

长江口边滩新型透空块体促淤堤 研究与应用

张丽芬

(上海市水利工程设计研究院有限公司,上海 200061)

【摘要】 本文运用物理模型试验的方法,研究不同透空六面体组成的促淤堤在波浪作用下的稳定性和不同空隙率的消浪特性。结合块体内力分析,优化块体结构和堤身空隙率,提出块体安放控制措施。该透空块体促淤堤首次在长江口南汇东滩促淤一期工程成功应用。监测成果显示,该促淤堤内侧淤积效果好,达到了促淤及保滩的作用,可供类似工程借鉴。

【关键词】 促淤堤;稳定性;空隙率;安放控制;实施效果

中图分类号: TV853

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)06-025-05

Research and application of novel porous block siltation promotion embankment in Yangtze River estuary marginal bank

ZHANG Lifan

(Shanghai Water Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Shanghai 200061, China)

Abstract: The stability of siltation promotion embankment composed of different porous hexahedrons under the wave effect and wave consumption features at different void fractions are studied by the method of physical model test. Block internal force analysis is combined for optimizing structure and embankment void fractions. Block installation control measures are proposed. The porous block siltation promotion embankment is applied successfully in stage I project of Yangtze River estuary Nanhui east bank for the first time. Monitoring results show that the siltation promotion embankment has excellent siltation effect inside, the roles of siltation promotion and bank protection are reached, which can be used as reference for similar projects.

Key words: siltation promotion embankment; stability; void fraction; installation control; implementation effect

长江口南汇边滩是上海滩涂资源开发利用的重点区域。一直以来,因外口拦门沙经波浪掀沙、潮流输沙而成为不断淤涨的岸段。为落实长江口综合整治规划,在南汇东滩率先实施促淤工程,促淤固滩稳定南槽河道南边界,同时优化滩涂湿地布局,减轻长江口工程生态影响,为后期整治工程创造有利条件。促淤工程平面如图1所示。

南汇边滩处于长江口与杭州湾交汇处,具有外海风浪大、流场复杂、滩地高程低以及地基土软弱等特点,且工程范围大、堤线长,常规抛石堤结构石料需求量大。施工过程中,在未安装单重较大的护面预制块体前,抛石堤的块石易遭到风浪破坏。本文研究新型促淤堤结构替代传统抛石堤,从而降低施工风险,控制投资成本。

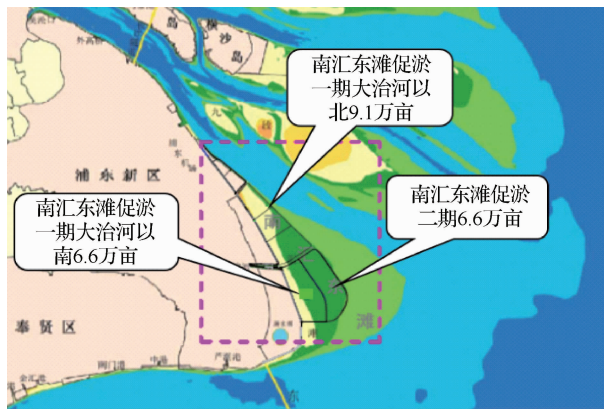


图1 南汇东滩促淤工程平面图

该工程区地基土软弱、风浪大、水深又难以满足大型船舶长时间的作业条件,从耐久性、经济性、施工风险性和抗风浪安全稳定性,提出了新型透空块体六面体促淤堤结构。由于促淤堤从平均低潮位 0.73m 至 100 年一遇设计高潮位 6.14m,正处于风浪作用的强区间,因此需研究透空块体六面体促淤堤的稳定性和消浪效果,同时考虑其经济性和施工便捷性,提出最优结构断面,并在促淤一期东顺堤示范实施。

1 透空块体促淤堤断面试验

促淤工程采用丁坝、顺坝结合布置,东侧设置纳潮口,增加高含沙量水体进入库区,通过促淤堤以降低波

浪和潮流对库区水体的影响,营造泥沙落淤的有利环境。N1 区纳潮口底坎高程取 1.0m,接近平均低潮位。参考《海岸工程》推荐的促淤堤顶高程确定的经验公式,堤顶高程取工程处平均高潮位 3.51m 加迎岸盛行风速计算的半波高,确定透空块体堤顶高程取 3.7m。

先初拟透空块体促淤堤断面,进行新型断面稳定性和孔隙率试验,对不同孔隙率的透空块体断面进行消浪特性试验^[2-3]。

1.1 促淤堤试验工况与断面要素

试验工况包括 100 年一遇高潮位 6.14m、20 年一遇高潮位 5.96m、不利潮位 4.40m 和多年平均高潮位 3.51m 遭遇 100 年一遇风速 33.5m/s。

试验断面选取北区滩地高程最低、滩坡最陡的 N1 区东顺堤。工程堤段计算满足波浪作用稳定的透空块体单重为 3~6t,选用钢筋混凝土或素混凝土块体边长为 1.5~2.0m。结合物模试验、理论计算和投资比较,堤顶安放三个块体宽度 4.2m,边坡 1:1.25,底部铺设混凝土连锁排护底,堤身内外侧设抛石护脚,顶高程以能支撑第二层块体安装稳定且不高于平均低潮位设置,促淤堤断面如图 2 所示。单个透空块体试验型号包括三种,见下表。

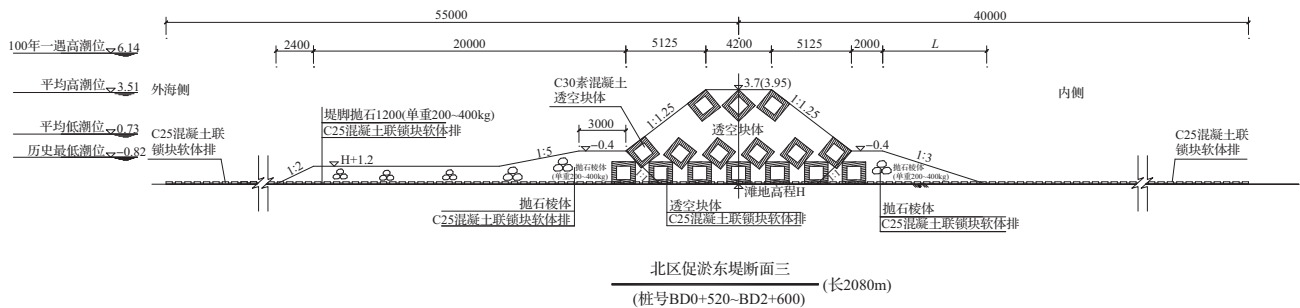


图2 透空块体促淤堤断面(单位:mm)

透空块体结构参数表

型号	尺寸/mm	实体体积/m ³	总体积/m ³	单体空隙率	单重/t	备注
1	边长 2000(杆 350×350)	2.35	8.00	0.7063	5.88	钢筋混凝土
2	边长 1500(杆 300×300)	1.24	3.375	0.6326	3.10	钢筋混凝土
3	边长 1500(杆 400×400)	1.856	3.375	0.45	4.45	素混凝土

1.2 断面稳定性、孔隙率试验成果

试验在航道实验室 80m 长的不规则波浪水槽中进行。水槽宽 0.8m, 高 1.6m, 有效试验断面宽 0.5m。试验模型断面距生波板为 45m。模型比尺为 1:26。

试验断面选取块体分两种:单一型号和组合型号;块体安放方式分三种:全部规则整齐摆放、随机安放和底部平摆上部内插姿态随机。试验分别采用规则波和不规则波进行,每组试验重复 3~5 次。

试验结果表明:①全部规则整齐摆放和随机安放时顶部透空块体有滚落趋势,断面不稳定;②选用型号 2 组成的断面因单体重量不够,三种安放方式顶层及坡面透空块体均不够稳定;③型号 1 和型号 3 无论是组合还是单一型号组成的断面在底部平摆上部内插时更稳定。

其中整个断面全部由型号 3 块体组成,空隙率约 67%~70%,各试验工况下断面稳定性如下:①多年平均 3.51m 潮位时,规则波 $H_{5\%}$ 作用下,前坡及顶部表层有轻微晃动;规则波 $H_{1\%}$ 作用下,前坡及顶部极个别(1~3 个)有晃动,原型最大幅度约 10cm。不规则波作用下,表层有个别(3~5 个)块体有晃动,原型最大幅度约 15cm,无滚落趋势。一个风暴周期后整体断面稳定。②不利潮位 4.40m 时,斜坡和顶部仅有个别晃动,原型最大幅度约 10cm。断面稳定。③5.64m 潮位时,规则波作用下,前坡及顶部表层块体有极个别(1~3 个)晃动,原型最大幅度约 15cm。不规则波作用下,顶部表层有个别(3~5 个)晃动,原型最大幅度约 15cm,无滚落趋势。一个风暴周期后整体断面稳定。④6.14m 潮位时,规则波和不规则波作用下,顶部块体极个别(1~3 个)有晃动,原型最大幅度约 5cm。一个风暴周期后整体断面稳定。

整个断面由型号 1 和型号 3 两种块体组合时,空隙率约 69%~76%,断面稳定性与全部由型号 3 块体构成断面的稳定性大致相同,仅在斜坡和顶部块体有个别晃动,原型最大幅度 5~10cm,总体比全部由型号 3 块体组成的断面更稳定些。

综上所述,透空块体断面的稳定与块体的单重、块体的安放方式密切相关,选用单重 4.5~6t 块体,按底部平摆上部内插安放能满足各工况下稳定要求。

1.3 促淤堤消浪特性试验成果

通过采用型号 1、型号 3 分别组成的 2 种不同孔隙率透空块体促淤堤和实心堤进行比较,试验了波浪在不同波高、不同水深下各促淤堤上的传播效果。

试验结果表明:①规则波作用下,同一水深时,入射波高越大,不同堤后的沿程波高越接近,说明透空块体促淤堤对于波高比较大的海域消浪效果相对更好,更具有经济实用性,不规则波作用下,不同堤后的消浪效果差异更小;②空隙率和透浪系数越大,说明消浪效果越差,但这规律并不呈线性递增,型号 3 组成的断面因空隙率不是很大,其消浪效果与实心堤相差不大。③规则波和不规则波作用下,水深越浅,透浪系数越小。

2 透空块体促淤堤断面优化

2.1 块体结构改进措施

透空块体促淤堤要发挥好的消浪效果,宜选取合适的空隙率。型号 1 和型号 3 块体结构和单重不同,组成的促淤堤断面空隙率前者大于后者,选用空隙率小的消浪效果更好,为此,结合断面波浪稳定性试验成果中有个别块体晃动的情况,优化透空块体单体结构,将型号 3 的素混凝土结构进行改进,通过加大杆件截面尺寸,增加单体重量,以降低透空块体促淤堤的空隙率。

选取透空块体为 C30 素混凝土结构,边长 1500mm,杆截面加大至 500mm×500mm,实体体积 2.5m³,单体重 6t,自身空隙率 26%。与型号 1 的钢筋混凝土结构(单体重 5.88t)相比,促淤堤断面的经济性相当,但减少了预制块体时钢筋加工绑扎工序,方便了施工。

2.2 结构内力分析

a. 波浪作用的确定。根据波浪模型试验,构件波浪压力选取 20 年一遇潮位与 100 年一遇风速组合计

算。根据《海堤工程设计规范》，作用在整体或装配式平板上的护面上最大波压力计算方法，得出该组合下最大波压力为 89.73kPa。

b. 计算模型的确定。

工况 1: 透空块体的上部承受竖向波浪压力, 在底面两侧假定为简支约束;

工况 2: 透空块体的上部杆件外侧承受水平波浪压力, 底面两侧有约束;

工况 3: 透空块体的两侧上下部分别承受方向相反的水平波浪压力。

以上 3 种工况线荷载标准值 $q = 44.85\text{kN/m}$ 。

c. 透空块体内力计算。 根据上述计算模型, 波浪压力分项系数取 1.2, 安全系数取 2.0, 线荷载设计值为 107.64kN/m。假定单个透空块体是由 12 根杆件构成的空间框架结构, 采用三维刚桁架软件计算各工况杆件的内力。结果显示, 工况 3 下透空块体杆件最大弯矩设计值为 24.559kN·m, 杆件允许承载弯矩为 46.17kN·m, 承载力满足要求。

3 透空块体促淤堤安放控制

根据稳定性试验要求, 透空块体采用“底层全部平放、上部分层内插”的安放原则, 避免规则整齐安放。底层块体水平放置时, 各块体中心位置根据每标准段的滩地高程计算确定, 通过调整底层块体的纵、横向间距, 使上部相邻层块体间的插入深度有所变化, 以此调节堤身空隙率和总高度, 确保堤顶高程和顶面每个断面有 3 个透空块体。

以 20m 为一单元进行三维模拟块体安放, 控制要素包括 4 点: ①底层四个相邻块体在实际施工时受潮流和风浪等影响可能出现的偏差, 本区域最大偏差约 20cm; ②减小底层块体之间水体流动的通道, 定点安放时随机转向; ③第二层块体严禁棱角直插接触底部混凝土连锁排体, 避免破坏护底结构; ④上下层透空块体呈梅花形布置, 即上一层每个块体的棱角均插放在下层 4 个块体之间。

以 N1 区纳潮口北侧平均滩地高程 -2.6m 为例, 经模拟摆放, 底层块体横向中心间距 2.6m, 纵向中心间距 2.4m, 不包括沉降时安放块体五层, 约 260 块, 计入沉降量时安放块体六层, 约 292 块, 促淤堤断面空隙率约 56% (底层透空块体和堤身断面安放效果见图 3~4)。

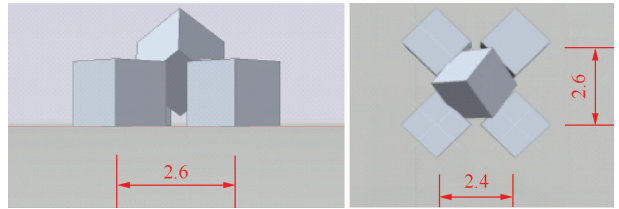


图 3 底层透空块体安放立面、俯视图 (单位:m)

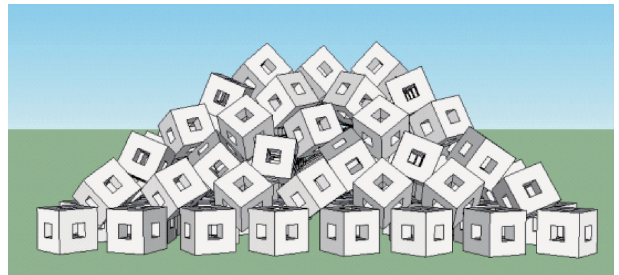


图 4 透空块体堤身断面安放效果图

4 促淤堤实施效果分析

N1 区东顺堤除纳潮口 2.2km 和丁顺坝的交接段外, 其余 2.88km 示范实施了透空块体促淤堤, 在纳潮口以北和以南实施的长度分别为 1.88km、0.8km, 平面布置见图 5。

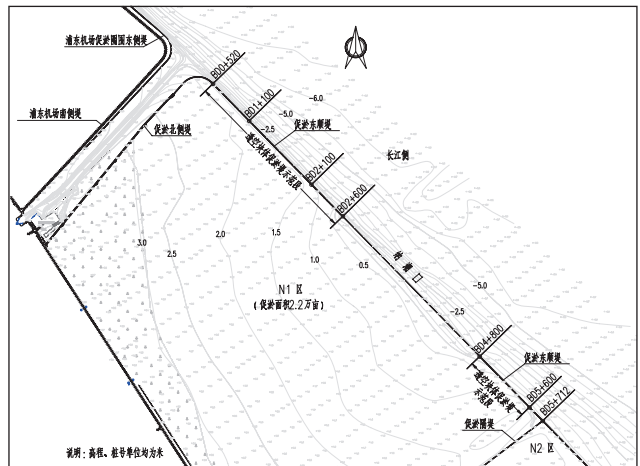


图 5 N1 区透空块体促淤堤示范段布置图

从 N1 区促淤东堤工程实施前后的固定断面测量资料和工程经历了 2 个汛期考验来看,透空块体促淤堤及护滩结构稳定。N1 区外侧临近南槽航道, -5.00m 线受南槽上中段河势冲刷影响,促淤工程实施后明显有内移冲刷。促淤东堤堤前 50m 范围受排体护底结构保护和局部流场改变,总体呈淤积状,淤积厚度 0.5~1.0m,北端 2.5km 范围自转弯段开始,堤前 100m 以外滩地持续冲刷,与临近的浦东机场外侧 3 号围区圈围工程外侧冲刷一致,冲刷幅度由上游向下游逐渐变小。

图 6 显示 N1 促淤区内淤积形态和规律与相邻区 N2、N3 区采用传统抛石堤基本一致,即前期低滩淤积强度大,后期随着滩地高程的抬高,淤积强度逐渐减弱。N1 区因透空块体促淤堤空隙率大于常规抛石堤,纳潮口内侧未出现冲刷区域,而相邻的 N2 区、N3 区纳潮口内侧均出现了 1~2m 的冲刷坑,这将增加后续整治堤防的投资。

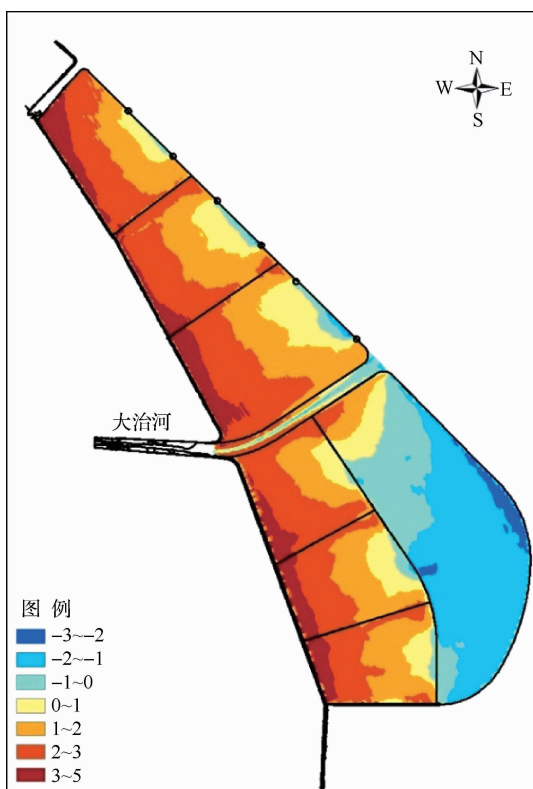


图 6 促淤一期工程实施 2 年后促淤区内地形分布(单位:m)

5 结 语

a. 透空块体促淤堤在低滩、软基、风浪较大的区域替代传统抛石堤,具有经济实用性,且有效降低施工风险。

b. 透空块体促淤堤空隙率越大,透浪系数越大,但总体并非呈线性变化,选取合适的透空块体结构,既能满足稳定要求,又可优化促淤堤空隙率,使其发挥更好的消浪促淤效果。

c. 采用“底层平放、上层内插”的安放方式对结构稳定有利,控制底层块体的纵横向间距尤为重要,同时考虑现场安放时波浪潮流的不利影响。

d. 南汇东滩促淤一期 N1 区东顺堤示范实施了长 2.88km 的透空块体促淤堤,堤身空隙率约 56%,从实测断面及促淤区滩面变化来看,取得了较好的促淤保滩效果。这表明透空块体促淤堤虽然具有较大的空隙率,但仍具有明显的阻水和消浪效果,能够促进内侧泥沙淤积。

目前,该新型透空块体促淤堤的设计和施工已在南汇东滩促淤二期的促淤东堤推广和应用。可供其他类似工程借鉴。◆

参考文献

- [1] 崔冬,刘新成,俞相成. 潮汐河口大型中低滩促淤工程内部布局研究[J]. 水利水运工程学报,2012(2):27-33.
- [2] 河海大学海岸及海洋工程研究所. 南汇东滩促淤一期工程堤坝断面波浪模型试验报告[R]. 南京:河海大学,2012.
- [3] 冯卫兵,厉佳卉,曹海锦,等. 一种新型透空式潜堤消浪促淤特性试验研究[J]. 水运工程,2014(1):25-30.