

三峡变动回水区广阳坝河段 河床演变及整治方案

苏 丽

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 广阳坝河段是三峡变动回水区朝天门—涪陵河段通航卡口河段之一, 消落期需实施通行控制方能保障航行安全, 严重制约了该段航道通过能力。针对广阳坝河段在消落期航道条件差的问题, 采用实测地形对比的方法, 对其河床演变进行分析, 并对碍航特性进行论述。在此基础上, 提出改善航道条件、提高航道尺度的整治方案, 并分析其整治效果, 可为提升朝天门—涪陵河段航道尺度提供支撑。

关键词: 三峡变动回水区; 广阳坝河段; 河床演变; 碍航特性; 整治方案

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0149-06

Riverbed evolution and waterway regulation scheme of Guangyangba reach in fluctuating backwater area of the Three Gorges Reservoir

SU Li

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

Abstract: Guangyangba reach is one of the navigable bayonet reaches from Chaotianmen to Fuling reach in the fluctuating backwater area of the Three Gorges. Traffic control is required to ensure navigation safety during the ebb and flow period, which seriously restricts the passage capacity of this section. Aiming at the problem of poor channel condition in fluctuation period of Guangyangba reach, the riverbed evolution is analyzed by using the method of real measured topography comparison, and the navigation-obstructing characteristics are discussed. On this basis, the regulation scheme to improve the channel condition and the channel dimensions is put forward, and the regulation effect is analyzed, which can provide support for improving the channel dimensions of Chaotianmen to Fuling river channel.

Keywords: fluctuating backwater area of the Three Gorges Reservoir; Guangyangba reach; riverbed evolution; navigation-obstructing characteristics; waterway regulation scheme

三峡水库 175 m 试验性蓄水后, 蓄水期库区河段航道条件有了较明显的改善, 但在变动回水区中下段(重庆朝天门—涪陵), 部分滩段在低水位期航道条件仍然较差^[1-3]。朝天门—涪陵河段是大型船舶上行至重庆港的重要通道, 也是重庆市乃至整个西部地区联系中下游的重要水运通道,

但由于河段中存在局部卡口瓶颈滩险, 目前局部仍然需要采取通行控制, 许多大型船舶受制于航道尺度不足的影响, 无法通过卡口河段, 严重制约了低水位期航道通过能力, 如广阳坝河段短短 3 km 河段内有 2 处通行控制河段, 航道维护和海事监管压力较大。因此, 通过一定的航道整治措施疏

收稿日期: 2022-07-08

作者简介: 苏丽(1985—), 女, 高级工程师, 从事航道工程设计及相关科研工作。

通航、改善现有航道尺度不足的局面，从而为发挥长江黄金水道优势、服务重庆长江上游航运中心发展奠定基础是十分必要的。

1 河段概况

1.1 滩险概况

广阳坝河段位于三峡水库变动回水区中段广阳坝水道，长江上游航道里程 636~642 km，为一弯曲、分汊、放宽河段，河段内浅滩、礁石密布，相互制约，航道条件十分复杂。其上紧邻铜锣峡峡谷，河段内有巨大的广阳坝江心洲，将河槽分

为左右两汊，左汊为主航槽。广阳坝长约 5 km，最宽处达 2 km，坝顶最高处达设计最低通航水位以上 20 m。右汊窄浅，在水位 160 m 左右过流。左汊相对宽深，右岸上段有大背角礁石伸入河道甚开，其下广阳坝碛翅伸展较开，碛翅分布有饿狗堆、福平背等礁石，且有芦席碛、腰膛碛等碛坝，再下有虎扒子、麻二梁等石梁。左岸上段为半截梁、蜘蛛碛边滩，中段猪牙子、礁石子、野骡子、庙角等石梁突嘴密布，下段又有飞蛾碛碛坝。两岸地形挟持，形成两反向弯曲河势，呈 S 形，低水位期航道十分弯曲、狭窄。广阳坝河段河势见图 1。

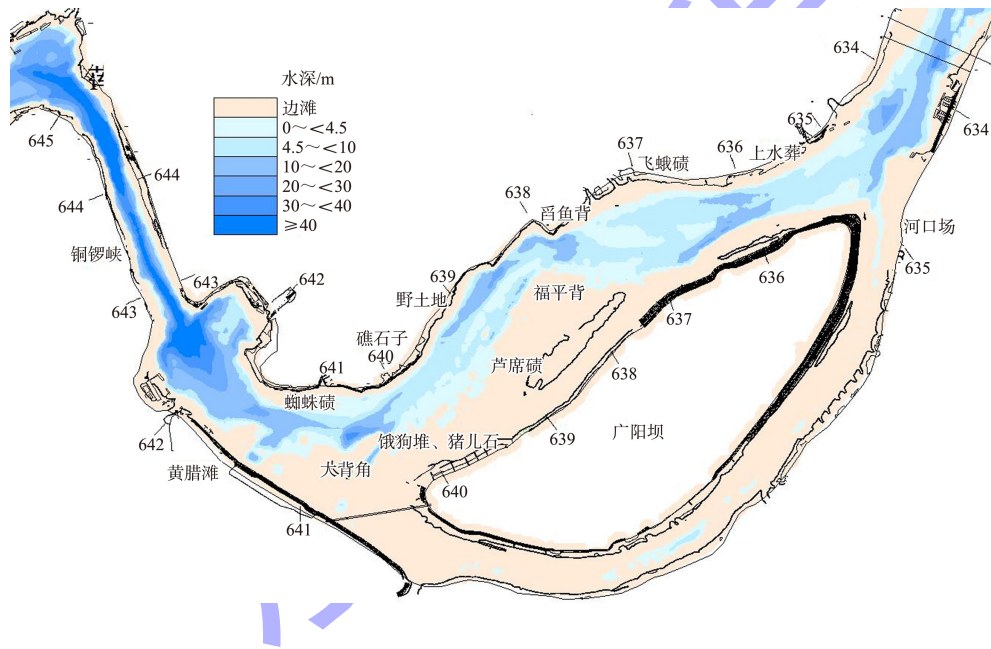


图 1 广阳坝河段河势

1.2 航道现状

1.2.1 航道整治历史

广阳坝河段历史上进行过 3 次整治。2006 年实施的长江涪陵—铜锣峡航道炸礁工程中对右岸的饿狗堆、猪儿石礁石按照 3.5 m 水深的标准进行炸低；2014 年实施的长江三峡水库变动回水区碍航礁石炸除一期工程中按照 4.0 m 水深标准对饿狗堆、猪儿石礁石进行炸低，该工程实施后，饿狗堆、猪儿石礁石河段的航道水深提高到 4.0 m 以上，即使在每年的消落期，3 000 吨级船舶也能

通过，提高了航道通过能力；另外，在 2018 年对蜘蛛碛碛翅、飞蛾碛碛翅按照 3.5 m 水深标准进行航道维护性疏浚，疏浚后该 2 处河段航道尺度满足现行最小维护尺度 3.5 m×100 m×1 000 m (水深×航宽×弯曲半径)。

1.2.2 航道现状

受广阳坝滩复杂河道条件影响，船舶上行十分困难，在短短的 3 km 航道内需连续 3 次过河。中、低水位期上行船舶沿左岸飞蛾碛上行，在飞蛾碛 2#标附近过河至右岸虎扒子，沿腰膛碛上行

至福平背，受福平背礁石与芦席碛影响，过河至左岸野土地，再次过河沿河心上行至礁石子，沿左岸上行至蜘蛛碛。

另外，广阳坝滩段内有2处通行受限河段及1处通行控制河段。鱼嘴沱水位6 m以下时，飞蛾碛1#白浮—虎扒子为通行受限河段，上行船在飞蛾碛1#白浮以下等让；腰膛碛—福平背为通行受限河段，上行船舶在腰膛碛以下等让。铜锣峡水位2 m以下时，礁石子—黄腊滩执行通行控制。

2 三峡175 m试验性蓄水以来河床演变特点

2.1 深泓变化

根据广阳坝河段深泓平面变化(图2)来看，其深泓位置稳定，多年来平面摆动不大，走向基本吻合，局部点平面摆动在20 m以内。深泓走向是从上段铜锣峡出口沿河心向下；至野土地处，受右岸芦席碛所阻，深泓线略偏向左岸；至庙角处，受下段左岸飞蛾碛调流，深泓逐渐过渡到右岸；至广阳坝尾，深泓由右岸摆动至河心，随后沿河心而下。

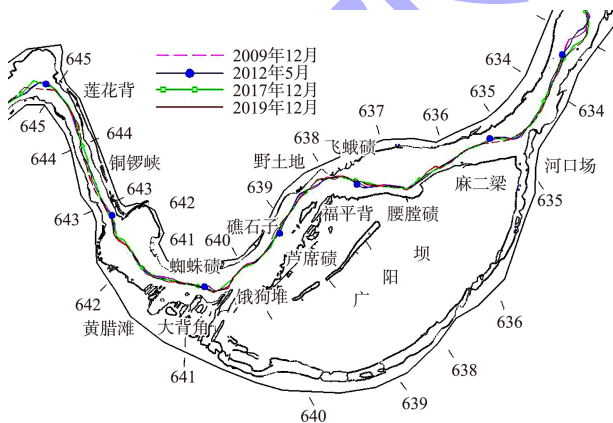


图2 广阳坝河段深泓平面变化

2.2 滩槽变化

从4.5 m等深线年际变化(图3)可以看出，右岸芦席碛、腰膛碛及左岸飞蛾碛部分受人

为采砂影响，2012—2017年地形发生了较为明显的变化。由于采砂使飞蛾碛从中折断，2017年12月和2019年12月4.5 m等深线在芦席碛、腰膛碛及左岸飞蛾碛均出现较为明显的后退，飞蛾碛4.5 m等深线从中部中断，等深线不连续。

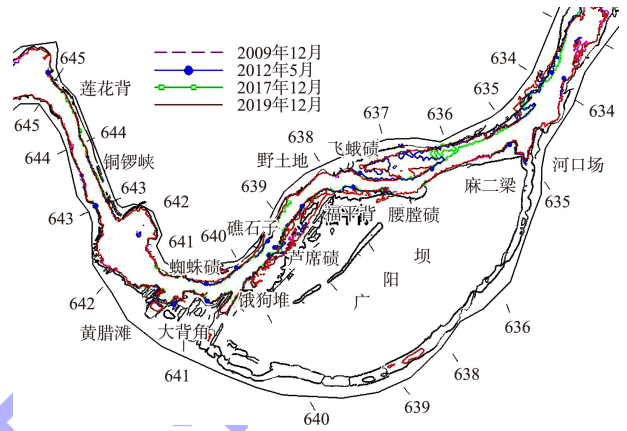
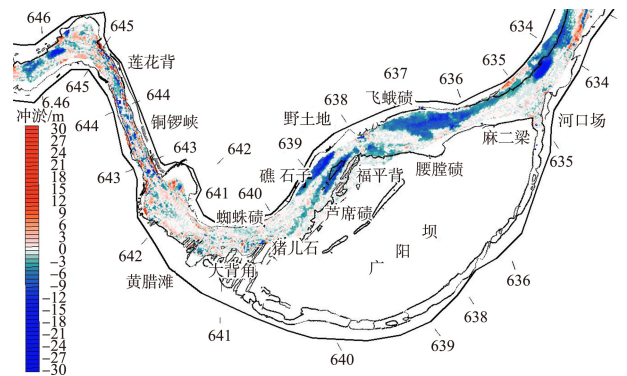


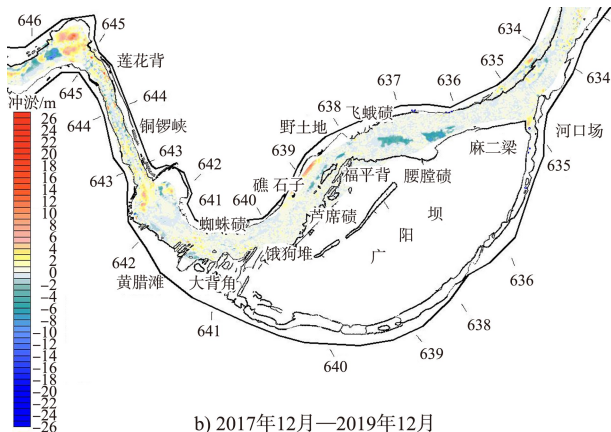
图3 广阳坝河段4.5 m等深线平面变化

2.3 冲淤变化

根据2009年12月与2017年12月测图对比、2017年12月与2019年12月测图对比(图4)分析得到，三峡水库175 m试验性蓄水以来，2009—2017年广阳坝河段河床变化较大，2017—2019年变化不大，河床变化主要受采砂影响。黄腊滩与大背角礁石前沿冲淤交替；野土地边滩、芦席碛、腰膛碛、飞蛾碛—大坝子碛坝采砂造成河床出现明显的下切，下切深度4~21 m；其余部位冲淤变化不大。



a) 2009年12月—2017年12月



b) 2017年12月—2019年12月

注：正值表示淤积；负值表示冲刷。

图4 广阳坝河段冲淤变化

2.4 河床演变总结

广阳坝河段岸线稳定，深泓线多年来平面摆动不大，河段深槽内有一定冲刷，厚度在3~7 m，河段受采砂影响较大，芦席碛、腰膛碛、飞蛾碛河道采砂造成河床滩面出现不同程度的破坏，局部采砂深度在4~11 m，飞蛾碛碛翅甚至挖出了1个10 m左右不贯通的汉道，碛翅也从中折断，这种局部地形突变造成水流条件恶化，不利于航行安全^[4-5]。

3 航道整治方案及效果分析

3.1 碍航特性分析

3.1.1 航道尺度

图5为广阳坝河段设计航槽内最小水深沿程变化，可以看出不满足4.5 m水深要求的航段主要位于蜘蛛碛、芦席碛、飞蛾碛处，且蜘蛛碛处水深最小，为2.5 m。

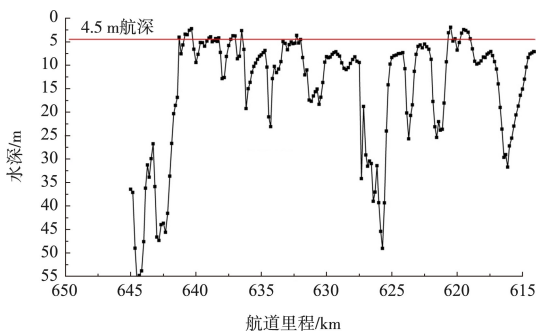


图5 设计航槽内最小水深沿程变化

3.1.2 流速、比降

根据2018年5月实测资料，汛前消落期测时

寸滩流量9 260 m³/s，坝前水位148.14 m，河段为天然航道，沿程比降变化较大，表面流速在0.15~3.58 m/s，平均流速达1.77 m/s。广阳坝上段入口蜘蛛碛碛翅与大背角礁石对峙，束窄河道，水面比降较大，平均比降1.5‰，主流带流速较大，在3.0 m/s左右，近岸侧流速相对较小，约为2.3 m/s；其下礁石子石盘与饿狗堆礁石相对，水面比降在0.7‰左右，野土地—庙角段比降在0.4‰左右，该段主流带流速基本在3.0 m/s以上，最大流速3.53 m/s；庙角以下河段水面比降相对较缓，基本在0.2‰以下，该段流速相对上段小，主流带流速约为2.1 m/s。

3.1.3 碍航特性总结

广阳坝河段属于浅、险滩，低水位期航槽十分弯曲狭窄，且滩内多不良流态，通航条件很差，航道维护和海事监管均较为困难。其上段为黄腊滩—礁石子段，受右岸黄腊滩、水鸭石、大背角、碛角、饿狗堆等礁石石盘与左岸半截梁、蜘蛛碛、猪牙子、礁石子等边滩、礁石对峙影响，低水位期航槽弯曲、狭窄，且坡陡流急，船舶上下行均较困难；下段福平背—飞蛾碛段，进口处左岸庙角和右岸福平背对峙束窄航槽，其下飞蛾碛大边滩占据了河道宽度约2/3，航槽偏右岸腰膛碛而下，使得低水位期航槽弯曲、狭窄，同时腰膛碛内拖水严重，易出现海损事故。

3.2 整治方案

针对广阳坝滩的碍航特性，治理思路充分考虑边界条件，合理布置航槽，对航槽内不满足设计尺度要求的浅区及礁石进行开挖和适当的切除，拓宽航槽，增大水深及弯曲半径，减弱不良碍航流态。本次设计航槽尺度为4.5 m×150 m×1 000 m，航槽布置顺应河势，上段黄腊滩—礁石子仍沿用现有航槽，下段福平背—飞蛾碛为避开右岸腰膛碛流态紊乱问题，设计航槽偏左布置，减小弯曲半径，使得航道更加顺直^[6]。

治理方案总平面布置为：对左岸半截梁突嘴、蜘蛛碛碛翅、礁石子浅区、飞蛾碛碛翅浅区进行疏浚清礁，对右岸饿狗堆、猪儿石、芦席碛和福平背浅区进行疏浚清礁，疏浚清礁深度为设计水位下6 m，见图6。

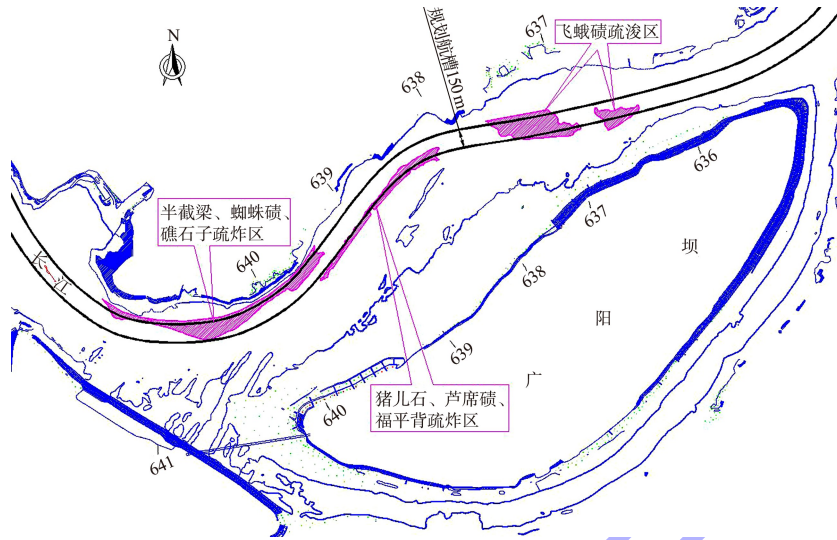


图6 广阳坝河段航道治理方案平面布置

3.3 效果分析

总体来看，方案实施后广阳坝河段航道尺度增加，设计航槽满足通航水深4.5 m要求，黄腊滩—礁石子段流速、比降均较方案前减小，流态更加平顺，通航水力指标满足5 000吨级船舶自航上滩的要求，通航水流条件总体改善；福平背—飞蛾碛段弯曲半径增加，船舶可通航水域沿程扩大，上行船舶习惯航行区域基本能够保留，航道条件改善^[7-8]。由于近年来上游推移质输移量大幅减小，方案后设计航槽内泥沙回淤较小；且方案设计开挖底高程为设计水位下6 m，少量回淤不会威胁设计航道尺度，航道水深仍然能达到4.5 m以上。

3.3.1 航道尺度

图7为整治方案实施后广阳坝航槽内最小水深分布，可见设计航槽内的4.5 m等深线贯通，航槽内最小水深为4.61 m，满足设计航深的要求。

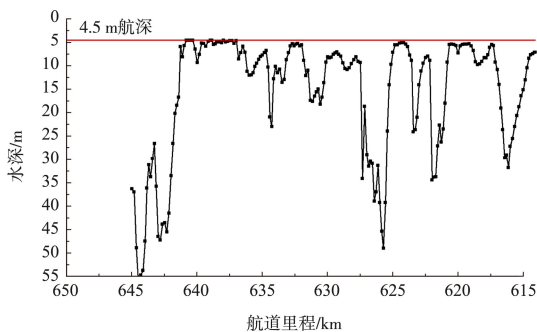
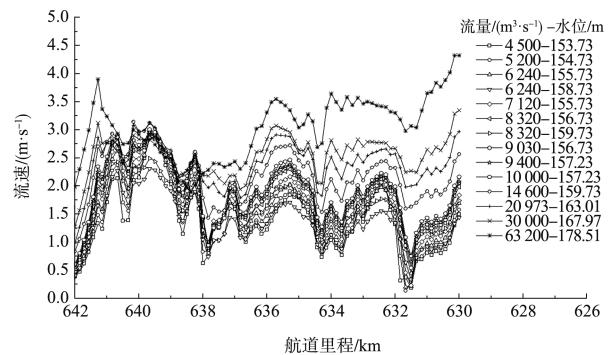


图7 方案实施后设计航槽内最小水深分布

3.3.2 流速、比降

方案实施后，广阳坝滩段进口处流速、比降较方案前总体有所减小。图8a)为方案实施后广阳坝航槽中线流速沿程分布，从图中可以看出，流量小于3.00万 m³/s时入口段(航道里程642~639 km)航槽内平均流速在0.31~3.14 m/s，较方案前流速有所减小，航槽内流速总体上随流量的增加变化幅度减小。 $Q \leq 1.46$ 万 m³/s时，滩段流速随着流量增大逐渐增加，在 $Q = 1.46$ 万 m³/s时流速达到最大3.06 m/s； 1.46 万 m³/s $< Q \leq 3.00$ 万 m³/s时，随着过水面积增大，流速范围为0.98~3.14 m/s。图8b)为方案后广阳坝航槽中线比降沿程分布，总体来看，入口段比降减小，当 $Q \leq 1.46$ 万 m³/s时，航槽内平均比降在-0.12‰~0.96‰， 1.46 万 m³/s $< Q \leq 3.00$ 万 m³/s时，随着过水面积增大，航槽内平均比降范围为-0.25‰~0.85‰。



a) 流速

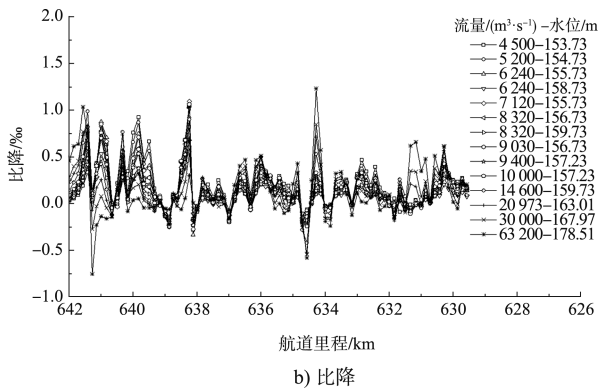


图8 方案实施后航槽中线流速、比降沿程分布

3.3.3 通航水力指标

根据方案实施后设计航槽内通航水力指标统计(图9)可知,当 $Q \leq 3.00$ 万 m^3/s 时,设计航槽内流速与比降的组合在各级流量下均基本满足5000吨级船舶的上滩水力指标。

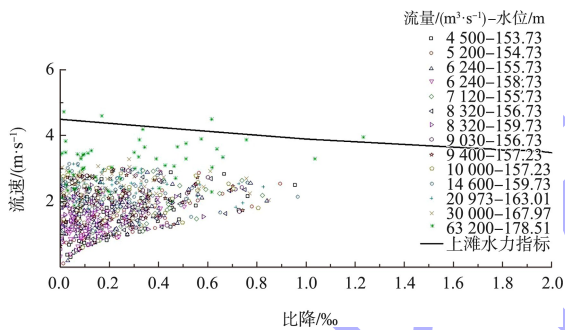


图9 方案后通航水力指标统计

4 结语

1) 三峡175m试验性蓄水以来,广阳坝河段岸线稳定,深泓线多年来平面摆动不大,河段冲淤变化较大的是深槽、礁石掩护区等部位,主航槽内冲淤变化不大。

2) 广阳坝河段碍航特性主要是浅、险,其治理思路是对航槽内不满足设计尺度要求的浅区及礁石进行开挖和适当的切除,拓宽航槽,增大水深

及弯曲半径,减弱不良碍航流态。

3) 广阳坝河段航道整治方案是对左岸半截梁突嘴、蜘蛛碛碛翅、礁石子浅区、飞蛾碛碛翅浅区进行疏浚清礁,对右岸饿狗堆、猪儿石、芦席碛和福平背浅区进行疏浚清礁。

4) 方案实施后,广阳坝河段航道尺度达到 $4.5m \times 150m \times 1000m$,进口黄腊滩至礁石子段流速、比降减小,流态更加平顺,满足5000吨级船舶自航上滩的要求。

参考文献:

- [1] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡库区航道泥沙原型观测(2009—2019年度)总结分析[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2020.
- [2] 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆交通大学. 三峡工程蓄水以来(2008—2013年度)三峡库区航道泥沙原型观测总结分析报告. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆交通大学, 2014.
- [3] 三峡工程泥沙专家组. 长江三峡工程泥沙问题研究[R]. 北京: 知识产权出版社, 2002.
- [4] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [5] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [6] 谢鉴衡. 河床演变及整治[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [7] 重庆交通大学. 长江上游广阳坝河段航道整治工程物理模型试验研究报告(定床部分)[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- [8] 长江重庆航运工程勘察设计院. 广阳坝、大箭滩航道整治方案数学模型研究[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2019.

(本文编辑 王传瑜)

编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动,他们建立伪网站,利用代理投稿和承诺上刊等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明,从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿和审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址: www.sygc.com.cn, 敬请广大读者和作者周知并相互转告。

《水运工程》编辑部