

水庫設施更新與改善

許勝田 / 巨廷工程顧問股份有限公司董事長

台灣水庫設施的需求

根據民國 38 ~ 95 年統計的降雨資料，台灣年平均降雨量約 2,515 mm，相當於每年平均總降水約 900 億 m³，但此降水時空分佈不均。在時間方面，每年 5 至 10 月為豐水期，其餘月份為枯水期，在空間方面，南部枯水期與豐水期的差異遠較北部為大。圖 1 及圖 2 分別顯示北、中、南、東四區年均豐水期降水與逕流百分率，可見北部地區豐水期的逕流佔約 64%，但南部則高達 90%，在此自然條件下，為穩定供水必須有水庫設施以達「蓄豐、濟枯」之效。

參考文獻 [1] 的調查顯示，台灣目前年用水量約 180 億 m³，其中約 77 億來自地表逕流，57 億來自地下水，46 億來自水庫。依民國 98 年莫拉克颱風後的調查，台灣 17 座主要水庫的總容量如表 1，共 17.8 億 m³，即年水庫用水量約為水庫總容量的 2.6 倍。若以北部石門水庫為例，目前容積約 2 億 m³，但年供水量卻高達 8 至 10 億 m³，顯示其年使用次數需達庫容的 4 ~ 5 倍，方能滿足用水的需求。

台灣水庫面臨的問題及改善方針

依多年執行台灣既有水庫更新改善的經驗，筆者認為台灣水庫設施面臨下列問題：

庫容萎縮，供水能力降低

台灣由於地質年輕、脆弱，加上山高、集水區坡度陡峭，且主要降雨來自颱風、強度大、沖刷量高，容易造成崩塌，故颱風期間入庫水流含砂量高，又因水庫並無大型洩水底孔，多餘的入庫流量僅能經由水庫上層的溢洪道排放，由於重力作用，自然形成「水庫蓄渾水、溢洪道排清水」的現象，此即所謂「蓄渾

排清」的運轉，所得的結果是水庫淤積量大，庫容萎縮，供水能力降低。

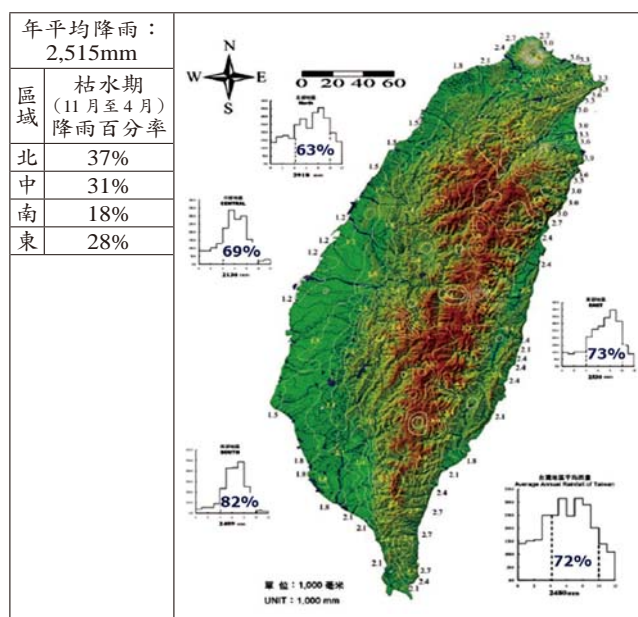


圖 1 台灣民國 38 ~ 95 年平均降雨分佈

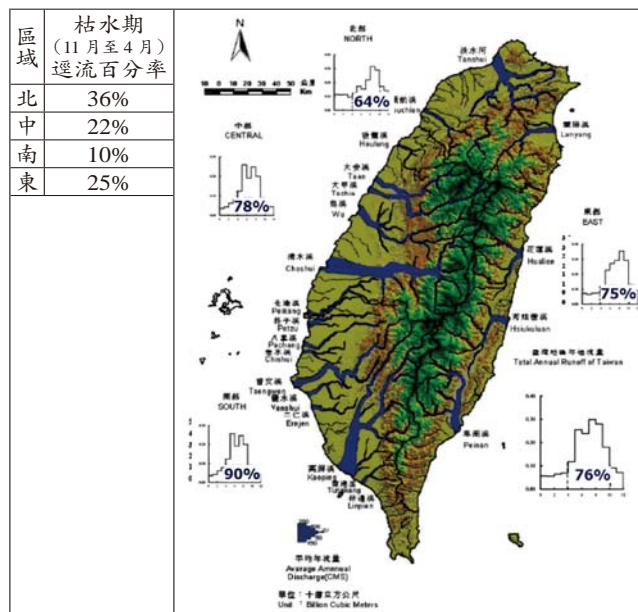


圖 2 台灣民國 38 ~ 95 年平均逕流分佈

表 1 台灣地區 17 座主要水庫容量統計

地區	編號	水庫名稱	完工當年總容量	98 年量測容量	98 年量測有效容量	標的	位置	備註
North 北區	1	新山	10.00	10.00	9.75	公共給水	基隆市安樂區	
	2	翡翠	406.00	382.87	335.51	公共給水、發電	台北縣新店市	
	3	石門	309.12	221.14	206.01	灌溉、公共給水、發電	桃園縣龍潭鄉	
	4	寶山	5.47	5.39	5.38	公共給水	新竹縣竹東鎮	離槽
Central 中區	5	永如山	29.58	28.67	28.10	灌溉、公共給水	苗栗縣頭份鎮	離槽
	6	明德	17.70	12.85	12.76	灌溉、公共給水	苗栗縣頭屋鄉	
	7	德基	262.21	201.37	152.03	發電	台中縣和平鄉	
	8	霧社	150.00	54.40	51.10	發電	南投縣仁愛鄉	
	9	日月潭	171.62	146.46	133.56	發電	南投縣水里鄉	離槽
	10	鯉魚潭	126.07	119.17	115.62	灌溉、公共給水	苗栗縣三義鄉	離槽
South 南區	11	仁義潭	29.11	27.10	25.81	公共給水	嘉義縣番路鄉	離槽
	12	蘭潭	9.80	9.78	9.25	公共給水	嘉義市	離槽
	13	曾文	712.71	491.59	491.59	灌溉、公共給水、發電	台南縣楠西鄉	
	14	南化	154.41	96.81	96.81	公共給水	台南縣南化鄉	
	15	烏山頭	168.83	80.23	80.23	灌溉、公共給水	台南縣官田鄉	
	16	牡丹	31.18	27.93	27.93	灌溉、公共給水	屏東縣牡丹鄉	
澎湖地區	17	成功	1.08	1.22	1.16	公共給水	澎湖縣湖西鄉	
合計			2,544.89	1,916.98	1,782.6	—	—	—

水庫的供水能力一般是指在某一缺水指數 SI (Shortage Index) 的供水量，近年來台灣新建或規劃中的水庫皆以 SI = 1.0 為評估依據，SI 之定義為：

$$SI = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - X_0}{X_0} \right)^2$$

式中， X_i 為年供水量， X_0 為年計畫供水量， n 為年數。

圖 3 取自參考文獻 [2]，該圖顯示南化水庫與高屏溪攔河堰聯合運用時庫容對供水能力的影響，可見在啟始庫容約 1.5 億 m^3 之情況下，其供水能力約 115 萬 CMD，目前庫容約 1.0 億 m^3 ，其供水能力降至約 80 萬 CMD，若水庫持續淤積，庫容降至約 5,000 萬 m^3 ，則供水能力將降至約 45 萬 CMD。圖 4 則顯示曾文水庫容與各期作供水量之關係 [3]，可見曾文水庫庫容對二期作供水量之影響較小，但對一期作則相當明顯，故若曾文水庫容持續萎縮，一期作休耕將經常發生，進而影響嘉南地區農業產值與社會經濟的發展。

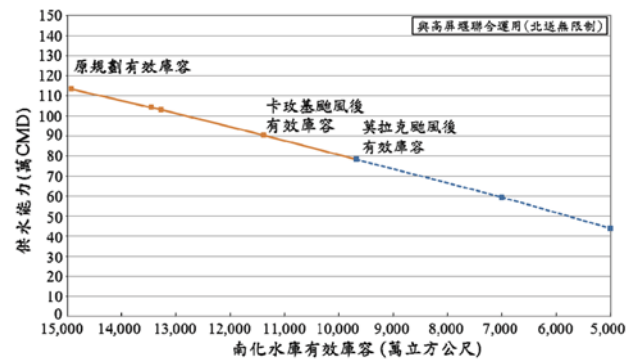


圖 3 南化水庫庫容對公共給水供水能力的影響

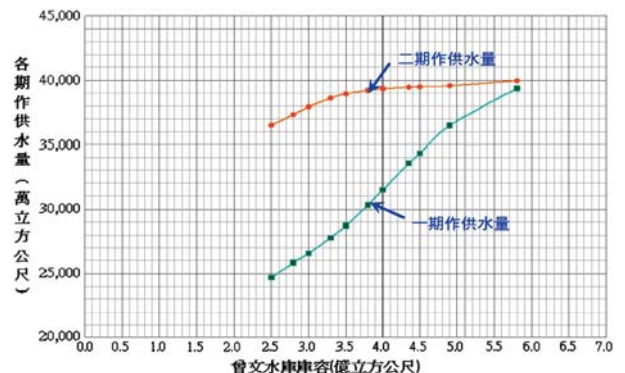


圖 4 曾文水庫庫容與各期作供水量關係

排洪能力不足

由於氣象資料的累積及計算方法的更新，台灣較早興建的水庫都面臨洩洪能力不足以排放最大可能洪水 (PMF) 的困境，而形成水庫安全的隱憂。

進水口堵塞

為防止大型異物進入取水口，水庫取水塔的進水口都裝置有攔污柵，經驗顯示若淤積面高於攔污柵，則水中潛流的樹枝或雜物，將聯同淤泥封堵攔污柵而降低水流断面，若淤積高程達攔污柵頂部亦可能妨礙取水功能甚或危及攔污柵的安全。石門水庫永久河道放水口 (Permanent River Outlet, 簡稱 PRO) 共有四片攔污柵 (由底部 EL.167.50m 至頂部 EL.180.50m, 單片面積 3.60 m (W) × 3.70 m (H)), 攔污柵因堵塞而持續放水操作導致壓差過大而遭破壞，頂部三片攔污柵扭曲變形的情况如照片 1 (至民國 104 年 6 月底第四片攔污柵尚待打撈上岸)。



照片 1 石門水庫 PRO 進水口攔污柵受損情形

進水口閘門啟閉及止水效能無法確保

水庫放水路進水口閘門的啟閉是水庫營運的重要設施，其止水效果的良窳亦是一重要、但平時易忽視的細節，閘門及其提吊設施屬機械設備，其生命期遠低於土木結構，但相關的更新改善卻不多見。

以上所列四個問題中，以水庫庫容的萎縮所影響的層面最廣。由於台灣可興建水庫壩址已為數不多，加上反對興建新水庫的民意高漲，故水利界倡議以 1987 年 The World Commission on Environment and Development “Our Common Future” 所提 “Sustainable Development Is Development That Meets The Needs of The Present Without Compromising The Ability of Future Generations to Meet Their Needs” 的理念為指導方針，即水庫應以維持可持續利用的庫容為長期目標。

庫容維持策略

降雨造成集水區沖刷及崩塌，泥砂經由河川帶至下游沖積扇及河口是一種自然現象，為「蓄豐、濟枯」達到穩定供水而興建的水壩，亦攔住上游集水區挾帶的泥砂，形成淤積。如圖 5 所示，若欲減緩水庫淤積或維持庫容的，則必須進行水庫防淤／清淤操作，該圖顯示，防淤及清淤可包括下列三種方式：

集水區砂源控制

以集水區管理、集水區保育及興建攔砂壩等措施降低入庫砂量。

水力排砂

在入庫泥砂尚未落淤之前以繞庫或異重流／渾水潭方式隨洪水排至水庫下游，若泥砂已落淤亦可以降低水位空庫溯源沖刷方式排除沉積之泥砂。

機械清淤

依水庫水位機械清淤可採陸域開挖，水下機械挖泥或水力抽泥方式清除水庫中的淤泥。

民國 93 年艾利颱風過後，相關單位曾執行石門水庫及其集水區治理計畫，經濟部水利署亦辦理該等治理計畫成效及績效評估，詳參考文獻 [4]。前期計畫及該評估所得之主要結論如下：

- 入庫泥砂約 75% 來自於坡地崩塌，25% 來自坡地及河道沖刷。
- 集水區治理對降低崩塌擴大及對邊坡之土壤沖蝕有良好成效。
- 集水區治理工程雖可有效降低的崩塌裸露地擴大之機率，但在極端降雨事件下崩塌土砂產出量仍以新增崩場地為主，推估集水區保育工程平均降低 6.7% 之崩塌土砂量。

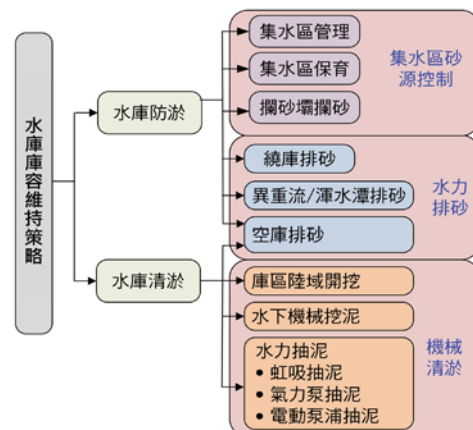


圖 5 維持水庫庫容策略

雖然石門水庫集水區治理為個案，但依上述成果就維持庫容目標而言，工作重點似應集中於庫區的水力排砂及機械清淤。

入庫泥砂運移的現象與其沉積物特性

在洪水期間，河川輸砂分為河床載 (bed load)，懸浮載 (suspended load) 及沖洗載 (wash load) 三大類，而其中懸浮載在部份條件下為河床質載 (bed-material load) 或為懸移質載 (suspended-material load)。入庫水流因挾帶一定量的懸移質載故其比重較水庫中既有清水為高，由於比重上的差異，如圖 6，渾水就會潛入清水，沿庫底向壩前運行，而形成水庫泥水異重流。在一定條件下，異重流可以流到壩前。如果能及時開啟排砂底孔閘門，異重流渾水即能排出庫外。

異重流潛入庫底後，只有具備一定條件才能持續不斷地向前運動。因為異重流是由水和泥砂組成的兩相混合流體，且因含有泥砂使這個混合流體產生有效重力，才可能使異重流產生運動。同時，異重流也只有有在運動中才能持續使泥砂保持懸浮狀態。因此，異重流內的泥砂和水是在運動中互相依存，只有在運動中才組成一個統一體。當流速足夠小時，泥砂就會逐漸沈積，異重流也就會形成渾水水庫而停止運動。換言之，並不是所有形成的異重流都能運行到壩前，因為運動中的渾水需要有足夠流量、濃度與能量坡降配合。若水庫接近大壩庫床幾近淤平，動能不足，以致形成的異重流沒有運行到壩前就擴散稀釋，最後沉澱成水庫淤積物。

到達壩前的異重流，經常不能及時地全部排出庫外，結果在清水下面滯蓄形成渾水水庫，渾水水庫內的泥砂若濃度高沈澱很慢，使渾水水庫內有相當長時間保持較高的含砂濃度。即使在入庫異重流消失後，仍能延續排洩高濃度渾水的時間。

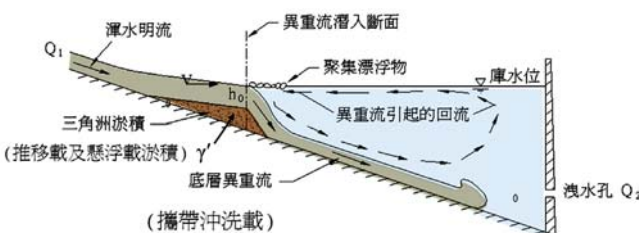


圖 6 水庫異重流示意圖

由國立交通大學防災及水環境研究中心開發的 TDR (Time Domain Reflectometry) 泥砂量測系統利用偵測電磁波輸送至水域及反射時差的原理可以求得水域中含砂濃度 (目前偵測精度為 1,000 ppm)，其圖 7。該設備曾用於石門水庫在颱風期間偵測庫中水平與垂直方向的泥砂運移現象，圖 8 顯示其測站佈置及民國 97 年與 98 年四場颱風的背景資料，圖 9 則表達在羅浮，斷面 24 及壩前於鳳凰颱風泥砂濃度隨時間的變化。可見在壩前的尖峰流量較尖峰濃度早到約 9 小時，一般而言，在石門水庫泥砂運移速度約 0.5 m/s，該速度約與泥砂濃度的平方根成比例。圖 10 則示 TDR 測得鳳凰颱風位於攔污索站泥砂濃度之空間與時間變化。以上成果大幅增進工作人員對石門水庫泥砂運移現象的瞭解。

有關 TDR 及石門水庫泥砂量測相關資料請參閱參考文獻 [5] 及 [6]。

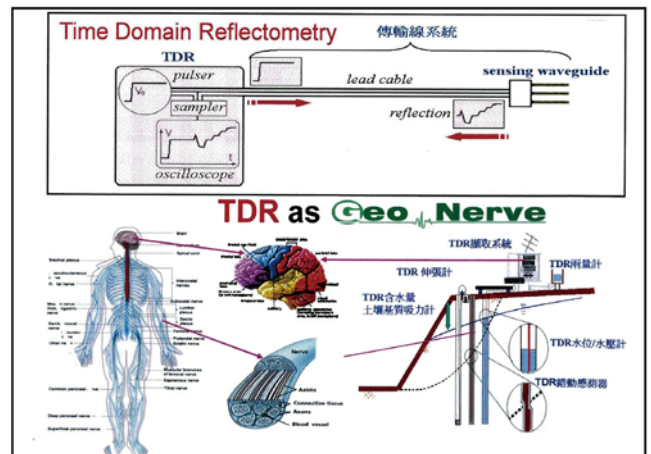


圖 7 TDR 系統示意圖

石門庫區泥砂觀測作業測站

民國97年及98年颱風基本資料

年度	颱風名稱	觀測期間	降雨量(mm)	尖峰流量(cms)	尖峰流量發生時間(hr)
97	鳳凰	7/27/18:00~7/31/00:00 (羅浮站至8/5/18:00)	273.9	2,040	7/28/09:00
97	辛樂克	9/12/18:00~9/17/21:00 (羅浮站至9/21/18:00)	965.2	3,447	9/13/22:00
97	蕾蕾	9/27/09:00~10/1/00:00 (羅浮站至10/3/06:00)	427.1	3,292	9/28/19:00
98	莫拉克	8/6/18:00~8/10/02:00 (羅浮站至8/14/06:00)	471.3	1,838	8/8/00:00

圖 8 民國 97 年及 98 年石門水庫泥砂運移監測站佈置及颱風資料

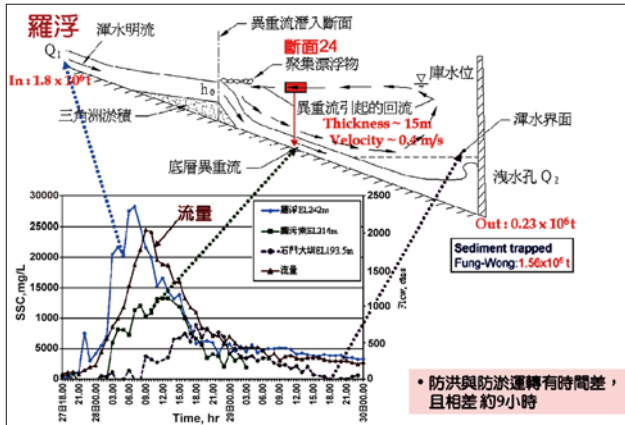


圖 9 鳳凰颱風石門水庫泥砂運移特性

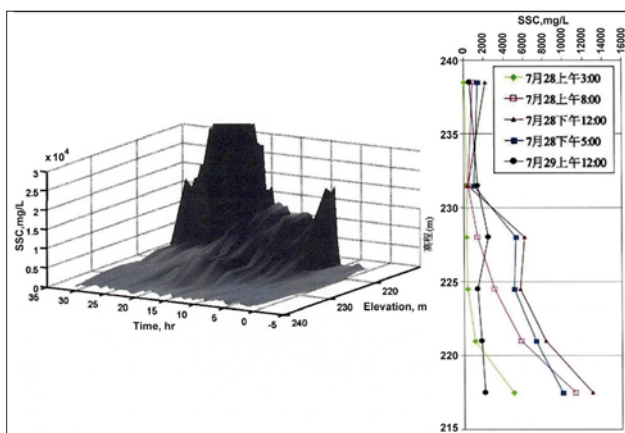


圖 10 鳳凰颱風偵測石門水庫攔污索站含砂濃度空間與時間變化

文獻上的資料顯示，在較為大型水庫的環境，由上游渾水明流及入庫後異重流的運動可歸納出下列入庫泥砂沉積的機制及可能粒徑：

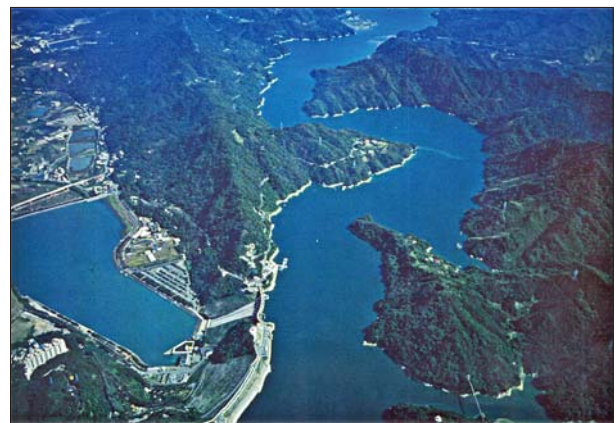
- 水庫上游三角洲淤積：此為推移載及懸浮載的淤積，其粒徑約在 0.04 mm 以上。

- 水庫沿程淤積：此為異重流挾帶之泥砂，在往下游運動過程中之落淤質，其顆粒約在 0.02 mm 左右。
- 壩前淤積：此為渾水潭淤積，其粒徑細為細坩土與黏土的結合，以台灣水庫可能細至 0.005 mm，黏滯性高。

以上淤積常挾有流木，尤其是壩前淤積物，淤泥的黏滯性使流木的打撈相當困難，打撈時需有潛水伏的協助，費用高。

石門水庫更新改善工程

石門水庫鳥瞰及原有洩水結構平面位置如照片 2 及圖 11，民國 93 年艾莉颱風過後，除大量淤積外，石門水庫亦面臨颱風過後取水濁度過高無法供水及水流挾帶大量漂流木封堵攔污柵甚至造成攔污柵破壞及入侵流木影響電廠 PRO 機械設備之運轉等問題，為解決上述問題，經濟部水利署北區水資源局辦理一系列的更新改善工程，工程內容如表 2，可分為既有設施改善與新建設施兩類，簡要說明如下：



照片 2 石門水庫鳥瞰

表 2 石門水庫更新改善工程一覽表

設施類別	設施名稱	設施功能	設計排洪量 (cms)	執行狀態	備註
A. 既有設施改善	A1. 永久河道放水口閘室改善	出水口之何本閘改為全斷面的射流閘閥以利排淤操作。	—	民國 97 年完工	—
	A2. 電廠一期改善工程	#2 電廠壓力鋼管改建為排砂道，增加排砂量。	300	民國 102 年完工	—
	A3. 電廠二期改善工程	#1 壓力鋼管銜接一分歧管，使該鋼管可供水至二部機組，恢復原電廠功能，並增設複葉閘供隔離操作。	—	預計民國 105 年完工	—
B. 新建設施	B1. 設置攔木索於断面 24 及 27	攔阻集水區部份漂流木進入庫區，並便利清理。	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ● 断面 24：民國 95 年完工 ● 断面 27：民國 97 年完工 巴陵壩在民國 96 年韋帕颱風期間崩潰，原攔蓄約 1 千多萬 m ³ 泥砂輸入石門水庫，使水庫上游河床抬高，断面 27 攔污索因而失效拆除。
	B2. 增設取水工程	由水庫表層取水確保颱風期供水無虞，設計取水量 140CMD，可供應南北桃園民生及工業用水。	—	民國 98 年完工	—
	B3. 大灣坪防淤隧道工程	於大灣坪上游彎道處水力排砂至後池	1,600	規劃於民國 100 年完工	已經水利署核可執行
	B4. 阿姆坪防淤隧道工程	於阿姆坪興建抽泥通道至 10 號沉澱池，泥砂可飾分有價與無價料，有價料出售，無價料利用庫水於排洪期間沖至大漢溪。	600	基設民國 104 年完工，工程預計於民國 110 年完工	已經行政院核可執行



圖 11 石門水庫原有洩水結構平面位置

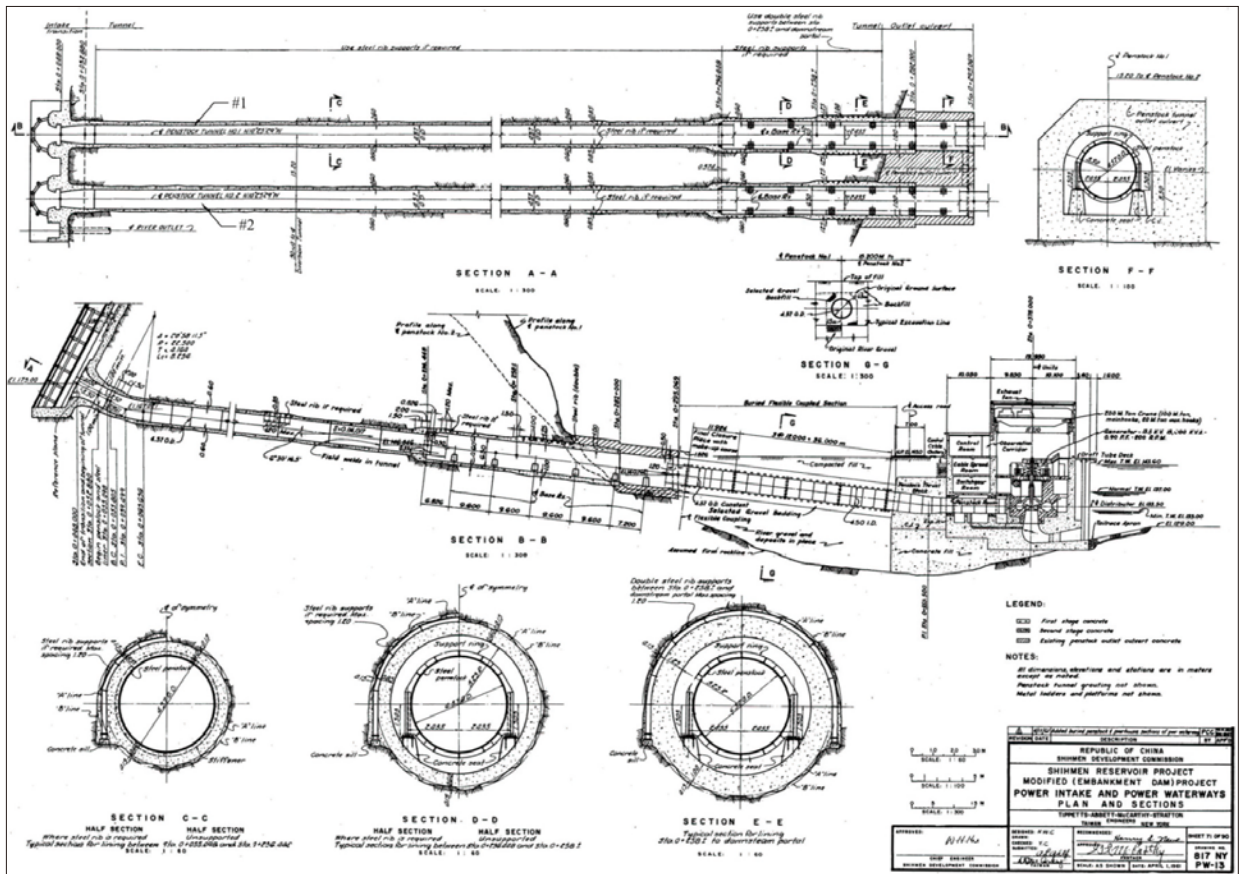


圖 12 石門水庫原壓力鋼管平面與立面圖

既有設施改善

● 永久河道放水口閘閼室改建

原永久河道放水口出口是以何本閘 (Howell-Bunger Valve) 控制水流，該閘門在水流中有「十字」型筋板，該筋板曾多次因阻擋流木，可能因水流振動而龜裂。本改建工程為將何本閘改建為全水流斷面的射流閘門 (Jet-Flow Gate)，以防流木堵塞並利排淤操作，本工程於民國 97 完工。

● 電廠一期改善工程

如圖 12，石門水庫有二支壓力鋼管供水至二部水力發電機組，但除颱風期外，一部機處於備用狀態。本工程為將 #2 鋼管改建為排砂道，轉換水力發電機的位能為動能，設計流量由原 68 cms 增至 300 cms。圖 13 及 14 分別顯示改建後排砂道平面佈置及透視圖，本工程於民國 102 年完工。照片 3 顯示蘇力颱風期間排砂道出口深褐色水流與溢洪道乳白色水流對照，顯示良好的排砂效果。

● 電廠二期改建工程

本工程為將 #1 壓力鋼管銜接一分歧管，使該鋼管可供水至二部機組，恢復原電廠功能。此外，為利於



照片 3 石門水庫排砂道蘇力颱風運轉成果

維護，亦於分歧管的下游端增設複葉閘供隔離操作。本工程預計於民國 105 年完工。

以上既有設施改善工程規劃細節請參閱參考文獻 [7]。

新建設施

● 水庫中游

照片 4 顯示民國 94 年颱風過後石門水庫內累積流木的情景，為利於流木的清理，於民國 95 年在斷面 24 設置一攔木索。

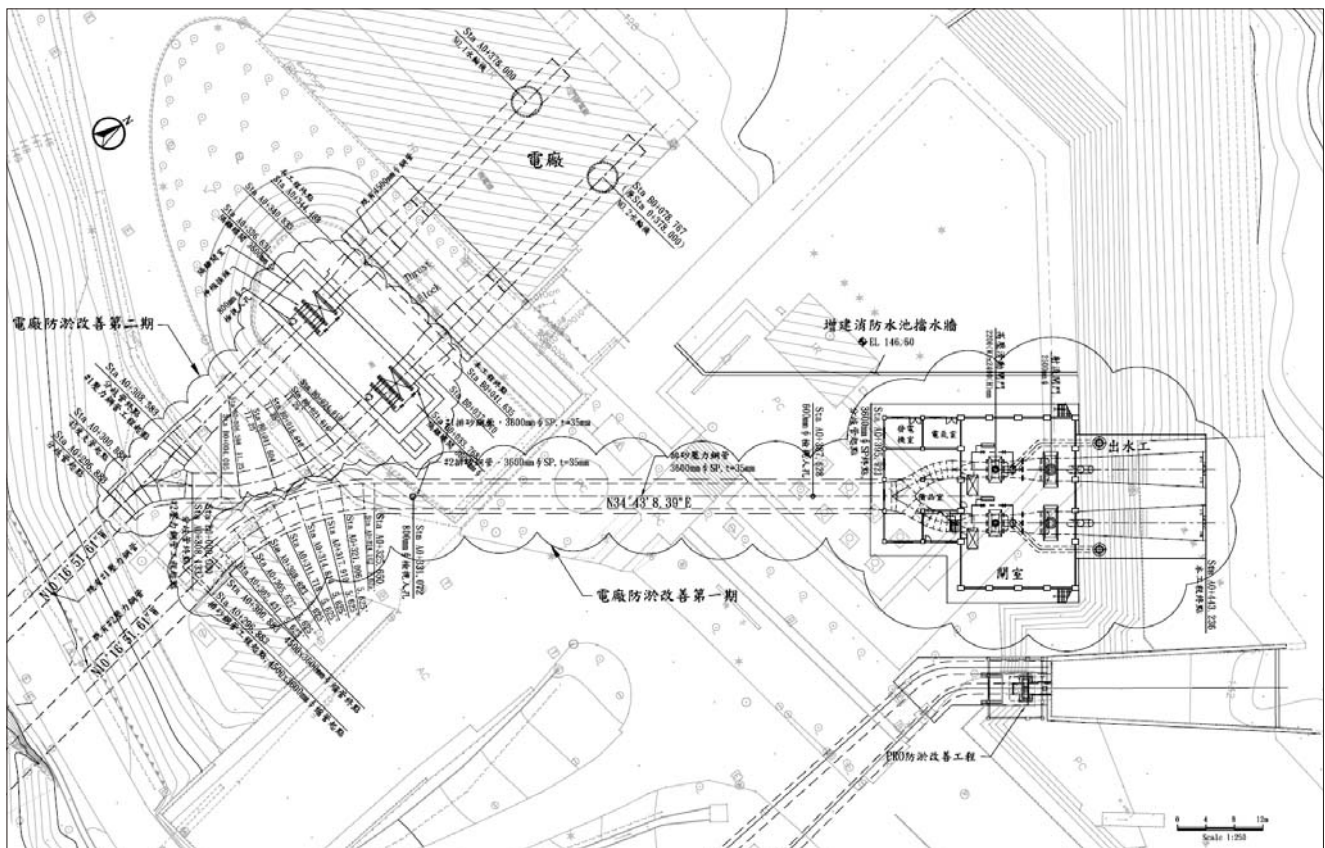
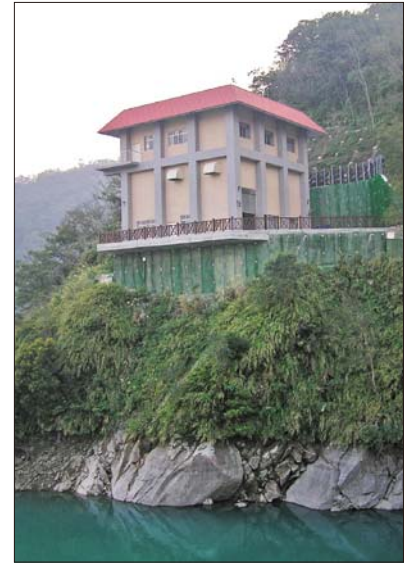


圖 13 石門水庫壓力鋼管改建平面圖



照片 4 颱風後石門水庫流木情景



照片 5 分層取水工監控室

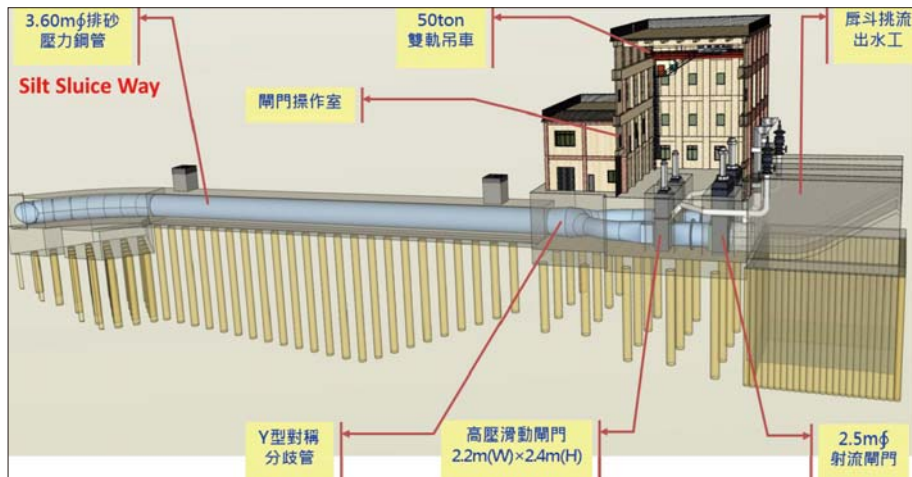


圖 14 石門水庫排砂道透視圖

有鑑於斷面 24 攔木索的功能良好，亦於民國 97 年在斷面 27 設置第二道攔木索，但民國 96 年巴陵壩崩潰後原阻止 1 千多萬方之泥砂流入石門水庫，抬高水庫上游河道高程使該攔污索失去功能而拆除。

● 增設取水工工程

為確保颱風期供水無虞，設計增設分層取水工取得泥砂濃度較低的水源。本工程可分別由 EL.236、EL.228 及 EL.220m 的取水口取水，所得取得之水源亦可銜接自來水公司既有管路並供應石門大圳及後後池，設計取得水量為 140 萬 CMD，可滿足南、北桃園民生及工業用水。本工程於民國 98 年完工，照片 5 顯示，完工後位於大壩左壩肩之分層取水工監控室。工程細節請參閱參考文獻 [8]。

● 大灣坪防淤隧道工程

經數值模擬及水工模型試驗得知欲增加石門水庫水力排砂效率以大灣坪上游彎道取水為最佳位置，依此，於該處規劃一設計流量 $Q = 1,600 \text{ cms}$ 的水力排砂道並將水流排入後池，圖 15 及圖 16 分別顯示此排砂道的平面與縱斷面圖。本計畫已經水利署審查認可，但開發期程未定，計畫詳情請參閱參考文獻 [9]。

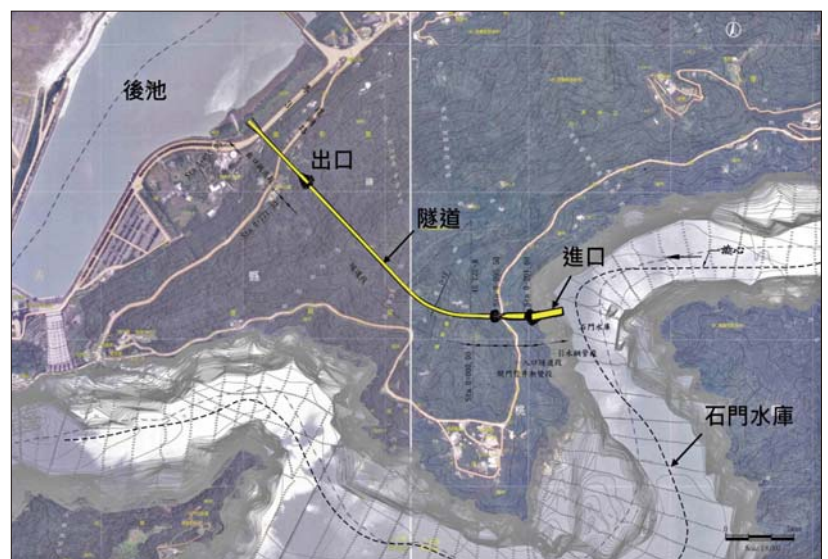


圖 15 大灣坪排砂隧道平面圖

● 阿姆坪防淤隧道工程

根據入庫泥砂運輸特性，較為粗顆粒泥砂將在水庫上游堆積成三角洲，無法以水利排砂機制而必須以抽砂的方法去除。本工程將解決水庫中上游淤積問題，工程包括：

1. 進水口結構
2. 門型隧道：寬 8 m、高 9 m、長約 3,560 m，上半部裝置輸泥管，下半部可輸送 600 cms 流量供沖刷放置於存池中的淤泥。

3. 儲存池：設計儲存體積 16 萬 m³。

4. 泥砂篩分設施。

篩分設施擬以機械方式將 D = 0.01 mm 之粒徑篩選，D > 0.01 mm 為有價料，可供砂石業使用，D < 0.01 mm 為無價料，該無價料將暫存於儲存池，颱風季節利用水庫多餘水量沖刷至大漢溪排放。

本工程之隧道平面位置如圖 17，本工程開發已經行政院核可，預計於民國 104 年下半年進入工程招標文件準備，工程可行性規劃請參閱參考文獻 [10]。

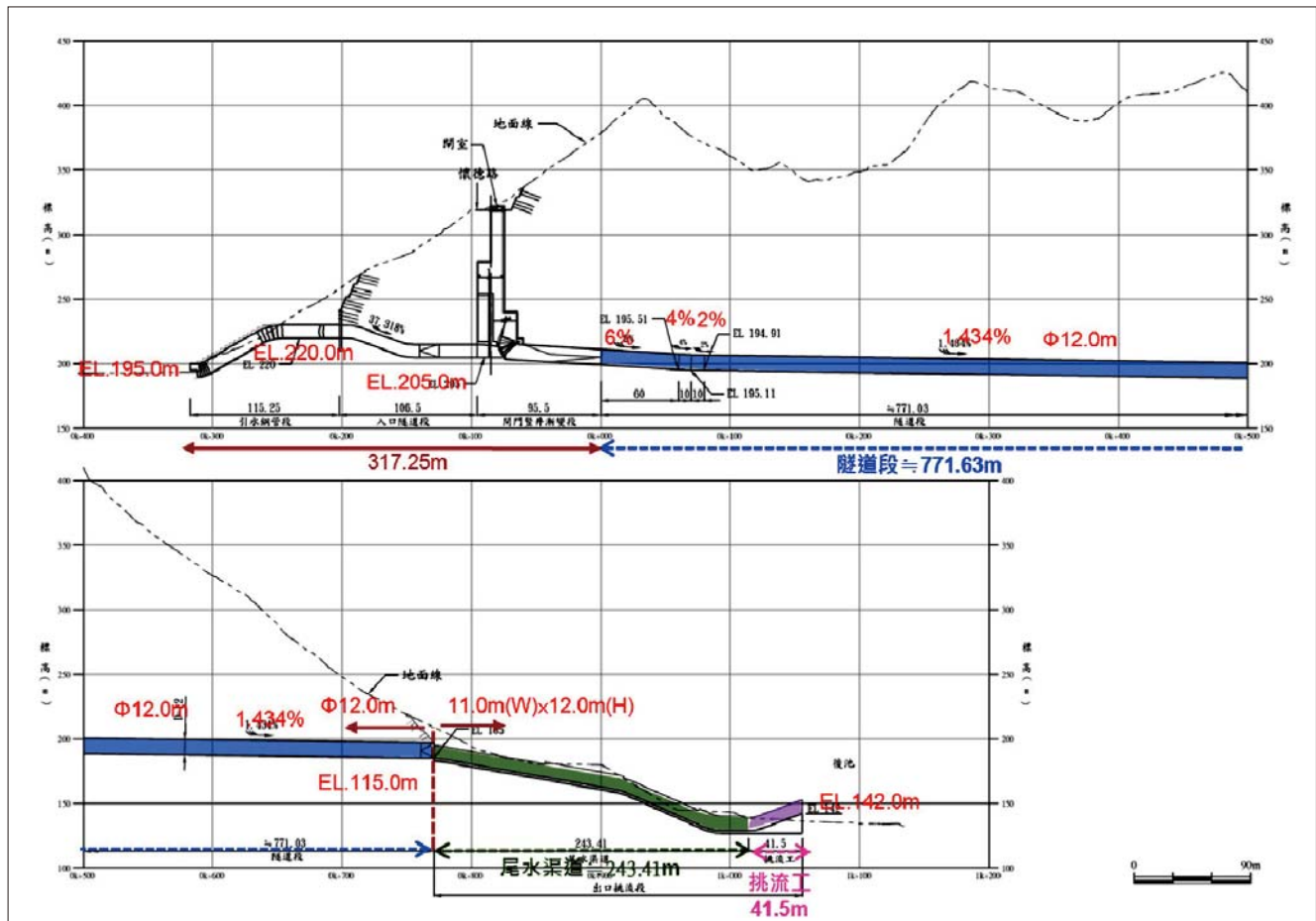


圖 16 大灣坪排砂道縱斷面

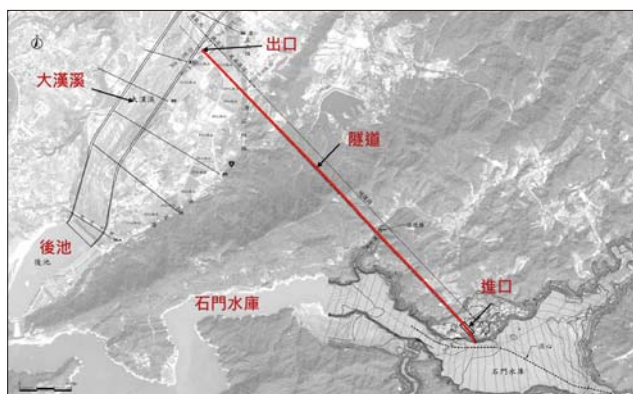


圖 17 阿姆坪抽砂通道平均圖

表 3 石門水庫維持庫容出入泥平衡表

單位：10³ m³

年平均入庫砂量	年平均出庫砂量						合計
	水力排砂			機械清淤			
	PRO 排砂道	電廠改建排砂道	大灣坪水力排砂道	經由阿姆坪隧道淤	大壩前浚渫	水庫上游疏浚	
3,420	150 (4%)	1,020 (30%)	710 (21%)	640 (19%)	500 (15%)	400 (12%)	3,420
	55%			45%			100%

更新改善後石門水庫維持庫容規劃

表 3 顯示石門水庫長期平均入庫砂量為 3.42×10^6 m³，以上述排砂設施估計長年平均由永久河道放水口 (PRO)，電廠排砂道及大灣坪排砂道合計之水力排砂量約佔入庫砂之 55%，加上水庫上游陸挖量 12%，壩前浚淤量 15% 及阿姆坪浚淤量 19%，合計浚淤出庫砂量 45%，如此石門水庫可達長期無淤積量的可持續利用。

水力排砂設施對石門水庫防洪的貢獻

表 4 顯示在上述規劃的水力排砂設施完成後，石門水庫總洩水量達 16,300 cms，此值大於民國 103 年第三次安全評估之入庫 PMF 尖峰流量 14,500 cms，故石門水庫洩洪安全亦得到保障。

表 4 石門防淤改善前後洩水量與入庫 PMF 比較表

年度	PMF (cms)	洩流能力 (cms)					合計
		溢洪道	電廠排砂道	排洪隧道	大灣坪排砂道	阿姆坪抽砂通道	
48 年 (原規劃)	10,900	11,400	—	—	—	—	11,400
52 年 (葛樂禮颱風後)	11,750	11,400	—	2@1,200	—	—	13,800
103 年 (第三次水壩安全評估)	14,500	11,400	300	2@1,200	1,600*	600*	16,300

維持庫容措施對環境的衝擊

任何一項改變現狀的工程都將對既有環境產生衝擊，水庫的興建提供穩定的水資源及降低下游地區洪災，對人們生活及工商業發展存有正面影響，但也造成淹沒土地及阻隔泥砂入海，海岸退縮等不可避免的負面衝擊。近年來為求水庫的可持續利用水利署及其下屬單位已對石門、曾文、南化、白河、尖山埤、牡丹等既有水庫做規劃研究，尋求解決之道。雖各水庫因自然條件不同解決方案有差異，但所得到的共識是水庫因集水區匯集入水庫的泥砂量過多，淤泥資源利用無經濟價值，淤泥填築低窪地區或山谷工程費過高，且土地難覓等因素，較為可行的方案為於颱風期進行水力排砂，於枯水期進行抽泥，暫存於下游河道，並利用颱風溢流水源沖刷至下游河道，並補充河口砂量，以達到「還砂於河」的運轉，如此既可維持庫容亦可提供穩定河口海岸的必要砂源。

與既有環境相比較，上述水力排砂及河道放淤操作將大幅度的提升颱風期水庫下游河道的泥砂濃度，而可能影響水中生物的生存，水利署北區水資源局正對石門水庫排砂對下游魚類生物可能的影響做研究⁽¹¹⁾，

雖目前因資料有限，容許的泥砂濃度與魚種或泥砂所存在時間的長短等因子之相關性，仍不得而知，但可確定民國 102 年排砂期間基隆河魚類死亡與排砂操作無關，應是水中溶氧過低所致。根據石門與曾文水庫實測入庫泥砂濃度資料，尖峰泥砂濃度達 50,000 ppm 者，並不罕見，但卻沒魚類死亡的記錄。另初步估算艾莉颱風在石門水庫及莫拉克颱風在曾文水庫過程的平均泥砂濃度雖分別達約 30,000 及 56,000 ppm，亦無魚類死亡的報導，可見水力排砂或河道放淤對魚類生態的衝擊有多大有待更多的研究調查。

結語

近年來水利主管單位已普遍採取水庫必須可持續利用的政策，在重要水庫也已執行大量工作，但因水庫之更新改善所涉及的層面很廣，包括需政府高層、各部會與地方政府的支持，另防淤設施建造完成後水庫的運轉也將比目前複雜，筆者認為在執行力道上應積極加強否則難以改變目前持續淤積的局面，也因此水庫可持續利用的前景仍令人堪慮。

參考文獻

1. 「台灣地區民國 101 年各標的用水統計報告」，經濟部水利署，民國 101 年。
2. 「南化水庫上游設置第二水庫調查規劃報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年 12 月。
3. 「維持曾文水庫有效庫容之整體規劃報告」，經濟部水利署南區水資源局，民國 103 年 1 月。
4. 「石門水庫及其集水區治理計畫執行成效及績效評估報告」，經濟部水利署，民國 101 年。
5. Lin, C.P. Chung C.C, Wu, L.L., Wu, P.L., Lin, C.H. and Wu, C.H., ²Extensive Monitoring System of Sediment Transport for Reservoir Sediment Management², Advances in Water Resources Management, Ed. by C. T. Yang and L.K. Wang, Handbook of Environmental Engineering, Springer Science, U.S.A., 2014.
6. Chung, C.C. Lin, C.P., Wu, P.L., Hsien, S.L. and Wu, C.H. ²Monitoring of Sediment Transport in a Reservoir Using Time Domain Reflectometry², 35th IAHR World Congress, Sept. 8-13, 2013, Chengdu, China
7. 「石門水庫既有設施防淤功能改善工程計畫可行性規劃報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 95 年。
8. 「石門水庫增設取水工程計畫綜合報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 96 年 10 月。
9. 「石門水庫大灣坪防淤隧道工程可行性規劃總報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 100 年 12 月。
10. 「石門水庫阿姆坪防淤隧道工程可行性規劃總報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年 9 月。
11. 「石門水庫排洪減淤操作對下游河道生態影響及改善方案研究期中報告」，水利署北區水資源局，2015 年。