



三峡库区和尚滩清礁方案及整治效果分析

度菽菽, 贺艺伟, 郭琦

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 和尚滩是涪陵—丰都河段中典型碍航礁石滩段, 该滩两岸礁石分布, 岸形极不规则, 水流急、比降大且流态紊乱, 海损事故频发, 成为限制库区 4.5 m 深水航道整体通航效率和安全的瓶颈。通过对和尚滩滩段的水文特性和碍航特点进行分析, 提出切除和尚滩和郭家嘴 2 处礁石的整治方案, 并采用平面二维水流数学模型对方案实施后的效果进行模拟和评估。结果表明, 清礁工程有效拓宽了河槽, 改善了航槽内的流态, 显著降低了横流和回流的强度, 提高了通航安全性和效率。清礁后, 和尚滩段的上水航路宽度从 35 m 扩宽至 75 m, 自航上滩流量从 18 000 万 m^3/s 提高至 30 400 万 m^3/s , 滩段通航条件得到显著改善。研究成果可为类似复杂急流河段的航道整治提供参考。

关键词: 碍航礁石; 水文特性; 清礁工程; 数学模型; 航道整治

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)08-0168-08

Analysis of reef-clearing scheme and regulation effect of Heshangtan in Three Gorges reservoir area

TUO Youjia, HE Yiwei, GUO Qi

(Changjiang Chongqing Harbour and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Heshangtan is a typical navigation-obstructing reef section in the river section from Fuling to Fengdu. On both sides of this section, reefs are distributed, the shoreline is extremely irregular, the water flow is rapid, the gradient is large, and the flow pattern is chaotic. Marine accidents occur frequently, which has become a bottleneck restricting the overall navigation efficiency and safety of the 4.5 m deepwater channel in the reservoir area. By analyzing the hydrological characteristics and navigation-obstructing features of the Heshangtan section, a regulation scheme for clearing the reefs at Heshangtan and Guojiazui is proposed, and a two-dimensional plane flow mathematical model is used to simulate and evaluate the effect after the implementation of the scheme. The results show that the reef clearance engineering effectively widened the river channel, improved the flow pattern in the navigation channel, significantly reduced the intensity of cross-flow and backflow, and improved the safety and efficiency of navigation. After the reef clearance, the width of the upstream navigation route in the Heshangtan section is widened from 35 to 75 m, and the self-propelled upstream flow rate is increased from 180 million to 304 million m^3/s , and the navigation conditions in the section are significantly improved. The research results can provide reference for the channel regulation of similar complex river sections.

Keywords: navigation-obstructing reef; hydrological characteristics; reef clearance project; mathematical model; channel regulation

三峡工程 175 m 试验性蓄水以来, 涪陵—丰都河段成为常年回水区末端, 航道条件进一步改善, 2011 年航道维护尺度进一步提高至 4.5 m ×

150 m × 1 000 m (深度 × 宽度 × 转弯半径)。但该河段存在多个礁石滩段, 汛期流态紊乱, 航道弯曲, 船舶无法遵循各自靠右航行的定线制规定, 因此

收稿日期: 2024-11-06

作者简介: 度菽菽 (1990—), 女, 硕士, 工程师, 从事航道整治工程设计及科研工作。

将河段中的礁石滩段设置为汛期通航条件受限制的航段。和尚滩位于该河段的最上游,是河段内典型碍航礁石滩段之一。该滩段较为顺直,但两岸礁石林立,岸线极不规则,滩段水流急、比降大,且流态紊乱^[1-2],汛期船舶上滩困难,通航水域宽度也不足,海损事故时有发生。据统计,2008年以来和尚滩共发生6起因滩段水流条件差而发生的船舶碰撞、搁浅甚至翻沉事故。该滩已成为限制库区4.5 m深水航道整体通航效率和航道通过能力提升的瓶颈^[3],同时也威胁着过往船舶的通航安全。

1 滩险概况

和尚滩位于长江与乌江汇合口下游3 km,属于和尚滩水道,长江上游航道里程532.3~533.0 km,是川江著名的汛期危险滩。

和尚滩河段较顺直,但岸形不规则,上下游河道较宽,见图1,中段右岸和尚滩石盘与左岸郭家嘴交相对峙,束阻水流,以致水乱流急。和尚石突入江心近半,顶部高程146.5 m。郭家嘴位于和尚石下游侧的对岸,斜向下伸入江中,最高点高程145.2 m。上下游河道断面形态呈U形,中间收缩呈V形,汛期河宽收窄60%左右。河床纵向起伏大,深泓高程从90 m以上下切至40 m左右。汛期主流过上游石板沟长江大桥,循河心而下,至和尚滩石盘受阻改偏左岸,至郭家嘴受阻复循河心下泄。和尚滩石盘前沿水流急,后方观音沱回流旺盛。汛期上行船舶从下游大渡口滩至和尚滩均沿左岸上行,在和尚滩下游观音沱上行过程中,谨慎沿回流边缘上行至和尚滩前沿,然后顶流慢行,逐渐过河至左岸群猪滩以上。过河太早,防止左岸群猪滩与郭家嘴之间水流内拖;过河太晚,和尚滩前沿及上游河心流速急,上行难。

此滩左、右岸经“7250工程”整治,汛期水流条件虽有所改善,但由于离乌江河口近,航道顺直,长江流量较大时又逢乌江涨水,和尚滩仍滩势凶险。船舶经此若操作不慎,便有下行船吊钩

打钎、上行船窝困边或打张的风险。三峡175 m蓄水以来海损事故频繁发生,主要发生在6—7月。

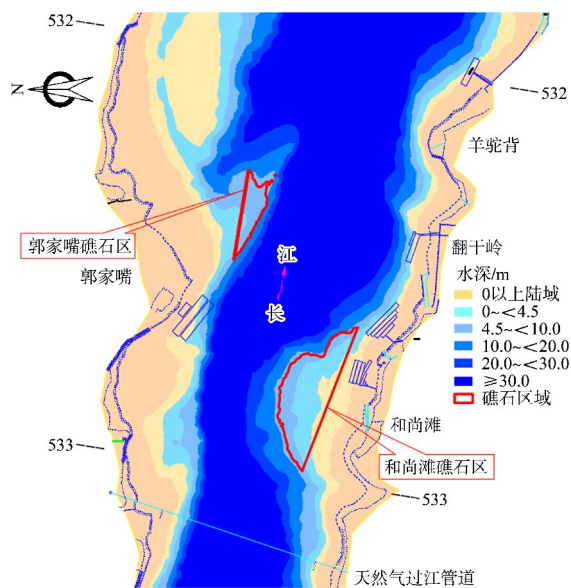


图1 和尚滩河势

Fig.1 River regime of Heshangtan

2 碍航特性

1) 两岸侧石盘突嘴交相对峙,河道束窄,有效过流面积不足,洪水流急。和尚滩礁石位于河道右岸一侧,礁石自右向河心突伸江中约200 m,礁石头部位于航道右边界,同时滩险左岸一侧有郭家嘴礁石与其交错对峙,并挤压航槽,致使航线弯曲。汛期和尚滩礁石阻水严重,较上游正常河段阻水率高30%以上,流速明显加大。流速加大区正是上水船舶的过河区域,因此船舶上行困难。

2) 岸线不规则,河床起伏大,水流不畅,在石盘头部产生强斜流,下游回流和泡漩水旺盛。和尚滩石盘正向凸入江中,阻水挑流明显,水位低,受三峡水库壅水影响较小时,和尚滩上游岸线较为规则平顺,自乌江河口直泄下来的水流在和尚滩受阻,在礁石前沿产生向河心的斜流,下游侧岸线恰好呈微微凹陷的弯弧,因此在礁石下游形成较大回流沱。同时纵向河床起伏大,底高程从滩上口90 m,到郭家嘴陡跌至42 m深潭,汛期涨水时,流速加大,撞击两岸突出岸壁,并向深潭急剧下切,在和尚滩斜流与回流之间的夹堰

上常有连串泡喷,尤以长江、乌江陡涨水时流态最差。

3 设计整治方案

针对礁石险滩的治理,近年多采用切礁的手段^[49]。鉴于和尚滩主要碍航原因在于,滩险河段右岸一侧有和尚滩礁石突伸江中,滩险右岸又有郭家嘴礁石与之交错对峙,致使航道被束窄,水流流急,同时水流连续受到礁石石盘的阻挑,形成乱流,并伴随夹堰、泡漩等不良流态。故本滩的整治思路为:适当切嘴,扩大过流面积,减缓滩段特别是过河航线上流速和改善礁石外侧不良流态,利于保障航行安全,同时降低上滩难度,

提高通航效率。

方案内容:切除两岸侧和尚滩和郭家嘴礁石突伸江中部分,见图 2,和尚滩清礁基线顺应上、下游河势,基线长 366.4 m,清礁区宽 125 m;郭家嘴清礁基线平顺于上游侧岸线布置,长 205.0 m,清礁区宽 67 m。根据前期研究成果,当清礁至 8.0 m 时,效果最优,确定本滩清礁底高程为 138.38 m,清礁边坡取规范规定的稳定边坡中的小值 1:1,施工超深、超宽按照航道内、外施工区分别考虑。航道内清礁施工超深、超宽按照 JTS 204—2023《水运工程爆破技术规范》规定取值,超深 0.4 m,超宽 1.0 m;航道外清礁区适当减小,施工超深 0.2 m,超宽 0.6 m。

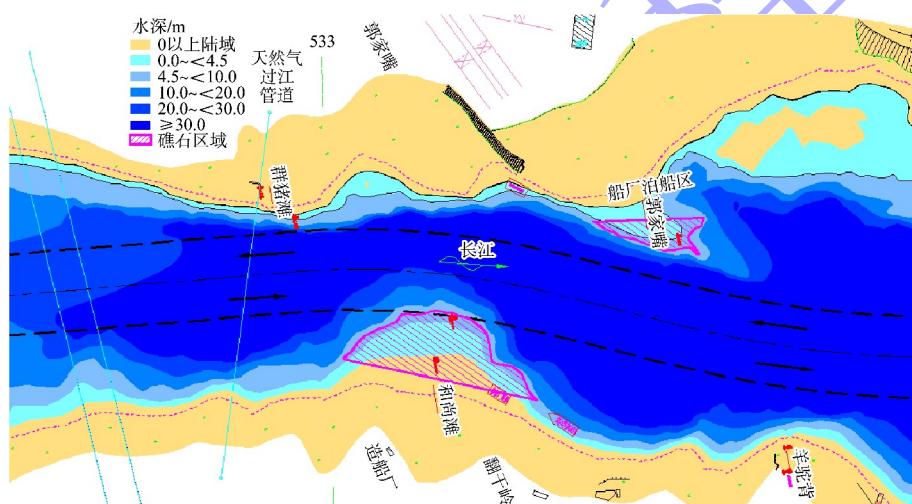


图 2 和尚滩清礁方案

Fig. 2 Reef clearance scheme of Heshangtan

4 二维数学模型

4.1 模型建立及验证

为预测和尚滩清礁工程实施后的整治效果,采用近年广泛应用的平面二维水流数学模型方法^[10-11]对清礁方案实施后工程区域的通航水流条件变化进行研究。

工程河段模拟范围上起和尚滩水道(上游航道里程 533.5 km),下止沙背沱(上游航道里程 531.5 km),全长 2 km。采用三角形单元对计算域进行网格剖分,清礁区域单元平均长 2~5 m、滩段长 10~20 m,按疏密渐变的方式划分。针对 2015 年 6 月实测资料进行验证,验证结果满足

JTS/T 231-4—2018《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》要求。

4.2 计算工况

由于原型观测资料较少,为更全面分析各礁石的水流特性,在开展清礁整治工程方案研究之前,先进行天然情况下的水流特性模拟,以分析各级流量下的滩段碍航情况,寻求最不利的工况组合,并为开展整治方案效果分析评价提供参考。

计算工况综合考虑礁石河段最低设计水位、淹没水位、最差流态水位等情况,以最低通航水位及以上间隔 2 m 确定计算水位,并根据临近清溪水文站下包络线确定对应水位的流量,最终拟

定 8 级计算工况, 见表 1。

表 1 工程前水流特性模拟计算工况
Tab. 1 Simulation calculation conditions of water flow characteristics before the engineering

工 况	组合情况	流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	坝前 水位/ m	清溪场 水位/ m	数模尾 水位/ m
1	设计最低通航水位	9 920	145. 0	146. 300	145. 680
2	消落期(6 月)平均流量	14 600	145. 0	147. 050	145. 800
3	设计最低通航水位以上 2 m	18 200	145. 0	148. 300	146. 700
4	设计最低通航水位以上 4 m	24 500	145. 0	150. 300	148. 400
5	设计最低通航水位以上 6 m, 消落期最大流量	30 400	145. 0	152. 300	150. 100
6	设计最低通航水位以上 8 m	36 500	145. 0	154. 300	151. 850
7	设计最低通航水位以上 10 m	43 000	145. 0	156. 300	153. 500
8	设计最大通航流量 $P=5\%$	76 700	154. 6	169. 410	166. 500

5 整治效果分析

5.1 测点分布

为分析整治前后通航水力指标的变化情况, 在和尚滩前沿沿设计航槽左、右边界及上水航线各布置 30 个测点, 平均间距 71 m, 见图 3。

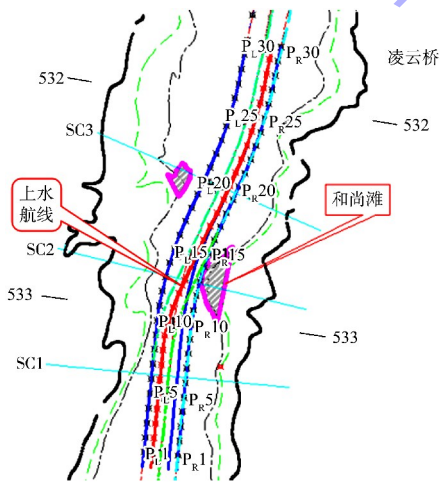


图 3 和尚滩测点布置
Fig. 3 Layout of monitoring points in Heshangtan

5.2 评价指标

分析和尚滩礁石碍航主要原因是不良流态造成的船舶操纵困难。不良流态主要有流速和横向流速 2 个指标; 船舶操纵难度参数主要为消滩指标 E , 反应水流速度、比降和船舶尺度的综合效应^[12]。因此, 同时选取反应水流不良流态的流速和横向流速 2 个指标及反应船舶操纵难度的消滩指标, 共计 3 个指标来评价清礁方案实施后的效果。根据前期计算, 和尚滩礁石区主要控制指标为横向流速小于 0.5 ~ 0.6 m/s, 消滩判别指标为:

$$E=0.628J+v \tag{1}$$

式中: J 为水面比降; v 为表面流速。当 $E<4.41$ 时, 表明滩段水流能够满足代表船舶自航上滩的条件, 反之, 表明船舶在该滩需要借助外力上滩。

5.3 最涌及成滩流量分析

统计了清礁前各级流量水流参数, 见表 2。从流速变化来看, 各测点流速随流量增加而增加, 郭家嘴附近流速普遍大于和尚滩。从横向流速分布来看, 总的趋势是随流量增大而增大, 在流量为 24 500 m^3/s 时, 郭家嘴处最大横向流速达 0.65 m/s, 同时上水航线(左)航槽中心消滩指标达 4.48, 接近临界值 4.41; 而和尚滩附近, 受和尚滩石盘挤压, 右航槽边界横流明显, 在流量为 24 500 m^3/s 时, 最大横流约-1.80 m/s, 当流量达到 30 400 m^3/s 时, 右航槽内消滩指标均超过临界值。综上分析, 以最涌流量 $Q=24\,500\sim30\,400\,\text{m}^3/\text{s}$ 来分析本滩清礁方案。

表 2 和尚滩清礁前流场参数统计
Tab. 2 Parameter statistics of flow field before reef clearance in Heshangtan

滩险	$Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	流速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		横向流速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		横比降/ $\%$		E	
		左航槽中心	左航槽边界	左航槽中心	左航槽边界	左航槽中心	左航槽边界	左航槽中心	左航槽边界
郭家嘴	9 920	1. 35	1. 19	-0. 33	-0. 22	-0. 53	-0. 41	1. 77	1. 46
	14 600	1. 91	1. 69	-0. 46	-0. 32	-1. 06	-0. 84	2. 76	2. 05
	18 200	2. 25	1. 96	-0. 53	-0. 37	-1. 47	-1. 15	3. 44	2. 35
	24 500	2. 74	2. 34	-0. 65	-0. 45	-2. 12	-1. 59	4. 48	2. 86
	30 400	3. 07	2. 65	-0. 70	-0. 52	-2. 59	-1. 93	5. 29	3. 24
	36 500	3. 37	2. 94	-0. 76	-0. 58	-3. 08	-2. 26	5. 86	3. 61
	43 000	3. 64	3. 20	-0. 80	-0. 63	-3. 44	-2. 60	6. 63	3. 94
	76 700	4. 13	3. 94	-0. 80	-0. 74	-3. 80	-3. 09	7. 59	5. 04

续表2

滩险	$Q/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		横向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		横比降/‰		E	
		上水航线左	右航槽边界	上水航线左	右航槽边界	上水航线左	右航槽边界	上水航线左	右航槽边界
和尚滩	9 920	1.21	1.54	-0.16	-0.49	-0.34	0.78	1.51	2.52
	14 600	1.70	2.25	-0.21	-0.87	0.03	1.48	2.32	4.36
	18 200	1.99	2.70	-0.26	-1.36	-1.44	1.88	2.90	5.76
	24 500	2.41	3.24	-0.32	-1.80	-2.10	2.46	3.73	8.16
	30 400	2.75	3.64	-0.43	-1.82	-2.70	2.67	4.51	9.93
	36 500	3.04	4.04	-0.51	-1.81	-3.23	2.92	5.23	11.81
	43 000	3.32	4.38	-0.60	-1.86	-3.75	3.22	5.96	13.31
	76 700	3.73	5.02	-0.97	-1.46	-3.36	2.48	6.68	14.92

5.4 流速及流态变化

实施清礁后，增大了过水面积，通过数模计算，航槽左边界郭家嘴、群猪滩流速减小，最大减大幅度约 0.3 m/s；航槽右边界和尚滩附近最大流速减小约 0.2 m/s。从方案实施后流场来看，

$Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 流量下，航槽内的流线相对平顺，和尚滩礁石附近的滑梁水减弱，和尚滩后回流范围缩小，强度降低，回流区基本退出航槽，航槽内不良流态得到改善，见图 4。

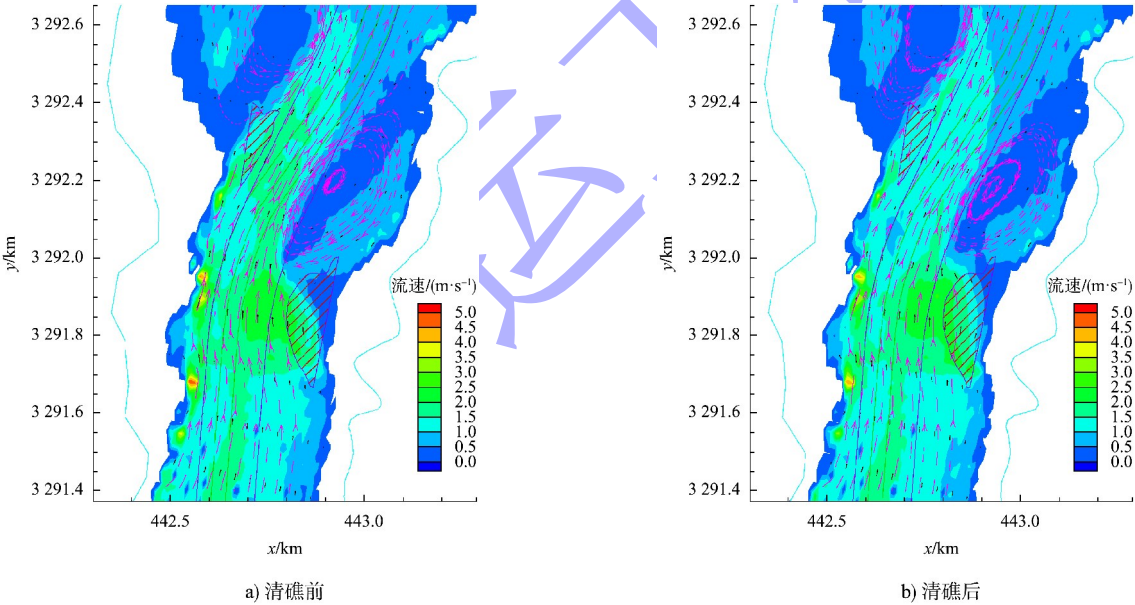


图 4 和尚滩清礁前后流场比较($Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 4 Comparison of flow fields before and after reef clearance in Heshangtan ($Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$)

从工程前后的横流变化来看(图 5)，清礁前，0.6 m/s 的横流区范围贯穿整个左航槽，最大横流速度超过 1.0 m/s；清礁后，横流显著减小，0.6 m/s 的横流区明显缩小，仅在航槽边缘局部小区域横流大于 0.6 m/s，汛期水流条件得到改善。统

计了清礁工程实施前后上水航路中的横流变化，见图 6。清礁后，航槽左边界郭家嘴横流减小约 0.2 m/s，航槽右边界和尚滩附近横流减小 0.1~0.4 m/s，上水航路和和尚滩附近横流减小 0.2~0.4 m/s。

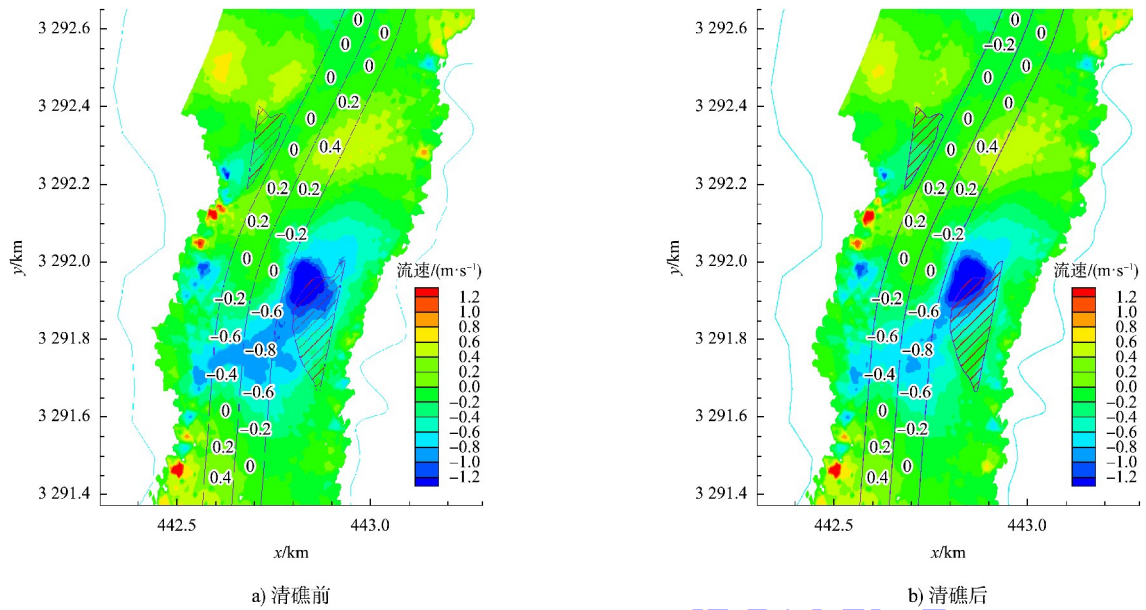


图 5 和尚滩清礁前后横流比较 ($Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 5 Comparison of cross-current before and after reef clearance of Heshantan ($Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$)

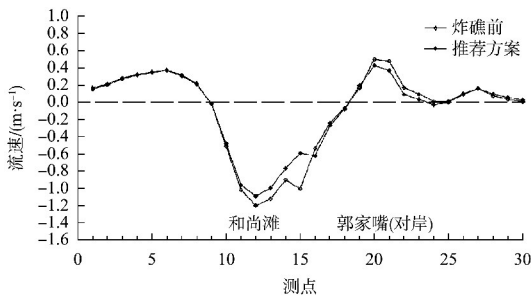


图 6 和尚滩清礁前后上水航路横流比较

Fig. 6 Comparison of cross-current along the upstream navigation route before and after reef clearance in Heshantan

5.5 消滩水力指标变化

从清礁前后消滩指标变化来看, 清礁后航槽左边界郭家嘴消滩指标减小 0.5, 上水航路上和尚滩前沿的消滩指标均有所减小, 船舶上滩难度减小, 有利于上水航行。各级流量左航槽中线上的上滩水力指标对比见图 7, 和尚滩与郭家嘴之间上滩水力指标较大, $30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 以下的上滩水力指标均降至指标限值 4.41 以下。从上滩水力指标超标

范围来看, 方案实施后, $Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 在和尚滩与群猪滩之间的上水航路可航水域宽度从 35 m 扩宽到 75 m, 基本满足上水航路宽度需要, 见图 8。该滩通过清礁整治, 扩宽了上水航路宽度, 降低了上滩难度, 来流量小于 $30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 时上水船均可以靠右(沿设计航槽左半槽)上行, 即沿郭家嘴至群猪滩前沿上行, 从而极大降低了船舶过河交叉碰撞的机率, 且提高了通行效率。

5.6 综合结果分析

和尚滩 8 m 清深方案实施后, 航槽内的流线相对平顺, 和尚滩礁石附近的滑梁水消失, 和尚滩后回流范围缩小, 强度降低, 回流区基本退出航槽, 不良流态有一定的改善, 同时, 礁石清除后, 和尚滩、郭家嘴礁石顶部高程均在航道维护水深以下, 上下行船舶能在原礁石面上行驶, 基本消除了船舶搁浅的可能。在流量小于 $30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 左航槽内的横流小于 0.6 m/s , 上滩指标小于临界指标 4.41, 自航上滩流量从 $18\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 提高至 $30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 。

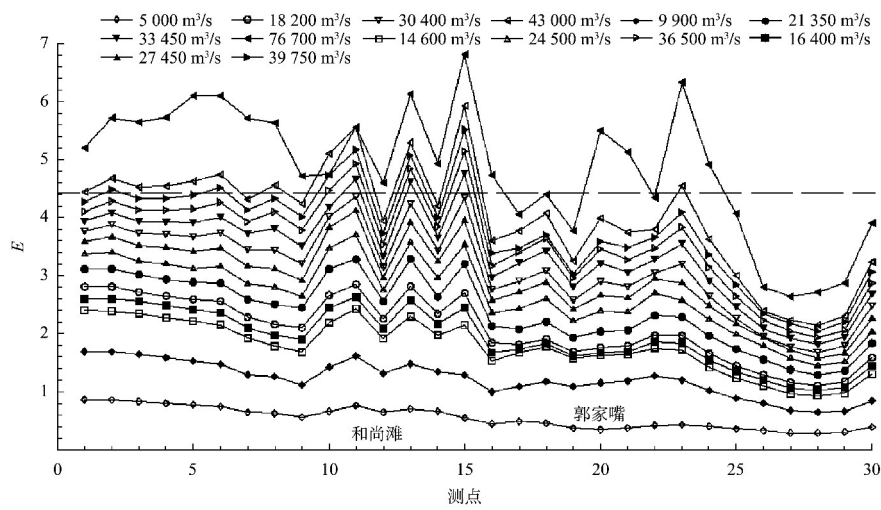


图 7 和尚滩清礁后上水航路上滩水力指标

Fig. 7 Upstream hydraulic indicators along the upstream navigation route after reef clearance in Heshangtan

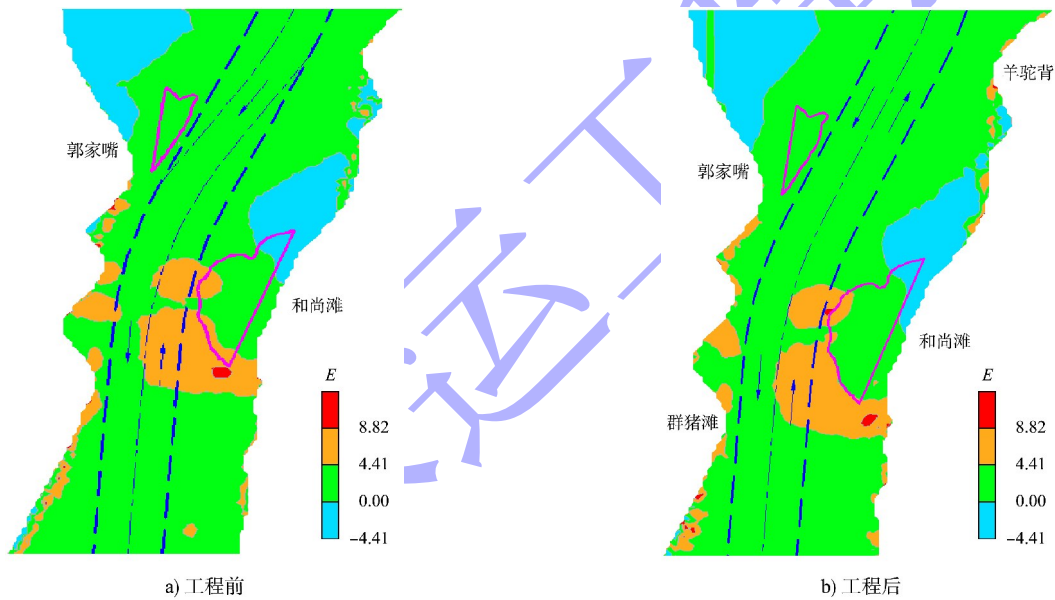


图 8 工程前后和尚滩上滩水力指标分布 ($Q=30\,400\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 8 Distribution of upstream hydraulic indicators of Heshangtan before and after the project ($Q=30,400\text{ m}^3/\text{s}$)

6 结语

1) 和尚滩右岸有和尚石突入江心近半, 阻水挑流明显, 左岸有郭家嘴礁石与之交错对峙, 挤压航槽, 迫使航槽发生弯曲。汛期有效过流面积不足, 致使滩段水乱流急, 横流、回流及滑梁水等不良流态明显, 船舶无法自航上滩, 海损事故时有发生。现状航道已不满足建设发展需要, 亟需开展礁石清除工程。

2) 根据对和尚滩滩段特性及碍航特点的分

析, 拟定了和尚滩礁石清除的整治方案, 并建立了平面二维数学模型对工程实施后的效果进行分析, 结果表明: 清礁工程实施后, 有效拓宽了河槽, 航槽内流线相对平顺, 0.6 m/s 横流区显著缩小, 滩段消滩指标 $30\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 以下的均降至指标限制 4.41 以下, 上水航路从 35 m 扩宽到 75 m , 自航上滩流量从 $18\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 提高至 $30\,400\text{ m}^3/\text{s}$, 滩段通航条件得到明显改善。

参考文献:

- [1] 张乐. 三峡水库成库初期库尾洪水急流滩航道条件变化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
- ZHANG L. Changes in the channel conditions of the Three Gorges Reservoir during the early stage of reservoir formation on the flooded rapids beach at the tail end of the reservoir[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011.
- [2] 刘勇, 王涛, 解中柱. 三峡水库常年回水区和尚滩汛期航道条件变化分析[J]. 水运工程, 2013(6): 81-84.
- LIU Y, WANG T, XIE Z Z. Channel condition variation in flood season of Heshang rapids in perennial backwater area of the Three Gorges reservoir[J]. Port & waterway engineering, 2013(6): 81-84.
- [3] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡水库航道泥沙原型观测分析[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. Analysis of sediment prototype observation in Three Gorges Reservoir channel [R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2023.
- [4] 袁涛峰. 澜沧江曼丙滩险整治方案[J]. 水运工程, 2023(12): 104-111.
- YUAN T F. Regulation scheme of Manbing beach risk in Lancang River [J]. Port & waterway engineering, 2023(12): 104-111.
- [5] 雷雅文, 高亚军. 长江上游肖家石盘航道整治方案研究[J]. 人民长江, 2019, 50(S1): 9-14.
- LEI Y W, GAO Y J. Research on waterway regulation schemes of Xiaojia shipan section in upper reaches of the Yangtze River[J]. Yangtze River, 2019, 50(S1): 9-14.
- [6] 祖福兴, 李洪英, 王平义. 山区河流两峡间宽谷河段航道整治研究[J]. 人民长江, 2018, 49(16): 7-13.
- ZU F X, LI H Y, WANG P Y. Research on waterway regulation of strath river channel between two gorges of Jialing River[J]. Yangtze River, 2018, 49(16): 7-13.
- [7] 杜思材. 长江上游螃蟹碛河床演变及其整治思路研究[J]. 人民长江, 2017, 48(S1): 26-29.
- DU S C. Study on riverbed evolution of Pangxieqi in upper reaches of the Yangtze River and its regulation ideas[J]. Yangtze River, 2017, 48(S1): 26-29.
- [8] 张小龙. 长江上游叙渝段枯水浅急型卵石滩的整治技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- ZHANG X L. The regulation technology study on low-flow shallow-steep pebble beach in the upper reaches of the Yangtze River [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2018.
- [9] 陈凯. 长江上游典型浅险滩整治措施研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.
- CHEN K. Study on the regulation measures of typical shallow and dangerous shoals in the upstream of Yangtze River[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.
- [10] 包明金, 贺岚, 郭琦, 等. 拟建明月峡长江大桥桥区炸礁工程整治效果分析[J]. 水运工程, 2018(9): 133-138.
- BAO M J, HE L, GUO Q, et al. Analysis on the effect of reef engineering in the proposed Mingyuexia Yangtze River bridge area [J]. Port & waterway engineering, 2018(9): 133-138.
- [11] 杨忠超, 黄秋杰. 佛面滩炸礁优化方案的数值模拟[J]. 水运工程, 2019(6): 119-125.
- YANG Z C, HUANG Q J. Numerical simulation of optimization of reef blasting scheme in Fomian beach[J]. Port & waterway engineering, 2019(6): 119-125.
- [12] 许光祥, 曾锋. 急滩消滩水力指标的合理表达式[J]. 水运工程, 2010(11): 103-106.
- XU G X, ZENG F. Reasonable expression of hydraulic parameters of rapids abating [J]. Port & waterway engineering, 2010(11): 103-106.

(本文编辑 王传瑜)