



长江上游叉鱼碛滩航道特性及维护对策

李俊青, 包明金, 樊书刚

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 叉鱼碛为长江上游过渡段浅滩, 位于泸州境内, 属于天然河段。2013年向家坝水电站完成蓄水, 2015年长江上游航道最小维护水深从2.7 m提高至2.9 m。2016年禁采前由于人为无序的挖砂采石对上游诸多滩段造成较大的破坏, 枯水期水流分散, 冲刷能力减弱。在诸多背景下, 长江上游诸多碍航滩段枯水期航道畅通面临较大的挑战, 叉鱼碛滩段为其中的一个代表。根据实测资料分析向家坝水电站蓄水前后水沙条件的变化, 对滩段近年来的演变规律进行总结, 并且根据近年航道维护疏浚实施情况、疏浚效果以及相关问题的, 对滩段的航道维护对策进行分析, 为滩段养护疏浚的设计、施工提出相关建议以及加抛整治建筑物的治理方案, 可为航道维护及航道治理提供技术支持。

关键词: 山区河流; 浅滩; 航道疏浚; 叉鱼碛滩

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)07-0157-08

Channel characteristics and maintenance countermeasures of Chayuqi beach in upper reaches of the Yangtze River

LI Junqing, BAO Mingjin, FAN Shugang

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

Abstract: Chayuqi is a transitional shoal in the upper reaches of the Yangtze River, located in Luzhou and belonging to the natural river section. In 2013, the Xiangjiaba Hydropower Station completed water storage, and in 2015, the minimum maintenance water depth of the upper reaches of Yangtze River waterway increased from 2.7 meters to 2.9 meters. Prior to the ban on mining in 2016, the disorderly excavation of sand and stones caused significant damage to many upstream beach sections, resulting in dispersed water flow and weakened erosion capacity during the dry season. Against various backgrounds, the smooth navigation of navigation channels in the upstream of the Yangtze River faces significant challenges during the dry season, and the Chayuqi shoal section is one of the representatives. This article analyzes the changes in water and sediment conditions before and after the impoundment of Xiangjiaba Hydropower Station based on measured data, summarizes the evolution laws of the beach section in recent years, and analyzes the maintenance and dredging strategies of the beach section based on the implementation of channel maintenance and dredging in recent years, dredging effects, and related issues. It provides relevant suggestions for the design and construction of the beach section maintenance and dredging, as well as the treatment plan for adding and disposing buildings, which can provide technical support for the future maintenance and management of the the beach section.

Keywords: mountain river; shoal; channel dredging; Chayuqi beach

叉鱼碛滩段位于长江上游泸州境内, 属于叉鱼碛水道, 系叉道出口处的过渡段浅滩^[1]。滩段所处河段属于天然河段, 航道维护等级为Ⅲ级, 目前最小航道维护尺寸为2.9 m×50 m×560 m(航

收稿日期: 2023-11-03

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

深 \times 航宽 \times 弯曲半径), 通航保证率 98%。叉鱼碛过渡段浅区较长, 退水期冲刷能力有限, 禁采前左岸临江场边滩的破坏进一步加剧了该情况。此外, 向家坝蓄水后, 枯水期平均水位提高, 整治建筑物束水作用减弱。近年来, 每年枯水期叉鱼碛过渡段浅区均发生淤积, 水深无法满足航道维护尺度要求, 需要维护疏浚才能保障航道畅通。根据肖毅等^[2]的研究成果, 2007—2016年间, 长江上游宜宾—涪陵河段内采砂量约 3.59 亿 m^3 , 造成部分卵石滩面破坏, 局部河床高差变化达 40 m; 万豪川等^[3]分析上游溪洛渡、向家坝等水电枢纽建成后, 叉鱼碛河段航道的演变情况, 提出问题和建议, 并从航道维护角度针对性地制定了航道维护措施。

本文结合水沙条件, 对叉鱼碛滩段河床演变

特点进行分析, 认为在滩段河势及水沙条件总体稳定的前提下, 叉鱼碛浅滩汛期上段淤积, 退水期中下段淤积的趋势将总体保持不变。结合近年来的航道维护疏浚实施情况和疏浚效果^[4], 提出近期的航道维护疏浚对策和初步治理方案, 旨在为滩段的航道维护及航道治理提供技术支撑。

1 滩段概况

叉鱼碛滩段河势微弯(图 1), 左岸岸线规则。左岸有小桃竹、鱼鳅石等岩嘴以及临江场卵石边滩; 右岸众多基岩、卵石、乱石交错, 岸线不规则。滩段进口江心有强盗坝将水流分成两槽, 主航道位于左槽, 右槽又称为罐槽, 枯水期分流小, 洪水期分流较大。滩段中段河心偏右有外坝屹立江中, 左槽为主航道。

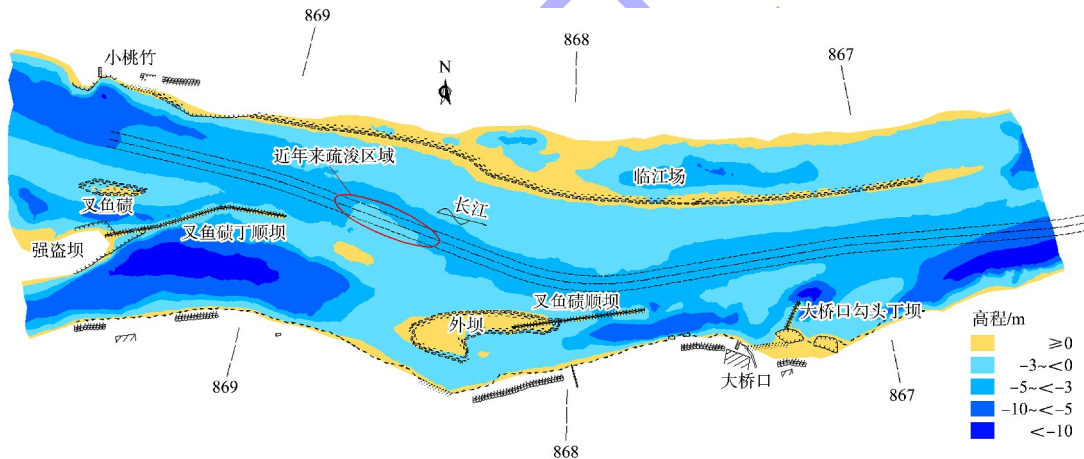


图 1 2023 年 1 月叉鱼碛滩段河势

强盗坝尾部受两汉水流交汇消能作用, 形成长约 600 m 的沙卵石淤积区, 水深较浅, 最浅处相对水深在航基面以下。左槽航道虽顺直, 但水浅槽窄, 最浅处位于罐槽出口淤积区(叉鱼碛浅滩)外缘, 对航运影响较大。20 世纪 60 年代, 通过航道整治工程在强盗坝尾部抛筑 1 条丁顺坝, 使浅滩得到冲刷, 航槽水深情况得到一定的改善。90 年代兰叙段一期航道建设工程分别在外坝尾部修建 1 条顺坝, 在下游大桥口修建 1 条勾头丁坝, 上述整治工程实施后滩段横流消除, 水流集中冲

刷浅滩, 水深增加, 航道条件得到一定改善。

2015 年长江上游宜宾—重庆航道最小维护水深从 2.7 m 提高到 2.9 m^[5]。2016 年禁采前, 人为无序挖砂采石导致河床边界条件发生一定变化, 且向家坝蓄水后整治建筑物作用减弱, 退水期冲刷能力进一步减小。从河势上来看, 叉鱼碛滩段过渡段浅区较长, 且位于两汉汇流处, 退水期泥沙在浅区中下段落淤, 形成碍航浅区, 2015 年以来每届枯水期都对叉鱼碛浅滩进行维护性疏浚, 保障了航道畅通。

2 水沙条件

2.1 径流量变化

三峡水库于 2003 年 6 月开始初期蓄水, 向家坝水电站于 2012 年 10 月开始蓄水, 溪洛渡水电站 2013 年 5 月初期蓄水, 白鹤滩水电站于 2021 年 3 月初期蓄水, 乌东德水电站于 2020 年 1 月开始第 1 阶段蓄水, 上游金沙江四大水电站已于 2022 年全部达到正常蓄水位, 各大枢纽的运行对枢纽下游河段均产生不同程度的影响, 长江上游来水来沙条件受向家坝蓄水影响较大, 因此主要以 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。

1) 月平均流量。分析向家坝水文站 2013 年蓄水前后月平均流量 (图 2) 可以发现, 向家坝蓄水后, 1—4 月枯水期平均流量增加, 6—9 月汛期平均流量减小, 说明向家坝的调度起到了削峰填谷的作用, 对下游航道有一定的积极作用。

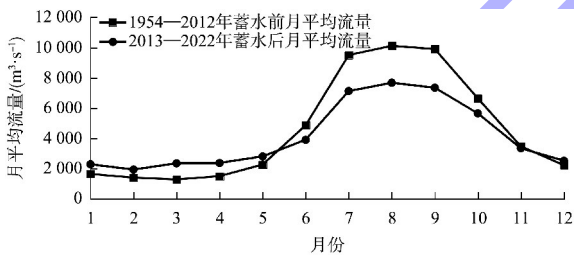


图 2 向家坝蓄水前后月平均流量变化

2) 月最小流量。蓄水前向家坝水文站 1956—2012 年实测最小流量为 1 060 m³/s, 2013 年蓄水以来最小流量 1 420 m³/s(图 3), 近年来向家坝出库最小流量逐渐趋于稳定, 每年枯水期最小出库流量稳定在 1 500~1 600 m³/s, 每年出库最小流量主要集中在 12 月—次年 5 月枯水期或向家坝水电站检修期间。

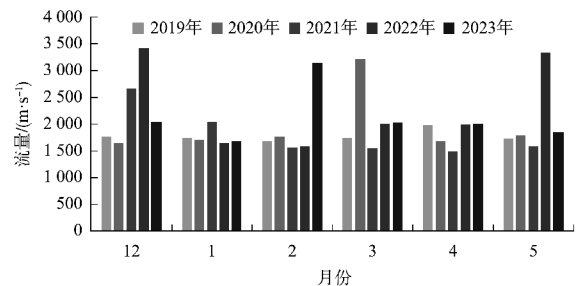


图 3 近年来向家坝出库最小流量变化

2.2 输沙量变化

向家坝水电站建成后, 拦沙作用明显, 统计向家坝、朱沱、寸滩水文站 2013 年前后年输沙量变化, 见表 1, 可以看出向家坝水利枢纽对于长江上游河段的输沙量减少影响显著, 但是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 1 长江上游主要水文站年输沙量

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

2.3 水位变化

上游金沙江水利梯级枢纽蓄水后, 长江上游宜宾—重庆江津段仍主要表现为天然山区河流水位变化规律。泸州二郎滩水尺位于叉鱼碛水道上游约 40 km, 中间没有支流汇入, 可以作为叉鱼碛水道水位趋势性分析的依据。泸州二郎滩每年的

10—11 月为汛后水位的明显回落期, 平均水位由 5 m 以上退至约 2 m; 12 月—次年 4 月均属于枯水期, 平均水位低于 2 m, 最低水位 -0.06 m; 5 月水位逐渐上涨, 6 月下旬—8 月下旬为汛期高水位期, 9 月一般有秋汛过程, 见图 4。

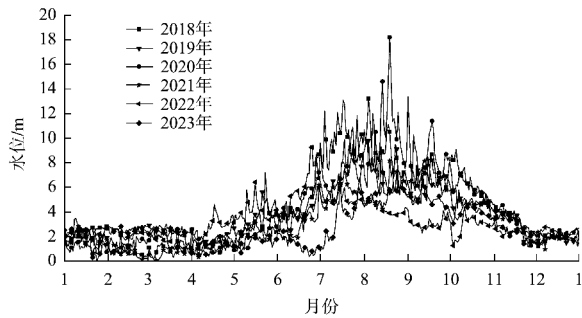


图4 泸州二郎滩水尺水位变化

向家坝水电站蓄水后,对电站下游水位起到一定的调节作用,汛期平均流量减小,枯水期平均流量增大,但由于枢纽泄水非恒定流以及电站常规检修的影响,长江上游枯水期仍出现极枯水位,个别水尺出现0 m以下水位,极枯水位主要出现在春节以及3—4月上游电站检修期间,以泸州二郎滩水尺为例,2021年3月最低水位0.03 m,2023年1月最低水位-0.02 m,其余年份最枯水位约0.50 m,见图5。

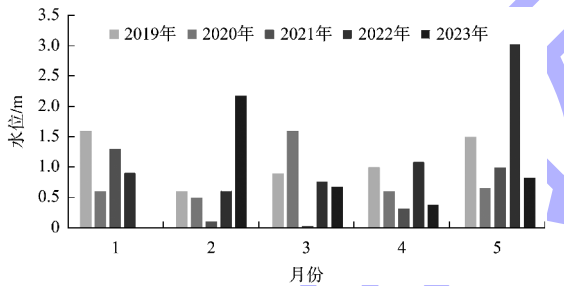


图5 泸州二郎滩近年来最低水位变化

2.4 向家坝蓄水对叉鱼碛河段航道维护的影响

2013-09-12 向家坝水电站蓄水至正常蓄水位380 m,蓄水后枯水期平均水位有所提高,为了充分利用水深,满足长江经济发展的需要,2015-03-26 试运行将宜宾—重庆河段枯水期维护尺寸从2.7 m提高至2.9 m。

虽然向家坝水电站的调控能力在一定程度上改善了长江上游的水沙条件,但每年枯水期仍然出现极枯水位。此外,叉鱼碛丁顺坝修建于1960年,坝顶高程为设计水位以上1.06 m;叉鱼碛顺坝和叉鱼碛大桥口勾头丁坝修建于1991年,叉鱼碛顺

坝坝顶高程为设计水位以上0.88 m,叉鱼碛大桥口勾头丁坝坝顶高程为设计水位以上0.92 m。向家坝蓄水后枯水位提高,降低了整治建筑物束水冲砂的作用,退水期航道冲刷能力减弱,枯水期保畅压力仍然较大。

3 浅滩河床的演变

3.1 年际变化

通过对叉鱼碛滩段系列地形原型观测资料的收集分析,选取2007年3月、2017年3月、2019年3月以及2021年12月4次枯水期滩段地形测图为代表,分析十余年年际间河床演变情况。多年以来叉鱼碛滩段总体河势相对稳定,左岸临江场边滩中下段受人为挖砂采石破坏高程降低,造成退水期水流分散,冲刷能力进一步减弱;右岸罐槽出口处淤积,航槽上段叉鱼碛丁顺坝前沿呈冲刷趋势,中下段呈淤积趋势。

2007—2017年冲淤变化见图6a),可知叉鱼碛浅区航槽内存在一定的冲淤变化,浅区上段即叉鱼碛丁顺坝左侧航槽内呈冲刷趋势,冲刷幅度在1 m以内。浅区中下段由于两汊水流交汇消能,泥沙淤积,航槽内最大淤积1.7 m。罐槽出口处由于分汊水流交汇消能整体呈淤积趋势,存在2处明显的淤积包,最大淤积厚度3.0 m。临江场边滩受人为无序挖砂采石影响,边滩被大面积破坏。此外,在各整治建筑物附近,整治建筑物与水流相互作用,存在多处局部的冲淤变化。2017—2019年冲淤变化见图6b),叉鱼碛浅区航槽内冲淤相间,其中浅区下段叉鱼碛顺坝附近航槽内呈淤积趋势,淤积厚度在1.0 m以内。右岸罐槽出口有1处明显冲刷坑,最大冲刷深度3 m。2019—2021年冲淤变化见图6c),右岸罐槽出口处大面积淤积,最大淤积厚度约2.0 m,滩段下段淤积明显,最大淤积厚度约1.5 m。此外在各个整治建筑物附近均存在局部冲淤变化。

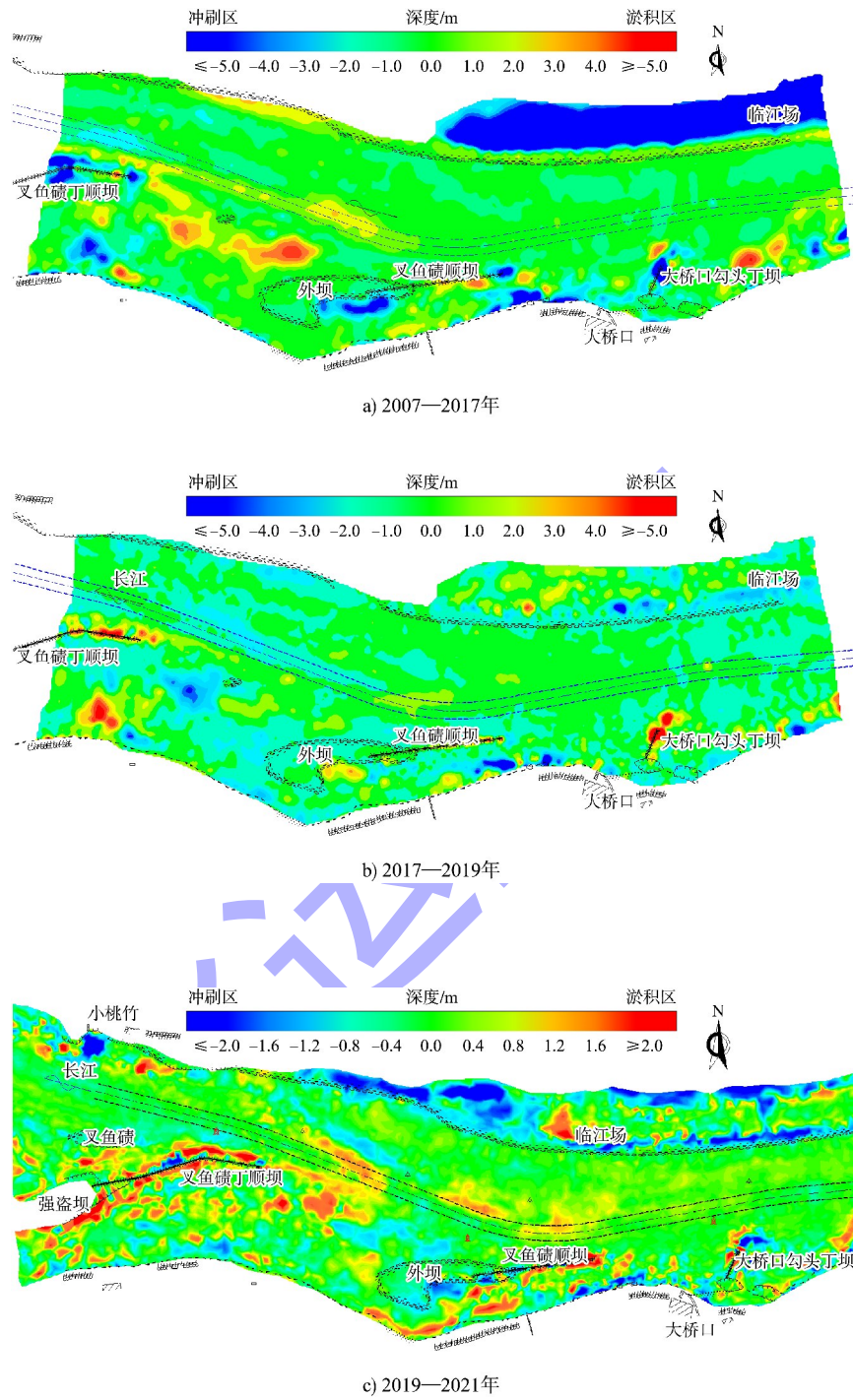


图 6 叉鱼碛滩段年际冲淤变化

3.2 年内变化

以 2022 年为例, 分析叉鱼碛滩段年内河床演变情况, 收集 2022 年 2 月、8 月以及 12 月测图, 得出叉鱼碛滩段年内冲淤变化规律: 叉鱼碛浅滩年内泥沙活动较为频繁, 汛期航槽上段淤积, 退水期航槽上段冲刷, 但由于浅区过长, 冲刷能力

有限, 汛期淤积物在中下段落淤, 形成碍航区域, 影响船舶通航。

2 月完工至 8 月汛后冲淤变化见图 7a), 经过汛期的输沙作用, 浅区中上段出现大面积的淤积, 最大淤积厚度 1.0 m; 8—12 月冲淤变化见图 7b), 退水期水流归槽, 浅区上段叉鱼碛丁顺坝附近泥

沙得到冲刷，但由于冲刷能力有限，且叉鱼碛过渡段浅区较长，泥沙在浅区中下段落淤，最大淤积厚度接近 1.0 m。3 m 等深线伸入航槽约 26 m，

见图 8，航槽内最小相对水深仅 2.8 m，因此在 2023 年 1 月对叉鱼碛碍航淤积浅区进行养护疏浚，保障了 2023 年上半年航道尺度和通航安全。

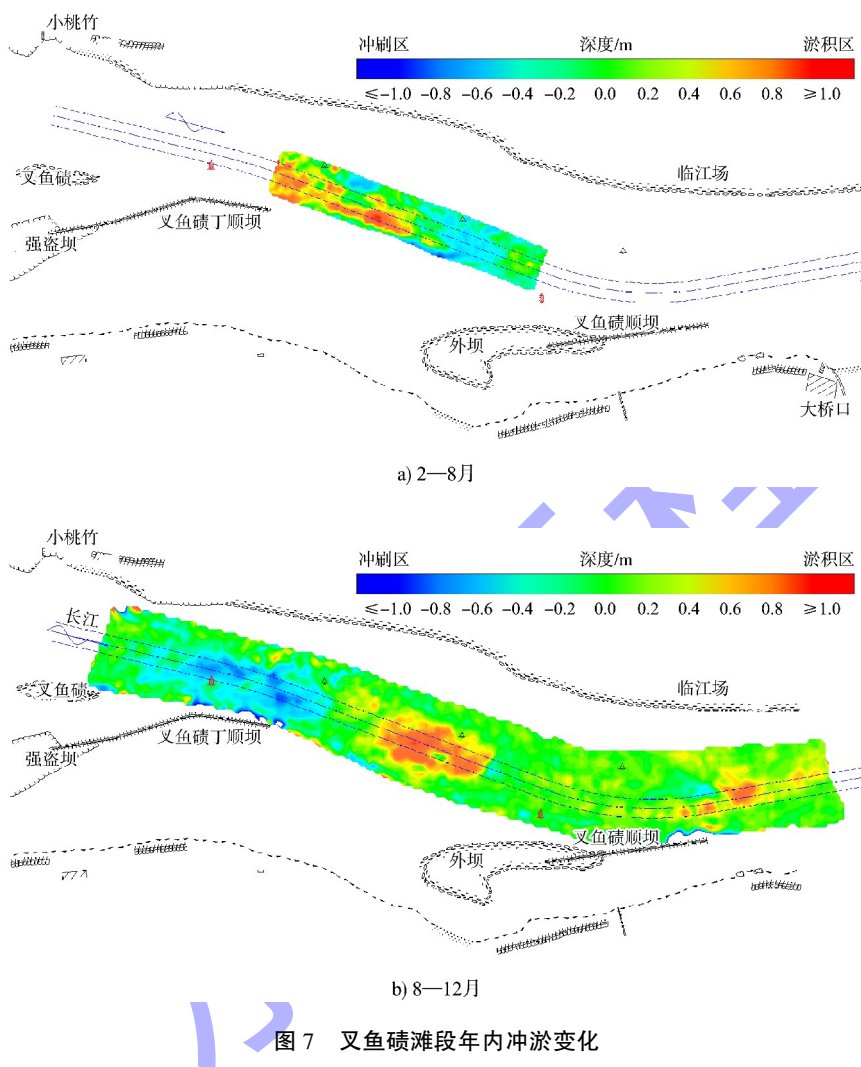


图 7 叉鱼碛滩段年内冲淤变化

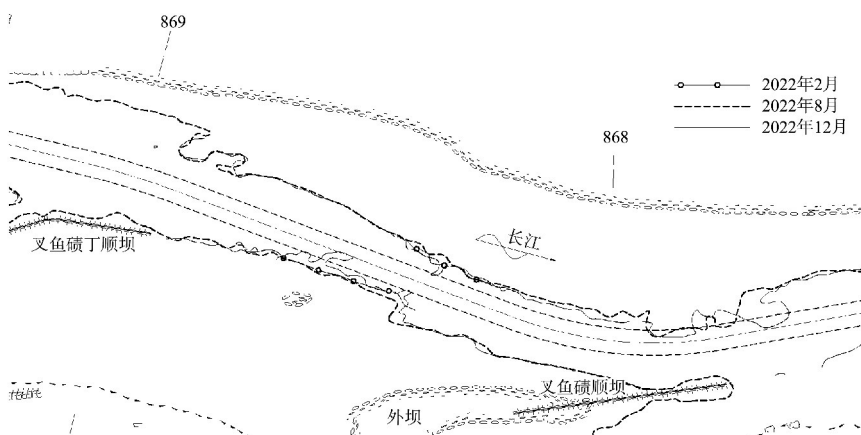


图 8 叉鱼碛滩段年内 3 m 等深线变化

综上,叉鱼碛河床演变主要表现为:由于人为挖砂采石,造成临江场边滩大面积破坏,枯水期过水断面增加,加之整治建筑物束水作用减小,退水期冲刷能力减弱。叉鱼碛浅区较长,且受两汉汇流消能作用,汛期滩段上游淤积的泥沙退水期在中下段淤积,形成碍航浅区,每年枯水期均需进行养护疏浚,以确保航道畅通。

4 近年航道维护措施及效果

由河演分析可知,每年退水期叉鱼碛浅区中下段淤积,浅区最小相对水深往往不满足 2.9 m 最小维护水深的要求,且每年枯水期水位较低,有时甚至出现航基面以下水位,影响航道尺度和船舶安全通航,因此 2015 年提高航道维护尺度以来,每年枯水期均对叉鱼碛过渡段浅区实施维护疏浚,时间集中在 1—2 月。

根据以往维护疏浚经验,叉鱼碛浅区疏浚完成后仍可能出现回淤,为保证整个枯水期航道养护尺度,考虑 0.3 m 的备淤厚度,疏浚水深取 3.2 m。此外,考虑枯水期航标设置和安全作用距离,维护疏浚在挖槽设计上考虑一定富余,疏浚基线以设计航槽边线外 10 m 控制,进口处适当加宽,疏浚区最大挖槽底宽约 70 m。

根据近年来的维护疏浚效果^[6](表 2),实施维护疏浚可保障浅滩每年上半年枯水期的航道维护尺度和航道畅通。然而,以往维护疏浚的实施情况也存在一些问题:

1) 叉鱼碛过渡段浅区较长,碍航物均为落淤泥沙,施工期间河床受施工干扰大,施工期回淤较大,且随着施工的进行,泥沙逐渐往下推移,往往在下游形成新的碍航区域。

2) 叉鱼碛浅滩航道浅、窄,施工船舶占据航道水域,枯水期施工时与通航矛盾较大,只能通过分时段禁航的方式进行施工,往年均采用白天通航,晚上 19:00 后禁航的作业方式。夜间施工不仅效率较低,且增加了施工的安全风险。

表 2 叉鱼碛近年维护疏浚情况

维护时间	工程量/ 万 m ³	疏浚 部位	工程效果
2015-12-21—2016-01-16	3.930 0		
2017-01-10—2017-03-20	2.582 6		
2018-01-03—2018-03-30	3.148 0		
2018-10-13—2018-12-17	5.200 0	叉鱼碛 过渡段	通过施工浅区 航道达到最小 维护尺度要求
2020-01-14—2020-03-19	3.602 9	浅区	
2021-01-12—2021-02-26	2.021 0		
2022-01-12—2022-02-24	2.895 4		
2023-01-12—2023-03-17	3.962 3		

5 航道维护对策及治理方案

5.1 航道维护对策

1) 针对叉鱼碛施工期间回淤较大,且随着施工的进行,泥沙逐渐向下推移,形成新的碍航物,因此叉鱼碛浅区维护疏浚设计应适当延长疏浚基线,并充分考虑施工期回淤量。另外,为了适应滩段特性,施工顺序应从上游往下游进行。

2) 叉鱼碛浅区枯水期维护疏浚施工时,施工与通航矛盾突出,为了减小施工对通航的干扰,可以选择提前在中水位期施工。中水位期施工可通过调整航标的方式,采取非禁航施工,设置施工期专用标志和上下游招呼站等方式确保施工和通航安全。同时,在维护疏浚设计时,应考虑充分的备淤深度,保障整个枯水期的航道尺度。

5.2 治理方案

根据叉鱼碛浅滩河床演变分析,近年来其河势基本稳定,此外金沙江四大水电站正常蓄水后,长江上游水沙条件基本趋于稳定,因此判断叉鱼碛每年枯水期的碍航趋势不会发生明显的改变。

叉鱼碛浅滩退水期冲刷能力较弱,虽然右岸整治建筑物起到了一定的束水攻砂的作用,但左岸临江场边滩的破坏后,枯水期末水作用减小,且由于航道维护尺度的提高,原有整治建筑物的整治效果也无法满足现在的航道维护尺度需求。

结合以前滩段整治方案及整治效果,考虑进一步加长叉鱼碛丁顺坝和叉鱼碛顺坝,增加其作

用范围,并且在左岸临江场边滩修建 1 座丁顺坝,提高退水期水流归槽冲刷能力,减小浅区中下段的淤积。

6 结语

1) 向家坝水电站蓄水后,对下游航道水沙条件起到了一定的积极作用,枯水期平均流量有所增加,2015 年宜宾—重庆河段最小维护水深从 2.7 m 提高至 2.9 m,但由于枢纽泄水非恒定流以及电站常规检修的影响,长江上游每年枯水期仍然会出现极枯水位。

2) 叉鱼碛过渡段浅区较长,加上 2016 年以前由于人为挖砂采石,左岸临江场边滩破坏,且枯水期平均水位提高后,滩段整治建筑物作用减小,退水期冲刷能力进一步减弱,每年汛期浅区上段淤积,退水期泥沙在中下段淤积碍航,航道内水深无法满足航道维护要求,近年来每年均通过养护疏浚保障航道尺度和航道畅通。

3) 养护疏浚对航道保畅起到了非常重要的作用,但根据近年实施经验,也存在施工期回淤较大、浅区下游容易形成新的碍航区域以及施工与通航矛盾突出等问题。

4) 维护疏浚设计和施工应根据叉鱼碛浅区的特性,充分考虑施工范围和施工期回淤量,采取

正确的施工顺序,并且在枯水期提前进行养护疏浚减小施工与通航的矛盾。此外,为从根本上解决叉鱼碛碍航问题,可以考虑加固延长现有整治建筑物,并在左岸修建丁顺坝,提高枯水期束水攻砂效果。

参考文献:

[1] 长江航道局. 长江上游航行参考图(羊角滩至宜宾下册)[M]. 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015: 184-186.

[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] 万豪川,朱雪瑶,李洪奇,等. 长江上游叉鱼碛航道演变及维护措施浅析[J]. 中国水运(航道科技), 2019(3): 23-28.

[4] 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(合江门至丰都段)叉鱼碛水道(叉鱼碛)单项设计[R]. 重庆:长江重庆航运工程勘察设计院, 2022.

[5] 张俊平,李晶. 长江干线航道养护管理基础资料汇编(2022 年)[G]//武汉:长江航道局, 2023: 373-396.

[6] 曾涛,樊书刚,李俊青,等. 2023 年度长江干线南京以上航道养护疏浚项目(合江门至丰都段)总体方案[R]. 重庆:长江重庆航运工程勘察设计院, 2023.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 144 页)

参考文献:

[1] 许鹏,刘敬贤,石好,等. 两坝间航道与三峡水运新通道通过能力匹配研究[J]. 中国航海, 2023, 46(3): 98-104.

[2] 李骏峰. 十八联圩进退洪闸退洪工况下流态分析[J]. 水利技术监督, 2023(7): 185-189.

[3] 唐英敏,鲍立荣. 基于 MIKE 软件的天然河道局部水头损失特性研究[J]. 水力发电, 2018, 44(6): 87-89, 106.

[4] 牛新宇. 松花江干流凌演进全视景仿真模拟方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2018.

[5] 李民康. 多时段急弯河道水流特征及冰水动力特性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2021.

[6] 师于杰. 基于 MIKE3 流场模型的河流上游明渠弯道水流三维数值模拟研究[J]. 水利科技与经济, 2021, 27(6): 83-86.

(本文编辑 赵娟)