

长江镇扬河段世业洲汊道近期河床演变分析

史常乐¹, 卞佳琪¹, 钱嘉伟¹, 罗龙洪², 曹 双¹

¹长江水利委员会水文局长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京

²江苏省水利工程规划办公室, 江苏 南京

收稿日期: 2024年5月8日; 录用日期: 2024年8月13日; 发布日期: 2024年8月28日

摘 要

世业洲汊道长期以来处于“左兴右衰”的发展态势, 为维护右汊的主汊地位, 已进行了一系列的河道和航道整治工程。通过收集大通水文站的水文数据及1959年以来世业洲汊道的分流比、地形等监测数据, 将整治工程及特殊水情作为主因分析近期的河床演变。结果表明: 世业洲左汊道分流比以1993和2015年为界, 分为平台期、上升期和调整期, 平台期、调整期引起汊道分流比变化的主因分别是大洪水的冲刷作用、整治工程的实施。其中调整期内世业洲汊道“左兴右衰”的发展态势得到了遏制, 调整期内左汊分流比下降了约5%, 说明调整期内整治工程实施初期效果明显, 汊道分流比尚处于调整期, 后期应密切关注分流比变化。本文探讨了世业洲汊道河床演变的影响因素, 后期应更注重世业洲左右汊进口段的防护和监测分析, 密切关注世业洲左汊潜坝工程上下游区域的冲淤变化。

关键词

镇扬河段, 世业洲汊道, 河床演变, 整治工程, 分流比

Analysis of Recent Riverbed Evolution in Shiyezhou Branch of Zhenyang Reach of Yangtze River

Changle Shi¹, Jiaqi Bian¹, Jiawei Qian¹, Longhong Luo², Shuang Cao¹

¹Lower Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Nanjing Jiangsu

²Jiangsu Provincial Water Conservancy Planning Office, Nanjing Jiangsu

Received: May 8th, 2024; accepted: Aug. 13th, 2024; published: Aug. 28th, 2024

Abstract

Shiyezhou branch has been in the trend of left branch develops and right branch decays for a long time.

作者简介: 史常乐(1989-), 女, 河南新乡人, 工程师, 主要从事河道治理、防洪研究、水文水资源分析论证等研究, Email: carolhappyshi@163.com

文章引用: 史常乐, 卞佳琪, 钱嘉伟, 罗龙洪, 曹双. 长江镇扬河段世业洲汊道近期河床演变分析[J]. 水资源研究, 2024, 13(4): 454-464. DOI: 10.12677/jwrr.2024.134052

In order to maintain the status of the main branch of the right branch, a series of river and channel regulation projects have been carried out. By the hydrological information of Datong hydrological station and the monitoring data of diversion ratio and topography of Shiyezhou branch since 1959, the regulation project and special water regime are taken as the main factors to analyze the recent riverbed evolution. The results show that the diversion ratio of the left branch of Shiyezhou is divided into platform period, rising period and adjustment period by 1993 and 2015. The main reasons for the change of the diversion ratio of the branch during the platform period and the adjustment period are the scouring effect of the flood and the implementation of the regulation project. During the adjustment period, the development trend of Shiyezhou left branch rise and right branch decline has been curbed. During the adjustment period, the diversion ratio of the left branch has decreased by about 5%, indicating that the initial effect of the regulation project during the adjustment period is obvious. The diversion ratio of the branch is still in the adjustment period, and the change of the diversion ratio should be paid close attention to in the later period. The influence factors of riverbed evolution of Shiyezhou branch are discussed. In the later stage, more attention should be paid to the protection and monitoring analysis of the inlet section of the left and right branches of Shiyezhou, and the erosion and deposition changes in the upstream and downstream areas of the left branch submerged dam project of Shiyezhou should be paid attention to as well.

Keywords

Zhenyang Reach, Shiyezhou Branch, Riverbed Evolution, Regulation Project, Diversion Ratio

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

长江下游至入海口为感潮河段，其河型以分汉型河道为主，由于汉道河段的分流分沙关系不协调、上游来水来沙条件发生改变及一系列整治工程的影响，致使长江下游感潮河段演变剧烈，以冲刷为主[1]。其中长江镇扬河段世业洲汉道在下游分汉河道中属于河床演变较大的汉道之一，是长江下游河势控制与航道治理的重点岸段，一直以来是国内外学者关注的重点河段之一[2] [3]。

方娟娟等[4]通过将世业洲汉道分流比与大通流量、整治工程、仪征河段 0 m 槽容积、世业洲右汉 12.5 m、世业洲右汉 10 m 深槽容积等建立相关关系，来分析世业洲汉道分流比的分流属性。张增发等[5]分析了长江镇扬河段世业洲汉道近期的分流比、平面形态、河床冲淤变化等内容，并提出了维持右汉为主汉，遏制左汉发展的整治对策。许慧等[6]以三峡工程蓄水前后为划分节点，对比分析水沙变化对分流比、滩槽、冲淤量、断面变化等影响，并对水沙及河床演变趋势进行预判。朱庆元等[7]分析了世业洲左汉分流分沙比、深泓线、横断面等演变情况，通过河工模型试验提出左汉潜坝的整治思路效果较好。郭宇等[8]通过实测数据分析了世业洲右汉的来水来沙及冲淤变化。韩卓雄等[9]总结分析了世业洲分汉河道左汉发展的主要原因，并开展了动床试验模型，选出了整治方案。丁建国等[10]基于 2004~2008 年共 102 次水文测验资料对世业洲左右汉分流比进行了统计分析，得出左汉分流比年均增速约为 1%。凌哲等[11]分析了南京以下 12.5 m 深水航道整治工程和镇扬河段三期整治工程实施前后左汉进口段的地形变化，发现左汉口门冲淤发生了剧烈的变化。

目前对世业洲汉道的相关分析研究，多侧重于河床演变现象的归纳总结，未对影响河床演变的因素进行挖掘分析。本文在以往研究成果的基础上，采用 1959 年以来地形及水文测验的长序列实测数据，结合整治工程、水情等变化情况进行关联性分析，找到主要变化的驱动因素。主要从来水条件、整治工程、分流比、同时针对

性分析河床对 2020 大洪水年和 2022 严重枯水年特殊水情的响应性变化等多角度多维度进行河床演变分析，总结长期以来实施的河道及航道整治工程带来的整治效果，掌握该河段重点关注区域。研究成果可为长江镇扬河段世业洲汉道后续的河道或航道整治工程的规划、世业洲汉道重点监测岸段的编制等提供依据和参考。

2. 河段概况

世业洲汉道位于镇扬河段，上游是镇扬河段的仪征水道，下游为镇扬河段的六圩弯道。世业洲汉道属双分汉河型，右汉为主汉，整体河势基本稳定。左汉河道平面形态微弯，右汉平面呈现大弯道形态，整体向南凹进，镇扬河段的河势图见图 1。

本文大通水文站水文资料统计年限为 1950~2023 年，地形资料采用实测 1:10,000 地形图，高程均采用 1985 国家高程基准。

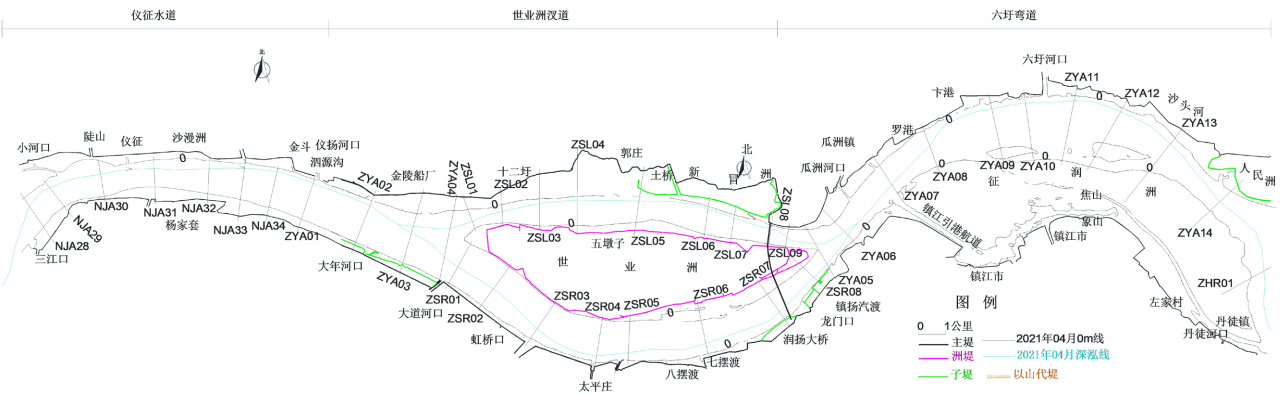


图 1. 镇扬河段河势图

3. 水文泥沙特性

大通水文站位于安徽省池州市，作为长江下游来水来沙的控制站，大通水文站监测的水沙数据基本可代表长江下游镇扬河段的来水、来沙特征[12]。大通水文站年内来水来沙主要集中在汛期，三峡工程蓄水运行后(2003~2023 年)，汛期(5~10 月)径流量约占全年的 67.5%，输沙量约占全年的 79.2%，其年内分配见图 2。大通站多年平均径流量和输沙量较蓄水前分别减小 4.3%和 70.7%，汛期径流来水量减幅为 3.5%，沙量减幅为 8.5%，可见汛期时三峡工程对输沙量影响远远大于径流量，径流量总体变化不大，但输沙量骤减，增加了含沙水流的不饱和度，势必会引起河床冲刷。

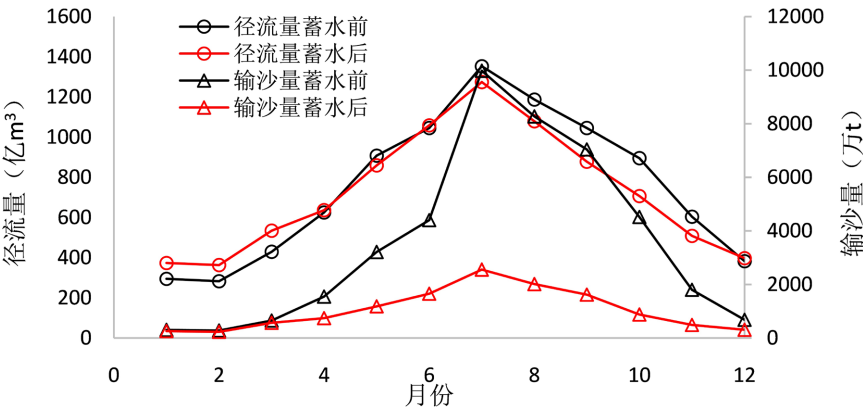


图 2. 大通站径流量和输沙量月平均变化过程

4. 汉道分流比变化及影响因素

按照世业洲左汉的分流比变化特性,将世业洲汉道分流比变化划分为三个阶段,分别为平台期(1959~1993年)、上升期(1993~2015年)及调整期(2015~2023年),见图3。

1959~1974年世业洲汉道分流比基本稳定,1975年以后进入“左兴右衰”的发展态势,左汉分流比逐渐增加,但增速较缓,故将1959~1993年定义为第一阶段的平台期,世业洲汉道的左右汉平均分流比为1:3.8左右。

1993年后左汉分流比上升幅度较大,故将1993~2015年定义为第二阶段的上升期,世业洲汉道的左右汉平均分流比为1:1.9左右。

2015年后世业洲汉道分流比波动调整,故将2015~2023年定义为第三阶段的调整期,世业洲左右汉平均分流比为1:1.7左右,调整期内左汉分流比下降了约5%。

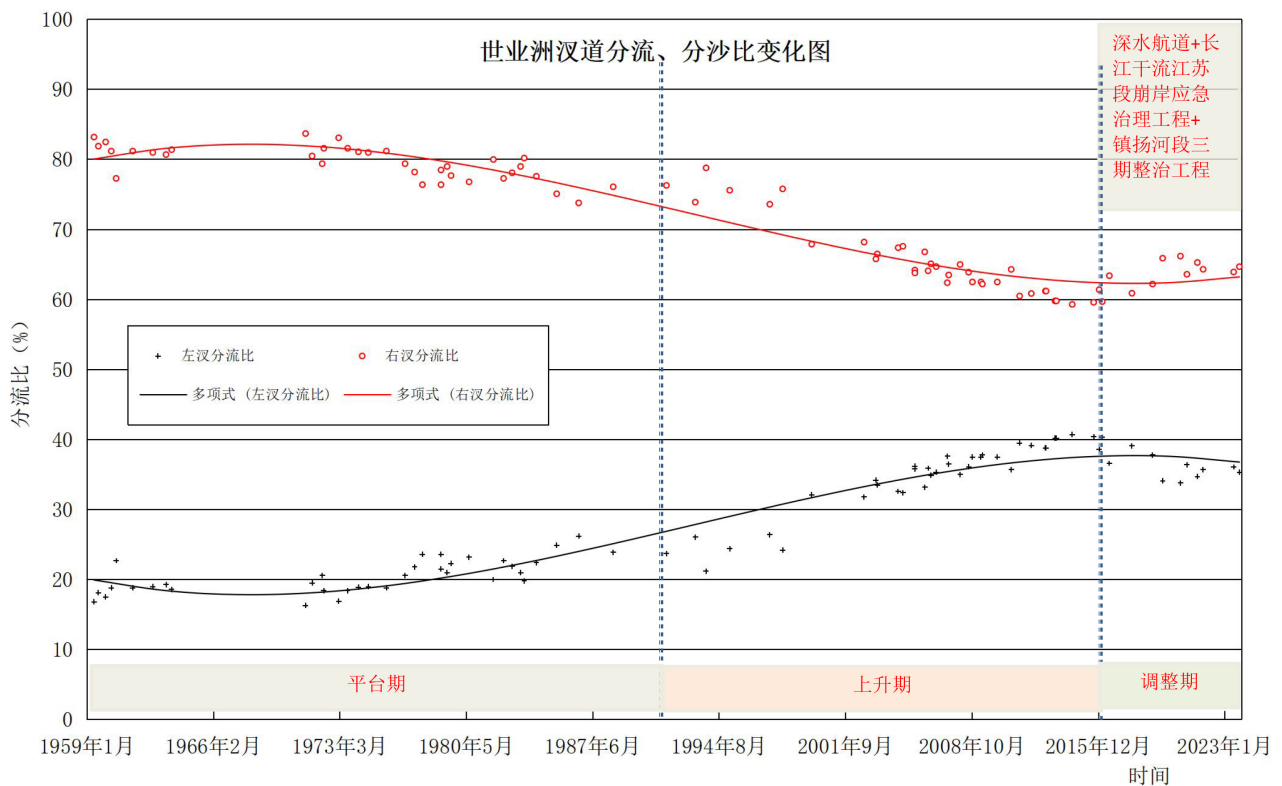


图3. 世业洲汉道分流、分沙比变化图

4.1. 平台期(1959~1993年)

1) 整治工程

20世纪70年代中后期,由于仪征水道上游龙潭弯道发展、三江口凸嘴崩退、世业洲洲头分流点下移等因素[11],大大地改善了左汉入流条件,此后世业洲汉道逐渐演变为“左兴右衰”的发展阶段。自20世纪80年代以来,水利部门及航道部门已先后多次对世业洲汉道实施了整治工程,见图4。

平台期内主要实施的是对处于剧烈自然演变的龙门口附近实施了初步的应急控制工程,针对变化非常剧烈的地段进行单一或局部护岸整治工程[2],主要实施的为镇扬河段一期整治工程,起到了稳定河势的目的,对分流比影响不大。

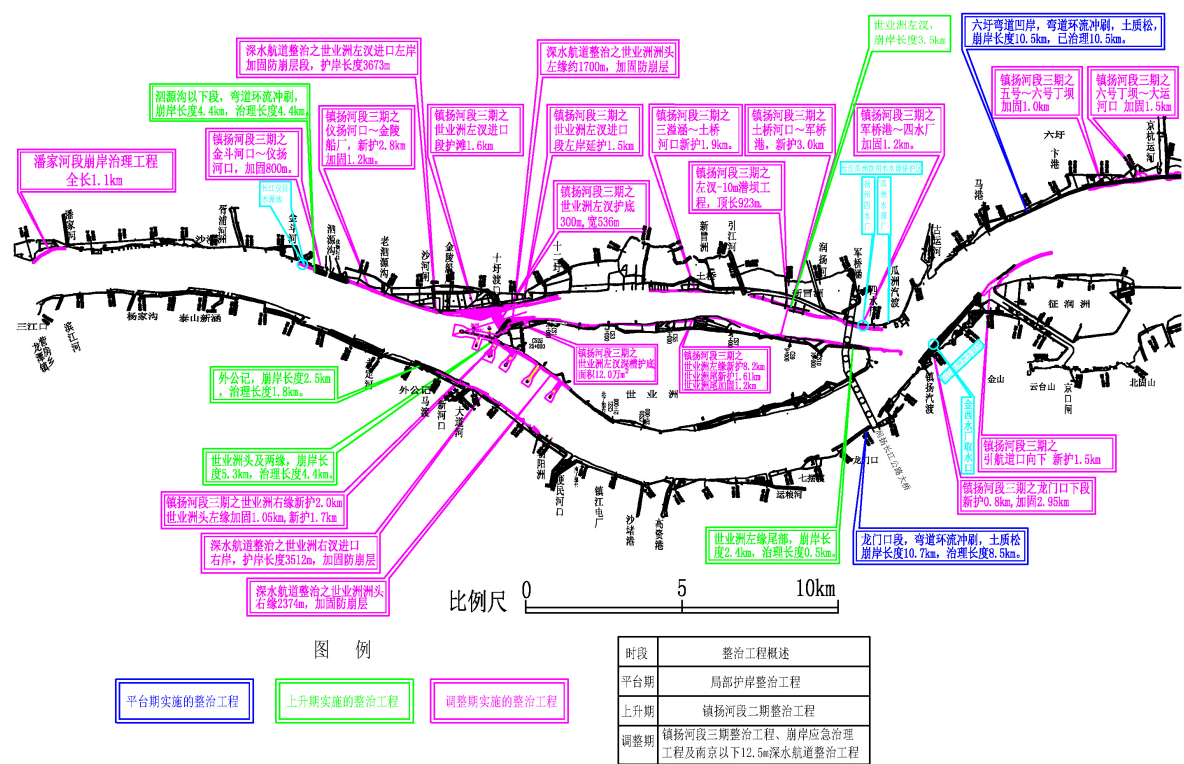


图 4. 世业洲汉道整治工程示意图

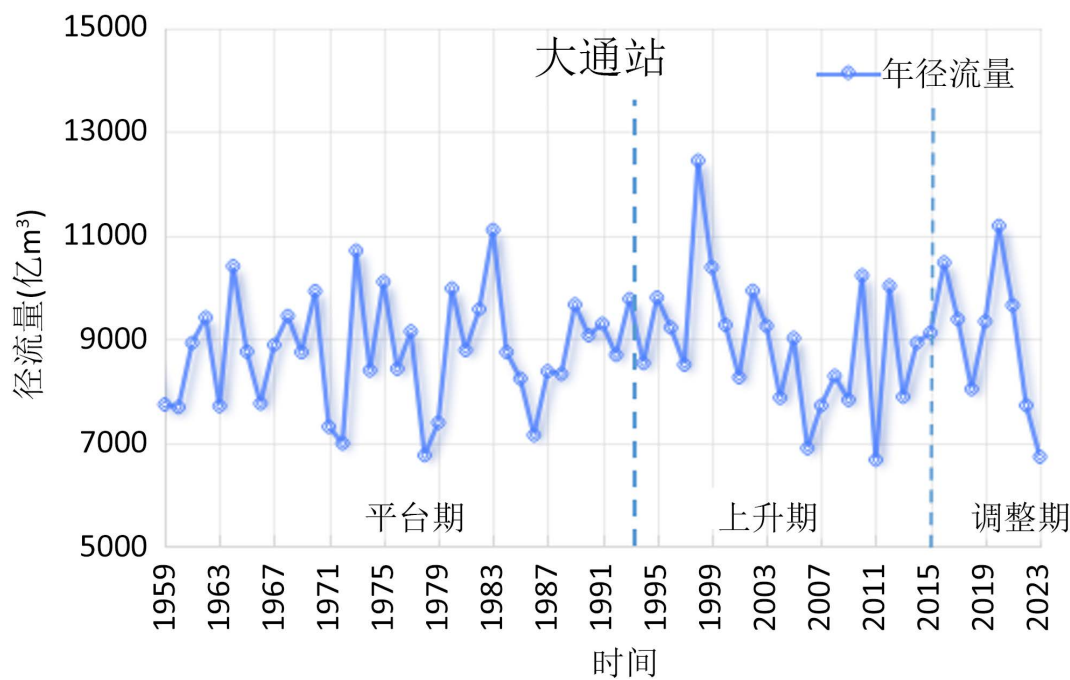


图 5. 大通站径流量年际变化图

- 2) 特殊水情
- 统计大通站 1959~2023 年逐年径流量变化图(图 5), 从图中可看出, 平台期内未发生特殊水情。
- 3) 结果分析

平台期(1959~1993 年)内未发生特殊水情,虽实施了整治工程,但均为局部整治,对分流比影响不大,起到了稳定河势的目的。

4.2. 上升期(1993~2015 年)

1) 整治工程

上升期内主要实施的是长江应急治理工程及镇扬河段二期整治工程[2],进入上世纪九十年代以后,由于受上游河势变化及连续大水的作用,岸坡出现一定程度的冲刷,完成了部分防汛抢险、节点护岸工程及世业洲洲头左缘护岸,主要实施的是针对崩岸坍江的应急守护工程措施。其目的是巩固一期整治成果,控制和减缓世业洲左汉不断发展的态势。

通过一期、二期整治工程的实施,初步取得了预期的效果,以往剧烈的崩岸现象已较少发生,河势剧烈调整的情况也已得到控制,保障了沿江企业生产的正常运转。整治工程实施完后世业洲汉道稳定了十几年,此后世业洲左汉持续发展,分流比又呈上升势头。

2) 特殊水情

上升期内经历了 1998 年流域性大洪水,1998 年大通站年径流量为 12,440 亿 m^3 ,为大通站 20 世纪 90 年代以来出现的最大径流量,也是目前大通站有监测数据以来的最大径流量。

3) 结果分析

上升期内经历了 1998 年特大洪水,引起世业洲分流点下挫,继而导致世业洲洲头左缘出现崩塌,十二圩 - 新冒洲深泓傍岸段岸线崩退,贴岸深槽扩大,靠近世业洲左缘心滩萎缩,世业洲左缘五墩子附近冲刷后退,左汉河槽冲刷扩大,进一步改善了左汉的入流条件。上升期内虽在世业洲洲头左缘实施抛石护岸工程,减缓了岸线崩退,但 2000 年以来左汉分流比仍呈上升态势。可见大洪水的冲刷作用是引起左汉发展,导致左汉分流比增大的主因。

4.3. 调整期(2015~2023 年)

结合整治工程、2020 年流域性大洪水及 2022 年“汛期反枯”特性,现重点分析 2016 年以来,世业洲汉道的分流比变化及其影响因素。

1) 整治工程

为进一步稳定左右汉河势,维持右汉为主汉的河势地位,调整期内陆续实施了系列整治工程:① 南京以下 12.5 m 深水航道整治工程,工程措施主要是洲头修建潜堤和丁坝(又称梳齿坝)、洲头潜堤北侧布置护底带、世业洲右缘布置 3 道丁坝、护岸加固等工程,其主要目的是为了改善航道条件。世业洲洲头梳齿坝的建设增加了洲头顶冲处的抗冲强度,世业洲右缘的挑流坝使得水流集中归槽,主流走江心,维护了主航道的地位;② 镇扬河段三期整治工程,工程措施主要是世业洲左汉口门护底工程[13](主要由左侧护滩、口门护底和深槽护底等构成)、世业洲左汉潜坝工程[14]及护岸工程,其目的是扼制世业洲左汉的发展,加固河道水流顶冲点,强化世业洲汉道的边界条件;③ 长江干流江苏段崩岸应急治理工程,镇扬河段实施的崩岸应急治理工程为小河口段(潘家河段)护岸工程和沙头河口段护岸及加固工程,小河口段(潘家河段)护岸工程主要是对 1100 m 窝崩区域实施防护,采用散抛主动式钩连体方案,护宽 60.0 m;沙头河口段护岸及加固工程,该段为防崩层加固段,拟采用赛克格宾防护,加固长度 1230 m,护宽 75~125 m。

随着 12.5 m 深水航道整治工程、长江干流江苏段崩岸应急治理工程及镇扬河段三期整治工程陆续实施,2015 年以来世业洲汉道“左兴右衰”的发展态势得到抑制,有利于河势稳定。

2) 特殊水情

调整期内经历了 2020 年流域性大洪水及 2022 年汛期反枯特殊水情,统计大通站 2020~2023 年 5~10 月逐日

流量, 见图 6。2020 年长江暴发流域性大洪水, 为三峡工程蓄水运行以来最大洪水, 首次出现 3 天日平均流量大于 $80,000 \text{ m}^3/\text{s}$, 造床流量级以上流量持续 115 天, 最大 30 天洪量达到 1947 亿 m^3 , 为 2000 年以来最大值, 平均流量为 $35,400 \text{ m}^3/\text{s}$, 径流量为 11,180 亿 m^3 , 也是大通站有监测数据以来的第二大径流量。

2022 年长江流域发生汛期反枯, 上游来水来沙锐减, 8 月中旬流量跌至 $20,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右, 9 月底更是跌至 $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右, 长江下游多地出现同期建国以来最枯水位; 年平均流量为 $24,500 \text{ m}^3/\text{s}$, 年径流量为 7712 亿 m^3 , 输沙量为 0.665 亿 t。

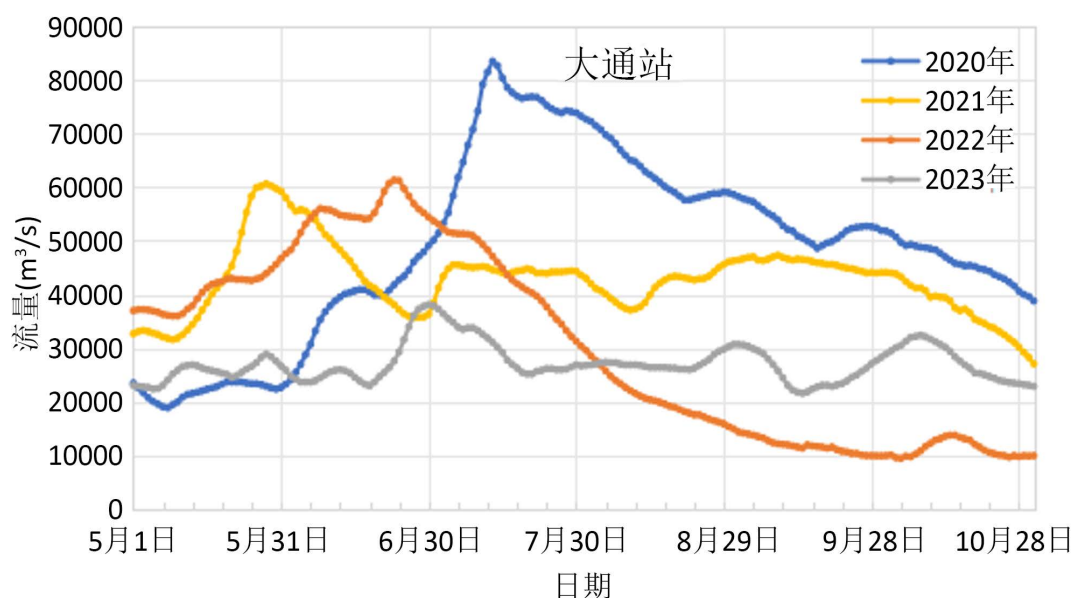


图 6. 大通站 2020~2023 年汛期逐日流量过程线

3) 结果分析

调整期(2015~2023 年)内实施了一系列整治工程的同时也经历了 2020 年流域性大洪水及 2022 年汛期反枯特殊水情, 2015 年以来世业洲汊道左兴右衰的发展趋势得到抑制, 左汊分流比呈现为下降趋势。通过收集调整期内 2016、2018、2021、2023 年世业洲汊道的地形数据进行分析, 绘制出冲淤图 7。从图中看出, 冲刷部位主要分布在右汊进口段心滩及凹岸水流弯顶处, 主槽部位冲淤不一, 左汊道下段的潜坝工程实施以来, 潜坝工程上游以淤积为主, 潜坝工程下游以冲刷为主; 世业洲洲头左右缘以淤积为主, 左右汊道口门深槽以冲刷为主。这与 2015~2020 年陆续实施的航道和河道整治工程息息相关, 由于冲淤调整变化较大, 为进一步掌握工程整治效果所带来的河势影响及冲淤变化, 后期应密切关注世业洲洲头、左右汊进口段、左汊潜坝上下游局部区域的地形监测及分析研判。

世业洲汊道整体来看 2018~2021 年左汊道以淤积为主, 右汊道以冲刷为主, 世业洲汊道的冲刷强度为 $6.1 \text{ 万 m}^3/(\text{km} \cdot \text{a})$, 年均冲刷深度为 0.03 m/a 。2018~2021 年左汊分流比从 37.8%降低为 35.7%, 分流比的变化除了和大洪水造床作用有关, 和调整期内的整治工程息息相关。世业洲左汊尾部深泓以贴左岸下行, 并向右有所摆动, 世业洲右汊进口深泓以贴右岸下行, 并向左有所摆动。2018~2021 年左汊-10 m、-20 m 槽体淤积缩小, 右汊-20 m 槽体冲刷扩大, 世业洲进口处 ZYA03 断面附近的-20 m 槽尾左缘淤积回缩约 309 m, 说明右汊入流条件有所改善; 左汊口门-20 m 深槽淤积缩小, 左汊尾部-20 m 槽头 2021 年回淤约 1 km 至润扬大桥处。值得一提的是, 经历 2020 年流域性大洪水, 世业洲右汊出现一个 $2000 \text{ m} \times 415 \text{ m}$ 的-20 m 深槽, 面积为 0.5 km^2 , 说明大水对世业洲右汊影响较大。

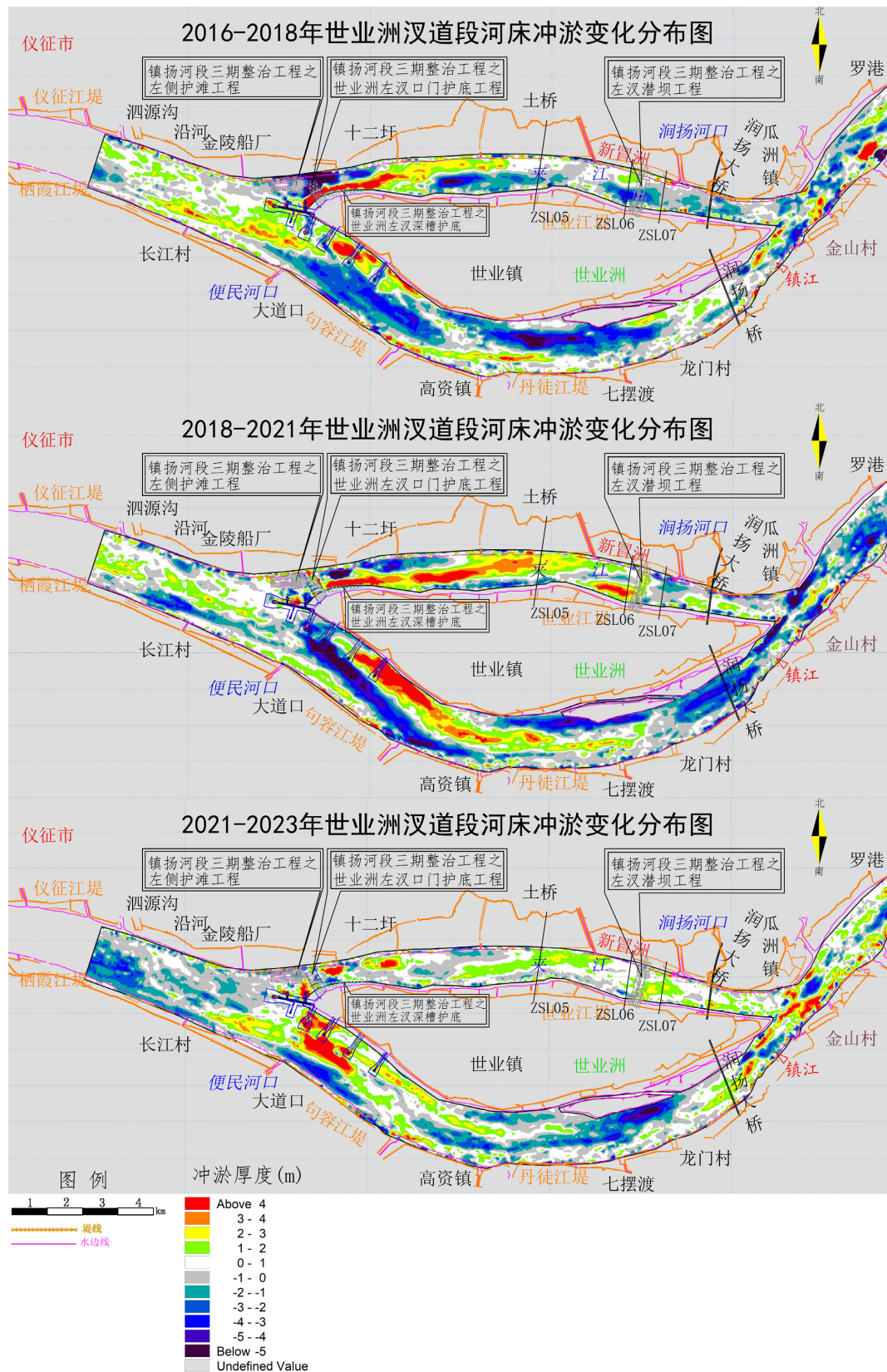


图 7. 世业洲汉道 2016~2023 年冲淤分布图

世业洲汉道整体来看 2021~2023 年左右汉道均呈现淤积状态,世业洲汉道的淤积强度为 $12.4 \text{ 万 m}^3/(\text{km}\cdot\text{a})$,年均淤积高度为 0.06 m/a ,2021~2023 年左汉分流比保持相对稳定,平均约为 35.4%。世业洲左汉进口段深泓向左侧最大摆动约 150 m (ZSL02 断面位置处),右汉在八摆渡处深泓最大左移约 170 m,其余位置基本稳定。世业洲右缘-10 m 线左移约 170 m (ZSR06 附近),出现了撇岸切滩的现象,整体来看-10 m、-20 m 槽淤积缩小,其中 2021 年在世业洲右汉进口出现的-20 m 深槽于 2023 年消失,若后续出现特大洪水,应密切关注世业洲右汉进口的地形变化。对应的深泓、-10 m、-20 m 深槽见图 8~10。

2016 年以来左汉典型断面以淤积为主,断面面积呈现出降低趋势,右汉以冲刷为主,断面面积冲刷扩大,右汉相对左汉面积逐年增大,可见右汉的进出水流条件明显有所好转,进而引起右汉分流比增大。扼制了世业洲“左兴右衰”的发展态势。左汉宽深比相对较小,说明右汉相对左汉属于易淤河型,见图 11。

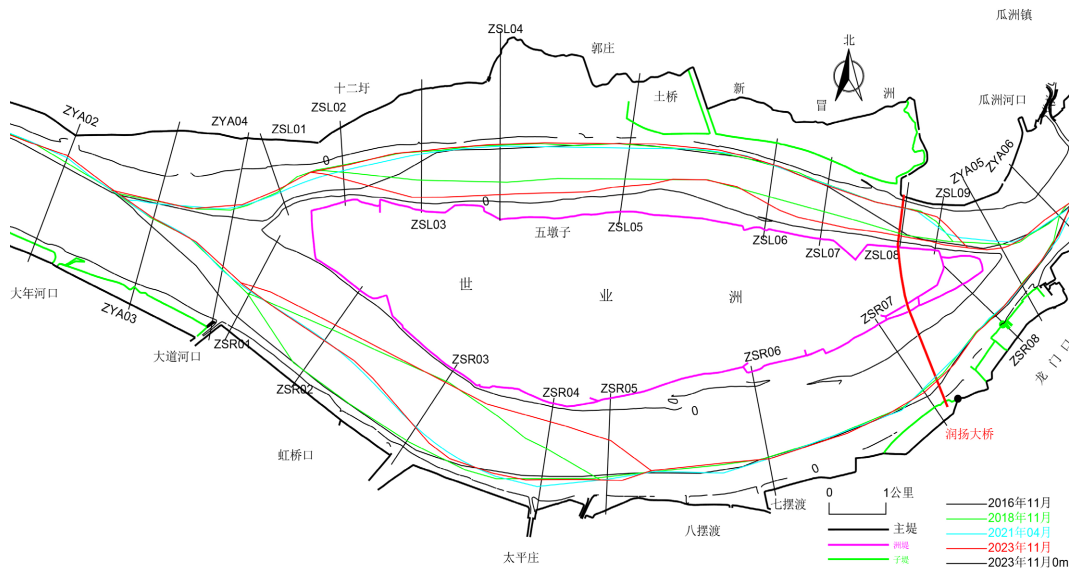


图 8 世业洲汉道 2016~2023 年深泓线变化图

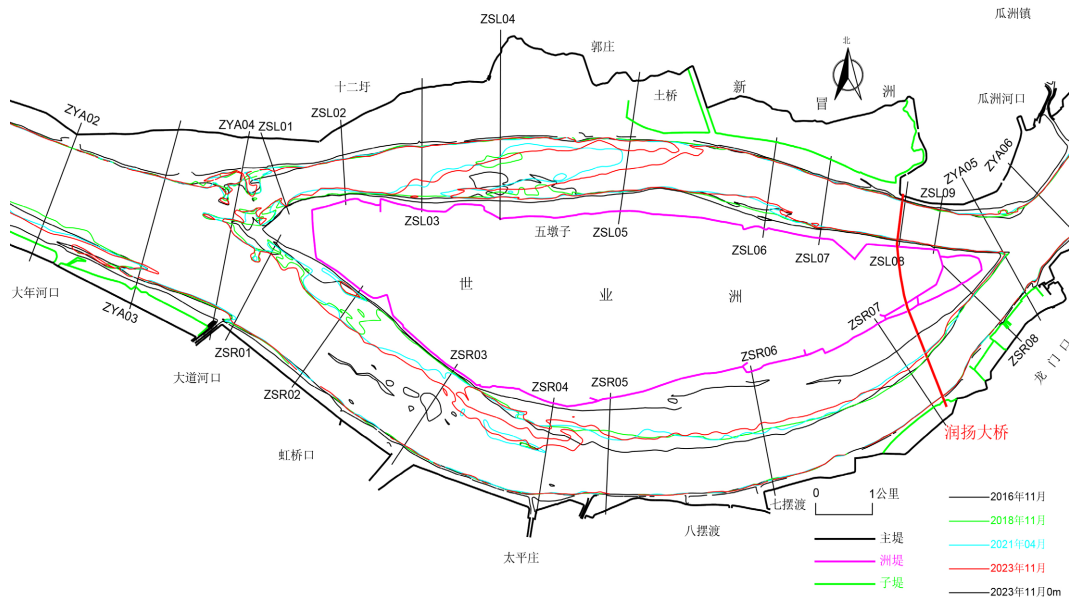


图 9. 世业洲汉道 2016~2023 年-10 m 槽变化图

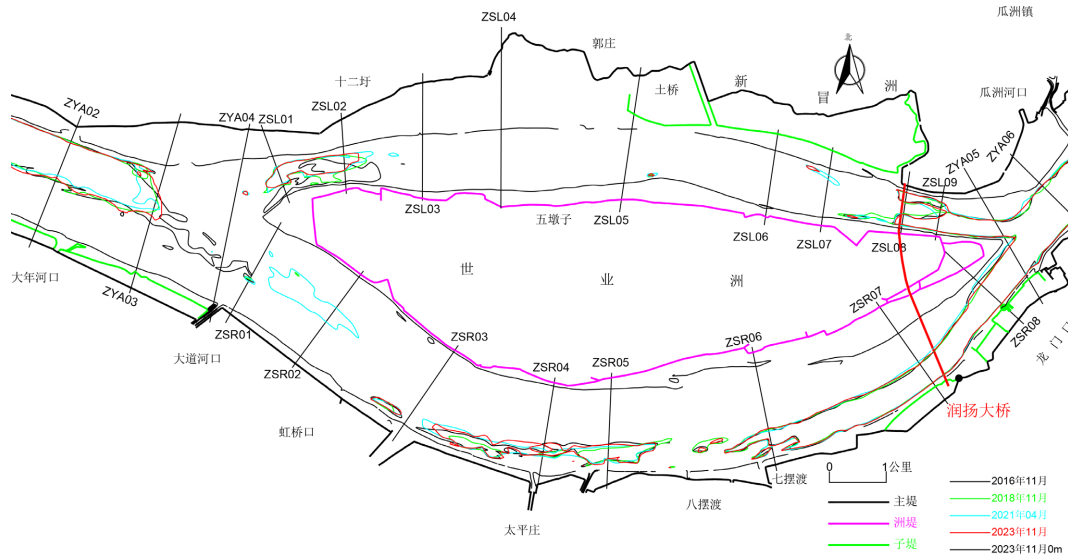


图 10. 世业洲汉道 2016~2023 年 -20 m 槽变化图

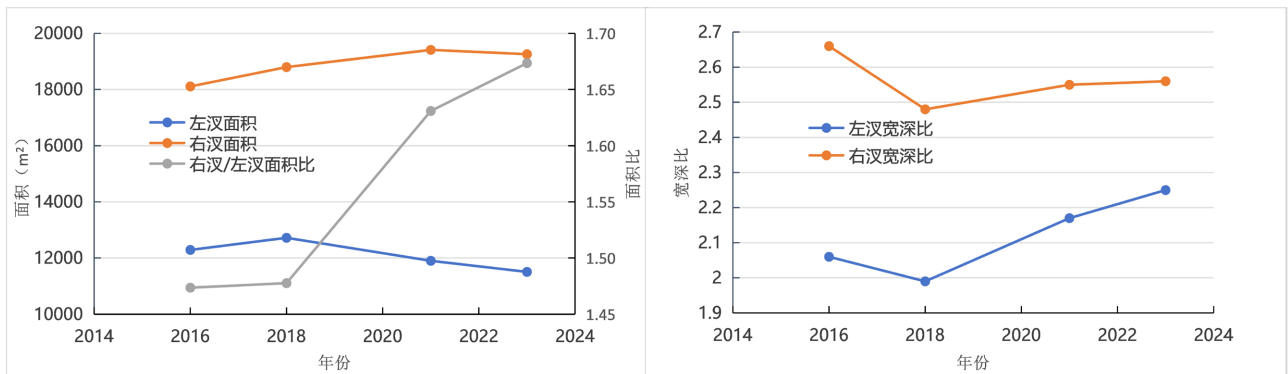


图 11. 世业洲汉道面积及宽深比变化

相较于上升期内出现的 1998 年特大洪水的“大水走直”现象冲刷世业洲左汉，导致世业洲左汉分流比持续走高，调整期出现了 2020 年流域性大洪水，但整治工程的实施进一步加强节点作用，稳定了河势，可见整治工程的实施是引起左汉分流比进入调整期的主因。

5. 结论及建议

1) 以左汉道分流比的变化来看，1959 年以来世业洲汉道分流比呈现为三个阶段，分别为平台期(1959~1993 年)，上升期(1993~2015 年)及调整期(2015~2023 年)。调整期内世业洲左汉分流比下降了约 5%，使得长期以来的“左兴右衰”的发展态势有所逆转得到了遏制，属相对稳定的汉道，维持主汉在右的河势。平台期、调整期引起汉道分流比变化的主因分别是大洪水的冲刷作用、整治工程的实施。

2) 20 世纪九十年代以来世业洲汉道经历了淤积 - 冲刷加剧 - 冲刷放缓 - 淤积的过程，近期 2018~2023 年左汉呈现为淤积，左汉潜坝工程上游以淤积为主，潜坝下游以冲刷为主，世业洲汉道的冲刷部位主要位于右汉进口段心滩及凹岸水流弯顶处。世业洲洲头分流点下挫，左汉进口段深泓右移，右汉则左移，左汉第一顶冲点上提，左汉道过渡段深泓左摆；右汉整体呈现为凹冲凸淤的态势，经镇扬河段一期整治工程中的龙门口附近抛石护岸工程以后，右汉道下段深泓基本保持稳定；左汉道口门深槽左移，右汉道口门出现新深槽，后又消失，后期应注重右汉道进口段的监测与分析。

调整期内的南京以下 12.5 m 深水航道整治工程、镇扬河段三期整治工程及长江干流江苏段崩岸应急治理工程的实施,进一步强化了世业洲汊道的边界条件,有利于河势稳定,由于整治工程运行不久,尚处于调整期,其功效仍需要一段时间的观察,后期应继续观察河道及航道治理工程实施的效果。后期应重点密切关注世业洲左右汊进口段及左汊潜坝工程上下游局部区域的防护和监测分析工作。

基金项目

水文局局级科技创新基金(SWJ-24CJX08)。

参考文献

- [1] YANG, Y., ZHENG, J., ZHANG, W., et al. Quantitative relationship between channels and bars in a tidal reach of the lower Yangtze River: Implications for river management. *Journal of Geographical Sciences*, 2021(12): 1837-1851. <https://doi.org/10.1007/s11442-021-1925-x>
- [2] 刘娟, 刘宏, 张岱峰. 长江镇扬河段近期河床演变趋势分析[J]. 长江科学院院报, 2003(4): 18-20.
- [3] YOU, X., TANG, J. and ZHANG, X. The mechanism of barrier river reaches in the middle and lower Yangtze River. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(10): 1249-1267. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1433-1>
- [4] 方娟娟, 付菁, 杨云平, 等. 长江下游仪征河段汊道分流属性及航道滩槽演变机制[J]. 湖泊科学, 2022, 34(4): 1335-1346.
- [5] 张增发, 杭建国, 窦臻. 长江镇扬河段世业洲汊道近期演变与整治对策[J]. 中国水利, 2011(4): 32-34.
- [6] 许慧, 张健, 张伟露. 三峡工程运用后水沙变化对世业洲汊道河床演变的影响[J]. 水运工程, 2021(7): 94-99.
- [7] 朱庆元, 刘同宦, 丁虎, 等. 长江下游镇扬段世业洲汊道演变和整治措施研究[J]. 人民长江, 2015, 46(13): 1-4.
- [8] 郭宇. 长江镇扬河段世业洲右汊河床稳定性研究[J]. 水电能源科学, 2018, 36(3): 100-103.
- [9] 韩卓雄. 长江镇扬河段世业洲汊道演变机理及航道治理措施研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 长江科学院, 2012.
- [10] 丁建国, 张文兴, 徐明, 等. 长江镇扬河段世业洲左右汊分流比变化分析[J]. 江苏水利, 2011(7): 31-32.
- [11] 凌哲, 罗龙洪, 吕馨怡, 等. 长江镇扬河段世业洲左汊口门演变分析与思考[J]. 江苏水利, 2021(3): 6-10.
- [12] 郭德俊, 王悦, 肖仲凯, 等. 长江下游鳊鱼沙心滩演变特征及趋势分析[J]. 水利水电快报, 2018, 39(10): 56-60.
- [13] 鄢丽丽, 窦臻, 王国栋, 等. 长江世业洲左汊口门系结压载软体排设计与施工[J]. 人民长江, 2018, 49(S2): 136-139.
- [14] 段磊. 长江镇扬河段三期整治工程世业洲左汊潜坝工程坝基及上下游压排石施工分析[J]. 陕西水利, 2020(7): 151-153.