

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkj.2020.0127

渠庚,郭小虎,何娟,等. 下荆江熊家洲至城陵矶弯曲型河段河床调整规律[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(6): 156-163, 169. QU G, GUO X H, HE J, et al. Regulation of riverbed adjustment in the curved reach from Xiongjiashou to Chenglingji of the Lower Jingjiang River[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(6): 156-163, 169. (in Chinese)

下荆江熊家洲至城陵矶弯曲型河段河床调整规律

渠庚¹, 郭小虎¹, 何娟², 陈栋¹, 唐峰¹

(1. 长江科学院 水利部江湖治理与防洪重点实验室, 武汉 430010; 2. 湖北省水利水电科学研究院, 武汉 430070)

摘要:三峡水库运用后,坝下游水沙过程发生了较大调整,对下荆江熊家洲至城陵矶弯曲型河段河床冲淤演变造成较大影响,从而对本河段河势稳定、防洪、航运等可能造成不利的影 响,基于此,根据最新实测资料分析水沙条件变化及其对本河段河床调整规律的影响。研究成果显示:三峡水库运用后,水流含沙量大幅减小,且水库调蓄导致熊家洲至城陵矶河段在枯水期径流量明显增加,使弯道主流长期偏向于凸岸,引起凸岸边滩大幅冲刷,这是近期该河段发生“撇弯切滩”的主要原因之一;随着三峡上游干支流水库群陆续建成运用,坝下游河道将会长期遭受清水冲刷,河床仍将呈单向冲刷下切的趋势,弯顶段主流平面摆动仍将较大,弯顶冲点也将相应下移,导致主流贴岸距离进一步下延,引起河道岸线的崩退,未来一段时期内典型弯曲型河道的局部河势变化仍将明显。

关键词:三峡工程;蓄水;水沙变化;弯曲型河段

中图分类号:TV157 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



Regulation of riverbed adjustment in the curved reach from Xiongjiashou to Chenglingji of the Lower Jingjiang River

QU Geng¹, GUO Xiaohu¹, HE Juan², CHEN Dong¹, TANG Feng¹

(1. Key Laboratory of River Regulation and Flood Control of MWR, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Hubei Institute of Water Resources and Hydropower Research, Wuhan 430070, China)

Abstract: After the operation of the Three Gorges Project, the water and sediment process in the downstream of the dam has undergone major adjusted, which has a greater impact on the riverbed erosion and deposition of the Xiongjiashou-Chenglingji sandstone-type river section of the Jingjiang River, which may affect the stability, flood control, and navigation of the river in this section. The changes in water and sediment conditions and their impact on the riverbed adjustment procedures were analyzed based on the latest measured data. The research results show that: the runoff of the downstream dam of the Three Gorges reservoir has increased significantly during the dry season, which makes the mainstream of the curve long-term to the convex bank, causing a large erosion of the convex bank, this may be one of the main reasons for the recent occurrence of "squatting and cutting the beach"; with the successive construction and operation of the main and tributary reservoirs in the upper reaches of the Three Gorges, the rivers downstream of the dam may be subject to long-term cleansing, the typical curved river channel may be in the long-term scouring stage, and the riverbed may have a one-way scouring downward trend, and the main plane of the curved top section may oscillate, Which may be larger, and the top punching point of the curve may also move down correspond-

收稿日期:2019-09-29 修回日期:2020-04-08 网络出版时间:2020-04-17

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20200417.1405.010.html>

基金项目:国家重点研发专项(2016YFC0402303);国家自然科学基金项目(51679011);湖北省直部门预算项目(2017-218-006-004);三峡水库科学调度关键技术第二阶段研究项目“新水沙条件下荆南四河及洞庭湖区冲淤演变趋势研究”

作者简介:渠庚(1979—),男,江苏徐州人,高级工程师,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: qugeng0516@163.com

通信作者:郭小虎(1981—),男,湖北荆门人,教授级高级工程师,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: xiaohu001328@163.com

ingly, and which may cause the distance of the mainstream sticking shore to further defer, causing the collapse of the riverbank line, and the local river potential change is still obvious in the future.

Key words: Three Gorges Project; water storage; water and sediment change; curved reach

荆江位于长江中游,上起枝城下至城陵矶,全长约 347.2 km。以藕池口为界分为上、下荆江,其中:上荆江全长约 171.5 km,为微弯分汊型河道;下荆江长约 175.7 km,为限制性弯曲型河道;荆江南岸有松滋、太平、藕池、调弦(1959 年建闸控制)四口分泄水沙进入洞庭湖区,洞庭湖又接纳湘江、资水、沅江、澧水、汨罗江等汇入的水沙,然后从湖区出口城陵矶重新汇入长江,形成比较复杂的江湖关系。熊家洲至城陵矶河段(见图 1)位于下荆江河段尾闾,属典型的弯曲型河道,由熊家洲、七弓岭、观音洲等 3 个反向河弯组成,自熊家洲至出口江湖岸线交汇点全长约 43.8 km。七弓岭弯道和观音洲弯道均为急弯段,曲折系数分别为 10.65 和 4.02,弯道的深槽均位于弯道凹岸中下段近岸河床,最深点高程

-10~-15 m。三峡工程蓄水运用后,受水库拦沙作用水库下游河道输沙量大幅减少,加之水库调节作用使下坝下游河道中水期时长增加而洪水期时长相对减小,这两方面变化已引起熊家洲至城陵矶河段河势产生新的变化。有关单位及学者^[1-20]对熊家洲至城陵矶河段冲淤演变规律、规划及治理对策等进行大量研究,并取得了较为丰富的成果,但以上的研究均是基于当时的水文条件与实测地形资料分析而得到的成果,三峡工程蓄水后尤其 2014 年上游干支流梯级水库群陆续建成运用后,本河段水沙条件发生较大变化,河床演变呈现新规律。基于此,本文根据最新的实测资料,进一步分析下荆江熊家洲至城陵矶河段水沙与河床调整规律,研究弯曲河段近期发生“撇弯切滩”的主要原因,为本河段治理提供科学依据。



图 1 熊家洲至城陵矶河段河势变化

Fig. 1 The change of river potential in Xiongjiashou-Chenglingji section

1 水沙变化

选取熊家洲至城陵矶河段上游约 40 km 处监利水文站的实测水沙数据,分析三峡工程运用前、后本河段的水沙变化。图 2 显示:在 1967—1989 年,受荆江三口分流分沙比减少的影响,进入本河段年

径流量与年输沙量均呈递增趋势;1990 年以来该站年径流量无明显变化趋势;在 1990—2002 年该站年输沙量有一定程度的减少,但 2003 年三峡工程蓄水后进入本河段含沙量进一步大幅度减少,其中 2003—2016 年比 1990—2002 年年均输沙量减少了 77.6%。

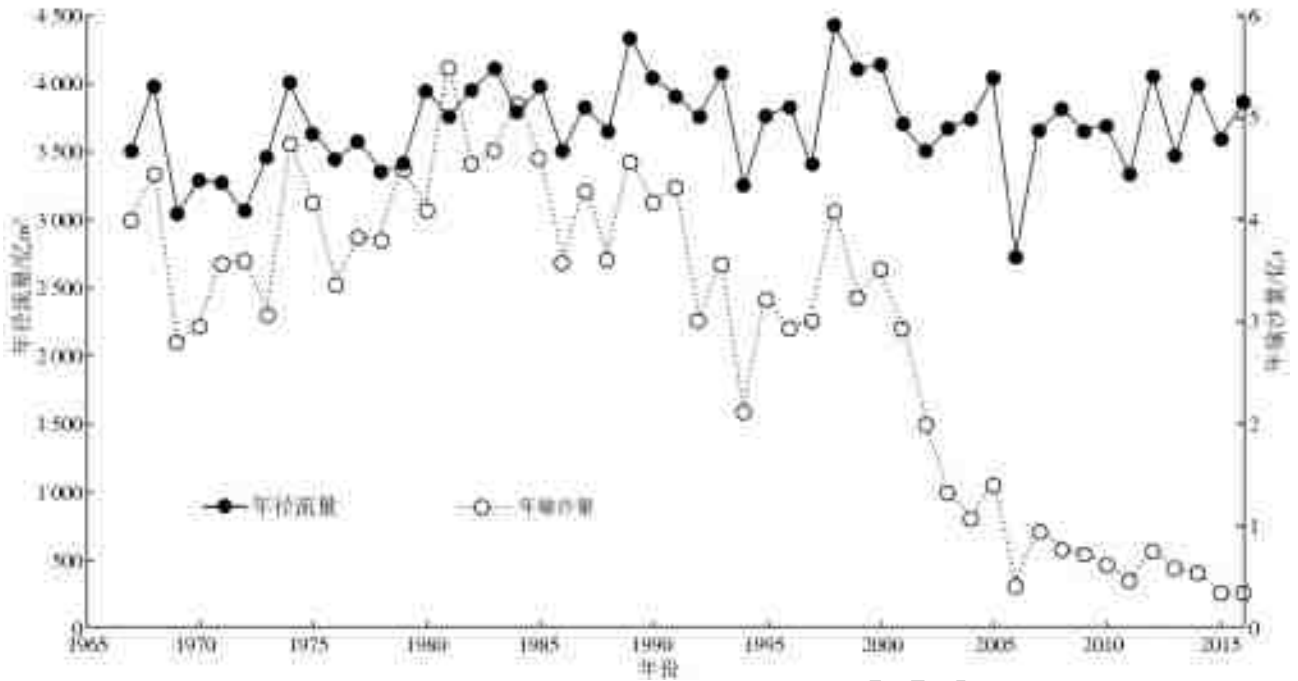


图 2 监利站年均径流量、年均输沙量历年变化过程

Fig. 2 Annual average runoff and annual average sediment transport at Jianli station

由图 3 得知,三峡工程蓄水前后监利站径流量、输沙量在年内的分配变化规律,三峡工程蓄水运用后,受水库的调节作用,尽管总下泄水量与天然来水量基本一致,但下游河道径流年内分配与天然情况有一定的差别。分析三峡工程蓄水前后枯水期(12—次年 4 月)、消落期(5—6 月)、汛期(7—8 月)和蓄水期(9—11 月)共 4 个不同阶段月均流量与输沙量在年内的分配变化,图 3(a)显示,与三峡工程蓄水运用前相比:受三峡水库补水作用,在枯水期月均径流量分配均有所增大,其中以 2 月份增幅最大,由蓄水前的 2.9% 增大至蓄水后的 4.2%;受三峡水库腾空库容的影响,消落期 5 月份月均径流量分配明显增大,6 月份月均径流量分配则不明显;汛期月均径流量有所减小,可能与蓄水以来三峡及上游干支流

梯级水库群汛期调度等因素有关;蓄水期,受三峡水库蓄水的影响,各月月均径流量分配均有所减小,其中以 10 月份减幅最大,由蓄水前的 10.5% 减小至蓄水后的 8.5%。

图 3(b)显示,与三峡工程蓄水运用以前相比:在枯水期月均输沙量分配均有所增大,其中以 4 月份增幅最大,由蓄水前的 1.6% 增大至蓄水后的 2.6%;消落期 5 月份月均输沙量分配有所增大,而 6 月份月均输沙量分配明显减小;汛期 7 月份月均输沙量分配有所减小,而 8 月份月均输沙量分配略有增大,可能与蓄水以来三峡及上游干支流梯级水库群汛期调度等因素有关;蓄水期,除 10 月份月均输沙量分配有所减小外,其他 2 个月份则以增大为主。

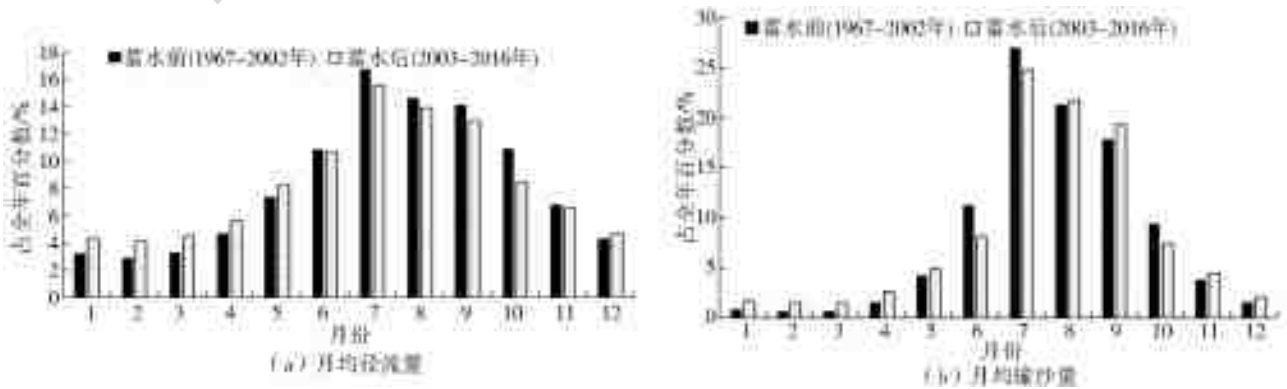


图 3 三峡工程蓄水前、后监利站月均径流量与输沙量年内分配比较

Fig. 3 Comparison of the distribution of runoff and sediment transport in the Jianli station before and after the impoundment of the Three Gorges Project

2 河床演变分析

2.1 河床冲淤分析

根据不同年份实测 1:10 000 的地形资料,统计三峡工程运用后 1975—2016 年期间熊家洲至城陵矶各个河段河床冲淤量情况见表 1。从表 1 可知:三峡工程运用前 1975—2002 年下荆江出口熊家洲至城陵矶河段冲淤交替,总体以微淤为主,且在

统计时间段内本河段淤积或冲刷幅度不大;但三峡工程运用后 2002—2016 年本河段主要表现为冲刷,累计冲刷 7 313.8 万 m^3 ,平均冲深 1.52 m,而冲刷集中发生在三峡水库蓄水前一、两年,即 2002—2004 年冲刷量达 3 918.6 m^3 ,平均冲深 0.81 m,2004—2008 年冲刷量明显减小,2008 年后冲刷量又明显增大,其中 2008—2011 年冲刷量达 1 469.1 m^3 ,平均冲深 0.30 m。

表 1 1975—2016 年期间熊家洲至城陵矶河段河床冲淤量变化统计

Tab. 1 Statistical table of changes in riverbed scouring and deposition of Xiongjiashou to Chenglingji section after water storage in the Three Gorges Project

河段		熊家洲河段(J175-J179)	七弓岭河段(J179-J181)	观音洲河段(J181-利 11)	下荆江出口(J175-利 11)
距离/km		13.9	17	12.9	43.8
1975—1996 年	冲淤量/万 m^3	354.00	-58.00	454.20	750.20
	平均冲深/m	0.23	-0.03	0.32	0.16
1997—1998 年	冲淤量/万 m^3	123.00	256.00	215.54	594.54
	平均冲深/m	0.08	0.14	0.15	0.12
1999—2002 年	冲淤量/万 m^3	-287.00	-123.00	-104.36	-514.36
	平均冲深/m	-0.19	-0.06	-0.07	-0.11
2005—2006 年	冲淤量/万 m^3	-671.70	-3 024.10	-222.80	-3 918.60
	平均冲深/m	-0.48	-1.49	-0.15	-0.81
2003—2004 年	冲淤量/万 m^3	-500.70	880.90	-681.90	-301.70
	平均冲深/m	-0.35	0.43	-0.46	-0.06
2007—2008 年	冲淤量/万 m^3	787.20	-166.00	-342.20	279.00
	平均冲深/m	0.56	-0.08	-0.23	0.06
2009—2011 年	冲淤量/万 m^3	-913.30	-920.30	364.50	-1 469.10
	平均冲深/m	-0.67	-0.43	0.26	-0.30
2012—2013 年	冲淤量/万 m^3	-234.30	-208.90	-825.10	-1 268.30
	平均冲深/m	-0.17	-0.09	-0.55	-0.26
2014—2016 年	冲淤量/万 m^3	-553.20	120.90	-202.80	-635.10
	平均冲深/m	-0.36	0.06	-0.14	-0.13
2003—2016 年	冲淤量/万 m^3	-2 086.00	-3 317.50	-1 910.30	-7 313.80
	平均冲深/m	-1.35	-1.75	-1.33	-1.52

注:1. 计算条件为下荆江 11 400 m^3/s ,洞庭湖 8 900 m^3/s 相应河段水位。

2. 表中“-”表示冲刷,“+”(省略)表示淤积。

统计 2002—2016 年熊家洲—城陵矶弯道典型断面高程变化情况,高程数值均以 1985 年国家高程基准为参考,典型断面的位置见图 1。由图 4 分析可知,在熊家洲汉道段附近,自三峡工程蓄水运用以来,弯道凸岸也同样冲刷并有所发展,25 m 凸岸边滩后退约 150 m,与此相应,弯道深槽逐渐有所淤积抬高(2002 年弯道深槽最深点 -9.90 m,2016 年弯道深槽最深点 6.93 m),由于凸岸边滩的发展,断面过水面积有一定增大,在左主汉发展的同时,右支汉近年来也有所发展扩大。在八姓洲狭颈区域附近,

2002—2016 年八姓洲狭颈西侧岸线和近岸河床均发生了不同程度的冲刷,冲刷的部位主要在坡脚附近,由于八姓洲狭颈西侧岸线主流贴岸冲刷,其崩退速度非常快,2002—2016 年八姓洲西侧近岸河床冲刷明显,近岸河床坡脚下切约 15.4 m,25 m 岸线冲刷后退约 89 m,20 m 岸线冲刷后退约 96 m,由于主流不再向右岸过渡,其右岸坡脚淤高明显,过水断面面积增大 1 728 m^2 ,相应的河床平均冲深降低约 0.9 m,断面宽深比多年来变化较小,其值在 2.77~2.90 变化。在七弓岭弯道段,2002—2016 年间断面

形态由偏“V”型转变为“W”型双槽格局,弯道中上段凸岸近岸河床冲刷剧烈,坡脚处最大冲深约 10 m,形成紧贴凸岸的深槽,25 m 高程岸线冲退约 120 m,20 m 高程岸线冲退约 180 m,岸坡明显变陡;

在观音洲弯道段,2002—2016 年右侧凸岸边滩近岸河床冲刷剧烈,弯道深槽右 1998 年的贴近左岸,而后逐渐右移,至 2016 年已靠近右岸凸岸,20 m 岸线向右移动了近 400 m,滩槽形态发生大幅度的改变。

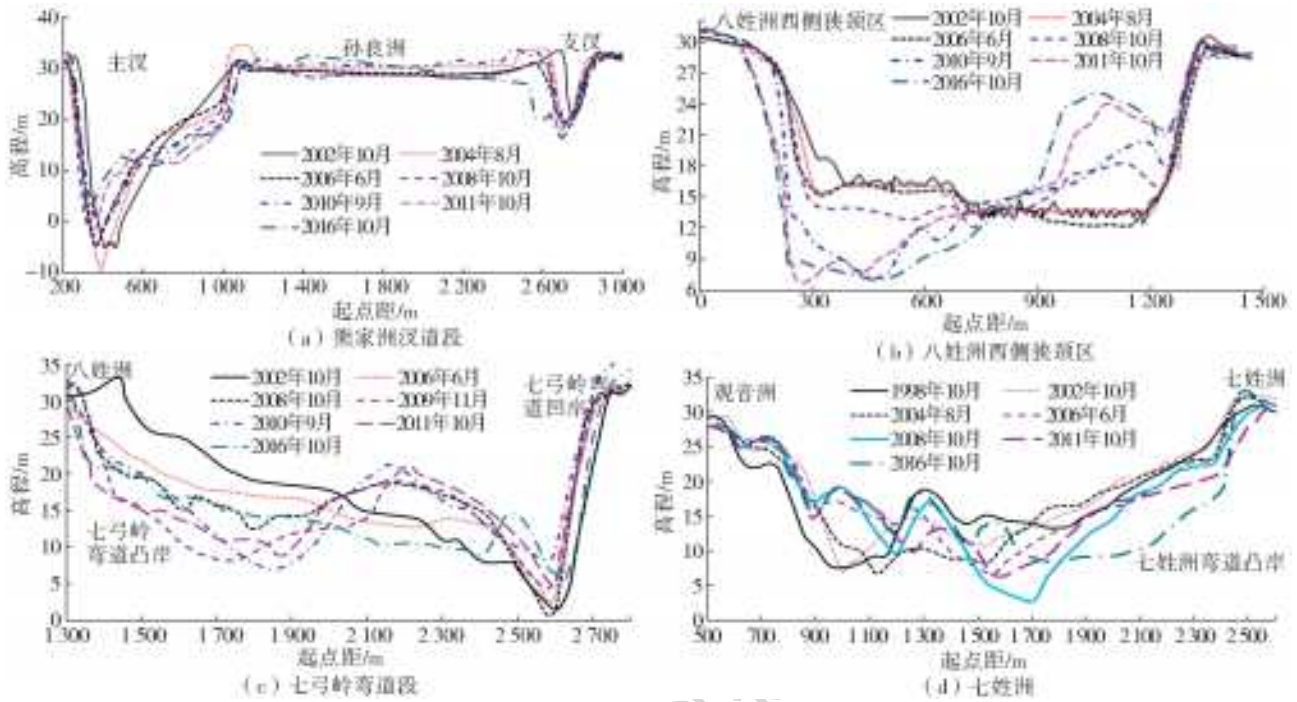


图 4 熊家洲至城陵矶河段典型横断面变化

Fig. 4 Typical cross-sectional variation from Xiongjiashou to Chenglingji section

2.2 岸线与洲滩变化

高程数值均以 1985 国家高程基准为参考,以 25、20 m 高程等高线分别代表本河段岸线、洲滩的变化,见图 5 所示。图 5(a)显示:2002 年以来八姓洲西侧 25 m 岸线以冲刷为主,累积最大冲刷后退约 150 m,东侧 25 m 岸线以淤积为主,累积最大淤长外延约 320 m;七姓洲西侧 25 m 岸线累积最大冲刷约为 220 m;2002 年以来观音洲弯顶附近累积最大冲刷后退约 160 m。对八姓洲狭颈最窄部位统计表明,25 m 岸线 2002—2008 年累积缩窄约 100 m,2008—2016 年狭颈缩窄有所趋缓,但仍有缩窄发展的趋势。

从图 5(b)可以看出:孙良洲左缘边滩上部及洲头弯顶处均冲刷后退,2002—2016 年其 20 m 等高线最大崩退约 500 m,在其左缘边滩下部有所回淤,2002—2016 年其 20 m 等高线最大淤涨约 350 m;八姓洲洲体西侧岸线及洲头均出现明显崩塌,2002—2016 年其 20 m 等高线最大崩退约 600 m,洲体东侧近岸河床出现了明显的回淤,2002—2016 年其 20 m 等高线最大淤涨约 250 m。2008 年后,由于七弓岭弯道出现了撇弯切滩现象,八姓洲洲头被主流切割冲刷形成心滩,2008 年以来心滩面积不

断扩大并且逐渐向右岸移动,2008—2016 年 20 m 心滩面积增大了 0.24 km²。2011—2013 年心滩头部淤积尾部崩退不断向上游发展,并且在原有心滩上游又形成一个新的心滩。

七姓洲变化趋势与八姓洲基本一致,其西侧岸线及洲头均出现明显崩塌,2002—2016 年其 20 m 等高线最大崩退约 210 m,洲体东侧近岸河床 20 m 等高线最大淤涨约 160 m。由于观音洲弯道出现了撇弯切滩现象,主流贴七姓洲西侧岸线下行进入观音洲弯道,观音洲弯道上段原凹岸深槽逐渐淤积萎缩,2010 年淤高形成 20 m 心滩,至 2016 年心滩面积增大为 0.16 km²。2013 年心滩右侧形成倒套并不断向上游发展,心滩进一步淤积上延,与上游 20 m 岸线连成一体。

2.3 深泓线变化

熊家洲至城陵矶河段主流线平面位置变化受下荆江河势控制工程的影响较明显,见图 6。2002 年汛期后,主流由原贴八姓洲西侧近岸河床下行改变为自熊家洲下弯段的梁家门向对岸七弓岭弯道进口段过渡,并沿七弓岭弯道凹岸近岸河床下行,从而引起了七弓岭弯道顶冲点大幅度上提。熊家洲弯道至七弓岭弯道主流线平面位置基本格局一直维持到

2008年11月。2008年12月长江上游地区出现了历史罕见的冬汛,当时江湖汇流区水位较低,熊家洲至城陵矶段的出流受洞庭湖的顶托作用影响较小,在平滩水位、相对较大水力比降、水流含沙量较少等多重因素的作用下,七弓岭弯道的八姓洲洲头出现了撇弯切滩现象,七弓岭弯道顶冲点由桩号8+500大幅度下移到桩号10+500,由此引起了熊家洲、七弓岭两反向弯道间的过渡段主流线平面位置由右岸近岸河床摆动到左岸(八姓洲西侧)近岸河床。七弓岭弯道入口凸岸出现冲刷、弯道上部形成左、右双槽平面形态;2010年主流出熊家洲弯道后不再向右

岸过渡,而直接贴八姓洲左岸狭颈西侧下行至七弓岭弯道,深泓线相对于2008年最大向左摆幅达到1330m,七弓岭弯道主流顶冲点下移至弯顶中下段,下移约4600m。七弓岭弯道上段右槽萎缩,左槽不断冲刷发育,弯道上段深泓与左槽贯通,发生了“撇弯切滩”现象;2011年七弓岭弯道发生“撇弯切滩”的现象更加明显,弯顶附近深泓线相对于2010年最大向左摆幅达到280m,七弓岭弯道主流顶冲点下移约360m。2013年以来,七弓岭弯道发生“撇弯切滩”的趋势逐渐减弱,主流顶冲点逐年上提,弯顶附近深泓线逐渐向弯道凹岸摆动。

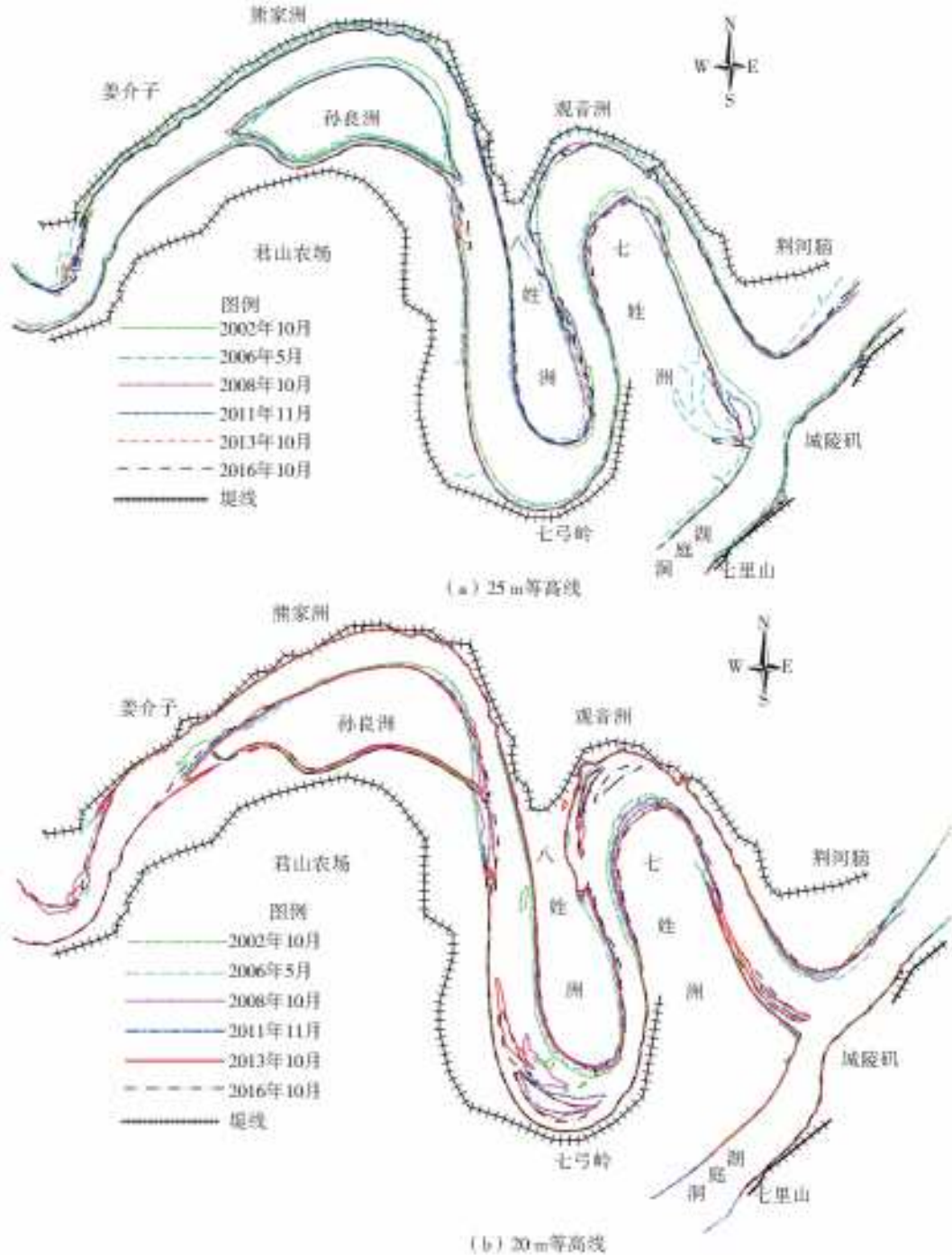


图5 熊家洲至城陵矶河段典型等高线高程变化

Fig. 5 Typical elevation contour change from Xiongjiashou to Chenglingjihe section

受七弓岭弯道凹岸下段岸线崩塌和七弓岭弯道主流线平面变化的影响,七弓岭、观音洲两反向弯道间的过渡段和观音洲弯道段的主流线平面位置持续向下游摆动,观音洲弯道顶冲点逐渐下移。2006 年前主流出七弓岭弯道后,于桩号 14+000 附近向左岸过渡,进入观音洲弯道后主流贴弯道凹岸下行;2006 年七弓岭弯道出口段深泓逐渐下挫;2006 年以后由于七弓岭弯道顶冲点下移,凹岸出口段主流贴岸距离下延,致使观音洲过渡段下移,七姓洲护岸段以下岸线持续崩退,其中 2008 年七弓岭凹岸出口主流贴岸段下延至桩号 16+000 附近;至 2011 年主流出七弓岭弯道后直接贴七姓洲西侧下行至观音洲弯道,深泓线相对于 2008 年向右摆幅最大达到 250 m,随着七姓洲狭颈西侧岸线

持续崩退,观音洲弯道也开始发生“撇弯切滩”现象;2013 年观音洲弯道发生“撇弯切滩”的现象更加明显。受 2015 年熊家洲(八姓洲、观音洲)崩岸应急整险工程实施的影响,主要在八姓洲西侧、观音洲西侧实施了局部护岸工程,有效抑制了岸滩崩塌,稳定了该处河势;2016 年观音洲弯道发生“撇弯切滩”的趋势有所减弱,弯顶附近深泓线逐渐向弯道凹岸摆动,主流顶冲点有所上提,近期工程措施效果较为明显。但随着时间推移,工程措施的作用将会逐渐减弱,并不能完全改变本河段河势演变的趋势,尤其随着“清水”长期作用,枯水河槽不断冲刷下切,横向比降逐渐增大,预计本河段局部河段河势调整将更加剧烈,八姓洲岸线将持续崩退且崩退的速度会更加剧烈。

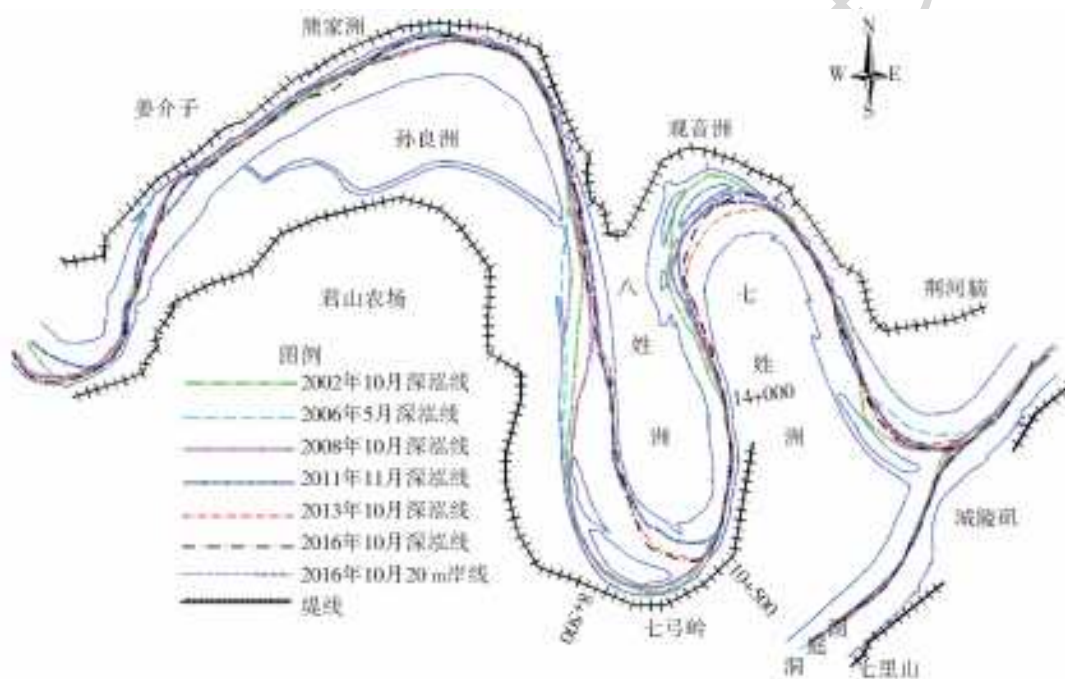


图 6 熊家洲至城陵矶河段深泓线平面变化

Fig. 6 Plane variation diagram of the deep shoal line from Xiongjiazhou to Chenglingji section

3 河道演变趋势

下荆江熊家洲至城陵矶段的洲滩自上而下有熊家洲、八姓洲、七姓洲等。这些洲滩的变化与各自所在河弯岸线的变化和本河段水沙条件的变化密切相关,洲头或洲身淤长的方向与河弯岸线崩塌后退的方向始终保持一致,弯道凹岸护岸工程的修建,在一定程度上抑制了洲头或洲身淤长变化幅度。在自然水文年内,弯道段的主流线平面位置的变化具有“高水趋中走直、低水落湾贴岸”的特点,凸岸洲头边滩汛期涨水冲刷,汛后落水期淤积。三峡工程蓄水运用后,进入熊家洲至城陵矶段的沙量大幅度减少,再加上枯水期径流量明显增加,使得主流明显偏向于

凸岸,凸岸洲头边滩汛后落水期泥沙淤积量不足以抵消洲头边滩泥沙冲刷量,该河段出现了较明显的冲刷调整现象,主要表现为:孙良洲左缘边滩上部冲刷、下部回淤,洲体平面形态变化不大;八姓洲和七姓洲的洲体西侧岸线出现了明显的崩塌,洲体东侧近岸河床出现了明显的回淤,八姓洲和七姓洲的洲头均发生了“撇弯切滩”现象;同时由于三峡水库在汛期的调蓄作用,下泄洪水流量一般不超过 $40\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,因而进入本河段大洪水的概率也大大减小,这种变化有利于河道河势稳定,在一定程度上也抑制了弯曲河道自然裁弯的可能性。

下荆江为弯曲型河段,九曲回肠,100 多年来,下荆江有文图记载的自然裁弯有胡长堤(1887 年)、

尺八口(1909年)、河口(1910年)、碾子湾(1949年)和沙滩子(1972年)共5处,说明下荆江弯曲型河段有发生自然裁弯的有利条件,根据已有研究成果^[7],下荆江发生自然裁弯主要体现在这3个方面:(1)裁弯比(老河长度与新河长度比值)较大,狭颈区上下游水位落差较大,且新河长度较短,水面比降较大,例如碾子湾和沙滩子自然裁弯的裁弯比分别为6.7与15.2。(2)汛期水流漫滩历时较长,有利于狭颈区冲刷。(3)狭颈区土壤抗冲性较差,滩面植被较少,有利于新河冲刷。

随着三峡上游干支流水库群陆续蓄水运用,坝下游河道将会遭受至少300年以上的清水冲刷^[21],熊家洲至城陵矶河段弯道段河势调整将更加剧烈,将导致七弓岭弯道弯曲半径继续减小,水流条件恶化,主流顶冲七弓岭凹岸,严重威胁岸坡稳定,不利于河势稳定、防洪安全及航运等;并且八姓洲岸线将持续崩退且崩退的速度会更加剧烈,八姓洲狭颈区最窄处由2002—2016年累计缩窄约100m,目前该处25m高程最窄处宽度为630m(2016年10月),河道长度为13km,为狭颈区最窄处宽度的20.6倍,远大于碾子湾、沙滩子发生自然裁弯的数值;而且狭颈区土质为二元结构,上层为黏性土,下层为细砂,且黏性土层较薄。若本河段遇特殊不利水文年,即长江干流下荆江河段遭遇大洪峰流量,而同时洞庭湖来流量较小时,洞庭湖对长江干流的顶托作用较弱,下荆江出口段将形成较大的水面比降,与此同时,下荆江出口段水位较高,使八姓洲及七姓洲漫滩并保持滩面一定水深,在较大水面比降和一定滩面水深的综合作用下漫滩流速明显增大,滩面冲刷致使有可能发生自然裁弯,由此可以看出八姓洲狭颈区具有发生自然裁弯的有利条件。自然裁弯一旦发生,将进而引起上下游河势和江湖关系的巨大变化,给长江中下游的防洪、水资源利用、航运及水生态环境等带来重大影响,也给区域经济社会的发展和人民生命财产带来重大损失。

4 结 论

三峡水库蓄水运用后,进入熊家洲至城陵矶河道的水沙过程发生较大改变,导致本河段河床冲淤发生较大调整,根据实测资料分析,得到以下结论。

(1)与蓄水前相比,三峡工程运用后年径流量无明显变化趋势,但进入本河段含沙量大幅度减少。

枯水期与消落期月均径流量以增大为主,汛期与蓄水期月均径流量均有所减小。枯水期与消落期除6月月均输沙量分配明显减小之外,其他月份输

沙量分配均明显增大;汛期与蓄水期除7、10月月均输沙量分配有所减小外,其他月份输沙量分配均以增大为主。

(2)三峡工程运用后水流含沙量大幅减少,同时水库调蓄枯水期径流量明显增加,不利于弯曲河道“小水坐弯”,使得弯道主流长期偏向于凸岸,引起凸岸边滩的大幅冲刷,这也是熊家洲至城陵矶弯曲型河道发生“撇弯切滩”主要原因;在汛期由于水库调蓄作用,进入本河段大洪水的概率大大减小,在一定程度上抑制了弯曲河道自然裁弯的可能性。

(3)随着三峡上游干支流水库群的陆续建成运用,坝下游河道将会遭受长期清水冲刷,典型弯曲性河道河床也将呈单向冲刷下切趋势弯顶段,主流平面摆动仍将较大,弯道顶冲点也将相应下移,导致主流贴岸距离进一步下延,引起河道岸线的崩退,局部河势变化仍较为明显。

参考文献:

- [1] 卢金友,渠庚,李发政,等.下荆江熊家洲至城陵矶河段演变分析与治理思路探讨[J].长江科学院院报,2011,28(11):113-118. DOI:CNKI:42-1171/TV. 20111107. 1018. 023.
- [2] 唐峰,黎礼刚,渠庚,等.长江中游熊家洲至城陵矶河段河势控制应急工程规划[A].2012全国河道治理与生态修复技术交流研讨会[C].2012:29-33.
- [3] 付伟才,许杰.长江干流七弓岭河段河势变化产生的隐患及对策[J].湖南水利水电,2002(5):22-22. DOI:CNKI:SUN:HNSL. 0. 2002-05-009.
- [4] 李宁波,曾勇,吴忠明.长江荆江河段七弓岭弯道主流撇弯原因初探[J].人民长江,2013,44(1):22-25. DOI:10.3969/j.issn.1001-4179.2013.01.008.
- [5] 杨怀仁,唐日长.长江中游荆江变迁研究[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [6] 潘庆燊,史绍权,段文忠.长江中游河段人工裁弯河道演变的研究[J].中国科学A辑,1978,21(2):212-225. DOI:CNKI:SUN:JAXK. 0. 1978-02-008.
- [7] 余文畴,卢金友.长江河道演变与治理[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [8] 潘庆燊,卢金友,胡向阳.长江中游宜昌至城陵矶河段河道演变分析[J].长江科学院院报,1997,14(3):19-22.
- [9] 吴文胜,何广水.下荆江河道演变特性研究[J].湖南水利水电,2005(6):33-36. DOI:10.3969/j.issn.1009-4229.2005.06.014.
- [10] 史璇,肖伟华,王勇,等.近50年洞庭湖水位总体变化特征及成因分析[J].南水北调与水利科技,2012,10(5):18-22. DOI:10.3969/j.issn.1672-1683.2012.05.004.

(下转第169页)

- 分析[D].扬州:扬州大学,2019.
- [11] 戴景,戴启璠,郭赞赞.特低扬程双向立式轴流泵装置水动力特性数值计算[J].水电能源科学,2017,5(8):148-151,168.
- [12] 张毅,胡俊锋,石丽建.轮毂比改变的轴流泵装置数值模拟研究[J].中国农村水利水电,2017(7):144-148.
- [13] 付晓龙.水泵水轮机甩负荷过渡过程研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
- [14] 杨建东,胡金弘,曾威,等.原型混流式水泵水轮机过渡过程中的压力脉动[J].水利学报,2016,47(7):858-864. DOI:10.13243/j.cnki.slxb.20151084.
- [15] 周大庆,姜胜文,陈会向.液控蝶阀联动的混流泵机组启动过程数值模拟[J].排灌机械工程学报,2019,37(2):112-117. DOI:10.3969/j.issn.1674-8530.18.0061.
- [16] 李文锋,冯建军,罗兴铸,等.基于动网格技术的混流式水轮机转轮内部瞬态流动数值模拟[J].水力发电学报,2015(7):64-73. DOI:10.11660/slfdbx.20150708.
- [17] 杨从新,王斌.离心泵在启动阶段的瞬态三维数值模拟[J].排灌机械工程学报,2010(2):122-126.
- [18] 周大庆,刘跃飞.基于VOF模型的轴流泵机组起错过程数值模拟[J].排灌机械工程学报,2016,34(4):307-312. DOI:10.3969/j.issn.1674-8530.15.0130.
- [19] 刘跃飞,周大庆,郑源,等.快速闸门断流的轴流泵启动过程三维数值模拟[J].南水北调与水利科技,2017,15(1):167-172. DOI:10.13476/j.cnki.nsbdkq.2017.01.028.
- [20] 周大庆,张蓝国.抽水蓄能电站泵工况断电过渡过程数值试验[J].华中科技大学学报(自然科学版),2014,42(2):16-20. DOI:10.13245/j.hust.140204.
- [21] 张立勋,梁迎彬,尉越啸,等.垂直轴风力机主动式变桨距控制规律[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(6):2561-2568.
- [22] 张立军,马东辰,赵昕辉,等.小型H型垂直轴风力机变桨机构的优化设计与试验[J].西安交通大学学报,2018,52(3):132-138. DOI:10.7652/xjtub201803018.
- [23] 钱思悦,赵振宙,田晨,等.H型风力机新型变桨方案数值模拟[J].排灌机械工程学报,2018,36(3):230-236. DOI:10.3969/j.issn.1674-8530.17.3003.
- [24] 张来平,邓小刚,张涵信.动网格生成技术及非定常计算方法进展综述[J].力学进展2010(4):424-447.
- [25] 王福军.计算流体动力学分析[M].北京:清华大学出版社,2004.

(上接第163页)

- [11] 卢金友,罗敏逊.长江中游宜昌至城陵矶河段水位变化分析[J].人民长江,1997,28(5):25-28. DOI:CNKI:SUN;RIVE.0.1997-05-009.
- [12] 韩剑桥,孙昭华,李义天,等.三峡水库蓄水后宜昌至城陵矶河段枯水位变化及成因[J].武汉大学学报(工学版),2011,44(6):685-690. DOI:CNKI:SUN;WS-DD.0.2011-06-003.
- [13] 赵占超,姚仕明,唐峰,等.冲刷条件下熊城河段河床演变规律及趋势[J].水运工程,2019,559(8):134-140.
- [14] 许全喜,袁晶,伍文俊,等.三峡工程蓄水运用后长江中游河道演变初步研究[J].泥沙研究,2011(2):38-46. DOI:CNKI:SUN;NSYJ.0.2011-02-007.
- [15] 彭玉明,夏军强,彭佳,等.荆江近岸河床演变对水沙条件的响应探讨[J].水文,2018,38(5):11-16. DOI:CNKI:SUN;SWZZ.0.2018-05-003.
- [16] 潘庆葵.长江中下游河道近50年变迁研究[J].长江科学院院报,2001,18(5):18-22. DOI:10.3969/j.issn.1001-5485.2001.05.005.
- [17] 石国钰,许全喜,陈泽方.长江中下游河道冲淤与河床自动调整作用分析[J].山地学报,2002,20(3):257-265. DOI:CNKI:SUN;SDYA.0.2002-03-000.
- [18] 姚仕明,卢金友.长江中下游河道演变规律及冲淤预测[J].人民长江,2013,(44)23:22-28. DOI:10.3969/j.issn.1001-4179.2013.23.005.
- [19] 何广水,姚仕明,金中武.长江荆江河段弯道凸岸边滩非典型冲刷研究[J].人民长江,2011(17):1-3. DOI:10.3969/j.issn.1001-4179.2011.17.001.
- [20] 姚仕明,何广水,卢金友.三峡工程蓄水运用以来荆江河段河岸稳定性初步研究[J].泥沙研究,2009(6):24-29. DOI:10.3321/j.issn:0468-155X.2009.06.004.
- [21] HAN Q W, LIU K B. Influence on flood occurrence of Dongting Lake to changes of relation between Yangtze River and Dongting Lake[C]. Paper Collection of the second Yangtze Forum, Changsha, 2007.