

# 水沙调节后荆江典型河道横向调整过程的响应

## ——Ⅱ. 上、下荆江调整差异初探

假冬冬<sup>1,2</sup>, 邵学军<sup>2</sup>, 蒋海峰<sup>3</sup>, 沈阳<sup>3</sup>, 张幸农<sup>1</sup>, 尚毅梓<sup>2</sup>

(1. 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;

2. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084; 3. 南京港港务工程公司, 江苏 南京 210011)

**摘要:** 三峡水库2003年6月蓄水运用后, 下游河道水沙过程已发生大幅变化, 对于岸滩抗冲性较弱的荆江河道来说, 河道的横向调整过程势必受到影响。采用考虑岸滩崩塌的河势研究数值模型, 针对三峡水利枢纽工程运行所引发的水沙变异过程, 初步探讨了荆江典型河道横向调整及河势变化对水沙条件变化的响应。对于下荆江石首河段来说, 来沙减少后, 冲刷加剧, 局部河岸坍塌及平面变形加剧, 主要发生在受弯道水流顶冲的位置, 但河势演变趋势及平面变形总体上基本一致, 并未发生较大变化。对于上荆江沙市—新厂河段来说, 来沙量减小后, 河道平面变形幅度总体上减小, 局部最大减幅可达50%左右。

**关键词:** 水沙调节; 三峡工程; 河道演变; 荆江; 横向调整; 数值模拟

**中图分类号:** TV147      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2013)02-0205-07

三峡水库已于2003年开始蓄水运用, 其下游河道来水来沙条件发生了大幅改变, 对于岸滩抗冲性较弱的荆江河道来说, 河道的横向调整过程势必受到影响。水沙条件发生大幅变化后, 对于宏观河型的发展趋势, 需要较长的时间和较多的实测资料积累才能进行可信的分析和验证, 很难在短期内做出一致的准确结论。但目前三峡工程已经投入运行, 荆江某些局部河段的河势演变情况对防洪、航运和取水等工程均可产生显著影响, 因此迫切需要对具体河段的横向摆动及河势变化开展有针对性的机理研究, 探讨水沙变化对河道横向调整及河势变化的影响, 以提高防洪护岸工程的安全并降低航道维护工作的成本, 亦可为河型、河势变化理论的深入研究提供基础。

针对传统水沙数值模型仅能模拟垂向冲淤的不足, 本文将采用笔者建立的考虑岸滩崩塌的二、三维水沙动力学模型<sup>[1-4]</sup>, 在三峡水利枢纽工程运行所引发的水沙变异条件下, 初步探讨荆江典型河道横向调整及河势变化对水沙条件变化的响应规律。

## 1 三峡水库蓄水运用初期荆江典型河段的水沙条件变化

### 1.1 流量过程变化

三峡水库蓄水运用后, 受水库调度影响, 出库流量过程将发生一定变化; 同时库区发生淤积、出库泥沙含沙量减少; 这将显著改变下游河道的来水来沙条件。根据相关文献的研究成果<sup>[5-6]</sup>, 三峡水库运用后将对接长江来水过程进行相应调节, 从而改变三峡水库以下的流量过程。根据三峡电站水能计算代表期水文资料, 按水库的调度方式计算得到宜昌站各月平均流量的变化情况见表1<sup>[5-6]</sup>。可见, 三峡工程修建后, 除遇大洪水按防洪调度方案进行蓄泄外, 洪水期一般不削峰, 主要改变了下游枯水期的流量过程, 但变化不大。三峡

收稿日期: 2011-12-28; 网络出版时间: 2013-02-02

网络出版地址: <http://www.cnki.net/KCMS/detail/32.1309.P.20130202.1645.008.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2012CB417002); 国家自然科学基金资助项目(51109140)

作者简介: 假冬冬(1982-), 男, 广西桂林人, 博士, 主要从事河流海岸动力学研究。

E-mail: [jiadongdong@tsinghua.org.cn](mailto:jiadongdong@tsinghua.org.cn)

工程下泄的水流, 经过长江干流河槽及湖泊的调节, 沿程还有若干支流加入, 情况较为复杂, 研究工作量大; 因此本研究中, 暂不考虑宜昌至石首区间的干流、支流及湖泊的调蓄、补偿作用, 将水库调节引起的流量增减量直接作为概化研究中河段来流量的调整依据。

表1 三峡工程实施后宜昌站各月平均流量变化<sup>[5]</sup>

Table 1 Variation of discharge after the filling of the Three Gorges Reservoir<sup>[5]</sup>

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
变化值/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	842	1 319	989	-850	3 738	1 580	0	0	0	-7 758	-642	120

## 1.2 来沙条件变化

实测资料显示<sup>[7]</sup>, 三峡水库蓄水前, 坝下游宜昌、汉口、大通站多年平均输沙量分别为4.70亿t、3.84亿t、4.14亿t。三峡水库蓄水后, 2003—2007年长江中下游各站输沙量沿程偏小幅度为86%~63%, 且偏小幅度沿程递减, 如表2所示。水库运用后沙市站悬沙级配变化如图1所示, 受三峡水库蓄水的影响, 沙市站悬沙中值粒径有所粗化( $d_{50}$ 由0.013 mm变为0.020 mm)。

表2 长江中下游主要水文站输沙量与多年平均对比

Table 2 Comparison of sediment transport before and after the filling of the Three Gorges Reservoir

项目	输沙量/万t			距平百分率/%
	多年平均	2002年前平均	2003—2007年	
宜昌	47 000	49 200	6 670	-86
沙市	41 500	43 400	9 302	-79
监利	34 300	35 800	10 198	-72
螺山	39 300	40 900	11 424	-72
汉口	38 400	39 800	12 920	-68
大通	41 400	42 700	15 800	-63

注: 多年平均值均统计至2005年; 距平百分率为与2002年前均值的相对变化。

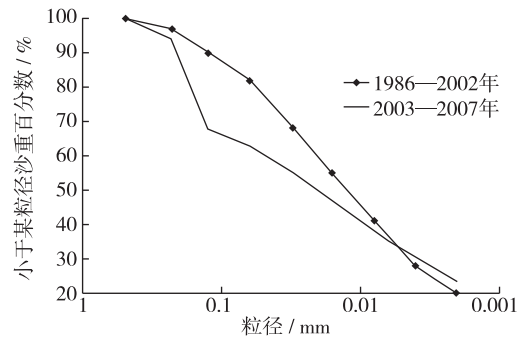


图1 沙市站实测悬沙级配变化

Fig. 1 Variation of suspended load grain after the filling of the Three Gorges Reservoir

## 2 水沙调节后上荆江典型河段的横向调整响应

### 2.1 水沙调节后计算条件

以上荆江沙市至新厂河段为例, 采用笔者建立的二、三维耦合模型<sup>[1]</sup>模拟分析来水来沙过程变化对其河道横向调整的影响。计算区域及网格划分与文献[1]一致。

由1.2节可知, 三峡水库蓄水运用初期沙市站输沙量偏小幅度为79%。计算过程中, 以2006年7月实测地形作为计算初始地形, 河道边界未考虑护岸工程(河道整治工程), 并认为沿程均为可冲、表层为较厚(10~15 m)粘性土组成的二元结构河岸, 以分析河道平面上的显著河势变化。将1996年10月~1998年10月期间河段实际来水来沙过程重复2次, 再加1998年水沙过程, 共计5年时间, 并对水沙过程进行调整, 以研究三峡水库蓄水运行后, 水沙条件改变对河段演变的影响。对水沙调整的模拟方案设置如下: 模拟条件1为来水、来沙过程均经三峡水库调节(即按表1对沙市站流量过程进行调整, 来沙量按建库前来沙量的21%计算, 悬沙级配按水库运用后沙市站2003—2007年实测平均值给定(图1)); 模拟条件2为未经三峡水库调节的天然水沙过程。

### 2.2 横向调整的响应分析

对于沙市下游金城洲一带弯曲分汊河段, 金城洲将河道分为左、右两汊, 主支汊于1997年发生易位, 主泓由右汊转为左汊。从金城洲附近河段演变对比图(图2)可以看出, 采用天然水沙过程时(图2(b)), 金

城洲的右汊发生大量淤积, 并与右岸连成一片, 成为右边滩。采用来沙量减小条件时(图 2(c)), 金城洲右汊淤积较少, 仍维持为左、右两汊, 同时河段的冲深亦大于天然水沙过程模拟结果。

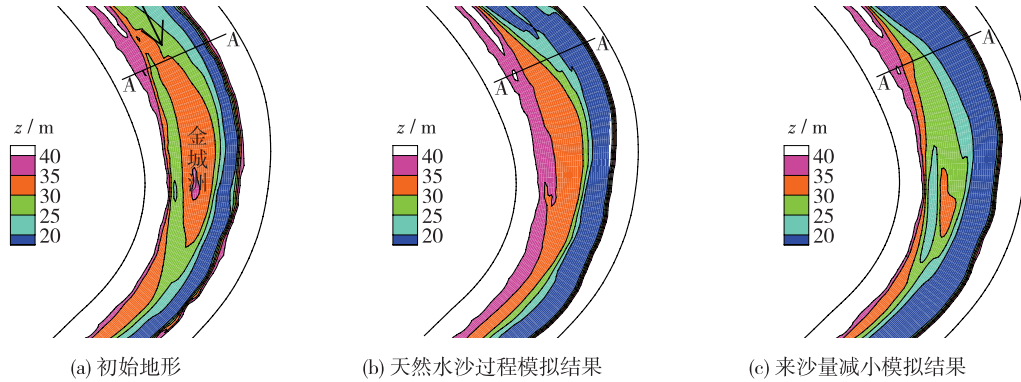


图 2 金城洲附近河段演变对比

Fig. 2 Comparison of morphological changes downstream of Shashi

由 A-A 断面的冲淤对比图(图 3)及金城洲附近河段平面形态变化的模拟对比图(图 4(a))可以看出, 来沙量减小与天然水沙过程的模拟结果存在显著差异, 天然水沙过程中, 右岸边滩的淤积量明显大于来沙量减小的模拟结果, 由此亦造成天然水沙过程时右(凸)岸水流被挤压至河道左(凹)岸, 并促使凹岸的冲刷崩退; 而来沙量减小时, 凸岸得不到充分淤积, 出现较强冲刷, 水流相对来说不及天然水沙过程时集中, 平面变形亦不如天然水沙过程时剧烈, 局部最大平面变形减小 50% 左右, 但河势演变趋势基本一致, 并未发生较大变化。

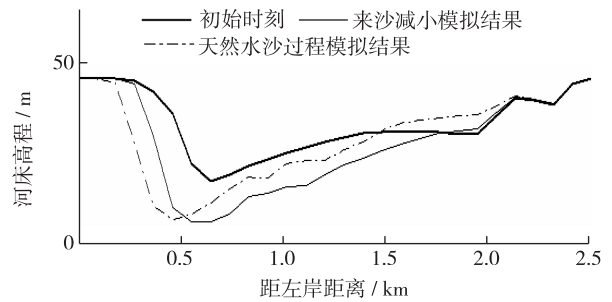


图 3 A-A 断面冲淤对比

Fig. 3 Comparison of cross-sectional profile at section A-A

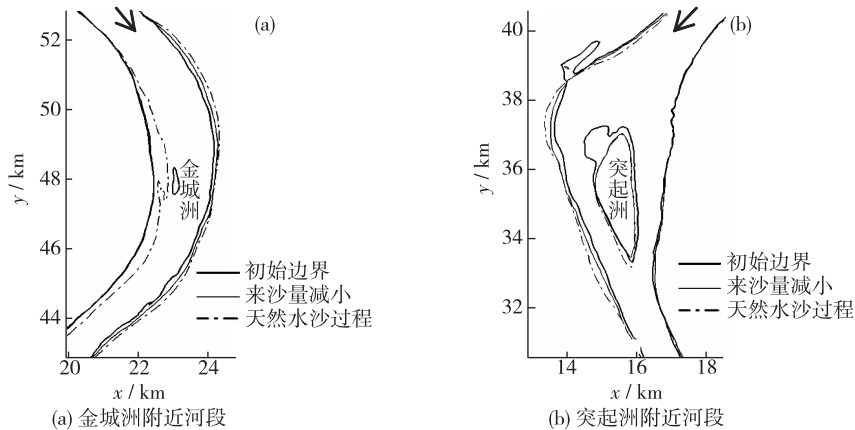


图 4 河道平面形态变化模拟对比

Fig. 4 Comparison of simulated planform changes

突起洲附近河段平面形态变化对比及河段演变对比如图 4(b)及图 5 所示。突起洲面积在两模拟条件下均有所减小, 洲头及洲体左缘均有一定冲刷后退; 天然水沙过程时, 洲尾附近发生一定淤积, 整个洲体呈现一定下移趋势。同时, 右汊河道右岸的崩退幅度亦显著大于来沙量减小时, 局部河岸最大崩退幅度可达 460 m 左右; 而来沙量减小时, 局部河岸最大崩退幅度则为 250 m 左右。

由突起洲附近河段演变对比图可见,采用天然水沙过程时(图5(b)),由于来沙量未减小,在突起洲左汉扩大的同时,亦在左汉进口处出现一新的洲体,并于枯水期出露水面,呈现三汉分流的局面。对于来沙量减小时(图5(c)),左右两汉均发生冲刷,且显著大于天然水沙过程模拟结果(图5(b)),未能在左汉进口处淤积一新的洲体(图5(c))。

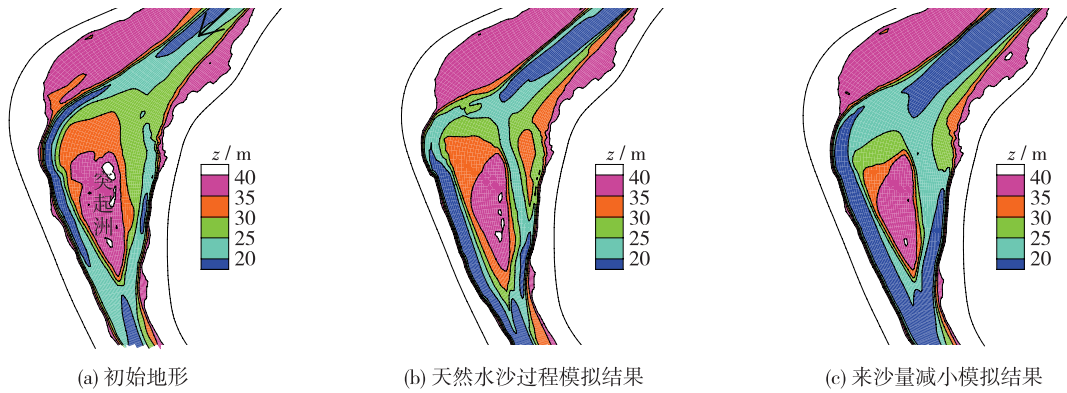


图5 突起洲附近河段演变对比

Fig. 5 Comparison of morphological changes upstream of Gongan

由公安附近河段平面形态变化的模拟对比图6可以看出,来沙量减小与天然水沙过程的模拟结果存在显著差异,在弯曲率较大河段该差异幅度尤其显著,其中来沙量减小与天然水沙过程时河岸最大崩退幅度分别约为300 m及480 m。来沙量减小时,凸岸得不到充分淤积,出现较强冲刷,水流相对来说不及天然水沙过程时集中,平面变形亦不及天然水沙过程时剧烈,局部最大平面变形减小50%左右,但河势演变趋势基本一致,弯曲河段局部曲率半径有所减小。

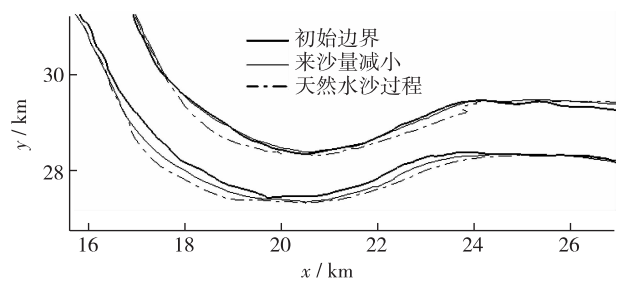


图6 公安附近河段平面形态变化模拟对比

Fig. 6 Comparison of planform changes in Gongan section

此外,从郝穴—新厂河段的平面形态变化对比图7可以看出,由于河道弯曲率总体较小,河道平面变形幅度总体上亦较小,天然水沙过程时的河道平面变形明显大于来沙量减小时,其中河岸最大后退幅度为260 m左右,发生在弯曲率相对较大的郝穴一带。

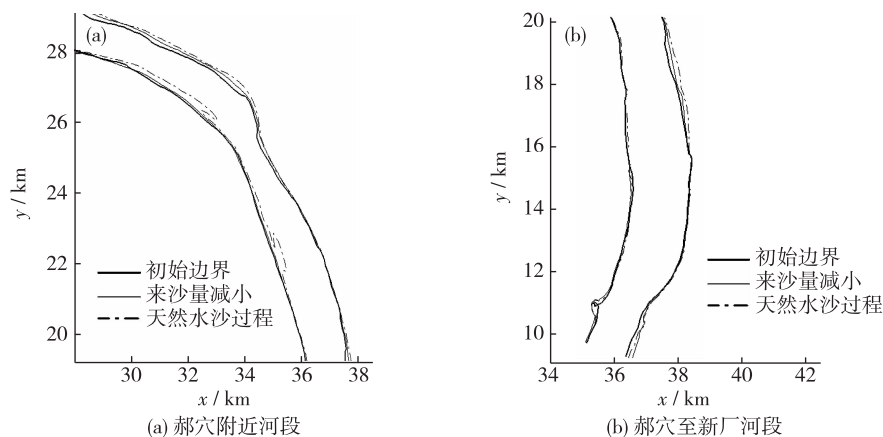


图7 河道平面形态变化模拟对比

Fig. 7 Comparison of simulated planform changes

沙市一新厂河段的冲淤模拟分析表明: 三峡工程的运行将显著减小下游河道的来沙量; 对于河岸粘性土层厚、边岸抗冲性较强的本河段来说, 来沙量减小, 河道平面变形总体上减小, 局部最大减幅可达 50% 左右, 主要是因为河道断面出现整体冲刷, 弯道凸岸未能得到有效淤积, 水流不够集中, 弯道凹岸附近边岸最大冲刷有所减小; 河道平面变形弯曲段通常大于顺直段, 弯曲河段局部曲率半径有所减小。

### 3 水沙调节后下荆江典型河段的横向调整响应

#### 3.1 水沙调节后计算条件

以下荆江石首河段为例, 采用三维模型<sup>[2]</sup>模拟分析来水来沙过程变化对其河道横向调整的影响。该模型已在石首河段河势演变模拟中得到了较好的验证<sup>[2]</sup>, 计算区域及网格划分与文献[2]一致。

石首位于沙市站与监利站之间, 依据偏小幅度沿程递减的规律, 本研究认为石首站输沙量偏小幅度为 75%。计算过程中, 以 1996 年 10 月实测地形作为计算初始地形, 河道边界未考虑护岸工程(河道整治工程), 并认为沿程均为可冲、表层为较薄(2~5 m)粘性土组成的二元结构河岸, 以分析河道平面上的显著河势变化。将 1996 年 10 月~1998 年 10 月期间石首河段实际来水来沙过程进行调整, 以研究三峡水库蓄水运行后, 水沙条件改变对石首河段演变的影响。对水沙调整的模拟方案设置如下: 模拟条件 1 为未经三峡水库调节的天然水沙过程; 模拟条件 2 为来水、来沙过程均按三峡水库调节进行调整(即按表 1 对河段流量过程进行调整, 来沙量则调整为 1996 年 10 月~1998 年 10 月实际来沙量的 25%, 悬沙级配按水库运用后沙市站 2003—2007 年实测平均值给定(图 1))。

#### 3.2 横向调整的响应分析

由 1998 年 10 月平面形态变化的模拟对比图 8 可以看出, 来沙量减小后, 河道心滩的面积小于天然水沙过程时, 偏小 10% 左右, 弯顶以上河段平面变形总体上未发生明显变化; 从弯顶以下河段的右岸则可以看出, 由于河道冲刷的加剧, 局部河岸坍塌及平面变形亦明显加剧, 局部最大增幅可达 30% 左右, 发生在受弯道水流顶冲的位置, 但河势总体演变趋势基本一致, 并未发生较大变化。从 1-1 断面(图 9(a))及 2-2 断面(图 9(b))的冲淤对比亦可看出上述规律。

由此可见, 来沙减小, 石首河段冲刷加剧, 由于河岸粘性土层较薄、边岸抗冲性较弱, 并造成局部河岸坍塌及平面变形加剧, 发生在受弯道水流顶冲的位置, 但河势演变趋势及平面变形总体上基本一致, 并未发生较大变化。

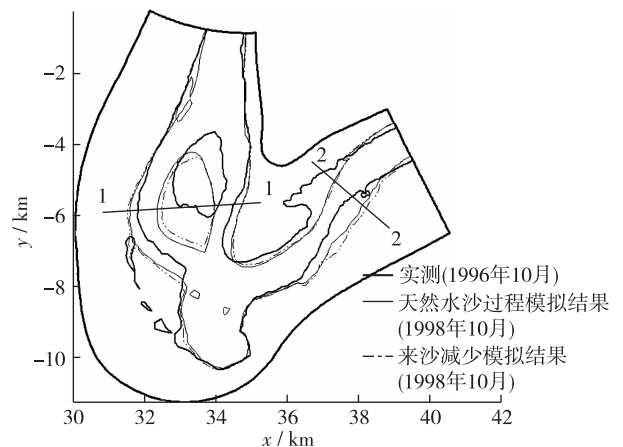


图 8 平面形态变化对比

Fig. 8 Comparison of planform changes in Shishou bend

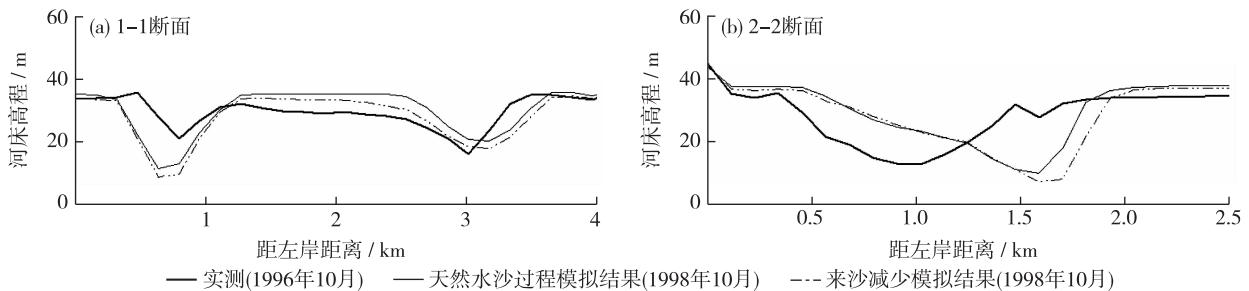


图 9 典型断面冲淤变化对比

Fig. 9 Comparison of cross-sectional profile at typical sections



## 4 结 论

水沙过程变化对复杂蜿蜒河道演变存在显著影响。本文以边岸抗冲性存在显著差异的上、下荆江典型河段为例,初步探讨了三峡工程运行后水沙条件变化对其各自平面演变特征的影响。

对于河岸抗冲性较弱的下荆江石首河段来说,来沙减小,河段冲刷加剧,并造成局部河岸坍塌及平面变形加剧,主要发生在受弯道水流顶冲的位置,但河势演变趋势及平面变形总体上基本一致,并未发生较大变化。

对于河岸抗冲性较强的上荆江沙市一新厂河段来说,来沙量减小,河道平面变形总体上减小,局部最大减幅可达 50% 左右,主要因为河道断面出现整体冲刷,弯道凸岸未能得到有效淤积,水流不够集中,弯道凹岸附近边岸最大冲刷有所减小;河道平面变形弯曲段通常大于顺直段,弯曲河段局部曲率半径有所减小。

应当指出,荆江河道演变复杂、影响因素众多,本文仅在相对简化的边界条件下,对荆江典型河段的河道横向调整过程进行了初步分析。水沙条件变化后,荆江长历时、长河段的演变趋势以及河型转化的可能性等问题均有待进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 假冬冬,邵学军,张幸农,等. 水沙调节后荆江典型河道横向调整过程的响应: I: 二、三维耦合模型的建立[J]. 水科学进展, 2013, 24(1):82-87. (JIA Dongdong, SHAO Xuejun, ZHANG Xingnong, et al. Responses of channel migration in the Jingjiang reach of the middle Yangtze River to changes of flow and sediment regime: I: 2-D and 3-D coupled model[J]. Advances in Water Science, 2013, 24(1):82-87. (in Chinese))
- [2] JIA Dongdong, SHAO Xuejun, WANG Hong, et al. Three-dimensional modeling of bank erosion and morphological changes in the Shishou bend of the middle Yangtze River[J]. Advances in Water Resources, 2010, 33(3):348-360.
- [3] 假冬冬,邵学军,王虹,等. 考虑河岸变形的三维水沙数值模拟研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(3): 311-317. (JIA Dongdong, SHAO Xuejun, WANG Hong, et al. Three dimensional mathematical modeling for fluvial processes considering bank erosion [J]. Advances in Water Science, 2009, 20(3): 311-317. (in Chinese))
- [4] 假冬冬. 非均质河岸河道摆动的三维数值模拟[D]. 北京:清华大学, 2010. (JIA Dongdong. Three-dimensional numerical simulation of lateral migration of alluvial channels with composite banks[D]. Beijing: Tsinghua University, 2010. (in Chinese))
- [5] 谭培伦,汪红英. 三峡工程对改善长江口咸潮入侵情势的分析[J]. 中国三峡建设, 2004, 11(5):29-31. (TAN Peilun, WANG Hongying. Function of Three Gorges Project against salty-tide invasion in Yangtze River estuary [J]. China Three Gorges Construction, 2004,11(5):29-31. (in Chinese))
- [6] 谢作涛. 长江口未来盐水入侵初步研究[D]. 武汉:武汉大学, 2006. (XIE Zuotao. Elementary study on the future saltwater intrusion in Yangtze River estuary[D]. Wuhan: Wuhan University, 2006. (in Chinese))
- [7] 许全喜. 2007 年度三峡水库进出库水沙特性[R]. 武汉:长江水利委员会水文局, 2008. (XU Quanxi. Characters of flow and sediment condition input and outlet of the Three Gorges Reservoir in 2007 [R]. Wuhan: Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, 2008. (in Chinese))

## Responses of channel migration to changes of flow and sediment regime in the Jingjiang reach of the middle Yangtze River: II : Differences between upper and lower sections \*

JIA Dongdong<sup>1, 2</sup>, SHAO Xuejun<sup>2</sup>, JIANG Haifeng<sup>3</sup>, SHEN Yang<sup>3</sup>, ZHANG Xingnong<sup>1</sup>, SHANG Yizi<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;  
3. Nanjing Port Harbor Engineering Company, Nanjing 210011, China)

**Abstract:** The flow and sediment regimes downstream of Three Gorges Reservoir have undergone a significant change since the beginning of its impoundment in June 2003. Accordingly, the spatial variations in downstream channel morphology will be adjusted, in particular in the Jingjiang reach of the middle Yangtze River with eroded bank materials. In this study, the lateral migrations of channels in the Jingjiang reach in response to changes in flow and sediment regimes are investigated. The turbulent flow and sediment transport as well as the bank erosion process are simulated by two- and three dimensional numerical models. No significant changes can be found in the overall evolution of channel planform in the Shishou segment in the lower Jingjiang reach. However, localized bank collapses and plane deformations are likely to intensify due to the reduction of sediment transport, especially on the apex of bend. For the Shashi-Xinchang segment in the upper Jingjiang reach, the overall evolution of channel planform is reduced compared to that before reservoir impoundment. Up to 50% reduction can be expected in some local segments.

**Key words:** changes in flow and sediment regimes; Three Gorges Project; fluvial processes; Jingjiang reach of middle Yangtze River; channel migration; numerical simulation

### 征 稿 启 事

《水科学进展》是以水为论述主题的学术期刊, 主要反映国内外在暴雨、洪水、干旱、水资源、水环境等领域中科学技术的最新成果、重要进展, 当代水平和发展趋势, 报道关于水圈研究的新事实、新概念、新理论和新方法, 交流新的科研成果、技术经验和科技动态; 她涉及与水有关的所有学科, 包括水文科学、大气科学、海洋科学、地质科学、地理科学、环境科学、水利科学和水力学、冰川学、水生态学以及法学、经济学和管理科学中与水有关的内容。

本刊热诚欢迎广大水科学工作者踊跃投稿, 尤其欢迎以下几方面的稿件:

- (1) 题材较重大, 能为国家对与水有关的重大问题的决策提供科学依据的稿件;
- (2) 反映水科学各分支学科重要研究成果尤其是前沿课题的稿件;
- (3) 探讨水圈与地球其他圈层相互关系及水与社会发展相互关系等宏观科学问题的稿件;
- (4) 报道对推动水科学发展有重要意义的新事实、新概念及新途径的稿件;
- (5) 运用多学科的理论与方法探讨水科学基础理论(尤其是跨学科的生长点)与实际问题的稿件;
- (6) 介绍有推广价值, 思路新颖的技术方法和经验的稿件。

《水科学进展》编辑部

\* The study is financially supported by the National Basic Research Program of China (No. 2012CB417002) and the National Natural Science Foundation of China (No. 51109140).