失	翡翠壩址良好，基礎層縫皆經過高壓沖洗回填，基礎截水亦已確實設計施工。	高
		未嚴格控制初期蓄水之蓄升速度	初期蓄水為水庫最容易發生破壞之階段，本壩 76 年完工，至今已 19 年。並無此問題。	高

四、綜合事項

(一) 水利機關事權統一、法令規章與時俱進

美國墾務局為美國內政部(Department of the Interior)所轄，其主要工作目標為：

- 1.洪水控制與河川治理。
- 2.供應民生、工業、農業用水。
- 3.水力發電。
- 4.休憩、娛樂。
- 5.提升及維持生態環境。
- 6.瀕臨絕種生物的保育及復育。

淡水河流域之水利相關機關，除臺北翡翠水庫管理局之外，尚有第十河川局、水利署北區水資源局、水利署臺北水源特定區管理局、臺灣電力公司、行政院環境保護署、行政院農業委員會。墾務局以水源利用、河川治理為中心的綜合業務架構，統整河川集水區、水源開發及水源調度各項業務。我國政府架構於水源調度、開發、集水區保育等重要議題，牽涉多部會及各地方政府權責，應可加強橫向聯繫，以提升效率。

科羅拉多河流域相關法規從最早期之 Colorado River

Compact(1922)至近期之 Interim Surplus Guidelines(2001)共計 13 種(表 4)。我國水利法自民國 31 年公布，施行 62 年後，於 92 年修正；92 年訂立溫泉法，以管理日益澎膨蓬勃之溫泉產業。顯示我國與美國法令規章均有隨時代演進修訂之趨勢。面對日益複雜之水利事業，除規劃、工程技術之精進外，法律層面的因應亦是水利部門應思考的方向。

表 4 科羅拉多河流域相關法案

法案名稱	年份
Colorado River Compact	1922
Boulder Canyon Project	1928
California Seven-Party Agreement	1932
Mexican Water Treaty	1944
Upper Colorado River Basin Compact	1948
Colorado River Project Storage Act	1956
Supreme Court Decree in Arizona vs. California	1964
Colorado River Basin Project Act	1968
National Environmental policy Act	1970
Long-Range Operating Criteria	1970
Endangered Species Act	1973

Grand Canyon Protection Act	1992
Interim Surplus Guidelines	2001

(二) 卓越工程專業知識為決策之基石

與墾務局官員晤談交流時，詢及美國官方水利決策形成過程。墾務局人員表示，美方之水利政策形成可分為三個層級，由上而下分別為法律與政治層級、社會共識層級與工程技術層級。在法律的規範下，水源保護、利用、開發始有所依據，而政治層面的考量係牽涉到時代演進，社會變遷與經濟發展，與人民生活的互動，產生新的與水相關之議題。以墾務局目前正進行規劃研究之「下科羅拉多河區域缺水指標建立」為例，即為一政治與社會互動，而使行政部門進行法律規範面之推動。近幾年因科羅拉多河流域流量偏少，雖然限水之情況於科羅拉多河流域尚未發生，美國內政部鑑於該地區為美國經濟重鎮，而民眾亦對連續 5 年之流量偏低情況表示關切，內政部因此未雨綢繆責成墾務局訂定缺水指標，以預為因應未來可能的枯旱狀況。

墾務局為達成政治、社會對水利相關議題的要求，將其本身的卓越工程專業技術定位為決策的重要基石。從基礎的

資料蒐集(河川歷史流量資料、雨量資料、氣象資料等)，彙集成為以資料為核心之決策支援系統(圖 5)。在取得可靠之原始資料之後，透過專業、處理、分析轉換為有用的資訊；資訊再由專業人員加以判讀、分析成為高價值之知識。政策決策中心則依據高品質之知識作為其決策重要考慮因素，配合其他政治、經濟、社會等因素作出適當的最終決策。

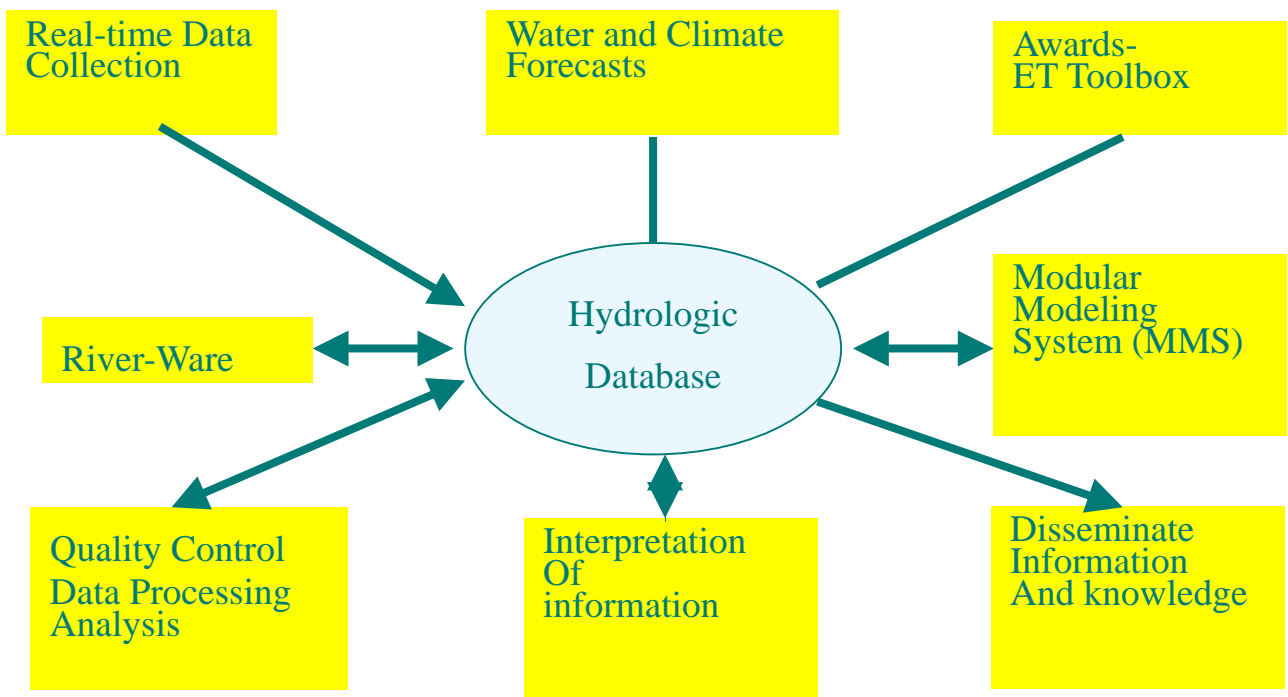


圖 5 資料為中心的決策支援系統

近年於我國之水利問題常為社會關心之議題，議題之討論需輔以正確之水利專業資料，經由公眾之參與，建立於正確資料上之討論，將有助於決策者作最適當之決定。

(三) 嚴密的大壩及辦公室保全

在進入墾務局相關辦公室，大門口皆有森嚴之保全措施，駐警配槍駐守，對出入人車均有嚴謹之身份盤查，其員工亦須憑磁卡識別證進出各大樓。參訪人員需事先提出申請，且需提供及攜帶附有照片之身份證明文件始可進入。胡佛大壩之安檢，則比照國際機場之安檢規格，雙方對參觀人員安全檢查之尺度明顯比翡翠水庫嚴格甚多。所參觀三座大壩現場之駐警保全措施亦相當落實，駐警除配備必要設施外，配槍更是不能少。反觀，本水庫之駐衛警之防護配備則嫌稀少不足。

(四) 電子媒體之重要性

在提頓壩的潰壩案例中，由於電子媒體收音機及電視臺記者同步進行現場報導，大部份民眾即時獲得訊息而完成疏散，使得生命財產之損失減至最小，否則容量 3 億立方公尺的大壩潰壞，傷亡應是數以萬計。基此，水庫管理單位平常應與電子媒體維持良好互動，甚且對於潰壩可能造成之損害範圍及防災措施，應先準備視訊廣播資料，於危急時提供電

子媒體廣為宣傳，以消滅潰壩之災害。

(五) 壩工技術需與時俱進

壩務局屬於壩工技術領先者，在 1976 年，已經屬於壩工技術成熟的年代，竟然發生潰壩，不僅震憾美國，也震憾全球的壩工界，顯示大壩安全技術還存在增進的空間，此為一個重大啓示。

肆、結論與建議

綜合以上，獲致以下結論：

- 一、阿利桑納州之年平均降雨量約僅為 100 毫米，水源為阿利桑納州發展的命脈，引用科羅拉多河豐富的水源，使屬於沙漠地形的阿利桑納州亦可獲得經濟發展的機會，人口持續成長，生活品質亦不斷提昇。可靠的水源，為建設發展的根本。
- 二、科羅拉多河長度 2,300 多公里，流域面積 62.9 萬平方公里，約為台灣河系之數十倍甚至數百倍，流域特性與我迥異。水源、水庫洪水操作及大壩安全管理等與我國亦有差異，惟大壩防洪操作與安全管理相關技術、觀念值得我們參考。
- 三、科羅拉多河豐富的水源主要來自於上游之降雪，雪水水質乾淨，融雪水量穩定，無暴雨沖蝕土壤問題，因此水庫之水質乾淨、水量穩定水位變化小。
- 四、科羅拉多河系統之水源年需求量為 160 至 180 億立方公尺，系統水庫容量高達 740 億立方公尺，水庫操作約以五年為一基期，超過五年的連續乾旱才會造成枯旱缺水，歷史資料顯示並未曾發生過超過五年的連續乾旱，因此水源可充分供應所需；新店溪系統水源年需求量約為 11 億立方公尺，有效庫容調節約 3.3 億立方公尺，水

庫操作頻繁，一年數次洪水操作，如遇枯旱則需即時的限水措施。

- 五、科羅拉多河長度長、流域廣、水庫容量大、水量穩定，防洪操作並非其主要課題，反觀，本水庫之防洪反應時間短約僅一、二小時，防洪決策與操作反應時間極短。
- 六、墾務局辦公室及大壩現場，皆有森嚴之保全措施，保全人員並配槍駐守。參訪人員需事先提出申請，且需提供附照片之身份證明文件。胡佛大壩之安檢，甚至比照國際機場之安檢規格。人員管制檢查措施及保全人員之配備規格皆高於本水庫。
- 七、經由技術交流所獲取的大壩潰壩教訓，彌足珍貴，記取教訓可以避免重蹈覆轍。造成潰壩的原因主要包括水位由壩頂溢流、修繕缺乏專業技術、大壩設施未妥善定期維護、壩址地質不良、忽視災害警訊、壩座遭人為破壞、設計施工缺失等等。
- 八、在提頓壩的潰壩案例中，由於電子媒體收音機及電視臺記者同步進行現場報導，大部份民眾即時獲得訊息而完成疏散，使得生命財產之損失減至最小，電子媒體在防災救災上佔有舉足輕重的地位。
- 九、重視災害的警訊，落實預警與防災應變可使災害的損害減至最少。由潰壩經驗教訓，顯示造成潰壩皆有重大的缺失，本水庫藉由此等教訓之檢討，可以完全避免憾事

的發生。

十、潰壩發生前，一定有徵兆或警訊之蛛絲馬跡可循，如滲流量超大、變位太大等，因此只要依照大壩安全檢查期程進行相關的檢查評析，注意長期監測數據所顯示出的異常變化，大壩安全可獲得保障。

十一、墾務局大壩安全部門之任務為「確保墾務局之大壩不致於發生對人、財產及環境不可接受之風險」，換個角度而言，墾務局並無法確保百分之百之大壩安全，大壩管理人員需致力於降低發生災害的風險。大壩以風險評估進行管理，值得本水庫參考。

十二、中樞阿利桑納計畫，由科羅拉多河引水至阿利桑納州的精華區鳳凰城，水路長度達 541 公里，沿途並設置 14 座大型抽水加壓站，工程浩大管理嚴謹，整個計畫從規劃、施工至管理皆值得借鏡。

十三、美國在歷次水庫大壩發生重大事故或潰壩後，均能經由各方專家不斷地調查、研究，直到事實發生之主因廣被接受為止，並將研究成果提供世界各國參考，避免發生類似之不幸。

綜合以上，提出以下建議：

一、穩定可靠的水源，為建設發展的根本。台灣北部地區近

年枯旱頻傳（2002、2003 年枯旱、2006 年新竹枯旱），不若降雨僅約 100 毫米之阿歷桑那州，顯示我們的供水環境尚需增進，若用水需求量預估將持續成長，中央水利主管機關應積極開發新水源。

二、區域水資源調度，可緊急支援地區性水源不足，惟輸水路若無法配合，即使有足夠水源也遠水救不了近火。翡翠、石門水庫供水區域間之輸水路工程應進行雙向支援之檢討與擴建，以達區域水資源調度的目的。

三、避免大壩設計者陷入某種迷思，水庫重大警訊的評析工作宜交由非設計者進行，或能更客觀，避免發生如聖法蘭西斯壩設計者一再忽視災害之情形。

四、大壩管理單位應重視壩區週遭重大工程對水庫安全營運之影響，避免發生如聖法蘭西斯壩壩座遭破壞，以致潰壩之情形。

五、為達成水源運用的最佳管理，有必要適時檢討各標的水權分配，如已廢耕的灌溉用水需回收等。

六、電子媒體在防災救災上佔有舉足輕重的地位，平時應建立良好互動關係，適時邀請媒體記者參訪水庫，促進對水庫的瞭解，建立防災的共識。

七、大壩安檢人員應按照大壩安全檢查作業規定及維護作業手冊，定期進行大壩安全檢查及各項設施維護，以確

保大壩安全。

八、大壩無絕對的安全，大壩安全需與時俱進。台灣地處環太平洋地震帶，水庫下游區域人口非常稠密，大壩安全更形重要，爲了能持續精進水庫大壩安全，未來有必要繼續加強與先進國家水庫大壩安全管理之交流。

伍、參考文獻

1. Development of Lower Basin Shortage Guidelines and Coordinated Management Strategies for Lake Powell ad Lake Mead Under Low Reservoir Conditions, Bureau of Reclamation.
2. Annual Operating Plan for Colorado River Reservoirs 2006, Dec. 12 2005, Bureau of Reclamation.
3. The Colorado River: Operations, Current Conditions and Issues, Mar. 2006, Boulder Canyon Operations Office.
4. Delivering Colorado River Water to Arizona, Mar. 2006, Phoenix Area Office, Bureau of Reclamation.
5. Annual Report of the Bureau of Reclamation 2002--A Century of Water for the West. 1902-2002, Bureau of Reclamation.
6. The Bureau of Reclamation's Legacy: A Century of Water for the West, Bureau of Reclamation.
7. Introduction of the Central Arizona Project, Central Arizona Project.
8. Reclamation's Water Resource Mission, Aug 2001 , Bureau of Reclamation.
9. Dams and Public Safety, 1980, U.S. Department of the Interior, Water and Power Resources Service.
10. <http://www.usbr.gov/>
11. <http://www.cap-az.com/>

陸、附錄

一、參訪相片集錦



附照片 1 參訪人員與墾務局下科羅拉多區技術交流人員合影



附照片 2 參訪人員聆聽墾務局下科羅拉多區技術人員簡報



附照片 3 壑務局下科羅拉多區人員聽取我方簡報



附照片 4
胡佛壩下游面，
照片下方為電廠

附照片 5

胡佛壩下游河道



附照片 6 戴維斯壩下游面，圖中橫跨河道攔索用於阻擋下游舟艇



附照片 7 戴維斯壩上游面，發電進水口



附照片 8 參觀戴維斯壩電廠



附照片 9 帕克壩下游面



附照片 10 帕克壩發電進水口前攔污柵



附照片 11 參觀帕克壩電廠運轉中心



附照片 12 與墾務局鳳凰城分區辦公室人員技術交流



附照片 13 聽取 CAP 人員簡報



附照片 14 CAP 運轉控制中心



附照片 15 CAP 設施之源頭（六部抽水機，揚程 250 公尺）



附照片 16 CAP 貫穿城市之水路

二、美方主要技術交流人員名片

RECLAMATION
Managing Water in the West

LEANNA PRINCIPE
*Team Leader
International Affairs
Denver Office*

Denver Federal Center
PO Box 25007
Denver CO 80225-0007

office 303-445-2127
fax 303-445-6322
cell 303-550-6336
email lprincipe@do.usbr.gov
web www.usbr.gov



U.S. Department of the Interior
Bureau of Reclamation

參訪行程美方
連絡人

RECLAMATION
Managing Water in the West

ROBERT V. WALSH
*External Affairs Officer
Lower Colorado Region*

PO Box 61470
Boulder City NV 89006-1470

office 702-293-8421
fax 702-293-8614
mobile 702-591-0029
email rwalsh@lc.usbr.gov
web www.usbr.gov



U.S. Department of the Interior
Bureau of Reclamation

下科羅拉多區
接待人員

RECLAMATION
Managing Water in the West

SCOTT FOSTER, P.E.
*Supervisor, Field Engineering
Group
Lower Colorado Region*


PO Box 61470
Boulder City NV 89006

office 702-293-8144
fax 702-293-8652
cell 702-521-5805
email sfooster@lc.usbr.gov
web www.usbr.gov



U.S. Department of the Interior
Bureau of Reclamation

下科羅拉多區
水庫管理人員

 **U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR**
BUREAU OF RECLAMATION

Aaron Thompson
Deputy Manager
LCDO Davis Dam

Davis Dam
Bullhead City, AZ 86429-9707
E-mail: athompson@lc.usbr.gov

Telephone: (928) 754-3621
(928) 754-3628
Cellular: (702) 218-7392
Fax: (928) 754-3669

下科羅拉多區
戴維斯壩現場
管理人員

RECLAMATION

Managing Water in the West

PATRICIA A. COX
Public Affairs Specialist
Phoenix Area Office

6150 West Thunderbird Road
Glendale AZ 85306-4001



U.S. Department of the Interior
Bureau of Reclamation

office 623-773-6214
fax 623-773-6485
email pacox@lc.usbr.gov
web www.usbr.gov

鳳凰城分區辦公室人員



CENTRAL ARIZONA PROJECT

23636 North Seventh Street • Phoenix, Arizona 85024
www.cap-az.com

LARRY R. DOZIER
Deputy General Manager

(623) 869-2377
(623) 869-2332 Fax
ldozier@cap-az.com

P.O. Box 43020 • Phoenix, Arizona 85080-3020

CAP 副總經理



Bob Navigato
Tour Representative

(623) 869-2134
(623) 869-2678 Fax
bnavigato@cap-az.com

23636 N. 7th St. • Phoenix, AZ 85024
P.O. Box 43020 • Phoenix, AZ 85080-3020
www.cap-az.com

CAP 資深操作人員，現負責技術交流



Crystal Thompson
Community Relations
Representative

Phone: 623-869-2138
Phone: 888-891-5795
Fax: 623-869-2678
e-mail: cthompson@cap-az.com

23636 N. 7th St. • Phoenix, AZ 85024
P.O. Box 43020 • Phoenix, AZ 85080-3020
www.cap-az.com

CAP 接待人員