



# 新开航槽对山区弯曲分汊河道 水沙输移的影响\*

黄 遥<sup>1</sup>, 张建宝<sup>2</sup>, 周 勤<sup>1</sup>, 侯 极<sup>1</sup>

(1. 重庆交通大学西南水运工程科学研究所, 重庆 400074; 2. 交通运输部水运科学研究所, 北京 100088)

**摘要:** 长江上游渣角河段是典型的分汊河段, 具有弯、浅、险、急的枯水碍航特性。基于渣角滩的碍航特性, 提出了两汉通航的航道整治方案。采用物理模型试验与二维水沙数值模型计算相结合的方法, 分析开槽前后该河段的水流及泥沙运输特性。新开航槽后, 左汊分流明显, 滩口段流态得到明显改善; 随着来流量的增加, 新槽成为泥沙主要输移路径, 且新槽内仅洪水期出现少量泥沙淤积现象; 同时卵石推移质运动满足洪淤枯冲和年内冲淤平衡规律, 两汉航槽稳定性较好。

**关键词:** 新开航槽; 弯曲分汊河道; 水沙运动特性

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)09-0093-08

## Effect of newly-developed channel on water and sediment transport in curved and branched rivers in mountainous areas

HUANG Yao<sup>1</sup>, ZHANG Jian-bao<sup>2</sup>, ZHOU Qin<sup>1</sup>, HOU Ji<sup>1</sup>

(1. Chongqing Southwestern Research Institute for Water Transport Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;  
2. China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100088, China)

**Abstract:** The Zhajiao reach is a typical branching reach in the upper Yangtze River, which has low water obstruction to navigation of curving and shallow water channel with a high velocity. Based on the navigational characteristics, the regulation scheme of navigation by two branches is put forward. By a combination method of physical model experiment and two-dimensional numerical model calculation of water and sediment, the characteristics of water flow and sediment transport before and after excavation are analyzed. While excavating the new channel, the left branch diverges obviously, and the flow pattern in the beach mouth is improved. The new channel becomes the main transport path of sediment with the increase of the coming flow, and there is little sediment deposition. Meantime the bed load movement of pebbles meets the law of flood-silting and dry-scouring balance within a year, and the two branching channels stability is good.

**Keywords:** newly-developed channel; bending braided reach; water-sand movement characteristics

渣角滩是我国西南山区河流中广泛存在的一种比较特殊的河型, 是航道整治中较为复杂的滩险之一。为落实国务院建设长江经济带、打造黄

金水道的战略部署, 将渣角滩河段由Ⅲ级航道(2.7 m×50 m×560 m)提升至Ⅱ级航道(3.5 m×60 m×800 m), 成为长江航道整治的重难点。分

收稿日期: 2021-01-02

\*基金项目: 国家重庆研发计划项目(2016YFC0402004); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN202000716); 重庆交通大学河海学院研究生科研创新(创新基金)项目(YC2020004)

作者简介: 黄遥(1998—), 女, 硕士研究生, 从事航道整治研究。

通讯作者: 侯极(1987—), 男, 博士, 助理研究员, 从事河流动力学研究。E-mail: xks-houji@foxmail.com。

汉河道的水沙运动特征较单一河道更为复杂,国内外许多学者对弯曲分汉河段水沙运动进行了研究。Nakato 等<sup>[1]</sup>和 Wang Ya-lin 等<sup>[2]</sup>对汉道进口段降低汉道淤积程度的相关工程措施进行过研究。丁君松等<sup>[3]</sup>、余文畴等<sup>[4]</sup>和韩其为等<sup>[5]</sup>建立了可用于估算自然条件下汉道分流分沙比的计算公式。蔡国正等<sup>[6]</sup>将模型试验与工程实践经验相结合,对分汉型急流滩在不同开挖形式下的水力特性进行分析研究。随着对分汉浅滩水沙运动特性和浅滩碍航特征的深入研究,学者们<sup>[7-10]</sup>对弯曲分汉河道提出了开槽分流或开挖新槽的整治思路。van Maren 等<sup>[11]</sup>利用数值模拟计算,探讨了渠道疏浚措施对泥沙分布及淤积的影响。李文全等<sup>[12]</sup>利用物理模型研究发现挖槽疏浚与其他工程措施相结合,更能维持挖槽的稳定性。廖江花<sup>[13]</sup>通过动床试验和数值模拟计算分析了称杆碛河段新挖航槽水动力条件与卵石输移特性的变化。川江典型滩险的神背嘴滩、铜鼓滩和风簸碛均采用基建性疏浚与整治建筑物相结合的整治方案,开挖直槽通航,试验结果均表明可较好解决滩段的碍航问题<sup>[14-15]</sup>。

本文采用原型观测资料分析、物理模型定床输沙试验及二维水沙数值模拟相结合的技术路线,模拟挖槽前后研究河段的流场分布情况,分析水流运动特性的变化。利用物理模型对典型枯水流量进行定床输沙试验,结合洪、中、枯 3 个工况及长序列的泥沙冲淤数值模拟计算结果,研究新开航槽对弯曲分汉河段泥沙运动特性的影响。

## 1 河段概况

渣角滩位于长江上游鱼洞河道,滩段长约 1 km,江心中有中堆卵石碛,枯水期时中堆露出河面,河道呈现出分汉特性。右汉为主汉,较为弯曲(弯曲半径大于 800 m),航槽断面为深窄型,水面宽 150~180 m;左汉航道顺直,过流量较小,水深约 1 m,不满足通航要求。从渣角滩段河势(图 1)可以看出,滩段上游最窄水面宽约

440 m,洪水期时中堆淹没,河道呈单一型,最宽过水断面约 1 100 m,过水断面展宽比为 2.5。研究河段上游约 108 km 设有长江朱沱水文站(上游航道里程 806 km),且研究河段与朱沱站间无大型支流入汇。朱沱站 1954—2018 年统计资料显示,径流年际变化不大,年径流量 2 674 亿  $\text{m}^3/\text{s}$ 。径流年内分配与降水的季节性变化基本一致,7—9 月为降雨最集中的季节,径流量 1 399 亿  $\text{m}^3/\text{s}$ ,占年径流总量的 52.3%。朱沱站 1974 年开始卵石推移质测验,该站卵石推移质最大粒径大于 200 mm,多年平均中值粒径为 55.5 mm,平均年推移质量约 27 万 t,其中 7—9 月占全年的 90% 以上。

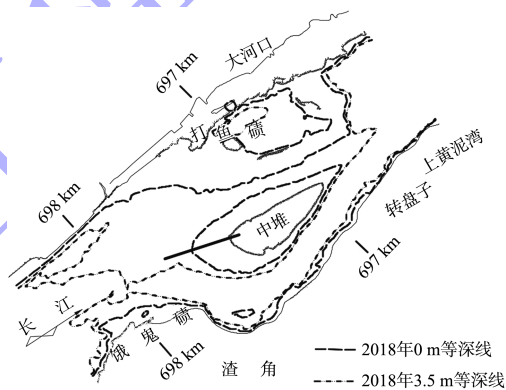


图 1 渣角滩段河势

近几十年国家大力发展水运事业,重点维护航道安全和提升航道等级。为改善该滩段枯水期弯汉水流弯、浅、险、急的水流特性,1975 年于中堆上游修建了碛头坝,并对中堆碛脑进行了疏浚,航行条件得到一定改善。对比分析 1959、1973、2007 和 2018 年枯水期实测的河床地形图得知,该滩段岸线、整体滩槽格局基本保持一致。多年深泓整体平面位置保持基本稳定,碛头坝的修建使水动力轴线发生偏转,导致碛头坝附近深泓平面位置发生微弱偏移。多年深泓纵向变化的凹凸位置基本一致,未出现单向冲淤规律。断面地形基本保持一致,仅中堆尾部因采砂活动导致滩面明显下降。总体来说,研究河段河床基本稳定,冲淤变化不大。

2 航道整治思路及整治方案

研究河段枯水期来流量较小, 左汊浅脊壅水, 使得滩口段横流现象明显, 进入右汊的扫弯水水势较强, 在右汊入口处形成较大范围的急流区。同时由于岩石突嘴和暗礁的存在, 使得船舶上行耗时较长, 下行存在擦浅打抢、触及渣角岩石突嘴之险。对山区弯曲分汊航道的整治通常采取的措施有两类: 提升现行航道的通航能力, 以达到航道等级要求; 或对顺直汊道进行整治, 开辟直槽通航。综合考虑渣角滩碍航特性及Ⅱ级航道(3.5 m×60 m×800 m)通航要求, 提出了单汊和两汊通航的航道整治思路<sup>[16]</sup>。其中, 研究河段弯汊枯水期水浅、险、急, 可采取疏浚浅区与筑坝相结合的方式, 改善滩口段水流不良流态, 满足航道尺寸标准。左汊航道顺直可通过开挖新槽, 辅以整治建筑物, 使得研究河段上下游平顺连接, 缩短船舶航行路程。在单汊通航的基础上, 若同时对两汊进行整治, 河道内整治建筑物使得左汊新槽内水流条件满足航行要求, 同时左汊的分流也可使滩口段的横流及剪刀水现象得到改善, 提高右汊的航行条件。寻求左、右汊之间的平衡, 即可达到两汊通航的整治要求。

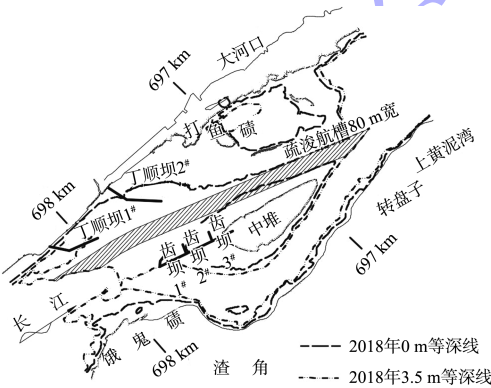


图2 渣角滩段航道整治措施

结合挖槽稳定性要求以及研究河段近期河床演变规律, 采用平面比尺 $\lambda_L=100$ 、垂直比尺 $\lambda_H=100$ 的物理模型进行试验, 最终选择两汊通航整治思路, 具体整治方案(图2)如下: 于左汊开挖宽

度为80 m、槽底高程为设计水位(171.18 m)下4 m的新槽, 使得研究河段上下游平顺连接, 在新槽左侧上段布置两道丁顺, 归顺左汊水流。拆除原有磙头坝, 沿中堆卵石磙左缘新建一道长顺坝, 并于其左侧布置3道齿坝, 调整左右两汊分流比, 改善滩口段水流流态。河道中建筑物坝体高程均为设计水位上2.5 m。

3 挖槽后水流运动特性变化

为研究该滩段新开直槽后的水流运动特性变化, 建立研究河段的二维水动力模型。模型进口边界条件为给定流量, 出口边界条件由对应水位控制, 岸边界采用水流无滑移, 模型初始水位采用下边界水位, 初始流速均设置为0 m/s。分别模拟研究河段挖槽前后设计流量( $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$ )和整治流量( $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$ )下的流场分布(图3、4), 分析两汊航槽内流速及流态变化、分流比变化和沿程比降变化。

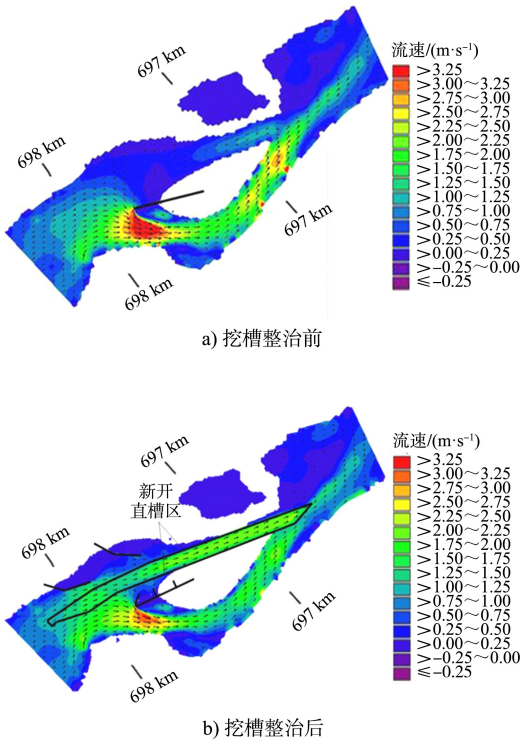


图3 设计流量 $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$ 下渣角河段挖槽整治前后流场分布

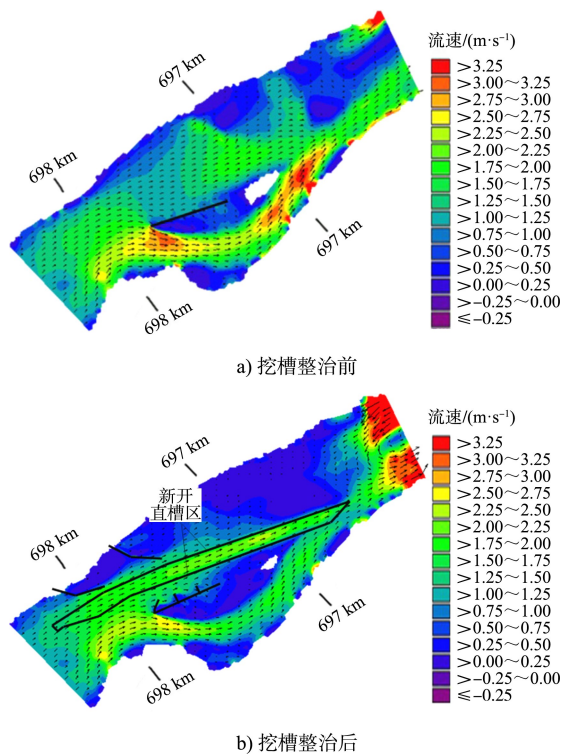


图 4 设计流量  $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$  下渣角河段挖槽  
整治前后流场分布

3.1 流态及流速变化

研究河段新开航槽前后设计流量和整治流量下航槽平均流速见表 1。天然情况下由于左汉浅脊壅水，设计流量时左汉过流量较小，航槽内流速约  $0.4\text{ m/s}$ 。滩口段横流现象明显，扫弯水水势较强，加之碛头坝、饿鬼碛与渣角岩石突嘴缩窄槽口，致使右汉入口处急流区流速高达  $4.09\text{ m/s}$ 。当上游来流量增加到整治流量时，左汉过流量增加，航槽内断面流速呈增大趋势，最大流速约  $2.68\text{ m/s}$ 。同时，滩口段横流现象减弱，右汉入口处急流区的最大流速减小，约  $3.54\text{ m/s}$ 。左汉新开航槽后，上下游平顺连接，过流量增大明显，设计流量时新槽内最大流速约  $2.58\text{ m/s}$ ，滩口段的横流现象明显改善，右汉入口处急流区范围缩小，最大流速约  $3.55\text{ m/s}$ 。整治流量时左汉新槽中下段形成高速水流带，最大流速约  $3.5\text{ m/s}$ ，右汉航行条件得到进一步改善。

表 1 渣角河段挖槽整治前后航槽平均流速变化

| 分区     | 航道里程/km | 流速变化/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) |      |       |                                |      |       |                                |      |       |                                |      |       |
|--------|---------|---------------------------------------|------|-------|--------------------------------|------|-------|--------------------------------|------|-------|--------------------------------|------|-------|
|        |         | 左汉                                    |      |       |                                |      |       | 右汉                             |      |       |                                |      |       |
|        |         | $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$        |      |       | $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$ |      |       | $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$ |      |       | $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$ |      |       |
|        |         | 挖槽前                                   | 挖槽后  | 变化值   | 挖槽前                            | 挖槽后  | 变化值   | 挖槽前                            | 挖槽后  | 变化值   | 挖槽前                            | 挖槽后  | 变化值   |
| 滩口段    | 698.2   | 1.34                                  | 1.39 | 0.05  | 2.47                           | 2.07 | -0.40 | 1.34                           | 1.39 | 0.05  | 2.47                           | 2.07 | -0.40 |
|        | 698.0   | 1.23                                  | 1.27 | 0.04  | 2.37                           | 2.01 | -0.36 | 1.23                           | 1.27 | 0.04  | 2.37                           | 2.01 | -0.36 |
| 分流及分汉区 | 697.8   | 0.90                                  | 1.50 | 0.60  | 2.10                           | 2.05 | -0.05 | 3.19                           | 2.87 | -0.32 | 3.27                           | 2.37 | -0.90 |
|        | 697.6   | 0.22                                  | 1.75 | 1.53  | 1.39                           | 2.59 | 1.20  | 2.82                           | 2.04 | -0.78 | 2.77                           | 2.35 | -0.42 |
|        | 697.4   | 0.31                                  | 1.87 | 1.56  | 2.38                           | 1.91 | -0.47 | 1.50                           | 2.60 | 1.10  | 2.71                           | 2.27 | -0.44 |
|        | 697.2   | 0.39                                  | 2.02 | 1.63  | 1.87                           | 2.62 | 0.75  | 1.45                           | 1.17 | -0.28 | 2.10                           | 1.41 | -0.69 |
| 汇流区    | 696.4   | 0.91                                  | 1.59 | 0.68  | 1.60                           | 2.13 | 0.53  | 0.91                           | 1.59 | 0.68  | 1.60                           | 2.13 | 0.53  |
|        | 696.2   | 1.10                                  | 1.07 | -0.03 | 1.29                           | 1.65 | 0.36  | 1.10                           | 1.07 | -0.03 | 1.29                           | 1.65 | 0.36  |

3.2 分流比变化

研究河段中整治建筑物的不同布置方式具有不同的分流效果，从表 2 中数据可以看出，新开航槽后设计流量时左汉过流量增加尤为明显，约 15.9%。整治流量时左、右两汉分流比也由 3:7 增大到 4:6，说明研究河段左汉新开航槽后新建整治建筑物调整分流作用显著，有利于为左汉创造通航条件，同时也在一定程度上改善了右汉的通航水流条件。

表 2 挖槽整治前后分流比变化

| 流量/<br>( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) | 分流比/% |      |      |      |      |       |
|-------------------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|
|                                           | 左汉    |      |      | 右汉   |      |       |
|                                           | 整治前   | 整治后  | 变化值  | 整治前  | 整治后  | 变化值   |
| 2 230                                     | 8.7   | 24.6 | 15.9 | 91.3 | 75.4 | -15.9 |
| 5 520                                     | 32.3  | 41.9 | 9.6  | 67.6 | 58.1 | -9.6  |

3.3 沿程比降变化

为分析研究河段新开航槽后两岸水面比降变化，计算渣角河段滩口(698.4~697.7 km)、分流及分汉区(697.7~697.1 km)以及中堆尾部附近



(697.1~696.6 km) 的两岸沿程比降见表 3。天然情况下, 左汊浅脊壅水横流现象明显, 使得局部最大比降出现在滩口段。左汊新开航槽后, 局部最大比降位置发生了转移。设计流量时由于左汊显著的分流作用, 滩口段右岸比降变化明显, 下

降了 0.62, 局部最大比降出现在中堆尾部。当来流量增加到整治流量时, 左汊过流量进一步增大, 丁顺坝和齿坝束水作用明显, 局部最大比降出现在滩口段丁顺坝的下游, 但相比新开航槽前, 两岸沿程比降变化较小。

表 3 研究河段挖槽整治前后沿程比降

| 左、右岸里程/km     | 左岸比降                           |       |                                |      | 右岸比降                           |       |                                |       |
|---------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|               | $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$ |       | $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$ |      | $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$ |       | $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$ |       |
|               | 挖槽前                            | 挖槽后   | 挖槽前                            | 挖槽后  | 挖槽前                            | 挖槽后   | 挖槽前                            | 挖槽后   |
| 698.40~697.90 | 0.53                           | 0.65  | 0.93                           | 1.02 | 1.39                           | 0.77  | 0.71                           | 0.74  |
| 697.90~696.90 | 0.32                           | -0.05 | 0.13                           | 0.17 | 0.27                           | 0.70  | 0.83                           | 0.79  |
| 696.90~696.60 | 1.36                           | 1.08  | 0.26                           | 0.24 | -0.40                          | -0.38 | -0.50                          | -0.61 |

4 挖槽后泥沙运动特性变化

为定性分析研究河段新开航槽对泥沙运动特性的影响, 根据泥沙运动相似条件, 定床试验中模型沙采用密度  $1.35\text{ t/m}^3$ 、 $\lambda_d$  为 21.21 的轻质沙 (荣昌精煤), 分别对枯水流量  $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$  (设计流量)、 $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$  (整治流量) 及  $Q=8\,400\text{ m}^3/\text{s}$  (多年平均流量) 进行定床输沙试验, 分析研究河段呈现出分汊特性时泥沙输移路径的变化。同时通过二维水沙数值模拟方法对洪、中、枯 3 级流量下研究河段开槽整治前后和开槽整治 10 a 后 (以朱沱站 2008—2018 年实测水文泥沙资料为边界条件) 的泥沙冲淤变化情况。

4.1 泥沙输移路径变化

根据定床输沙试验结果绘制的对应流量级下的泥沙淤积带分布见图 5~7。天然情况下, 设计流量和整治流量时的水动力轴线位于右汊, 泥沙的主要输移路径也在右汊, 仅磧头坝右侧和汇流区出现微量泥沙落淤。多年平均流量时, 中堆基本淹没, 水动力轴线向左移动, 大部分泥沙随主流一起进入左汊运动, 且左汊内未出现明显泥沙淤积现象, 仅右汊入口处和汇流区航槽两侧出现少量泥沙淤积。左汊新开航槽后, 设计流量和整治流量时左汊过流量增加明显, 其输沙能力和输沙强度也有显著增强, 仅小部分泥沙通过右汊, 且淤积带位置与开槽前大致保持一致, 但淤积带

的范围和淤积高度均有所缩减。多年平均流量时, 卵石推移质的输移范围进一步向河心扩展, 右汊航槽沿程出现微量泥沙淤积, 同时河道中新建整治物附近也出现淤积带分布。

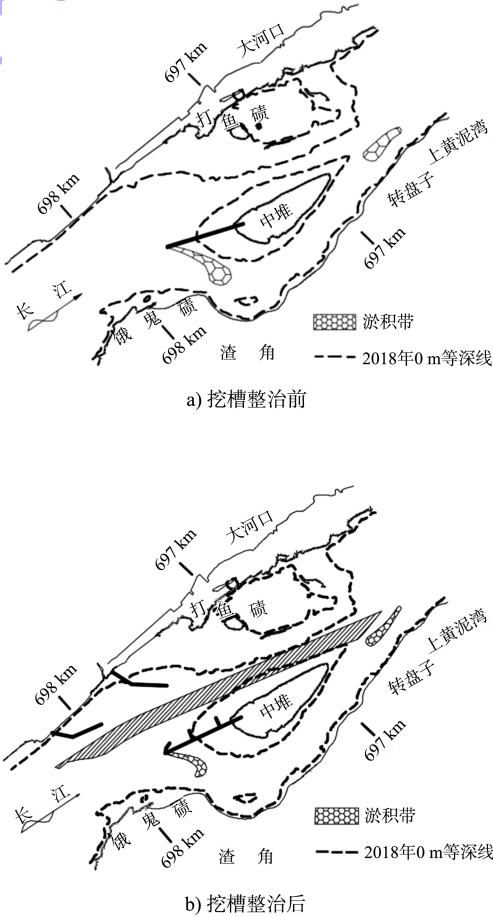


图 5  $Q=2\,230\text{ m}^3/\text{s}$  时挖槽整治前后输沙路径变化

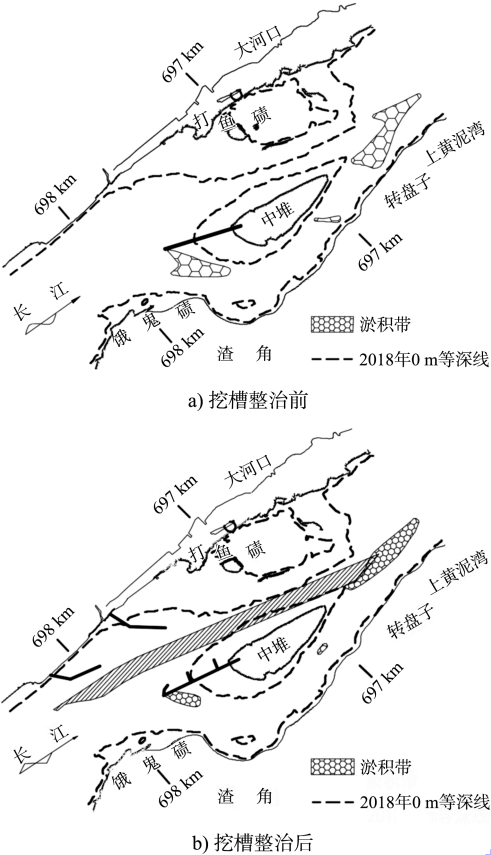


图 6  $Q=5\,520\text{ m}^3/\text{s}$  时挖槽整治前后输沙路径变化

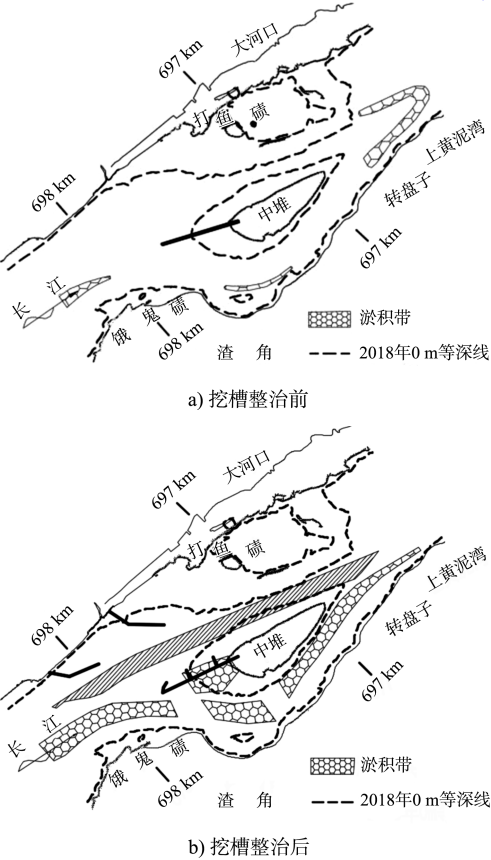


图 7  $Q=8\,400\text{ m}^3/\text{s}$  时挖槽整治前后输沙路径变化

4.2 泥沙冲淤变化

洪、中、枯 3 个工况下研究河段开槽整治前后及左汊新开航槽 10 a 后的二维泥沙模型计算结果见图 8~10。枯水期时右汊过流量较大，卵石推移质随主流进入弯汊运动，由于弯汊内断面流速呈减小趋势，导致部分泥沙落淤。新开航槽后，左汊分流增加明显，卵石推移质主要进入左汊新槽内运动，由于新槽内流速沿程增大，泥沙未出现落淤。右汊入口处流速的减小，使得进入右汊的泥沙大部分在入口处落淤。两汊汇流处水面扩张，底流相互碰撞消耗大量动能，使得新槽出口段出现局部泥沙淤积现象。中水期时中堆完全淹没，河道为单一型，开槽前仅滩口段和汇流区出现少量泥沙淤积，开槽后泥沙淤积位置向碛头坝头部靠拢，新槽中下段发生轻微冲刷，汇流区航槽两侧的泥沙淤积程度加重。洪水期时，卵石推移质在整个河床上发生普遍运动，挖槽前推移质的冲淤分布情况极不规则，挖槽后碛头坝附近、左岸丁顺坝坝体间以及挖槽上段均出现较为明显的泥沙淤积现象，且落淤位置相对集中。

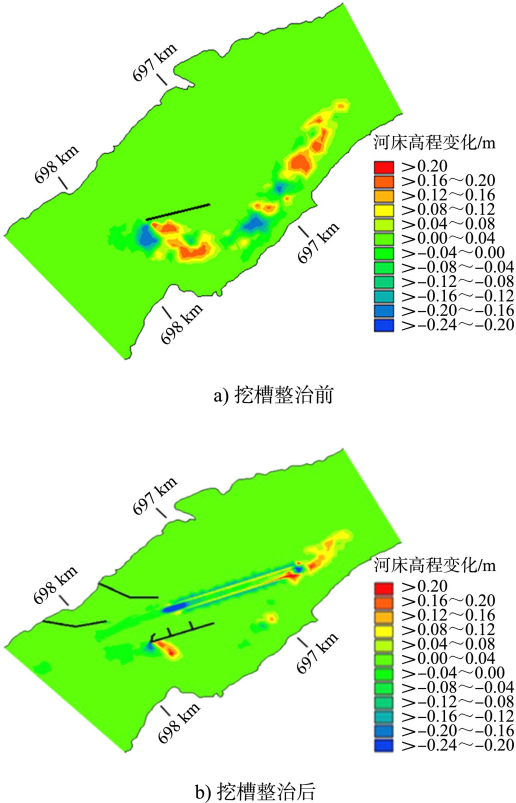


图 8 枯水期 ( $Q=5\,900\text{ m}^3/\text{s}$ ) 时挖槽整治前后泥沙冲淤变化

随着年来水量的交替变化,泥沙运动一直在随着水流运动条件的改变而改变,以形成新的冲淤平衡。从挖槽 10 a 后泥沙冲淤的数值模拟结果(图 11)可以看出,两汊航槽均呈微冲状态,仅汇流区边滩泥沙淤积现象稍为明显,最大淤深约 1.5 m,但汇流区水深较大约 10 m,故不构成碍航影响。结合对洪、中、枯 3 个典型来流量下的泥沙冲淤分布情况可知,研究河段开槽后卵石推移质运动满足山区河流洪淤枯冲和年内冲淤平衡的运动规律,两汊航槽的稳定性均较好。

图 9 中水期( $Q=1\,1400\text{ m}^3/\text{s}$ )时挖槽整治前后泥沙冲淤变化

图 11 研究河段开槽整治 10 a 后的泥沙数值模拟结果

5 结论

- 1)山区弯曲分汊航道的整治思路通常是提高现行航道通航能力或者在顺直汊道开辟新航线,在研究单汊通航的基础上,发现左、右汊之间存在一个平衡,辅以河道内整治建筑物,可实现两汊通航。
- 2)渣角河段新开航槽后,左汊分流效果显著增强,挖槽内水流平顺,断面平均流速沿程增大,局部较大比降出现位置转移到了顺坝下游。滩口段流态明显改善,右汊入口处流速受到控制,航槽内断面平均流速相比挖槽前呈减小趋势,航行条件得到一定程度提高。同时,两汊航槽内最大流速均未超过 3.6 m/s,对船舶的上下安全通行较为有利。
- 3)根据枯水期不同流量下的定床输沙试验结果,洪、中、枯 3 个典型流量下开槽整治前后长序列泥沙冲模型计算结果可知,挖槽后泥沙与水流运动轨迹均满足“小水走弯,大水取直”的运动规律,且仅洪水期时新槽上段出现少量泥沙淤

图 10 丰水期( $Q=20\,500\text{ m}^3/\text{s}$ )时挖槽整治前后泥沙冲淤变化



积现象,右汊在不同来流量时均只出现微量泥沙淤积现象。在年内的卵石推移质冲淤变化中,两汊航槽内均呈微冲状态,仅汇流区两侧边滩出现少量泥沙落淤,不构成碍航影响,整体满足洪淤枯冲及年内冲淤平衡规律,两汊航槽稳定性较好。

参考文献:

[1] NAKATO T, OGDEN F L. Sediment control at water intakes along sand-bed rivers[J]. Journal of hydraulic engineering, 1998, 124(6): 589-596.

[2] WANG Y, BARKDOLL B, ODGAARD A J. Flow and sediment transport at river diversions [C] //Hydraulic engineering, Houston: ASCE, 1994: 1060-1064.

[3] 丁君松,丘凤莲.汉道分流分沙计算[J].泥沙研究, 1981(1): 58-64.

[4] 余文畴.长江分汉河道口门水流及输沙特性[J].长江水利水电科学研究院院报, 1987(1): 14-25.

[5] 韩其为,何明民,陈显维.汉道悬移质分沙的模型[J].泥沙研究, 1992(1): 44-54.

[6] 蔡国正,唐存本,陈凡.分汉型急流滩水力特性试验研究[J].水利水运科学研究, 1997(2): 95-104.

[7] 卢汉才,刘建民.川江一些浅滩演变特性及航道整治[J].水道港口, 1982(1): 1-15.

[8] 何传金,杨祥飞,陈庆.山区大型河流弯曲分汊河段航道整治思路与措施[J].水运工程, 2012(7): 140-145.

[9] 刘旺喜,谭昆,杨祥飞,等.山区河流弯曲分汊浅滩整治技术研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版), 2011, 30(03): 448-451.

[10] 曹民雄.山区河流急流滩险航道整治技术研究[D].南京:南京水利科学研究院, 2005.

[11] VAN MAREN D S, VAN KESSEL T, CRONIN K, et al. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration [J]. Continental shelf research, 2015(1): 1-14.

[12] 李文全,王伟峰,黄召彪,等.长江中游陆溪口水道直港进口挖槽疏浚工程效果试验研究[J].水运工程, 2011(4): 120-125.

[13] 廖江花.东溪口新开卵石航槽演变规律研究[D].重庆:重庆交通大学, 2017.

[14] 赵志舟.长江上游弯曲放宽河段卵石浅险滩航道整治[J].港工技术, 2010, 47(4): 29-32.

[15] 傅华,马耀昌,王士毅.川江风簸碛滩河床演变及航道整治[J].泥沙研究, 2006(6): 70-74.

[16] 孟栋梁,张绪进,侯极.长江上游渣角滩航道整治试验研究[J].水运工程, 2018(1): 129-133.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 80 页)

2) 针对水位变化不大的码头岸电应用系统,可以通过悬挂导缆钢索与登船趸船建立连接,同步收放钢缆和船岸连接电缆,克服水位变化造成船舶停靠位置变动的问题,可以有效实现安全、可靠的船岸供电连接。

3) 长江游轮停靠码头时用电量较大,目前可以达到 550 kW,存在继续变大的趋势,应用岸电时电缆截面变大,数量变多,对人员接用岸电时带来不便和操作安全隐患,通过人机协同电控插拔装置可以有效提高操作效率,并提高人员操作安全性。

4) 通过一体化云管理平台,可以实现船舶应用岸电时的安全监管、远程服务、计量结算、远程诊断等服务功能,有效提高岸电使用的安全性、

便捷性,为岸电技术在内河推广应用起到支撑和保障作用。

参考文献:

[1] 杨新宅.水上蓝天保卫战走向深入-解读《船舶大气污染物排放控制区实施方案》[J].中国海事, 2019(8): 6-7.

[2] 邓东德,胡兴华,章玉,等.重庆港口岸电发展对策探讨[J].交通节能与环保, 2018, 14(3): 15-18.

[3] 重庆市交通规划勘察设计院.重庆市码头船舶岸电设施工程技术规范: CQJTS/T A01—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018.

[4] 交通运输部水运科学研究院.码头岸电设施建设技术规范: JTS 155—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司, 2019.

(本文编辑 武亚庆)