

目錄

Contents

一、臺灣水庫泥砂問題

水庫淤積原因與高濁度影響.....	1
水庫陸挖清淤的限制條件.....	2
壩前水庫清淤困難與必要性.....	3
漂流木與雜物阻塞攔污柵的影響.....	3
臺灣水庫淤積現況.....	4

二、水工模型與水庫防淤關係

水庫防淤工程的試驗項目.....	5
模型試驗配合水利工程的時機.....	7

三、重要水庫防淤工程水工模型試驗

南化水庫空庫排砂模型試驗.....	8
阿公店水庫空庫防淤工程模型試驗.....	9
石門水庫防淤工程相關模型試驗.....	11
白河水庫防淤工程水工模型試驗.....	14
曾文水庫防淤工程水工模型試驗.....	15

四、未來展望

掌握水庫水砂資訊提供防淤操作	16
水庫既有設施改建.....	16
水庫新增防淤隧道.....	16
水庫永續利用.....	16



一、臺灣水庫泥砂問題



水庫淤積原因與高濁度影響

臺灣地質脆弱、地形陡峻、植生茂密，加上颱風與強降雨容易引發集水區大面積的崩塌，造成颱風期間高濃度渾水逕流，渾水逕流中挾帶泥砂、漂流木與雜物進入水庫，尤其強風強降雨所造成重大的水文事件（示如照片）。



▲石門水庫於 2004 年艾利颱洪造成集水區崩塌 601 公頃，原始林地崩塌佔總崩塌面積的 82%，產生高濃度渾水逕流入庫。

當水庫發生重大水文事件時，全洪程高濃度底層渾水異重流是提供水庫選擇性防淤操作的機會。惟臺灣現況水庫下層防淤通道不足，再加上水庫既有下層進水口一般都設有攔污柵，很容易受流木與雜物阻塞，導致水庫洩洪過程「蓄渾排清」，水庫累積高濃度渾水潭影響供水且加



速水庫淤積問題。因此臺灣水庫泥砂淤積問題集中在幾場重大颱風事件，如 2004 年石門水庫發生艾利颱風引發的缺水危機與水庫大量淤積（示如照片）。



▲石門水庫艾利颱風尖峰流量 8,594 立方公尺 / 秒，為建庫以來第 2 大，溢洪道及排洪隧道均排放高濃度渾水層。



▲艾利颱風 8/23 至 8/29 累計入庫水量 8.0 億立方公尺，約為 3.4 倍的庫容，於 8/29 從高空拍攝石門水庫累積高濃度渾水潭，2004 年底水庫新增淤積量 2,788 萬立方公尺，約為歷年（40 年）淤積量 5,614 萬立方公尺的一半，且影響桃園 18 天無法正常供水。

水庫陸挖清淤的限制條件

臺灣水庫清淤現況，以枯旱季節低水位時陸挖成本最低，其中水庫上游淤積三角洲粒徑較粗，大部分是有價骨材，可採取陸挖方式處理，惟水庫低水位清運時間有限。目前石門水庫藉由浚淤上游義興壩與羅浮增設清淤便道來提升陸挖清運量是很好方式，惟仍受既有道路交通運輸量與攔蓄的泥砂量（示如照片）條件限制，無法達到大量清淤之目標。



▲石門水庫上游羅浮清淤作業 (2015.3.26)



壩前水庫清淤困難與必要性

大壩前淤積大部分是 200 號篩 (0.076mm) 以下的細顆粒，抽泥船受限於抽泥能量與沉澱堆置空間及外運去化的問題。尤其沉澱池淤泥外運時，需要考量淤泥含水量、交通量與行車安全，再加上抽泥船清淤耗費水資源與電能，因而清淤過程產生大量的碳足跡。因此壩前清淤成本很高，惟考量維持水庫下層進水口通暢與結構安全仍是必須執行的工作。



漂流木與雜物阻塞攔污柵的影響

目前水庫下層通道一般都有設置攔污柵，當發生下層攔污柵受流木、雜物與淤泥阻塞時，會加速渾水潭累增而影響供水與落淤量，另一方面亦會增加清淤的困難度。因此考量進水口結構安全，需要輔助潛水夫排除下層攔污柵阻塞問題。尤其進水口結構受損情況下，更添增清淤成本與困難度。一般作法會在上游集水區增設攔木壩，以及庫區斷面開闊處設置全水深攔截網與進水口前全水深攔截網，以確保進水口供水與防淤過程的通暢。





臺灣水庫淤積現況

根據水利署淤積測量成果，統計庫容超過 1,000 萬立方公尺的水庫有 23 座，總計原設計庫容 28.0 億立方公尺，已淤積 8.3 億立方公尺（總淤積率 29.5%），現況庫容 19.7 億立方公尺，年平均淤積量 1,910 萬立方公尺，年平均淤積率 0.68%，詳如下表所示。淤積問題逐漸降低水庫興利功能，尤其集水區攔砂壩淤滿或損毀，更凸顯入庫泥砂問題之嚴重性。

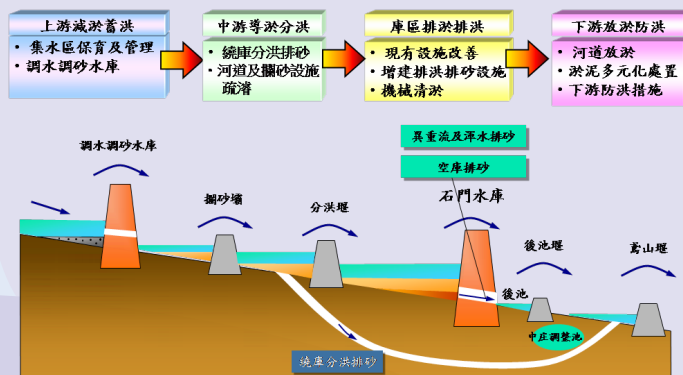
編號	水庫名稱	完工時間	總容積 萬立方公尺	測量時間	現況容積 萬立方公尺	總淤積率 %	年平均淤積量 萬立方公尺 (%)
1	新山	88 年 2 月	1,000	104 年 5 月	997	0.26	0.2(0.02)
2	翡翠	76 年 6 月	40,600	104 年 12 月	38,057	2.84	90.8(0.22)
3	*榮華壩	72 年 4 月	1,240	103 年 2 月	9	99.27	39.7(3.20)
4	石門	53 年 6 月	30,912	104 年 2 月	20,761	32.84	195.2(0.64)
5	寶山第二	95 年 6 月	3,218	102 年 9 月	3,212	0.18	0.9(0.03)
6	永和山	73 年 10 月	2,957	104 年 12 月	3,023		
7	明德	59 年 6 月	1,770	98 年 7 月	1,236	30.17	13.7(0.77)
8	鯉魚潭	81 年 11 月	12,607	103 年 7 月	11,903	5.58	32.0(0.25)
9	*德基	62 年 6 月	23,206	104 年 12 月	19,140	17.50	96.8(0.42)
10	*谷關	50 年 10 月	1,710	100 年 3 月	525	69.30	23.7(1.39)
11	*霧社	48 年 9 月	14,860	103 年 11 月	4,506	69.68	188.3(1.27)
12	武界	23 年 1 月	1,400	90 年 8 月	96	93.18	19.5(1.39)
13	日月潭	23 年 6 月	17,162	104 年 10 月	14,256	16.93	35.9(0.21)
14	*明潭	80 年 12 月	1,440	102 年 2 月	1,291	10.37	6.8(0.47)
15	集集攔河堰	90 年 12 月	1,005	104 年 11 月	510	49.24	35.4(3.52)
16	湖山	105 年 4 月	5,139	105 年 4 月	5,139	0.00	0.0(0.00)
17	仁義潭	76 年 6 月	2,911	100 年 8 月	2,634	9.53	11.5(0.40)
18	白河	54 年 6 月	2,509	98 年 12 月	970	61.34	35.0(1.39)
19	烏山頭	19 年 5 月	15,415	104 年 6 月	7,828	49.22	89.3(0.58)
20	曾文	62 年 4 月	74,840	104 年 10 月	46,801	37.47	667.6(0.89)
21	南化	83 年 3 月	15,441	104 年 11 月	9,689	37.25	273.9(1.78)
22	阿公店	41 年 4 月	2,376	104 年 10 月	1,629	31.44	30.3(1.25)
23	牡丹	84 年 6 月	3,119	104 年 10 月	2,641	15.32	23.9(0.77)
	合計		279,852		197,182	29.54	1,910.4(0.68)

備註：* 為以發電為主要功能的水庫



二、水工模型試驗與水庫防淤關係

颱風期間高濃度渾水逕流進入水庫，在緩流區會潛入清水層運行，形成底層渾水異重流，再加上水庫立體地形變化，產生清水層與渾水層複雜的交互運移特性。目前數值模式尚無法精確計算水庫渾水異重流與累積排放過程，因此需要藉助水工模型試驗檢討水庫更新改善工程之防淤功能。目前一般採用之水庫整體防淤策略及措施如下圖所示。



▲水庫整體防淤策略及措施圖

水庫防淤工程的試驗項目

水庫防淤工程的水工模型試驗一般包含全模型、局部模型及相關的基礎試驗。

1. 全模型試驗評估水庫整體防淤功能

採用全模型試驗可以審視水庫三維的水砂運移特性，水庫一般蓄水營運情況下以沉降落淤問題為主，模型設計採用群體高濃度絮網結構之運移相似，並透過水庫淤積測量來檢定模型淤積縱橫斷面變化相似性，現場全洪程觀測量化之排砂比，建立水庫入庫水砂歷線與水庫各排放口之防淤效率，以及庫區異重流運移速度與渾水潭累積排放過程，提供水工模型、數值模式與即時防淤操作之參考。

2. 局部模型試驗流量率定與水理流況分析

局部模型試驗可以檢討重要水工構造物之水位流量率定關係、細部流速壓力分布、動床局部沖淤變化以及渾水對通洪能力的影響等，即藉由局部模型檢視各項設計的水理功能。

3. 基礎模型試驗

基礎試驗是輔助全模型、局部模型試驗或是現場監測的重要工具，與水庫防淤操作有關的項目包括不同濃度沉降試驗、秤重法濃度分析、淤泥層不同時間的密實試驗、粒徑組成分析、試驗後淤泥含水量分析、不同溫度對秤重分析的影響及相關觀測儀器設備研發測試等。

$$C = \frac{\alpha(W_3 - W_2)}{\beta(W_2 - W_1)} \times 10^6 \quad \text{單位：g/m}^3$$

其中 α 為泥沙的比重，本試驗中的淤泥比重約為2.7、 β 為常數= $\alpha-1$ 、 W_1 =空瓶重+頂蓋重、 W_2 =裝滿清水+頂蓋+瓶之重量、 W_3 =裝滿渾水+頂蓋重+瓶之重量(W_1 、 W_2 、 W_3 單位為g)。



▲直接秤重法濃度分析方法研發



▲水庫淤泥層密實試驗自動化超音波泥砂濃度儀研發



模型試驗配合水利工程的時機

1. 規劃設計階段試驗檢討

水庫防淤工程主要是面對全洪程複雜的水庫渾水異重流與渾水潭累積排放過程，目前數值模式難以精確量化水庫三維動態渾水異重流之防淤功能，因此需要建置水庫全模型或局部模型進行各方案之比較試驗，以利提供決策單位優選方案之參考，並研擬水庫防淤措施。如試驗檢討串連水庫調水調砂、既有設施改善、水庫攔木設施、前後庫防淤操作聯合運轉、新增水庫異重流防淤隧道、水庫粗顆粒清淤隧道、水庫全洪程觀測設施、探測水庫淤泥層引流可行性試驗等。

2. 基本設計案試驗檢討

以往水工模型試驗是搭配水庫防淤工程的基本設計案完成後再進行試驗檢討，以利工程於細部設計前確認其各項預期功能，或是需要再微調修訂之依據。

3. 細部設計階段試驗檢討

水庫防淤工程的建設一般經過初步規劃、可行性規劃及基本設計等階段，再進到細部設計。細部設計階段主要試驗目的為解決及確認水工結構物之水理與功能。

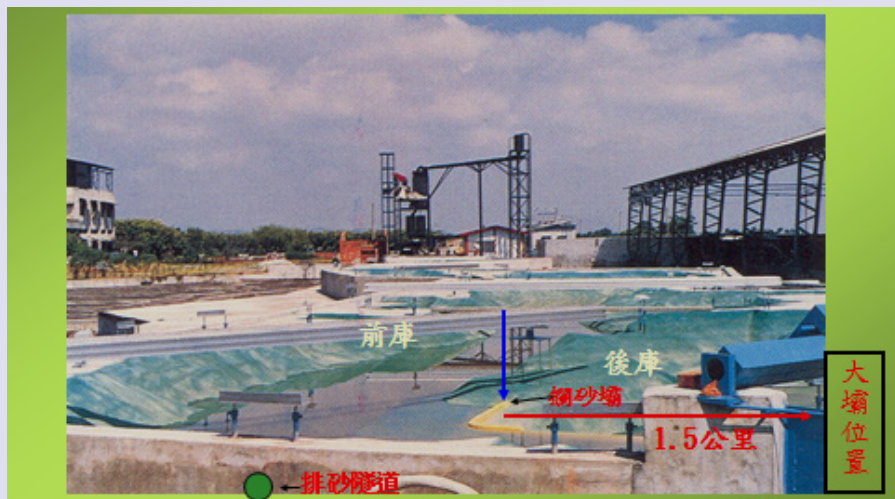




三、重要水庫防淤工程水工模型試驗



南化水庫空庫排砂模型試驗



▲南化水庫空庫排砂模型試驗 (1985~1988 年)



阿公店水庫空庫防淤工程模型試驗



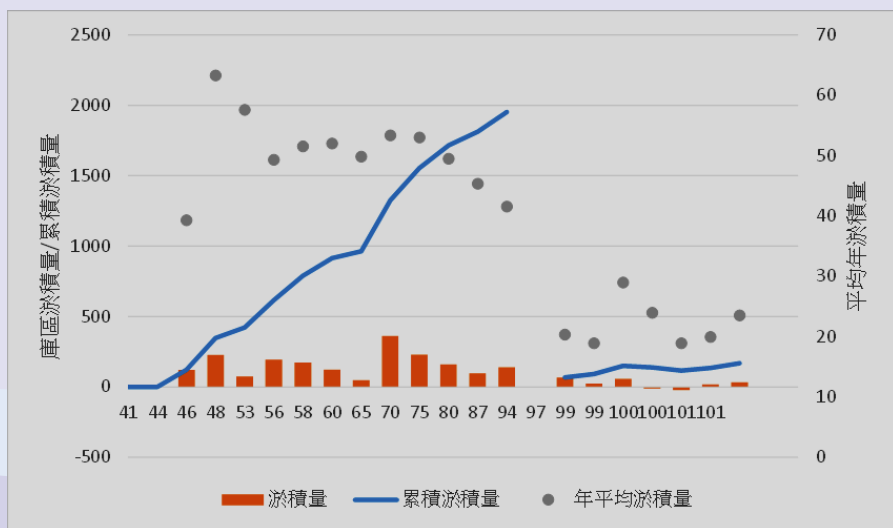
▲試驗檢討阿公店水庫空庫防淤功能 (1997~2003 年)



▲阿公店水庫空庫防淤試驗模擬三年 18 場逕流之排砂比為 65.3%，三年平均之年淤積量 24.73 萬噸 (相當於 22.48 萬立方公尺)。



▲ 阿公店水庫更新改善後溢洪管改為空庫防淤通道之現場照片



▲ 阿公店水庫更新改善前後之淤積變化

阿公店水庫自 2005 年更新改善後至 2015 年觀測空庫防淤效果顯著，累計淤積量明顯降低如上圖所示，年平均 21 萬立方公尺淤積量與試驗成果年平均淤積 22.48 萬立方公尺頗為接近。

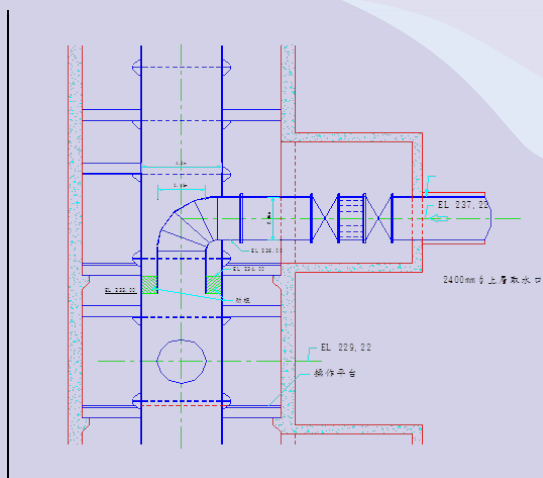


石門水庫防淤工程相關模型試驗



▲分層取水工程 1/21 局部模型照片 (2008 年)

配合分層取水工程設計階段建置 1/21 局部模型，經試驗後修訂上層取水鋼管進入豎井增設 90 度彎管，改善豎井旋渦捲氣；另一項試驗改善是輸水管增設排氣閥，避免輸水管路充水時壓縮氣體瞬間釋放而產生豎井水位劇烈湧升。



▲上層鋼管增設 90 度彎管抗渦

配合電廠改建工程初步規劃案及基本方案進行 1/40 局部模型，經試驗初步規劃案直接進入後池消能水墊深度不足，高速水流會沖上護岸，示如照片。因此，出口段轉彎 45 度採跌水工方式，並考量北部電力啟動中心，維持 1 號壓力鋼管接兩部發電機，2 號壓力鋼管 45 度轉彎作為水庫防淤之排砂通道。電廠二號壓力鋼管改建後防淤功能顯著，自 2013 年開始運轉經過 5 場颱風的防淤操作，累計排砂量約 157 萬噸，發揮預期效果。



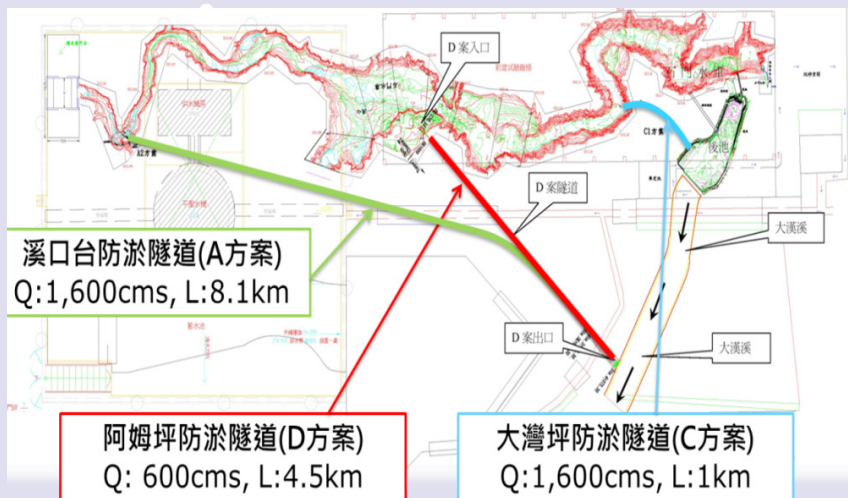
▲電廠 1/40 局部模型 (2006 年)



▲電廠 1/25 局部模型 (2009 年)



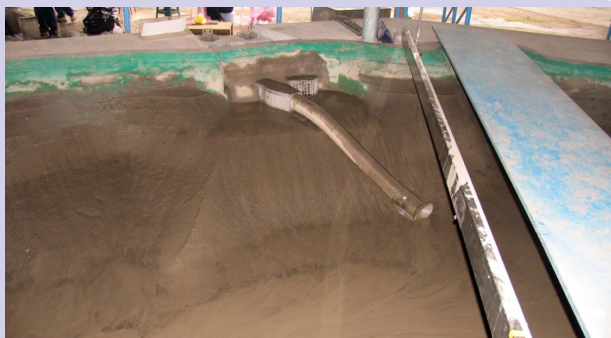
▲蘇力颱風期間電廠排砂隧道操作實況 (2013 年)



▲石門水庫防淤工程初步規劃及可行性規劃案試驗 (2010~2012 年)

完成石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗，並提出試驗成果供決策單位優選方案，後續試驗配合可行性規劃及基本設計案試驗評估，供設計單位修訂之參考。

研發測試石門水庫排洪隧道改善功能，功能頗為顯著，因此大灣坪防淤隧道入口亦採用此型式布置，經試驗結果效果良好，模擬單場艾利颱風有具象鼻防淤鋼管防淤效率提升 6.6 倍。



▲研發測試石門水庫排洪隧道單管象鼻防淤鋼管 (2005 年)



▲測試石門水庫大灣坪防淤隧道具象鼻防淤鋼管功能 (2010 年)

大灣坪防淤鋼管單場艾利颱風的排砂量 1,040 萬噸 (排砂比 34.4%)，整體排砂比 65.3%。

白河水庫防淤工程水工模型試驗



▲白河水庫更新改善防淤工程水工模型試驗 (2015~2016 年)

辦理模型試驗了解庫區防淤隧道及繞庫防淤隧道之防淤功能。



曾文水庫防淤工程水工模型試驗



▲ 曾文水庫新增防淤隧道 1/32 局部模型試驗 (2012~2013 年)



▲ 曾文水庫 1/100 全域模型建置在曾文水庫下游溪畔遊樂區



▲ 曾文水庫 1/100 全域模型試驗實況



四、未來展望



掌握水庫水砂資訊提供防淤操作

1. 建立雨量預報系統與集水區即時雨量之關係，由雨量推估入庫水量歷線，結合全洪程觀測入庫水量歷線及砂量歷線，提供水庫即時防洪防淤供水操作之參考。
2. 建置水庫全洪程泥砂監測系統，觀測入庫泥砂濃度歷線與各排放口泥砂濃度歷線，以及量化庫區渾水異重流運移速度與渾水潭累積沉降變化過程，提供水工模型試驗與數值模式檢定驗證之依據，以及水庫各排放口防淤效率之評估。



水庫既有設施改建

1. 水庫既有設施改建須考量阻塞問題，尤其設置集水區攔木壩，庫區全斷面全水深攔截網，可以減少林木資源沉入庫底及水庫各排放口造成阻塞問題。
2. 水庫既有排洪設施盡可能延伸為水庫下層防淤通道，減少上層溢洪量，達到水庫藉洪排渾的目的。



水庫新增清淤及防淤隧道

1. 深入探究水庫淤泥層可排範圍，研擬水庫淤泥層排放工法，結合水庫下游河道緩坡多階淤泥固床工與營造水域生態。
2. 水庫新增設清淤隧道，針對淤積三角洲較粗顆粒提供抽泥砂的有利通道，減緩淤積三角洲下移。
3. 建置水庫上游繞庫排砂隧道，提供水庫具有類似離槽水庫淤砂量減少之優點。



水庫永續利用

1. 長期監測水庫防淤操作對河道與海岸線沖淤變化。
2. 綜合既有水庫繞庫防淤通道（清渾分治），異重流排放通道（蓄清排渾），淤泥層排放通道（初期落淤層），人工清淤通道與交通動線，綜合整體流域土砂管理，達到水庫永續利用目的。

Memo

Memo



水庫防淤工程水工模型試驗

出版機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

發行人：陳春宏

副發行人：曾國柱

編輯委員：周志芳、賴朝鵬、李榮富、徐必杰、蔡展銘、
謝天元、林進榮、程運達

執行編輯：楊光程

撰文：吳慶現、吳柏翰、蘇漢

美術編輯：跨界策略顧問有限公司

所本部地址：臺中市 41350 霧峰區吉峰里中正路 1340 號

電話：(04)23304788 傳真：(04)23300282

舊正辦公區：臺中市 41358 霧峰區舊正里北岸路 46-1 號

彰化辦公區：彰化市 50051 辭修路 217 號

網址：<http://www.wrap.gov.tw/>

出版日期：中華民國 106 年 9 月

