

出國報告（出國類別：研習）

大壩修復及維護技術研習

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：黃楷淳 副工程司 李晟煒 副工程司 陳育志 工程員

派赴國家：美國

出國期間：103 年 6 月 7 日至 103 年 6 月 19 日

報告日期：103 年 8 月 28 日

附件

出國報告審核表

出國報告名稱： 大壩修復及維護技術研習			
出國人姓名 (2人以上，得以1人為代表)		職稱	服務單位
黃楷淳		副工程司	經濟部水利署南區水資源局
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 研習 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：103年6月7日至103年6月19日		報告繳交日期：103年8月27日	
出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審 核 項 目	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」)	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.建議具參考價值	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7.送上級機關參考	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(3) 其他 配合上傳機關公佈欄周知	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：	
出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)		計畫主辦機關 審核人	一級單位主管簽章
			

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「[公務出國報告資訊網](#)」為原則。

目錄

壹、目的.....	4
一、緣起.....	4
二、研習目標.....	5
貳、過程.....	6
一、行程與課程說明.....	6
二、課程內容摘要.....	8
(一) 美國墾務局簡介.....	8
(二) 大壩安全歷史背景.....	10
(三) 大壩災變事件的歷史教訓.....	11
(四) 大壩安全監測與評估之破壞模式識別.....	14
(五) 大壩安全風險分析與風險評估.....	15
(六) 緊急應變設施準備評估.....	16
(七) 大壩可能的破壞模式.....	17
(八) 大壩安全監測程序.....	18
(九) 堆填壩檢查.....	20
(十) 混凝土壩檢查.....	22
(十一) 工程研究試驗室與混凝土試驗室參觀.....	23
三、大壩現地參訪摘要.....	24
(一) Pueblo 壩.....	24
(二) Hoover 壩.....	34
參、心得與建議.....	45

壹、目的

一、緣起

水資源為萬物生命存續的三大要素之一，在台灣，吾人利用興建水庫來續存珍貴的水資源。惟台灣位處極端的水文氣候條件，每年的降雨量的南北及豐枯季分配不均，再加上地形條件東西短且地勢高程變化大造成河川坡陡、流水湍急等現象，使得降雨在短時間內即透過地表逕流注入大海，不易續存；另外台灣地質屬於較為年輕、鬆散的結構，在極端的降雨量沖刷下易伴隨嚴重的淤積現象，使得水庫的有效容量大幅減少，諸如前述的不利條件下，使得我國水資源保存與調度利用上極為困難。經過半世紀以來的評估與開發，國內的水庫密度已漸趨飽和，接下來如何著手進行既有水庫的更新改善、水庫定期的安全監測與修復等措施來延長水庫壽命，抑或透過自來水漏水率改善、新水源開發(如海水淡化)等作為來穩定水資源的供應，正是近年來政府極力推行穩定水資源供應的政策核心。

本年度出國計畫奉派前往研習單位為美國內政部墾務局(U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USBR)，該機構成立於1902年，主要為負責美國西部十七州水資源管理的聯邦機構，肩負美國近480座大壩、58座水力發電廠之操作、維護及安全檢查工作之任務。在大壩興建技術上，墾務局具有豐富的經驗，且提出多項可供依循的建壩設計標準，並定期舉辦國際性大壩安全評估相關研習，提供相關技術及經驗課程，俾參與研習之各國辦理水庫安全相關業務人員進行交流，藉以提升相關專業知識。

本年度「大壩修復及維護技術研習」出國計畫，係參加美國墾務局於103年6月10日至17日舉辦之「大壩安全評估國際研習會暨技術考察」課程，其內容第一部份主要為室內課程講習，包含美國墾務局的組織沿革、美國及其他國家的水庫歷史災變案例事件(含我國石岡壩)、大壩安全檢查程序、水工機械閘門的破壞案例與檢查機制、大壩潛在破壞模式、水庫安全營運、維護、監控和應急準備等，並安排參觀墾務局工程研究試驗室。第二部份則安排現地參訪Pueblo壩、Hoover壩等。

二、研習目標

本次研習係為美國墾務局專為水庫安全檢查及評估所舉辦之研習課程，與會人員為來自世界各地的水庫規畫設計、施工、安全監測及營運維護等從業人員。研習註要由墾務局推派具專業技術及經驗的講師，講授大壩安全評估之相關課題，並於室內課程結束後，安排兩座水庫的現地參訪-Pueblo Dam(土石和混凝土混合壩)及Hoover Dam(混凝土壩)，實地了解大壩安全之目視檢查與評估程序，有助於提升在大壩檢查、安全評估專業領域上的技術能力。

本研習參加人員來自世界各地，共計 15 國 31 位學員，本次研習課程除可吸收美國墾務局在大壩建造技術、各方面的監測與安全改善措施等豐富經驗外，更可藉由與各國學員交流之過程，熟悉其他國家在大壩安全及營運上之經驗，以拓展大壩專業技術國際視野，益於推展國際事務聯繫，俾利本署未來相關業務之推動。

貳、過程

一、行程與課程說明

本次行程係參加美國墾務局（Bureau of Reclamation）於科羅拉多州丹佛市舉辦為8天(6月10日至6月17日)之「Safety Evaluation of Existing Dam International Technical Seminar and Study Tour」(大壩安全評估國際技術研習會及參訪)課程，本署與會人員於103年6月7日由桃園機場啟程前往丹佛。本次研習會由巴西、加拿大、哥倫比亞、瑞士、巴拿馬、南非、南韓及台灣等15個國家共31人參與。研習課程安排如表1，第一週(6月10日至14日)為課堂講座及安排參觀墾務局工程研究實驗室與混凝土實驗室，在6月14日安排參訪Pueblo Dam。第二週(6月15日至17日)為現地參訪行程，15日即前往內華達州，16日為自由行程，17日參訪Hoover壩，並於當日結束課程。

表1 課程內容表

日期	內容	備註
6/7(六)~6/8(日)	路程(桃園-舊金山-丹佛)	
6/9(一)	丹佛資料整理	
6/10(二)	1.歡迎致辭、與會者自我介紹、壑務局簡介 2.大壩安全歷史背景介紹 3.大壩安全計畫概要 4.大壩災變歷史回顧與教訓 5.操作維護展望與注意事項 6.參觀壑務局工程研究試驗室與混凝土抗壓試	
6/11(三)	1.大壩安全監測與評估之破壞模式識別 2.大壩安全風險分析與評估 3.大壩安全之水文災變分析 4.大壩安全工作中地質師之角色概述 5.混凝土壩及附屬構造之非線性有限元素分析 6.歡迎會	
6/12(四)	1.混凝土壩與附屬結構物之改善 2.大壩操作標準步驟與新進操作人員訓練 3.大壩監測設備 4.分組研討:(1)地震災害 (2)緊急應變管理 (3)滲流與管湧	
6/13(五)	1.附屬結構物檢查 2.機械設備之檢查維護與測試 3.混凝土壩之檢查 4.堆填壩之檢查 5.現地考察之大壩簡介-Pueblo Dam 6.與會人員發表意見	
6/14(六)	赴Pueblo壩現地考察	
6/15(日)	搭機前往拉斯維加斯-內華達州，下午自由行程	
6/16(一)	自由行程	
6/17(二)	1.參訪Hoover壩 2.研習課程結束	
6/18(三)~6/19(四)	6/18資料整理、 6/19回程	



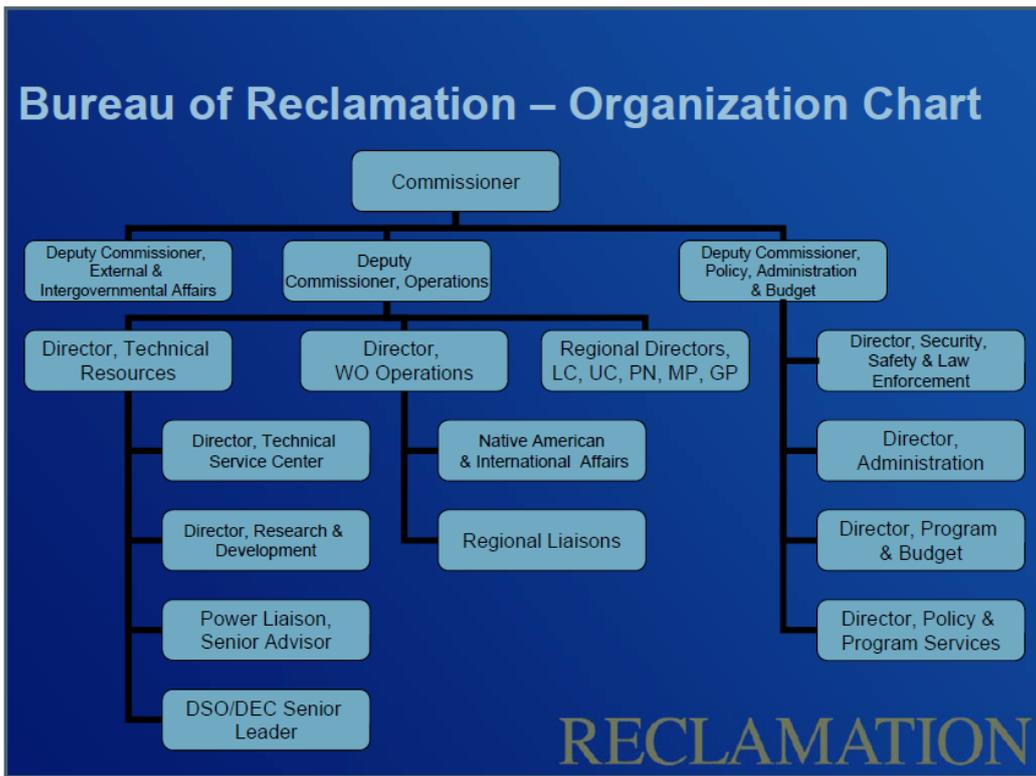
本次研習課程上課情形(美國墾務局-丹佛)

二、課程內容摘要

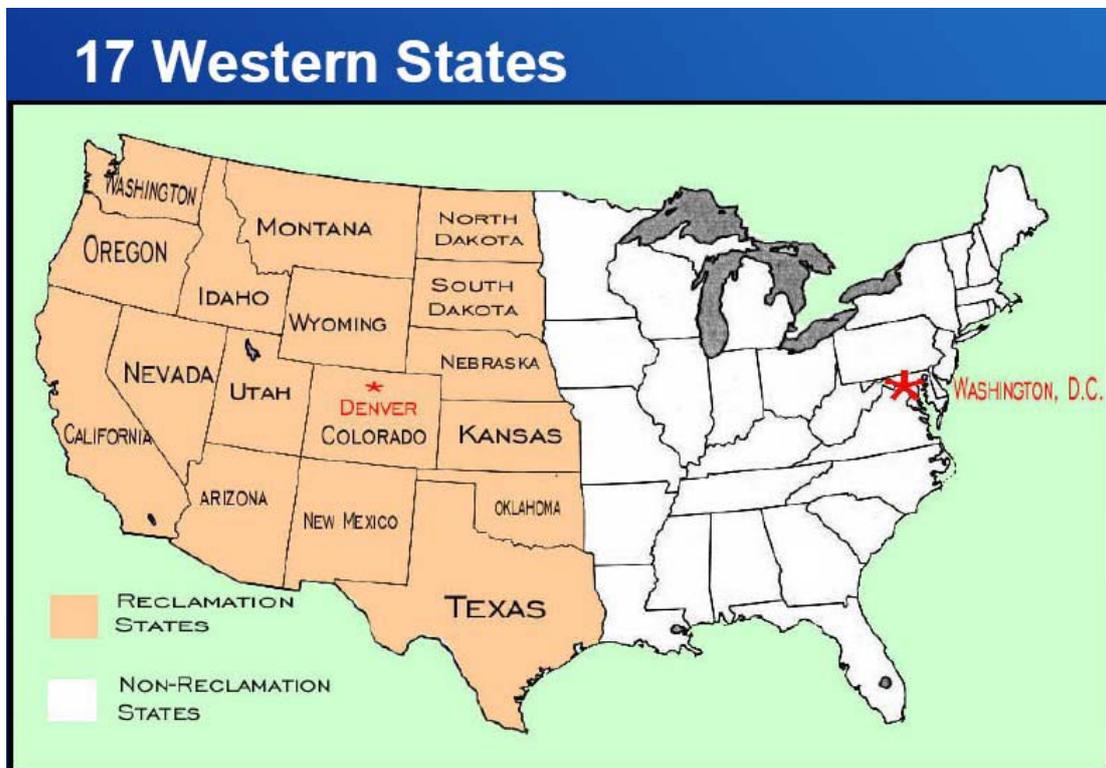
研習會與參訪行程計第1周(6/9~ 6/13)為課堂講座與討論計31小時，6月14日安排參訪Pueblo Dam。第二週(6月15日至17日)為現地參訪行程，15日前往內華達州，16日為自由行程，17日參訪Hoover壩，並於當日結束課程，本次研習課程的內容摘述如下：

(一)美國墾務局簡介

美國墾務局(U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USBR) 成立於1902年，附屬於美國內政部，係專責美國西部17州水資源管理的聯邦機構。除具有興建超過600座水庫的經驗外並負責美國400座以上水庫之操作、維護及結構安全檢查工作。是美國最大的水批發供應部門及第二大的水力發電生產單位，每年可供應3千5百萬人約40萬億公升的生活用水及工業用水，農業用水提供20%美國西部農民的灌溉用水，足使農民能夠生產全美國所需60%的蔬菜和25%的新鮮水果和堅果作物，營運中58座水力電廠提供電力計約40億千瓦/時，其水庫設施及營管還提供防洪減災效益，及其他的休閒、動物生態保護的效益。



美國墾務局的組織架構圖-摘自本次研習課程簡報



墾務局管理區域分布圖-管轄範圍分布在美國西部17個州郡-摘自本次研習課程簡報

(二) 大壩安全歷史背景

美國大壩數量約84,000多座，依壩的使用目的區分為休閒遊憩34%、魚類野生動物保護17%、防洪與航運16%、灌溉9%、公共給水8%、發電3%、其他14%。大多數建造完成於1950-1979年，2000年至今計興建完成2,290 座，大部份的壩興建的年代久遠，水壩的高齡化意味著許多設計概念和施工技術、設施等陳舊或老化問題。

在美國，大壩的擁有者分布百分比為69%屬私人、20%屬地方政府、5%屬州政府、4%屬聯邦政府、2%屬公共事業、未定者1%。紀錄中大壩變故對下游造成的災害，依災害等級的百分比統計資料為，68%為低災害，16%為高災害，15%有明顯災害。

下表簡列在美國著名的歷史災變案例及大壩安全的相關立法規範沿革：

年份	立法或規範項目	災害事件影響
1874	立法規範大壩建設	1874 年威廉堡壩(Williamsburg Dam)潰壩事件，造成 139 人死亡，當年度麻薩諸塞州立法規範大壩建設的相關規定。
1913	大壩安全程序	1911 年奧斯丁壩(Austin Dam) 潰壩事件，賓夕法尼亞州提出大壩安全程序。
1929	大壩安全法	1928 年聖法蘭西斯壩(St. Francis Dam)潰壩，造成 450 人死亡，加利福尼亞州與相鄰州等頒布。
1965	修訂大壩安全法	1963 年巴德溫希爾壩(Baldwin Hill Dam)潰壩事件，再修訂大壩安全法。
1972	國家大壩檢查法	1972 年 2 月水牛溪壩 (Buffalo Creek Dam) 潰壩，125 人死亡。1972 年 6 月峽谷湖壩 (Canyon Lake Dam) 潰壩，33 人死亡。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。
1977	制訂聯邦大壩安全準則	凱莉巴耐壩(Kelly Barnes Dam)潰壩，39 人死亡。
1978	全面檢查疑似高災害高壩	美國陸軍工兵團檢查 1972 年法案中所有非屬聯邦政府所擁有的壩，在 1978 至 1981 期間檢查 9,000 多座高災害壩，幫助很多州建立或改善其大壩安全計畫。
1979	制訂聯邦大壩安全準則	此準則之目標在加強國家大壩安全，提昇一致及全面性實務操作，提出壩址調查、設計、施工、操作與維護及緊急應變等規範。

1979	「聯邦緊急管理局」(FEMA) 成立	整合聯邦政府減災與緊急應變工作，包含潰壩緊急應變。「聯邦緊急管理局」協助聯邦及州之大壩安全計畫，資助大壩安全訓練及提供公眾與壩的所有者相關大壩安全之資訊。
1997	制訂公共保護大壩安全決策指引	評估和修改現有的水壩和設計新的結構時確保一致性的公共保護標準並將風險評估納入到大壩安全決策過程並於2003及2011均有修訂。

透過了上開的歷史沿革與相關的大壩安全評估規範建立，使得美國在大壩的興建與後續安全評估等技術能有今日的純熟。

(三)大壩災變事件的歷史教訓

依據西元1900年至1983年統計結果，美國超過50英尺(約15公尺)之水壩，潰壩比例如下：

- 1、1900－1930:600座壩有27座壩毀壞(比例為1/22)
- 2、1930－1960:1050座壩有3座壩毀壞(比例為1/350)
- 3、1960－1983:3137座壩有2座壩毀壞(比例為1/1568)

歸納其災變原因，其中因溢頂所致比例約為30%，因壩體本身或通過基礎滲流(Seepage)或管湧(Piping)所占比例約為50%，因基礎條件或其他因素所致約占20%；綜上可知壩體或基礎發生滲流、管湧而造成大壩潰壩實為災變事件之大宗。

以下分別介紹美國歷史著名的災變案例及所得到之教訓：

1、溢頂破壞事件介紹- South Fork壩潰壩事件

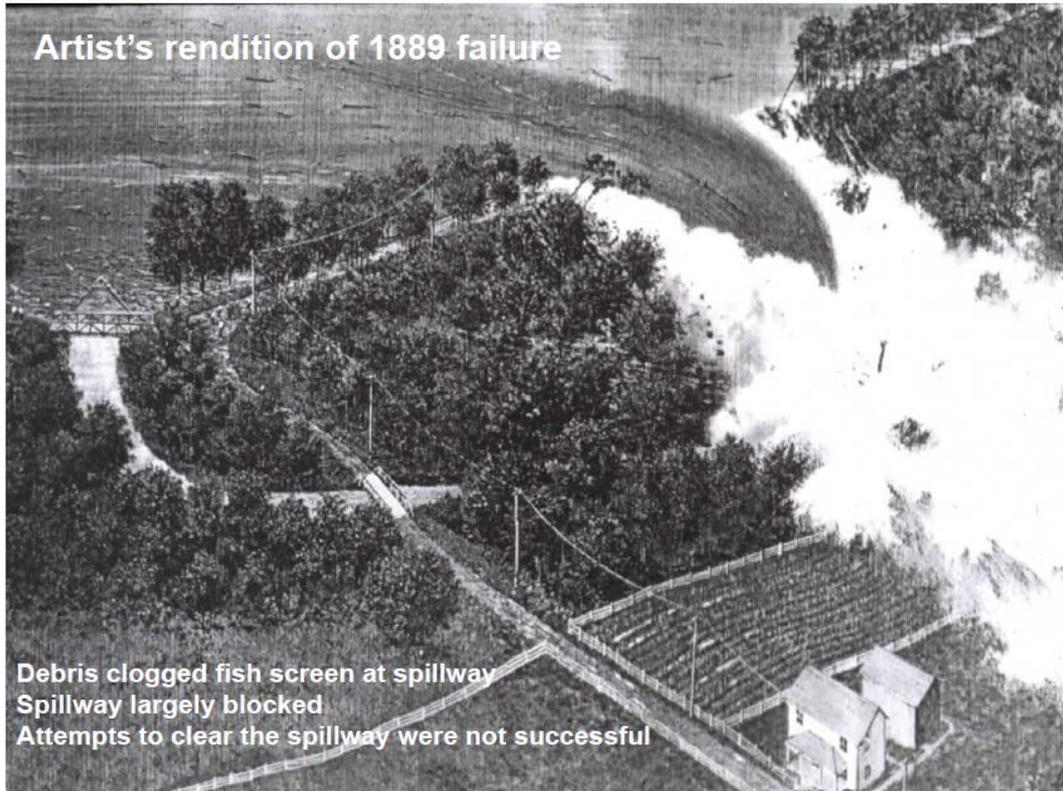
South Fork 壩位於美國Pennsylvania州Johnstown，為一座土石壩，其壩體跨越Conemaugh河，當初建造目的為提供從Johnstown至Pittsburg之運河運輸使用。

災變過程：1889年5月30至31日發生一場暴風雨，水庫達到滿水位開始洩洪，漂流木及垃圾移動到溢洪道前，致溢洪道無法及時排除而堵塞，管理單位曾企圖清除溢洪道之雜物，但未成功使得水位持續上升，最後終於溢頂，隨後大壩沖蝕毀壞，洪水波浪達9至12公尺高，潰壩洪水流過下游溪谷後溢淹Johnstown與其他較小社區。洪水水流大約在10分鐘內橫掃Johnstown，造成極大的災害，共計超過2,200人喪生，為美國歷史上重大災難事件。

災變原因：最直接的原因為壩無法負荷入流洪水，而出水工關閉及溢洪道阻塞為無法及時排除水流之主因。

災變教訓：

- A.大壩設計、修復及操作缺乏專業工程技術，將導致嚴重後果。
- B.未事先認知溢洪道可能阻塞導致溢頂，無法及時因應改善。



South Fork Dam, 1889年5月31日暴雨致使水庫水位溢頂(摘錄自墾務局簡報)



South Fork Dam潰壩造成2,209人死亡，房屋倒塌漂流木流入城鎮(摘錄自墾務局簡報)

2、管湧破壞事件介紹- Fontenelle壩

Fontenelle壩位於懷俄明州(Wyoming)西部Green河，於1964年建造完成，壩高39公尺，壩長超過1.6公里，為一座土石壩。

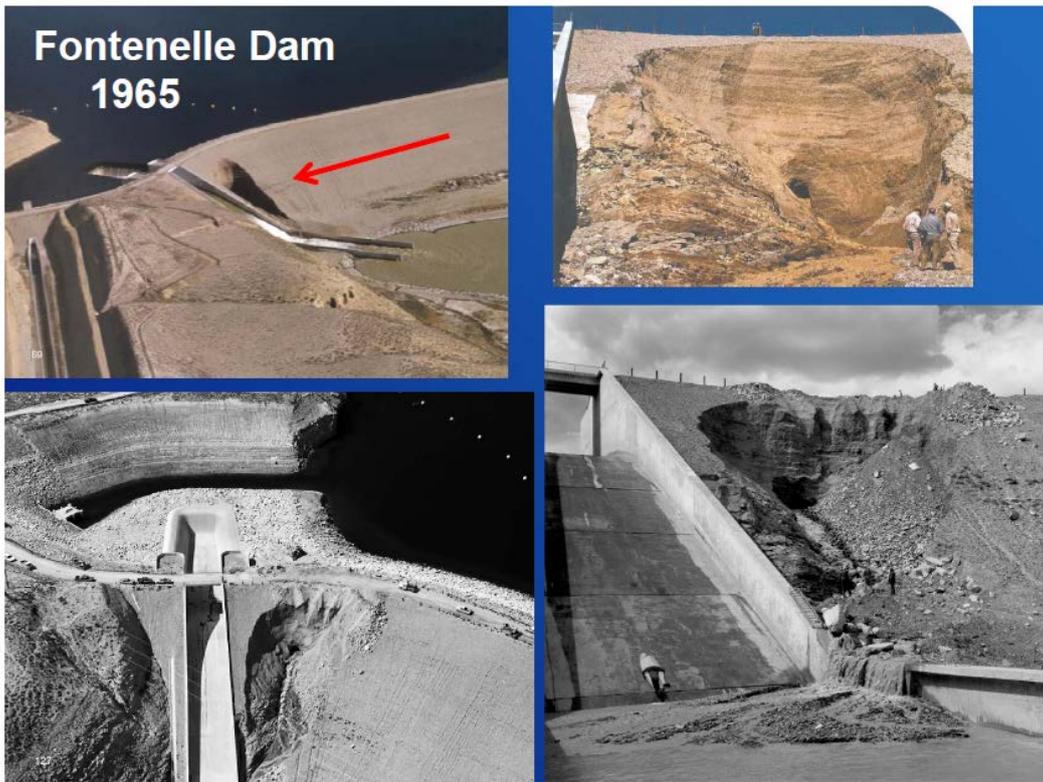
大壩建造期間，在溢洪道入口區域發現一些接縫開裂及裂縫，這些裂縫角度朝向壩座下游面發展，為了避免滲流，沿著溢洪道入口區域進行了灌漿處理，並增設不透水層。

災變情形：在1964年夏季水庫初次蓄水，當水位達15公尺深時，大壩下游側600公尺處發生滲流，便停止進一步蓄水，直到滲流穩定值約170公升/秒，且滲流位置離下游面還有一段距離故當時並不認為具有進一步危害，並於後續持續蓄升水位。蓄升水位後，滲流區域滲水持續增加，並發現鄰近右壩墩溢洪道出水管附近出現新的滲水點，隨後在左壩墩下游910公尺處亦發現滲水點。隔年夏季，降雨量較以往高，水庫水位僅差0.6公尺就達滿水位，溢洪道開始操作，在此高水位情形下，滲流量約1,980公升/秒。1965年9月3日早晨，大壩壩體下游面靠近右壩墩位置出現一處濕潤點，中午時，滲水由濕潤點處開始流出，開始形成侵蝕與泥坑，當日晚上，該處滲流量已增加至140公升/秒。隔天早上，滲流水增加至590公升/秒，超過7,600立方公尺的壩體材料已經被帶出壩體下游坡面。在此同時，出水工出口被圍堰阻擋，正辦理修復中。當時立即移除圍堰以使用出水工降低水位，並對滲漏位置坑洞進行填補處理。9月5日早上，滲水量沒有進一步增加，滲水孔洞填補似乎止住了壩體進一步侵蝕，然由於填補孔洞造成水流由更高高程位置滲出。9月6日早上，壩頂突然發生6公尺直徑範圍的坍塌，坍塌高度達到9公尺，此時壩座交界岩盤已經出露，此時水沿岩盤裂縫滲出，後續進行坍塌填補後已沒有進一步坍塌，蓄水位開始以每天1.2公尺速率降低，滲漏點也開始降低滲水量直到完全停止滲漏。

災變原因：滲流透過壩墩交界從下游面流出為主因，顯然壩墩灌漿處理沒有發揮效果。首先，岩隙裂縫之沉積及可溶性材料可能影響灌漿效果，此外，在陡峭的壩墩很難達到適當的灌漿效果，因為須使用低壓灌漿以避免造成基礎位移。

災變教訓：

- A. 土石壩採黏土材料可以抵抗滲流造成之侵蝕情形。
- B. 滲流水體積大小與壩墩岩盤裂縫大小有關。
- C. 基礎處理是非常重要的。
- D. 水庫應設置緊急出水設施，能夠迅速降低水位。
- E. 在災變未發生前所顯露異常情形，若未完整調查且進行充分討論研擬對策，可能造成後續更大災害。



Fontenelle Dam的管湧致災照片，發生在壩墩交界(摘錄自墾務局簡報)

(四)大壩安全監測與評估之破壞模式識別

美國墾務局從1994年開始藉由「性能參數」的系統計劃來評估其重大危險水壩，為要實現效率與效能的大壩安全監測工作。有關性能參數的過程包括以下步驟：

1. 確認最有可能的大壩破壞模式
 - (1) 堆填壩的管湧或壩堤核心材料地下侵蝕
 - (2) 混凝土壩基礎失敗
 - (3) 堆填壩洪水溢頂
 - (4) 堆填壩地震相關的破壞
 - (5) 混凝土壩洪水引發的破壞
 - (6) 混凝土壩地震相關的破壞
2. 確認關鍵監測參數
3. 確認預期與非預期表現

簡言之性能參數的程序和文件是為了協助我們如何以現今的大壩安全的觀點，對於未來的大壩應怎樣做出妥善的照顧。

步驟 1— 確認最有可能的大壩破壞模式

第一步審慎檢查現場具體資訊：

- (1) 現地地質條件
- (2) 大壩和附屬結構物設計功能

- (3)施工方法和記錄
- (4)歷史記錄，根據儀表數據和目視檢查
- (5)現況設計地震和洪水的負荷
- (6)迄今完成的大壩安全分析工作

步驟 2— 確認關鍵監測參數

第二步是在看每一個可能潛在的破壞模式並提問：「應該看什麼樣的線索，以檢測這種破壞模式的可能發展？」，線索可以分為兩類：

- (1)那些提供可能發生破壞模式的預警?
- (2)顯示現有的破壞模式的發展的有利條件。除了指定應監測哪些參數，如何測、在哪裡，監測頻率也需要建立，從效率和可信性的監控程序的觀點出發並就大壩現有監測設施評估做出持續保留、暫停、新增調整等監測程序。

步驟 3— 確認預期與非預期表現

此階段過程的目的是使現場工作人員能夠有效率執行例行監測程序，定義現場工作人員進行相關例行目視檢查工作，並於需要時及時回報並評估，且定義儀表監控讀數，什麼的讀數屬預期行為的界限，什麼樣的讀數應及時檢查並進一步調查。

(五)大壩安全風險分析與風險評估

據墾務局統計目前該局管轄中的水庫，共有371座面臨安全威脅的高壩。其中，這些水庫中超過50%的水庫已營運50年，許多大壩所面臨的洪災和地震條件已越來越嚴峻，下游的居住人口也日益增多，這些都是大壩在營運後面臨的安全風險，並且應視需要提出相關改善建議。

1. 透過風險分析處理大壩安全議題，其目的如下：

- (1) 對於導致大壩失敗的因素有更好的認識。
- (2) 對於改善工程可以提供量化的數據判斷。
- (3) 對於相關改善措施提供指標以評判和者須優先進行。

2. 大壩安全風險分析的步驟如下：

(1) 確定大壩破壞模式：

此步驟在風險分析過程中最為關鍵，如果針對大壩潛在破壞模式評估錯誤，則其風險分析的價值將無法彰顯，另外潛在破壞模式亦可能會隨時間而改變，例如大壩結構隨時間老化、新的負荷條件，大壩下游人口數變化等等。

(2) 確定所關注的負荷條件及發生頻率。

此項應全面檢視負荷條件，而不只是僅限於極端負荷條件，此外洪水頻率分析、地震危險性分析資料應經由專家進行評估。

(3) 評估破壞的可能性。

(4) 評估可能造成生命財產損失。

人命損失會隨著時間、大壩下游人口數的增加及可預警時間而變化，尤其在人口

密集的大城市，涉及疏散計畫是否具有效率、居民機動性等，其損失更為難以估計。另外經濟損失部分包括下游的結構損害、基礎設施的損失、大壩重置成本等。

- (5) 計算風險，並確認其不確定性。
- (6) 檢驗所得之結論。
- (7) 針對個案狀況並提出改善建議。

(六) 緊急應變設施準備評估

緊急應變設施完善程度與對應緊急事件的應變能力息息相關，緊急設施準備係為了減少特殊事件災害所造成的生命及財產損失。緊急設施準備主要因下游生命財產損失風險程度分級：低度、中度及高度風險等有所差異，惟通常考量下列項目：

1、現地交通條件：不僅包含現地操作人員在各種惡劣環境下進入大壩進行機電設備操作，還包含緊急情形下確保各種修復設備材料之運送通道，可降低大壩破壞之災害。

2、安全管制機制：避免有心人士破壞相關設備。

3、現地常規：包含緊急管理原本所需具備之相關事項：

(1)標準作業程序:包含各項操作維護工作之相關手冊、準則。

(2)緊急應變計畫:發生地震、洪水事件致結構或設備安全產生問題時之處理方式。

(3)操作維護日誌：內容須包含大壩各項操作維護紀錄，設施檢查與觀察到之異常狀況均應詳實記錄。

(4)操作維護訓練：對大壩管理人員之操作維護訓練非常重要，可確保操作人員了解如何操作維護及對緊急狀況做出應變。

(5)緊急應變設備：適當之緊急應變設備需包含：

A.通訊系統：合適的通訊系統需在緊急及不利情況下發揮作用，須提供負責緊急操作之人員或團隊所需之通訊服務。

B.警報系統：大壩需有機電設備之警報系統以使在現地或遠處之員工對發生不利事件有所警覺。

C.輔助的電力系統：當主要的電力系統於特殊事件遭受破壞時，輔助的電力系統必須發揮作用。

D.遠端操作設備：係指在大壩現地以外地點操作設備能力，如操作溢洪道閘門等。

E.水位急洩降設施：通常在一緊急事件當中，為確保大壩安全，在最短時間內洩降水位是非常重要的，一般須具備高程較低的出水設施。當大壩可能破壞時，緊急應變設施及緊急應變計畫運作相當重要，身為水庫管理者，平時就檢討所管水庫發生緊急狀況之應變設備是否可發揮功能，管理人員是否可依據相關應變計畫進行妥適的應變

作為，透過平時的準備、檢討與演練，才可於災害真正發生時降低生命與財產的損失。

(七)大壩可能的破壞模式

- 1.堆填壩的管湧或壩堤核心材料地下侵蝕歷史的記錄到目前為止，堆填壩最可能發生的潛在破壞模式是在沒有極端的負荷條件下，由於地震或洪水造成管湧或壩堤核心材料地下侵蝕的威脅。
- 2.混凝土壩基礎失敗
歷史經驗表明混凝土壩的潛在破壞模式為大壩基礎的失敗，混凝土重力壩需要有適當的岩磐基礎支撐，拱壩壩墩提供的高負荷支撐顯得尤為重要，基礎支撐的失敗可能導致混凝土壩失敗。
- 3.堆填壩洪水溢頂
 - (1)洪水溢頂侵蝕壩頂和下游坡面等。
 - (2)水位峰值低於壩頂，(splash over)由於風和水波造成侵蝕。顯然柏油路壩頂和下游坡拋石護坡會減少這種破壞情境的風險。
 - (3)水位峰值僅低於壩頂，水經過心層上之透水料層流過侵蝕心材，最終導致水壩潰決。
 - (4)通過溢洪道（或出水工）的高流量導致的侵蝕破壞消能池，洩槽結構。侵蝕和損害其工作方式，向上游壩頂結構，直到最後的結構完全損壞不受控制的釋放水庫蓄水。
 - (5)高流量經溢洪道（或出水工）未適當導引遠離壩趾部，導致壩堤侵蝕最後壩體破壞。
 - (6)高流量通過溢洪道（或出水工）由於穴蝕(Cavitation)造成的侵蝕和損壞的結構。
 - (7)高流量經溢洪道可能越過洩槽或消力池的牆壁和侵蝕相鄰堤基材料，相鄰材料的侵蝕可能造成朝向水庫的溯源侵蝕。
- 4.堆填壩地震相關的破壞
 - (1)由於地震導致壩頂降低和壩基在一個或多個地點的基礎變形，可能是由於壩堤液化或基礎材料變形。壩頂變形後水庫水位可能溢流過壩頂迅速導致壩堤潰決。
 - (2)由於地震的晃動（或斷層位移）導致壩體路基或基礎變形，產生橫向裂縫導致滲流侵蝕，這種情況可能會迅速地侵蝕壩體造成大壩潰壩。
- 5.混凝土壩洪水引發的破壞
混凝土壩壩頂溢流造成高流量侵蝕大壩附近接觸的基礎。這種高流量侵蝕可能破壞大壩基礎支撐與結構強度最終造成大壩潰決。
- 6.混凝土壩地震相關的破壞
 - (1)地震搖動可能使基礎的滑動被觸發或活化。其破壞的方式可能是不穩定的極端荷載下發生，也有可能是在穩定的靜態加載條件下發生。

(2)地震搖動導致高剪應力和減少混凝土壩體正常應力，如果上舉力線是弱結合或未結合，大壩下游側的上部可能會發生相對於大壩的基礎的滑動。

(3)地震產生大壩高張應力，導致混凝土開裂嚴重。在極端的情況下，開裂是足以使壩的一部分（通常是上的中央部）的滑動和破壞。

(八)大壩安全監測程序

1.例行現場工作人員目視檢查

檢查清單的形式通常具體到符合每個水壩的需求，列出任何問題回答“是”，即意味著與前次檢查不一樣的情況已經注意到，需要進行調查。

2.例行儀器監測

要在所有可能的範圍內訂出規定，使儀器所讀取的數據在預期的行為的限制內可以被檢驗。

3.專家的定期檢查

這是一個以“全新的眼光”來看待的異常現象的機會，特別是在於破壞模式可能不是當前一般檢測所關注的焦點。此外這也是一個極好的機會可與現場人員討論其所關注的破壞模式，並協助他們解決執行例行的目視監控所遭遇問題。

May 12, 2008

ONGOING VISUAL INSPECTION CHECKLIST SAMPLE DAM

Schedule: Three times per day (early morning, mid-day, and late afternoon) when the reservoir elevation is above 2015.0 feet; daily when it is between elevations 2013.0 and 2015.0; and monthly when it is below elevation 2013.0, as indicated on the "Schedule for Periodic Monitoring (L-23)". Additionally, perform immediately following a significant earthquake in the vicinity of the dam (estimated peak horizontal acceleration at the damsite greater than 0.05g), and following a major flood event.

Inspector: _____ Date: _____

Reservoir Elev.: _____ feet Time: _____

Weather: _____ Temperature: _____ °F

A "YES" response should be given to question(s) below where observed conditions are different than previously observed conditions. Re-reporting conditions that have previously been reported and currently are unchanged should not be done ("NO" answer would be appropriate). For any question answered "YES", please provide additional information describing the situation as completely as possible under item 6, "Additional Information." Also, take photographs of the situation, and include with this report.

1. Upstream Slope of the Dam:

- a. Any significant erosion or beaching due to wave action? No Yes
- b. Any sinkholes, sloughs, or areas of unusual settlement? No Yes
- c. Any evidence of whirlpools in the reservoir? No Yes

2. Dam Crest:

- a. Any cracks, either transverse or longitudinal? No Yes
- b. Any sinkholes, depressions, or areas of unusual settlement or deformations? No Yes

3. Downstream Slope of the Dam:

- a. Any new seepage areas or wet areas, or changed conditions at existing seepage or wet areas? No Yes
- b. Any evidence of materials being transported by seepage flows (such as discolored water or sediment deposits)? No Yes
- c. Any sinkholes, depressions, sloughs, slides, or areas of unusual settlements or deformations? No Yes
- d. Any bulging evident, particularly near the downstream toe? No Yes

4. Downstream Toe Area, Areas Downstream of the Dam, and Downstream Abutment

Areas:

Note: Extend the inspection to all areas within 100 feet of the toe and groins of the dam. Pay particular attention to areas near the concrete water control structure of the spillway and to areas near the alignment of the two abandoned water supply pipes (intake structure is visible in the reservoir).

- a. Any new seepage areas or wet areas? No Yes
 - b. Any changes in conditions at any existing seepage areas or wet areas? No Yes
 - c. Any evidence of materials being transported by seepage flows (such as discolored water or sediment deposits)? No Yes
 - d. Any evidence of seepage emerging in ponds downstream of the dam? No Yes
 - e. Any sinkholes, depressions, or areas of unusual settlement? No Yes
- 5. Spillway:**
- a. Any new or enlarged cracks, or spalls in concrete? No Yes
 - b. Any evidence of unusual deformations or displacements? No Yes
 - c. Any evidence of depressions adjacent to the spillway walls? No Yes
 - d. Any seepage emerging through cracks or joints in the walls? No Yes
 - e. Any evidence of materials being transported by seepage flows emerging through cracks or joints in the walls (such as discolored water or sediment deposits)? No Yes
 - f. Any unusual flow patterns observed when discharges are occurring? No Yes
 - g. Any evidence that excessive erosion is occurring during major discharges (such as observations of turbid downstream water that exceeds expectations)? No Yes

6. Additional Information:

Provide additional information concerning any of the above questions that were answered "YES":

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.

(九)堆填壩檢查

堆填壩優於混凝土壩的有二部分，壩址地形和經濟面。壩址地形－混凝土壩需要有能承載荷重壩基和壩墩，而堆填壩可以在許多無法建造混凝土壩的地點興建。經濟面 - 堆填壩通常就近取用壩址附近的材料，這樣的建造成本比大體積混凝土施工是相對少的。堆填壩的主要缺點是，如果壩頂溢流會造成潰壩損壞。

大壩的安全評估檢查者藉由了解大壩的設計和建造過程，在檢查過程特別警覺的

檢查大壩的某些功能或不足地方，因此檢查之前簡要了解壩的設計和施工特點將有助於檢查的執行。

1. 堆填壩檢查技巧

(1) 查看的整個壩堤的表面區域

檢查的目的是要找出不足之處或可能影響大壩安全的疑慮。因此，重要的是查看的整個壩堤的表面區域，來回多次走在上下游坡面和壩頂，清楚看到整個表面區域。並在規律地往返檢查過程中停下腳步環顧四周各個方向，從不同的角度觀察其表面。

(2) 從遠處觀看上下游坡面

從遠處觀看也可能揭示一些異常如扭曲的路基表面和植被的微妙變化。通常這些類型的變化在近看時並不易被查覺。壩堤與壩墩接觸的地方更應仔細檢查，因為這些地區很容易受到地表逕流侵蝕，更容易滲水。

(3) 檢測壩堤坡面的均勻性的變化

水庫水面和上游坡面之間的接線應平行壩軸線（如果大壩具有直的軸線）。非線性的水線可能表明坡面侵蝕或不均勻沉陷。

2. 堆填壩主要缺陷

(1) 滲流

滲流監控詳細記錄(筆記、草圖或拍照)事宜：

- A. 所有滲流出口位置
- B. 滲流率和水質清晰度
- C. 近期降雨造成滲流或實際滲流
- D. 觀測時之水庫水位

(2) 裂縫

A. 縱向裂縫(平行壩軸裂縫)跡象說明

- (a) 相鄰分區不均勻壓縮沉陷
- (b) 壩堤橫向張力過度擴散
- (c) 開始即不穩定的斜坡陡坎，可能出現弧形裂縫

B. 橫向裂縫(垂直壩軸裂縫) 跡象說明

- (a) 可壓縮壩堤材料覆蓋在陡峭的或不規則的岩石壩墩
- (b) 可壓縮材料在基礎位置區域

C. 乾縮(通常在壩頂與下游坡面)

- (a) 壩堤由高塑塑性粘土組成，在炎熱乾燥的氣候伴隨著長時間水庫空庫最易發生

(3) 不穩定(淺層滑動、深層滑動)

A. 淺層滑動

- (a) 下游坡面過度陡峭
- (b) 壩堤材料強度損失

B. 深層滑動

- (a)趾部有隆起現象
- (b)趾部有弧形裂縫產生
- (4)沉孔(Depressions)位於壩堤表面可能是局部或廣泛分布，可能引起
 - A.壩堤沉陷降低出水高度
 - B.上游坡面侵蝕引起拋石沉陷

(5)維護問題：

如果維護不足或被忽略，可能惡化成為大壩安全問題。

- A.護坡不足地表徑流侵蝕
- B.不適當植被
 - (a)過度的植被
 - (b)深根的植被
- C.動物的洞穴

動物的洞穴可以是危害大壩的結構完整性，並可能造成滲漏途徑

(十)混凝土壩檢查

1.混凝土壩失敗的主要成因

(1)出水高度不足

出水高度不足造成壩頂溢流導致潛在的基礎和壩墩侵蝕，可能誘發故壩座翻倒或滑動。

(2)壩基與壩墩強度弱化

壩基與壩墩強度弱化無法承載外加荷重，包括壩基壩墩因滲流造成基礎強度弱化。

(3)混凝土結構薄弱

由於最初的低強度混凝土或後續混凝土退化造成混凝土結構薄弱，導致的大壩無法承載外加荷重而破壞。

2.現場檢查要項

(1)壩基與壩墩

壩基與壩墩的區域往往是最難以檢查，陡峭的壩墩可以使用雙筒望遠鏡協助檢查。查看是否有裂縫、差異沉陷、滲水。

(2)壩體上下游坡面

仔細查看到整個表面區域之物理、化學變化及風化情況問題，避免其成為大壩安全問題。壩體下游坡面滲流區域應進行調查以確定水的來源。

(3)廊道（包括儀器和溝渠）

廊道結構是否有裂縫伴隨滲水情況，相關監測儀器數據成果與先前紀錄比對，以確定是否有不安全的變化或趨勢發生。

(4)壩頂

位移、沉陷、風化、物理、化學等問題最容易從壩頂區域查覺。

(十一)工程研究試驗室與混凝土試驗室參觀

墾務局工程研究試驗室與混凝土試驗室位於丹佛聯邦中心第56大樓的對面，主要從事水工結構物模型試驗及分析及混凝土的試驗與養護，服務對象除了墾務局所職掌工程需求外，也包含聯邦、州政府、地方政府、其他組織與私人企業。

本次研習安排6月9日下午參訪該試驗室，試驗室工作人員就現場相關試驗藉由展示潰壩紀錄試驗之影片播放與展版說明等方式進行導覽解說，現場並示範操作大型混凝土圓柱抗壓試驗機進行混凝土的抗壓試驗，並參觀了混凝土試體的養護室及水利建設的生態保育試驗說明。



潰壩試驗影片播放與現場解說照片-後方為土壩試驗完成後的破壞照片



大型混凝土圓柱抗壓試驗(500萬磅抗壓機)的試驗結果照片-混凝土試體已破壞



混凝土試體蒸氣養護室照片



美國的水利建設相當重視生態的保育，照片為鮭魚的幼魚，
用以進行魚道與水工模型的研究

三、大壩現地參訪摘要

本次研習課程，主辦單位-壠務局安排參訪兩座水庫，6月14日參訪位於科羅拉多州的Pueblo壩；6月17日參訪位於內華達州的Hoover壩。

(一) 韋布洛(Pueblo)水壩參訪

背景簡介

普韋布洛(Pueblo)水壩位於美國科羅拉多州，普韋布洛西方9.7公里處之阿肯色河上。建於西元1970-75年，總蓄水量4億4千萬 m^3 。為一前垛式巨積混凝土壩與土堤翼壩之複合式構造物，混凝土斷面長533 m，壩頂高程1501 m，壩體高76m，溢洪道長168 m，

使用混凝土399,100 m³，為少數幾個墾務局為防洪目的建造的水壩之一。



韋布洛(Pueblo)水壩參訪位置圖



韋布洛(Pueblo)水壩外觀圖

墾務局開發和管理中最重要之計畫之一為水壩安全性計畫。該計畫為承諾確保該機構在美國西部所興建超過350個蓄水壩與堤防之持續安全性的直接回應。

水壩安全性計畫於1978年隨著大壩開墾安全法案(Reclamation Safety of Dams Act)之通過而正式實施。該計畫的任務就是維護大壩以確保公眾的安全。這個任務透過三個主要元素來完成：

1. 在所有水壩上設置監測儀器進行監測；
2. 依據目前的技術和安全標準，定期檢查分析大壩；
3. 根據需要採用新技術實施安全性改進。

水壩安全性計畫也有具體的重點領域。其中一個領域是地震和地震荷載。地震工

程技術的不斷進步促進了對所有水壩更深入的了解，特別是在山區以及斷層帶。經由該領域的研究，工程師可評估在地震荷載時水壩之力學行為。這些研究結果以及建議經常發表於墾務局的報告中，過去有些報告可開放給大眾，但自2001年9月11日起安全協議已要求墾務局對所有大壩安全報告保密。

普韋布洛(Pueblo)水壩上及周邊設置的監測儀器超過150個，用以量測水壓力、滲漏以及壩體任何部位之位移。監測儀器並依預定的時間表每日，每週或每月進行檢查，以確保儀器之正常運作與監測數據之正確性。並根據當前的技術和安全標準，定期檢查評估及分析大壩。其頻率為1.每年一般性評估；2.每六年一次定期審查（比一般性評估更深入）；3.每六年一次全面性的檢討（最徹底的檢討，與定期審查輪替）。水壩安全性評估是普韋布洛(Pueblo)水壩生命週期中持續運作的一部分，為確保該壩之持續安全營運，墾務局持續地監測該壩和進行評估。

水壩安全性計畫中的一部分工作，經常是對水壩進行一些必要的物理性工程以維安全性。基於過去的檢查評估和分析結果，普韋布洛(Pueblo)水壩進行了多次技術更新。在1981年，於北堤的基礎增設穩定性護堤。1997年啟動了基礎排水清除計畫，並於1998年於北堤下游處安裝排水管，以收集和監測高水位時之產生之滲漏。另於1997年審查評估發現，大壩混凝土溢流壩段在高載重條件下(壩體後方之壓力)，有小機率滑動的可能。於是施行補強工程以預防滑動，包括：1.以滾壓式混凝土(RCC)填灌部分消能池。2.以岩栓將趾塊和基礎岩層進一步錨定。該補強工程如預期地成功解決了滑動潛勢問題。(資料來源:美國墾務局)

現地考察情形

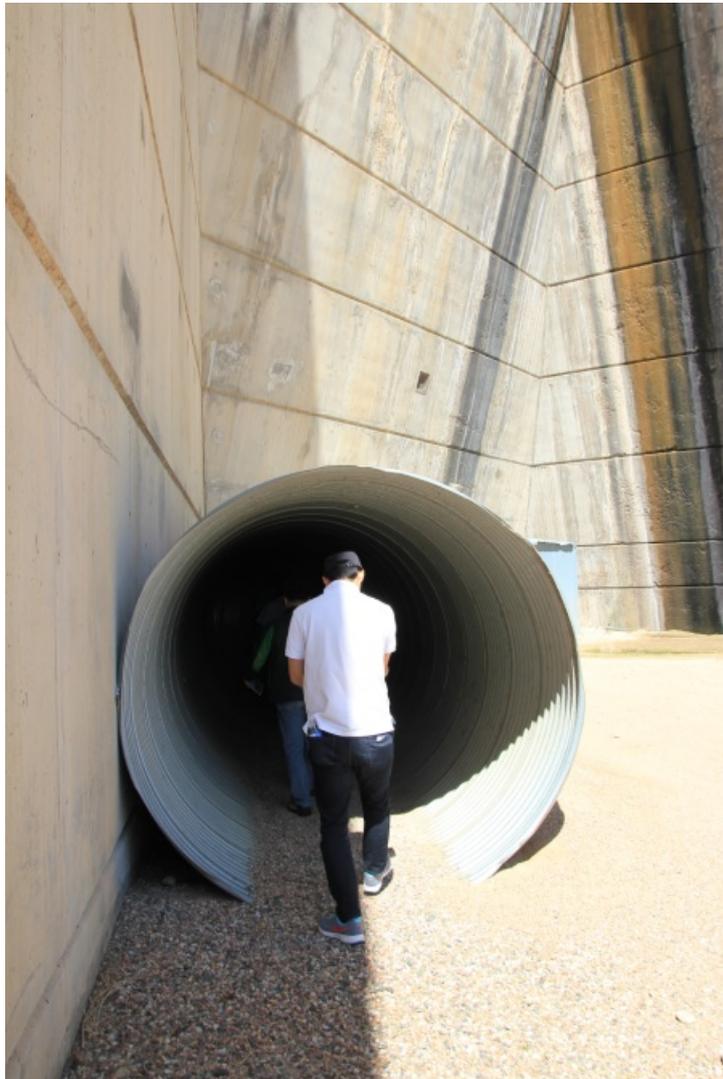
首先由丹佛市區搭車前往Pueblo水庫的位置，由墾務局人員進行水庫的基本資料與導覽路線及注意事項的解說。



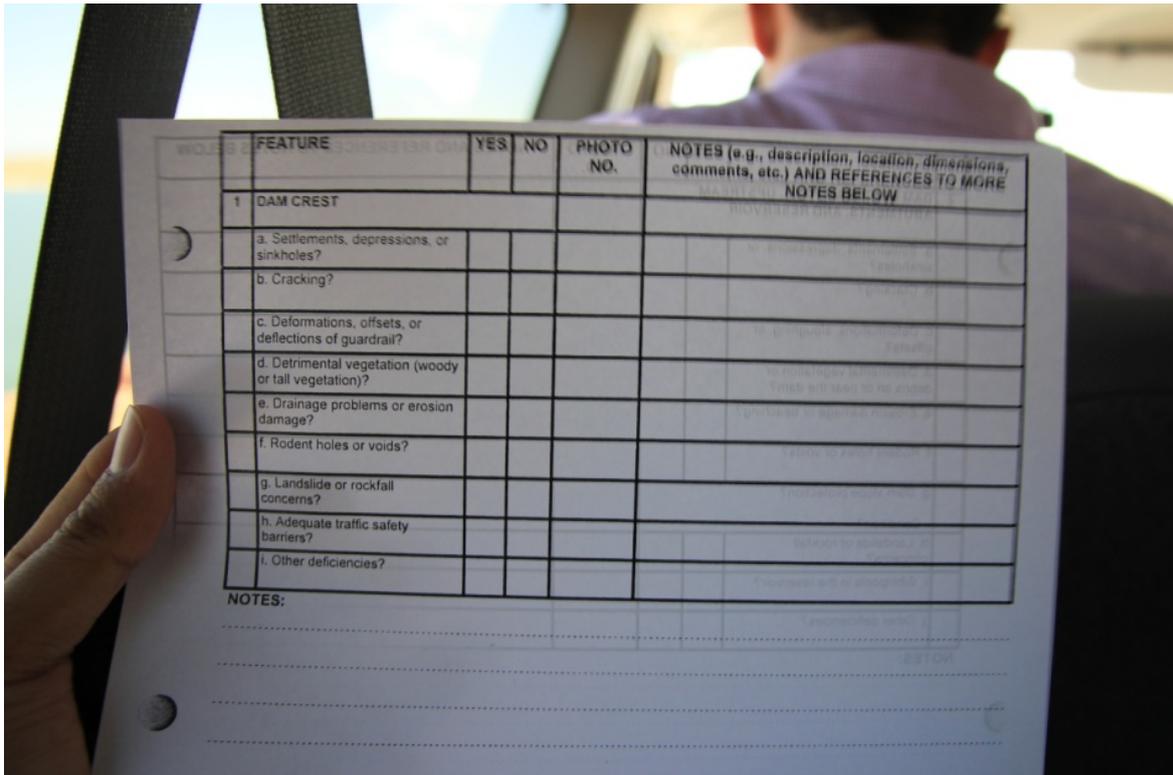
Pueblo水庫管理中心外觀



壩務局人員進行Pueblo水庫參觀前說明



進入Pueblo水庫內部參觀監控設施與水庫內部(內部不得拍照)



Pueblo水庫內部參觀後前往壩頂進行目視檢查程序解說，
圖為參訪當日墾務局發給的簡易目視檢查表



在Pueblo水庫內可以看見遊艇正在進行水上活動，
說明美國的水庫兼具遊憩等多面向的經營管理



心層碾壓土石壩上游面設置拋石層



壩體混凝土扶牆壩



心層碾壓土石壩下游僅殼層保護



混凝土收縮縫觀測變位



壩頂成排木樁觀測變位



在Pueblo壩頂發現的小洞，據壩務員人員表示此洞已存在數年
研判為小動物所掘挖的淺層孔洞，並不影響大壩安全



接著在Pueblo壩趾處的滲漏觀測進行解說，據壑務局講師表示，大壩的滲漏觀測可以瞭解大壩的滲水情形，如有流量異常，則宜搭配其他觀測數據確認，並及早依相關的處理程序進行改善。



我國代表與壑務局講師針對滲漏觀測等問題進行討論



最後進行Pueblo壩的坡面目視檢查，據壩務局講師表示，檢查方式一般以若干組人員同時分上、中、下邊坡等區塊，進行全面掃描的目視檢查。



Pueblo水庫內同樣擁有露營及戲水區，再次說明了美國水庫的多角化經營，圖為參訪結束後，學員們前往露營區用餐的照片。

在 PUEBLO 壩現地參訪發現該壩築壩型式為一半混凝土扶牆壩，一半為心層

碾壓土石壩，詢問墾務局技術人員表示其考量為經濟考量，因土石壩相對築壩成本較低，故只有在其中 168m 範圍設置混凝土扶牆壩以穩固河道放水口之射流閘門及相關水工機械等設施，餘壩長 531M 採心層碾壓土石壩以降低築壩成本。

另外於參訪過程中值得一提的是，可以在土石壩段壩頂發現其上游面有設置拋石層，而其下游面僅設置殼層以及壩址排水路，這與台灣一般大壩設計不一樣，此種不平衡的設計，經墾務局技術人員解釋，仍然是回歸到經濟的考量，原因是當地年平均降雨量在 600 公厘以內，以殼層料的透水性即可滿足當地的排水需求，爰僅於上游面拋石層保護，且於一般例行性的檢查，透過坡面的植生狀況，以及刻意設置之混凝土收縮縫、木樁等簡易設置即可很輕易的發現壩體是否有存在異常變位。

(二)胡佛(Hoover)水壩參訪

背景簡介

本壩由美國國營事業 Six Companies Inc.自 1931 年開始興建，於 1935 年全部完工，電廠水力發電機組於 1936 年完工，在興建完成後為當時世界上最大的混凝土壩。



胡佛水庫工期 1931-1935



興建公司簡介 Six Companies Inc

一直到現在仍然是世界知名的水工結構物，座落於鄰近內華達州的黑峽谷 (Black-Canyon, Nevada)，時至今日它仍然是美國國家歷史性的地標。胡佛水庫由國家制定法律定義其營運目標為防洪、調節科羅拉多河道以及改善航運、蓄水及灌溉、水力發電等目標，為一多功能水庫。灌溉面積超過 150 萬英畝，滿足國內亞歷桑納州、內華達州、加州等重要城市超過 2 千萬人的用水需求。

水力發電方面胡佛電廠每年發電量超過 40 億度，可提供國內 130 萬人用電需求，並於 1939-1949 年期間為世界上最大之水力發電機組，共有 17 組發電單元。胡佛壩體結構型式為混凝土重力拱壩，壩高 221.3 公尺，壩長 79.2 公尺，混凝土總用量為 260 立方公尺。大壩兩岸各設一座溢洪道，溢洪道總容量 11,330 立方公尺/秒，一共洩洪過兩次，一次是試用，而另一次才是正式洩洪。



位於右壩基之溢洪道



右壩基排洪隧道口



胡佛水庫各取水塔與大壩

現地考察情形

於美國當地時間 6 月 16 日搭乘墾務局專車由拉斯維加斯市區借宿飯店大約 40 分鐘車程前往胡佛壩所在地博爾德市(Boulder City)，由 93 號公路沿線兩側稀疏的植被以及裸露風化的山壁可見這是一個非常荒涼的市區，將近胡佛水庫第一站即是聯邦墾務局檢查站，站務人員很細心的上車檢查遊覽車上大小行李廂，不過人員因為本班為研習專班，並未檢查人員身分證，不過據說一般進入之旅客仍然必須檢查身分證以為身分識別；通過檢查站，繼續行駛更加荒涼的 93 號公路沿線。



映入眼簾的是壯闊的胡佛大橋以及成排連接大壩下游電廠與壩基後方高壓變電站之傾斜電塔，在這個風景稱不上優美的城市，以壯闊的橋梁工程以及大型的傾斜輸配電塔吸引遊客目光也稱得上是一個成功的行銷；隨後抵達位於右壩基之遊客服務中心，專班學員於遊客中心稍做休息後便開始今日參訪行程



2010 年 9 月完工之胡佛大橋



傾斜輸配電塔

進入遊客服務中心，吸引我的不是成群排隊的遊客而是進入胡佛壩參訪的價目表以及個人隨身行李的安全檢查，首先價目表中記載著胡佛壩入園費為每人新台幣 300 元，本次所安排參觀之電廠導覽費用為每人 450 元，相較於台灣的石門水

庫收取微薄的小型車輛入園費 80 元便可以無限暢遊，有著相當可觀的觀光收入；另外所有遊客於進入胡佛壩參訪前必須再通過各隨身行李的安全檢查站始得入園，這也是相較於台灣以觀光為導向的水庫來說，非常不足的一環。



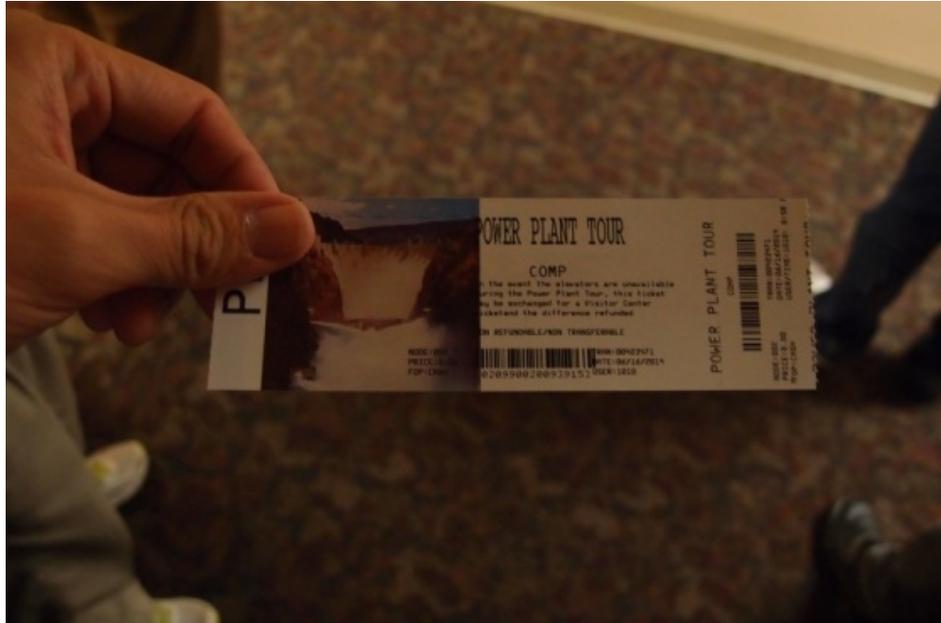
遊客中心安全檢查站



胡佛壩參訪價目表

本次專班墾務局提供學員參加電廠參訪行程，首先至遊客中心簡報室由墾務局人員說明水庫重要設施以及本日參訪行程，再行搭乘安全維修電梯抵達壩體下游廊道，經過廊道後抵達廊道簡報室，聽取胡佛壩重要設施現況簡報，之後前往電

廠發電機組室參觀發電機組配置，其中值得一提的是，由於美國西部近年來人口有逐漸上升的趨勢，因此用水量以及發電量逐年上升，墾務局人員為因應此情形，於近年完工兩部半載發電機組，以因應日後可能會發生的常態性低水位，以及發電機組壓力水頭不足之窘況。



電廠參訪門票



墾務局專人講解



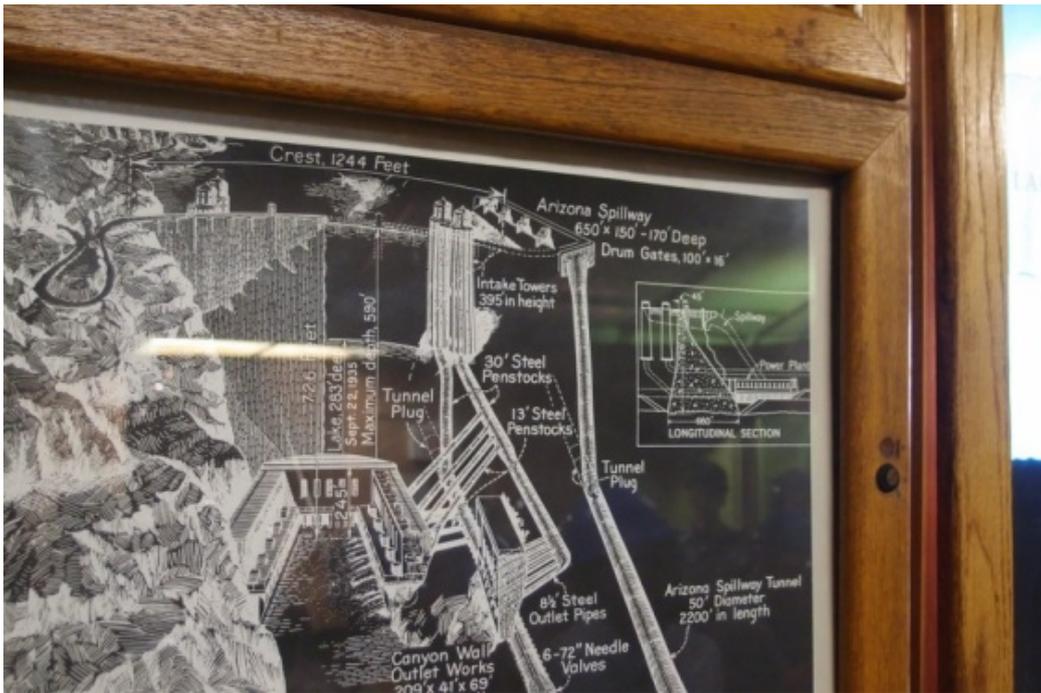
搭乘安全維修電梯



經由廊道抵達電廠簡報室



廊道簡報室聽取設施簡報



設施簡易配置圖



左壩基側發電機組



我國與會人員與壑務局技術人員合照



胡佛水庫的參訪結束後進行午宴，
在大家領取結訓證書後愉快的結束了本屆的大壩修復及維護技術研習課程
圖為本次參加學員的大合照

參、心得與建議

1. 墾務局營運下之水壩與水庫(ex本次參訪的水庫Pueblo壩等)，在不影響營運安全下進行多角化經營，如釣魚、水上活動及套裝參觀行程等，可為本國水庫水壩營運之參考，以便充分發揮水庫的功能性。
2. 大壩定期監測與檢測標準作業程序之建立與修訂，為水庫水壩安全營運之重要課題，本項課題在美國歷經了歷史上的災變，及相關技術的演進而建立了相當完善的制度，值得我國引為參循。
3. 我國的水資源取之不易，重大的水利工程目前皆面臨環保與開發的限制，建議有關單位能加強對國人之水資源宣導及水利工程興建之必要性相關資訊，俾喚起國人珍惜水資源之意識及對國內重大水利工程支持。
4. 目前台灣水庫的經營管理在相關的法令限制下(ex:自來水法的限制)，並不若美國的多樣性。建議在未來水庫規畫構想上，可納入評估發電、休閒遊憩(如遊艇、垂釣)、人工養殖、纜車觀光、景觀餐廳等多方面思考，並考量結合當地環境進行原生物種的復育及進行水資源保育的環境教育宣導，以求充分發揮水庫建設的效益，並獲取國人認同水庫工程的開發建設。
5. 目前台灣水庫興建後的安全檢查與評估，需依據「水利建造物檢查及安全評估辦法」規定進行啟用前的評估，及營運後的定期檢查。本項工作目前大多數由水庫管理單位辦理委託技術服務，進行相關檢查及定期撰寫水庫安全評估報告。惟對於管理機關內的專責人員的素質提升較為不利，建議各水庫管理機關可參考顧問公司與國外經驗(ex:美國墾務局)自行培訓工程人員，依據各水庫的水文、地質條件等進行汛期後或定期的現地目視檢查、相關閘門運轉操作功能確認等工作，避免過於倚重委外單位的技術並增加國人對政府單位專業程度的信心。
6. 水資源與人類的生命延續息息相關，相較於電力與油氣等資源，更是人類生存不得或缺的自然資源，所以水庫的重要性可見一般。而水庫的永續經營需要人為的方法與管理來加以配合，諸如上游河道淤積清除、水庫集水區的限制開發與山坡地的保育治理等等工作。近幾十年來台灣的經濟發展業有小成，觀光發展促得山區的開發(如溫泉飯店、精緻農業等)趨於極限，在921地震及極端水文事件的影響下，每逢豪大雨的侵襲，水庫的淤積問題就相當嚴重。舉例而言，莫拉克颱風重創南部地區的曾文、南化水庫，造成上開水庫的庫容量急遽減少及取水設施的損壞。是以，考量我國豐枯時期的降雨分配不均，水資源的存續皆仰賴水庫的貢獻，建議應提升水資源開發與管理維護工作之法律位階(諸如與環保、水保及土地法間的競合限制)，搭配通盤的檢討上、中、下游的治理配套作為(例如上游限建並自然復育、中游水保保持、下游防洪排水等)，以利水資源及水利工程的進行，俾使水資源的獲取與儲存，得以永續。
7. 本次參訪於室內課程結束前(6月15日下午)由台灣與會學員進行10分鐘簡報，內容為簡述本署北區近年來重大整治計劃-石門水庫及其集水區整治計畫相關源起與工程設置理念，主要簡報說明近年來颱風侵襲台灣強度日益劇烈，集水區降下豪

兩使上游集水區產生大規模土石坍塌，造成水庫淤積，影響水資源永續；本署整體因應策略為短期靈活調度現有取水設施、中期穩定供水、長期水資源永續之目標，以及在其中所設置之重大工程等相關背景介紹，引起學員共鳴，其中一位加拿大學員並表示台灣水資源開發所面臨到的困境是在其他國家無法想像。

8. 在本次課程最後的意見發表課堂上，與會的巴西及南非國家的學員均就該國的水庫監控與監測系統電腦化進行介紹，該兩國的水庫工程仍持續在推動，對於上開的監測設備埋設與管理方法的發展亦頗為先進，建議我國未來的水庫建設，除了美國建壩及管理經驗外，亦可多方參考其他國家經驗，引進相關的監控技術，俾我國水庫營運工作。
9. 水位溢頂為土石壩常見之破壞原因，參考在美國所發生的災變歷史經驗，我們可以知道，水庫排洪設施及洩水操作時機相當重要，尤其我國在98年經歷莫拉克颱風所挾之極端降雨，南部各水庫操作的難度更加提升。故我們更應重新檢視既有的操作規則是否足以因應極端降雨的來臨，期透過水庫適當之操作及足夠之排洪能力，來降低溢頂風險。
10. 在本次研習的課程中，有一門專述地質學家在大壩建設所應扮演的角色課程，講述地質學的應用可以幫助水庫建設趨吉避凶。可知水庫的選址及周遭地質條件的重要性甚高，在規劃階段就應妥為調查與評估，避免不良壩趾產生後續壩體安全維護的困難。另外，壩體會隨著時間而老化，在壩身孔洞、壩基滲流、壩墩的固結灌漿等等的檢查項目與頻率應再加強，並妥為收集與保存設計、施工及後續營運維護階段之各項圖說、施工照片、安全檢查及監測等資料，俾透過檢視之前的資料，以研判發生問題可能之原因。
11. 由本署學員參訪水庫過程，可以發現美國的築壩設計對於經濟這一層面的考量相較於台灣以安全為第一的保守設計來說，可以說是值得我們去思考學習的一個面向；以胡佛水庫而言，墾務局以 50 年回收築壩成本的目標訂立其營運的方針，而針對此方針進行其後續水利發電、觀光、供水等相關策略，由本次參訪中墾務局積極辦理面臨缺水時期發電機組更新改善、觀光周邊商品多元化設置以及旅遊套裝行程之建立，可見其極度重視工程後續所帶來的效益，相對於台灣來說，這個觀念是相當領先的。