



三峡水库变动回水区采砂分布研究*

夏楠¹, 肖毅¹, 胡祥语², 邓敬宏¹, 李达宏¹

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 空装成都局驻绵阳二区第二军事代表室, 四川 绵阳 621000)

摘要: 河道采砂规模不断扩大, 影响了河床结构的稳定性及演变特性。根据 2007—2019 年江津—涪陵河段的实测地形资料, 对三峡水库变动回水区采砂坑分布进行统计, 并分析了重点河段的采砂坑恢复情况。研究表明: 变动回水区 2007—2019 年的采砂量约为 1.63 亿 m^3 , 剧烈采砂活动集中于 2007—2016 年, 主要采砂区段为江津—长寿河段, 采砂位置主要分布于河道边滩。自 2016 年长江上游禁采措施实施以来, 变动回水区采砂活动大幅减小, 而三峡入库来沙的进一步减小引起库尾河段年际冲淤变化较小。在目前三峡入库来沙条件下, 库尾边滩采砂坑基本无法恢复至原有形态。

关键词: 变动回水区; 采砂坑; 河床演变; 三峡水库

中图分类号: U61; TV145

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)07-0151-06

Sand mining distribution in fluctuating backwater area of Three Gorges Reservoir

XIA Nan¹, XIAO Yi¹, HU Xiangyu², DENG Jinghong¹, LI Dahong¹

(1. Hehai College of Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. The 2nd Military Representative office of the Air Force Armament Department stationed in Chengdu Mianyang District, Mianyang 621000, China)

Abstract: The expanding scale of sand mining in rivers has affected the stability of riverbed structure and its evolution process. In this study, based on the measured topographic data of Jiangjin to Fuling river section from 2007 to 2019, the distribution of sand mining pits in the fluctuating backwater area of the Three Gorges Reservoir is investigated, and the recovery process of sand mining pits in the key river section is analyzed. The results show that the sand mining volume in the fluctuating backwater area is about 163 million m^3 from 2007 to 2019, the intense sand mining activities are mainly concentrated from 2007 to 2016 in the Jiangjin to Changshou river section, and the sand mining pits are mainly distributed in the river side beaches. With the implementation of the upstream mining ban measures in 2016, the sand mining activities at the end of the Three Gorges reservoir are significantly declined, while the further reduction of the sand inflow from the Three Gorges has caused the tiny change of the river topography in the end of the reservoir, and the sand mining pits could not be return to their original form according to the present sediment supply level.

Keywords: fluctuating backwater area; sand mining pits; fluvial process; the Three Gorges Reservoir

自 20 世纪 70 年代以来, 随着经济建设的快速发展, 建筑砂石的市场需求量逐年递增, 砂价上涨, 大量河沙被采挖用作建筑砂石。不少学者

基于泥沙经验公式^[1-3]、实测资料分析^[4-5]、物理模型^[6-8]和数学模型^[9-13]对采砂河道演变特性进行了研究。结果表明, 大量的河砂开采将引起河道

收稿日期: 2022-09-30

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 52179059); 重庆市自然科学基金项目 (cstc2021jcyj-msxmX0490)

作者简介: 夏楠 (1998—), 女, 硕士研究生, 从事航道整治工程研究。

通讯作者: 肖毅 (1985—), 女, 教授, 从事河流动力学及航道工程研究工作。E-mail: 409705911@qq.com

水位降低、河床面下切、河床比降下降、河岸河堤冲刷、河道水流流势流态紊乱^[14]。三峡库区采砂活动主要集中于变动回水区规划采砂河段，采砂引起了三峡库尾河段局部河床结构的改变。2016 年以后，三峡库尾非法采砂得到了有效扼制；同时，由于长江上游梯级水库的运行，三峡水库变动回水区的来水来沙条件发生了较大变化^[15]。因此，开展三峡库尾采砂分布研究，对理清新水沙条件及河道边界条件下的三峡库区河段冲淤变化具有重要意义。

本文基于 2007—2016 年三峡库尾实测地形资料，统计采砂坑分布特征，并结合区间典型采砂河段 2017—2019 年实测地形数据，分析采砂后河段冲淤变化过程及采砂坑恢复趋势。

1 研究区域概况

三峡水库自 2008 年实施 175-145-155 m 蓄水方案以来，正常蓄水位 175 m 回水区末端上延至重庆江津，水库防洪水位 145 m 回水末端位于涪陵附近，重庆江津—涪陵河段属于三峡水库变动回水区，全长约 180 km。整个河段属于典型山区河流，从平面形态上看，该河段呈连续弯曲形态。

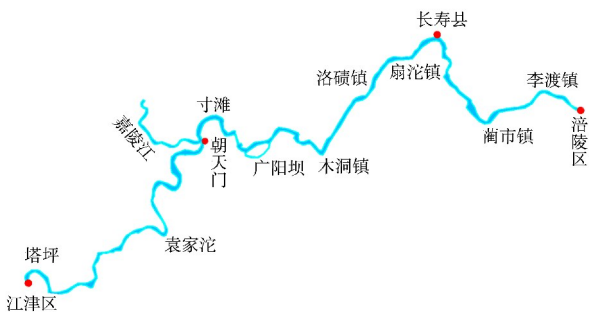


图 1 三峡水库变动回水区河势

三峡水库变动回水区河段上游有朱沱，中部有北碚、寸滩等水文站。由 2003—2017 年朱沱、北碚、寸滩水文站多年水沙资料统计可知，该河段年均径流量基本保持不变，为 2 659 亿 m³；年输沙率显著减少，沿程各站输沙率平均值相比 2003 年减小约 40%^[16]。

2 三峡库尾采砂分布特性

2.1 采砂判别标准

根据现场调研，结合 2007、2016 年重庆江津—涪陵段冲淤变化分析可知，该河段的淤积幅度最大约 8 m，河道自然演变下的冲刷基本在 3.5 m 以内，统计冲刷范围不超过 100 m²^[17]。因此，通过地形对比法得到三峡库尾河段采砂坑判别指标： $\Delta Z > -3.5\text{ m}$, $\Delta S_{坑} > 100\text{ m}^2$ (ΔZ 为采砂坑最大深度； $\Delta S_{坑}$ 为采砂坑面积)。

2.2 采砂分布

采用 2007 年枯水期(1:5 000 测图)与 2016 年枯水期(1:2 000 测图)江津—涪陵实测地形数据，结合采砂坑判别指标式(1)，统计得到三峡水库变动回水区采砂造成的地形变化量为 1.63 亿 m³。三峡变动回水区主要采砂段集中于江津—大渡口与大渡口—鱼嘴水道，采砂量分别为 0.56 亿、0.57 亿 m³(图 2)。

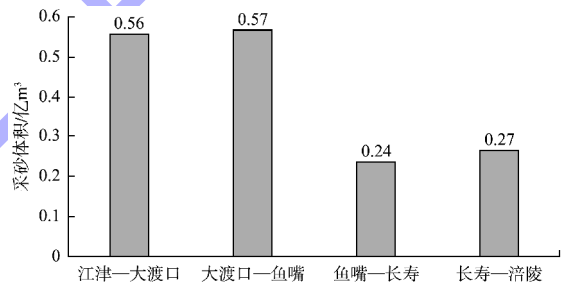


图 2 江津—涪陵采砂量分布

三峡水库变动回水区各河段采砂坑空间分布见图 3。1) 江津—大渡口段(航道里程 726~683 km)主要为弯曲河段，采砂坑主要分布在鸭儿凼、红花碛、中山坝、打鱼碛、铜盆碛、栋杆碛等河岸边滩，采砂量约为 0.56 亿 m³，见图 3a)。2) 大渡口—鱼嘴段(航道里程 683~633 km)为弯曲河段，采砂坑主要分布在大渡口、九龙坡、寸滩弯曲河段弯道段、铜锣峡峡谷深槽河段及广阳坝弯曲分汊河段，采砂量约为 0.57 亿 m³，见图 3b)。3) 鱼嘴—长寿段(航道里程 633~583 km)主要为弯曲河段。采砂坑分布较散，主要分布在果园港、盐巴碛、下洛碛等河槽边滩，该河段采砂量约为 0.24 亿 m³，见图 3c)。4) 长寿—涪陵河段

(航道里程 583~538 km) 为弯曲态势, 该段采砂位于河道的边滩及心滩, 主要在木鱼碛、黄草峡、白沙坝、李渡等河段, 采砂量约为 0.27 亿 m^3 , 见图 3d)。

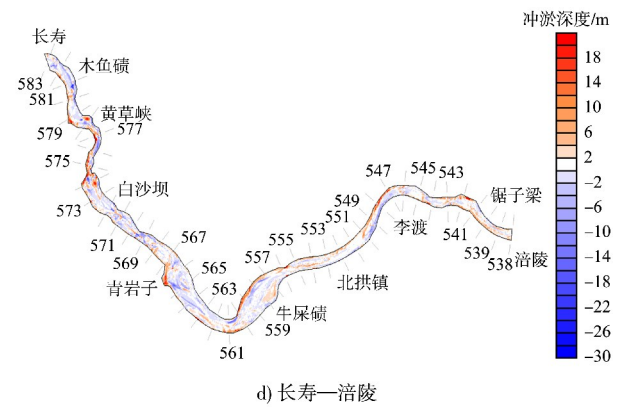
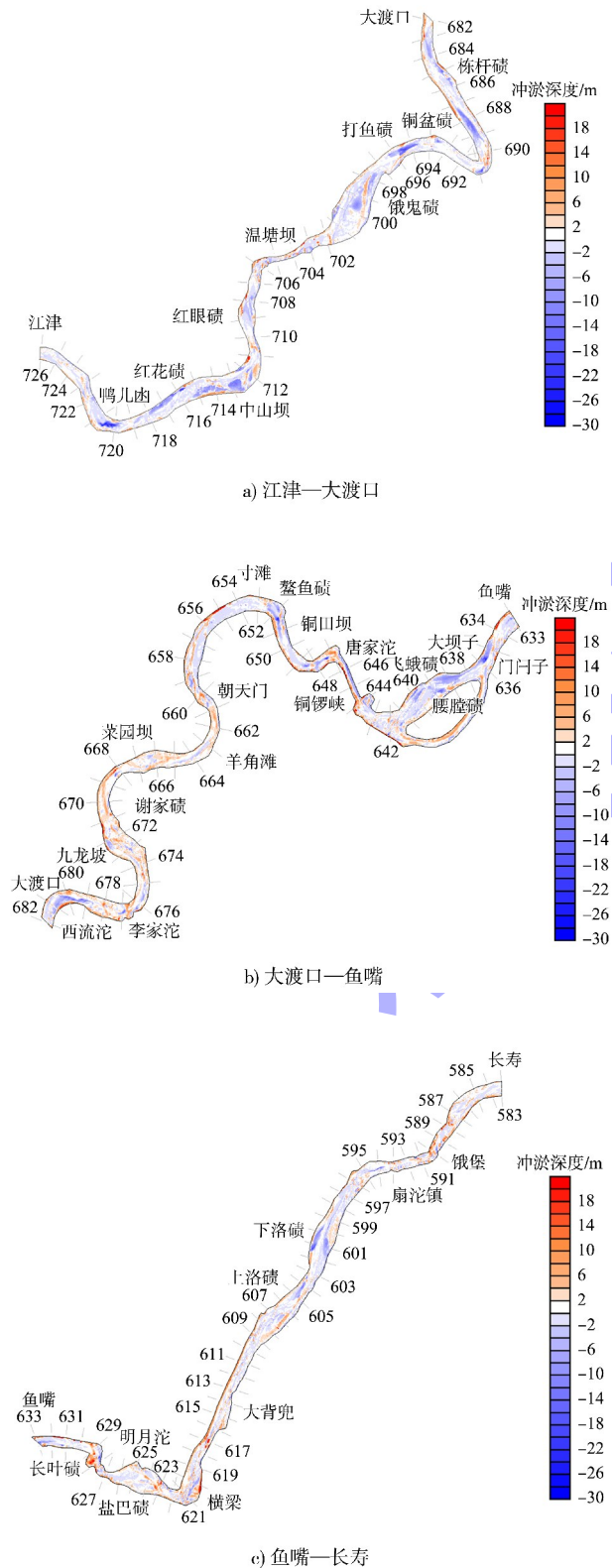


图 3 变动回水区沿程采砂分布

2.3 采砂坑特征参数

根据上述主要采砂河段采砂坑分布区域及范围, 将采砂体积以 100、200、500 m^3 为界进行尺度划分, 河道采砂坑的尺寸统计见表 1。由表可知, 三峡变动回水区采砂坑共有 103 个。其中: 采砂体积小于 100 万 m^3 的采砂坑的个数占比为 57%, 应体积占比为 19%; 100~200 万 m^3 的采砂坑个数占比为 22%, 对应体积占比为 20%; 200~500 万 m^3 的采砂坑个数占比为 13%, 对应体积占比为 25%; 而大于 500 万 m^3 的采砂坑个数占比为 8%, 对应体积占比为 36%。因此, 采砂体积为 500 万 m^3 以上的采砂坑对该河段的地形变化影响显著。

表 1 三峡变动回水区采砂坑尺寸

采砂体积/ 万 m^3	采砂坑 数量/个	采砂坑数量 占比/%	平均 深度/m	采砂总体积/ 亿 m^3	采砂体积 占比/%
<100	59	57.28	6.91	0.31	19.02
100~<200	23	22.33	7.71	0.32	19.63
200~<500	13	12.62	8.93	0.41	25.15
≥ 500	8	7.77	10.25	0.59	36.20
合计	103	100.00	-	1.63	100.00

表 2 为三峡水库变动回水区的采砂坑位置分布统计。由表可知, 采砂坑主要分布于边滩、河槽至边滩、主河槽等部位。其中: 分布在主河槽内的采砂坑体积 90% 小于 100 万 m^3 ; 体积大于 500 万 m^3 的采砂坑均在河槽至边滩范围内; 体积小于 200 万 m^3 的采砂坑主要位于边滩; 由河槽至边滩延伸所致的采砂坑主要由大于 200 万 m^3 的采砂坑组成。

表2 三峡变动回水区采砂坑位置分布

采砂坑位置	采砂坑数目/个	采砂坑尺寸/万 m ³	相应数量/个	平均深度/m	采砂总体积/亿 m ³	采砂体积占比/%
边滩	51	<100	38	7.89	0.46	28.22
		100~<200	7			
		200~<500	6			
		≥ 500	0			
主河槽	22	<100	21	7.76	0.16	9.82
		100~<200	1			
		200~<500	0			
		≥ 500	0			
河槽至边滩	30	<100	2	10.31	1.01	61.96
		100~<200	13			
		200~<500	7			
		≥ 500	8			
合计	103	-	103	-	1.63	100.00

3 库尾典型河段采砂坑恢复过程

3.1 广阳坝河段采砂分布

广阳坝河段位于长江上游，航道里程 642~635 km，为一弯曲、分汊、放宽河段；河段内浅滩礁石密布、相互制约，其上紧邻峡谷河段铜锣峡，内有广阳坝，为高水位期的江心洲，将河槽分为左右两汊。图 4 为该河段采砂坑的位置分布，2007—2016 年河段采砂总量约为 1 600 万 m³，主要位于郭家沱、腰膛碛、飞蛾碛，造成河床滩面不同程度的破坏，局部采砂深度在 4~11 m。

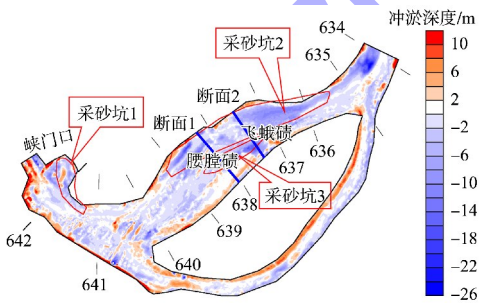
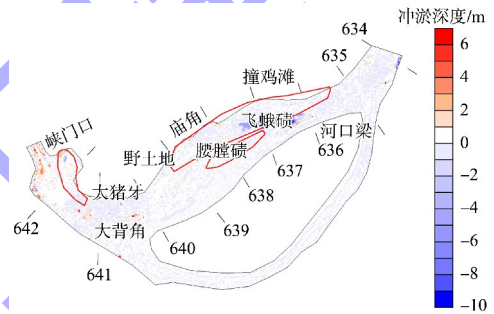


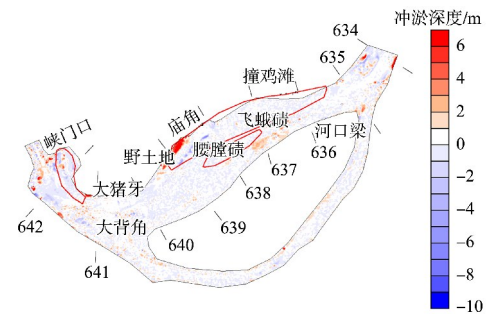
图4 广阳坝采砂坑分布

3.2 河道采砂后冲淤变化

图 5 为广阳坝河段 2017—2019 年的年际河床冲淤变化。自 2017 年以来，该河段有冲有淤。淤积部位主要在峡门口、野土地、飞蛾碛的滩面，冲刷部位主要位于飞蛾碛碛翅、腰膛碛的滩面。除人为采砂导致飞蛾碛、野土地局部地形变化深度超 4 m 外，其他区域冲淤变化幅度在 1 m 左右。



a) 2017—2018年

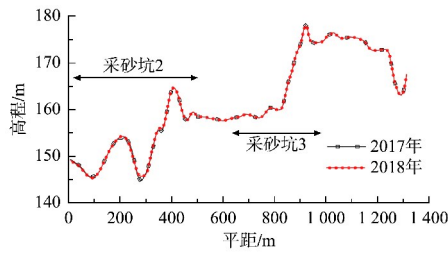


b) 2018—2019年

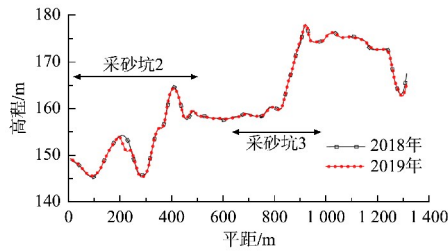
图5 广阳坝 2017—2019 年河段地形变化

3.3 采砂坑恢复过程

图 6、7 为 2017—2019 年广阳坝河段典型断面冲淤变化情况。由图可知，断面 1 年际冲淤幅度不大，基本在 0.8 m 以内。2018 年断面 2 除采砂坑 2 内由于人为采砂导致对应部位地形降低约 4 m 外，其余部位冲淤幅度均在 0.5 m 以内；2019 年该断面采砂坑 3 右侧发生淤积，最大幅度为 2 m，采砂坑 2 略有冲刷，幅度在 0.3 m 以内。

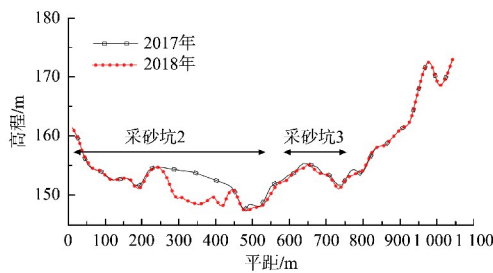


a) 2017—2018年

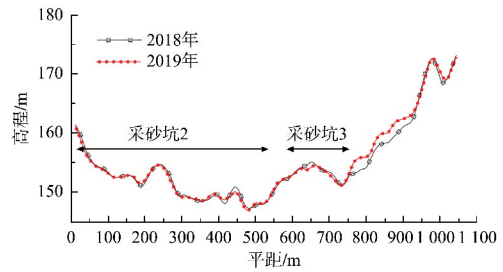


b) 2018—2019年

图 6 2017—2019 年广阳坝断面 1 变化



a) 2017—2018年



b) 2018—2019年

图 7 2017—2019 年广阳坝断面 2 变化

表 3 为广阳坝河段主要采砂坑的冲淤变化情况。由表可知, 该河段采砂坑最大挖深均超过 20 m。2018 年采砂坑 1 整体表现为微淤, 淤积幅度为 0.04 m, 采砂坑 2、3 高程整体下降 0.3 m 以内, 通过实地调研并结合图 6、7 可知, 采砂坑 2 局部高程降低由人工采砂所致。2019 年采砂坑 2 整体表现为淤积, 淤积体积约 16.85 万 m³, 淤积平均深度约 0.13 m, 采砂坑 1、3 由于河道冲刷导致高程降低 0.8 m 以内。总体来说, 自 2017 年以来, 各采砂坑地形年际变幅在 ±0.8 m 以内, 且由于河道冲刷及人为采砂导致采砂坑地形持续下降。因此, 采砂坑地形短期无法恢复至采砂前状态。

表 3 广阳坝采砂坑变化

采砂坑	最大挖深/m	平均挖深/m	采砂面积/万 m ²	采砂体积/万 m ³	体积变化/万 m ³			平均高程变化/m	
					2017—2018 年	2018—2019 年	2017—2019 年	2017—2018 年	2018—2019 年
1	27.40	9.54	12.30	117.3	0.47	-9.68	-9.21	0.04	-0.79
2	27.41	10.42	127.26	1 326.2	-33.65	16.85	-16.80	-0.26	0.13
3	21.30	5.48	29.94	164.1	-1.67	-0.42	-2.09	-0.06	-0.01

4 结论

1) 2007—2019 年三峡变动回水区采砂造成地形变化量约为 1.63 亿 m³; 采砂坑数目约为 103 个。采砂主要集中于江津—长寿河段, 采砂体积达到 1.36 亿 m³, 占库尾总采砂量的 84%。

2) 三峡水库变动回水区河段内采砂坑体积小于 100 万 m³ 的采砂坑有 59 个, 采砂体积约 0.31 亿 m³; 8 个体积大于 500 万 m³ 的巨型采砂坑的人工采砂量达 0.59 亿 m³。位于边滩、边滩至主河槽的采砂坑约 81 个, 占采砂坑总数的 78.6%。

3) 三峡库尾典型河段的采砂坑地形年际变幅

不大, 冲淤变幅均在 ±0.8 m 以内, 河道冲刷及人为采砂导致采砂坑地形持续下降。因此, 采砂坑较难在短期内恢复至采砂前的河床结构。

参考文献:

[1] 金中武, 卢金友, 姚仕明. 长江上游推移质泥沙输沙率公式的检验[J]. 水利学报, 2009, 40(11): 1299-1306.
 [2] 卢金友, 金中武, 郭炜, 等. 长江上游推移质泥沙输移研究[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(1): 5-8.
 [3] 楚万强, 曹明伟. 长江重庆河段卵砾石推移质无量纲输沙率研究[J]. 水利水运工程学报, 2014(2): 100-104.

[4] 刘朋. 山区河道采砂对河床演变影响分析[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(6): 76-79.

[5] 陈坤, 刘超. 人类活动影响下长江上游水沙条件变化趋势[J]. 中国农村水利水电, 2021(4): 126-131.

[6] 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): 64-69.

[7] 毛野, 黄才安, 陈建华, 等. 长江镇江段河道采砂的影响及其控制利用的试验研究[J]. 泥沙研究, 2004(3): 41-45.

[8] 邓晓丽, 李文全, 海涛, 等. 长江中游武穴水道航道整治与采砂方案试验研究[J]. 水运工程, 2012(8): 125-129, 135.

[9] 黄仁勇, 黄悦. 三峡水库干支流河道一维非恒定水沙数学模型初步研究[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(2): 9-13.

[10] 吕敬军, 范陆娥, 余之光, 等. 河道采砂对分汊河段河势影响分析研究[J]. 湖南水利水电, 2016(4): 54-56.

[11] 周维, 郜会彩, 吴腾. 山区河流二维推移质数学模型及应用研究: 以望谟河整治工程为例[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(8): 6-10.

[12] 赵钢, 徐毅, 朱昊, 等. 多个大型采砂工程对长江下游局部河段水流条件的影响[J]. 水运工程, 2020(12): 98-105.

[13] 徐毅, 王茂枚, 朱昊, 等. 多个采砂工程对长江下游局部河段河势影响[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(6): 117-129.

[14] 赖永辉, 谈广鸣, 曹志先. 河道采砂对河流河道演变及人类生产活动影响研究述评[J]. 泥沙研究, 2008(6): 74-80.

[15] 陈坤, 刘超. 人类活动影响下长江上游水沙条件变化趋势[J]. 中国农村水利水电, 2021(4): 126-131.

[16] 潘庆燊, 陈济生, 黄悦, 等. 三峡工程泥沙问题研究进展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.

[17] 肖毅. 采砂活动对三峡库区河段泥沙冲淤变化影响研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 150 页)

参考文献:

[1] 邓健, 廖芳达, 谢澄, 等. 船舶操纵仿真的狭长通航隧洞航行安全研究[J]. 中国航海, 2021, 44(4): 7-12.

[2] 干伟东, 李延伟, 乔华倩. 隧洞通航风险评价指标体系构建[J]. 船海工程, 2021, 50(1): 122-125.

[3] SORENSEN R M. Investigation of Ship-Generated Waves[J]. Journal of the waterways and harbors division, 1967, 93(1): 1-4.

[4] 蒋宗燕, 潘宝雄. 船行波的研究和研究趋势[J]. 中国港湾建设, 2000(6): 34-38.

[5] DAM K T, TANIMOTO K, FATIMAH E. Investigation of ship waves in a narrow channel [J]. Journal of marine science and technology, 2008, 13(3): 223-230.

[6] 徐星璐, 吴志易, 张贺城, 等. 内河航道船行波及其研究现状[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(11): 9-10, 45.

[7] 王孟飞, 邓斌, 蒋昌波, 等. 限制性航道中船行波传播特性的数值研究[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(5): 157-163.

[8] MORI M, MIZOGUCHI S, TANAKA M, et al. Ship Maneuvering Simulator and Its Applications [J]. Journal of the society of naval architects of Japan , 1975 (138): 196-209.

[9] DENG B, WANG M F, JIANG C B, et al . Propagation characteristics of ship waves in navigation tunnel and its influence on continuous navigation safety of ship [J]. Chinese science bulletin-chinese, 2021, 66(9): 1-12.

[10] 郑龙, 杨帅. 内河航道船行波引起的水流回流分析[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(1): 154-155.

[11] 翟正娟. 直立式护岸渡槽船行波分布规律研究[J]. 水科学与工程学报, 2019, (6): 17-21.

[12] FLEIT G, BARANYA S, KRAMER T, et al. A practical framework to assess the hydrodynamic impact of ship waves on river banks [J]. River research and applications, 2019, 35(9): 1428-1442.

(本文编辑 赵娟)