

阿公店水庫防淤操作成效分析之研究

葉建緯⁽¹⁾ 陳永超⁽²⁾ 陳錦嬌⁽³⁾ 陳文福⁽⁴⁾

摘 要

阿公店水庫於民國 42 年完工，由於缺乏有效排砂設施以致淤積嚴重，至民國 70 年時，水庫淤積率已達 73%，水庫防洪能力由 250 年頻率洪水降為 50 年頻率洪水。故於民國 86 年起辦理更新改善計畫，至民國 94 年完工，更新改善防淤策略並採空庫排砂，然因原來豎管高度高達 35.5m，當有異重流發生時濁水不易排出，故將其高度降低 8.5m 而成 27.0m。汛期時保持空庫以利益洪豎管排砂，枯水期則由旗山溪越域引水入庫，此排渾蓄清的因應措施，甚有利於減少水庫淤砂，依過去空庫防淤較佳操作模式試驗，相當於每年之 2/3 來砂量可藉由空庫防淤操作排出。

自水庫於民國 94 年更新完成至今(103 年)已 9 年餘，已辦理 10 次淤積測量及自 98 年起每年辦理「阿公店水庫空庫防淤泥砂觀測及成效評估」計畫。本研究依據防淤測量、泥砂觀測成果及過去研究試驗成果進行研究評析獲致兩項結論：(1)水庫主要土砂來自泥岩地質區之濁水溪集水區，更新改善後經過 3 年之空庫排砂運轉，依據歷年淤積測量結果淤積量 67.68 萬 m³，較水庫興建完成初期 3 年之淤積量 121 萬 m³，約減少 50%，顯見空庫防淤操作之效果(2)水庫經 3 年運轉後，水庫淤積顯著減少。此可能與水庫淤高後導致上游河道水力坡降變緩及沖刷力減弱，致其相對入庫土砂減少有關。

(關鍵詞：空庫排砂、排渾蓄清、防淤測量、泥砂觀測)

Study on the operation of sediment prevention for Agongden Reservoir

Chen-Way Yeh⁽¹⁾ Yung-Chau Chen⁽²⁾ Yein-Ginn Chen⁽³⁾ Wen-Fu Chen⁽⁴⁾

Graduate student (1), Ph. D. Student (2), Lecture of NCYU (3) Professor (4)

National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

(1)國立中興大學水土保持學系 碩士在職專班研究生 (通訊作者 e-mail:allenye0630@gmail.com)

(2)國立中興大學水土保持學系 博士班研究生

(3)國立嘉義大學土木與水資源工程學系 講師

(4)國立中興大學水土保持學系 教授

ABSTRACT

Agongden Reservoir was completed and operated in 1953. Sediment deposition and accumulation in reservoir area was a serious problem for lacking of efficient sediment flushing facilities. 73% of reservoir capacity was stored by sedimentation, and capability of flood protection was reduced from 250-year to 50-year flood in 1981. A rehabilitation program was executed for the reservoir from 1997 to 2005. The new sediment countermeasures are “empty flushing sediment” and “storing clear and releasing muddy”. The sediment is flushing out of reservoir in monsoon season, and water diverted from Chishan River is stored in dry season.

In order to assess effect of sediment countermeasure, topographic survey has been conducted for 10 times in reservoir area since Agongden Reservoir rehabilitation program completed in 2005. This study is to evaluate the effect of Agongden Reservoir sedimentation prevention operation based on the topographic survey reports and the Effect Assessment of Empty Storage Operation for Sediment Prevention Observation Program of Agongden Reservoir reports. The first conclusion is that new sediment is deposited in all over the reservoir area and sediment at reservoir upstream is scouted for the first 3 years of reservoir re-operation. The second conclusion is that the amount of new sediment is relatively small after the first 3 years of reservoir re-operation though a few large rainfall events happened. This may relate to the river scouring decreasing because of the hydraulic gradient getting gentle to the upstream river. Then the sediment in the reservoir will be decreasing.

(Keywords: empty flushing, releasing muddy and storing clear, sedimentation prevention measurement, sediment monitoring)

前言

阿公店水庫開始施工於日治時代，民國 34 年光復後，政府繼續興建其未完成部份，於 42 年完工。然因水庫集水區地質惡劣淤積嚴重並缺乏有效排砂設施，至 75 年，水庫淤積率已達 71%，故於 86 年起，辦理水庫更新改善計畫，主要工程為(1)清淤以增加庫容；(2)降低溢洪管提供為空庫排砂之通道；(3)增闢越域排洪道作為增加防洪能

力；(4)越域引水為汛期空庫結束後水庫蓄滿用。

由於入庫材料為極細顆粒且具凝聚力的粉土(silt)與黏土(clay)，會因水深壓力及含水量變化而呈現固性、塑性及液性狀態，當含水量接近塑性限度或液性限度時，以機械進行開挖較為困難且費用高；如以水力沖排淤泥為主，機械開挖為輔，則可收事半功倍之效。黏土顆粒細易為水流所攜帶，沉降速度緩慢且當含砂濃度至一定程度時，因土粒

呈電荷吸引之群聚效應，沉降速度更慢。

水庫更新改善前，水庫呆水位標高為 26.0m，喇叭口溢洪管溢流頂之標高為 35.5m 即為正常蓄水位，混濁洪水經過水庫進入喇叭口前，濁度較高之懸浮物，將會沉降在水庫底層，而濁度較低之庫水在水庫上層，經由溢洪管排出，此種「蓄渾排清」之機制，不利水庫之防淤，尤其當水庫發生異重流情況時尤甚。降低喇叭口溢洪管，於汛期時保持空庫，使高濁度之洪水，可快速經由水庫並透過溢洪管排出。汛期過後，利用越域引水引旗山溪之清水源蓄存於水庫，此排渾蓄清之措施，其排砂率歷經過去研究分析及水工模型試驗結果可達 50%以上；惟由土砂觀測及淤積測量成果分析結果並未達到預期效果。

水庫更新改善工程自 86 年間開始施工至 94 年 6 月完工迄 103 年，已運轉約 9 年，為瞭解空庫防淤之成效，已辦理 10 次水庫淤積地形測量，及自 97 年起每年度辦理空庫防淤泥砂觀測及成效評估。以提供確實可靠之實例資料，作為驗證或檢討防淤操作及研究分析之寶貴資料。研究工作流程圖示如圖 1 及改建前後縱剖面圖如圖 2：

阿公店水庫集水區內有濁水溪及旺萊溪兩大支流，濁水溪集水面積 13.238km²，本流長

度約 7.6 km，旺萊溪則為 9.29 km²，本流長度約 7.3 km，兩溪洪水量比約 3：2。兩溪之地質、崩塌型態、崩塌量及沖蝕率相較，均有顯著差異，且濁水溪均明顯高出旺萊溪數倍。濁水溪集水區地勢起伏劇烈，山稜最高約 300m，地層大致以雞冠山為分界，雞冠山以西為關廟層，以東為南化泥岩。南化泥岩以塊狀青灰色至暗灰色泥岩為主，岩性甚為軟弱，降雨極易造成地表沖蝕，逕流在泥岩上沖刷成許多沖蝕溝，形成惡地形；地層岩性強烈影響邊坡崩塌型態及沖蝕速率，旺萊溪集水區地形則甚為平緩，平均標高約在 100m 以下，地層屬更新世關廟層，岩性以厚層砂岩為主，岩性較堅硬。阿公店水庫

集水區範圍圖詳如圖 3。

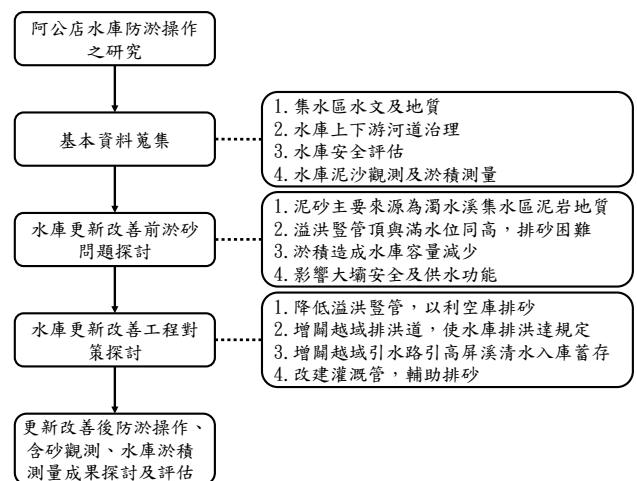


圖 1 研究流程圖

Figure 1. Flowchart of this study

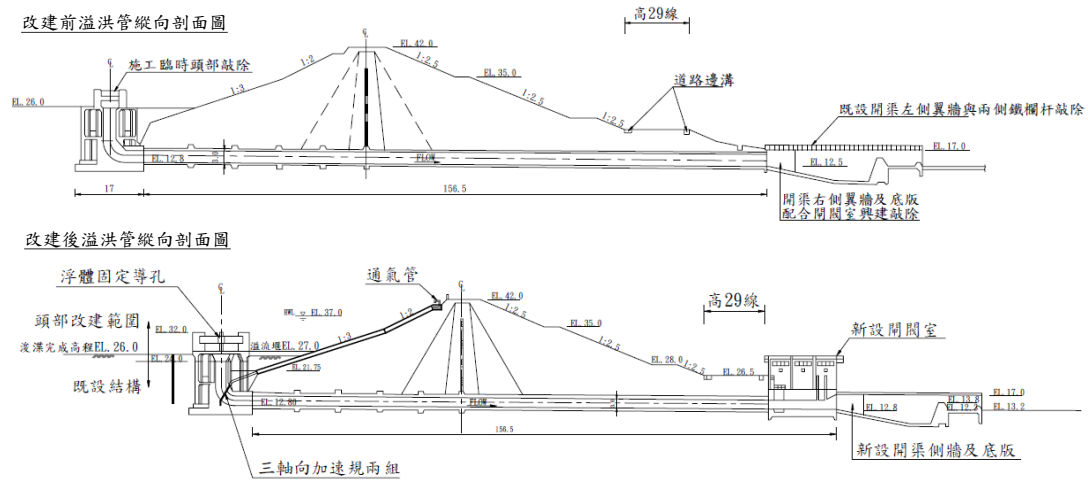


圖 2 阿公店水庫改建前後縱剖面圖

Figure 2. Longitudinal section before reconstruction of Agongden Reservoir

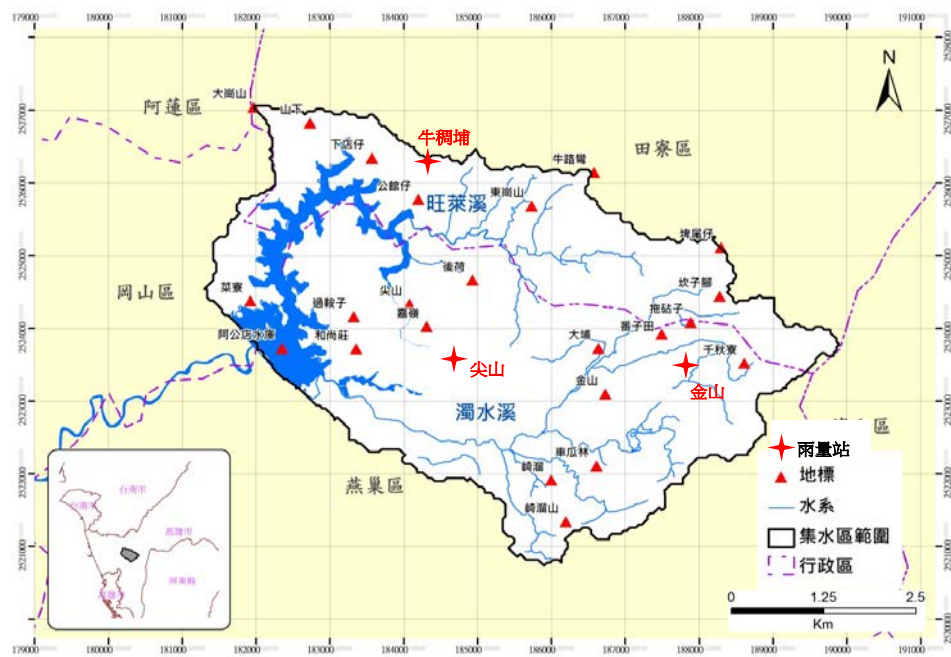


圖 3 阿公店水庫集水區範圍圖

Figure 3. Scope map of Agongden Reservoir catchment

文獻回顧

一、水庫更新改善

(一) 更新改善前

阿公店水庫最大壩身高度 31m，壩頂標高 42.0m，為台灣第一座防洪兼俱灌溉及公共用水標的之水庫，於民國 42 年 6 月興建完成，正常蓄水位標高 35.5m(原為 34.5m，民國 61 年加高 1m)，呆水位標高 26.0m，設計洪水水位標高 38.0m，因水庫集水區地質之因素及排砂設施不足，僅靠灌溉取水口容量及溢洪管頂於溢洪時排出含有土砂之混濁水流而已。由於囚砂效率高，至民國 56 年，呆水位容量就已淤滿，至民國 60 年，有效蓄水量只剩 800 萬 m^3 (原設計 2,050 萬 m^3)，水庫更新改善工程計畫，始自 87 年起歷經 7 年施工，至 94 年 6 月完工。

(二) 更新改善後

更新後有效蓄水容量增為 1,837 萬 m^3 ，溢洪豎管頂由標高 35.5m 降至標高 27.0m，水平排洪管內徑由 3.0m 改為 2.8m，設計最高洪水水位為標高 40.0m，最大排洪量為 85.0cms，灌溉取水口標高 26.0m，內徑為 1.5m，受復興渠容量限制，最大引水量為 5.0cms，加上輔助防淤功能，引水量可達 15.0cms。越域排洪道之溢洪堰頂的高程為標高 37.0m，設計排洪量為 431.0cms，排放水庫水位標高 37.0m 以上洪水至二仁溪，以

確保水庫更新後，水庫防洪能力提高至一萬年頻率洪水。在防淤方面，採空庫排砂操作，一併解決防洪、淤積及供水問題。

二、水庫淤積特性

水庫集水區內之降雨逕流匯流至水庫蓄存利用，同時也將沖刷或沖蝕地表之土砂，夾帶進入水庫，造成庫水渾濁及水庫淤積。影響水庫功能。淤積量多寡視集水區來砂量及水庫排出下游河道之量而定。水庫來砂量又與集水區面積大小、地文及水文條件、植生及地表裸露情形有關。

(一) 來砂量觀測

根據 98 年泥砂觀測及成效評估觀測成果，莫拉克颱風豪雨期間(98.8.06 至 98.08.09)，濁水溪蓬來橋之尖峰流量約為旺萊溪新尖大橋之 1.9 倍，最大含砂濃度約為旺萊溪新尖大橋之 2.1 倍，流量歷線及含砂濃度變化如圖 4、圖 5、圖 6 所示為莫拉克颱風、凡那比颱風及潭美颱風水體濃度觀測成果，由各圖顯示濃度觀測值濁水溪明顯大於旺萊溪。99 年及 100 年延續 98 年成果，以各重現期距設計雨量進行集水區入庫流量及輸砂量之模式分析，結果發現無論一日暴雨或二日暴雨，濁水溪來砂量約佔 70%，約為旺萊溪來砂量之 2.3 倍，其空庫排砂操作之平均排砂效率為 60%。

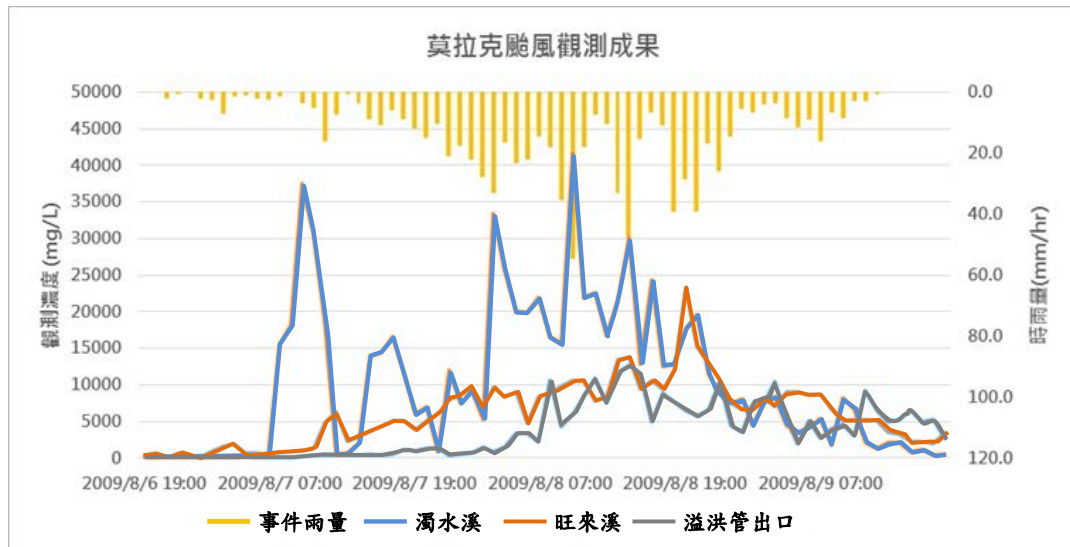


圖 4 莫拉克颱風(2009 年)水體濃度觀測成果

Figure 4. Sediment concentration and rainfall intensity during typhoon Morakot(2009)

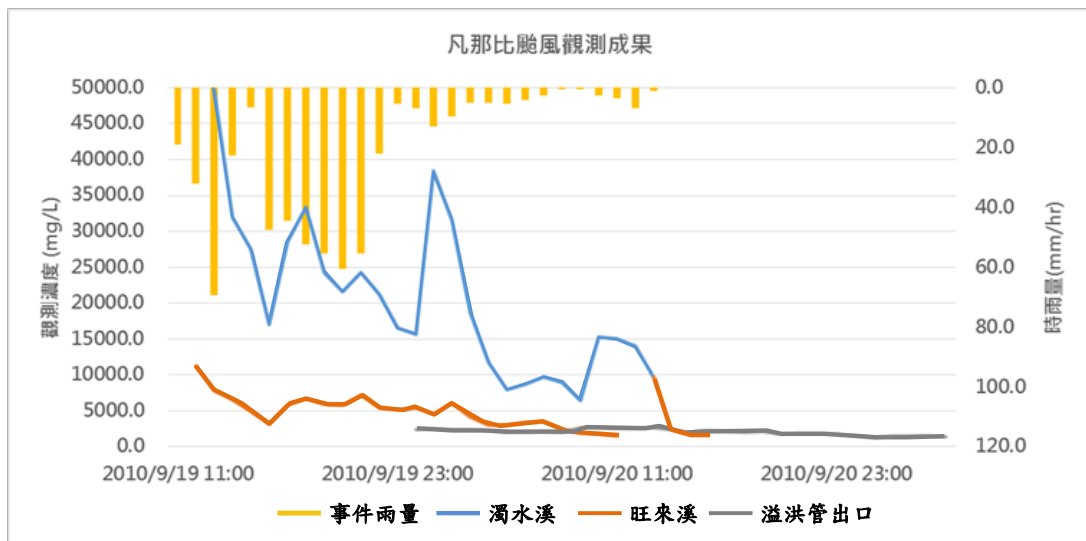


圖 5 凡那比颱風(2010 年)水體濃度觀測成果

Figure 5. Sediment concentration and rainfall intensity during typhoon Fanapi(2010)

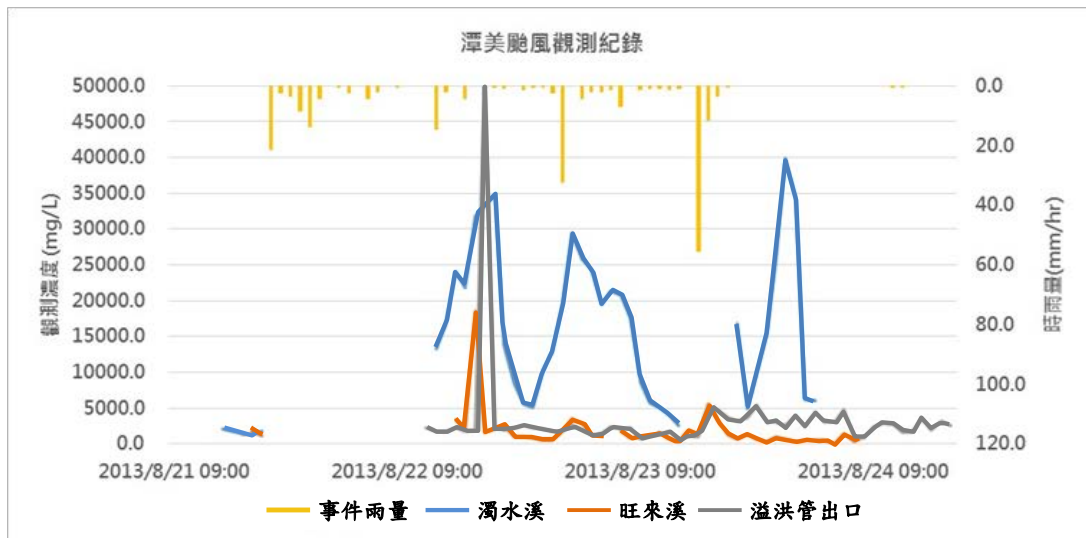


圖 6 潭美颱風(2013 年)水體濃度觀測成果

Figure 6. Sediment concentration and rainfall intensity during typhoon Trami(2013)

(二) 水庫淤積測量

水庫更新改善前淤積測量依據前水利局 75 年阿公店水庫淤砂測量調查報告，44 年至 75 年間已辦理 10 次水庫淤砂測量，其結果至 75 年，水庫淤積量為 1,715 萬 m^3 ，佔完工時有效蓄水量 3,220 萬 m^3 之 53.26%，平均每年淤積率 1.61%，相當於每年 52 萬 m^3 之淤砂量。

阿公店水庫於民國 94 年更新完成迄 102 年，此期間發生之颱風包括 94 年海棠颱風，95 年珍珠颱風，97 年卡玫基颱風，98 年莫拉克颱風，99 年凡那比颱風等。由表 1 顯示為民國 42 年至民國 102 年歷年共 60 年之淤積測量結果。

在 94 年 6 月水庫更新改善工程完工後，至 102 年 10 月測量成果顯示，最大蓄水高度，即滿水位之有效蓄水體積由 1,837 萬 m^3 ，減至 1,662 萬 m^3 ，在歷經約 8 年期間，水庫累計淤積量達 175 萬 m^3 ，淤積率約為 10%，年平均淤積量 22.5 萬 m^3 。平均每年淤積率約 1.25%。圖 7 為水庫更新運轉 3.5 年後(94.8~97.12)之沖淤變化，庫區濁水溪匯流口淤積最高約達 3.0m。圖 8 為 94 年更新後至 102 年(94.8~102.10)之庫區淤積變化，庫區幾乎全面淤積 3.0m。94 年 8 月庫區地形測量成果示如圖 9，97 年 12 月庫區地形測量成果示如圖 10，102 年 10 月庫區測量成果則如圖 11。

表 1 阿公店水庫歷年淤積測量結果

Table 1. Sedimentation of Agongden Reservoir surveyed from 1953 to 2013

測量日期			總容積		有效容積 (萬 m ³)	呆容積 (萬 m ³)	累積淤積量 (萬 m ³)	淤積量 (萬 m ³)	測量期 距 (年)	年平均淤積 量 (萬 m ³ /年)
年		月	萬 m ³	%						
42	1953		3,670.000	100	3,220.000	450.000	0	0		
44	1955	1	3,549.000	97	3,328.700	220.300	121.00	121.00	3.08	39.24
46	1957	6	3,322.000	91	3,196.700	125.300	348.00	227.00	2.42	93.93
48	1959	4	3,248.000	89	3,170.700	77.300	422.00	74.00	1.83	40.36
53	1964	6	3,054.000	83	3,048.300	5.700	616.00	194.00	5.17	37.55
56	1967	4	2,880.000	78	2,880.000	0	790.00	174.00	2.83	61.41
58	1969	7	2,756.000	75	2,756.000	0	914.00	124.00	2.25	55.11
60	1971	4	2,707.000	74	2,707.000	0	963.00	49.00	1.75	28.00
65	1976	10	2,345.000	64	2,345.000	0	1325.00	362.00	5.5	65.82
70	1981	4	2,116.000	58	2,116.000	0	1554.00	229.00	4.5	50.89
75	1986	8	1,955.000	53	1,955.000	0	1715.00	161.00	5.33	30.19
80	1991	12	1,857.000	51	1,857.000	0	1813.00	98.00	5.33	18.38
87	1998	12	1,717.457	47	1,717.457	0	1952.54	139.54	7	19.93
94	2005	8	1,837.08	50	1,837.08	0	0	0	0	0
97	2008	12	1,769.39	48	1,769.39	0	67.68	67.68	3.33	20.32
99	2010	6	1,745.85	48	1,745.85	0	91.23	23.55	1.50	18.89
99	2010	10	1,687.30	46	1,687.30	0	149.78	58.55	0.34	28.97
100	2011	5	1,699.29	46	1,699.29	0	137.79	-11.99	0.58	23.96
100	2011	9	1,722.08	47	1,722.08	0	114.99	-22.80	0.33	18.91
101	2012	5	1,702.48	46	1,702.48	0	134.59	19.60	0.67	19.94
101	2012	10	1,669.01	45	1,669.01	0	168.07	33.48	0.40	23.51
102	2013	5	1,678.91	45	1,678.91	0	158.17	-9.9	0.58	20.41
102	2013	10	1,662.57	45	1,662.57	0	174.51	8.25	0.40	21.46
年均淤積率(民國 41-87 年)=										41.55
年均淤積率(民國 94-102 年)=										21.46

註 1：有效容積民國 87 年(含)以前為標高 40.0m，94 年以後為標高 37.0m 以下之容積；呆容積為標高 26.0m 以下之容積。

註 2：更新前因測量期距較長，年平均淤積率採用各時期累積淤積量/測量期距，更新後因測量期距小於 1，年平均淤積率採用總累積淤積量/總累積測量期距。

註 3：更新前、後之最後年平均淤積率係採總累積淤積量/總累積測量期 (資料來源：102 年度阿公店水庫空庫防淤泥砂觀測及成效評估)

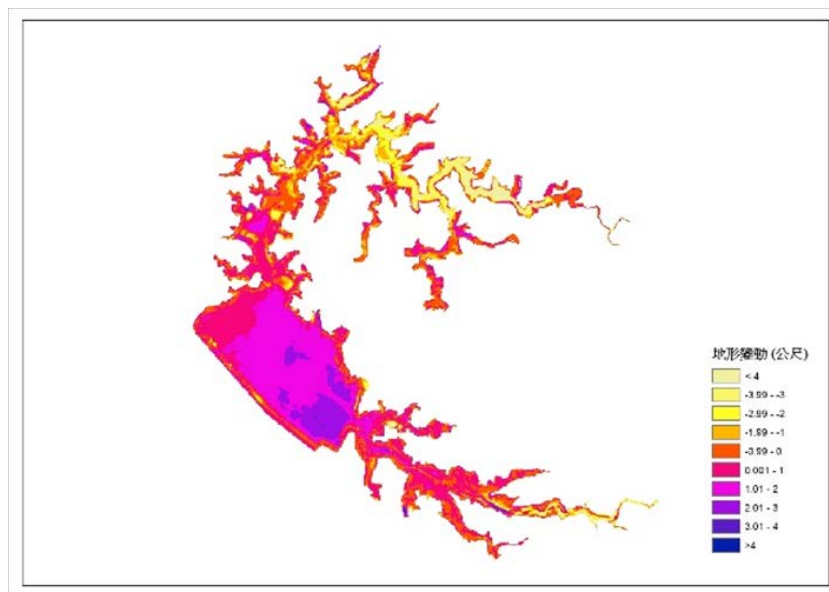


圖 7 庫區淤積變化(94.8~97.12)

Figure 7. Topographic change of Agongden Reservoir.(2005.8~ 2008.12)

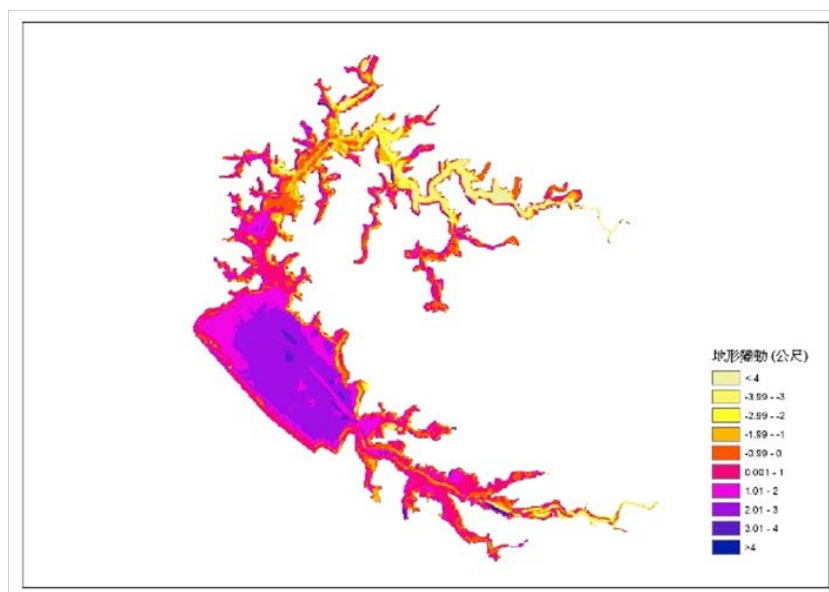


圖 8 庫區淤積變化(94.8~102.10)

Figure8. Topographic change of Agongden Reservoir.(2005.8~ 2013.10)

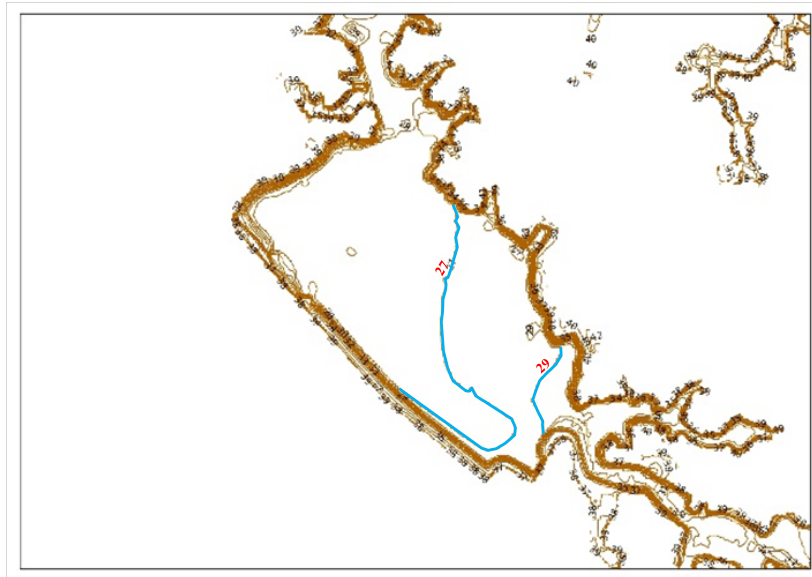


圖 9 庫區地形測量成果(94.8)

Figure 9. Topographic map of Agongden Reservoir of Aug. 2005

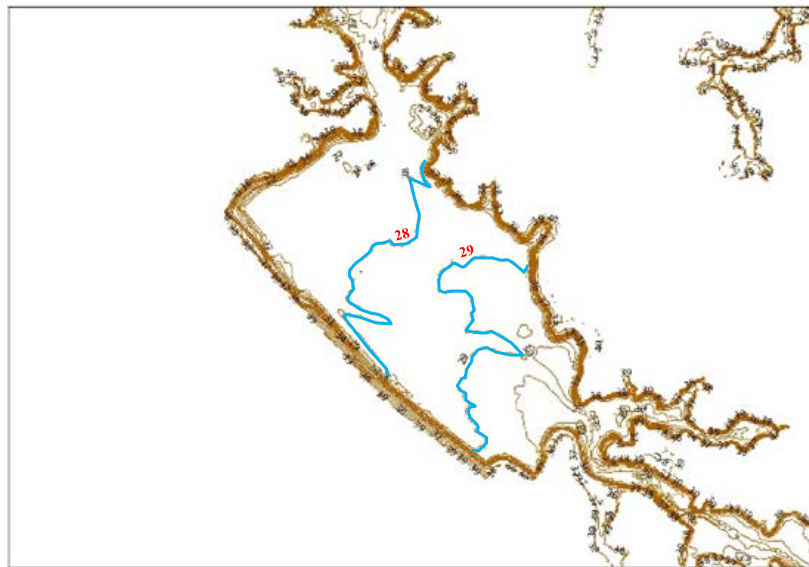


圖 10 庫區地形測量成果(97.12)

Figure 10. Topographic map of Agongden Reservoir of Dec. 2008

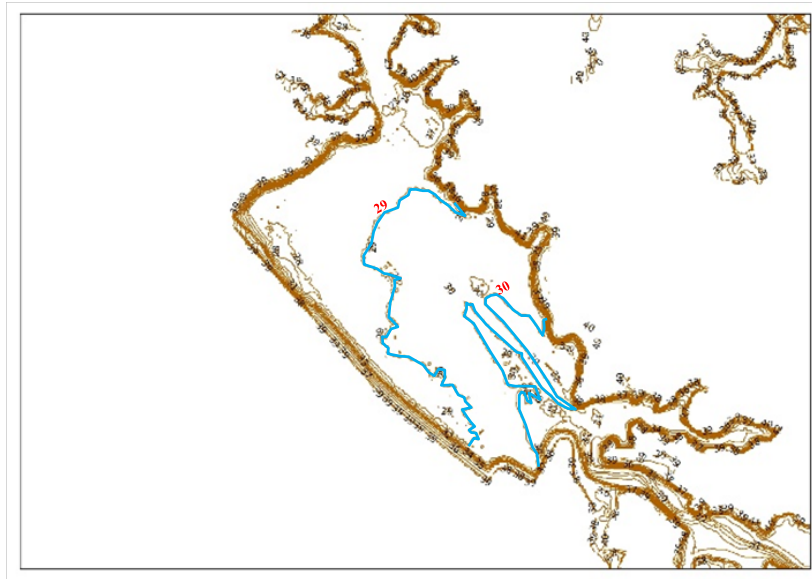


圖 11 庫區地形測量成果(102.10)

Figure 11. Topographic map of Agongden Reservoir of Oct. 2013

由水庫 94 年更新改善工程竣工至 102 年淤積測量地形，主要淤積發生於旺萊溪出口之煙波吊橋至濁水溪出口之蓬萊吊橋之水庫蓄水範圍內，尤其在濁水溪匯入口至溢洪管之間為甚，淤積面由標高 30.00m 緩降至標高 27.00m 左右。

(三) 水庫上游河道之沖淤

就集水區整體沖淤情形，旺萊溪新尖大橋上游河道，在 94 年至 100 年間，河道下刷嚴重，整體沖刷量約達 137.1 萬 m^3 ，而新尖大橋與煙波吊橋間呈現微幅沖刷，蓄水區附近則為嚴重淤積。濁水溪在蓬萊橋上游同樣呈現下刷趨勢，蓬萊橋與日昇蓬萊吊橋間亦為微幅沖刷，進入水庫蓄水範圍後即嚴重淤積。因此，旺萊溪集水區上游崩塌地少，入庫泥砂可能多半來自河道沖蝕，下刷，加強旺萊溪河道治理，應可有效減少水庫淤積。但濁水溪除河道沖刷外，集水區上游之

崩場地，地表沖蝕，產出泥砂，方為主要之入庫泥砂來源，未來水庫防淤應以如何加強濁水溪來砂之排除為主要目標。

(四) 水庫淤砂性質

依據民國 76 年 2 月經濟部水利署南區水資源局(以下簡稱南水局) 阿公店水庫鑽探及土壤試驗報告書，在水庫及主河道鑽取 13 個土樣，分別進行一般土壤性質試驗，其結果顯示，阿公店水庫集水區土壤以細粒之粉土與黏土為主，通過 200 號篩之粉土與黏土佔 80%。因此，可歸納出集水區內之表土，大部分具有凝聚性之粉土與黏土，僅有少部分為細砂。又依據 80 年 9 月於庫區豎井溢洪管附近進行現場地質鑽探及採樣工作，結果顯示該處之上層土樣中，約 95%之土壤為具有凝聚力之粉土與黏土，較集水區 80%高出甚多，可見因建庫蓄水，流速減緩，使相對較粗之細砂沈積於豎井溢洪管較

遠之上游處，亦即水庫更新溢洪管排放之含砂水流絕大部分均屬凝聚性泥砂。

三、水庫防淤操作及成效評估

阿公店水庫更新改善前，主要排砂係排洪時渾濁洪水經由溢洪管頂(標高 35.50m)排出，因砂率高達 90%以上，入庫泥砂大部分沈積在庫底。更新改善計畫 94 年 6 月完工後，於每年 6 月 1 日至 9 月 10 日進行空庫排砂，排砂效率預估平均可達 50%以上。

依據南水局 99 年度阿公店水庫空庫防淤泥砂觀測及成效評估。由近年來防淤操作之觀察，溢洪管位處庫區上游邊陲位置，離主要入砂量之濁水溪匯流口約 1,500m，而且溢洪管出流量有限，設計最大排洪量為 85cms，空庫防淤成效與入庫泥砂運移之時間及排砂管入口高程之流量有關。

四、歷年觀測分析成果

阿公店水庫防淤泥砂觀測自民國 98 年開始執行，98 年到 101 年計畫執行之主要成果為阿公店水庫集水區土砂產量分析成果、淤積特性試驗、現場量測與模式、排砂效率評估、水庫泥砂運移型態分析及水庫排淤操作決策系統等項目。歷年實際觀測與計算結果比較，入庫土砂量之正確性可達 60%以上，排砂效率之正確性介於 31 至 54%間。

依據最近南水局辦理之 102 年度阿公店水庫空庫防淤泥砂觀測及成效評估報告「摘要」，該報告整理歷年觀測成果，歸納出以下幾個現象：

1.檢視排砂量與每年淤積測量所得之水庫淤積量比較，大部分入庫的土砂在蓄水範圍內淤積。

2.在蓄水高程較低，濁水溪流量較大時，可以得到較好的排砂效果。

3.由淤積測量及數值模擬成果可見，濁水溪匯流口以下是淤積的區域，底床標高達到 29.00m，由於沖刷的力量較弱，入流夾帶的土砂於開始落淤，土砂淤積區向旺萊溪的匯入口擴展。

4.從水庫運轉報表可見，水庫蓄水高程都在標高 29.00m 以上。含砂水流不能盡速通過水庫，土砂反而會淤積在水庫，不能達到預期的排砂效果。

5.阿公店水庫更新後，水庫淤積量有降低的趨勢。由於入庫土砂大部分都淤積在水庫內，因此淤積量減少可能與入庫土砂量減少有關。

研究材料與方法

一、研究區域概況

水庫防淤操作，牽涉入庫來砂之量與質。洪水發生時進入水庫之混濁水流流速減緩，土砂開始沉降淤積，如能快速經由排砂設施排出，則可減少水庫之淤積量。

依 92.12 阿公店水庫防淤操作模型試驗及檢討計畫報告(總報告)，阿公店水庫防淤操作水工模型試驗自 86 年開始至 91 年完成，共計辦理 6 年，依試驗結果，水庫異重流發生有利於渾水較快到達溢洪管入口，因其運行速度不是斷面平均流速，而是集中在下層較快速運行，減少沿途落淤之量。但是受限於溢洪管出口流量限制，當入流量變小時，渾水之流動勢能很快就衰減，造成水庫渾水接近靜水沉降。測試灌溉管輔助排砂之

可行性，試驗結果良好，約可增加 6~10%之防淤效率，因此，排砂通道位置越低越好，越能排出下層高濃度渾水；出流量越大亦越好，越能減少蓄存落淤時間。

空庫防淤較佳操作方式模擬試驗，溢洪管內徑為 2.8m，排淤最大通洪能力約 85cms，灌溉管改建最大通洪能力約 15cms，合計水庫最大排淤能力約 100cms，三年長期模擬空庫排淤效率為 65.34%，再加上基流量(利用越域引水 7.5cms)排砂效率為 1~3%，相當於每年 2/3 來砂量可藉由空庫防淤操作方式排出。

阿公店水庫更新改善前後之蓄水，排砂機制皆不同，在更新改善前，幸有歷年之淤積測量資料，而更新改善後，除有更密集之汛期前後庫區地形測量，可瞭解淤積量及土砂堆積運移型態外，更有支流(入庫)及溢洪管入口或出口之土砂濃度觀測，可進一步評估實測之排砂或囚砂率。

二、研究方法

1.阿公店水庫更新改善工程，採用空庫排砂操作，為一創舉，且尚無前例，降低溢洪管汛期空庫兼具排洪排砂功能，更新計畫實施之先期作業就已辦理規劃、調查、試驗及研究分析，認定可行。水庫在 75 年，淤積率已達 53%，蓄洪空間大幅減少，對水庫下游地區人民生命財產構成威脅，計畫核定後於 86 年開始執行，於 94 年 6 月完工運轉，更新改善計畫完成後，歷經累積雨量達 700mm 以上之颱風有 96 年 8 月之聖帕颱風(降雨量 720mm)，98 年 8 月之莫拉克颱風(降雨量 875mm)及 101 年 6 月之 0610 豪雨(降雨量 744mm)等三場。幸更

新改善計畫及時完成，水庫發揮防洪防淤功能。

2.前述這些高強度，長延時降雨對水庫淤積影響如何，經由圖 12 顯示與逐年累積淤積量未見正相關。惟可經由數場降雨事件取得較完整之濃度觀測成果，溢洪管排砂濃度之變化及排砂閘門操作做一探討。

3.本研究主題為阿公店水庫防淤操作，而汛期採空庫排砂，為既有之方案及策略，依目前公告之阿公店水庫防洪運轉規定及阿公店水庫運轉規線，示如圖 13 及表 2。阿公店水庫空庫防淤期為每年 6 月 1 日至 9 月 10 日，而防汛期由每年 5 月 1 日至 10 月 31 日，故可能於非空庫防淤期間之蓄水期發生颱風或豪雨，則應依防洪運轉規定辦理防洪運轉，目前公告之防洪運轉規定如(表 2)採彈性操作原則，如此時防淤操作須兼顧防洪及蓄水標的，則應就本水庫之水文、淤砂及排砂特性作進行探討。

4.水庫防淤操作可參考沉砂池原理，依庫區淤積測量實測地形及推測淤積型態，依適當時機在不影響越域引水之水權及水資源利用情況下輔助空庫排砂時期之冲砂，以提高排砂率。

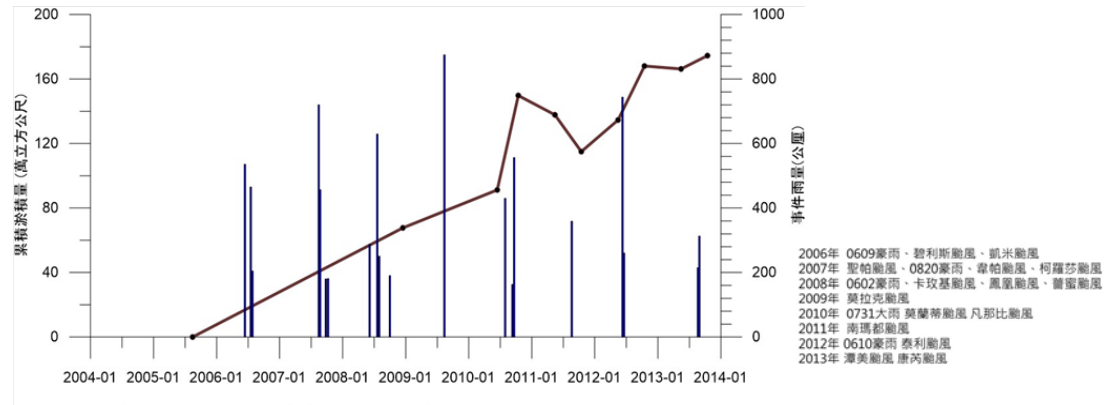


圖 12 阿公店水庫淤積量與降雨事件比對圖

Figure 12. Cumulative sedimentation of Agongden Reservoir with major rainfall events

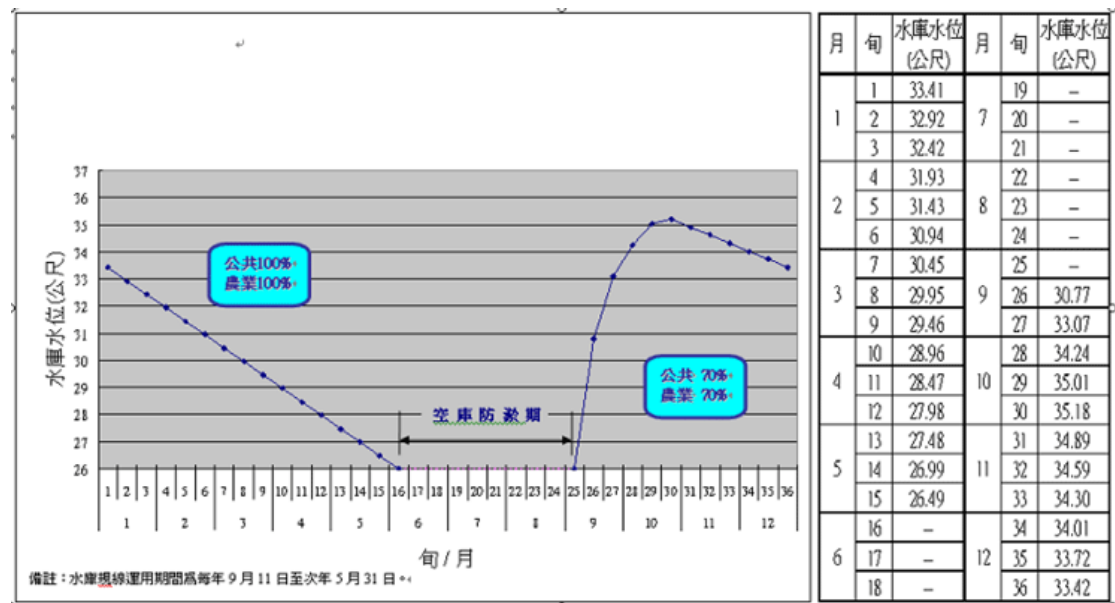


圖 13 阿公店水庫規線圖

Figure 13. Operation rules of the Agongden Reservoir

表 2 阿公店水庫防洪運轉規定

Table 2. Flood operation rules of the Agongden reservoir

防洪狀況	水位標高	運轉操作情形
水庫發生颱風或豪雨情況前	水庫水位標高 37m 以下	進行調節性放水，放水量最大為 $15\text{m}^3/\text{sec}$ 。
水庫空庫防淤期間發生颱風或豪雨情況時	水庫水位超過標高 27m	開啟豎井溢洪管及取出水工進行防洪運轉，水庫水位持續上升超過標高 37m，則由越域排洪道自由溢流。
水庫蓄水期間發生颱風或豪雨情況時	水庫水位於標高 32m 以上	開啟豎井溢洪管閘門及取出水工閘門進行防洪運轉，二者洩洪量合計不得超過 $90\text{ m}^3/\text{sec}$ 。
防洪運轉時水庫水位持續上升	上升超過標高 37m	同時由豎井溢洪管及取出水工放水及越域排洪道自由溢流時，豎井溢洪管及取出水工放水流量得超過 $90\text{m}^3/\text{sec}$ 。

結果分析與討論

一、水庫泥砂堆積及運移

從歷年淤積測量成果進行比對，水庫更新後初期 94~97 年之間，整個庫區都屬於淤積狀態，淤積深度大約在 3m 以下，惟河道上游為冲刷情形，冲刷深度也在 3m 以下。由 94~102 年歷年各期水庫庫區地形測量之等高線圖判讀說明如下：

1. 94 年 8 月淤積測量

如圖 8 代表水庫剛更新完成清淤後地形，等高線 26m 為灌溉取水管高程，亦即呆水位，等高線 27.00m 為溢洪管頂之高程，水位超過此高度，就開始由溢洪管頂溢流。由圖可看出更新前至溢洪道管之深槽或冲刷溝靠近壩側。

2. 97 年 12 月淤積測量

如圖 9，此為水庫更新後經過 3.5 年運轉後之地形，包括 95、96 及 97 年等 3 次空庫排砂期及蓄水期，由圖顯示，通往溢洪管口有明顯之冲刷溝，冲刷扇已形成並向旺萊溪方向延伸。由圖 8 及圖 9 比較完工至 97 年 12 月，庫區全面淤積約 2m，且冲刷扇已呈現。

3. 99 年 6 月淤積測量

此期間經過 98 年空庫排砂期 (98.6.1~98.9.10)，及 98 年蓄水期(枯水期)，而 99 年 6 月測量為空庫排砂期之開始；原有通往溢洪管入口之冲刷溝已消失，推測係由於蓄水期未有空庫排砂在低水位入流之冲刷現象，且冲刷扇持續向旺萊溪方向延伸。

4. 99 年 10 月淤積測量

施測期間約在空庫排砂期結束不久，沖積扇等高線形狀與 99 年 6 月測地形（空庫排砂開始前）比較，沖積扇略往旺萊溪方向延伸，沖蝕溝也有往旺萊溪方向推進之趨勢，過去幾年施測成果空庫排砂後之現象相符。

5. 100 年 5 月淤積測量

由前次測量至本次測量這期間都是蓄水期，入庫土砂少，地形變化不顯著。

6. 100 年 9 月淤積測量

本次測量時機，剛好在空庫排砂期結束時，庫區地形變化不大，惟濁水溪入庫之沖蝕溝更為明顯。

7. 101 年 5 月淤積測量

測量結果並無顯著變化，顯示在蓄水期間入庫泥砂不多。沖積扇之發展已達到最大，整個庫區大部分為沖積扇範圍，以 101 年之變化來看，在汛期開始前，由於入庫土砂少，旺萊溪入庫處未受到濁水溪沖積扇影響，但在汛期後，沖積扇前端有被旺萊溪水流沖開之現象。

8. 101 年 10 月淤積測量

本次測量在空庫排砂期結束後，，蓄水運轉不久，與 100 年 9 月，99 年 10 月及 97 年 12 月等次地形測量約略同期間。其地形無顯著變化，惟本次測量成果顯示沖蝕溝往旺萊溪直沖外並以約大於 90 度方向迴轉到溢洪管。

9. 102 年 5 月淤積測量

本次測量期間在蓄水期之末，進入空庫

排砂期之前，與 101 年 10 月比較，僅沖積扇前緣略有後退，其對岸庫區（旺萊溪入庫右側）有部分被刷開之現象。

10. 102 年 10 月淤積測量

本次代表空庫排砂期過後之沈積，沖積扇前緣往前淤積，並達庫區邊界。如圖 10 所示。

二、 水庫淤積量之探討

將水庫淤積測量範圍劃分為庫區，旺萊溪入口，濁水溪入口等三個區域，分析個別區域之淤積量，可以得到三個區域之歷年沖淤變化，如表 3。從分析結果可知，在旺萊溪入口部分，在民國 94 年至 97 年間呈現沖刷現象，大部分沖積土砂都進入庫區內，推測水庫更新 94 年完工，運轉初期 3.5 年於空庫防淤期，兩大支流直接進入庫區，濁水溪匯流口標高 27.00m，旺萊溪匯流口標高 26.00m，水力坡降較更新前為大，尤以旺萊溪為甚，故兩溪河道上游呈沖刷現象。由圖 9，97 年 12 月測可看出旺萊溪及濁水溪匯流口均已淤高 1m，即標高各為 27.00 及標高 28.00m。河道上游水利坡降趨緩，故至 99 年 6 月依實測地形圖，旺萊溪河口庫區標高 28.00m，濁水溪已達標高 30.00m，又各淤高 1m 及 2m，至 100 年 5 月依測量成果，兩溪出口庫區標高變動小，代表兩溪河道達穩定沖淤平衡，入庫土砂形成庫底沖積扇，且有向旺萊溪移動之情形。

而後每年事件中互有沖淤發生，然整體變化不大。在濁水溪入口部分，亦為沖淤互見狀態，除 99 年間有較大之淤積量外，淤積量約 14 萬 m^3 ，其他期間之變化不大。在

庫區部分，則多呈現淤積狀態，與整體庫區淤積變化有相同之趨勢。從三個區域之比較來看，上游來砂幾乎直接流入庫區。

表 3 阿公店水庫更新後歷年淤積量變化分析表

Table 3. Amount of sedimentation change of Agongden Reservoir after rehabilitation

單位：萬 m³

	旺萊溪 入口	旺萊溪入口 累計淤積	濁水溪 入口	濁水溪入口 累計淤積	庫區	庫區 累計淤積
94 年 8 月至 97 年 12 月	-124	-124	-4	-4	164	164
94 年 8 月至 99 年 06 月	-4	-128	0	-4	16	180
99 年 06 月至 99 年 10 月	11	-117	15	11	32	212
99 年 10 月至 100 年 5 月	-6	-123	-4	7	-1	211
100 年 5 月至 100 年 9 月	-4	-128	-5	2	-12	198
100 年 9 月至 101 年 5 月	5	-123	1	3	13	212
101 年 5 月至 101 年 10 月	16	-107	2	5	17	228
101 年 10 月至 102 年 5 月	-7	-114	-2	3	-1	227
102 年 5 月至 102 年 10 月	12	-102	5	8	17	245

註：淤積量為負值表示沖刷。

結論與建議

一、結論

1. 庫區淤積土砂由集水區數值模擬或由洪水水體濃度觀測成果可知，主要淤積來自泥岩地質區之濁水溪，約為 2 倍以上，故運轉 9 年後水庫已全面淤積。
2. 更新改善後，汛期採空庫，洪水時，河道之水力坡降增加，運轉初期三年，經測量結果，造成河道上游段沖刷約 3m 及庫區全面淤積約 2m，依據後期測量成果比對沖淤，其變化不大。此與水庫淤高造成河道淤緩有關。
3. 水庫更新改善後，比對實際觀測之各場降雨與水庫淤積量並非成正相關，反映出地質與地形因素特殊。水庫歷年淤積量變化，更新改善採空庫排砂後淤積量有顯著減少，成效良好。

4. 越域排洪道設計洪水量約 5 倍於豎井溢洪管，但其溢流頂高於溢洪管頂 10m，尚無排砂效益。惟灌溉管進水口低於溢洪管 1m，應用於輔助排砂經水工試驗結果效果良好，約可增加 6~10%防淤效率，於防洪運轉時應同時啟動排砂操作。

建議

1. 依據圖 12 阿公店水庫運轉規線及表 2 阿公店防洪運轉規定，水庫蓄水期間發生颱風或豪雨時，得開啟豎井溢洪管閘門及取出水工閘門進行防洪運轉，為利於防淤操作，如何兼顧水資源利用，應可利用越域引水之防淤操作及排砂閘門關閉之時機做進一步研究。
2. 濁水溪出口淤積高度約 3m，旺萊溪出口淤積約 2m，對上游河道穩定之影響應值得持續觀測檢討。尤其淤積測量及含砂濃度觀測應持續觀測。為使入庫泥沙量及溢

- 洪管排砂量之估算更精準，建議含砂濃度觀測站增設溢洪管出口一處，庫區上游河道濁水溪與旺萊溪於入庫附近各增設一處。
3. 庫區淤積建議於沖積扇扇頂、扇央及扇尾取樣辦理顆粒分析試驗，以瞭解其顆粒變化，並利於探討泥砂運移及清淤方式。
 4. 依空庫防淤較佳操作方式模擬試驗成果，三年長期模擬空庫排砂效率利用越域引水排砂效率為 1~3%，模式與實務上(尚有差異)對壓密尚未進行之淤積泥土，利用已有水源作水利沖排砂，建議加強利用越域引水可靠水源辦理實地試驗，以提高排砂效率。
 4. 水利規劃試驗所(1993)，阿公店水庫先期作業規劃專題報告五，水工模型試驗。
 5. 水利署(2002)，阿公店水庫更新工程修正計畫(第三次修正)。
 6. 南區水資源局(2013)，102 年度阿公店水庫暨阿公店溪空庫防淤測量成果報告書。
 7. 南區水資源局(2012)，阿公店水庫更新改善後第一次定期安全評估總報告。
 8. 南區水資源局(2005)，阿公店水庫更新後地形測量成果總報告。
 9. 南區水資源局(2007)，96 年度阿公店水庫防淤測量。
 10. 南區水資源局(2008)，97 年度阿公店水庫防淤測量。
 11. 南區水資源局(2010)，99 年度阿公店水庫防淤測量。
 12. 南區水資源局(2011)，100 年度阿公店水庫防淤測量。

參考文獻

1. 水利規劃試驗所(2006)，阿公店水庫平時防淤操作對下游河道之影響研究。
2. 水利規劃試驗所(2000)，阿公店水庫防淤操作模型試驗及檢討計畫報告(八十八年度)。
3. 水利規劃試驗所(2003)，阿公店水庫防淤操作模型試驗及檢討計畫報告(總報告)。

104 年 05 月 07 日收稿

104 年 05 月 13 日修改

104 年 05 月 27 日接受