



跨江大桥对天星洲尾演变的影响及护滩对策

胡守增¹, 张 磊^{1,2,3}, 沈孔健⁴, 吴启和^{1,2,3}

- (1. 中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040;
2. 大桥梁建设施工技术交通行业重点实验室, 湖北 武汉 430040;
3. 交通运输行业交通基础设施智能制造技术研发中心, 湖北 武汉 430040;
4. 江苏省交通工程建设局, 江苏 南京 210004)

摘要: 天星洲是长江下游的江心洲, 拟建常泰长江大桥北侧桥墩布设与天星洲尾相毗邻。通过物理模型试验, 研究常泰长江大桥的建设对天星洲尾演变的影响。结果表明, 常泰长江大桥建设后, 天星洲尾冲刷幅度较工程前有所增加, 不利于天星洲夹槽的稳定, 需要对天星洲尾进行护滩守护。与潜堤高程较高的护滩方案相比, 低潜堤方案引起天星洲沙尾附近流速增幅稍小, 幅度一般在 0.03 m/s 以内, 引起天星洲夹槽流速减幅稍小, 幅度一般在 0.02 m/s 以内, 更有利于天星洲尾的稳定和七圩临时航道的水深维护。工程实施可守护天星洲尾, 七圩临时航道桥位下游附近略有冲刷, 有利于航道水深维护。

关键词: 跨江大桥; 天星洲尾演变; 物理模型试验; 护滩对策; 护滩效果

中图分类号: U617.8; TV853

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0158-06

Influence of river crossing bridge on evolution of Tianxingzhou tail and beach protection countermeasures

HU Shouzeng¹, ZHANG Lei^{1,2,3}, SHEN Kongjian⁴, WU Qihe^{1,2,3}

- (1. CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430040, China;
2. Key Laboratory of Large-span Bridge Construction Technology, Wuhan 430040, China;
3. Research and Development Center of Transport Industry of Intelligent Manufacturing Technologies of Transport Infrastructure, Wuhan 430040, China;
4. Jiangsu Provincial Transportation Engineering Construction Bureau, Nanjing 210004, China)

Abstract: Tianxingzhou is a central bar of the lower reaches of the Yangtze River. The piers on the north side of the proposed Changtai Yangtze River Bridge are arranged adjacent to the tail of Tianxingzhou. We carry out physical model tests to study the influence of Changtai Yangtze River Bridge construction on Tianxingzhou tail evolution. The results show that after the construction of Changtai Yangtze River Bridge, the scouring range of Tianxingzhou tail is increased compared with that before the project. This is not conducive to the stability of Tianxingzhou slot, so it is necessary to protect the beach at Tianxingzhou tail. Compared with the beach protection scheme with higher submerged dike elevation, the low submerged dike scheme causes a slightly smaller increase (within 0.03 m/s) in velocity near the Tianxingzhou tail and a slightly smaller decrease (within 0.02 m/s) in velocity in the Tianxingzhou slot, which is more conducive to the stability of Tianxingzhou tail and the water depth maintenance of the temporary channel of Qiwei. The implementation of the project can protect Tianxingzhou tail, and there is slight scouring near the downstream of the bridge site of the temporary channel of Qiwei, which is conducive to the maintenance of the water depth of the channel.

Keywords: river crossing bridge; Tianxingzhou tail evolution; physical model test; beach protection countermeasure; beach protection effect

收稿日期: 2023-03-01

作者简介: 胡守增 (1984—), 男, 高级工程师, 从事桥梁与水运工程科研工作。

天星洲是长江下游扬中河段泰兴水道中的江心洲, 于 20 世纪 90 年代末冲淤相对稳定, 其南、北两侧分别为天星洲夹槽和长江主槽^[1]。天星洲已于 2017 年实施整治工程, 主要是对天星洲高滩部分进行圈围和守护, 但未对洲尾进行守护^[2]。拟建常泰长江大桥北侧桥墩布设与天星洲尾相毗邻, 常泰长江大桥的建设可能会引起天星洲尾部与桥梁北侧桥墩之间冲淤变化加剧, 影响天星洲夹槽的稳定性, 进而对下游航道和河势产生不利影响^[3]。

为确保天星洲尾和夹槽出口的稳定, 本文通过河工模型试验评估常泰长江大桥对天星洲尾演变的影响, 制定护滩对策, 并对护滩工程实施后的效果进行评估。

1 工程概况

1.1 河段概况

1.1.1 河势

泰兴水道全长约 22 km, 平均河宽 2.2~2.4 km, 中下段被天星洲和录安洲分为天星洲夹槽、长江主槽、录安洲夹江, 天星洲夹槽分流比约 6%, 录安洲夹江分流比约为 10%^[4], 如图 1 所示。

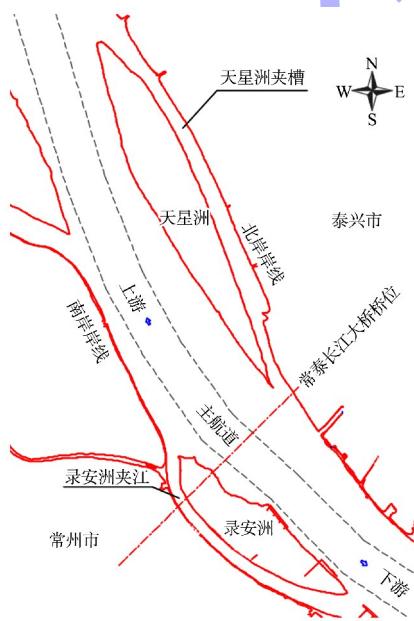


图 1 泰兴水道中下段河势

1.1.2 径流及泥沙

根据上游约 375 km 的大通水文站三峡蓄水后的径流资料, 分析河段上游来水来沙^[5]。5—10 月

为汛期, 汛期径流量占年径流总量 67.6%、沙量占 78.4%。多年平均径流总量约为 8 975 亿 m³, 年际间波动较大; 年平均输沙量 3.62 亿 t, 且呈现逐年减小的趋势, 2003—2017 年年平均输沙量为 1.37 亿 t; 多年平均含沙量约为 0.158 kg/m³, 洪季约 0.184 kg/m³; 悬沙中值粒径范围为 1~25 μm, 底沙主要是细沙。

1.1.3 潮汐和潮流

本河段潮汐为非正规半日浅海潮, 涨潮历时短, 落潮历时长。洪季大潮的最大涨潮流速小于 0.5 m/s, 断面上大流速区不出现涨潮流, 平均落潮流速为 0.70~1.17 m/s, 最大落潮流速可达 1.8 m/s 以上。洪季小潮不存在涨潮流, 平均落潮流速为 0.6~0.9 m/s。枯季大潮平均落潮流速为 0.5~0.8 m/s, 平均涨潮流速小于 0.57 m/s。落潮流速明显大于涨潮流速, 落潮流是塑造河床的主要动力^[6]。

1.2 河演概况

本河段河道整体稳定, 但主槽左侧区域河床的年际间仍有一定的冲淤变化, 天星洲尾部低滩尚不稳定^[7]。

1.3 桥区概况

常泰长江大桥横跨录安洲和天星洲两洲和录安洲夹江、泰兴水道和天星洲夹槽 3 汉, 北侧专用航道桥跨越七圩临时航道 (规划为天星洲预留航道)。主塔基础采用沉井基础, 其余桥墩基础为钻孔桩基础, 如图 2 所示。

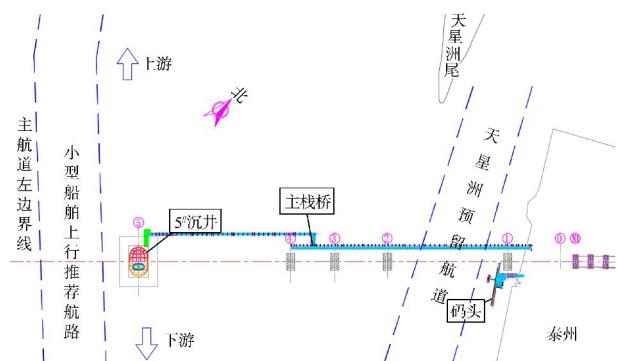


图 2 天星洲滩尾区域的常泰长江大桥平面布置

2 研究方法

物理模型主河道总长约 90 m, 模拟天然河道

长约 54 km, 包含砲子洲、录安洲、鳗鱼沙、天星洲等洲滩, 以及口岸直水道和太平洲捷水道大部、

泰兴水道和部分江阴水道。各项比尺按相关相似条件确定, 见表 1。

表 1 物理模型比尺

几何相似			水流运动相似					泥沙运动相似				
水平比尺 λ_1	垂直比尺 λ_h	变率 η	流速比尺 λ_v	糙率比尺 λ_n	时间比尺 λ_t	流量比尺 λ_Q	河床质流速比尺 λ_{v_0}	河床质粒径比尺 λ_{d_1}	床沙质沉速比尺 λ_w	床沙质粒径比尺 λ_{d_2}	含沙量比尺 λ_s	冲淤时间比尺 λ_{t_2} (采用)
600	125	4.8	11.18	1.02	53.67	838 525	11.18	1	3.33	0.53	0.146	767(610)

试验中, 水动力试验采用平滩流量、20 a 和 100 a 一遇大潮 3 个水文条件, 上边界采用流量控制, 下边界采用水位控制。动床物理模型试验中, 在实测水沙资料收集分析的基础上, 采用平常水沙年、100 a 一遇和 300 a 一遇水文过程年进行试验。

3 跨江大桥对天星洲尾稳定性影响

3.1 跨江大桥实施前后水动力变化

3.1.1 潮位变化

建桥前, 桥位断面附近的潮位站, 录安洲上游站(桥右上站)潮位稍高, 平滩流量、20 a 和 100 a 一遇大潮的最高潮位分别为 4.25、5.49 和 5.90 m。

建桥后, 最高通航水位 5.8 m 下, 拟建过江通道占用长江河道面积约 4.96%。各试验水文条件下, 拟建桥梁工程实施引起的近岸高、低潮位最大壅水均小于 0.06 m, 工程对潮位的影响范围为拟建桥址上游约 2.5 km、下游约 2.0 km 内。

3.1.2 流场变化

工程实施前后, 拟建大桥桥址附近的局部水流有比较明显的变化, 主要表现在: 桥墩阻流, 对来流有阻碍作用, 左侧天星洲夹槽桥位上游流速有所调整, 变幅一般在 0.05 m/s 以内; 各桥跨间流速增加 0.05~0.10 m/s, 流速增加 0.05 m/s 的区域可达桥位下游约 2.5 km 的七圩港附近; 水流在过桥墩后会形成绕流, 墩后流速减小。

工程实施前后, 各水文条件下水流与桥轴线

法向均存在一定范围右偏角度, 但在工程实施后桥墩导流作用下, 右偏角度较小, 其中天星洲夹槽的右偏角度减小 0.4°~1.5°, 为 10°~15°, 如图 3 所示。

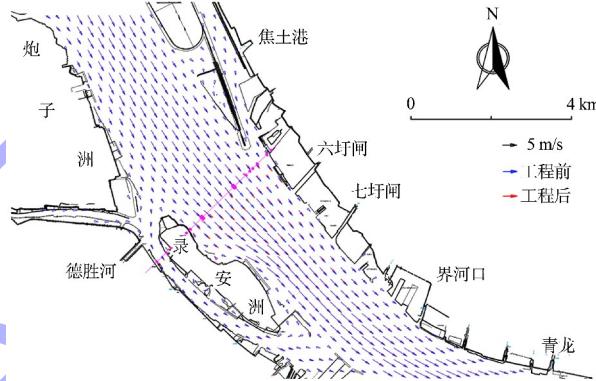


图 3 100 a 一遇大潮条件下建桥前后流场

3.2 跨江大桥实施前后河床冲淤变化

建桥前, 平常水沙年条件下, 桥位工程区上游河床有冲有淤, 总体表现为淤积, 桥位工程所在河段冲淤相间, 桥位工程区下游一般以冲刷为主; 100 a 和 300 a 一遇水文条件下, 工程区上游河段有冲有淤, 工程区及其下游区域以冲刷为主, 拟建桥位附近冲淤幅度一般可达 2.0~<3.0 m。

建桥后, 主通航孔和天星洲侧副通航孔间河床出现冲刷, 各水文条件下, 主通航孔中部冲刷 1.0~2.5 m, 往两侧冲深增加, 主墩附近局部冲刷坑最大冲深可达 25 m, 桥位上、下游冲刷大于 0.2 m 的范围在桥位断面上游 600 m 和下游 4.5 km; 天星洲侧副通航孔冲刷大于 0.2 m 的范围在桥位断面上游 400 m 和下游 1.6 km。平常水沙年工程实施后引起的河床冲淤变化如图 4 所示。

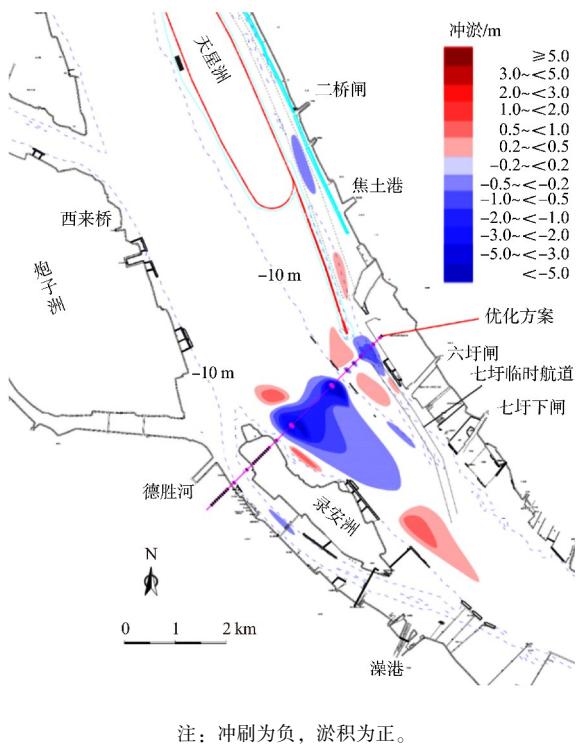


图 4 工程实施后引起的河床冲淤变化

3.3 建桥前后天星洲尾稳定性

桥梁工程建设前, 各水文条件下, 天星洲尾均表现为冲刷态势, 平常水沙年、100 a一遇水文条件下的冲刷幅度分别为 $0.2\sim<0.5$ m、 0.5 m左右。

桥梁工程实施后, 天星洲尾出现冲刷, 且冲刷幅度较工程前还略有增加, 平常水沙年条件下, 冲刷幅度由工程前的 $0.2\sim<0.5$ m微增至 0.5 m左右; 100 a一遇水文条件下, 冲刷幅度由工程前的 0.5 m左右微增至 $0.5\sim<1.0$ m。

该区域的冲刷不利于左侧天星洲夹槽的稳定, 为防止天星洲尾部与桥轴线衔接的过渡段形成窜沟, 影响天星洲尾部以及夹槽的稳定, 需要对天星洲尾部与桥墩的衔接过渡段进行守护。

4 天星洲尾护滩对策

4.1 天星洲尾护滩工程方案比选

4.1.1 护滩工程比选方案

参考类似护滩工程^[8-10], 主要考虑2个守护初步方案, 即高潜堤方案(方案1)主要部分堤顶高

由上游往下游逐渐降低, 低潜堤方案(方案2)主要部分堤身等高 2 m。2个方案平面布置形式一致, 护滩潜堤长约 900 m, 只是在护滩潜堤的高程上略有差别, 护滩堤两侧均设护滩带, 左侧宽 50 m, 右侧宽 80 m, 如图5所示。2个方案纵断面对比见图6。

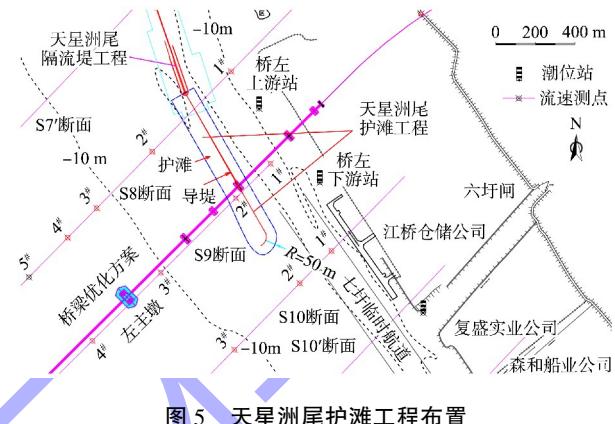


图 5 天星洲尾护滩工程布置

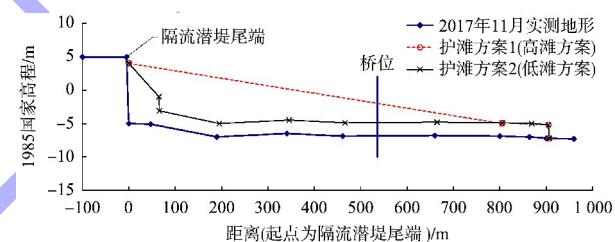


图 6 天星洲尾护滩工程2个方案纵断面对比

4.1.2 护滩工程比选方案水动力分析

水动力物理模型试验部分测点布置如图5所示。试验结果表明, 采用2种不同护滩方案, 在护滩工程附近的局部区域引起的流速变化不同。对比护滩工程前, 采用方案1和2, 在桥位断面的天星洲通航孔中S9-1#测点, 流速增幅分别为 $2.6\%\sim 2.9\%$ 和 $4.3\%\sim 5.2\%$; 在桥位断面下游的天星洲夹槽中S10-1#测点, 流速降幅分别为 $1.3\%\sim 2.4\%$ 和 $0.8\%\sim 1.5\%$; 在桥位断面下游的天星洲沙尾S10-2#测点, 流速增幅分别为 $14.0\%\sim 22.7\%$ 和 $9.2\%\sim 16.0\%$ 。

潜堤高程较高的护滩方案实施后, 桥位附近天星洲沙尾附近流速增幅稍大, 相对于低潜堤方案, 不仅会增加桥墩间河床的冲刷, 还对天星洲尾的稳定不利, 故低潜堤方案较优; 另外, 高潜

堤方案实施后，桥位下游天星洲夹槽流速略有减小且减幅略大于低潜堤方案，不利于七圩临时航道的水深维护，两者比较，还是低潜堤方案较优。因此，推荐低潜堤方案作为天星洲尾护滩方案，并对该方案进行动床试验研究。

4.1.3 护滩工程对河床冲淤积影响

采用平常水沙年进行桥梁+推荐护滩方案的动床试验研究，工程引起的冲淤变化如图 7 所示。对比图 4，天星洲尾护滩工程实施引起的冲淤变化主要表现在护滩工程附近。护滩工程实施后，在护滩潜堤和护滩带作用下，天星洲尾沙脊上的桥墩局部冲刷得到抑制，洲尾沙脊得到守护；在护滩工程上游、已有天星洲洲尾隔流堤右侧，由于流速略有减缓，出现 $0.2 \sim <0.5$ m 的淤积区，而护滩带右侧桥位断面附近，出现冲刷且幅度为 $0.5 \sim <1.0$ m；天星洲副通航孔一带的冲刷范围有减小的趋势，天星洲夹槽桥位上游及下游七圩临时航道在护滩工程实施后没有明显的冲淤变化。

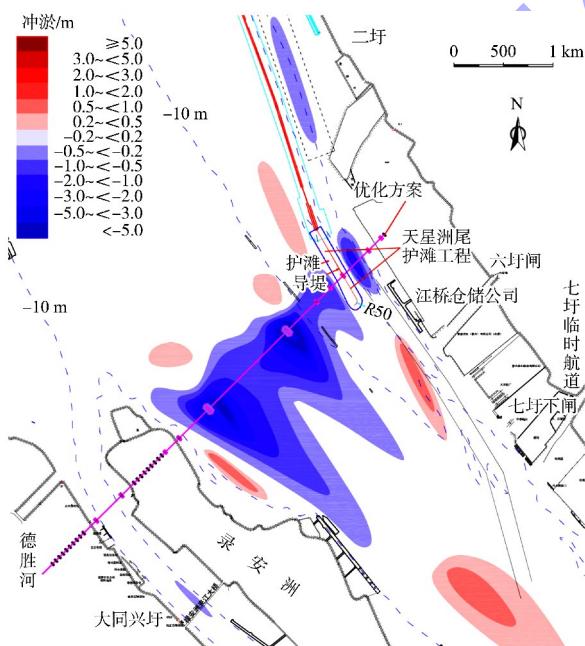


图 7 跨江大桥与天星洲尾护滩工程实施后引起的河床冲淤变化

4.2 护滩方案优化试验研究

4.2.1 优化方案

现阶段天星洲夹槽下段布置有七圩临时航道，而远期则规划在天星洲夹槽建设 1 万吨级航道，其范围扩大不能影响现有临时航道以及规划航道工程的实施，且护滩工程应考虑与已有天星洲整治工程的衔接及施工需要，对天星洲尾护滩工程平面布置和结构形式进行优化。

优化后的方案中，桥位上游的洲尾区域(防护区 A)，分别守护至滩面左右两侧，外接防崩层，护宽 140~208 m。防护区 A 沉放 D 形软体排，防崩层与 D 形排进行一定宽度的搭接。桥墩附近的区域(防护区 B)，范围为桥墩上、下游各 200 m。防护区 B 护宽 120~140 m，先沉放 D 型软体排，再压载厚度 0.6 m 的抛石。

4.2.2 护滩工程实施后水动力变化

水动力物理模型试验结果表明，护滩工程实施前，天星洲尾沙尾滩体上水流较为紊乱，护滩工程实施后，水流交换减弱，其左侧及下游天星洲夹槽出口的水流有所平顺。

各试验水文条件下，与建桥后相比，护滩工程实施后潮位变化主要在护滩工程局部范围，最大变化在 0.06 m 以内，桥左上游站和下一站高低潮位的变化在 0.01 m 以内，潮位变化 0.02 m 范围为拟建桥址上游约 1.6 km、下游约 800 m 以内，护滩工程实施对周边潮位的影响较小。

护滩工程引起的流速变化主要限于护滩工程附近的局部区域。在天星洲尾两侧，桥位上游落潮流速有增加的趋势，幅度一般在 0.03 m/s 以内；在天星洲夹槽副通航孔中，由于护滩工程阻隔了越滩流，流速减小幅度在 0.02 m/s 以内。在桥位工程下游，流速没有明显变化。

4.2.3 护滩工程实施后河床冲淤变化

100 a 一遇水文条件下，护滩工程实施引起的河床冲淤变化如图 8 所示。可以看出，与桥梁工

程实施后的冲淤相比, 组合方案实施后引起的冲淤差异主要在护滩工程附近, 主要表现在: 1) 护滩工程实施后, 桥位附近天星洲尾沙体得到守护。2) 在护滩带右侧出现冲刷的幅度在 $0.2 \sim <0.5$ m; 左侧为天星洲夹槽, 原本受桥墩挤压后夹槽间存在 $0.5 \sim <2.0$ m 的冲刷区, 由于防护区 A 与 B 呈上下游错开布置, 在防护区 A 下游与防护区 B 的左侧间拐角区域存在绕流, 使得夹槽间冲刷有向右侧发展的趋势。3) 由于厚 1.2 m 护滩带的绕流以及上游护滩后对水流的影响, 在 100 a 一遇大水条件下, 防护区 B 下游局部出现 $0.2 \sim <0.5$ m 的冲刷区。3) 护滩工程实施后, 天星洲夹槽与主槽间的水流交换有所减弱, 护滩工程右侧、桥位上游淤积略有加大, 原淤积厚度在 $0.2 \sim <1.0$ m, 组合方案淤积厚度在 $0.5 \sim <1.0$ m, 淤积大于 0.2 m 的范围有所扩大。

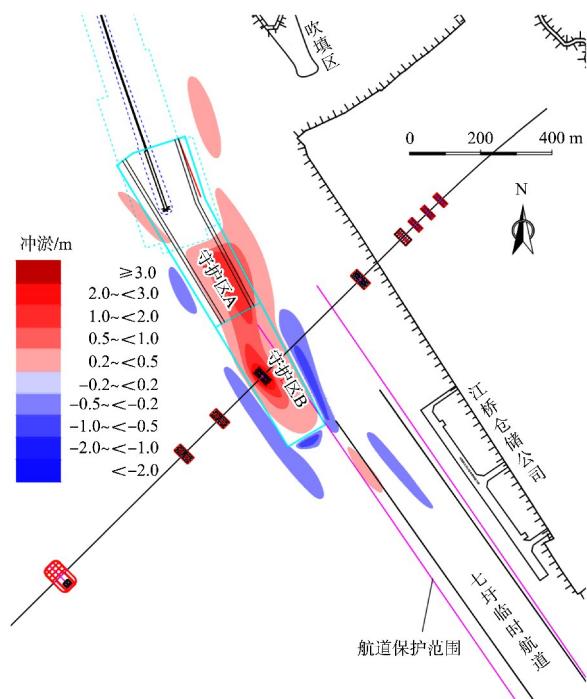


图 8 优化后的方案 2 实施后引起的河床冲淤变化
(100 a 一遇水文年)

5 结论

1) 拟建常泰长江大桥建设后, 天星洲尾冲刷幅度较工程前略有增加, 不利于左侧天星洲夹槽的稳定。

2) 与潜堤高程较高的护滩方案相比, 低潜堤方案引起天星洲沙尾附近流速增幅稍小, 引起天星洲夹槽流速减幅稍小, 更有利于天星洲尾的稳定和七圩临时航道的水深维护。因此, 推荐低潜堤方案作为天星洲尾护滩方案, 并对护滩方案进行优化。

3) 天星洲尾护滩工程实施后, 对水动力的影响限于守护工程附近的局部区域, 工程两侧落潮流速略有增加, 幅度一般在 0.03 m/s 以内; 工程实施守护了天星洲洲尾, 有利于天星洲尾部及夹槽出口的稳定; 七圩临时航道桥位下游附近略有冲刷, 有利于航道水深维护。

参考文献:

- [1] 季荣耀, 陆永军, 左利钦. 长江下游天星洲的形成演变与主因分析[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(8): 5-10.
- [2] 姬昌辉, 谢瑞, 王永平, 等. 长江扬中河段天星洲整治工程补充方案试验研究[C]//中国海洋工程学会. 第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 2017: 1279-1282.
- [3] 袁雨. 赣江生米大桥建设对通航及行洪影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [4] 单婷婷, 杜德军, 徐华, 等. 长江下游天星洲河段水动力特性及近期演变研究[J]. 人民长江, 2021, 52(S1): 19-23.
- [5] 秦智伟, 陈玺. 三峡水库蓄水后坝下游干流枯水期水位变化研究[J]. 人民长江, 2018, 49(23): 10-15.
- [6] 雷国平, 谷祖鹏, 郑惊涛, 等. 长江中游周天河段河床演变及整治思路[J]. 水运工程, 2012(10): 35-40.
- [7] 姬昌辉, 洪大林, 谢瑞, 等. 长江扬中河段天星洲水域河床演变分析[J]. 人民长江, 2012, 43(S2): 94-96.
- [8] 付桂. 长江南京以下 12.5 m 深水航道治理工程福姜沙水道整治工程效果对比分析[J]. 水运工程, 2021(1): 104-110.
- [9] 曲红玲, 张冉, 马洪亮. 长江南京以下 12.5 m 深水航道治理工程落成洲河段整治效果[J]. 水运工程, 2021(1): 150-155.
- [10] 曹民雄, 张卫云, 马爱兴, 等. 软体排与扭双工字透水框架结构潜堤下游联合护底试验研究[J]. 水运工程, 2015(7): 1-7.

(本文编辑 王璁)