

长江上游斗笠子滩近期航道条件变化 及维护对策分析

樊书刚, 曾 涛, 包明金

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 斗笠子滩为长江上游枯水浅急险滩, 经采取筑坝和疏浚的整治措施后, 航道条件好转。采用实测资料分析滩段近年的水沙条件、滩槽格局及航道条件变化, 并结合 2019 年以来的航道维护疏浚实施情况和效果提出相应的治理方案。结果表明, 近年来向家坝蓄水后受清水下泄和人为采砂活动影响, 左岸边滩冲退是造成江心庙角碛碛翅—碛尾段不断淤积展宽、航道维护困难的主要原因, 且在目前的河势和水沙条件下, 左岸边滩不具备自然恢复的条件, 滩段枯水期淤积碍航将成为常态; 汛后提前疏浚的维护方式和加抛整治建筑物的治理方案可减小低水位期疏浚施工与正常通航存在的安全风险。

关键词: 山区河流; 浅险滩; 航道维护; 斗笠子滩

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0128-07

Recent waterway condition changes and maintenance countermeasures of Doulizhi Beach in upper reaches of the Yangtze River

FAN Shu-gang, ZENG Tao, BAO Ming-jin

(Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, Chongqing 401147, China)

Abstract: The Doulizhi Beach is a low-water and rapid shoal in the upper reaches of the Yangtze River. After the damming and dredging measures are taken, the waterway conditions are improved. This study uses the measured data to analyze the changes in water-sediment conditions, patterns of floodplains and main channels, and waterway conditions in recent years. It proposes a regulation scheme considering the implementation and effect of waterway maintenance and dredging since 2019. The results reveal that under the influence of clear water discharge after Xiangjiaba impoundment and artificial sand mining activities, the scouring and retreat of the left marginal bank is the main reason for the continuous siltation and widening of the moraine wing and tail section of the Miaojiiaoqi moraine and difficult waterway maintenance. Under the current river regime and water-sediment conditions, the left marginal bank does not have the conditions for natural recovery, and the siltation and navigation obstruction of the Miaojiiaoqi Beach in the dry season will become the norm. The maintenance mode of early dredging after the flood season and the regulation scheme of adding new regulation buildings can reduce the safety risks in dredging construction and normal navigation.

Keywords: mountainous river; shoal; waterway maintenance; Doulizhi Beach

斗笠子滩位于长江上游东溪口水道, 两岸为卵石边滩和碛坝, 坝间有局部基岩, 具有枯水浅、急、险的碍航特征^[1]。2012 年向家坝电站蓄水运行后, 受枢纽清水下泄和上下游河段人为采砂活

动的影响, 斗笠子滩段航道条件出现不利变化趋势。从近年滩段测图分析来看, 左岸金堆子—鸡心碛边滩高程大幅降低, 使中枯水期主流向左岸扩散, 位于输沙带的江心庙角碛碛翅—碛尾段淤

收稿日期: 2022-01-17

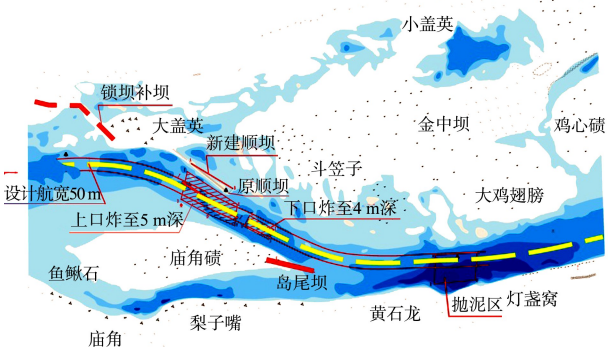
作者简介: 樊书刚(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计与研究。

积明显, 汛后退水期—枯水期 3 m 等深线向航槽内发展, 形成碍航浅区, 造成航道维护困难和通航安全隐患。根据肖毅等^[2]的研究, 长江上游宜宾—涪陵河段 2007—2016 年河道累计采砂量约为 3.95 亿 m³, 部分卵石滩滩面破坏, 引起局部高差变化达 40 m, 其对地貌的改变远超河道自身调整与航道整治工程的影响, 考虑上游水库群的联合调度及河床卵石存量的限制, 已破坏的滩面采砂区基本无法恢复至原有形态。吕韵鹏等^[3]采用物理模型论证斗笠子滩所在水道下游秤杆碛弯曲分汊河段在新水沙条件下的双槽航道维护方案, 但对斗笠子滩近期的淤积及航道维护对策未做深入研究。

本文结合近年的水沙条件、实测资料对斗笠子滩段进行分析, 认为在滩段河势及水沙条件总体稳定的前提下, 庙角碛碛尾前沿枯水期淤积碍航的趋势将总体保持不变, 且随着左岸金堆子边滩的冲刷后退而逐渐加剧。结合 2019 年以来的航道维护疏浚实施情况和疏浚效果^[4-6], 提出近期的航道维护对策和初步治理方案, 为滩段的航道维护及航道治理提供技术支撑。

1 滩段概况

斗笠子滩位于东溪口水道中段, 河心庙角碛分河道为左右两汊, 左汊为枯水期主通航槽, 见图 1。庙角碛与左岸金堆子(斗笠子)相对, 束窄航槽, 曾是叙渝段著名的枯水急流滩, 金堆子上游流速达 4.0 m/s 左右。水流流态也较为复杂, 斜流、滑梁水、泡漩水等不良流态较为普遍。



注: 依据 2007 年 1 月测图绘制。

图 1 长江泸渝段航道整治斗笠子滩整治方案

该滩经过兰叙段(1987 年)、泸渝段(2006 年)采取筑坝、疏浚和清礁等航道整治措施后航道条件得到明显改善, 水流流速、比降减小, 上水重载船舶基本不需要助拖就能够自航过滩。目前航道等级为Ⅲ级, 枯水期最小维护尺度为 2.9 m×50 m×560 m(水深×航宽×弯曲半径), 可常年通航 1 000 吨级以上船舶。水位 3.0 m 以下时, 庙角碛河段实行通航控制。枯水期上行船舶沿左岸至金堆子尾过河至庙角碛岛尾坝附近, 然后沿庙角碛左侧缓流上行。

2 新水沙条件分析

2.1 年径流量变化

向家坝电站于 2012 年 10 月开始蓄水, 以 2013 年为节点, 分析向家坝蓄水前后长江上游水沙条件的变化。向家坝、朱沱、寸滩水文站的年径流量情况见表 1。可以看出, 向家坝蓄水后的 2013—2019 年各站年径流量平均值较多年平均值略有减小, 总体无趋势性变化。

表 1 长江上游主要水文站年径流量

水文控制站	2013—2019 年		2018 年		2019 年		2020 年		多年平均径流量/亿 m ³
	平均径流量/亿 m ³	变化率/%	径流量/亿 m ³	变化率/%	径流量/亿 m ³	变化率/%	径流量/亿 m ³	变化率/%	
向家坝	1 372	-4.4	1 638	14.1	1 344	-6.3	1 586	10.5	1 435
朱沱	2 646	-0.5	3 161	18.8	2 748	3.3	3 179	19.5	2 660
寸滩	3 336	-2.9	3 873	12.7	3 577	4.1	4 221	22.8	3 437

注: 多年均值统计年份, 向家坝站(屏山站)为 1956—2019 年, 朱沱站为 1954—2019 年, 寸滩站为 1950—2019 年; 变化率为各时段均值分别与多年平均值的相对变化; 年输沙量统计方法同年径流量。

2.2 年输沙量变化

向家坝、朱沱、寸滩水文站的年输沙量情况见

表 2。可以看出, 2013 年后各站的年输沙量较多年平均值均大幅减少, 2013—2019 年各站平均年输沙

量较多年平均值分别减少 99.2%、84.1%和 81.5%，说明向家坝蓄水对于长江上游河段的输沙量减少影响显著，但由于清水下泄沿程冲刷以及区间来沙，

输沙量沿程逐步恢复。向家坝枢纽运行后，向家坝站输沙量占寸滩站比例由多年平均的 59.6%下降为 2.5%，朱沱站则由 71.9%下降为 61.9%。

表 2 长江上游主要水文站年输沙量

水文控制站	2013—2019 年		2018 年		2019 年		2020 年		多年平均输沙量/亿 t
	平均输沙量/亿 t	变化率/%	输沙量/亿 t	变化率/%	输沙量/亿 t	变化率/%	输沙量/亿 t	变化率/%	
向家坝	0.017	99.2	0.017	99.2	0.007	-99.7	0.013	-99.4	2.23
朱沱	0.429	84.1	0.682	74.6	0.449	-83.3	0.982	-63.5	2.69
寸滩	0.693	81.5	1.330	64.4	0.639	-82.9	1.870	-50.0	3.74

2.3 年内流量分配变化

向家坝水文站 1956—2012 年实测最大流量为 2.90 万 m³/s (1966-09-02)，最小流量为 1060 m³/s (1960-04-03)。向家坝运行以来 2013—2018 年，最小流量 1 420 m³/s，最大流量 1.50 万 m³/s。对比可以看出，枯水期最小下泄流量较蓄水前最小流量增加，洪水期最大流量大幅减小。向家坝蓄水前后其水文站多年月平均流量及年内分配情况见图 2。可以看出，向家坝蓄水后，枯水期 1—4 月平均流量增加，5、11、12 月流量变化不大，汛期 6—9 月流量减小。

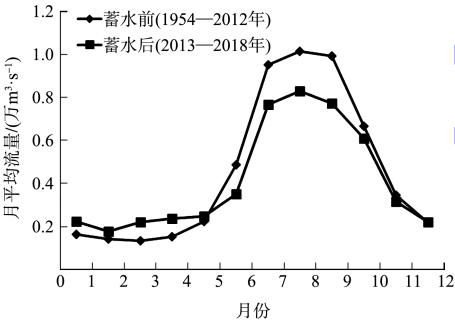


图 2 向家坝蓄水前后向家坝水文站月平均流量对比

2.4 水位分析

泸州二郎滩航行水尺近年水位过程(每日 8 时水位,起算点为相对于 98%保证率的设计最低通航水位)见图 3。通过分析可知,向家坝蓄水以来长江上游宜宾—重庆段仍主要表现为天然山区河流的总体水位变化特性,但由于上游电站非恒定流下泄影响,河段最低水位与向家坝蓄水前变化较小,枯水期对通航条件的制约仍显著存在。

宜宾、泸州段枯水期典型水位的出现时间对比见表 3。可以看出,向家坝蓄水运行后长江上游航道条件总体有所改善,枯水期低于 2 m 的时间减少了 20~50 d。但受电站非恒定流沿程传播影响,近坝段的宜宾辖区 1 m 以下水位持续时间和最低水位均与向家坝蓄水前基本一致。远坝段的泸州辖区航道条件略有改善,1 m 以下水位持续时长总体有所减少,但最低水位无明显改善。

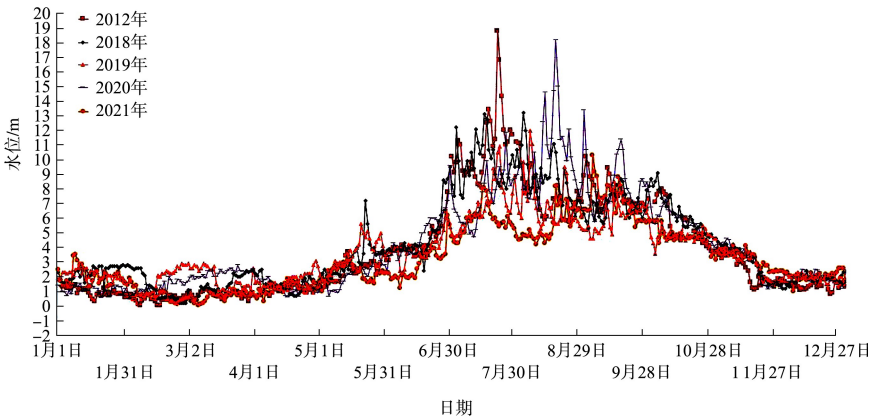


图 3 泸州二郎滩航行水尺近年水位过程

表 3 长江上游 2011 和 2018—2021 年 1—4 和 12 月水位情况

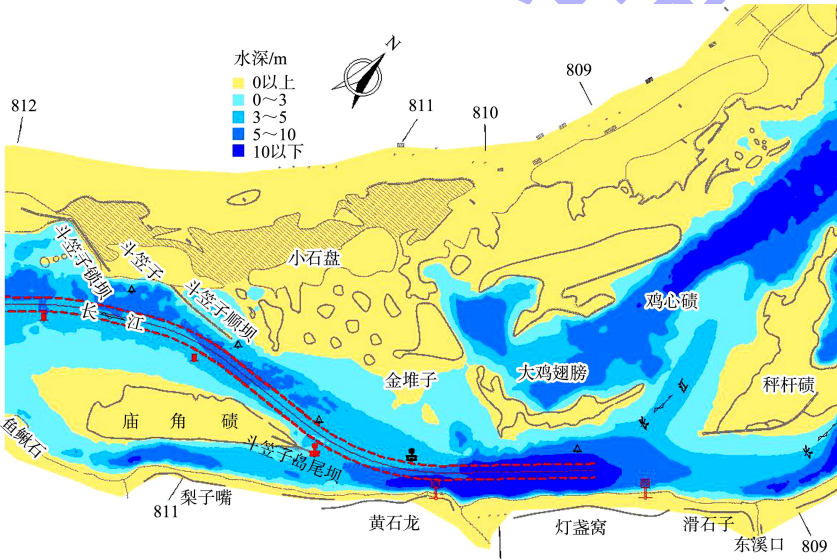
年份	低于 2 m 水位的时间/d		低于 1 m 水位的时间/d		最低水位(相对设计最低通航水位)/m	
	宜宾	泸州	宜宾	泸州	宜宾	泸州
2011	150	151	49	54	0. 30	0. 15
2018	139	104	58	30	0. 20	0. 20
2019	124	88	34	19	0. 50	0. 60
2020	117	118	42	22	0. 51	0. 50
2021	133	108	75	59	-0. 06	0. 03
2018—2021 年平均值	128	104	52	32	-	-

3 近期滩槽及航道条件变化分析

3.1 年际变化

通过对斗笠子滩段 2007 年 1 月、2019 年 3 月及 2021 年 1 月枯水期地形测图的对比分析表明,

近年来斗笠子滩左岸金堆子—鸡心碛边滩高程降低明显, 江心庙角碛碛尾呈淤积发展并有挤压航槽的趋势, 金堆子边滩及原河心深槽左侧也呈一定的淤积趋势。



注: 依据 2019 年 3 月测图绘制。

图 4 斗笠子滩段河势

对比斗笠子滩段不同年份的河势(图 1、4), 江心庙角碛总体稳定, 但下游左岸金堆子、大鸡翅膀、鸡心碛边滩受人为活动的影响严重, 河床高程显著降低, 最大降幅约 10 m。代表最小航道维护尺度的 3 m 等深线变化见图 5, 可以看出: 1)左岸金堆子边滩低滩呈冲刷后退趋势, 2019 年较 2007 年最大后退宽度达 115 m; 而在金堆子下边滩形成淤积体, 3.0 m 等深线

向河心展宽近 85 m, 束窄航槽, 增加了该水域的航道弯曲半径, 使得航线变得更加弯、窄, 为解决通航问题, 于 2020 年 1—3 月实施了维护疏浚; 2)2019 年 3 月—2021 年 1 月金堆子下段 3 m 等深线向左岸冲刷后退约 117 m, 金堆子边滩中枯水期束水冲刷功能基本丧失, 退水期上游淤积物冲刷下移在庙角碛碛尾缓流段落淤明显, 形成碍航浅区。

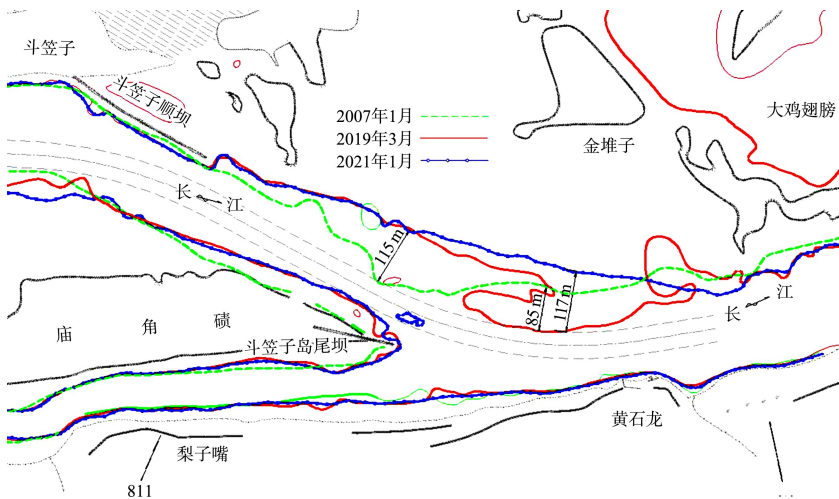


图 5 2007—2021 年斗笠子滩段 3 m 等深线变化

3.2 年内变化

滩段 2021 年 1—10 月冲淤变化见图 6a)。可以看出，汛期庙角碛碛翅中段出现带状淤积，最大淤积厚度约 1.2 m，碛尾出现零星淤积，最大淤积厚度约 0.8 m，左岸金堆子边滩总体保持稳定。滩段 10—12 月冲淤变化见图 6b)。可以看出，退水期庙角碛碛翅中段淤积物冲刷下移，庙角碛碛尾淤积范围逐渐由南岸向北岸扩展，淤积程度加剧，最大淤积厚度 0.9 m，最小水深为 2.6 m，已不满足最低水位期维护水深 2.9 m 要求。总体来看，斗笠子滩段存在洪淤枯冲、上冲下淤的河床演变规律，由于出口段主流左偏，移动的卵石沙包在滩段出口右岸至河心一带淤积，形成碍航浅区。

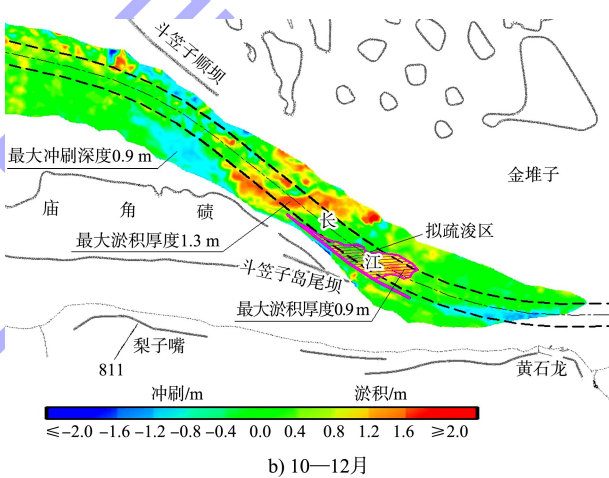
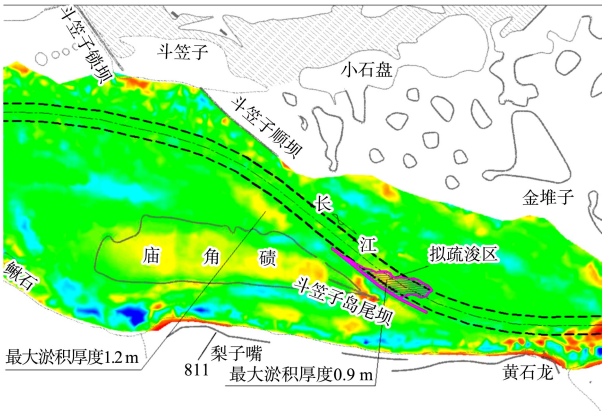


图 6 2021 年斗笠子滩段冲淤变化

3.3 通航条件及演变趋势分析

从通航条件看，近年金堆子边滩 3 m 等深线冲刷后退，右岸庙角碛碛尾持续淤积挤压航槽，且由于左岸金堆子上段江心仍有部分零星碍航礁石，造成枯水期航道尺度不足，现场维护困难。向家坝电站蓄水运行后，长江上游卵石量大幅减小，实测朱沱水文站年输沙量减少约 84%，结合相关研究，左岸被冲刷和人为活动挖采的金堆子—鸡心碛一带洲滩自然恢复能力大幅降低。斗笠子滩段河道展宽、主流分散的格局将总体保持稳定，区间来沙在江心输沙带左缘淤积碍航将成为常态。



a) 1—10 月

4 近期航道维护措施及效果分析

受斗笠子滩航道条件恶化影响, 为确保通航安全, 在 2019、2020、2021 年均实施了航道养护疏浚和江心局部碍航礁石的清障, 见表 4。2019 年 9—11 月, 按照设计水深 3.2 m 对金堆子 3# 过河标水域碍航物实施清障。受施工工期及工艺限制, 完

工后清障区最小水深达到 2.9 m, 一定程度上改善该段通航条件, 但枯水期通航船舶在动吃水影响下仍存在触礁风险。2020 和 2021 年枯水期均对碛尾浅区实施了养护疏浚, 方案见图 7, 疏浚后均满足最小维护尺度要求。

表 4 斗笠子滩近年航道养护疏浚(含清礁)参数及效果

维护时间	设计底高程/m	工程量/m ³	疏浚部位	工程效果
2019 年 10 月—2019 年 12 月	3.2	690	金堆子清障	达到 2.9 m 底高程, 有所改善
2020 年 1 月—2020 年 3 月	3.2	19 200	碛尾浅区	达到最小维护尺度要求
2021 年 1 月—2021 年 2 月	3.2	8 889	碛尾浅区	达到最小维护尺度要求
2022 年 1 月—2022 年 2 月	3.2	10 716	碛尾浅区	达到最小维护尺度要求

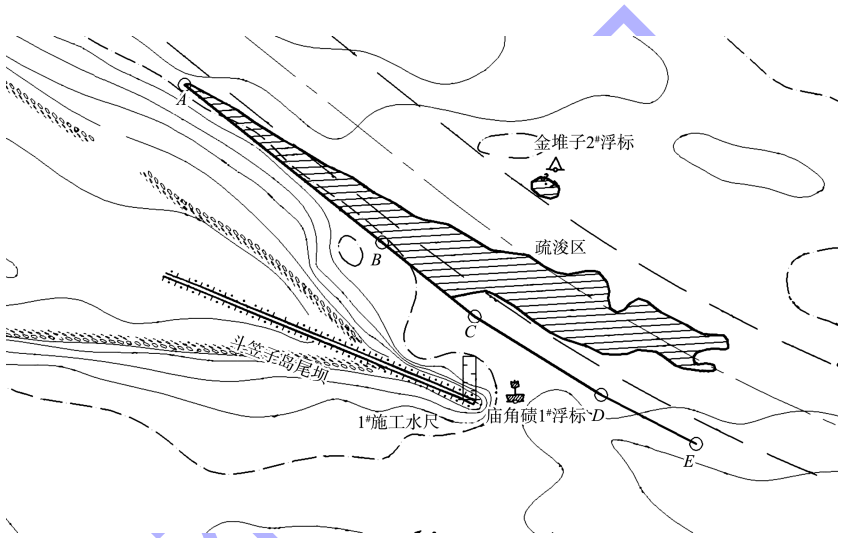


图 7 2021 年度庙角碛养护疏浚方案

2019 年以来的疏浚区域主要集中于庙角碛岛尾坝前沿 200 m 区域, 浅区最小水深为航基面下 2.4~2.6 m, 不满足枯水期最小维护水深 2.9 m 要求。近年来主要在枯水期 1—3 月对浅区实施疏浚, 疏浚水深考虑 0.3 m 的备淤深度, 疏浚后可满足 1—5 月的航道尺度要求及通航安全需要。

枯水期施工船舶组织受江心偏左仍存在的局部基岩限制, 斗笠子滩段枯水期可通航水域狭窄, 施工与通航矛盾突出, 主要采用非通航高峰期(一般为每日 18 时以后)禁航施工的作业方案。该方案存在以下缺点: 1) 禁航施工时间短, 考虑船舶定位和施工后移船让出通航区域, 施工工效偏低; 2) 夜间施工存在一定视线上的安全盲区, 且在开航期施工船舶临时停靠在航槽边缘, 该滩流速大,

存在通航船舶与施工船舶碰撞的安全风险; 3) 夜间抓斗式挖泥船施工和泥驳抛泥, 存在一定的噪声污染, 影响岸边居民及企业的正常生产生活。

5 航道维护对策及治理方案分析

5.1 汛后提前维护疏浚

基于滩段近期的滩槽变化, 左岸金堆子边滩持续冲刷后退约 150 m, 失去退水期束水冲沙的功能, 庙角碛碛尾段在枯水期淤积的范围和强度总体较为稳定, 可考虑在汛后采取“腾库容、留备淤”的提前疏浚思路。根据近年汛后退水期至枯水期冲淤幅度, 庙角碛碛尾淤积厚度 0.6~0.9 m, 水深基本从汛后的 3.3 m 淤积抬高至 2.4~2.6 m, 因此可在汛后考虑平均约 0.7 m 的备淤深度, 将

出口浅区提前疏浚至 4.0 m，即使退水期末仍存在 0.6~0.9 m 的淤积厚度，该区域仍可保持最小约 3.1 m 的航槽水深。

从中水位期施工组织和预计疏浚量看，该方案较枯水期出浅再进场疏浚存在以下优点：1) 提前疏浚出口，可提早水流归槽时间，提高退水期冲刷能力，可能会改善退水期—枯水期出口的淤积强度，改变出浅后开展航道维护的被动局面；2) 中高水位期提前疏浚，可充分利用相对较高的水位，对通航槽进行适当调整，采取非禁航施工作业方案，既可降低维护疏浚施工对通航的影响，又可减小施工安全风险和夜间施工噪声影响；3) 从预计疏浚量对比看，汛后提前疏浚和枯水期出浅后疏浚的疏浚量总体相当，不会造成疏浚量和经费的大幅增加。

5.2 维护疏浚加抛筑整治建筑物

根据近期斗笠子滩滩槽变化和航道条件分析，以及长江上游梯级枢纽运行后水沙条件变化分析，已破坏的金堆子—鸡心碛滩面基本无法自然恢复至原有形态。认为在滩段河势总体稳定的前提下，庙角碛前沿枯水期淤积碍航的趋势将总体保持不变。

根据 2019 年以来的航道维护疏浚，庙角碛碛尾段在枯水期淤积的范围和强度总体较为稳定，分析原因主要是在庙角碛出口水流分散，挟沙能力降低。结合前期滩段整治方案及整治效果，可考虑进一步加长左岸斗笠子顺坝，增加其作用范围，也可在金堆子边滩沿航槽走向新建一道顺坝，提高退水期水流归槽冲刷能力，减小碛尾段淤积。

6 结语

1) 斗笠子滩受向家坝蓄水运行后清水下泄及人为活动影响，左岸金堆子—鸡心碛边滩高程大幅降低，使中枯水期主流向左岸扩散，江心庙角碛碛翅—碛尾段出现持续性淤积，汛后退水期—枯水期 3 m 等深线向航槽内发展，形成碍航淤积物，造成航道维护困难和通航安全隐患，开展航道维护疏浚是确保滩段航道尺度和通航安全的有

效手段。

2) 斗笠子滩在目前的河势和水沙条件下，左岸边滩不具备自然恢复的条件，滩段中枯水期水流分散，冲刷动力不足，右岸碛尾段在枯水期淤积碍航将成为常态。

3) 斗笠子滩近年主要的维护对策是枯水期出浅后被动开展疏浚，存在夜间禁航施工工效偏低、安全隐患突出、施工噪声影响等问题。结合滩段的河床演变趋势和近年维护疏浚情况，认为可以采取汛后提前疏浚的主动航道养护思路。

4) 航道养护疏浚对滩段水流动力条件改变小，鉴于滩段目前的河势及河床演变特点，可考虑在左岸加抛整治建筑物束水攻沙的综合治理方案，以稳固航槽、减小滩段维护难度。

5) 鉴于长江上游受金沙江、岷江各梯级电站运行后，天然山区河流的水文特征已发生较大改变，枢纽调度对河段水文形势及航道运行条件的影响更为显著，为确保航运安全并提高通航效能，建议有关部门结合航运需求加强各梯级枢纽的联合调度方案研究，以充分发挥长江黄金水道的航运优势。

参考文献：

[1] 张瑞瑾.河流泥沙动力学[M].2 版.北京: 水利水电出版社, 1998.

[2] 肖毅, 张帅帅, 杨胜发, 等.长江上游采砂分布及破坏滩群恢复能力模拟研究[J].水运工程, 2020(11): 127-131, 154.

[3] 吕韵鹏, 胡江, 秦镭宁, 等.长江上游东溪口水道新水沙条件下航槽维护措施[J].水运工程, 2021(8): 80-86, 92.

[4] 曾涛, 樊书刚, 李俊青, 等.2022 年度长江干线航道养护疏浚项目(合江门—丰都段) 总体方案[R].重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2021.

[5] 樊书刚, 包明金, 李俊青, 等.2021 年度长江干线航道维护疏浚项目(合江门—丰都段) 东溪口水道(庙角碛) 单项设计[R].重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2021.

[6] 樊书刚, 曾涛, 李俊青, 等.2022 年度长江干线航道养护疏浚项目(合江门—丰都段) 东溪口水道(庙角碛) 单项设计[R].重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2022.