

· 航道及通航建筑物 ·



靖江边滩演变水动力特性分析*

杜德军¹, 王晓俊^{1,2}, 夏云峰¹, 闻云呈¹

(1. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029; 2. 南京瑞迪建设科技有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要: 对近年来靖江边滩周期性切割发生的位置、切割时的规模和切割体的大小进行梳理分析, 并对 1966 年以来已发生的 12 次较大规模切割时机和切割流量进行重点研究。结果表明: 洪季和枯季均有可能出现切割。洪季落潮切割时上游径流 38 700~54 100 m³/s, 平均 47 000 m³/s; 枯季涨潮切割时上游径流 11 800~23 700 m³/s, 平均 17 000 m³/s; 心滩下移速度 1.0~1.8 km/a。为此, 可加强易切割流量时地形观测, 预估下移心滩进入航槽的时间, 提前配置疏浚设备, 对航道疏浚维护具有重要的意义。

关键词: 靖江边滩; 水动力; 切割时机; 切割流量; 下移速度

中图分类号: TV 13; U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0075-06

Hydrodynamic characteristics of Jingjiang beach evolution

DU De-jun¹, WANG Xiao-jun^{1,2}, XIA Yun-feng¹, WEN Yun-cheng¹

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Nanjing R & D Tech Group Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: The periodical cutting location of Jingjiang beach in recent years and the cutting scale of the sand body and the scale of the downward-moving central bar are analyzed, and the time and discharge of 12 large-scale cuttings that occurred since 1966 are studied. The result shows that cutting may occur both in flood season and dry season, the cutting discharge during low tide in the flood season is between 38 700~54 100 m³/s (47 000 m³/s average), and the cutting discharge during high tide in the dry season is between 11 800~23 700 m³/s (17 000 m³/s average). We may strengthen the terrain observation when reaching the cutting discharge, predict the channel crossing time, and allocate the dredging equipment in advance to reduce the impact of siltation on channel operation, which is of great significance to the maintenance and dredging of the channel.

Keywords: Jingjiang beach; hydrodynamics; cutting time; cutting discharge; downward-moving speed

靖江边滩位于福姜沙河段进口段左侧。近年来, 其周期性变化对福姜沙河段的河床冲淤及深水航道维护产生了较大影响, 也是即将实施的深水航道整治后续治理及盐泰锡常宜过江通道建设需要面对的问题。关于靖江边滩周期性演变及其影响, 很多学者进行了研究。张世钊等^[1]通过概化模型对靖江边滩的涨落潮动力、横向水流的作用进行了研究。陈诚等^[2]研究认为, 靖江边滩在枯水期冲淤不大, 涨水期淤积、洪水期冲刷或切

割, 流量高于 5 万 m³/s 的天数越多, 切割体量越大。而闻云呈等^[3]研究发现, 上游来沙减少, 冲刷淤长速度将放缓, 洪季落潮、枯季涨潮均会发生切割; 闻云呈^[4]通过对切割时流量分析, 认为流量大于 3.8 万 m³/s 和小于 1.8 万 m³/s 易发生切割。由星莹等^[5]提出影响浅滩冲淤变化的临界流量区间, 下荆江临界流量在 1.2 万~1.6 万 m³/s。杜德军等^[6]、乔红杰等^[7]分别通过模型和现场资料就下游双涧沙守护工程实施后的水动力变化进

收稿日期: 2020-07-08

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFB1600402、2016YFC0402307); 上海城投(集团)有限公司创新计划项目(CTKY-ZDXM-2020-007)

作者简介: 杜德军(1970—), 男, 教授级高级工程师, 从事河口海岸泥沙工程方面的研究。

行了研究。徐金环^[8]通过对靖江河段河床稳定性的研究,分析了下游近岸的建港条件。李冬等^[9]研究发现,靖江边滩切割沙体跨越福北水道 12.5 m 深水航道时会增加维护性疏浚的难度。陈长英等^[10]、付中敏等^[11]分别从河床演变和水槽试验对心滩和边滩成因和影响进行了分析。

已有对靖江边滩的研究,分析了冲淤切割与工程河段的水沙动力、泥沙特性,上、下河段冲淤的联系以及冲淤对河道和航道的影响。但切割时的流量大小、切割脱离的心滩下移速度尚待深入分析,对于洪季切割还是枯季切割还存在分歧。其他研究未将水动力变化与心滩演变的周期性相结合。本文结合靖江边滩的周期性演变分析靖江边滩切割时的水动力特性,研究结果对 12.5 m 深

水航道维护以及即将实施的靖江边滩治理等工作具有重要意义。

1 靖江边滩的概况

福姜沙水道上起鹅鼻嘴,下至段山港,全长近 30 km,为两级分汊河段(图 1)。进口鹅鼻嘴江面宽 1.4 km,往下至螃蟹港江面放宽至 4.0 km。长江下游福姜沙分为福南水道和左汊,为一级分汊,其中左汊为主汊,分流比约为 80%。靖江边滩位于左汊一级分汊上游北岸,靖江边滩分为 3 段:上段为江阴大桥下游至跃进港,长约 3.2 km;中段为跃进港—螃蟹港,长约 3.1 km;下段为螃蟹港以下段(图 1)。在上游来流及下游近岸涨潮流作用下,靖江边滩呈现周期变化。

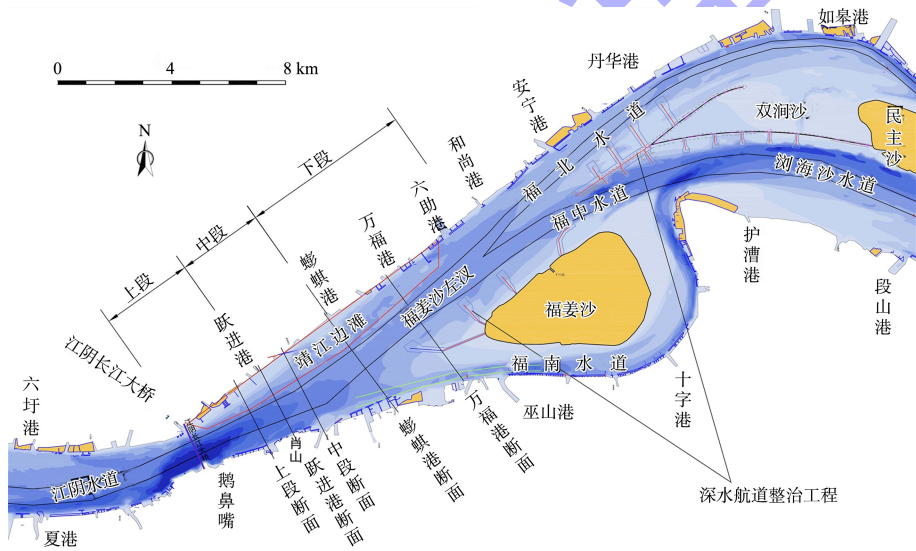


图 1 福姜沙水道河势、靖江边滩及分析断面位置

2 靖江边滩周期性演变特征

2.1 切割位置

自 20 世纪 60 年代以来,靖江边滩已发生 10 次以上切割过程。研究认为其演变周期一般为 4~8 a。靖江边滩淤长→冲刷→淤长的周期性变化受多因素影响,主要有上下游河势变化、上游来水来沙变化影响、下游涨潮流影响等。

由图 2 可见,自 1999 年后,靖江边滩雅桥港以上总体变化不大,雅桥港以下 -10 m 存在冲淤变化:在靖江边滩中下段切割后 -10m 线左靠,接着中段开始出现淤积, -10 m 线在横向下逐渐向右展宽,纵向上 -10 m 线尾部逐渐下移。切割部位

均为螃蟹港以下。20 世纪 90 年代前,切割主要位于螃蟹港—和尚港间 6.6 km 范围;此后至 2012 年,随如皋中汊发展,以及 2003 年后三峡水库蓄水,上游来沙减少,切割部位下端有所上提,主要位于螃蟹港—六助港间 5.0 km 左右;2012 年后,随着双洞沙守护工程和深水航道整治工程的实施,上下游河势变化影响减弱,切割主要出现在螃蟹港—万福港间 2.5 km。可见,多年来靖江边滩周期性切割一般位于下段,2012 年以前切割范围长 6.6 km,随着上游来沙减小以及工程河段深水航道整治工程的实施,切割范围逐年缩短到目前的 2.5 km 范围。

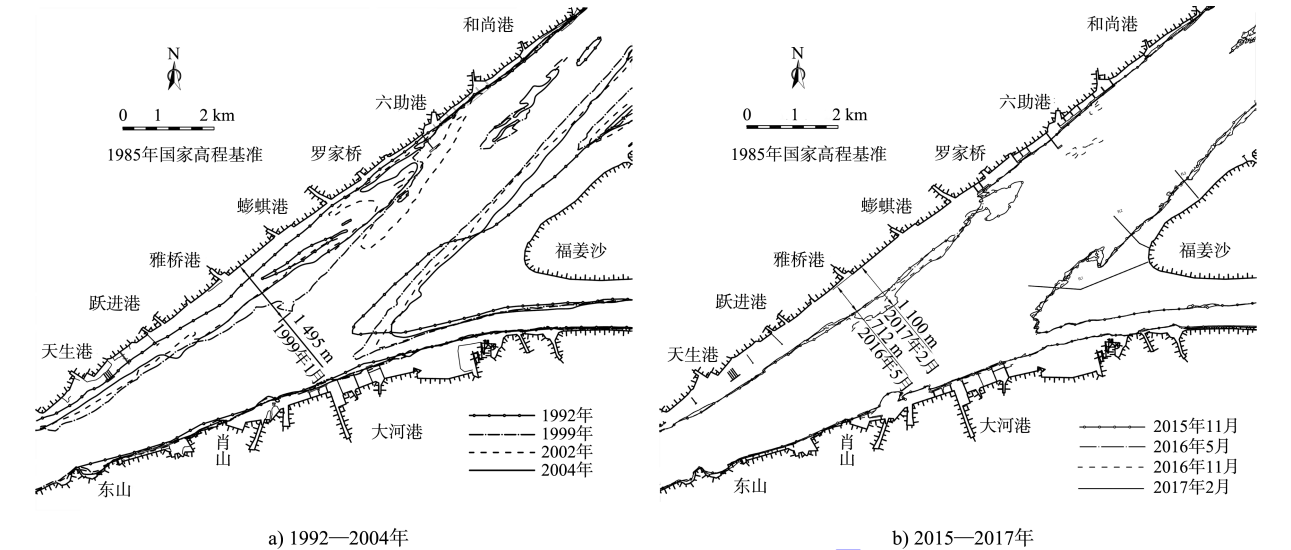


图2 福姜沙进口段-10 m 等高线变化

2.2 切割时沙体及心滩规模

2.2.1 靖江边滩沙体的规模

靖江边滩淤长到一定规模才会发生切割,而滩体规模与左汊进口主流位置、走势及主槽的走势有关。分析切割前后靖江边滩下段沙体的宽度。综合靖江边滩下段切割的有关研究成果,认为靖江边滩发生切割时沙体-10 m 线宽度一般在 1 km 以上。

2.2.2 切割后下移心滩的规模

表 1 为 1966 年以来靖江边滩切割统计。由

表 1 可知,1999 年以前,切割形成的心滩宽度最大达 0.6 km,长近 6 km。21 世纪以来,随着上游来沙减小以及深水航道二期工程实施,福姜沙左汊进口河床缩窄,靖江边滩的发展规模受控,切割后心滩宽度由早期的 0.6 km 左右缩窄至 0.3 km 内,沙体长度一般在 2.5 km 以内。表明新水情、新工情下,下沙体的发育规模受控,切割形成的心滩规模缩小。

表 1 1966 年以来靖江边滩切割统计

次数	时间	后 15%流量平均/ (万 m ³ ·s ⁻¹)	前 15%流量平均/ (万 m ³ ·s ⁻¹)	沙体切割部位	沙体切割规模 (长×宽)/(km×km)
1	1966 年 11 月	1.346	2.424	蜆蜆港—六助港	约 5.0×0.6
2	1970 年 6 月	4.252	5.410	蜆蜆港—和尚港	多个心滩,最大 3.0×0.5
3	1975 年 3 月	1.180	2.012	蜆蜆港、和尚港	5.0×0.6 心滩
4	1980 年 3 月	1.304	2.226	六助港、和尚港	3.0×0.4 心滩
5	1987 年 9 月	3.524	4.534	万福港附近	多个心滩,最大 0.5×0.5
6	1989 年 8 月	3.869	3.869	蜆蜆港—万福港	4.0×0.6 心滩
7	1994 年 7 月	3.776	5.300	蜆蜆港—万福港	0.5×0.5 心滩
8	1998 年 10 月	2.928	4.790	六助港附近	1.5×0.5 心滩
9	2000 年 10 月	3.688	4.090	蜆蜆港—六助港	5.2×0.5 心滩
10	2010 年 3 月	1.552	2.554	蜆蜆港—六助港	2.5×0.5 心滩
11	2016 年 2 月	1.802	2.390	万福港附近	0.3×0.3 心滩
12	2018 年 3 月	2.370	3.232	蜆蜆港—万福港	0.7×0.15 心滩

3 切割时水动力条件

3.1 靖江边滩附近水动力变化

利用数学模型计算以及多年来的实测水文资

料对切割时水动力条件进行分析。

数学模型上游以江阴天生港节点作为进口边界,下游徐六泾作为出口边界,全长约 90 km。

2004 年至今一直用于澄通河段水利、航道、过江通道以及码头等工程的计算研究，采用历年多次实测水沙、地形资料对模型进行参数的率定和验证，验证结果满足规程、规范的要求。

利用该模型，研究 98 洪水条件下，1980 年地形和 2011 年地形条件下动力轴线变化，结果见图 3。由图 3 可知，出口段主流有北偏趋势，而出鹅鼻嘴后，落潮主流逐渐偏南顶冲肖山侧，主流的这种变化为靖江边滩上段和中段的发育、发展及稳定创造了水动力条件。也表明在 2012 年前，上游江阴水道出口段的变化与下游福姜沙进口段的变化存在一定的关联。

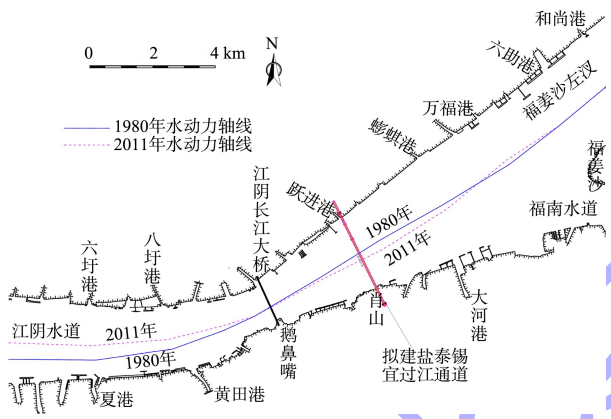


图 3 江阴水道下段、福姜沙进口段 1980—2011 年水动力轴线比较（数模计算）

由图 4 可以看出，该区域流速总体呈现往复流，落潮流速大于涨潮流速。从流速矢量分布可以看出，相对于 2015 年 9 月，受大洪水取直的影响，2016 年 8 月实测流速矢量总体略北偏，偏转角度一般在 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 。和尚港断面因洪水取直、枯水坐弯以及地形变化等因素带来的不同测次间流速矢量角度变化较小，一般在 2° 以内。安宁港断面，靠近北侧流向总体与航道较为平顺；靠近双涧沙潜堤侧，由于越滩流的存在实测流向有所南偏；福中水道侧，总体与福中航道较为平顺。在靖江边滩下游，福姜沙河段北福姜沙分为福姜沙左汊和福南水道，为一级分汊，多年来，两汊分流比总体稳定，左汊为主汊，分流比大致在 80%。

总体而言，随着上游流量、地形的调整，福

姜沙河段典型断面流速矢量各测次间略有调整，2012 年至今，动力轴线无大的变化。

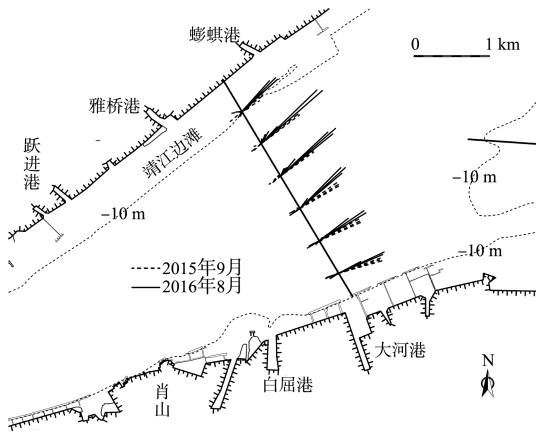


图 4 不同测次螞蟥港断面流速矢量分布

靖江边滩切割下移是涨落潮流共同作用的结果，其切割位置与河道形态相关。靖江低边滩沙体变化主要在中下段，边滩区域附近落潮流为塑造河床的主要动力，但涨潮流的影响不可忽略。从靖江边滩附近水动力分布可以看出，大洪水条件下主动力轴线略有北偏，为沙体的冲刷、切割和下移提供了动力条件。但中枯水大潮条件下涨潮流相对较大，在涨落潮流的作用下靖江边滩尾部时有倒套出现，因倒套的存在使得其倒套附近的比降有所增加，更利于边滩的切割。

图 5 为靖江边滩附近断面横向流速分布。由图 5 可见，过了鹅鼻嘴节点后，河道展宽，水流分散，落潮时段存在垂直于岸的横向流速，是近岸泥沙堆积并形成边滩的原因之一。

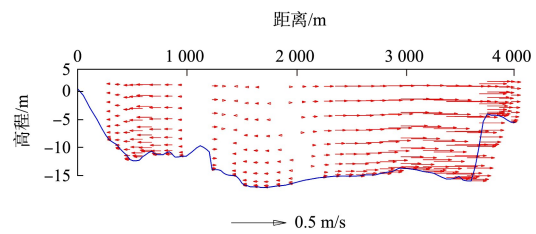


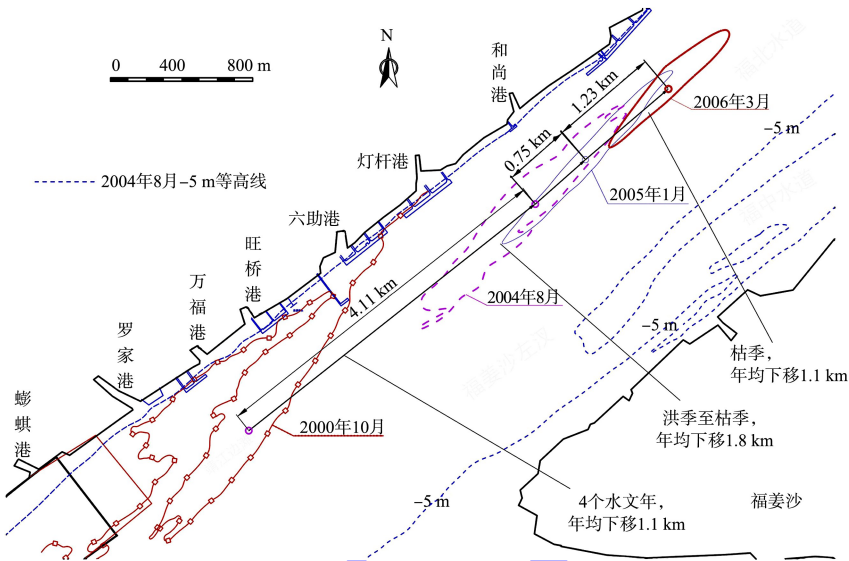
图 5 靖江边滩附近螞蟥港断面横向流速分布（垂直岸线）

3.2 切割体下移速度

对表 1 中第 9 次切割体进行分析。由图 6 可见，在 2000 年 10 月，靖江边滩下段（-10 m 以上滩体）已经发生切割，切割体还位于螞蟥港—六助港，上段已经离开主沙体，移至螞蟥港下罗家港

附近, 尾部还与近岸-10 m 边滩部分相连, 也表明切割未完全完成。至 2004 年 8 月、2005 年 1 月、2006 年 3 月, 切割体分别下移 4.11、0.75 和 1.23 km, 下移速率分别为 1.1、1.8 和 1.1 km/a。通过其他切割体的下移速度进一步分析得知, 形

成的-10 m 心滩主要在距左岸约 1.5 km 范围水域内向下游运移, 下移速率一般在 1.0~1.8 km/a, 洪季下移速度大于枯季。心滩总体呈现形成、冲刷下移、进入福北水道和如皋中汊、部分归并双涧沙、再形成的周期性演变模式。



注: 1. 高程为 1985 国家高程基准; 2. 边界为 2004 年 8 月测。

图 6 靖江边滩第 9 次切滩下移速度

3.3 切割时机及流量

由表 1 可见, 自 1966 年以来, 靖江边滩总计发生了 12 次较大的切割, 其中洪季和枯季均为 6 次, 表明靖江边滩下段的切割在洪枯季均会发生。从已有统计的多次切割来看, 有的已经完成切割, 有的还在切割过程中, 这给分析切割时机和切割时流量大小分析带来了很大的困难, 因为, 实际水下地形测量的时间不一定正好选择刚切割完成时。根据已有测图分析沙体切割的时机, 一般最多 6 个月内就有地形资料可以分析。分以下 2 种情况进行分析。

- 1) 刚切割完成, 切割时间应该为地形测量前一段时间;
- 2) 已切割完成离开靖江边滩的沙体, 测图与切割的时间一般最多在 6 个月内, 可以切割体离靖江边滩的距离以及切割沙体的移动速度来大致反推切割的时间。

靖江边滩下段沙体的切割不是瞬间完成的, 应该是上游径流较大时落潮水流作用, 或者是枯季时涨潮水流作用, 且经历多次、长时间作用下才会发生。选择切割发生时那个月的大通流量进行分析。将 1 个月的流量按由大到小排序分别统计排在 15% 之前的流量和排在 85% 之后的流量。洪季的 6 次中, 大流量平均值在 3.87 万~5.41 万 m³/s; 枯季的 6 次中, 小流量平均值在 1.18 万~2.37 万 m³/s。根据 12 次切割期所在月份上游流量进行累计频率统计分析(图 7), 结果表明小于流量累计频率 85% 的对应流量约为 4.6 万 m³/s, 小于流量累计频率 15% 的对应流量约为 1.7 万 m³/s。在江阴附近, 造床流量约为 4.7 万 m³/s, 洪季切割期对应的流量 4.6 万 m³/s, 与工程河段的造床流量基本一致, 表明造床流量对河床的作用较强, 上游流量达到造床流量大小时易发生切割。

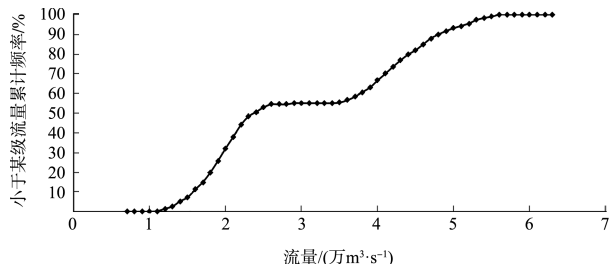


图7 靖江边滩大规模切割流量累计频率曲线

1999年后,上段和中段-15 m以浅体积变化不大。而下段沙体体积变化有如下特征:1)下沙体体积有减有增,但在1999、2010和2016年前后出现3次减小(图8)。这3年长江上游均出现较大洪水,大洪水的作用可能会使靖江边滩下沙体产生冲刷,使下沙体的规模减小。切割沙体体积的基本趋势是减小;2)2010年后,下沙体的体积在减小,特别是在2015年深水航道整治工程实施后,福姜沙左汊河宽缩窄,下沙体的发育规模受控。

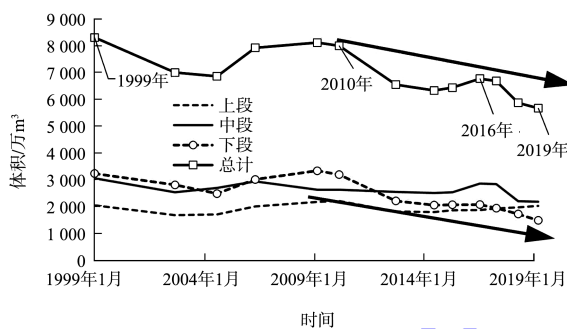


图8 靖江边滩分段-15 m以浅体积变化

4 结语

1) 福姜沙进口段1980—2011年水动力轴线数学模型研究表明,随着江阴水道出口段-15 m心滩的冲蚀,主流略有北偏,而出鹅鼻嘴后,落潮主流逐渐偏南顶冲肖山侧,这为靖江边滩上段和中段的发育、发展及稳定创造了水动力条件;受大洪水取直的影响,大水时落潮水流总体略有北偏,较平常流量条件下北偏 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$,使得水流会偏向靖江边滩下段,表明大水时易发生切割。

2) 靖江边滩下段近年来一直呈周期性切割态势。切割时沙体-10 m线宽度一般在1 km以上;洪季和枯季均有可能出现切割,切割时上游流量分别

在3.87万~5.41万 m^3/s 和1.18万~2.37万 m^3/s ;深水航道等工程在运行期可重点加强上游出现上述流量区间的观测,及时了解边滩的演变及其移动对航道维护的影响。

3) 考虑近年来沙体跨越福北航槽时造成维护性疏浚量明显加大,切割后沙体下移速度一般在1.0~1.8 km/a,呈洪季快枯季慢的特性。为此,可加强易切割流量时地形观测,估计跨越航槽的时间,提前配置疏浚设备,减小回淤影响,同时对有边滩依附的过江通道布设也有重要借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张世钊, 闻云呈, 徐华, 等. 长江下游靖江新港作业区近期淤积成因分析[J]. 人民长江, 2014, 45(9): 19-23, 38.
- [2] 陈诚, 李旺生, 杨云平, 等. 潮汐河段边心滩变形及对航道维护的影响研究[C]//中国海洋学会海洋工程分会. 第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下). 北京: 中国海洋学会海洋工程分会, 2017: 428-435.
- [3] 闻云呈, 徐华, 夏云峰, 等. 新泥沙条件下靖江边滩演变特性及影响因素研究[J]. 人民长江, 2018, 49(S1): 6-10.
- [4] 闻云呈. 二期工程河段靖江边滩和高港边滩演变趋势及其对深水航道影响与对策研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2018.
- [5] 由星莹, 唐金武, 翁朝晖. 浅滩碍航淤积厚度变化规律初步研究[J]. 水利水运工程学报, 2012(2): 42-48.
- [6] 杜德军, 夏云峰, 闻云呈, 等. 福姜沙水道双洞沙守护工程水动力特性[J]. 水运工程, 2015(4): 1-7.
- [7] 乔红杰, 朱巧云, 胡国栋. 长江口双洞沙整治工程效果及影响分析[J]. 水利水电快报, 2019, 40(10): 24-29.
- [8] 徐金环. 靖江河段河床稳定性与建港条件分析[J]. 长江科学院院报, 1996(3): 25-28, 33.
- [9] 李冬, 冷乐飞. 长江下游福姜沙河段12.5m深水航道维护分析[J]. 中国水运. 航道科技, 2017(2): 68-73.
- [10] 陈长英, 张幸农, 赵凯. 长江口岸直水道鳊鱼沙浅滩成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2010(1): 85-89.
- [11] 付中敏, 郑惊涛, 王平义, 等. 边滩对弯曲分汊河段河床演变影响分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(6): 960-964.

(本文编辑 郭雪珍)