

· 航道及通航建筑物 ·



## 长江九龙滩河段浅滩航道整治<sup>\*</sup>

钟 亮<sup>1,2</sup>, 周鑫靖<sup>2</sup>, 许光祥<sup>1,2</sup>

(1. 重庆交通大学 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;

2. 重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074)

**摘要:** 长江九龙滩浅滩河段有鼓鼓碛、蕉芭滩和三角碛 3 处碍航。在碍航成因分析的基础上, 结合航道整治目标原则, 提出了整治方案。应用平面二维水流泥沙数学模型探讨方案整治效果, 经水流条件和典型年泥沙冲淤特性对比分析, 进行方案比选与优化, 形成了推荐方案。选用 2002—2011 年水沙序列资料, 研究方案实施后长时期内的航槽泥沙冲淤规律, 结果表明, 方案实施后航道尺度满足要求, 航槽可长期保持稳定, 整治效果较为理想, 达到了预期整治目标。

**关键词:** 九龙滩浅滩河段; 航道整治; 泥沙冲淤特性

**中图分类号:** U 617.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2015)11-0098-07

## Waterway regulation to Jiulongtan shoal reaches in the Yangtze River

ZHONG Liang<sup>1,2</sup>, ZHOU Xin-jing<sup>2</sup>, XU Guang-xiang<sup>1,2</sup>

(1. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** There are three main navigation hindering areas in Jiulongtan shoal reaches of the Yangtze River, which are Guguqi, Jiaobatan and Sanjiaoqi. On the basis of navigation hindering cause analysis and combining the target and principle of waterway regulation, we propose the regulation schemes. The 2-D flow and sediment mathematical model is applied to investigate the regulation effects of different schemes. According to the flow conditions and sediment erosion and deposition characteristics of the typical year, we compare and optimize the waterway regulation schemes, and then propose the recommended one. Using the flow and sediment series data of year 2002 to 2011, we study the laws of long-term channel sedimentation, the results of which show that after implementation of the recommended scheme, the channel scale meets the design requirements and can remain stable, which indicates that the regulation effect is remarkable and has achieved the expected goal.

**Keywords:** Jiulongtan shoal reaches; waterway regulation; sediment erosion and deposition characteristics

为推动国民经济的持续快速稳定增长, 国务院 2014 年政府工作报告中提出了“依托黄金水道、建设长江经济带”的发展战略, 给我国内河航运事业发展带来了重大契机。长江重庆主城区河段沿岸经济发达, 港口码头众多, 是长江黄金水道的重要组成部分; 交通运输部《长江干线航道总体规划纲要》指出, 至 2020 年, 该河段航道

等级将提升为内河 I 级, 航道尺度应达到 3.5 m × 150 m × 1 000 m (设计水位下的航深 × 航宽 × 弯曲半径); 然而, 目前该河段受九龙滩等多处碍航滩险的影响, 航道等级仅为内河 III 级, 维护尺度 2.7 m × 50 m × 560 m, 且还需进行经常性疏浚方能保持, 与航道建设目标尚有较大差距, 急需对相关滩险进行整治以提升其航道等级。

收稿日期: 2015-03-25

<sup>\*</sup>基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目 (CSTC2015JCYJA90013); 国家自然科学基金资助项目 (51509026)

作者简介: 钟亮 (1980—), 男, 博士, 副教授, 从事航道整治理论与技术研究。

九龙滩河段距宜昌航道里程 670 ~ 674 km, 是泥沙淤积的重点区域<sup>[1]</sup>, 形成碍航浅滩。虽自 20 世纪 50 年代以来历经多次整治, 但其碍航问题至今依然存在, 在三峡水库 175 m 蓄水运行后的消落期尤为突出。由于九龙滩河段两岸码头多、航运任务重, 其整治问题也备受关注, 并有一些研究, 如邓桂香等<sup>[2]</sup>采用河工模型试验探讨了航槽选择问题, 张晓明等<sup>[3]</sup>提出可通过浅滩开挖与修建整治建筑物相结合的方式对其进行整治, 然而, 上述研究主要针对三峡水库 175 m 蓄水前的早期情况。近年来, 随着长江上游向家坝和溪洛渡等水电工程的建设以及水土保持措施的加强, 九龙滩河段的来水来沙条件发生了较大变化, 虽上游来沙量明显减少, 但汛后走沙能力也骤减, 河道内有累积淤积量<sup>[4-5]</sup>, 可能加剧浅滩碍航程度。因此, 针对这种新的变化, 开展长江九龙滩河段浅滩航道整治研究是十分必要的, 该研究成果对科学制定适用于新型水文泥沙情势的航道整治方案具有重要的指导意义。

## 1 滩险成因

长江九龙滩河段平面形态微弯, 呈两头窄、中间宽的藕状 (图 1)。滩险类型属卵石浅滩, 主要有鼓鼓碛、蕉芭滩和三角碛 3 处浅区碍航。

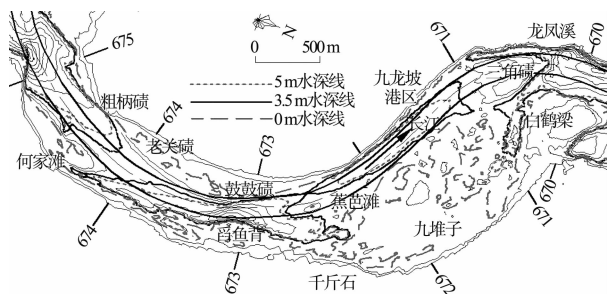


图 1 九龙滩河段河势

1) 鼓鼓碛。左岸为老关碛, 右岸为舀鱼背陡壁石盘, 航槽弯曲, 进口水流受右岸何家滩突嘴和左岸粗柄碛控制。舀鱼背深沱最大水深超过 30 m, 吸流作用强烈; 上游粗柄碛尾主流靠左, 然后经老关碛、鼓鼓碛向右岸舀鱼背深沱过渡, 形成滩面斜流; 深沱吸流和滩面斜流的共同作用, 导致

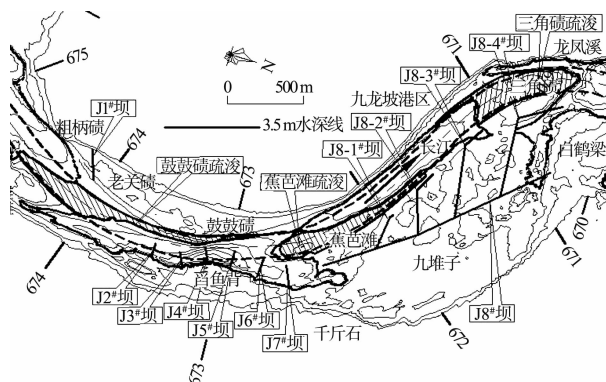
鼓鼓碛滩缘流速缓、输沙能力弱, 形成伸入航槽的滩体。因此, 舀鱼背深沱吸流、老关碛滩面横流是形成鼓鼓碛伸出较开、航槽狭窄的主因。

2) 蕉芭滩。紧接鼓鼓碛下游, 航槽微弯, 进口水流主要受舀鱼背挑流和尖潭吸流控制; 左岸进口是鼓鼓碛尾, 往下游岸线较平顺, 岸壁较陡; 右岸进口是向右伸开的千斤石尖潭, 往下游是九堆子大边滩, 滩缘凹凸不平, 滩面石包、水凼散乱。舀鱼背深沱向下游延伸的千斤石尖潭与航槽约呈 30° 夹角, 离开航槽伸入九堆子滩头, 水流流线顺尖潭后受九堆子阻碍突然挑出, 流线过分弯曲使环流较强, 横向输沙强度过大, 加之尖潭吸流作用, 泥沙在凸岸一侧堆积形成浅区。因此, 千斤石尖潭的存在是形成蕉芭滩出浅的关键原因。

3) 三角碛。深泓位于浅碛两侧, 左汊较直, 右汊弯曲; 左岸为九龙坡港区, 岸壁较陡且稳定; 右侧九堆子滩缘参差不齐, 串沟杂乱; 下游河槽为龙凤溪深沱, 最大水深超过 30 m, 右岸为大型石盘, 顶部高程超过 178 m (全文均为吴淞高程系统), 大洪水漫顶。三角碛滩险成因十分复杂, 是河道宽阔、九堆子边滩散乱不完整、串沟水流与主流碰撞掺混、碛尾横轴环流的综合作用形成的。

## 2 整治方案

九龙滩浅滩航道整治采用“整治为主、疏浚为辅, 整治与疏浚相结合”的方法, 遵循“因势利导”的原则布置。结合滩险成因和整治目标, 在充分调研的基础上, 提出了 2 个方案 (图 2) 进行分析比较。



a) 方案 1

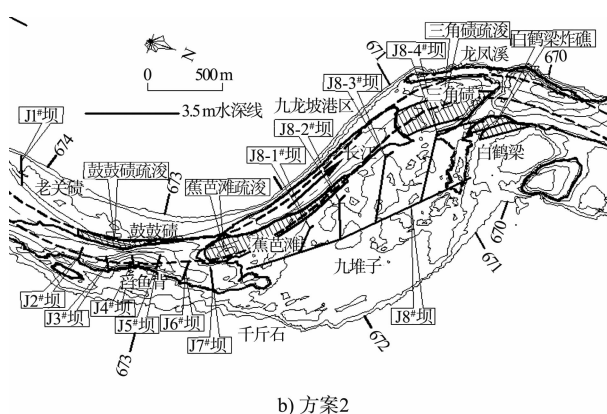


图2 整治方案平面布置

1) 方案1。设计航槽在鼓鼓碛段紧靠右侧舀鱼背布置,后沿左岸穿三角碛中部而下,弃用现有枯水右汉弯曲航槽,三角碛附近走左汉深槽左侧。

①疏浚:鼓鼓碛疏浚挖至 $-4.1\text{ m}$ (以当地设计最低通航水位为零点的高度,高程 $160.5\sim 160.7\text{ m}$ ),蕉芭滩疏浚挖至 $-4.1\text{ m}$ (高程 $159.8\sim 160.4\text{ m}$ ),三角碛疏浚挖至 $-4.2\sim -4.0\text{ m}$ (高程 $159.3\sim 159.6\text{ m}$ )。

②整治建筑物:在左岸布置1座丁坝(J1#)、在右岸舀鱼背附近布置5座潜坝(J2#~J6#)、1座潜丁坝(J7#)来改善流态和壅高水位,其中J1#丁坝的坝头和坝根分别高 $3.0\text{ m}$ 和 $3.2\text{ m}$ (高程分别为 $167.9\text{ m}$ 和 $168.1\text{ m}$ ),J2#~J6#潜坝坝顶高分别为 $-7.8$ 、 $-9.7$ 、 $-21.7$ 、 $-14.6$ 、 $-6.1\text{ m}$ (高程分别为 $157$ 、 $155$ 、 $143$ 、 $150$ 、 $158.5\text{ m}$ ),J7#潜丁坝的潜坝段长 $74.2\text{ m}$ 、顶高 $-6.0\text{ m}$ (高程 $158.5\text{ m}$ ),丁坝段长 $142.8\text{ m}$ 、顶高 $0\text{ m}$ (高程 $164.5\text{ m}$ );在九堆子处布置1套大型鱼骨坝,鱼骨坝由1条主坝(J8#坝)和4条支坝(J8-1#~J8-4#坝)组成,旨在将九堆子变为边界平顺、滩体稳定的洲滩,其中J8#坝的顶部高程为 $163.7\sim 170\text{ m}$ ,J8-1#~J8-4#坝的坝头、转点和坝根高程分别为 $166.7\sim 167.1\text{ m}$ 、 $166.7\sim 167.1\text{ m}$ 和 $170\text{ m}$ 。

2) 方案2。设计航槽在鼓鼓碛段紧靠右侧舀鱼背布置,后沿左岸穿三角碛航槽尽可能靠近右汉枯水航槽,擦白鹤梁边缘而下,三角碛附近走左汉深槽右侧。

①疏浚炸礁:鼓鼓碛和蕉芭滩疏浚与方案1相同,三角碛疏浚位置根据设计航槽相应调整,挖至 $-4.2\sim -4.0\text{ m}$ (高程 $159.5\sim 159.7\text{ m}$ );对白鹤梁进行两级炸礁,1级炸礁至 $-3.9\text{ m}$ (高程 $159.7\sim 159.8\text{ m}$ ),2级炸礁至 $0\text{ m}$ (高程 $163.5\sim 163.6\text{ m}$ )。

②整治建筑物:除鱼骨坝位置及走向根据三角碛疏浚范围稍作调整外,J1#~J7#坝的位置、长度及高程,鱼骨主坝及各支坝的坝顶高程均与方案1相同。

### 3 效果分析

#### 3.1 计算模型及其验证

应用平面二维水流泥沙数学模型进行研究,模型控制方程及其离散求解方法见文献[6]。采用长江朱沱水文站的实测水沙资料作为计算进口边界条件,出口水位综合考虑长江和嘉陵江两江汇流比以及三峡成库对寸滩水位的影响,采用一维水流数学模型推算得到<sup>[7]</sup>。经工程河段水面线、流速流向及河床变形等验证,模型计算结果与实测资料吻合较好,满足精度要求,可用于后文研究。

#### 3.2 水流条件

##### 3.2.1 主流流速

根据前文提到的航道整治目标进行枯水整治,设计水位采用综合历时保证率为98%的水位,设计流量 $Q_{\text{朱沱}}=2\,380\text{ m}^3/\text{s}$ ,整治流量选用第3造床流量( $Q_{\text{朱沱}}=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$ )。整治流量下,方案实施前、方案1及方案2设计航槽内的流速范围分别为 $1.04\sim 3.32\text{ m/s}$ 、 $1.06\sim 3.48\text{ m/s}$ 和 $1.04\sim 3.35\text{ m/s}$ ,方案实施后流速变幅分别为 $0.02\sim 0.57\text{ m/s}$ 和 $0\sim 0.52\text{ m/s}$ ,航槽内流速有所增加,有利于加强消落期泥沙冲刷。

##### 3.2.2 消滩判数

工程河段的急滩消滩判数为:

$$E = 155J + v^2 / (2g) \quad (1)$$

式中: $J$ 为水面比降; $v$ 采用表面流速;成滩临界值为 $0.80$ 。计算显示,方案实施前、方案1和方案2的航槽消滩判数范围分别为 $0.25\sim 0.67$ 、 $0.33\sim 0.72$ 和 $0.28\sim 0.70$ ,方案实施后消滩判数

较方案实施前略有增大, 但均小于临界值, 说明航槽流速增加后并未转变为急滩。

### 3.3 典型年泥沙冲淤特性

#### 3.3.1 计算水沙条件选取

实测资料显示, 近期长江重庆主城区河段的径流量和输沙量均有减少, 输沙量减少尤为明显。在对水沙序列进行全面分析比较的基础上, 确定选用 2002—2011 年 (2002-05-01—2012-04-30) 作为计算序列年, 该序列包含丰、中、枯等各种特征年份, 特征年较为完整, 且能充分体现近期输沙量急剧减小的趋势, 也能反映三峡水库蓄水影响。此外, 考虑到丰沙年对浅滩航槽维护较为不利, 并结合三峡水库蓄水后的滩段实际碍航情况, 选择序列年内的 2008 年作为计算典型年。

#### 3.3.2 枯水河槽冲淤量

根据三峡水库的调度方案, 汛期 6—9 月, 坝前虽低水位运行, 但流量较大, 不是航道尺度最不利时期; 汛后 10—12 月, 坝前高水位运行, 且流量不是最小时期, 航道尺度有较大富余; 年初 1—3 月, 虽属流量最小时段, 但坝前运行水位仍然较高, 航道尺度仍不属于最不利时期; 汛前 4—5 月坝前水位消落较低, 流量不太大, 属航道尺度较不利时期。因此, 为分析全年的演变过程和消落期通航尺度, 典型年冲淤计算分析将重点围绕汛末 (9 月底) 和消落期 (4 月底) 这两个时段。

对枯水河槽 (设计最低通航水位以下河槽, 里程 670 ~ 674 km) 的泥沙冲淤量统计结果显示, 与计算采用的 2011 年 9 月初始地形相比, 方案实施前九龙滩河段汛末总冲淤量为 39.89 万  $\text{m}^3$  (冲淤量淤积为 “+”, 冲刷为 “-”), 消落期总体呈现为冲刷态势, 总冲淤量为 -30.53 万  $\text{m}^3$ , 说明消落期仍有 9.36 万  $\text{m}^3$  的汛期淤沙残留在枯水河槽内。方案实施后, 在整治建筑物的束水攻沙作用下, 枯水河槽内的汛期淤沙减少, 消落期泥沙冲刷增强, 与方案实施前相比, 方案 1 和方案 2 的汛末淤积量分别减少了 3.91 万  $\text{m}^3$  和 3.72 万  $\text{m}^3$ , 而消落期冲刷量则分别增加了 4.29 万  $\text{m}^3$  和 3.10 万  $\text{m}^3$ , 消落期枯水河槽内的泥沙残存量分别

为 1.16 万  $\text{m}^3$  和 2.54 万  $\text{m}^3$ , 较方案实施前有明显减小, 对航道尺度的维护较为有利。

#### 3.3.3 消落期起冲时间

为分析比较方案实施前、后的消落期泥沙起冲时间, 以三角碛中部断面 (航道里程 670.68 km) 为例, 图 3 给出了该断面设计航槽内最高点高程 (初始高程 162.49 m) 和过水面积 (水位上限 5 m, 即 168.667 m) 的年内变化情况。图 3 充分显示了工程河段汛期淤积、消落期冲刷的河床冲淤演变特性, 从消落期的泥沙起冲时间来看, 方案实施前汛期淤沙在 4 月上旬起冲, 方案 2 因淤沙带右侧布置了整治建筑物, 其束流作用可使起冲时间提前至 3 月底, 方案 1 由于三角碛航槽依托左槽布置, 右侧 J8-3<sup>#</sup>、J8-4<sup>#</sup> 坝较方案 2 左移了 40 ~ 50 m, 中、枯水河槽继续缩窄, 冲刷能力得以加强, 消落期航槽泥沙起冲时间可进一步提前至 3 月中下旬, 从而使消落期航槽冲刷历时较方案实施前增加约 20 d, 对消落期航槽尺度维护是有利的。

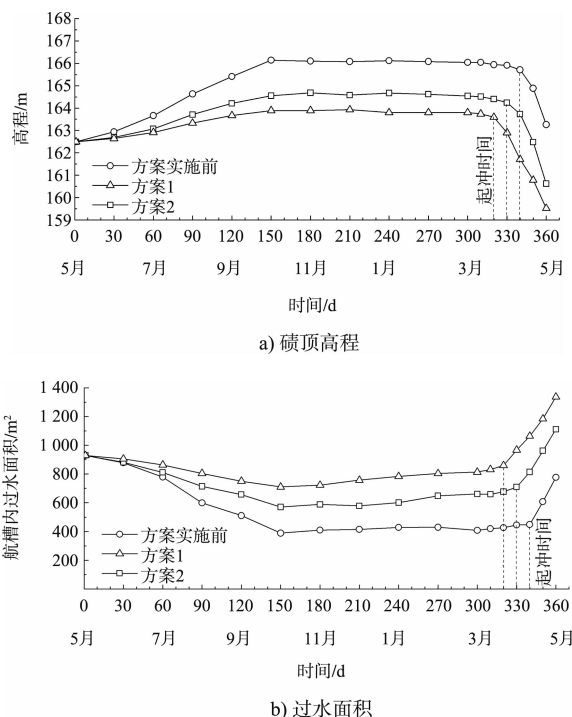
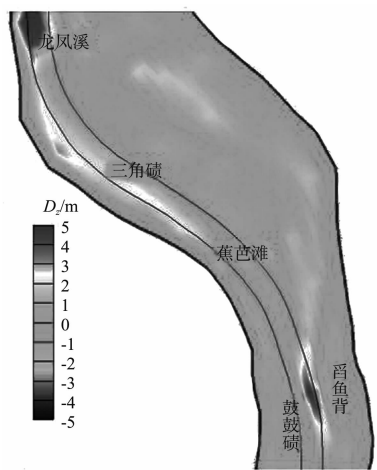


图 3 三角碛顶高程和代表断面过水面积变化

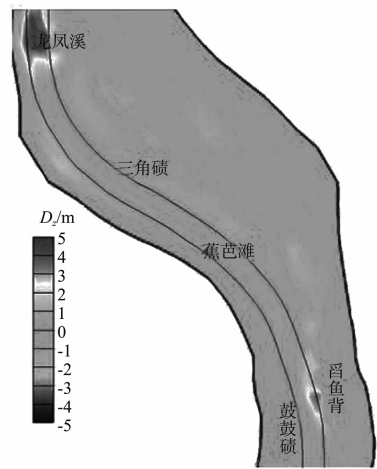
#### 3.3.4 消落期冲刷强度

为分析消落期的泥沙冲刷强度, 选取各方案在消落期 (4 月 30 日) 的航槽淤沙分布情况进行比较 (图 4), 可见, 同一日期航槽内的淤沙残存

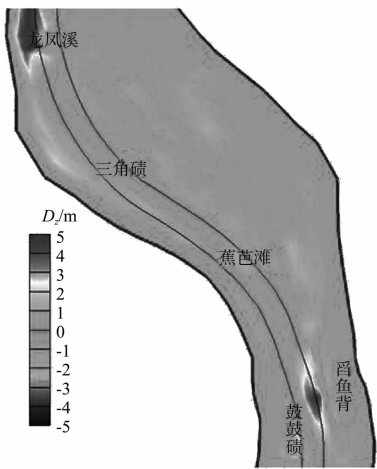
量方案实施前最多，方案 2 次之，方案 1 最少，说明整治方案对消落期航槽淤沙冲刷起到了明显的作用，且方案 1 的淤沙冲刷强度要略大于方案 2，可更有效地保证消落期航槽尺度。



a) 方案实施前



b) 方案1



c) 方案2

图 4 典型年消落期淤沙分布对比

3.3.5 方案推荐

从两方案在水流条件和典型年泥沙冲淤特性方面的对比分析来看，方案 1 总体要优于方案 2，但消落期该方案在鼓鼓碛疏浚区出现了小范围的泥沙回淤，需作局部优化。经反复调试，拟将方案 1 的 J4<sup>#</sup>潜坝高程从原来的 143 m 提高到 150 m，提高了 7 m，以优化流速分布、减缓或消除鼓鼓碛疏浚区的泥沙回淤问题，并将优化后的方案 1 称为推荐方案。下面采用 2002—2011 年水沙序列资料，进一步探讨推荐方案实施后的航槽泥沙冲淤规律及其稳定性问题。

3.4 序列年泥沙冲淤特性

3.4.1 泥沙冲淤规律

1) 总体冲淤特点及冲淤过程。

序列年泥沙冲淤总体具有以下特点：①汛期淤积，消落期冲刷，水文年内表现为淤积。②序列年内泥沙冲淤规律和冲淤部位具有年复性，各水文年内的泥沙冲淤规律基本一致，冲淤后地形较为相似，且与典型年较吻合。③汛期弯道凸岸边滩冲刷、凹岸深沱淤积，舀鱼背、龙凤溪深沱淤积较为明显。④汛期淤积在滩段主航槽内的泥沙在消落期得到冲刷，主航槽年内冲淤基本平衡，淤沙残存量较少。

序列年泥沙冲淤过程为：①第 1 a 汛末鼓鼓碛和蕉芭滩局部疏浚区呈现最大冲深约 1 m 的冲刷，三角碛疏浚区出现大量淤积，最大淤厚可达 4 m，舀鱼背深沱略有淤积，龙凤溪深沱淤积明显，平均淤厚约 5 m；消落期鼓鼓碛和蕉芭滩疏浚区仍表现为微冲，在 J8<sup>#</sup>坝及其支坝的束水攻槽作用下，三角碛汛期淤沙在消落期基本冲完，龙凤溪淤积减弱。②第 5 a 汛末三角碛主槽和龙凤溪深沱的淤沙稍有增加，其余位置冲淤变化较小；消落期地形与第 1 a 消落期地形差异不大，主槽汛期绝大部分淤沙已被冲走。③第 10 a 汛末整个河段地形与第 5 a 总体较为接近，三角碛主航槽淤积稍有增加；消落期冲淤变化与第 5 a 消落期基本一致，主槽内基本不发生泥沙淤积。

2) 泥沙冲淤规律变化。

方案实施前汛期泥沙淤积的重点部位为舀鱼背深沱、龙凤溪深沱和三角碛主槽 (图 5 a)), 序列年内的前 5 a 龙凤溪深沱和三角碛航槽汛期淤厚缓慢增加, 此后基本保持稳定; 三角碛航槽汛期淤沙在消落期可得到较为明显的冲刷, 各年消落期航槽内淤沙残留量较少; 舀鱼背深沱淤沙无明显累积, 各年淤积形态较为接近。消落期鼓鼓碛和蕉芭滩处有最大冲深约 1.0 m 的冲刷, 九堆子处有长约 800 m、宽约 200 m、厚约 1.0 m 的淤积

体; 其余区段序列年内冲淤变化较小, 基本保持稳定状态。

与方案实施前相比, 推荐方案实施后消落期泥沙冲刷加强, 主槽泥沙残存量明显减少 (图 5 b))。结果显示, 三角碛处汛末形成的淤积带消落期将得到冲刷, 且主槽汛期淤沙的残存量要明显小于方案实施前, 说明消落期泥沙冲刷强度明显增强; 同时鼓鼓碛 J4#潜坝增高 7 m 后, 对增强疏浚区输沙能力有一定作用, 疏浚区局部回淤问题基本得到解决。

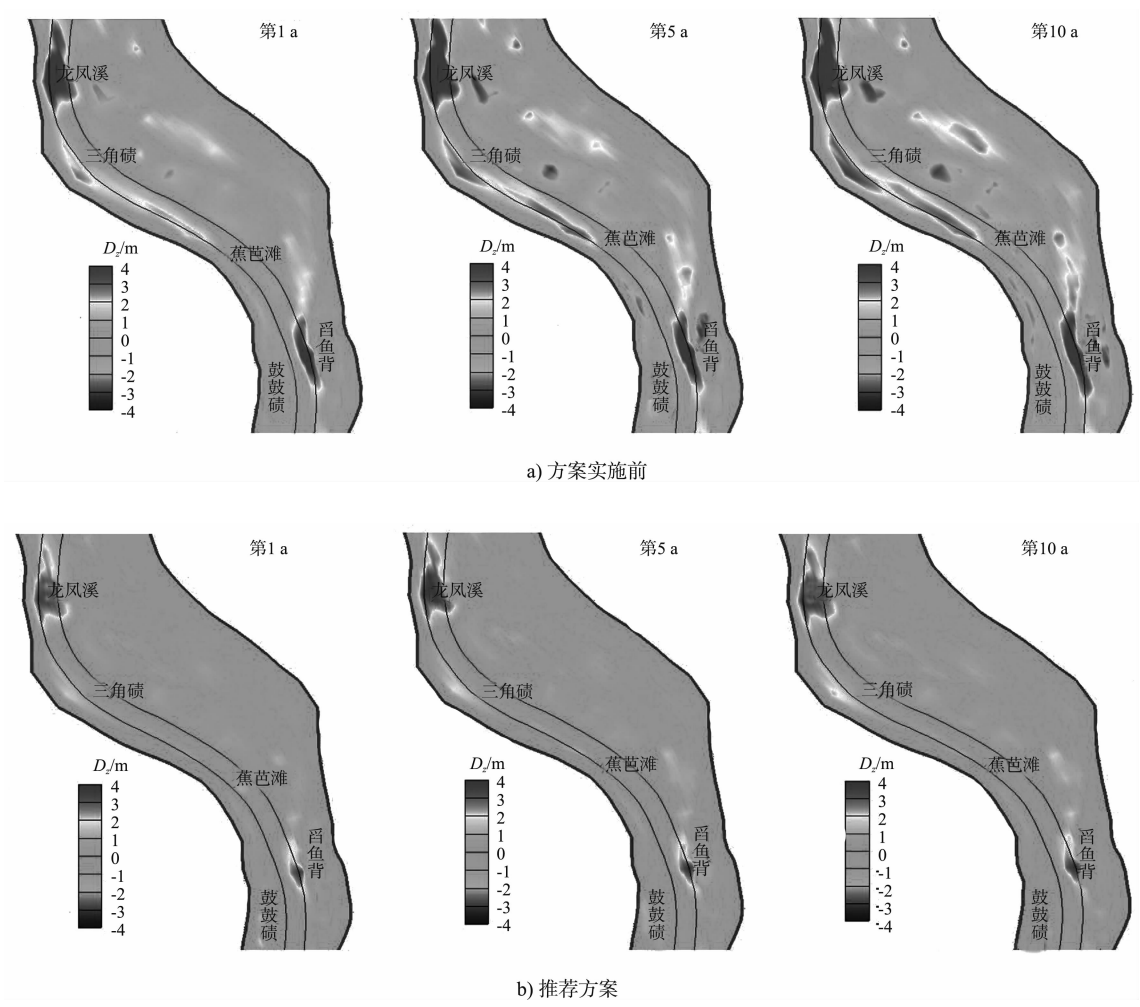


图 5 序列年消落期地形冲淤变化对比

3.4.2 航槽稳定性

根据三峡水库调度方案, 工程河段汛末水位较高, 航槽内 3.5 m 设计水深可以满足, 航道尺度满足设计要求。研究显示, 推荐方案实施后, 汛期淤积泥沙的绝大部分消落期能被冲走, 航槽

内基本不残存汛期淤沙, 在鼓鼓碛和蕉芭滩挖槽区汛期和消落期以微量冲刷为主, 基本无泥沙淤积, 航槽内 3.5 m 等水深线均已完全贯通。因此, 航道尺度满足规划要求, 航槽稳定性可长期保持。

4 结语

1) 九龙滩卵石浅滩位于长江重庆市主城区河段,工程河段的航道等级规划为内河Ⅰ级,但现状航道的尺度远未达到规划标准,尤其在三峡水库消落期碍航问题较为突出,为建设长江黄金水道,加快区域经济发展,对其进行整治十分必要。

2) 九龙滩河段主要有鼓鼓碛、蕉芭滩和三角碛3处浅区碍航,鼓鼓碛浅区主要由于舀鱼背深沱吸流和老关碛滩面横流所致,蕉芭滩出浅的主因是千斤石尖潭挑流和吸流,三角碛浅区是因河道宽阔、九堆子边滩散乱不完整、串沟水流与主流碰撞掺混以及碛尾横轴环流等综合作用形成的。

3) 在滩险成因分析的基础上,结合工程河段的航道整治目标原则,提出了航道整治方案,应用平面二维水流泥沙数学模型,对整治方案实施后的航槽水流条件、典型年泥沙冲淤特性和序列年泥沙冲淤特性进行了系统研究,结果显示,采用疏浚和筑坝(包括丁坝、潜坝、潜丁坝和大型鱼骨坝)相结合的推荐方案实施后,消落期泥沙起冲时间提前,冲刷历时延长,冲刷能力加强,航槽尺度满足设计要求且可保持稳定,达到了预期整治目标。

4) 探讨了新水文泥沙情势下的九龙滩浅滩航道整治方案,对方案效果的分析评价全面系统,可为类似工程方案的设计、优化及评价提供借鉴参考。

参考文献:

[1] 付旭辉,杨胜发,伍文俊.三峡水库蓄水175 m后重庆九龙坡河段冲淤变化[J].人民长江,2012,43(20):21-24.

[2] 邓桂香,程昌华.长江上游九龙滩航道整治试验研究[J].重庆交通学院学报,1995,14(3):72-80.

[3] 张晓明,安利,文岑.重庆九龙坡河段航道整治措施[J].中国港湾建设,2005(4):36-40.

[4] 黑鹏飞,刘洪春,陈稚聪.基于冲淤判定因子的长江重庆九龙坡河段汛后走沙规律研究[J].泥沙研究,2012(5):43-48.

[5] 陈稚聪,刘洪春,黑鹏飞.长江重庆九龙坡河段泥沙淤积规律初步分析[J].泥沙研究,2009(4):7-11.

[6] 钟亮,许光祥,周鑫靖.长江上游胡家滩航道整治数值模拟研究[J].水运工程,2015(5):153-160.

[7] 钟亮,许光祥.长江上游九龙坡至朝天门河段航道建设工程工可阶段数学模型研究报告[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,重庆交通大学,2014.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第93页)

3.2.3 纵向叉桩优化前后桩基内力结果对比

本工程建立三维空间模型,对纵向叉桩优化前后的方案进行模拟分析计算,计算结果见表3。

表3 三维模型桩基内力计算结果

| 组合    | 承载能力极限状态<br>持久组合设计值 |             |                 | 正常使用极限状态<br>标准组合设计值 |              |
|-------|---------------------|-------------|-----------------|---------------------|--------------|
|       | 最大<br>桩力/kN         | 最小<br>桩力/kN | 最大弯矩/<br>(kN·m) | 最大应<br>力/MPa        | 最小应<br>力/MPa |
| 桩基内力  |                     |             |                 |                     |              |
| 优化前方案 | 5 786               | -1 154      | 1 091           | 19.60               | -8.49        |
| 优化后方案 | 5 804               | -1 234      | 1 135           | 19.83               | -8.85        |

从计算结果可以看出,调整纵向叉桩布置后桩基内力仍满足PHC桩的受力要求,说明纵向叉桩后移方案是合适的。

4 结语

1) 在以设计为主导的EPC模式下,设计更加注重方案优化,通过增设桩帽调整横梁局部刚度、调整叉桩斜度等优化措施减少了斜桩数量并使各桩基受力均匀,充分有效发挥了PHC桩的作用,该优化措施是合理有效的;

2) 在这种EPC模式下,充分发挥设计与施工相结合的优势,在保证工程质量、满足施工进度等方面取得良好效果。

参考文献:

[1] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].

[2] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].

[3] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)