



仿生型柔性促淤护滩结构在汉江河口段 航道整治工程中的试验研究

王欣霖¹, 张 诚²

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011; 2. 长江航道测量中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 针对刚性结构存在限制其适应局部冲刷变形的不足, 进行柔性促淤结构的研究, 并提出一种仿生型柔性促淤护滩结构。采用动床水槽试验方法研究仿生型柔性促淤护滩结构在不同来流条件下、不同布置方式下的减速促淤效果, 结果表明其效果良好。将研究成果运用于汉江河口段航道整治工程中, 进一步检验研究成果。结果表明其该结构整体性较好, 应用区工程效果与模型试验数据总体一致, 达到护滩促淤的预期目标。该结构丰富了航道整治工程促淤结构形式, 具有较好的应用前景。

关键词: 汉江; 防冲促淤; 柔性网片

中图分类号: U 617.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)03-0129-05

Experimental study on bionic flexible siltation-promoting beach protection structure in waterway regulation project of Hanjiang River estuary

WANG Xin-lin¹, ZHANG Cheng²

(1. Changjiang Waterway Institute of Planning and Design, Wuhan 430011, China;

2. Changjiang Waterway Bureau Survey Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: Considering the difficulty of rigid structures in adapting to local scour deformation, we study the flexible siltation-promoting structure and propose a bionic flexible siltation-promoting beach protection structure. The structure's effect of erosion prevention and siltation promotion is investigated under different inflow conditions and arrangement modes by movable bed experiments in flumes, the result of which shows a satisfactory effect. Applying the research results to the waterway regulation project of the Hanjiang River estuary, we further test the research results by field application. The results indicate that the structure has good integrity. In addition, the engineering effect in the application area is consistent with the model test data, and thus the expected goal of beach protection and siltation promotion has been achieved. This structure enriches the siltation-promoting structure forms in waterway regulation projects with a good application prospect.

Keywords: Hanjiang River; erosion prevention and siltation promotion; flexible mesh

在长江航道整治工程中对关键洲滩守护多使用软体排, 因软体排适应河床变形能力较强, 能有效护底固滩^[1]。软体排多采用块石或透水框架等偏刚性的结构压载抗掀。刚性透水框架既阻水又透水^[2], 消能促淤效果良好^[3], 且便于工厂化大批量生产, 施工简单, 所以应用广泛。但是该结构也存在不足: 1) 偏刚性的结构适应局部冲刷

变形的能力欠佳, 而且当抛投量较小或遇强水流时, 促淤效果较差; 2) 预制需要专门场地, 运输效率偏低; 3) 多层透水框架抛投时, 层与层之间的钩连性较弱, 难以达到理想的堆积高度, 经济性较差。为此, 汉江河口段整治工程研究中提出一种介于刚性和柔性之间的结构形式——仿生型柔性促淤护滩结构。该结构由促淤网箱和柔性三

收稿日期: 2021-05-28

作者简介: 王欣霖(1987—), 女, 硕士, 工程师, 从事港航工程结构设计。

维网片两部分组成，整体由轻质柔软的网面构成。它兼具刚性和一定的变形能力，结构轻便，可在施工现场组装，施工简易。

为给该结构的工程应用提供理论支撑，通过动床水槽试验对该结构防冲促淤的特性进行研究，在模型试验结果良好的基础上，将其首次应用于汉江河口段航道整治工程白鸽嘴滩段中并通过工程现场试验检验研究成果。

1 工程概况

汉江河口段位于湖北武汉市，上起蔡甸，下至南岸嘴，全长 33 km，与长江河轴线约成 67° 交角。从河道形态看，该河段由一系列单一弯道和介乎其间的过渡段组成。根据河道的平面特性，将本河段分为张家台、熊家台、胡家台、白鸽嘴、舵落口、黄金口、阎王嘴、四明和月湖共 9 个滩段(图 1)。

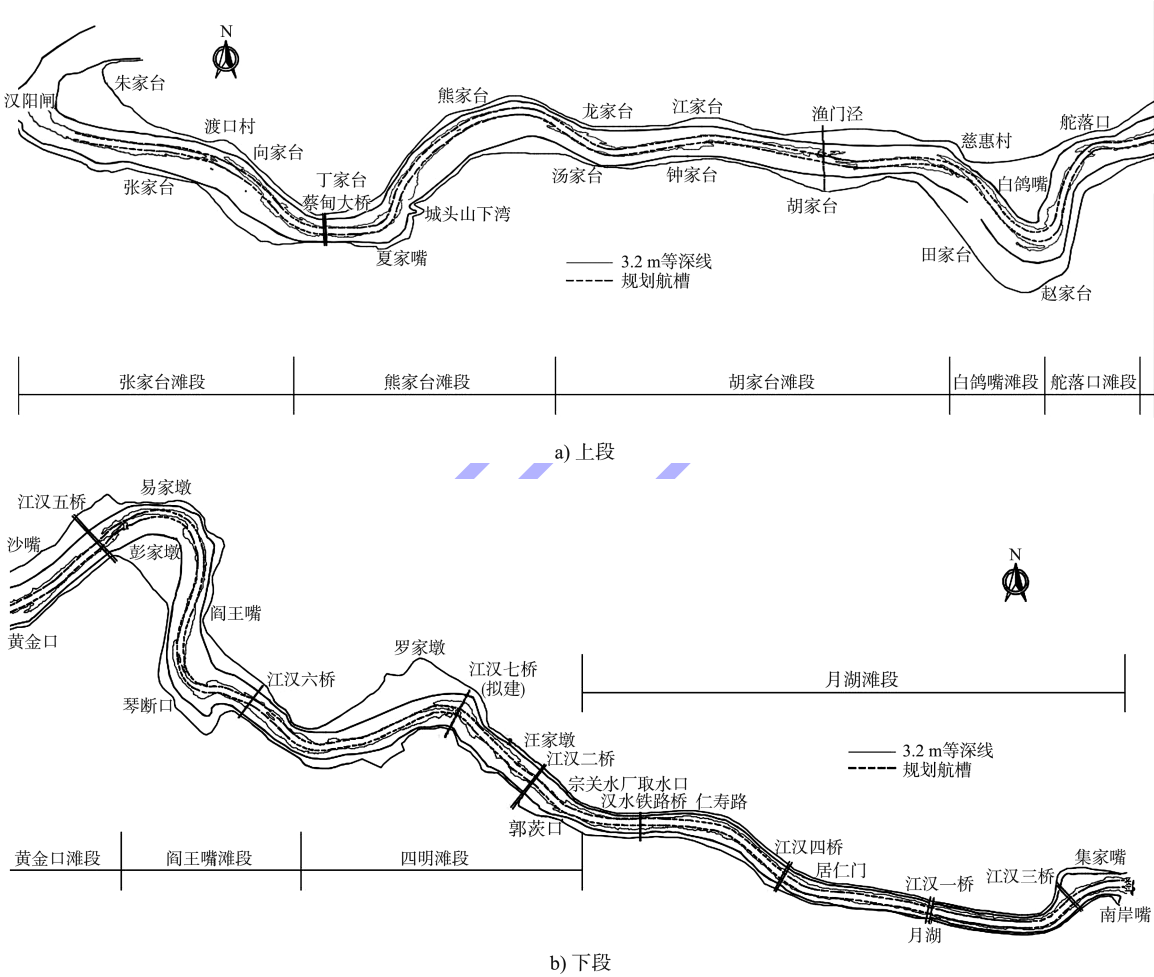


图 1 汉江河口段河势

河段受上游来水来沙、下游长江顶托及大型水利工程的影响，枯水期水动力减弱，中水历时缩短，洪水期削幅有限的大洪峰对河床的冲淤影响将因常规洪峰的几近消失而强化。河床总体呈现洪淤枯冲，河段内流速变幅较大。河床以粉细砂为主，易冲刷。河床质中值粒径为 0.09~0.12 mm，悬移质中值粒径为 0.015~0.10 mm。

汉江河口段航道整治工程设计流速 3.65 m/s，设计低水位 12.18 m，施工水位 14.18 m。

2 仿生型柔性促淤护滩结构

仿生型柔性促淤护滩结构由促淤网箱和柔性网片两部分组成。网箱尺寸为 2.0 m×1.0 m×0.3 m (长×宽×高)，柔性网片尺寸为 1.0 m×1.3 m (长×高)，柔性网片长边固定于网箱宽边，其余部位不再固定(图 2)。网箱盖板及柔性网片选用加筋三维网，其余部分采用六边形双绞合钢丝网，网箱内装填块石。加筋三维网由六边双绞合钢丝网热黏聚丙烯复合而成，钢丝采用

镀高尔凡覆聚酰胺。

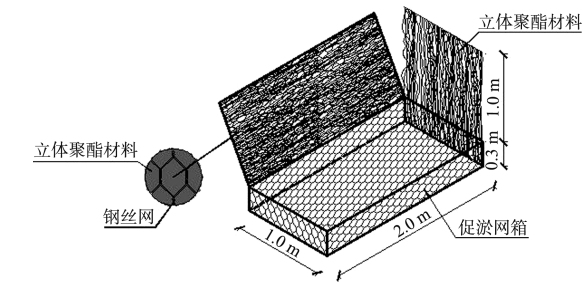


图 2 原型构件

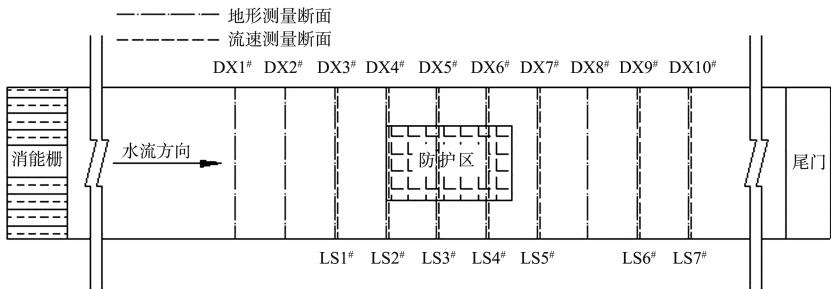


图 3 水槽试验段及断面布置

为充分研究该构件的稳定性及防冲促淤等方面何比尺 1:10 缩小，试验工况见表 1。

方案	比尺	试验条件			方案布置	图示
		水深/m	流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	清水冲刷时间/min		
1	1:10	0.20	0.24	300	单元体紧密布置，周围不留空隙	
2	1:10	0.20	0.24	300	结构优化为 6 个网箱并排连接成片结构，柔性网片每隔 1 个网箱安装 1 片	
3	1:10	0.20	0.24	300	为避免水流对新结构底部床沙的淘蚀，在床面上铺设 1 层带压载块体的软体排，扩大宽度为 40 cm	
4	1:10	0.20	0.41	300	为观测新结构在大流速下的守护效果，将平均流速 0.24 m/s 提至 0.41 m/s，结构布置方式同方案 4	

3.2 结果

3.2.1 方案 1

无防护区冲刷比较明显，形成陡坡，刷低幅度约 2.6 cm；上游至防护前区地形陡然攀升，防

3 试验及结果

3.1 试验

试验在长 26 m、宽 3.2 m、高 0.6 m 的玻璃水槽内进行，流速测量仪器采用 50 Hz ADV，共布置 7 条流速断面，10 条地形断面(图 3)。

天然床沙中值粒径约为 0.17 mm。根据模型相似准则，在满足起动、沉降及悬浮扩散相似的前提下，选取 $d_{50}=0.3\text{ mm}$ 、 $\lambda_d=0.667$ 的复合塑料沙。

护区内床面淤积，淤积幅度约为 7.1 cm；防护后区形成纵向缓坡，淤积幅度有所减小防护前区及边缘单元体有冲移现象。防护区内 LS3#、LS4#断面较防护区外 LS1#断面流速减小 60%(图 4)。

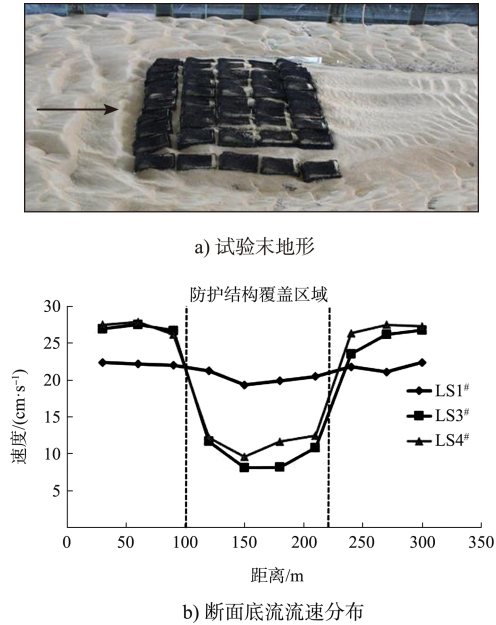


图 4 方案 1 试验结果

3.2.2 方案 2

上游及防护前区略有冲刷，防护区内淤积效果逐步增强，后区淤积幅度趋于平稳，未出现明显的峰形淤积体，防护区上游及下游坡比相较前述方案更为平缓。LS3[#]、LS4[#]流速分布基本一致，流速减小幅度约 50%(图 5)。

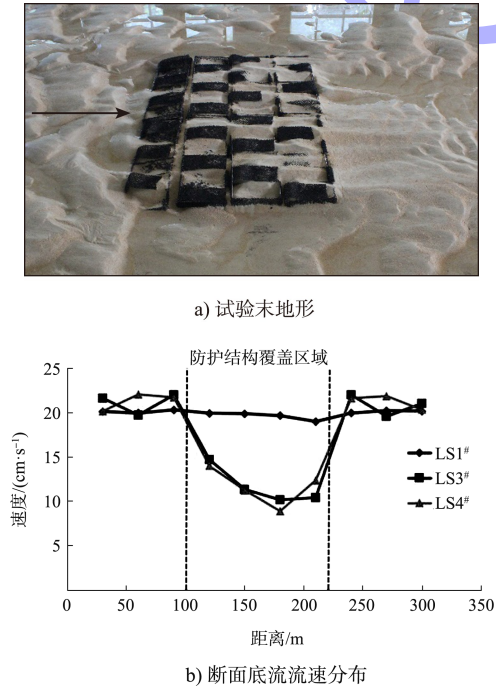


图 5 方案 2 试验结果

本方案采用 6 个网箱连片结构，其整体性较方案 1 加强，防冲结构仅在防护前区有前倾位移

的现象。

3.2.3 方案 3

基于前述 2 个方案促淤结构均有不同程度的位移，为避免水流对促淤结构底部床沙的冲刷，将方案优化为在促淤结构下方先铺设 1 层软体排护底。

上游淤积体平缓过渡至防护前区，前区与后区淤积程度基本一致，无明显区分；后区到软体排守护扩大区域形成一个缓坡，软体排守护区边缘到守护区以外形成了第二个缓坡，两段缓坡的坡度均较平缓。LS3[#]、LS4[#]流速分布基本一致，流速减小幅度都约 50%(图 6)。

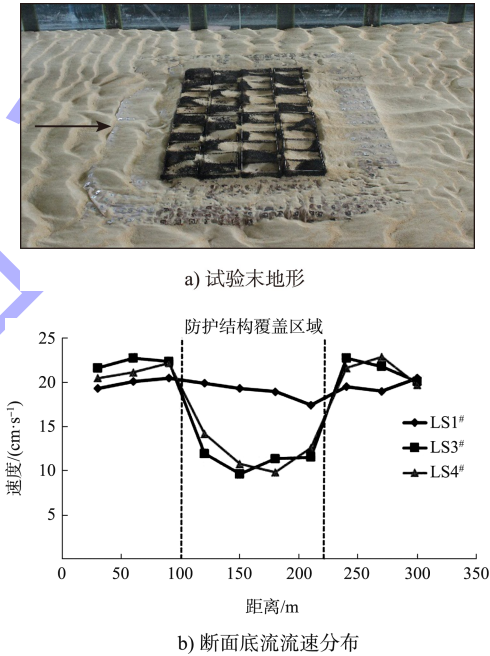


图 6 方案 3 试验结果

本方案采用软体排护底后，因守护区域滩面不再受水流的淘刷冲失，结构的整体性和防冲促淤效果均显著加强，成片结构未出现陷落及横移情况，淤积厚度也较为均衡。

3.2.4 方案 4

为进一步观测该结构在大流速下的护滩效果，将方案 3 平均流速提高至 0.41 m/s，其余试验条件不变。

在大流速作用下，上游及防护前区呈冲刷状态，但在结构前沿有粗颗粒床沙落淤形成缓坡，后区及尾流区淤积体颗粒明显变粗，淤积幅度也有所减小。两侧过渡区床面落差变大，未防护区

域滩面整体进一步刷低, 冲刷幅度深达 5.77 cm。侧缘形成较为陡直的坡面, 坡比约为 0.7。LS3[#]、LS4[#]流速分布基本一致, 流速减小幅度约 50%。在大流速作用下, 因有软体排对滩面的防护, 结构区域的滩面依然平整, 柔性促淤结构整体性完好无冲失(图 7)。

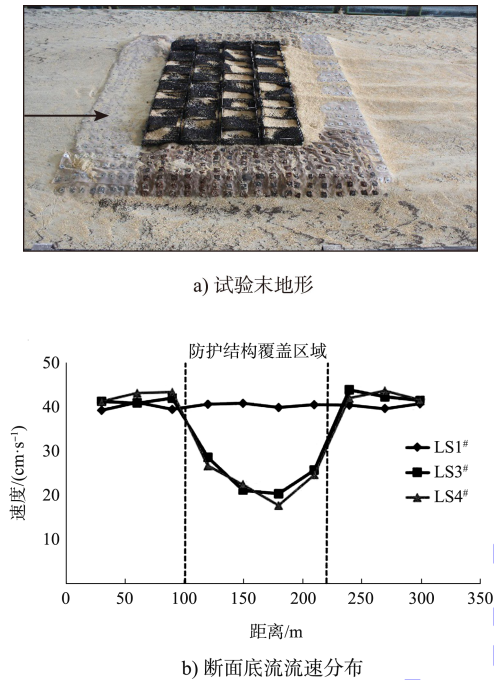


图 7 方案 4 试验结果

4 工程现场应用

依据以上研究成果, 将该结构应用在汉江河口段航道整治工程白鸽嘴滩段 BGZHT1[#]护滩带(图 8~9)。工程现场历经 2 个秋汛, 现场监测结果表明: 仿生型柔性促淤护滩结构整体性较好, 网箱已被泥沙覆盖, 平均淤高 1 m。模型试验结果与现场监测结果一致, 实现了促淤护滩的目标。

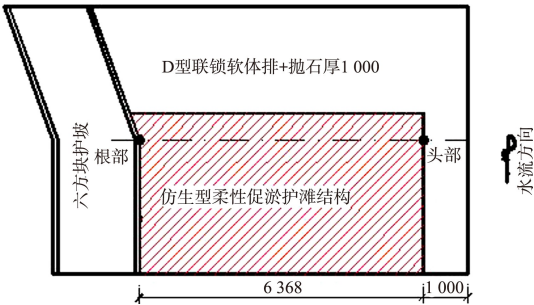


图 8 结构应用区 (单位: mm)



图 9 工程应用前后

5 结语

- 1) 同一流速下, 成片结构整体性、稳定性及促淤性能明显优于单体紧密布置。网箱成片布置, 柔性网片间隔布置时尽管促淤峰值有所降低, 但整体守护效果更好, 亦能达到防冲促淤的效果。
- 2) 在结构下方铺设软体排后平均淤积幅度为无软体排的 1.6 倍, 淤积厚度也更为均衡, 结构整体性和防冲促淤效果进一步加强。
- 3) 当来流速较大时, 虽然结构区域内有一定程度的淤积, 但淤积幅度有所减小。两侧过渡区床面落差变大, 坡度较陡, 结构整体稳定, 仍具有一定的促淤效果。

参考文献:

[1] 曹棉. 软体排在长江航道整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2004(9): 70-73.

[2] 夏云峰, 徐华, 吴道文, 等. 一种新型消能护滩结构在长江南京以下 12.5 m 深水航道工程中应用的试验研究[C]// 中国土木工程学会港口分会. 自动化集装箱码头应用技术交流会. 北京: 中国土木工程学会港口分会, 2015.

[3] 陈辉, 吴杰, 李益进. 四面六边体在长江八卦洲段护岸固脚中的应用[J]. 人民长江, 2009, 40(5): 71-73.