

透水樁壩河道整治技術試驗研究

田治宗 姚文藝 李遠發

黃河水利科學研究院

摘要

利用動床物理模型設計原理，採用局部模型和整體模型相結合的方法，對透水樁壩的導流效果、壩前沖刷坑深度、壩前後水位差、壩後淤積形態等進行了全面研究。由於模型製作是以韋灘工程為原型並進行了預備試驗和驗證試驗，因此試驗成果可直接應用於工程實踐，同時為今後透水樁壩的設計提供了科學依據。

一、前言

透水樁壩是利用樁壩的滯流減速作用，促使含沙水流在其壩後落淤造灘，營造新的水流邊界條件，從而達到控導河勢固灘保堤的目的，由於其具有基礎埋深大、堅固不搶險、壩後可緩流落淤、大洪水還可漫頂行洪等特點而受到治黃工作者越來越多的關注。目前，已在黃河花園口、蘇泗莊險工等處修建了幾座試驗透水樁壩，取得了良好的緩流落淤效果，但由於透水樁壩的設計原則仍然處於探索之中，其透水率的確定也有一定的盲目性，倒樁、斷樁現象也有發生，再加上試驗樁壩工程長度較短，且均位於控導工程的送流段，因此，控導主流效果如何，對大中洪水的適應性如何，以及若佈設在彎頂段上的運用效果怎樣等等，仍存在著很多關鍵技術問題，從而直接影響了透水樁壩的推廣和應用。近期通過物理模型試驗，對有關技術問題開展研究，包括不同透水率樁壩壩段的水力特性、導流作用、緩流落淤效果、樁前沖坑等等，其成果對透水樁壩工程的設計具有重要參考價值。

二、模型試驗概況

由於研究內容即涉及透水樁壩的整體導流效果，又涉及其局部流態和沖刷，分別製作局部動床模型和整體動床模型進行試驗研究。透水樁壩的佈置類型採

用護岸式，擬定三個方案，即：(1) 樁徑為 0.8m，淨樁距為 0.3m(韋灘工程設計方案)，透水率為 27%；(2) 樁徑為 1m，淨樁距為 0.5m，透水率為 33%；(3) 樁徑為 1m，淨樁距為 0.75m，透水率為 43%。

1、局部動床模型試驗

局部動床模型主要用來研究透水樁壩壩前沖刷坑形態、沖深及壩前後水位差及有關水力學參數等。由於在沖刷坑存在的地方，都存在平軸環流及相應的向下水流，這種向下水流是決定沖刷坑形狀大小的重要因素之一，而變態模型在鉛直方向的水流運動難以做到這類流態的相似，故需採用正態模型。根據試驗任務及試驗條件，局部動床模型選取透水樁壩的一段(原型長度 400m)作為試驗研究物件，模型幾何比尺選 $\lambda_L=50$ 。

根據黃河下游河南段多年觀測資料統計分析，當壩前流量為 1000~5000m³/s 時，壩前單寬流量一般為 7~15m³/s.m 左右，當壩前河道急劇縮窄時，壩前單寬流量可達 20m³/s.m 左右。由於壩前流量大於 5000m³/s 時可以漫頂行洪，此時壩前單寬流量反而減小，因此在研究透水樁壩前最大沖深時，取最大單寬流量

20m³/s.m，含沙量按清水考慮，入流角度組合為 30°、60°、90°，透水樁壩佈置形式組合為 3 個，共需進行 9 組試驗。

2、整體動床模型試驗

整體動床模型試驗主要用來研究不同透水率樁壩的導溜效果及壩後灘岸沖淤變化。整體動床模型選擇一個原型彎段作為試驗段，整個彎段佈置一組透水樁壩，為觀察其送流效果，模型範圍應包括彎段下游的整個彎段；為類比治導線行流情況，該彎段上游也應保留一定長度。經研究選擇韋灘工程為模型試驗河段，其上包括三官廟工程，其下包括大張莊工程。水準比尺為 1:360，垂直比尺為 1:60，變率為 6。整體模型試驗的初始地形採用 1998 年汛後地形，由於初始地形三官廟和韋灘工程皆不靠河，採取挖槽的措施解決，尾門水位按 1999 年黃河下游推算的水位流量關係內插後進行控制。

根據黃河水沙特點及透水樁壩的設計整治流量，設計二個試驗水沙系列：(1) 流量為 3000m³/s，含沙量取為中常含沙量 37kg/m³，流量歷時取為小浪底水文站相應流量級出現天數的多年平均值 9 天；(2) 流量為 5000m³/s，含沙量取為中常含沙量 37kg/m³，流量歷時取為小浪底水文站相應流量級出現天數的多年平均值 5 天；初始入流角度為 30°和 60°，透水樁壩佈置形式組成透水率為 27%、33%和 43%三個方案，每個方案進行上述設計的第一第二兩個水沙過程，進行 12 個試驗組次。

三、試驗成果綜述

1、樁前沖坑

當單寬流量一定時，樁前沖刷坑深度隨透水率的增大而略有減小，但在試驗的透水率範圍內相差不超過 1m，並隨入流角度增大而增大。30°入流角時，樁前最大沖深為 18.0m~19.0m；樁根最大沖深為 13.4m~14.6m；60°入流角時，樁前最大沖深為 19.5m~19.9m，樁根最大沖深為 16.8m~17.4m；90°入流角時，樁前最大沖深為 19.9m~20.7m，樁根最大沖深為 16.7m~17.5m。送流段和非頂沖壩段的樁前

沖深要遠遠小於頂沖壩段，一般沖深在 7m~11.5m 之間。

通過本次試驗觀察及資料分析認為，以大量樁柱形成的長樁壩的壩前最大沖刷坑深度 h_{bd} 主要與來流單寬流量 q （或流速 V ）、入流角 θ 、樁壩透水率 β 、樁徑 d 、來流含沙量 s 、床沙顆粒組成（暫以 D_{50} 表示）等因素有關，可以寫成函數式

$$h_{bd}=f(q、V、\theta、\beta、d、s、D_{50}\dots\dots) \quad (1)$$

由於影響因素較多，若要得出較為合理的沖坑深度計算公式，需要多組次的試驗進行研究及大量原型實測資料進行率定和驗證。鑒於時間及經費所限，本試驗在其它條件不變的情況下，僅增加了單寬流量為 10m³/s.m 和 15m³/s.m 的組次，對單寬流量與樁壩前沖刷坑深度的關係進行初步的研究。結果表明，在來流含沙量及床沙組成不變的情況下，由於本次試驗的樁徑只有兩種即 0.8m 和 1.0m，透水率雖在 27%~43% 之間變化，但由於壩後落淤後，壩後過流量明顯減小，因而其對沖刷坑深度的影響也明顯減弱，而單寬流量及入流角度的影響相對較大（圖 1）。

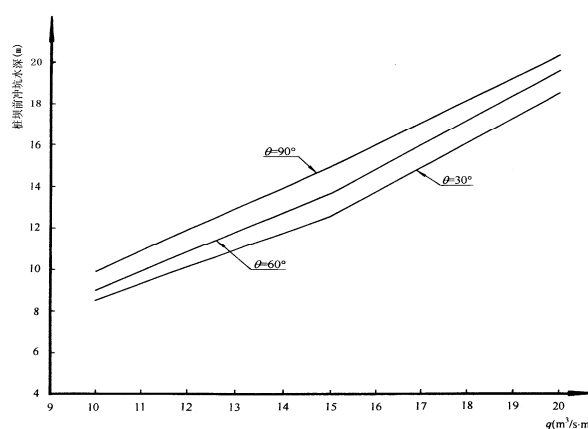


圖 1 樁壩前沖坑水深與單寬流量關係曲線

2、樁壩緩流效果

當單寬流量一定時，透水率越小其緩流效果越好，並隨入流角變化而變化。入流角增大，樁後水流流速增大，樁前流速有所減小，30°入流角時，樁後最大垂線平均流速為 0.6m/s~1.4m/s，樁前最大垂線平均流速為 3.4m/s~3.6m/s；60°入流角時，樁後最大垂線平均流速為 1.3m/s~1.9m/s，樁前最大垂線平均流速為 3.1m/s~3.3m/s；90°入流角時，樁後最大垂線平均流速為 2.1m/s~2.5m/s，樁前最大垂線平均流速為 2.8m/s~3.1m/s。不同透水率、不同入流角度下透水樁壩的緩流效果見表 1。

3、樁壩前後水位差

樁壩前後水位差與樁壩透水率、水流入流角度、壩後落淤狀況等因素有關。從試驗結果來看，透水率越大，水位差越小；入流角度越大，水位差越大，但相差都不超過 10cm。在壩後沒有落淤時，樁壩不掛淤情況下，樁壩頂沖點的水位差最大，在 0.2m~0.3m 之間；而壩後落淤之後，水位差則減小至 0.05m~0.15m 之間，壩前水位高於壩後水位。在頂沖點以下，壩前後水位差則越來越小，在彎頂段下段及送流段，壩後水流有回歸主槽的趨勢。

4、樁壩後沖淤形態

上游來流遇透水樁壩後，大部分水流被工程平順導向下游，而部分水流則穿過透水樁壩順壩後灘地流向下游。穿過透水樁壩的含沙水流，一方面因具有一定的流速會對壩後緊貼透水樁壩的土體沖刷；另一方面水流進入灘地以後流速降低而在灘地落淤。從淤積過程和強度看，頂沖點以下首先落淤，然後向上延伸，頂沖點下游附近落淤強度最大，而送流段及藏頭段樁後落淤較少。隨著壩後灘地的不斷淤高，水流將不再進入灘地，穿過透水樁壩的水流則順著平行于透水樁的小河槽流向下游，小河槽的寬度隨著透水率、入流角度不同而變化，透水率、入流角度越大，其壩後小河槽的寬度越寬。

5、樁壩導流效果

在壩後落淤之前，透水率越小、入流角度越小，其導流效果越好，對於透水率為 27% 和 33% 的透水樁壩，不管入流角度是 30° 還是 60°，在試驗初期、中期和末期，主流始終都在樁壩工程的控導之下，樁壩都能將主流順利導向大張莊，壩後落淤之後，樁壩導流效果更

好；而對於透水率為 43% 的透水樁壩，當入流角度為 15° 時，樁壩能將主流順利導向大張莊；當入流角度為 30° 和 60° 時，由於壩後過流較多，使主流線偏移，樁壩導流效果較差，並容易在樁壩前形成畸形河灣，使出壩水流發散。

四、結語

1、從導流效果看，韋灘工程的透水率增至為 33% 仍可滿足導流要求，透水率可適當增大以減少工程投資。

2、樁壩的結構型式還有進一步優化的可能，如可以採用上密下疏的工程結構，即在枯水位以下樁間距順水流方向可適當加大，而在枯水位以上的迎水面加鋼筋混凝土隔柵，隔柵密度按挑流要求設計。但具體方案及可能出現的其它問題還需進行專門的研究。

3、透水樁壩的導流、緩流落淤效果及壩前後水位差不僅與樁壩透水率和入流角度密切相關，還與樁壩後灘地高程密切相關，對此還需進一步研究。

參考文獻

- 1、謝鑾衡主編. 河流模擬，水利電力出版社. 1990.
- 2、李遠發、許雨新、張紅武. 京滬高速鐵路濟南黃河大橋灤口、段莊橋位元橋墩局部沖刷模型試驗報告. 黃河水利科學研究院研究報告. 黃科技第 HX-9817-049 號. 1998.
- 3、張紅武、汪家寅. 黃河丁壩沖刷及根石走失的試驗研究. 黃河水利科學研究院研究報告. 科技第 88007 號. 1987.
- 4、康篤材，闕譯. 樁排防護彎道沖刷的試驗研究. 鐵道部科學研究院. 1982.

表 1 不同透水率、不同入流角度下透水樁壩的緩流效果

透水率 入流角度	27%	33%	43%
30°	83%	79%	61%
60°	61%	52%	39%
90°	30%	26%	11%

注：緩流效果=（壩前流速—壩後流速）/壩前流速*100%