



潜没式导流护滩带的导流效果分析*

陈长英，张幸农，假冬冬

(南京水利科学研究院，江苏南京 210029)

摘要：针对潜没式导流护滩带，采用理论分析与概化水槽试验相结合，开展潜没式导流护滩带的导流效果研究。结果表明，导流护滩带对水流具有较好的调整作用，其调整作用表现为受导流护滩带阻挡的水流向主流侧偏移以及主流侧过流量增大，调整作用的大小受护滩带阻水程度和淹没程度的影响。主流偏移相对距离和导流率能较好地评价护滩带的导流效果。

关键词：护滩带；导流效果；评价指标；概化水槽试验；导流率

中图分类号：U 617.8

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)11-0133-05

Diversion effect of beach protection belts in submerged type

CHEN Zhang-ying, ZHANG Xing-nong, JIA Dong-dong

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Regarding the beach protection belts in submerged type, we apply the method of combining theoretical analysis with the generalized flume test to study the diversion effect of beach protection belts in submerged type. The results show that the diversion beach protection belt has a good regulative effect on the water flow. The efficiency of the beach protection belts is expressed by the offset distance and the increase discharge of the main stream. The efficiency of the beach protection belts is affected by the water-blocking ratio and the submergence of the beach protection belts. The offset distance of the main stream and the rate of the offset discharge can well evaluate the efficiency of the beach protection belts.

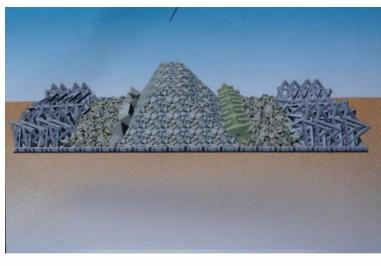
Keywords: beach protection belt; diversion effect; evaluation index; generalized flume test; rate of offset discharge

在长江中下游航道治理过程中，护滩带是长江航道整治工程中的主要护滩结构形式^[1-3]。护滩带保护淤沙滩体(心滩或边滩)免受水流冲刷，从而达到稳定主航槽以及保护大堤安全的作用。导流护滩带，顾名思义是具有护滩和导流作用的带状整治建筑物^[4-5]。根据长江中下游河段航道整治工程实践，导流护滩带主要由底部的混凝土软体排和上部抛石压载体及边缘压载的透水框架组成^[6]，如图1所示。从断面结构形式上看，呈现两侧低、中间高的形态，底部为系结混凝土块体软体排，排体上部为抛石压载体，且其中间区域加高，形成中

间加强带；从整治建筑物与水流之间的关系看，护底排的作用是守护滩体，而加强带可视为一道潜坝，其作用则是加强滩体的导流功能。



a) 原型



b) 模型

图 1 导流护滩带结构形式

本文针对导流护滩带,从河流动力学理论出发,结合定床概化水槽试验,充分认识和评价护滩带导流效果。

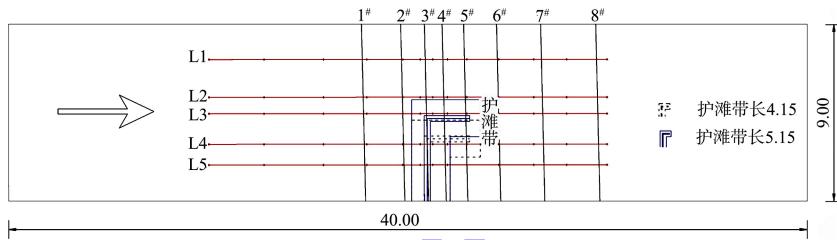


图 2 水槽平面尺度及观测断面布置 (单位: m)

导流建筑物的长度、坝体高度、坝体的淹没程度等参数是护滩带导流效果的重要影响因素,因此试验中重点考虑护滩带长度、中间加强带坝体高度、流量等因素对护滩带的导流功能和效果的影响。其中护滩带长度取 4.15 m(断面缩窄比为 $\frac{B_0}{B} = 0.46$, 其中 B_0 为护滩带长度, B 为水槽宽度)和

5.15 m (断面缩窄比 $\frac{B_0}{B} = 0.57$) ; 中间加强带考虑 3 种坝体高度, 即 2、4、6 cm; 流量取 100、150、200 和 300 L/s, 对以上影响因素进行组合, 共进行了 30 余组次的试验。

2 水流运动特征及变化规律

2.1 纵向水面线变化规律

河道中兴建导流护滩带后, 受导流护滩带的阻水和挑流作用, 纵向水面发生明显变化, 见图 3、4。可以看出, 护滩带侧和护滩带对岸侧水

1 概化水槽试验

概化水槽长 40 m、宽 9 m, 在水槽中部右侧布置护滩带。护滩带的结构形式参考太平口水道导流护滩带, 即护滩带+中间加强带的结构形式, 见图 2。为详细研究护滩带不同区域水位和流场变化特征, 布置了 5 道纵向水位观测线(L1~L5)和 8 个流速观测横断面(1#~8#), 试验中, 分别采用固定水位测针和光电式旋桨流速仪测量水位和流速。考虑到本文为概化水槽试验, 不存在相似比尺的问题, 故未进行模型验证工作。

位变化均表现为护滩带上游水位壅高, 护滩带下游水位下降。护滩带侧(水槽右侧)上游水位壅高, 主要是由于护滩带阻流作用使护滩带上游侧水位壅高, 引起上游水面比降减小、流速降低, 护滩带上游水面有较短距离的逆坡。护滩带上游壅水高度随护滩带长度、加强带坝体高度增大而增大, 以 L4 纵向水面为例, 护滩带长 4.15 m、试验流量 100 L/s 时, 加强带坝体高 2、4 和 6 cm 引起护滩带上游壅水高度分别为 0.4、0.8 和 1.5 mm; 护滩带长 5.15 m、试验流量 100 L/s 时, 加强带坝体高 2、4 和 6 cm 引起护滩带上游壅水高度分别为 0.5、1.2 和 2.5 mm; 护滩带上游壅水高度随加强带坝体淹没程度加大而减小, 护滩带长 4.15 m、试验流量为 300 L/s 时, 加强带坝体高 2、4 和 6 cm 引起护滩带上游壅水高度分别为 0.1、0.3 和 0.6 mm。河道中兴建导流护滩带后, 护滩带下游水位下降, 水位降幅随护滩带长度、加强带坝体高度增大而增大, 随加强带坝体淹没程度加大而减小。

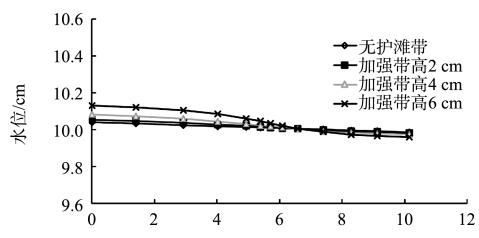
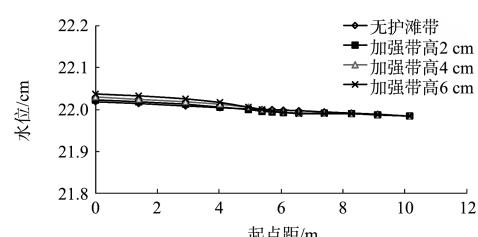
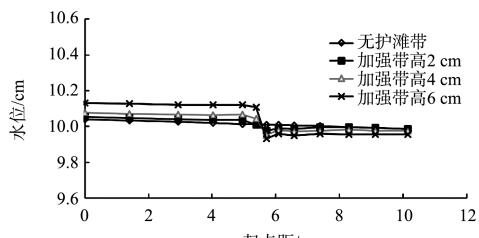
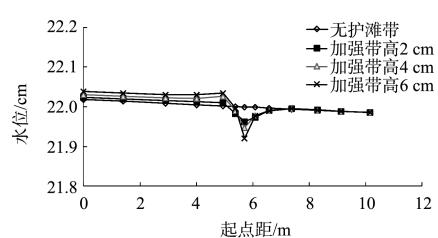
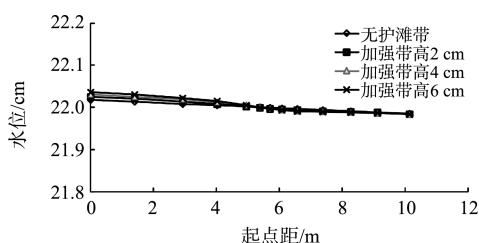
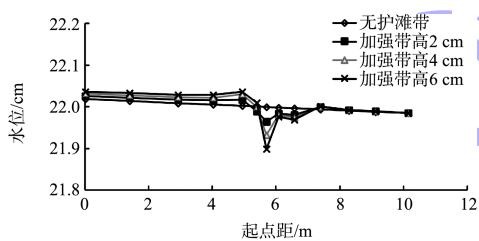
a) $Q=100 \text{ L/s}$, L1断面c) $Q=300 \text{ L/s}$, L1断面b) $Q=100 \text{ L/s}$, L4断面d) $Q=300 \text{ L/s}$, L4断面c) $Q=300 \text{ L/s}$, L1断面d) $Q=300 \text{ L/s}$, L4断面

图 3 褤滩带长 4.15 m 的纵向水面线

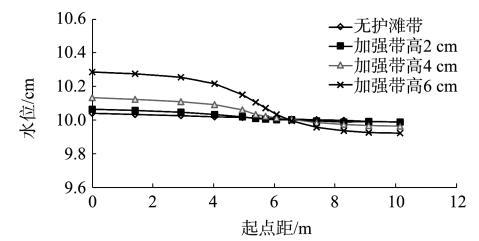
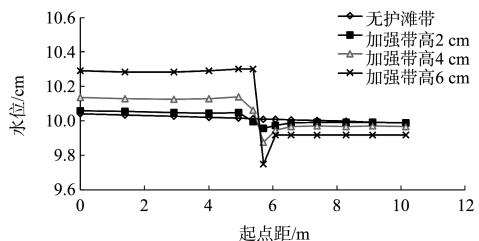
a) $Q=100 \text{ L/s}$, L1断面b) $Q=100 \text{ L/s}$, L4断面

图 4 褥滩带长 5.15 m 的纵向水面线

2.2 横断面流速变化规律

河道中兴建导流护滩带后, 流速分布发生明显变化, 见图 5、6。可以看出, 护滩带位于水槽右侧, 因护滩带的阻水作用, 水槽右侧过流量减小, 护滩带上、下游区域流速减小; 水体向护滩带外侧偏移, 护滩带前沿至对岸区域过流量增大, 流速增大, 其中护滩带前沿流速增大最为明显。护滩带工程区域 3[#]、4[#]断面流速分布变化特征相对复杂, 由于 3[#]断面位于护滩带加强带上, 3[#]断面过水面积大幅减小, 3[#]断面右侧流速增大, 流速增幅随加强带坝体加高而大幅增大; 4[#]断面位于加强带下方护滩区域, 试验流量为 100 L/s 时, 护滩带加强带坝体高度为 2 cm 时, 4[#]断面右侧流速增大, 加强带坝体高度增加为 4、6 cm 时, 4[#]断面右侧流速转为减小。

相同护滩带长度、加强带坝体高度条件下, 随着上游来流量增大, 护滩带淹没程度增大, 护滩带的阻水和挑流作用减弱, 护滩带前沿至对岸区域流速增幅减小。相同来流量条件下, 随着加强带坝体加长、加高, 护滩带的阻水和挑流作用增强, 护滩带前沿至对岸区域流速增幅增大。护滩带长 4.15 m, 流量为 100 L/s 时, 护滩带中间加强带坝体高 2、4 和 6 cm 引起护滩带左侧流速最大增幅分别为 1.77、3.58 和 6.56 cm/s; 护滩带长 5.15 m, 流量为 100 L/s 时, 护滩带中间加强带坝体高 2、4

和 6 cm 引起护滩带左侧流速最大增幅分别为 2.39、4.63 和 9.04 cm/s；相比较而言，加强带坝体高度对护滩带的阻水和挑流作用影响更为明显。

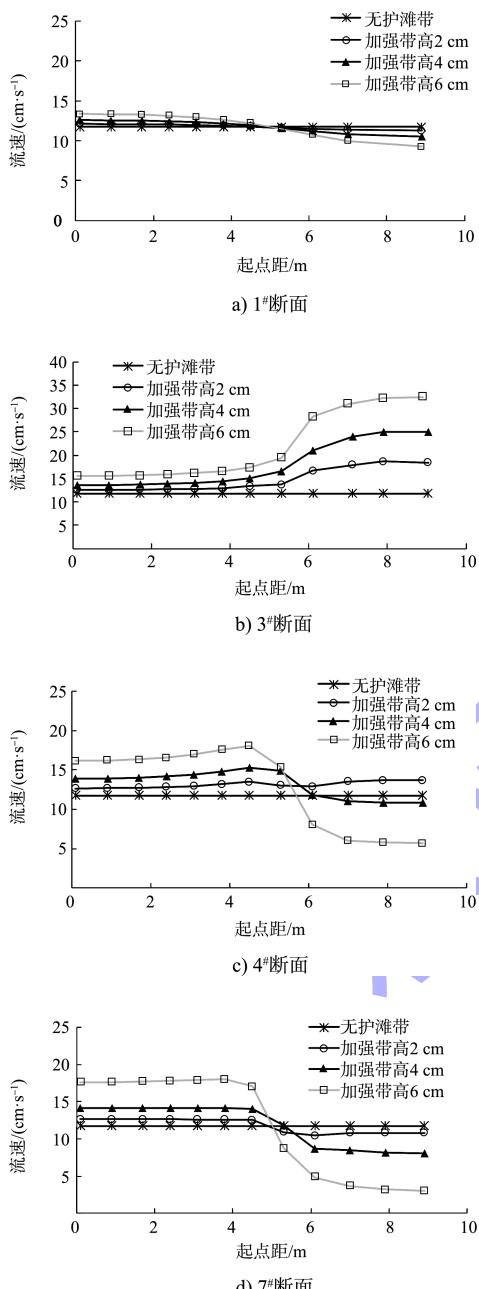


图 5 护滩带长 4.15 m、 $Q=100$ L/s 时典型断面流速分布

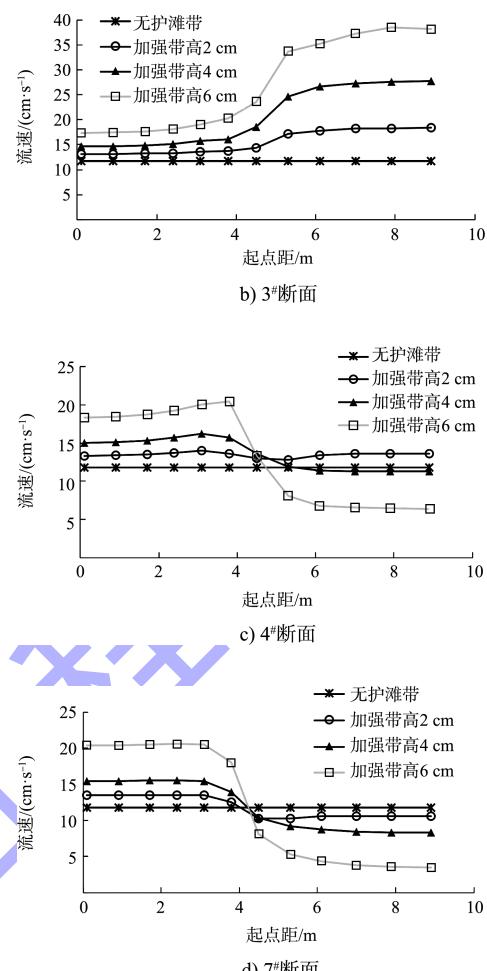
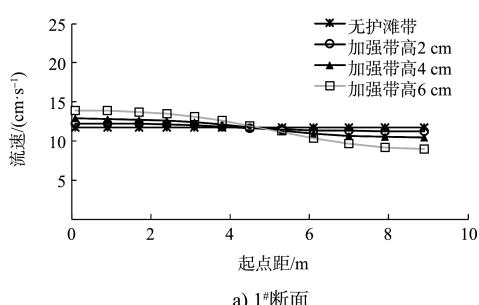


图 6 护滩带长 5.15 m、 $Q=100$ L/s 时典型断面流速分布

3 护滩带的导流效果指标

3.1 导流流量和导流率

导流护滩带主体结构为护底排和中间加强带，其导流功能主要源自于中间加强带对水流的调整作用。由于中间加强带的阻水作用，受阻挡的水流一部分从护滩带上部通过，另一部分则绕过加强带流向护滩带对岸侧，从而实现护滩带对水流的调整作用。与无护滩带的工况相比，水流主要变化特征为主流向护滩带外侧偏移和导流护滩带前沿至对岸区域过流量增加，因此导流效果指标必然要反映主流向护滩带外侧偏移的距离和导流护滩带前沿至对岸区域过增加的流量。

将“外侧主流增加的流量”定义为“导流流量”，即护滩带工程区域减少的那部分流量，或者是护滩带前沿至对岸区域增加的流量。将护滩带

工程区域划分为“阻流区”, 护滩带前沿至对岸区域划分为“主流区”。导流流量计算过程是根据试验结果, 选择典型的计算断面, 将主流区划分为 n 个计算区间, 根据试验测量结果, 统计计算区间的流速值 v_i 和计算区间宽度 B_i , 计算护滩带前沿至对岸区域增加的流量(导流流量):

$$\Delta Q = H_2 \sum_{i=1}^n (v_{2i} B_i) - H_1 \sum_{i=1}^n (v_{1i} B_i) \quad (1)$$

式中: H_1 、 H_2 分别为护滩带实施前、后计算区间的水深; v_{1i} 、 v_{2i} 分别为护滩带实施前、后计算区间纵向流速值。为了使研究成果更具客观性和通用性, 弱化护滩带几何尺度和试验边界的影响, 将研究中导流流量转化为无量纲的形式, 即 $\frac{\Delta Q}{Q} \times 100\%$, 称为导流率, 能直观地表明建筑物的导流效果。

3.2 主流偏移相对距离

主流偏移距离是护滩带实施后主流区同体积水体偏移的距离。主流偏移距离 ΔL 的计算概化图见图 7。图中以累计百分比表示同等体积的水体, 以水槽左侧边壁为起点, 选择典型横断面, 计算导流护滩带实施前后典型断面的过流流量累计百分比 P , 同一流量下相同累计百分比水体视为同等体积的水体; 以各控制点距左岸的距离为横坐标, 可得到导流护滩带实施前后的流量累积曲线沿河宽的分布。例如, 若取累计 60% 为标准, 在图中量取两曲线对应 60% 纵坐标值时的横坐标差值, 即为主流偏移距离 ΔL 。同理, 为使其应用具有普遍性, 采用 ΔL 与主流区宽度($B-L$)的比值定义为主流偏移相对距离。

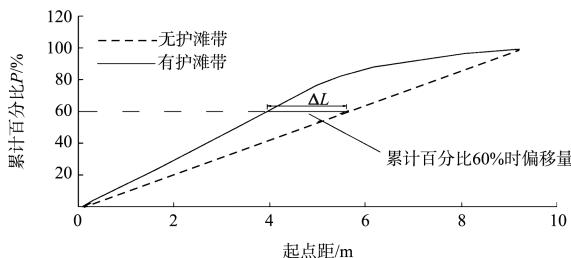


图 7 偏移距离计算概化图

4 导流效果指标变化规律

主流偏移相对距离和导流率反映护滩带对水流的调整作用, 调整作用的大小与护滩带加强带的尺度及淹没程度有关, 护滩带加强带的尺度及淹没程度可以用阻水相对面积 $\frac{S'}{S}$ 来反映, 其中 S' 为护滩带最大截面面积, S 为断面过流面积。主流偏移相对距离和导流率与阻水相对面积的关系见图 8、9。可以看出: 1) 主流偏移相对距离和导流率随着阻水相对面积的增大而增大。随着护滩带加长和中间加强带加高, 护滩带阻水相对面积增大, 护滩带的导流效果增强, 护滩带前沿至对岸区域过流量增大, 同时主流向护滩带对岸侧偏移, 主流偏移相对距离增大; 2) 主流偏移相对距离与阻水相对面积的函数关系为指数关系, 其函数关系为: $\frac{\Delta L}{B-L} = 0.019e^{7.15(\frac{S'}{S})}$ ($\frac{S'}{S} < 0.45$); 3) 导流率与阻水相对面积的函数关系为指数关系, 其函数关系为: $\frac{\Delta Q}{Q} = 0.72e^{9.15(\frac{S'}{S})}$ ($\frac{S'}{S} < 0.45$); 4) 主流偏移相对距离和导流率与护滩带阻水相对面积具有较好的相关关系, 能较好地反映护滩带工程的导流效果。

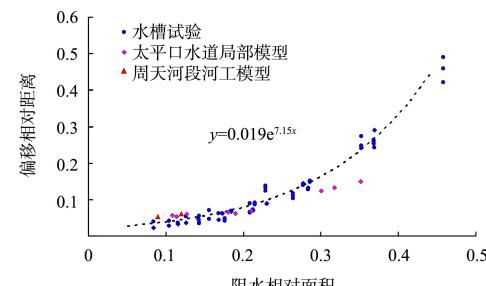


图 8 偏移相对距离与阻水相对面积的拟合关系

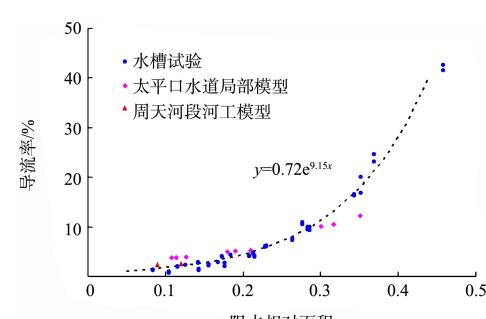


图 9 导流率与阻水相对面积的拟合关系