



# 四面六边透水框架护滩结构效果 水槽试验研究

郑英<sup>1</sup>, 吴伶<sup>1</sup>, 赵德玉<sup>1</sup>, 王领元<sup>1</sup>, 陈建<sup>2</sup>

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北武汉 430011; 2. 宜春市水利局, 江西宜春 336000)

**摘要:** 通过水槽试验, 研究四面六边透水框架护滩结构效果。试验结果表明, 实施四面六边透水框架防护后, 河底流速有明显减小, 四面六边透水框架具有透水、消能、减小近底流速、局部改善水流流态的作用, 从而有可能将近底流速降至不冲流速以下, 甚至于使河床产生淤积。与传统护滩工程相比, 四面六边透水框架能有效地避免实体护岸工程基础容易被淘刷而影响自身稳定问题, 且适应河床地形变化能力强, 不需要地基处理, 不需要护底, 直接抛投于床面, 自身稳定, 施工简单, 成本低, 是一种值得大力推广的新技术。

**关键词:** 透水框架; 护滩; 水槽试验

**中图分类号:** U 617

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2012)11-0127-06

## Flume experiment of tetrahedron permeable framework structural effects of beach protection

ZHENG Ying<sup>1</sup>, WU Ling<sup>1</sup>, ZHAO De-yu<sup>1</sup>, WANG Ling-yuan<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>2</sup>

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

2. Yichun Municipal Water Conservancy Bureau, Yichun 336000, China)

**Abstract:** This article studies the effect of the tetrahedron permeable framework beach protection structure by the flume experiment results show that after the implementation of the tetrahedron permeable framework protection structure, the river flow rate is obviously reduced. The tetrahedron permeable framework beach protection structure is water permeable which can dissipate energy, reduce the near bottom velocity of the water and improve the flow pattern partially, thereby the near bottom velocity of the water may be lower than the non-flushing velocity, even the riverbed deposit can be produced. Compared with traditional beach protection engineering, it can effectively avoid the problem that the entity revetment foundation is easy to be scoured and then affect its stability. It is capable to adapt to the topographic change of river bed without foundation treatment and the need for bottom protection. The tetrahedron permeable framework, which can be directly threw on the riverbed, having the advantages of stability, simple construction and low cost, is a new technology that is worth to be popularized energetically.

**Key words:** tetrahedron permeable framework; beach protection; flume experiment

目前, 以护滩为目的的整治建筑物在国内的河流治理中应用较为广泛<sup>[1-2]</sup>, 其中散抛块体护滩和坝体护滩形式在黄河、闽江、西江、汉江等河流治理中应用较为广泛, 在长江上也有应用, 对应的

坝体工程效果研究在国内外也较为广泛、深入。

减速不冲护岸(一般为轻型整治建筑物), 如: 木杓杈、挂柳、钢筋混凝土网格排等, 能局部改变水流流态, 降低保护区流速, 使其冲淤态

收稿日期: 2012-04-05

作者简介: 郑英(1979—), 女, 工程师, 从事河工模型试验研究工作。

势转变,达到淤岸护滩、护坡的效果<sup>[3-4]</sup>。但木杓杈、挂柳等易于腐烂冲毁,维护工程量大,一般为临时性措施;钢筋混凝土网格保护效果好,但基础水下施工较为复杂,且需要有足够的埋深。因此,寻求新型河道整治工程措施是十分必要的。钢筋混凝土四面六边体透水框架结构(混凝土类似于杓杈)治河护岸技术,该技术的运用能基本解决了上述工程难题<sup>[5]</sup>:一方面,它是透水建筑物,能柔性地调整水流,且具有良好的自身稳定性,克服了实体坝的缺点;另一方面,它是钢筋混凝土结构,具有一定的耐久性。本项目工作中着重对长江航道整治工程中曾经采用过的四面六边透水框架护滩结构的效果进行物理模型试验研究。

## 1 试验条件

概化模型设计为正态模型,在满足几何条件相似的同时,还必须满足水流运动和床沙起动相似条件,见图1。试验水槽宽3.2 m,深0.6 m,长30 m,中间试验段长约12 m。模型床面铺沙厚0.10~0.30 m(原型3.0~9.0 m),因受供水流量的限制,试验最大水深为0.20 m(原型6.0 m)。



图1 水槽概化模型试验照片

1) 几何相似。

平面比尺 $\lambda_L=30$ ; 垂直比尺 $\lambda_H=30$ 。

2) 水流运动相似。

流速比尺: $\lambda_v=\lambda_H^{1/2}=5.48$ 。

试验过程中采用录像和照像以及地形、流速测量相结合的办法记录试验过程及结果。采用旋浆式流速仪测量流速,测淤仪器测量地形,模型沙级配用筛分法分析,模型进口流量用矩形量水堰控制,出口水位采用电动活页尾门控制。

3) 泥沙起动相似。

模型沙选用 $\rho_s=1.22 \text{ t/m}^3$ 的塑料沙(黄色)。在水深 $h_m=0.05 \sim 0.20 \text{ m}$ 时,粒径范围在0.5~1.0 mm,中值粒径( $d_{50}$ )约为0.74 mm,模型沙起动流速为8.3~11.0 cm/s。而长江中下游原型床沙的中值粒径一般在0.20 mm左右,在1.5~6.0 m水深时,根据沙玉

清起动流速公式 $u_o = \sqrt{0.43d^{3/4} + 1.1 \frac{(0.7 - \varepsilon)^4}{d}} h^{1/5}$ ,

计算得原型床沙的起动流速为 $u_{oy}=0.45 \sim 0.60 \text{ m/s}$ ,

则有 $\lambda_{uo} = \frac{u_{oy}}{u_{om}} = 5.42 \sim 5.45$ ,与起动相似要求的

$\lambda_{uo}=\lambda_u=5.48$ 接近。

### 1.1 试验条件概化

水流条件:根据水流运动相似条件,将原型水沙过程概化如下:模型水深范围,0.05~0.20 m(相当于原型水深1.5~6.0 m);模型流速范围,0.15~0.40 m/s(相当于原型0.82~2.19 m/s)。

由于边滩上流速一般随水深增大而增大,水位愈高时,边滩上的流速越大,输沙能力愈强。因此,根据长江中下游一般河段边滩上流速水深情况,将边滩上水深和流速概化为5级。原型边滩上水深为1.5~3.0~6.0~3.0~1.5 m时,对应流速为0.82~1.10~1.92~1.10~0.82 m/s。洪水时,流速相对较大,因此,在模型试验时间控制上,以床面泥沙大量输移或无工程时边滩将产生大量冲刷情况时,观测四面六边透水框架和软体排对边滩的守护和保沙作用。

### 1.2 四面六边透水框架模拟

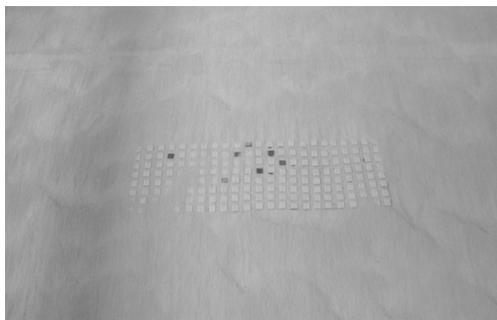
长江中下游护滩工程中,四面六边透水框架多采用的尺寸为棱长100 cm,横截面为正方形,边长为10 cm,模型中则采用直径约为3.76 mm的铝丝材料来模拟,铝丝重率与混凝土接近,棱长按比尺缩小为3.3 cm,用铝丝做成的四面六边透水框架,基本满足几何相似和质量相似要求。护滩工程原型与模型护滩材料尺寸见表1及图2。

表1 原型与模型护滩材料尺寸

| 四面六边透水框架  | 边长-直径/mm | 棱长/mm | 密度/( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ) |
|-----------|----------|-------|---------------------------------------|
| 原型(钢筋混凝土) | 100      | 1 000 | 2.45                                  |
| 模型(铝丝)    | 3.76     | 33.3  | 2.48                                  |



a)



b)

图2 四面六边透水框架和卵石(模型)和软体排

### 1.3 软体排模拟

目前长江航道整治中已普遍采用软体排, 主要结构形式有X型排(护滩)和D型排(护底), X型排主要用于枯季出露水面的滩地守护, X型排排垫为聚丙烯编织布, 该排采用较大的矩形混凝土块压载体, 其压载体之间缝隙较小, 可起到抗老化作用。D型排主要用于设计水位以下的河床防护工程中, 排垫也为聚丙烯编织布, 该排采用小型矩形混凝土块作压载体, 其压载体之间缝隙较大, 水上沉放方便。X型排和D型排都有较好的变形特征。

水槽概化模型中的排体应尽可能作到与原型压载体质量和几何尺度相似, 且能够随河床冲刷自由变形。在水槽概化模型试验中, 根据所选用的模型沙, 为了达到更好的保沙效果, 选用即可保沙又可透水的尼龙网布做模型软体排, 尽量按照质量相似的原则, 将压载效果稳定的马赛克片(22 mm × 22 mm)作为压载体以一定间距粘贴于保沙效果和透水性能好的尼龙网布面上, 近似模拟护滩带软体排。从水槽试验中观测到, 模型软体排变形特性基本与原型软体排变形特性相似。

## 2 透水材料和实体材料对河床和水流影响动床试验

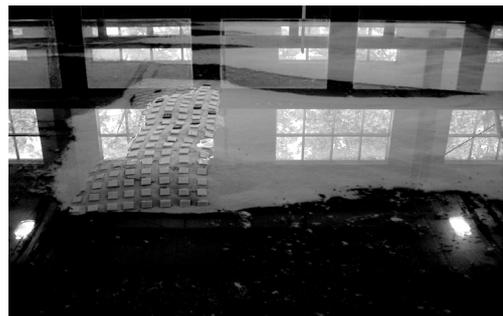
为了观察实体材料和透水结构材料对河床和流速分布的影响, 在活动玻璃水槽内平铺0.12 m厚的塑料沙, 将透水框架群抛投2层(0.167 m × 0.167 m范围)、单个透水框架和等质量的块石( $d_{50}=22$  mm)3种情况, 平铺在活动玻璃水槽中, 分别放水进行试验。

水槽中泥沙大量运动后, 等质量的卵石周边出现绕流现象, 使近底流速变得更加紊乱, 卵石周围河床淘刷作用加剧, 很快沉入床面以下, 被沙波淹没。而透水框架由于其透水性, 使通过框架的水流流速有所减缓, 而对流态影响较小, 在试验中框架虽然略有下沉, 但仍大部分露出床面, 表明在松散且河床冲刷较为剧烈的床面, 抛投透水框架不易走失和下沉。表明透水框架对床面的扰动较小, 具有良好的自身稳定性和防沉陷等优点。

图3为2层透水框架群试验情况, 由于床面泥沙运动强度较大, 在框架群的迎水面河床出现冲刷, 框架群明显下沉, 而通过框架群的水流, 由于流速的降低, 使河床冲幅减小, 河床高程与试验初期相比变化不大, 因而透水框架群形成头低



a)



b)

图3 试验效果

尾高的形态，上游输移来的泥沙能通过透水框架群，并在透水框架群下游形成淤积区。

四面六边透水框架与护滩带不同之处是其保沙护滩的原理不同，护滩带主要是隔离水流直接作用于滩面，使得滩面泥沙不能起动而保护滩体，而四面六边透水框架则主要是通过增大滩面阻力，减小滩面近底流速，使得滩面流速小于泥沙起动流速而保护滩体。此外，四面透水框架本身为散抛体，能适应滩面的较大变形。

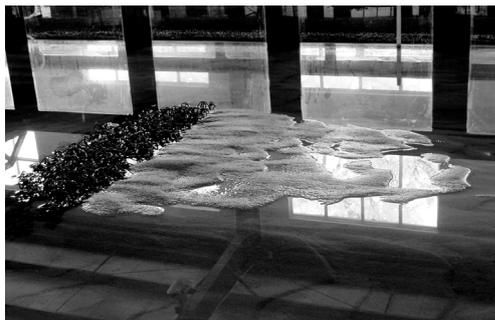
### 3 软体排与透水框架群护滩效果试验

#### 3.1 护滩带软体排防护下滩体变形试验

软体排护滩经冲刷后，护滩带软体排上下游和前端部冲刷下陷，迎水面形成陡坎，在排体稳定且不发生破坏的情况下，排体所护滩体部分高程基本不变，局部边滩得到一定程度的保护，但排体周边普遍冲刷，受冲后的护滩带形成丁坝形式，表明软体排没有促淤效果，只有局部保沙作用（图4）。由于软体排迎水面形成陡坡后，在软体排上下游均两侧会形成明显的水平轴环流，使河床冲刷加剧，且容易造成排体的破坏。



a)



b)

图4 框架群护滩效果

#### 3.2 框架群防护下滩体变形试验

1) 本试验框架群沿横向布置100 cm，纵向30 cm，分别抛投2层、3层，形成框架坝。从防护效果来看，滩体得到一定程度的防护，2层、3层框架群促淤效果都比较好，框架群后部淤积稳定，淤积高度略小于框架群顶面高度；透水坝上游和坝头外侧冲刷明显，纵向影响距离约为框架群横向长度的3~4倍。

2) 同一流量下，有工程和无工程时，区域断面平均流速比较见图5。可以看出，框架群可有效降低所护滩面及滩面下游的流速，所以框架群能起到守护滩面的作用，并有促淤功能。

3) 比较同一流量下框架群的不同断面不同测点流速的大小，可以看到，距离框架群越近的测点流速越小，证明框架群可增加滩面阻力，使滩面上的过流有所减小，起到了调整河道断面流速分布，使河道内水流更集中于主河槽的作用。

4) 对比有无工程前后各个断面垂向流速分布，位于边滩上的框架群，对上下游影响范围较远，垂直框架群上下边缘流速减少幅度较大，其它部位流速小幅增大，说明框架群不会造成水流骤变，滩体四周不会形成大的次生流。所以，适当布置框架群对边滩守护不会造成滩面冲刷，有利于滩面淤长。

#### 3.3 透水框架间隔防护

在间隔防护中，为了确定透水框架群护滩带之间的间距，暂时采用两道护滩带的间距约为护滩带横向宽度的3~4倍进行试验研究（图6）。

从间隔防护效果看，滩体得到一定程度的防护，间隔防护的效果优于重点防护。第一条框架群防护带变化与重点防护时护滩带防护情况基本一致。第二条护滩带由于受到第一条护滩带后淤积体的掩护，护滩带动前基本完好。

从透水框架群破坏情况来看，因边缘河床冲刷变形较大，而框架体本身为散抛物，容易出现单个框架散落现象，但框架体本身结构不出现破坏，散落的框架不会走失，一般聚集在边缘附近形成保护体。

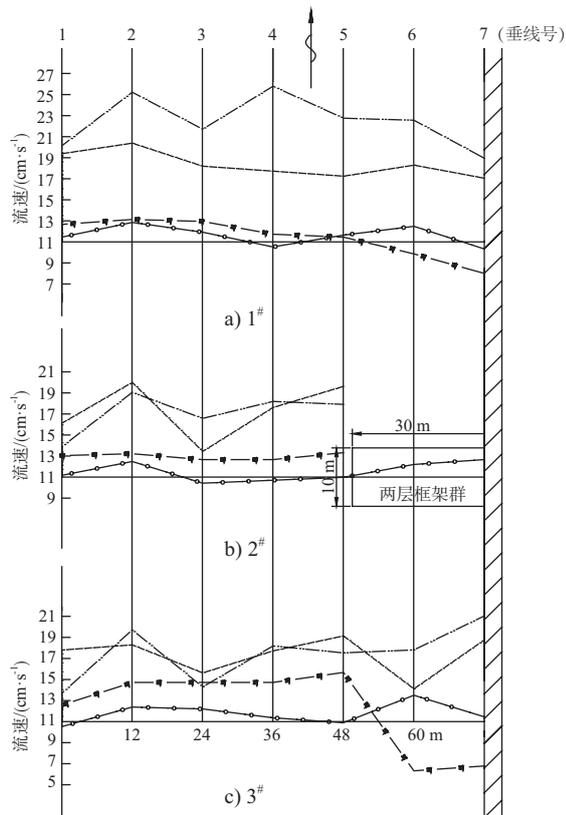
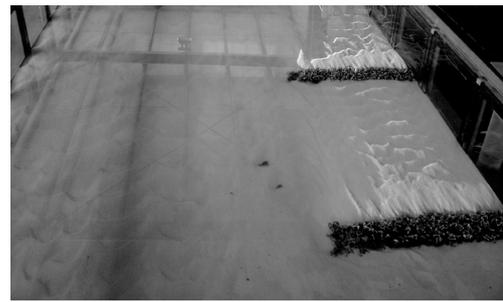
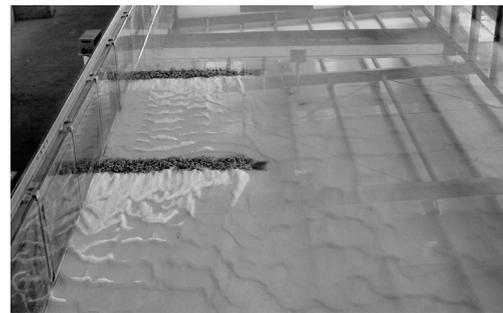


图5 框架群护滩流速



a)



b)

图6 框架群护滩效果 (间隔防护)

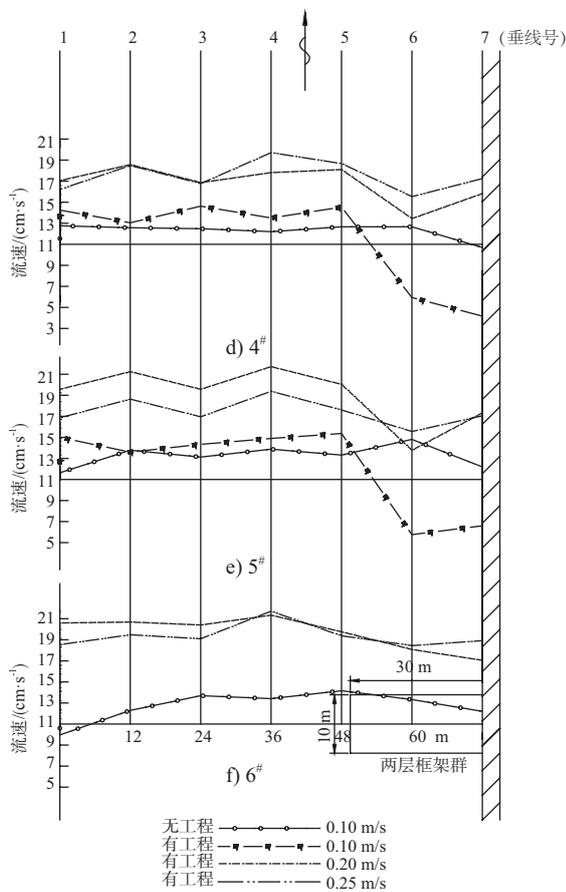
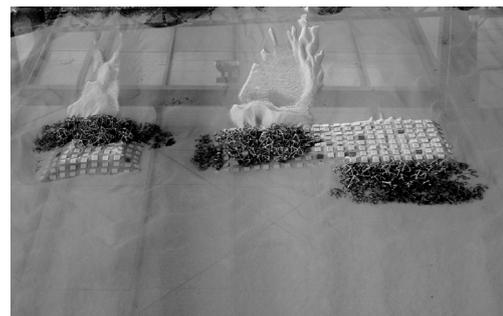


图5 框架群护滩流速

### 3.4 框架群结合软体排防护下滩体变形试验

由于软体排护滩带在以往长江航道整治工程中曾广泛运用过, 有的工程已产生了良好的整治效果, 但有的工程水毁现象时有发生, 不仅影响工程的稳定性和使用寿命, 而且, 也影响工程效益的正常发挥。为了研究和探寻更有效的护滩方法和寻求对水毁软体排护滩带有效的修复方法, 在水槽试验中将2种护滩形式结合起来进行试验, 结合形式主要有3种: 1) 在软体排排前缘布置框架群; 2) 软体排排上布置框架群; 3) 软体排下缘布置框架群几种情况进行试验 (图7)。



a)



b)

图7 软体排结合框架群护滩效果

从以上3种情况的护滩效果试验看,无论是透水框架群放置于软体排护滩带的何方,其护滩效果均比单一的软体排效果要好,滩体得到一定程度的防护,且避免了单一的软体排周边出现严重冲刷现象,降低了排体水毁的几率。当透水框架群布置于软体排前缘时,能有效地防止前缘河床淘刷引起的排体变形。当透水框架群放置在软体排顶面或下游边缘时,不仅保护了滩面免遭冲刷,还起到了促使其下滩面淤积的作用。

#### 4 结语

通过水槽试验研究可以看出,软体排护滩只有局部保沙效果,其周边因河床冲刷容易产生变形,在排体稳定、未受破坏的情况下,仅具有局部保沙护滩作用,滩面冲刷后受保护的滩体相对凸起于床面上,形成类似丁坝结构,起到稳定边滩的作用,但护滩带的这种变形其自身很难稳定,往往因排体变形造成2块排布接缝的撕裂而导致工程的破坏。透水框架不仅结构稳定,而且有促淤保沙效果,对于流速较大、河床冲刷变形较为严重的区域,特别是主流定冲区域,透水框架群结构仍较稳定,尽管有个别框架脱离了整体,但并未走失,仍聚集在框架群附近起着减速消能的作用。实际工程中,多用三个或四个框架连为一体,抛至设计区域,更加有利于框架群整体的稳定性。

通过对透水框架(棱长1 m,横截面10 cm × 10 cm)护滩试验得到以下认识:

1) 透水框架促淤效果较好,对于透水框架群护滩带的高度选择问题,可根据守护工程位置的具体水流条件和河床组成条件,适当决定,一般宜布置2~3层;

2) 透水框架间距大约在3~4倍护滩体长时,护滩促淤效果明显,但框架群减速影响范围则更长,关于透水框架群最佳间距的选择问题,应与当地水流流速、河床组成等因素有关,今后还需要对此进行深入研究;

3) 透水框架群不会形成大的次生流,而软体排护滩带经冲刷变形后将形成大的复杂的水平轴环流,从而加速局部河床的冲刷变形。

透水框架群与软体排相结合的护滩效果试验结果表明:当透水框架群位于软体排上游前缘时,能较好地防止护滩带前缘河床局部冲刷变形问题,从而避免护滩带因变形产生破坏的问题;当透水框架群位于软体排下游边缘或软体排上部时,不仅可以防止排体下缘河床局部的冲刷变形,而且在透水框架群下游还可能产生淤积,更有利于滩体的保护。此外,从软体排和透水框架群相结合试验表明,采用透水框架群修复已经实施的软体排护滩水毁工程,是一种有效、可行的方法。

#### 参考文献:

- [1] 谭伦武,雷国平,赵凤亚.长江下游东流水道航道整治工程初步设计[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2003.
- [2] 余帆.三八滩应急守护工程效果分析[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2005.
- [3] 周培德,张俊云.植被护坡工程技术[M].北京:人民交通出版社,2003:153-160.
- [4] 谭伦武.2007~2008届东流老虎滩护滩带修复设计[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2008.
- [5] 谭伦武.长江中游航道整治护滩带稳定性关键技术研究[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2006.
- [6] 谭伦武.边滩护滩(底)建筑物布置与结构研究[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2009.

(本文编辑 郭雪珍)