

四川綦江石溪口花石子滾水壩
船閘模型試驗報告書

中央水利實驗處

民國三十年六月編

四川綦江石溪口花石子滾水壩
船閘模型試驗報告書

一、	引言
二、	試驗之資料
三、	試驗之範圍
四、	模型之設計及水位之計算
五、	試驗之經過及其結果
甲、	石溪口滾水壩模型試驗
乙、	花石子滾水壩模型試驗
丙、	石溪口船閘全型模型試驗
六、	結論

附圖目錄

- $\frac{M22a}{1}$ 石溪口重力堰水面曲線及堰面壓力分佈圖
- $\frac{M22a}{2}$ 石溪口重力堰下游水位與堰面壓力關係曲線圖
- $\frac{M22a}{3}$ 石溪口重力堰堰下水流情形及堰面壓力分佈圖
- $\frac{M22b}{1}$ 花石子下游水位流量曲線圖
- $\frac{M22b}{2}$ 花石子重力堰堰下水流情形圖
- $\frac{M22b}{3}$ 花石子重力堰堰下沖刷情形圖
- $\frac{M22b}{4}$ 花石子重力堰上游水位與堰面最小壓力關係曲線圖
- $\frac{M23}{1}$ 石溪口船閘滾水堰模型試驗圖
- $\frac{M23}{2}$ 石溪口下游水位流量曲線圖

四川綦江石溪口花石子滾水壩

船閘模型試驗報告書

一、 引言

綦江源出貴州之桐梓縣，北行經松坎鎮，入四川省境，名松坎河，後北行，至綦江縣屬之綦水鎮。羊渡梁渡二河分自左方來匯；水源漸廣，始名綦江，自綦水而北行，經羊蹄峒及蓋石峒兩險灘，達三溪場。蒲河自右來匯，更自三溪西北行，經石溪口花石子兩險灘，抵江津縣之順江場，注入楊子江，共計全長一百三十餘公里。

綦江兩岸，山嶺連綿，河道為群山所束，蜿蜒曲折；河底則傾斜峻陡，險灘叢多，航行艱困。軍民委員會為應航運之需要，先後于羊蹄蓋石兩峒，興建船閘，以為通航之用，復對石溪口花石子兩處建築滾水壩，以調整水深，并于每座滾水壩之旁，設船閘一座。以利航運，洪水時期任其漫溢，暫停通航。

本處于民國卅一年一月受導航委員會之委託，舉辦綦江石溪口花石子滾水壩船閘模型試驗。二月開始試驗，至同年五月中旬結束。

二、 試驗之資料

試驗之資料係根據委託機關所送之基隆石溪口與花石子兩處船閘及滾水堰佈置圖及試驗說明書。茲摘要列表如下：

- 甲. 基隆最大洪水量為四五〇〇秒公方。
- 乙. 石溪口滾水堰堰高為五·三公尺。
- 丙. 石溪口船閘閘廂淨長六〇公尺，淨寬十二公尺；其升降高度為五公尺。
- 丁. 花石子滾水堰堰高為六公尺。
- 戊. 花石子船閘尺寸及升降高度與石溪口船閘同。

三. 試驗範圍

本試驗項探討之問題如下：

- (一) 堰面壓力之分佈，
- (二) 堰下水壩之位置，
- (三) 堰下冲刷之深度，
- (四) 堰之上下游水位關係。

四. 模型之設計及水位之計算

(甲) 模型之設計

為解決上項問題，製造下列三種模型，茲將：

試驗分別研究之。

(一) 石溪口滾水壩模型：石溪口滾水壩之断面曲率 (Curvature) 較大，其負壓因亦較大，故錄取石溪口滾水壩之断面，製造模型，以便測定壩面壓力之分佈。至於花石子滾水壩壩面壓力之分佈，則根據石溪口試驗結果推算之，模型之長度比例率，定為一比三〇。又以原設計曲線部份之坡度，未能與切線坡度相合，製造模型時，皆改為五十一度二十分二十五秒。

(二) 花石子滾水壩模型：花石子滾水壩之下游正常水位較低，其平均流速亦較大，故製造花石子滾水壩之模型，以觀測水流及冲刷情形，模型之長度比例率，定為一比五〇。

(三) 石溪口船閘滾水壩全型模型：此項全型模型，用以觀測閘壩上下游之水位關係及水流情形，模型長度比例率定為一比八五。

(一) 二項模型試驗，均在二十五公分寬之玻璃水槽中舉行。

(乙) 花石子與石溪口壩以下游水位之計算

滾水壩之水流情形，與其下游正常水位之高度最有關係，茲根據碁江沈灣測站之流量曲線，及沈灣與花石子兩處之水位關係，求得花石子水位與流量之關係，參閱圖 $\frac{M226}{I}$ ，以為研究花石子滾水壩各項試驗問題

之準則。

石溪口位於花石子之上游，花石子建壩以後上游水位因水流受阻而抬高，其影響可達石溪口之下游，計算之方法，乃根據花石子水位流量曲線向上游推算。

當小流量時，全部水流從滾水壩洩瀉，求得花石子滾水壩之上游水位高度，再利用不均衡水流公式 (Non-uniform Flow) 假定河道之粗糙率 $n = 0.04$ ；逐段向上游推算，至石溪口滾水壩之下游 CS No. 75 處為止。

當大流量時，水流分別由滾水壩及船閘等處洩瀉，同時水流為潛流，其關係乃異常複雜。計算花石子滾水壩之上游水位高度時，僅利用石溪口船閘滾水壩全壩上下游水位關係之試驗結果而推算，換言之即假設大流量時，上處之上下游水位關係相同，求得各項流量之花石子滾水壩上游水位高度後，再用不均衡流速公式向上游推算至石溪口滾水壩之下游為止，參閱圖 $\frac{M27}{2}$ 。

五. 試驗之經過及其結果

甲. 石溪口滾水壩模型試驗 (長度比例率一比

三〇)

(一) 石溪口滾水壩壩面壓力之分佈：本試驗之主要目的，係決定壩面壓力分佈之情形，故製造模型時，在壩身內裝置壓力銅管五支，管口離壩面約二公厘，模型製成以後，用針在壩面穿若干小孔，俾與壓力管相通，壓力管之另一端，則用橡皮管與玻璃管連接，以便閱讀壩面壓力之數值。

壩面壓力之分佈與水流之形狀有關，水流情形，則隨下游水位之升降而異，當下游水位高漲而水流為潛流時，壩面發生迴溜，其壓力約與水深成正比，當下游水位低落，水流緊貼壩面洩瀉，則產生離心力，而壩面發生負壓，查石溪口與花石子兩壩，當較大流量時，皆屬潛流，流量較小時則為滾流，故舉行壓力分佈試驗俱用較小之流量。

圖 $\frac{M22a}{1}$ 為壩面最不利情況之下，其壓力分佈之情形試驗時，將壩下游水位，使水流緊貼壩面洩瀉，不致在護坦內發生水躍，以測驗壓力之值，當流量超過每秒 700 公方（即壩寬每公尺 7.88 秒公方）壩面頂點部分即發生負壓（壩面壓力之值，係以各該測器之實在水柱高度計，如水柱與該測點等高則壓力等於零）。

圖 $\frac{M22a}{2}$ 係在固定流量時，變更下游水位之高度，所測得壩面各處壓力之變化情形圖中曲線之不連續及間斷部分，係因水流由急流變為迴溜水躍，或由迴

溜水流改變為潛流所致。

圖 $\frac{M123c}{3}$ 為正常下游水位時，壩面壓力之分佈及水流之情形，在各種流量之下，其下游正常水位均具有相當之高度，故壩面均無負壓發生。

(二) 花石子滾水壩壩面壓力之推算：花石子滾水壩壩面壓力之值，可以根據上節試驗結果，及比較兩壩之壩面曲率與下游正常水位值而推算之。茲分述如次：

花石子滾水壩與石溪口滾水壩之形狀相似，壩面之斜坡亦相同，但壩頂部分之曲率則各異，今假設花石子壩依一比四十之長度比例率縮為模型，與石溪口壩依一比三十之長度比例率縮小之模型為相比較，則二者壩頂部分之曲率與斜坡，均屬相同，僅壩之前顛及壩身下部之曲率略有差異，查壩面之負壓以壩頂部分曲率之影響為最重要，故用一比三十之石溪口滾水壩模型，試驗壓力之結果可以引用於一比四十之花石子滾水壩模型。

今以石溪口滾水壩試驗結果之水面曲線，壩面壓力曲線，及壩頂水頭高度等值各乘以 $\frac{40}{30}$ 之比例，求得花石子滾水壩之各項相應值，並繪製花石子滾水壩上游水位與壩面最小壓力關係曲線圖，(參閱圖 $\frac{M122b}{4}$)

上項曲線表示滾流時堤面最小壓力之值，若水流為潛流，則堤面壓力俱有增加，(參閱圖 $M224$) 花石子壩當小流量時，水流為滾流，當大流量時為潛流，故堤面最小壓力之值，與該壩滾流之最大流量相應，根據第五節試驗之結果，推算花石子最大滾流流量為每秒二百公方，上游水位高度為四三四八八公尺，與該上游水位相應之壓力為負壓 0.94 公尺，為最小壓力之值，其壓力分佈情形，則與石溪口之試驗結果相似。

(C) 花石子滾水壩模型試驗 (尺度比例率一比五)

本試驗之主要目的，係測驗滾水壩之水流及冲刷情形，分別用固定與活動河床舉行試驗，茲將試驗經過分述如次：

(一) 固定河床試驗：原型滾水壩下游為沙岩河床，其冲刷甚為微小，故先舉行固定河床試驗，以決定滾水壩之水流情形，試驗時滾放各種流量注入模型，利用活動尾門，調節下游水位至正常高度，並描繪水流情形 (圖 $M224$)。

觀察各種流量時之水流情形，尚無不妥之處，但該壩上有力攔之設備，對於滾水壩之水流，並無任何顯著之影響。

(二) 活動河床試驗：河床之冲刷，與河床岩石之結構層次變度等最有密切之關係，現因缺乏參考資料，未能

精確計算，以為選擇模型沙礫之根據。此次試驗係用本所之第二號白石子，其平均直徑為二公厘，約合原型十公分，其臨界沖刷速度為五十秒公分，約合原型三·五秒公尺，與岩石之性質並不相同，故試驗結果對於河床沖刷深度未能作定鑒之決定，但對於河床沖刷之趨勢則可表示之。

每次試驗徐徐放水注入模型，同時抬高下游水位，俟各沖刷河床，迨流量達到應有值時，再校正下游水位達正常高度，試驗於是開始，俟河床之沖刷達平衡狀態後，則試驗中止，然後描繪水流及沖刷之情形（圖 N_{22b} ）。

當流量小於 400 秒公方時，（即每公尺二·二八八秒公方）見圖 N_{22b} ，水流沿壩面下注，在壩後發生迴溜，河床之沖刷並不劇烈，當流量超過 400 秒公方時，則壩面發生迴溜，其長度達壩趾之外，迴溜底部之水流沿河床倒流，沖刷河床較烈，當流量達最大值 4500 秒公方時，（即每公尺 42.8 秒公方）因下游之正常水位高漲，迴溜之流速較緩，河床之沖刷亦較輕微：

(丙) 石溪口閘壩全型模型試驗（長度比例率一

比八五

模型範圍包括全部船閘尺滾水壩，長度包括壩頂上游四、二〇公尺（約合原型三五七公尺）下游三五三公尺，（約合原型三〇〇公尺）長七、七三公尺，上游寬度為二公尺，（約合原型一七〇公尺）下游最狹處為一、二九公尺（約合原型一〇公尺）其詳細佈置見圖 M²³ 全部之模型河槽及滾水壩，均用洋灰製成。船閘，引水牆及壩坎等則用水製，各項尺寸均按照原計劃依一比八五之長度比例率縮小。

(一) 上游水位高度試驗：舉行水位試驗時，依照通常試驗之方法，按固定之流量注入模型，利用活動尾門，操縱下游水位，同時閱讀上下游水位之值，並將試驗結果繪製上下游水位關係曲線（圖 M²³）圖中實線為等流量之上下游水位曲線，虛線係由計算所得之正常水位與流量之關係曲線，（計算方法參看第四節說明）虛線與實線相交之處，即為當某流量時上下游水位之高度。

船閘通航時之最高流量，應以水流不由閘門頂點漫過為準，經過試驗求得相當於閘門頂高之上游水位，為四三六、五公尺，彼時流量為二八〇秒公方，流量超過該值，則一部分水流由閘室流坡，船閘即須停止通航。

(二) 水流情形試驗：當流量較大時，船閘與水流之情形至為複雜，除滾水壩宣洩大部份流量外，閘室，閘頂引水牆及壩坎頂部均有水漫流，其詳細情形如下列照片所示：

當流量小於二八〇秒公方時，全部水流均由堤頂漫流，漲水堤上游之水流異常平穩，流速亦其為和緩，堤之下游水流則較為湍急，下列照片，示船閘出口處之水流情形，自堤頂下泄之水流，到達船閘出口處，為礁石所束折而向下，即漩成迴溜，當流量為二八〇秒公方時，靠近船閘出口部分之迴溜速度約為〇.九秒公尺，流量為一〇〇秒公方時，其速度為〇.五秒公尺，該項迴溜對於船隻之航行頗不適宜，當船隻行抵迴溜之際，如駕駛失當，每易被

湍至迴溜中部，隨流旋轉，則上下航行之船隻，恐有互相撞擊之虞，同時候上行之船隻，亦缺乏寧靜之水面，堪資停泊。

此類水障之設，入江各處均有，其法不一。
我縣時曾將縣前游園水障，延長為五百公尺，
原長三百公尺，水流經此迴溜，（見照錄）其速
度與上述者相同，水障內水面異常寧靜，上行船隻可以

安穩停泊。

設延長引水牆至七五公尺，則水流沿引水牆連續下行，牆尾亦發生迴溜，牆內則水面異常寧靜。當流量為六八〇秒公方時，迴溜速度為二秒公方，流量為一〇〇秒公方時，速度為〇.七公尺。較諸未延長引

水時，其數值均略有增加，故水流情形似尚未達適宜之境。

該廠完全消漲迴溜以利航運，須將船閘附近之水道加以相當之整理，船閘下游河床之填石須即清除而另闢水道於礁石之西岸，使填下之水流改向不致集中於船閘之出口處，似審量石方之開浚，為數頗鉅，所費亦為不貲，查迴溜之高度約為0.9秒公尺，如未往船隻駕駛得當，或尚不致發生意外之困難也。

六 結 論

(一) 石漢口滾水渠在各級流量及正常下游水位時，填石之負壓發生，花石子滾水渠填石面壓力之分佈，可以參照石漢口之壓力試驗結果，並比較石漢口與花石子二渠之填面切率與填石下游水位而推算之。推算之結果，花石子壘力填石面之最大負壓值約為水柱0.94公尺，其壓力分佈之情形與石漢口壘力填石相似，查0.9公尺水頭之負壓對於填石之安全，並無不良影響，但填石條石之灌漿應加注意，以防條石被吸而走動。

(二) 石漢口與花石子兩滾水渠之下游正常水位皆具有相當之高度，當小流量時，水流能在護坦以內發生水躍，當大流量時，水流為潛流，主溜已超出護坦之外，故消力槽之設備，對於大小流量時之水流及冲刷情形均無

顯著之影響，滾水渠加設消力檻與否，似無關重要，
，名漢口花石子兩處河床均為岩石，應即清除鬆動
之亂石，並將石縫灌漿以防被水沖擊震動，藉增渠
基之安全。

(三)名漢口船閘上游之水流，異常平穩，流速亦
頗和緩，故上游之引水牆，可酌予縮短，就試驗結
果觀察之，建議將上游之引水牆原長六十五公尺縮
短為五十公尺，至閘之下游水流頗為混亂，並發出
迴溜，其速度為 0.9 公尺，來往船隻，如能駕駛
得宜，不致發生特殊之困難，但缺乏寧靜之水面，
上行船隻難以安穩停泊，故建議將下游引水牆延長
為五四·五公尺，俾便於候開船隻之停泊。