



新建桥墩对整治建筑物影响及守护措施研究

包明金¹, 陈勇康², 郭 琦¹, 罗韵菁¹

(1. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147;
2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 拟建南纪门轨道专用桥桥墩距离下游整治建筑物最小距离仅 24 m, 桥墩建成后将对整治建筑物自身稳定产生一定的不利影响, 进而可能影响该河段航道整治效果和既定整治目标的实现。采用二维水流泥沙数学模型, 计算桥墩建成后水沙条件变化, 并对提出的联合守护方案效果进行分析。结果表明: 桥梁建设对工程河段航道的通航水流条件影响较小, 但会造成桥墩、直立式挡墙前沿和丁顺坝坝头等区域产生局部冲刷, 影响桥墩、挡墙及 Z₁[#] 丁顺坝自身的稳定性; 联合守护方案实施后, 局部冲刷范围明显减小, 冲刷强度显著减弱, 保障了整治建筑物和桥梁的稳定性, 确保航道整治工程原设计功能的正常发挥。

关键词: 桥墩; 整治建筑物; 联合守护方案; 水沙条件

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0104-06

Influence of new bridge piers on regulation buildings and its protection measures

BAO Mingjin¹, CHEN Yongkang², GUO Qi¹, LUO Yunjing¹

(1. Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China;
2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: The minimum distance between the piers of the proposed Nanjimen track-specific bridge and the downstream regulation buildings is only 24 m. The completed piers will have a certain adverse impact on the stability of the regulation buildings themselves, which can affect the waterway regulation effect of this river section and the realization of the established regulation goals. We use the two-dimensional flow and sediment mathematical model to calculate the changes of water and sediment conditions after the completion of the bridge piers, and analyze the effect of the proposed joint protection scheme. The results show that the bridge construction has little impact on the navigable flow conditions of the channel in engineering river section. However, it will cause local scour in areas such as the pier, the front of the vertical retaining wall and the head of the spur longitudinal dike, which can affect the stability of the pier, the retaining wall and the Z1[#] spur longitudinal dike itself. After the implementation of the joint protection scheme, the local scour range is significantly reduced, and the scour intensity is significantly weakened, which ensures the stability of the regulation buildings and bridges, and ensures the normal functioning of the original design function of the channel regulation project.

Keywords: pier; regulation buildings; joint protection scheme; water and sand conditions

1 工程概况

拟建南纪门轨道专用桥是重庆市轨道交通十号线南段的关键性控制工程, 位于十号线二期工

程南滨路站—七星岗站区间, 是跨越长江的一座特大桥。大桥桥址位于长江上游航道里程 663.6 km 处, 猪儿碛滩段珊瑚坝尾, 属长江上游

收稿日期: 2022-07-27

作者简介: 包明金 (1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事航道整治工程设计及科研。

重庆航道局辖区猪儿碛水道, 见图1。所处河段天然情况下航道条件差, 为改善通航环境, 2016年开工建设了“长江上游九龙坡—朝天门河段航道建设工程^[1]”(简称“九朝段航道建设工程”), 目前主体工程已基本完成。



图1 南纪门轨道专用桥位置

猪儿碛滩段是九朝段航道建设工程整治的最下游碍航滩段^[2], 位于嘉陵江和长江汇合口上游, 是长江上游著名的碍航浅滩, 多年来在枯水期对航槽内浅区实施维护性疏浚。目前该滩已建设实

施的航道整治建筑物共有4处, 其中在右岸老鹳碛边滩上修建2条丁顺坝(Z_1^* 、 Z_2^*), 坎长分别为152、352 m; 在鸡翅膀上游建设1条长顺坝(Z_3^*)和1条锁坝(Z_4^*), 坎长分别为738、144 m(图2), 以解决老鹳碛边滩低矮散乱、河道展宽、水流分散、泥沙易落淤出浅的碍航特性。拟建南纪门轨道专用桥右主墩(P_2^*)与猪儿碛滩段 Z_1^* 丁顺坝坎根的最小距离仅24 m(图3), 右主墩在实施过程中及建成后将对 Z_1^* 丁顺坝自身稳定产生一定的不利影响, 进而可能影响该河段航道整治效果和既定整治目标的实现^[3,4]。根据《交通运输部关于重庆南纪门长江大桥工程航道通航条件影响评价的审核意见》(交水函[2017]705号)要求:“大桥建设单位应加强与九龙坡—朝天门河段航道建设工程建设单位的沟通协调, 妥善安排施工时间, 拟建桥梁应在航道炸礁工程和受桥梁建设影响的航道整治工程实施后施工, 并同步实施右主墩与 Z_1^* 丁顺坝坎根联合守护工程”。

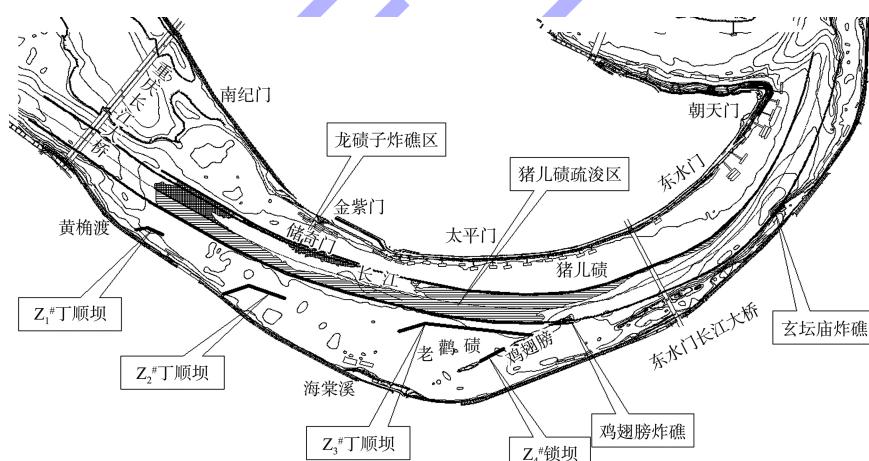


图2 猪儿碛滩已建航道整治建筑物平面位置

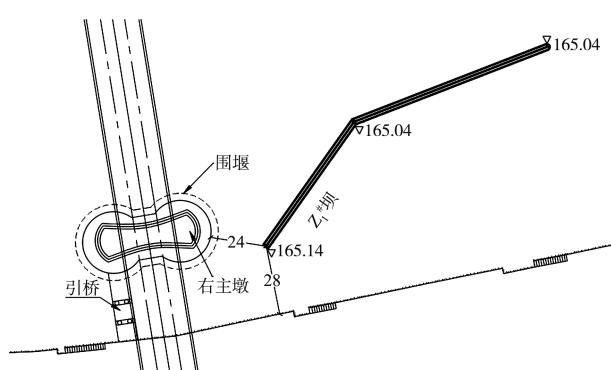


图3 猪儿碛滩已建航道整治建筑物平面位置 (单位: m)

2 滩段碍航特性及治理措施

猪儿碛整个滩段均表现出水浅航宽不足的碍航特性。猪儿碛一直都是川江著名的碍航浅滩, 滩段冲淤变化频繁, 航槽窄水浅, 因位于两江交汇口上游, 本身河宽槽窄, 河床冲淤受嘉陵江汇流影响较大, 航道条件复杂, 但天然河道时3 m等深线多数年份能够保持贯通。三峡蓄水以后, 该河段航道条件明显改善, 但在消落期及汛期枯水浅滩及中洪水礁石险滩仍然存在, 泥沙淤积明

显, 加重了消落期的航道浅滩碍航程度, 近年来多次对三角碛、猪儿碛等浅滩进行维护疏浚才能保证最小的航道尺度要求。

为满足航道尺度要求和改善航槽边缘礁石区不良流态, 对设计航槽内不满足设计尺度的猪儿碛大片过渡段浅区和上下航槽边缘浅区实施疏浚, 根据设计航槽布置适当炸除航槽边缘龙碛子礁石、鸡翅膀石梁头部、玄坛庙突嘴。同时在猪儿碛滩段布置整治建筑物, 具体包括在老鹳碛上抛筑 Z_1^* 丁坝、 Z_2^* 丁坝、 Z_3^* 倒顺坝, 在鸡翅膀礁石间断处抛筑 Z_4^* 锁坝, 以束窄水流, 集中冲刷猪儿碛过渡段浅区以及上下游较长的航道边缘淤积带(图2)。其中 Z_1^* 坝为猪儿碛滩段最上游的一道整治建筑物, 发挥着束水攻沙、冲刷航槽的作用, 对整个猪儿碛滩段航槽的稳定至关重要。

3 二维水流泥沙模型原理与验证

工程河段水文泥沙条件和边界条件复杂, 为制定科学合理的联合守护工程技术方案, 确保建筑物的整体稳定性和原设计功能的正常发挥, 本文采用平面二维水流泥沙数学模型^[5], 计算分析桥梁建成后对下游整治建筑物附近水沙条件的影响, 并对提出的联合守护工程技术方案的效果进行评价。

根据工程所处位置及工程后可能引起的流场影响范围, 并考虑计算需要的进出口长度, 选取计算河段上起重庆长江大桥(航道里程约 667 km)、下至

朝天门(航道里程约 660 km)。基于不可压缩雷诺应力平均、Boussinesq 假设和静水压力分布, 建立了水流数学模型。工程河段泥沙主要包括推移质和悬移质, 采用 Van-Rijn 泥沙模型是适宜的。主要针对 2018 年 6 月实测地形资料进行验证, 验证内容包括水位、流速、流向、冲淤量、冲淤部位和典型横断面变化等。

4 建桥后水沙运动变化分析

4.1 主流流速及其增值

新建大桥位于长江上游猪儿碛水道老鹳碛上段, 长江上游航道里程 663.6 km 处, 下距长江与嘉陵江汇合口 4.6 km。桥位附近已建较多桥梁, 其上游约 1.60、0.47 km 分别为菜园坝长江大桥、石板坡长江大桥及其复线桥, 下游约 3.0 km 为东水门长江大桥。

最大流速的增值是指同一断面工程后最大流速减去工程前的最大流速, 主要反映工程前后主流的变化情况。建桥前后主流带最大流速及其变化见表 1。可以看出, 工程对过水面积有一定影响, 工程河段内的主流带流速有一定的变化, 且该变化总体随流量的增大而趋于明显。数学模型计算结果表明, 设计流量时主流带最大流速没有发生变化, 整治流量、年均流量最大流速范围分别为 1.56~2.20、2.08~2.38 m/s, 建桥后最大流速的增值分别不超过 0.01、0.03 m/s, 增幅小于 4.1%。

表 1 建桥前后主流带最大流速及其变化

里程/ km	设计流量时最大流速/(m·s ⁻¹)			整治流量时最大流速/(m·s ⁻¹)			年均流量时最大流速/(m·s ⁻¹)		
	建桥前	建桥后	增值	建桥前	建桥后	增值	建桥前	建桥后	增值
664.00	0.92	0.92	0.00	1.60	1.60	0.00	2.14	2.14	0.00
663.95	0.93	0.93	0.00	1.56	1.56	0.00	2.08	2.08	0.00
663.90	0.98	0.98	0.00	1.68	1.68	0.00	2.12	2.12	0.00
663.85	1.03	1.03	0.00	1.70	1.70	0.00	2.17	2.17	0.00
663.80	1.06	1.06	0.00	1.72	1.72	0.00	2.18	2.19	0.01
663.75	1.07	1.07	0.00	1.69	1.69	0.00	2.16	2.16	0.00
663.70	1.14	1.14	0.00	1.76	1.76	0.00	2.20	2.21	0.01
663.65	1.38	1.38	0.00	1.97	1.98	0.01	2.38	2.41	0.03
663.60	1.30	1.30	0.00	1.81	1.81	0.00	2.20	2.21	0.01
663.55	1.39	1.39	0.00	1.84	1.85	0.01	2.20	2.22	0.02
663.50	1.42	1.42	0.00	1.93	1.93	0.00	2.25	2.26	0.01
663.45	1.53	1.53	0.00	2.04	2.04	0.00	2.31	2.31	0.00
663.40	1.59	1.59	0.00	2.11	2.11	0.00	2.37	2.38	0.01

4.2 消滩判数

总体而言, 建桥后桥墩上游消滩判数略有减小, 下游消滩判数略有增大, 且消滩判数变化值随流量的增加而增大; 建桥后设计流量、整治流量及年均流量时的航中线消滩判数范围分别为0.06~0.31、0.13~0.34和0.23~0.38, 消滩判数最大增值分别为0、0和0.01, 建桥后航中线的消滩判数均小于临界值0.80, 未成急流滩。

4.3 冲淤变化

建桥后消落期的局部冲淤变化等值线见图4。可以看出: 1) 建桥后受桥墩及围堰束窄河道宽度

的影响, P_2^* 右主墩附近流速增大, 紊流及绕流的持续作用形成了局部冲刷坑, 冲坑长65 m、宽46 m、最大冲深2 m左右; 同时, 在 P_2^* 墩右侧直立式挡墙前沿形成了长208 m、宽12 m、深0.5 m的冲刷带。2) 在桥墩和 Z_1^* 丁顺坝束流的共同作用下, 丁顺坝下游靠近航槽区域及猪儿碛疏浚区总体呈微弱冲刷趋势, 有利于航道尺度的长期维持; 此外, 受 Z_1^* 丁顺坝绕流作用的影响, 在坝头附近也出现了局部冲刷, 冲坑长74 m、宽36 m、最大冲深2.5 m左右, 背水坡受水流淘刷也形成了局部冲坑。

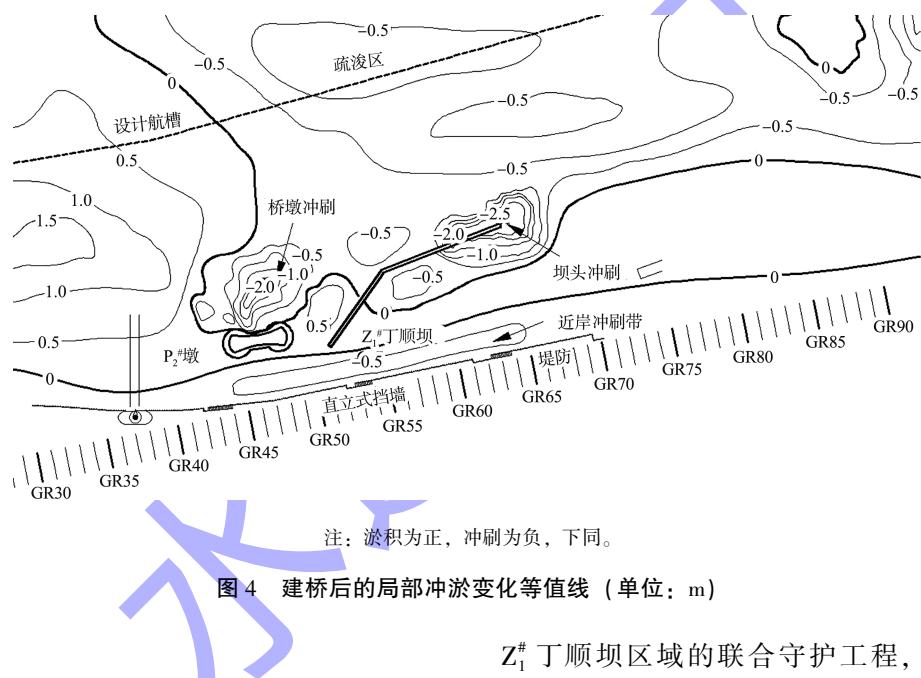


图4 建桥后的局部冲淤变化等值线 (单位: m)

4.4 小结

根据数学模型结果显示, 桥梁建设对工程河段航道的通航水流条件影响较小, 基本不会改变航道整治效果, 但典型年泥沙冲淤特性(动床)分析表明, 受洪水期水流和建筑物局部绕流连续作用的影响, 建桥后 P_2^* 右主墩河心侧附近和右侧直立式挡墙前沿、 Z_1^* 丁顺坝坝头等区域将会产生局部冲刷, 可能影响桥墩、挡墙及 Z_1^* 丁顺坝自身的稳定性, 因此有必要对 P_2^* 右主墩和 Z_1^* 丁顺坝进行联合守护, 增加河床的抗冲刷能力, 减小局部冲刷范围和强度。

5 联合守护工程及其实施效果分析

5.1 联合守护方案

实施南纪门轨道专用桥 P_2^* 右主墩—猪儿碛

Z_1^* 丁顺坝区域的联合守护工程, 其目的是确保 Z_1^* 丁顺坝的整体稳定性和原设计功能的正常发挥, 提高 P_2^* 右主墩河床及岸线的抗冲性, 尽可能减小桥墩附近河床变形对整治建筑物和桥梁稳定性的影响, 达到联合守护的目标。联合守护工程初拟方案在平面布置上分为桥墩守护区、堤防坡脚守护区和 Z_1^* 坝背水坡守护区3部分, 见图5。

3部分的守护方案具体为: 1) 桥墩守护区。在桥墩上游侧30 m及靠近航道内侧30 m范围内, 采用抛填大块石+抛1层扭王字块的方法将桥墩上游侧由于围堰修建对河床的扰动、破坏造成的冲刷坑进行回填, 以减小地形突变对水流结构的影响; 同时对桥墩下游侧紊流淘刷变形区河床进行守护, 守护范围同时与整治线及 Z_1^* 坝平顺连接。

2) 堤防坡脚守护区。大桥及 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝的修建对岸侧水流结构的改变, 将对岸侧堤防的直立式挡墙坡脚进行淘刷, 因此对坡脚采用抛填 2 层扭王字块的方法进行防护, 守护范围为桥墩上游侧 30 m

至 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝坝头下游侧 60 m 的范围, 纵向全长 285 m。3) $Z_1^{\#}$ 坝背水坡守护区。对于 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝背水坡的淘刷, 采取先抛石补坑后抛填 2 层扭王字块的方法进行冲刷守护。



图 5 联合守护工程的平面布置 (单位: m)

5.2 方案效果分析

5.2.1 主流流速及其增值

联合守护工程实施后主流带最大流速及其变化见表 2。可以看出,联合守护工程实施后各级典型

代表流量时的主流带最大流速范围分别为 0.92~1.59、1.55~2.12 和 2.07~2.44 m/s，最大流速的增值分别不超过 0.01、0.02 和 0.06 m/s，增幅小于 5.4%。

表 2 联合守护工程实施后主流带最大流速及其变化

里程/ km	设计流量时最大流速/(m·s ⁻¹)			整治流量时最大流速/(m·s ⁻¹)			年均流量时最大流速/(m·s ⁻¹)		
	守护前	守护后	增值	守护前	守护后	增值	守护前	守护后	增值
664.00	0.92	0.92	0.00	1.60	1.59	-0.01	2.14	2.14	0.00
663.95	0.93	0.92	-0.01	1.56	1.55	-0.01	2.08	2.07	-0.01
663.90	0.98	0.97	-0.01	1.68	1.67	-0.01	2.12	2.10	-0.02
663.85	1.03	1.03	0.00	1.70	1.69	-0.01	2.17	2.14	-0.03
663.80	1.06	1.06	0.00	1.72	1.72	0.00	2.18	2.14	-0.04
663.75	1.07	1.06	-0.01	1.69	1.69	0.00	2.16	2.12	-0.04
663.70	1.14	1.14	0.00	1.76	1.76	0.00	2.20	2.22	0.02
663.65	1.38	1.38	0.00	1.97	1.98	0.01	2.38	2.44	0.06
663.60	1.30	1.30	0.00	1.81	1.81	0.00	2.20	2.24	0.04
663.55	1.39	1.40	0.01	1.84	1.86	0.02	2.20	2.24	0.04
663.50	1.42	1.43	0.01	1.93	1.95	0.02	2.25	2.28	0.03
663.45	1.53	1.54	0.01	2.04	2.05	0.01	2.31	2.33	0.02
663.40	1.59	1.59	0.00	2.11	2.12	0.01	2.37	2.39	0.02

5.2.2 消滩判数

联合守护工程实施后,航中线消滩判数变化很小,且与守护前基本相当,设计流量、整治流量及年均流量时的航中线消滩判数范围分别为0.06~0.31、0.12~0.34和0.23~0.38,均小于临界值0.80,未成为急流滩。

5.2.3 冲淤变化

联合守护工程实施后典型年消落期的局部冲淤变化等值线见图6。可以看出：1)桥墩附近通过抛填大块石+抛扭王字块和冲刷坑回填等方式进行守护后，守护区床面阻力增大，抗冲能力增强，桥墩附近将不再出现局部冲刷坑。2)堤防坡脚采

用抛填2层扭王字块的方法进行守护后, 守护前出现在 $P_2^{\#}$ 墩右侧直立式挡墙前的冲刷带已消失, 在守护区下游段还出现了长30 m、宽10 m、深0.5 m左右的少量淤积。3) $Z_1^{\#}$ 丁顺坝背水坡采用抛石补坑和抛填2层扭王字块的方法守护后, 坝

头附近局部冲刷范围明显减小, 冲刷强度显著减弱, 仅在坝头外侧存在小范围的冲刷; 守护后坝后泥沙有所回淤; 丁顺坝下游靠近航槽区域及猪儿碛疏浚区总体仍呈微弱冲刷趋势, 航道尺度可长期维持。

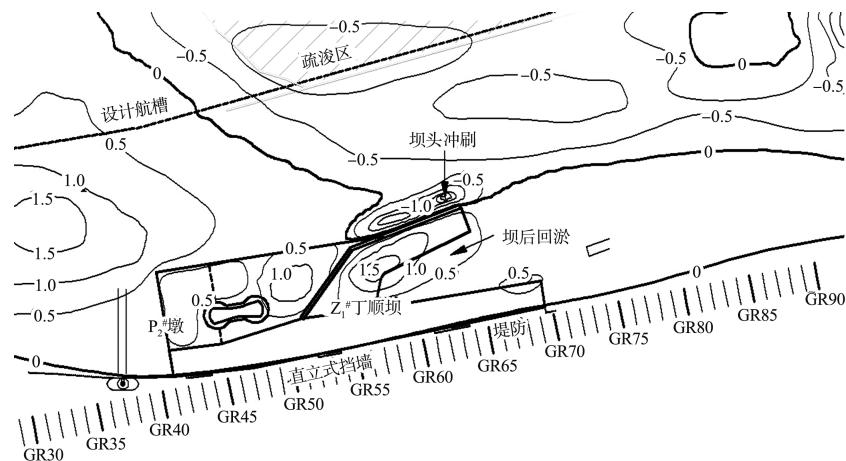


图6 联合守护工程实施后的局部冲淤变化等值线(单位: m)

5.2.4 小结

对桥墩、堤防坡脚和 $Z_1^{\#}$ 坝背水坡3处进行联合守护后, 上述区域的局部冲刷范围明显减小, 冲刷强度显著减弱, 守护工程在提高 $P_2^{\#}$ 右主墩河床及岸线的抗冲性、保证整治建筑物和桥梁的稳定性、确保航道整治工程原设计功能的正常发挥等方面起到了较为明显的效果, 守护方案总体基本可行。

6 结语

1) 桥梁建设对工程河段航道的通航水流条件影响较小, 基本不会改变航道整治效果, 但受洪水期水流和建筑物局部绕流连续作用的影响, 建桥后 $P_2^{\#}$ 右主墩河心侧附近和右侧直立式挡墙前沿、 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝坝头等区域将会产生局部冲刷, 可能影响桥墩、挡墙及 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝自身的稳定性, 因此有必要对 $P_2^{\#}$ 右主墩和 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝进行联合守护, 增加河床的抗冲刷能力, 减小局部冲刷范围和强度。

2) 针对建桥后产生的影响, 本文提出了对桥墩、堤防坡脚和 $Z_1^{\#}$ 坝背水坡进行联合守护的方案。数学模型结果显示, 方案实施后, $P_2^{\#}$ 右主墩—猪儿

碛 $Z_1^{\#}$ 丁顺坝区域的河床抗冲能力明显增强, 建筑物局部绕流造成的冲刷破坏作用显著减弱, 可有效保证整治建筑物和桥梁的稳定性, 确保航道整治工程原设计功能的正常发挥, 联合守护效果良好。本文提出的联合守护方案可为类似工程设计提供参考。

参考文献:

- [1] 长江重庆航运工程勘察设计院. 长江上游九龙坡—朝天门河段航道建设工程施工图设计[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2015.
- [2] 楚万强, 耿亚杰, 张玉昶. 三峡变动回水区猪儿碛河段冲淤特性分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(5): 1018-1021.
- [3] 李靓亮. 桥梁桩基础施工对航道演变影响分析[J]. 水运工程, 2020(4): 162-168.
- [4] 张丹, 黄立文, 陈立家, 等. 桥区航道整治工程对大型船队过桥影响的数值分析[J]. 水运工程, 2012(3): 115-118, 153.
- [5] 张华庆, 张明进, 康苏海. 河流水流泥沙运动数值模拟技术[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.

(本文编辑 王璁)