



长江下游口岸直水道落成洲航道整治建筑物 运行状况分析*

盛艳丽¹, 范政¹, 张帆^{1,2}, 徐华², 成泽霖²

(1. 长江镇江航道处, 江苏镇江 212000; 2. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029)

摘要: 针对长江下游口岸直水道落成洲河段航道整治建筑物运行状况开展分析。对落成洲整治建筑物自交工以来的实测资料进行统计, 结合河势演变分析、局部冲淤和水动力变化分析, 研究建筑物的损毁特征及发展趋势, 并对建筑物损毁原因进行探讨。结果表明, 落成洲头部守护工程实施后有效减少了右汊分流比。但目前落成洲右汊LR₁、LR₂丁坝护底余排和LR₁、LR₂护底带已发生较大面积的损毁, 减弱了落成洲右汊限流效果。工程实施后, 落成洲右汊横向护滩带间水流紊乱, 受到翻坝、绕坝等多种水流冲刷的影响, 已形成了多个大范围的冲刷坑, 致使排体边坡坡度增大或直接侵入排体, 从而引发建筑物损毁。当前冲刷坑有进一步冲刷发展的可能, 应持续关注局部冲淤发展变化和建筑物变化情况。

关键词: 落成洲航道; 整治建筑物; 技术状况; 损毁原因

中图分类号: U617.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0139-06

Operation status of regulation buildings for Luochengzhou Waterway in lower straight reach of the Yangtze River

SHENG Yanli¹, FAN Zheng¹, ZHANG Fanyi², XU Hua², CHENG Zelin²

(1. Changjiang Zhenjiang Waterway Division, Zhenjiang 212000, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: We conduct an analysis of the operational status of navigation structures in the channel regulation project of Luochengzhou section in the lower straight reach of the Yangtze River. Using statistical data from in-situ surveys conducted since the completion of Luochengzhou regulation buildings, combining with analyses of river regime, local sediment dynamics, and hydraulic changes, we investigate the characteristics and trends of building damage, and discuss the cause of damage. The results show that the protection project implemented in the Luochengzhou head area effectively reduces the distributary flow ratio of the right branch. However, significant damage occurs to LR₁, LR₂ spur dike protection mattress and LR₁, LR₂ bottom protection belt, weakening the flow restriction effect on the right branch. Post-project implementation, the turbulence in the right branch of the Luochengzhou Waterway leads to extensive erosion pits formed by various hydraulic actions such as dam flipping and circumventing flow. This results in increasing slope gradients or direct intrusion into the mattress, causing damage of building. The current erosion pits may further develop, underscoring the need for ongoing monitoring of local sediment dynamics and building changes.

Keywords: Luochengzhou Waterway; regulation building; technical condition; cause of damage

随着长江航道建设的快速发展, 长江干线航道整治建筑物的综合效益日益凸显。维护管理好

已竣工并交付使用的航道整治建筑物, 使其充分发挥航道整治功能, 从而改善航道条件、提高航

收稿日期: 2023-12-19

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (52201332); 江苏水利科技项目 (2021004)

作者简介: 盛艳丽 (1991—), 女, 工程师, 从事航道维护管理。

道通过能力,是航道维护的一项重要工作^[1-2]。

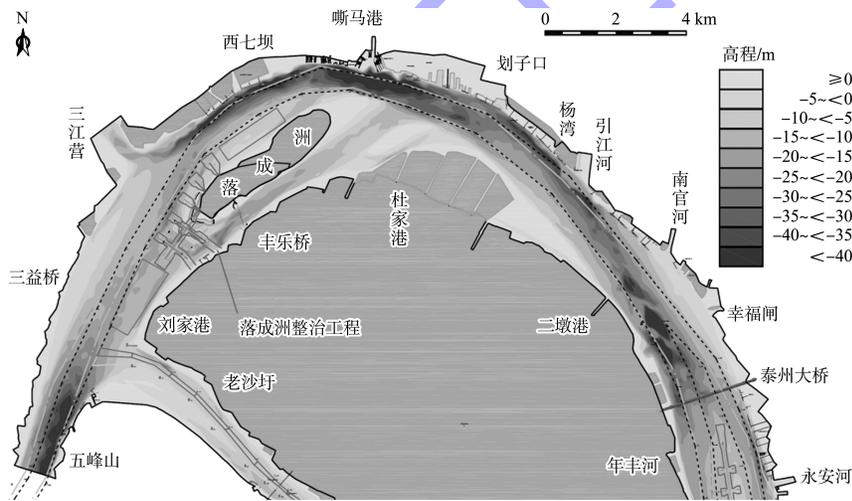
长江下游口岸直水道落成洲航道整治建筑物的竣工验收时间集中在2017—2019年。由于已竣工航道整治工程验收时间较短,大多数整治建筑物技术状况良好。然而,因水流顶冲、地质条件较差、河床冲淤演变等因素影响,局部整治建筑物的完整性受到损坏,从而影响其技术功能效果的发挥^[3-6]。

本文以南京以下12.5 m深水航道口岸直水道落成洲右汉整治建筑物为例,结合实测资料分析整治实施后河床演变、建筑物主要破坏特征及趋势,进一步探讨建筑物损毁的原因,为类似工程提供参考。

1 研究区域概况

长江扬中河段上起五峰山,下至鹅鼻嘴,入流段与出口段均为微弯的单一河道,河段全长约

88 km,与下游泰兴水道、江阴水道组成反“S”形河道。河段内洲滩众多,太平洲是长江下游最大的江心洲,太平洲左汉为主汉,长约47 km,多年来分流比一直维持在90%左右。太平洲左汉的落成洲将该河段进一步分为左右两汉,其中左汉为主汉、右汉为支汉,分流比分别约80%、20%。目前,口岸直水道航线选择经过落成洲左汉,见图1。扬中河段位于长江近口段,同时受上游径流和河口潮汐影响。河道内潮型属非正规半日浅海潮,多年平均潮差约为1.6 m,年内水位变幅较大。枯季上游径流减小,潮流可上溯至该河段,导致河道内存在往复流,平均涨潮流速小于0.6 m/s,平均落潮流速为0.5~0.8 m/s。洪季河道内以单向水流为主,最大落潮流速可达1.8 m/s。该河段河床质多为中细沙,级配分布较为均匀,主槽内中值粒径为0.1~0.2 mm。



注:采用1985国家高程基准。

图1 扬中河段河势

在航道整治工程实施前,落成洲头的冲刷后退致使右汉发展,降低了左汉三益桥浅滩的输沙能力^[7-8]。为了稳定有利的滩槽格局,促使河床冲淤变化朝着有利方向发展,长江航道局在2010—2012年组织了口岸直水道航道治理落成洲守护工程。该工程由梭头和一纵三横的4条护滩带组成^[9]。梭头的长度为300 m,底部宽度为400 m,纵向护滩带的长度为1 300 m,宽度为200 m。横向护滩带有3条,长度分别为635、800和925 m,

宽度为150 m。梭头和护滩带的轴线上铺设了宽度为50 m的抛石层,厚度为1 m。

为了防止落成洲右汉进一步冲刷,并增强左汉浅段的动力,长江南京以下12.5 m深水航道二期工程在已完成的落成洲守护工程基础上加建了整治潜堤。纵向潜堤沿着落成洲头部布置,左侧设有5道丁坝,右侧设有2道丁坝,同时在落成洲右汉进口处还布置了2道丁坝,其中LR₁丁坝位于头部潜堤的左侧,丁坝段长420 m,高程-5.0 m;

过渡段长 100 m, 高程 -7.0m ~ -5.0 m; 护底段长 310 m, 压载厚度 3 m, 常年位于水下。LR₂ 丁坝位于头部潜堤的右侧, 丁坝段 550 m 范围内高程 -1.0 m, 过渡段 150 m 范围的高程 -6.0m ~ -1.0 m, 护底段长 385 m, 压载厚度为 3 m。该工程于 2015 年 6 月开始施工, 2017 年 6 月完工, 2019 年 5 月竣工, 工程布置见图 2。工程实施后, 落成洲头冲刷后退趋势得到有效遏制, 左汉航道水深由 10.5 m 提升至 12.5 m, 总体实现了整治意图。

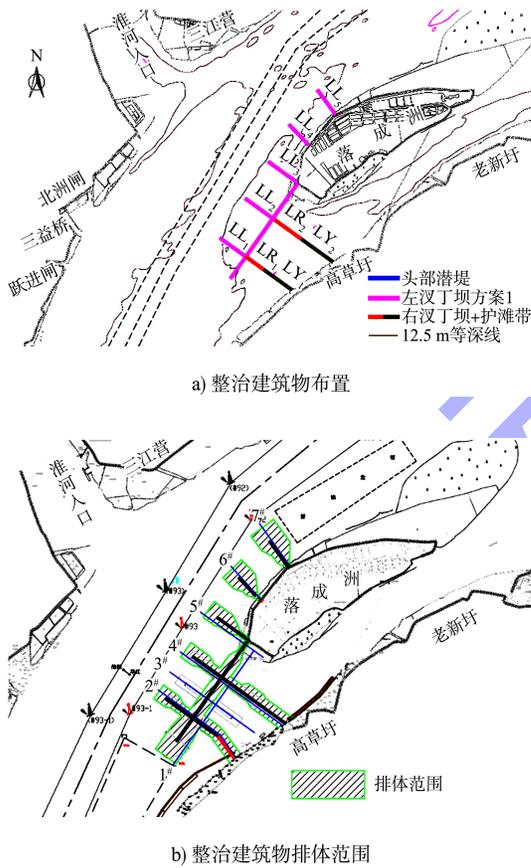


图2 口岸直水道洲滩守护工程平面布置

2 河势演变及整治建筑物局部冲淤

多年来, 五峰山—太平洲头的地理形态仅在洲头局部区域发生较小变化。1959—2021 年, 太平洲右汉分流比在洪季和中水条件下保持在 8.5% ~ 12.7%, 枯季条件下保持在 8% ~ 11%, 见图 3。洪季和中水条件下, 右汉分流比大于枯季条件下的分流比。近年来, 受左汉整治工程实施等因素的影响, 太平洲右汉分流比呈增加趋势, 河床总体处于发展态势。

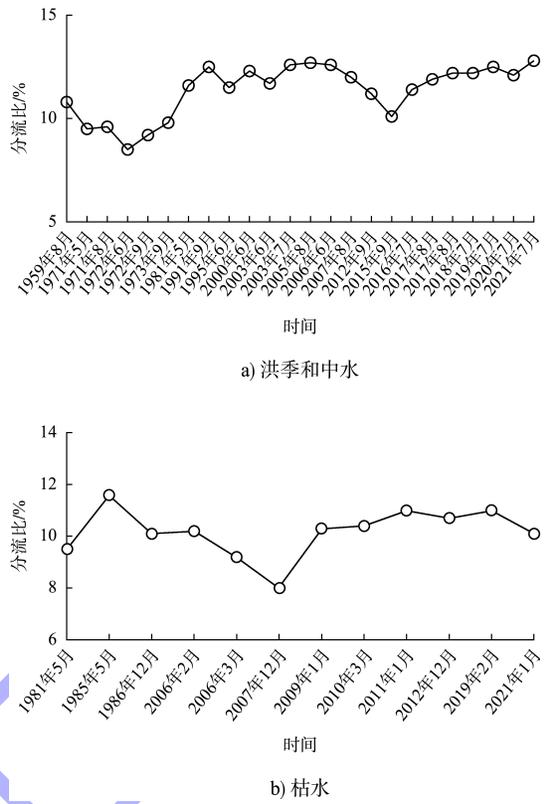
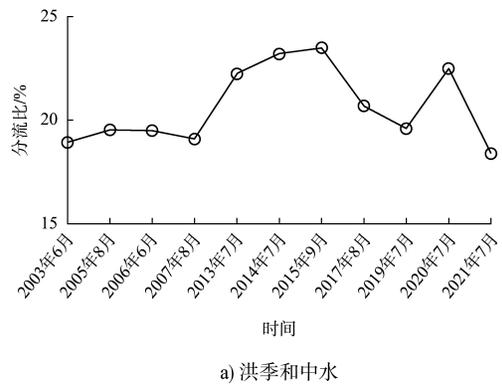
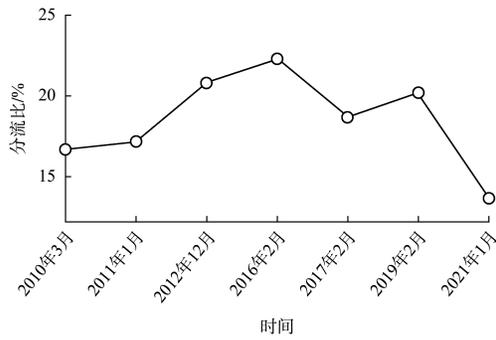


图3 太平洲右汉多年实测分流比

落成洲左、右汉道的分流比变化则相对较大。在 1986—1991 年期间, 右汉分流比的变化范围为 9.6% ~ 14.1%。落成洲右汉近年实测分流比见图 4。可以看出, 右汉分流比已从 2003 年的 18.92% 增大至 2017 年 8 月的 20.7%, 随着落成洲守护工程以及深水航道二期主体工程实施, 守护住了落成洲头部, 减缓落成洲右汉的发展, 2021 年 7 月分流比回落至 18.4%。其主要变化规律是随着流量增大, 右汉分流比也增大, 2020 年大洪水期, 分流比为 22.5% (仅次于 2015 年 9 月)。总体而言, 在深水航道整治工程实施后, 落成洲右汉分流仍处于动态调整中。



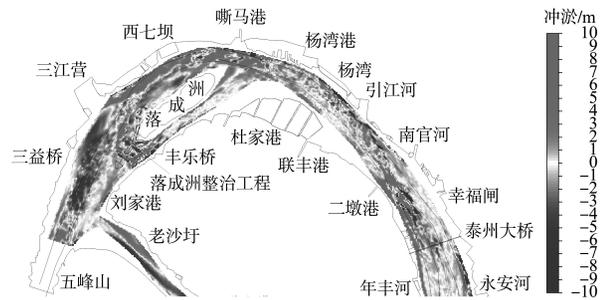
a) 洪季和中水



b) 枯水

图4 落成洲右汊近年实测分流比

2020年10月—2021年7月河床冲淤变化见图5。可以看出，整体上落成洲左汊略有淤积，而右汊冲淤幅度较小。在嘶马弯道三江营至嘶马镇凹岸侧近岸，河床呈冲刷趋势，幅度一般在2~6 m。落成洲左汊上段深槽淤积幅度在1~2 m，下段淤积幅度可达4~6 m，而右汊进口段则变为有冲有淤，下段的冲淤幅度较小。落成洲头部潜堤和左右汊进口以淤积为主，左汊LL₃~LL₅丁坝余排有所冲刷，右汊进口LR₁护底带下游有所冲刷，LR₂护底带下游略有冲刷，局部冲刷幅度2~4 m。总体而言，随落成洲守护工程以及深水航道整治工程实施，大的河势变化得到遏制，但工程附近河床仍存在一定的变化。



b) 2021年7月—2022年12月

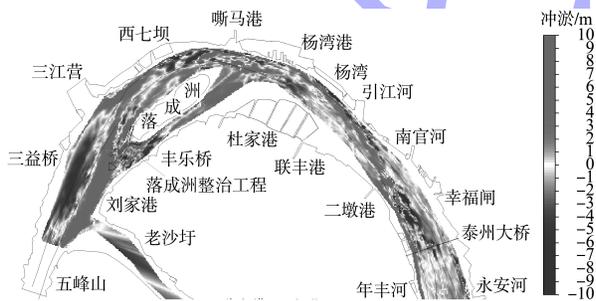
注：冲刷为负，淤积为正。

图5 落成洲河段地形冲淤变化

3 整治建筑物损毁特征分析

3.1 主要破坏情况及破坏趋势

通过对整治建筑物进行定期的多波束水下地形检测和无人机航测数据的分析^[10]，发现口岸直水道落成洲右汊整治建筑物已存在不同程度损坏。不同时期的主要损毁部位见图6(LR₁和LR₂堤线轴线已在图中标出)，2018—2022年整治建筑物损毁程度统计变化见表1(冲坑离堤线轴线距离为负值表示冲刷坑已侵入整治建筑物)。



a) 2018年5月—2022年12月

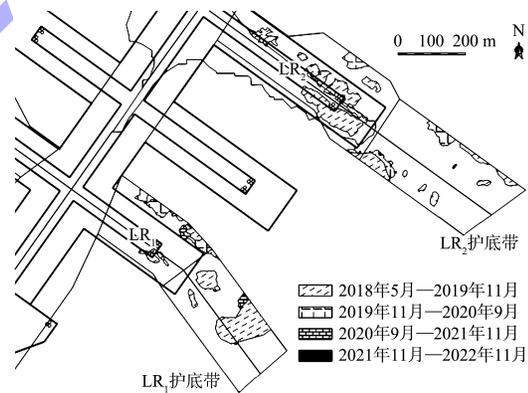


图6 整治建筑物护底余排损毁部位

表1 2018—2022年整治建筑物损毁程度变化分析

时段	建筑物	相对损毁程度 (损毁面积与总面积之比)/%	排体边坡 坡度	冲坑与堤线 轴线距离/m	最大冲深/ m
2018年5月— 2019年11月	LR ₁ 丁坝护底余排	8.5	1:7.2	-3	2.6
	LR ₁ 护底带	9.7	1:8.0	-32	11.0
	LR ₂ 丁坝护底余排	20.0	1:7.5	5	4.3
	LR ₂ 护底带	7.3	1:7.3	75	14.0
2018年5月— 2022年11月	LR ₁ 丁坝护底余排	12.6	1:5.5	10	10.0
	LR ₁ 护底带	18.4	1:5.2	-11	14.0
	LR ₂ 丁坝护底余排	20.0	1:5.0	42	2.0
	LR ₂ 护底带	10.5	1:5.3	51	10.0

落成洲右汊 LR₁ 护底带局部冲刷幅度相对较大, 最大冲幅 14 m, 见图 7。根据 2021 年 11 月测量结果, 损毁面积占整治建筑物面积比为 17.5%, 且冲坑侵入护底带头部 40 m; 2022 年测量结果显示损毁面积占比为 18.4%, 损毁区域排边冲坑坡度达 1:5.2, 下游侧冲坑已距离堤线 70 m, 且冲刷深坑面积在 2023 年仍略有发展。根据 2018 年 5 月(交工)—2022 年 11 月的地形变化分析, 对排体冲淤变化进行统计可知: LL₁ 丁坝排体内 2 m 以下冲刷面积与排体面积比值最大为 4.4%, 总体变化较小; 而 LR₁ 丁坝排体内冲刷 2 m 以上面积与排体面积比值为 15.2%; LR₁ 护底带冲刷 2 m 以上面积与排体面积比值为 17.9%。

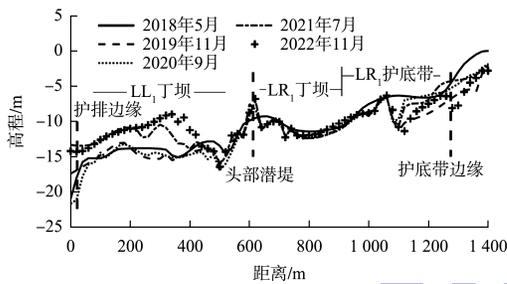


图 7 LL₁ 丁坝、LR₁ 丁坝、LR₁ 护底带纵断面地形变化

当前落成洲右汊 LR₂ 丁坝坝体部分尚处于相对完好状态, 但丁坝护底余排局部冲刷幅度较大, 见图 8。通过动态监测资料分析表明, 自 2017-06-29 整治建筑物工程交工验收以来, LR₂ 丁坝下游呈持续冲刷状态。2017 年 10 月, 冲刷范围已发展至坡脚位置。2022 年测量结果显示护底余排损毁面积占比为 20%, 损毁区域排边冲坑坡度达 1:5, 下游侧冲坑边缘距离堤身较近, 距离堤线约 45 m, 若冲坑继续发展将危及排体稳定与丁坝自身安全。利用 2018 年 5 月(交工)—2022 年 11 月地形对排体冲淤变化进行分析, LR₂ 丁坝坝体纵向余排均有所冲刷, 冲淤幅度 1~3 m, 冲刷 2 m 以上面积与排体面积比值最大约 20.0%; LR₂ 护底带冲刷 2 m 以上面积与排体面积比值最大约 12.0%, 局部存在冲刷深坑侵入。

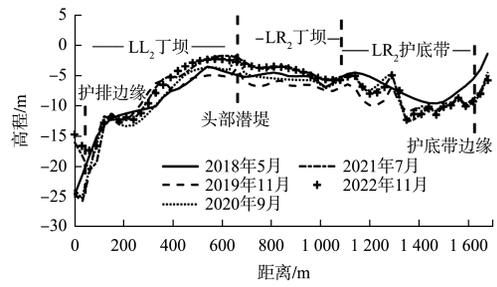


图 8 LL₂ 丁坝、LR₂ 丁坝、LR₂ 护底带纵断面地形变化

整治建筑物局部-20 和-30 m 等高线变化见图 9。可以看出, 与 2021 年 7 月相比, 2022 年 11 月 LL₂ 和 LL₃ 余排外侧-20 m 深槽继续向排体发展, LL₄ 丁坝下游局部-20 m 深坑平面位置变化不大, 但是局部深点仍然可达-25 m; LR₁ 和 LR₂ 丁坝间-20 m 大深坑面积和形态变化不大, 位置有所上移, LR₁ 丁坝下游排体边缘小深坑面积略有发展; LR₂ 护底带余排下游-20 m 深坑有所发展, -30 m 深点区域扩大, 需要加强监测, 特别是注意-30 m 深坑对 LR₂ 护底带的影响。

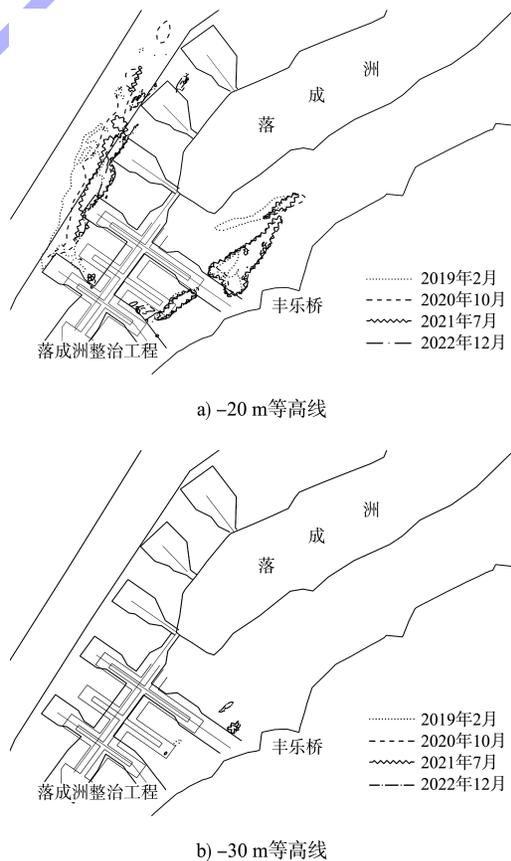


图 9 落成洲整治建筑物局部-20 和-30 m 等高线变化

3.2 破坏原因分析

2022 年 5 月落成洲水下地形云图见图 10。2018 年 5 月—2022 年 11 月，落成洲右汊 LR₁ 和 LR₂ 丁坝间余排外区域冲刷显著，余排间最大冲刷深度可达 15 m，2022 年 11 月相比于 2021 年 11 月，LR₁ 护底带下游有所冲刷。2018 年 5 月—2022 年 11 月，LR₂ 护底带下游最大冲刷深度可达 14 m，2021 年 11 月—2022 年 11 月，该区域略有冲刷，冲刷发展幅度在 2~4 m。根据建筑物损毁特征分析，落成洲右汊护底带和护底余排损毁区域与河道剧烈冲刷区域重合，因此可以判断整治建筑物局部损毁与河段冲刷密切相关。

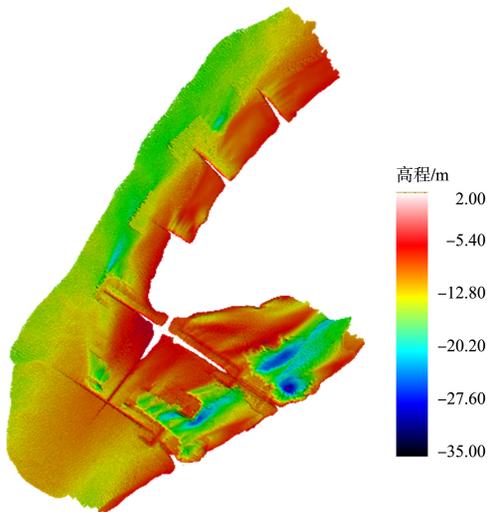


图 10 2022 年 5 月落成洲水下地形云图

采用平面二维水流数学模型方法，进一步对建筑物损毁原因进行探讨。模型使用 2021 年 7 月地形，水动力计算条件为平滩流量，下游边界采用中等偏大潮位过程相匹配，落成洲水道流态见图 11。综合来看，落成洲右汊丁坝的存在使得水流在坝体附近形成绕流和翻坝水流，在坝体间出现较大范围环流(图 11 圆圈区域)，水流流态紊乱，在护底带后方引起床面局部冲刷，形成大范围冲刷坑，造成整治建筑物损坏。

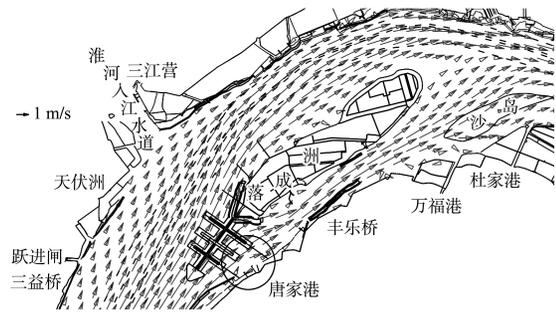


图 11 落成洲水道流态

4 结语

1) 口岸直水道 12.5 m 深水航道二期工程实施后，落成洲头部得到守护，有效地减少落成洲右汊分流比，减缓了落成洲右汊的发展，整治效果较为明显。

2) 受冲刷坑发展侵入影响 LR₁ 护底带和 LR₂ 护底余排发生较大面损毁，减弱了落成洲右汊限流效果，对主航道分流比有一定影响。建议及时维修，同时未来进一步加强跟踪、观测，密切关注建筑物变化情况，重点加强洪水顶冲区域的建筑物变化情况。

3) 落成洲整治工程实施后，由于受到翻坝、绕坝等多种水流冲刷的影响，落成洲右汊横向护滩带附近形成了大范围的冲刷坑，致使排体边坡坡度增大或直接侵入排体，进而造成整治建筑物损毁。当前冲刷坑有进一步冲刷发展的可能，应持续关注局部冲淤发展变化。

参考文献:

[1] 寇军. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程建设期动态管理实践[J]. 水道港口, 2019, 40(3): 299-303, 357.
 [2] 曹民雄, 应翰海, 申霞. 长江南京以下深水航道二期工程碍航水道演变特性及航道治理思路 [J]. 水运工程, 2018(2): 1-12.
 [3] 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.

(下转第 165 页)