



# 西江长洲枢纽库尾段采砂工程 对航道通航水流条件的影响\*

覃昌佩<sup>1,2</sup>, 何修伟<sup>3</sup>, 邓 涯<sup>4,5</sup>, 蒋乙平<sup>1</sup>, 马爱兴<sup>4,5</sup>, 胡 颖<sup>4,5</sup>

- (1. 广西交通设计集团有限公司, 广西 南宁 530029; 2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210024;  
3. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000;  
4. 南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;  
5. 南京水利科学研究院, 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 西江航道桂平航运枢纽—长洲水利枢纽之间存在约 34 km 的水位未衔接段, 而大藤峡水利枢纽建设选取的江口料场位于长洲枢纽库区回水末端和上游附近滩段。为研究库尾段采砂工程对上游通航水流条件的影响, 须同步考虑上游来水和下游库区回水的变化, 建立桂平三江口上游黔江河段 16 km 和桂平枢纽—长洲枢纽约 156 km 的长河段二维水流数学模型, 分析采砂工程对航道通航水流条件的影响。结果表明, 采砂工程实施后上游桂平航运枢纽引航道水位降落 0.09 m, 布岭沙弯道凸岸侧边滩挖除引起主流一定左偏。整体上, 除设计流量外, 库尾段采砂工程对航道水流条件影响较小。

**关键词:** 西江; 库尾段; 采砂工程; 航道条件

中图分类号: U 617.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0147-06

## Impact on waterway hydraulic condition induced by sand mining project in reservoir end of Changzhou hydro-junction in Xijiang River

QIN Chang-pei<sup>1,2</sup>, HE Xiu-wei<sup>3</sup>, DENG Ya<sup>4,5</sup>, JIANG Yi-ping<sup>1</sup>, MA Ai-xing<sup>4,5</sup>, HU Ying<sup>4,5</sup>

- (1. Guangxi Communications Design Group Co., Ltd., Nanning 530029, China;  
2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
3. Sichuan Minjiang Channel & Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China;  
4. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;  
5. Key Laboratory of Port, Waterway & Sedimentation Engineering Ministry of Communications, PRC, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** There is about 34 km non-connection channel between Guiping navigation junction and Changzhou hydro-junction in Xijiang channel. Jiangkou building stone ground supplying material for the construction of Datengxia hydro-junction is as the reservoir end of Changzhou junction and near the upstream reach. To study the impact on the upstream hydraulic navigation environment induced by the sand mining project, we simultaneously consider the upstream flow and downstream reservoir water level variations, establish the 156 km two-dimension numerical model from three river mouths of Guping to Changzhou junction including the upstream 16 km Qianjiang river and Guiping

收稿日期: 2021-07-08

\*基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(Y220010、Y220011、Y221012、Y221013); 江苏省水利科技项目(2018008)

作者简介: 覃昌佩(1976—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计和研究。

通讯作者: 邓涯(1991—), 男, 博士, 工程师, 从事港口航道整治与工程泥沙的研究。E-mail: ydeng@nhri.cn

junction, and analyze the impact on waterway hydraulic condition by sand mining project. The results show that since the sand mining project, the upstream water level of entrance area at approach channel decreases 0.09 m, mainstream in the reach of Bulingsha is altered left because of the beach mined. Generally, except the designed discharge, the impact on the waterway hydraulic environment induced by sand mining in reservoir end is relatively small.

**Keywords:** Xijiang River; reservoir end; sand mining project; channel condition

河道采砂工程是对航道通航水流条件有较大影响的涉河工程之一，由于其比山体取砂更容易、成本较低等原因，一直是国民经济发展中众多基础性建设工程中主要的石料来源之一<sup>[1-2]</sup>。内河水运具有运量大、成本低、绿色低碳的优势，是国民综合交通运输体系中的重要一环，对沿河腹地的经济发展具有不可替代的作用<sup>[3]</sup>。因此，河道采砂工程对航道通航水流条件影响的研究一直是水运行业关注的热点。

河道内采砂工程势必会改变原有的河床边界，进而影响航道通航水流条件，甚至威胁航道的通航安全<sup>[4]</sup>。目前，国内外针对河道采砂工程与航道通航水流条件之间的影响开展了较多的研究，主要有水槽试验<sup>[5]</sup>、河工模型<sup>[6]</sup>和数学模型<sup>[7-11]</sup>，研究范围也基本涉及了我国的长江和珠江这两个主要通航河流的上、中、下游以及河口段。航道是一个纵向连续性的通航区域，不同位置的采砂工程对其影响明显不同，对于下游滩段的卡口区而言，采砂则会显著扩大中枯水下过水断面，引起上游水位降低造成航深不足而碍航，甚至威胁到上游枢纽船闸的门槛水深保证率；对于急、弯、险滩段来说，采砂会破坏原有滩沿的连续性，形成对船舶航行的不利水流流态；对于部分中枯水滩，采砂导致的河道断面打开，某种程度上也附带性地改善了枯水航深。因此，采砂工程对航道水流条件的影响是十分复杂的，在不同滩段影响类型和程度均有所差异。

受库区回水和上游来水的共同影响，库尾段水沙变化呈现出与天然状态下明显不同的特征，河床变化呈现汛期冲淤交替、消落后期冲刷，复

杂和非线性特征十分明显<sup>[12-13]</sup>。因此，枢纽库尾回水变动段的采砂工程对航道通航水流条件的影响变得更加复杂<sup>[14-16]</sup>，难以通过简单的经验公式或相关规范进行判别，而目前关于库尾采砂工程对航道水流条件的影响研究较少。本文通过建立桂平三江口上游黔江河段 16 km 和桂平枢纽—长洲枢纽约 156 km 的长河段二维水流数学模型，计算分析江口料场不同开采方案对工程河段通航水流条件的影响，揭示梯级间库尾段采砂工程对通航水流条件的影响规律，可为其他类似库尾河段采砂工程的通航影响评估提供技术借鉴和参考。

1 工程概况

西江航运干线贵港—梧州段现状航道等级为Ⅱ级，航道尺度为 3.5 m×80 m×550 m(水深×航道宽度×弯曲半径)，可通航 2 000 吨级船舶。长洲水利枢纽是西江通江达海的最后一座枢纽，上距桂平航运枢纽 164 km，属低水头径流式电站，库区回水末端位于浔江大湟江江口鲫鱼滩段附近，其上至桂平航运枢纽之间尚有 34 km 河段为水位非衔接段。

目前正在建设的大藤峡水利枢纽位于珠江流域西江水系的黔江河段，根据《大藤峡水利枢纽工程砂石料开采运输及加工专题报告》<sup>[17]</sup>，工程所需混凝土总量 763.95 万 m<sup>3</sup>，混凝土集料总量 1 627.05 万 t，砂石料源之一为坝址下游 40 km 江口镇浔江干流的大湟江江口天然砂砾石料场，包括鲫鱼滩段 2 个开采区和上游 6 km 的布岭沙段的 1 个开采区，3 个开采区位置和设计开采方案前后河道地形见图 1。

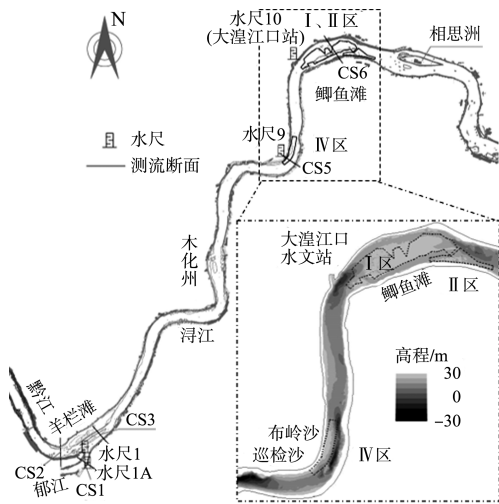


图1 江口料场采砂区位置

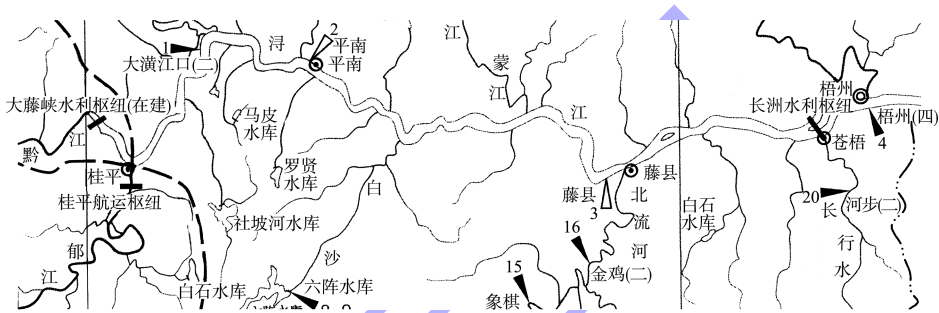


图2 研究河段

桂平枢纽—鲫鱼滩上游河段，以及三江口上游黔江河段，一般主槽内糙率为 0.020~0.033，浅滩或边滩内糙率为 0.034~0.050；鲫鱼滩下游至长洲枢纽坝上河段一般主槽内糙率为 0.018~0.025，浅滩或边滩内糙率为 0.025~0.040。

2.2 模型验证

2.2.1 枯水验证

采用 2010-02-16 沿程桂平航道站、大湟江口水文站、藤县和平南水位站日均水文资料对模型进行枯水条件下糙率率定与验证，浔江流量 907 m<sup>3</sup>/s，长洲坝上水位 19.09 m。枯水水位验证结果见表 1，数学模型计算枯水水面线与日均水位资料符合较好，水位验证结果符合有关规范要求。

表 1 枯水水位验证

水尺	水位/m		
	实测	计算	差值
桂平航道站	20.07	20.12	0.05
大湟江口水文站	19.62	19.69	0.07
平南水位站	19.21	19.20	-0.01
藤县水位站	19.09	19.09	0.00
长洲坝上	19.09	19.09	0.00

2 二维水流数学模型建立与验证

2.1 模型建立

考虑到江口料场工程河段通航水流条件受郁江与黔江不同汇流及长洲枢纽回水共同影响，通航水流条件异常复杂，本文建立桂平枢纽至长洲枢纽间长约 156 km 的二维水流数学模型，模型考虑郁江、黔江汇流影响，黔江段由三江口上延 16 km，见图 2。根据地形特征对计算域进行网格剖分，航道范围内单元网格尺寸为 30 m，两侧河岸边界单元格尺寸为 60 m，中间部分渐进过渡，整个计算网格节点约 5.3 万个，单元 10.0 万个。

2.2.2 中水验证

采用 2016-04-28T12:00 实测水文资料对模型进行中水条件下糙率率定与验证，水尺和测流断面布置见图 1。浔江流量 6 754 m<sup>3</sup>/s，长洲坝上水位 20.33 m。中水水面线、断面流速验证结果见图 3、4。可以看出，数学模型计算的水面线与实测基本一致，误差在±7 cm 以内，断面流速分布与实测资料符合较好，断面流量误差在±5%，均满足《内河航道与港口水流、泥沙模拟技术规程》<sup>[18]</sup>要求。

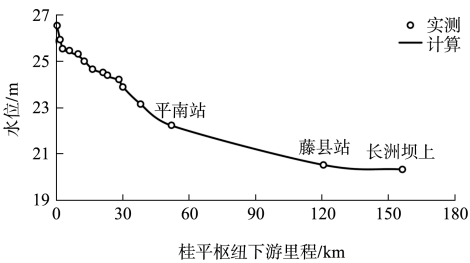


图3 沿程水面线验证

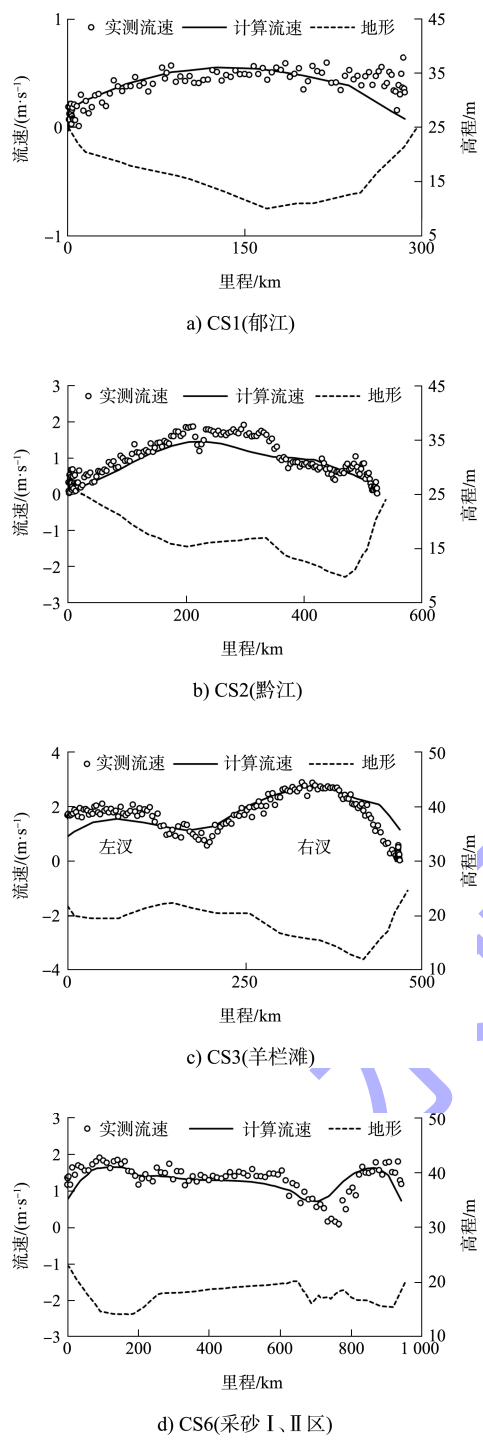


图 4 各测流断面流速分布验证

3 采砂对通航水流条件的影响

选取研究河段设计最小通航流量 840 m<sup>3</sup>/s、鲫鱼滩下游设计水面线推算流量 1 850 m<sup>3</sup>/s、多年平均流量 5 430 m<sup>3</sup>/s 和设计最大通航流量 4.45 万 m<sup>3</sup>/s 等 4 级特征流量<sup>[19-21]</sup>，进行江口料场开采对上游通航水流条件影响的计算和分析。

3.1 设计水位与航道水深变化

设计流量 840 m<sup>3</sup>/s 条件下，桂平枢纽下游沿程水位降落基本在 0.05~0.11 m 之间，桂平枢纽下游引航道附近(水尺 1A)水位降落 0.09 m，桂平航道站(水尺 1)水位降落 0.09 m，大湟江口站(水尺 10)水位降落 0.11 m，而鲫鱼滩段以下为长洲水利枢纽库区，水位变化不明显。

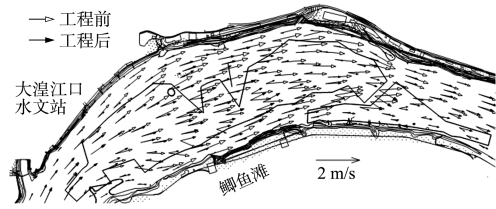
汛期保证率 98% 流量 1 850 m<sup>3</sup>/s 时，长洲枢纽坝上水位考虑死水位 18.75 m 运行，河段比降加大，采砂工程对水位的影响增强，桂平枢纽下游沿程水位降落幅度达 0.18~0.54 m，与上述设计流量变化相似，鲫鱼滩段以下为长洲水利枢纽库区，水位变化不明显。

江口料场开采后，采砂区地形高程降低，采砂 IV 区最大航深增加 6.8~17.8 m，鲫鱼滩部分航段水深增加 1.2~9.2 m，但工程区上游河段枯水航道水深减少 0.1 m 左右，其中木化洲河段仍存在局部航段航边线水深略有不足。

3.2 河道流程、流速变化

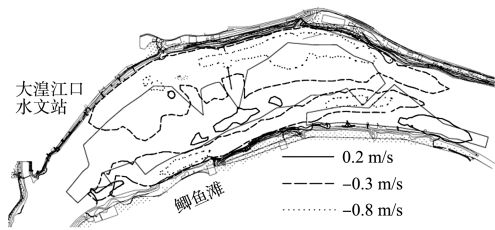
采砂工程( I、II 区)实施后鲫鱼滩及采砂范围内航道整治建筑物被挖除，河道内水流方向基本为顺岸，而航道线两侧的潜坝仍存在，主流在其附近偏向右岸，见图 5a)。多年平均流量下，水流流速在 0.5~0.8 m/s，左右汊道内水流流速减小 0.3~0.8 m/s，鲫鱼滩滩面流速增加 0.2 m/s 左右，见图 5b)。

采砂工程( IV 区)实施后，河道左侧布岭沙被挖除，滩体对水流的挑流作用减弱，工程区附近水流较工程前相比有所左偏，且增大了河道过水断面，河道水流流速有所减小，见图 5c)。多年平均流量下，工程附近流速一般减小 0.2 m/s，采砂上段局部流速增加 0.1 m/s 左右，见图 5d)。

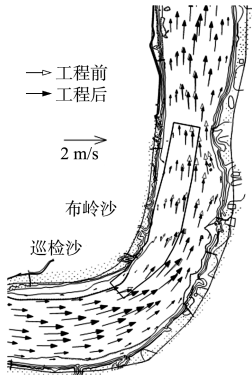


a) I、II 区流场变化

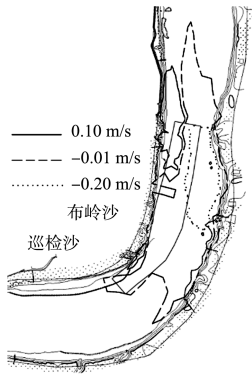




b) I、II 区流速变化



c) IV 区流场变化



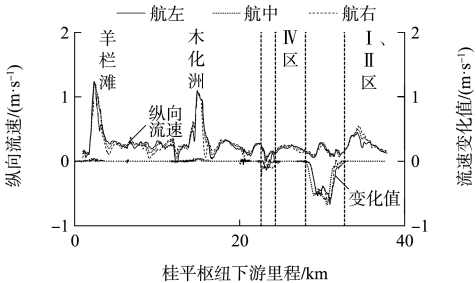
d) IV 区流速变化

图 5 采砂前后多年平均流量 5 430 m<sup>3</sup>/s 下河道流场及流速变化

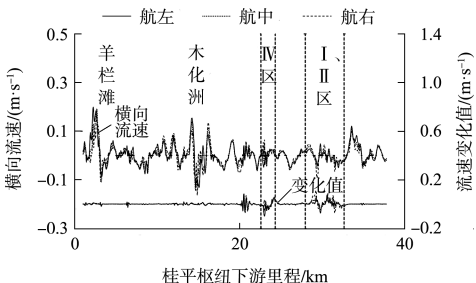
3.3 航道流速变化

江口料场采砂工程实施后, 总体上, 采砂工程上游河段因水位降落, 航道流速略有增加, 工程区域因过水面积增加显著, 航道流速减小较为明显。

设计流量 840 m<sup>3</sup>/s 下, 除采砂区以外流速变化较小, 采砂 I、II 区范围内纵向流速最大减小了 0.44~0.61 m/s, 横向流速最大变幅为 0.10 m/s; 采砂 IV 区纵向流速最大减小了 0.09~0.22 m/s, 横向流速最大变化幅度为 0.06 m/s, 见图 6。



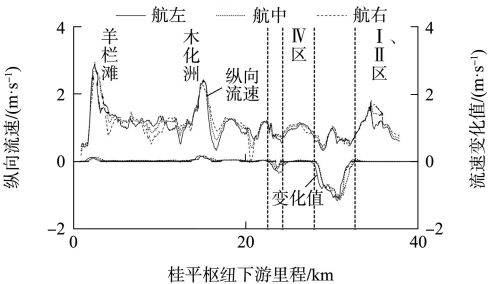
a) 纵向流速及变化值



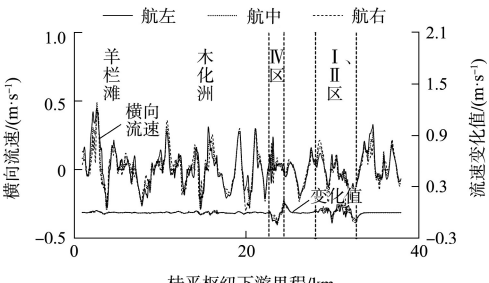
b) 横向流速及变化值

图 6 设计流量 840 m<sup>3</sup>/s 下航道流速及变化值

多年平均流量 5 430 m<sup>3</sup>/s 下, 采砂区上游的羊栏滩、木化洲航道纵向流速增幅分别为 0.15、0.18 m/s, 采砂 I、II 区范围内纵向流速最大减小约 1.0 m/s, 横向流速最大变幅为 0.13 m/s; 采砂 IV 区纵向流速最大减小了 0.18~0.32 m/s, 横向流速最大变幅与采砂 I、II 区相近, 见图 7。



a) 纵向流速及变化值



b) 横向流速及变化值

图 7 多年平均流量 5 430 m<sup>3</sup>/s 下航道流速及变化值

最大通航流量 4.45 万 m<sup>3</sup>/s 下, 采砂 I、II 区范围内纵向流速最大减小了 0.8~1.1 m/s, 横向流速最大变幅为 0.32 m/s; 采砂 IV 区纵向流速最大减幅度约 0.61 m/s, 横向流速变化幅度相比采砂 I、II 区小, 为 0.24 m/s, 见图 8。

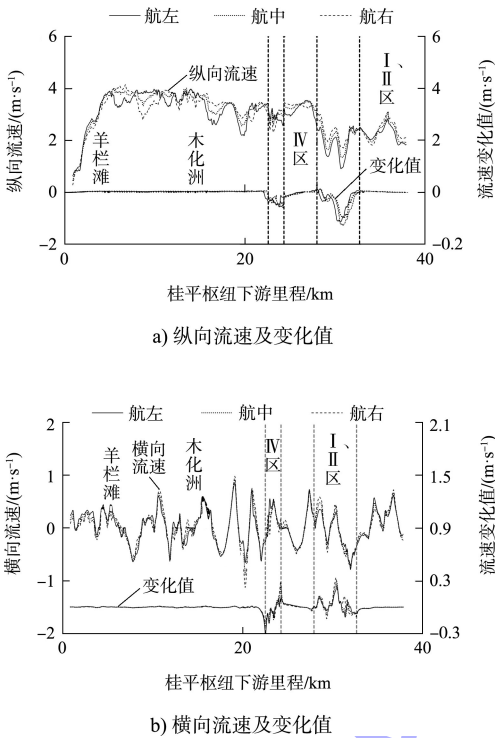


图 8 最大通航流量 4.45 万 m<sup>3</sup>/s 下航道流速及变化值

4 结 论

- 1) 采砂工程实施后, 引起上游桂平航运枢纽引航道水位降落 0.09 m, 下游河段为长洲枢纽库区段航道, 降落幅度不明显, 航边线不满足 3.5 m 航深要求范围有所扩大。
- 2) 采砂工程显著改变了工程河段河床边界, 上游布岭沙段滩体对水流的挑流作用减弱, 水流左偏, 多年平均流量下河道流速一般减小 0.2 m/s; 最大通航流量下鲫鱼滩段和布岭沙段航道流速最大减小 0.8~1.1 m/s 和 0.61 m/s。
- 3) 由于鲫鱼滩段接近库区, 滩沿有一定保留, 以及布岭沙段在弯道凸岸侧下游开采, 除设计流量引起上游水位有所降落外, 对航道水流条件影响有限, 未出现明显不利流态。

参考文献:

[1] 赵佳源, 张春泽, 谢灵运, 等. 东江中游采砂对航道整治的影响[J]. 水运工程, 2021(6): 104-109, 114.

[2] KULARATNE R K A. Suitability of the coastal waters of Sri Lanka for offshore sand mining: A case study on environmental considerations[J]. Journal of coastal conservation, 2014, 18(3): 227-247.

[3] DENG Y, CAO M X, MA A X, et al. Mechanism study on the impacts of hydraulic alteration on fish habitat induced by spur dikes in a tidal reach[J]. Ecological engineering, 2019, 134(11): 78-92.

[4] JIANG S W, HAIBIER A, WU Y X. Combined impacts of sand mining activities: The Nandu River downstream segment[J]. Advanced materials research, 2013, 671(3): 3134-3137.

[5] 毛野, 黄才安. 采砂对河床变形影响的试验研究[J]. 水利学报, 2004, 5(5): 64-69.

[6] 汪路瑶, 曹民雄, 马爱兴, 等. 赣江石虎塘枢纽坝下Ⅲ级航道整治方案研究[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(4): 136-138.

[7] 潘荣伟. 河道采砂对岷江龙溪口至合江门航道条件的影响研究[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(8): 84-85, 89.

[8] 于合理, 夏叶, 王之晗, 等. 采砂坑纵剖面尺寸对卵石河道河床演变影响数值试验: 以石亭江双盛段为例[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(S2): 83-91.

[9] 张蔚, 严以新, 诸裕良, 等. 人工采砂及航道整治对珠江三角洲水流动力条件的影响[J]. 水利学报, 2008, 39(9): 1098-1104.

[10] 张帅帅. 长江上游叙渝段采砂坑分布及对水位的影响[J]. 水运工程, 2021(6): 135-140.

[11] 彭玉明, 黄烈敏. 无序采砂对长江荆江河段关洲汉道形态的影响[J]. 泥沙研究, 2020, 45(4): 27-32.

[12] CHENG C, LUAN C, FANG X U. Study on sediment problem in Chongqing primary city zone in fluctuating backwater reach of Three Gorges Reservoir[C]// HU C H, TAN Y. Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation (Volume II). Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 384-388. (下转第 213 页)