



# 长江中游牧鹅洲关联演变河段航道整治方案

曾 涛, 郭 琦

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

**摘要:** 长江中游河段河床多为沙质, 河床演变剧烈, 受两岸石山、矾头和人工护岸工程等节点控制, 上下游河段演变具有明显的关联性特征。以牧鹅洲水道为例, 对其演变特征及其与下游湖广水道的关联特性进行分析, 基于目前航道的不利变化趋势, 结合已实施航道整治工程对本河段整治方案进行研究。通过在牧鹅洲水道实施护滩工程, 同时解决牧鹅洲边滩中低滩冲刷和湖广水道汪家铺出浅的问题。采用数学模型、物理模型并基于 2020 年汛后观测资料对方案效果进行验证。结果表明, 方案实施后牧鹅洲边滩冲刷得到有效控制, 滩槽格局稳定, 6 m 水深航宽尺度基本满足规划要求。

**关键词:** 长江中游; 河床演变; 关联; 航道整治

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0141-06

## Channel regulation scheme for associated evolution reach of Mu'ezhou in middle reaches of the Yangtze River

ZENG Tao, GUO Qi

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

**Abstract:** The river bed in the middle reaches of the Yangtze River is mostly sandy, and the river bed evolution is violent, which is controlled by the nodes of rocky mountains, rock spurs and artificial revetment projects on both banks. The evolution of the upper and lower reaches has obvious relevance features. Taking the Mu'ezhou channel as an example, we analyze its evolution characteristics and relevance features with the downstream Huguang channel. Considering the adverse change trend of the current channel and the implemented channel regulation project, we study the regulation scheme of the associated evolution reach. The implementation of the beach protection project in the Mu'ezhou channel addresses the lower and medium beaches scouring in the Mu'ezhou beach and the shallowing in Wangjiapu of the Huguang channel. Adopting a mathematical model and a physical model, we verify the effect of the scheme with post-flood observation data since 2020. The results show that after the scheme implementation, the scouring of Mu'ezhou beach is effectively controlled, and the shoal channel pattern turns stable. Moreover, the channel width of 6 m water depth basically meets planning requirements.

**Keywords:** middle reaches of the Yangtze River; river bed evolution; relevance; channel regulation

### 1 滩险概况

牧鹅洲水道位于长江干线武汉—安庆段 6 m 水深航道整治工程的最上游, 根据已有研究成果<sup>[1-3]</sup>和大量观测资料, 牧鹅洲水道河势及航道条件总体较好, 近年受上游枢纽蓄水、清水下泄作用, 牧鹅洲边滩呈中高滩冲刷、低滩淤积现象<sup>[4]</sup>,

挤压凹岸侧航槽, 造成主槽水流分散减少, 边滩过流量增加, 牧鹅洲水道出口水流取直, 湖广水道的上段水流右偏, 汪家铺浅区多次淤积出浅, 赵家矶整治建筑物受水流冲击出现损毁, 河段航道条件明显向不利方向发展, 亟需治理。

牧鹅洲水道上起周阳港、下止白浒镇, 全长

约 10 km。该水道为下段右岸由猴子矾控制的弯曲河段。河道进口周阳港河宽 1 500 m 左右, 往下河道逐渐展宽, 至牧鹅港稍上游河宽约 2 300 m, 出口猴子矾附近河宽约 950 m。河道内左岸侧是牧鹅洲边滩, 滩顶高程在航行基准面以上 5 m 左右, 最大滩宽约 1 500 m, 占该处河宽的 2/3; 右岸侧深槽为主航槽, 猴子矾上游最深处在航行基准面

以下 20 m 左右、猴子矾下游最深处可达航行基准面以下 49 m。主流在周阳港以上由左岸向右岸过渡, 周阳港以下至猴子矾偏靠右岸下行, 猴子矾以下居中进入下游湖广水道(图 1)。2013—2014 年实施湖广—罗湖洲航道整治工程, 在赵家矾边滩建设 4 道护滩带工程, 以守护边滩, 保证主槽航道尺度<sup>[5]</sup>。

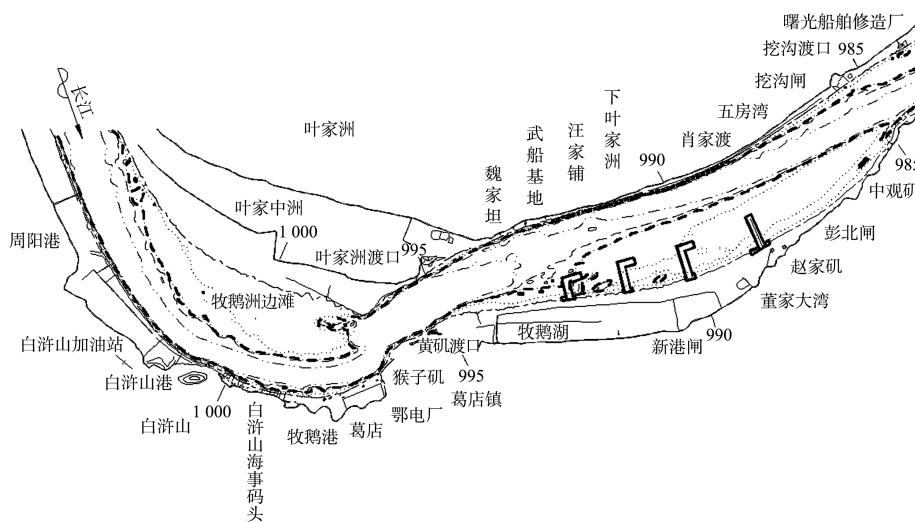


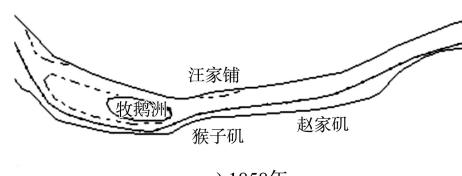
图 1 牧鹅洲河段河势

## 2 河床演变关联特性分析

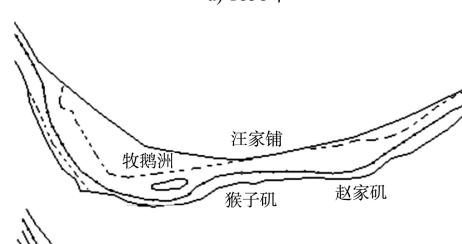
牧鹅洲河段河道右侧为凹岸, 沿线天然节点分布密集, 自上而下有白浒山、猴子矾、赵家矾、中观矾等石质节点, 河段河势走向、滩槽格局的形成及稳定与这些节点的分布及其挑流作用变化密切相关, 牧鹅洲水道弯曲发展受到白浒山、猴子矾限制; 湖广水道受进口猴子矾挑流影响, 进口主流在魏家坦附近即向左岸过渡, 加上下游束窄河道而产生的壅水作用, 中观矾以上右岸侧形成大面积的赵家矾边滩。

根据历史记载, 1842—1880 年间牧鹅洲左汊高水期可以通航, 但主流始终走右汊。1930 年 12 月测图显示, 水位 16.0 m 时, 牧鹅洲长 4.0 km、宽 1.80 km, 左汊河宽约 200 m, 右汊河宽 1 100 m, 主汊在右汊。从 1953 年测图上可以看到牧鹅洲已与左岸相连, 成为边滩式的江心洲, 河道由分汊河形转化为单一的弯曲河形。此后本水道长期维持单一弯曲河形。湖广水道经历了“主流右摆贴

岸、河道向右展宽”以及“主流左摆、右岸侧边滩发育”2 个阶段变化, 其变化过程与牧鹅洲水道形态息息相关, 1858 年牧鹅洲两汊下泄, 湖广进口水流平顺, 形态顺直; 1930 年牧鹅洲淤长, 出口水流左偏冲刷汪家铺浅区, 湖广水道内水流分散淤积形成赵家矾边滩; 1959 年以来, 牧鹅洲进一步淤长, 赵家矾边滩持续发展壮大, 滩槽格局进入相对稳定时期(图 2)。



a) 1858年



b) 1923—1931年

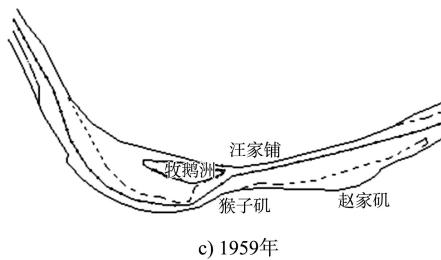


图2 牧鹅洲河段历史演变

20世纪中期以前, 牧鹅洲水道由分汊河道演变为单一弯曲, 湖广水道由顺直形河道演变为微弯河形, 两水道之间猴子矶、汪家铺两控制节点近年变化不大, 牧鹅洲水道出流条件决定湖广水道进流特征, 二者演变过程中形态变化密切相关。从近年地形变化分析看, 牧鹅洲边滩低滩淤积、高滩冲刷, 边滩下游出现明显倒套向上发展约300 m, 若不加以控制, 持续发展可再次形成分汊河形, 下游湖广水道目前水面较开阔, 牧鹅洲边滩水流取直后, 下泄主流势必右偏, 造成下游左侧航槽淤积, 引起赵家矶边滩的冲刷和已建整治工程的破坏。

### 3 碍航

#### 3.1 碍航特性

牧鹅洲河段近年总体航道条件较好, 个别年份不满足航道建设尺度为 $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$ (深×宽×长)的要求。从近年地形变化情况看, 一般汛期流量大、退水过程缓的年份, 牧鹅洲水流从滩上取直下泄, 汪家铺浅区易出浅, 如2003年枯水期甚至出现了6 m等深线断开的情况, 断开长度达120 m, 2007年和2012年汛后均出现了不满足200 m航宽的情况, 其余年份多在300 m左右, 一般情况下能够满足建设航道尺度的要求。

牧鹅洲河段目前碍航问题主要体现在3个方面: 1)近几年牧鹅洲边滩中高滩冲刷、低滩淤积, 挤压凹岸侧航槽; 2)洲滩冲刷萎缩, 造成主槽水流分散减少, 边滩过流量增加, 不利于该水道维持较好的航道条件; 3)牧鹅洲边滩束水能力降低,

出口水流取直, 进入湖广水道冲刷赵家矶边滩, 威胁已建建筑物的稳定和安全, 同时造成汪家铺浅区冲刷力度减弱, 枯水期易出浅碍航, 不利于航道尺度的提高。

#### 3.2 碍航原因

牧鹅洲边滩及河槽的冲淤幅度受沙量的影响较大, 大水大沙年对河道的影响显著。随着三峡水库蓄水、清水下泄, 来沙量大幅度减小, 特别是主要参与边滩形态塑造的中细颗粒泥沙减幅达70%以上, 使得牧鹅洲边滩洪水期中高冲刷幅度增加、枯水期低滩淤积, 在边滩过流时间较长的年份, 极易发生大幅度冲刷, 甚至类似于荆江弯曲河段的切滩现象。同时低滩淤积进一步挤压右岸侧航槽, 将造成航道条件恶化的趋势。

下游湖广水道河床演变受上游牧鹅洲来水来沙影响较大, 当水流沿牧鹅洲水道深槽贴凹岸侧, 经猴子矶一带山矶的引导进入湖广水道左侧深槽, 可冲刷汪家铺浅区; 一旦牧鹅洲凸岸边滩冲刷萎缩引起主流调整, 则会引发下游滩槽形态的相应变化: 猴子矶一带山矶挑流作用减弱, 赵家矶边滩受到的顶冲效应增强, 滩上已建建筑物的安全和稳定受到威胁, 同时水流分散, 对汪家铺附近浅区冲刷能力不足, 浅滩附近泥沙更易淤积, 遇高水持续时间长、退水时间短的不利年份, 河段极易出浅碍航。

### 4 整治方案

#### 4.1 整治思路

本河段航道整治思路为: 充分考虑河段关联性特征, 稳定滩槽形态, 抑制不利变化发展, 依托已有工程, 形成稳定、单一的枯水期主流流路。

#### 4.2 整治方案

牧鹅洲边滩方案布置如下: 纵向守护范围从牧鹅洲边滩头部至尾部, 平面守护范围以高滩岸线及整治线控制, 稳定较好的滩槽格局, 避免牧鹅洲边滩进一步被冲刷破坏。

具体设计方案为: 牧鹅洲边滩护滩带工程主要

由 3 道护滩带及对应的根部护岸组成。1#护滩带为勾头型护滩带, 长 622 m, 其中勾头段长 268 m, 宽 180 m; 2#护滩带同样为勾头型护滩带, 长 970 m, 其中勾头段长 336 m, 宽 160 m; 3#护滩带为直线型护滩带, 长 729 m, 宽 180 m。3 道护滩带根部

护岸长度分别为 347.0、344.0、866.5 m。枯水平台以上为生态护坡砖结构, 枯水平台以下为排体护滩结构。通过牧鹅洲边滩守护工程, 稳定湖广水道进流条件, 依托已建赵家矶边滩整治建筑物, 保障湖广水道通航条件(图 3)。

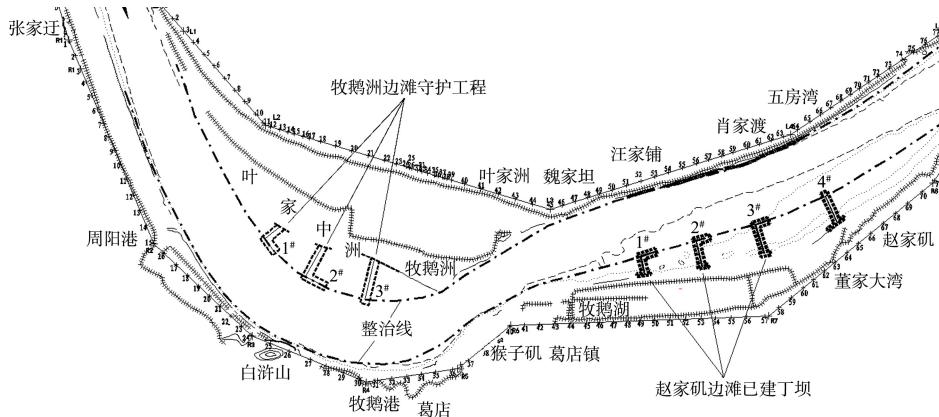


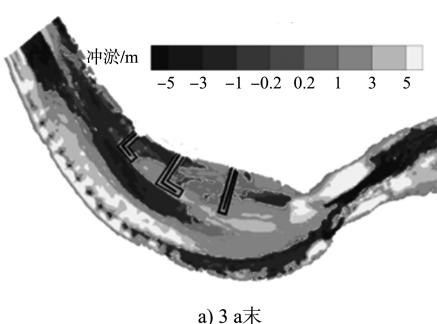
图 3 牧鹅洲整治方案

## 5 效果分析与验证

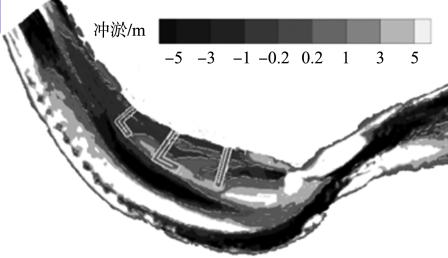
为验证方案效果, 在方案研究阶段开展了数模和物模研究。两模型均开展了枯水流量、整治流量、多年平均流量和洪水流量工况研究, 数模单独增加了大洪水工况下模型研究。

### 5.1 数学模型研究结论

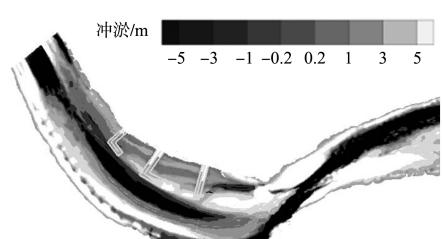
根据牧鹅洲河段平面二维数学模型研究成果, 工程实施后, 河段水流平顺, 计算得到系列年各年末河床平面冲淤分布(图 4)。从图 4 可知, 方案实施后, 工程部位呈现淤积, 牧鹅洲高滩滩体冲刷得到抑制, 航槽有所冲刷, 通过控制滩槽形态和完善对航槽边界的守护防止航道条件的持续恶化发展。



a) 3 a末



b) 5 a末



c) 10 a末

注: 正值为冲, 负值为淤。

图 4 各年末河床平面冲淤分布

在牧鹅洲水道, 左岸牧鹅洲边滩在工程作用下, 头部稳定, 3 a 末中下段呈现微淤, 后 2 道护滩带淤积幅度大于第 1 道, 普遍淤积大于 1 m, 工程前沿河床出现小幅冲刷, 出口左淤右冲; 至第

5 a, 工程区域继续淤积, 未出现无工程趋势预测中窜沟发展的不利情况, 河槽内基本表现为冲刷; 至 10 a 末, 冲淤变化规律基本一致, 牧鹅洲滩面稳定, 中下段滩缘淤积 2~3 m。牧鹅洲水道出流条件稳定, 湖广水道赵家矶边滩淤积, 主槽通航条件良好。

## 5.2 物理模型研究结论

根据牧鹅洲河段定床及动床物理模型试验, 无工程 10 a 水沙作用后牧鹅洲边滩中高滩遇大水年有所冲刷, 低滩淤积, 6 m 等深线宽度缩窄, 同时更加弯曲, 至第 10 a 末, 猴子矾附近 6 m 等深线宽度缩窄至 173 m; 湖广水道赵家矶边滩头部冲刷, 汪家铺浅区在大水年年末易出现不足 6 m 浅包, 至第 10 a 末, 6 m 等深线宽度不足 200 m, 河段航道条件不满足建设尺度要求。

牧鹅洲边滩护滩工程实施后, 河段航道条件维持较好, 表 1 为模型中观测的方案系列年试验各年末航道统计情况。大水年航道条件有所变坏, 小水年有利于主航槽航道条件的维持。经过 10 a 水沙作用, 6 m 水深航槽主要表现为: 1) 牧鹅洲水道最小航宽区域仍位于猴子矾附近, 至第 5 a 末航宽可达 396 m, 但局部区域航路弯曲且流态紊乱现象依旧存在, 至第 10 a 末, 最小航宽达 402 m, 基本满足规划尺度要求; 2) 湖广水道汪家铺浅区一带 6 m 水深航宽如遇大水年有所缩窄, 但在整治工程作用下, 10 a 内 6 m 水深航宽尺度基本满足建设尺度要求。

表 1 方案实施前后不同区域 6 m 最小航宽 m

时间	牧鹅洲水道		湖广水道	
	无工程	工程后	无工程	工程后
1 a 末	352	418	383	446
2 a 末	412	474	434	561
3 a 末	339	410	356	526
5 a 末	230	396	283	485
7 a 末	196	359	193	436
10 a 末	173	402	167	467

从工程后地形变化看, 河床经过 10 a 水沙作用, 河势总体维持稳定, 各水道地形变化如下:

1) 牧鹅洲边滩中高滩受护滩带作用冲刷受限, 遇大水年低滩略有冲刷, 深槽淤积, 6 m 等深线宽度较试验初期缩窄, 而遇小水年, 6 m 线又呈展宽态势, 至 10 a 末, 猴子矾附近 6 m 等深线宽度约 402 m; 2) 湖广水道汪家铺浅区在丁坝作用下, 汛期淤积体汛后冲刷, 遇大水年 6 m 等深线变窄, 但 10 a 内, 其最小宽度均在 200 m 以上, 工程效果明显。

## 5.3 试运行初步效果评价

牧鹅洲河段航道整治工程于 2019 年 8 月开始实施, 2020 年 1 月完成护滩主体施工, 2020 年 12 月完成所有施工内容, 期间经历了 2020 年长江流域罕见大洪水, 洪水持续时间长, 通过流量大。从 2020 年下半年测图看, 牧鹅洲边滩外形完整, 中高滩守护效果较好, 未出现明显冲刷降低, 现场水流条件较好, 汪家铺浅区略有淤积外延, 河段航道尺度仍满足建设尺度要求。由于该工程刚实施完成, 工程系统的稳定性和整治效果观测分析工作将逐步开展, 后续将根据相应成果进一步开展维护和完善工作。从 2020 年大洪水汛后效果看, 工程效果与数学模型和物理模型预测结果基本一致。

## 6 结语

1) 近几年牧鹅洲边滩中高滩冲刷、低滩淤积, 挤压凹岸侧航槽, 牧鹅洲水道航道条件有向不利方向发展的趋势。边滩冲刷萎缩一方面将造成水流分散, 凹岸深槽淤积, 不利于航道条件的稳定, 另一方面恶化猴子矾处船舶航行条件, 进一步影响湖广水道进流条件。

2) 根据碍航成因确定整治思路为: 充分考虑河段关联性特征, 稳定滩槽形态, 抑制不利变化发展, 形成稳定的、单一的枯水期主流流路, 并满足建设标准的要求。

3) 牧鹅洲河段整治中采用 3 道护滩带对牧鹅洲边滩进行守护, 经数学模型效果、物理模型验证和 2020 年大洪水后观测分析, 航道尺度均满足

建设标准要求，达到了预期的整治目的。

4) 牧鹅洲河段洲滩演变具有明显的关联性特征。本方案研究采用多种手段，充分研究牧鹅洲边滩、汪家铺浅区和赵家矶边滩的关联特性，通过在牧鹅洲边滩布设护滩工程，实现控制湖广水道进流特性、增加汪家铺浅区冲刷力度和守护赵家矶边滩的目的，在类似河段方案研究中应适当考虑关联性特征。

## 参考文献：

- [1] 孙昭华, 李义天, 黄颖, 等. 长江中游城陵矶-湖口分汊河道洲滩演变及碍航成因探析[J]. 水利学报, 2011,

(上接第 124 页)

2) 从挖砂采石前后滩段 3.5 m 线变化看，由于红灯碛边滩滩体受到破坏，并在红灯碛下顺坝后方形成串沟过流，原有整治建筑物的束水攻沙作用有所减弱，下顺坝附近 3.5 m 线逐年束窄，滩段条件向不利方向发展。

3) 2020 年通过维护施工，恢复下顺坝原设计整治功能。维护工程实施后，在 2020 年滩段普遍淤积的趋势下，整治建筑物作用区地形总体变化不大，整治建筑物修复后束水导流功能十分明显。

4) 红灯碛滩受挖砂采石影响，滩段航道条件向不利方向变化。为了恢复其原设计整治功能，结合后续整治思路采取维护措施对其进行修复，防止滩段持续恶化取得较好的效果。该滩的治理措施具有一定的代表性，可为后续类似滩险的治理积累经验。

## 参考文献：

- [1] 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-

42(12): 1398-1406.

- [2] 李彪, 李思伟, 王云波, 等. 长江中游湖广—罗湖洲河段航道整治方案河工模型试验研究[J]. 水运工程, 2014(12): 62-67.
- [3] 黄成涛, 李彪. 长江中游湖广—罗湖洲河段航道整治工程初设阶段河工模型试验研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2012.
- [4] 冯敏, 游强强, 岳克栋, 等. 长江下游牧鹅洲水道河床演变特征及航道条件分析[J]. 水运工程, 2018(7): 109-113, 154.
- [5] 江凌. 长江中游湖广—罗湖洲河段航道整治工程初步效果及加固措施[J]. 水运工程, 2014(11): 72-76.

(本文编辑 郭雪珍)

131, 154.

- [2] 吴正涛. 长江上游干流河道采砂状况与管理思考[J]. 人民长江, 2006(10): 23-24, 84.
- [3] 毛劲乔. 河道复杂采砂坑附近流场的数值模拟[J]. 水科学进展, 2004(1): 6-11.
- [4] 韩龙喜, 计红, 陆永军, 等. 河道采沙对珠江三角洲水情及水环境影响分析[J]. 水科学进展, 2005(5): 685-690.
- [5] 杨兴菊, 黑鹏飞. 人工采砂对蚌浮段河床演变的影响分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, 19(S1): 78-84.
- [6] 杨胜发, 胡江, 付旭辉, 等. 秤杆碛边滩采砂对嘉陵江河道影响研究[J]. 水运工程, 2008(2): 73-77.
- [7] 刘勇, 张帅帅, 何乐, 等. 长江上游卵石滩群平面形态及碍航特性[J]. 水运工程, 2016(1): 125-129.
- [8] 罗梁, 解中柱, 杨祥飞. 长江宜宾—重庆航道浅滩整治措施分析[J]. 水运工程, 2012(10): 96-101.
- [9] 左利钦, 孙路, 陆永军, 等. 长江梯级水库下游重点滩段河势及航道条件变化[J]. 水力发电学报, 2015, 34(3): 79-89.
- [10] 黄建宇. 长江上游红灯碛水道河床演变分析[J]. 珠江水运, 2018(13): 98-99.

(本文编辑 郭雪珍)