

甘肅新蘭渠崔家崖跌水模型試驗報告書

中央水利實驗處
三十二年九月編

甘肅新蘭渠崔家崖跌水模型試驗報告書

目 錄

- (壹) 導 言
- (貳) 模型之設計與製造
- (參) 試驗之經過及結果
- (肆) 模型與試驗之準確度
- (伍) 試驗結果之引伸
- (陸) 結 論
- (柒) 附 圖
 - 1. 新蘭渠崔家崖跌水原設計圖
 - 2. 模型試驗設備圖
 - 3. 水流情形比較圖
 - 4. 試驗修改設計圖
 - 5. 上游水位流量關係曲線

甘肅蘭豐渠崔家崖跌水模型試驗報告書

(壹) 導 言

甘肅蘭豐渠原名新蘭渠，自甘肅省皋蘭縣上灘村引黃河之水灌溉蘭州附近田地十四萬餘畝，並供給蘭州軍飲用水，同時利用渠道設水開發水電，渠道全長七十餘公里，幹渠流量為1.5秒立方公尺，經陳官堡後減為0.5秒立方公尺。

崔家崖位於陳官堡之下游，距渠口五十公里，下距蘭州十公里，崖下地形低降，因之渠道水位至此亦突降十公尺，故須建跌水四級，以殺水勢，其設計見圖八。

民國二十六年八月，中央水利實驗處受甘肅水利林牧公司之委託，於重慶石門水工試驗室，將崔家崖跌水工程計劃，加以試驗，是年六月着手建造模型，四月開始試驗，至五月完竣，試驗之資料，係根據該公司所擬之新蘭渠跌水設計圖及甘肅蘭豐渠計劃問題函復。

(貳) 模型之設計與製造

崔家崖跌水共分四級，每級之尺寸及形狀，除第一級之0.5秒與前級略有改變外，其餘各級均屬相同，其

落差均為2.8公尺，總長為65.7公尺，藝術師省工作及模型長度起見，試驗時建造首尾一級之跌水，而省去中間兩級，第一跌水之上游水面至第二靜水池底之高度為10.72公尺，長度共為36.7公尺，緊酌玉門水工試驗室以前積流實驗採用之砂礫，決定模型比例為八比十六，模型全長為53.4公尺，包括原型上游渠道8.3公尺，及下游渠道26.9公尺，以便觀察大渠冲刷情形。

本試驗因與重力相關，根據Froude定律設計，原型與模型之流速比例應為 $v_1:v_2 = \sqrt{16}:1 = 4:1$ ，流量比例應為 $Q_1:Q_2 = (16)^{5/2}:1 = 1024:1$ ，今原型之最大流量為6.8秒立方公尺，則模型之最大流量應為6.53秒公升，雷諾指數為1310，即已超過線流界限。

模型之各部，除取水口部份，以木製外，餘均用沙漿砌成，外面用洋灰砂漿抹面，尺寸粉平，下游大渠亦如法砌成，惟渠底鋪槽深9公分，以便鋪設細砂，作渠槽冲刷試驗之用。

試驗水流由量水槽漫過壅水堰，流入靜水槽，使水流平穩後，流入模型，下游末端設有尾門，用以調整水位。在壅水堰上游，第一跌水上游，及下游大渠入口各裝置固定測針八具，俾可隨時測水位，另備活動測針，以測取槽底各點之冲刷深度及淤積高度。

槽底冲刷試驗，係將原壅水堰細砂其平均直徑為

0.36公尺，均勻係數為0.84，臨界冲刷流速為每秒0.29公尺（合原型每秒1.16公尺）。假設原型臨界冲刷流速略高於設計之最大平均流速（0.8公尺），以此與模型礫石之臨界速度（1.13公尺）相較，則原型冲刷深度，當較模型略深，二者之比例約為1.4比1.0，故模型之冲刷深度，未能與原型冲刷之數值絕對相同，但可用以比較各種佈置之優劣也。

(叁) 試驗之經過及結果

(甲) 水流情形及冲刷試驗

(一) 原設計跌水試驗

模型之下游渠槽，長僅1.6公尺，合原型26.9公尺。故須於渠尾加設活動尾門，並按原型大渠之流量與水深關係，調節水位，使模型水流情形，與原型符合。茲以缺乏設計之渠道水深與流量關係曲線，故依據設計圖所列之渠道水深1.8公尺，流量為6秒立方公尺，用滿寧氏公式計算 $\frac{505}{n} = \frac{Q}{A \cdot k^{3/2}}$ 之值，再從而推算各種流量時之渠道水深，以為試驗之根據。茲將計算結果列為下表，並繪成曲線（見圖五曲線D）。

下游渠道水深 H (公尺)	斷面積 A (平方公尺)	流速 V (公尺/秒)	流量 Q (秒立方公尺)
0.2	0.64	0.238	0.152

0.4	1.3.6	0.358	0.487
0.6	2.1.6	0.447	0.966
0.8	3.0.4	0.522	1.59
1.0	4.0.0	0.582	2.34
1.2	5.0.4	0.641	3.23
1.4	6.1.6	0.693	4.27
1.6	7.3.4	0.739	5.12
1.8	8.3.4	0.786	6.80

試驗之時：放出不同之流量，注入模型，記錄曲線以調整下游渠槽之水深，渠底之冲刷約一小時後，即達平衡狀態，故各組試驗，均放水一小時，以資比較。

當小流量時，跌流之力較弱，與池水混合後，餘力消失，流速大減，水流頗為平穩，一般情形均屬良好。迨流量逐漸增大，跌流餘力亦隨而增加，池內餘力不足以消滅其動能，水流注入池內，緊貼池底自左而右射，適遇池尾之垂直牆，折而湧，水面漸發生橫軸迴渦，至是水勢洶湧，異常渾亂，波濤翻騰，兼雜有多量氣泡，致水位益形抬高，尤以第一靜水池之水流出池後，受第二束水口之約束，水之湧高達0.6公尺，幾與岸齊平，有時竟湧溢池頂，此種現象隨流量之增加而益著。

至於水流出靜水池後，水流在平面上分佈不均，其主流偏於渠槽兩側，而中線之流速緩慢，故上渠之底兩側發生冲刷，其深度達0.32公尺。

靜水池與土渠相接處之水面，由於跌流激湧，發生波浪，向下游傳播。當最大流量時，浪高為0.29公尺；故土渠岸坡受波浪之蕩漾衝擊，將有崩陷之虞。

上述諸現象，均係由於跌水靜水池之尺寸尺度，未盡適合水流性質所致。經多次預備試驗之證明，可用下述之方法藉以改進水流情形。

1. 設保持原定靜水池之尺度不變，可以設置散水台或多個缺口，使水流分散跌落，以增加跌流與靜水之摩擦面積，而增加其消滅能力之效果，但此法結構複雜，建築費昂，誠恐不合實用。

2. 抬高靜水池底，使水流因衝擊池底而分散，使池底受水流之沖擊頗為損壞。

3. 跌流直射池底，折而上湧，顯係由於水池之深度不足，未能完全消滅跌流動能，似可增加池之長度，深度，或寬度，俾可充分收靜水之效。

4. 保持現有深度，在靜水池底加消力檻，使跌流分散，消滅其能力。

依照本試驗室之經驗以採用第四項辦法較為適宜。故本試驗，係着重研究靜水池與消力檻之形狀與尺寸。

(二) 加設消力檻試驗

查原設計之靜水池，其水流之洶湧，係由於池內靜水，未足以消滅跌流之能力，致跌流沿池底前衝，積過壅直牆而上湧。經詳細研究水流情形，決定在距壅直牆

2.56公尺處，設置側齒形消力檻，使水流由檻之上下分散流瀉，並消滅其動能，側齒形消力檻高1.04公尺，下半部共有四齒，各寬0.4公尺，每齒相距0.4公尺。試驗結果，水流情形大見改善，惟側齒係用條石安砌，孤立池中，受水流沖擊震撼之力甚烈，日久極易損壞，故改用順齒形消力檻（見圖四），齒身平臥，與池壁連成一体，取其施工容易，構造穩固也。試驗結果，水流過消力檻後，一部份與齒首沖擊，折向上流，另一部份，則沿齒間流瀉，再折而上湧，故水流分散和緩。第一靜水池湧水高度由0.31減為0.27公尺，土渠岸坡浪高由0.29減為0.16公尺，渠底沖刷深度由0.32減為0.08公尺，以後曾繼續試驗變更消力檻之形狀尺寸，對於水流情形，已不能再予改善。

(三) 增加靜水池長度

增加靜水池之容量，可以緩和水流，就池之長度，寬度，深度三者而論，水流係由高處跌落，與池水混合而消滅動能，故增加池深，自較增加長度或寬度為有效，而池水下游渠道流動，增加長度，則又較增加寬度有效。然擴大池身，則增加工費，尤以增加深度，需費較昂。查原設計靜水池長七公尺，跌水池長八公尺，共長十五公尺，俱係灰漿砌石建築。為避免增加工費起見，茲保持原有靜水池之深度，及靜水池與跌水池之總長，而將池身延長1.8公尺（即跌水池縮短1.8公尺）。

試驗結果，土渠底冲刷深度由 0.32 公尺減為 0.165 公尺，略有改善，但流速分佈不均勻，主溝仍集中兩岸，土渠波高仍達 0.26 公尺，尚未臻完善。

(四) 增加靜水池長度及加設消力檻

增加靜水池長度後，水流情形雖微有改進，但收效未著，且池身之長度，既限於靜水池與跌尖台之總長，不能再行加長，故加設第(三)組試驗之消力檻，以消滅跌流動能。

靜水池設順齒形消力檻後，跌流為消力檻所阻，折而分散，復因靜水池身較前伸長，水流得逐漸擴大，水勢頓趨緩和，池內水湧高度減為 0.25 公尺，渠槽流速之分佈，頗見均勻，土渠岸坡波高為 0.14 公尺，渠底冲刷為 0.05 公尺，不致危及渠道之安全，與原設計之水流情形相較，當有明顯之改進。致於其他各種流量下之水流情形，均經一一加以試驗，結果均屬良好。

研究土渠之冲刷時，為避免設計所假定之粗糙率過大，致發生錯誤起見，曾將最大流量之正常水深，減低百分之二十，是即由 1.8 公尺減為 1.44 公尺，加以試驗。

茲將上列各項試驗結果列表於后以資比較

項目	水流情形		冲刷深度		備註
	第一靜水池水湧高	土渠波浪	$t_n = 1.8$	$t_n = 1.44$	
原設計	60.8 cm	29 cm	32 cm	53 cm	水底端於渠槽兩側且發生水滯
原型靜水池加消力檻	27	16	8.0	27	水流甚有改進

靜水池加長15		26	165	43	水深係與原設計相仿
加長靜水池並增消石設備	25	14	50	8	流速分佈均勻 水質和緩

(乙) 跌水上游水柱與束水口關係試驗

跌水之束水口，其作用在於縮短跌水上游之水面降落曲線，保持上游渠道正常水深。束水口過狹，則水位抬高，過寬則水位降落，且流速增大，沖刷渠道。

本試驗之目的，係求束水口之寬度。使上游水位與正常情形相等，並決定束水口之流量係數，以為設計之根據。

試驗時將不同之流量注入模型，測讀上游水位，模型之測針位於束口上游0.42公尺，合原型為88公尺，已在水面降落範圍以外，故測值可以代表渠道之水位。

計算束水口流量係數，係用下列公式：

$$M = \frac{Q}{A \sqrt{2g(H-h)}} \quad (1)$$

$$h_c = \text{束水口之臨界水深} = A \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gA}} \quad (2)$$

M = 流量係數

Q = 實測流量

A = 束水口水流漸面面積

$E =$ 上游之水流能力高度 $= + \frac{V_1^2}{2g}$

$t_1 =$ 上游水深 (自來水口底額起算)

$V_1 =$ 上游流速

$S =$ 來水口兩邊之坡度

$b =$ 來水口底寬

上列公式之引伸，係假設來水口之水流為臨界流，該臨界斷面 (平面圖上來水口最狹之断面) 係二元式之靜水壓力分佈，計該流量係數以上游測針處之水流能力高度，為來水口能力高度，是即不計測針至來水口一段水流能力之損失。如上項假設與事實相符，則流量係數值應等於 1.0。

茲將測驗結果，繪為來水口上游水位與流量，及流量係數關係曲線 (圖五曲線 A D)，並將渠道之正常水之流量曲線，一併繪於圖上 (曲線 C)，茲比較 A C 兩曲線，可見來水口上游水位較正常水位為高，當最大流量每秒 6.8 公方時，正常水位為 1.18 公尺，實測水位為 1.93 公尺，較正常水位高出 0.75 公尺。

上游渠道水位，超過正常水位值，故按最大流量每秒 6.8 公方，上游正常水位 1.18 公尺，用公式 (1) (2) 及試驗所得之流量係數 1.25 計該來水口寬度，應為 1.20 公尺，並依據該值，更改模型，重復試驗 (曲線 B)。當最大流量每秒 6.8 公方時，上游水位為 1.79 公尺，與正常水位極為接近，小流量時則較正常水位為低，渠

道之流速，以最大流量時為最大，故當小流量時，設水位稍低於正常之值，以致增加渠道流速，亦無妨礙。

正常水位計絲，係以 $\frac{v^{0.5}}{H} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{R^{2/3}} = 0.753$ 為根據，設實際數值有所不同，可以由AC兩曲線，用比例方法決定之。

(肆) 模型與試驗之準確度

(甲) 模型之準確度

模型製造完竣以後，曾將各部詳細覆校：察其差誤，核算各種高度，均以第一跌水台底為準。上游大渠底之平均高度，較應有值高0.8公厘，合原型1.28公分，第一靜水池底平均高度，較應有高度低0.5公厘，合原型0.8公分，第二跌水台之平均高度，較應有高度低1.3公厘，合原型2.08公分，第六靜水池底之平均高度，較應有高度低0.4公厘，合原型0.64公分，下游大渠底鋪砂，共高差約為三公厘，合原型4.8公分，東水口寬度之差誤，包括木料收縮等約為1.0公厘，合原型1.6公分，為東水口底寬十分之三，總水口寬度，長度之差誤，約為六公厘，合原型9.2公分。

(乙) 試驗之準確度

(一) 水位準確度

上游水流經靜水槽而入模型，當小流量時，水流與

常平穩，流量增大，則水面微有波動，其波動高差約為0.4公厘，試驗時求其平均數，估計平均數之差誤，在測針刻度精確度之內，即0.1公厘，合原型0.16公分。下游土渠水頂，因受跌水波浪之影響，差誤約為1.5公厘，合原型2.4公分。

(二) 流量準確度

試驗量水，係用平頂銳角量水堰，堰頂平均寬度為63.7公分，各點與平均寬度之最大差誤為0.2公厘，計算流量用Riccobock公式，其差誤約為千分之1.3（註見Hydraulic Laboratory Practice P.150）量水槽之水流，甚為平穩，閱讀水標之準確度，等於測針刻度之準確度0.1公厘，當最大流量時，量水堰水頭為3.1公分，數水頭之差誤為千分之三，流量差誤約為千分之4.5，流量可能最大差誤約為千分之六。

(伍) 試驗結果之引伸

(甲) 水流及冲刷情形

該模型係根據弗特模型律(Froude's law)設計，今模型與原型兩者，幾何形狀相似，同受地心吸力為流動，均屬紊流(Turbulent flow)，故兩者之水流形狀，以及各處波浪高度可相似。惟水流跌落靜水池內，按有多量之氣泡，水流挾帶氣體之多寡，氣泡之大小，流動

之情形，以及所發生之阻力等，實際流之絕對速度，靜水池內之絕對壓力，水內阻力等，均有直接關係，並不按縮特種而縮小，故原型與模型水流所挾氣泡情形，常有差異。原型跌流之絕對速度大，故所挾氣體，以及湧水高度均較相應之模型為多。至於磁量數量，尚有待詳細之試驗研討也。

模型磁碟之選擇，以臨界冲刷力為根據，所用磁碟，其臨界冲刷力稍嫌太大，故原型之實際冲刷深度，較試驗結果為淺，但各組試驗，其冲刷深度之比例，均屬不變，足以判別各種佈置之優劣也。

(乙) 上游水柱與來水口關係試驗

原型與模型跌水之水流，同受地心吸力而流動，故二者在相應之流量時，其水位高度亦相似。測驗水頭，係在跌水上游之渠內舉行，由測針至來水口一段內水流，因水內阻力及摩擦而消耗能力，模型與原型在該段內能力之消耗，並未相應，但測針水位與來水口距離之長度，均為 7.88 公尺（模型為 0.42 公尺），故由摩擦而消耗之能力，為值甚微，模型與原型由是所生之差別，可以畧而不計。

(陸) 結 論

(一) 原設計跌水第一級來水口之漸變槽，長為 7 公

戶，其餘各級長 1.6 公尺，靜水池長 7 公尺。茲為增進跌水效能起見，建議第一、二級跌水均漸變槽，均縮短為 7 公尺，靜水池增長為 8.3 公尺，第三級跌水漸變槽縮短為 6.5 公尺，靜水池加長為 8.5 公尺，每級跌水跌長廣仍舊不變。總長漸變槽，對於上游水位之影響甚微。

(二) 跌水之水流，流勢洶湧，故建議在靜水池內，加設順齒形消力槽，俾可緩和水勢。

(三) 原設計東水口之底寬 (1 公尺) 不足，以致抬高上游水位；設上游水位應與正常水位相齊，則東水口之底寬須改為 1.2 公尺。

(四) 靜水池底、池壁，及消力槽等設備，因受水流之衝擊，須應用洋灰漿堅砌，以防走動。齒首部份尤應採用較大塊石，嵌砌於池底，齒身及池壁之砌石，儘量使之粗糙，藉以消耗水力。

完