

· 航道及通航建筑物 ·

空心四面块体促淤堤近底水动力特性试验研究*



刘猛¹, 李寒², 何萍³

(1. 上海河口海岸科学研究中心 河口海岸交通行业重点实验室, 上海 201201;

2. 无锡市重点水利工程建设管理处, 江苏 无锡 214000; 3. 上海明波水利设计有限公司, 上海 201100)

摘要: 依据长江口某促淤工程的设计条件及物理模型试验方法对空心四面块体促淤堤近底水动力特性开展研究。结果表明: 1) 近底紊动强度最大值所在位置、近底水平平均流速最小值所在位置以及近底水平平均流动方向的转变位置基本重合; 2) 对于某种具体堤型而言, 在相同单宽流量条件下, 随着相对水深的变化(至少在本文试验范围内), 其紊动强度最大值所在位置比较稳定; 3) 与抛石加护面块体促淤堤相比, 透水性较好的堤身结构近底紊动强度最大值所在位置会更加远离堤轴线, 可使局部冲刷坑更加远离堤轴线, 对堤身结构稳定有益。

关键词: 空心四面块体促淤堤; 近底紊动强度; 局部冲刷; 透水性

中图分类号: TV 131

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)04-0088-06

Experimental study on near-bottom hydro-dynamic characteristics of hollow tetrahedron siltation promotion embankment

LIU Meng¹, LI Han², HE Ping³

(1. Key Laboratory of Estuarine & Coastal Engineering Ministry of Transports, Shanghai Estuarine and Coastal Research Center, Shanghai 201201, China; 2. Major Irrigation Engineering Administrative Office of Wuxi, Wuxi 214000, China;

3. Shanghai Mingbo Hydraulics Engineering Design Co., Ltd., Shanghai 201100, China)

Abstract: According to the design conditions of a siltation promotion project located in the Yangtze River estuary, the near-bottom hydrodynamic characteristics of a new hollow tetrahedron siltation promotion embankment is studied by model-test method. Test results show that: 1) The maximum value of the near-bottom turbulence intensity, the minimum value of the near-bottom average horizontal velocity, and the direction changing of the near-bottom average horizontal velocity occurs almost at the same place; 2) For a concrete dam type, the maximum value of turbulence intensity occurs almost at the same place under the same unit discharge condition when the relative water depth changes; 3) Compared with traditional embankment which is composed of riprap and armor block, embankment structures with better permeability can be more beneficial for the stability, because the maximum value of the near-bottom turbulence intensity is farther away from the dam axis which makes the local scour hole further away.

Keywords: hollow tetrahedron siltation promotion embankment; near-bottom turbulence intensity; local scour; permeability

为了适应滩涂促淤圈围工程向深水低滩^[1]的发展需要, 突破传统筑堤技术在深水低滩促淤工程中的应用瓶颈, 透空式促淤堤结构^[2-3]越来越受

到重视, 空心四面块体促淤堤便是其中的重要类型之一。

通常情况下促淤堤多为潜堤, 与传统的抛石

收稿日期: 2015-10-19

*基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目(11231202300)

作者简介: 刘猛(1983—), 男, 硕士, 副研究员, 从事河口水沙运动及河口航道治理研究。

加护面块体促淤堤相同,空心四面块体促淤堤的建设也无法回避堤身附近的局部冲刷问题,而潜堤附近的局部冲刷情况又与近底水动力特性密切相关。研究表明^[4-5],潜堤附近的局部冲刷形态与近底水流紊动强度的分布形态相似,主要表现为:局部冲刷的最深点与近底水流紊动强度最大值的位置吻合良好,局部冲刷的(垂直于堤轴线方向)范围也与近底紊动强度增大的范围基本吻合。

潜堤附近的局部冲刷与护底工程的布置紧密相关,而护底工程的投资费用一般情况下又占工程总投资费用的重要部分,因此有必要对潜堤附近的近底水动力特性进行研究。以长江口某促淤工程为依托,选择一种在研究中被推荐的空心四面块体促淤堤断面^[6]深入开展试验研究,揭示其近底水动力特性以及与传统促淤堤的差异,为该空心四面块体促淤堤的研究及应用提供技术支撑。

1 试验简介

试验在水槽中进行,水槽长80 m、宽1.0 m、深1.2 m,最大设计流量为0.45 m³/s,流量采用潜水泵—电磁流量计闭环控制,水位采用尾门控制。

本文研究采用的空心四面块体单个质量3 t,为钢筋混凝土结构,尺寸见图1。块体边长为2 000 mm,壁厚为300 mm,头部削脚边长为300 mm,各侧面法向开孔正三角形边长为1 050 mm,底面法向开孔正三角形边长为1 497.72 mm。

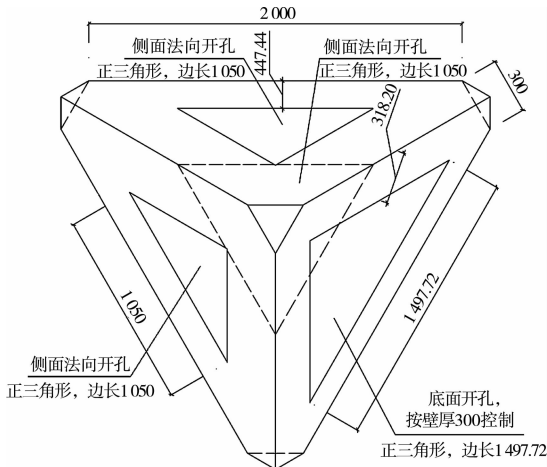


图1 空心四面块体整体平面尺寸(单位:mm)

空心四面块体促淤堤设计高度为6.2 m,堤顶宽度为6.8 m,其断面形态见图2。作为空心四面块体促淤堤近底水动力特性的对比目标,本文也对传统的抛石加护面块体促淤堤开展了近底水动力特性试验,其设计高度与空心四面块体促淤堤相同,堤顶宽度取3.10 m(基本满足堤顶安放3个扭王字块体的要求),其断面形态见图3。

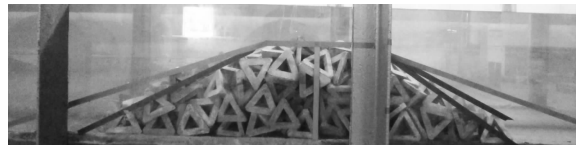


图2 空心四面块体促淤堤断面



图3 抛石加护面块体促淤堤断面

试验模型均为正态模型,几何比尺均为1:20。试验中的近底测点布置见图4,近底水流测量采用ADV(Vectrino plus)流速仪,数据采集频率为25 Hz,采集时间均为1 min,相邻测点之间平均间距约10 m(换算至原型)。

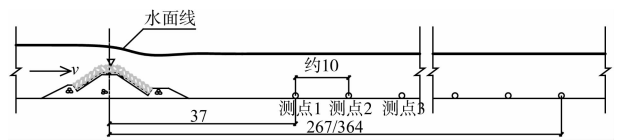


图4 近底水流特性试验测点布置(单位:m)

空心四面块体促淤堤和传统的抛石加护面块体促淤堤的近底水流试验均选择了2种单宽流量条件,即 $Q_d = 8.998 \text{ m}^2/\text{s}$ (代表中高滩在大潮期间的较强动力情况)和 $Q_d = 17.547 \text{ m}^2/\text{s}$ (代表中低滩在大潮期间的较强动力情况),当试验单宽流量 $Q_d = 8.998 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,近底水流测点布置22个,测量范围共267 m;当试验单宽流量 $Q_d = 17.547 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,近底水流测点布置34个,测量范围共364 m,所有测点距床面约0.2 m。

恒定流条件下瞬时垂向流速可表示为:

$$u_{z_i} = \overline{u_z} + u'_{z_i} \quad (1)$$

式中: $\overline{u_z}$ 是垂向平均流速; u'_{z_i} 是脉动流速, 随时间变化。

采用各测点脉动流速的标准差代表其紊动强度, 即:

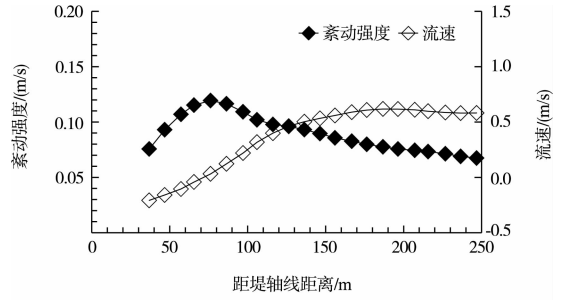
$$u'_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u'_{z_i})^2}{n-1}} \quad (2)$$

2 空心四面块体促淤堤近底水动力特性

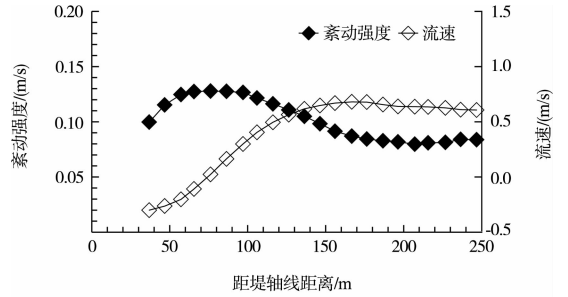
空心四面块体促淤堤近底水动力特性试验工况见表1, 各工况下的试验结果见图5和图6, 其中紊动强度值是根据近底垂向紊动流速计算所得, 流速值为近底水平方向(垂直与堤轴线方向)的时均流速, 相对紊动强度是由各处紊动强度值与远处(200 m或300 m以外)紊动强度平均值(背景值)的比值计算所得。表中 h 为堤身高度(6.8 m), h_1 为堤前水深(距堤轴线约60 m位置处), h_2 为堤后水深(距堤轴线约400 m位置处, 超出堤前最大试验水深约30倍)。

表1 空心四面块体促淤堤近底水动力特性试验工况

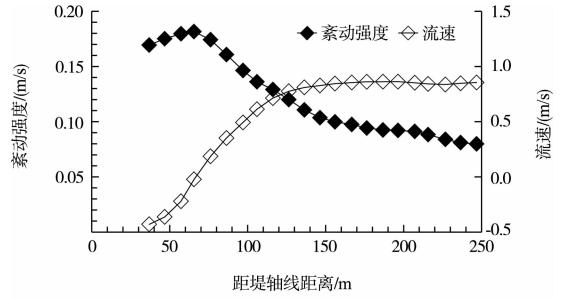
试验组次	$Q_d / (m^2/s)$	堤前水深 h_1/m	堤后水深 h_2/m	相对水深 h_1/h
1	8.998	10.36	10.29	2.07
2		9.26	9.15	1.90
3		8.24	8.06	1.73
4		6.80	6.16	1.50
5	17.547	10.41	10.14	2.08
6		9.45	9.00	1.93
7		8.60	7.78	1.79
8		8.09	6.50	1.71



b) $h_1/h=1.90$

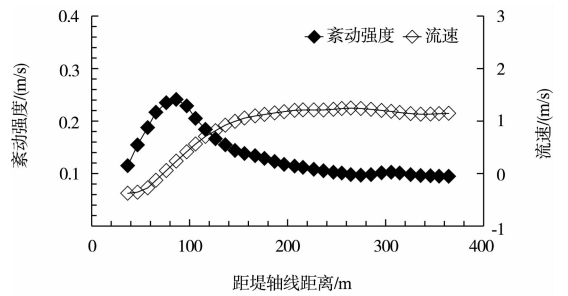


c) $h_1/h=1.73$

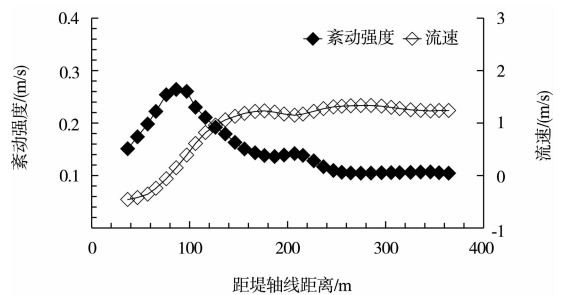


d) $h_1/h=1.50$

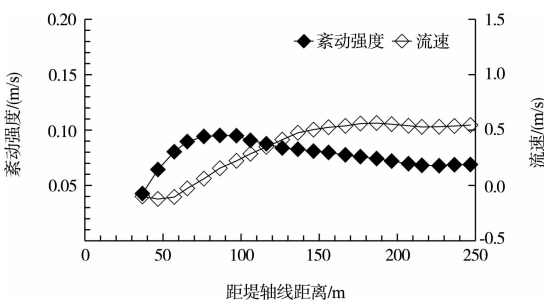
图5 空心四面块体促淤堤近底水流的水平时均流速及垂向紊动强度的沿程分布情况 ($Q_d = 8.998 m^2/s$)



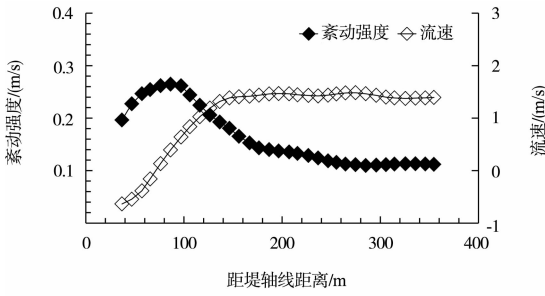
a) $h_1/h=2.08$



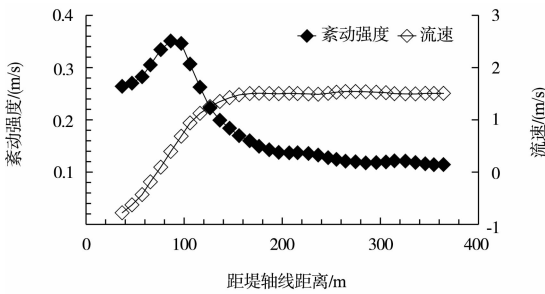
b) $h_1/h=1.93$



a) $h_1/h=2.07$



c) $h_i/h=1.79$



d) $h_i/h=1.71$

图6 空心四面块体促淤堤近底水流的水平时均流速及垂向紊动强度的沿程分布情况 ($Q_d = 17.547 \text{ m}^2/\text{s}$)

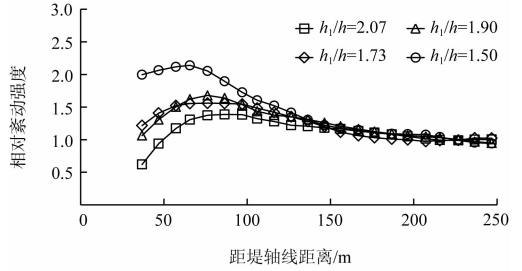
由图5和图6可见,在试验条件下,空心四面块体促淤堤近底水流运动有以下特点:

1) 近底垂向紊动强度最大值所在位置与近底水平时均流速最小值所在位置是基本对应的。

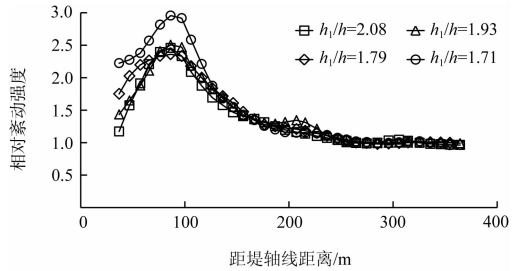
2) 从近底水流的垂向紊动强度与水平时均流速的沿程(垂直与堤轴线方向)分布来看,在相同的单宽流量条件下,流速越小紊动强度越大,反之,流速越大紊动强度也越小。

3) 近底水流的水平时均流动方向在靠近堤身的区域指向堤身;在远离堤身的区域背向堤身,流向转变的位置即是流速为零的位置,该位置基本对应于紊动强度最大值所在位置。

4) 在相同的单宽流量条件下,随着相对水深 h_i/h 的变化,虽然近底水流的垂向紊动强度数值不断变化,但紊动强度最大值所在位置比较稳定(图7),比如:当 $Q_d = 8.998 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,紊动强度最大值所在位置距堤轴线约 75 m;当 $Q_d = 17.547 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,堤后紊动强度最大值所在位置距堤轴线约 85 m。



a) $Q_d=8.998 \text{ m}^2/\text{s}$



b) $Q_d=17.547 \text{ m}^2/\text{s}$

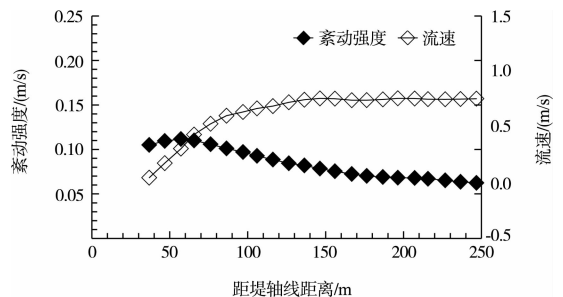
图7 空心四面块体促淤堤近底水流的相对紊动强度沿程分布

3 抛石加护面块体促淤堤近底水力特性

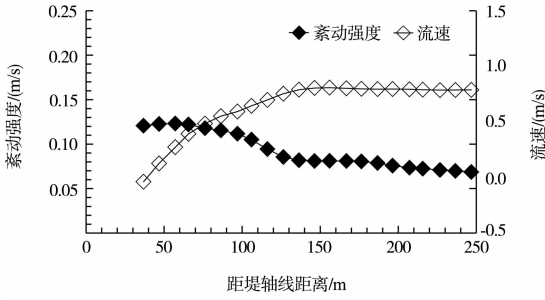
传统的抛石加护面块体促淤堤近底水力特性试验工况见表2,各工况下试验结果分别见图8和图9。

表2 抛石加护面块体促淤堤近底水力特性试验工况

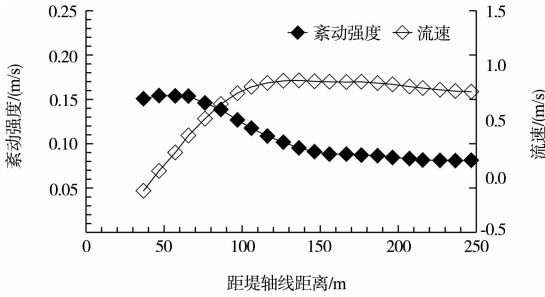
试验组次	$Q_d/(\text{m}^2/\text{s})$	堤前水深 h_1/m	堤后水深 h_2/m	相对水深 h_1/h
1	8.998	10.67	10.60	2.12
2		9.47	9.38	1.93
3		8.22	8.05	1.73
4		6.79	6.08	1.50
5	17.547	10.31	10.06	2.07
6		9.52	9.16	1.94
7		8.82	8.22	1.83
8		8.29	7.20	1.74



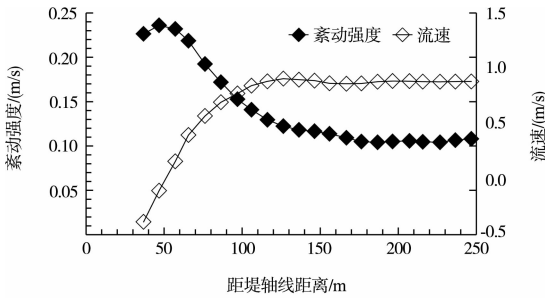
a) $h_i/h=2.12$



b) $h_1/h=1.93$

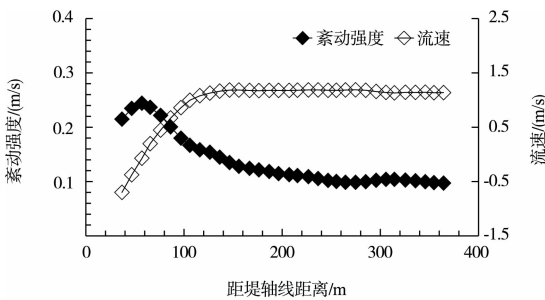


c) $h_1/h=1.73$

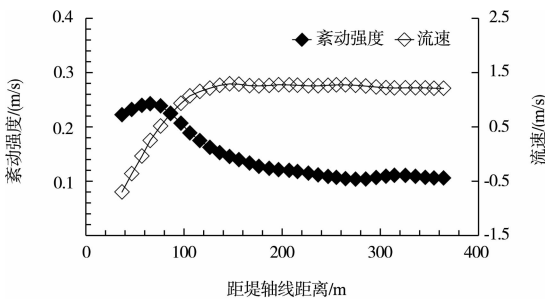


d) $h_1/h=1.50$

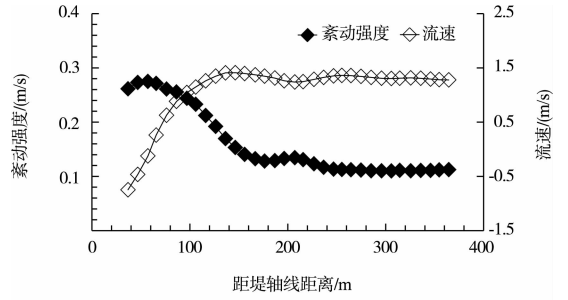
图8 抛石加护面块体促淤堤近底水流的水平时均流速及垂向紊动强度的沿程分布 ($Q_d = 8.998 \text{ m}^2/\text{s}$)



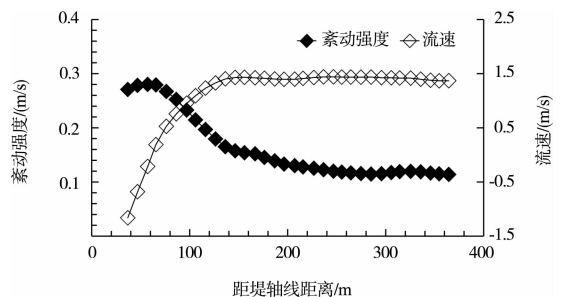
a) $h_1/h=2.07$



b) $h_1/h=1.94$

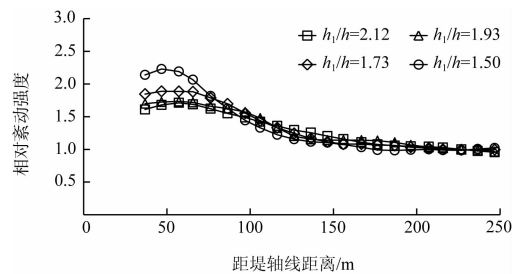


c) $h_1/h=1.83$

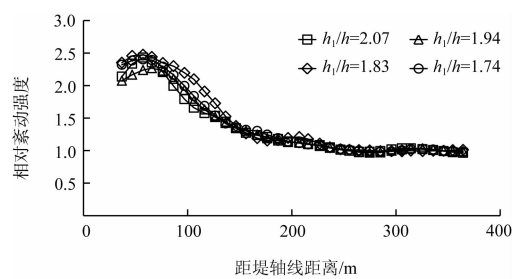


d) $h_1/h=1.74$

图9 抛石加护面块体促淤堤近底水流的水平时均流速及垂向紊动强度的沿程分布 ($Q_d = 17.547 \text{ m}^2/\text{s}$)



a) $Q_d=8.998 \text{ m}^2/\text{s}$



b) $Q_d=17.547 \text{ m}^2/\text{s}$

图10 抛石加护面块体促淤堤近底水流的相对紊动强度沿程分布

试验结果表明,抛石加护面块体促淤堤近底水动力特性与空心四面块体促淤堤类似,仅存在数值上的差异。当 $Q_d = 8.998 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,紊动强度最大值所在位置距堤轴线约 55 m; 当 $Q_d = 17.547 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,紊动强度最大值所在位置距堤轴线约 60 m。

4 空心四面块体促淤堤与抛石加护面块体促淤堤近底水力特性对比分析

通过对空心四面块体促淤堤和传统的抛石加护面块体促淤堤近底水力特性试验结果的分析可见,与传统的抛石加护面块体促淤堤相比,空心四面块体促淤堤近底水力特性既有相同点也有不同点。

相同点主要表现为:近底水流垂向紊动强度最大值所在位置、近底水平时均流速最小值所在位置以及近底水流的水平时均流动方向的转变位置基本重合,此外,对于某种具体堤型而言,在相同的单宽流量条件下,随着相对水深 h_1/h 的变化,虽然近底水流的垂向紊动强度数值不断变化,但紊动强度最大值所在位置基本不变。

不同点主要表现为:不同堤型近底水流的垂向紊动强度最大值所在位置是有所差异的(表3)。与传统的抛石加护面块体促淤堤相比,在相同的单宽流量条件下,空心四面块体促淤堤近底水流紊动强度最大值所在位置与其差异明显,空心四面块体促淤堤近底水流紊动强度最大值所在位置与堤轴线的距离显著增大,这主要与其透水性好密切相关,大量从堤身透过的水体将越堤水流引起的堤后旋滚水体的位置后推。

表3 两种促淤堤近底水流紊动强度最大值所在位置与堤轴线距离

堤型	$Q_d/(m^2/s)$	距离 X/m
抛石加护面块体促淤堤	8.998	55
	17.547	60
空心四面块体促淤堤	8.998	75
	17.547	85

注:与抛石加护面块体促淤堤相比,距离 X 增加 35% ~ 40%。

促淤堤附近的局部冲刷坑形态与其近底水流紊动强度的分布形态密切相关,即局部冲刷的最深点与近底水流紊动强度最大值的位置吻合良好,局部冲刷的范围也与近底紊动强度增大的范围基本吻合。从以上 2 种促淤堤近底水力特性试验结果可以看出,与传统的抛石加护面块体促淤堤相比,当促淤堤采用像空心四面块体这种透水性

较好的结构形式时,堤身附近的局部冲刷坑会更加远离堤轴线,对堤身结构稳定有益。

5 结语

1) 近底水流垂向紊动强度最大值所在位置、近底水平时均流速最小值所在位置以及近底水流的水平时均流动方向的转变位置基本重合。

2) 对于某种具体堤型而言,在相同的单宽流量条件下,随着相对水深 h_1/h 的变化(至少在本文试验范围内),虽然近底水流的垂向紊动强度数值不断变化,但其紊动强度最大值所在位置比较稳定。

3) 与传统的抛石加护面块体促淤堤相比,透水性较好的堤身结构近底水流紊动强度最大值所在位置会更加远离堤轴线,比如在文中试验条件下,空心四面块体促淤堤近底水流紊动强度最大值所在位置距堤轴线距离较传统的抛石加护面块体促淤堤增加 35% ~ 40%。

4) 与传统的抛石加护面块体促淤堤相比,当促淤堤采用像空心四面块体这种透水性较好的结构形式时,堤身附近的局部冲刷坑会更加远离堤轴线,对堤身结构稳定有益。

参考文献:

- [1] 茅志昌,李九发,吴华林.上海市滩涂促淤圈围研究[J].泥沙研究,2003(2):77-81.
- [2] 黄东海,余竞,陈海英,等.四联体螺母块护面结构在横沙东滩促淤圈围工程中的应用[J].水运工程,2010(5):154-158.
- [3] 张为,李义天,王秀英,等.透水结构促淤试验研究[J].四川大学学报:工程科学版,2005(6):31-37.
- [4] 高桂景.丁坝水力特征及冲刷机理研究[D].重庆:重庆交通大学,2006.
- [5] 上海河口海岸科学研究中心.长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程白茆沙水道整治工程(施工图阶段)局部冲刷物理模型试验研究[R].上海:上海河口海岸科学研究中心,2012.
- [6] 刘猛.新型空心块体促淤堤断面波浪特性试验研究[J].水运工程,2015(11):1-7.