

黄浦江龙华嘴弯道演变及治理方案布置

曹慧江, 刘璐, 卢晓东

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 针对黄浦江龙华嘴弯道有限空间下弯道航道水流流态恶劣、回淤较大的问题, 开展龙华嘴弯道演变分析与治理方案布置的研究。采用多年实测数据对比、三维数学模型、船舶模拟等技术方法, 提出龙华嘴弯道疏浚切滩, 同时抛填筑底凹岸深槽的航道治理方案, 模型结果显示方案治理效果良好, 方案实施后弯段的通航条件改善主要指标为: 1) 事故易发生弯段 500 m 范围内水流过弯转向角减小 5.8°; 2) 落潮最大横流减小 30%; 3) 凸岸回淤减小约 35%。船模结果显示, 方案实施后明显降低了操船人员对船舶过弯控制的强度和频度。研究结论表明: 在狭窄弯道采用“疏浚切滩+抛填筑底”相结合的治理方案, 能够有效改善弯道流态, 减少凸岸回淤。该航道治理方式应用于黄浦江, 其研究结果可为后续黄浦江航道条件优化及类似航道的治理提供有价值的参考和借鉴。

关键词: 黄浦江; 龙华嘴; 航道治理; 弯道演变; 船舶模拟

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0206-08

Evolution and regulation plan layout for Longhuazui Bend of the Huangpu River

CAO Huijiang, LIU Lu, LU Xiaodong

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: To address the issues of adverse flow conditions and significant siltation in the confined waters of the Longhuazui bend in the Huangpu River, a study is conducted on the bend's evolution analysis and regulation plan layout. By using technical methods such as data comparison, three-dimensional mathematical models, and ship simulation techniques, a waterway regulation plan is proposed, involving dredging and cutting the shoal of the Longhuazui Bend while filling and stabilizing the deep channel along the concave bank. The model calculation results show that the regulation plan is highly effective. After implementation, the main improvements in navigation conditions for the bend are as follows: 1) The turning angle of the water flow within 500 m of the accident-prone bend is reduced by 5.8°. 2) The maximum cross-flow during ebb tide is reduced by 30%. 3) The siltation on the convex bank is reduced by about 35%. The results of the ship maneuvering simulation model show that after the implementation of the plan, the intensity and frequency of the ship's steering personnel controlling the ship's turning have been significantly reduced. The research shows that the method of combined "cutting the shoal and filling the bottom" in narrow bends can effectively improve the flow pattern of the bend and reduce siltation on the convex bank. This method has been applied to the Huangpu River, and the research results can provide valuable references and guidance for the optimization of the Huangpu River waterway conditions and similar waterway regulation in the future.

Keywords: Huangpu River; Longhuazui Bend; waterway regulation; bend evolution; ship simulation

黄浦江是上海市重要的内河航道的核心主干航道, 龙华嘴弯段位于黄浦江核心段(杨浦大桥—

徐浦大桥), 是黄浦江最窄、弯曲度和航行难度最大的弯道之一, 可通航 2 万吨级海轮, 航道维护

收稿日期: 2025-09-07 录用日期: 2025-11-24

作者简介: 曹慧江(1981—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事航道治理规划设计工作。

宽度为 127 m, 维护水深为 8.3 m。龙华嘴弯道河段具有典型的弯道河床演变特点, 包括凹岸冲刷、水深较深、凸岸淤积、水深较浅。龙华嘴弯道水深示意图 1, 弯道整体江面宽度 350~500 m, 弯顶河床形态基本呈 V 形, 深槽位于浦西凹岸侧, 最大水深一般为 12~21 m, 凸岸侧浅滩水深 0~5 m, 部分浅滩落潮时露出水面, 对船舶航行不利。其属于典型的弯道水流流态, 存在较强的横向环流, 流态复杂, 在弯道处水流转向角达到 40°, 影响弯顶船舶航行。

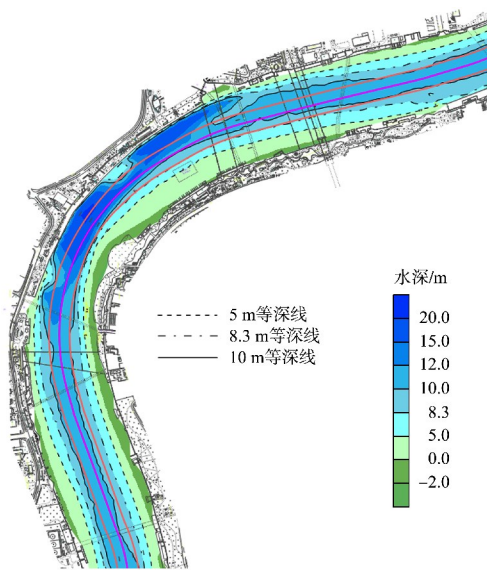


图 1 龙华嘴弯道水深

Fig. 1 Water depth in the Longhuazui Bend

近年来对于黄浦江河床演变及弯段航道治理, 相关学者及研究人员也开展了相关研究。姜琦等^[1]分析了黄浦江典型弯道河段河床变化; 郑金海等^[2]利用数学模型开展了吴淞口—张华滨河段航道改善方案的初步研究; 耿海玉等^[3]分析了黄浦江陆家嘴高滩淤积原因; 任思炜等^[4]从海事监管角度探讨黄浦江复杂弯道水域的航法; 蒋卫东^[5]黄浦江航道弯道水域通航措施研究。对于弯道航道的治理研究, 刘璐等^[6]进行了黄浦江陆家嘴弯段河势变化特征与航道布置研究; 唐刚等^[7]开展了黄浦江吴淞口弯道河段近期冲淤分析; 林芬芬等^[8]开展了北支弯道的水流动力特性分析及治理方案研究。

潮汐影响下的弯道航道尤其对于有限空间的

狭窄弯段进行航道治理, 受水域空间较小的影响, 航道布置及治理难度相对较大。本文通过对黄浦江龙华嘴弯道水文泥沙特征及历史河势变化、船舶通航特征、周边限制条件等进行较为详细的分析, 提出龙华嘴弯道航道布置和结合“疏浚切滩+抛填筑底”措施的治理平面布置方案, 目前工程已实施。该工程建设和研究成果对于后续黄浦江弯道航道及类似弯道航道的治理具有极强的借鉴和参考意义。

1 黄浦江龙华嘴弯段航道现状

根据 AIS (automatic identification system, 自动识别系统) 数据, 2021 年黄浦江通航船舶为 34.4 万艘次, 其中万吨级以上的大型船舶也随着船舶大型化发展趋势逐步增多, 2013—2021 年累计增长 1.3 万艘次, 年均增速达到 10.6%。龙华嘴弯道所处的吴泾—张华滨段航段长 46.7 km, 可乘潮通航 2 万吨级海轮, 深水航道维护宽度为 127 m, 维护水深为 8.3 m。龙华嘴 2021 年通航船舶 29.9 万艘次, 其中上行 15.4 万艘次, 下行 14.5 万艘次, 上、下行比例相当。通航船舶吨级以 1 000 吨级船舶为主, 占比约 78%, 通航船型以散货船为主, 占比约 60%。根据对船舶流量与潮汐的对比关系分析, 龙华嘴弯道水域的船舶通航特点是: 在高峰时段, 小型船舶通常集中顺流航行, 船舶密度很大, 易在弯头水域落弯航行, 占用相邻航道, 造成船舶交会的紧张局面, 加大事故发生的概率。另外, 高密度船舶流量增加了船舶在弯道通航交会的次数, 进一步增加了通航安全风险。为改善龙华嘴弯段的通航环境, 解决弯道通航水域狭窄、流态较差的问题, 需要实施包括优化航道平面、改善弯道流态的治理工程。

2 龙华嘴水流泥沙特征

2.1 水流特征及通航影响

龙华嘴弯段位于黄浦江中游, 水流为涨落潮双向流。根据龙华嘴弯段 2021 年 10 月大潮期实测水文资料, 涨、落潮段平均流速约为 0.60 m/s。断面表层最大涨急流速约为 1.32 m/s, 最大落急

流速约 1.14 m/s, 平均涨潮历时 5 h 19 min, 落潮流历时 7 h, 落潮流历时明显大于涨潮流历时。涨、落急流速出现的时间和高、低潮位出现的时间十分接近^[9]。凹岸流速大于凸岸流速。流速在垂向上总体呈现从底层到表层逐渐增大的规律。

落潮时龙华嘴上游弯段的流向偏向徐汇滨江凹岸侧, 现状事故易发区段范围内落潮时刻流向转角达 40.7°, 最大横流约 0.22 m/s, 影响弯顶船舶航行。龙华嘴弯道落潮时刻流场见图 2, 从船舶通航来看, 在这种流态的影响下, 下行船舶在后滩公园附近转向时, 顶向凹岸徐汇滨江的落潮流顶推船舶, 容易挤压下行船舶进入上行航道; 上行船舶顶流进入弯道, 靠近浦西凹岸, 当遭遇下行船舶入侵时, 通常会采取右满舵等紧急措施, 使船首转向凹岸, 落潮流与船首夹角增大, 导致舵效失灵, 易造成触碰岸壁事件。随着黄浦江船舶流量的增长, 发生事故的概率也在逐渐增加。

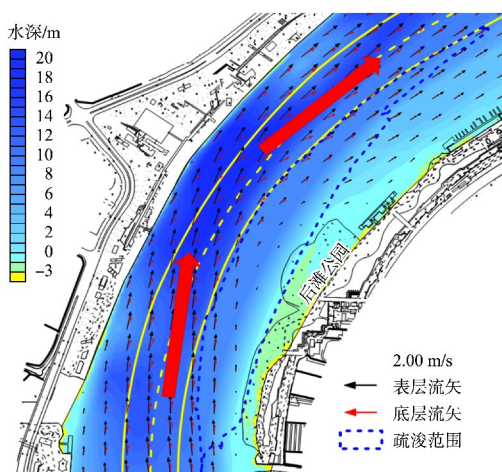


图 2 龙华嘴弯段落潮流场

Fig. 2 Ebb tide current field in the Longhuazui Bend

2.2 泥沙特征

黄浦江泥沙来源复杂, 包括上游流域来沙, 口外海滨来沙、泥沙再悬浮等多种来源, 其规律为越往上游含沙量越小, 输沙率也越低, 涨潮平均输沙率大于落潮平均输沙率。龙华嘴弯道附近涨潮平均含沙量约为 0.28 kg/m³, 落潮平均含沙量约为 0.19 kg/m³, 净输沙方向指向上游。从测验的悬沙粒径可以看出, 黄浦江的悬沙粒径相对较小, 中值粒径主要集中在 0.005~0.014 mm。

龙华嘴水域弯道水流运动的主要特点是螺旋流, 对于泥沙运动, 无论是悬移质还是推移质, 都会产生明显的影响。表、底层水流泥沙运动轨迹见图 3, 水流进入弯道后, 由于在弯道上游原来位于同一条垂线, 不同高程上的水体因受环流的影响, 表层水体向凹岸偏转, 底层水体向凸岸偏转, 表底层泥沙将各取不同的轨迹在平面上呈扇形展开。另一方面泥沙在垂线上分布也不均匀, 愈靠近底层, 泥沙含沙量越高, 表层含沙量较低约为 0.2~0.3 kg/m³, 底层含沙量为 0.3~0.6 kg/m³。

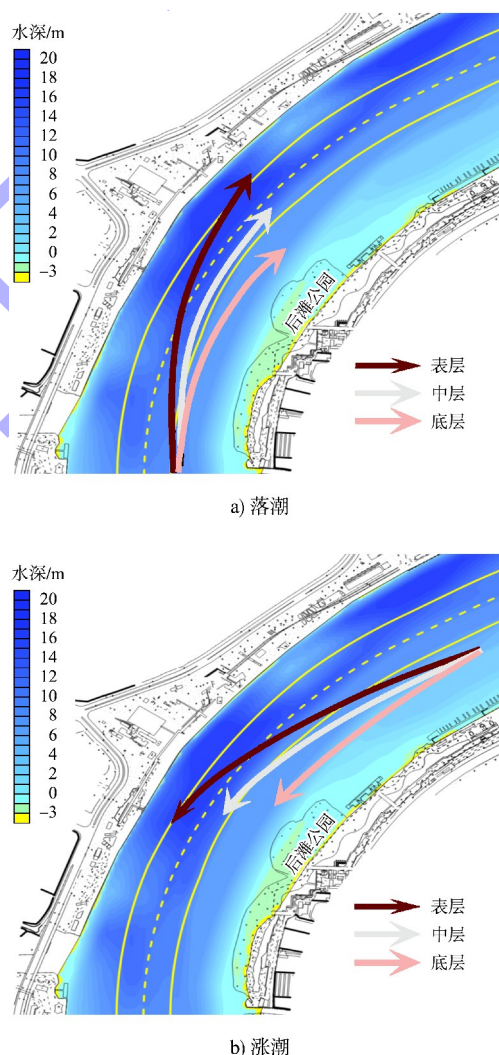


图 3 表、底层泥沙运动轨迹

Fig. 3 Movement trajectory of surface and bottom sediment

3 龙华嘴弯段河床演变特征

从形态来看, 龙华嘴弯道具有典型的弯道河床演变特点, 凹岸冲刷, 水深较深, 凸岸淤积, 水深较浅。弯道整体江面宽度 350~500 m, 弯顶河床形

态基本呈 V 形, 深槽位于浦西凹岸侧, 最大水深一般为 12~21 m, 10 m 槽贯通, 宽度为 120~150 m。

1973 年以来在黄浦江两岸新建了众多码头, 使黄浦江河道缩窄, 水深增加。到 20 世纪 90 年代初, 太浦河开通, 苏申外港线的整治使得太湖流域泄洪通道通畅, 进入黄浦江下泄的径流量大幅增加, 黄浦江水深也增加较大。2007 年以后受大的水沙环境条件和码头外移影响, 黄浦江河道整体偏淤积。尤其 2007—2011 年世博会筹备期间, 核心段码头搬迁, 龙华嘴弯道河床调整, 凹岸整体淤积形成 2 个堆积体, 水深变化在 5 m 以上。龙华嘴弯道近期冲淤变化见图 4。

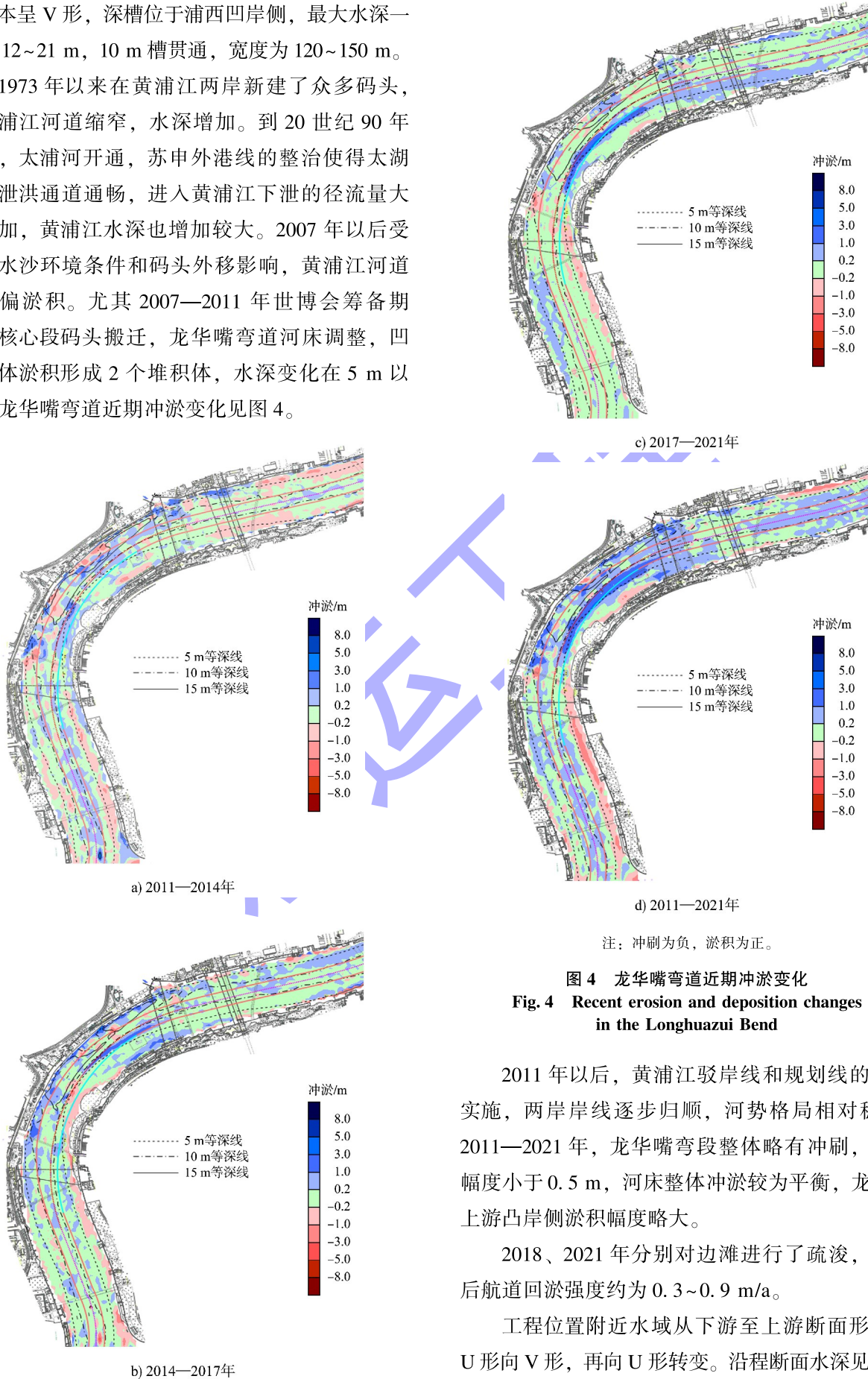


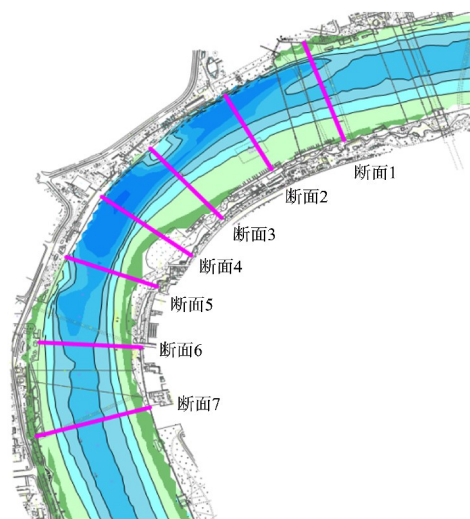
图 4 龙华嘴弯道近期冲淤变化
Fig. 4 Recent erosion and deposition changes in the Longhuazui Bend

2011 年以后, 黄浦江驳岸线和规划线的逐步实施, 两岸岸线逐步归顺, 河势格局相对稳定。2011—2021 年, 龙华嘴弯段整体略有冲刷, 冲刷幅度小于 0.5 m, 河床整体冲淤较为平衡, 龙华嘴上游凸岸侧淤积幅度略大。

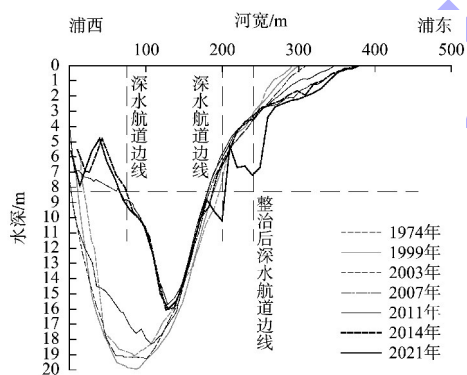
2018、2021 年分别对边滩进行了疏浚, 疏浚后航道回淤强度约为 0.3~0.9 m/a。

工程位置附近水域从下游至上游断面形态由 U 形向 V 形, 再向 U 形转变。沿程断面水深见图 5,

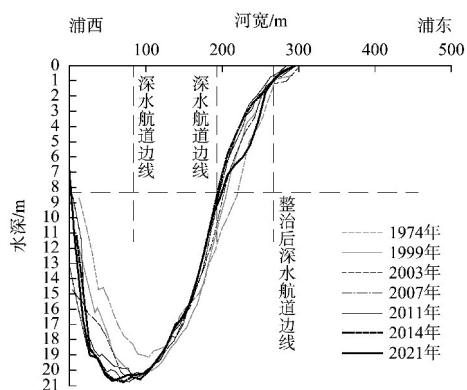
总体而言, 1999—2011年, 河槽整体淤积, 各断面水深有所减小; 其中2003—2007年, 部分断面(如断面3、5)深槽水深有较大幅度的减小, 而断面4则出现浦西侧边坡冲刷, 深泓向浦西岸侧变动; 2011年之后河槽断面形态较为稳定, 断面水深变化相对趋缓, 部分断面水深略有冲刷, 冲刷幅度在0.5 m以下; 断面3、4受小船航道疏浚影响, 浦东侧边坡局部水深增加。



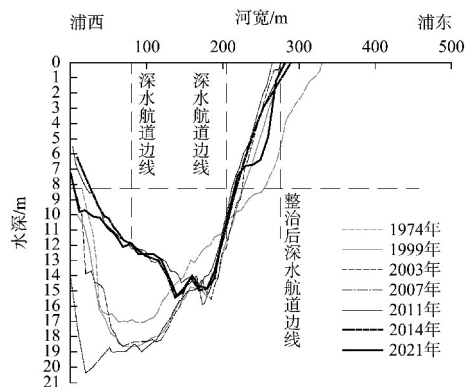
a) 断面位置



b) 断面3



c) 断面4



d) 断面5

图5 断面位置及断面水深

Fig. 5 Cross-section locations and water depths

4 航道治理平面方案布置

4.1 布置原则

龙华嘴弯道治理需要解决弯道通航水域狭窄、流态较差的问题, 治理方案布置需要考虑的因素和布置原则如下:

1) 不影响周边设施的运行和功能发挥。龙华嘴弯道浦西侧主要有徐汇滨江公共开放空间亲水平台, 平台采用高桩梁板结构, 河床底部有抛石护底; 浦东侧岸边为后滩公园, 后滩公园前设有海事监控塔。这些均为重要的涉水设施, 航道治理方案布置空间有限。

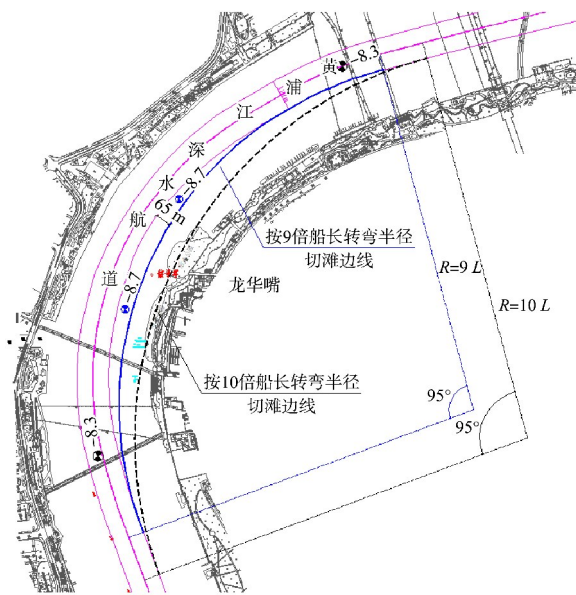
2) 对防洪、排涝无不利影响。黄浦江是重要的防汛通道, 是上海市水系的干流通道, 工程不宜对防洪、排涝产生不利影响。

4.2 治理方案布置

4.2.1 疏浚切滩, 优化航道平面, 拓宽弯道可通航水域

黄浦江深水航道国际客运码头至吴泾航道段需要满足2万吨级散货船减载单向乘潮通航, 并满足5000吨级杂货船满载双向全潮通航, 顺直段航道宽度为127 m。结合周边地形, 龙华嘴分段布置航道^[10]。弯段上、下游顺直航道沿用现有维护宽度127 m, 弯段处采用变宽度的弧线设计方案, 对弯段适当加宽, 龙华嘴弯道转向角大于90°, 受现状地形条件限制, 目前转弯半径约为8倍设计船长(2万吨级散货船)。若按规范采用大于10倍船长的转弯半径布置将导致航道边线切滩范围较

大, 并影响后滩公园和相关设施的正常运行。结合黄浦江实际情况, 在不影响后滩公园和相关设施、并保持与海事信号塔一定安全距离的情况下, 按照尽可能用足水域空间的原则, 使用约 9 倍设计船长的转弯半径对凸岸切滩, 航道东边线向浦东侧拓宽, 拓宽后航道弯顶处宽度最大增加 65 m。同时考虑充分利用凹岸侧水深, 将凹岸侧的浅包进行疏浚, 弯顶整体通航水域宽度最大达 250 m。弯道加宽布置见图 6。



注: L 为船长; R 为转弯半径。

图 6 转弯半径加宽布置(单位:m)

Fig. 6 Widening layout of the turning radius(unit:m)

4.2.2 改善弯道流态、减少凸岸淤积

龙华嘴空间较为有限, 在弯道顶部加设丁坝难度较大, 为了改善弯道水流流态, 减小弯段上、下游落急水流转向角, 减小船舶过弯通航风险, 将在疏浚切滩方案的基础上抛填凹岸深槽筑底, 改善弯道流态, 减少凸岸淤积。

参考黄浦江内航道水深较好、河床较稳定, 8.3 m 等深线大于 180 m 的优良断面(其深槽水深约为 12~15 m), 抛填深度设置为 15 m, 具体方案布置见图 7、8。弯顶处抛填断面面积与挖方断

面面积基本平衡, 保持过水断面面积基本不变, 减小对防洪排涝的影响。

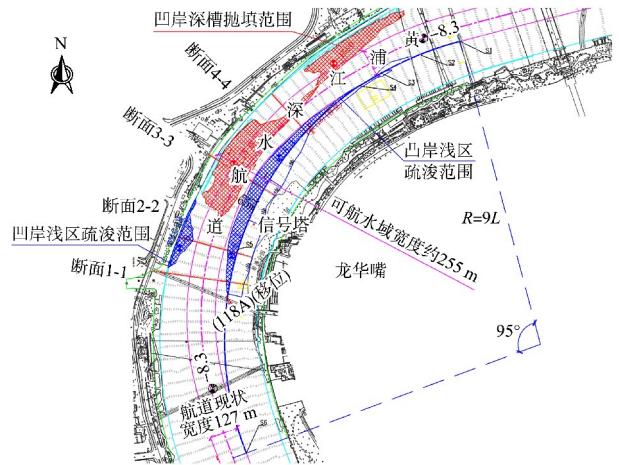


图 7 方案平面布置

Fig. 7 Scheme plan layout

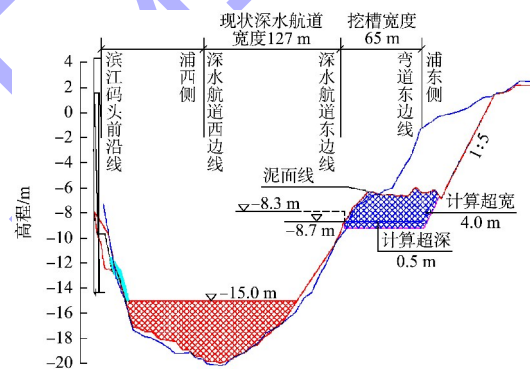


图 8 方案弯顶处代表断面

Fig. 8 Representative cross-section at the bend apex of the scheme

5 模型计算及治理效果

采用三维潮流数学模型 SHIW3D 进行工程前后流场变化的计算, 模型的网格划分采用非正交曲线坐标网格, 为保证整治河段水域三维流场模拟的精确度, 将本水域的网格加密至 10 m×20 m (水流横向×纵向), 数模计算范围及网格剖分见图 9。

三维数学模型计算结果显示, 疏浚切滩+抛填深槽到 15 m 后, 工程实施后应该较好地改善流态流场, 工程前后流速分布见图 10。主要指标包括:

1) 事故易发生弯段 500 m 范围内过弯转向角减小 5.8° 。2) 落潮最大横流约 0.16 m/s ，比工前减小了 0.06 m/s ；采用国家海难预防研究中心船舶操纵模型 (KONGSBERG 北极星 4000) 系统进行船舶操纵模拟^[11]，模拟结果显示工程方案改善了龙华嘴的航道条件，增加了主力设计船型的可航水域宽度，降低了船舶搁浅和浅水效应的风险，并且降低了操船人员对船舶过弯控制的强度和频度。3) 回淤计算结果显示，工程实施后可改善深槽冲刷、凸岸回淤、河道趋弯的发展趋势，方案在抛填深槽后，凸岸回淤可减小 35%。该方案可以起到较好的治理效果。

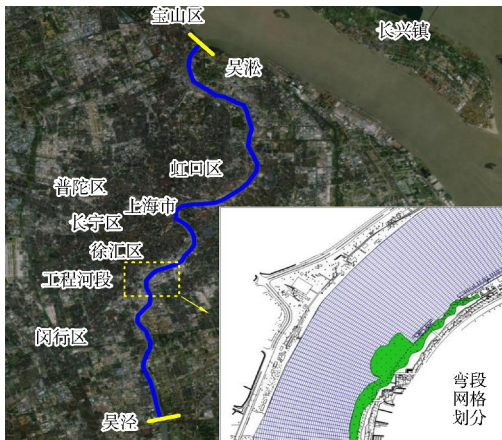


图 9 数学模型计算范围及局部网格划分
Fig. 9 Calculation range of mathematical model and local mesh division

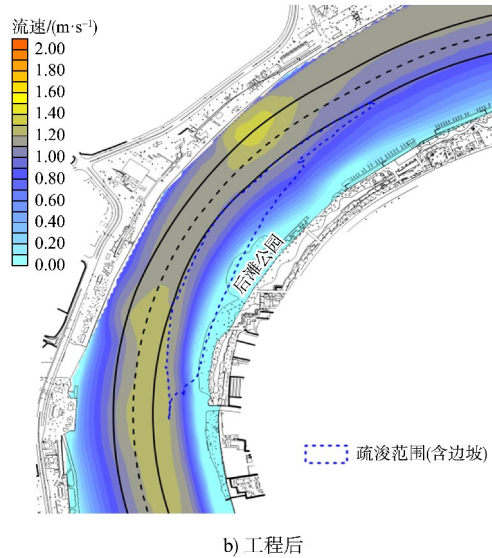
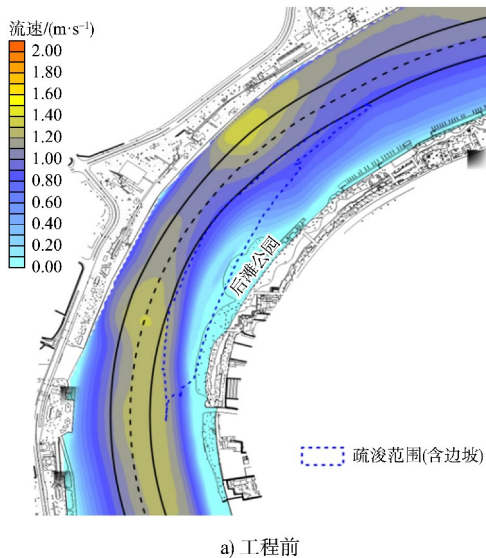


图 10 工程前后落急流流速分布
Fig. 10 Distribution of flow velocity in the rapid flow before and after the project

6 结语

1) 目前黄浦江徐汇滨江段龙华嘴治理工程已开工建设，通过疏浚凸岸浅滩拓宽通航水域，将疏浚土经袋装处理后抛填至凹岸深槽，辅以抛石护层，重塑弯道优良断面。

2) 该方案应用于黄浦江航道的治理中，数模结果显示工程方案改善了龙华嘴的航道条件，降低了船舶搁浅和浅水效应的风险，并且降低了操船人员对船舶过弯控制的强度和频度。可以改善深槽冲刷、凸岸回淤、河道趋弯的发展趋势，起到了较好的治理效果。

3) 后续将结合相关观测计划，持续跟踪治理效果并进行评估和总结。为后续类似弯道航道治理提供数据和研究基础。

参考文献:

[1] 姜琦, 杜梦. 黄浦江典型弯道河段河床演变研究[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(22): 211-212, 241.
JIANG Q, DU M. Research on the riverbed evolution of a typical bend section of the Huangpu River[J]. China water transport (the second half of the month), 2014, 14(22): 211-212, 241.

[2] 郑金海, 魏有兴. 吴淞口至张华浜河段航道改善方案的初步研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(3): 89-92.
ZHENG J H, WEI Y X. Channel improvement for Wusongkou-Zhanghuabang river section [J]. Journal of Hohai University(natural sciences), 2002, 30(3): 89-92.

[3] 耿海玉. 上海黄浦江陆家嘴区段的高滩疏浚清理工程[J]. 水运工程, 2001(4): 44-45.
GENG H Y. Shoal dredging and clearing engineering at Lujiazui section of Huangpujiang river in Shanghai [J]. Port & waterway engineering, 2001(4): 44-45.

[4] 任思炜, 芦凯. 从海事监管角度探讨黄浦江复杂弯道水域的航法[J]. 中国海事, 2022(12): 39-42.
REN S W, LU K. Discussions on the navigation method in complicated bends of Huangpu River from the perspective of maritime supervision [J]. China maritime safety, 2022(12): 39-42.

[5] 蒋卫东. 黄浦江航道弯道水域通航措施研究[J]. 中国航海, 2011, 34(2): 105-110.
JIANG W D. Research about the navigation safety measures for vessels passing through bending areas of Huangpu River, Shanghai [J]. Navigation of china, 2011, 34(2): 105-110.

[6] 刘璐, 施友仁, 卢晓东, 等. 黄浦江陆家嘴弯段河势变化特征与航道布置[J]. 水运工程, 2025(2): 157-163, 177.
LIU L, SHI Y R, LU X D, et al. River regime variation characteristics and waterway layout in Lujiazui Bend of Huangpu River [J]. Port & waterway engineering, 2025(2): 157-163, 177.

[7] 唐刚, 杨晓坤. 黄浦江吴淞口弯道河段近期冲淤分析[J]. 港口科技, 2022(3): 33-42.
TANG G, YANG X K. Analysis of recent scouring and silting in Wusongkou bend section of Huangpu River [J]. Port science & technology, 2022(3): 33-42.

[8] 林芬芬, 季岚, 曹慧江, 等. 长江口北支河段碍航特性及治理思路[J]. 水运工程, 2021(6): 177-182, 199.
LIN F F, JI L, CAO H J, et al. Characteristics of navigation-obstruction and regulation idea of the North Branch of the Yangtze Estuary [J]. Port & waterway engineering, 2021(6): 177-182, 199.

[9] 夏军, 施友仁. 黄浦江航道维护中的长航道乘潮水位计算[J]. 水运工程, 2019(5): 109-113.
XIA J, SHI Y R. Calculation of riding high tide level in a long waterway in the Huangpu River channel maintenance [J]. Port & waterway engineering, 2019(5): 109-113.

[10] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 黄浦江徐汇滨江段龙华嘴弯道航道治理工程工程可行性研究[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2023.
CCCC Shanghai Waterway Engineering Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Feasibility study report on the waterway regulation project of Longhuazui Bend in Xuhui riverside section of Huangpu River [R]. Shanghai: CCCC Shanghai Waterway Engineering Survey and Design Research Institute Co., Ltd., 2023.

[11] 国家海难预防研究中心. 黄浦江徐汇滨江段龙华嘴弯道航道治理船舶操纵模拟研究[R]. 北京: 国家海难预防研究中心, 2023.
National Maritime Disaster Prevention Research Center. Ship handling simulation study for channel regulation of Longhuazui Bend in Xuhui riverside section of Huangpu River [R]. Beijing: National Maritime Disaster Prevention Research Center, 2023.

(本文编辑 赵娟)

