三峡库区变动回水区虾子梁滩段养护疏浚对策

刘作飞[1]，朱彬华[1]，樊书刚[2]
（1. 长江重庆航道局，重庆 400010；2. 长江重庆航运工程勘察设计院，重庆 401147）

摘要：针对三峡水库变动回水区虾子梁滩段航道在枯水期面临的弯、窄、急、险等碍航问题，进行养护疏浚工程的研究与实践。通过收集大量历史实测资料，对比分析多年等深线、冲淤变化等情况，得出该滩段整体表现为缓慢持续淤积的趋势，结合该河段的航道条件和水情特点，对施工设备及施工水位进行比选，制定合理的养护疏浚方案。工程实施结果表明，养护疏浚工程改善了航道条件，拓宽可通航水域，减小船舶操作难度，有效保障了航道畅通和通航安全。

关键词：变动回水区；虾子梁滩；卵砾石淤积；养护疏浚
中图分类号：U657.2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2025)02-0172-06

Maintenance and dredging countermeasures for Xiaziliang shoal section in variable backwater area of Three Gorges Reservoir

LIU Zuofei[1], ZHU Binhua[1], FAN Shugang[2]
(1. Changjiang Chongqing Waterway Bureau, Chongqing 400010, China;
2. Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, Chongqing 401147, China)

Abstract: Research and practice on maintenance and dredging engineering are conducted to address the navigation obstacles faced by the Xiaziliang shoal section of the Three Gorges Reservoir's variable backwater area during dry season, such as bends, narrowness, rapidity, and danger. It is found that the overall trend of this beach section is slow and continuous sedimentation by collecting a large amount of historical measured data and comparing and analyzing the changes in isobaths and erosion and sedimentation over the years. On the basis of the waterway conditions and water characteristics of this river section, the construction equipment and the water level are compared, and a reasonable maintenance and dredging plan is formulated. Implementation results of the project indicate that the maintenance and dredging project can improve the conditions of the waterway, expand navigable waters, and reduce the difficulty of ship operation, thereby ensuring the smoothness and safety of the waterway.

Keywords: variable backwater area; Xiaziliang shoal; cobble and gravel deposition; maintenance and dredging

三峡水库蓄水运行后，改善了库区航道条件，为长江上游航运中心和西部陆海新通道的发展提供了有力支撑。航运的发展促进了船舶大型化，对航道条件提出更高要求，但目前三峡水库变动回水区航道条件不能完全适应现阶段航运发展，当地政府和航运企业对改善航道条件的呼声日益强烈。根据多年航道泥沙原型观测分析成果，变动回水区浅滩碍航主要由卵砾石冲淤变化引起，而目前对于变动回水区卵石浅滩冲淤规律的认识尚不十分明确，且卵石运动的复杂性使其碍航机理难以被全面揭示[1-3]。同时，“汛期反枯”、“日变幅大”等不利因素对该段航道和航道养护的影响也明显增加。

为了保障重庆局辖区的年度航道计划维护尺

收稿日期：2024-05-16
作者简介：刘作飞（1982—），男，硕士，高级工程师，从事港口、航道的研究与管理。

度和安全畅通，统筹全年养护疏浚工作开展和疏浚力量的合理配布，鉴于鱼洞水道虾子梁滩段作为典型的浅、险、弯、窄、急河段，具有维护难度大、疏浚次数多、河床演变复杂等特点[4-6]，本文聚焦于此河段，通过精准疏浚研究，制定合理的养护疏浚方案，以确保航道的安全畅通，旨在为航运业的发展提供坚实的保障，也可为其他航道养护疏浚工作提供有益参考。

1　航道概况

虾子梁滩位于急弯河段(长江上游航道里程 690.7~694.3 km)，属于鱼洞水道，滩段长约 3.6 km，三峡 175 m 蓄水运行后，该滩段位于变动回水区上段，航道顺直，中段弯鱼嘴弯、急、险。左岸香炉石石嘴突出，小筏子石石梁伸出江心；上游 2 km 有鱼洞长江大桥，左岸桥墩矗立于兰家石盘尾部。右岸水银口凹岸内虾子梁纵卧江中，有小二口、大二口石梁，梁脑上有筏子石、梅家梁石嘴突出；袁家沱外有沙坝，车渡码头下有渔洞石，黄溪口外暗碛伸出较开；周家碛、鸡翅膀等暗碛伸出较开。低水位期主流偏左岸下，受小筏子石影响渐偏右岸虾子梁—礁巴滩，大二口和小二口有漏浩水，水流紊乱。中、洪水期，兰家石盘淹没后有泡水和闷埂，主流循江心偏右岸下；弯鱼嘴有斜流，碛下掩塘西流旺盛。虾子梁淹后滑梁，弯钩碛水势内托强劲[7]。在水银口汛期水位 6 m 以上时，实行船舶单向通行控制。鱼洞水道河势见图 1。

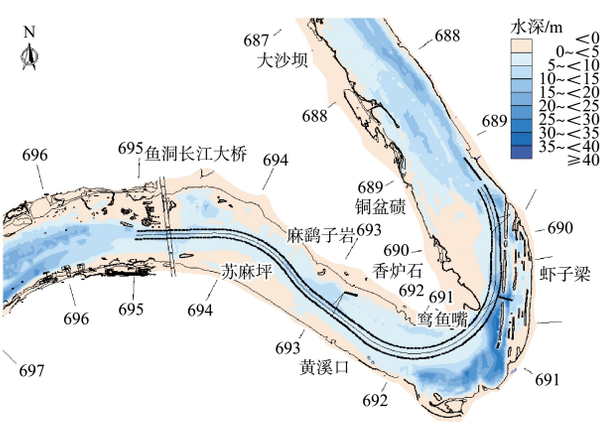


图 1　鱼洞水道河势

Fig. 1　River regime of Yudong Waterway

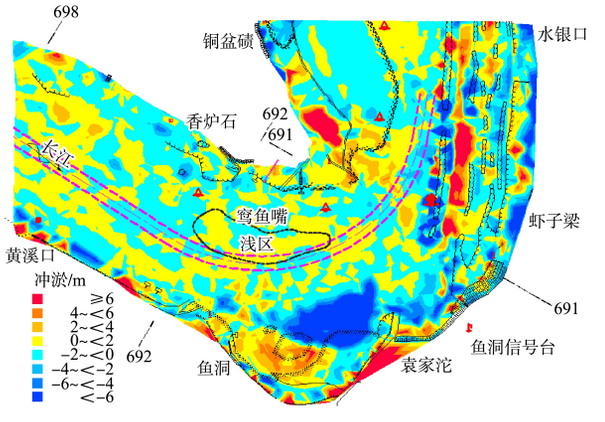
目前鱼洞水道最小航道维护尺度为 2.9 m×50 m×560 m(航深×航宽×弯曲半径，下同)，通航保证率 98%。12 月—次年 4 月执行 2.9 m×50 m×560 m 的维护尺度，5 和 11 月执行 3.2 m×60 m×600 m 的维护尺度，6 和 10 月执行 3.5 m×60 m×600 m 的维护尺度，7—9 月执行 3.7 m×80 m×700 m 的维护尺度[8]。

2　演变情况

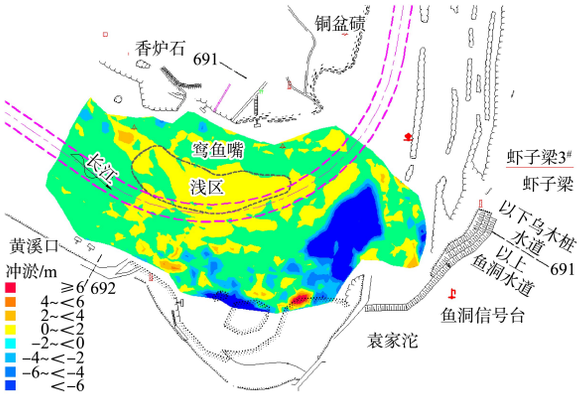
2.1　总体演变情况

根据三峡水库 2007 年蓄水以来的地形测图，分析滩段总体的河床演变情况，年际间总体呈现以下演变特点：三峡 175 m 蓄水运行后，该滩段的弯鱼嘴暗碛翅和碛尾整体表现为缓慢持续淤积的趋势，向河心挤压航槽，造成航道愈加弯曲，近年对淤积浅区进行了 2 次养护疏浚，航道条件才得到有效保障。

从河段 2007 年与 2014、2018 年枯水期同期测图冲淤分析来看，弯鱼嘴浅碛尾部及碛翅均发生淤积，淤积厚度在 0.5~1.2 m。2007 年浅碛最浅点高程 2.6 m，至 2018 年 3 月最浅点高程 1.9 m，滩面淤高约 0.7 m。右岸鱼洞石—袁家沱前沿区域局部地形发生较大冲淤变化。2007—2014 年，在袁家沱石梁上游形成长约 350 m、宽约 210 m 的深坑，平均高程降低约 10 m，见图 2a)。而在 2014—2018 年，又在袁家沱石梁—虾子梁前沿形成长约 300 m、宽约 150 m 的深坑，平均高程降低约 15 m，见图 2b)。初步分析认为，右岸深沱的贯通导致吸流增强，一定程度上加剧了江心浅碛的淤积展宽。



a) 2007—2014年



b) 2014—2018年

注：冲刷为负，淤积为正。

图 2　弯鱼嘴—虾子梁冲淤变化

Fig. 2　Erosion and deposition change from Diaoyuzui to Xiaziliang

另外从 3 m 等深线对比看，弯鱼嘴浅碛翅 2007—2014 年上段基本稳定，局部略有冲淤，浅碛尾下延约 63 m，碛尾宽度增加明显；2014—2018 年浅碛淤积明显，碛脑向上游延伸约 150 m，碛尾下延约 140 m，碛翅右缘向河心淤积展宽约 50 m，造成航道缩窄并且愈加弯曲。鉴于弯鱼嘴潜碛为凸岸心滩，又受弯道主流右偏影响，累积性淤积为常态，因此虾子梁河段在航道养护过程中坚持以维持弯鱼嘴潜碛较好的滩型为航道养护疏浚的控制性因素。在 2018 年汛后对弯鱼嘴碛翅进行了养护疏浚，疏浚后航道条件得到改善，航道 3 m 等深线拓宽约 50 m，见图 3。2022 年上半年再次对弯鱼嘴碛翅进行了养护疏浚，疏浚后航道条件得到进一步改善，航槽 3 m 等深线拓宽至 90 m。

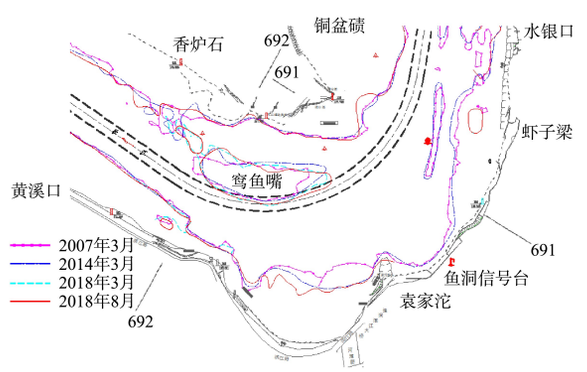


图 3　虾子梁滩 3 m 等深线变化

Fig. 3　Change of 3 m depth contour at Xiaziliang shoal

2.2　近期演变情况

2023 年以来，弯鱼嘴浅碛基本稳定，右岸鱼洞石红浮附近大面积淤积，向左岸挤压航槽，使得航道愈加弯曲，下水船舶操作难度变大，存在安全隐患。进口段小筏子石下游麻鹞子岩附近航道持续淤积，出现大面积浅区，束窄航道。

从 2023 年虾子梁河段冲淤变化以及 3 m 等深线变化来看：弯鱼嘴浅碛整体变化不大，碛脑和碛尾略有淤积；右岸鱼洞石红浮附近发生较大面积的淤积，最大淤积厚度约 1.5 m，并且出现了不满足 3 m 水深的浅点；麻鹞子岩附近发生大面积淤积，最大淤积厚度约 3 m，并且出现了若干不满足 3 m 水深的浅点，见图 4。

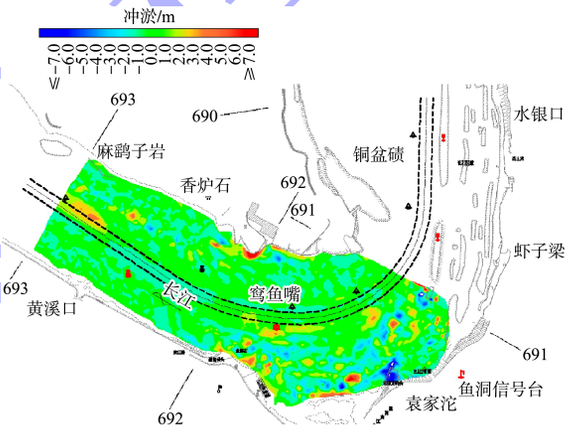


图 4　弯鱼嘴—虾子梁冲淤变化

Fig. 4　Erosion and deposition change from Diaoyuzui to Xiaziliang

虾子梁滩 4 m 等深线变化见图 5。可以看出，1 月份弯鱼嘴浅碛右岸不满足 4 m 水深的浅包直径约 60 m，航道 4 m 等深线宽度约 90 m，1 月后航道右岸发生淤积，4 m 等深线向河心和下游延伸，向左岸挤压航槽，目前航槽内 4 m 等深线宽度仅有不足 30 m；而麻鹞子岩附近航道内 4 m 等深线贯通，航道条件良好，1 月份至今航道内发生大面积持续淤积，出现了不满足 4 m 水深的浅包，目前浅包长约 220 m、宽约 60 m，航道 4 m 等深线宽度不足 80 m，浅包内最小水深仅有 2.9 m。

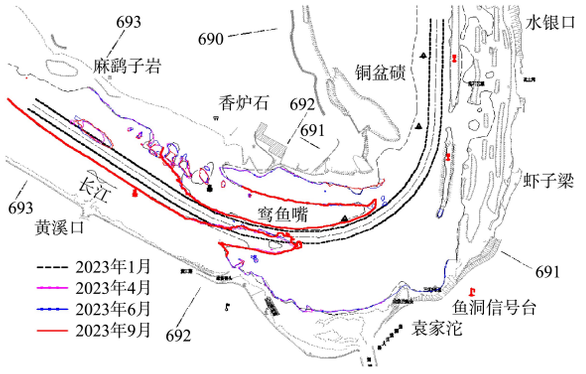


图 5　虾子梁滩 4 m 等深线变化

Fig. 5　Change of 4 m depth contour at Xiaziliang shoal

由于 2023 年度麻鹞子岩和鱼洞石区域持续淤积，航道愈加弯曲狭窄，下水船舶行船时操作难度大，为了减小航道淤积对通航的影响，采取措施在淤积区附近调整或增设了助航标志，但河床淤积大幅缩窄了船舶可通航水域，改变了船舶的习惯性航路，船舶过弯难度仍然较大，存在一定的安全隐患。因此为了保障航道畅通和通航安全，及时实施养护疏浚是非常必要的。

3　养护疏浚方案设计

3.1　水情分析

水银口水尺为鱼洞水道的关联水尺，其近年的水位数据见表 1。可以看出，每年 1—5 月为低水位期，尤其以 3—5 月期间水位最低，有时甚至接近或低于零水位。特别是 2022 年“汛期返枯”三峡蓄水位较低以及 2023 年上游降雨量小的影响，导致 2023 年 1、2 月的最低水位较低，分别为−0.32 和−0.61 m，而 3—5 月的最低水位则与往年均值相当。

表 1　水银口近年来低水位

Tab. 1　Low water levels at Shuiyinkou in recent years

年份	水位/m					
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	12 月
2019	1.70	1.40	0.70	0.40	1.00	5.50
2020	1.70	0.50	1.30	0.08	−0.15	5.08
2021	2.51	0.70	−0.43	−0.35	0.13	2.73
2022	2.10	2.02	0.62	0.20	2.58	1.02
2023	−0.32	−0.61	1.40	−0.30	0.12	1.16

3.2　方案布置

2023 年弯鱼嘴潜碛基本稳定，主要对新近淤积的麻鹞子岩和鱼洞石浅区实施养护疏浚。设计航槽布置与枯水期现行航槽走向基本一致，见图 6。考虑枯水期航标设置、弯道航道以及减小船舶操作和航道维护难度等实际需求，疏浚范围有所加宽。麻鹞子岩疏浚区基线长约 210 m，最大疏浚宽度约 50 m；鱼洞石疏浚区基线长约 510 m，最大疏浚宽度约 100 m[9]。

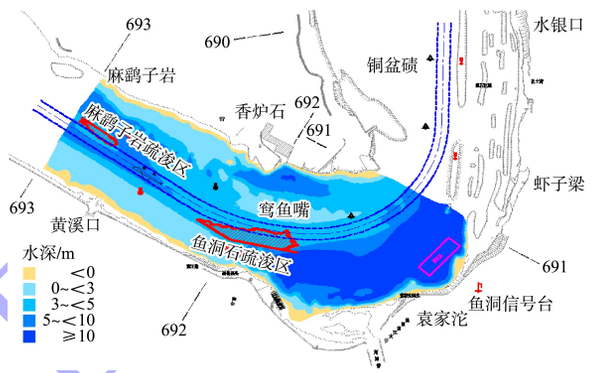


图 6　2023 年鱼洞水道养护疏浚方案

Fig. 6　Maintenance and dredging plan for Yudong waterway in 2023

基于水情分析，疏浚航槽深度按照 5 月航道维护水深 3.2 m 进行设计，基于 2023 年的年内冲淤变化幅度，考虑 0.5 m 的备淤深度，因此浅区疏浚底高程为设计最低通航水位下 3.7 m，疏浚边坡按砂卵石河床稳定边坡取 1:3。

3.3　施工船舶选型

结合虾子梁河段的水沙条件、航道尺度以及各类挖泥船对岩石的可挖性分析，疏浚维护施工选用 4 m^3 抓斗挖泥船为主要施工船机。经调查，目前内河 4 m^3 抓斗挖泥船船舶主要尺度和性能指标为：船长 40 m，船宽 14 m，设计吃水 1.5~1.7 m，最大挖深约 12 m，最大工作半径 10~15 m，适合挖掘的土质主要包括爆破碎石、砂卵石和软岩石（标贯击数 $N \leqslant 30$ 击），满足养护疏浚作业需求。养护疏浚拟采用挖泥船配备泥驳进行作业。此外，因施工水域属大型山区急流航段，所以选用的船舶均需满足《钢质内河船舶建造规范》[10] 有关航区、急流航段的要求。

3.4 疏浚时机选择

为保障枯水期的航道尺度，宜在中高水位期提前进行养护疏浚，既缓解施工与通航矛盾，又在碍航期到来之前准备预备槽，使冲刷泥沙顺利输移到下游深潭，从而缓解运动泥沙碍航问题[11]。该河段位于三峡水库变动回水区，受三峡蓄水影响，每年 9—12 月为河段的中高水位期，水位通常能保持在 4 m 以上，该时期疏浚河道可通航水域较宽，可通过调整航标布设临时航道，实现边通航边施工，从而提高低水位期的通航效率，降低航道维护的工作量和工作难度。从船运企业和航道维护部门的角度来看，提前疏浚具有较高的经济效益。

4 疏浚效果

该滩段工程设计疏浚工程量 2.94 万 m^3，累计完成工程量 3.06 万 m^3，比计划工程量超出 0.12 万 m^3，确保了疏浚工程的全面完成和高质量实施。整个疏浚过程原计划 50 d，但实际工期缩短至 40 d，体现了施工组织管理的科学性和高效性。根据虾子梁滩段测图，鱼洞石和麻鹞子岩疏浚区平面位置符合设计要求，疏浚区底高程满足航道维护尺度要求，抛泥区顶高程满足设计要求。鱼洞石疏浚区完工典型横断面见图 7。通过养护疏浚，虾子梁滩段的可通航水域得到了明显拓宽，下水船舶在过弯时的操作难度明显降低，航道维护难度也随之减小。这不仅保障了鱼洞水道年度枯水期的航道畅通，也大幅提高了通航效率和安全性，为船运企业提供了更加可靠和便捷的运输通道。

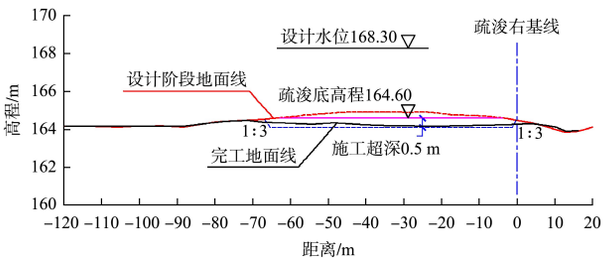


图 7 鱼洞石疏浚区完工典型横断面

Fig. 7 Typical cross-section of completed dredging area at Yudongshi

5 结语

1）三峡库区变动回水区浅滩河段众多，特别是在消落期，航道航宽窄、水深浅，对通航安全构成挑战。鉴于卵石浅滩冲淤变化规律的复杂性和难预测性，在滩段的养护过程中，加强对重点浅滩的跟踪观测分析，及时掌握航道变化情况，是实现科学精准养护航道的前提。

2）为保障浅滩航道尺度、改善浅滩航道条件、提升航道的通航能力和安全性，实施养护疏浚是目前不可缺少且非常有效的手段。养护疏浚不仅能够及时有效拓宽航道，还能及时挖深航槽满足通航水深，对于保障船舶的安全、高效航行具有重要意义。

3）长江上游含有天然山区河流、变动回水区和库区河段，根据航道条件和水情特点，合理选择施工设备和时机，对于提高疏浚效率和质量非常重要，需要在以后的疏浚施工中不断总结和应用与工程相适应的新技术、新材料、新方法，推动航道养护疏浚工作向更高质量的方向发展。

参考文献：

[1] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡水库变动回水区卵石浅滩维护技术研究[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2021.
Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River. Study on maintenance technology of pebble shoal in fluctuating backwater area of Three Gorges Reservoir [R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2021.

[2] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡库区航道泥沙原型观测 2019—2020 年度分析报告[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2020.
Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River. Analysis report on prototype observation of sediments in the navigation channel of the Three Gorges Reservoir area for 2019 to 2020 [R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2020.

[3] 包明金, 樊书刚, 李倩, 等. 重庆港兰家沱水道航道维护疏浚对策[J]. 水运工程, 2023(12): 132-136, 203.
BAO M J, FAN S G, LI Q, et al. Channel maintenance and dredging measures for Lanjiatuo Waterway in Chongqing Port[J]. Port & waterway engineering, 2023(12): 132-136, 203.

[4] 闫霞, 姚仕明, 夏炜, 等. 鸳鱼嘴浅滩 2018 年航道维护性疏浚工程后评估[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(8): 9-13.
YAN XIA, YAOS M, XIA W, et al. Post-assessment of the 2018 maintenance dredging project of Diaoyuzui Shoal[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(8): 9-13.

[5] 王士毅, 甘鉴登, 周冠伦, 等. 长江上游航道的整治[J]. 水利学报, 1980(4): 12-25.
WANG S Y, GAN J D, ZHOU G L, et al. Regulation of the upper Yangtze River navigation channel [J]. Journal of hydraulic engineering, 1980(4): 12-25.

[6] 马李伟, 贺勇. 三峡水库变动回水区维护性疏浚施工组织[J]. 水运工程, 2015(11): 179-183.
MA L W, HE Y. Maintenance dredging construction management method within fluctuation backwater area of Three Gorges Reservoir[J]. Port & waterway engineering, 2015(11): 179-183.

[7] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2019—2020 年度三峡库区航道维护性疏浚技术方案[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2020.
Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River. Technical scheme for maintenance dredging of navigation channels in the Three Gorges Reservoir area from 2019 to 2020 [R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2020.

[8] 长江航道局. 长江干线航道维护管理基础资料汇编(2023 年度)[R]. 武汉: 长江航道局, 2024.
Changjiang Waterway Bureau. Compilation ofbasic data for maintenance and management of main channel navigation routes of the Yangtze River (2023 edition) [R]. Wuhan: Changjiang Waterway Bureau, 2024.

[9] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2023 年度长江干线南京以上航道养护疏浚项目(合江门—丰都段)[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2023.
Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River. 2023 annual maintenance dredging project for the navigation channel above Nanjing along the Yangtze River mainstem (Hejiangmen to Fengdu section) [R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2023.

[10] 中国船级社. 钢质内河船舶建造规范[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.
China Classification Society. Code for construction of steel inland waterway vessels [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2016.

[11] 王涛, 张璠, 刘天云, 等. 三峡水库变动回水区三角碛河段消落期维护疏浚方案[J]. 水运工程, 2015(1): 120-125.
WANG T, ZHANG F, LIU T Y, et al. Maintenance and dredging plans of Sanjiaoqi reach in fluctuating backwater area of the Three Gorges Reservoir[J]. Port & waterway engineering, 2015(1): 120-125.

(本文编辑　王璁)

(上接第 163 页)

[11] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 2024 年黄浦江航道陆家嘴、董家渡弯段维护疏浚实施方案[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2023.
Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd. Maintenance and dredging implementation plan for the Huangpu River navigation channel at Lujiazui and Dongjiadu Bend in 2024 [R]. Shanghai: Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., 2023.

[12] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Overall design code for sea ports: JTS 165-2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2013.

(本文编辑　王璁)

水运工程