

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.05.005

尚倩倩, 许慧, 李国斌, 等. 三峡水库蓄水前后嘉鱼水道河床演变[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 32-38. (SHANG Qian-qian, XU Hui, LI Guo-bin, et al. Evolution analysis of Jiayu waterway before and after impoundment of Three Gorges reservoir[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(5): 32-38.)

## 三峡水库蓄水前后嘉鱼水道河床演变

尚倩倩, 许慧, 李国斌, 高亚军

(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)

**摘要:** 长江中游河道宽阔,分汊河段较多,洲滩冲淤消长变化较大,河道深泓主流摆动也较频繁,三峡水库蓄水运行后,分汊河道演变及航道条件随之发生改变。以长江中游主要碍航浅水道之一的嘉鱼水道为例,在已有研究成果的基础上,结合近期实测资料,分析微弯分汊型河段自身演变,认识三峡水库蓄水前后水道演变过程和特点,分析水道演变的影响因素,探讨三峡工程对本水道演变的影响,在此基础上预测水道演变趋势和航道条件变化。分析结果表明:三峡水库蓄水改变了嘉鱼水道过渡段单双槽交替的变化规律,弱化了汪家洲边滩与复兴洲低滩彼此消长的关系,河道洲滩以冲刷为主,预计在三峡工程的长期影响下低滩仍会有所冲刷,左汊进口更趋宽浅,主流摆动空间增大,航道条件的不稳定性较大。

**关键词:** 三峡工程; 河床冲淤; 演变趋势预测; 航道整治

**中图分类号:** TV147

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2016)05-0032-07

长江中游河道宽阔,分汊河段较多,这类河段深泓主流摆动较为频繁,洲滩冲淤消长变化较大。分汊河段是主要的浅滩河型,也是近年来航道整治的重点。即使嘉鱼水道这种主汊地位稳定占优的河段,分流比和洲滩格局也会影响主汊的航道条件,在分汊段的进口有时出现碍航浅滩。

嘉鱼水道是长江中游典型的碍航水道之一,河床演变过程复杂,且有着复杂的外部条件。该水道为 I 级航道,枯水期最小航道维护尺度为  $3.7\text{ m}\times 80\text{ m}\times 750\text{ m}$ (水深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径),水深保证率为 98%,规划至 2020 年航道尺度为  $3.7\text{ m}\times 150\text{ m}\times 1\,000\text{ m}^{[1]}$ 。三峡水库蓄水后,嘉鱼水道及其上游河道演变出现新的调整趋势,不利于航道稳定,故 2006 年针对本水道实施了航道整治工程<sup>[2]</sup>。工程实施后,水道内关键洲滩得以守护控制,但由于三峡水库蓄水后来沙量大减,来水过程与蓄水前也有所区别,加之已建工程守护力度和范围有限,水道内分流区宽浅、深泓摆动、低滩冲退等现象仍然存在。鉴于三峡工程运行对中游河段影响的长期性,有必要对三峡水库蓄水前后水道河床演变特点开展进一步分析研究,分析三峡工程对水道河床演变的影响。

嘉鱼水道为一微弯放宽分汊河型,分汊段在洪季水面较宽,水流分散,流速沿程降低,洪水期泥沙落淤,落水期流路改变,若对淤沙冲刷不力,则会形成浅滩。早期研究主要针对三峡水库蓄水前嘉鱼水道的演变规律和碍航特点<sup>[3-4]</sup>,并提出了该水道实施航道整治及岸滩守护的必要性。三峡水库蓄水后,由于水沙条件的变化,长江中游河道演变发生调整。王业祥等<sup>[2]</sup>从水力输沙的角度出发,提出判定进口石码头节点挑流作用的临界流量,并依据三峡水库蓄水前后水沙条件变化及河道自身边界条件等,预测了嘉鱼水道的演变趋势。李明<sup>[5]</sup>从长江中下游浅滩演变对水沙条件变化的响应机理入手,系统分析了三峡水库蓄水对长江中下游浅滩演变的影响,认为三峡水库蓄水后分汊河段普遍出现了江心洲滩萎缩、支汊发展的现象。该水道已建

收稿日期: 2015-10-19

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2012CB417002); 国家科技支撑计划资助项目(2012BAB04B03)

作者简介: 尚倩倩(1984—),女,河南杞县人,高级工程师,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。

E-mail: qqshang@nhri.cn

航道整治工程主要为守护型工程。李冬等<sup>[6-8]</sup>根据实测资料,对整治工程的效果进行了分析,认为在三峡水库蓄水运行的大背景下,已建航道整治工程对河道关键部位进行守护,起到了固滩稳槽的作用,航道维护紧张的局面得到缓解。

本文从嘉鱼水道历史演变角度出发,重点分析近期三峡水库蓄水前后河床演变的特点,根据实测资料分析河床冲淤、洲滩、深泓及横断面等方面的变化,结合已有研究成果,从边界条件、水文泥沙、上游河势等方面分析影响该水道河床演变的因素,并预测河床演变的趋势,为航道整治提供一定的参考。

## 1 河道概况

### 1.1 基本情况

嘉鱼水道位于湖北省境内,上承龙口水道、下接王家渡水道,长约 16 km。水道平面呈弯曲放宽状,其进口有嘉鱼岩(石矶头)节点控制,左汉左岸建有 3 个防冲矶头,其中三矶头伸出江面最多,矶头以下有护岸工程。河道中部有护县洲和复兴洲将水流分为三汉。左汉为主汉,中汉习称为嘉鱼中夹,右汉习称为嘉鱼夹(图 1)。左汉相对弯曲,水深条件较好,是历年通航主汉道。

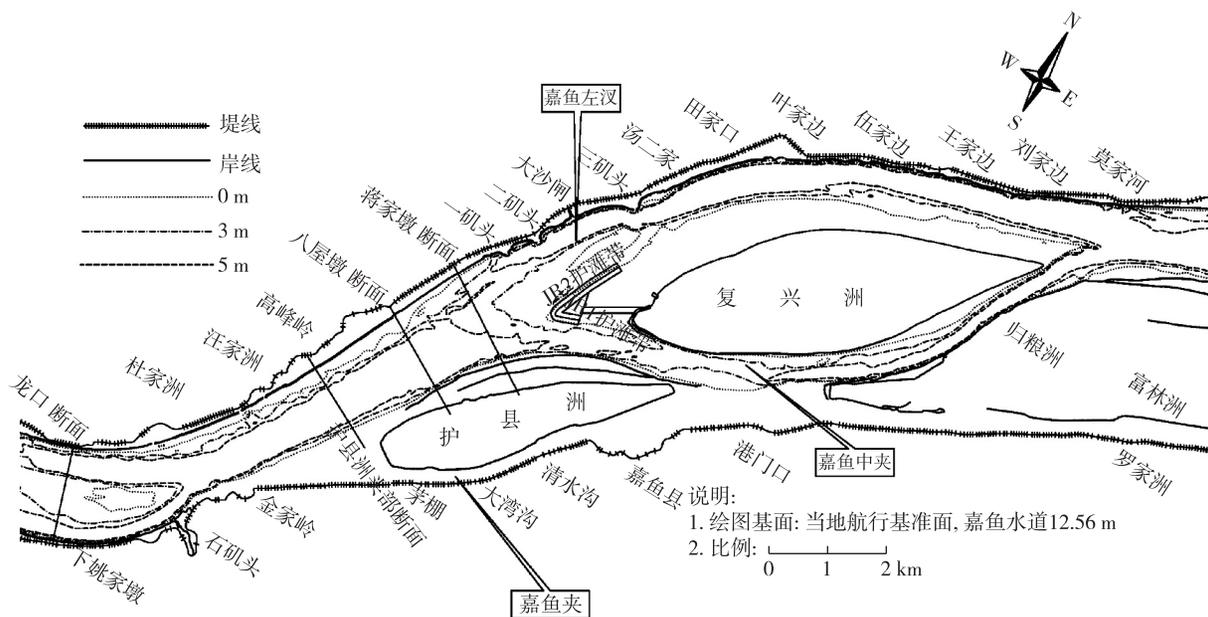


图 1 嘉鱼水道 2014 年 2 月河势

Fig. 1 River regime of Jiayu waterway in Feb. 2014

### 1.2 水沙条件变化

河道上游设有螺山水文站,其间无大的分汇流,因此可采用螺山站的水沙资料反映本河段的来水来沙情况。三峡水库蓄水前(1950—2002年)多年平均径流量为6 395亿  $m^3$ ,多年平均输沙量为4.15亿 t;三峡水库蓄水后(2003—2012年)多年平均径流量为5 880亿  $m^3$ ,多年平均输沙量为0.96亿 t,径流量略有减少,而来沙量则锐减了77%。三峡工程采用汛后蓄水、汛前消落的调度方式,汛末退水加快,蓄水期长江中下游流量减小,枯水期和消落期流量增大,从径流年内分布来看(表1),蓄水前后水量均集中在汛期5—10月份,但年内分布有所变化,其中水库消落期径流增大,蓄水期径流减少约3%<sup>[9-10]</sup>。从输沙量年内分布来看,虽然蓄水后输沙总量大幅减少,但年内分配仍大体与径流过程相对应,且来沙量较来水量更为集中,蓄水前主汛期7—9月输沙量占全年的59.1%,蓄水后主汛期输沙量占全年的58.4%,略有减小。

表1 螺山站多年平均径流量年内分配

Tab. 1 Statistical runoff distribution at Luoshan station

统计时段	项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
蓄水前 (1950—2002年)	水量(亿 m <sup>3</sup> )	187	180	261	396	604	735	1 065	897	802	636	389	243
	占年均量(%)	2.9	2.8	4.1	6.2	9.4	11.5	16.7	14.0	12.5	10.0	6.1	3.8
蓄水后 (2003—2012年)	水量(亿 m <sup>3</sup> )	225	216	308	359	563	721	927	830	707	447	344	233
	占年均量(%)	3.8	3.7	5.2	6.1	9.6	12.3	15.8	14.1	12.0	7.6	5.8	4.0

## 2 河床演变特点

### 2.1 三峡水库蓄水前

嘉鱼水道自形成微弯分汊河势格局以来,左汊一直处于主汊地位,分流比均在69%以上。左汊分流比随着流量的增加而减小,中央分流比随着流量的增加而增大,嘉鱼夹只在中洪水期过流,枯季断流。

三峡水库蓄水前,嘉鱼水道的演变特征表现为汪家洲边滩与复兴洲头低滩此消彼长,过渡段深泓摆动,过渡段河槽呈单双槽周期性交替。20世纪70年代至三峡水库蓄水前,嘉鱼水道过渡段经历了单槽-双槽-单槽的调整周期(见图2)。70年代至80年代中期,复兴洲头后退,汪家洲边滩淤长,深泓偏左;80年代末至90年代末,汪家洲边滩尾部被下深槽切割成心滩,过渡段航槽变为左、右槽并存,心滩逐渐淤高长大,复兴洲低滩部分几乎消失,水流分散,深泓偏右;1998年后,心滩右移并入复兴洲,复兴洲边滩高大完整,汪家洲边滩则相对萎缩,过渡段为单一河槽,深泓居左<sup>[11]</sup>。

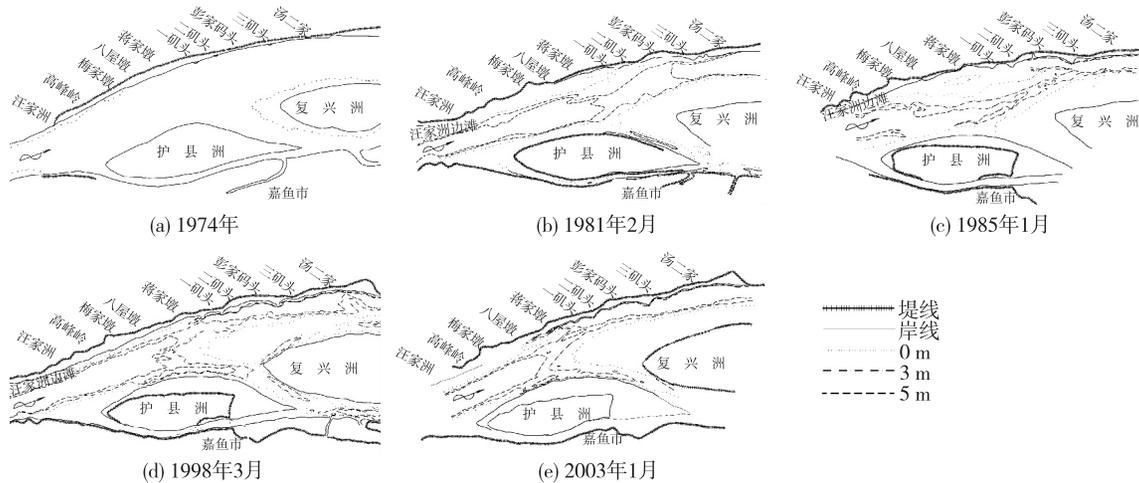


图2 三峡水库蓄水前河道演变

Fig. 2 Evolution of Jiayu waterway before Three Gorges reservoir impoundment

嘉鱼水道受上游龙口水道弯道及进口右岸石矶头节点挑流作用,水动力轴线偏向左汊,使得左汊稳定为主汊,河道内滩槽变化,主要是由于不同流量下节点挑流作用不同而表现为不同的冲淤特点。对于石矶头的挑流作用,有学者<sup>[3]</sup>认为大流量时石矶头的挑流作用明显,会促使主流左摆,但大部分研究<sup>[2, 5, 11]</sup>认为大流量时,石矶头挑流作用小,主流会偏离左岸。从流场分布来看,小流量时,主流经石矶头向左岸过渡,左汊内主流贴靠左岸,而大流量时主流取直右摆。从汪家洲规模与水沙条件的对应关系来看,其中1981年、1985年、1999年最大滩宽分别为480, 700和320 m,均与大水持续时间较长输沙量较大有关,而1974年汪家洲最大滩宽较小仅160 m,80年代末的切滩现象均与水量较小有关。

综上,三峡水库蓄水前,年际间水沙条件变化较大,嘉鱼水道复兴洲与汪家洲边滩彼此互为消长,导致过

渡段主流不稳,左汊过渡段呈单双槽交替的周期性演变,而嘉鱼水道中下段及出口段相对较为稳定。

## 2.2 三峡水库蓄水后

三峡水库蓄水以来,长江中游来沙锐减,来水量方面长江流域则以中小水年为主,与蓄水前相比,仅2005年、2010年、2012年水量较大,其余年份径流量均较蓄水前有所减小,尤其2006年来水最少,比蓄水前多年平均径流量减小了27%。水沙条件的变化,对嘉鱼水道的河床演变特征产生一定影响。

三峡水库蓄水后,复兴洲洲头低滩总体表现为冲刷萎缩(图3),其中三峡水库蓄水至航道整治工程实施前洲头冲退约400 m,一期工程实施后洲头位置得以稳定,2006—2011年洲头前沿位置变化不大,2011—2014年洲头及左缘又有所冲刷,洲头冲刷深度约2 m,洲头左缘冲刷深度为1~4 m,冲退距离约200 m。加之三峡水库蓄水后护县洲左缘滩体崩退,冲刷深度约1~2 m,过渡段趋于宽浅,深泓右摆,深泓位置由河道中间偏左岸逐步摆至中间偏右岸(图4)。值得注意的是,与蓄水前汪家洲边滩与复兴洲此消彼长的规律不同,在复兴洲头低滩大幅后退的情况下,汪家洲边滩在三峡水库蓄水后的规模一直较小,尾部并没有淤积下延也未出现向河心大幅淤长的现象。汪家洲边滩与复兴洲低滩变化对应关系的改变主要有两方面的原因,一方面三峡水库蓄后来沙量大幅减少,河道以冲刷为主,且蓄水后以中小水年为主,中小水流量历时增长且洪水过程被坦化,汪家洲边滩落淤较少,边滩规模处于相对萎缩的状态;另一方面受已建航道整治工程的影响,守护工程有效稳定了复兴洲低滩,一定程度上限制了过渡段河宽,不利于汪家洲边滩淤积下移。嘉鱼水道浅区(蒋家墩附近)受河道冲刷影响,边、心滩的冲退萎缩使得浅滩区域水流在分流区进一步分散,加之汛后退水加快,汛后水流挟沙能力降低,浅滩年间虽有冲淤调整,但就年内冲淤来看,三峡水库蓄水后,浅滩仍遵循洪淤枯冲的规律,但冲淤幅度总体较蓄水前明显减缓。可见,三峡水库蓄水后该水道局部洲滩发生调整,主要表现为高滩冲刷、低滩萎缩,过渡段宽浅化,而2006年实施的航道整治工程虽然对复兴洲头高滩进行了守护,但未能改变三峡水库蓄水后该水道的演变趋势。

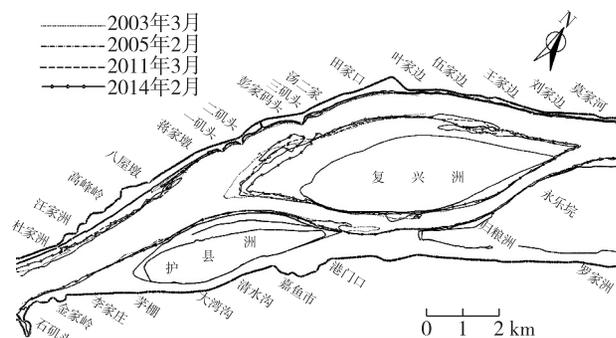


图3 三峡水库蓄水前后0 m等深线变化

Fig. 3 Changes of 0 m depth contour before and after reservoir impoundment

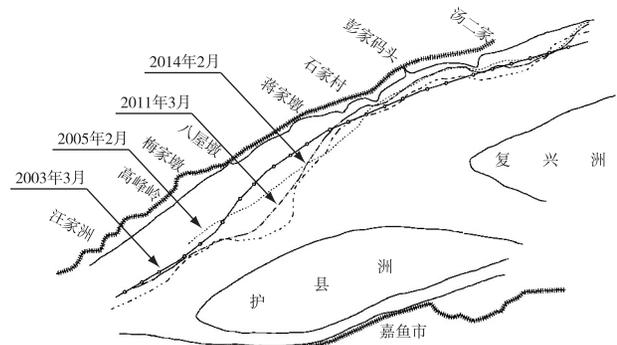


图4 三峡水库蓄水前后深泓线变化

Fig. 4 Variations of thalweg before and after reservoir impoundment

## 2.3 三峡水库蓄水后演变因素分析

(1)河道边界条件。嘉鱼水道进口有石矶头节点,河道沿岸有护岸工程,复兴洲洲头建有护滩带守护工程,下游与常年较为稳定的王家渡水道相连,综合来看,受边界条件的控制作用,河道呈稳定的微弯分汊河型,总体河势稳定。

(2)上游河势影响。嘉鱼水道上接龙口水道,水道为向右弯曲的弯道段,弯道出口右岸有石矶头节点。三峡水库蓄水前,龙口弯道深槽居右,断面形态呈典型的偏V型,左岸有边滩。河道窄深型断面和平面微弯形态使得该水道具有阻隔作用<sup>[12]</sup>,这也是上游陆溪口水道剧烈河势调整没有传递至嘉鱼水道的原因。

但三峡水库蓄水后,由于陆溪口水道直港的发展,汇流段主流偏左,加之来沙量减少,龙口水道左岸边滩被冲刷切割,单槽演变为双槽,断面形态由偏V型发展为河心有低滩的W型(图5(a),断面位置见图1)。

演变后的龙口水道阻隔作用有所减弱,进入嘉鱼水道的水流有所右偏,深泓右摆,对复兴洲头及护县洲左缘的冲刷起一定作用。

(3)水沙条件的影响。三峡水库蓄水前,来沙量较大,遇大水大沙年,汪家洲边滩淤积下延,随后小水情况下滩体易被切割,使左槽转化为双槽局面。三峡水库蓄水后,来沙量锐减,河道洲滩总体呈冲刷状态,汪家洲边滩失去了大幅淤积的前提条件,与复兴洲之间的消长关系相应减弱,复兴洲前沿低滩冲刷后退,深泓有所右摆,过渡段断面趋于宽浅(图5)。

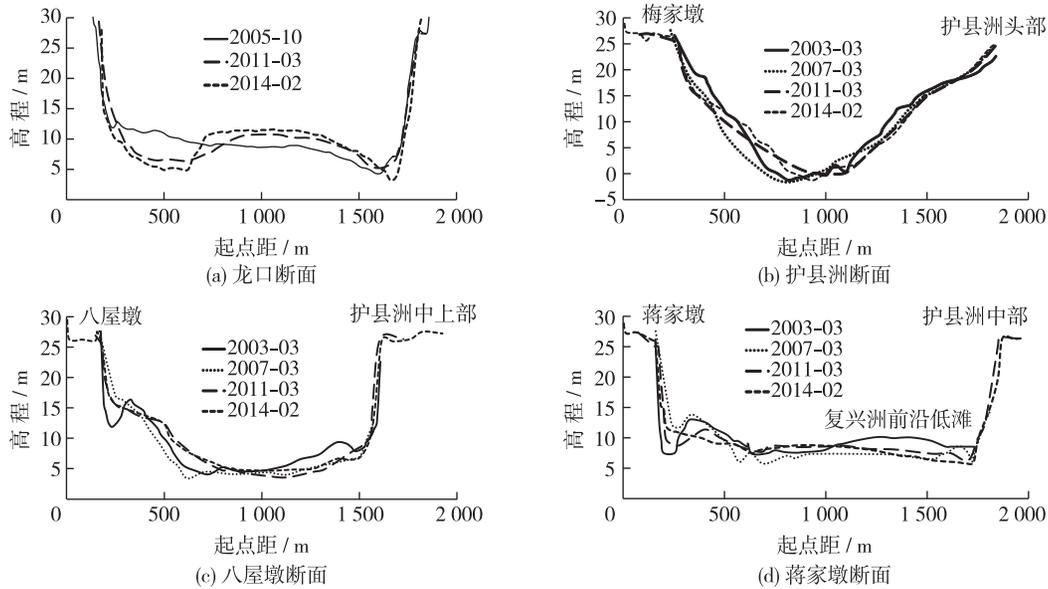


图5 典型断面变化

Fig. 5 Morphological variations of typical cross-sections

### 3 河床演变趋势及航道条件变化

嘉鱼水道在控制节点、人工护岸及航道整治工程作用下,河道平面形态稳定,局部洲滩仍会有所调整。结合三峡水库蓄水后水沙条件及演变规律,预测其演变趋势为:①三峡水库蓄水后,进口段主流右摆,复兴洲前沿低滩及护县洲左缘冲刷,未来随着水沙条件的长期作用,护县洲左缘局部仍会有所冲刷崩退,复兴洲洲头在守护工程的作用下,洲头位置相对稳定,但低滩仍有一定冲刷萎缩的空间;②汪家洲边滩淤宽及下延的可能性不大,但随着复兴洲低滩萎缩,过渡段趋于宽浅,主流摆动空间会进一步加大。

三峡水库蓄水前,随着左汊进口单双槽的交替演变,航道条件也随之变化,当左汊进口为单槽时,航道条件一般较好,当有心滩存在时,水流散乱,航道条件较差。三峡水库蓄水运行后,左汊进口维持单槽形态,航道条件基本较好。但长远来看,随着复兴洲头低滩进一步冲刷萎缩,进口宽浅化发展,主流不稳、深泓有右摆下挫的趋势,这些变化将不利于汛后浅滩冲刷,嘉鱼水道航道条件稳定性也将趋于变差,如遇洪水期浅滩淤积幅度较大的情况,航道条件将有所变差。

### 4 结 语

(1)嘉鱼水道呈微弯分汊河型,左汊长期稳定为主汊,三峡水库蓄水前,过渡段单双槽周期性交替,汪家洲边滩与复兴洲低滩互为消长;三峡水库蓄水后,整体河势较为稳定,洲滩冲淤有所调整,复兴洲低滩冲刷后退,汪家洲边滩规模保持相对萎缩的状态。

(2)三峡水库蓄水后,嘉鱼水道演变主要受水沙条件及上游龙口水道演变的影响,但水沙条件、龙口水

道的变化归根结底均是三峡水库运行的结果,因此,总的来说,三峡水库对本河段演变的影响较大,来沙量大幅减小对河道演变的影响大于径流变化的影响。

(3)三峡水库的长期运行,河道来沙已不可能恢复到蓄水前的状态,在来沙大幅减小的基本条件下,汪家洲边滩大幅淤展的可能性不大,复兴洲头低滩及护县洲左缘仍会有一定程度的冲刷。

(4)航道条件随着河道自身的演变而不断变化,三峡水库蓄水后,随着航道整治工程的实施,河道洲滩格局较为稳定,航道条件也相对较好,但从河道演变趋势来看,未来航道条件具有较大的不稳定性。

## 参 考 文 献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 长江干线航道总体规划纲要[Z]. 中华人民共和国交通运输部, 2009. (Ministry of Transport of the People's Republic of China. Yangtze River main waterway planning outline[Z]. Ministry of Transport of the People's Republic of China, 2009. (in Chinese))
- [2] 王业祥, 李义天, 朱玲玲. 长江中游嘉鱼-燕子窝河段演变机理及发展趋势研究[J]. 泥沙研究, 2012(1): 1-6. (WANG Ye-xiang, LI Yi-tian, ZHU Ling-ling. Analysis of evolution mechanism and tendency of Jiayu-Yanziwo section in middle Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2012(1): 1-6. (in Chinese))
- [3] 陈凤玉, 吴祥华. 长江嘉鱼~燕子窝水道整治工程环境影响分析[C]// 第八届海峡两岸水利科技交流研讨会, 2004: 271-277. (CHEN Feng-yu, WU Xiang-hua. Analysis of the influence of the navigation channel regulation of Jiayu-Yanziwo section on environment[C]// The 8<sup>th</sup> Water Conservancy Science and Technology Exchanges Across the Taiwan Straits, 2004: 271-277. (in Chinese))
- [4] 汪明娜, 金琨. 长江中游陆溪口-嘉鱼河段河床演变分析[J]. 四川水力发电, 2004, 23(1): 81-83, 87. (WANG Ming-na, JIN Kun. Evolution analysis of river bed from Luxikou to Jiayu in the middle reach of the Yangtze River[J]. Sichuan Water Power, 2004, 23(1): 81-83, 87. (in Chinese))
- [5] 李明. 长江中下游浅滩演变对水沙条件变化的响应机理及治理对策研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013. (LI Ming. Research on shoal revolution response to flow & sediment regime variation and its countermeasures in middle and lower Yangtze River[D]. Wuhan: Wuhan University, 2013. (in Chinese))
- [6] 李冬, 潘美元. 生态护坡技术在长江航道工程中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(7): 162-164. (LI Dong, PAN Mei-yuan. Application of ecological slope protection in Yangtze River waterway regulation project[J]. China Water Transport, 2013, 13(7): 162-164. (in Chinese))
- [7] 李冬, 袁达全, 耿嘉良. 长江中游嘉鱼—燕子窝河段航道整治工程效果分析[J]. 水运工程, 2013(9): 89-94. (LI Dong, YUAN Da-quan, GENG Jia-liang. Effect analysis of Jiayu-Yanziwo section channel regulation project in the middle reach of the Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2013(9): 89-94. (in Chinese))
- [8] 刘旺喜, 陈润夏. 雷诺护坡在长江航道整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2012(3): 154-158. (LIU Wang-xi, CHEN Run-xia. Application of Reno mattress revetment in Yangtze River waterway treatment project[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(3): 154-158. (in Chinese))
- [9] 曹广晶, 王俊. 长江三峡工程水文泥沙观测与研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015. (CAO Guang-jing, WANG Jun. Hydrology and sediment observation and study of the Three Gorges Project in the Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese))
- [10] 潘庆桑, 陈济生, 黄悦, 等. 三峡工程泥沙问题研究进展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014. (PAN Qing-shen, CHEN Ji-sheng, HUANG Yue, et al. Progress of sediment research of the Three Gorges Project[M]. Beijing: China Water and Power Press, 2014. (in Chinese))
- [11] 交通部天津水运工程科学研究所. 长江中游嘉鱼~燕子窝河段航道整治工程可行性研究报告[R]. 天津: 交通部天津水运工程科学研究所, 2004. (Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT. Feasibility study report of Jiayu-Yanziwo navigation regulation project in the middle reaches of Yangtze River[R]. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, 2004. (in Chinese))
- [12] 李义天, 唐金武, 朱玲玲, 等. 长江中下游河道演变与航道整治[M]. 北京: 科学出版社, 2012. (LI Yi-tian, TANG Jin-wu, ZHU Ling-ling, et al. Fluvial processes and navigation regulation of the middle and lower reaches of the Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese))

## Evolution analysis of Jiayu waterway before and after impoundment of Three Gorges reservoir

SHANG Qian-qian, XU Hui, LI Guo-bin, GAO Ya-jun

(*State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

**Abstract:** The middle reaches of the Yangtze River is wide enough that many reaches are braided channels with bars and shoals in the river bed. In those braided channels, the scouring and silting of mid-channel bars and point bars change greatly: some bars decrease, and the others may increase greatly; and simultaneously the thalweg and the main streamline migrate frequently and significantly. After the impoundment of the Three Gorges reservoir, the new features of river bed evolution gradually showed up, and the navigation conditions of those braided channels changed accordingly. This paper takes the Jiayu waterway as an example, which is one of the main navigation-obstructing waterways in the middle reaches of the Yangtze River. On the basis of the existing researches and the recent field observation data, the fluvial processes of slightly curved braided reach are illustrated, and the evolution processes along with the characteristics before and after the impoundment of the Three Gorges reservoir are compared, the factors influencing the river-bed evolution are analyzed, and then the influences of the Three Gorges reservoir are discussed. Finally the river evolution tendency and navigation condition changes are presented. With regard to the Jiayu waterway, the Three Gorges reservoir impoundment changed the cyclic alternating pattern between the single-channel and double-channel of the transition section, and also weakened the relationships between the Wangjiazhou shoal and Fuxing bar: before the impoundment of the reservoir, the shoal shrank and the bar expanded; but after the impoundment of the reservoir, the shoal shrank and the bar also shrank. Under the influences of the Three Gorges reservoir impoundment, the shoals and bars in the middle reaches of the Yangtze River will be further eroded in the long term; as for the Jiayu waterway, the entrance of the left branch will be more flat, the main streamline will meander even more, and the navigation conditions will be more in instable due to the riverbed evolution.

**Key words:** Three Gorges reservoir; river bed erosion and siltation; prediction of riverbed evolution trend; waterway regulation