



# 高屏堰取水設施流量率定暨河床質採樣及基本資料補充調查分析

Study on water intake facility discharge rating curve of Kaoping Weir, bed material sampling and basic data investigation



主辦機關：經濟部水利署南區水資源局  
執行單位：國立交通大學

中華民國 107 年 12 月

高屏堰取水設施流量率定暨河床質採樣及基本資料補充調查分析

Study on water intake facility discharge rating curve of Kaoping Weir, bed material sampling and basic data investigation

主辦機關：經濟部水利署南區水資源局  
執行單位：國立交通大學  
中華民國 107 年 12 月

## 摘要

民國98年莫拉克颱風過後，對高屏溪流域造成重大衝擊，使高屏堰河段之流路趨於不穩定。南區水資源局（以下簡稱南水局）自99年起已陸續辦理相關影響評估研究，並於101、102年根據評估結果，進行相關措施，期以穩定取水流路達穩定供水之目標，近年洪水後觀察已有其成效。鑑於高屏堰受到莫拉克颱風過後河床整體淤高，左岸既有之穩定取水工程，如丁壩群、低水護岸等，下游曹公堰之影響，活動堰於中低流量下之既有流量率定曲線等，有重新檢討之必要，且為掌握高屏堰上下游之水情資訊，亦應量測武洛溪排水流量資料，以供相關取水設施參考，建立之流量量測資料與機制，作為未來前瞻智慧管理之大數據資料庫。

本計畫目的為在高屏堰前瞻智慧管理與穩定取水兩大推動方向下，進行相關研究探討。針對高屏堰取水設施及武洛溪排水進行流量率定及河床質採樣分析，建立未來長年量測之機制、方法與數據，作為大數據資料庫之基礎。此外，針對歷年穩定流路之工程措施，如左岸丁壩、護岸、導分流工、導流牆及第一號橡皮壩等，以及下游曹公堰之影響，整合所收集之基本資料，配合動床數模分析，提出相關建議。以過去穩定取水改善策略相關之研究成果為基礎，對高屏堰後續之短、中與長期穩定取水策略提出建議。本計畫相關研究成果摘錄說明如下。

### 一、高屏堰取水設施及武洛溪排水流量率定及量測方案評估

針對高屏堰之取水設施，評估相關量測方案，並進行量測，檢討修正現況流量率定曲線，並撰寫程式可供即時計算及開發視窗化使用者介面呈現。因應高屏堰管理中心之需求，本計畫以低流量為主要量測時機，目的為修正並檢討既有流量推估率定曲線。以聲波都卜勒流速儀(ADCP)配合雷達波表面流速儀，於3月～10月間在高屏堰活動堰進行11次、進水口進行12次、放水路進行2次、鋼構便橋進行6次及武洛溪排水無名橋進行9次流量量測，量測時高屏堰之水位範圍自EL.16.0～16.6 m，相關資料彙整如**摘表1**所示，並用以檢核修正既有之率定曲線公式。

活動堰前量測之流量數據，可視為水流通過橡皮壩之實測流量，配合量測時之水位與壩頂高程，計算過壩水深 $h$ ，再藉由實測流量 $Q$ 除以壩長，推算單寬流量 $q$ ，累積各壩之相關實測數據後，將過壩水深 $h$ 與單寬流量 $q$ 進行迴歸 ( $q=C*h^b$ )，可獲得活動堰之修正流量率定曲線。以水位EL.16.4 m為例，既有率定曲線推估活動堰總流量為52.87 cms，採用本計畫實測流量修正率定曲線後，推估流量為57.81 cms。以既有率定曲線推估流量時，因假設堰前水流皆均勻通過橡皮壩，無法顯現活動堰前各壩因側向位置不同之流量不均勻情況，採用本計畫修正之率定曲線推估流量時，則依實測數據之流量分布，調整活動堰前各壩之流量，較符合實際流況。惟本年度流量調查資料組數仍有限，建議後續應持續觀測流量，可再更新各活動堰之率定曲線成果。

## 二、河床質採樣及基本資料補充調查、收集與彙整分析

於研究範圍內挑選10處進行河床質採樣及補充調查，並收集水文、地文、地形等基本資料，彙整相關研究文獻，包括歷年流路變遷分析等。參考水規所96年「河床質調查作業參考手冊」進行採樣，採用體積法，以獲得較詳細之粒徑分布資料，其點位與水規所106年調查位置相同，並與歷年採樣位置相近，以利比較結果。相關成果已回饋至數模之初始條件設定。

歷年里嶺大橋區域 (L71)之採樣位置多位於左岸凸岸之高灘地上，受到不同洪水規模之影響，大洪水時若有漫灘情形產生，退水時較細粒徑之懸浮載將淤積於高灘地上。斜張橋至斷面59區域 (L69 ~ R59)之採樣位置多靠近河道主深槽，粒徑變化易受到河床沖淤影響，當年度若有發生規模較大之洪水，其汛期後粒徑將有粗化情形；反之若深槽淤積，粒徑則有細化情形。大樹凸岸至高屏堰前區域 (R55 ~ R50)之採樣位置多位於淤積砂丘上，其可反映堰前淤積之主要河床質特性，歷年資料多為均勻之砂質粒徑。斷面48至曹公堰區域 (L48 ~ L44)之採樣位置多位於流路變遷之砂丘，受到鐵路橋與曹公堰跨河構造物之影響，本區域水流流速相對較緩慢，河床易淤積，粒徑相對較細。高屏大橋下游區域 (L40或以下)之採樣位置多位於深槽之砂丘，粒徑相對其上游河段為粗。

摘表 1 本計畫高屏堰取水設施及武洛溪排水流量量測結果彙整表

量測日期	流量量測結果					高屏堰公告值			曹公圳	量測結果			備註
	高屏堰				武洛溪排水	實測 水位 (EL.m)	河川 流量 (cms)	自來水公 司抽水量 (cms)	導水路 流量 (cms)	河川流量 (cms) (1)+(2)	取水量 (cms) (2)-(3)	放流量 (cms) (1)+(3)	
	(1) 活動堰	(2) 進水口	(3) 放水路	(4) 上游疏濬工 程鋼構便橋	無名橋								
2018/3/2	10.8	11.7	無放水	18.2	無量測	16.3	22.6	11.9	8.4	22.5	11.7	10.8	1~2 號壩圍堰 3~8 號壩起立
2018/3/8	7.0	11.3	無放水	無量測	無量測	16.4	20.2	10.0	8.4	18.3	11.3	7.0	1~6 號壩圍堰 7~8 號壩起立
2018/3/9	無量測	無量測	無量測	23.6	7.4	16.5	22.7	9.7	8.4	無量測	無量測	無量測	1~6 號壩圍堰 7~8 號壩起立
2018/3/21	1.1	20.2	7.9	20.0	6.9	16.3	17.1	11.4	8.4	21.3	12.3	9.0	1~7 號壩圍堰 8 號壩起立
2018/4/2	0.7	14.8	2.0	12.7	7.4	16.3	15.4	11.8	6.9	15.5	12.8	2.7	1~7 號壩圍堰 8 號壩起立
2018/4/25*	2.1 <sup>註1</sup>	16.5 <sup>註1</sup>	無量測 <sup>註1</sup>	10.1	5.5	16.3	13.0	11.7	9.7	16.5 <sup>註1</sup>	— <sup>註1</sup>	— <sup>註1</sup>	1~7 號壩圍堰 8 號壩起立
2018/5/2	無溢流	13.2	無放水	13.2	6.6	16.0	12.7	12.1	6.9	13.2	13.2	0.0	1~7 號壩圍堰 8 號壩起立
2018/5/14	22.5	14.4	無放水	已拆除	7.6	16.5	59.5	12.3	9.7	36.9	14.4	22.5	1~5 號壩圍堰 6~8 號壩起立
2018/5/21	7.9	14.8	無放水	已拆除	無量測	16.4	29.0	12.2	測站故障	22.7	14.8	7.9	1~5 號壩圍堰 6~8 號壩起立
2018/6/6	21.3	13.9	無放水	已拆除	8.7	16.4	55.5	13.1	測站故障	35.2	13.9	21.3	1 號壩圍堰 2~8 號壩起立
2018/6/12	72.8	14.6	無放水	已拆除	無量測	16.6	67.6	12.5	測站故障	87.4	14.6	72.8	1 號壩圍堰 2~8 號壩起立
2018/6/27*	無量測 <sup>註2</sup>	4.4	無放水	已拆除	13.7	16.5	269.0	5.3	測站故障	— <sup>註2</sup>	4.4	— <sup>註2</sup>	1~7 號壩起立 8 號壩倒伏
2018/9/21*	150.5 <sup>註3</sup>	無量測	無量測	已拆除	22.0	16.4	261.0	4.6	2.6	— <sup>註3</sup>	無量測	— <sup>註3</sup>	1~7 號壩起立 8 號壩倒伏
2018/10/3	134.2	9.2	無放水	已拆除	無量測	16.5	112.0	8.1	3.9	143.4	9.2	134.2	1~8 號壩起立

備註：(1)量測進水口時，南水局為進行八號壩墩座水尺上漆作業，開啟放水路，流量全數進入進水口，使河川水位降低，造成八號壩無溢流，故進水口流量觀測結果即為高屏堰量測河川流量；作業完成後即關閉放水路。(2)9 至 14 時因自來水公司停電檢修，進水口停止取水，且八號壩倒伏後，壩前水流湍急，考量量測人員安全，活動堰部分無進行量測；而 14 時恢復取水。(3)八號壩倒伏後，壩前水流湍急，ADCP 載具難以航行，量測結果約為 1~7 號壩區間流量。

### 三、歷年穩定流路改善措施現況調查與檢討分析

針對歷年流路穩定改善措施，如簡易低水護岸、左岸丁壩、堰前導流牆、第1號橡皮壩，及下游曹公堰之影響，整合所收集之基本資料及研究成果，再藉由數模分析提出相關建議。採用美國國家計算水科學中心之CCHE2D與CCHE3D動床模式，重新檢核相關參數與邊界條件，再進行案例模擬，實測與模擬整體沖淤驗證之比較趨勢良好。

#### (一)堰前導流牆模擬評估檢討

堰前導流牆工程於104年5月完工，長度約50 m，高程與第一階固定堰等高EL.17m。原設計之目的係為了減少1號橡皮壩區域之紊流擾動與沖損，並提升活動堰之流速，惟1號橡皮壩現況已臨時性封堵至EL.16m，其對穩定取水之效益有檢討之必要。

堰前導流牆模擬評估分析中，導流牆前之流場較順直通過1號壩壩軸，無設置導流牆於固定堰與1號壩區域之側向流場較明顯，有產生渦流與紊流擾動之潛勢。整體來說，導流牆完工後，經104~106年颱風期間之現場流況觀察，經歷包括0520豪雨、蘇迪勒颱風、杜鵑颱風、0610豪雨、莫蘭蒂颱風、梅姬颱風、0601豪雨、0613豪雨、尼莎暨海棠颱風等洪峰流量自4,000~20,000 cms之洪水事件，不具有直接危害高屏堰取水之相關影響，且可減少1~2號壩區域之水流沖擊與紊流擾動，建議可維持現狀，視未來1號壩封堵改善策略或活動堰前淤積型態，評估退水時固定堰前流向與河道構造物之存在是否有阻流影響，再進行檢討。

#### (二)活動堰改善模擬評估檢討

第1號橡皮壩受到洪水之水流沖擊與紊流擾動，過去常有損壞情形，洪水過後受到流路變化、底座淤積等影響，起立操作亦常有困難，或呈現不規則倒伏，南水局於102年完成1號橡皮壩臨時混凝土封堵工程。為了增進高屏堰之穩定供水，本計畫探討四種活動堰改善情境，包括1號壩封堵高程為EL.16 m (現況案)、EL.16.7 m (略高於壩墩高程)、EL.17.0 m (固定堰高程)，同時分析無封堵 (倒伏)之情況。由分析結果可知，1號壩封堵高程EL.16.7m者，相對現況案，於2~6號壩區域之流

速有增加趨勢，2號壩中央位置流速可由現況案之0.50 m/s增加至0.85 m/s，約提升70%，如**摘表2**所示。

**摘表 2 1號壩不同封堵高程於流量 500cms 下活動堰流速分布彙整表**

1號壩封堵 高程	活動堰中央位置流速 (m/s)							
	8號壩	7號壩	6號壩	5號壩	4號壩	3號壩	2號壩	1號壩
EL.16.0m	0.94	0.87	0.76	0.71	0.67	0.61	0.50	0.38
EL.16.7m	1.10	0.85	1.10	1.06	1.01	0.93	0.85	—

受到1號壩封堵導引水流之效果，2號壩活動堰底座之淤積，於越靠近1號壩區域之淤積深度越小。當1號壩封堵至EL.16.7 m，有助於減少洪水過後2號壩底座之淤積，於靠近左側壩墩邊界處之淤積深度，淤積深度最大可減少約0.13 m。整體來說，考慮較高之封堵高程其效果較佳，並避免水流因高差產生跌水影響構造物，建議1號壩可進行封堵至EL.16.7 m，可增加活動堰整體之排砂效益，並對2～8號橡皮壩於退水後之起立操作有明顯改善。

### (三)左岸簡易低水護岸修復工程模擬評估檢討

高屏堰上游之左岸簡易低水護岸自99年7月完工起，100年及101年高屏堰上游灘前導流加強工程，歷經近年之洪水驗證，該段固灘導流成效顯著並無太大變異，有效將主流導向右岸。100年至104年汛期前所佈設各項PC樁丁壩及導挑流工初期皆能發揮固床效果，惟上游簡易低水護岸自101年起開始局部破損，中低水流路向左切入至左岸低水護岸堤首工附近，再沿低水護岸與690 m簡易護岸之間向下游，此偏左流路易造成下游PC樁丁壩及導挑流工之壩根損壞及局部沉陷，固床養灘效果逐漸弱化。此外，堤首固床工至6號丁壩區域，亦常有災損情形發生，於100年3月、102年3月與104年6月等皆曾進行修復加固工程。

本計畫以數模工具，評估檢討左岸簡易低水護岸前設置砂腸袋之效益。比較各位置之最大沖刷深度，如**摘表3**所示，模擬結果顯示新設砂

腸袋起點有0.12 ~ 0.33 m之局部沖刷深度，將砂腸袋延長後，可保護既有左岸低水護岸，於規模較小之杜鵑颱風事件因洪水無漫流，於左岸低水護岸前無沖刷產生，惟砂腸袋延長段前最大有1.68 m之局部沖刷。整體來說，砂腸袋保護工延長至6號丁壩後，於低流量下可有效減少水流逼向左岸低水護岸，減少沖刷潛勢。惟砂腸袋屬柔性導流工法，現況延長之規劃走向為順直布置，建議可檢討左岸護岸之理想線型，讓布置走向依循水流蜿蜒自然流線，可更發揮其導流成效。本河段受到水流沖擊效應明顯，原高流速與沖刷位置集中於6號丁壩迎水面區域，規劃延伸之砂腸袋前有局部沖刷溝產生，應可減少6號丁壩迎水面區域之沖刷，惟砂腸袋屬消耗材料工法，沉陷或沖損無法避免，若後續考慮此方案，應加以注意維護管理，以常保砂腸袋之穩定性與功能性。

**摘表 3 左岸簡易低水護岸修復工程模擬最大沖刷深度彙整表**

最大沖刷深度(m)	杜鵑颱風		梅姬颱風	
	零方案	砂腸袋延長案	零方案	砂腸袋延長案
A.新設砂腸袋起點	0.12	0.12	0.33	0.33
B.砂腸袋延長段	0.34	0.40	1.58	1.68
C.6號丁壩迎水面	0.34	0.22	0.95	0.88
D.既有低水護岸前	0.16	0.00	0.71	0.70

#### (四)曹公堰之影響與可能改善措施評估檢討

高屏堰活動堰底座高程EL.13.5 m、下游之鐵路橋橋墩基礎高程EL.15.0 m、固床工高程EL.14.0 m，曹公堰實測堰頂高約EL.13.3 m，造成高屏堰下游段迴水影響，形成低流速區域，上游來砂容易於此處停滯造成淤積，影響高屏堰之排砂操作。曹公堰於100年7月有破損缺口（寬約143 m、深約2.3 m），根據歷年實測大斷面資料，曹公堰破損後，其上游約200 m之斷面43深槽底床有沖刷情形，至102年3月沖刷至最低，破損前後深槽沖刷高程差最大約為1.93 m，至高屏堰上游之斷面50亦有同樣之沖刷趨勢，破損缺口修復後，上游河段至105年底床有逐漸回淤情形。由此一底床變化趨勢觀察，曹公堰之高程降低，上游河段之流速與



排砂能力將有提升效果。

曹公堰之影響與可能改善措施評估中，根據過去曹公堰之破損位置，設計三組缺口寬150 ~ 340 m、深為2.5 m之斷面。曹公堰局部降挖後，高屏堰至鐵路橋河段之流速有增加情形，在經歷一場規模較大之梅姬颱風後，曹公堰上游之溯源沖刷效果更為明顯，有助於提升上游河段深槽之流速與排砂能力。於斷面48右岸深槽，模擬梅姬颱風過後當深槽沖刷形成，退水段之流速差異最大可達2 m/s。活動堰之淤積深度方面，考慮曹公堰局部降挖後，模擬梅姬颱風過後最大可減少約0.59 m之淤積深度，有助於改善現況洪水過後橡皮壩之操作，模擬結果如**摘表4**所示。

**摘表 4 零方案與曹公堰局部降挖方案模擬流速與淤積深度比較表**

	杜鵑颱風		梅姬颱風	
	現況 零方案	曹公堰局部 降挖方案	現況 零方案	曹公堰局部 降挖方案
斷面49右岸深槽洪峰流速(m/s)	2.44	2.60	2.98	3.00
斷面49右岸深槽退水流速(m/s)	1.01	1.02	1.01	1.22
斷面48右岸深槽洪峰流速(m/s)	2.69	2.81	3.13	3.16
斷面48右岸深槽退水流速(m/s)	0.71	1.03	0.84	2.84
活動堰最大淤積深度(m)	1.95	1.93	2.89	2.30

本計畫以數模工具針對曹公堰局部降挖策略之可行性進行初步探討，已獲得正面趨勢之效益成果，惟曹公堰局部降挖策略，仍須仰賴於高屏堰上游之取水流路穩定，始能發揮其提昇穩定取水效益。針對曹公堰局部降挖對高屏堰穩定取水效益之改善策略，本計畫建議可進行以下研究探討，以利後續相關工作之推動。

1. 分析曹公堰不同局部降挖程度對整體上下游河道流速、沖淤之影響與效益，探討重點包括：

- 高屏堰上游河段之取水流路影響
  - 高屏堰活動堰之流速與淤積改善效果（包括退水後低流量下，對高屏堰橡皮壩起立操作之影響與效益）
  - 鐵路橋固床工之控制效應影響程度
  - 曹公堰局部溯源沖刷範圍及流路變化影響
  - 下游高屏大橋河段之影響
2. 分析探討相關因應策略，重點包括：
- 鐵路橋固床工與橋墩之影響及因應策略
  - 曹公堰改善為活動堰後之相關操作策略
3. 進行曹公堰改善為活動堰之工程執行規劃，重點包括：
- 曹公堰局部降挖規模最佳方案之研擬
  - 經濟效益分析
  - 施工過程與配套取水規劃
  - 整體環境營造之綠美化規劃

#### 四、高屏堰前瞻穩定取水策略研擬

高屏堰前瞻智慧管理之願景藍圖，係讓高屏堰水資源管理者可藉由相關數據之即時監測，整合智慧預警系統，於洪水期間依不同階段需求即時回報相關數據，作為決策與管理之依據。本計畫在過去高屏堰整體改善策略之基礎下，藉由基本資料之收集與分析，整合動床數模之分析結果，因應高屏堰於枯水期與洪水退水期間之穩定取水作業，研擬可再提升穩定取水之可行策略與建議，包括基本資料之調查、長期流量量測機制之建立與建議、動態監測技術發展、即時監測平台建置、智慧管理系統建置、智慧預警系統建置、河床泥砂量探討與疏濬量評估建議、堰址上游左岸之相關工程設施改善建議、活動堰之改善建議、曹公堰之改善建議等，相關策略短期、中期與長期之執行期程規劃如**摘表5**所示。

摘表 5 高屏堰前瞻穩定取水策略執行期程規劃表

策略與內容	短期 (1~2年)	中期 (2~5年)	長期 (5~10年)
<b>(一)基本資料之調查</b>			
a.河床質粒徑	●	●	●
b.斷面地形 (傳統量測、ADCP、UAV技術)	●	●	●
c.泥砂濃度觀測 (傳統觀測)	●	●	●
d.水位觀測	●	●	●
e.流量觀測 (ADCP)	●	●	●
<b>(二)動態監測技術發展</b>			
a.構造物局部沖刷即時監測系統		●	●
b.時域反射TDR技術研發與應用		●	●
c.震波式土砂觀測研發與應用		●	●
<b>(三)即時監測平台建置</b>			
a.物聯網即時資訊展示系統		●	●
<b>(四)智慧管理系統建置</b>			
a.大數據庫資料		●	●
b.人工智慧深度學習模式		●	●
<b>(五)智慧預警系統建置</b>			
a.防災與水資源之相關應變	●	●	
b.建立相關預警機制指標	●	●	
<b>(六)河床泥砂量探討與疏濬量評估</b>			
a.集水區與河道泥砂量探討	●		
b.河道疏濬潛能探討	●	●	●
<b>(七)堰址上游左岸之相關工程設施改善</b>			
a.砂腸袋延長至6號丁壩	●		
<b>(八)活動堰之改善</b>			
a.1號壩封堵至EL.16.7 m	●		
b.導流牆檢討		●	●
<b>(九)曹公堰之改善</b>			
a.分析曹公堰不同局部降挖程度對整體上下游河道流速、沖淤之影響與效益	●	●	
b.分析探討相關因應策略		●	●
c.進行曹公堰改善為活動堰之工程執行規劃		●	●

關鍵字：高屏溪攔河堰、流量率定、聲波都卜勒流速儀、河床質採樣、穩定取水策略方案、動床模式、曹公堰

# ABSTRACT

After typhoon Morakot, there are significant morphological changes associated with the channel deposition and highly sediment concentration in Kaoping River. To ensure the stable water supply of Kaoping Weir, Southern Region Water Resources Office, WRA proposed four major strategies in 2012, e.g., stabilizing the flow path of water intake facility, improving the weir operation, enhancing the level of flood prevention, and developing the alternate sources of water supply.

In these strategies, most of the short-term countermeasures have been performed, including dredging the channel, setting up the diversion dike of Kaoping Weir, building the embankment in the reach of Tashu, and building the hyporheic flow intake facility, etc. However, due to the effects of typhoon Morakot, the existed water intake facility discharge rating curve of Kaoping Weir should be discussed and modified. The basic data and bed material should be continuously collected. In addition, for improving the stable water supply of Kaoping Weir, it is also needed to investigate the effects about modifying the 1<sup>st</sup> rubber weir, repairing the left bank protection works, and reducing the height of Tsaogung Weir.

According to the forward-looking smart water management and the stable water supply strategies of Kaoping Weir, the purpose of this study is to establish an advanced methodology for measuring the discharge of Kaoping Weir in a long-term. By using the acoustic Doppler current profiler, ADCP, the flow discharge of water intake and rubber weir of Kaoping Weir are collected. The data could be used for the regression and modification of existed discharge rating curve. The CCHE2D and CCHE3D mobile-bed models are selected to simulate the stable water supply strategy cases in the study reach, e.g., effects of division dike of Kaoping Weir, heightening the base of 1<sup>st</sup> rubber weir, repairing and modifying the left bank protection works, and reducing the height of Tsaogung Weir.

From the investigation and simulated results, it shows that the existed division dike of Kaoping Weir could reduce the flow velocity near the 1<sup>st</sup> rubber weir, and there are no affects for the water intake. Heightening the base of 1<sup>st</sup> rubber weir will increase the flow velocity and decrease the deposition near the 2<sup>nd</sup> rubber weir, which is helpful for the operation of rubber weir after typhoon floods. Repairing and modifying the left bank protection works associated with the geotextile tube shows the well-benefits of protecting the left bank during the floods. Reducing the height of Tsaogung Weir in local region will increase the flow velocity in the upstream reach, then decrease the deposition near the Kaoping Weir. Finally, according to the study results in this year, the strategies of short-term, mid-term and long-term for forward-looking smart water management and stable water supply of Kaoping Weir are proposed and suggested.

**Keywords:** Kaoping Weir, discharge rating curve, ADCP, bed material sampling, stable water supply, mobile-bed model, Tsaokung Weir

## 結論與建議

本計畫針對高屏堰取水設施及武洛溪排水進行流量觀測，檢討既有率定曲線，建立未來長年量測之機制、方法與數據，進行研究河段之河床質採樣分析與比較，作為未來智慧管理大數據資料庫之基礎。此外，針對歷年穩定流路之工程措施，包括簡易低水護岸、左岸丁壩、堰前導流牆、第1號橡皮壩，及下游曹公堰之影響，整合所收集之基本資料及研究成果，再藉由數模分析提出相關建議。綜整過去穩定取水改善策略相關之研究成果，研擬高屏堰後續短、中與長期之前瞻智慧管理與穩定取水策略，獲得結論與建議如下。

### (一)結論

1. 以聲波都卜勒流速儀 (ADCP)，於3月～10月間在高屏堰活動堰進行11次、進水口進行12次、放水路進行2次、鋼構便橋進行6次及武洛溪排水無名橋進行9次流量量測，量測時高屏堰之水位範圍自EL.16.0～16.6 m，相關資料用以檢核修正既有之率定曲線公式。
2. 將活動堰前水流通過橡皮壩之實測流量，加上進水口進流量，視為河川流量。配合量測時之水位與壩頂高程，迴歸獲得活動堰之修正流量率定曲線。既有率定曲線因假設堰前水流皆均勻通過橡皮壩，無法顯現活動堰前各壩因側向位置不同之流量不均勻情況，採用本計畫修正之率定曲線，則依實測數據之流量分布，調整活動堰前各壩之流量，較符合實際流況。
3. 於研究範圍內挑選10處位置進行河床質採樣，採樣位置與過去相近。本年度採樣結果，高屏溪自里嶺大橋至高屏大橋河段，粒徑以砂質為主，整體 $D_{50}$ 約介於0.1 mm～0.5 mm，粒徑分布均勻。
4. 採用CCHE2D與CCHE3D動床模式，重新檢核相關參數與邊界條件，再進行案例模擬。驗證案例中，荖濃溪匯流段至斜張橋深槽，實測與模擬底床皆有沖刷趨勢；進入大樹凸岸段於凸岸

前有淤積、左岸深槽有沖刷；於高屏堰上下游區域，進水口前與活動堰底床有淤積、活動堰下游有沖刷區塊，實測與模擬整體沖淤驗證之比較趨勢良好。

5. 堰前導流牆之模擬評估中，無設置導流牆於固定堰與1號壩區域之側向流場較明顯，有產生渦流與紊流擾動之潛勢，設置後流場較順直通過1號壩壩軸。整體來說，現況導流牆因規模與尺度較小，不具有直接危害高屏堰取水之相關影響，且可減少1~2號壩區域之水流沖擊與紊流擾動，建議可維持現狀，視未來1號壩封堵策略或活動堰前淤積型態，評估退水時固定堰前流向與導流牆之存在是否有阻流影響，再進行檢討。
6. 第1號橡皮壩受到洪水之水流沖擊與紊流擾動，過去常有損壞情形，洪水過後受到流路變化、底座淤積等影響，起立操作常有困難，南水局於102年完成1號橡皮壩臨時封堵工程。為了增進高屏堰之穩定供水，本計畫活動堰改善之模擬評估中，探討四種包括1號壩封堵高程為EL.16 m (現況案)、EL.16.7 m (略高於壩墩高程)、EL.17.0 m (固定堰高程)，同時分析無封堵 (倒伏) 之情況。1號壩封堵高程EL.16.7m者，相對現況案，於2~6號壩區域之流速有增加趨勢，2號壩中央位置流速可由現況案之0.50 m/s增加至0.85 m/s，約提升70%。
7. 1號壩封堵後，2號壩底座之淤積，於越靠近1號壩區域之淤積深度越小，當1號壩封堵至EL.16.7 m，淤積深度最大可減少約0.13 m。整體來說，考慮較高之封堵高程其效果較佳，為避免水流因高差產生跌水影響構造物，建議1號壩可進行封堵至EL.16.7 m，可增加活動堰整體之排砂效益，並對2~8號橡皮壩於退水後之起立操作有明顯改善。
8. 比較簡易低水護岸修復工程各位置之最大沖刷深度，模擬顯示新設砂腸袋起點有0.12~0.33 m之局部沖刷深度，將砂腸袋延長後，可保護既有左岸低水護岸，於杜鵑颱風因洪水無漫流，低水護岸前無沖刷，惟砂腸袋延長段前有1.68 m之局部沖刷。砂

腸袋延長後，於低流量下可有效減少水流逼向左岸低水護岸及沖刷。惟本河段受到水流沖擊效應明顯，原高流速與沖刷位置集中於6號丁壩迎水面區域，規劃延伸之砂腸袋前有局部沖刷溝產生，應可減少6號丁壩區域之沖刷，惟砂腸袋屬消耗材料工法，沉陷或沖損無法避免，若後續考慮此方案，應加以注意維護管理，以常保砂腸袋之穩定性與功能性。

9. 曹公堰之可能改善措施評估中，根據過去曹公堰之破損位置，設計三組缺口寬150~340 m、深為2.5 m之斷面。曹公堰局部降挖後，高屏堰至鐵路橋河段之流速有增加情形，在經歷一場規模較大之梅姬颱風後，上游之溯源沖刷效果更為明顯，有助於提升上游河段深槽之流速與排砂能力。於斷面48右岸深槽，模擬梅姬颱風過後當深槽沖刷形成，退水段之流速差異最大可達2 m/s。活動堰之淤積深度在考慮曹公堰局部降挖後，模擬梅姬颱風過後最大可減少約0.59 m之淤積深度，有助於改善退水時橡皮壩之操作。
10. 根據歷年實測大斷面資料，100年7月因曹公堰有破損缺口，其上游約200 m之斷面43深槽底床有沖刷情形，至102年3月沖刷至最低，鐵路橋上游之斷面45、高屏堰上游之斷面50亦有相同沖刷趨勢。曹公堰破損缺口修復後，上游段105年底床有逐漸回淤情形。由此一實測底床變化趨勢觀察，曹公堰局部降挖後，上游河段之流速與排砂能力將有提升效果。
11. 高屏堰前瞻智慧管理策略之願景藍圖，應包括動態監測技術發展、即時監測平台建置、智慧管理系統建置、智慧預警系統建置等智慧管理策略等。在過去高屏堰整體改善策略之基礎下，本計畫藉由基本資料之收集與分析，整合動床數模之分析結果，研擬可再提升穩定取水之可行策略與建議，包括長期流量量測機制之建立與建議、河床泥砂量探討與疏濬量評估建議、堰址上游左岸之相關工程設施改善建議、活動堰之改善建議、曹公堰之改善建議等。



## (二)建議

1. 關於高屏堰之流量觀測與率定曲線修正，本年度流量調查資料組數仍有限，建議後續應持續觀測流量，可再更新各活動堰之率定曲線成果。本計畫提出以下長期流量觀測機制之規劃與建議，作為後續辦理之參考。
  - a. 每年汛期前，以ADCP儀器量測高屏堰管理範圍之地形，以瞭解堰前底床之相關高程、活動堰壩底高程、壩高等。
  - b. 以ADCP儀器量測數組不同水位下，進水口與放水路之流量，配合自來水公司之實測抽水量，用以驗證流量量測數據，並瞭解其誤差範圍。
  - c. 於洪水事件前後，在儀器之適用條件下，以ADCP儀器量測活動堰前之流量，考慮不同水位與活動堰操作情境，配合橡皮壩起立高程與過壩水深之量測，累積相關數據，進行流量率定曲線之迴歸與修正。
  - d. 以ADCP儀器配合手持式雷達波表面流速儀，同步於活動堰進行流速與水深量測，建立水深-流速比關係。其流速比係為水深平均流速與表面流速之比值，完成該關係圖之建立，後續僅需量測活動堰表面流速，即可推估水深平均流速，進而可推估單寬流量。
  - e. 比對ADCP儀器量測之斷面流量，與手持式雷達波表面流速儀之推估流量，建立其關係式。
  - f. 針對高屏堰漲水、退水與下游迴水等影響因素，區分不同情境條件之觀測數據，進行流量率定曲線之建立與修正。
2. 本計畫採用七河局104年9月之實測地形資料作為數模分析之初始地形，其水平方向之解析度僅約10 m，表示河床每間隔10 m僅有一筆地形高程資料，對於模擬高屏堰上游簡易低水護岸入口段、左岸低水護岸、6號丁壩、砂腸袋、活動堰壩墩等較局部區域之流場與沖淤行為，因初始地形之解析度已不足以反映實測地形，皆為模式誤差來源，建議後續應定期辦理高精度之地

形資料測量，利用較經濟有效率之UAV空拍技術，配合ADCP等儀器，掌握洪水過後之地貌變遷過程，以利進行相關穩定流路改善措施之評估檢討。

3. 高屏堰上游左岸護岸、丁壩或導流工等設施，主要目的多為退水段之低流量導流作用，過去因缺乏堰區整體較詳細之地形高程資料，相關設施之設計高程與洪水流量、水位之變化關係等，建議可持續研究。此外，相關構造物之存在，對水流具有能量削減與導流效果，勢必影響或降低高屏堰前之排砂能量，建議後續可根據河相特性與構造物布置之關係進行研究，朝流路線型最佳化之規劃方向。
4. 本計畫以數模工具針對曹公堰局部降挖策略之可行性進行初步探討，已獲得正面趨勢之效益成果，惟曹公堰局部降挖策略，仍須仰賴於高屏堰上游之取水流路穩定，始能發揮其提昇穩定取水效益。針對曹公堰局部降挖對高屏堰穩定取水效益之改善策略，本計畫建議可進行以下研究探討，包括：分析曹公堰不同降挖與拓寬程度對整體上下游河道流速、沖淤之影響與效益；探討相關因應策略；進行曹公堰改善為活動堰之工程執行規劃等，以利後續相關工作之推動。
5. 本計畫研究範圍雖過去已有相當多之基本資料，惟相關策略之分析與探討皆須仰賴完整之基本資料，根據本計畫之執行成果，提出以下資料收集與研究之建議。
  - a. 高屏堰上游左岸護岸、丁壩或導流工等設施，歷年常有損壞情形。惟洪水過程之實際底床沖刷深度，目前尚無相關實測資料可用以分析探討。建議可針對相關構造物設施，如6號丁壩、砂腸袋、導流工等，以動態監測技術（如無線追蹤粒子、TDR等）進行監測，可獲得洪水過程中之沖刷歷程，作為後續相關工程設施維護與修復之參考，亦可作為三維動床數模檢核與驗證之數據。
  - b. 莫拉克颱風過後，高屏堰河段之懸浮載濃度有明顯增加趨

勢。目前研究範圍之實測泥砂濃度資料，僅相關前期研究計畫因應數模需求曾進行之，缺乏長期觀測機制。建議研究範圍上游里嶺大橋之輸砂量資料可持續採樣調查，包括懸浮載與沖洗載等，以瞭解其變化趨勢，作為後續河道變遷探討與相關研究分析之基本參考資料。

6. 根據本計畫之研究成果，提出高屏堰近期可優先實施之措施建議，包括：基本資料持續調查（河床質粒徑、斷面地形（傳統量測、ADCP、UAV技術）、泥砂濃度觀測、流量觀測）；河床泥砂量探討與疏濬量評估；堰址上游左岸之相關工程設施改善（砂腸袋延長布置）；1號壩封堵至EL.16.7 m；曹公堰局部降挖策略可行性探討（分析曹公堰不同局部降挖程度對整體上下游河道流速、沖淤之影響與效益）。