

四川綦江羊蹄洞滾水壩模型試驗

報告書

中央水利實驗處
民國二十九年六月編

四川碁法羊蹄峒滾水壩模型

試驗報告書

目錄

一	導言
二	試驗之目的
三	試驗之資料
四	模型之製造法
五	試驗之方法
六	試驗之結果
七	結論

附圖目錄

第一圖	碁法蓋石峒至羊蹄峒段縱断面圖
第二圖	羊蹄峒滾水壩模型試驗圖
第三圖	羊蹄峒滾水壩流量係數曲線圖
第四圖	羊蹄峒滾水壩地下水滲透簡圖

四川蒸江羊蹄峒滾水壩模型試驗

報告書

一 導言

羊蹄峒為蒸江險峽之一。峒中河底陡峻，大石羅列，水流湍急，船隻不通。為解決航運計，導淮委員會計劃于峒之下游築一滾水壩以抬高水位，壩旁建一船閘，以通舟楫，若遇洪水閘牆淹沒，則航運暫停。滾水壩類似印度鋪石式 (Indian pave Stone type)。壩長七十二公尺，壩頂高出河床六公尺，用水泥沙漿砌橫隔牆四道，縱隔牆二道。于縱橫隔牆之內，堆砌亂石，面積三十公分見方六十公分長之大條石，條石長度與壩面垂直，藉以抵抗水流之沖刷。民國二十八年十二月，本處受導淮委員會之委託，奉命蒸江羊蹄峒滾水壩模型試驗。二十九年一月開始試驗，至二月底完成，歷時二閱月。

二 試驗之目的

本試驗之目的在解決以下列四項問題：

1. 滾水壩之流量係數。

2. 堤面水流對於堤面砌石冲激之影响。
3. 堤下游之冲刷及護坦長度厚度之研究。
4. 堤底滲水情形及其影响。

三、水文資料

蓋江羊蹄峒附近之水文資料，甚為缺乏，尚無實測之流量水位曲線，以為試驗之根據。查滾水堤之流量係數（潛沉），堤面水流冲激強度，及堤脚水流冲刷情形，其下游水位高度最有關係。今既缺乏實測資料，故利用下游河床之平均坡度，平均断面，及假設之粗糙率，加以計算。

1. 平均坡度 觀察峒下游自114公里至124公里一段之坡度較為平整，可視為平均坡度。按照河床縱断面圖，該段之坡度約為 $9\frac{1}{10,000}$ （參閱蓋石峒至羊蹄峒段縱断面圖）。

2. 平均橫断面 自114公里至124公里之間，將各橫断面求一平均橫断面。

3. 流速及粗糙率 依據 Forchheimer 公式 $(V = \frac{R^{0.2}}{n} \sqrt{RS})$ 設 $n = 0.5$ 可計算平均断面之流量與水位曲線。再根據河床平均坡度計算114公里處水位與流量關係。

上述計算，須假河道為平均恒流 (Uniform Steady flow)，故僅可視為約數，按計算值所得之流量，較試驗說明書所列之 Creager 公式流量為大。舉行冲刷試驗時，乃以計算值中之最大流量 $Q = 4500 \text{ m}^3/\text{sec}$ 為根據。

四、模型之製造

本試驗之目的，主要係研究堰面水流，對砂石之影響，故設計模型時對比例尺儘量加大，免受表面張力之影響。為適合本處水文試驗室之水量起見，乃採用斷面模型 (Sectional model) 其長度比例為 1:25，模型濶為二十公分，相當於原型五分尺。長度為五公尺，合原型二一·二五公尺。堰之中線至上游進水口長二·六公尺，合原型六五·〇公尺。中線至下游出水口長五·九公尺，合原型一四七·五公尺。其最大流量為四七·〇五〇公方公尺，相當於原型四三〇〇公方公尺。

為觀察堰底滲透情形另製玻璃模型，其比例尺為 1:50。

滾水壩隔牆用木製，釘於木槽內。隔牆內填一公分直徑之碎石子，上鋪小白沙石，其直徑約為二公厘，然後鋪小條石于壩面。小條石條浮灰漿澆成，計分三種：(一) 1.1x1.1x2.2 公分 (合原型 27.5x27.5x55.0 公分) (二) 1.2x1.2x2.4 公分 (合原型 30x30x60 公分) (三) 1.3x1.3x2.6

公分(合原型 325×325×65 公分)鋪砌^特混合各種小條石，鋪于壩面，不使靠緊，石塊間之平均空隙約為半公厘，如此建築，除隔牆外，壩內各處均可滴水。

三、試驗之方法

1. 冲激試驗 若有實測流量與水位曲線，則舉行試驗時，放水入模型，利用尾門(End-gate)定其正常水位。俟流動平衡後，觀察壩面之水流情形，即可推諸原型。惟羊蹄洞缺乏實測流量曲線，而計算之流量曲線與實測值，自有差誤。故試驗方法亦畧有差異。茲先將流量 Q 放入模型。利用尾門，抬高下游水位。然後逐漸降低，使壩之下游流速增加，直至壩面冲毀為止。同時測定其冲毀時之水位，觀察其冲毀之現象，並記錄其冲毀之位置。

2. 流量係數 羊蹄洞滾水壩之壩基為滲漏地層。地下水之滲漏對於流量係數，亦有影響。滲漏因實際工作情形而異，頗難精確決定其值。故舉行此項試驗時，係將壩底杜塞，然後放水入槽，按公式 $Q = \mu \left(\frac{g}{2}\right)^{1/5} \sqrt{8} H^{1/5} B$ 計算 μ 值。 H 之值係由0至1.5公尺(即由壩頂高起至壩2.50為止)，水流為完全滾流。本試驗在水槽模型及玻璃模型同時舉行。所得結果，均在試驗精確度以內，堪稱完全符合。

3. 下游冲刷 換天然河床係礫石積成。試驗時為求安全起見，以河沙代之。河床之臨界冲刷速度約為每秒三十公分，合原型每秒一五公尺，試驗時放流量 Q 流入水槽，同時將尾門提高，使成浸流 (Submerged flow)。然後將尾門逐漸移動，至正常水位為止。隨即開始試驗，察其刷深情形，直至刷深達到平衡狀態為止。

4. 壩底滲漏 壩底滲漏試驗係在玻璃槽中舉行。比例為1:50。模型之隔牆間，填小白石子，上砌條石。于壩之上游各處注入顏色溶液，察其流動，而知其滲漏路線。當水躍 (Hydraulic jump) 發生之時，則由上下游同時注入顏色溶液，觀察其滲漏之總滲流點。

六. 試驗之結果

1. 壩面冲刷試驗 當流量為每秒2200立方公尺以下時，在各種下游水深，壩面均未被冲毀。當流量超過每秒2200立方公尺時，壩面之冲毀均在壩之末段。該處固發生水躍，水面上並有極強之迴流 (Surface roller)。水流自壩頂下注，流速逐漸增加，至水躍前而達最大值。壩面鋪石，高低頗不平整。突出壩面之石塊後面，恒發生負壓，水躍前部之水面高度，低於上下游之水面高度。故地下水自水躍之上下

游，向水躍前部之石縫外流。同時因突出壩面石塊所生之負壓，增加地下水之流動速度。至石塊下面之細石子，隨地下水自石縫上湧，石塊隨即下陷。石塊下陷後，水流沿空隙而沖洗條石下填鋪之小石子。於是壩面被沖毀。當流量為每秒 4500, 3120, 2200 立方公尺時，其正常下游水深應為 15.50, 13.00, 11.00 公尺(計算值)。而壩身末段沖毀時之下游水深為 7.45, 6.70, 5.50 公尺(參閱羊蹄壩模型試驗圖)。較計算值之正常水位低 8.05, 6.30, 5.50 公尺，滾水壩下游之實際水深，與計算值自有出入。尤以山洪暴發之時，下游水位必低於正常水位。設在各種情形下，實際水深均超過沖毀壩面時之水深，則壩面鋪石不致有被沖毀之虞。壩面之沖刷與鋪石鬆緊最有關係。試驗時鋪砌條石，其距離均為半公厘，合原型 1.25 公分。試驗時曾將條石鋪緊，使其互相脗合。則經過各種水位及流量，均未被沖毀。

2. 流量係數 根據測驗結果，繪製流量係數與水頭關係圖。(參閱羊蹄壩滾水壩流量係數曲線圖) 當模型水頭小於 2.0 公分時(合原型 0.50 公尺)，因水面張力影響，減少流量係數，不能引伸於原型，故未列入。

3. 壩底滲漏 當壩之上游蓄水，下游乾涸無水時，地下水之滲漏，大部份由壩之上游經隔牆底自

堤脚外滲；小部份自隔牆間向堤面滲漏。當堤面淺水發生水躍時，水躍前之水位高度較上游及水躍後之高度為低。地下水之滲漏，上游一段大部份經隔牆底向水躍前上滲；小部份由隔牆間向上滲漏。水躍後，一部份則反向上游水躍前滲漏（關羊蹄峒滾水堤地下水滲透簡圖）。

4. 堤底冲刷 據各次試驗之結果，在正常水位之各種流量下，因下游有充分水深，故無顯著冲刷發生。

七、結 論

1. 根據試驗結果，設滾水堤下游之實際水位，與計算之正常水位相符；或實際水位不至低於冲壞堤面之水位，則堤面鋪石，並無冲毀之危險。為防止洪水驟漲，下游水位較低時可能發生之危險起見，則接近堤脚一段堤面石條之鋪砌，似應特別注意。同時堤脚河床亦可酌予鋪石，根據試驗觀察，直砌條石似較橫鋪二層者更能抵抗冲刷。

2. 堤面砌石之冲毀，大部由於堤面下之地下水被碎石片上湧以致條石下陷。故鋪砌堤面時，似應用較大石塊填脚。所用碎石尺寸，應大於石縫，勿使湧出。

3. 為減少滲漏起見，似可由第一道橫隔牆起
(填中線)在河床上向上游添鋪黏土層。