

陝西漢惠渠

進水閘及滾水壩模型試驗報告書

中央水利實驗處

民國廿八年六月編

陝西漢惠渠

進水閘及滾水壩模型試驗報告書

目 錄

- 一、緣起
- 二、進水閘試驗
 - 甲、試驗資料之依據
 - 乙、試驗之進行及其結果
 - 丙、結論
- 三、滾水壩試驗
 - 甲、模型之設計及製造
 - 乙、試驗之進行及其結果
 - 丙、結論
- 四、壩底滲漏試驗
 - 甲、試驗之方法
 - 乙、試驗之結果
 - 丙、試驗結果之探討
 - 丁、建議

附圖目錄

1. 進水閘渠底冲刷圖
2. 欄河渠水流及冲刷圖
3. 欄河渠水位流量曲線圖
4. 上浮力計算圖
5. 渠底上浮力圖
6. 渠底滲漏水流線及等位線圖(一)
7. 渠底滲漏水流線及等位線圖(二)
8. 渠底滲漏水流線及等位線圖(三)
9. 渠底滲漏水流線及等位線圖(四)

陝西漢惠渠

進水閘及滾水壩模型試驗報告書

一 緣起

陝南土地肥沃，氣候溫和，惟因雨量不足，常有歉收之慮。陝西省水利局為補救計，于沔縣附近，引漢江之水，灌溉兩岸農田。其渠首工程包括灤河滾水壩及進水閘，並于灤河滾水壩之側，開一筏道，以利木筏之通航，幹渠之流量為每秒十一立方公尺，可灌地十一萬畝。本處接受該局委託，舉辦此項工程之試驗，于民廿八年二月開始，廿九年四月完成，試驗之問題計有下列數端。

甲 進水閘下游之沖刷問題。

(a) 滾水壩下游之沖刷問題。

(b) 滾水壩處滲漏問題。

(c) 筏道之效能。

本篇係綜述上列甲、乙、丙三項試驗之成果，筏道試驗較為複雜，另行舉辦專題試驗，編製報告另行註明。

二 進水閘模型試驗

甲. 試驗資料之依據

漢惠渠進水閘有二孔，每孔寬1.45公尺。閘墩寬1.0公尺。進水閘總寬4.3公尺。進水閘之中心距龍頭堰末端9.3公尺，護坦下游為放寬段，長3.05公尺，與土渠連接。土渠底寬4.4公尺，兩邊岸坡1:1。閘內上游洪水位為556.20公尺，閘下土渠之正常水位為551.40公尺，水深2.0公尺，上下游水位差為4.80公尺，流量為每秒11公方。土渠平均流速為0.80秒公尺。

本試驗模型比例為1:25。模型流量為 $\frac{11000}{(2.5)^{2.5}} = 3.52$ 秒公升。土渠中之水深 $\frac{2.0}{25} = 8$ 公分，平均流速為每秒17.2公分。模型河底河床所用沙礫，相當於模型土渠之水深時，其臨界冲刷速度為18秒公分，合原型90秒公分。

乙. 試驗之經過及其結果

在舉行試驗以前，曾作預備試驗，決定上游水位為556.20公尺，下游水位為551.40，流量為11秒公方。及閘門應付開啟之尺寸。然後利用水槽末端之活動堰，提高下游水位。鋪平河床沙礫，截止流量，再將下游水位逐漸降低至正常水位，於試驗開始。待河床冲刷達到平衡狀態後，停止水流，測繪河床之縱断面。（參見進水閘渠底冲刷圖）。

(1) 原型進水閘 (未加消力墩) 流量為 11 秒公方，上游水位為 586.20 公尺，下游渠中為正常水深。在該項情形之下，水流自閘門下外射，發生水躍。閘啟後有迴溜，水流異常混亂。沖刷達平衡狀態後，文榮最大之沖深值為 2.6 公尺，距離護坦末端約 9 公尺。坦上垂直淘深約 0.7 公尺。

(2) 原型進水閘 (加消力墩) 護坦末端加設高 30 公分寬 40 公分之消力墩。流量水位，與上述相同。閘門下之水流，在消力墩前發生水躍，平均在溢上流體水流情形較為和緩。沖刷達平衡狀態後，上渠中之最大沖深值為 2.0 公尺，距離護坦末端約 8 公尺。坦脚河床已不復垂直淘深。

丙 結 論

護坦末端加設高 30 公分，寬 40 公分之消力墩，可以改進水流情形，並且避免坦脚河床之垂直淘深。

設進水渠常有相當之水深，用水量節制得宜，不使超過最大限度，自該渠道乾涸初次放水時，使水量逐漸增加，勿使沖刷渠底，則護坦下游之鋪石，可以節省。

三. 滾水壩模型試驗

甲. 模型之設計及製造

滾水壩高4.5公尺，寬210公尺，下游正常水深為5.96公尺，洪水流量為3500秒公方。壩之下游河床上平均流速為2.8秒公尺。滾水壩試驗，係在亞馬遜河中進行。模型比例為1:36。水槽寬25公分，合原型9公尺，相當於9公尺寬之流量為 $3500 \times \frac{9}{210} = 150$ 秒公方。模型流量為 $\frac{150 \times 10000}{(36)^{2.5}} = 19.29$ 秒公升。下游正常水深為 $\frac{5.96 \times 100}{36} = 16.56$ 公分；壩之下游河床上平均流速為40.59秒公分。模型活動河床所用砂礫之臨界沖刷速度約為51秒公分，合原型3.06秒公尺。滾水壩模型係用浮灰漿澆成，表面塗蜡打光。

乙、試驗之進行及其結果

舉行沖刷試驗前，先將下游活動河床砂礫鋪平，由壩水槽徐徐放水流入模型，同時將下游水位提高，不使水流沖刷河底。待流量達19.29秒公升時（相當於原型最大流量3500秒公方）將下游水位逐漸降低至正常水位583.11公尺（水深5.96公尺）。於是試驗開始，觀察水流及沖刷情形。經一小時後（約合原型6小時）描繪水流及河床沖刷形狀，再將下游水深分別降低百分之二十（水位581.92公尺）及百分之三十（水位581.32公尺）

繼續試驗至河床冲刷達平衡狀態為止，並記錄河床冲刷值。

觀察水流情形，係利用過錳酸鉀溶液，以玻璃管注射水中用以辨別水流線，同時在玻璃槽壁上，描繪其情形，舉行試驗時，河床上不鋪砌石塊，藉以明瞭水流冲刷情形及冲刷之趨勢。（參見欄河堰水流及冲刷圖）。

試驗結果如次：

(1) 原型滾水堰（不加消力槽） 流量為3500秒公方，下游正常水深為5.96公尺，即水位為583.11公尺。當該流量及水位時，滾水堰水流為完全跌流（Complete free fall）。即下游水位對滾水堰之水頭，不發生影響。水流自堰頂滾過，緊貼堰面，至護坦上發生水躍，水面上則為迴溜。

堰頂水位之高度實測為585.32公尺，即水頭為3.67公尺，較設計所用之值約低0.77公尺。

滾水堰斷面形狀堪稱優良。放水一小時後（約合原型6小時），河床冲刷最深值為4.7公尺，距護坦末端13公尺之坦腳，垂直淘深為0.7公尺。

水流與河床冲刷情形與下游水深最有關係。為安全起見，將下游水深降低百分之二十及三十，再行試驗。

當下游水深降低百分之二十時（水頭為551.92公尺），水流自堰頂下注，在護坦末端發生支波水躍（

Standing Wave), 水面上不復發生迴溜。

當下游水深降低百分之三十時(水位為581.32公尺), 水流緊貼護坦平射而出。其流速甚大, 故河床床面砂礫, 被水流所挾行, 護坦下游之河床稍受冲刷。水流與河床間略有空隙, 平射流之流速甚大, 吸收空隙之水分, 因而發生負壓。水流被迫下降, 演成捲元, 淘深河床(見附圖)。及至河床被刷深至相當程度時, 水流與河床內之空隙增加, 適足以產生迴溜, 沿河床逆流而上, 平衡負壓, 於是水流復變為平射式。在該項情形之下河床已被刷深, 因迴溜作用挾帶河床上沙礫, 向上游移動逐漸淤積。淤達相當高度時, 水流與河床間之空隙, 又復減低不足以產生迴溜, 則復發出負壓, 使水流平射下注, 如是循環不已。

上述水流情形, 最不穩定。水流下射時, 微有震盪, 對於滾水壩之安全最屬危險。

當下游水深降低百分之二十, 冲刷達平衡狀態後, 河床冲刷最深值為7公尺, 距離護坦末端約為38公尺。

當下游水深降低百分之三十, 冲刷達平衡狀態後, 河床冲刷最深值為5.4公尺, 距離護坦末端約為42公尺。

(2) 原型滾水壩加消力磯。當下游為正常水深時,

水流緊貼渠面，並兼發生迴溜。滾水壩形狀堪稱優良。河床之冲刷，因坦脚被水流垂直淘深，故再作加設消力壩試驗。

消力壩高50公分，寬60公分，設於護坦末端。試驗時之流量為3500秒公方，下游為正常水深（水位583.11公尺）。壩之上游水位仍為585.32公尺（即水頭為3.67公尺），與未加消力壩時相同，仍為完全跌流。故水一小時後，河底冲刷最深值為2.9公尺，距護坦末約13公尺。護坦末端河床已不再有垂直淘淤現象，且有淤積。

下游水深降低百分之二十時，水流仍為迴溜水躍。護坦上之水面有迴溜，惟不若未加消力壩時之發生立波水躍，證明消力壩真有保持迴溜之能力。冲刷達平衡狀態後，河底最大冲刷值為40公尺，距護坦邊緣15公尺。

下游水深降低百分之三十時，護坦上水流不復有迴溜發生而為平射流。但平射流因受消力壩之影響，向上遠射，致使水流與活動河床之間有充分之空隙，產生迴溜，平衡負壓，水流固以固定。冲刷達平衡狀態後，最大冲刷值為60公尺，距護坦末約26公尺。

下 結 論

（1）滾水壩護坦末端加設高50公分，寬60公分之消力

極，使水流情形固定。同時避免坦末河床垂直淘深，不致危及填土安全。

(2) 滾水壩下游河床如能并有相當之水深(地下水滲漏)，則護坦下游之乾砌石塊可以節省。設下游常結水時完全乾涸無水，而河水蒸漲越壩下注，則溝力頗大設溝，亦不能防止坦岸被刷，應酌量乾砌石塊，保護坦脚。鋪石之長度，根據河床沖刷圖建議用20—25公尺。

四 填底滲漏試驗

甲 試驗之方法

填底滲漏，關係填土安全至巨。本處為求試驗結果精確起見，將採用下列兩法以試驗之，藉以互相校對其試驗之結果。

1. 直接滲透法

此試驗係在長75公分，闊17公分，高55公分之玻璃槽內舉行(見後圖)。槽內填白沙，沙上安置滾水壩成型。然後自壩之上游計水入槽，水流經壩底滲漏而出。設于壩之上游者，應用玻璃管注以顏色液，顏色液則隨壩下水流移動，而得知壩下滲漏

之水流線。依據流
流 (Potential
flow) 之理論，將
與水流線成直交之
曲線，即為等壓線
群 (A set of
equi-pressure)
。兩線所成之網即
流線網也。(Flow
Net)。由流線網

計算上將力之方法另述之。

2. 電似法 (Electric Analogy Method)

欲求渠底某點之流速，普通根據 Darcy's
Law's 公式，($V = K \frac{H}{L}$) 計算。此公式與電學中 Ohm
's Law's ($I = \frac{E}{R} = K \frac{E}{L}$) 相似，故利用此電學原理，
作下列裝置。能求得渠底之流線網。

此項試驗線得一長 75 公分，闊 48 公分之玻璃箱，內盛鹽水。除嵌之上下游 A, B, 兩銅片外，餘皆為絕緣體。然後接電阻 R_1 ，一端于 A 銅片上，其他端順接電阻 R_2 。 R_2 之另一端再緊接銅片 B 上。電門開後，電流即分二路。一路自 A 經 R_1 及 R_2 ，一路自 A 經鹽水。吾人將指針各處移動，及至耳機不發聲時，即表示無電流通過。耳機由 *Wheatstone - Bridge* 原理 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ 因 R_1, R_2 為已知數，可求得指針處之電壓。同理潛水水壓頭 (H) 亦可求得。求 R_2 之值，即得各點 R_3, R_4 之值，潛流之等壓線群 (A Set of equi-pressure) 甚易繪出。依流理論，水流線與等壓線垂直即可繪水流線而得流線網。綜觀以上兩法，其目的均欲求流線網。所不同者，直接參透試驗係先求得水流線，而後繪等壓線。而電似法，則先求等壓線然後繪水流線也。

3. 計算方法

繪成流線網後，欲求渠底各點上浮力強度，及總上浮力。其方法如下 (參閱上浮力計算圖)：

先將渠底各點距 A 點之距離與上浮力強度圖 (見上浮力計算圖圖二)，

在圖二上量出 a, b, c, d, α, β 各點之上浮力強度，繪於渠底各點上。連接各點則得上浮力分

佈曲線。(連接各點之上浮力，採用直線稍有差誤，但為值基礎，可略而不計)

乙、試驗之結果

填底滲透試驗，採用各種排樁之長度，及排數目分別試驗。(參見填底上浮力圖)

1. 按原設計係用兩排樁，各長3.5公尺。據電似法試驗結果，每公尺寬度填底之上浮力為52143.975公斤。採用直接滲漏法之結果與上述相差甚微。因電似法裝置較為簡便，故其他悉用電似法試驗。

2. 將原設計之第二排樁取消。滾水填每公尺寬度之上浮力為51741.630公斤。此處應注意者即第二排樁除去時上浮力反減少也。

3. 將原設計之第二排樁除去，將第一排樁加長二公尺，即總長5.5公尺，依試驗所得之結果，其上浮力為45573.925公斤，較原設計之上浮力減少6.81% ($\frac{52143.975 - 45573.925}{52143.975} = 0.06809$)

4. 將原設計兩排樁完全取消，(即填底不用排樁)，上浮力為53715.100公斤。

丙、試驗結果之探討

1. 填底地質地形之關係：漢惠填基全為礫石組成。而礫石來源不一，組合不同，層次亦異。此次採

取上述兩法試驗，均假設各處礫石均勻相同 (Homogeneous)，又因天黑河床形成下等。變質 (Compaction) 各異，故地下水之流動實為三度空間之問題 (The problem of three dimensions)。若依三度空間問題試驗，其設備頗繁。此次試驗採採用斷面模型 (Two dimensions Section Model)，故所得結果施之於原型，因河床各處岩石層厚度不同，或有差誤。但足以比較各種佈置之優劣也。本處當繼續研究礫層深度，對於上浮力之影響。並着手製三度空間模型。

2. 滲水線 (Line of Creep) 之影響：實施工程時，填床礫石與河床之連接，往往未能完全貼合，稍發空隙。該處阻力較低。水流沿填床面之空隙滲漏，而成為滲水線。用電阻法試驗，則須假設填床與河床礫石貼合。關於滲水線問題，迄今尚未有良好方法供給試驗研究。

3. 滲透常數之選擇：按 Darcy's Law, 填床各點地下水滲透速度之值等於 $K \frac{aH}{aS}$ 。

K = 滲透常數 (Transmission Constant), 設河床各處沙礫組合相同, K 為固定值。

H = 水壓頭

S = 流過濾之長度

若 $\frac{aH}{aS}$ 之值大, 則滲透速度亦大。流線網中 $aH = \frac{H}{a}$ 亦為一常數。故 aS 大, 即流線網方格大時, 表示滲透速度小。反之表示滲透大。綜觀各流線網圖, (參見填

底滲漏水流線及等位綫圖一至四) 知滲水出口速度各處不一; (因各處方格之大小不同); 距渠遠者其出口速度小, (因方格大); 緊接渠者大。其最大之出口速度, 通常稱為湧沙速度 (Piping velocity)。若 K 為已知值, 以最小 d/s 之值 (道渠尾之 d/s 為最小), 代入上式, 即得湧沙速度。依各次試驗結果, 最小之 d/s 為 0.5 公分 (相當於原型中 0.5 公尺)。故

$$V = K \frac{H}{30d/s} = K \frac{45}{30 \times 0.5} = K \frac{45}{15} = 0.3K$$

茲特能採取實際河沙, 舉行試驗, 探求 K 值。據 Slichter 教授研究結果, 謂 K 值隨沙粒之有效直徑, (Effective Size of Sand) 及沙粒間之空隙量 (porosity) 而變。據委託機關所稱沙礫^級分布情形, 得有效直徑為 0.5 公厘。設其空隙量為 40%, 則 K 值為 0.212 (溫度 60°F)。

參閱 Creager: Masonry Dams p.188) 代入上式

$$V = 0.3 \times 0.212 = 0.0636 \text{ 每秒尺}$$

又據 Justin 氏之規定, 凡出口速度小於 0.5 每秒尺者, 均無湧沙之慮。而今所求得之值僅 0.0636 每秒尺, 故無湧沙危險。

4. 滲透量: 渠底滲水量與不透水之岩石層深度有關, 依照 Darcy 公式, 每公尺寬度渠下滲透量

$$q = Va = K \frac{dH}{a} M dA = KH \frac{M}{L} \quad (\because dH = \frac{H}{L} \cdot dA = 1)$$

M = 自渠底至岩石層水流通數目 (因石層深度而異),

$N =$

$N =$ 等位線數目

下 建 議

1. 在可能範圍內，於距離之左端3.5公尺處打5.5公尺排牆一道。若施工困難，或限於材料，即應打長3.5公尺木板牆於距離渠左端3.65公尺處。（即將原設計之第二排木牆予以取消）。

2. 於渠之上端添鋪黏土，以減滲漏。蓋此項設施能減上浮力及滲沙速度也。

3. 根據試驗結果，知上浮力小於渠重。該渠料比重為2.2，給得向下壓力圖（參閱渠底上浮力圖圖三虛線指示）。因其分佈不勻，若過地質不堅，則有不均勻沉陷（Non-uniform settlement），文危險宜加注意。