

# 仿生水草垫在航道整治护滩工程中的应用

潘美元, 肖庆华, 李冬

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

**摘要:** 针对三峡水库蓄水后, 来沙量大幅减少的实际情况, 在长江中游荆江窑监河段新河口边滩护滩工程缓流区, 开展了仿柔性植被水草垫促淤结构现场试验, 取得了较好的工程效果。对水草垫促淤结构的设计思路、构件设计、促淤机理和施工工艺进行阐述, 并对工程效果进行分析。该结构丰富了航道整治工程促淤结构形式。

**关键词:** 水草垫; 促淤结构; 护滩工程

中图分类号: U 617.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0115-06

## Application of soft waterweeds pats in the beach protection of waterway regulation projects

PAN Mei-yuan, XIAO Qing-hua, LI Dong

(Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** The sediment is dramatically reduced after the impoundment of the Three Gorges Reservoir. Experiments on the sediment deposition effect by the soft waterweeds structures are carried out in the low flow velocity region of the beach protection area of the Jingjiang Yaojian reach in the middle of the Yangtze River. This paper introduces the design idea, components design, sediment deposition mechanism and construction procedure of the waterweeds pats. The effect of the project is also analyzed. This new structure enriches the sand deposition structures.

**Keywords:** waterweeds pats; sand deposition structure; beach protection project

在航道整治护滩工程中, 常采用软体排覆盖滩面, 防止水流直接冲刷河床。软体排护滩能减缓滩面的冲刷速度, 但不能促进河床泥沙在滩面的淤积。柔性植物在水流冲刷时, 能充分利用自身间隙过流、枝干和叶冠阻水和耗能, 形成透水结构形式, 从而达到减缓流速、抵御冲刷的作用。受植物自身生存环境的影响, 在堤防生态护岸工程中, 仅在正常水位或在正常水位以下的有限范围内选择根系发达、耐冲刷、耐淹、抗旱的植被来防止冲刷。

仿柔性植被的研究主要体现在水流结构方面:

陈德春等<sup>[1]</sup>根据室内水流试验和波浪槽试验资料, 研究了人工水草的缓流和消波特性; 黄本胜等<sup>[2-3]</sup>系统地研究了河滩种树对行洪的影响; 新疆农业大学水利学院水工实验室<sup>[4]</sup>通过玻璃水槽试验, 探讨了植树对水流及泥沙运动的影响以及植树密度、植物坝长度和坝距对水流的影响。

仿柔性植被采用合适的仿植被材料进行加工制作, 既可以发挥其防护效果, 又可以避免使用天然植被材料选种难、投资大、养护要求高、防冲能力不足的缺点。仿柔性植被仅在堤防工程中有少量的应用, 且没有一定的结构形式, 仿柔性

收稿日期: 2016-04-29

作者简介: 潘美元 (1982—), 男, 高级工程师, 从事港口、航道工程结构及水沙运动规律研究。

植被在航道整治护滩工程中的结构形式和应用尚未见文献报道。

## 1 仿生水草垫设计与机理

### 1.1 设计思路

史蒂文·沃格尔<sup>[5]</sup>发现,在连续风载荷的作用时,树叶会发生蜷曲,以水仙花为例,在狂风中水仙花的花瓣会通过弯曲和扭曲变形方式来调整位姿,进而实现抗风,其内在根源在于植物体拥有更具柔韧性的材料,极巧妙地将刚柔特性揉合在了一起。

由史蒂文·沃格尔的发现设计出的仿柔性植被应具备以下特征:1)叶片材料的密度要低于水的密度,在水中有良好的漂浮能力;2)叶片应有柔性弯曲自由度,叶片形态能够随来流条件变化自动发生调整;3)叶片应有个根基,可将多个叶片固定在一个底座上形成一个整体;4)仿植被材料应具有柔韧性好、耐磨、吸水率小、抗冲刷、耐疲劳、环保经济等特性。

### 1.2 构件设计

基于上述仿柔性植被的特征,选用聚丙烯细丝作为仿柔性植被材料,加热压制成具有不规则网孔的三维形态叶片;采用聚丙烯细丝挤压在双绞合钢丝网面上形成加筋三维网垫作为叶片底座;为便于沉放以及沉入水底后靠自重能保持稳定,通过系接混凝土D型块的方式进行压载。由于在水中的形状类似水草,因此取名为仿生水草垫(图1)。

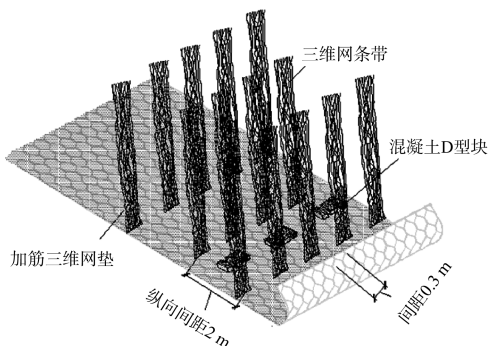


图1 仿生水草垫结构

构件具体设计如下:

1) 加筋三维网垫。将发丝状聚丙烯材料挤压于机编六边形双绞合钢丝网面上形成,平面尺寸为 $30\text{ m}\times 6\text{ m}$ (长 $\times$ 宽)。钢丝网面的网格尺寸为 $8\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ ,钢丝直径为 $2.7\text{ mm}$ ,并采用镀锌防腐处理。

2) 三维网条带。为发丝状聚丙烯材料,挤压于加筋三维网垫上,尺寸为 $2.0\text{ m}\times 0.3\text{ m}$ (长 $\times$ 宽)。三维网条带横向间距 $0.3\text{ m}$ 、纵向间距 $2\text{ m}$ ,沿纵向前后两排三维网条带错缝布置,确保三维网条带在倒伏方向一致状态下能覆盖 $50\%$ 加筋三维网垫。

3) 混凝土D型块。混凝土D型块均匀布置在加筋三维网垫上,横向间距 $2\text{ m}$ 、纵向间距 $0.5\text{ m}$ 。混凝土D型块平面尺寸为 $40\text{ cm}\times 26\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 厚),其质量为 $21.93\text{ kg}$ 。采用 $80\text{ cm}$ 的长丝机织系结条系结混凝土D型块。

### 1.3 促淤机理

当流速大于三维网条带抗倾流速时,三维网条带处于倒伏状态下,由于加筋三维网垫和三维网条带的高空隙率,底流将产生小涡减缓流速,淤留部分推移质泥沙;当流速小于三维网条带抗倾流速时,三维网条带逐渐由倒伏转为竖立或倾斜,可以降低水流流速、促进悬砂的淤积。

水流经过水草垫“防护林”时,由于受到塑料水草的柔性黏滞阻尼作用流速减缓,从而降低了水流对河床、滩面的冲刷能力;同时,由于流速减缓水流夹沙能力降低,泥沙落淤在加筋三维网垫上,形成一个“加筋”的河床,增强河床的保砂、抗冲能力。

## 2 施工工艺

根据水草垫沉放后的三维网条带面垂直水流方向的原则,确定水草垫的沉放方向。不同水草垫沉放的先后顺序为:先沉放上游侧水草垫,后沉放下游侧水草垫。

### 1) 施工准备。

施工前,先进行水下测量,为了确保加筋三维网垫与河床接触良好,发现陡坎或过大的坑洼、突出的块石及尖状物等时,应及时处理,防止加筋三维网垫遭受破坏。按照设计尺寸,在水草垫沉放的起点处将D型排排布加筋条缝制成环形。

### 2) 定位。

在沉排过程中采用GPS定位,确保水草垫按设计的位置入水,并保证水草垫之间有一定的搭接。

### 3) 安装和沉放。

先将尼龙绳把水草垫上游侧边缘与D型排排布的加筋条进行绑系,然后在每张水草垫上游侧绑系一根沉排梁。以常规40 m宽沉排船为例,每张D型排排布宽40 m,横向布置7张水草垫,水草垫之间搭接不小于0.3 m。D型排排布通过卡排梁平铺于沉排船工作平台上,沉放水草垫时,在排布上系结一定量的D型混凝土块。然后沿水草垫的纵向边缘每隔50 cm用15 cm长的钢丝将相邻水草垫的加筋三维网垫进行绞合,再将三维网垫与D型排排布重合边缘用尼龙线进行缝合。缝合后,在水草垫的三维网垫上系结一定量的D型混凝土块后即可松卡排梁,绞动铺排船,让水草垫沿滑板沉入河底以此循环。

### 4) 检测。

沉放完成后,应及时安排潜水员进行下潜作业,以检查水草垫的位置是否满足设计要求,对于不满足设计要求的,应进行补沉处理。

## 3 工程应用与效果

### 3.1 工程方案简介

新河口边滩守护工程布置<sup>[6]</sup>在新河口边滩头部,由6道(HT1#~HT6#)护滩带组成。其中HT1#~HT4#护滩带为整体式守护,HT1#护滩带顺水流方向

布置,HT2#~HT4#护滩带垂直水流方向布置。

HT1#护滩带结构形式为:采用D型排进行护底;沿纵轴线排上设30 m宽、2 m厚的抛石棱体;河心侧排边缘设30 m宽、2 m厚的抛石;护滩带上、下游侧排边缘按4架/m<sup>2</sup>设透水框架;水草垫设置在护滩带下游排边缘河心侧,水草垫宽30 m、长74 m。护滩带纵轴线河心侧其余排上设1.2 m厚的抛石、纵轴线近岸侧其余排上设0.8 m厚的抛石。

### 3.2 工程效果

通过对新河口边滩守护工程HT1#护滩带水草垫区域3次地形测量和2次流速观测,进行应用效果分析。测量时间为:水草垫和D型排完工后的2013年12月初(测量水位22.89 m)、抛石和透水框架施工前的2014年2月(测量水位23.53 m)、以及汛后退水期2014年11月(测量水位27.53 m)。

#### 3.2.1 工程局部流速变化

为了分析水草垫完工前后工程局部流速变化情况,在水草垫测量的区域内安排3个垂线流速观测断面,水草垫区域左侧安排一个垂线流速观测断面,每个断面设3个垂线流速观测点,具体断面布置见图2。垂线流速分布按照三点法进行观测,图3为2013年12月和2014年2月2个测次4个垂线流速观测断面垂线流速分布。

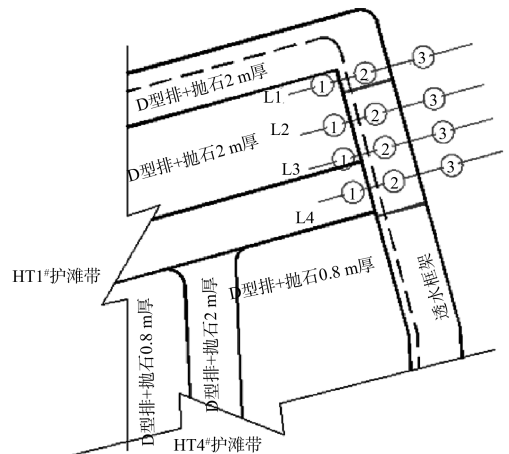


图2 流速观测点布置

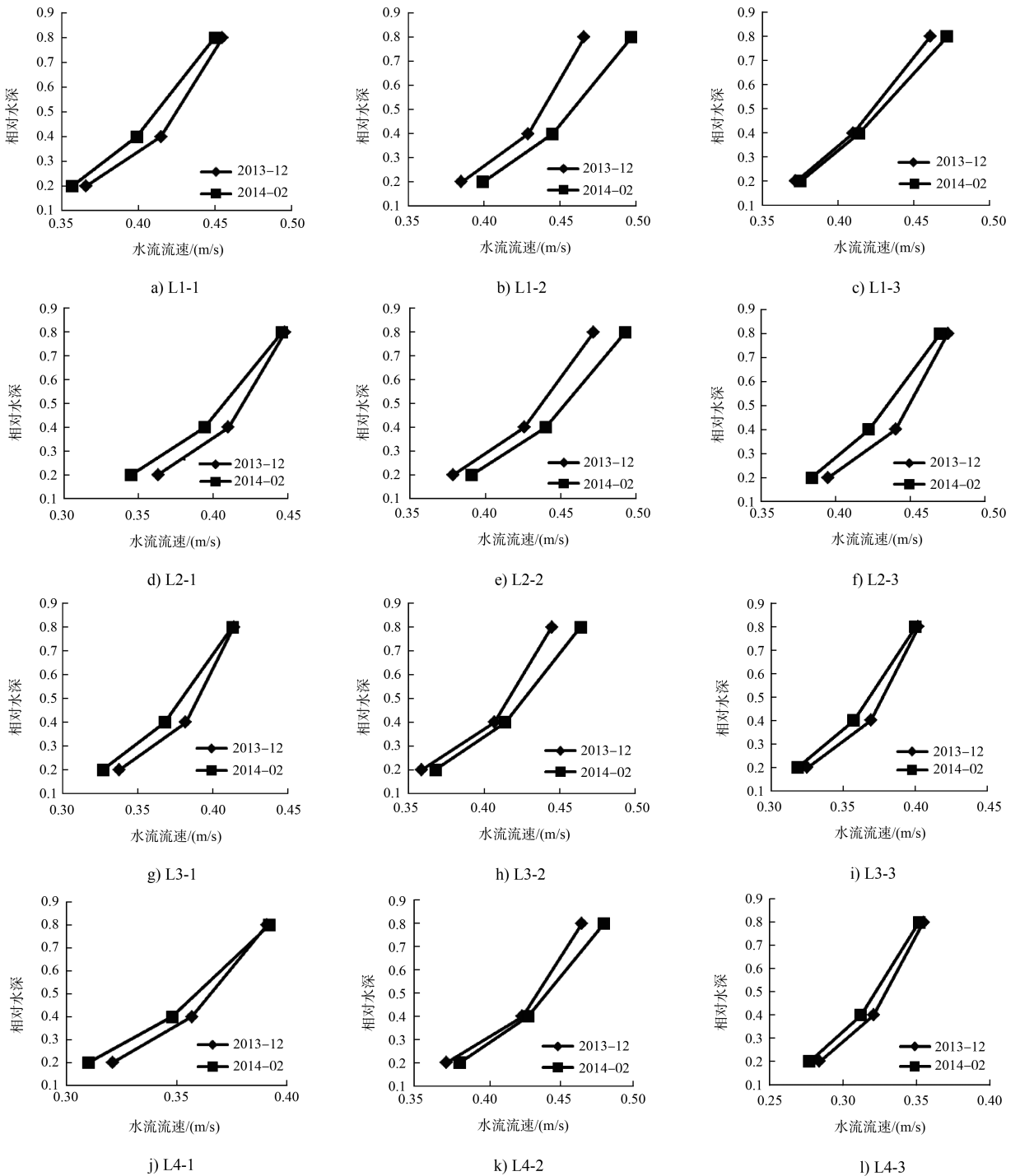


图3 流速观测点垂线流速分布

从图3可见,水草垫完工后,水草垫区域上游及下游表面流速相对减小,水草垫区域表面流速相对增加,水草垫局部水域垂线流速梯度均有所增大,即水草垫区域底流较工程前减缓。

### 3.2.2 河床冲淤变化

1) 水草垫完工与抛石和透水框架施工前河床冲淤变化。

从水草垫区域冲淤变化(图4)看出,水草垫区域整体淤积,淤积幅度在1 m以内;水草垫上游侧D型排区域淤积幅度在0.5 m以内。紧邻水草垫下游侧及河心侧表现为冲刷,其中水草垫区域下游侧冲刷幅度在0.5 m以内,而水草垫区域的河心侧最大冲刷幅度达到1.5 m。

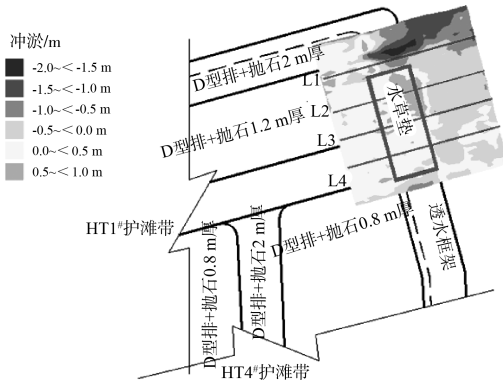


图 4 2013-12—2014-02 水草垫区域冲淤变化

从水草垫区域的断面变化(图 5)可看出,水草垫河心侧 L1#断面沉排后,上游 D 型排区域河床地形基本没变,下游未守护区域河床地形略有冲刷;相比而言, L2#~L4#断面整个水草垫区域、上游 D 型排守护区域以及水草垫下游 10 m 范围内均有一定幅度的淤积。

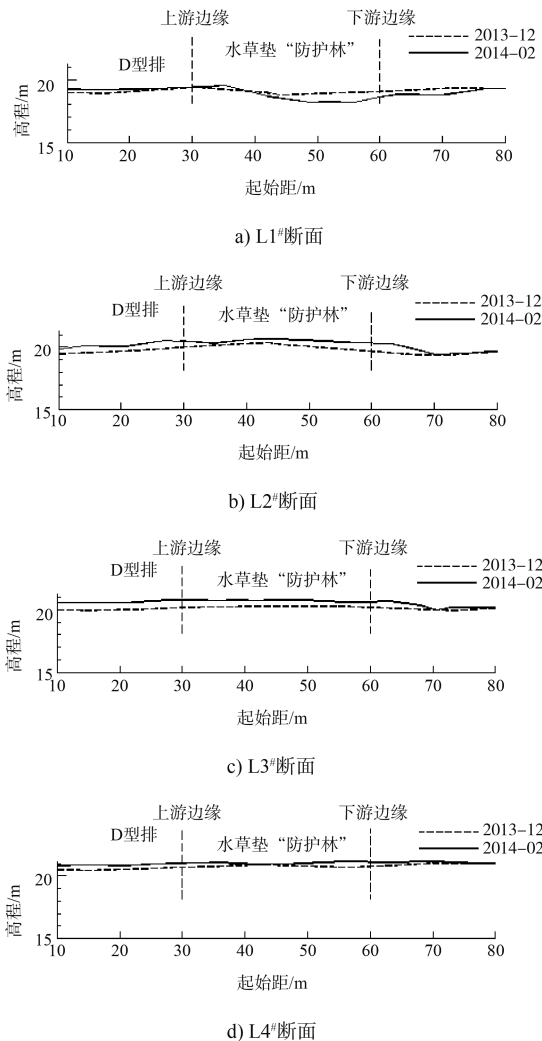


图 5 2013-12—2014-02 水草垫区域断面比较

2) 水草垫完工与经过一个汛期后河床冲淤变化。

水草垫完工经过一个汛期后的冲淤变化(图 6),水草垫区域及附近河床整体抬高。其中水草垫区域淤积幅度 0~1.5 m;水草垫上游侧排上 1.2 m 厚抛石区域,地形抬高幅度在 0.5~1.5 m;水草垫河心侧 2 m 厚的抛石区域地形抬高幅度在 1.5~2.5 m;水草垫近岸侧的透水框架区域地形抬高幅度在 1.0~1.5 m(4 架/m<sup>2</sup> 透水框架的堆积高度为 0.65~1.3 m);水草垫区域下游的河床淤积幅度逐渐减小,淤积幅度由水草垫下游边缘的 1.0~1.5 m 减弱至下游 35 m 处的 0~0.5 m。

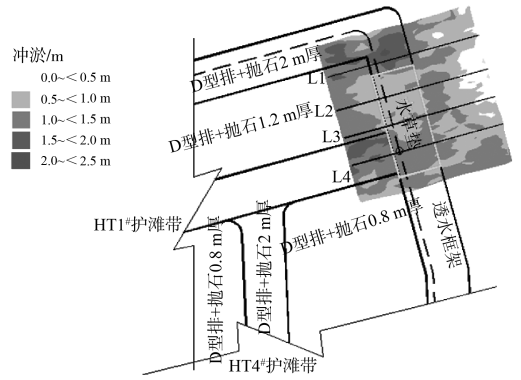
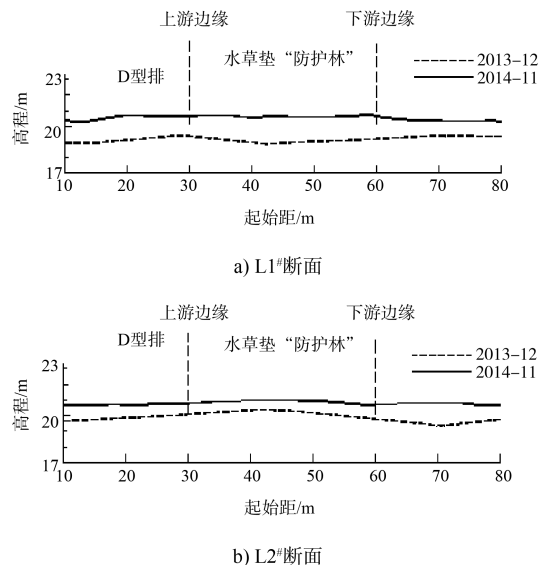


图 6 2013-12—2014-11 水草垫区域冲淤变化

从水草垫区域的断面变化(图 7)可看出,水草垫区域外河心侧 L1#断面抛石后,抛石区域河床地形抬高,下游无抛石区域河床地形淤积逐渐变弱; L2#~L4#断面整个水草垫守护区域以及水草垫下游均有淤积,上游抛石守护区域地形抬高。水草垫守护区域下游侧河床淤积幅度随着距水草垫距离的增加而减小。



b) L2#断面

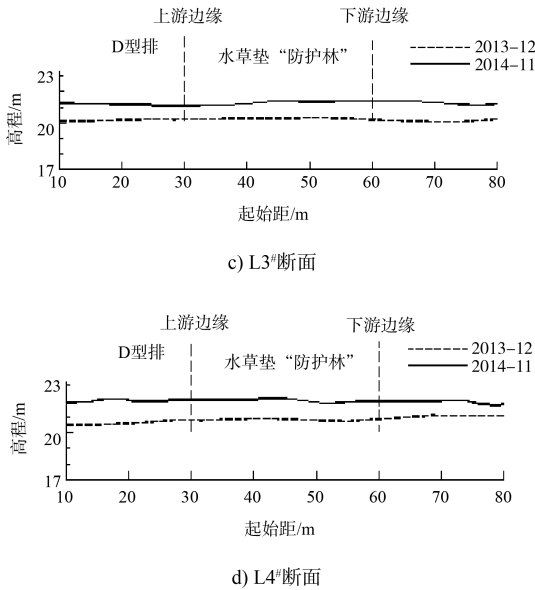


图7 2013-12—2014-11 水草垫区域断面比较

### 4 结论

1) 水草垫实施初期, 水草垫三维网条带未被泥沙覆盖, 守护区域由整体冲刷变为整体淤积, 受三维网条带的防护作用, 下游流速有所减缓。

2) 三维网条带长为 2.0 m 的水草垫淤积幅度略大于 4 架/m<sup>2</sup> 透水框架的淤积幅度, 水草垫促淤效果相对抛石后河床地形更为平缓。说明水草垫

在缓流区的促淤效果和守护效果要好于透水框架的促淤效果和抛石的守护效果。水草垫三维网条带大部分被泥沙淤积覆盖后, 水草垫区域内底流流速仍均小于其上、下游的底流流速。

3) 水草垫完工经过一个汛期, 水草垫守护区域仍存在一定的淤积, 表明水草垫具有较好的促淤的效果, 且水草垫区域前沿流速有所减缓。

### 参考文献:

[1] 陈德春, 周家苞. 人工水草缓流和消波研究[J]. 河海大学学报, 1998, 26(5): 99-103.

[2] 黄本胜, 赖冠文, 程禹平. 海堤外滩地种树效果及对行洪影响[J]. 人民珠江, 1995(3): 38-42.

[3] 黄本胜, 赖冠文, 邱静, 等. 河滩种树对行洪影响试验研究[J]. 水动力学研究与进展, 1999, 14(4): 468-474.

[4] 邱秀云. 植物柔性坝拦沙机理研究模型试验阶段报告[R]. 新疆: 新疆农业大学水利学院水工实验室, 2002.

[5] 王珍. 植物抗风的奥秘[J]. 生活与健康, 2007(5): 53.

[6] 刘奇峰, 潘美元. 长江中游荆江河段航道整治工程昌门溪至熊家洲段工程 2013-2014 届枯水期监临大河段施工图设计报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2013.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 97 页)

### 参考文献:

[1] 孙保虎. 汉江雅口航运枢纽工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 湖北省交通规划设计院, 2013.

[2] 李君涛. 汉江雅口航运枢纽工程整体水工模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2015.

[3] 李金合, 王守礼, 章日红. 松花江大顶子山航电枢纽船闸平面布置研究[J]. 水道港口, 2006, 27(1): 27-31.

[4] 郝品正, 李伯海, 李一兵. 大源渡枢纽通航建筑物优化布置及通航条件试验研究[J]. 水运工程, 2000(10): 29-33.

[5] 李君涛, 郝品正, 李金合. 右江鱼梁航运枢纽平面布置优化研究[J]. 水道港口, 2007, 28(5): 348-353.

[6] 郝品正, 李军, 徐国兵. 微弯分汊河段航电枢纽总体布置与通航条件优化试验研究[J]. 水运工程, 2004(11): 66-69.

[7] 张声明. 万安水利枢纽船闸下游改善引航道通航水流条件的研究[R]. 武汉: 长江科学院, 1989.

(本文编辑 郭雪珍)