



# 主动式钩连体防冲促淤效果研究

王效远<sup>1</sup>, 赵凯<sup>1</sup>, 徐华<sup>2</sup>

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 主动式钩连体作为一种新型的消能护滩结构, 在长江深水航道一期工程中进行了首次应用。通过动床、清水冲刷试验, 对主动式钩连体的防冲促淤特性进行研究, 并分析工程实施前后的观测数据。试验和观测结果表明, 该结构守护范围内泥沙淤积明显, 并对其周边有一定的掩护作用。

**关键词:** 主动式钩连体; 防冲促淤; 现场监测

中图分类号: U 656.3; TP 72

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)11-0008-05

## Deceleration and accretion promotion effect of active hook structure

WANG Xiao-yuan<sup>1</sup>, ZHAO Kai<sup>1</sup>, XU Hua<sup>2</sup>

(1.CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China; 2.Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** As a new type of energy dissipation and protection structure, the active hook is used for the first time in the first phase of the Yangtze River deepwater channel project. This paper studies the characteristics of deceleration and accretion promotion by the movable bed and erosion experiment and analyzes the observation data before and after the project implementation. Experimental and observational results show that sediment deposition is obvious within the scope of protection and the structure is able to cover a certain range of its surroundings.

**Keywords:** active hook structure; deceleration and accretion promotion; field monitoring

消能护滩结构被广泛应用于航道整治工程中, 实现守护洲滩、稳定航槽的功能。其中应用较为广泛的为系结混凝土连锁块软体排<sup>[1]</sup>和四面六边透水框架<sup>[2]</sup>。这些形式护滩效果明显, 但也存在结构边缘易冲刷、钩连性不足等问题。针对现行护滩结构的不足, 在长江深水航道一期项目中, 研究人员突破传统的被动守护思想, 提出利用构件抛投形成主动钩连、整体性良好的护滩结构创新设计理念, 研发了一种消减水流能量明显、护滩促淤效果良好的新型消能护滩结构——主动式钩连体(图1)。

南京水利科学研究院和中交上海航道局有限公司分别对结构孔隙率及结构施工工艺进行了研究<sup>[3-4]</sup>。

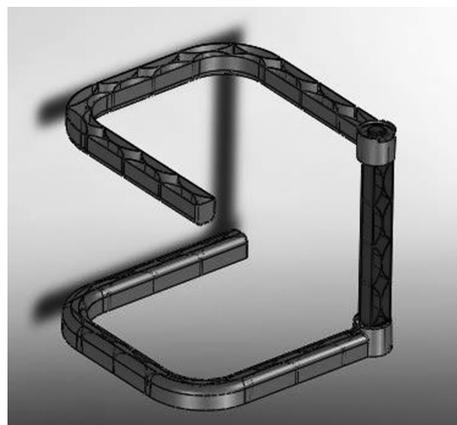


图1 主动式钩连体空间结构

为了给构件的工程应用提供理论支撑, 对主动式钩连体防冲促淤效果进行研究, 在试验效果良好的基础上, 在白茆沙整治工程中进行了典型应

收稿日期: 2015-04-24

作者简介: 王效远(1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口航道工程设计研究工作。

用, 并进行实时监测。试验及监测结果表明: 结构内部及掩护区能够形成普遍淤积, 促淤效果明显。

## 1 主动式钩连体防冲促淤试验研究

### 1.1 模型设计

在钩连体防冲促淤试验研究中, 采用的原型构件体尺寸为边长 500 mm, 截面尺寸 50 mm。考虑到天然河道水流流速及工程区模拟范围等, 防冲促淤动床试验几何比尺主要采用 1:30。

依据模型相似准则, 模型沙应满足起动、沉降部位及悬浮扩散相似。模型沙采用防腐处理的木粉, 天然底沙中值粒径为 0.15 mm, 综合沉降悬浮和起动计算的粒径比尺, 最终选取模型沙中值粒径为  $\bar{d}_m = 0.2$  mm。模型沙冲淤时间比尺为 1:62。

### 1.2 试验条件

泥沙运动特性试验: 不同来沙条件下钩连体的促淤效果对比试验, 采用几何比尺为 1:30 的钩连体; 试验时满抛抛投 2 层, 高度为 35 mm, 抛投长度为 3 m; 施放水流条件平均流速 0.24 m/s, 控制水深为 0.142 m; 模型沙采用中值粒径 0.2 mm 防腐木粉, 每小时加沙量为 50 kg, 加沙总时长 6 h。试验时, 每 30 min 观察 1 次。

护滩效果分析试验: 试验在 3.5 m 宽、40 m 长的水槽内进行; 动床试验范围长 20 m, 铺设中值粒径 0.2 mm 的防腐木粉; 钩连体抛投在动床范围的中间部位钩连体抛投宽度分别取 350 mm (0.1B)、700 mm (0.2B) (B 为水槽宽度), 抛投长度统一为 2.5 m。

### 1.3 泥沙运动特性

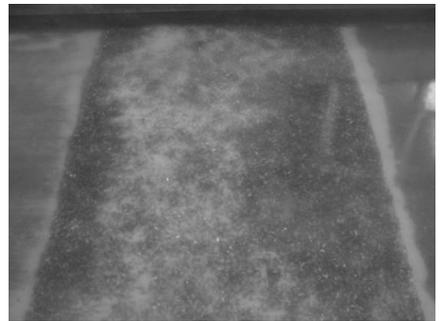
泥沙运动特性研究主要是在加沙条件下研究钩连体的促淤特性。在钩连体作用下, 钩连体内部的流速很小且紊动较弱, 促使泥沙在钩连体内落淤且不易起悬, 达到护滩促淤的效果。试验过程中泥沙首先大量淤积在钩连体头部, 此后随着时间的推移淤积逐渐向下游推进, 最终形成普遍淤积。

由图 2 可知, 在钩连体头部, 水流受阻, 局部绕流较强, 使得泥沙难以形成落淤。进入钩连体内部一定距离后, 流速和紊动强度急剧降低,

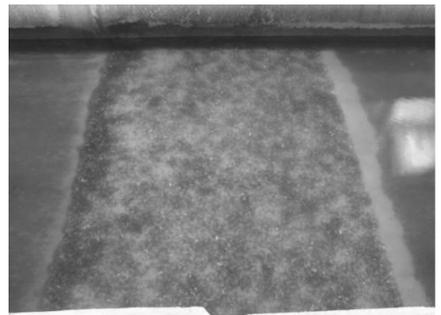
泥沙迅速落淤。当上游加沙 0.5 h 时, 在距离钩连体最前端 60~80 mm 处就已经形成一个垂直于水流方向的淤积坝体。随着时间的推移, 淤积逐渐向下游发展, 整体上抛投区上游的淤积厚度较大、下游淤积厚度逐渐减小, 加沙 1.5 h 钩连体内部的泥沙淤积体不断向下游推进发展到钩连体尾部, 加沙 3 h 末头部淤至钩连体顶部、尾部淤积厚度基本与单个钩连体的高度持平, 整个工程区平均淤积厚度 16 mm。尾部的淤积体沿断面呈带状分布, 在加沙初期淤积长度较小, 随着钩连体内泥沙淤积向尾部的推进逐渐淤长, 由 50 mm 缓慢增长到 130 mm 左右。



a) 0.5 h



b) 1.5 h



c) 3.0 h

图 2 淤积变化情况

### 1.4 护滩效果

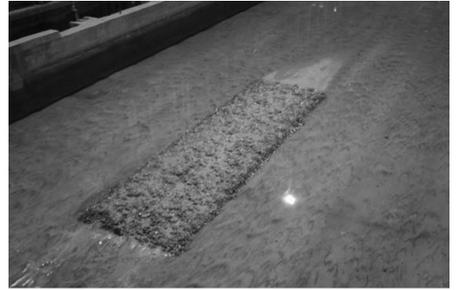
主要通过清水冲刷试验研究钩连体的守护效果。通过实验可以看出实验区无钩连体抛投的区域普遍冲刷，而有钩连体作用的区域整体上防冲效果良好，除钩连体边缘处有一定冲刷外，钩连体内部普遍淤积。其主要特征有如下。

1) 整个钩连体内部以淤积为主。

在头部一定距离处(约距头部边缘 200 mm)泥沙淤积至顶部形成最大淤高，向下游淤厚有所减小。整体而言，水动力越强，非抛投保护区的冲刷深度越大，而抛投区内部由于流速和紊动的减弱落淤也更迅速。相同水深条件下，流速较小时平均淤积厚度较小。抛投 0.1B 宽度、水深 0.167 m 条件下，流速 0.15 m/s 钩连体内平均淤厚 7 mm，流速 0.25 m/s 时钩连体内平均淤厚 10 mm；在相同流速条件下，水深较大时输沙能力强钩连体减速区内落淤发展也较快。抛投 0.2B 宽度、流速 0.25 m/s 条件下，清水冲刷 2 h 后水深 85 mm 淤厚沿程递减，而水深 167 mm 的钩连体基本淤满淤厚前后分布较均匀(图 3)。

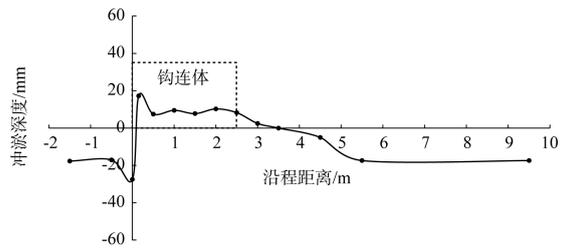
2) 钩连体边缘处为冲淤分界线。

钩连体头部外缘局部冲刷，尤其以头部左右两侧拐角处冲深较大。受钩连体的阻挡作用，水流在绕过头部两侧的拐角处时，水流出现分离现象淘刷床面，形成头部外缘的冲刷坑。冲刷深度随流速增大而有所增大，随着水深的增加而有所减小。如在 0.1B 抛投宽度下，流速为 0.15 m/s 时头部前缘冲坑深 27.5 mm；流速为 0.25 m/s 时头部前缘冲坑深 31.3 mm(图 4)。

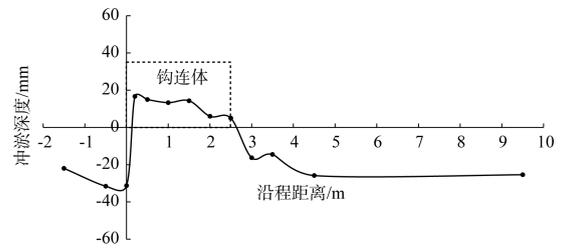


b) 0.2B, H=0.167 m, u=0.25 m/s

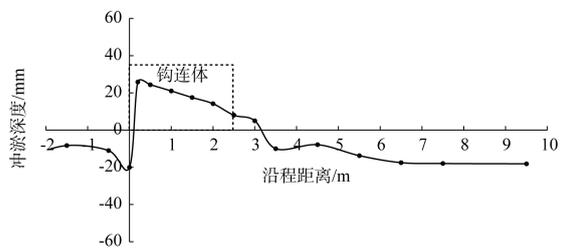
图 3 清水冲刷试验



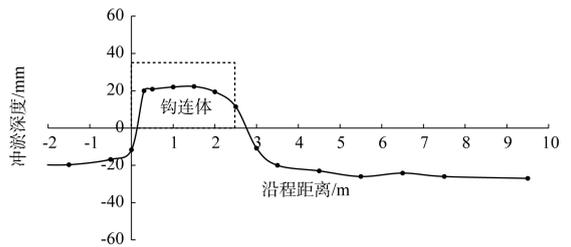
a) 0.1B, H=0.167 m, u=0.15 m/s



b) 0.1B, H=0.167 m, u=0.25 m/s

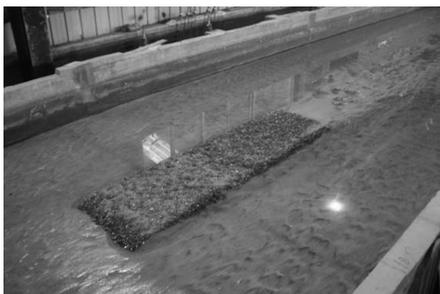


c) 0.2B, H=0.085 m, u=0.25 m/s



d) 0.2B, H=0.167 m, u=0.25 m/s

图 4 水槽中轴线沿程冲淤变化



a) 0.2B, H=0.085 m, u=0.25 m/s

3) 钩连体尾部形成楔形淤积体, 并减轻尾部一定范围内的冲刷强度。钩连体尾部流速仍然较低, 但紊动强度增大, 因此掩护区内的防冲护滩效果较钩连体内部削弱, 紧贴尾部下游侧形成一个楔形淤积体, 该淤积体尾部高度最大, 向下游快速减小, 表明钩连体能形成一定的掩护区。

## 2 主动式钩连体应用效果

### 2.1 现场应用方案

在长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程白茆沙整治工程中首次应用了主动式钩连体, 作为岸滩防护结构。应用区设计高水位为 2.56 m, 设计低水位为 -0.75 m (85 国家高程基准); 涨潮最大流速约 1.02 m/s, 落潮最大流速约 0.86 m/s; 50 a 一遇有效波高为 1.25 m。

应用区位于北潜堤内侧, 滩面高程为 0.0 ~ 0.4 m (图 5)。抛投区内边缘距堤轴线 50 m, 长 200 m, 宽 40 m, 与堤身排的搭接宽度为 5 m。在抛投区外边缘铺设宽度为 2 m; 在抛投区内部垂直堤轴线方向, 每隔 20 m 铺设连锁块软体排, 宽度为 1 m。抛投区划分为 5 m × 10 m 的小抛投区, 每个抛投区抛投个数控制在 400 个左右 (图 6)。

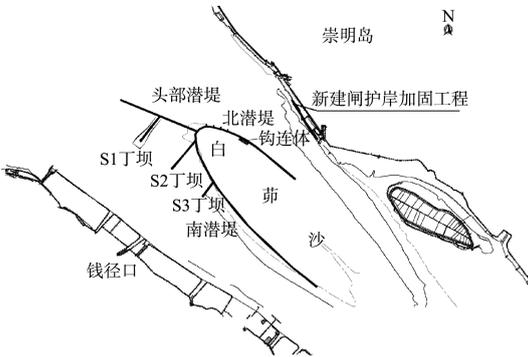


图 5 主动式钩连体典型应用区

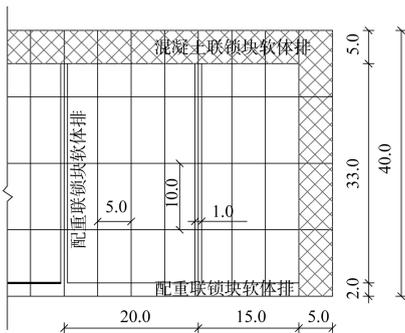


图 6 施工布置 (单位: m)

### 2.2 观测内容及布置

为了检测应用效果, 抛投完成后的一个水文年内, 对典型应用段进行观测。观测分为工程实施前和实施后观测 2 个阶段, 观测频次为 4 次, 分别为抛投施工前测次、抛投施工后测次、抛投施工后洪季测次和抛投施工后枯季测次。

地形测量内容主要包括抛投施工区域结构物内部滩面高程及周边区域滩面地形。主动式钩连体典型应用区滩面较高, 落潮时基本干出, 共布设 3 条主动式钩连体内部滩面高程测线 (P1、P2 和 P3 测线) 和一个矩形周边水域水下地形测量范围 (L1~L4 区域) (图 7)。

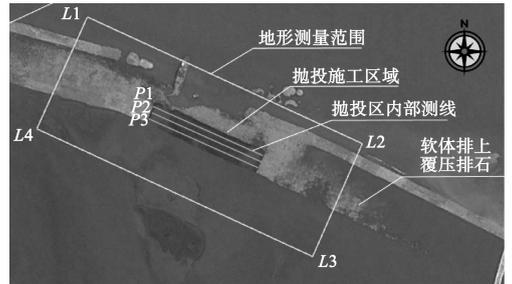


图 7 观测布置

### 2.3 护滩效果

1) 主动式钩连体抛投施工完成后的枯季水文条件作用期间 (2014 年 1—4 月), 抛投区内总体表现为平均淤高 0.14 m, 但局部呈西侧淤积、东侧微冲的趋势。其西侧淤积幅度平均为 0.34 m, 东侧冲刷幅度平均为 0.05 m, 且其南北向冲淤变化的差异较小。

2) 主动式钩连体抛投施工完成后的洪季水文条件作用期间 (2014 年 5—10 月), 抛投区内发生全面淤积, 平均淤高 0.34 m, 其西侧淤积幅度略小于东侧, 西侧和东侧的平均淤积幅度分别为 0.28 m 和 0.40 m, 且南北向变化的差异仍不明显。

3) 与抛投施工后摸底测次测量结果比较, 经历一次枯季水文条件和一次洪季水文条件作用后, 抛投区内平均淤高了 0.48 m, 且受抛投施工期间

抛投区内初始地形影响,抛投区内的淤积幅度南北向差异不明显,但东西向差异较大,其中西侧淤积幅度明显大于东侧(图8)。

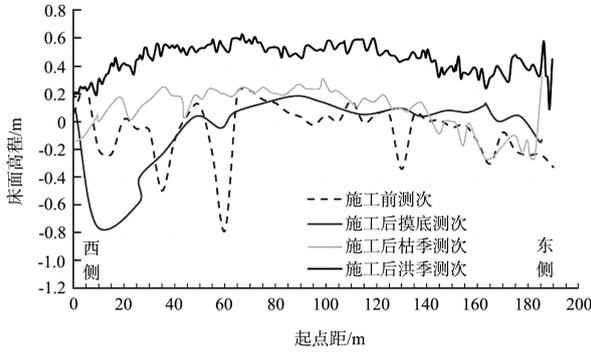


图8 滩面高程变化

### 2.4 抛投区周边淤积情况

从试验段现场情况可以看出,主动式钩连体守护效果良好,防冲促淤效果显著,促淤后,钩连体由于其相互勾连形成了类似植物庞大根系的骨架型结构,能起到较好的固滩作用。在抛投初期,主动式钩连体内部出现迅速淤积,泥沙在抛投区边缘形成一个自然的边坡,坡度约为1:3,高差在0.3mm左右。钩连体抛投初期迅速出现淤积的情况对钩连体的稳定起到很好的保护作用(图9)。



图9 抛投初期钩连体淤积情况

在软体排铺设区域,潮汐通道位于排体边缘,并在排体边缘形成冲刷区。而钩连体不仅抛投区内部淤积情况良好,随着时间的推移,在抛投区以外相当大的范围(30~60m)处于钩连体的掩护区,掩护区泥沙淤积情况与抛投区基本相同(图10)。

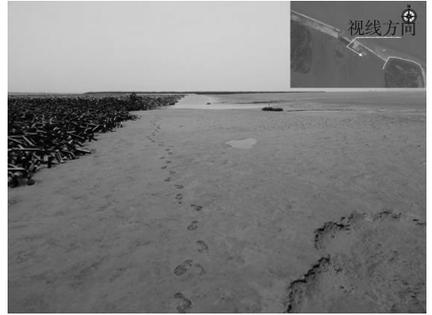


图10 抛投掩护区淤积情况

### 3 结论

1) 现场试验所得历经一次枯季水文过程、一次洪季水文过程后,抛投区内发生了全面淤积,平均淤高0.48m以上。从淤积后地形角度看,主动式钩连体内部淤积后高程较高,东、西两侧较低,说明钩连体内部促淤效果较周围显著,与物理模型试验结果一致。

2) 根据现场观测,钩连体抛投区的潮汐通道位于掩护区外侧,因此钩连体不仅对抛投区能起到防冲促淤的作用,对其掩护区也能起到相同的作用,可起到引导洲滩逐步生长、扩大的作用。物理模型试验结果表明,主动式钩连体对掩护区具有一定的作用,主动式钩连体淤积情况观测数据全面优于概化模型试验结果。

通过观测数据和试验结果的对比分析可知,试验段观测数据与室内试验数据基本一致,钩连体防冲促淤效果明显,达到了预期效果。

### 参考文献:

- [1] 王亚莉,邹国语,李保红.混凝土联锁块软体排在潮汐河道防护工程中的应用[J].水利建设与管理,2015,35(1):12-14.
- [2] 陈飞,付中敏,刘怀汉.四面六边框架结构在航道整治工程中的应用[J].水运工程,2010(11):98-102.
- [3] 马爱兴,曹民雄,王秀红,等.长江中下游航道整治护滩带损毁机理分析及应对措施[J].水利水运工程学报,2011(2):33-37.
- [4] 魏祥,夏云峰,吴道文,等.主动式钩连体结构孔隙率研究[J].水运工程,2014(3):8-12.
- [5] 韩崇蛟,郭素明,李培阳.主动式钩连体在白茆沙整治工程中的应用[J].水运工程,2015(9):6-9.