



# 清水持续冲刷下黑沙洲水道控导工程效果的差异性分析\*

叶志伟

(长江航道局, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 针对三峡水库下泄清水持续冲刷下长江中下游航道演变的新趋势, 分析黑沙洲鹅头形弯曲分汊水道整治工程实施后的航道稳定性及其与研究阶段的差异, 阐明清水冲刷对弯曲分汊型河道演变航道整治思路的影响。结果表明, 在上游来沙量骤减的情况下, 清水冲刷增大弯曲分汊河段凸岸一侧汊道的输沙能力, 航槽持续冲刷, 航深、航宽及分流比增加, 属于发展的汊道, 因而工程实际效果优于模型试验结果, 为后续类似弯曲分汊河段治理积累经验。

**关键词:** 黑沙洲水道; 航道整治; 清水冲刷; 整治效果

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)09-0087-06

## Difference analysis of diversion control project effect of Heishazhou waterway under continuous scouring of clear water

YE Zhi-wei

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** This paper focuses on the new trend of the evolution of the middle and lower Yangtze River waterway continuously washed by the clear water discharged from the Three Gorges Reservoir, analyzes the channel stability after the implementation of Heishazhou goose-head curved branching waterway control project and the difference during the research stage, and expounds the influence of clear water scour on the channel regulation idea of the evolution of the curved branching waterway. The results show that under the condition of the sudden decrease of sediment inflow in the upstream, the clear water scouring increases the sediment transport capacity of the branch on the convex bank side of the branching reach, the channel continues to scour, and the navigation depth, navigation width, and diversion ratio increase, which belongs to the developed branch. Therefore, the actual engineering effect is better than the model test results, which accumulates experience for the follow-up treatment of the similar curved branching reach.

**Keywords:** Heishazhou waterway; channel regulation; clear water scouring; regulation effect

黑沙洲水道位于长江下游安徽省境内, 上距铜陵市约 62 km, 下距芜湖市约 50 km, 水道上起板子矶, 下至高安圩, 全长 14 km, 平面形态为首尾窄、中间向左展宽的典型鹅头形分汊河道<sup>[1-3]</sup>, 江中的黑沙洲、天然洲将河道分成南、中、北 3 个水道, 见图 1, 其中南水道分左、右两槽, 右槽为

主航道, 枯水期航道狭窄, 是长江下游重点碍航浅水道之一。为了加强对黑沙洲水道滩槽格局的控制, 减弱南水道心滩漫滩水流, 增强右槽的冲刷能力, 巩固已建工程的效果, 交通运输部于 2016 年 9 月批准实施了长江下游黑沙洲水道航道整治二期工程<sup>[4-6]</sup>。本文结合工程实施情况及工程

收稿日期: 2021-01-05

\*基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0402100)

作者简介: 叶志伟(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事航道工程技术研究与管理。

河段相关观测资料,考虑三峡水库蓄水以来上游来沙量骤减,从工程实施以来河道冲淤变化、水流条件变化、航道条件及整治建筑物稳定等方面,对比分析清水持续冲刷下黑沙洲水道控导工程整治效果与模型试验整治效果的差异性,总结该水道的治理经验,为该水道后续治理提供参考。

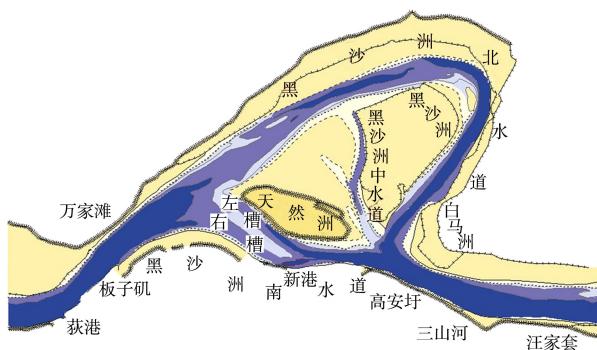


图 1 黑沙洲水道河势

## 1 河道概况

## 1.1 水沙条件

作为长江下游控制水文站的大通站位于黑沙洲水道上游 74 km 处, 其间无大的支流汇入, 故大通站的实测水沙特征可代表本水道来水来沙特性。

三峡蓄水前，大通站多年平均径流量为9 052亿 $m^3$ ，实测历年最大流量为9.26万 $m^3/s$ ，历年最小流量为4 620  $m^3/s$ ，多年平均流量2.87万 $m^3/s$ ，水量主要集中在5—10月的汛期，占全年径流量的70.76%。三峡蓄水后，大通站多年平均径流量为8 201亿 $m^3$ ，实测历年最大流量为6.54万 $m^3/s$ ，历年最小流量为7 900 $m^3/s$ ，多年平均流量2.213 5万 $m^3/s$ ，多年平均径流量和多年平均流量较三峡蓄水前减小。

三峡水库蓄水后,上游来沙被拦蓄在库内,年输沙量减小明显,多年平均值较蓄水前减少67%,其中蓄水前平均年输沙量为4.27亿t,蓄水后平均年输沙量为1.39亿t。

## 1.2 水道维护情况

该水道于2007—2009年实施航道整治一期工程,对关键部位进行控制,稳定南水道的进流条件,限制倒套的发展,初步稳定了心滩,浅滩流速、流量有所增加,一定程度上改善右槽航道条件。

件，基本达到整治的预期目标<sup>[7]</sup>。但遇大水年不利水文条件时，航道条件变差，需要通过疏浚、调整标准维持航道尺度。2012年，长江安庆—芜湖段航道洪水期维护水深由7.5 m提高至8.0 m，中水期由6.0 m提高至7.0 m，枯水期由5.0 m提高至6.0 m，全年按一类进行维护，航道维护尺度为6.0 m×200 m×1 050 m(水深×宽×弯曲半径)，保证率98%，通航代表船舶为2 000 t驳船组成的2~3万吨级船队。

### 1.3 碍航特性

一期工程实施后，在一般年份条件下，航道条件较好；而在遭遇大水年时，南水道右槽过渡段在汛期容易产生大幅度淤积，一期工程的心滩较为低矮，滩体束流作用有限，右槽内大幅度淤积的泥沙在汛后难以于短时间内冲走，处于缓流区的右槽容易淤积，三峡水库 175 m 蓄水后，汛后退水明显加快，进一步导致右槽浅滩段淤积泥沙冲刷不充分，航槽恢复较慢，枯水期航道浅窄。

## 2 工程布置与实施情况

## 2.1 治理思路

在保持原航道整治建筑物稳定的基础上，通过梳齿坝等工程措施，扩大心滩守护范围，加高心滩，进一步减弱心滩漫滩水流，遏制水流不利变化趋势，增强右槽中下段冲刷能力，减少不利水文条件下河床淤积，达到进一步改善右槽航道条件，实现本水道  $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$  的规划目标，并为航道尺度的进一步提高奠定基础。

## 2.2 工程总平面布置与实施

在南水道心滩上建设 1 条顺坝和 4 条齿坝，对左槽内 3# 潜坝上下游侧、4# 潜坝上游侧进行加固，对 3# 和 4# 潜坝坝田间的冲刷剧烈部位填槽加固，建设天然洲左缘上段护岸，加固天然洲右缘护岸右岸新港一带护岸。工程总平面布置见图 2。工程于 2016 年 12 月正式开工，2018 年 11 月交工验收。2019 年 12 月实施建设期维护，2020 年 12 月竣工验收。

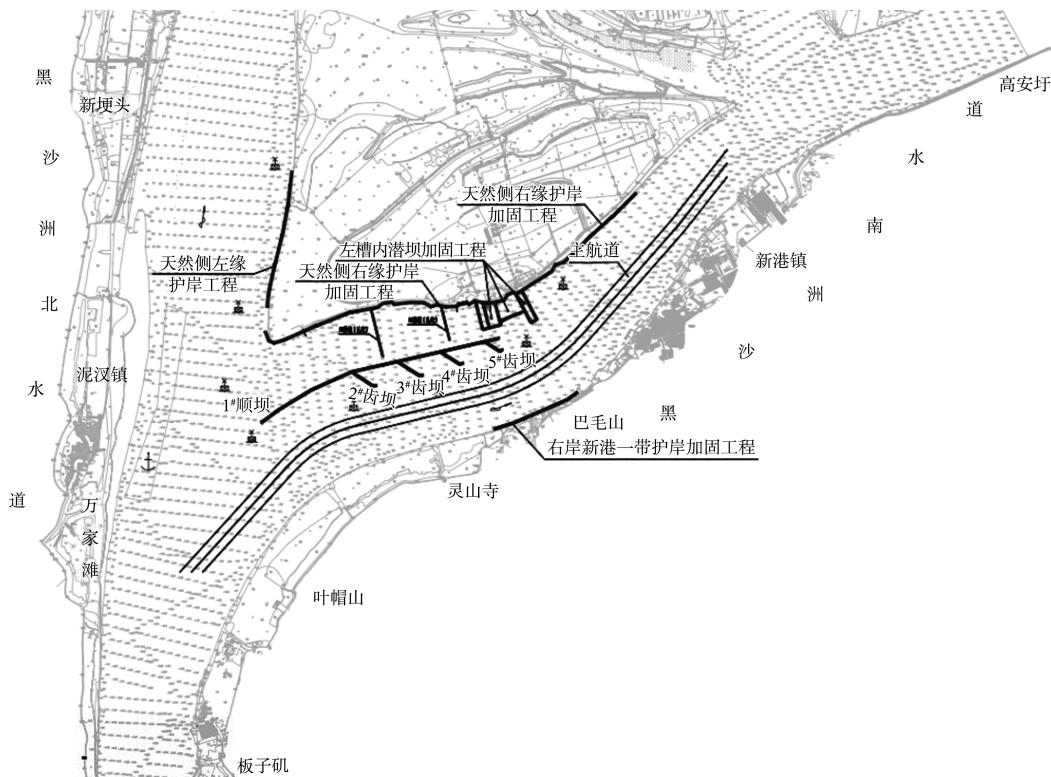


图2 黑沙洲二期工程总平面布置

### 3 整治工程效果对比分析

#### 3.1 总体效果

工程实施后,进一步巩固黑沙洲水道汊道分流格局,稳定南水道心滩滩体,有效减弱中枯水期心滩漫滩水流,增强南水道右槽浅区水流动力条件,抑制南水道左槽深槽冲深发展趋势,稳固航道的边界条件,航道条件超过规划尺度目标,工程整治效果较好。

#### 3.2 河道冲淤变化

工程实施后,黑沙洲水道进口整体呈现冲刷态势,冲刷幅度在2~4 m之间,两侧边滩则略有淤积。北水道进口段左侧万家滩锚地上下游表现为冲刷,右侧贴天然洲洲头淤积明显,最大淤积幅度达到4.6 m。南水道进口段心滩整体上表现为淤积状态,滩体整体淤积幅度在1~3 m之间,心滩尾部淤积下延,南水道心滩滩体面积增大;左槽进口冲刷,冲刷幅度在1~2 m,左槽下段淤积明显,最大淤积厚度达到5.6 m;右槽整体表现为冲刷状态,河槽内平均冲深在2 m;左右槽出口尾部汇流处右侧深槽淤积,主要为右槽浅滩冲刷泥

沙在下深槽落淤形成,左侧明显冲深,泥沙输移至水道出口深槽落淤。

#### 3.3 水流条件变化

工程实施后,黑沙洲水道进口断面平均流速略有减小,南水道左槽进口和槽内流速减小,右槽流速略有增加,左右槽下游段交汇处断面流速明显减小。黑沙洲南、北水道枯水期分流比基本稳定,南水道分流比稳定在57%左右;枯水期南水道右槽分流比增加9.8%,基本稳定在60%左右,见表1。南水道左右槽沿程分流比变化过程线见图3。可以看出,工程实施后南水道左槽分流比沿程减小,从41%减小至37%,心滩漫滩水流明显减小。

表1 黑沙洲水道枯水期分流比

施测时间	水位/m	南水道	北+中水道	南水道分流比/%	
		分流比/%	分流比/%	左槽	右槽
2014年2月	2.35	64.3	35.6	47.0	53.0
2016年3月	5.30	57.7	42.3	48.7	51.3
2016年10月	4.78	57.0	43.0	49.4	50.6
2020年3月	3.51	57.5	42.5	39.6	60.4

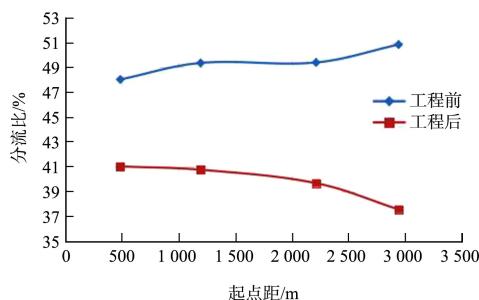


图 3 工程前后南水道左槽分流比沿程变化

### 3.4 航道条件变化

黑沙洲水道 6 m 等深线变化见图 4。可以看出,工程的实施稳定了南水道心滩滩体,减弱中枯水期心滩漫滩水流,增强南水道右槽浅区水流动力条件,南水道右槽 6 m 深槽贯通,工程完工后,2019 年 2 月枯水期 6 m 最小航宽 385 m,2020 年 3 月枯水期 6 m 最小航宽达 300 m,航道尺度达到设计要求,航道条件明显改善。

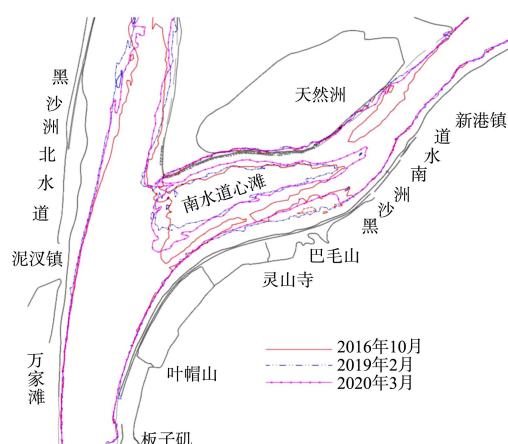


图 4 黑沙洲水道 6 m 等深线变化

### 3.5 工程实施前后工程区冲淤变化

对比 2017 年 3 月和 2020 年 10 月冲淤情况,见图 5。可以看出,心滩梳齿坝工程区地形抬高明显,顺坝坝体区域普遍抬高 2~4 m,齿坝坝体区域普遍抬高 1 m 以上,各齿坝护底以外近航道侧局部冲刷;左槽已建潜坝加固工程坝田区域地形明显抬升,潜坝坝田间冲深趋势得到较好的遏制;天然洲左缘护岸护底范围地形明显淤积,护底区域以外下段边缘有一定程度冲刷;天然洲右缘护岸工程区总体上淤积明显,整治建筑物保持稳定。

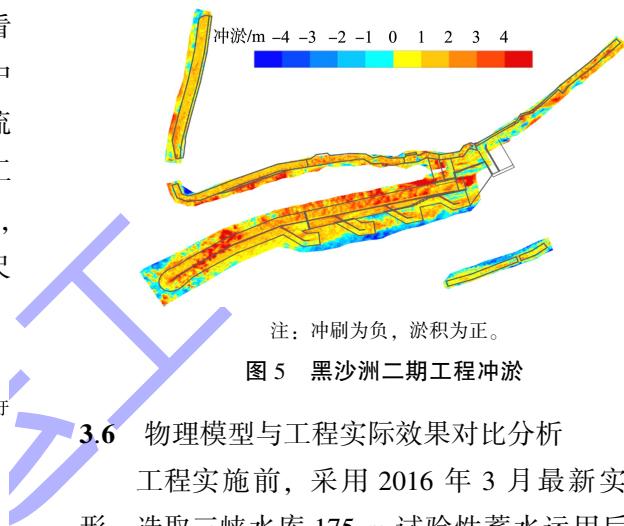


图 5 黑沙洲二期工程冲淤

### 3.6 物理模型与工程实际效果对比分析

工程实施前,采用 2016 年 3 月最新实测地形,选取三峡水库 175 m 试验性蓄水运用后长系列年水沙过程模型试验,以及水量较大的 2010 年为不利年份和特大洪水年 1998 年加沙进行典型水文年模型试验<sup>[8-9]</sup>,预测工程未来 10 年的变化趋势与整治效果。工程前后实测资料与模型预测成果表明,工程实施后,航道尺度、分流比变化和整治建筑物局部冲淤变化等方面的工程实际效果比模型预测的效果更好,超过预期目标,见表 2。

表 2 工程实际效果与模型预测效果对比

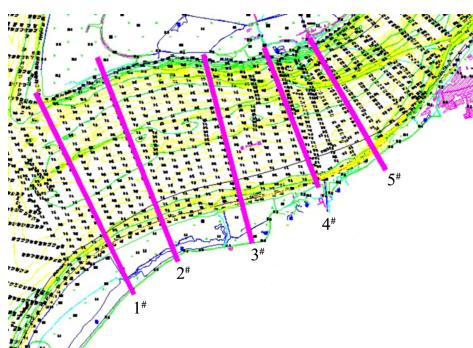
效果	模型预测效果	工程实际效果	评价
冲淤变化	工程实施后枯水期南水道心滩 4 m 等深线范围由 0.94 km <sup>2</sup> 增大至 1.01 km <sup>2</sup> ; 南水道左槽内深槽范围略有减小; 南水道右槽变化明显, 航道条件得到有效改善	工程实施后南水道心滩滩体面积由工程前(2016 年 10 月)的 1.27 km <sup>2</sup> 增大到工程后(2020 年 3 月) 1.56 km <sup>2</sup> ; 南水道左槽进口冲刷 1~2 m, 左槽下段淤积明显, 最大淤积厚度达到 5.6 m; 右槽整体表现为冲刷状态	超过预期效果
6 m 航槽宽度变化	第 1 年为 305 m, 第 3 年为 270 m, 第 6 年为 250 m, 第 10 年为 300 m	工程实施后 2019 年 2 月(对应预测第 4 年)为 385 m, 2020 年 3 月(对应预测第 5 年)为 300 m	超过预期效果
分流比变化	南水道右槽: 第 1 年增加 6.5%, 第 3 年增加 6.9%, 第 6 年增加 8.3%, 第 10 年增加 9.1%	工程实施后 2020 年 3 月(对应预测第 4 年)较工程前 2016 年 10 月增加 9.8%	超过预期效果
整治建筑物局部冲淤变化	工程区域局部冲刷幅度减小, 但局部区域仍存在一定程度冲刷现象, 其中 4# 齿坝下游侧冲刷相对显著, 冲刷坑深度一般在 2.0~3.0 m	工程实施后, 天然洲左缘下段护岸排边冲刷 2~3 m, 心滩梳齿坝顺坝上游侧坝头冲刷, 冲刷幅度在 2.0 m 以内, 4 座齿坝坝头以外局部冲深, 冲深幅度在 3 m 左右	基本相当

#### 4 工程效果差异性分析

模型的预测变化幅度与实测值存在一定的差距, 主要原因在于三峡水库运行拦截了上游泥沙, 导致长江中下游含沙量减少, 清水冲刷明显。

三峡水库初期蓄水后, 2003—2015年长江中下游宜昌、汉口、大通站平均输沙量分别为0.404亿、1.06亿和1.39亿t, 较蓄水前分别减少92%、73%和67%。由于水库拦沙作用, 下泄水流含沙量大幅度减小, 坝下游河道发生长距离冲刷, 水流含沙量沿程增加。2015年宜昌、汉口、大通站含沙量分别为0.0094、0.0930和0.1270 kg/m<sup>3</sup>, 仅为蓄水前的0.8%、16.6%和27.0%。宜昌—枝城河段的清水冲刷问题最为明显。2002年10月—2017年11月, 三峡坝下游宜昌—枝城深泓纵剖面平均冲刷下切4.0 m, 其中: 宜昌河段深泓平均下降为1.9 m, 宜都河段深泓平均下降为5.9 m; 外河坝段的深泓累积下降最大值为22.5 m, 白洋弯道段的深泓累积下降最大值为22.2 m。上述统计结果表明, 受三峡工程蓄水影响, 长江中下游的含沙量一直持续减小, 长江中下游河道呈全线冲刷态势<sup>[10]</sup>。

黑沙洲水道受清水持续冲刷影响, 南水道右航槽经整治后, 其航槽冲刷深度较模型试验预测值大。实测断面地形表明, 右槽河床地形呈现逐年冲刷下切的趋势; 2016—2020年, 断面最大冲刷深度在1.0~3.0 m, 且右航槽中下段冲刷深度呈沿程增加的趋势。说明南水道右航槽的稳定性, 目前比预计的效果更加明显, 见图6。



a) 断面位置

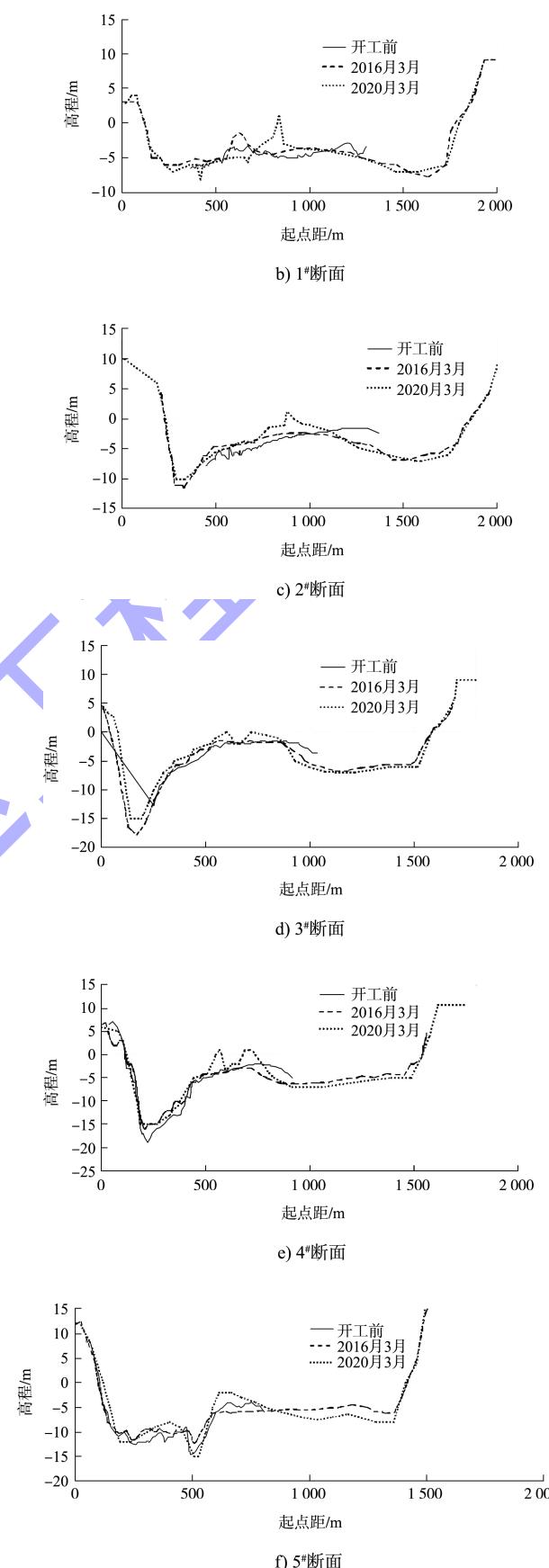


图6 模型试验与实测右槽断面地形对比

## 5 结论

1) 工程实施后,进一步稳定汊道分流格局和南水道心滩滩体,缩窄南水道的过流断面,有效减弱心滩漫滩水流,增强南水道右槽浅区水动力条件,南水道左槽冲深发展趋势得到进一步抑制,浅区航道条件得到稳定,航道尺度达到  $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$  的建设目标。

2) 工程完工后,历经 2 个水文年考验,工程区总体稳定,心滩梳齿坝工程区地形抬高明显,心滩滩体面积增大,对心滩漫滩水流控制明显增强,天然洲左缘护岸和右缘护岸加固总体淤积,工程结构设计合理,整治建筑物稳定良好。

3) 工程实际效果优于模型试验结果,其原因是主要是三峡工程蓄水后,上游来沙量减少,下游清水下泄持续冲刷,处于鹅头形弯曲分汊河道的凸岸支汊明显冲深,分流比进一步增加,因而南水道右槽稳定性较预期效果好。

4) 总体来看,三峡蓄水后,上游来沙量大幅减少,清水下泄导致坝下游河床呈持续冲刷的态势。在部分航段,由于河床下降导致航道水深不足、局部比降加大,增大通航困难;而对于黑沙洲这种弯曲分汊河段,凸岸流程短、冲刷力强,对于航槽选择及治理方案都带来新的变化。本文研究结论可为三峡下游清水冲刷下弯曲分汊航道整治的思路和方案提供重要参考。

(上接第 65 页)

- [2] 周芳,陈明波.港口建设对水动力和水环境的综合影响[J].水运工程,2020,573(9):91-96.
- [3] 范小杉,何萍,陈帆,等.沿海港口总体规划生态承载力环评技术方案[J].中国环境科学,2017,37(5):1971-1978.
- [4] 交通运输部规划研究院.南通港通州湾港区总体规划研究报告(2017—2030)[R].北京:交通运输部规划研究院,2017.
- [5] 杨秀春,朱晓华,黄家柱,等.江苏省湿地资源现状及其可持续利用研究[J].经济地理,2004,24(1):81-84.
- [6] 华东师范大学.通州湾港区腰沙、冷家沙海域鸟类及其

## 参考文献:

- [1] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987.
- [2] 马有国,高幼华.长江中下游鹅头型汊道演变规律的分析[J].泥沙研究,2001(1):11-15.
- [3] 李元生.鹅头型分汊河段变化特征及治理措施[J].水运工程,2013(4):113-116.
- [4] 长江航道局.长江下游黑沙洲水道航道整治工程工程可行性研究报告[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2016.
- [5] 中交第二航务工程勘察设计院.长江下游黑沙洲水道航道整治二期工程初步设计[R].武汉:中交第二航务工程勘察设计院,2016.
- [6] 牛晨曦,假冬冬,张幸农.长江下游黑沙洲南水道河床演变及碍航特性[J].水运工程,2017(9):159-164.
- [7] 陈冬,陈一梅,黄召彪.长江下游黑沙洲南水道演变特征分析[J].水利水运工程学报,2015(2):84-90.
- [8] 牛晨曦,假冬冬,张幸农.长江下游黑沙洲水道航道整治二期工程模型试验研究[J].水运工程,2017(7):149-154.
- [9] 彭毕帅,谢长文,黄慧,等.长江下游黑沙洲水道水流特性数值模拟研究[J].人民长江,2018,49(4):1-5.
- [10] 长江水利委员会水文局.2015 年度三峡水库进出库水沙特性、水库淤积及坝下游河道冲刷分析[R].武汉:长江水利委员会水文局,2016.

(本文编辑 王璁)

生境现状调查及评价专题报告[R].上海:华东师范大学,2016.

- [7] 交通运输部规划研究院.南通港通州湾港区总体规划方案环境影响报告书[R].北京:交通运输部规划研究院,2016.
- [8] 南京水利科学研究院.通州湾港区规划实施前后水环境容量变化研究[R].南京:南京水利科学研究院,2016.
- [9] 国家海洋局东海环境监测中心.南通港通州湾港区总体规划渔业(海洋生物)资源承载力影响分析专题研究报告[R].上海:国家海洋局东海环境监测中心,2016.

(本文编辑 郭雪珍)