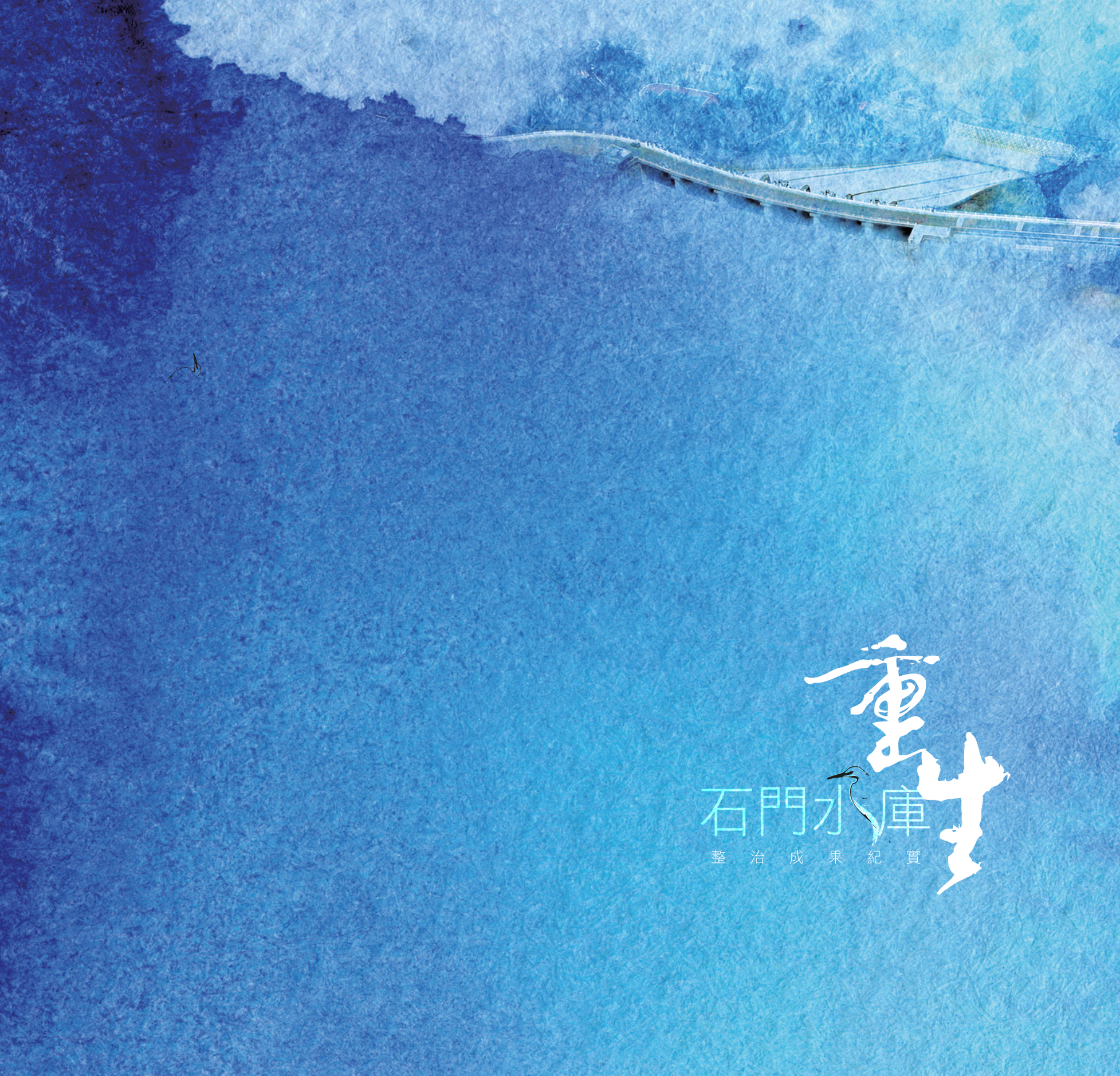
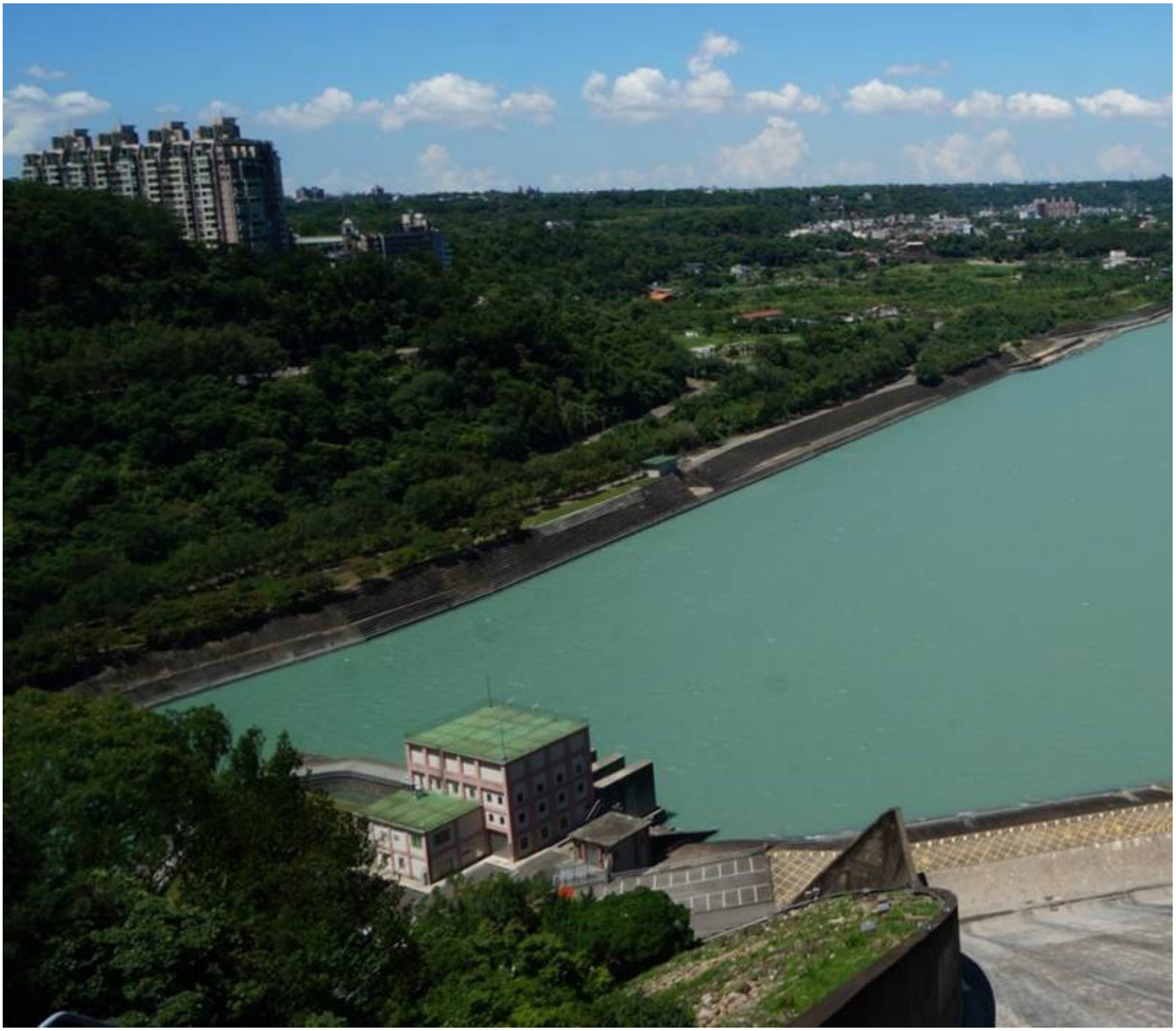

重生
石門水庫
整 治 成 果 紀 實

重生

石門水庫

整治成果紀實



石門水庫重生

整治成果紀實

壹 計畫緣起篇

第一章　艾利颱風侵台期間水庫運轉

第二章　石門水庫災情

第三章　「石門水庫及其集水區整治特別條例」誕生

貳 供水應變篇

第一章　艾利大停水緊急應變

第二章　颱風期常態性應變

參 浴火重生篇

第一章　取出水工災情及搶修改善

一　原取水塔概況

二　淤積癱瘓取水設施

三　取水塔清淤與攔污柵搶修

四　放水閘閥更新改善

五　結語

第二章　新建分層取水工

一　工程簡介

二　方案演變與決定

三　工程困難與挑戰

四　實施成果之驗證

第三章　發電鋼管改建

一　計畫緣由

二　方案演變與決定

三　改建水力排砂隧道挑戰與效益

四　穩定供電及排砂的挑戰

第四章　新建中庄調整池

一　工程簡介

二　水規所創新規劃

三　本局中庄測設隊自辦設計

四　廢棄物處理

五　優質設計與施工

六　測試順利功德圓滿

肆　未來展望篇

第一章　水庫淤積：窮盡所能維持庫容

第二章　自來水原水供應：跨區域調度備援

第三章　農田灌溉用水供應：集團式分區輪流停灌

附錄

一　石門水庫及其集水區整治特別條例

二　石門整治計畫後石門水庫主要設施數據一覽表

三　本局辦理石門水庫及其集水區整治計畫工程概 要及人員一覽表

四　石門整治計畫期間本局業務主管任職時段表

署長序

經過 13 年的努力，石門水庫及其集水區整治計畫終於在 106 年 12 月 17 日蔡總統主持的中庄調整池竣工典禮中昭告世界，順利完成。石門水庫正式重回北區供水行列，雖年過半百、比艾利風災時又長了 10 多歲，但卻更有自信、更不怕颱洪原水高濁度的威脅！

台灣因為處環太平洋地震帶及季風區，頻繁的地震及颱風一直是境內水庫最主要的安全顧慮。民國 93 年艾利颱風對石門水庫的災害，卻不是洪水衝擊破壞水庫設施，而是洪水所夾帶大量泥砂、漂流木及高濁度原水，造成 18 天大停水及約 2800 萬立方公尺大淤積，此情形與民國 98 年莫拉克颱風造成南部曾文水庫一夕間淤積近 1 億立方公尺頗為類似。

艾利颱風催生了我國第一部水庫整治特別條例：「石門水庫及其集水區整治特別條例」，5 年後的莫拉克颱風又接續促成了「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水特別條例」，兩條例均有大規模特別預算以支應治理工作之需。這一北一南的水庫整治推動，可以說是北水局與南水局近 10 多年水資源工作的重心。

石門水庫整治計畫，成功的克服了原水高濁度的影響，對於在役中的老水庫而言可以說是了不起的成就，然而挑戰並沒因此結束，淤積才是真正困難所在。全台主要水庫都面臨淤積逐漸加劇問題，水庫管理單位除傳統的抽泥與陸挖外，工程上主要採行的手段則是興建防淤隧道。目前曾文及南化水庫防淤隧道已陸續完工，石門水庫亦於整治計畫規劃有防淤隧道，其中阿姆坪防淤隧道已納入前瞻水環境建設計畫施工中，未來完工後，必能為石門水庫邁向永續再盡一份力量。

面對氣候變遷與全球暖化，水資源供應首當其衝；如何穩定水資源供應，各國立地條件不同，採行策略亦異。台灣因屬海島，水庫是最關鍵供水設施。在新建水庫越來越困難與低效能之下，更新與改善現有水庫，成為最可行且必走之路。

石門水庫是台灣第一座大幅改造、功能升級成功的現有水庫，本書「重生 -- 石門水庫整治成果紀實」，完整與忠實記錄著改造經過、及參與的人與事，有水利專業判斷與決定，亦有第一線工作人員的努力汗水，是水庫更新工程典範，也是水利從業人的榮耀，值得與國人分享。

局長序

台灣水資源建設史上，沒有一個水庫像石門這般具有濃厚的親民色彩，每年百萬以上的造訪人次，使石門成為廣大民眾生活經驗之一部分；也沒有一個水庫像石門這般於天然災害重創後，經過人為努力，還能夠原地站起，再度昂首闊步、宛若新生！

石門水庫於民國 93 年 8 月 23 日受艾利颱風重創，當時石門剛滿 40 歲即將邁入壯年期，這場自民國 53 年完工營運以來最大的颱風，所帶來大量泥砂與漂流木，造成史無前例的 18 天大停水。為了盡速解決缺水造成社會上的紛擾與不安，及拯救奄奄一息的石門，而有壩頂緊急抽水作業、95 年 1 月的石門整治特別條例、及後續石門整治計畫各項工作之推動。經過 13 年的努力，各項工作陸續完成、供水逐漸恢復正常。中庄調整池於去 (106) 年 12 月 17 日總統主持竣工典禮，石門整治計畫工作的最後一塊拼圖終於大功告成！

中庄調整池的完成，標誌著石門整治工作階段性任務的結束。實際上，「石門水庫及其集水區整治計畫」內容包括集水區、水庫、下游自來水系統改善等三大區塊，但以本局執行的水庫更新改善部分最受矚目、其水利成就也最具特色，包括：賦予石門水力排砂能力的發電鋼管改建為排砂隧道、讓石門於颱洪期間免受高濁度影響而新建的分層取水工及中庄調整池等，這些構想的提出及後續的設計施工皆出於國人之手，可以說石門水庫改造完成是國人的驕傲！另水庫集水區整治

期間，所建立的資訊公開、公民參與模式，讓環保團體從關心、參與到協助，亦是本計畫得以順利走完全程的重要助力。

為了紀念這段台灣獨一無二、也是世界絕無僅有的水庫大改造經過，我們本著虔誠感恩的心，蒐集整理過去 13 年來相關資料，編輯完成了這本書，除以文字記錄與說明外，並輔以相關照片，忠實呈現出這些年來石門水庫發生了什麼事、及我們如何面對挑戰與突破困境。

由於供水應變與改造工作甚為龐雜、時間又已超過 10 年，許多當時局裡擔任要角的主管，或已退休、或已調職，要完整回顧當年情形實屬不易。經考量多位現任業務主管與工程司也多經歷其中，如由其負責撰寫當最為恰當，遂指定養護課課長林弘毅、石管中心主任張家榮、計畫課課長蔡秉儒、養護課正工劉志光、工務課課長吳啟順等為第篇各章主筆，原主工室資深簡正王瑋則負責開頭第壹貳篇、本人則撰寫最後篇未來展望。在大家同心協力努力及兼顧現行業務推展下，本書終於能順利出版，除感謝各主筆外，也感謝保育課徐笑情為編輯出版奔走聯繫。

本書名為「重生 -- 石門水庫整治成果紀實」，旨在彰顯石門水庫歷經艾利颱風摧殘後，如何經人為努力改造、整裝再出發之意；另也呼應行政院石門水庫建設委員會執行長徐鼐於石門水庫正式完工後所撰寫的紀念文集「石門水庫」，當時水庫剛經歷過 52 年 9 月葛樂禮颱風洗禮。葛樂禮與艾利是石門水庫自興建以來所碰到的第一及第二大颱風，葛樂禮之後石門於民國 72 年增建了排洪隧道，艾利之後石門於整治計畫增建分層取水工、排砂隧道及中庄調整池。面對大自然的挑戰，石門水庫愈戰愈勇、50 多年從不退卻。期待國人經由本書更認識石門、愛護石門，也期待及相信，石門水庫將會有另一個精采的 50 年。

編者序

重生～愛水與涵容的石門水庫

汪靜明

又是大約在冬季的時節，情緒湧上心，在聆聽 Gorge Winston 四季音樂旋律中，靜下來為重生石門的愛與包容寫序。

這本專書歷經多次編輯會議，從蛻變石門水庫，守望石門水庫、那些年我們一起愛水到重生石門水庫，內含著多重印象與影像的意涵。其實，我們編寫了許多版本，而最後由北區水資源局定位為水利人自己說水利故事的重生石門水庫整治成果紀實。這轉變的歷程，勞苦了參與編輯、諮詢顧問與專家學者，在此一併致謝，也期盼諒察在專書中難能可貴的紀實的擔當與辛勞。畢竟石門水庫整治計畫從 2006 年至 2018 年的期間，許多新聞媒體報導中的深入情節，可在本專書相關章節中有脈絡的回顧與展望。

回顧石門水庫重生期間，有許多環境變遷與人事變動，難以在一本專書中道盡。因此，這本專書的編輯，係以石門水庫的水利工程為基軸，而有關參與人員部分，摘要於附錄，便於再續故事並一併致謝。在重

生石門水庫歷程中，我回到出生地桃園，參與石門水庫整治計畫及其環境教育推動。這 12 年期間，在桃園生我的家父，以及當年一起創立協會並投入石門水庫影像紀錄的好友齊柏林導演辭世了。我在台灣師範大學環境教育研究所指導的 10 多位研究生投入石門水庫生態保育與環境教育論文研究，也完成畢業了。這對於我們所有曾經參與者，都有許多感動、感想、感念、感謝、感恩。

這些年我們一起愛水，展望愛與包容，紀實於石門水庫的蛻變與重生。

中華生態資訊暨環境教育協會 創會理事長、執行長
台灣生態環境科技產學研發展協會 理事長
經濟部水利署 顧問

汪靜明

2018 年 12 月

壹
計畫緣起篇

第一章

艾利颱風侵台期間水庫運轉

民國 93 年 8 月 20 日艾利颱風形成後朝西北方向移動，屬中度颱風，亦為一典型「西北颱」。中央氣象局於 8 月 23 日 2 時 30 分發布海上颱風警報，並於同日 14 時 30 分發布海上陸上颱風警報。艾利颱風到達臺灣東北方海面後緩慢偏西移動通過臺灣北部近海，進入臺灣海峽後逐漸轉向西南西，25 日 22 時由金門東北方進入福建，隨後於 26 日 11 時 30 分颱風警報解除。(圖 1-1-1~2)

艾利颱風最大總累積降雨量在苗栗縣泰安鄉的馬達拉站為 1,545.5 公厘；超過 1,000 公厘以上區域主要在苗栗縣泰安鄉、南庄鄉、新竹縣五峰鄉、尖石鄉、台中縣和平鄉。石門水庫集水區艾利颱風期間總累積雨量達 973 公厘，主要集中於 8 月 24、25 日，由降雨組體圖可看出最大時雨量發生於 8 月 24 日 20~21 時的 50.8 公厘。(圖 1-1-3~5)

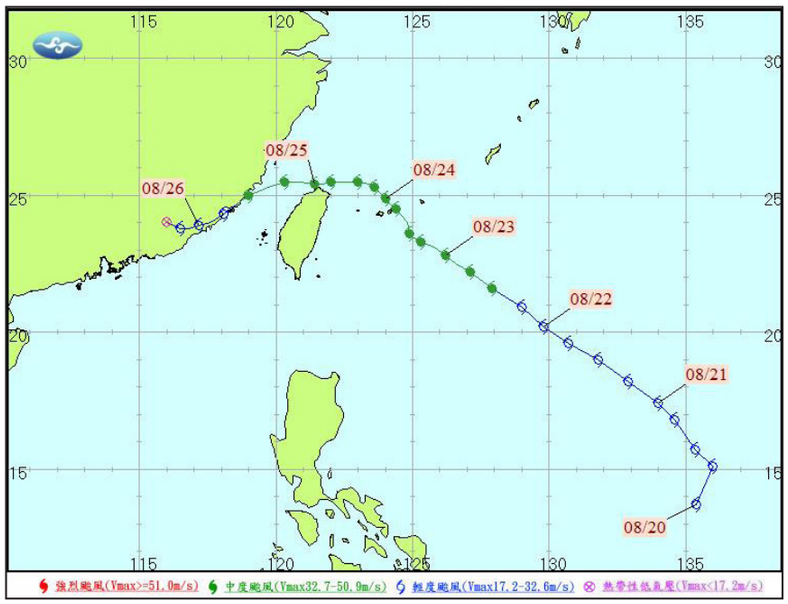
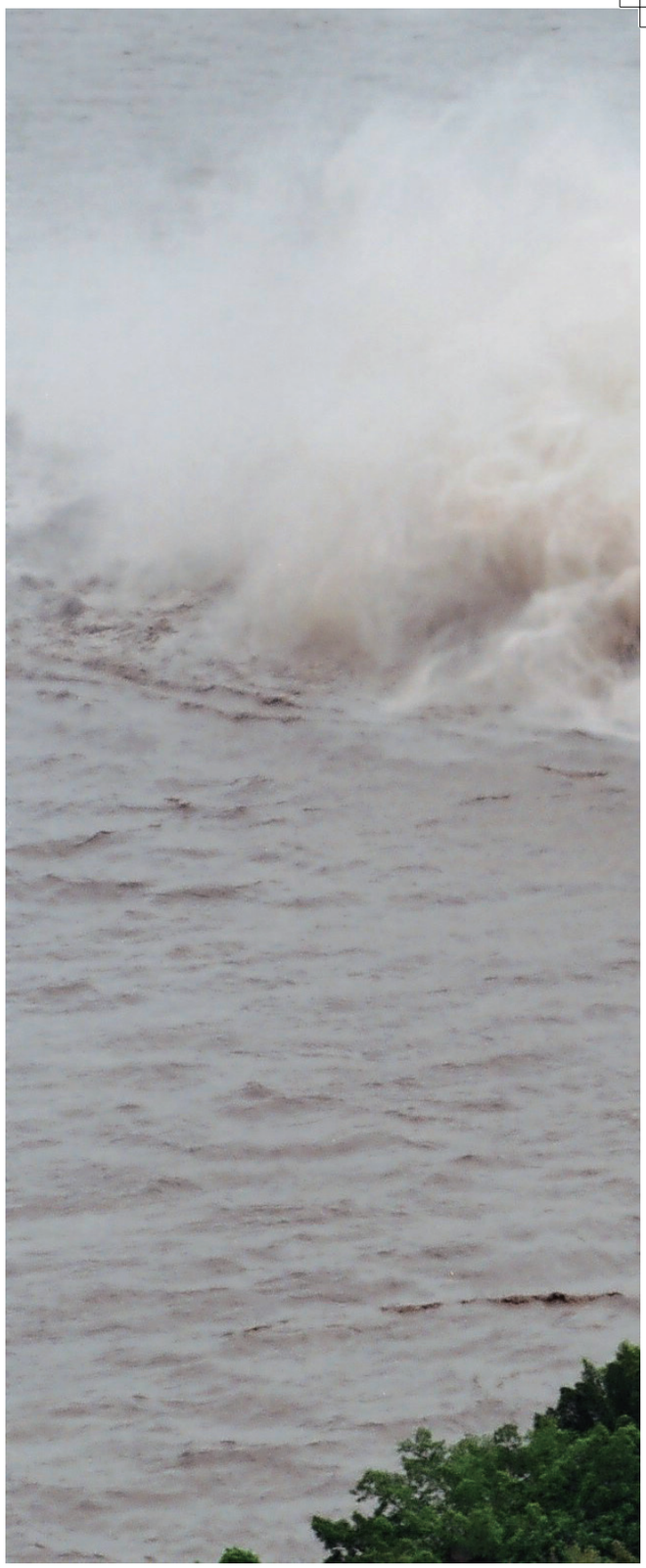


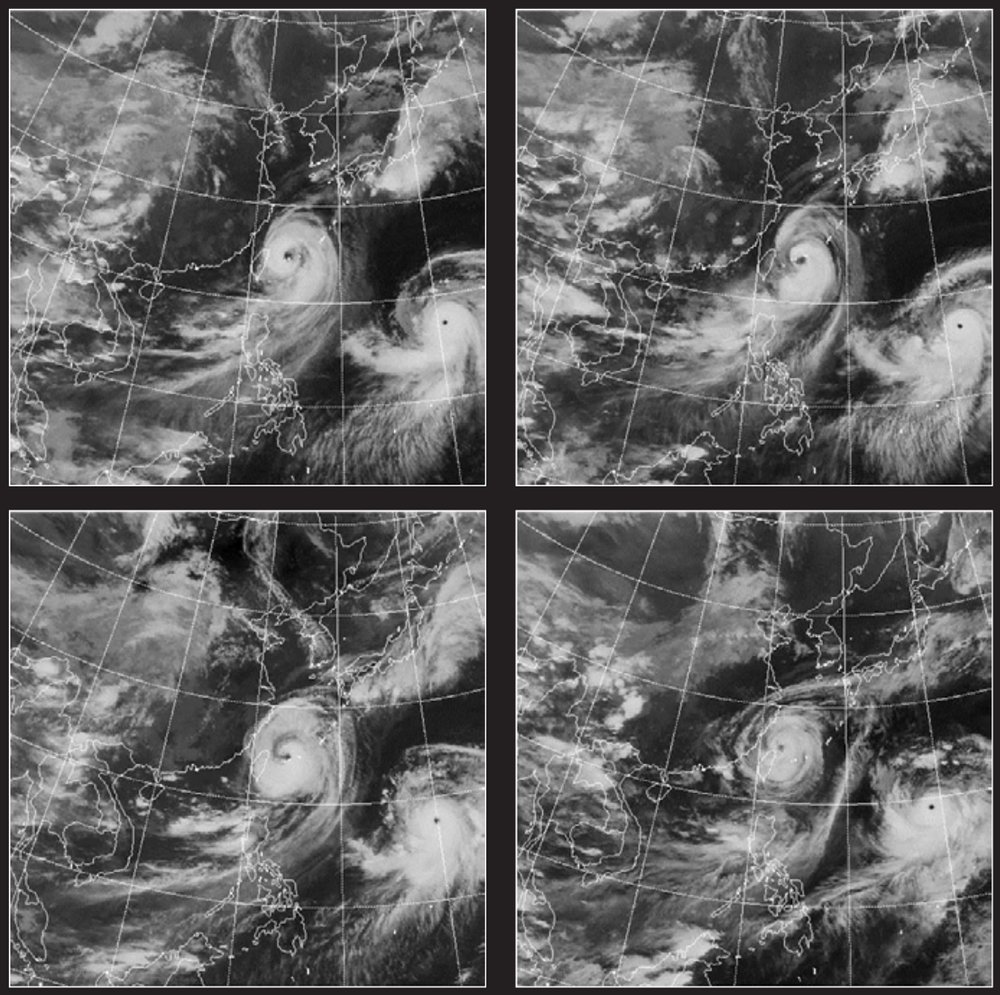
圖 1-1-1 艾利颱風路徑圖



排洪隧道排洪後池

a（8 月 23 日 02:23）

b（8 月 24 日 04:23）



c（8 月 25 日 02:23）

d（8 月 26 日 02:23）

圖 1-1-2 艾利颱風紅外線衛星雲圖
註：艾利颱風右側為佳芭颱風，未登台。

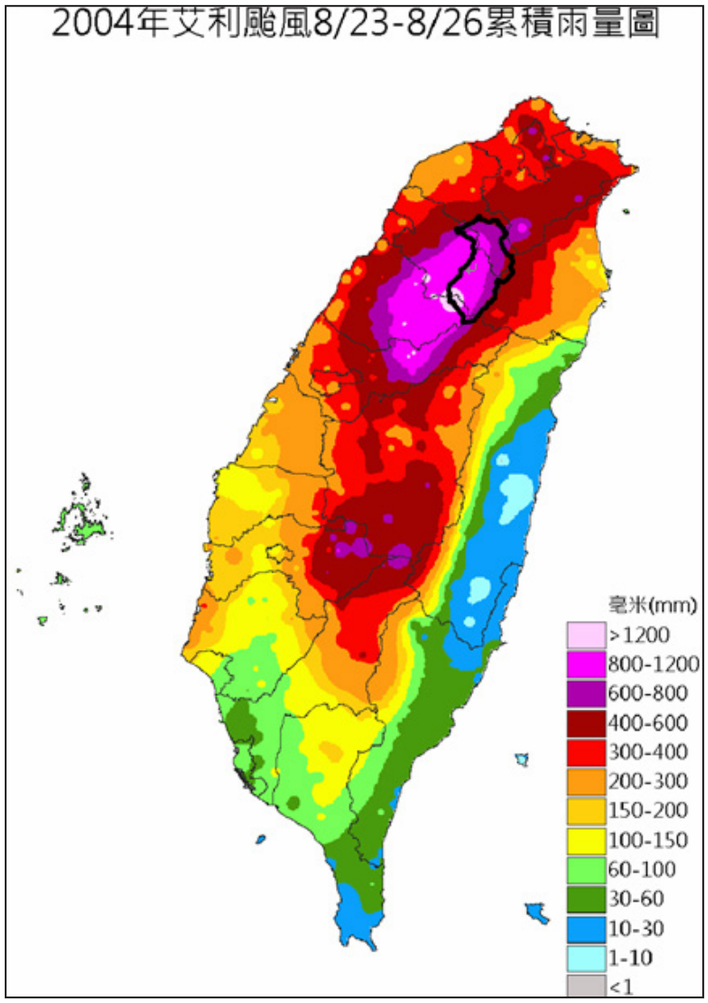


圖 1-1-3 艾利颱風期間全台總累積雨量圖

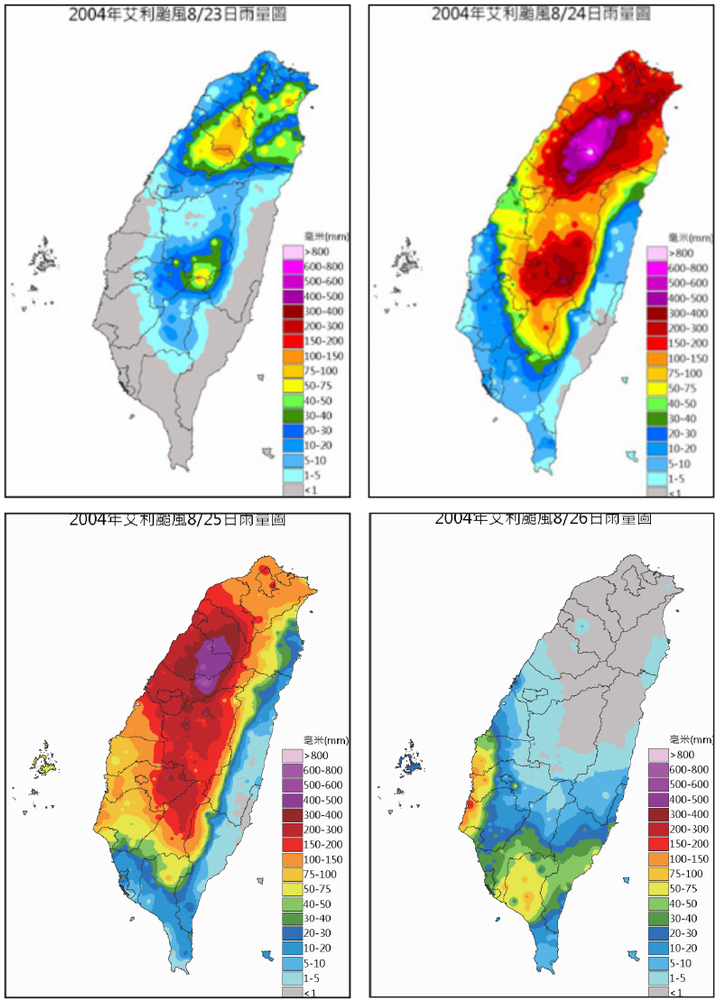


圖 1-1-4 艾利颱風期間全台各日雨量圖 (8 月 23 日 ~26 日)

中央氣象局發佈海上颱風警報時，石門水庫水位 242.71 公尺，為預留較大防洪空間，本局於 23 日 17 時 (水位 242.56 公尺) 開始以每秒 300 立方公尺調節性放水，於 22 時增大為每秒 600 立方公尺，至 24 日 2 時，水位降至 241.48 公尺。

隨後雨勢增強，入流量增大，水位開始抬升，本局依據「石門水庫運用要點」規定逐漸加大洩洪量，於 8 月 25 日 5 時，達此次颱風最高水位 245.80 公尺、入流洪峰量每秒 8,594 立方公尺，洩洪量每秒 8,334 立方公尺，此為石門水庫於 52 年 6 月導水隧道封堵開始蓄水以來之第二大洪峰量 (第一大洪峰量為民國 52 年 9 月葛樂禮颱風的每秒 10,200 立方公尺、最高水位 249.09 公尺)，7 時洩洪量達最大值為每秒 8,443 立方公尺、水位 245.76 公尺。同日 19 時後，集水區雨勢趨緩，入流量逐漸減少，故再調降溢洪道閘門開度，降低出流量重行蓄水，至 26 日 1 時止水位回升至 244.09 公尺；接著為防台灣外海佳芭颱風之可能來襲，乃又加大放流量，水位遂即緩緩下降。(圖 1-1-5)

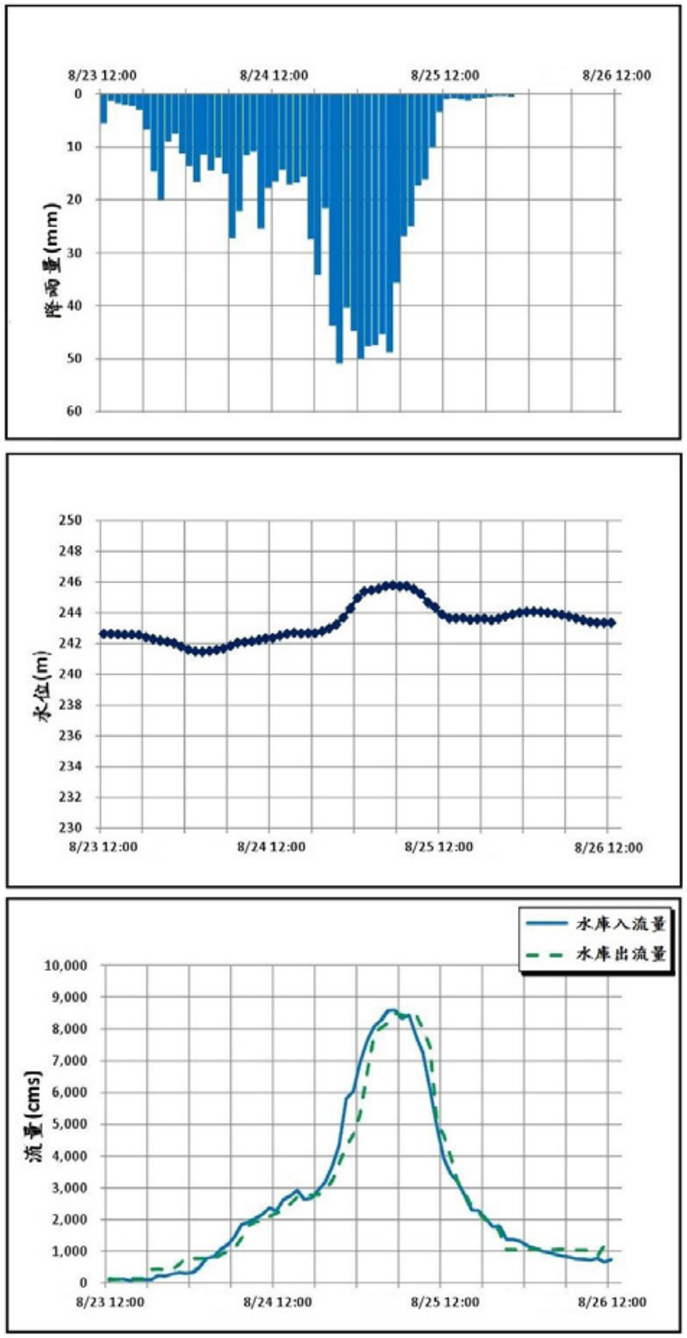


圖 1-1-5 艾利颱風期間石門水庫降雨量、水位及流量圖

圖 1-1-6 艾利颱風期間石門水庫溢洪道洩洪

圖 1-1-7 艾利颱風期間石門水庫後池堰溢流

第二章

石門水庫災情

一、漂流木嚴重危害設施

艾利颱風於 26 日遠離，洪水流量雖已大幅下降，但真正的災情才正開始，首先是大洪水所帶來的大量漂流木及泥砂，嚴重危害取水口設施，以及高濃度泥水造成史無前例的桃園大停水。(詳後「貳、供水應變篇」)

根據事後淤積測量結果，這次颱風為石門水庫帶來約 2,800 萬立方公尺之淤積量，水庫容量立即減少了 10% 以上，但讓水庫沒辦法正常運轉出水的並不在於淤積量多寡，而是取水設施受到阻塞及破壞，此阻塞及破壞的主要原因來自漂流木。

漂流木於颱風過後隨水流慢慢布滿了水庫蓄水範圍 (圖 1-2-1)，包括大壩前、大灣坪、阿姆坪、奎輝、溪口台等水域，幾乎每寸水面均是漂流木。由於漂流木遍布範圍實在太廣，而庫區周邊可作為打撈處理作業之陸域僅有阿姆坪。打撈工作須以人力圈圍再利用小舢舨拉回阿姆坪旁，並暫置於南苑 (圖 1-2-2~3)，再由陸上機具夾取至暫存區存放，作業效率低。未及打撈的漂流木，於吸水後慢慢沉入庫底，隨水流與泥砂緩慢推向大壩，形成取水口失能的殺手。實際上，水下閘門設施的損壞失能是在後續 (94 年 5 月及 95 年 1 月) 嘗試開啟時陸續發生 (詳後「參、浴火重生篇」)，大量沉木、泥砂及雜物蜂湧而入，瞬間堵塞及壓垮取水口前攔污柵，隨水流而入的雜物隨即卡死水輪機，造成石門電廠機組有史以來第一次的整體失能，直到 95 年 6 月 2 號機組才完成修復，1 號機組的修復則到 96 年 8 月才完成。

圖 1-2-2 阿姆坪堆積如山的漂流木

圖 1-2-1 艾利颱風後石門水庫溢洪道前漂流木

圖 1-2-3 堆積如山的漂流木打撈後暫置南苑

二、渾濁庫水造成大停水

颱風洪峰過後，水庫原水濁度即有逐漸抬昇現象，由於水庫入流仍大，石門水庫乃持續大量放水，除排洪隧道放水外 (圖 1-2-4)，亦以持續發電方式排放底層濁水，但因原水濁度高，造成下游鳶山堰濁度居高不下，嚴重影響自來水供應，致北桃園及板新地區開始停水。石門電廠於 93 年 8 月 28 日深夜奉命關閉所有底層取水口閘門，當時雖短暫改善鳶山堰原水高濁度問題，但水庫底層高濃度之泥水無處宣洩，除在水庫內翻攪直接將水庫蓄水變成大渾水潭 (圖 1-2-5) 造成大停水外，待翻攪流速降低後，泥砂、沉木及雜物等隨即於取水口前下沉造成嚴重堆積。

圖 1-2-4 艾利颱風過後排洪隧道放水原水高濁度

圖 1-2-5 水庫蓄水變成大渾水潭

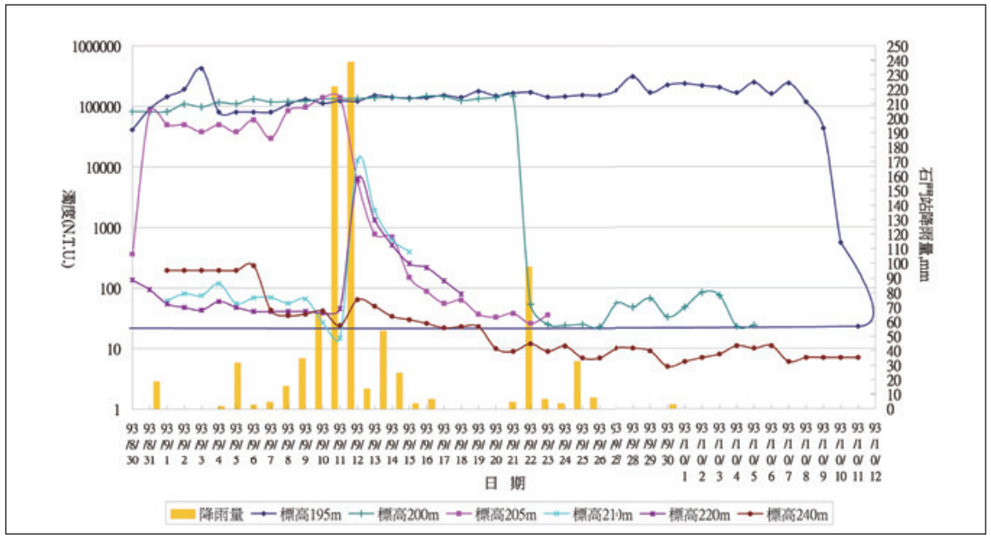


圖 1-2-6 艾利颱風後石門大圳取水口處濁度歷時曲線圖

根據本局持續水質監測資料 (圖 1-2-6) 顯示，原水高濁度現象持續到 9 月上旬，9 月中旬的降雨雖略有改善但僅及於中上層，底層 (標高 200 公尺以下之部分) 濁度依然維持在 10 萬 NTU 上下。自 8 月 26 日起桃園地區 18 天自來水大停水事件，影響桃園縣全縣及台北縣林口鄉與新竹縣湖口、新豐鄉等共 16 個鄉鎮市，共約 60 萬戶 (其中工業用戶 2,287 戶)、180 萬用水人。(詳「貳、供水應變篇」)

艾利颱風除了石門水庫災情外，受颱風外圍環流影響，北部、東北部、中南部有豪雨引發嚴重土石流，以新竹縣五峰鄉桃山村最為嚴重，本局施工中寶山第二水庫上坪堰遭洪水破壞，洪水並隨引水路灌入鄰近村落；另台北縣三重地區因台北捷運施工防護不當，導致淡水河洪水灌入市區造成大淹水。

第三章

「石門水庫及其集水區整治特別條例」誕生

艾利颱風帶來石門水庫完工 40 年來最大災情，如何讓石門水庫重新站起來，是府院高度關注議題，也是社會各界的殷殷期待，更是台灣水利界極大挑戰，也因此催生了我國第一個水庫整治特別條例。

事實上，「石門水庫及其集水區整治特別條例」並不是於災後緊急供水任務完成後即行提出，其催生過程大致可分為兩階段，其一為本局就水庫設施改善及集水區治理所提的「石門水庫活化措施計畫」及「石門水庫集水整體治理方案」；其二為以桃園縣籍立法委員林正峰為首，所逕行提案的「石門水庫及其集水區整治特別條例」。

「石門水庫活化措施計畫」係本局於 94 年 2 月所提出，主要內容包括增設取水工、增設第二後池、增設排砂設施及上游增設攔砂壩等四項工程。此計畫經報水利署審查及層報過程中，95 年 3 月因特別條例業公告實施，故乃改納入石門整治計畫提報辦理。

至於「石門水庫及其集水區整治特別條例」，則是 94 年海棠、瑪莎及泰利等颱風再造成桃園地區停水事件，林正峰等 40 名立法委員為求根本解決桃園地區停水、限水問題，於 94 年 10 月 5 日立法院議案關係文書所提出；林委員於 94 年 11 月 1 日邀集經建會、農委會、水利署、台水公司、桃園縣政府、桃園縣十三鄉鎮市公所及桃園縣十三鄉鎮市代表會等，召開「石門水庫及其集水區整治」暨「大桃園地區供水問題」研討會，後由水利署及本局彙整各權責機關工作項目及經費，於 95 年 1 月 5 日提報「石門水庫及其集水區整治綱要計畫 (初稿)」。立法院於 95 年 1 月 13 日三讀通過「石門水庫及其集水區整治特別條例」(附錄一)，並於 95 年 1 月 27 日公告實施，行政院接著於 95 年 5 月 24 日核定「石門水庫及其集水區整治計畫」暨「石門水庫及其集水區整治計畫第 1 階段執行計畫」。

本整治計畫共分成 3 項子計畫，分別為緊急供水工程暨水庫更新改善 (100.1 億元)、定供水設施及幹管改善 (49.5 億元) 及水庫集水區保育治理 (100.4 億元)，總經費 250 億元，施行期間 6 年，並以颱風期間不分區供水為目標。

本整治計畫相關執行機關跨各部會及地方政府，為利於整合協調，設置推動小組與工作小組，由水利署為幕僚機關。本整治計畫之 3 項子計畫各經費歷經數次修正，最後分別 111 億 9,526 萬元 (44.78%)、49.5 億元 (19.8%) 及 88 億 5,474 元 (35.42%)，總數仍為 250 億元，實施期程則展延 6 年到 106 年底，期程前後共 12 年。

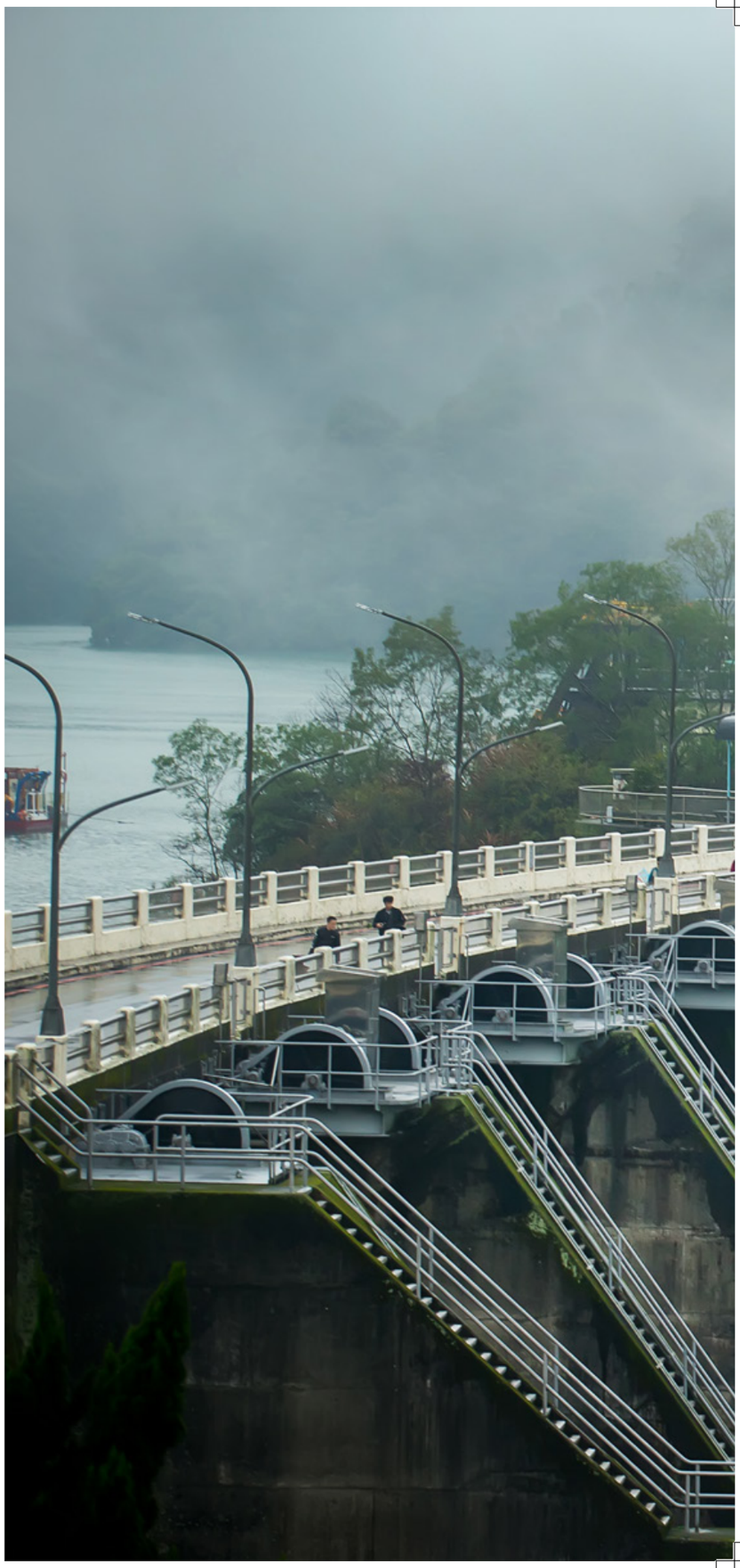
圖 1-3-1 本局中山堂石門水庫及其集水區整治計畫 - 集水區保育治理聽證會場 (95 年 9 月 22 日)

圖 1-3-2 經濟部侯次長主持石門水庫集水區保育治理聽證

圖 1-3-3 水利署科長賴建信於聽證會前簡報

圖 1-3-4 立法委員高金素梅於石門水庫集水區保育治理聽證發言

圖 1-3-5 民眾於石門水庫集水區保育治理聽證發言



貳

供水應變篇

第一章

艾利大停水緊急應變

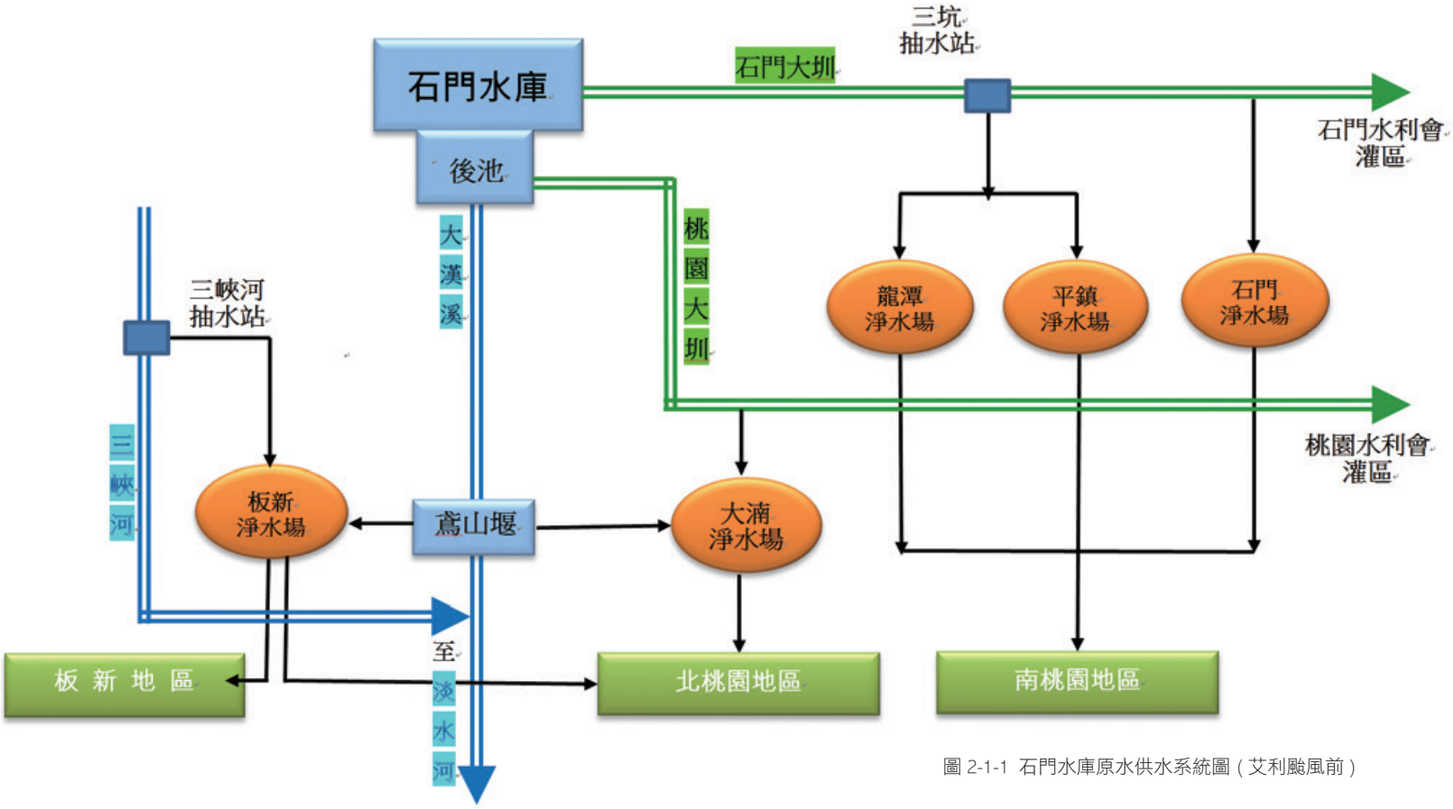


圖 2-1-1 石門水庫原水供水系統圖 (艾利颱風前)

一、風災前的石門供水系統

遭逢鉅變的石門水庫面臨第一波供水挑戰，就是颱風後的 18 天大停水，其後並接續發生電廠及永久河道放水口等水下底層取水設施損壞無法啟閉、颱風過後原水濁度再飆升等，在在都是對石門穩定供水的極大挑戰。

為了便於讀者對後續說明的了解，首先就石門複雜的供水系統 (圖 2-1-1) 作簡要介紹。簡單的說，石門是經由以下三大水路系統供水：

石門大圳：直接自水庫取水，供應石門水利會灌區農業用水及南桃園工業與生活用水。

桃園大圳：自後池取發電尾水，供應桃園水利會灌區農業用水及北桃園工業與生活用水。

大漢溪鳶山堰：取後池放流水或河道側流量，供應板橋、新莊及北桃園工業與生活用水。

二、大停水事件始末

艾利颱風後的 18 天大停水，與當年 5 及 7 月南水局的南化高屏聯通管爆管事件及 7 月中水局於敏督利颱風後的鯉魚潭水庫擋水閘門掉落事件，同列為當年水庫三大事件；以桃園大停水熱度最高、影響最大。

18 天停水期間，民怨沸騰、報章雜誌報導沸沸揚揚，經濟部及府院高層不斷蒞臨了解與關心，壓力最大的就是負責埋管的台水公司及負責壩頂抽水的本局同仁，全國人民幾乎天天盯著電視看我們如何努力的按裝大小黑龍及壩頂抽水系統，大家殫精竭慮的就是要讓全面停水轉成分區供水，再從分區供水轉成全面供水。最後總算皇天不負苦心人，後池及壩頂抽水作業與大小黑龍順利供水，在 9 月 12 日的海馬颱風帶來豪雨下，結束了夢魘般的大停水。

8 月 26 日　桃園地區全面停止供水。

8 月 27 日　板新淨水場的三峽河抽水站清理完成恢復抽水；但鳶山堰取水口仍遭阻塞，原水濁度仍高達 11,000NTU，無法取用。

8 月 28 日　鳶山堰阻塞清除完畢，原水濁度降至 3,500NTU，板新給水場漸進式出水，板新支援北桃園每日 10 萬噸清水。桃園大圳原水濁度已降至 1 萬 NTU 以下，北桃園改為甲、乙、丙三區分區供水。

深夜石門發電廠奉命關閉所有水庫放水閘閥，瞬間石門水庫變成了渾水潭，原水濁度大幅增加至數萬 NTU，底層甚至超過 10 萬 NTU 以上。

8 月 29 日　水庫以排洪隧道放水稀釋後池濁水，北桃園地區逐漸分區供水；庫區原水濁度居高不下，南桃園仍舊停水。

經濟部何美玥部長第二次視察災情時指示立即另覓替代水源供輸方案。

8 月 30 日　何美玥部長與朱立倫縣長同意石門水庫大壩與後池兩處緊急取水方案，於後池設抽水站調用三坑抽水站 3 部 1,500HP 抽水機，管線尚未埋設部分約 750 公尺以明管鋪設。

8 月 31 日　北桃園改採甲、乙二區分區供水。

行政院游錫院長、經濟部何美玥部長、內政部蘇嘉全院長、桃園縣政府及多位立委至平鎮淨水場關切桃園地區缺水情形。

圖 2-1-2 大停水期間民眾等候水車取水

圖 2-1-3 台北自來水事業處支援水車定點供水

9 月 1 日　南水北送 (由新竹支援南桃園)4.2 萬噸清水；北桃園南調支援中壢地區 10 萬噸，中壢部分地區與北桃園實施分區輪流供水。

9 月 2 日　本局為辦理壩頂緊急抽水作業，決定石門水庫園區自 9/2 至 9/6 暫停開放。

9 月 3 日　呂秀蓮副總統、朱立倫縣長蒞臨石門水庫關心桃園地區停水事件改善情形，水利署署長陳伸賢、本局局長李鐵民陪同巡視壩頂緊急抽水作業進度。

9 月 4 日　游錫院長及何美玥部長再度蒞臨石門水庫視察後池緊急抽水作業及壩頂緊急抽水作業進度，本局局長李鐵民陪同巡視緊急抽水作業進度。

9 月 5 日　後池緊急抽水作業 (大黑龍) 凌晨 2 時試水成功，南桃園開始採二區分區供水。

9 月 6、7 日 本局持續加派人力、機具趕辦壩頂緊急抽水作業，因抽水管線跨越大壩，石門水庫園區仍暫停開放。

9 月 8 日　呂秀蓮副總統巡視壩頂緊急抽水作業工程進度；另何美玥部長、朱立倫縣長、陳伸賢署長至石門水庫了解壩頂緊急抽水作業試水進度。

9 月 9 日　本局壩頂緊急抽水作業 (小黑龍) 於凌晨 1 時 17 分試水成功。

9 月 10 日 為增加供水量，水利署協助調用 24 部柴油抽水機，並由 12-14 部同時輪流抽水，供水量增至每日 20-25 萬噸。

9 月 11 日 在不影響民生用水前提下，工業用水開始逐步開放供應。

9 月 12 日 輕颱海馬為水庫集水區帶來豪雨，水庫入流量激增，自 9 時 30 分起開始調節性洩洪，但未影響自來水供水。

桃園全區恢復正常供水，出水量 102 萬噸。

三、大小黑龍大功臣

(一) 後池緊急抽水作業 - 大黑龍首建奇功

後池緊急抽水作業是因水庫底層原水過濁，石門大圳取水口 (入口標高 193.5 公尺) 之原水濁度遠超過自來水淨水場處理能力，南桃園幾乎無水可供，本局乃權宜先改由排洪隧道 (入口標高 220 公尺) 間歇放流低濁度原水至後池稀釋再設法由後池抽水到淨水場。何美玥部長與朱立倫縣長於 8 月 30 日同意由石門水庫大壩與後池兩處取水方案，南桃園要取用後池低濁度原水，必須臨時由後池設置抽水設備及導水管路至三坑抽水站 (圖 2-1-4)。本項緊急抽水作業係將三坑抽水站拆卸三部電動抽水機安裝於桃園大圳取水口 (圖 2-1-5~6)，並利用部分第

圖 2-1-4 後池緊急抽水作業及壩頂緊急抽水作業路線示意圖

二原水抽水站工程已埋設之導水管，再沿龍潭中正路三坑段，直接於路面中央架設導水管聯結至三坑抽水站。該 2,000 毫米直徑之黑色導水管路，為爭取時間，無法開挖路基埋設而直接架設於道路中央，當地人及媒體戲稱為「大黑龍」。(圖 2-1-7~10)

本項作業須在短時間內拆卸裝置抽水機及銲接導水管路，除了台水公司的包商外，經濟部亦緊急調動中船、中鋼、中油等國營事業專業人力，協助抽水機拆裝及導水管路銲接，並提供大型鋼板材料，台電公司亦同時協助架設緊急供電設施。在 24 小時日夜趕工下，於 9 月 4 日午夜完成，順利運轉，每日可供水 30 萬噸，9 月 5 日南桃園得以採分區供水。

圖 2-1-5 後池緊急抽水作業 - 三坑抽水站拆卸之抽水機組零件

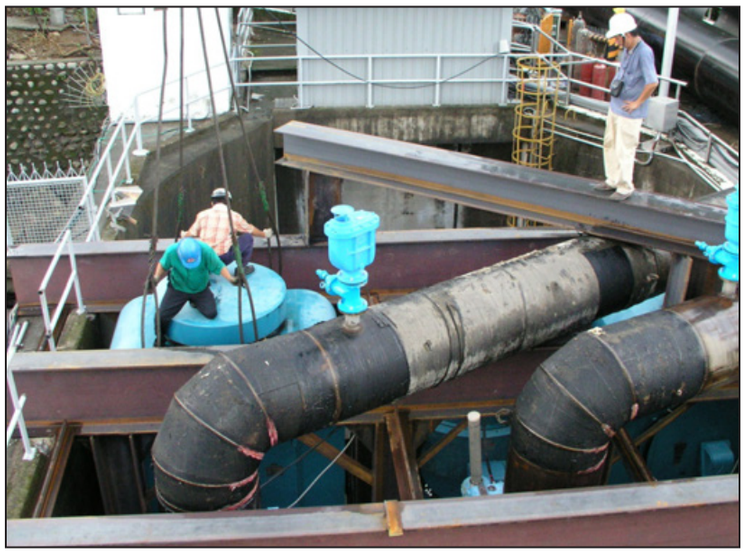


圖 2-1-6 於桃園大圳取水口安裝三部抽水機組及焊接管線

圖 2-1-7 後池緊急抽水作業於中正路三坑段之輸水管線 (大黑龍)

圖 2-1-8 後池緊急抽水作業於中正路三坑段之輸水管線 (大黑龍)

圖 2-1-9 後池緊急抽水作業於中正路三坑段之輸水管線 (大黑龍)

圖 2-1-10 三坑抽水站前之大黑龍

(二) 壩頂緊急抽水作業 - 小黑龍再報喜

本項作業使用之抽水機是緊急調度水利署各河川局用於排水之移動式抽水機 (詳圖 2-1-11~14)，其抽水能力較小，每台僅約0.3秒立方公尺 (揚程 10公尺)，且無法24小時連續運轉，須採間歇性操作，為滿足每日供水 30 萬噸，共調集了 24 部抽水機備用，安裝於水庫上游水域船隻維修斜坡上。另於下游壩面斜坡道路上，以1公分厚之鋼板銲接設置臨時集水槽3座 (詳圖 2-1-15~18)，各水槽間除緊密銲接及角鐵內支撐外，並開口使水流連通，且外圍以鋼纜繫

圖 2-1-11 壩頂緊急抽水作業 - 緊急調用河川局柴油抽水機於壩頂吊裝情形

圖 2-1-12 壩頂緊急抽水作業 - 柴油抽水機於壩前斜坡道作業

圖 2-1-13 壩頂緊急抽水作業 - 安裝於壩前斜坡道及浮台之柴油抽水機

圖 2-1-14 安裝於水庫上游水域浮台、斜坡之移動式抽水機組

圖 2-1-15 壩頂緊急抽水系統橡皮軟管橫跨壩頂道路進入集水槽

圖 2-1-16 集水槽鋼板材料送達後連夜趕工卸貨

圖 2-1-17 集水槽趕辦焊接組裝

圖 2-1-18 壩頂緊急抽水作業順利抽水入集水槽

留固定。集水槽再聯結於壩下游斜坡道路及中線路面架設之 1,350 毫米直徑臨時導水管 (圖 2-1-19~23)，經福華飯店及湖水岸餐廳門前，再轉民有路之 1200 毫米直徑黑色導水管至台三乙線與台四線交會處，再與後池桃園大圳取水口抽水之第二原水導水幹管匯流。兩條黑色大、小導水管蜿蜒於公路及水庫園區，一時蔚為奇觀，這於視覺景觀上是相當突兀的、不協調的，然而它又是緊急的救命水管線「大小黑龍」。

本項作業抽水機抽取之水庫表層水先抽送至集水槽，再經導水管輸送至三坑抽水站泵壓供應各淨水場。在日夜趕工下，於 9 月 8 日深夜完成。9 月 9 日起於浮台及壩堤共備 24 部 0.3cms 柴油抽水機，以 12-14 部同時運轉，其每日總抽水量約 20-25 萬噸。

圖 2-1-19 輸水管 (小黑龍) 於中線道路組裝

圖 2-1-20 大壩中線道路上的 1350 毫米導水管線 (小黑龍)

圖 2-1-21 輸水管組裝 - 於中線道路福華飯店旁 (小黑龍)

圖 2-1-22 輸水管組裝 - 於中線舊芝麻大酒店旁 (小黑龍)

壩頂緊急抽水作業於 9 月 12 日起更換按裝 20 部 50hp 高揚程沉水式電動抽水機 (圖 2-1-24)，再於 9 月 21 日按裝 1 部 200hp 高揚程電動抽水機備用輪替；9 月 10 日至 10 月 12 日期間，南桃園地區之供水是透過後池 (第一期) 及壩頂 (第二期) 緊急抽水作業恢復正常供水。

圖 2-1-24 壩頂緊急抽水系統改裝電動抽水機 (河川局柴油抽水機退場)

圖 2-1-25 行政院游錫堃院長於集水槽旁接受媒體訪問 (93 年 9 月 4 日)

圖 2-1-26 經濟部何美玥部長與水利署陳伸賢署長於大壩商討壩頂緊急抽水作業 (93 年 1 月 19 日)

(三) 完成階段性任務

「後池緊急抽水作業」及「壩頂緊急抽水作業」分別於 9 月 5 日及 9 月 9 日起啟動抽水運作，並於 9 月 11 日逐步開放供應工業用水，桃園地區於 9 月 12 日逐漸恢復正常供水。石門水庫於 10 月 13 日 12 時重新開啟石門大圳取水閘門，5 小時後原水濁度由 38,000 NTU 降為 700NTU(度)，排放之原水已可供南桃園淨水場處理，因此南桃園於 14 日 9 時恢復由石門大圳取水。這兩項緊急抽水設施於 10 月 12 日 24 時停機後就未再啟動，光榮完成階段性任務。後續水公司為「平鎮淨水場第二原水抽水站工程」施工需要，拆除後池緊急抽水設施，以第二原水抽水站 (圖 2-1-27) 取代了後池緊急抽水設施成為南桃園因應水庫濁度升高的永久設施工程 93 年 11 月開工，94 年 5 月 2 日由行政院長謝長廷主持啟用典禮。至於壩頂緊急抽水設施，除跨越大壩管線拆解外，抽水機組與蓄水槽則暫予原地保留，須俟新建分層取水工完工後才完全退場。(詳「參、浴火重生篇」第二章)

圖 2-1-27 水公司於後池左岸的第二原水抽水站取水口

第二章

颱風期常態性應變

一、揮之不去的濁水惡夢 -94 年再度停水

(一) 海棠颱風 - 壩頂緊急抽水系統重出江湖

94 年 7 月 16 日海棠颱風來襲，17 日石門水庫洩洪，庫區及後池原水濁度飆高，由於第二原水抽水站電機故障、變電器損壞無法抽水，致使其英雄無用武之地，桃園地區停水事件舊戲重演。台水公司於 20 日請求啟動壩頂緊急抽水系統 (6 部沉水式抽水機) 抽水，本局即刻動員抽取水庫低濁度表層水每日 40 萬噸 (圖 2-2-1~4)，亦協調台水公司設圍堰攔截、取用打鐵坑溪清水導入石門大圳混合，以降低濁度供應平鎮、龍潭淨水場。本次颱風北、南桃園於 7 月 18 日管線末端停水一天，7 月 19~23 日機動調配水源分區供水，於 7 月 24 日起恢復正常供水，影響供水天數有 6 天。

圖 2-2-1 海棠颱風壩頂緊急抽水系統 (電動抽水機組及浮台)

圖 2-2-2 輸水管線橫跨大壩

圖 2-2-3 壩頂緊急抽水系統調整橡皮管

圖 2-2-4 集水槽注水情形（集水槽外側國畫美化）

94 年 8 月 4 日馬莎颱風來襲，同樣的，石門水庫洩洪，庫區及後池原水濁度升高。台水公司第二原水抽水站因後池原水濁度過高而不敢抽水取用。因此，本局於 5 日啟動壩頂緊急抽水作業抽取水庫表層水供應南桃園地區原水，並再協助台水公司增加取用打鐵坑清水混合稀釋第二原水抽水站較濁之原水後供應南桃園淨水場處理，將限水危機降至最低。

本次颱風北、南桃園於 8 月 5 日管線末端停水一天；北桃園 8 月 6~12 日分區供水 (供一停一) 直到 8 月 13 日中午才恢復正常供水；南桃園 8 月 6~8 日分區供水 (供一停一)、9~10 日分區供水 (供一停二) 直到 8 月 11 日午夜南桃園恢復正常供水，桃園地區影響供水天數有 9 天。馬莎颱風後，這段停水期間，謝長廷院長、何美玥部長、陳伸賢署長、朱立倫縣長、台水公司李文良董事長等陸續視察壩頂緊急抽水情形。陳總統水扁更於 8 月 10 日視察石門水庫，並當著謝長廷院長的面公開表示：「要做好行政院長，就要先解決桃園缺水問題，如果水都不能替民眾解決，百姓就會懷疑院長到底做些什麼。」當晚謝院長即夜宿石門水庫旁中科院青山招待所，坐鎮指揮「供水大作戰」。

圖 2-2-5 瑪莎颱風後總統陳水扁視察水庫 (94 年 8 月 10 日)

圖 2-2-6 行政院院長謝長廷視察水庫供水 (95 年 1 月)

(三) 泰利颱風 - 強風吹斷台電供電饋線

94 年 8 月 31 日起泰利颱風夾帶豪雨過境，原水濁度亦隨之升高，惟已有艾利、海棠及馬莎颱風之經驗與改善作為，因此颱風期間用水缺口、分區供水情形較以往輕微。此次颱風雖造成用水缺口及分區供水窘境，主要是台電佳安變電所饋線被吹斷，導致三坑抽水站被迫停擺，因此台電於 9 月 1 日上午完成饋線修復及三坑抽水站恢復抽水後，南桃園淨水場即全面處理低濁度原水並漸進式供水。本次颱風北、南桃園於 9 月 2~5 日分區供水 (供一停一)，並分別於 9 月 5 日午夜、中午起恢復正常供水，影響供水天數有 4 天。

表 2-2-1 93 及 94 年颱風期間壩頂緊急抽水作業統計表

年	颱風名稱	尖峰流量(cms)	供水情形	備註
93	艾利	8,594	北桃園停水 2 日 南桃園停水 18 日	壩頂緊急抽水： 9 月 9 日~10 月 12 日
94	海棠	3,199	北桃園分區供水 6 日 南桃園分區供水 6 日	抽水能力 40 萬噸/日
94	馬莎	5,166	北桃園分區供水 9 日 南桃園分區供水 8 日	抽水能力 40 萬噸/日
94	泰利	3,689	北桃園分區供水 4 日 南桃園分區供水 4 日	抽水能力 40 萬噸/日

二、壩頂抽水系統再升級 - 96 萬噸抽水系統

(一) 系統構想

為解決颱風豪雨時，水庫原水濁度升高期間之供水問題，整治計畫規劃於大壩左岸增設「分層取水工」，施工期間必須水庫能維持正常供水。依據 94 年海棠、馬莎及泰利颱風經驗，第二原水抽水站於颱風水庫洩洪時，因後池濁度高而無助於水庫高濁度期間供水，壩頂抽水系統遂愈發重要，但每日 40 萬噸的抽水能量顯不能滿足北、南桃園之需。經通盤檢討後，本局局長賴伯勳依據北桃園、南桃園淨水場處理能力及用水需求，建議抽水量應提升至每日 96 萬噸，其中，供應北桃園、南桃園各每日 33 及 63 萬噸。因此壩頂 96 萬噸抽水系統新建於大壩右壩座岩盤上，並利用大壩邊坡道路設置輸水管線，將低濁度原水輸送至下游淨水場，以維持水庫高濁度期間桃園地區用水需求。該抽水系統 (路線布置詳圖 2-2-7，此與小黑龍管線布設路線圖 2-1-4 稍有差異) 完工後曾於數場颱風豪雨中啟動運轉，成功地化解限水危機，有效減輕災害損失，成效良好。

圖 2-2-7 壩頂 96 萬噸抽水系統輸水管線布設圖

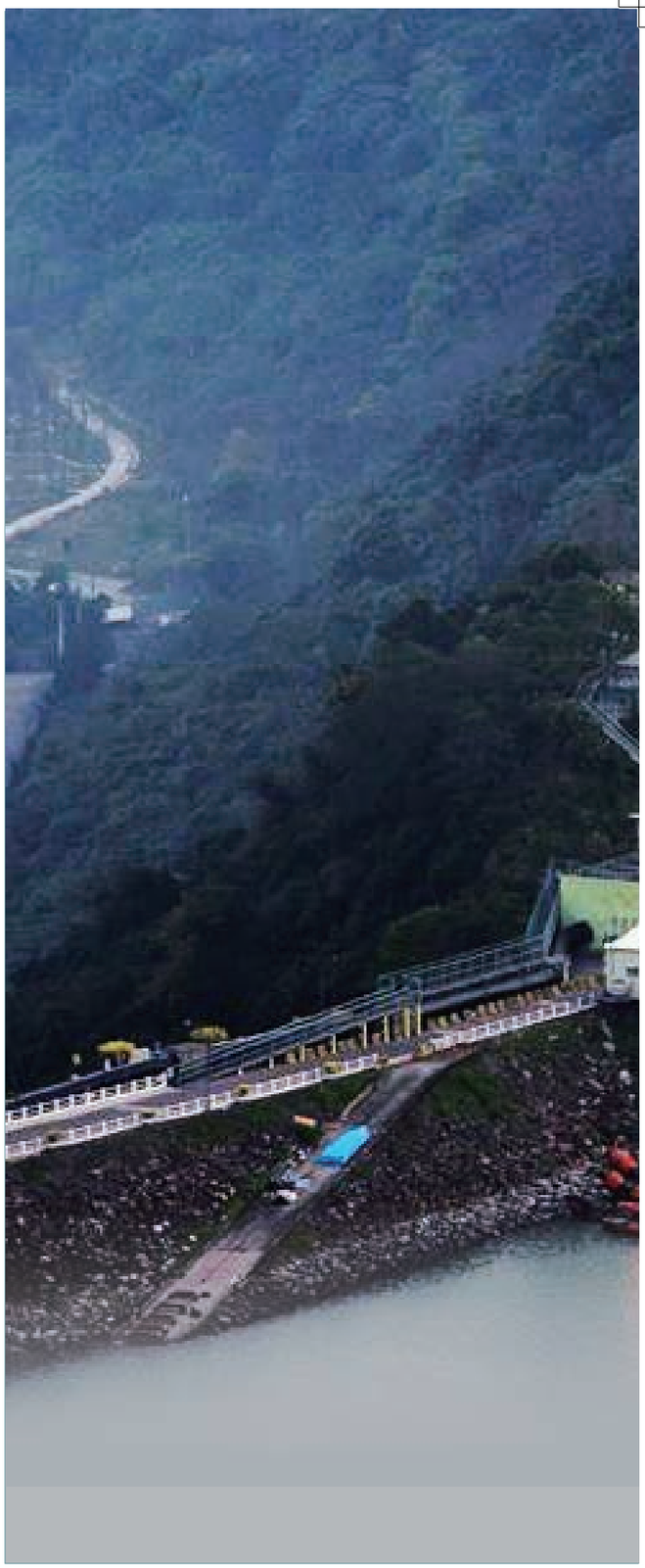


圖 2-2-8 壩頂 96 萬噸抽水系統遠眺（與原位於壩前斜坡上的壩頂緊急抽水系統相臨）

(二) 抽水系統概要

抽水系統係利用沉水式抽水機抽取水庫表層低濁度原水，經由高壓集水管匯集至集水槽後，再由輸水鋼管分送至台水公司轄管之三坑抽水站，經由加壓方式輸送，或放流於桃園大圳輸送。其主要設施包括抽水機組及集水管 (圖 2-2-9)、集水槽 (圖 2-2-10) 及 1,800 毫米輸水管線 (圖 2-2-11) 等。。

圖 2-2-9 壩頂 96 萬噸抽水系統 - 抽水機組及集水管線

圖 2-2-10 壩頂 96 萬噸抽水系統 - 集水槽

圖 2-2-11 壩頂 96 萬噸抽水系統 - 直徑 1800 毫米輸水鋼管

(三) 功成身退 -「分層取水工」接棒

壩頂 96 萬噸抽水系統歷經 95 年豪雨、96 年聖帕、韋帕、柯羅莎及 97 年鳳凰、辛樂克、薔蜜等颱風原水高濁度期間運轉操作，均達成不分區供水政策目標，成效甚佳。依據運轉資料顯示，自 95 年系統建置完成後至 97 年底止共運轉 438 小時 (表 2-2-2)，期間無一停水之情形，顯見此一壩頂抽水系統確已發揮效用。

分層取水工於 98 年莫拉克颱風首次接替運轉，歷經 99 年、100 年累積操作經驗並確認分層取水工功能後，本抽水系統已達成階段性任務，於 100 年 11 月拆除。

表 2-2-2 壩頂 96 噸抽水系統運轉時間統計表

年	颱風名稱	尖峰流量(cms)	供水情形	運轉時間(小時)
95	豪雨	818	無停水	16
96	聖帕	1,844	無停水	26
96	韋帕	2,788	無停水	80
96	柯羅莎	5,300	無停水	96
97	鳳凰	2,039	無停水	29
97	辛樂克	3,447	無停水	124
97	薔蜜	3,292	無停水	67
98	莫拉克	1838	無停水	75(分層取水工)

註：莫拉克颱風係改由分層取水工供應桃園地區低濁度原水。

參

浴火重生篇

第一章

取出水工災情及搶修改善

一、原取水塔概況

石門水庫取水塔位於大壩與溢洪道間，為斜依式，包括兩道發電進水口及一道永久河道放水口（PRO），取水口入口底部高程為 167.5 公尺，高於導水隧道入口底高程 135 公尺約 32.5 公尺（圖 3-1-1~2）。

石門發電廠位在大壩下游側，廠內安裝二部 45,000 瓩的佛蘭西斯豎軸式水輪機組，每部機組均由一條 4.5 公尺直徑的壓力鋼管引水發電，壓力鋼管起點的發電進水口為 88 公尺高鋼筋混凝土半十邊形構造物，底部自高程 167.5 公尺至 191 公尺，接續設有七層攔污柵。石門發電廠民國 53 年 1 月 21 日開始正式供水發電，每年為國內提供近約 2 億 5000 萬度的發電量，颱洪期間更可兼作底孔排砂之用。

圖 3-1-1 風災前取水塔及相關設施布置圖

圖 3-1-2 取水塔與導水隧道入口完工初期外觀

註：石門發電廠第一、二號機組各有獨立壓力鋼管及取水口；而取水口結構則與永久河道放水口共構。

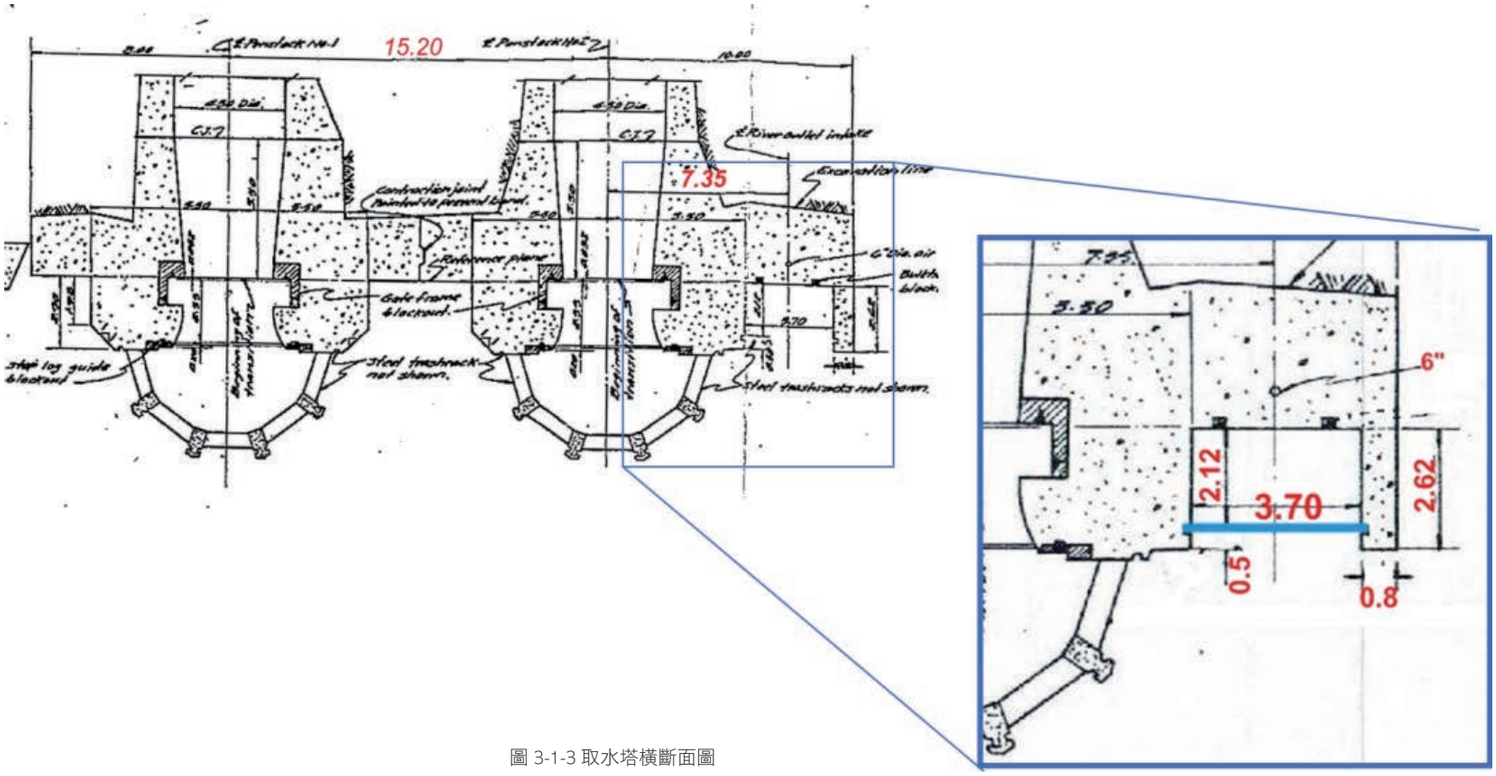


圖 3-1-3 取水塔橫斷面圖

永久河道放水口是石門水庫出水工中放流量最小、進水口最低者，主要是用於平時調節桃園大圳灌溉所需水量，尤其當發電廠停機整修時或水庫洩洪時配合開啟使用，其進水口與發電進水口共構 (圖 3-1-3)，輸水路放水於石門水庫後池，全部水路採鋼襯壓力管，中游則有閘門室一間，設有滑環型防護閘門一道（稱為滑環閘門），下游出口則設有何本式調節閥一道（稱為何本閥）。

石門水庫自 52 年 5 月導水隧道封堵以來，淤積泥砂持續增加，60 年 6 月間經淤積測量後發現，發電進水口及永久河道放水口附近的淤積已至標高 168 公尺，超過原進水口之基礎版面 0.5 公尺，當時台灣省石門水庫管理局考量水輪機磨損日益嚴重，於 62 年 7 月將取水塔從標高 167.50 至 174.66 公尺範圍的攔污柵以預壘混凝土包覆，採水下施工方式，利用攔污柵兩側導槽混凝土結構當作基礎，而在攔污柵內、外的上下游側分別以鋼板作為模板，模板間距大約是 1.3 公尺，中間則填以卵礫石料作為骨材，最後以輸漿管將水泥砂漿於水下灌入而成擋泥結構。

二、流木及泥砂淤積癱瘓取水設施

(一) 淤積物造成電廠發電機組全面停擺

93 年 8 月 23 日艾利颱風洪水帶來大量泥砂，首當其衝的是石門發電廠的二部發電機組；颱風過後，因淤積大幅提高，發電水輪機開始陸續出現操作異常，而進水口閘門也因注水閥失效與吊門機提吊力等問題，發生啟閉困難等狀況。石門發電廠的發電機組，主要在平時配合供水發電，颱洪期間更是重要的排淤設施，若因此無法發電放水，勢必讓進水口前發生大量沉積，甚至堵塞進水口。

圖 3-1-4 泥流從發電機渦殼殼維修孔流出情形

圖 3-1-5 石門發電廠機電課人員檢視渦殼內水輪機磨耗情形

圖 3-1-6 水輪機遭泥砂嚴重磨損情況

圖 3-1-7 巨型流木推移至壩前並突破進水口攔污柵進入發電渦殼內

圖 3-1-8 水輪機蝸殼內的大型流木

圖 3-1-9 發電鋼管內堆積的大量流木

圖 3-1-10 水輪機組遭流木成阻塞及磨損

圖 3-1-11 水輪機遭流木等淤積物填塞情況

在當時因為大量流木已堵住發電進水口攔污柵至高程 189.5 公尺，我們於 93 年 12 月開始進行水下清淤工作，依據石門發電廠黃萬枝廠長的建議，優先清理二號發電進水口及恢復二號發電機組；而初期辦理水下清淤，終將攔污柵前淤積高程降至 183 公尺，並在 94 年 6 月 7 日率先讓第二號發電機組恢復滿載發電，但就在當年海棠、馬莎颱風過後，發電進水口攔污柵再次因為淤積而嚴重堵塞，我們被迫於 9 月 9 日起再次停機緊急處理與檢修；而經這次水下搶修也將淤積高程控制在 185 公尺，並且在 12 月 20 日恢復運轉，只是因為配合一號發電進水口清淤，二號發電機組當時僅能採低載間歇性排砂運轉方式，目的是希望協助排出發電進水口底部淤泥及細小雜物。

95 年 3 月至 11 月，持續進行發電進水口與永久河道放水口取水塔外的流木打撈清除作業，清出漂流木多達 57 餘噸。(圖 3-1-4~11)

(二) 永久河道放水道閘閥損壞

在艾利颱風及 94 年多場颱風的衝擊下，庫區淤積泥砂大幅增加，漂流木更隨洪水流入庫區並沉落庫底，造成多次發電設施損壞，無法發電供水；而永久河道放水口就在此時，擔負起穩定供水重任，單是在 94 年就配合開啟了 254 次。

民國 95 年春，為確保汛期能穩定供水及水庫設施操作安全，準備在 2 月 19 日開始進行石門發電廠一、二號發電機組閘門水封維修及二號機組大修；由於發電機組停機無法放水，我們須再次操作永久河道放水口何本閥，以放水鳶山堰供應北桃園及板新地區用水需求，乃於 2 月 21 日下午 3 時開啟了永久河道放水口何本閥。

圖 3-1-12 民國 95 年何本閥排放出高濁度泥水

22 日上午約 7 時 30 分，石門發電廠操作人員檢視放水口閘閥設施時，發現它排出的原水突然由清轉為濁泥水 (圖 3-1-12)，當時無風無雨，這狀況確屬怪異，於是值勤人員立刻向養護課黃進城回報，並逐級向邱忠川課長、魯漢原主任工程司、鍾朝恭副局長，以及賴伯勳局長陳報。鍾副局長隨即於上午 8 時 30 分率相關人員，會同石門發電廠廠長黃萬枝及機電課長楊桂浪至現場勘查，發現何本閥噴出的原水濁度甚高，考量供水及排砂需要與預防永久河道放水口壓力鋼管堵塞影響設施安全，暫不考慮何本閥關閉，而請相關單位持續觀察，如有異狀應隨時回報，同時於 10 時也立刻召開緊急應變會議。

當天上午 9 時 30 分起，我們以全天定點、定時方式進行後池原水濁度採樣及檢測，主要在何本閥出口、第二原水抽水站前（左岸）、後池右岸、桃園大圳取水口內、後池排砂道等 5 處設置監測採樣點，以每 2 小時採樣檢監測頻率進行原水濁度資料分析，以瞭解追蹤濁度的變化情形；而當時經現場立即檢測原水濁度已高達 123 萬 5,000NTU（泥塊狀，每立方公尺容積內泥砂重量高達約 620 公斤）且流量甚大。

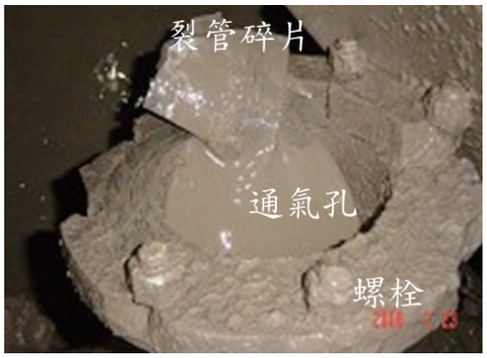


圖 3-1-13 民國 95 年何本閥排放出高濁度泥水

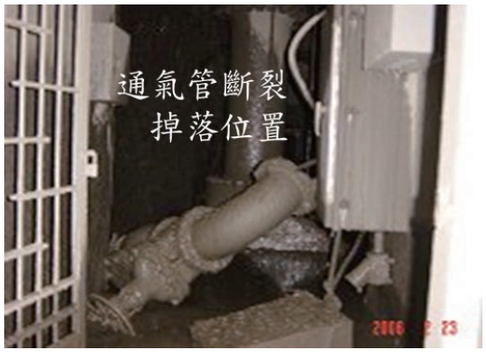


圖 3-1-14 滑環閘門下游通氣管斷損情形

何本閥出口濁度在 2 月 23 日上午 8 時降為 60 萬 NTU 且流量有逐漸減少，就在考量後池濁度及永久河道放水口設施安全的原則下，我們決定關閉何本閥；但當日上午 9 時經石門發電廠機械課主辦何朝欽巡察時發現，導水隧道內滑環閘門下游通氣管竟出現斷損情況，大量泥水更自斷裂處噴發出來 (圖 3-1-13~14)，因為該通氣管設計為單向輸氣管，研判可能因當時原水轉為高濁度泥水且混合漂流木及其他雜物造成管內阻塞，油壓滑環閘門下游側的空氣吸入閥出現管路爆裂斷損，可能在流況極不定下產生劇烈震動及壓差而造成瞬間斷裂，泥水自環滑閘門室大量流出，一時間導水隧道及監測廊道發生局部泥水淤積，深度更達 60cm(圖 3-1-15)，同時因所噴出泥漿損毀閘閥室內所有電氣設備，操作電力系統也發生跳電，這使得油壓滑環閘門無法操作。

滑環閘門的瞬間損壞，在當時對進水口水下狀況未明下，讓水庫供水操作更為棘手，也使得甫重整軍旗，才準備持續搶修電廠設施的團隊來說，士氣打擊不小。

當時水利署陳伸賢署長與楊偉甫副署長正好在石門水庫開會，我們立即向他們報告，也隨即在 12 時邀集了相關土木、結構、機電學者專家 7 人和各相關單位召開緊急應變會議，指示盡快清理現場與瞭解現況。

2 月 24 日上午 10 時，我們將環滑閘門下游通氣管斷損災害緊急事件與處理情形正式通報水利署，而經濟部水利建造物檢查及安全評估小組蓄水與引水工作分組委員在下午 3 時陸續抵達，隨即在石門發電廠召開檢討會，確認後續處理原則與步驟。

25 日上午 7 時石門水庫水位已降至標高 231 公尺，我們打算於 8 時將擋水閘板吊放至進水口來止水，但操作未能順利，閘板順軌道進入取水塔內沒多久就停住了 (圖 3-1-15)，我們想這

圖 3-1-15 導水隧道內滑環閘門水淹及膝情形

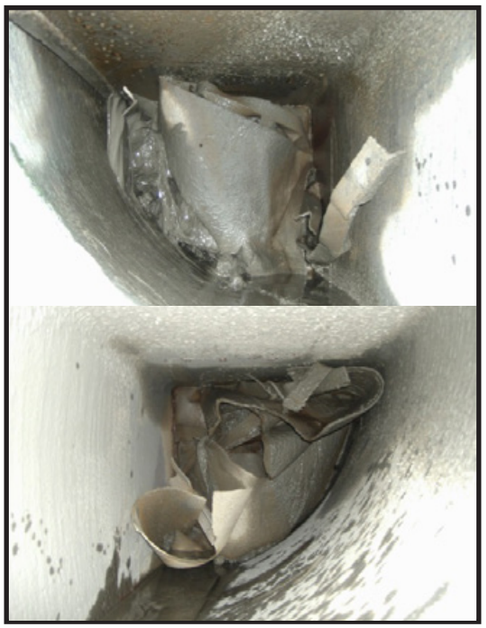


圖 3-1-16 何本閥十字導翼被厚鐵片及雜物堵塞

要不是軌道壞了，就是被東西給擋住了。上午 11 時 50 分再緊急請石門發電廠機電組楊桂浪組長率員以臨時電力設法將滑環閘門強制關閉，水才終於止住了，也才開始能考慮後續修復工作。

石門電廠閘門機組人員從 95 年 3 月 1 日開始清理何本閥，發現何本閥內竟殘留大量混凝土塊、鋼板及角鋼等大型雜物 (圖 3-1-16)，這些堵塞物應該是進水口前的預壘混凝土及欄污柵，錯不了；但這也顯示我們的進水口是不是已嚴重崩損壞了呢？而永久河道放水口是不是會失去功能呢？因為只有結構破壞，才可能使這些混凝土、鋼板等在瞬間被水庫淤泥大量帶入，而這似乎也導致永久河道放水口在 22 日所出現原水濁度遽增，擋泥結構前的淤泥是被順勢拉下來的，況且那時庫區自動監測也未顯示原水有濁度異常情形，而這樣整個情況就說得通，此時更確認永久河道放水口的取水塔結構應該已出現嚴重損壞或結構異常，剩下只是損壞程度如何，必須再儘快確認。

三、取水塔清淤與攔污柵搶修

(一) 石門水庫水下作業簡介

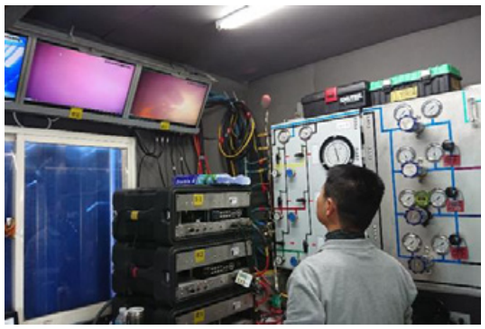
石門水庫的水下清理工作，是屬於高水深作業（水深 30 公尺以上），必須由專業乙級潛水人員下潛至最深 75 公尺處進行流木檢拾、清淤及變形傾倒攔污柵切割拆除等工作，此環境水甚低、水下光源不足，且泥漿飄散造成能見度甚低；為能確保潛水作業安全，首先需於工作水域設置工作平台，而水下工作設備包括潛水個人裝備、供氣設備（又稱維生臍帶）、潛水鐘與減壓艙等。

每趟水下作業都是以二人為一組進行，當工作潛水員經由輔助作業員完成裝備確認後，即等待聽從潛水總監指示開始下水；潛水總監如同潛水員的五官，他能透過潛水員回報水中狀況，負責指揮供氣（下潛時氦氧混合氣、上浮時氮氧混合氣）與水下工作，並掌握控制時間，確保潛水作業員安全，而在每趟水下作業執行期間，平台上則同時有救援潛水員著裝待命，以備不時之需。在 75 公尺深的水壓下，潛水員所承受的是約 8 大氣壓環境，為確保每趟潛水員的健康與工作持續進行，每趟水下作業僅有 30~40 分鐘作業時間，之後必須乘坐潛水鐘上浮進行水中減壓（於距離水面下 30 公尺處開始分段停留減壓，每次上升約 3.3 公尺，每次停留約 7~10 分鐘），而在距離水面 10 公尺處進行完最末次水中減壓後，潛水員離開水面隨即進入減壓艙，接續進行陸上減壓約 1.5 小時（水中減壓及陸上減壓均需視水中作業時間而配合增減）；因此，每趟潛水作業從著裝至完成減壓出艙歷時約 3 小時，因此每天最多進行三趟次的水下工作；潛水員規定一天只能下水一次，需間隔一天後才能再下水，相當於每個潛水員每兩天水下作業 30 分鐘。

在 93 年艾利風災當時國內水下作業人力及經驗均有不足，初期 95 及 96 年甚至還引介新加坡等國際水下作業專業人員 5 人前來協助與輔導，直到 97 年以後水下作業團隊才逐年加入我國海軍退役潛水人員等，逐漸建構出石門水庫水下檢查與清淤作業的組織與規模；而在水下工

作初期，即 95 年 10 月間還曾發生潛水人員因水中體能執行過度亦未適當回氣休息，而造成體內二氧化碳中毒及水中無意識情況，甚至無法自主呼吸、肺部損傷等意外。此事件也讓我們在作業初期即瞭解水下作業的高風險，促使我們建構出一套安全而完整的行前檢查標準作業程序；該作業模式已成為國內水庫深水作業在職業安全管理上的先驅及標竿。

石門水庫的水下清理工作包括流木撿拾、淤積沖刷、預壘混凝土清理、塌陷攔汙柵拆除等，依水下作業進展所發現問題逐一設法克服。(圖 3-1-17~32)



1

2 3

1 每日水下作業前，潛水總監須與潛水工作相關同仁進行作業指導及說明，確認每個人都能明瞭當日工作內容及目標。

2 潛水總監於控制室透過潛水作業控制面板通訊影像及控制台（包括供氣閥、排氣閥、深表、氣源力表、通信置等），藉以瞭解潛水員於水下的作業狀況，並對潛水員在不同的作業條件下，指揮與調整供氣、控及工作內容指導。

3 潛水員由兩位輔助潛水員協助著裝及檢查潛水裝備

1	2	3
4	5	6

1 潛水員等待潛水總監確認通訊及系統正常指示後下水

2 潛水員一躍而下的身影

3 輔助潛水員調整維生臍帶

註 : 輔助潛水員，除協助潛水員著裝外，當潛水員下水後，兩位輔助潛水員立於前後位置，協助潛水員維生臍帶升降，隨時感覺臍帶拉力調整、傳輸及安全維護 , 以確保潛水員水下的供氣、通訊及體維持；而潛水作業最為關鍵的維生臍帶設備；維生臍帶是為了長時間水下作業需求，以送氣管（臍帶）從水面將氣體輸送給潛水者使用。此外還具有測深、通話、熱水、攝影及燈光等功能

4 潛水鐘及吊放系統

註：依據「異常氣壓危害預防標準」，深水潛水作業時潛水人員須搭載潛水鐘上升或下潛。

5 潛水員完成水下減壓後陸續於上岸

註：潛水員於 8 大氣壓的水下環境，約僅有 30-40 分鐘時間可執行任務，隨後即需依潛水總監指令開始回撤上浮，首先進行水面下的水中減壓，然後隨即上岸準備進入減壓艙依減壓表時間進行艙內減壓程序。

6 潛水員上岸後儘速完成卸裝後進入減壓艙

註：當潛水員完成任務上浮後，須於 5 分鐘內儘速完成卸裝並進入減壓艙，身上的裝備則需由陸上工作人員協助拆卸。

2 潛水員上浮後須立即進入減壓艙，以避免因減壓不足而發生潛水伏病等危害；單趟作業係自下水作業開始至完成減壓結束，至少需 3~4 小時。而且潛水作業人員每次潛水作業完成，還需間隔 24 小時以上才能再次執行潛水作業。

3 合格減壓艙操作員正依規定操作減壓艙情形

減壓艙操作由合格減壓艙操作員負責，並隨時監看潛水員狀況及依規定程序執行減壓。潛水員進入減壓艙隨即佩載高濃度氧氣呼吸器，每座減壓艙可容納 2 位潛水員

4 潛水作業前逐一檢視各氣瓶組

\ 氣體組成比例、壓力

5 潛水作業必需的氦氧及氮氧供氣氣瓶須定期更新補充

6 水下作業所設置輔助設備 - 沖洗水刀

每日潛水作業後，再由水下高壓沖洗設備進行水下沖淤，以利隔日水下作業持續進行。

1	2	3
4	5	6

(二) 一號發電進水口清淤

石門發電廠二部機組在艾利颱風過後，所遭遇前所未有的流木及淤積物侵害，必須儘快清理以恢復發電供水功能。但由於艾利颱風過後，山坡地大量崩塌而使流木夾雜淤泥，94 及 95 年間陸續隨洪水推移至壩前，攔污柵前的流木是清了再清，無法於短時間內清除乾淨，而淤積物則是持續造成水輪機過流構件嚴重磨損。因此，當務之急是降低淤積高程，要降低淤積高程，進水口前的流木清理則是關鍵，因為流木堵塞攔污柵，造成進水口排水困難，甚至危害攔污柵結構安全，及閘門無法關閉的危險。

我們在 95 年 1 月 31 日嚐試開啟一號發電進水口閘門，希望恢復發電。但在開啟一號機組後，竟發生水輪機組內出現大量細小雜物，且瞬間堵塞啟動中的水輪機導翼，造成水輪機無法建立額定轉速；這時必須立刻關閉閘門斷水停機，並持續進水口前的水下清淤工作，而也因為發電水輪機導翼出現大量的細小流木 (圖 3-1-33~36)，讓我們不得不懷疑一號發電進水口攔污柵應該有狀況了，或許是有變形或破損，但因為塔內水下檢視能見度不佳且有流木堵塞，一時無法找出攔污柵究竟出了什麼狀況。

圖 3-1-33 一號機組水輪機遭大量流木細料入侵阻塞

圖 3-1-34 一號機組水輪機遭大量流木細料入侵阻塞

圖 3-1-35 電廠機電課人員進入水輪機渦殼清除淤塞流木

圖 3-1-36 發電水輪機導翼拆卸後檢查發現磨損嚴重

圖 3-1-37 一號發電進水口取水塔架設抓斗機械

一號發電機組於 95 年 5 月 5 日進行第二次試運轉操作，這次依然有大量細小雜物堵塞水輪機導翼，甚至造成新安裝調速機跳脫，導翼也無法全閉，機組一時無法解聯停機。這時必須立將一號發電進水口閘門關閉，但問題來了，進水口閘門定位翼板竟同時被流木卡住，閘門無法止水，導翼無法閉合，使機組無法解聯停機，這不但原水會持續流失，機組也將因持續遭細小雜物進入而使水輪機導翼與機組磨損增加。

經賴伯勳局長在 5 月 12 日邀集專家學者緊急研商，設法阻斷進水口的入流狀況，於是投入淤泥太空包、綿繩、麻布袋等堵水材料，而壓力鋼管內亦配合投入細木、綿繩、不織布等輕質堵漏材料，但歷經二個月始終無法將進水口順利止水。7 月 11 日上午當賴伯勳局長親至現場視察，在壩頂遇到施作潛水伕工程的黃老闆，並建議黃老闆嘗試請潛水伕將大塊帆布投入水下取水塔進口，結果一號壓力鋼管竟在當日傍晚不再有流水聲，對於這樣的變化，7 月 12 日經由石門發電廠機電經理楊桂浪與本局黃進城取道發電機蝸殼爬入，才確認進水口已成功止水。

7 月 14 日我們終於讓一號發電機安全停機，並著手機組的清理工作，而在一號機組整理完成後，隨即關閉發電機組，而 9 月 27 日開始清除一號取水塔內當時為了緊急堵水所入的太空包等雜物，初期我們期望藉由潛水人員進入取水塔內進行雜物清除，但因為受限於清淤空間

與能見度，且潛水人員水下時間有限，當時每天約只可清除太空包約2至3袋，效率無法提升；於是在 96 年初，經重新檢討並且發現取水塔原設計的擋水閘版軌道似乎可加以利用，於是研擬塔內抓斗設置的方案，並且在 96 年 2 月底農曆年過後開始進場安裝，3 月開始嚐試以抓吊進行塔內雜物清淤 (圖 3-1-37)，並輔以潛水人員水下協助整理作業 (圖 3-1-38~39)，就這樣經過 28 天，一共清出太空包多達 860 餘包，體積達 692 餘立方公尺；之後則尚需持續進行取水塔攔污柵整修工作與塔外清淤，整整歷時一年的時間，終於在 96 年 7 月清除完畢，並於 96 年 8 月 1 日恢復通水及一號發電機組發電運轉。

圖 3-1-38 95 年發電進水口前執行水下作業的工作平台

圖 3-1-39 潛水員正以吊籃運搬水下進水口前清出的巨大流木

(三) 永久河道放水道攔污柵搶修

95 年春，我們當時的目標是要將進水口前淤積面高程由 187.5 公尺降至 181 公尺；永久河道放水口於 95 年 2 月 22 日放水當時，不僅濁度升，而且放水口水流還有偏向情形。當時對何本閥內部阻塞情形與預壘混凝土崩壞，大家都有許多推測與猜疑；但因為考量高濃度泥流，中間若緊急斷水，則油壓滑環閘門也可能會因無法承受阻斷時的衝擊，而造成結構損壞加大，況且在阻斷水（泥）流後的永久河道放水口上段鋼管，還可能衍生全管段被淤泥堵塞，最終造成油壓滑環閘門無法再開啟，甚至永遠無法恢復的危險。因此，當時決定暫時保持何本閥、油壓滑環閘門開啟狀態持續放水。

但之後當我們嚐試吊放進水口擋水閘板時，卻發生無法放置定位，這讓所有人對於水下設施狀況到底出了什麼狀況，存有更多疑惑，取水塔內究竟出了什麼事？我們擔心取水塔內結構是否有嚴重變形或損壞？於是在 3 月 11 日我們緊急動員當時負責發電進水口水下清淤工作廠商配合進行臨時水下檢查作業，才發現取水塔內已佈滿大量沉木，且擋水閘板軌道銜接處已有發生位移情況，而攔污柵（已脫槽且被埋入）應該也發生嚴重變形並往取水塔內傾倒，更糟糕的是緊鄰攔污柵的淤積面高程，竟還高達 189.5 公尺，包含了淤泥、沉積漂流木及雜物等等，取水塔前通流取水斷面已完全遭淤積物所淹埋在底下（攔污柵頂標高 180.5 公尺）；而這樣的情況，永久河道放水口上、下游的油壓滑環閘門及何本閥等因進水口預壘混凝土及大量流木入侵而損壞嚴重，自然可想而知了。

永久河道放水口在 2 月 22 至 25 日間突發的何本閥濁泥流與滑環閘門爆發泥流等，經水下檢查結果，顯示此損壞事件非單一水工機械損壞，必須對輸水路上、下游整個系統一起進行改善；我們盤點了損壞的狀況 (圖 3-1-40)，決定從上游的進水口及下游的何本閥優先進行搶修及改

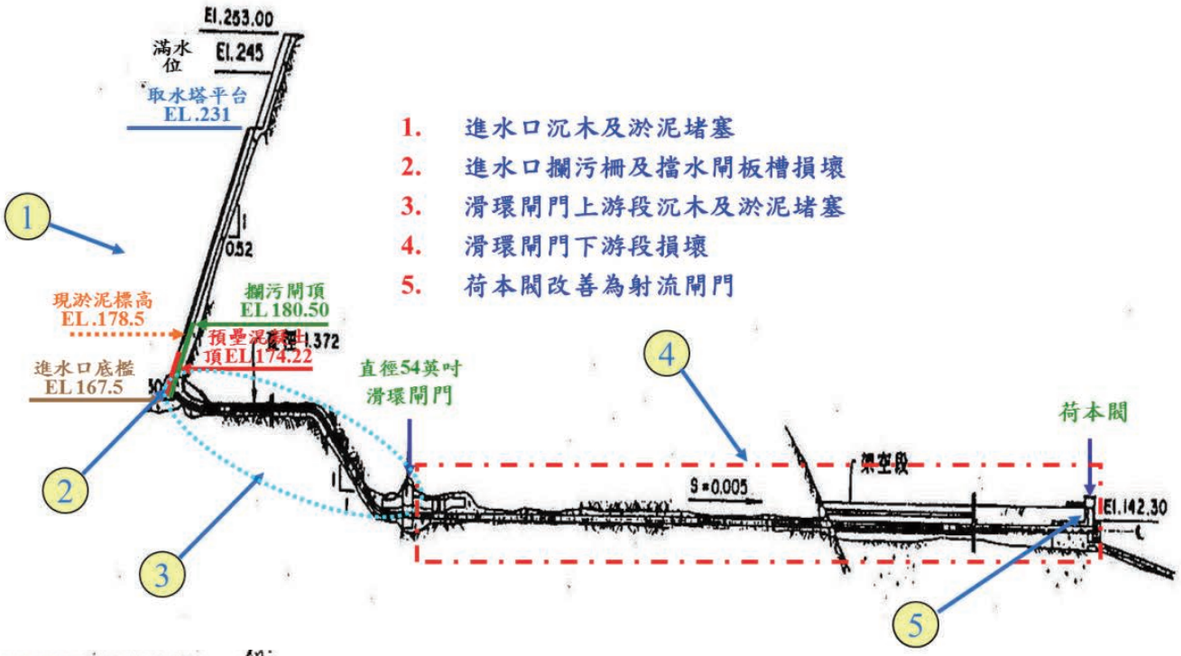


圖 3-1-40 永久河道放水道全系統損壞狀況示意圖

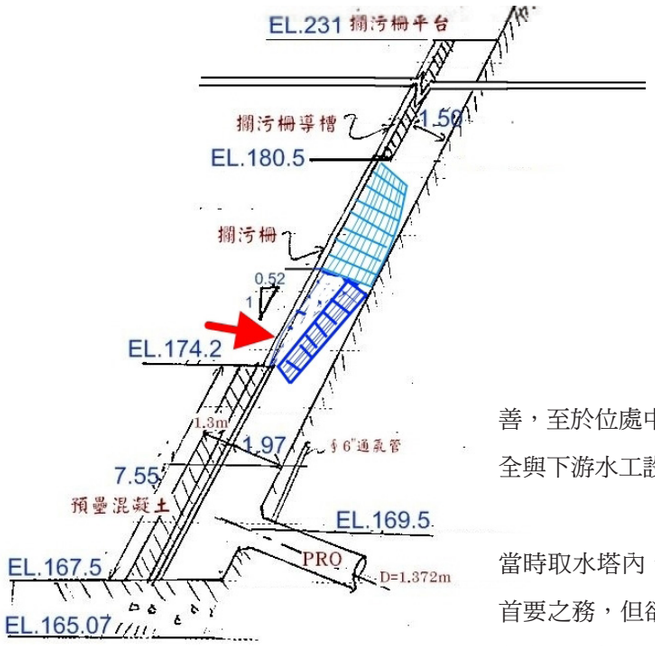


圖 3-1-41 98 年推估永久河道放水口取水塔損壞狀況

善，至於位處中間的油壓滑環閥門，因為暫時能維持阻水關斷功能，有利於上游清淤作業安全與下游水工設施改善工程的執行，而暫緩處理。

當時取水塔內、外是佈滿流木，實在無法讓人明瞭塔內損壞狀況；因此，塔內淤積清除成了首要之務，但欲清除塔內淤積，則又必須先將塔外淤積高程降低。於是，97 年 9 月我們開始永久河道放水口的水下清淤工作，並且在 98 年 4 月發現最上層 (第一層) 攔污柵，它的頂部出露約 1 公尺的範圍，而柵條也明顯往塔內傾 (圖 3-1-41)，並且還挖出了當時壓在攔污柵外一支 7.5 公尺長的沉木；但此時最讓人擔心的是，即將進入汛期，颱洪過後，我們所搶修清

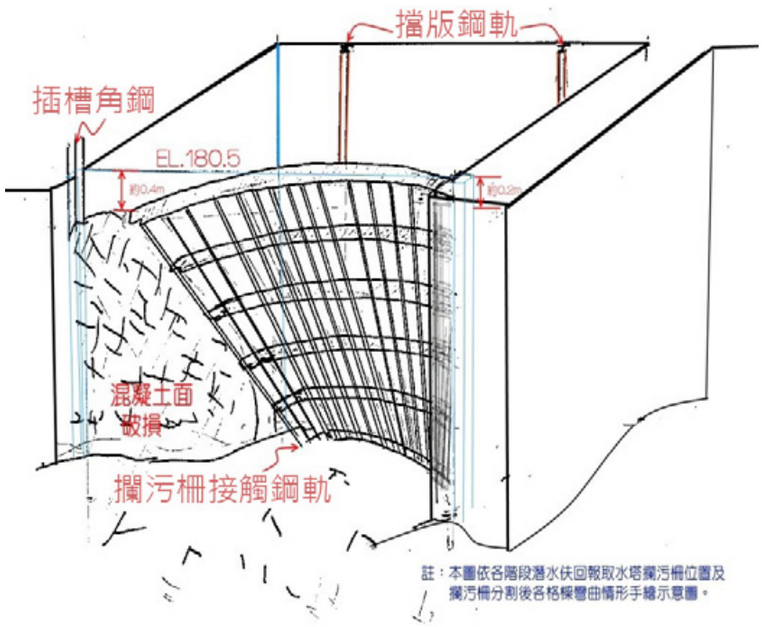


圖 3-1-42 第一層攔污柵結構損壞示意

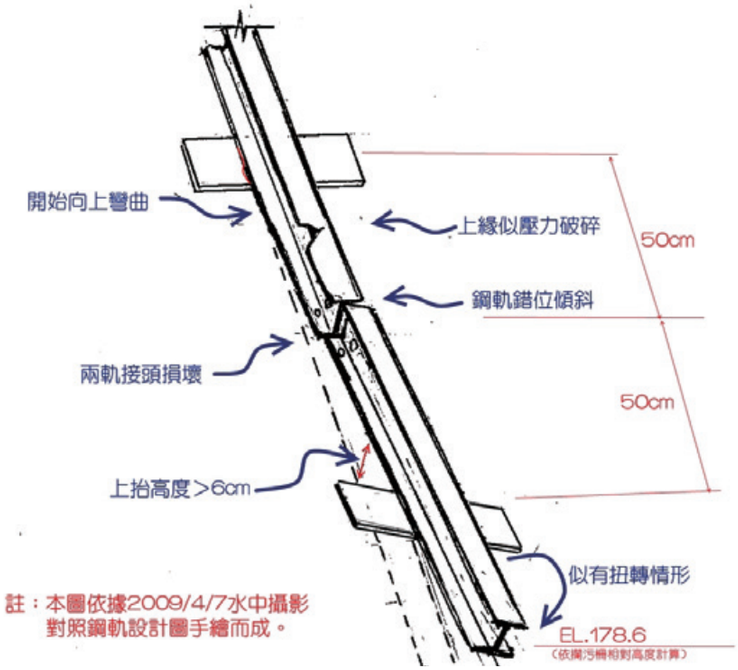


圖 3-1-43 導軌底座脫離混凝土面示意

疏的取水塔會不會再度回淤而功虧一簣？另外，就是當時第一、二層攔污柵預判應該是向塔內傾倒狀況，研判攔污柵應該已經脫離原有導槽，同時擋水閘板導軌也可能因攔污柵倒塌擠壓造成變形損壞 (圖 3-1-42~43)。

取水塔前水域淤積高程當時仍有 181 公尺，僅靠深水潛水員來撿拾流木著實無法加速降淤，這會影響前庭清淤成效，況且當時淤泥仍有持續向取水塔蠕動回淤趨勢，潛水員如果持續往下清淤，將會有遭淤積崩落掩埋的風險；這時我們想到可以在清淤範圍外利用抽泥船來降淤，同時利用浮台抓斗來提升塔外清淤功率 (圖 3-1-44)；於是 98 年清淤工作又增加了水庫抽泥浚渫船與浮台抓斗設備一組，來共同進行塔外水域流木抓取與淤泥浚渫工作，並且在 98 年 6 月 12 日我們將第一片攔污柵全數切割取出。

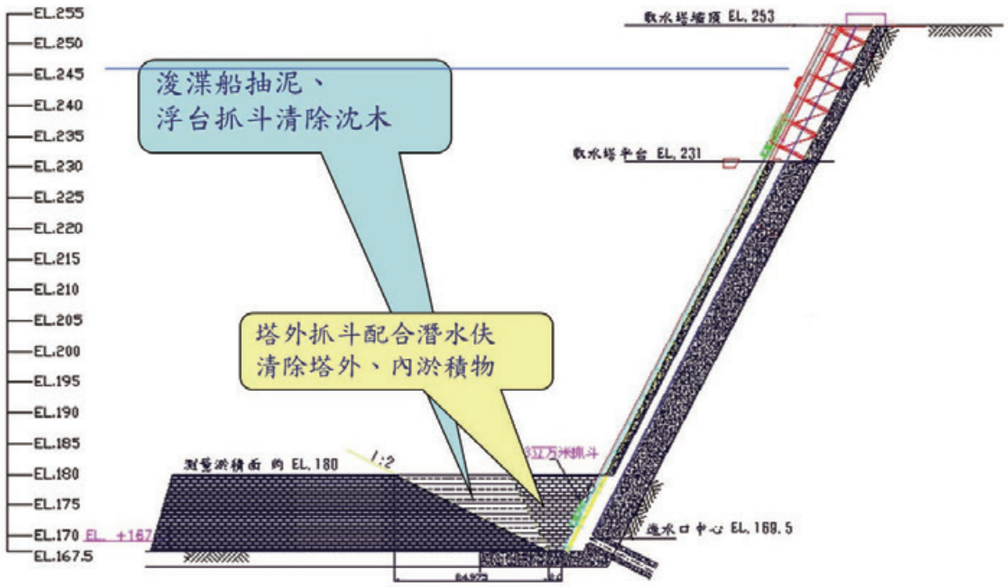


圖 3-1-44 取水塔清淤搭配抽泥船及塔外抓斗示意圖

98 年取出第一片攔污柵後塔內淤積高程降至 176 公尺，但取水塔外的淤積高程仍在 178 公尺，這讓塔內清淤及切割工作越來越困難，也擔心外部淤積會突然崩落造成危險；另外，水域抽泥作業及流木抓斗清除，都讓我們擔心會因趨近取水塔而傷及結構設施，於是 99 年初再次檢討，並於取水塔外增加抓斗一台，希望藉由取水塔混凝土結構外加設推進式鋼桁軌道及臨時支撐，這樣就能如 96 年一號發電進水口所設置的抓斗設備一樣，可以安全地抓取淤積物及流木。

圖 3-1-45 98 年於取水塔外增設抓斗設備

圖 3-1-46 98 年至 99 年的潛水作業平台

圖 3-1-47 抓斗設備大幅提升水下清淤作業效率

圖 3-1-48 從取水塔前取出的流木

而也就在 98 年塔外抓斗 (圖 3-1-45) 設置之後，果然清淤效能上大幅提升，不但在塔外形成了抓斗深坑，也讓水下作業人員可以不用再逐一撿拾流木，而只需將塔內流木及淤積物往塔外深坑入，再藉由機械抓斗直取而上 (圖 3-1-46~50)。至此，讓清淤效率大幅提升，再加以水刀夜間配合水下沖洗 (圖 3-1-51~52)，在短短的半年內，也就是 99 年 5 月就將塔內淤積降至 173 公尺，而塔外抓斗坑更達標高 169 公尺，同時也將第二片攔污柵在 5 月 11 日全部切割取出。

圖 3-1-49 抓斗設備配置清淤吊籃銜接所抓取的淤泥及雜物

圖 3-1-50　密斗式頃卸車載運至沉澱池指定池區集中處理

圖 3-1-51 水下沖淤專用浮台

註：為加速水下作業，設置水下沖淤專用浮台，並在抓斗設備上架設水刀設備進行水下沖淤。

圖 3-1-52 水下沖淤作業

註：每日潛水作業結束後，隨即進行的水下沖淤，以利隔日潛水作業持續進行；在天色尚明下，可看見水下揚起大量的淤泥。

圖 3-1-53 修正取水塔攔污柵損壞情況

就在抓斗有效提升清淤工率情況下，99 年我們也發現到第三片攔污柵是往塔內擠壓，且位移量比第二片更大，變形扭曲更為嚴重，甚至原有的預壘混凝土擋泥結構也已不復存在，相信底層的第四片攔污柵應該已埋於塔內，而其變形就更難想像，事實上這些損壞情況已超乎我們之前所預期（圖 3-1-53)。

到了 100 年 2 月 20 日我們將第三片攔污柵全數取出，這時才發現到第四片攔污柵，它往塔內倒塌翻轉，而且變形擠壓在取水塔最下方，近乎平躺，而它的頂部則壓在取水口上方，這時進水口露出，顯示永久河道放水口應該可以通水了，這也振奮了整個水下清淤工作團隊；但因為第一至三片攔污柵都已經取出，而時值 100 年防汛作業正要開始，倘若颱風洪流來襲，

流木及淤積物勢必再次入侵塔內形成回淤，而且既有攔污柵混凝土導槽其實也都毀壞，於是我們利用塔外抓斗軌道所架設鋼梁桁架，適巧作為攔污柵導槽，於是就將新製的四片攔污柵全數置入，並撤離抓斗設備，就這樣暫時完成了防汛整備及供水準備作業。

永久河道放水口在完成第三片攔污柵取出之後，又經歷三試通水操作測試，並且從 100 年 3 月 8 日起就暫時恢復成石門水庫供水調度設施之一，其中主要原因是為了配合電廠防淤一期工程 (詳本篇第三章) 自 100 年起，進行二號壓力鋼管斷管作業。而此期間將會因此減少發電供水，影響供水操作需求，此時永久河道放水口通水正好可進行供水支援，而同時也能在颱洪期間配合排砂操作；經統計在 100 年至 104 年間，永久河道放水口在這五年的颱風排洪排砂期間，就配合排了近 100 萬立方公尺的淤泥量。

但永久河道放水口第四片攔污柵終究是要取出的，因為我們的最終目標是要將擋水閘板順利吊放至進水口前，讓它恢復原有擋水功能，這樣也才能進行後續滑環閘門的檢查及修復；於是就在電廠防淤二期工程 (詳本篇第三章)104 年 7 月完工之後，我們準備在 105 年繼續永久河道放水口取水塔內最後的復舊工作，這次要將第四片變形攔污柵取出，並重新修復內部擋水閘板軌道結構。

而當我們自 105 年 10 月開始水下清淤檢查時，發現永久河道放水口在經過五年的供水排砂操作後，似乎沒有無明顯差異，這也顯示 100 年 3 月恢復供水運轉以來，經常性的開啟使用其實對於維持前庭與進水口暢通是有一定功效的；而為加速執行取水塔內舊有塌陷第四片攔污柵取出，我們將塔外攔污柵的鋼桁架增設提拉裝置，以方便水下進出作業機動，而開始執行變形攔汙柵拆除作業。但這次攔污柵塌陷變形與之前第一至三片攔污柵倒塌狀況不同，第四片是擠壓卡死於取水塔底，讓人擔心變形攔污柵會有預應力的存在，這在切割作業若稍有不

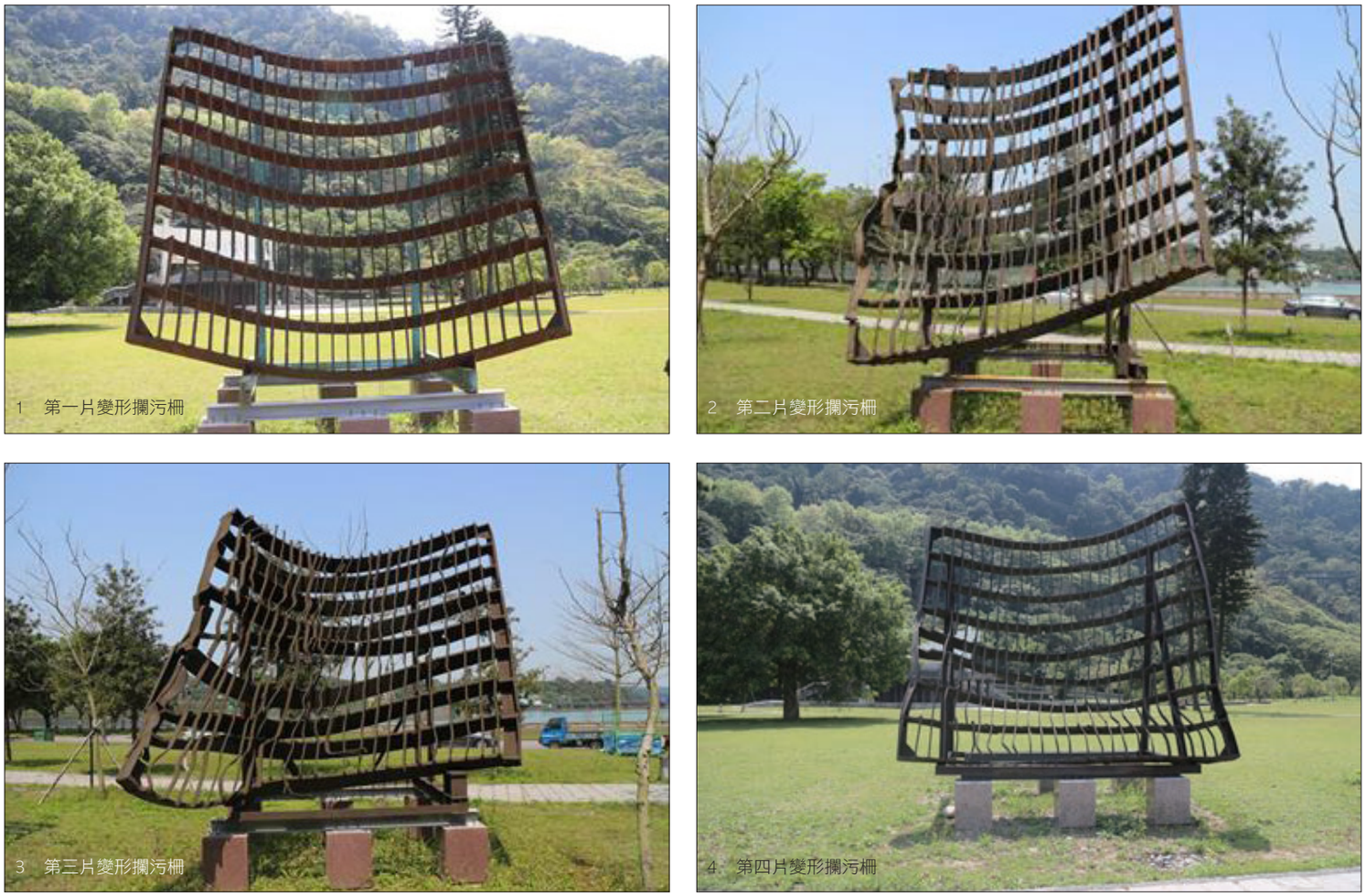


圖 3-1-54 第一至四片變形攔污柵取出復原狀態

慎，恐怕會產生應力釋放，危及水下人員安全；因此，在作業上必須選擇應力變化較小處開始切割，同時每切割一塊，即由內部搬運至吊籃取出，整個攔污柵被分解成 60 塊拆卸，並且在 106 年 4 月 19 日完成舊有第四片攔汙柵全數取出並重新焊接復原並於南苑展示 (圖 3-1-54)。

最後，我們繼續進行塔內變形軌道修復，拆除並安裝新製鐵軌，以及將取水塔內部水泥結構坍塌處進行鑽孔植筋與填料修補，這些最後收尾工作，終於在 106 年 8 月 29 日完成擋水閘板吊放測試，以及確認提吊啟閉順利之後結束。目前永久河道放水口已恢復取水塔原有操作功能，但也因預壘混凝土已全數崩解，目前的永久河道放水口已同時具備了水庫底孔排砂功能。

(四) 二號發電進水口擋泥結構搶險

101 年 12 月，二號發電鋼管改建為排砂專管 (現在名為「排砂隧道」) 的電廠防淤一期工程報竣，而 102 年的蘇力與潭美颱美期間，交出了亮麗的成績 (詳本篇第三章)，兩場颱風就排除了約 100 萬噸的淤泥，這是石門水庫 98 到 100 年連續三年抽泥浚渫才能完成的數量 ; 隔年，電廠防淤二期工程也正準備進行一號壓力鋼管的切管作業，因此，對於取水塔入口有必要再次進行水下檢查及攔污柵外流木撿拾清理工作。

100 年 3 月永久河道放水口暫時搶通並加入水庫供水運轉行列之後，事實上攔污柵是利用臨時抓斗鋼桁架暫時固定於取水塔外，我們每年仍需於汛期前、後進行水下檢查，必要時還是要請潛水員進行水下流木清除工作，初期曾嚐試以水下無人載具的方式在水下 70 公尺進行影像探測，但因為水下經常有流木，操作稍有不慎就可能因線路或機具設備卡在水下，風險大，而且深水處的懸浮物及濁度，也造成了攝錄影回傳影像無法辨識，無法達成水下檢查的效果；於是 103 年 6 月 17 日我們請潛水員先進行永久河道放水口塔內外的檢視工作，未發現任何異常狀況，且確認第四片變形攔污柵在取水塔內依然如三年前狀況。

但因為排砂隧道在 102 年初次使用，不知道初次排砂後塔內是否有異狀，於是請潛水員進入取水塔內將進水口檢視一番（原僅進行塔外攔污柵漂流清除）。排砂隧道是利用原二號發電壓力鋼管改建，當時已將 2 發電進水口取水塔的第 1 至 3 層攔污柵 (由上至下共 7 層) 更換為粗格框 (原攔污柵間距 12.5 公分改為 50 公分，以增加通流斷面)，流量也由原 60cms(秒立方公尺) 提升 5 倍至 300cms。102 年蘇力及潭美二場颱風順利進行排砂操作後，進水口前淤積高度確有大幅下降；但檢查後發現，取水塔內混凝土底版有穴蝕發生，同時進水口閘門框底檻鋼襯邊緣混凝土亦有淘刷情形。而最令人訝異與憂心的是，民國 62 年所增設取水塔攔污柵擋泥結構（與 PRO 預壘混凝土設置目的及工法相同）竟出現部分鋼模嚴重鏽蝕、脫落及

變形；剛開始我們懷疑是否因年久鏽蝕所致，為慎重起見，再請潛水員進入一號發電進水口取水塔內一併檢視。比對結果，一號取水塔在維持既有發電供水操作情況下，未有鋼模脫落及變形，反而二號發電進水口改為排砂使用後，底部出現結構變化。

另外，因為 102 年在蘇力及潭美颱風的排砂操作後，也同時讓第四、五層攔污柵出露，但這兩層攔污柵未改成大間距格框，這樣的狀況下很容易就受到流木與雜物阻塞，而且預壘混凝土可能會因亂流而有瞬間負壓並產生劇烈震盪，這些都會影響排放流量，且使下游端產生負壓的危險；雖然當時已經將 1 至 3 層改為大格框攔污柵，但顯然塔內鋼模仍受到瞬間負壓及亂流震盪剝離，甚至因向下水流而造成彎曲。（圖 3-1-54）

這也讓我們想起 95 年永久河道放水口取水塔結構崩壞時，何本閥十字翼版遭鋼版阻塞情況；而擋泥結構在水下使用 40 年後，它的強度及鋼板蝕程度也難以評估，但就檢查結果，原有塔內鋼模頂端約 1.5 公尺範圍因遭水流強拉向塔內彎曲，評估若再持續排砂操作，它剝離的程度極可能會再加大，甚至造成鋼模及預壘混凝土結構整體破壞，這將會有衝擊下游鋼管與挑流工的危險；假若鋼模整片倒塌，整片剝離吸入，還有發生堵塞進水口的可能。針對這些情形，我們立即陳報水利署，同時建議未完成改善前不宜持續操作，以確保水門操作安全。

水利署在獲悉這消息後，因為已進入汛期而且颱風隨時會形成，無法排砂的石門水庫，勢必造成供水困難；所以，103 年 7 月 11 日水利署在石門水庫環翠樓緊急召開研商會議，要確認搶修方案，而我們也就在 7 月 16 日成立了緊急應變小組，開始短期搶修及搶險工作。

當時我們希望能將預壘混凝土整個拆除，因為永久河道放水口在沒了預壘混凝土之後，底孔

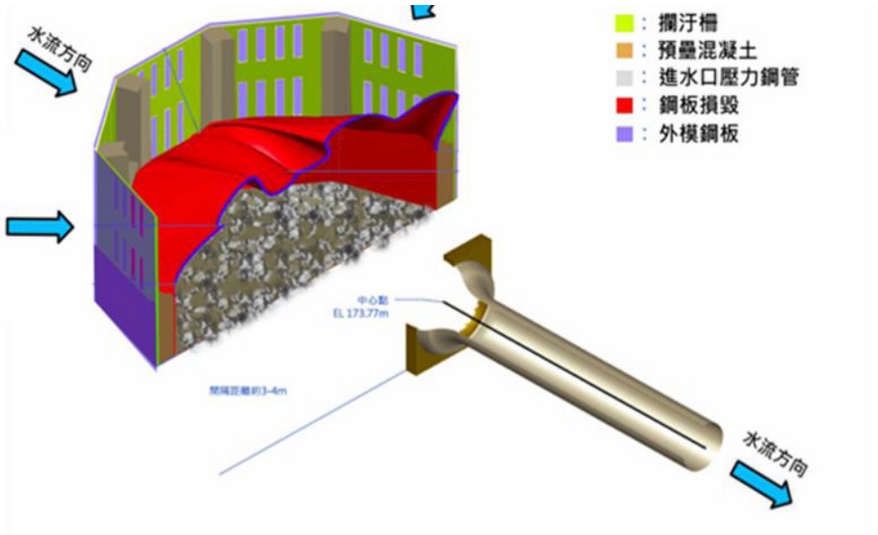


圖 3-1-55 二號發電進水口擋泥結構變形示意圖

排砂的效果十分良好；而我們也希望如果可行，也能將排砂隧道進水口的預壘混凝土拆除，相信更有利水庫排砂操作；但當時已進入汛期，我們所能做的是先解除設施操作的危害，之後才是如何逐步改善進水口設施。因此，我們擬定了一個短、中、長期的策略，「短期」內應該避免損害持續擴大，將變形鋼模儘速切除，以減少水流對它持續沖刷及拉扯，「中期」則是打算拆除第 6 及第 7 層攔污柵上的預壘混凝土，並將攔污柵改為大格框，讓整個排砂效果提升，最後「長期」則要進行取水塔及閘門設施改善，並提升監測控制設備，讓整個系統運作上更為完備與安全。

註：新一代的潛水工作浮台，為因應國內異常氣壓法規修正，並加強水下作業安全，除各項潛水裝備提升，亦增加潛水鐘及移動式減壓艙等裝備，同時增加獨立高壓水刀沖洗平台（右）；至於最後方靠山側則為水庫抽泥浚渫平台。

圖 3-1-56 民國 103 年的潛水工作浮台

於是，我們在 103 年 8 月開始進行變形鋼模切割與拆除作業，（圖 3-1-56）但因為水下能見度僅 20-30 公分，每個潛水員只能在短短的 30 分鐘內完成 50 公分見方的鋼模切割，我們將它一片一片取出（圖 3-1-57），而且每週召開二次工作檢討會來追蹤水下工作進度；至 103 年 10 月 12 日終於完成內鋼模剝離變形約 50 平方公尺全數切除，以及預壘混凝土 7 立方公尺的鑿除。

而就在內鋼模變形剝離部分完成切除工作之後，我們打算也要將未剝離的內、外鋼模進行拆除，但經嚐試鑿除混凝土及部分試切割後，發現當年所設置的預壘混疑土結構強度依然存在，鑿除困難；而內外鋼模未變形部分則因為有繫材固定，結構仍然穩定，即使部分切除繫桿後，仍無法順利取出；最後，我們嚐試開啟排砂隧道，觀察水流是否會持續將未變形的鋼模也沖刷剝離，但只有少許鋼模邊緣發生微小變化，以及臨流水面的混凝土產生沖蝕洞。

我們覺得若要將所餘預壘混凝土（含內外鋼模）全數拆除需鉅額費用及長期時間；由於尚有

第 4 及第 5 層攔污柵未更換成大格框攔污柵，於是我們將所餘的人力與時間，集中辦理這兩層 (每層 5 片 , 共計 10 片) 攔污柵的更換。但因為原攔污柵上頭仍殘留有混凝土，以及外鋼模等需清除或切除乾淨，才能順利取出並更換為大格框攔污柵（圖 3-1-58），而整個預壘混凝土變形鋼模與 4、5 層攔污柵更新等設施改善，終於在 104 年底如期完成。

民國 62 年所設置的預壘混凝土擋泥結構，當時是為防範庫前淤積危害，但在 50 多年後的今天，由於二號鋼管已作為排砂專管，擋泥結構反而成為影響排淤的結構；當改變其原有功能或使用用途後，許多條件會變得不合時宜，甚至可能成為危害因素，尤其在操作使用上，仍是一個不容忽略的細節。

圖 3-1-57 水下切割取出的預壘混凝土塔內變形鋼模

圖 3-1-58 攔汙柵更換為粗格柵作業情形

四、永久河道放水道放水閘閥更新改善

(一) 高壓射流閘門設計施工

石門水庫於 53 年建成時，即在永久河道放水口末端設置了一個直徑 1.372 公尺的何本閥，主要藉由電動馬達帶動鋼軸傳輸到齒輪，來使閥門前後移動，並可以調節不同開度，這樣的結構可適用於高流速的鋼管水路，同時也能獲得理想的射流與控制流量大小。（圖 3-1-59）

93 年艾利颱風過後，石門水庫壩前的流木泥砂淤積高程，一下子由 175 公尺高升至 190 公尺，不但造成進水口遭掩埋，何本閥在操作洩水時，也常因水流挾帶泥砂及沉木而屢次堵塞，尤

圖 3-1-59 功成身退的何本閥

圖 3-1-60 何本閥 95 年 2 月操作時流量降低水流偏向

註：民國 93 及 94 年多場颱風，造成庫區泥砂大幅增加，致使發電設施損壞，無法穩定供水，而何本閥在 94 年就配合開啟了 254 次；然而也經常因為流木及淤泥造成設施多次損壞

圖 3-1-61 何本閥十字翼遭沉木及淤積物堵塞

圖 3-1-62 何本閥十字導翼內流木及疑似混凝土變形鋼模

其在 95 年 2 月更發現何本閥射出的流量降低且偏向一側的堵塞現象 (圖 3-1-60)，最終發生整個取水系統損壞；但何本閥自 93 年艾利至 95 年災損前，即經常在十字肋板發生多次堵塞情況，清出了包括水泥塊、鋼板、角鋼及沉木等等堵塞物 (圖 3-1-61~63)，顯示當時水庫淤積及沉木等問題，著實已經危害到何本閥主要結構，更使操作及維護大受影響。

考量永久河道放水道這個石門水庫最底層重要洩水結構，必須重新檢視何本閥在操作上的問題，以及思考未來營運上的需求，而在型式上必需採全斷面式設計，這樣在運轉上就可避免沉木干擾；而閘門在全開時也能保持管路不產生負壓，且在動水時還能開啟或緊急關閉，甚至具有半開功能，同時將水鎚及濁水效應等納入考量，來確保設施操作中結構安全，當然最重要的是改建後仍維持永久河道放水口既有的洩水能力。

在確認需求之後，我們從 95 年 3 月開始規劃更新永久河道放水道的出水工，在 10 月完成發包，由國內大將作工業股份有限公司以新台幣 44,899,998 元承作；而工程主要就是將已使用 42 年的何本閥改建成全斷面射流閘門（還包括整流管、通氣管、調整短管等）。

圖 3-1-63 永久河道放水道何本閥取出的鋼模及巨大木塊

圖 3-1-64 射流閘門於日本栗本鐵工所製作情形

圖 3-1-65 射流閘門於國內工廠假組立及水壓試驗

圖 3-1-66 永久河道放水道新設的射流閘門運抵工區現場

圖 3-1-67 何本閥拆除及吊離情形

本工程最大特色，是在當時國內首件營運中水庫將何本閥改建為射流閘門，而閘門受力條件高達 207 噸，亦為國內當時採用射流閘門中最大者；工程在 95 年 10 月 23 日正式開工，前期主要在射流閘門本體、閘框及吊門機等機械設備產置，是委由日本栗本鐵工所製造，製造品質的關鍵就在焊道與應力消除，並在 96 年 5 月完成廠製及檢驗 (圖 3-1-64) 後，於 7 月封箱運抵國內工廠，原計畫隨即辦理廠內假組立及水密試驗，但因時節已進入汛期，於是調整至 11 月進行廠內組立試驗 (圖 3-1-65)，於合格後再運送至現場 (圖 3-1-66)；而這時舊有何本閥閘室也配合拆除及基礎開挖 (圖 3-1-67)，但因為滑環閘門未能完全止水，因此在既有管線切管後，就必須增設盲板與導水，以減少對於開挖基礎的危害。

圖 3-1-68 流射閘門與既有鋼管定位安裝

圖 3-1-69 整流管與閘門定位安裝

圖 3-1-70 永久河道放水道射流閘門試放水操作

註：永久河道放水道射流閘門新建工程完竣後，因進水口取水塔變形攔污柵尚未改善完成，無法順利通水進行有水試運轉，於是將滑環閘門關閉，進行滲漏水排淤操作，而排出高濃度底泥。

基礎完成開挖後，我們先將高壓射流閘門安裝並固定 (圖 3-1-68~69)，而對於埋入的射流閘門與整流管底部必須特別注是否充飽混凝土，而採分層逐次澆置；之後開始閘室土建基礎及樓地板與外牆等工程，此時關鍵就在吊門機等尚必須加強保護，以免危害機械設施。而週邊油壓系統與控制系統於 97 年 7 月陸續安裝完成，於 7 月 22 日先進行射流閘門無水試運轉，而土建部分也在 29 日全數完成；緊接著我們在 97 年 8 月 11~13 日及 26 日分別進行二階段有水試運轉 (圖 3-1-70)，但最後因永久河道上游進水口堵塞，最大放流量值僅設計值的 1/10，為避免因進水口取水塔再因壓差造成結構破壞，隨即暫時停止有水試運測試及操作，而工程也在未完成有水試運轉測試下，先於 97 年 10 月 8 日正式報竣。

永久河道放水口由原何本閥 (流量係數 0.8) 改建為高壓射流閘門 (流量系數 0.82) 後，在水庫水位標高 245 公尺狀況下，其排放量也將由原設計流量 29.1cms 略為提升至 31.5cms，不但改善因沉木堵塞影響操作問題，也同時確保了水庫洩水能力。

(二) 高壓射流閘門有水試驗

永久河道放水口自 95 年 2 月 22 日停用至 100 年 2 月 20 日第三片攔污柵取出後同時將進水口清出來，整整長達 5 年時間，且射流閘門自 97 年完工後一直沒有機會進行有水試運轉；所以，藉由取水口已清出之同時，再重新試操作放水，但因取水塔內仍有第四片變形攔污柵及淤積物，對閘門開啟操作是不是會衍生其它狀況或損害？既有管路是否仍正常？在在都必須小心驗證。

100 年 2 月 22 日我們進行了第一次開啟測試，在開啟完成滑環閘門並確認全開之後，開始操作射流閘門，採以分段提拉方式進行，並逐段紀錄閘門壓力值，但就在開度達 60 公分（全開為 130 公分）、射流閥管內壓力值達 6.89kg/cm2 時，整個出水狀況良好，初期甚至有大量淤泥被帶出，之後水色逐漸轉清澈 (圖 3-1-71)，但還是決定先暫停並結束第一次有水測試，並立即要進行各閘閥設施與進水口水下檢查。而這次檢查發現，可能因為排水拉淤的關係，取水塔內能見度變佳，狀況更為清晰，甚至可明顯看到進水口與第四片攔污柵之間，已出現約 60 公分距離空間，同時第四片攔污柵右上角水泥導槽處也因試操作拉淤結果，出露高度也擴大約 70 公分，這也再次讓工作團隊感到無比振奮。

我們認為永久河道放水口雖然第四片變形攔污柵尚未取出，但先行通水應該目標不遠了；於是在 3 月 1 日我們進行第二次的射流閘門開啟測試，這次水庫水位標高 235.0 公尺，而射流閘門標高 142.3 公尺，射流閘門處水壓計於靜水狀態下約為 9kg/cm2，這次我們打算嚐試更大開度的啟閉，同時也要密切監看著射流閘門水壓力數值與上、中、下各設施狀況（取水塔、滑環閘門及射流閘門）；其實我們在測試過程中，擔心的是怕會有注水不足或流態不順，因而產生管內低壓或負壓狀況，這都可能會衍生結構二次破壞危險，不得不小心謹慎；當射流閘門開啟至 60 公分後，射流閘門水壓計讀數降至 6.9kg/cm2，顯示與前次測試狀況大致相符，

圖 3-1-71 射流閘門第一次小開度放流測試

於是，再嚐試將開度提拉至 115 公分，水壓計讀數卻持續下降至 1.9kg/cm2，我們擔心持續開啟而壓力持續下降，會不會因上游無法注水或注水量不足而產生負壓，造成再次損壞；但經現場討論時突然想起滑環閘門水壓計是個可以參考的數據，當下立即請石門發電廠何朝欽課長派人查明，而結果發現中段滑環閘門仍有 5.3kg/cm2，顯示壓力鋼管內的注水及流況似乎仍屬正常，但因為提拉加大，進水口狀況還是需再次確認，於是我們決定先結束第二次的測試，隔日並立即進行水下檢查，查看取水塔及攔污柵等有沒有發生什麼異狀，結果發現水體濁度似乎略有升高，可能是流量加大，造成塔外抓斗坑底部淤積物受到擾動的關係吧！

經過了前兩次測試，我們重新檢視每次試操作後檢查結果，並對射流閘門水壓力值持續下滑狀況進行研究，認為其水壓計係設置在閘門內側出口，逐漸開啟時其壓力值逐步開啟所反應的壓力變小是符合流態的，但真正能反映管內流況的反而應該是滑環閘門的水壓力值，於是開始蒐集瞭解何本閥改建前的計測資料，並向石門發電廠何朝欽課長查詢確認，發現滑環閘門壓力值在過去何本閥操作歷史紀錄上，正常數量約莫就在 4.5-5.0kg/cm2 左右 (視水庫水位狀況)，而第二次測試結果尚未低於這個數值；因此，我們決定在 3 月 7 日進行第三次射流閥門開啟測試，希望能讓射流閘門全開操作，只是進水口狀況還是讓人擔心。我們同樣將人員布署在各個閘閥位置，開始了第三次射流閥門試操作，這時水庫水位標高在 233.62 公尺，我們小心翼翼地將射流閘門以每 10 公分逐段開啟並紀錄每一筆壓力值，而就在開度達 120 公分時，射流閘門水壓一如預期的持續往下，但滑環閘門水壓則僅從 5.3kg/cm2 下降至 5.04kg/cm2，一時間我們猶豫著，是否能持續開啟？但似乎也未達歷史常態值。因此，經再次確認各區無異狀後，決定往開度 125 公分及 130 公分操作，最終並完成 136.8 公分全開測試，而滑環閘門壓力值也就停留在 4.70kg/cm2 未再變動，此時，我們可以確認永久河道放水口已可暫時（因為第四片攔污柵當時還未取出）恢復供水運轉，並完成射流閘門的全開啟閉試操作。

五、 結語

發電進水口及永久河道放水口在 93 年艾利颱洪過後，曾一度因流木及淤積造成發電機組停擺及何本閥軸承斷損，但其在清淤過程，始終能勉強維持供水調度的重要任務，但最後當 95 年 2 月因永久河道放水口取水塔攔污柵不敵水中淤積壓力潰損，發生進水口崩壞、滑環閘門與何本閥故障失效後，5 月又發生一號發電進水口導翼與閘門無法關閉事件時，我們開始全面進行水下搶險搶修，總計執行水下清淤及修復費用高達新台幣 893,491,319 元；水庫設施長期以來未曾類似危機狀況，但日後仍有可能因異常氣候事件而產生微變化，倘未能儘早予以發現及改善，其終將成為日後維修成本更鉅大的付出，這也是未來水庫及大壩管理者，在安全檢查及維護同時，需格外注意的環節。

目前石門發電廠在歷經電廠防淤改善工程計畫改造後，二號進水口已改建為排砂隧道，流量提升對於進水口擋泥結構及週邊設施仍有持續觀注的必要，雖然部分變形結構已大致處理完妥；而一號發電進水口則配合增設分歧管，單管供應二部機組發電，如何在二部分機組聯合運轉下安全操作？以及未來進水口攔污柵是否仍有流木危害等？均需要持續水下檢視，以維設施安全；至於永久河道放水口的取水塔已大致改善完成，未來尚有 PRO 油壓滑環閘門需持續進行改善。而本次永久河道放水口損壞及修復的經驗，我們除建立了國內大型水庫水下檢查與清淤作業的重要模式，也讓石門水庫未來在操作與維護工作上，更清楚明瞭水下檢查重點與清淤的重要性，尤其每次颱洪事件的經過，不僅只水面上構造物安全，水下取水構造更是必須費心去觀照與注意，尤其是已使用了 50 餘年的石門水庫，更需細心呵護。

第二章

新建分層取水工

一、工程簡介

分層取水工主要功能在於水庫於颱洪過後原水高濁度情況下，取代石門大圳取水口 (入口高程 193.5 公尺)，取得較表層低濁度原水，以確保桃園地區自來水供水無虞。

分層取水工設計取水量為 140 萬噸 / 日 (16.2cms)，所取水量經 3 公尺直徑取水隧道送往下游，可經石門大圳聯通管送往石門大圳，或與水公司第二原水抽水站輸水系統銜接，送往三坑抽水站 (圖 3-2-1~2)。

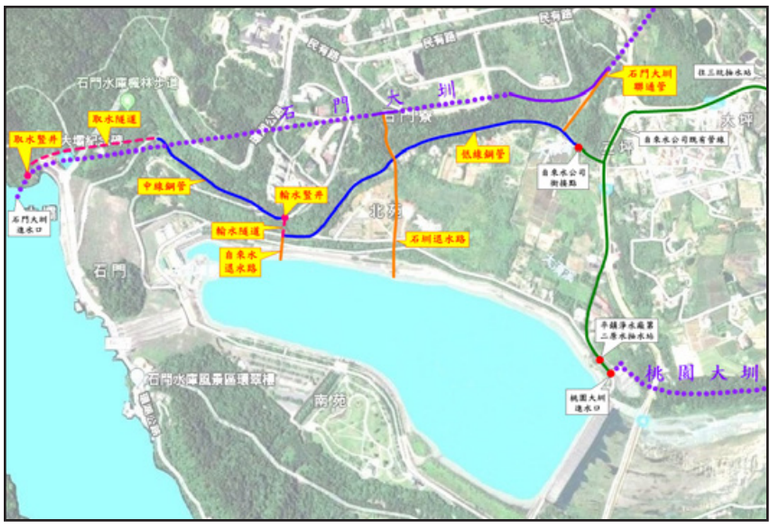


圖 3-2-1 分層取水工整體佈置圖

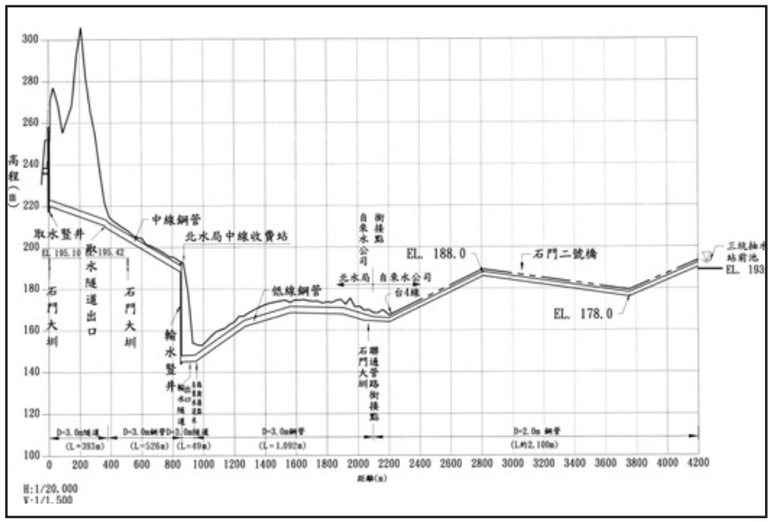


圖 3-2-2 分層取水工縱斷面圖

圖 3-2-3 取水豎井閘閥室及上、中層取水口

圖 3-2-4 自來水退水路末端排入後池情形

圖 3-2-5 石圳退水路實際排砂情形 (97 年 9 月 18 日)

取水豎井位於大壩左側山坡 (圖 3-2-3)，直徑 10 公尺、深度 43 公尺，共設三個取水口，高程分別為標高 236、228 及 220 公尺，其中 236 及 228 者已完工啟用，最下層的 220 須配合水庫水位下降後方可施作，目前雖已貫通隧道惟尚未完成攔污柵。

自來水退水路 (圖 3-2-4) 為管路最低點，平時可作為管內原水排空之用，在必要時亦可作為供應桃園大圳或鳶山堰之備援用。

石門大圳退水路 (圖 3-2-5) 主要為幫助水庫排砂，颱洪期間可利用石圳取水口將水庫內低層高濁度庫水經大圳輸送至此排放 (流量 13.78cms)。退水路乃利用石門大圳之一號渡槽興建退水口及既有河道邊坡保護工，並於既有排水路至石門寮附近，興建一入流工將水量分流於既有排水路及新設排水箱涵中，兩者水量最後進入後池，在必要情況下亦可利用此退水路供應桃園大圳或鳶山堰之用水。

石門大圳聯通管路從低線鋼管沿斜坡由標高 165 公尺爬升至 190 公尺的台地並與石圳渡槽段平行 (圖 3-2-6)，再經消能井 (圖 3-2-7~8) 後即由壓力流改變為明渠流，以明渠方式與石門大圳成 45 度斜交 (圖 3-2-9)。由於消能井深達地下 14 公尺，且施工位址鄰近石門大圳，考量石門大圳圳路安全而無法以大面積開挖施作，故本局與廠商研提變更施工方式改採沉箱方式施工。

1

2

3

4

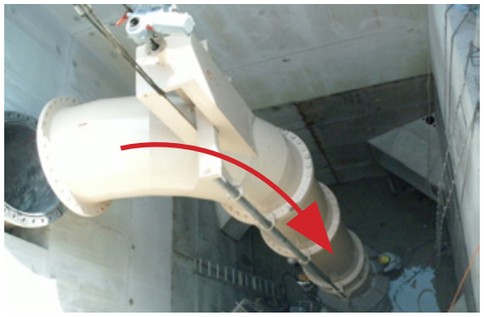
1 圖 3-2-6 聯通管路之直徑 1 公尺管橋

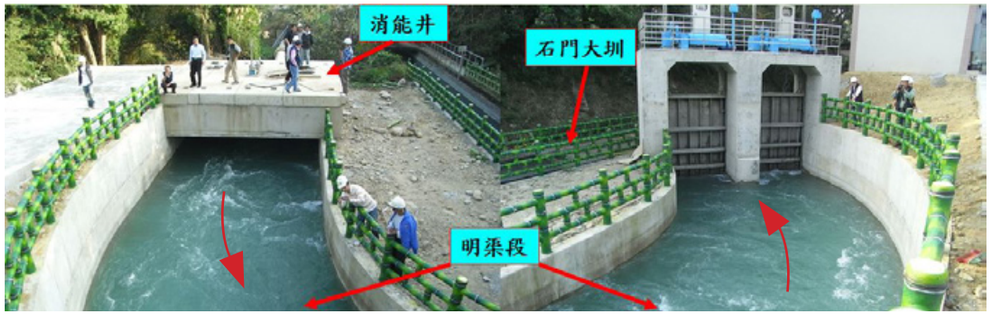
2 圖 3-2-7 聯通管路消能井沉箱施工

3 圖 3-2-8 聯通管路消能閥於消能井中安裝情形

註：水流由聯通管路管橋出口 (照片左側)，經消能閥導引向下。

4 圖 3-2-9 消能井內消能後之水上湧溢流至明渠段後匯入石門大圳





二、方案演變與決定

(一) 取水點及輸水路線規劃

新取水工之取水點及輸水路線之研選，必須考慮到穿越水庫山脊隧道長度、銜接自來水公司輸水系統之合理性、銜接石門大圳之方便性及退水路興建之可行性等因素；依自來水公司之下游供水系統，所有取水路線皆應通過省道台 3 乙與台 4 線交會處，再經由台 3 乙線輸送至三坑抽水站附近，故所有方案之下游共同點可採省道台 3 乙及省道台 4 線交會處。圖 3-2-10 為研擬之 5 個新取水工路線方案，分述如下：

1. 方案 A 龍珠灣線：於龍珠灣內設立取水點，經由取水隧道將原水以重力方式送至省道台 4 線石門二號橋附近出洞，再以取水鋼管沿省道台 4 線埋設，經以水管橋跨越大漢溪後，爾後沿省道台 4 線埋設至台 3 乙 / 台 4 線交會處。

圖 3-2-10 分層取水工路線方案圖

2. 方案 B 大灣坪線：於大灣坪附近設立取水點，經由取水隧道水源以重力方式送至溪洲大橋，以水管橋跨越大漢溪後，再沿省道台 4 線埋設取水鋼管至台 3 乙 / 台 4 線交會處。

3. 方案 C 排洪隧道線：於排洪隧道入口右側興建取水點，利用取水隧道將水源以重力方式送至南苑停車場處出洞，取水鋼管沿後池右岸埋設至溪洲大橋，再以水管橋跨越大漢溪後，沿省道台 4 線埋設取水鋼管至台 3 乙 / 台 4 線交會處。

4. 方案 D 重劃區線：於左壩座依山閣涼亭平台附近興建取水點，利用取水隧道將水源以重力方式送至水庫左岸重劃區民有路出洞，沿民有路埋設取水鋼管至省道台 3 乙線右轉至台 4 線交會處。

5. 方案 E 石門寮線：於左壩座依山閣涼亭平台附近興建取水點，利用取水隧道送至水庫中線道路出洞，以鋼管沿中線道路埋設至中線管理站附近，於該處設置一座豎井並以短隧道銜接至低線道路，再沿低線道路經石門寮送至省道台 4 線左轉至台 3 乙 / 台 4 會合處。

表 3-2-1 為依照施工工期、費用、難易度、用地取得、大壩安全及環境影響等六項因素綜合評估五個方案之差異，表中列出各方案之積分及排序，經評估後五個方案中以方案 E 石門寮線最佳，列為建議方案。

表 3-2-1 分層水工取水點及輸水路線之研選方案綜合評估

方案	評估因子						積分	排序	建議方案
	施工工期	施工費用	施工難易	用地取得	大壩安全	環境影響			
A	3	4	4	2	1	2	16	4	
B	2	3	3	2	1	2	13	3	
C	1	3	1	1	1	2	9	2	
D	1	2	2	1	1	2	9	2	
E	1	1	1	1	2	1	7	1	※

(二) 取水口型式規劃

1. **取水口型式：**考慮斜依式與直立式兩種取水口，斜依式取水工以 35 度斜角依邊坡岩盤面施作，直立式則於陸域岩盤中興建一圓型豎井由頂部至約標高 215 公尺，並藉由豎井開鑿水平聯通短隧道與水庫相通。經評估後，認為直立式結構為較佳方案，因豎井本身結構可以在無圍堰情況下施工，而與水庫相連的水平隧道可大部份同時完成，如此可縮短與水庫貫通期程，視時機在短時間內完成。反之，斜依式取水口其施工面全是臨水面，且施工程序複雜，臨水面工期長，施工風險大。

2. **取水豎井佈置：**豎井可採用濕式與乾式兩種，其主要差異在於濕式取水井將使用平板直提式閘門，取水井內部常保持潮濕或有水狀態；乾式取水井為於井中央設置一落水鋼管，如此落水鋼管與取水井壁間保持乾燥狀態，並採蝶閥為隔離或緊急閘門。經由操作、維護觀點及閥門操作之簡易性評估，決定採用乾式取水豎井。此外，本乾式豎井內之落水鋼管 (D ＝ 4.0 公尺) 在設計流量 16.2cms 之情況下，井中之平均流速約 1.29 公尺 / 秒，此流速將遠大於水庫水流接近進水口攔污柵的流速，換言之，任何被進水口吸引之泥砂將可被水流帶至下游管路，與濕式豎井平均流速僅 0.39 公尺 / 秒之方案相較可免除泥砂沉積於豎井之疑慮。

(三) 取水口高程規劃

1. 上層取水口高程

當重大颱風來襲後，石門水庫皆能達到並維持在標高 242.0 公尺之水位，故該高程可做為上層取水之設計條件。本工程擬於基岩中開鑿並興建直立式豎井，再由豎井中開鑿直徑 D ＝ 2.4 公尺之水平短隧道 (取水口隧道) 與水庫聯通。考慮在標高 242.0 公尺之操作條件下，取水口隧道頂拱應有 1.5D ＝ 3.6 公尺的浸沒深度，則上層取水口之底緣高程＝ 242.0 － 3.6 － 2.4 ＝ 236.0 公尺。

2. 下層取水口高程

從圖 3-2-11 及 3-2-12 來看，艾利颱風後自 93 年 8 月 30 日至 10 月 11 日石門大圳取水口處 (標高 193.5 公尺) 濁度隨時間的變化及庫區三個地點濁度與高程的關係，顯示有下列現象：

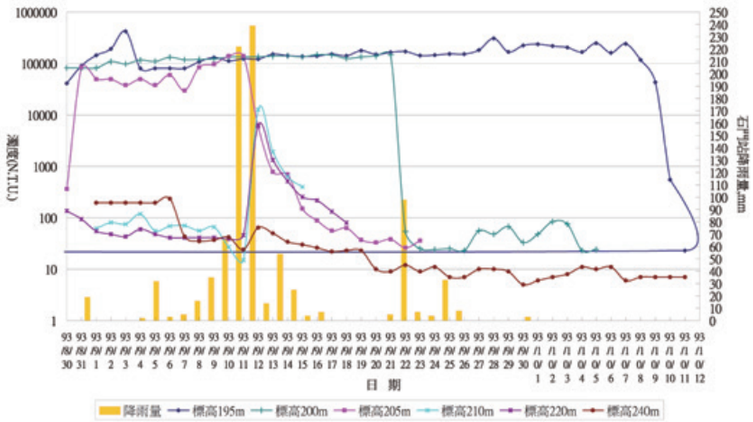


圖 3-2-11 艾利颱風後石門大圳取水口處濁度歷時曲線圖

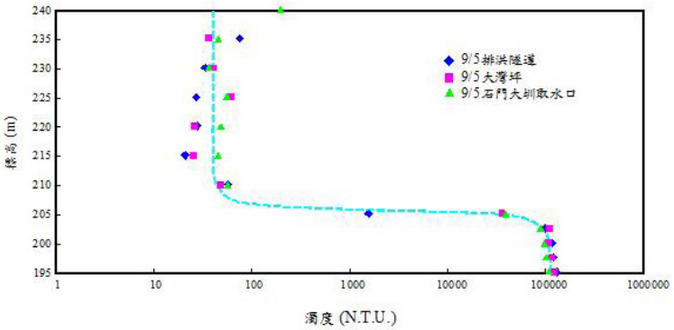


圖 3-2-12 艾利颱風後石門庫區不同位置濁度比較圖

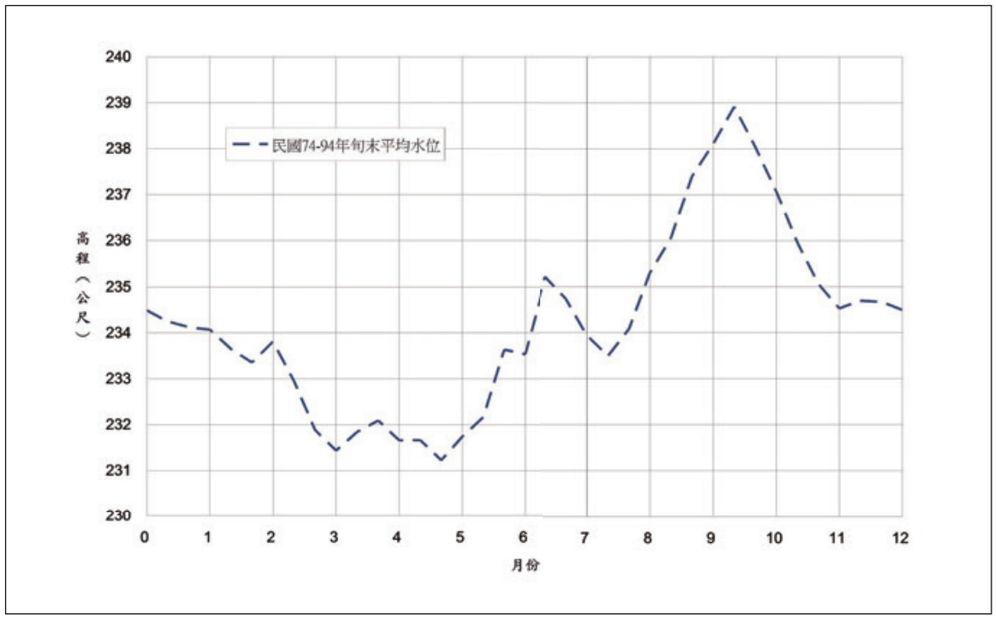


圖 3-2-13 石門水庫民國 74 年至 90 年旬末平均水位

- 標高 210 公尺以上的濁度約在 100NTU 上下，符合淨水場一般 2,000NTU 以下之淨水能力，唯標高 210 及 220 公尺的濁度因 9 月 10 日至 13 日上游集水區降雨而有明顯的增加 (由小於 100NTU 升至約 10,000NTU)，標高 240 公尺的濁度則所受上述降雨的影響有限。
- 濁度的最大梯度發生於約標高 205 至 210 公尺之間。
- 以 9 月 5 日的資料顯示，大灣坪、排洪隧道與石門大圳的水質濁度在同一高程下並無明顯差異，顯示濁度具有水平分層之特性 (即 horizontally stratified)。

  由以上資料可見，若以艾利颱風事件為設計基準，新取水工若欲取得低濁度水源，且考慮將來之淤積，此下層取水口高程應不低於標高 220 公尺；若該高程由標高 220 公尺再降至 210 公尺將有下列缺點：
- 圖 3-2-13 為民國 74 年至 94 年旬末的平均水位，由該圖可見長期而言，平均水位界於標高 231 至 239 公尺之間，其中每年 9 月至次年 5 月為水位下降期，5 月至 7 月水位略微上升，7 月至 9 月由於處於豐水期水位明顯上升。由施工角度而言這將大幅度縮短下層取水口隧道貫通水庫的時機，而使施工必須於庫區採用圍堰方為可行。
- 隨著取水口隧道之降低，下游取水隧道之高程亦需降低，如此不但增長取水隧道長度，亦將該隧道出口移至石門斷層破碎帶的範圍而影響洞口的安定性，增高取水隧道施工風險。

・取水豎井之平面位置相當靠近石門大圳隧道段，若取水口隧道之仰拱設定為標高 210 公尺則取水豎井應開挖至約標高 205 公尺，該高程與石門大圳隧道的頂拱標高 195 公尺僅有 10 公尺之差，可能影響石門大圳之安全。

基於上述原因，設定下層取水口隧道之仰拱為標高 220 公尺。依據前述浸沒水深的需求，規劃正常運轉之操作水位為大於或等於標高 226 公尺。

3. 中層取水口高程

為提供本取水工更具彈性的操作空間，設置中層取水口於上述二取水口高程之間，即取水口隧道之底緣於標高 228 公尺。由浸沒深度及取水口隧道之尺寸可設定本取水口之正常操作水位為高於標高 234 公尺。

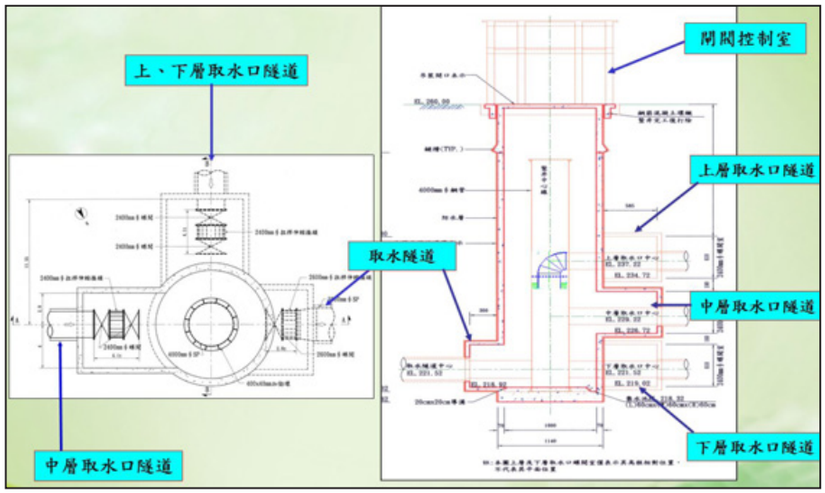


圖 3-2-14 取水豎井與三個取水口隧道斷面及剖面圖

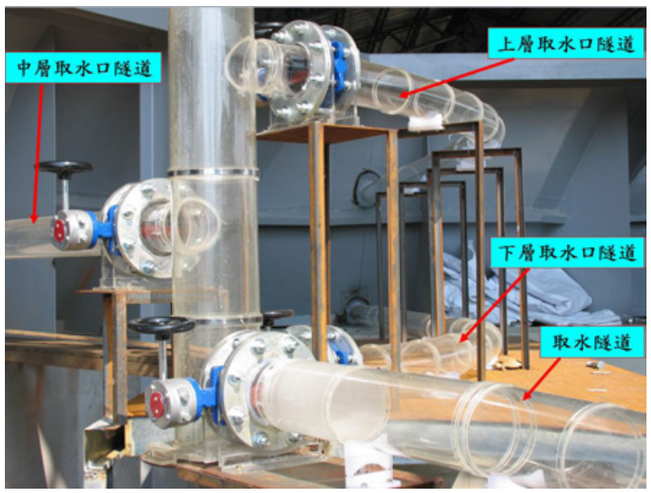


圖 3-2-15 取水豎井落水鋼管與三個取水口鋼管之模型

二、工程困難與挑戰

(一) 重件運輸道路

分層取水工取水豎井及隧道緊鄰大壩，為維護壩體安全，所有施工除不得使用「炸藥爆破工法」外，依山閣前之車道及平台，禁行總重 10 公噸以上之施工機械或運輸車輛，故原設計採用纜車吊運方式運輸蝶閥及鋼管。施工廠商於投標時評估取水豎井安裝之蝶閥重達 17 公噸，另直徑 4 公尺落水鋼管也達 16 公噸，廠商乃另提兩種替代方案，經評估最後採行方案三：由依山閣後側開設重件運輸道路。(圖 3-2-16~17)

為取水豎井、輸水豎井施工需要，分別拆除依山閣旁梅園涼亭 (圖 3-2-18) 及中線收費站票亭 (圖 3-2-19)，高線收費站則因其票亭入口處之寬度無法讓蝶閥及 4 公尺直徑鋼管通過，也被部分拆除 (圖 3-2-20)。

圖 3-2-16 廠商所提重件機械運輸方案

圖 3-2-17 施工廠商所提重件道路示意圖及重件道路施作情形

圖 3-2-18 依山閣旁原梅園涼亭及拆除情形

圖 3-2-19 原中線收費站及收費票亭拆除情形

圖 3-2-20 原高線收費站及收費票亭拆除情形

(二) 取水豎井

取水豎井設主要功能為銜接上游 3 條取水口隧道及下游之取水隧道，因此取水豎井成為本工程完成之關鍵之一，豎井未完成前各隧道永遠無法銜接相通、更遑論通水使用。但因受限工址位於壩區，本工程豎井及隧道施工禁止使用鑽炸工法，僅能使用傳統式機械向下開挖，然而豎井外襯砌直徑雖然 11.4 公尺，但因為是向下開挖，機具、人員等於站在開挖面上，所以扣除提供開挖、出碴、通風、抽水等機具設備作業空間後，真正開挖工作面非常有限，此外各項設施、資材皆需垂直上下吊掛進出，種種因素致使作業緩慢，若施工遭遇困難時，可選擇之應變措施亦相對受限。

取水豎井自井圈工作平台整地開闢完成後，為取得地質資料與原設計比對，施作補充鑽探，發現鑽探過程並無迴水，且鑽探孔內之裂隙與水庫相通，經研判未來豎井降挖至水庫蓄水高程下時，庫水應會經由節理裂隙大量湧入。因為原設計中已經有包含化學灌漿可供運用作為止水方法 (圖 3-2-21)，所以為降低未來施工干擾，決定於豎井降挖前先於井圈外環鑽設 20 孔垂直灌漿孔，並自標高 245 至 214 公尺間以原設計之化學灌漿材進行預灌，希望未來豎井降挖至水庫蓄水高程下時，能阻絕庫水經由節理裂隙滲入豎井。

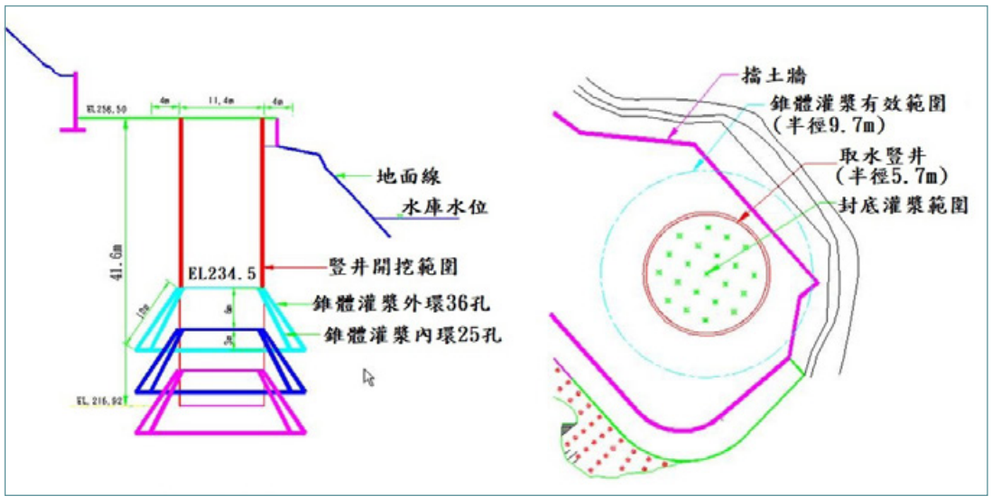


圖 3-2-21 原設計化學錐體灌漿設計圖

圖 3-2-22 湧水自井底裂隙大量湧入

圖 3-2-23 打岩栓時常會打到新的出水點，必須回頭補灌

井圈外環預灌作業完成後，施工廠商於 96 年 2 月開始進行豎井降挖作業，但 96 年 5 月 6 日豎井開始降挖至標高 240.5 公尺時，井底開挖面開始局部滲水（當時水庫蓄水水位標高 241 公尺），由於事先已於井圈外環進行預灌作業，因此施工團隊原本認為滲水量應處於可接受範圍內，當時亦樂觀的認為頂多是隨著開挖面的加深，加設抽水機排除或進行局部出水點的補灌即可，所以一致認為可繼續向下開挖。

然當持續將豎井降開挖至標高 239.5 公尺時，豎井底出水量卻大幅增加，並已超出契約每分鐘 500 公升之規定。因本工程工期緊迫，加上一開始認為僅為局部出水點、事後回頭單點補灌漿即可，所以施工廠商僅增加抽水機組，採強制抽水及向下搶挖之策略因應；然隨著開挖工作的進行，開挖面上出水點不斷增加 (圖 3-2-22)，造成洞外污水處理設備無法負荷、開挖環襯之岩栓、噴凝土施工困難，以及機具泡水故障之頻率不斷增加 (圖 3-2-23)，再加上每日等待抽水的時間，整體開挖工率大幅下降，嚴重影響工進。最後不得不暫停此種以強制抽水及向下搶挖之施工策略，決定用原設計之聚胺酯樹酯為灌漿材，以錐體灌漿方式進行止水，分階段灌漿止水後再開挖。

在完成第一次止水化學錐體灌漿後，因開挖面出水量已大幅降低，故恢復開挖，然而開挖後卻又發現新問題。開挖面上原本已經止水並完成噴凝土之岩盤面，在後續打設 4 公尺岩栓時，卻常常會另外打到水脈，變成新的出水點而必須回頭進行補漏，施工常常無法連續作業。而原本預期井底保留 3 公尺厚岩盤的重疊區，隨著越往下開挖，井底開挖面的湧水量卻越來越大。當開挖至標高 234.5 公尺時，開挖面之總出水量已高達 5,300 公升 / 分鐘 (圖 3-2-24)，顯見灌漿成效遠不如預期。

圖 3-2-24 大量湧水致使機具泡在水中作業

由於此等止水方式效率不佳，時常必須中斷原本的開挖輪進作業，更換機具設備回頭進行止水補灌，使進度無法管控掌握外，自 2 月初遇到湧水以來，工作人員於進行止水作業時，除了要跟水壓搏鬥外，更要跟低溫搏鬥，身上衣服全濕加上水庫邊強風的吹撫，寒氣幾乎要鑽入骨髓，人員瑟縮發抖、十分辛苦；後續縱然氣候回暖，但是也曾發生突然大量湧水，人員必須緊急撤退、機具及電力設備因泡水而跳脫等職安危機，對工作人員士氣亦是造成影響。

所以施工團隊之間此時對如何處理湧水問題開始意見分歧，開挖至標高 234.5 公尺後先暫停開挖，重新研擬因應對策。當時一部分人員認為依據原設計既然已經有設計相關止水方式，就應該依據契約繼續施作，當務之急應該是研究改善化學灌漿的佈孔方式；但是另一部分人員則認為，如此反覆輪替化學灌漿、開挖的施工順序，在這種狹小、垂直進出的工作面中，既無效率、工期及經費都無法精確掌握，認為應該變更設計去尋求更好的工法。因兩派意見僵持不下，最後賴局長決定利用廠商開始橫向開挖上層取水隧道的時間，先暫緩豎井的開挖與止水灌漿施工，指示工務課、設計監造單位、施工廠商共同釐清所有問題與爭點，並指派鍾副局長直接主導，檢討雙方的論述。

圖 3-2-25 副署長楊偉甫、局長賴伯勳至豎井現場共同研議湧水處理對策

主張原設計者針對這幾次聚氨脂樹酯灌漿經驗檢討歸納後，認為須改善的原因為：1、岩盤結理開口過大，漿材流動距離尚不足完全充滿節理空隙即已開始發泡凝結，造成已經飽管的假象；2、岩體中的地下水因節理切割而成立體的格子狀水系，各灌漿孔中所灌入之漿液難成均勻擴散。所以主張只要調整延長灌漿材凝結時間、灌漿錐體分為更多小段、灌漿孔的佈設加密以及增加灌漿封底，即可繼續採行學錐體灌漿。

建議變更工法者則認為，目前所遇到的問題是高水量並非高水壓，應該尋求一種工法，事先就能對各個潛在出水通路進行回填，避免開挖時頻繁更換設備處理湧水。在經過各種止水工法比較後，提出了水泥加水玻璃的隔幕灌漿工法，預計採用水泥加水玻璃漿材流動性較佳、單價較低的特性，大量回填岩盤中的裂隙，以事先全面預灌的方式先行止水，避免開挖時頻繁更換設備。

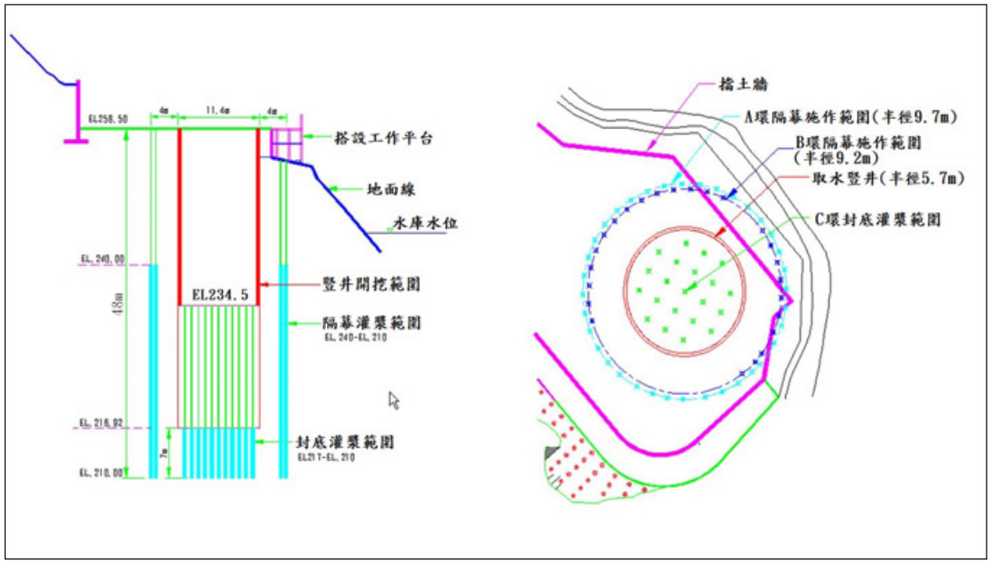


圖 3-2-26 水泥系隔幕灌漿佈孔剖面圖及平面圖

圖 3-2-27 隔幕灌漿採跳島式施灌避免干擾

圖 3-2-28 經隔幕灌漿後皆未再遭受湧水困擾

兩種方案各有優缺點，難以論斷，最後仍由賴局長拍板，考量隔幕灌漿雖然工期較長、而且有漏漿進入水庫的風險，但由於興建石門大壩時即採用此工法，且成效良好，顯見此一工法適合此種地質條件，此經費也相對較省，因此決定改採隔幕灌漿工法。(圖 3-2-26)

取水豎井隔幕灌漿工作於 96 年 12 月 5 日開始，97 年 3 月 16 日完成，完成後施工廠商亦開始恢復豎井向下開挖，此後直至豎井開挖至底部標高 217 公尺完成為止，豎井本體施工過程中皆未再遭受湧水困擾，成功解決湧水問題。(圖 3-2-27~8)

圖 3-2-29 直徑 4 公尺落水鋼管經由重件道路運送至取水豎井內安裝

圖 3-2-30 上層取水口蝶閥室安裝蝶閥

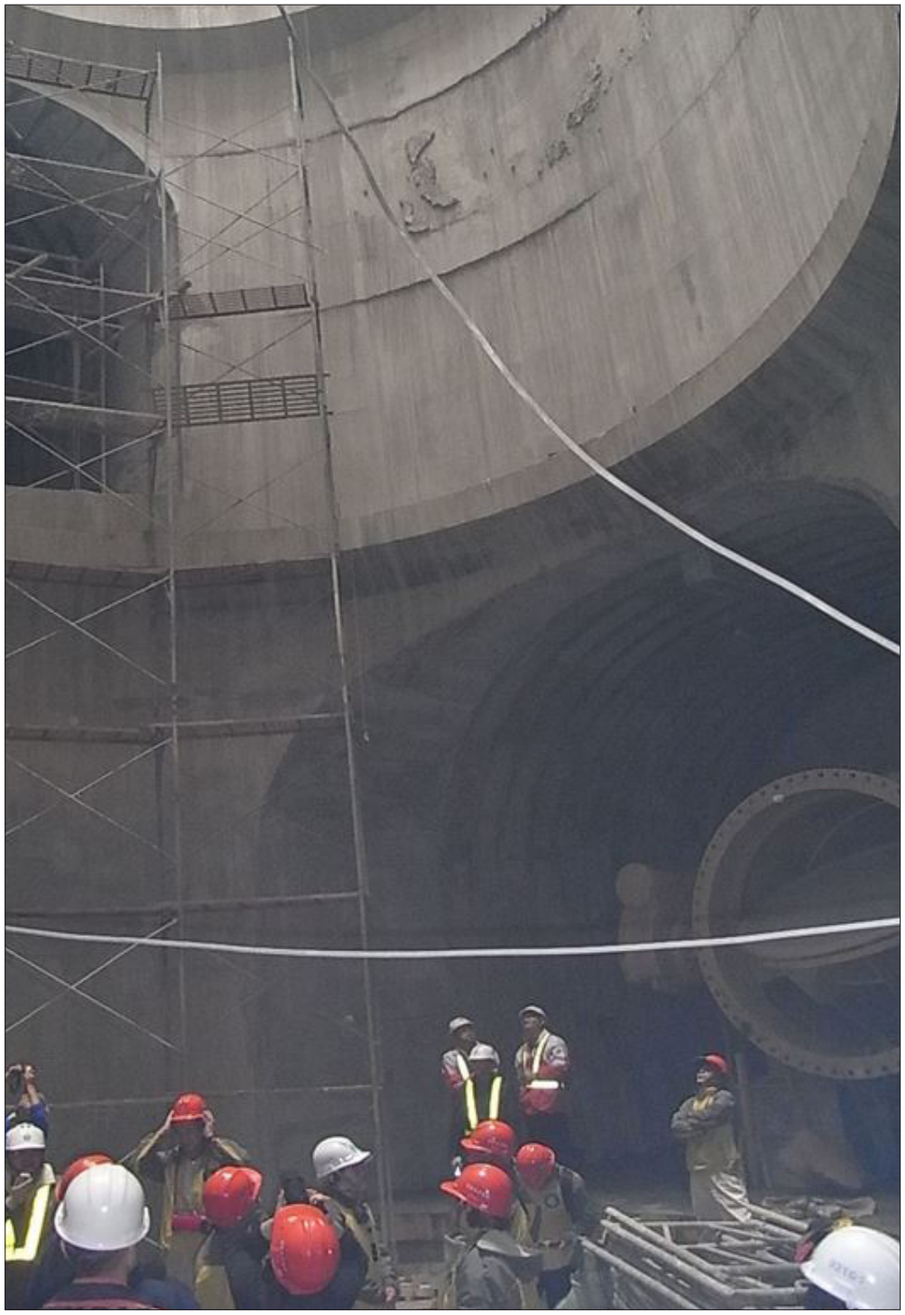


圖 3-2-31 取水豎井襯砌完成後落水鋼管安裝情形

圖 3-2-32 陳總統視察分層取水工施工 (97 年 4 月 25 日)

圖 3-2-33 馬總統視察分層取水工施工情形 (97 年 10 月 18 日)

圖 3-2-34 行政院院長劉兆玄視察分層取水工施工 (98 年 2 月 28 日)

(三) 管線埋設

為因應分層取水工完成前，颱洪期間水庫原水濁度過高的問題，本局於壩頂架設有 96 萬噸緊急抽水系統，該系統係經由架設於水庫中線及低線道路表面的輸水鋼管，將水庫原水與自來水公司的原水管系統銜接。分層取水工所要埋設的中、低線輸水鋼管亦規劃埋設於水庫中、低線道路下方，為施工所需勢必要逐段埋設新管後再逐段拆除舊管，但拆除舊管銜接新管前，卻又等同於使水庫供水系統暴露於濁度過高之風險中，所以何時拆除舊管、有多少時間可以銜接新管，在在都考驗本局與施工團隊的進度管控能力，尤其當時為了降低 96 萬噸系統斷水的風險，還考量氣象預報的時間係以一週為單位，因此管控亦是以週為單位、週週管控進度，並且要求廠商每一區段施工前所提出的應變計畫，必須因應該區段的施工環境研提能在一週內將新、舊管線銜接完成回復通水的應變方案，以因應萬一氣象變化時，不致影響水庫供水。

在考量 96 萬噸抽水系統的供水穩定及管線安全，中、低線輸水鋼管皆規劃分兩階段施作。低線鋼管第一階段於 95 年 11 月 17 日自蝶閥窨井後方往下向石門寮自來水公司的原水管開挖，於 97 年 2 月 2 日開挖安裝銜接完成，第二階段於 96 年 11 月 17 日自輸水隧道出口處往下游向蝶閥窨井處開挖，於 97 年 3 月 28 日完成窨井蝶閥及鋼管銜接安裝。中線鋼管第一階段於 96 年 7 月 31 日自輸水豎井入口處往上向 96 萬噸鋼管分歧管處開挖，於 96 年 9 月 4 日開挖安裝完成，第二階段於 96 年 10 月 12 日自取水隧道出口處往下向 96 萬噸鋼管分歧管處開挖，於 98 年 4 月 17 日開挖安裝銜接完成。中線鋼管完成後因為分層取水工豎井及機電系統尚未完成，所以經由水理檢討計算後，仍須保留一個 3 通接頭與壩頂 96 萬噸抽水系統銜接，以確保在 98 年汛期時 96 萬噸抽水系統仍能正常運作，等到分層取水工完成運轉順利後，於 99 年 10 月才開始逐步拆除。

圖 3-2-35 運送直徑 3 公尺鋼管進入取水隧道內安裝

圖 3-2-36 施工中的中線鋼管與 96 萬噸鋼管

圖 3-2-37 中線鋼管安裝鋼製可撓管

圖 3-2-39 輸水豎井上方之門形吊車及開挖情形

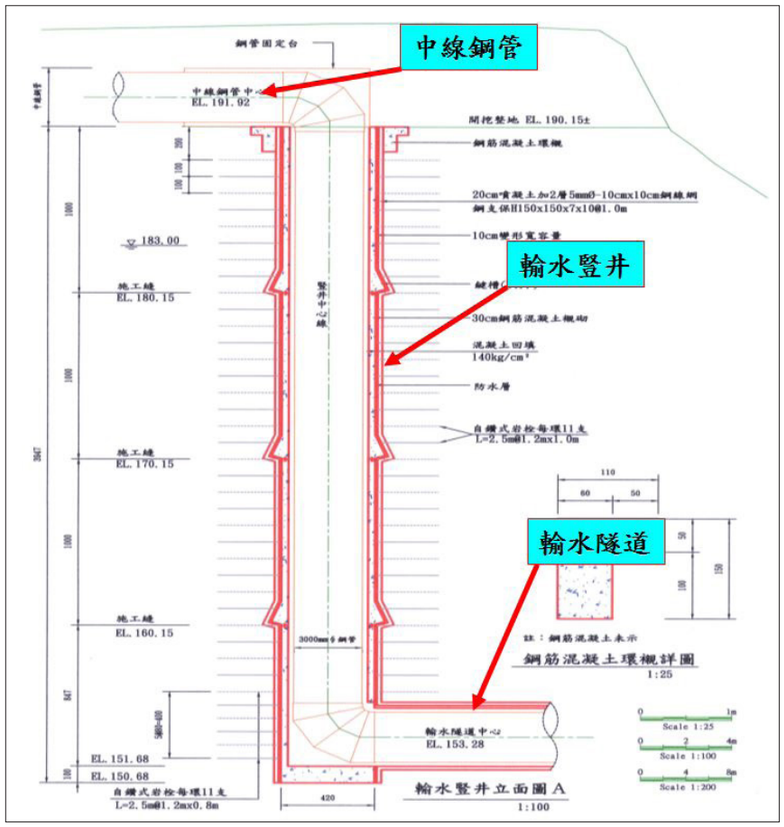


圖 3-2-38 輸水豎井及輸水隧道剖面圖

註：輸水豎井位於中線鋼管終點之中線收費站旁，豎井深度 46 公尺，其底部銜接 49 公尺長之輸水隧道，並至低線道路旁與低線輸水鋼管銜接。輸水豎井內徑及輸水隧道淨寬均為 3.6 公尺，內部安裝直徑 3 公尺鋼管。

(四) 無圍堰下施作取水口隧道破鏡段

依據圖 3-2-13，每年 2 至 5 月石門水庫水位超越上層、中層及下層取水口隧道仰拱 (標高 236、228 及 220 公尺) 之機率分別為 51%、74% 及 85%，判斷若水文條件正常配合水庫之營運，水庫水位降至標高 236 公尺之可能性相當高，故上層取水口隧道貫穿水庫之可能性高，若水庫水位無法降至中層取水口以下，則以先完成上層取水為目標，並在契約訂定相關規定，就中層及下層取水口隧道設定貫通期限，屆時水庫供水操作將更具彈性及穩定性。

本工程在契約要求，若水庫水位未降至標高 234.5、226.5、218.5 公尺以下時，則各取水口隧道只能開挖至距原坡面 10 公尺處為止，以避免貫穿隧道造成庫水由此湧入發生危險，此 10 公尺之開挖段稱之為「取水口隧道破鏡段」。由於取水口隧道的施工是配合豎井施工，且豎井及取水口隧道之各工項也須在里程碑二期限前完成，故無法等待水位降至一定水位下才從內向外貫通。也因如此，本工項只能自外坡面向內破鏡貫通隧道，故當水庫水位降至標高 234.5、226.5、218.5 公尺以下時，施工廠商須於接獲通知日起在各水位以下 40 日內完成各層取水口隧道破鏡段及攔污柵施作。

由於是從外向內開挖，一開始施工廠商還打算從取水豎井旁施作便道往下至破鏡段處再架設平台開挖隧道 (如圖 3-2-40)，但由於現場腹地有限、坡度過陡且施作便道及平台耗時，經評估後不可行，這時只能從水面上施工，但如何能渡水施工呢？這可要好好想個辦法來解決，經本局、顧問公司及施工廠商三方腦力激盪後，決定藉由本局的浮台來搭載機具及運送材料來施工，也終於跨出了第一步 (如圖 3-2-41~42)。

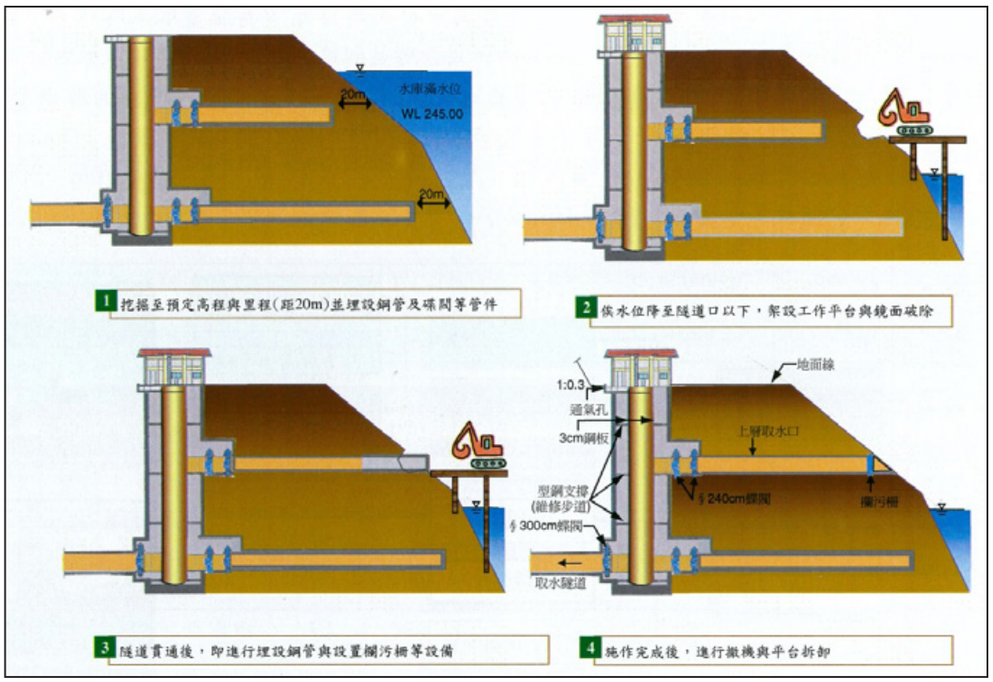


圖 3-2-40 施工廠商原規劃破鏡段施工步驟

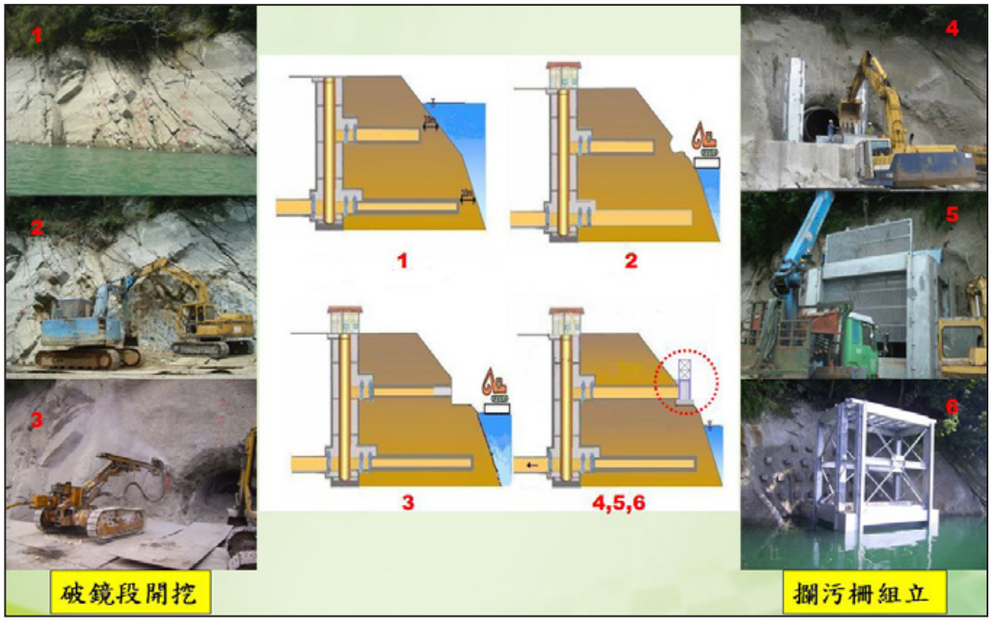


圖 3-2-41 浮台式破鏡段施工步驟

圖 3-2-42 利用浮台搭載機具及運送材料 (上層破鏡段施工)

圖 3-2-43 上層取水口破鏡段鋼管安裝作業

圖 3-2-44 中層破鏡段貫通

97 年 3 月 15 日水庫水位已降至 234.58 公尺，由於是第一次施作破鏡段，本局、顧問公司及施工廠商均沒有經驗、不知道困難在哪，也不知道水庫水位降得快，要把握時間，等到 3 月 18 日開始進場進行邊坡鑿修時，水庫水位已降至 233.54 公尺，只 3 天就降了 1 公尺，這時大家還不知道緊張，覺得在水面上施工一切還是以小心為主。3 月 31 日水庫水位已降至 231.37 公尺，但破鏡段平台開挖面高程 234.77 公尺，雖然浮台加上怪手高度約有 2 公尺多的高度，但對於平台面的開挖始終無法進行，這時只能望壁興嘆、無力回天，還好 4 月初的一場及時雨降下了 130 厘米的雨量，這讓水庫水位在 4 月 7 日時已升至 236.4 公尺，回升了 5 公尺，後續在本局、顧問公司與施工廠商的通力合作趕工之下，把握時間在 6 月 23 日完成上層破鏡段。(如圖 3-2-43)

圖 3-2-45 中層取水口隧道貫通後露出直徑 2.4 公尺鋼管封板

圖 3-2-46 中層取水口隧道破鏡段混凝土澆灌

有了上層破鏡段的前車之鑑，為使中層破鏡段能施工順利，本局早在 98 年 3 月 4 日時就已通知施工廠商水位已降至標高 230.21 公尺，並要求施工廠商可在水位未降至 226.5 公尺之前，可先配合水位之下降，從上邊坡逐步鑿修及施作保護工等工作，在 5 月 22 日水庫水位 226.6 公尺時就已貫通中層破鏡段 (如圖 3-2-44)，5 月 23 日水庫水位降至 226.07 公尺後則才開始起算工期，至 6 月 16 日完成中層破鏡段欄污柵工作。(如圖 3-2-45~46)

分層取水工工程除了下層破鏡段工作未完成外，其餘皆於 98 年 12 月 23 日報竣，由於有了中層破鏡段的提早進場施工致工作順利完成的經驗，本局也提早在 100 年 4 月 8 日水庫水位降至 227.38 公尺時，即通知施工廠商再次進場施工，經廠商整備機具人員後於 4 月 25 日水庫水位到了 222.83 公尺時開始進場施作，同樣的也是從上邊坡開始開挖，但這次施工不同以往，由於上層取水口就在下層破鏡段的上方，故本次在施工上須特別小心，除了邊坡配合水庫水位鑿修外，相關的岩栓亦須配合鑽設錨定，以避免上層取水口產生位移滑動進而破壞，同時也保護下面施工人員的安全。

圖 3-2-47 馬總統搭船視察下層取水口破鏡段施工 (100 年 5 月 13 日)

圖 3-2-48 施工團隊在浮台上隔空向在船上的總統簡報 (100 年 5 月 13 日)

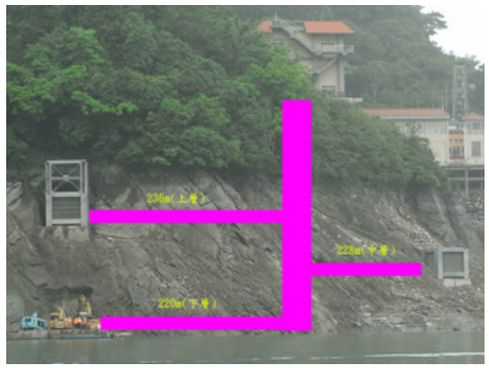


圖 3-2-49 上、中層取水口及下層破鏡段施工情形

這時的石門水庫因年初的降雨量不如預期，供水情形日趨吃緊，水位在 5 月 12 日已降到 216.7 公尺，蓄水率只剩下二成，當時的馬總統也在 5 月 13 日視察石門水庫，實地瞭解水庫蓄水及抗旱措施實施情形，並搭船至現場了解正在施作的下層取水口破鏡段工程進度狀況，而這時本局施工團隊就站在浮台上，拿著大聲公隔空向在船上的總統作起簡報來，而這一幕也被電視台報導：「在水面上向總統簡報還真是石門水庫 50 年來頭一遭」。(如圖 3-2-47~48) 所幸天公作美開始降雨，從 5 月 12 日起 3 天就降下 133 厘米的雨量，水位開始回升，到 15 日已回升到 219.37 公尺，雖然水庫乾旱危機暫時解除，但也因水位太高導致下層隧道破鏡段無法再繼續開挖而撤離工地。(如圖 3-2-49)

四、實施成果之驗證

(一) 莫拉克颱風初試啼聲

98 年 8 月初水庫水位已降至標高 223 公尺距滿水位達 22 公尺，這時壩頂 96 萬噸臨時緊急抽水設施卻因水庫水位過低而不得不拆卸壩頂水管及浮台抽水機之間的電纜及管線。8 月 6 日莫拉克颱風海上警報發布，本局防汛緊急應變一級開設，由於壩頂 96 萬噸抽水設施暫時喪失抽取水庫表層水的功能，為避免颱風帶來的洪水造成濁水影響下游自來水的取用，本局當下決定以分層取水工優先供水進行系統實戰測試，而壩頂 96 萬噸抽水設施則俟水庫水位升至標高 232 公尺後再儘速連結恢復功能，以作為濁水時應變備援設施。原則決定後，分層取水工相關操作人員及緊急發電機等機具已進駐工區待命，並對所有閘閥設備逐一檢查，枕戈待旦隨時準備應變。

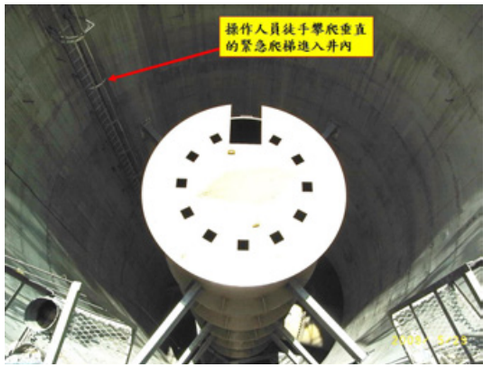


圖 3-2-50 取水豎井內及落水鋼管

8 月 7 日凌晨 4 時，隨著颱風降下的豪雨，水庫水位已逐漸上升至標高 228 公尺，這時取水豎井旁徹夜守候的操作人員，立即頂著風雨至中層取水口蝶閥室，以人工現場接電操控逐步開啟蝶閥使由中層取水口開始自動注水。由於中層取水口的蝶閥就位在深達 43 公尺的井中，在當時閘閥室、機電及儀控系統未完成之狀態下，操作人員必須自行背負照明設備，徒手攀爬垂直的緊急爬梯進入井內進行操作 (如圖 3-2-50)，而當時莫拉克暴風圈已籠罩全台，操作人員在強風豪雨又照明不足的情形下操作，其危險、辛勞不言而喻。8 月 7 日 7 時分層取水工注水完成，豪雨仍不停的下著，伴隨著的是石門大圳的濁度也開始上升，至當日 18 時分層取水工的供水量已提高至 110 萬噸 / 日。而這時駐守持續達 33 小時的操作人員仍不得片刻休息，在應變中心的指令下，開啟石門大圳退水路同步進行排砂作業。

(二) 啟用至 106 年底使用情形

就在 98 年 6 月完成分層取水工中層取水口後，緊接著 8 月莫拉克颱風來襲夾帶豐沛雨量，雖然化解了桃園地區缺水的問題，但為防範石門水庫在降下豪雨後，原水濁度飆高影響自來水公司的淨化供水，當時水利署副署長楊偉甫特地坐鎮石門水庫，親自督導第一次開啟石門水庫分層取水工程的上層、中層取水口測試工作。

有了分層取水工啟用發揮功能的成功經驗後，多年來每逢颱風豪雨來臨時，均可切換至分層取水工引取表層較清原水供淨水場處理，迄 106 年底，累計供水運轉了 1,720 小時 (表 3-2-2)，成功解決了颱洪時桃園地區之供水問題，充分發揮穩定供水功能。而原本因施工封閉 3 年多的高線、中線收費站與壩頂道路，也在 98 年 12 月 26 日通水典禮 (圖 3-2-51) 後同步正式對外開放，讓石門水庫最美的園區重新再現。

表 3-2-2 分層取水工使用情形

年	颱風名稱	尖峰流量(cms)	濁度(NTU)	供水時間(hr)
98	莫拉克颱風	1,838	8,112	75
99	南修颱風	67	1,200	18
99	梅姬颱風	859	1,000	86
100	梅花颱風	60	<100	67
100	南瑪督颱風	79	207	26
100	0930 豪雨	816	1,400	163
101	0612 梅雨鋒面	1,162	2,460	119
101	泰利颱風	156	250	81
101	蘇拉颱風	5,385	5,995	145
102	蘇力颱風	5,458	73,600	123
102	潭美颱風	2,410	30,980	106
102	天兔颱風	1,195	5,328	73
102	菲特颱風	1,361	5,908	54
103	麥德姆颱風	1,180	953	95
104	蘇迪勒颱風	5,634	29,088	115
104	杜鵑颱風	3,802	21,418	71
105	尼伯特颱風	135	<100	19
105	馬勒卡颱風	742	<100	65
105	梅姬颱風	4,268	12,695	159
106	0601 豪雨	1,428	3,765	60

圖 3-2-51 水利署長楊偉甫主持分層取水工通水典禮 (98 年 12 月 26 日)

第三章

發電鋼管改建

一、改建緣由

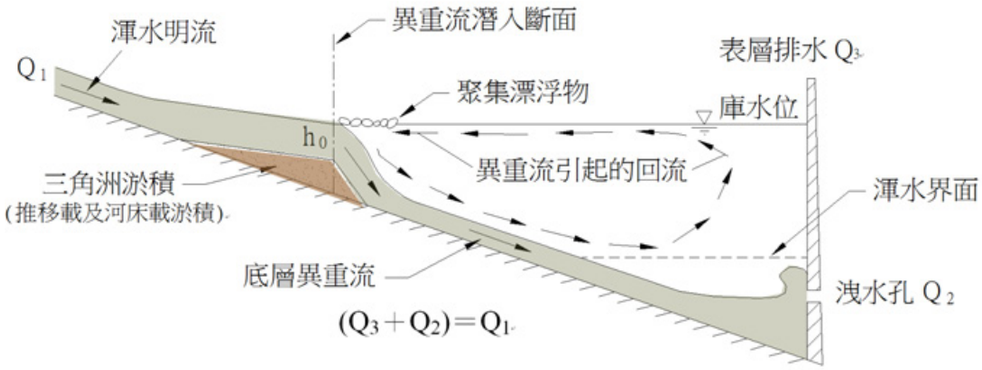


圖 3-3-1 水庫異重流示意圖

淤積是水庫無法閃躲的宿命，其欲改善，絕非單憑工程手段可達成，但尚不至於立刻影響水庫供水，而原水濁度的升高造成停水對社會的衝擊，卻是立即而明顯的。艾利颱風造成的石門水庫供水問題，主要是濁度問題；石門水庫整治計畫之重點即在如何改善濁度對供水的影響。

依據水理現象，水庫上游洪水帶來的高濃度泥流進入庫區後，因比重較大而潛沒於底部，並緩慢向下游推移，此即「異重流」現象（圖 3-3-1）。當此異重流來到大壩前，易受大壩攔阻而從底部向上翻升，若無適當排放口，整個水庫蓄水將成渾水潭 (圖 1-2-5)，此即水庫於艾利颱風過後之 8 月 28 日深夜，將發電取水口閘門全部關閉，致異重流無出口所造成之現象。由於石門水庫原設計並無底孔專用排砂通道，僅藉取水塔流量有限的發電取水口及流量更小的永久河道進水口排砂。

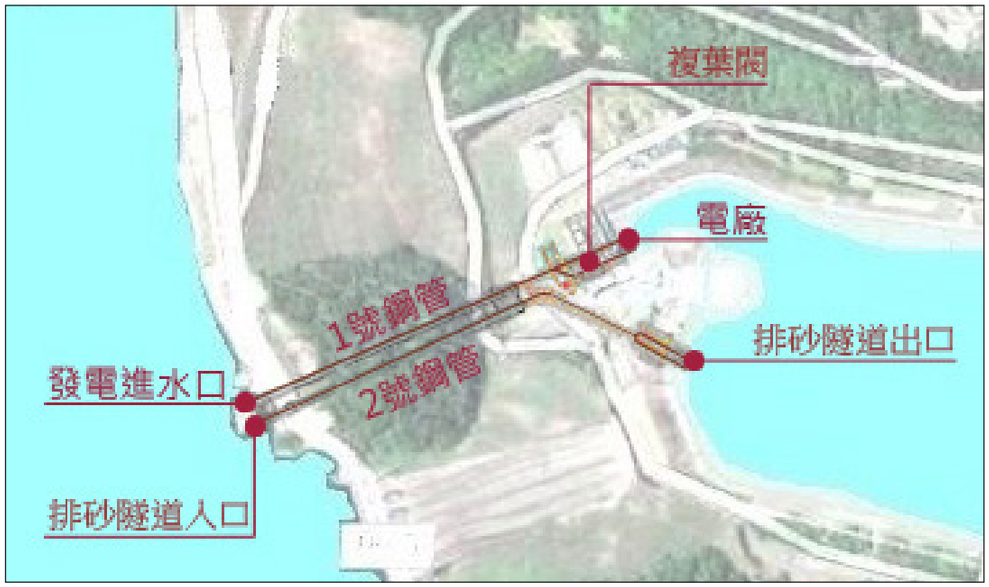


圖 3-3-2 發電鋼管改建工程完工後平面布置圖

而石門水庫係在役中水庫，基本上無法放空以進行改造增設排砂設施，故欲就現況改善成具庫底排砂功能之專用排砂設施，最直接有效的方式是將石門電廠二號發電鋼管改為排砂專用通道，原電廠一號發電鋼管末端則增設分歧管及複葉閥，使電廠兩部機組均能維持發電功能 (圖 3-3-2)。

二、方案演變與決定

民國 95 年 3 月承攬本規劃案的巨廷工程顧問公司 (下稱巨廷公司) 參酌黃河三門峽大壩改建排砂經驗，於服務建議書提出將石門電廠一號發電機組維持發電，二號發電機組則予以拆除，並將原二號發電鋼管改建為專供排砂或於二號鋼管另銜接排砂分岔管 (圖 3-3-3)；但當時壩前淤積面較 93 年風災時又上升達 15 公尺，而當時石門電廠二部機組也處於完全停擺狀況，且民國 95 年 2 月 22 日又發生永久河道進水口 (PRO) 因淤積嚴重導致攔污柵及底部預壘混泥土倒塌，造成設施損壞 (詳本篇第一章) 及嚴重影響供水事件，故於 3 月 8 日第 1 次工作執行會議及 4 月 19 日期初報告審查會中，委員黃金山表示拆除 2 部機組排淤效果佳，為目前既定政策，惟石門水庫於百年之後，因防淤不理想可能淤滿，但其發電功能仍有利用價值，因此建議水力發電功能仍應予保留。故剛開始係以拆除 2 部機組並預留分叉管以利供水及未來可能發電之用為原則 (圖 3-3-4)。

圖 3-3-3 巨廷公司服務建議書方案 (95 年 3 月)

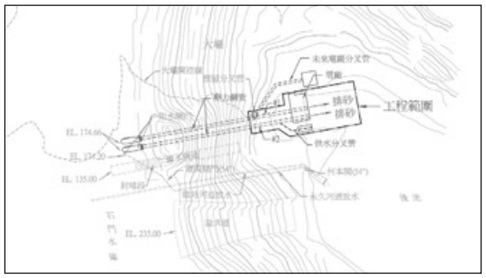


圖 3-3-4 初期保留發電功能方案 (95 年 04 月)

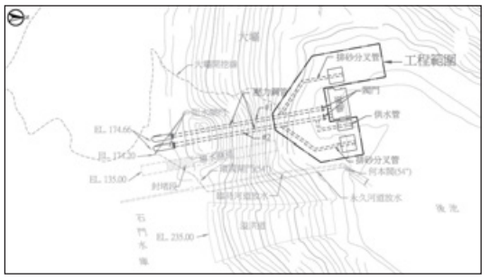


圖 3-3-5 初期保留發電機組方案 (95 年 4 月)

審查會中，另一委員翁炳坤則認為拆除發電機組容易，但一旦拆除後若要再重新恢復時甚為困難，且新設電廠除須有適合地點外，工程亦相當浩大，故會議中亦提出保留二部機組，另新建分叉管以供供水及排砂之用的想法 (圖 3-3-5)。此構想經巨廷公司分析後表示，一號機壓力鋼管新增分叉管排砂，並於既有壓力鋼管中興建一隔離閘門以利維持一號機組發電功能又能兼顧排砂，惟分叉點與閘門之間之距離過近，若採此設計該管段將累積流木甚至推移質，而因高流速排砂水流可能導致該管段與分叉管之間產生無法預計的撞擊及磨損效應，而可能影響壓力鋼管的安全，因此建議採用「專管專用」，以提高系統的安全性。

民國 95 年 5 月中旬，水利規劃試驗所依 95 年 4 月初步決定之保留發電功能方案，完成發電鋼管改建 1/40 局部模型試驗 (圖 3-3-6)。根據測試結果發現，若排砂隧道依發電鋼管方向直接排砂進入後池，後池消能水深不足，超臨界流會衝上護坡，影響護坡安全，故該方案不可行，

石門水庫電廠出口模型 (1/40)

石門水庫電廠出口流態 (水庫水位 250m 流量 692cms)
註 : 後池流況 : (1) 出口模型量測最大流速 6.19m/s，相當於現場 39.15m/s；(2) 水位躍動很大，偶而水位會躍過 EL.145m。

石門水庫電廠出口流態 (水庫水位 250m 流量 692cms)

圖 3-3-6　出水工水工模型試驗初步成果 (95 年 5 月)

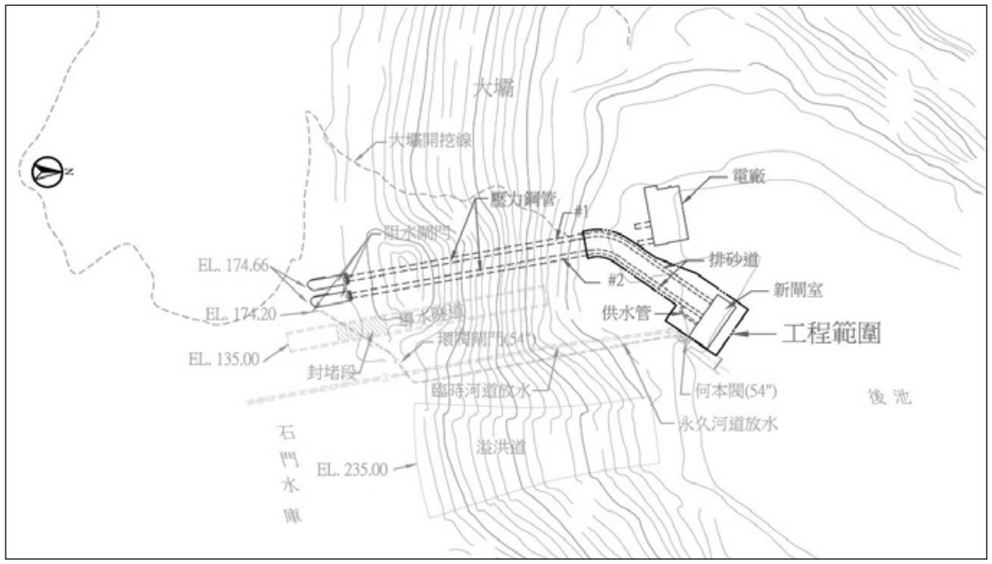


圖 3-3-7 專管專用方案 (95 年 5 月)

改建的排砂鋼管可能需轉向並採用跌水工，使排砂水流拋射於空中夾氣再進入後池消能，方不至於影響後池結構。5 月 29 日第 2 次工作執行會議時，巨廷公司另提出將二支壓力鋼管以彎管方式轉向，並至永久河道放水口左側，以利排砂水流流入後池，並可保留 2 部機組不拆除，除可達排砂朝最大化規劃設計原則，又可於將來若流木或淤積問題解決後，還可恢復一號機壓力鋼管之銜接，恢復一號機發電，二號鋼管則新增供水分管可持續供水，並於颱洪期間，持續排砂運轉 (圖 3-3-7)。

民國 95 年 6 月 26 日第 1 次期中報告審查會議，委員黃金山提議前述的方案雖可留下發電設備，但於不排砂時並無法發電為其缺點，是否考慮可兩者功能兼俱。另於當年 9 月 28 日大壩及附屬設施安全影響分析報告審查會議中，委員鍾朝恭亦建議維持原有發電功能設計，臺灣電力

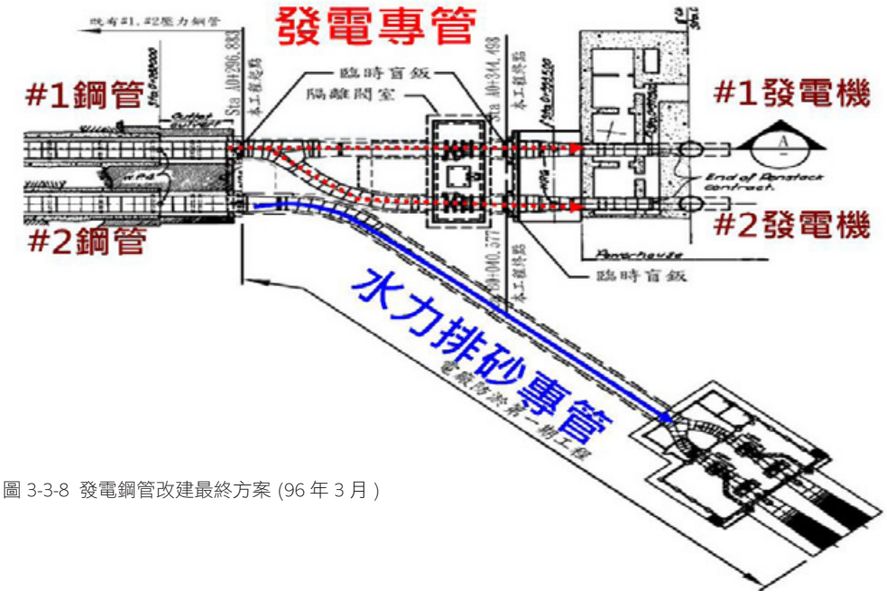


圖 3-3-8 發電鋼管改建最終方案 (96 年 3 月)

公司則認為石門發電廠自民國 53 年成立以來，除配合下游供水發電放水，年平均發電量約 2 億 1 仟 7 百萬度（53 至 93 年），並肩負北部地區頻率調整、快速備轉容量及全黑啟動等穩定供電重任，尤其於民國 88 年 7 月 29 日南部 345kV 高壓輸電電塔因豪雨倒塌及民國 88 年 9 月 21 日集集大地震，台灣歷經兩次系統全黑大停電，石門發電廠於復電初期扮演關鍵性角色，提供全黑復電啟動電源，加速電力系統復電時程，因此從國家安全角度有必要維持石門電廠的發電功能，故會議主持人局長賴伯勳乃決議，電廠改善排砂後將來能以維持至少一座機組發電功能為原則，並配合水工模型試驗之流況評估施作可行性，即一號壓力鋼管兼具排砂與發電，二號壓力鋼管兼具排砂與供水。然經檢討，一號壓力鋼管排砂兼具發電、二號壓力鋼管排砂兼具供水，其水理極具複雜，均需水工模型試驗配合與驗證。局長賴伯勳於民國 96 年 3 月 12 日主持細部設計報告與運轉維護手冊會議中決議，為水庫設施運轉與安全考量，功能定位調整為二號壓力鋼管改為排砂單一功能不兼供水，一號壓力鋼管以分歧管銜接一號及二號機組，可於單機組歲修或大修時電廠仍能持續發電，至此鋼管改建方案於歷經數次的專家學者會議討論，終於有了明確可行的方案 (圖 3-3-8)。

三、改建水力排砂隧道挑戰與效益

(一) 挑流工設計爭議 :

由於水庫於滿水位時與發電鋼管改建第一期工程 (下稱排砂隧道) 出水口有約 100 公尺的水頭差，而流量高達每秒 300 立方公尺、流速則達每秒 30 公尺，此高速水流將造成後池結構損壞，故巨廷公司規劃利用挑流工來消能，巨大流量經由挑流工的消能過程是一個極複雜的水理現象，為探討所設計挑流工之流速、水深、挑流工弧度、挑角等之合宜性，本局另委請水利規劃試驗所辦理水工模型試驗，模擬現場流況。依據試驗結果回饋工程設計。

民國 101 年 5 月 25 日上午 10 時，由副局長簡昭群指揮辦理排砂隧道第一次有水試運轉。由於擔心既有結構如發電鋼管進水口、架空段及既有鋼管段是否能於試運時安全無虞的運作，雖事前已做了萬全準備，測試當天還是緊張萬分。開始測試時，挑流工水舌皆可順利挑入後池，惟於射流閘門開度 60% 時，閘室內有異音產生，上午 11 時 20 分左右，當開度大於 80% 時，水舌形成明顯變化，有強烈紊流現象 (圖 3-3-9)，造成局部水流向上飛竄噴射回濺

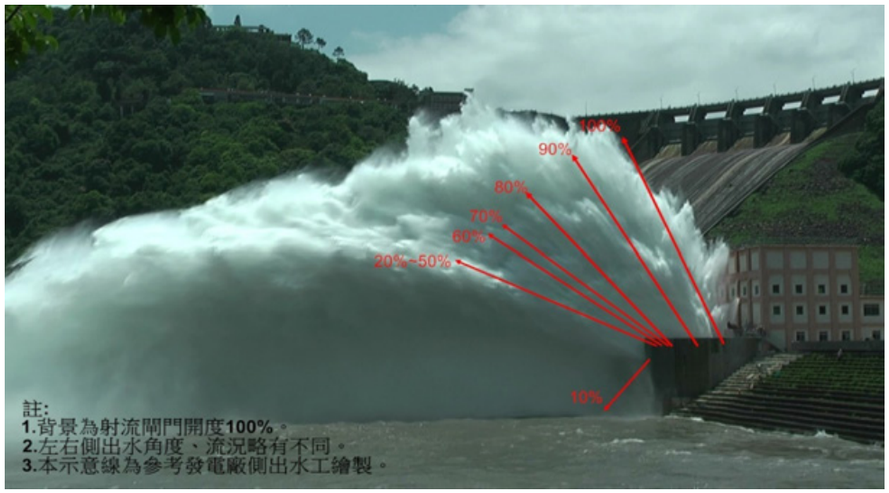


圖 3-3-9 挑流工第一次有水試運轉紊流現象

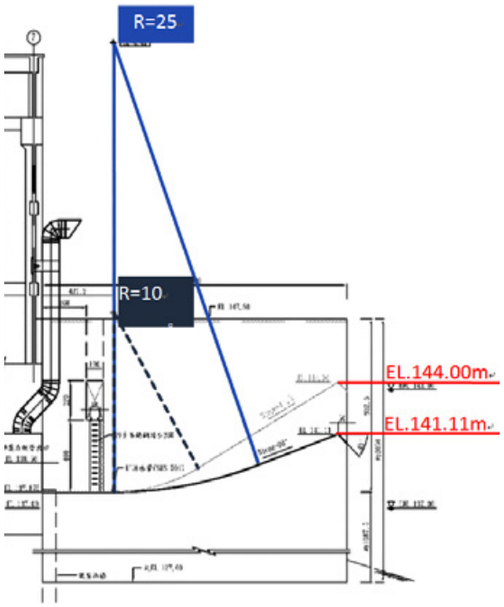


圖 3-3-10 挑流工修正方案

圖 3-3-11 挑流工 1/25 模型清水試驗 (修正方案)

圖 3-3-12 挑流工第二次有水試運轉 (修正後試水情形)

至閘室外牆，水舌無法循原設計挑流軌跡排放至後池，於 11 時 35 分左右關閉閘門停止測試。經多次檢討確認二號進水口閘門無變形，出水工表面無特別之磨耗、架空段無異常漏水情形，鋼管內部整體狀況良好，惟部分轉彎段及分歧管處，其受撞擊部分約 10 處，已有金屬面外露現象，二號射流閘門損傷較多，已傷及門板及止水銅環，恐有增加漏水量之疑慮，故決定原訂 5 月 28 日及 31 日之有水試驗暫緩，待釐清及修復後再行測試，並請巨廷公司確認鋼管、閘門、出水工現況，評估工程本體是否有需補強或注意之事項，並針對閘門開度 80% 後挑流工出水不順及異音之現象進行檢討。

經事後檢視，現場開度 80% 之出水流態並未反映於 1:25 比尺之水工模型，疑似出現尺度效應，而由試運轉的觀察可見在反弧段水流有沿兩側牆竄升而有側向溢流之趨勢，為降低此效應，研擬的修正設計為在縱剖面將挑流工出口底檻由 EL.144.0m 降至 EL.141.11m，並配合將挑流角由 30˚ 降至 20˚ 及挑流工的曲率半徑由 10m 增加 25m(圖圖 3-3-10)，平面佈置則維持原設計，經水理計算研判修正後排砂操作放流時對後池沖刷的影響有限，並經水利規劃試驗所修正水工模型重新測試流況正常 (圖 3-3-11)。

挑流工經後續施工改善後，於民國 102 年 1 月 29 日再次辦理整體功能試運轉測試前準備會議，並於民國 102 年 2 月 5 日 09:30 辦理第 2 次測試，仍由副局長簡昭群指揮，經測試試運轉結果順利正常 (圖 3-3-12)，至此排砂隧道終於能開始擔負起於颱洪期間排砂的重任。

惟挑流工進行鑿修，造成本局額外支出，為釐清挑流工設計有無疏失，本局委請財團法人台灣省水利技師公會辦理責任疏失鑑定，經鑑定 (103 年 1 月) 本設計屬高難度水工設計，其設計工作具有一定程度不確定性與極限性，巨廷公司設計流程中檢核事項符合大多數規範共同要求重點且將水工模型視為主要手段及設計定案依據，尚屬合於一般設計，另水工模型建置亦非屬設計公司之工作範圍，而水工模型雖可模擬現場的流況，包括流速、流量等，但是夾氣霧化的物理現象，卻無法經由水工模型試驗模擬，即使模型放大至 1:20 比尺甚或 1:10 比尺，故水工模型尺度效應 (如夾氣) 的出現，為水工模型在物理條件限制下無法避免的結果，故不應苛責以疏失，至此挑流工設計爭議告一段落。

(二) 首度排砂奏效

民國 102 年 7 月 13 日蘇力颱風來襲，是排砂隧道完成後，第 1 次面臨供水與排砂兩難的考驗。負責石門水庫下游鳶山堰管理的台灣自來水公司第十二區管理處，對於颱風期間石門水庫排砂時是否能順利供水而不停水，承受了極大壓力。由於當時中庄調整池仍在施工，已完工的排砂隧道是否要適時啟用，以避免異重流造成水庫濁度升高影響供水，但一旦啟用，則可能導致鳶山堰濁度升高，也會影響供水，所以是否排砂、如何排砂及何時排砂且不影響供水就成為一個重要的議題。

蘇力颱風來襲前，為凝聚中庄調整池完工前啟用排砂專管的必要性之共識，水利署署長楊偉甫及副署長賴伯勳赴十二區處溝通協調，十二區處部分同仁有其他見解及考量，幸時任區處經理呂崇德先生，力排眾議並認同解決石門水庫淤積問題刻不容緩，並要求其同仁全力配合，至此蘇力颱風排砂的策略已定，但如何做到對民生用水影響最小，仍是一個頭痛的問題。

7 月 13 日清晨石門水庫濁度開始明顯上升，為減少濁度造成停水風險，而板新地區三峽河水量仍充足且在北水處提高支援量之跨區域水源調度支援下，均可正常供水，乃於當日 8 時 30 分由局長劉駿明下令第一次啟用排砂隧道 (圖 3-3-13~14)，進行流量每秒 300 立方公尺排砂作業，同時開啟排洪隧道及溢洪道放水稀釋，於 9 時許因應龍潭及平鎮淨水廠濁度升高開始開啟分層取水工取水，供應水庫表層清水。之後因颱風入庫水量減少，考量繼續排砂將影響下游鳶山堰供水，排砂隧道於下午 5 時關閉。

7 月 14 日電廠二號壓力鋼管之放水濁度上升一度達 34 萬 NTU，15 日下降但速度緩慢，至 16 日仍有 13 萬 NTU，依水利署水利規劃試驗所初步觀測庫區渾水層厚度約達 18 公尺，若不將其排出，水庫高濁度情形將持續甚長。

圖 3-3-13 蘇力颱風期間第 1 次排砂情形 1/2(7 月 13 日)

圖 3-3-14 蘇力颱風期間第 1 次排砂情形 2/2(7 月 13 日)

圖 3-3-15 蘇力颱風期間第 2 次排砂情形 1/2(7 月 16 日深夜)

圖 3-3-16 蘇力颱風期間第 2 次排砂情形 2/2(7 月 17 日清晨 4 時)

16 日下午 3 時，為因應持續高濁度情形，水利署於依山閣緊急召開石門水庫公共給水供水協調小組會議，由水利署副總工程司江明郎主持，會中水利規劃試驗所正工程司吳慶現建議排砂時機稍縱即逝，應把握時機，壩前 18 公尺渾水層 (約 600 萬立方公尺) 應可於 6 小時內排除；交大團隊則建議將排洪隧道流量增加到每秒 1200 立方公尺，預估隔日 7 月 17 日 06:00 至 13:00 左右濁度可恢復正常；本局局長劉駿明亦認為，當時水庫蓄水量相對豐沛，北水處亦可全力支援水量，當下為利用水庫水力排除底層渾水的最佳時機，會議乃決定於當天晚上 10 時開啟排砂隧道全開排砂 7 小時，自來水公司同步進行鳶山堰放水排砂，後由排洪隧道放水每秒 600 立方公尺清除下游河道淤積物，此原則經主持人向署長及副署長電話報告後確定。排砂隧道於晚間 10 時再度開啟 (圖 3-3-15)、17 日早上 5 時關閉 (圖 3-3-16)。參與同仁全程

不眠不休進行閘門操作及水質取樣監測工作，並隨時與水公司十二區處連繫水源調度，自來水公司同步進行鳶山堰放空作業。17 日 5 時，排砂隧道濁度迅速降至 851NTU(圖 3-3-17)，而鳶山堰原水濁度也於 13 時止，下降至 4,100NTU。相對於以往動輒因濁度而限水或停水且高濁度情形常持續 7 至 8 日的情形，本次濁度則於 2 日內迅速下降，供水未受影響，可見排砂隧道排砂效果顯著。

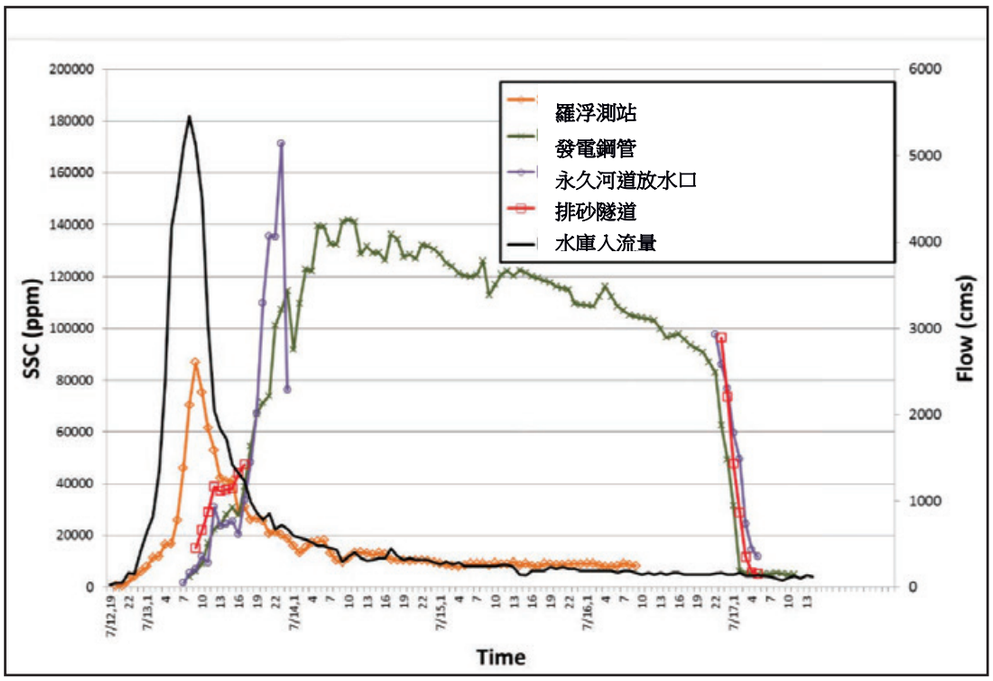


圖 3-3-17　蘇力颱風期間水庫流量與排砂操作濁度變化情形

(三) 歷次颱風運轉成果

排砂隧道於民國 101 年 12 月完工後，迄今 (107 年) 經歷蘇力、潭美 (102 年)、蘇迪勒、杜鵑 (104 年)、梅姬 (105 年) 等颱風，並進行排砂操作，其總排砂量 667.3 萬噸；而原規劃石門水庫改善後總洩水結構物之年期望值排砂比約 32%，實際統計民國 102 年至 106 年操作排砂，其整體洩水結構排砂比約 32.8%，符合原規劃目標，且有效排除淤泥並減少清淤成本 (表 3-3-1)。

表 3-3-1 增設排砂隧道前、後水力排砂比較

	年度	颱風	降雨量 (mm)	尖峰流量 (cms)	入庫水量 (萬 m^3)	入庫砂量 (萬噸)A	排砂隧道排砂量(萬噸)B	總排砂量 (萬噸)C	排砂效率 C/A(%)
排砂隧道增設前	97	鳳凰	273.9	2,040	12,447	179.4		23.2	13.0
	97	辛樂克	965.2	3,447	36,344	1,009.2		267	27.0
	97	薔蜜	427.1	3,292	23,050	403.7		73.1	18.0
	98	莫拉克	471.3	1,838	22,799	184		26.4	14.0
	99	凡那比	166.6	1,056	4,392	20.1		0.5	3.0
	101	蘇拉	830.8	5,385	49,230	765.1		115.1	15.0
	合計				148,262	7,561.5	0	505.3	15
排砂隧道增設後	102	蘇力	450	5,458	26,410	921.9	61.3	323.0	35.0
	102	潭美	525	2,412	16,531	320.5	45.7	119.3	37.2
	104	蘇迪勒	501	5,634	29,639	254.2	18.2	90.4	35.6
	104	杜鵑	334	3,802	19,519	188.2	15.2	61.4	32.6
	105	梅姬	442	4,268	29,485	351.0	20.1	73.2	20.9
	合計				121,584	2,035.8	160.5	667.3	32.8

四、穩定供電及排砂的挑戰

(一) 改建期間仍持續發電及排砂

發電鋼管改建施工期間至少歷經 2 個以上汛期，期間電廠兩部機組無法運轉排砂，水庫上游如有每秒 3000 立方公尺以上流量，各發電進水口可能遭淤泥再次堵塞，幾年來水下清淤努力成果即被抵銷。為此民國 96 年 3 月 12 日電廠防淤設施細部設計報告會議中石門電廠課長楊桂浪表示，至少應維持一機組正常運轉，並維持進水口前庭淨空不被淤泥阻塞，是本項工程成功與否關鍵。故將鋼管改建工程分階段招標施工，分為電廠防淤改善工程第一期 (二號鋼管改建為排砂專管) 及第二期 (一號鋼管改建為分歧管接電廠)，以確保至少維持一處可排砂，但也造成後續施工期拉長、工區面積狹小施工困難等問題。

電廠防淤改善工程第一期原於 97 年 3 月發包，後終止契約重新發包於 98 年 12 月 23 日開工、101 年 12 月 28 日完工，二期工程 101 年 12 月 12 日開工、104 年 7 月 31 日完工，兩期工程前後工期近 6 年，若加上 106 年 12 月 15 日完工的複葉閥工程，合計超過 9 年。

發電鋼管改建工程第二期工程開工後立即面對需切一號發電鋼管以利工程施工，惟因二號發電鋼管雖改建為排砂專管，但前端細攔汙柵尚未更換為粗格柵，擔心二號鋼管流速加大為每秒 30 公尺及流量由每秒 64 立方公尺加大為每秒 300 立方公尺，流木易阻塞於二號鋼管前端，需攔汙柵完全更換為粗格柵後才可安心排洪及排砂，那時僅剩一號鋼管可提供發電及排砂，不宜進行後續工程開挖及切除一號管作業，所以局長劉駿明於 102 年 1 月 22 日之一號鋼管開挖及切管時程會議中決議，調整土木工程開工日至 4 月 1 日；而施工中尚有電廠發電操作將影響更換粗攔汙柵潛水伕水下作業之安全及排樁施工震動將影響電廠發電安全等疑慮，則決議工程於夜間暫停施工，電廠則改為夜間發電。

圖 3-3-18 一號鋼管切除作業

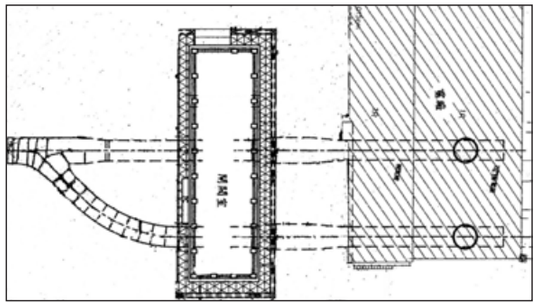


圖 3-3-19 一號鋼管改建新增臨時鋼管平面圖

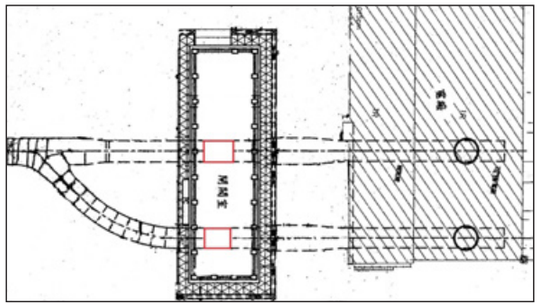


圖 3-3-20　一號鋼管改建契約部分終止後平面圖

圖 3-3-21 一號鋼管閘閥室臨時鋼管

由於停止發電影響本局收入甚鉅，而依施工網圖需於 102 年 6 月開挖至一定深度後於該高程施做基樁，但一旦開挖後，將影響電廠發電，故於民國 102 年 5 月 23 日透過變更調整基樁鑽掘高程由地面施作而暫不開挖，雖增加部分基樁空打施工費，但整體發電收益更高，使得一號鋼管延至 11 月 25 日進行切管作業 (圖 3-3-18)，也縮短影響發電之施工時間。

民國 103 年 12 月間，承商因延遲履行製作一號及二號隔離閥 (複葉閥)，進度落後逾百分之二十，且無法於要求之期限內改善，本局迫不得已與廠商辦理該部分之契約終止。該部分契約終止，使得工程完成後將面臨無隔離閥可銜接既有電廠鋼管段，而無法通水發電之窘境 (圖 3-3-19)，而重新發包採購製作複葉閥的期程太久，為解決此問題，我們新購直徑 3.6 公尺的臨時鋼管銜接 (圖 3-3-20~21)，如期配合於 104 年 7 月發電鋼管改建二期工程完工後通水發電。

發電鋼管改建工程期間雖全程長達 9 年，但透過適當的工程分期及工序安排，使得整體停止發電時間縮短至約 2 年 2 個月，將發電效益的損失降到最低。

(二) 複葉閥施工問題

複葉閥工程為發電鋼管改建工程最後一哩路。排砂鋼管改建第二期工程在廠商未能如期交付複葉閥而部分終止契約後，只能將分岐管與閘閥室依約完成，但我們深知如未有複葉閥，將來電廠只能在功能不完全狀態下運行。回想 93 年艾利風災，颱洪挾帶大量淤泥及沉木，都直接危害進水口取水塔攔污柵，甚至使水輪機、導翼等堵塞，除了癱瘓二部發電機組外，流木甚至造成進水口閘門無法關閉，同時在發電機導翼因流木卡住無法關閉狀態下，水流不止而無法停機，危及水庫蓄水安全（詳本篇第一章），但若能在發電機組前設置隔離閥，則能有效形成進水口閘門在無法關閉情形下的另一道安全屏障；另外，一號及二號發電機組已與一號壓力鋼管藉由分岐管銜接而並聯，併聯後的兩部機組若缺少（複葉閥）關斷隔離，反而相互鉗制而無法靈活調度，特別是在單機歲修或大修時，將因進水口閘門關斷而同時造成另一步機組只能配合停機。反之，若有了複葉閥，則可讓聯通的二部發電機組，即使單機維修或無法操作停機下，可藉由複葉閥的關閉隔離讓另一機組持續發電。因此，我們在二期工程部分終止契約的同時，緊接著開始準備複葉閥工程推動，是為發電鋼管改建第三期工程 (下稱複葉閥工程)(圖 3-3-22)。

複葉閥 (Biplane Valve) 從上游至下游分成五大構件，包括上游短管、複葉閥體、伸縮接頭、下游短管及重錘等 (圖 3-3-23)；複葉閥與既有發電鋼管間需以直徑 4.5 公尺漸縮方式銜接，並由油壓伺服機操作機構操作開啟，而在油壓系統停止不作動時或在導翼關閉後，重錘還

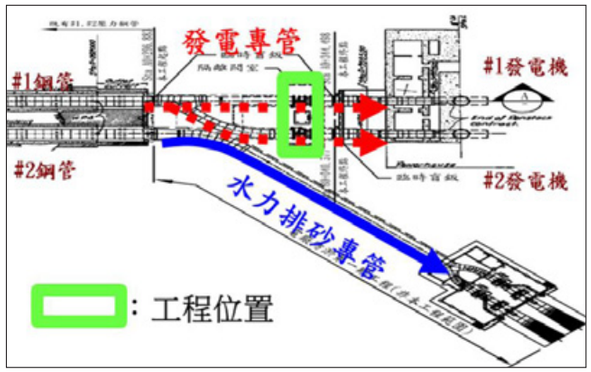


圖 3-3-23 複葉閥工程位置圖

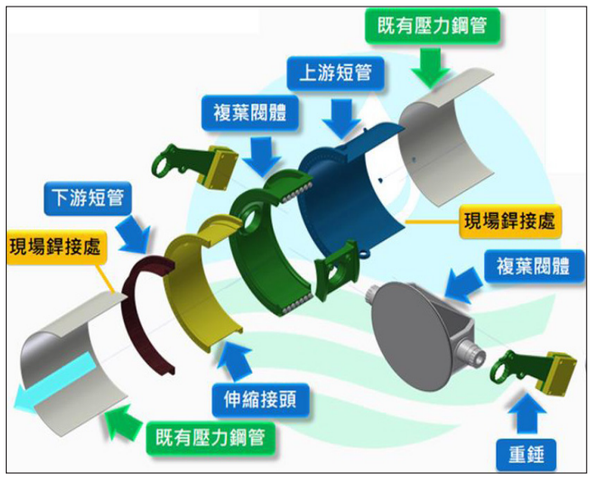


圖 3-3-23 複葉閥主體構件 3D 分解圖

圖 3-3-24 複葉閥於工廠假組立作業

圖 3-3-25 複葉閥出廠前加壓試水測試

可以利用配重作緊急關閉至全關位置；複葉閥體尺寸為 3.6 公尺直徑大小，閥體構件寬度達 4 公尺，重 45 噸，屬國內第 2 大複葉閥體；但因閘閥室空間狹小，造成施工機具受限，且必須在鋼管斜率 6.49 度狀態下安裝施工，著實是國內少見。

本工程以異質採購最低標方式招標，由遠東機械工業股份有限公司 (下稱遠東公司) 以新台幣 8,800 萬元得標，工程初期，因考量本工程複葉閥巨型構件不論在製造及施工都是國內少見，於是由遠東公司委託奧地利安德里茨 (ANDRITZ HYDRO) 公司進行細部結構設計與安全檢核，並建議將原規劃伸縮接頭位置由複葉閥上游側改至下游側，來提升發電機組操作及維護彈性，這可於日後石門發電廠機組 (含複葉閥) 維修期間，透過複葉閥操作阻隔上游來水，使維護期間維持單組發電機組持續發電。

考量閘室內狹小空間要進行重型閥件安裝，尤其 4.5 公尺直徑鋼管有 8 處焊道要施工，這讓閘閥室內的深坑作業環境，無形中出現了難以克服的工安疑慮，特別是焊接作業中的高空墜落與懸浮粉塵危害，這使我們重新思索危害風險的趨避與降低手法，那就是將各構件採用法蘭接頭方式，讓法蘭與管材間的焊接作業保留在工廠內進行，這樣可以大幅減少現場焊接工作，而只留下頭尾的新舊管材銜接處進行現地焊接，如此不但能提升焊接品質，也減少現場工安（墜落及粉塵）危害。

105 年 10 月 29 日開始先進行一號及二號壓力鋼管切管作業，這時還同步進行出廠前的假組立及各項檢驗 (圖 3-3-24~25)，並於 105 年 11 月 15 日開始陸續將各構件運往現場；各構件的運輸是件大工程，因為構件尺寸最小 3.6 公尺寬、最大寬度甚至超過 4 公尺，超過國內公路運輸貨車運送尺寸 (約 3 公尺)，運輸作業前需先提報各公路管理單位，且只能配合夜間或

圖 3-3-26 複葉閥安裝情形

圖 3-3-27 複葉閥安裝完成全貌

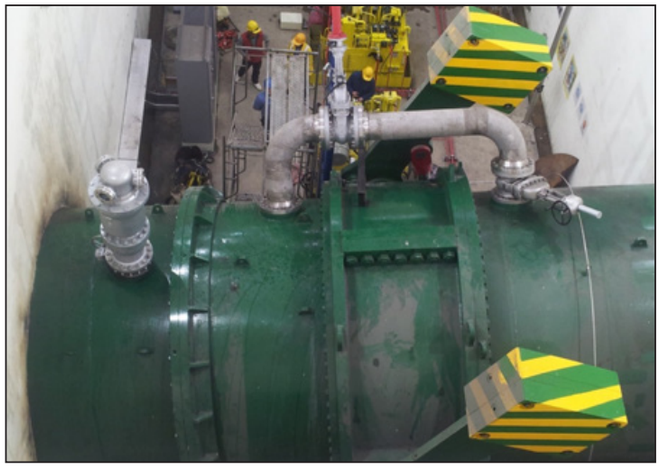


圖 3-3-28 複葉閥滲漏情形 (1/2)

圖 3-3-29 複葉閥滲漏情形 (2/2)

離峰車流量時進行運送，進場後又因為現場複葉閥閘閥室空間不足，仍需詳加規劃各構件進場位置與安裝順序。

現場安裝必須設法克服空間限制，整個工程吊掛作業採用既設 60 噸及 30 噸天車吊裝，但因管路線形呈 6.49 度，這時還需配合臨時支擋鋼管進行角度控制 (圖 3-3-26)，才能使法蘭接頭順利接合鎖固，而這些都必須仰賴專業技師進行複葉閥機構施工與維運管理階段的安定分析。而整個主體工程終於在 106 年 1 月 29 日全數安裝完成 (圖 3-3-27)，並於 4 月 16 日完成無水試運轉。之後配合石門發電廠機組大修後的調速機調校等作業進行有水試運轉時，我們發現複葉閥與伸縮管段出現了滲漏情形 (圖 3-3-28~29)，而有趣的是，滲漏位置竟發生在頂部

上緣。幾經拆卸重新安裝卻仍無法解決，甚至在 106 年 5 月 4 日還邀請專家學者 (資深水利技師林隆寬技師、陳賜賢技師、石門發電廠、巨廷工程顧問、中興工程顧問等) 共同研討 (圖 3-3-30)，最後獲致結論是認為應該導因於斜管安裝之故，當鋼管充水時管內殘餘氣體在構件的幾何特性下，確實不易排除而容易集中頂部並發生壓縮情形，造成閥體上緣接合處在未補強狀況下，發生空氣擠壓形成水路與微滲漏情形，最後我們以局部加強橡膠水封方式來克服閥體上緣接合處的滲漏，且經持續試運轉觀察，複葉閥整體運轉終於在 5 月 17 日在無微滲水情形下完成測試。

我們為能儘早恢復石門發電廠的發電，在 106 年 8 月 30 日先行完成了複葉閥部分驗收，並且順利將複葉閥併入石門發電廠機組運轉操作；但整個複葉閥工程則是在 12 月 12 日完成排砂隧道架空段伸縮接頭更新（屬複葉閥工程工項之一）之後，於 106 年 12 月 15 日報竣。

圖 3-3-30 專家學者會勘滲漏情形

(三) 改建後穩定供電及發電最大化

石門發電廠，主要係配合下游用水發電，根據統計，石門水庫上游流量大於單部發電機組用水量且水庫水位標高在水庫運用規線上限以上需雙機組配合發電，每年約 45 天，故每年採兩部發電機組機率約 12.5%，其比率不算高，而考量到改建後仍延用原進水口及前段壓力鋼管設施，其發電取水量及鋼管水壓承受能力等安全條件不變下，如兩部機組於同步運轉時其水錘可能高於原設計緊急水錘壓力，故巨廷公司於定案規劃報告中規劃以一部機組操作為原則。

於民國 104 年 3 月 19 日、5 月 25 日及 6 月 18 日由副局長邱忠川主持的 3 次有水測試協調會，考量石門電廠發電機組在水庫水位 EL.+240 公尺以上，單機組滿載運轉流量約每秒 47.5 立方公尺，而一號鋼管改建後如供雙機運轉且其緊急水錘壓力低於原設計之安全流量約為每秒 56 立方公尺，尚有餘裕，故部分委員不認同原規劃的單機組發電方式，主張可考量於安全無疑慮下以雙機組發電，讓發電效益最大化，故除要求巨廷公司重新依據石門電廠提供實際運轉的資料，再次評估以何模式雙機運轉，其水錘壓力是本系統可以承受的。經多次檢討評估，方才擬定機組安全可行的運轉模式，以平時單機運轉，颱洪期間則以雙機運轉為主，其中雙機部分，以一機組發電量 4 萬瓩，而另一機組 1.5 萬瓩，最大發電量為 5.5 萬瓩 (原雙機組發電量最大為 9 萬瓩)，而一號鋼管流量則控制於安全流量下 (每秒 56 立方公尺)，而該模式並經民國 104 年 8 月 31 日雙機組實際運轉測試評估安全。

統計 106 年 6 月至 107 年 5 月，累計發電 1 億 8,701 萬度 (表 3-3-2)，推估若以原發電模式 (雙機 9 萬瓩) 總發電量可達 2 億 2,789 萬度，如以巨廷公司規劃單機模式推估發電量為 1 億 7,533 萬度，故改建後以目前操作經驗其發電效能約折減 21.9%，但較顧問公司規劃單機操作則增加 6.7%。

惟目前巨廷公司評估之安全流量，係參酌民國 55 年 5 月「石門水庫建設誌」報告及水輪機性能曲線圖推估導翼關閉時間，並據以估算雙機運轉時，其緊急水錘壓力及安全流量，惟其推估值是否精準，尚待評估，而導翼關閉時間影響水錘壓力甚大，為提升發電效益，實有必要收集更多實際電廠之實際升降載試驗檢測值以及實測導翼關閉時間，分析兩部機組各種情境之負載跳脫，以研訂更合適及合宜的發電運轉模式，而這對我們來說又是一個新的挑戰，目前則將於民國 107 年下半年度委託顧問公司辦理後續評估事宜。

表 3-3-2 實際操作發電量及其他發電模式推估發電量

模式	目前模式(雙機5.5萬瓩)實際發電量		以原發電模式(雙機9萬瓩)推估發電量		原規劃單機模式推估發電量	
	小時	萬度	小時	萬度	小時	萬度
雙機	1168	6424	1168	10512		
單機	4618	12277	4618	12277	5786	17533
合計	5786	18701	5786	22789	5786	17533

五、鋼管改建施工照片

(一) 二號鋼管改建排砂隧道工程

石門發電廠位於大壩下游測，緊鄰後池，具備 2 組發電機組，為國內北部重要水力發電廠，此為 97 年石門發電廠施工前全貌。

石門水庫紀念亭（拍攝於 97 年）原座落於五彩噴泉池中央，為配合發電鋼管改建排砂專管需要，已遷移至南苑公園。

99 年 05 月排砂隧道工程開始初期，經審慎評估與檢討後，將紀念碑文及紀念亭以文化資產優先保存並遷移至南苑，以保留文化資產；圖中為上部結構切除及臨時支撐工作。

排砂隧道出口挑流工基礎開挖；挑流工位於原石門水庫五彩噴泉池旁後池堤岸上， 99 年 4 月開挖前先行設置排樁，以隔離後池水， 5 月開始開挖，因深度約達 13 公尺，以 H 型鋼支撐保護開挖面。

99 年 10 月排砂隧道挑流工基礎混凝土完成澆置後模板拆除情況

排砂隧道出口閘閥室基礎標高 EL135.5 公尺，採用斜坡明挖法開挖，並配合噴凝土進行邊坡保護；圖為 100 年 2 月進行基礎底層鋼筋綁紮施工。

100 年 3 月排砂隧道分歧管定位與組立；既有電廠發電 #2 鋼管尺寸達 4.5 公尺，設置分歧管使排砂流量分流，並縮小水工閘門尺寸。

100 年 04 月排砂隧道分歧鋼管環形鋼筋綁紮；排砂隧道出口閘門平時關閉將承受約 11 公斤重水壓，全開放流量將達每秒 300 立方公尺，由於高流速狀態將產生高頻振動，為控制分歧管周邊混凝土裂縫，設置環形鋼筋，以提升閘門機械與周邊混凝土介面穩定。

排砂隧道閘閥室基礎混凝土澆置施工，已將分歧管完全包覆於混凝土內。

101 年 1 月排砂隧道出口閘閥室內水工機械組立作業，及排砂隧道高壓閘門與射流閘門安裝。

101 年 3 月排砂隧道出口閘閥室預留孔內水工機械組立完成，排砂鋼管隧道閘室 2 次混凝土澆置。

102 年 07 月排砂隧道出口閘閥室室內設施。

排砂隧道自既有發電 #2 鋼管改建，銜接口位於發電鋼管架空段端牆下游側，並自銜接處下游 10 公尺處轉彎，由於水頭差大，將於鎮墩區轉彎段產生水平慣性推力，考量鋼管安全，設置約 33 支 1.2 公尺直徑全套管基樁，將水平慣性推力及承載力傳遞鎮墩基礎下方岩盤；圖為 101 年 02 月排砂隧道轉彎段鎮墩鋼筋綁紮作業情形。

排砂隧道轉彎段鎮墩混凝土厚度約達 11 公尺，考量分層澆置，設置水平剪力榫，確保上下層混凝土接合；圖為 101 年 02 月轉彎段鎮墩混凝土澆置情況。

排砂隧道轉彎段鋼管組立作業；鋼管轉彎段銜接因鋼管對接允許間隙小於 10mm，施工緩慢；圖為 101 年 3 月鋼管組立接合完成後銲接作業。

101 年 4 月排砂隧道轉彎段鋼管混凝土包覆澆置作業。

(二) 一號鋼管改建工程

102 年 3 月 28 日的閘室開挖前原貌，該工址原為球場，供電廠同仁運動使用。

102 年 5 月 14 日鎮墩區排樁施作情形。

102 年 11 月 18 日閘室基礎開挖作業情形。

102 年 12 月 11 日鎮墩區邊坡保護地錨施作。

102 年 12 月 25 日基礎第二階段開挖。

103 年 1 月 14 日鎮墩區既有 #1 發電鋼管切管及臨時盲版安裝。

103 年 1 月 18 日閘室直線段區既有 #1 鋼管切管後吊離。

103 年 4 月 10 日閘室第三階段開挖；進電廠之鋼管已切除並以臨時盲版封口。

103 年 5 月 13 日複閘室底版完成及牆身升層施工的放樣。

103 年 6 月 9 日鎮墩基礎完成；圖中混凝土平面將布置發電分歧管，圖右上方為 #1 發電鋼管切口。

103 年 12 月 2 日閘室上部結構施工情形；發電分歧管已安裝連接鎮墩。

103 年 12 月 17 日鎮墩區分歧管鋼筋綁紮。

第四章

新建中庄調整池

一、 工程簡介

中庄調整池是國內首座高濁度備援人工湖，位於石門水庫後池下游約 12 公里大漢溪左岸 (圖 3-4-1)，於大漢溪設堰引水 (圖 3-4-2)，經由 1.7 公里引水路送至調整池蓄存。調整池平日蓄滿水，颱風來臨時不引水，石門水庫進行水力排砂致鳶山堰原水濁度上升影響供水時，將調整池乾淨的水經由 4.8 公里輸水鋼管送至下游淨水場，其中大湳淨水廠每日最大 30 萬噸、板新淨水廠每日最大 50 萬噸；調整池有效蓄容約 505 萬噸，可備援供水至少約 7 天。

調整池原規劃兩池容量共 690 萬噸，為降低經費於計畫預算內容納，於民國 100 年 9 月修正計畫時，取消第二池，僅施作第一池；第二池俟後續需要時再開發。

圖 3-4-1 中庄調整池平面配置圖

圖 3-4-2 中庄攔河堰

圖 3-4-3 大漢溪左岸的中庄調整池 (遠處為鳶山堰)

圖 3-4-4 調整池滿水位優美水域 (向上游看)

圖 3-4-5 調整池美麗水域與蜿蜒圍堤

中庄調整池與下游鳶山堰相距約 3 公里；池區水域面積 41 公頃，環湖道路全長 3.6 公里。白天天氣晴朗時，大漢溪河谷兩側山林河階景致清晰可見，往上游可遠眺石門水庫溢洪道、往下游依稀可見台北 101。調整池區原為荒煙蔓草廢河道，施工挖除廢棄物及爛泥巴，以線形蜿蜒的塊石舖面圍堤，營造成優美可人的水域，成為桃園大溪地區新興景點，可謂化腐朽為神奇。(圖 3-4-3~5)

二、 水規所創新規劃

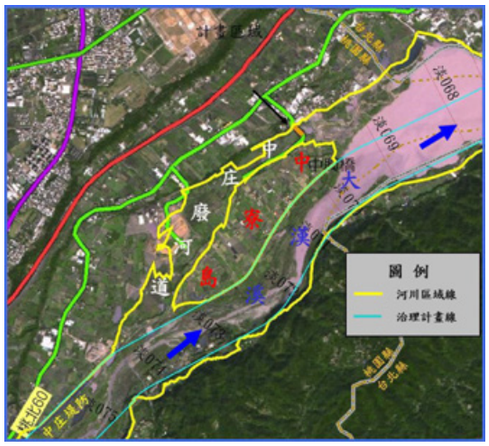


圖 3-4-6 調整池計畫場地中庄廢河道

93 年艾利颱風重創石門水庫，高濁度原水造成桃園、板新地區連續 18 天大停水。95 年開始實施石門水庫及其集水區整治計畫，針對北桃園、新北市板橋及新莊地區，於石門水庫洩洪時之高濁度問題，亟需尋找適合的地方，設置大型人工湖因應。

本局於 94 年進行河槽人工湖之「第二後池」方案規劃，惟經檢討認為利用河槽設堰於豐水期蓄水，雖可增加水量，但無法於颱洪高濁度期間備援供水，即使徵收河道附近私地，以能高濁度備援供水，仍有輸水管線銜接既有系統困難問題，故乃決定捨棄第二後池方案。

以前大漢溪在中寮島前分為二水路，自石門水庫興建後，主流河道逐年刷深，造成水只流主河道，廢河道由於沒有大漢溪水流入，成為沼澤 (圖 3-4-6)。因區域廣闊，閒置日久，荒煙蔓草，又河床富藏砂石，被附近不法砂石業者覬覦，長期遭盜採，傾倒廢土、營建廢棄物，甚至垃圾，環境受到嚴重破壞。

95 年初，民意代表建議水利署將中庄廢河道劃出河川區域，以作為輕航機起降場等，以改善廢河道髒亂環境。水利署基於河川區域保存有其意義，不輕言劃出，95 年 5 月 19 日上午由河海組銜副署長楊偉甫之命來請教水規所所長陳弘凷，陳所長請河川課與水源課同仁參加討論，當圖面一翻開，水源課工程司潘禎哲檢視廢河道面積、區位及與現有水資源設施相對位置後，發現中庄廢河道面積大，多為未登錄及登錄國有土地，私地徵收極少，且緊鄰鳶山堰自來水廠取水點，而整治廢河道環境符合地方期待，於是如獲至寶般地，立即建議應保留此河川區域並規劃設置蓄水湖，以解決鳶山堰水源高濁度問題，此想法立刻獲得陳所長支持；後即由水源課潘禎哲主辦，陳聖文與徐明童工程司為協辦，及大地工程課同仁協助，組成專案規劃團隊，自行辦理初步規劃，並設定 95 年 12 月底前提出結果。

因為廢河道鄰近無方便進出的道路，當時在踏勘尋找可能的大漢溪取 (引) 水位置、進入廢河道、及下游輸水路路線，相當不容易，有時需要從草叢中或泥地中穿越，經過 1 個月數次踏勘及圖面與內業分析，也勾勒出中庄調整池計畫之雛型與功能方向。接著就是社會面、技術面、環境、經濟面的分析確認，其有賴更多資料、資訊與溝通，首先是尋求地方的支持，經 2 次與當時大溪鎮長蘇文生會面，解釋設置調整池的構想與願景，他表示全力支持。後續的調查、規劃、地方說明會、計畫審查，蘇鎮長多予協助，也與地方里長、議員因此成為好朋友，讓規劃團隊執行計畫更為順遂。

經過半年的調查規劃，當時規劃團隊不分假日撰寫規劃報告與繪製規劃圖說，如期於 95 年 12 月提出初步規劃報告與初步計畫，其結果技術面、社會面與環境面可行，並建議水利署有需要接續辦理可行性規劃，以確認政策面、技術面、經濟與財務面、環境面、社會面均可行，當時由水利署總工程司召開會議，決議由水規所自行辦理可行性規劃，希望 2 年內獲得成果。民國 96-97 年，可行性規劃工作如火如荼展開，相較於初步規劃，有更精確與數量較多的調查分析，也有更深入的替代方案評估比較，以及相關執行計畫之競合分析，與地方民意代表之溝通也更頻繁。規劃團隊於 97 年底陸續撰寫 10 餘本專題報告，如地下水位觀測、測量、土壤廢棄物調查、地質調查、環境整體營造、計畫宣導影音、工程可行性規劃、水源運用分析、經濟財務分析等，環境影響評估說明書則委託專業顧問公司辦理，並彙整完成規劃總報告 (圖 3-4-7) 與提出工程計畫 (定案計畫) 初稿，經報水利署於 98 年初同意將中庄調整池工程計畫納入石門水庫及其集水區整治計畫辦理。工程計畫環境影響說明書於 98 年 10 月經環保署大會審查通過，工程計畫則於 98 年 12 月奉行政院核定實施。

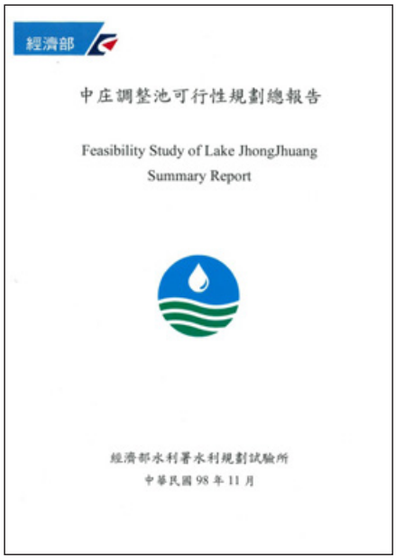


圖 3-4-7 水規所可行性規劃報告

三、本局中庄測設隊自辦設計

為加速工作順利進行，本局於 98 年 4 月由計畫課成立中庄測設隊，開始辦理測量、基本設計、細部設計等工作。為提升本局年輕工程司專業素養，部分工程採自辦設計。以往臺灣省政府水利局時代，皆由資深工程人員帶領新進工程人員，從測量、設計工作一步一步做起，以訓練工程人員，使能自己一手完成規劃、測量、設計、預算書編列、發包文件製作等，而隨著工程委託顧問公司設計案件增多，自辦案減少，資深工程司退休，漸已無人帶領，形成斷層實為可惜。本局賴伯勳局長有鑑於此，希望藉由大型工程機會，由具有設計經驗工程司如吳啟順課長及呂瑞源工程司，帶領蔡明澤、林政志、謝呂賢、吳建德、魏文駿、林齊堯等年輕工程司邊學邊做，如「師父領進門，修行在個人」所說，讓工程司先練好基本功，進而能精進專業，發揮所長。

測設隊的第一個挑戰是最基礎也是最重要的工作—現地測量，這項看似簡單的工作就讓測設隊吃足了苦頭。調整池基地面積達 88 公頃，周邊鄰接農田、廟宇及住戶等各種介面，地形高程、水路銜接、堤壩範圍、引輸水路定線等，皆需要一步一腳印的履勘量測。測設隊的師父呂瑞源工程司帶著一群小毛頭，常在烈日下穿梭於中庄廢河道，雜草叢生的沼澤區，紅火蟻小黑蚊是家常便飯，虎頭蜂窩及忽然竄出的驚蛇是見怪不怪，開路的柴刀不知道換了多少把，新進工程人員憑藉著前輩的指導，由最基礎的現場測量開始，時常帶著簡易的測量工具，到現場就開始實地測量，由最早 1 天可能只能完成幾點量測，到後來半天就能完成相關構造物量測，測量時溼透的衣服襯著曬紅的臉頰，踏出的腳印就像宣告成年的圖騰，汗水和太陽的味道是傳承也是成長，預告測設隊的茁壯。

測設隊的工作中，測量僅為其中一部分，更大的挑戰是如何把學校課堂所教之基本學問轉化為工程實務上能使用之工程圖。測量作業大致完成後，接續就是各工程的基本設計核定，由蔡明澤及林政志工程司主導，謝呂賢工程司負責開發計畫。在測設隊同仁的努力下，歷經大大小小的審查會，修正討論、再修正再討論，各工程基本設計陸續獲得核定，開始後續的細部設計作業。起頭的是引水路工程的自辦細部設計，由測設隊魏文駿工程司辦理。引水路採箱涵方式埋設於地底，最深埋於地下約 13 公尺，土層是含有的大型塊卵石的河道堆積卵礫石層，且因受限用地範圍無法明挖施工，如何設計開挖擋土支撐實為關鍵。經多方蒐集相關地工案例，並實地勘查類似地質施工現場，最終選用 H 型鋼加高強度樁頭，並搭配高壓水柱的「鋼劈礫工法」克服硬地層擋土樁施工，之後接續完成高覆土大型箱涵結構分析及鋼筋混凝土配筋設計、圖面繪製、預算書編製、規範及招標文件撰擬，順利發包後，測設隊慢慢建立了信心，迎接更大的挑戰—調整池工程細部設計。

圖 3-4-8 測設隊於調整池工區測量

調整池工程由環興科技公司完成基本設計後，細部設計由測設隊魏文駿、林齊堯、吳建德等工程司接手辦理。方記得初拿到中庄調整池 100 多頁基本設計圖，面對各審查委員及廠商的相關疑問，常是挑燈夜戰畫圖，深怕無法如期如質達成工作目標。一有疑慮，往往是上午衝到現場確認，下午回辦公室工程人員埋頭苦幹，書架上排滿土木水利專業書籍、蒐集的各工程設計圖及分析計算資料，牆上更掛滿地形測量、用地大圖，賴伯勳局長亦無私的提供許多專業書籍，感覺就像是來到了一家工程顧問公司。

中庄調整池工程計畫
THE JHONGJHUANG BANK-SIDE RESERVOIR ENGINEERING PROJECT

調整池工程(第一期)
細部設計圖
THE FIRST STAGE BANK-SIDE RESERVOIR
DETAILED DESIGN DRAWINGS

主辦機關：經濟部水利署
執行機關：經濟部水利署北區水資源局
基本設計：環興科技股份有限公司
細部設計：經濟部水利署北區水資源局

局長：[redacted] 印　　中華民國 102 年 11 月

圖 3-4-9 調整池細部設計圖

為趕設計圖，晚上測設隊辦公室更是燈火通明，猶記得副局長經常夜訪測設隊，或討論設計，或加油打氣，同仁點滴心頭。102 年 11 月，最終在各方指導下，測設隊完成了中庄調整池細設相關圖說約 200 頁；時至今日每當看見中庄調整池細設相關圖說及實地完工的工程，湧上的成就感，實筆墨難以形容。

後續引水路、輸水路過河段等工程，採自辦監造，以使工程司能瞭解工程施工。測設隊工程司除參與測量、設計，後續亦有參與工程監造，從而奠定札實基礎。此藉由大型計畫來訓練、培養專業工程人才，也使後來工程執行當中遭遇各種困難時，工程司能以正確工程專業判斷，及時研提可行方案，解決問題，使工程能順利進行。

四、場址廢棄物處理

(一) 除惡務盡

民國 96 年可行性規劃初步估計於調整池 1、2 池交界附近之左岸處，約有 17 萬立方公尺土壤夾雜廢棄物之混合物。中庄工程計畫奉行政院核定後，為進一步了解廢棄物種類、數量及研提處理方式，本局於 99 年委託工研院辦理廢棄物調查，針對可疑區域進行地毯式調查，採 50x50 公尺及加密 25x25 公尺方格取樣。於 101 至 104 年分三期清理廢棄物，第 1 期優先清理有害事業廢棄物，第 2 期則清理一般事業廢棄物，第 3 期清運爐碴處理。

第 1 期清理標於 101 年 11 月完工，清理出有害事業廢棄物約 250 公噸。第 2 期清理標於 104 年 5 月完成篩選與分類廢棄物約 185,950 公噸，可燃廢棄物送焚化廠 1,029 公噸，挖出之爐碴約 2.25 萬噸。第 3 期爐碴再利用標則於 105 年 2 月全數完成爐碴清運。(圖 3-4-10~11)

本計畫發現有害事業廢棄物，曾引起社會疑慮，水利署對外說明將除惡務盡，本局完成詳細廢棄物調查，亦儘速完成有害事業廢棄物清理，並增設調整池內外之截水設施，以避免池內水與池外有污染疑慮地下水互

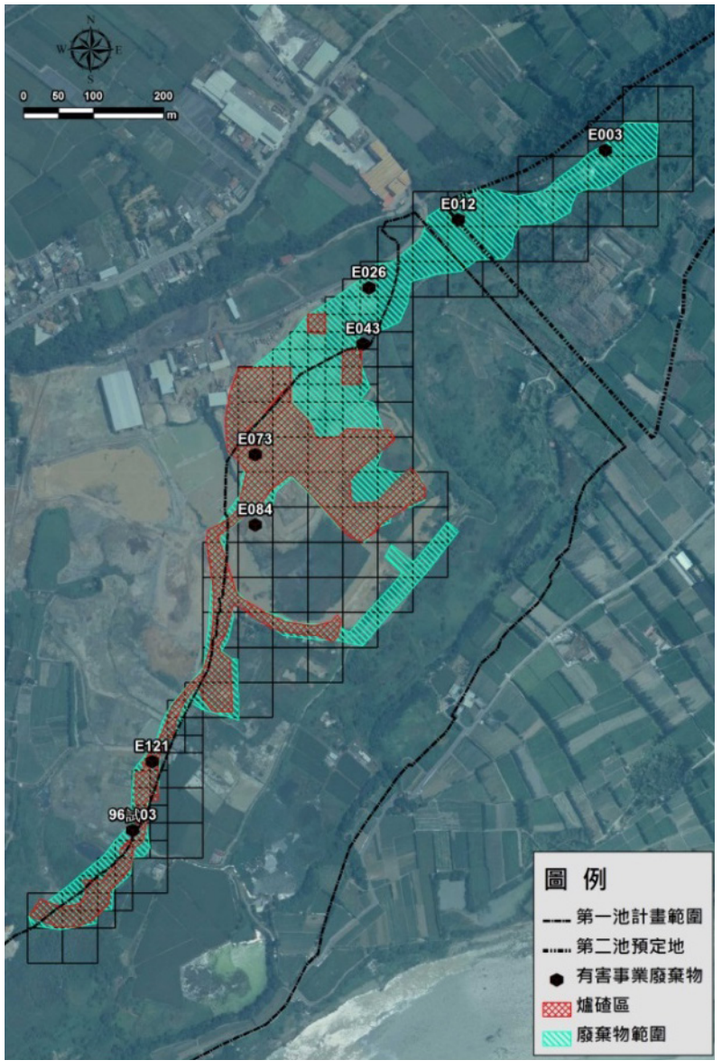


圖 3-4-10 調整池場址廢棄物種類分布圖

圖 3-4-11 調整池場址清理開挖前、中、後情形 (註 :E026 位置如圖 3-4-10 標示)

相交換影響水質並降低施工期間工區地下水位，利於施工期間調整池開挖乾式施工。以上及時積極作為，轉化危機，使計畫能繼續執行。

調整池區內廢棄物清理完成後，本局皆定期自調整池內隨機挑選開挖土樣進行土壤檢驗，依據土壤監測資料，八大重金屬測值值皆符合土壤管制標準。另截水牆施工完成後，為確認截水牆阻水功效，本局自 105 年起於池區內採取地下水進行監測，檢測結果皆符合地下水管制標準，區內地下水無污染情形。

(二) 民事求償

幸太砂石場 (幸太公司經營) 於 91 年至 96 年間，將大量爐碴等廢棄物傾倒掩埋於大漢溪廢河道及周邊。本局委託調查廢棄物數量及範圍，獲初步結果後，先於 99 年 5 月向幸太公司及其負責人等提起第 1 階段民事訴訟，並依工研院調查成果，於 100 年 10 月提出第 2 階段民事訴訟，請求幸太公司及其負責人等損害賠償費用約新台幣 2 億 8 仟萬元。第 2 階段民事求償金額甚鉅，又蒐集證據不易，經 1 審敗訴，本局再提上訴，於 2 審期間，費盡心力重新檢視各項證據，最後找出幸太砂石廠向前桃園縣政府申報廢棄物清理計畫書之處理場所座標，即為中庄調整池區內清理爐碴等廢棄物之位置，經法官採納為重要直接證據，至終審，本局均為勝訴。本案纏訟 7 年，第 1 階段民事訴訟至更 1 審 105 年 1 月判決確定，幸太公司等應給付本局清除費用及不當得利總額 3,574 萬 5,592 元，第 2 階段民事訴訟第 3 審 105 年 6 月判決確定，幸太公司及其負責人應給付本局清除費用及不當得利總額 2 億 8,085 萬 7,874 元。目前債務人部份土地經拍賣，所得約 800 萬元，現由法院依債權順位分配中，另債務人 88 筆土地法院執行拍賣中。

五、 優質設計與施工

(一) 攔河堰設計與施工

水利規劃試驗所原規劃中庄攔河堰型式為臥箕式固定堰，堰高 5 公尺，功能在抬高水位便於引水。當地民眾對 52 年葛樂禮颱風嚴重水患心有餘悸，擔心所設計攔河堰及引水路會影響聚落安全。雖然該型式通過環評，然民眾仍難認同。面對反對聲音，當時局長賴伯勳親自召開地方說明會 (圖 3-4-12)，與民眾當面溝通，表示將檢討改採倒伏堰方式設計，隨後獲民眾認同，化解地方疑慮，使計畫能順利推動。而對於蓄水範圍內產生淤積之問題，以及下游河床沖刷加劇及衝擊環境景觀，本局先前就有研擬改採倒伏堰方式之設計方案，以可提供較佳水域景觀、增加攔河堰通洪能力以及營造更好生態環境。

圖 3-4-12 局長賴伯勳於地方說明會說明

攔河堰工程主要包括 9 座排洪道及傾倒式閘門、2 座排砂道、魚道、取水口等。其中，排洪道每道傾倒式閘門高約 5.16 公尺、寬約 20 公尺，由日商西田鐵工株式會社設計，台灣製造，是國內首座於主流河道內採用傾倒式活動堰的攔河堰，規模也是東南亞最大。(圖 3-4-13~14)

攔河堰工程因位於主流河道，採半半施工之圍堰施作。為降低颱洪影響，於枯水期增加人員、機具提升施工能量 (圖 3-4-15~18)。民國 104 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風洪水通過堰區 (圖 3-4-19)，當時石門水庫排洪量達 5000cms，為歷史上第六大颱風。颱風過後，經檢查堰體、閘門等未受明顯影響，工地完好，通過洪水考驗。(圖 3-4-20)

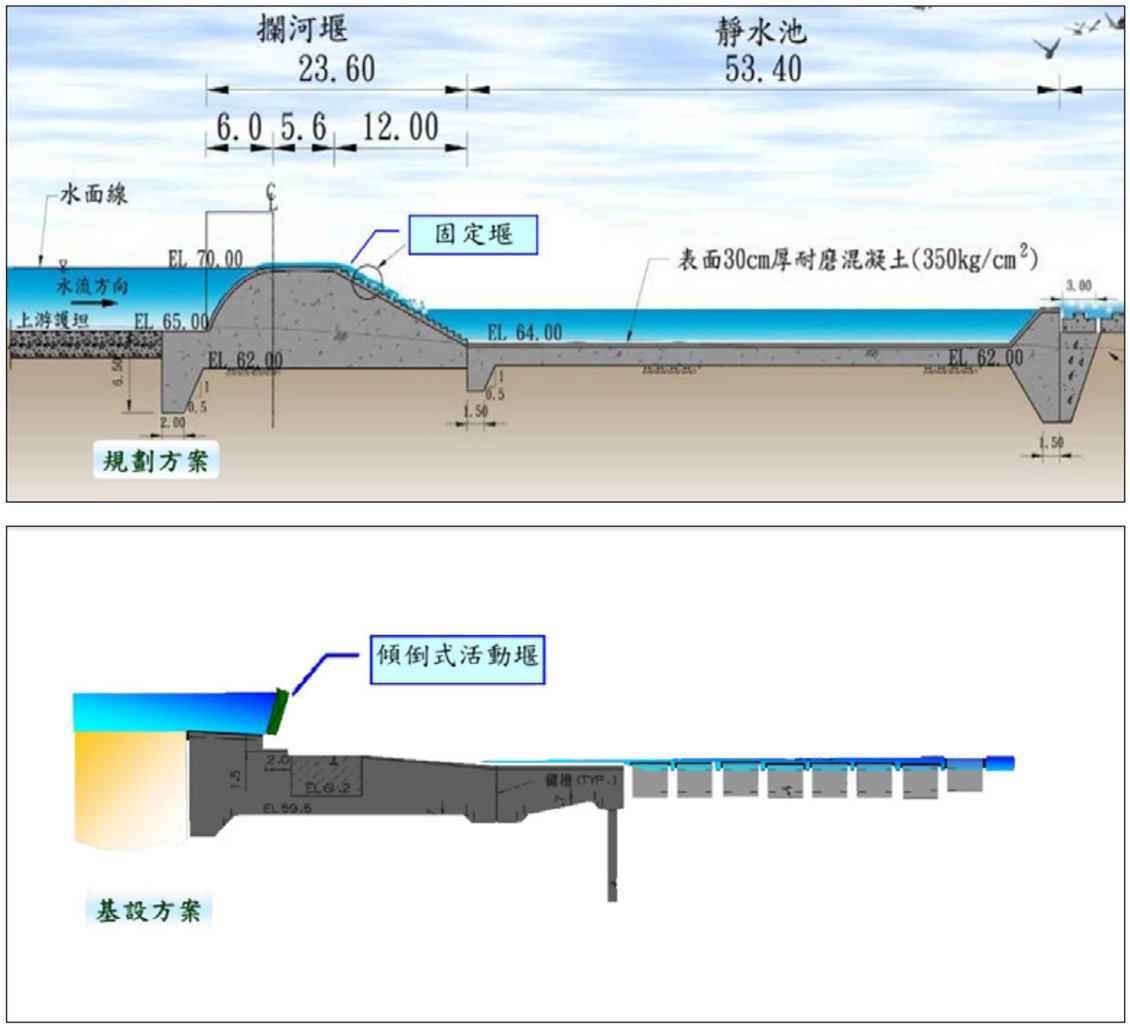


圖 3-4-13 中庄攔河堰可行性規劃及基本設計型式比較

圖 3-4-14 中庄攔河堰（向上游看）

圖 3-4-15 攔河堰工區

圖 3-4-16 攔河堰工區

圖 3-4-17 攔河堰取水口及排砂道施工

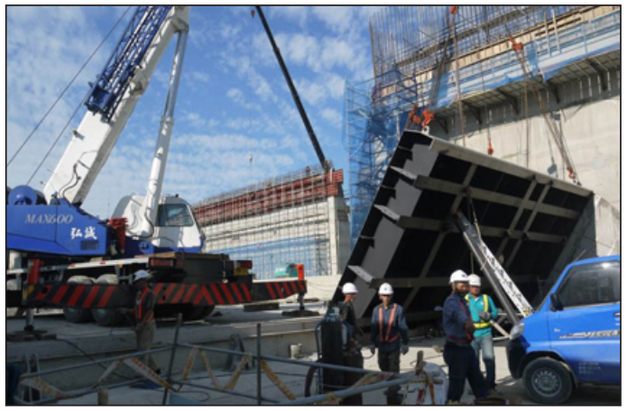


圖 3-4-18 攔河堰傾倒式閘門門扉吊裝

圖 3-4-19 民國 104 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風洪水通過堰區

圖 3-4-20 蘇迪勒颱風過後工地完好

(二) 池區開挖設計與施工

調整池池區原為沼澤，須由原地表降挖 10~17 公尺不等，開挖面積達 30 多公頃，祛水緩慢。為克服開挖土方含水問題，開挖工程分兩階段進行，第一階段以環狀開挖為主，利用水頭高差重力降水於導溝，再將導溝所蒐集水量抽排於池區中央高含水土方上之水潭；第二階段在中央池區開挖，機動調整排水路，將水排放於導溝，再排往池區外之下游排水路。(圖 3-4-21~24)

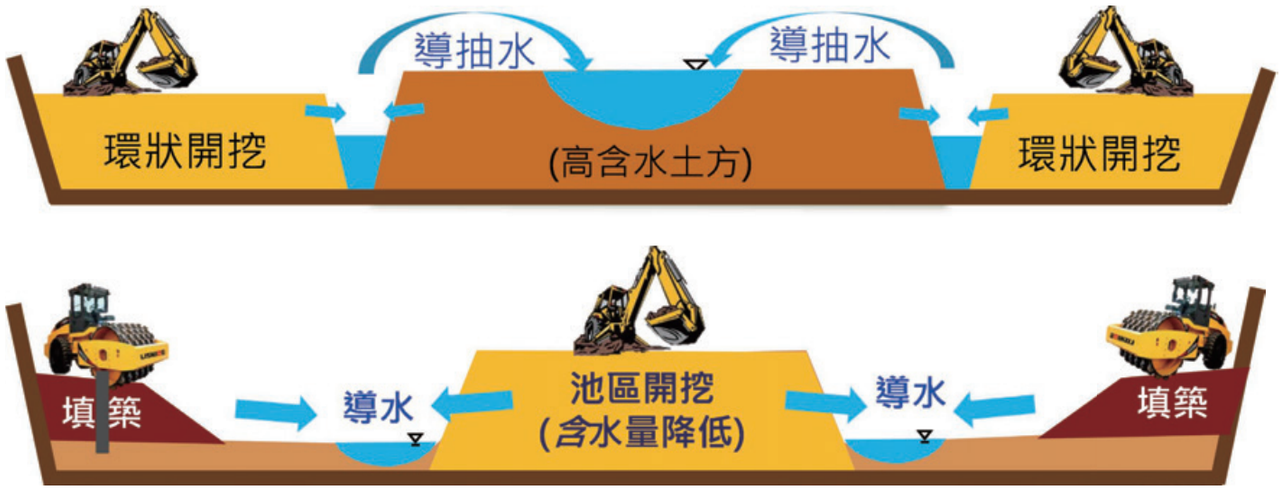


圖 3-4-21 調整池池區環狀開挖祛水示意圖

隨著池區較大開挖後，發現區內有高含水黏性土方 (圖 3-4-22)，疑是以前附近砂石場洗砂後留下的泥巴，主要分佈於左側土地公廟前，數量約 20 萬立方公尺， 2K+520 前估約 10 萬立方公尺，及其他分散約 20 萬立方公尺，如果不儘速挖運，將影響圍堰填築，因此規劃運到附屬用地二池兩側回填，因其塑性指數較高，含水量較高，數量多，雖部分混和乾土，仍會受到上方覆土應力增加，產生壓密沉陷，而在二池左右完成面各設有 1,150 公尺道路，如未適當處理，恐造成未來路面損壞。

圖 3-4-22 施工中右側圍堤 (照片左下方為排水導溝)

圖 3-4-23 調整池池區土方挖運趕工

圖 3-4-24 調整池池區土方挖運趕工

圖 3-4-25 土地公廟前高含水土方

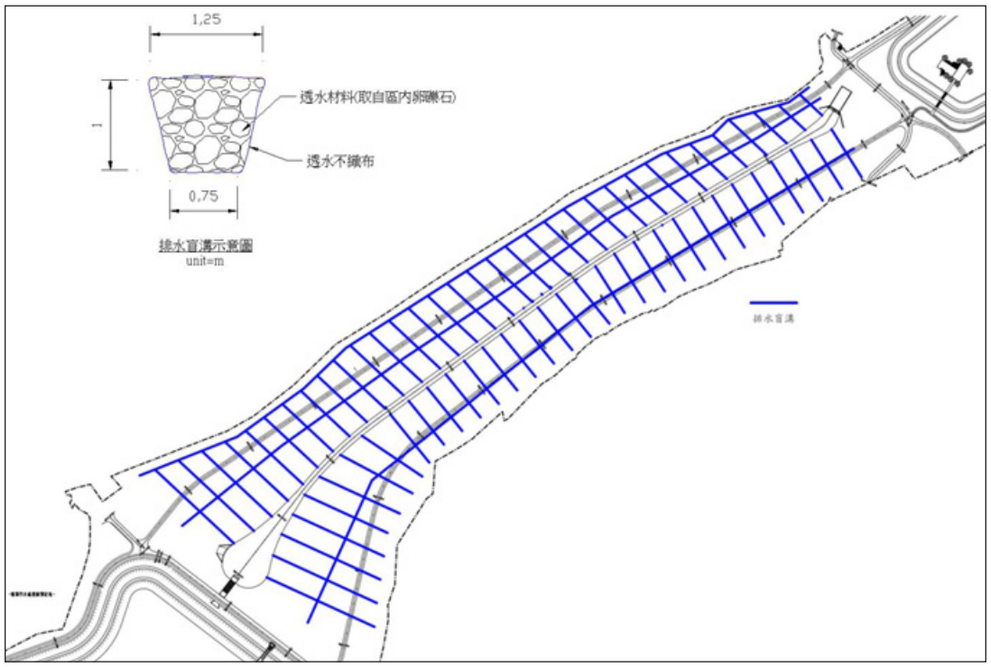


圖 3-4-26 二池排水盲溝佈設平面圖

圖 3-4-27 二池排水盲溝施工 (以不織布包覆卵礫石)

圖 3-4-28 二池排水盲溝施工 (高含水黏性土方回填於盲溝上)

為加速壓密沉陷，工務所主任魏文駿特別研究設置排水層，經分析可以加速排水，規劃垂直縱向約 30 公尺設置排水盲溝延伸至二池中間水路排水，每向上約 4 公尺再設一層排水盲溝 (圖 3-4-26)。排水盲溝材料使用由卵礫石第 1 次篩出粗質殼層後之剩料，並以不影響圍堤殼層及拋石利用為原則，將大於 7.5 公分以上卵礫石作為透水材料預估，使用量約為 2.3 萬立方公尺；另為避免排水盲溝於高含水土方回填時堵塞，外層加包一層透水不織布，以延長排水盲溝壽命 (圖 3-4-27~28)。

排水盲溝設置後持續土層有水排出，確實發揮效果，加速施工期間壓密沉陷，完工後已趨於穩定。(圖 3-4-29)

二池排水路收納池區土方 208 萬方，其中高含水黏性土方占約 50 萬方，對去化池 區土方幫助甚大。

為去化調整池區開挖大量土方，除二池排水路兩側外，排水路末端鄰鳶山堰蓄水範圍、面積約 8 公頃舊河道土地設計為景觀土丘，吸納池區餘土 105 萬方，與二池排水路堤同為池區餘土之主要去處。(圖 3-4-30)

圖 3-4-29 二池排水路完成全貌 (向上游看；遠處為調整池)

圖 3-4-30 景觀土丘剛完成全貌 (向下游看；右上方為鳶山堰蓄水域)

(三) 圍堤設計與施工

本調整池蓄水域採半填半挖方式，池底高程 EL.53 公尺，堤頂高程 EL.70.5 公尺，蓄水深 15 公尺，水域面積約 41 公頃，圍堤長約 3,600 公尺。

為確保圍堤具有良好阻水與儲水功能，設計上比照土石壩規格，並依地質環境條件分三種斷面形式 (圖 3-4-31)，其中左側圍堤因迎向區外地下水流向，為免水質有疑慮之地下水流入，及阻擋施工期間左岸高地下水位，讓調整池開挖築堤能在乾式下施工，於中央黏土心層下方設塑性混凝土截水牆 (A-A)。此形式圍堤長 2070 公尺，占圍堤總長度的 57%。右側圍堤 (C-C) 利用中寮島原狀土層，以細質殼層等作為防滲措施，未設截水牆。

圍堤截水牆採用塑性混凝土，為國內繼湖山水庫大壩後第二例，其防滲佳，具有較大的變形性，可避免地震及應力造成破壞。中庄調整池圍堤截水牆總長約 2,070 公尺，厚度 1 公尺，入岩 2 至 8 公尺，以降低調整池左岸地下水交換量。截水牆施工最深 28 公尺，且卵礫石層內達 20 公尺，施工屢遭遇卵礫石坍孔問題，部分地質狀況不佳，及受區外高地下水位影響，坍孔嚴重。後經施工團隊努力，採點井抽水降低地下水位、調整抓掘方式、適時回填黏性土填補卵礫石間隙、嚴重坍孔回灌混凝土等措施，才克服困難。

截水牆採跳島式施工 (圖 3-4-32~33)，以抓掘機完成先行單元 (6m) 後，再以抓掘機搭配專利切削頭施作後行單元 (3m)，以避免連續掘削造成內部崩孔、龜裂，可確保品質並節省工期。本工程施工廠商特研發專利切削機 (圖 3-4-34)，先以連續壁工法施工後，再以同型連續壁抓掘機加掛專利切削機頭掘削，可一機兩用，且水密性試驗結果全數皆符合規定。

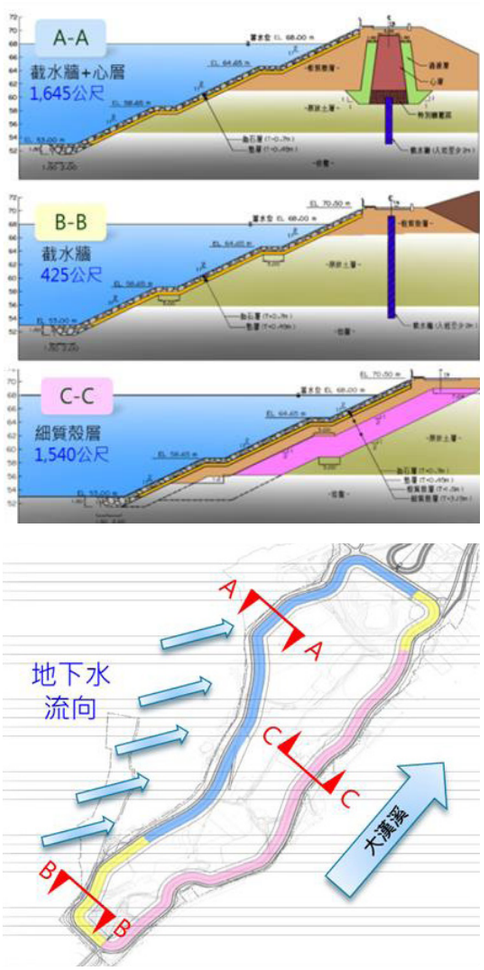


圖 3-4-31 調整池圍堤斷面型式與布置圖

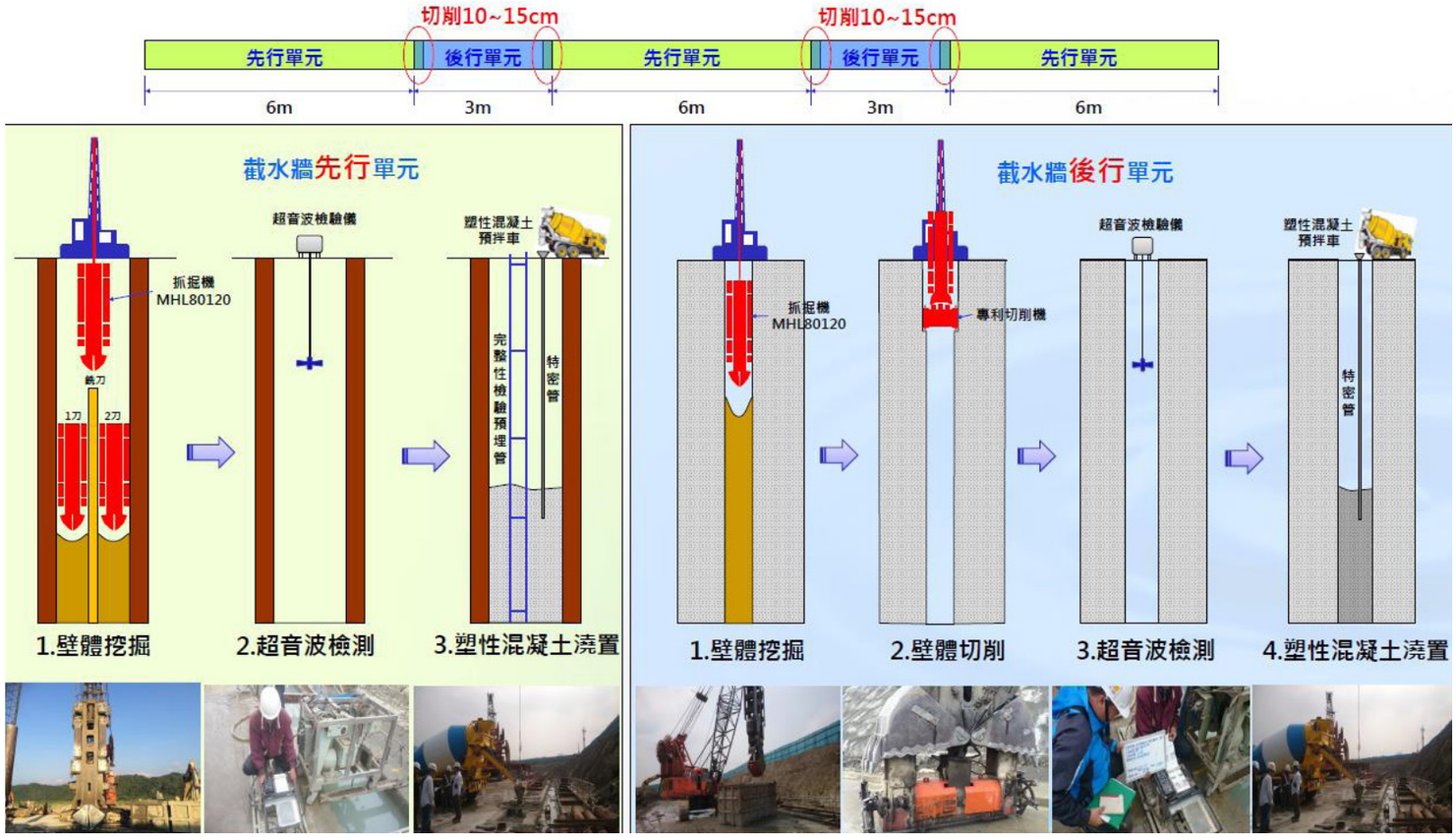


圖 3-4-32 截水牆跳島式施工流程圖

圖 3-4-33 施工中的連續壁截水牆抓掘機

圖 3-4-34 施工廠商研發用於本工程的專利切削機

圍堤心層比照土石壩之黏土心層設計與施工：心層料散鋪厚度 25cm 滾壓為 15cm，經壓實度及含水量檢驗合格後方可繼續升層，升層前表面要經過犁翻，避免形成層面而影響水密性（圖 3-4-34），心層與截水牆則以特別輾壓層施工 (圖 3-4-35)。考量心層與堤身材料差異，及預防心層材料因乾縮等因素開裂，心層兩側設置過渡層，防止心層材料流失。另考量調整池緊急備援供水期間，水位可能在一日之內降低 1 至 2 公尺，堤身設計時，設置墊層，以避免備援供水期間，水位急洩降而產生細粒料析離現象。施工期間，除請教美國墾務局專家施工控制，工程司更自行設計設備，進行現地透水試驗，以確認施工後殼層透水性之維持。後來，蓄水測試曾有水位一日之內降低近 2 公尺，然並未發生有細粒料被帶出情形。

圍堤外層以拋石層保護 (圖 3-4-36)，可防止風浪掏刷及增坡面穩定性。本工程拋石層共約 13 萬方，主要由池區開挖利用，唯實際開挖後發現可用礫石差異甚大，疑早期遭盜採，回填以軟弱廢棄土，拋石部份不足，乃以由本局義興壩運送約 0.5 萬方補充。

圖 3-4-35 調整池圍堤心層施工程序

圖 3-4-36 左岸圍堤特別輾壓層施工

圖 3-4-37 圍堤拋石層施工

圖 3-4-38 圖 3-4-38 截水牆有助池區開挖及圍堤填築乾式施工

四、水規所協助設置專用 TAF 土方實驗室

水利署水利規劃試驗所對中庄調整池的貢獻，除水源規劃課辦理工程可行性規劃及工程計畫提報外，大地工程試驗課於本局施工期間協助設置專用 TAF 土方實驗室及執行試驗　工作，對本工程進度幫助甚大。

依施工規範，調整池圍堤分層分區填築輾壓後，要逐層分區取樣試驗符合規定後，才能繼續升層施作。土石壩土方試驗部分項目特殊，如大粒徑工地密度、快控法，國內實驗室較少，且報告提出往往要 3 至 7 天，而本調整池圍堤填築量達 130 萬立方公尺，數量龐大，工期緊迫，若由國內民間試驗室作檢驗，將嚴重影響工進，故如要有效管控進度，最重要的是要能於工地設置實驗室，就近取樣，儘速檢驗，使結果能於 3 小時出來，確定輾壓後夯實度達要求後，再填築下一層，如此圍堤才會漸漸長高，工程也才可能於 1 年半完成主體圍堤，否則工期至少還要再延長 3 年。104 年初，未了突破土方檢驗可能造成的施工瓶頸，副局長邱忠川拜託

圖 3-4-39 水規所現場工地密度試驗 (粗質殼層)

圖 3-4-40 水規所現場工地密度試驗 (過渡層)

當時水利規劃試驗所所長江明郎協助，所長亦指示大地課全力配合。那時因湖山水庫工程計畫已近完成，水利規劃試驗所「湖山水庫工地實驗室」已調降人力，即將結束。在此機緣，本工程才得以借助該所執行湖山水庫工程品質檢驗之經驗及能力，辦理圍堤填築工程之施工品質檢驗。

由於工地試驗室建置及取得 TAF 認證費時（預估需 6 個月時間）。在工地試驗室建置、申請並取得認證證書之時段，工程仍必須進行，無法停工。該所為能配合工程施工進度，而不受向 TAF 申請「中庄調整池工地實驗室」認證時程所影響，該所於 104 年 3 月 12 日向 TAF 申請「湖山水庫工地實驗室」更名為「湖山水庫暨中庄調整池工地實驗室」之方式來擴大服務範圍至本工程。該所於 3 月 27 日收到 TAF 核送證書後，隨即配合工程品質檢驗。該所工作人員於雲林斗六市（湖山水庫工地）及桃園中庄（中庄調整池工程工地）兩處奔波，進行工程品質檢驗。此期間，工作人員相當辛勞。

「中庄調整池工地實驗室」於 104 年 10 月 19 日獲 TAF 核發證書，正式掛牌，執行工程品質檢驗工作。全力配合工程施工，辦理檢驗工作。106 年 4 月 11 日，圍堤填築工程主要工項告一段落，該工地實驗室任務結束。水規所大地課協助檢驗，對圍堤填築進度完全不受檢驗工作影響，對本工程順利完工幫助甚大。水規所江所長後於 105 年 11 月調任本局局長，也算老天巧妙安排吧！

五、異常天候趕工 苦盡甘來

104 年 12 月中旬北部冬雨降下，接續 105 年 1 月到 3 月冬雨接著春雨連綿不斷，遭遇異於往常的天氣，對進度造莫大影響。

105 年 3 月下旬起天氣轉晴，為了追趕落後進度，工區內調整池工程、2、3 號沉澱池環境整理工程、月眉堤坊下游保護工、義興攔砂壩局供圍堤材料等工程同步作業，工區內大興土木趕工，各標工程間的介面配合、進度控管、動線確認、跨機關間的施工協調，全賴工務所有限人力辦理。猶記得各標工程陸續進場後，除了調整池工區外，還要兼顧沉澱池工區和月眉堤坊下游保護工工區，為了確保工作順利，同仁 7 點前就到工地，白天輪值騎著機車穿梭工區，緊盯進度，管控每日完成數量，晚上挑燈夜戰繼續內業，假日排班駐守現場。

因中庄廢河道多年前曾遭人為擾動，多為積水沼澤，開挖後發現砂石料源不足，本工程本可在基地內自行開挖取料，無奈在調整池附屬用地向下一挖，可用材料仍遠不敷所需。適逢 104 年 10 月，第十河川局於蘇迪勒颱風災後辦理南勢溪覽勝大橋下游河道整理，調整池工程配合收納約有 1 萬立方公尺砂石作為料源，這讓如何解決料源不足有了方向，本局長期辦理石門水庫上游義興攔砂壩疏濬，本身即有砂石產出，由當時副局長邱忠川率隊赴上游現勘砂石料源後，義興壩前淤積料量足質優且適用調整池填築，旋即確認由義興攔砂壩供料，其提供約 35 萬立方公尺砂石，解決了填築材料不足的問題。

本工程土方開挖達 560 萬方，填堤達 130 萬方，數量龐大，為能達成 106 年 3 月底完成主體工程之目標，除廠商工地主任鄭瑞堃每日不斷與協力廠商依現況調整工作安排，總經理尤川宗亦長駐工地作各標案資源整合調度、縮短工班訂定及請款時程，經常與各工地主管、協力

廠商代表、領斑等，討論施工最佳方案及克服施工障礙至凌晨，時間長達6個月。趕工巔峰時，共調度卡車、怪手達 100 餘台，如螞蟻雄兵般，一台接一台挖運，才能完成主體工程。

圍堤施工時，因施工斷面愈上層空間愈小，僅足夠供 20 噸卡車單向行駛，除圍堤施工時會將部分施工便道阻斷外，同時須容納各項圍堤填築材料運送、池內土方清運及自義興壩運進工地堆置之圍堤材料原料等大量運輸車輛，施工困難度相當高，最後亦由廠商增設多條臨時上堤便道，增加部分區段之堤身寬度，調整各圍堤材料上料順序，調整各工項施工上下工時間，清晨 5 點上工，凌晨收工的狀況，已幾近常態，全面趲趕。單在 105 年調整池就完成 27% 土方開挖量、60% 圍堤填築量，使整體工程追上預定進度。(圖 3-4-39)

圖 3-4-41 調整池池區挖運趕工

為了趕在 106 年汛期間調整池可上場備援，調整池必須 106 年 3 月主體工程完成以應後續行政程序之需。唯 106 年 3 月工區多雨泥濘，為攢趕進度，廠商於池底鋪設鋼板以利卡車通行，終於 3 月底主體工程得以順利完成。(圖 3-4-40)

圖 3-4-42 調整池池區雨天鋪鋼板趕工

六、 測試順利 功德圓滿

調整池於 106 年 3 月完成圍堤填築主體工程，4 月通過經濟部水利建造物檢查及安全評估小組同意蓄水，4 月 24 日下閘、5 月 10 日開始引水及進行蓄水測試，於 6 月 18 日首度蓄滿水 (圖 3-4-43~46)。蓄水測試期間因鳶山堰水質惡化，爰於 5 月 13 日至 5 月 21 日緊急備援供水至板新淨水廠。6 月初豪雨事件，石門水庫利用梅雨所帶來的大量雨水進行水力排砂，鳶山堰濁度上升，調整池亦即備援供水，提早發揮功能。

圖 3-4-43 調整池後期施工歷程 (105 年施工中)

圖 3-4-44 調整池後期施工歷程 (106 年 3 月圍堤主體完成)

圖 3-4-45 調整池後期施工歷程 (106 年 5 月 10 日開始蓄水)

圖 3-4-46 調整池後期施工歷程 (106 年 6 月 18 日蓄水完成)

中庄調整池於於 101 年 10 月發包，一直到 105 年方有較明顯進度，106 年 3 月主體工程完成，106 年 11 月完工。12 月 17 日由總統主持竣工典禮 (圖 3-4-47)，石門整治計畫的最後一塊拼圖終於順利完成，未來石門水庫排洪排砂時，將可不必擔心因鳶山堰濁度太高而停水，可謂功德圓滿。(圖 3-4-48~49)

圖 3-4-47 總統主持中庄調整池竣工典禮

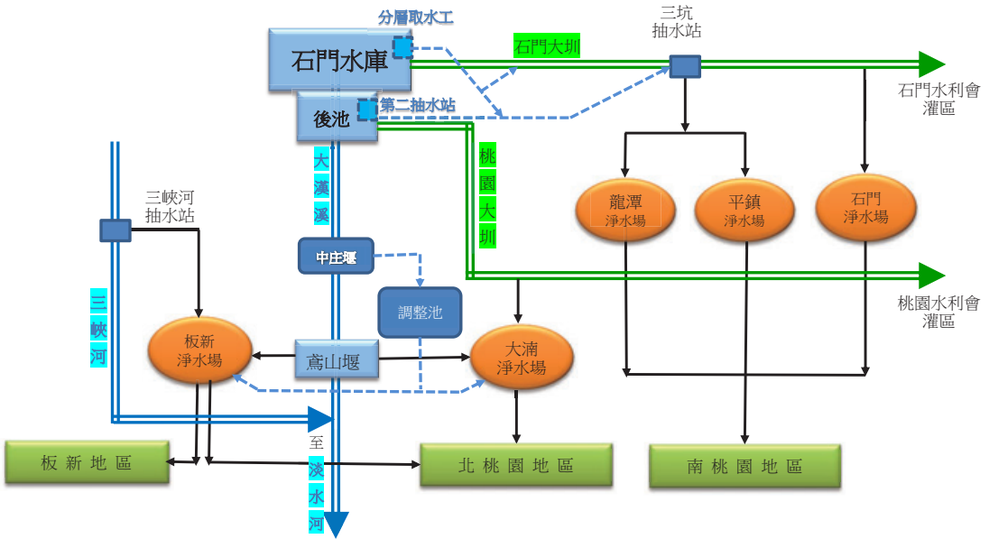


圖 3-4-48 中庄調整池完成後之石門水庫供水系統圖

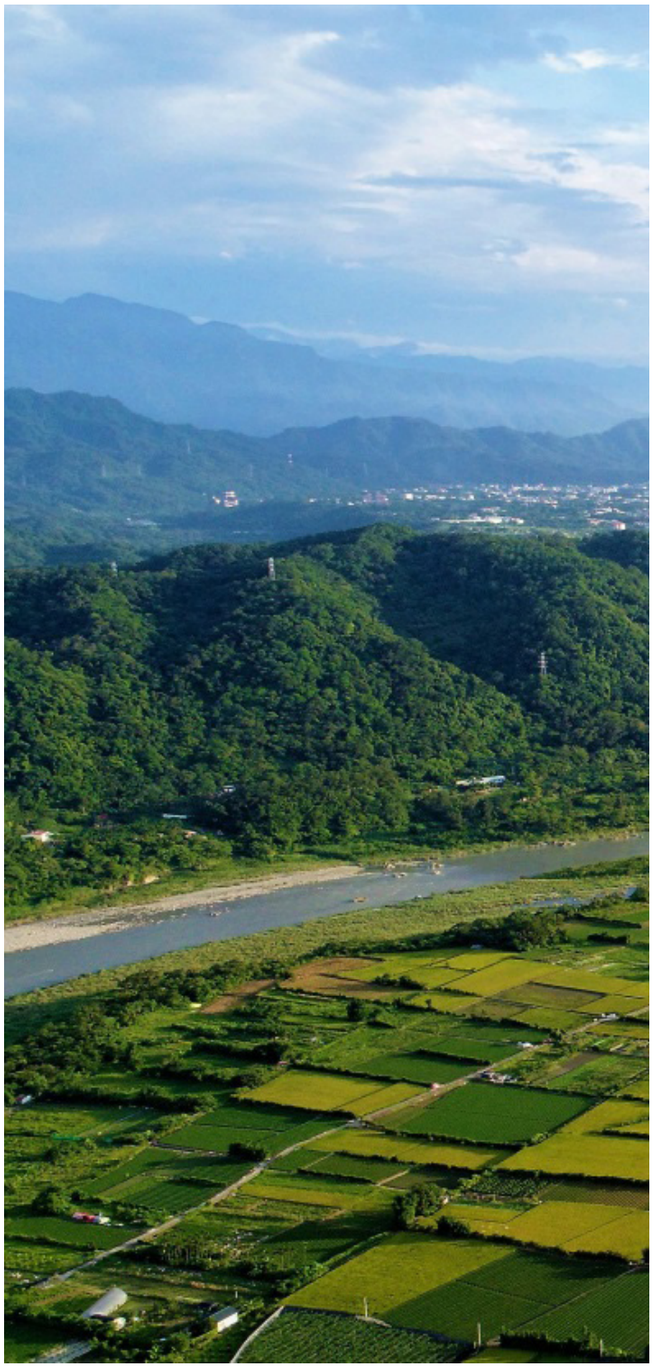


圖 3-4-49 中庄調整池美麗身影

肆

未來展望篇

第一章

水庫淤積：窮盡所能維持庫容

艾利颱風為石門水庫帶來的大量泥砂，所造成濁度升高影響供水問題，經整治計畫 12 年多來的努力，本局可自豪的說已大致解決，石門水庫已真正改造升級完成；但所造成的淤積問題，其對穩定供水的挑戰才正要開始。

根據本局石門水庫 106 年淤積測量結果，水庫有效容量又較前一期 104 年底少了 272 萬立方公尺，主要應是 105 年梅姬颱風的 4,268cms 所造成。打從艾利颱風後迄今，石門水庫容量共減少了 2,310 萬立方公尺，總容量掉到剩 2.02 億 (有效容量 1.965 億)，淤積率高達 34.6%。

縱觀石門水庫歷年庫容量變化圖 (圖 4-1-1)，總容量從民國 52 年的設計值 3.09 億立方公尺，經 54 年的運轉剩下約 2.02 億，年均淤積量約 200 萬立方公尺；若以民國 89 年 (2000 年) 作分界點，之前共淤 5,908 萬立方公尺、年均淤積量約 160 萬立方公尺，民國 89 年之後迄今共淤了 4,792 萬立方公尺、年均淤積量 266 萬立方公尺，若無近年平均每年 50 萬立方公尺的人工清淤量，年均淤積量將達 316 萬立方公尺，幾乎是前期的兩倍！顯示近年淤積有加大惡化趨勢，此推測與 88 年 921 大地震後地表鬆動，及近年氣候極端化大型颱風頻仍有密切關係。

石門水庫於民國 72 年在後池堰下游右岸興建 13 口沉澱池，74 年開始抽泥浚渫，然受限於去化能量，平均每年抽泥量僅約 36 萬立方公尺。艾利颱風後，自民國 95 年起，本局開始於庫區上游羅浮附近辦理陸挖清淤，但受限於水位可清淤時間有限，又直接衝擊北橫公路對外交通民眾反對聲浪大，每年清淤量平均僅約 14 萬立方公尺。石門整治計畫將 2 號發電鋼管改建為排砂專管後，提升了水庫水力排砂能力，取水口前庭清淤效能有顯著改善，然畢竟規模有限，水庫整體防淤能力仍是不足，為此方有防淤隧道之提出。

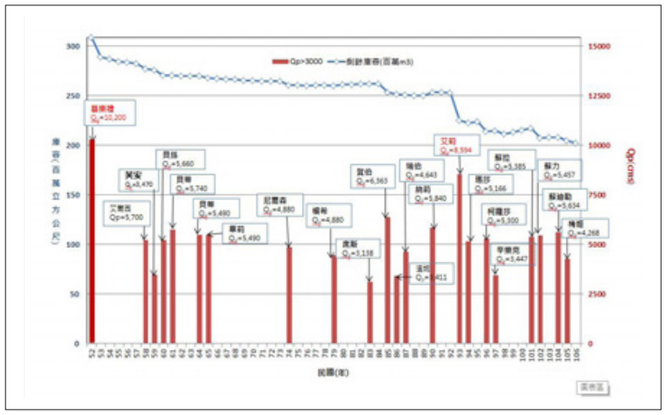


圖 4-1-1 石門水庫歷年庫容量變化與洪峰流量

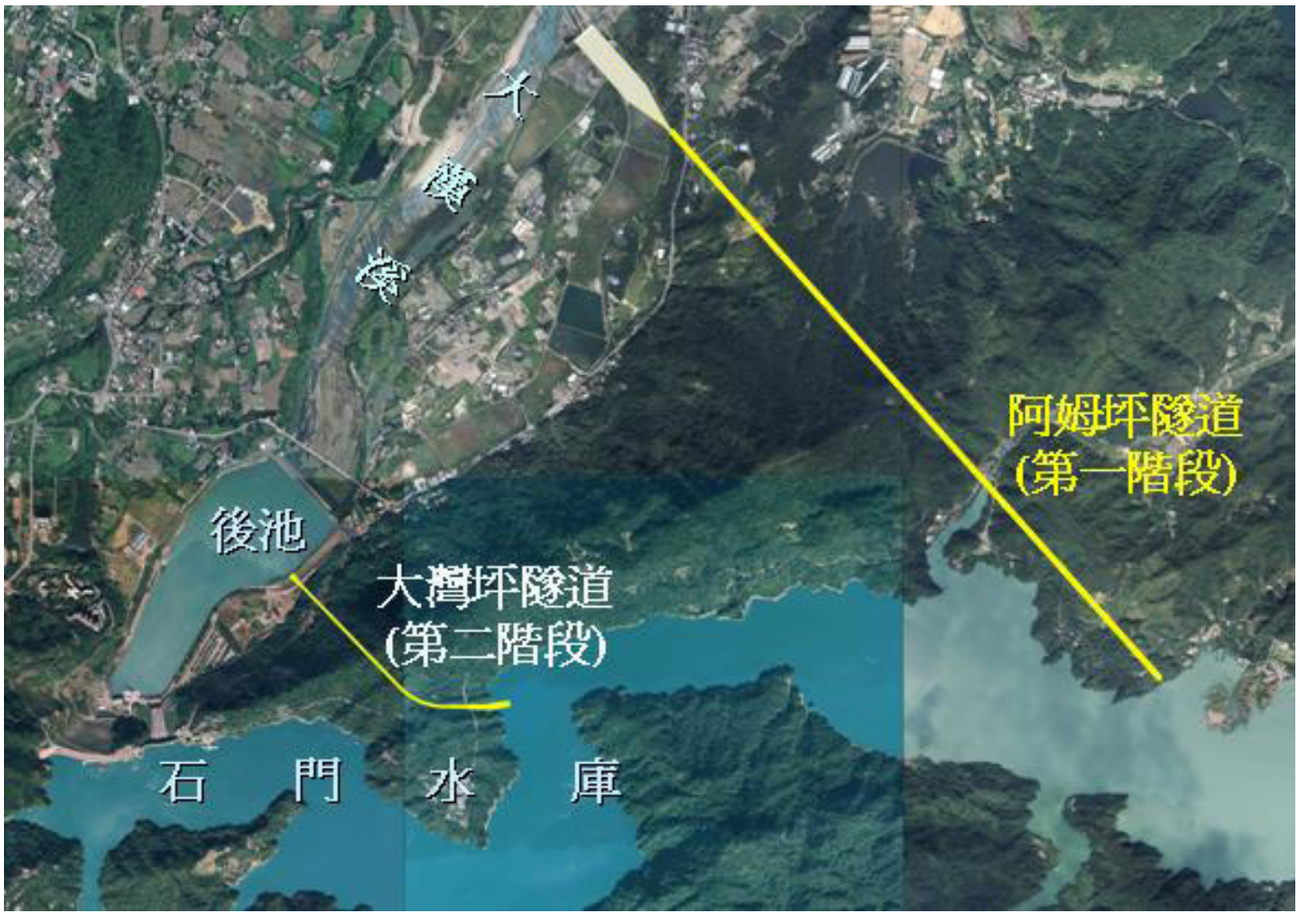


圖 4-1-2 石門水庫防淤隧道位置

石門水庫防淤隧道於整治計畫期間即進行多方探討研究，最後選定「阿姆坪案」及「大灣坪案」(圖 4-1-2)。依據庫區上下游淤積顆粒大小與異重流運移特性，庫區上游的阿姆坪案，其防淤方式為「抽泥＋陸挖」，庫區下游的大灣坪案，其方式則為「排除異重流」。考量大灣坪案緊鄰大壩，其施工對水庫營運有嚴重衝擊，經評估後決定優先辦理阿姆坪案；阿姆坪防淤隧道已於 107 年 4 月正式開工。

防淤隧道以排除未來砂為主，經水工試驗及數值模擬分析，其最大排砂比約 35%，亦即颱洪所帶來的泥砂將有 2/3 以上仍留在庫區；面對淤積，本局將盡最大努力維持庫容，各項防淤措施中水力排砂證明是最經濟有效者；防淤隧道是本局未來工作重點，但其所獲成效實有其極限，長期庫容仍將為下降趨勢，故欲維持水庫穩定供水，光靠此努力是絕對不夠的。

第二章

自來水原水供應：跨區域調度備援

水庫淤積減少庫容，直接效應是水庫蓄豐濟枯能力的下降，亦即穩定供水量將減少；再加上氣候豐越豐、枯越枯之極端化影響，水庫欲穩定供水將更形困難。不容否認的，面對淤積及氣候變遷挑戰，水庫供水能力只會下降而難以回升。

既然水庫供水能力的維持或提升有困難，要減輕供需失衡的缺水衝擊，惟有從需求量的降低去努力。依石門水庫近 5 年供水量統計，水利會農田灌溉用水及水公司自來水原水量比例約為 50%：50%，所謂降低需求量，就是減少灌溉用水及自來水對石門水庫之需求；首先談自來水。

根據石門水庫營運紀錄，民國 60 年自來水原水總供水量為 0.2 億噸 (約 5.5 萬噸 / 日)，105 年為 4.5 億 (約 123 萬噸 / 日)，成長超過 20 倍。由於自來水缺水忍受度低，自來水用水需求倍數成長可以說是石門水庫最大壓力來源。而桃園市人口仍將維持 2% 以上成長，現階段近 3 兆元的工業產值亦將持續成長，未來自來水需求將只增不減。

與桃園市相鄰同屬淡水河水系的大台北情況則大不同，其人口幾無成長，且幾無耗水性工業，最重要的是其新店溪水文條件相較於大漢溪好許多，並有容量更大的翡翠水庫調蓄。如何利用市區已建置之自來水清水管網 (圖 4-2-1)，將新店溪水量以跨區調度支援石門供水區 (桃園及板新地區)，一直是水利署努力方向，也因此才有「板新地區供水改善計畫」的推出。

「板新地區供水改善計畫」主要透過台北自來水事業處直潭淨水場擴建、北水處與水公司清水連通幹管與加壓站增建等，達到跨區支援與靈活調度之效果。該計畫第一期已於民國 93 年 7 月完工，目前進行到第二期，預定民國 108 年底可全部完工，屆時北水處對台水公司第十二區處最大支援量將可從目前的 65 萬噸 / 日提升到 101 萬噸 / 日，大大降低十二區處供水區板新地區對石門水庫的依賴，甚至更能往南支援北桃園，此跨區支援功能已於 106 及 107 年上半年充分發揮與映證，石門水庫得以有驚無險撐過降雨不足的枯水期。因此，石門供水區 (桃園及板新地區) 的自來水需求總量，未來或許仍是正成長，但經此北水南調之跨區域調度，石門水庫實際所需負擔的水量卻可以是下降的。

此理念之擴大與延伸，則為水公司所提出預定 109 年完成的桃園新竹 20 萬噸 / 日清水聯通管工程，屆時石門水庫可經由此管大量支援新竹，若石門水庫水情不佳，亦可以接駁方式，將新店溪水源送到新竹，對於確保新竹及科學園區用水穩定大有助益。反之，當石門水情差而新竹水情優時，亦可反送支援，區互為備援。

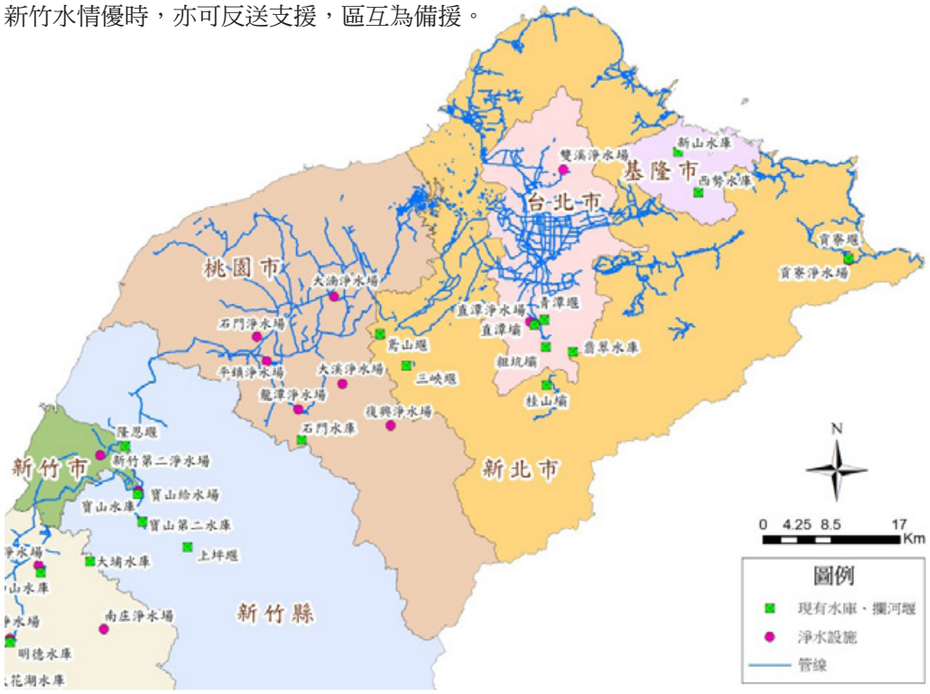


圖 4-2-1 北台灣自來水清水幹管分布圖

第三章

農田灌溉用水供應：集團式分區輪流停灌

石門水庫原興建之主要標的是農田灌溉，占 95%，完工後不僅穩定了日據時期所建桃園大圳灌區用水，更新建石門大圳，供灌地勢較高的南桃園新灌區，桃園台地稻米生產量因此倍增，成為台灣重要穀倉。

石門水庫完工初期，桃園水利會灌區面積有 2.7 萬公頃、石門水利會則為 1.4 萬公頃，合計 4.1 萬公頃，大部分為雙期作水稻田，年均灌溉水量 5.3 億噸 (每期作平均 2.65 億噸)，平均期作單位面積用水量為 6,500 噸 / 公頃。至民國 106 年，桃園水利會灌區面積剩 1.7 萬公頃、石門水利會則為 0.8 萬公頃，共約 2.5 萬公頃。石門水庫近 5 年 (扣除有停灌的 104 年) 年均灌溉用水量 4.14 億立方公尺 (一二期作分別為 1.86 及 2.28 億噸)，平均期作單位面積用水量 8,280 噸 / 公頃 (一二期作分別為 7,440 及 9,120 噸 / 公頃)。水利會灌區面積隨著社會發展減少了約 40%，但農田用水量卻減幅有限、單位面積用水量上升超過 20%，顯示農田供灌效能逐年下降。

不僅如此，若扣除常態自由休耕面積，農田中實際從事耕作生產的面積將更少，單位面積用水量上升情形將更明顯。

我國於 91 年加入 WTO 後，政府為降低對農業生產的衝擊，以金錢補償鼓勵農田休耕，致實際從事稻作之面積大幅下降，桃園地區一期作稻作面積 99 年約僅剩 0.7 萬公頃，占水利會灌區總面積 2.5 萬公頃不到 30%，二期作更低，僅剩約 0.42 萬公頃，不到 20%。由於全台常態休耕面積實在太多，農委會乃於 102 年推動「調整耕作制度活化農地計畫」，農地休耕政策調整為「種一休一」，規定連休者不得領休耕補償費，至 105 年一期作水稻種植面積回升到約 1.2 萬公頃，二期作水稻面積則仍持續下降，估計約僅 0.36 萬公頃 (表 4-3-1)，兩者差異差不多就是二期作休耕面積。

表 4-3-1 桃園地區水稻種植面積與休耕面積歷年變化

	水稻種植面積(ha)		休耕面積(ha)		水稻+休耕面積(ha)	
	一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作
88 年	16, 936	14, 543	3, 136	6, 659	20, 072	21, 202
90 年	14, 853	11, 504	4, 648	9, 187	19, 501	20, 691
97 年	6, 123	3, 897	12, 592	15, 036	18, 715	18, 933
99 年	6, 834	4, 251	11, 334	13, 876	18, 168	18, 127
102 年	9, 021	4, 148	5, 016	7, 064	14, 037	11, 212
105 年	12, 029	3, 567	111	8, 953	12, 140	12, 520

依表 4-3-1，「水稻種植 + 休耕面積」與水利會灌區 2.5 萬公頃間差距應為旱雜作 (假設無廢耕)。以 105 年為例，全區約 50% 為旱作，一期作水稻占 50%、幾乎無休耕，而二期作水稻僅剩 15%、其餘為休耕占 35%，顯示此為「種一休一」政策引導結果。為了解水利會供灌實務無法因應休耕及轉作減供，而造成水量的浪費情形，分三種方式計算期作單位面積用水量如表 4-3-2，可以清楚看出單位面積用水量隨著休耕轉作的增加而增加。水利會稱因耕地分散、輸水損失增加，又即使是休耕者，依規定仍須種植綠肥或翻耕而須用水，故無法依面積比例反映於供水量的減少，此主張固有幾分事實，但灌溉用水管理的粗放實難辭其咎。

表 4-3-2 桃園地區 105 年不同計算方式期作單位面積用水量比較

	CASE1 全區無休耕無旱作		CASE2 旱作相當水稻 1/1		CASE3 旱作相當水稻 1/3	
	一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作
水稻面積(ha)	25, 000	25, 000	12, 029	3, 567	12, 029	3, 567
旱作面積(ha)			12, 860	12, 480		
旱作相當水稻面積(ha)					4, 287	4, 160
相當水稻總面積(ha)	25, 000	25, 000	24, 889	16, 047	16, 316	7, 727
相當水稻單位面積用水量(噸/ha)	8, 400	8, 800	8, 434	13, 710	12, 883	27, 167

註 : 1.105 年一二期作農業用水分別為 2.1 及 2.2 億噸。
2. 依水利署水權作業規定旱作用水量為水稻之 1/3。

由於休耕及旱作面積甚大，真正田間需水量已大幅減少，如果水利會可依實際休耕及旱作情形減供水量，將水稻單位面積用水量控制在 8,400 噸 / 公頃、旱作則以水稻的 1/3 之 2,800 噸 / 公頃供灌，則一期作將只需 1.37 億噸、二期作更只要 0.65 億噸，節水效果直接而明顯。
前述節水之關鍵在於將水稻田面積集中與休耕面積集中。要做到水稻田面積集中及休耕面積集中，目前水利會供灌方式勢須改變，將現狀全區雙期作水稻田的供灌，改為以大圳分支線灌區集團式停灌或供灌，以確實減少輸水損失、提高供灌效能與省水。嘉南水利會能將有限的烏山頭與曾文水庫水量供灌遼闊的嘉南平原，輪流讓每塊農田都有機會種水稻，靠的就是此輪作制度。桃園台地灌區面積相較不大，但水稻田大幅減少及休耕面積大幅增加下，創造了可輪作以省水的客觀條件。

儘管 107 年起農業政策改推「大糧倉計畫」及「對地綠色環境給付計畫」，休耕則改稱為「生產環境維護」，其裡子還是稻米轉作及「種一休一」。

桃園地區農田一期作政策性停灌休耕，是近年採行的重要抗旱措施。然由於政策性全面停灌休耕面積廣闊、所需補償費龐大，社會質疑重工輕農的紛擾多，對相關行業衝擊影響亦甚大，同時亦有停灌期間因水情大幅翻轉而有過度決策之困擾，顯示現行停灌制度欠缺彈性。故如能將灌區面積依渠圳系統區分成數區，依年序輪流停灌休耕，將可減少供灌期間水庫供水量，降低全面休耕機會；供灌期間如水情惡化，停灌區可以增 1 區或 2 區方式因應，可延後自來水限水決策時間與風險。經評估分析，分區規劃以桃園水利會 3 區、石門水利會 2 區最理想 (圖 4-3-1)，每停灌 1 區約可減供 4,000 到 5,000 萬噸，以石門水庫一個期作期間含公共給水共要使用 2 次庫容來看，相當於水庫增加 2,000 到 2,500 萬噸容量；當然，若能搭配水利會灌溉

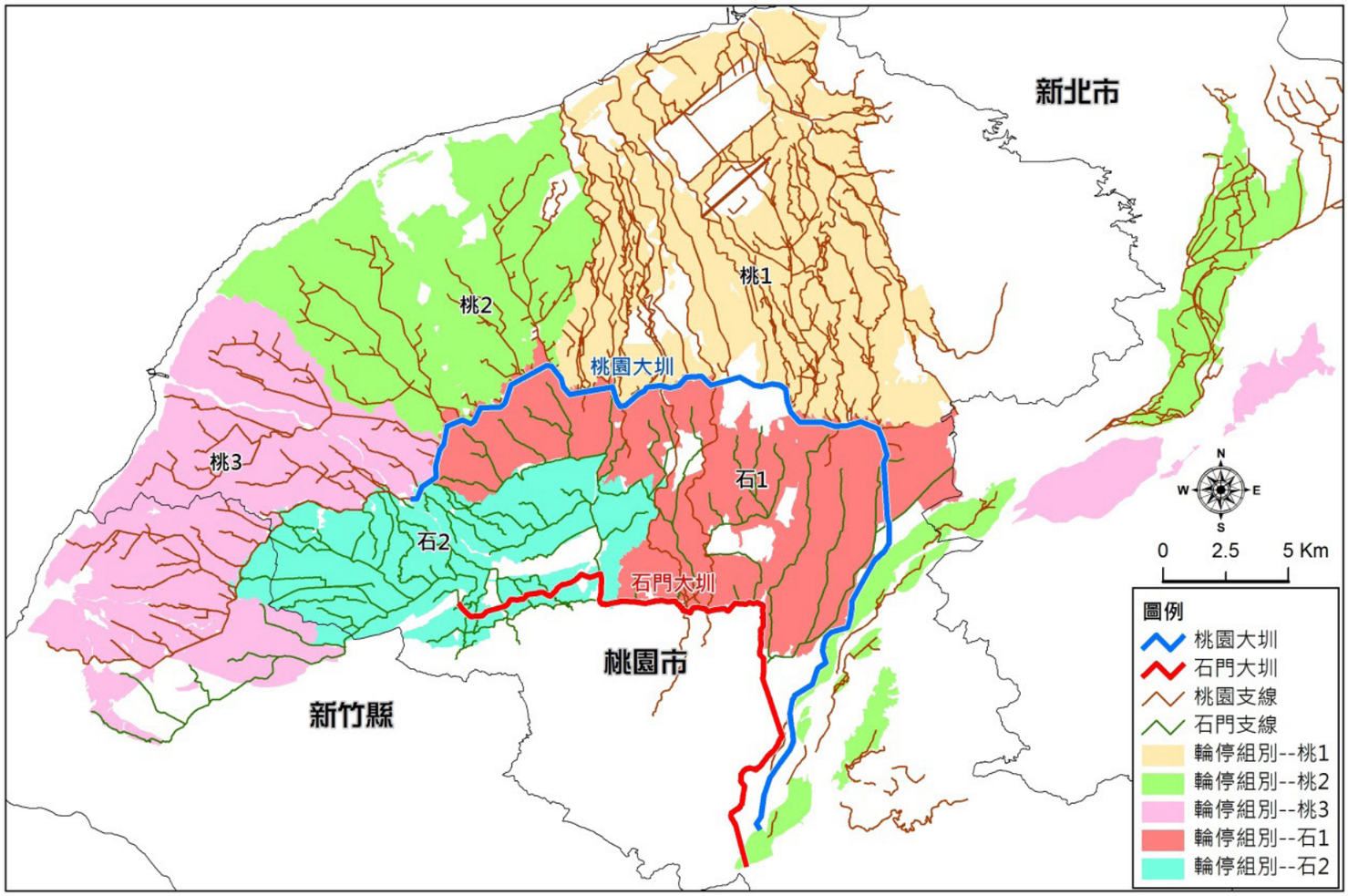


圖 4-3-1　桃園石門水利會集團式輪流停灌分區規劃

管理效能之精進，將供灌區單位面積用水量壓低到水庫完工初期的 6,500 噸 / 公頃，可減供水量將更可觀。

分區集團式停灌休耕，可明確將部分灌溉用水省存於水庫，同時因係輪流性而可預期，可消除不確定性對社會及相關行業之衝擊，可作為農業休耕轉作政策成功與水資源條件結合前之農業節水過渡方案，而農業節水是石門水庫用以抵銷淤積效應以永續經營之關鍵密碼。

附錄

附錄一

石門水庫及其集水區整治特別條例

中華民國九十五年一月二十七日總統華總一義字第 09500012581 號令制定公布全文 8 條；並自公布日起施行，施行期間六年

第一條　為確保石門水庫營運功能、上游集水區水域環境之保育及有效提升其供水能力，保障民眾用水權益，依預算法第八十三條制定本條例。

本條例未規定者，適用其他法律之規定。

第二條　本條例之中央主管機關為經濟部；中央執行機關為編列各預算之各部會；地方執行機關為台北縣、桃園縣、新竹縣及宜蘭縣政府。

中央主管機關辦理下列事項：

一、石門水庫及其集水區治理政策之規劃及推動。

二、石門水庫及其集水區治理計畫及各期實施計畫之擬訂及推動。

三、石門水庫及其集水區各治理計畫之生態調查、評估及與在地民眾、團體協商溝通機制之建立。

四、中央執行機關各期執行計畫之審查及核定。

中央執行機關辦理下列事項：

一、石門水庫及其集水區治理計畫特別預算之編列。

二、各期執行計畫之擬訂、推動及執行。

三、督導縣（市）政府執行本條例之各項工作。

四、縣（市）政府工作計畫之核定。

五、石門水庫活化及其自來水供水工程之執行。

六、配合中央主管機關執行上述工作。

地方執行機關依相關法令及權責辦理。

中央主管機關每年向立法院報告執行情形。

第三條　本條例適用範圍，為石門水庫蓄水範圍與集水區整體環境整治、復育及其供水區內之高濁度原水改善設備興建等相關業務。

中央主管機關應先依環境、生態保育、地貌維護、集水區整體環境復育，必要時，依危險地區產業活動之禁止、補償、居住照顧等要素，擬訂石門水庫及其集水區整治計畫。

中央執行機關依前項整治計畫，規劃各期執行計畫，送第五條石門水庫及其集水區整治推動小組審查後，由中央主管機關核定為各期實施計畫。

前項各期實施計畫應充分資訊公開，並建立與在地居民、生態保育專家之協商機制，以確保相關建設不破壞生態環境。

第四條　中央政府依本條例支應前條所需經費上限為新臺幣二百五十億元，以特別預算方式編列。

前項預算編製，不受預算法第二十三條不得充經常支出使用之限制。

第一項經費來源，其中新臺幣一百三十億元，得以舉借債務或出售政府所持有事業股份方式辦理，不受公共債務法第四條第五項有關每年度舉債額度之限制。其餘新臺幣一百二十億元經費，由擴大公共建設投資特別條例特別預算編列支應，其編製程序、支用方法、年限，依本條例辦理，不受擴大公共建設投資特別條例之限制。

第五條　中央主管機關為執行本條例，應依工程、水利、環境、生態專業組成石門水庫及其集水區整治推動小組，辦理計畫審查、督導、管制考核及政策協調等工作，本小組為任務型態，並得置專業專任人員協助，所需人力由中央執行機關編制員額調兼或以約聘僱人員充任。

依前項進用之約聘僱人員，於本條例施行期間，其續約人數比例不受行政院及所屬機關聘僱改進方案及機關組織員額百分之五之限制。

本條例施行屆滿後，第一項約聘僱人員不得續約。

第六條　為加速辦理第三條執行事項所需用地涉及都市計畫變更者，地方執行機關依都市計畫法第二十七條規定，辦理迅行變更或逕為變更；涉及非都市土地使用變更者，依區域計畫法規定辦理。

第七條　有關集水區整治方案應包含下列各款：

一、攔砂壩新建計畫應依原住民族基本法規定辦理。

二、現有攔砂壩應進行疏濬、拆除或其他改善作業。

三、禁止新闢產業道路，並對現有產業道路進行必要之改善，惟現有產業道路不得升級或拓寬。

四、石門水庫及其集水區之整體環境生態復育、土地利用型態檢討與禁止、在地住民照顧、及各種有利於整體石門水庫及其集水區整治、復育有關之必要措施。

第八條　本條例自公布日起施行，施行期間六年。

石門水庫及其集水區整治特別條例修正第二條及第八條條文

中 華 民 國 99 年 12 月 8 日華 總 一 義 字 第 09900331541 號

第二條　本條例之中央主管機關為經濟部；中央執行機關為編列各預算之各部會；地方執行機關為新北市、桃園縣、新竹縣及宜蘭縣政府。

中央主管機關辦理下列事項：

一、石門水庫及其集水區治理政策之規劃及推動。

二、石門水庫及其集水區治理計畫及各期實施計畫之擬訂及推動。

三、石門水庫及其集水區各治理計畫之生態調查、評估及與在地民眾、團體協商溝通機制之建立。

四、中央執行機關各期執行計畫之審查及核定。

中央執行機關辦理下列事項：

一、石門水庫及其集水區治理計畫特別預算之編列。

二、各期執行計畫之擬訂、推動及執行。

三、督導直轄市、縣（市）政府執行本條例之各項工作。

四、直轄市、縣（市）政府工作計畫之核定。

五、石門水庫活化及其自來水供水工程之執行。

六、配合中央主管機關執行上述工作。

地方執行機關依相關法令及權責辦理。

中央主管機關每年向立法院報告執行情形。

第八條　本條例自公布日起施行，施行期間六年。

本條例中華民國九十九年十一月十六日修正之條文，自九十九年十二月二十五日施行。

石門整治計畫後石門水庫主要設施數據一覽表

設施名稱	重要數據	樣態	說明
大壩	中央不透水心牆分區滾壓土石壩 壩頂標高252.10公尺，滿水位標高245.0公尺 設計洪水位標高249.5公尺	未變更	
溢洪道	閘門控制式溢流堰+陡槽 溢流堰頂標高235.0公尺 設計排洪量6*1900cms共11,400cms	未變更	
排洪隧道	閘門控制式進水口+隧道+洩槽+明渠 入口底檻標高220.0公尺 設計排洪量 2 *1,200 cms共2,400cms	未變更	民國73年5月9日竣工
取水塔	斜依式取水塔(3取水口共構)	功能變更	原：2發電取水口+1永久河道放水口 現：1發電取水口+1排砂放水口+1永久河道放水口
發電鋼管	入口標高173公尺、設計流量56cms 鋼管直徑4.5公尺、分歧管內徑3.6公尺 分歧管設複葉閥，閥中心標高135.8公尺	功能變更	一號鋼管末端改建分歧管接2部發電機組 (二號發電鋼管改建為排砂隧道)
排砂隧道	入口標高173公尺；設計流量300cms 鋼管直徑4.5公尺、分歧管3.6公尺後接徑2.5公尺出水鋼管 出水鋼管高壓滑動閘門及高壓射流閘門各1 中心標高139.5公尺	功能變更	由二號發電鋼管改建
永久河道 放水道	入口中心標高169.5公尺；出口中心標高140.2公尺 最大放水量34cms 環滑閘門1門、出口高壓射流閥1門	閘閥改善	出口何本閥改建為高壓射流閥
分層 取水工	豎井式分層取水工 上層取水口標高236公尺、中層228公尺、下層取20公尺(待完工)；設計取水量140萬cmd	新建	
石門大圳 取水口	閘門控制式取水口 取水口中心標高193.55公尺 設計取水量18.4cms。	未變更	
桃園大圳 取水口	取水口閘門底標高129.5公尺 設計取水量16.8cms。	未變更	
後池及 後池堰	滿水位標高137公尺 設計調蓄容量為220萬立方公尺 沖刷道弧型閘門3門；閘門底標高127.5公尺	未變更	
第二原水 抽水站		新建	位於後池邊，為水公司所建。
中庄 攔河堰	倒伏式閘門9門、砂道閘門2門 倒伏後標高66.5公尺，升起後標高70.5公尺取水口底檻標高68公尺、設計引水量10cms	新建	
中庄 調整池	有效蓄水量505萬立方公尺 滿水位標高68公尺、池底標高53公尺	新建	

本局辦理石門水庫及其集水區整治計畫工程概要及人員一覽表(1/2)

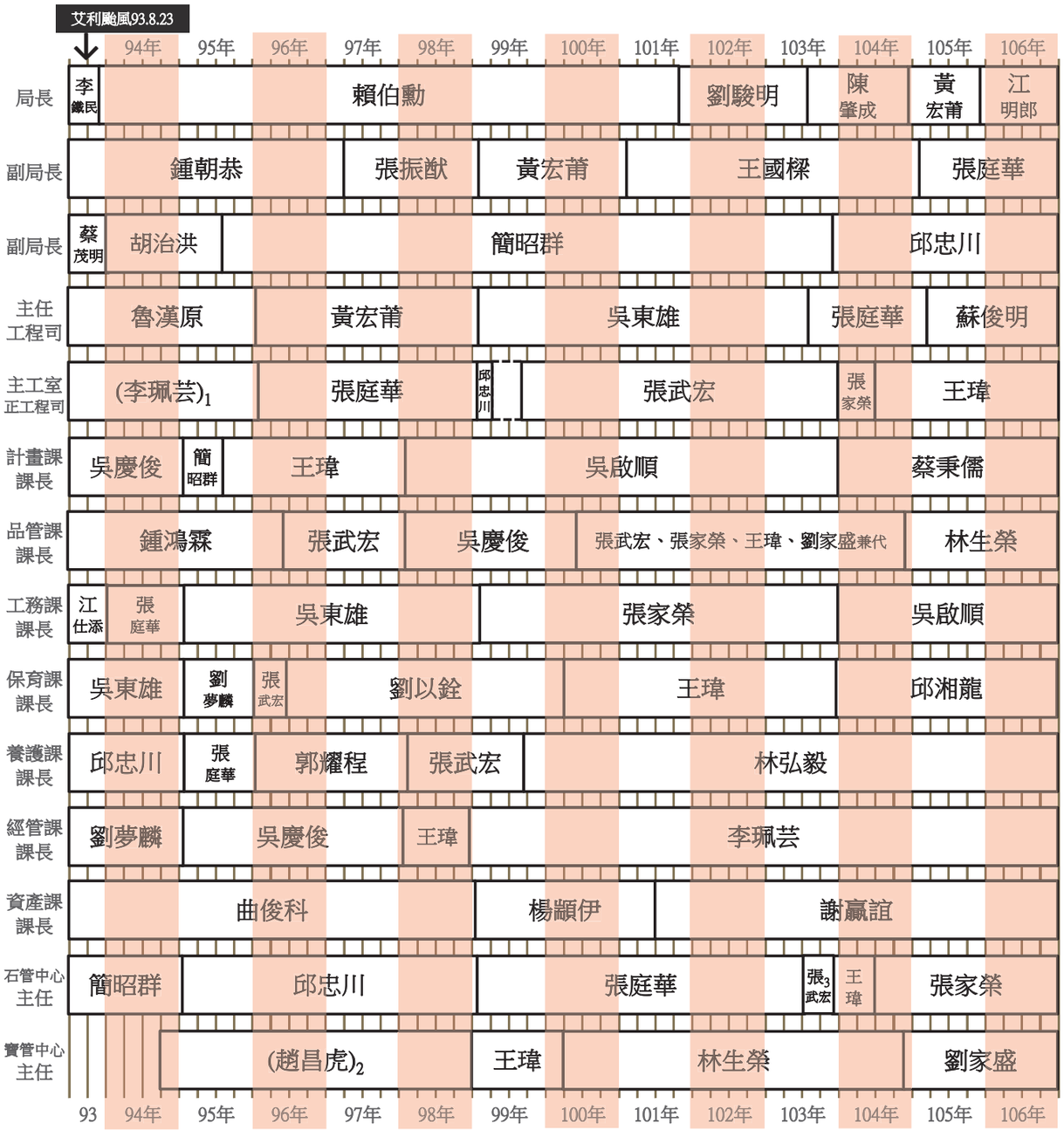
工作名稱	標案名稱	施工廠商	工程金額(元)	施工期限	本局主辦	監造單位/本局人員	設計單位
壩頂緊急抽水作業(93年)	壩頂緊急抽水-36萬噸洩水槽製作緊急採購	泉溢電機工廠股份有限公司	2,500,000	93.09.30	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
	壩頂緊急抽水-緊急抽水配電站建置緊急採購	志成水電工程行	4,500,000	93.09.30	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
	壩頂緊急抽水移動式抽水機操作維護勞務採購	泉溢電機工廠股份有限公司	2,398,182	93.10.31	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
	壩頂緊急抽水-電動抽水機租用勞務採購	泉溢電機工廠股份有限公司	1,893,516	93.10.31	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
	壩頂緊急抽水-50HP電動抽水機租用勞務採購	泉溢電機工廠股份有限公司	4,850,000	93.12.31	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
壩頂緊急抽水作業(94年)	石門水庫緊急抽水系統購置	泉溢電機工廠股份有限公司	34,980,000	94.06.25	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
	壩頂緊急抽水-電動抽水機租用勞務採購	泉溢電機工廠股份有限公司	4,148,327	94.11.01	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
	石門水庫緊急抽水系統工作浮台採購	泉溢電機工廠股份有限公司	6,880,000	94.12.15	黃進城	黃進城、鄒俊德、張榮洋	本局養護課
臨時抽水設施改善工程(壩頂96萬噸抽水系統)	新設集水槽工程	泉溢電機工廠股份有限公司	11,979,625	95.02.20~95.04.20	郭耀程	黃進城	中興工程顧問公司
	壩避雷針及設備接地網	泉溢電機工廠股份有限公司	1,763,986	95.07.21~95.08.20	王傳全	王傳全	本局養護課
	石門水庫緊急供水抽水系統續購	泉溢電機工廠股份有限公司	116,000,000	94.12.14~95.03.23	黃進城	黃進城	本局養護課
	石門水庫緊急供水抽水系統續購之增購	泉溢電機工廠股份有限公司	17,228,073	95.04.11~95.05.31	黃進城	黃進城	本局養護課
	輸水管浮筒	泉溢電機工廠股份有限公司	7,100,000	95.04.05~95.05.04	黃進城	黃進城	本局養護課
	工作浮台改裝及附屬周邊設備	泉溢電機工廠股份有限公司	2,900,000	95.4.6~95.5.4	黃進城	黃進城	本局養護課
	供電高壓雙回路自動切換設備	志成水電工程行	973,875	95.5.24~95.6.2	黃進城	黃進城	本局養護課
	工作浮台吊車設置採購	泉溢電機工廠股份有限公司	2,156,000	96.1.5~96.2.3	黃進城	黃進城	本局養護課
	壩頂緊急抽水採購、備用發電機租用採購、降壓啟動盤改善採購、降壓啟動盤控制器備品採購、供水系統改裝及檢修採購	泉溢電機工廠股份有限公司	24,231,607	95.4.17~97.12.31	黃進城	黃進城	本局養護課
	第一~七管段工程	(自來水公司代辦)	245,601,880	094.12.1~095.10.14		(自來水公司代辦)	(自來水公司代辦)
取出水工搶險搶修及改善	石門水庫永久河道(PRO)及石門#1.2發電進水口緊急清淤及防淤工程(95年)	萬鑫水下工程行	46,940,274	95.03.28~95.07.30	黃進城	黃進城	本局養護課
	石門水庫永久河道(PRO)及電廠發電進水口緊急清淤及防淤二期工程(95至96年)	萬鑫水下工程行	145,000,000	95.11.01~96.03.30	黃進城	黃進城	本局養護課
	石門水庫既有設施防淤功能改善潛水伕水下作業(97年)	震海水下工程有限公司	143,500,609	97.9.22~98.4.25	林凱文、黃進城	林凱文、黃進城	本局養護課
	石門水庫既有設施防淤功能改善潛水伕水下作業(98年)	震海水下工程有限公司	67,000,000	98.4.27~99.2.26	林政志、黃進城	林政志、黃進城	本局養護課
	石門水庫既有設施防淤功能改善潛水伕水下作業(99年)	大禹海事工程行	79,000,000	99.8.11~99.8.21	林弘毅、黃進城	林弘毅、黃進城	本局養護課
	石門水庫既有設施防淤功能改善潛水伕水下作業(99年第二期)(99年至100年)	大禹海事工程行	81,100,000	99.11.1~100.3.3	林彥良、蔡秉儒	林彥良、蔡秉儒	本局養護課
	永久河道放水口改善工程	大將作工業股份有限公司	51,706,391	95.10.23~97.09.28	郭耀程、林政志、林弘毅	劉奕成、邱錦強	巨廷工程顧問股份有限公司

本局辦理石門水庫及其集水區整治計畫工程概要及人員一覽表(2/2)

工作名稱	標案名稱	施工廠商	工程金額(元)	施工期限	本局主辦	監造單位/本局人員	設計單位
新建分層取水工	石門水庫增設取水工工程	中華工程股份有限公司、國統國際股份有限公司	1,226,279,239	95.06.30~105.07.06	郭耀程、張家榮	巨廷工程顧問股份有限公司	巨廷工程顧問股份有限公司
發電鋼管改建	電廠防淤改善工程(1期)(前案)	東元機電股份有限公司、凱群營造股份有限公司	33,199,411	97.03.20~98.06.16	郭耀程、林政志、林弘毅	李晟煒、劉奕成、劉志光、王傳全、紀桂尚、黃麟翔、邱錦強	巨廷工程顧問股份有限公司
	電廠防淤第一期工程(重新發包)	大將作工業股份有限公司、凱群營造股份有限公司	696,715,884	98.12.23~101.12.28	林政志、張家榮、黃清輝	劉志光、王傳全、蔡瑞文、李忠恕、邱錦強、黃麟翔	
	電廠防淤改善二期工程	偉傑工程股份有限公司、安倉營造股份有限公司	166,289,207	101.12.12~104.07.31	林政志、劉志光	王傳全、邱錦松、蔡瑞文、康偉國、簡嘉霖、楊貴雄、余福恭、李坤宮	
	電廠發電鋼管複葉閥工程	遠東機械工業股份有限公司	87,316,356	104.10.29~106.12.15	劉志光、陳志豪	黃進城、蔡瑞文、張訓綱、楊貴雄	
新建中庄調整池	施工及土石運輸聯外道路工程(武嶺段)	碩豐營造有限公司	6,974,112	101.07.09~101.08.21	吳建德	吳建德	基設：環興科技股份有限公司 細設：本局計畫課
	輸水路工程（共構段）	世杰工程、連信營造有限公司	330,001,861	100.11.19~104.06.30	廖雯雯、吳建德	(水公司北工處代辦)	
	引水路工程	建宇營造股份有限公司	264,035,160	100.12.13~103.07.29	劉家盛、徐永達、李昶谷	劉家盛、徐永達、楊仁傑、陳鶴修、李昶谷	
	中庄調整池工程計畫—輸水路工程（過河段）	陳福益營造有限公司、 世杰工程有限公司	316,384,727	101.03.05~104.01.14	林政志	林政志、紀桂尚、魏文俊、張弈紹、許智凱	
	攔河堰工程	南寧工程、彥韋營造工程公司	958,107,000	102.03.12~106.12.18	廖東昇、王傳全	黎明工程顧問股份有限公司	
	調整池工程	興安營造股份有限公司	1,552,899,040	101.10.09~106.11.17	謝明和、魏文駿	黎明工程顧問股份有限公司	
	月眉堤防下游保護工工程	璿灃營造有限公司	53,557,236	105.03.03~106.01.23	李昶谷	環興科技股份有限公司	
	中庄調整池土方清運暨石門水庫2、3號沈澱池整理工程	新興營造有限公司	14,545,344	105.02.01~105.07.11	康偉國	康技技術顧問股份有限公司	
	調整池工程(第一期) 局供圍堤材料清運及環境整理工程	弘光開發營造股份有限公司	33,439,426	105.04.29~105.07.27	魏文駿	康技技術顧問股份有限公司	
	調整池工程(第一期)局供圍堤材料清運(二期)	弘光開發營造股份有限公司	66,842,648	105.08.26~106.03.13	康偉國	康技技術顧問股份有限公司	
	中庄調整池工程計畫－有價料清運工作	承豐營造股份有限公司	33,699,606	102.06.17~104.05.05 (解約)	李晟煒、魏文駿	黎明工程顧問股份有限公司	黎明工程顧問股份有限公司
	中庄調整池管理大樓新建工程暨中庄調整池整體景觀建構工程	聯盛營造、松聯營造、佑盈營造有限公司	88,302,534	103.1.16~ 107.5.28	邱法忠、黃凱君	邱法忠、鐘日華；黃凱君、魏文俊、徐啟洋、梁仁軒	陳子謙建築師事務所
	中庄調整池工程計畫-有價料挖裝及周邊設施維護作業(重新發包)	正達營造有限公司	8,477,000	106.7.21~ 107.1.18	梁仁軒	黎明工程顧問股份有限公司	黎明工程顧問股份有限公司
	中庄調整池篩分後爐渣清運再利用及綠化工作	皓勝工業股份有限公司、宏盛營造股份有限公司	29,293,366	104.8.11~105.8.16	吳建德	艾奕康工程顧問股份有限公司	艾奕康工程顧問股份有限公司
	石門水庫集水區義興防砂壩淤積清除作業第十期及附屬設施改善工程	致懋營造有限公司	6,262,055	105.09.01~106.03.31	毛宗傑	世合技術顧問股份有限公司	世合技術顧問股份有限公司

附錄四

石門整治計畫期間本局業務主管任職時段表



註：1李珮芸於主工室期間為正工程司，餘為簡任正工程司。

2.寶山第二水庫管理中心於94年6月成立，9月第1任趙主任到任。

3.石門水庫管理中心主任於103年8月起由主工室張武宏簡正兼3個月。

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

重生 - 石門水庫整治成果紀實 / 江明郎 汪靜明 總編輯
-- 桃園市龍潭區：經濟部水利署北區水資源局，2018.12
面；26 X 25 公分
ISBN 978-986-05-8236-9（軟精裝）
1. 水資源管理 2. 石門水庫

重生 - 石門水庫整治成果紀實

出版機關：經濟部水利署北區水資源局
地　　址：桃園市龍潭區佳安里佳安路 2 號
電　　話：(03)4712001
傳　　真：(03)4713343
網　　址：**http://www.wranb.gov.tw**
監　　製：賴建信
發 行 人：江明郎
總 編 輯：江明郎 ・ 汪靜明
編輯顧問：李鐵民 ・ 賴伯勳 ・ 劉駿明
諮詢顧問：呂理德 ・ 林淑英 ・ 徐嬋娟
編輯主筆：王　瑋 ・ 林弘毅 ・ 張家榮 ・ 蔡秉儒 ・ 劉志光 ・ 吳啟順 ・ 江明郎
美術編輯：鴻霖環境教育文化事業有限公司
影像紀錄：齊柏林 ・ 經濟部水利署北區水資源局 ・ 汪靜明計畫主持團隊等
執行單位：社團法人中華生態資訊暨環境教育協會
出版年月：2018 年 12 月
ISBN：978-986-05-8236-9 （軟精裝）
GPN：1010702646

經濟部水利署北區水資源局

Northern Region Water Resources office, Water Resources Agency
Ministry of Economic Affairs.

ISBN 978-986-05-8236-9
9 789860 582369
GPN:1010702646