

# 长江下游东流水道近期河槽形态及平滩流量变化

宋云涛<sup>1</sup>, 徐雪鸿<sup>1</sup>, 杨涵苑<sup>2,3</sup>, 左利钦<sup>2</sup>, 许慧<sup>2</sup>

(1. 长江南京航道工程局, 江苏南京 210011; 2. 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; 3. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北武汉 430072)

**摘要:** 东流水道历史上主支汉频繁改道、滩槽剧烈变化, 长期以来是长江下游重点碍航浅滩之一。三峡水库运行后, 同时受到航道整治工程作用, 东流水道河床处于持续调整中。河槽形态和平滩流量变化是河道治理和保护利用中的重要参数, 根据 2012~2018 年东流水道水下地形和水沙系列资料, 采用河段平均算法, 得到河段尺度的平滩河槽形态参数及平滩流量变化过程。结果表明: 2018 年河段平滩面积及平滩流量较 2012 年分别增大 2.1%、3.3%。2014 年前平滩水深减小 2.8%, 平滩河宽增大至 2511.1m; 2014 年后, 平滩水深减小至 14.5m, 平滩河宽增大 4.6%, 表明该河段洲滩横向展宽较纵向冲刷大, 需进一步加强洲滩守护。

**关键词:** 东流水道; 长江下游; 河槽形态; 平滩流量; 河床调整

**中图分类号:** TV147

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0144—04

## 1 前言

东流水道位于安庆上游 30 至 60km 处, 属顺直分汊河道。长期以来, 由于滩槽演变剧烈、主支汉频繁转换等特点, 导致主槽及航道频繁改道, 使其成为长江下游重点碍航河段之一<sup>[1]</sup>。为改善东流水道航道条件, 2004~2014 年该河段先后实施了一、二期航道整治工程, 使得部分关键洲滩得到了较好的守护。三峡水库蓄水后, 长江中下游河段水沙条件大幅改变, 河床剧烈冲刷造成河槽形态大幅调整, 如河床冲刷下切、河岸侧向侵蚀、江心洲或心滩萎缩等<sup>[2-4]</sup>。因此有必要研究三峡工程运用后近期东流水道断面形态调整特点。

He 等<sup>[5]</sup>认为平滩河槽形态参数及平滩流量是河道治理、流域生境修复、岸滩土地利用等相关工程中的重要评估参数。在河道的长期演变中, 平滩流量作用下的河床断面形态变化通常最为剧烈<sup>[6]</sup>。由于河段内断面形态沿程分布的不均匀性, 某一特定断面变化难以描述整体河段的调整特点, 因此需要开展河段尺度的河槽形态时空变化分析。以往平滩参数的单一均值估算法不满足水流连续条件, 且忽视了不同断面间距的影响<sup>[7-8]</sup>。针对上述问题, Xia 等<sup>[9-10]</sup>采用基于对数变换的几何平均值与断面间距加权平均值相结合的方法, 计算分析了黄河下游三种河型的平滩河槽形态及平滩流量的变化过程; Lin 等<sup>[11]</sup>采用河段平均法量化了长江中游深泓线摆动与平滩河槽形态的变化关系, 并研究了上下游河势控制对河道断面形态调整的影响; 王英珍等<sup>[12]</sup>从河段尺度探讨了汛期及非汛期黄河下游游荡段对上游来水来沙的响应机制, 并建立了平滩面积及平滩流量与水沙条件

的经验关系。

本文根据三峡工程运用后 2012~2018 年东流水道实测地形及水文数据, 采用基于对数变换的几何平均值与断面间距加权平均值相结合的河段平均法, 得到河段尺度的平滩河槽形态参数及平滩流量变化过程, 揭示了东流水道近期平滩河槽形态及过流能力的调整特点, 为类似河段研究提供借鉴。

## 2 研究区域概况

### 2.1 研究河段

东流水道位于长江下游九江—安庆段内, 上起华阳河口, 下至吉阳矶, 全长约 31km, 属于典型的顺直分汊河型<sup>[13-14]</sup>。河段沿程分布有老虎滩、天沙洲、玉带洲等大片滩群, 水流流经老虎滩后被分为南北两汉(即东港、西港), 经玉带洲后又分为莲花洲港及天玉串沟。滩槽此消彼长, 主支汉兴衰交替。为改善东流水道航道格局, 先后在此河段实施了一、二期航道整治工程。其中一期工程于 2004 年 2 月开工, 2008 年 3 月完工, 主要建设有老虎滩守护工程、左岸丁坝群工程及玉带洲头鱼骨坝工程。二期航道整治工程于 2012 年 11 月开工, 2014 年 4 月主体基本完工, 主要建设有老虎滩头鱼骨坝工程、老虎滩左缘护滩带加固工程、天玉串沟守护工程及老虎岗护岸工程。

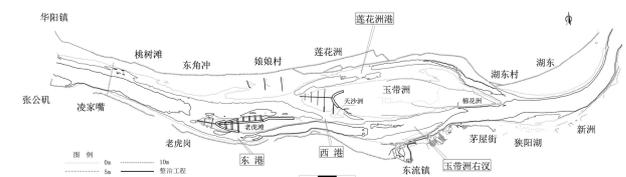


图 1 东流水道河势

## 2.2 河床冲淤变化

东流水道二期整治工程通过建设老虎滩头鱼骨坝等工程基本稳定了河段洲滩演变格局,使得东港冲刷态势大幅减缓,有利于西港通航条件的改善<sup>[15]</sup>。图2表明,2012年后河段内冲淤交替,局部冲淤调整较大,老虎滩左汊深槽继续冲深并向上下游延伸,冲刷深度约为2~4m,右汊冲刷幅度较小。玉带洲洲头淤积明显,右汊中下段以冲刷为主,其中未护段受水流侵蚀作用有崩岸现象出现,左汊逐步淤积抬升。2016~2018年,河段整体冲淤幅度相比二期工程完工前较小。老虎滩右汊由冲刷转为淤积态势,淤积厚度约为1~2m;左汊冲刷量相比2012~2016年大幅减小,冲刷深度沿程逐步增大,其中上游段冲深约1~3m,下游段达4~5m。玉带洲右汊中下段、棉花洲右汊仍以冲刷为主,冲刷深度约为1~5m。

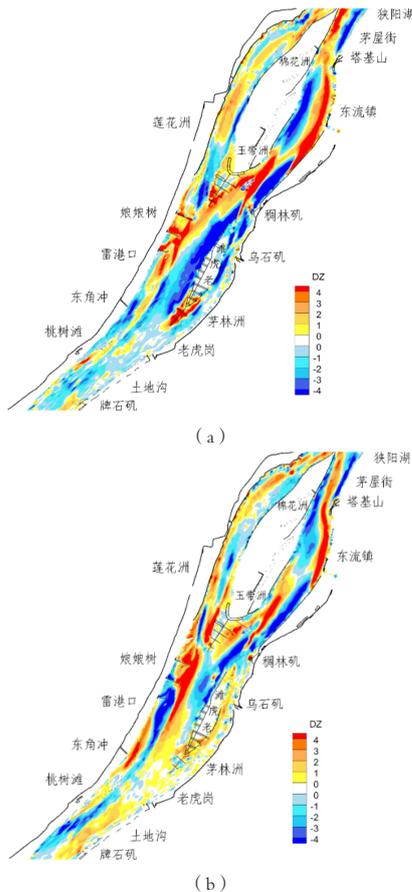


图2 东流水道河床冲淤变化(m)<sup>[15]</sup> (a) 2012~2016年; (b) 2016~2018年

## 3 研究方法

### 3.1 平滩高程确定

平滩河槽形态一般通过平滩面积、平滩水深及平滩河宽表征。基于 Xia 等<sup>[9]</sup>提出的平滩高程确定方法,当滩唇明显时,采用主槽两侧较低滩唇的高程作为平滩

高程;当滩唇不易确定时,可通过对比分析相邻断面平滩高程综合确定。图3以2012年凌家嘴断面为例,给出了平滩高程确定方法的直观表述。根据上述方法,确定其平滩高程为12.1m;两岸滩唇的间距即为平滩河宽(B<sub>bf</sub>),1635.8m;计算平滩水位与河槽所围面积得到平滩面积(A<sub>bf</sub>)为28325.6m<sup>2</sup>;进一步得到平滩水深(H<sub>bf</sub>)为17.32m(H<sub>bf</sub>=A<sub>bf</sub>/B<sub>bf</sub>)。

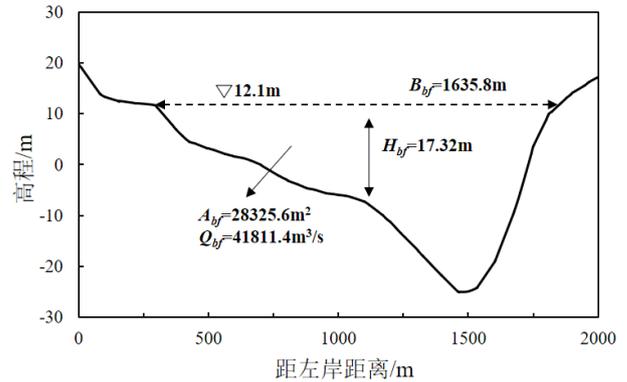


图3 2012年凌家嘴断面平滩河槽形态参数计算

### 3.2 河段尺度的平滩河槽形态参数及流量计算

根据 Xia 等<sup>[9]</sup>提出的河段平均法,采用下式计算河段尺度的平滩河槽形态参数:

$$\bar{B}_{bf} = \exp \left[ \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^{N-1} (\ln B_{bf}^{i+1} + \ln B_{bf}^i) \times (x_{i+1} - x_i) \right] \quad (1)$$

$$\bar{H}_{bf} = \exp \left[ \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^{N-1} (\ln H_{bf}^{i+1} + \ln H_{bf}^i) \times (x_{i+1} - x_i) \right] \quad (2)$$

$$\bar{A}_{bf} = \exp \left[ \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^{N-1} (\ln A_{bf}^{i+1} + \ln A_{bf}^i) \times (x_{i+1} - x_i) \right] = \bar{B}_{bf} \times \bar{H}_{bf} \quad (3)$$

式中: L 为计算河段长度, N 为断面总数, x<sub>i</sub> 为第 i 个断面距起始点的距离。

平滩流量一般指某一断面水位与滩唇齐平时通过该断面的流量<sup>[16-17]</sup>,根据实测水文资料中的水位流量关系得到平滩高程对应流量即为断面平滩流量,再根据式(4)计算河段尺度的平滩流量:

$$\bar{Q}_{bf} = \exp \left[ \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^{N-1} (\ln Q_{bf}^{i+1} + \ln Q_{bf}^i) \times (x_{i+1} - x_i) \right] \quad (4)$$

## 4 研究结果

### 4.1 平滩河槽形态参数调整

根据东流水道2012~2018年地形资料,计算得到断面及河段尺度的平滩河槽形态参数。图4给出了老虎滩及玉带洲典型断面的河槽调整过程,计算结果表明:对于老虎滩断面,其平滩水深呈现先减小后增大,再减小的变化趋势。其中2014年平滩水深达到最小值10.9m,

2014~2015年平滩水深增大为11.8m,表明这期间河槽处于冲刷下切状态,2015年后平滩水深基本保持稳定。平滩河宽的变化趋势与平滩水深相反,至2018年平滩河宽达到最大值3127.3m。平滩面积呈现先减小后增大的变化趋势,2018年平滩面积达到最大值36093.3m<sup>2</sup>,相比最小值(2014年)增大约11%。玉带洲断面平滩水深及平滩河宽的整体变化相对较小,其变化趋势基本与老虎滩一致,其中平滩水深在2018年达到最小值11.8m,相比最大值(2012年)减小约10.4%;平滩河宽则相反,2018年达到最大值2922.4m,相比最小值(2012年)增大约2.7%。平滩面积整体呈减小趋势,2018年平滩面积为34509.5m<sup>2</sup>,相比2012年减小2587.2m<sup>2</sup>,减幅为7%。

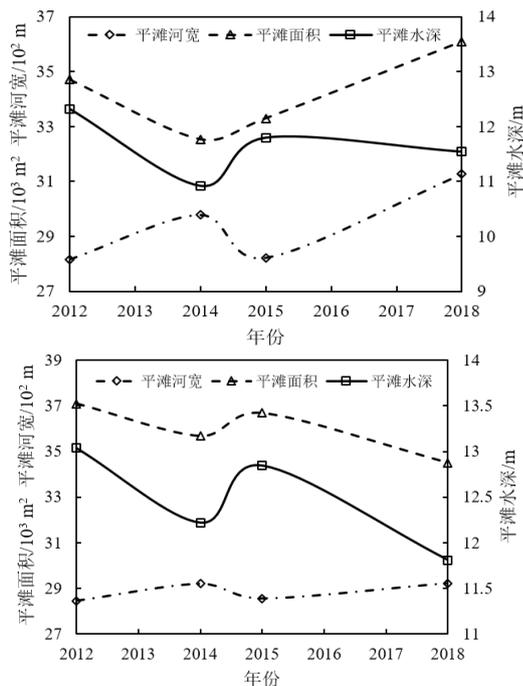


图4 典型断面平滩河槽形态参数变化 (a) 老虎滩断面 (b) 玉带洲断面

由于河段沿程各断面河槽形态调整过程存在一定差异,难以反应整体河段调整规律,故采用3.2节中河段平均法,计算得到东流水道2012~2018年河段尺度的平滩河槽形态参数变化(见图5)。由图可知,受三峡工程运行及河道整治工程影响,平滩面积变化较为稳定,整体处于37340~38126m<sup>2</sup>范围内波动,二期整治工程主体完工后平滩面积逐年增加,至2018年达到最大值38125.6m<sup>2</sup>,相比2012年增大约2.1%。2012~2014年河段来流量减小,枯水期河槽冲刷强度降低,使得平滩水深减小至14.86m,减幅为2.8%。2015年平滩水深迅速回升,此后进一步减小至2018年的14.5m,相比2012年减幅达5%。平滩河宽变化趋势与平滩水深相反:

2012~2014年平滩河宽由2442.9m增加至2511.1m;2015年流量小于20000m<sup>3</sup>/s天数显著减少,退水过程加快,汛后冲刷幅度减弱,平滩河宽减小为2450.5m,随后增加至2018年的2626m,增幅为4.6%。

总体而言,由于三峡工程运行后该河段总体冲刷,同时整治工程的陆续实施,受各类护岸工程限制,主槽两侧滩唇变化较小,2012~2018年东流水道平滩面积及河宽有所增加,而平滩水深总体减少,这说明冲刷导致平滩面积增大,因河宽展宽较多,平滩水深反而略有减小,表明洲滩冲刷较多。河段径流量的年际变化及年内分布差异造成滩槽冲淤演变及河势调整,使得平滩水深及河宽整体年际间有所波动。

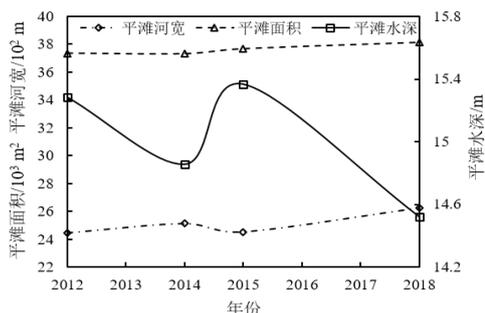
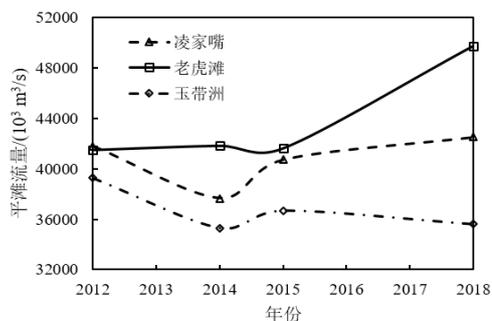


图5 河段尺度平滩河槽形态参数变化

#### 4.2 平滩流量调整

平滩流量是反应河道过流能力与输沙能力的关键指标,由于该流量下水流流速大、输沙率高,因此常称为造床流量<sup>[18-19]</sup>。图6(a)给出了东流水道2012~2018年3个典型断面平滩流量的变化过程,由图可知:凌家嘴断面2012~2014年平滩流量逐年递减,最小值为37665m<sup>3</sup>/s,而后增加至2018年的42521m<sup>3</sup>/s,增幅为12.9%。老虎滩断面2012~2015年平滩流量基本保持不变,2015年后平滩流量由41646m<sup>3</sup>/s增大至49750m<sup>3</sup>/s(2018年),增幅达19.5%,大幅提高了河槽过流能力。玉带洲断面平滩流量变化趋势在2015年前与凌家嘴断面一致,随后由于平滩河宽束窄、平滩面积缩减,2018年平滩流量降为35593m<sup>3</sup>/s,基本恢复至2014年的流量状态。



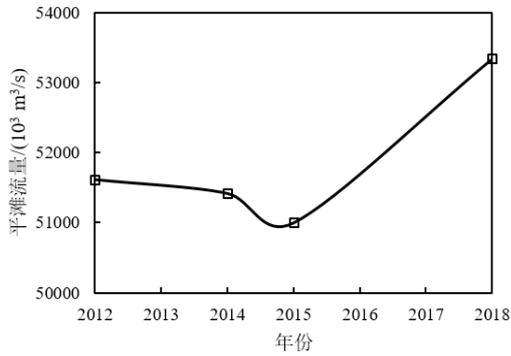


图6 典型断面及河段尺度平滩流量变化过程 (a) 典型断面 (b) 河段尺度

由于各典型断面平滩河槽形态、所受水流及床面阻力不同,使得沿程平滩流量计算结果差别较大,为进一步研究整体河段平滩流量调整过程,同样采用Xia等<sup>[9]</sup>提出的河段平均法,计算了河段尺度的平滩流量变化如图6(b)所示。结果表明:河段平滩流量整体呈递增趋势,二期整治工程主体完工前,平滩流量基本不变,2014年后平滩流量由51422m<sup>3</sup>/s逐年增加至2018年的53342m<sup>3</sup>/s,相比2012年增幅为3.3%。主要由于三峡工程运行后该河段沿程冲刷,平滩河宽2012~2018年增大7.5%,河道过流能力增强,使得平滩流量总体呈上升趋势。

## 5 结论

采用长江下游东流水道2012~2018年实测地形及水文资料,分析了该河段近期平滩河槽形态及流量调整特点,结果表明:受河道整体冲刷影响,平滩面积增加2.1%。2014年前,平滩河宽由2442.9m增加至2511.1m;2014年后平滩河宽增大4.6%。平滩流量整体呈增大趋势,2018年达到53342m<sup>3</sup>/s,较2012年增幅为3.3%。表明近期河道平滩面积和过流能力有所增强,河宽增加大于平滩水深增加,需进一步加强洲滩守护。

## 参考文献:

[1] 马一,吕永兴.长江下游东流水6m水深工程治理思路及方案设计[J].水运工程,2020,568(4):102-107.

[2] Dai Z J, Liu J T. Impacts of large dams on downstream fluvial sedimentation: an example of the Three Gorges Dam (TGD) on the Changjiang (Yangtze River) [J]. Journal of Hydrology, 2013, 480: 10-18.

[3] Yang S L, Milliman J D, Xu K H, et al. Downstream sedimentary and geomorphic impacts of the Three Gorges Dam on the Yangtze River[J]. Earth-Science Reviews, 2014, 138: 470-486.

[4] 张为,高宇,许全喜,等.三峡水库运用后长江中下游造床流量变化及其影响因素[J].水科学进展,2018,29(3):331-

338.

[5] He L, Wilkerson G. Improved bankfull channel geometry prediction using two-year return-period discharge[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2011, 47(6): 1298-1316.

[6] Williams G P. Bankfull discharge of rivers[J]. Water Resources Research, 1978, 14(6): 1141-1154.

[7] Harman C, Stewardson M, Derosé R. Variability and uncertainty in reach bankfull hydraulic geometry[J]. Journal of Hydrology, 2008, 351(1): 13-25.

[8] 梁志勇,杨丽丰,冯普林.黄河下游平滩河槽形态与水沙搭配之关系[J].水力发电学报,2005,24(6):68-71.

[9] Xia J Q, Li X J, Li T, et al. Response of reach-scale bankfull channel geometry in the Lower Yellow River to the altered flow and sediment regime[J]. Geomorphology, 2014, 213: 255-265.

[10] Xia J Q, Li X J, Zhang X L, et al. Recent variation in reach-scale bankfull discharge in the Lower Yellow River[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2014, 39(6): 723-734.

[11] Lin F F, Xia J Q, Zhou M R, et al. Morphodynamic evolution in a meandering reach of the Middle Yangtze River under upstream and downstream controls[J]. Progress in Physical Geography, 2019, 43(4): 1-17.

[12] 王英珍,夏军强,周美蓉,等.近30年黄河下游游荡段平滩面积及流量变化特点[J].应用基础与工程科学学报,2020,28(3):177-190.

[13] 张玮,车瑞,柴跃跃.基于分流特征的汉道分类及其在东流水道航道治理中的应用研究[J].水道港口,2019,40(2):52-58.

[14] 蒋宁,蒋波,雷国平.航道整治对东流水道四大家鱼栖息地适宜度的影响[J].人民长江,2019,50(5):5-9.

[15] 李国斌,尚倩倩,许慧,等.东流水道航道整治工程物理模型试验研究[R].南京:南京水利科学研究所,2018.

[16] 周美蓉,夏军强,邓珊珊,等.三峡工程运用后宜枝河段平滩流量调整特点[J].长江科学院院报,2016,33(10):1-5,11.

[17] 王俊鸿,章光华,王欣,等.山区河流造床流量计算探讨[J].人民长江,2019,50(9):20-23,29.

[18] 夏军强,吴保生,李文文.黄河下游平滩流量不同确定方法的比较[J].泥沙研究,2009,(3):20-29.

[19] 杨卓媛,夏军强,周美蓉,等.黄河口尾间段河床形态调整及过流能力变化[J].水科学进展,2019,30(3):305-315.

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0402103);国家自然科学基金项目(52071221;U2040219);长江航道科技项目。