

•水利与土木工程•

DOI:10.15961/j.jsuese.201700775

三峡水库蓄水后关洲河段河势调整对松滋口分流影响

黄莉^{1,2}, 刘士和¹

(1.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; 2.长江水利委员会 长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘 要:关洲河段属典型的主流年内交替型分叉河道, 三峡水库蓄水后该河段河势出现了较大变化。关洲河段河势调整对下游松滋口分流变化的影响作用逐渐凸显, 也越来越受关注。作者利用实测的2002—2013年的河道地形资料和1984—2017年的水文观测数据, 首先分析了三峡水库蓄水运用后关洲河段的河道演变特点, 然后从河道冲淤、左汊发展与左汊主汊的维持时间等3个方面研究了上游河势调整对松滋口分流的影响。研究表明: 三峡水库蓄水后, 关洲河段以枯水河槽冲刷为主, 枯水河槽冲刷量约占平滩河槽总冲刷量的90%; 冲刷形式由起初的冲刷下切逐渐转化为冲刷左侧低滩及河床组成较细的左汊; 分汊段深泓高程由左高右低转变为左低右高; 枯水期右汊的主汊地位有所减弱; 左右汊主流年内易位的临界流量呈现减小的趋势; 枯水河槽的冲刷将引起中小流量(小于20 000 m³/s)时松滋口分流能力的减小, 但随着关洲河段河道冲刷的逐步完成这一变化会有所削弱; 关洲左汊的发展有利于增加较大流量(大于20 000 m³/s)时松滋口的分流比, 且这一流量持续的时间越长, 即左汊维持主汊地位的时间越长, 松滋口年分流比越大。但左汊的过度发展可能会引起关洲河段主流不再发生年内交替, 而是长期稳定在左汊河道, 建议有关部门加强对关洲左汊河道的监测。

关键词:松滋口分流; 河势; 三峡水库; 年内交替型; 关洲河段

中图分类号:TV8

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2018)01-0022-06

Influence of Channel Adjustment of Guanzhou Reach on Flow Diversion at Songzikou After Impoundment of Three Gorges Reservoir

HUANG Li^{1,2}, LIU Shihe¹

(1.State Key Lab. of Water Resources and Hydropower Eng. Sci., Wuhan Univ., Wuhan 430072, China;

2.Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: The Guanzhou reach, located in the middle Yangtze River, is a typical anabranching channel with its mainstream alternating between the two branches within a year. After the impoundment of Three Gorges Reservoir (TGR), the channel of Guanzhou changed significantly. The influence of channel adjustment of Guanzhou on the flow diversion at Songzikou became obvious and has been paid more and more attention. Based on the topographical data in the period 2002—2013 and the hydrological data in 1984—2017, the channel evolution of the Guanzhou reach after the impoundment of TGR was analyzed. Then the impact of upstream channel adjustment on flow diversion at Songzikou was studied from the following three aspects: the channel erosion and deposition, the development of left branch, and the duration of the left branch staying as main channel. The results show that, after the impoundment of TGR, the Guanzhou Reach was eroded continuously, and about 90% of the total channel scouring occurred in the low-water channel. The scour pattern changed from purely downward erosion to left convex bank erosion along with left branch erosion due to finer river bed materials; now the thalweg elevation in left branch is lower than that in right branch which was opposite before. The status of the right branch being the main channel was weakened in dry season. The critical flow rate for the mainstream alternation was decreased. When the incoming flow was less than 20 000 m³/s, the flow diversion ratio at Songzikou was reduced, while the reducing trend was weakened gradually with the channel developing into an equilibrium state. The development of the left branch will increase the diversion ratio at Song-

收稿日期:2017-09-20

基金项目:科技部重点研发专项资助项目(2016YFC0402305); 中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目(CKSF2017041/HL)

作者简介:黄莉(1981—), 女, 博士生, 高级工程师。研究方向:河道演变与河流模拟。E-mail: hl_hls@163.com

网络出版时间:2018-01-17 23:03:00

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.tb.20180117.2303.005.html>

<http://jsuese.ijournals.cn>

<http://jsuese.scu.edu.cn>

zikou in larger discharge, and the longer the duration of the larger discharge, that is, the duration being the main channel for the left branch, the greater the annual averaged flow diversion ratio at Songzikou. It's worth noting that, the over-development of the left branch may cause the mainstream of Guanzhou Reach to cease alternating between two branches within a year, and to stay in the left branch. The field monitoring should be strengthened in the future and proper engineering measures taken if needed.

Key words: flow diversion at Songzikou; channel adjustments; Three Gorges Reservoir; alternation within a year; Guanzhou Reach

关洲河段地处荆江河段进口,上距三峡水库坝址约100 km(图1)。河段上起枝城,下至伍家口,全长约13 km,属微弯分汊河型,左汊为洪水期主汊,右汊为中、枯水期主汊,年内主流在两汊之间轮换两次。

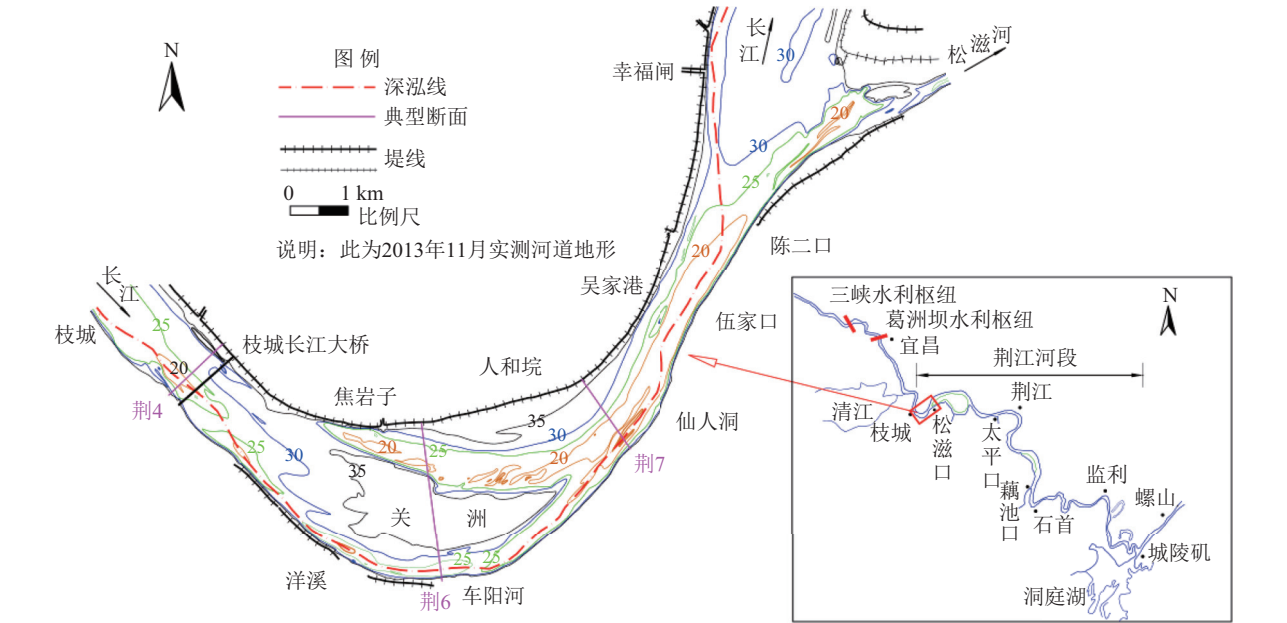


图 1 长江中游关洲河段地理位置示意图及近期河势图

Fig.1 Location and river regime of Guanzhou Reach in the middle Yangtze River

关洲位于江中偏靠右岸,一般年份不被淹没,洲尾高程相对较高,位置较为稳定。河段处于山区河流向平原河流的过渡段,两岸有丘陵山体,岸坡抗冲能力比较强。河段出口下游右岸陈二口村有松滋河分流口,分泄长江水沙入洞庭湖。

三峡水库蓄水运用以来,受水库拦蓄水沙影响,坝下游干流河道普遍发生了冲刷^[1-2],从而引起荆江三口以及江湖关系发生相应调整^[3-5]。松滋口作为距离三峡大坝最近的荆江三口之一,受下荆江裁弯、葛洲坝建坝、三峡建坝等自然和人工双重因素影响,逐渐发展为荆江三口之首,在防洪、水资源利用、江湖关系变化等方面的作用逐渐显著。以往许多学者对松滋口分流分沙特性的变化及其影响因素开展过大量的研究工作^[6-9],取得了一些重要的认识,但在松滋口分流分沙变化的主要影响因素方面,现有的研究多考虑干流水位变化、松滋河口门段的冲淤变化带来的影响^[8],较少考虑上游河势调整引起的影响。松滋口上游的关洲河段距三峡大坝不远,遭受冲刷时间较早,三峡水库蓄水运用以来河势发生了一定调整,且左、右汊冲刷发展存在差异性^[10-14],其主流

年内交替易位的条件正在发生变化。随着三峡水库进一步蓄水运用,关洲左、右汊河槽将如何调整,是否会发生主、次河槽易位,以及该河段河势调整如何影响下游松滋口分流等问题,值得深入研究。作者以关洲河段为研究对象,利用实测资料分析研究了三峡水库蓄水运用以来关洲河段的河势调整规律,在此基础上探讨了其对松滋口分流的影响关系,研究成果可为关洲该河段的河道治理与松滋河的治理提供理论依据。

1 三峡蓄水后关洲河段河势调整特点

1.1 河道总体冲淤变化

三峡水库蓄水运用以来,关洲河段总体表现为冲刷下切。2002年10月—2013年11月,该河段平滩河槽累计冲刷泥沙 $0.64\times10^8\text{ m}^3$ (含河道内人工采砂量),累计平均冲深约3.7 m(表1);多年来基本呈现持续冲刷趋势,仅在2004年11月—2006年10月该河道累积有淤积,这与2006年上游来水较少有一定关系;2006年后河道冲刷强度加剧,但此期间河道左汊人工采砂带来的冲淤变化影响较大。

表 1 三峡水库蓄水运用后关洲河段河道冲淤变化

时段	枯水河槽		基本河槽		平滩河槽	
	冲淤量/(10 ⁴ m ³)	平均冲深/m	冲淤量/(10 ⁴ m ³)	平均冲深/m	冲淤量/(10 ⁴ m ³)	平均冲深/m
2002-10—2004-11	-592	-0.38	-749	-0.38	-740	-0.33
2004-11—2006-10	+40	+0.03	+28	+0.01	+38	+0.02
2006-10—2008-10	-762	-0.49	-861	-0.44	-723	-0.33
2008-10—2011-11	-263 8	-1.69	-278 0	-1.43	-297 4	-1.35
2011-11—2013-11	-176 6	-1.13	-196 4	-1.01	-196 4	-0.89
合计	-571 9	-3.67	-632 6	-3.24	-636 2	-2.88

注：“-”表示河道冲刷，“+”表示河道淤积。

统计分析关洲河段枯水河槽(枝城水位35.5 m, 1985国家高程基准,下同)、基本河槽(枝城水位39.0 m)与平滩河槽(枝城水位43.0 m)下的冲淤量可知,枯水河槽冲刷最为严重,2002年10月—2013年11月,枯水河槽累计冲刷量为该段平滩河槽冲刷量的89.9%;枯水位与中水位之间的河槽虽有冲刷,但幅度不大,仅为平滩河槽总冲刷量的9.5%;中水位以上河槽基本变化不大。

1.2 河道形态调整

三峡水库蓄水运用初期,关洲分汉河道深泓贴靠弯道凹岸,单一河段内横断面形态基本呈偏右的“U”型,分汉段内呈不对称的“W”型。随后受上游来水来沙变异影响,河道冲刷、河床形态出现调整,主要呈现以下特点:

1)枯水河槽冲刷幅度较大,由先前的冲刷下切逐渐转化为冲刷左侧低滩及河床组成较细的左汉。在分汉河道进口与出口的单一河段内,近期以向左侧(凸岸一侧)冲刷扩宽为主要发展形式(图2(a)与(c));在分汉段内左、右汉河槽均呈现冲刷,左汉冲刷深并向右扩展,右汉则冲刷向左展宽(图2(b))。出现以上调整与该河段的河床组成及河岸边界有较大关系。三峡水库蓄水运用以来,该河段枯水主河槽遭受冲刷,河床组成粗化明显,由以往的沙夹卵石河床逐渐演化为卵石夹沙河床。近期的地质勘测结果显示,目前该河床已转化为卵砾石河床,因此进一步冲深的空间不大,而河弯凹岸有低山丘陵控制,岸线崩塌可能性较小;相反,槽左侧低滩及左汉为原泥沙淤积区,河床组成相对较细,因此,在三峡水库蓄水运用以来上游来水来沙仍处于次饱和的条件下,河床组成较细的低滩及左汉逐渐遭受冲刷。

2)左右汉深泓高程由传统的左高右低转变为左低右高。关洲河段以往左汉河床较为宽浅,右汉河床高程较左汉低,断面较为窄深。三峡水库蓄水运用以来,关洲左右汉均存在不同程度的冲刷,左汉焦岩子

以下河床逐年降低,至2011年11月时河床高程已低于右汉(图3),并有进一步降低的趋势;但左汉进口枝城长江大桥—焦岩子一带河床高程自2002年以来变化不大,这与该段河床组成中卵石层分布较高有较大关系^[15]。右汉虽有冲刷,但主要表现为向左扩展,河床高程变化不大,仅在汇流段冲刷降低,如断面荆7处。虽然关洲左汉河床大幅度降低与左汉内人工采砂有较大关联,但如果继续无限制地实施采砂,一旦左汉进口被挖穿,左汉将有可能演化为常年主汉。

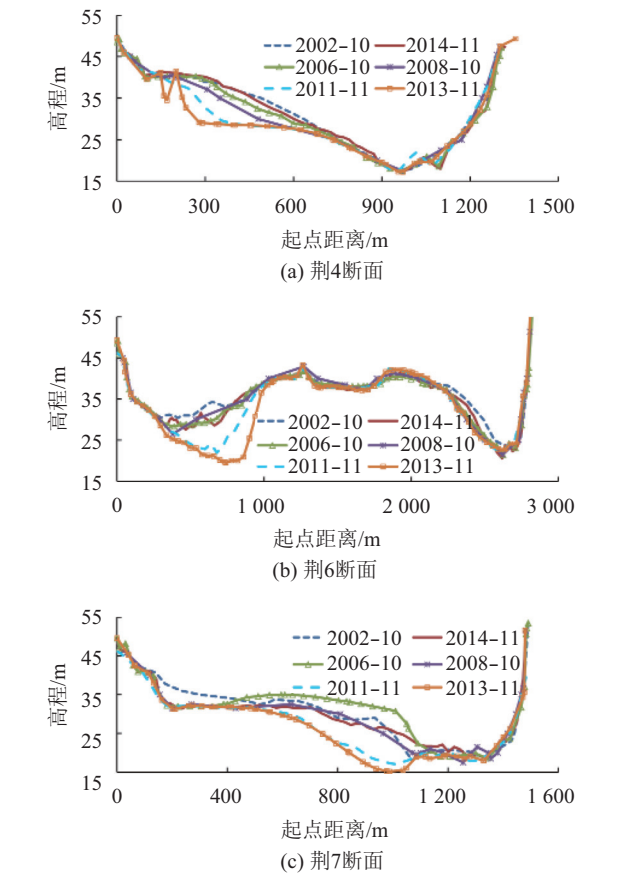


图 2 关洲河段横断面变化

Fig.2 Cross-sectional adjustments in the Guanzhou Reach

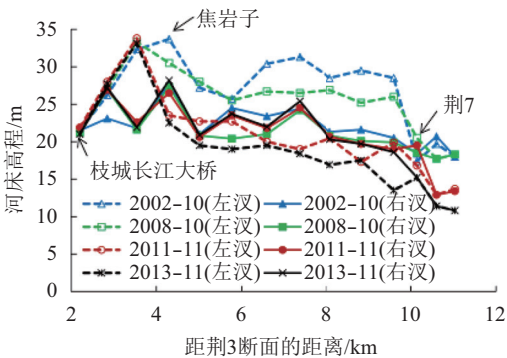


图3 关洲河段左、右汉深泓高程变化

Fig.3 Along-river changes of thalweg elevation for both branches in the Guanzhou Reach

1.3 河道分流比变化

关洲河段近几十年来河势格局基本稳定,主支汉年内易位的临界流量为 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ^[10]。1984—2017年,枯水期的关洲左汉分流比实测资料统计结果表明(图4),三峡水库蓄水运用以来,在流量为 $4\,232\sim 9\,366\text{ m}^3/\text{s}$ 时,左汉分流比在19.1%~40.1%之间,且同流量下关洲左汉分流比较建坝前有所增大,这与三峡水库蓄水运用后左汉河道大幅度扩展关系密切;左汉分流比随上游来流的增加而增大,当流量达到某一临界值时,左汉发展成主汉,原有的主支汉发生易位。从图4可以看出,三峡水库蓄水运用以来,由于左汉河道发展迅速,这一临界流量呈现减小的趋势。近期水文监测结果也表明这一临界流量值已减小至 $17\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 左右。

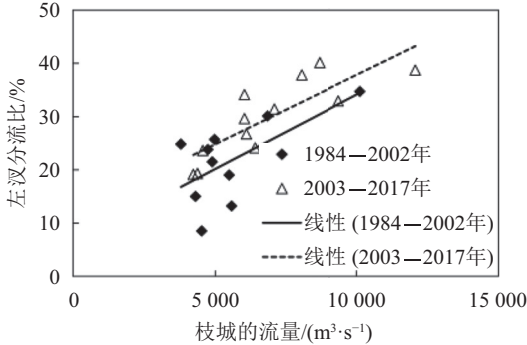


图4 关洲河段枯水期左汉分流比变化

Fig.4 Changes of the diversion ratio of flow for the left branch of Guanzhou Reach in dry season

另外,2015年以来,航道部门在关洲左汉进口实施了潜坝与护滩带等航道整治工程,左汉分流比略有减小,由 $6\,098\text{ m}^3/\text{s}$ 时的26.7%(2013-02-24)减小为 $6\,404\text{ m}^3/\text{s}$ 时的24.1%(2017-01-15)。

2 河道冲淤对松滋口分流影响

三峡水库蓄水运用以来,下游干流河道冲刷,同流量下水位随之降低,而松滋口口门门槛处近年来

冲刷幅度不大,进流受限,因而干流的冲刷在一定程度上会减弱松滋口的分流能力。表2也反映了同样的规律,在流量小于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,主流居关洲右汉,由于枯水河槽冲刷严重,水位降低明显,故在上游枝城同流量下,松滋口分流比有所减小,但在2009—2015年,同流量下分流比变化不大。由此可见,当上游来流较小时(小于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$),在三峡水库蓄水运用初期,枯水河槽冲刷幅度较大,同流量下松滋口分流能力减弱,但随着该河段河道冲刷的逐步完成,这一影响将会逐渐削弱。

表2 枝城不同流量下松滋口分流比变化

Tab.2 Diversion ratio of flow at Songzikou in different discharges at Zhicheng station

流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	松滋口分流比/%			分流比变化值/%	
	2003年	2009年	2015年	2003—2009年	2009—2015年
8 000	2.4	1.2	1.5	-1.2	0.3
10 000	3.7	2.4	2.8	-1.3	0.4
15 000	6.7	5.9	5.9	-0.8	0.0
20 000	9.0	9.0	8.8	0	-0.2
25 000	10.4	10.8	11.1	0.5	0.2
30 000	10.9	11.5	12.1	0.6	0.7

3 关洲左汉发展对松滋口分流影响

三峡水库蓄水运用以来,关洲左汉呈现逐年冲刷的趋势,特别是近2008年以来发展更为迅速,2013年11月荆6断面左汉平滩河槽面积较2002年10月增长近一倍。从图5可以看出,左汉在冲刷发展的同时,陈二口附近30 m高程线逐渐向松滋口口门延伸,即长江流进松滋河的通道也被冲刷。松滋口口门外的冲刷发展将有利于松滋口的吸溜,增加松滋口的分流能力。

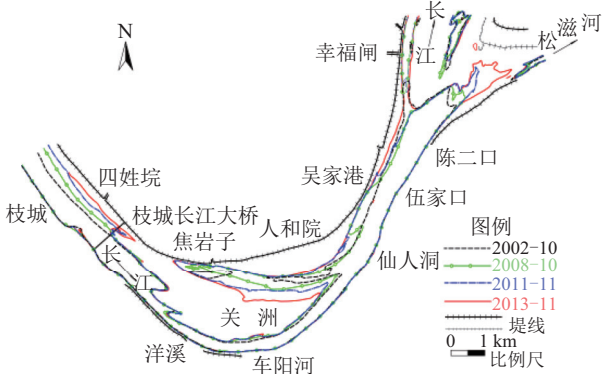


图5 关洲河段30 m等高线变化

Fig.5 Changes of 30 m contour line in Guanzhou Reach

从表2可以看出,三峡水库蓄水运用以来,当枝城来流大于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、关洲左汉输水输沙能力处于强势时,枝城同流量下,松滋口分流比呈现增加的趋势。这一变化与自2008年以来关洲左汉的冲刷发展

有一定关系。左汉冲刷发展迅速,右汉发展受限,左右汉断面面积比逐渐加大,据统计,2002年10月两汉面积比(荆6断面)基本是1:1,而2013年11月两汉面积比已增至1:0.56,致使同流量下左汉分泄上游流量比例加大,即相同流量下左汉输水量更大,松滋口分流能力随之增强。可见,关洲左汉的发展有利于增加大流量时松滋口的分流比。

4 左汉主汉维持时间对松滋口分流影响

以往的研究表明^[10,13],当上游枝城流量小于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$,主流位于关洲右汉,经陈二口附近逐渐过渡至下游芦家河沙泓;反之,主流则取直走关洲左汉,随后直接进入下游芦家河石泓,因此一般洪水期松滋口分流比较枯水期大。统计分析松滋口年分流比与枝城大于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量的持续天数的相关关系(图6)可知,两者呈显著正相关关系,一年中,当上游来流中大于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量持续的时间越长,即左汉维持主汉地位的时间越久,松滋口年分流比越大。

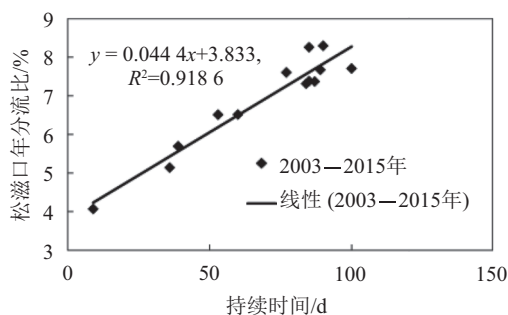


图6 松滋口年分流比与枝城大于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量持续时间关系

Fig.6 Relation of the diversion ratio of flow at Songzikou and the duration of discharge ($> 20\,000\text{ m}^3/\text{s}$) at Zhicheng station

5 结论

三峡水库蓄水运用以来,关洲河段发生冲刷,2002—10—2013—11,平滩河槽累计冲刷约 $0.64 \times 10^8\text{ m}^3$,平均冲深约3.7 m,以2008年以来河道冲刷尤为剧烈;以冲刷枯水河槽为主,河床调整由初期的冲刷下切逐渐转化为冲刷左侧低滩及河床组成较细的左汉,引起左汉深泓高程由传统的高于右汉转变为中下段低于右汉;枯水期同流量下关洲左汉分流比较建坝前增加,即右汉的主汉地位削弱。

枯水河槽的冲刷使中小流量(小于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$)时松滋口分流能力减弱,但这一影响将会随着该河段河道冲刷的逐步完成而逐渐削弱。关洲左汉的发展有利于增加中大流量(大于 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$)时松滋口的分流比;并且这一流量持续的时间越长,即左汉维持

主汉地位的时间越久,松滋口年分流比越大。

参考文献:

- [1] 卢金友,姚仕明,邵学军,等.三峡工程运用后初期坝下游江湖响应过程[M].北京:科学出版社,2012.
- [2] Xu Quanxi. Study of sediment deposition and erosion patterns in the middle and downstream Changjiang main-stream after impoundment of TGR[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(2): 146–154. [许全喜. 三峡工程蓄水运用前后长江中下游干流河道冲淤规律研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(2): 146–154.]
- [3] Chen Jianhuang, Peng Yuming, Huang Liemin. Influence of different operation modes of Three Gorges Reservoir on division of three channels of Jingjiang River[J]. Yangtze River, 2015, 46(21): 8–12. [陈俭煌, 彭玉明, 黄烈敏. 三峡水库不同调度方式对荆江三口分流影响分析[J]. 人民长江, 2015, 46(21): 8–12.]
- [4] Cao Wenhong, Mao Jixin. Impacts of Three Gorges Reservoir's operation on Jingjiang River and outflow of the three outlets[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015, 46(6): 67–71. [曹文洪, 毛继新. 三峡水库运用对荆江河道及三口分流影响研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(6): 67–71.]
- [5] Wang Dong, Fang Juanjuan, Li Yitian, et al. Influence of Three Gorges Reservoir operation on inlet flow of Dongting Lake[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(12): 10–16. [王冬, 方娟娟, 李义天, 等. 三峡水库调度方式对洞庭湖入流的影响研究[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(12): 10–16.]
- [6] Xu Quanxi, Hu Gongyu, Yuan Jing. Research on the flow and sediment diversion in the three outlets along Jingjiang River in recent 50 years[J]. Journal of Sediment Research, 2009(5): 1–8. [许全喜, 胡功宇, 袁晶. 近50年来荆江三口分流分沙变化研究[J]. 泥沙研究, 2009(5): 1–8.]
- [7] Qin Hongyan, Zou Dongsheng, Li Feng. Characteristics of runoff and sediment discharge of three channels from Jingjiang River in 1956 through 2009[J]. Journal of Sediment Research, 2013(3): 27–33. [覃红燕, 邹冬生, 李峰. 近50余年荆江三口水沙变化特征及驱动力分析[J]. 泥沙研究, 2013(3): 27–33.]
- [8] Guo Xiaohu, Li Yitian, Zhu Yonghui, et al. Runoff and sediment diversion of Songzikou[J]. Journal of Basic Science

- and Engineering, 2014, 22(3): 457–468. [郭小虎, 李义天, 朱勇辉, 等. 松滋口口门分流分沙比变化特性[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(3): 457–468.]
- [9] Qin Kai, Peng Yuming, Chen Jianhuang. Analysis on change of flow diversion capacity of three channels of Jingjiang River[J]. Yangtze River, 2015, 46(18): 34–38. [秦凯, 彭玉明, 陈俭煌. 荆江三口分流能力变化分析[J]. 人民长江, 2015, 46(18): 34–38.]
- [10] Xiong Zhiping, Deng Liang'ai. Analysis of channel evolution in the Guanzhou Reach[J]. Yangtze River, 1999, 30(5): 27–28. [熊治平, 邓良爱. 荆江关洲河段河道演变分析[J]. 人民长江, 1999, 30(5): 27–28.]
- [11] Sun Zhaohua, Li Yitian, Ge Hua, et al. Channel erosion processes of transitional reach from gravel river bed to sand bed in middle Yangtze River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 44(7): 789–797. [孙昭华, 李义天, 葛华, 等. 长江中游沙卵石-沙质河床过渡带冲刷趋势研究[J]. 水利学报, 2011, 44(7): 789–797.]
- [12] Zhou Yinjun, Chen Li, Yan Tao, et al. Features of riverbed erosion adjustment process in Yichang-Yangjiao Reach[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(3): 77–82. [周银军, 陈立, 闫涛, 等. 宜昌至杨家脑河段河床形态冲刷调整特点分析[J]. 水力发电学报, 2012, 31(3): 77–82.]
- [13] Chen Li, Yan Xia, Zhou Yinjun, et al. Erosion and deposition of Guanzhou braided reach during initial impoundment period of Three Gorges Project[J]. Journal of Sediment Research, 2012(1): 53–57. [陈立, 闫霞, 周银军, 等. 三峡水库蓄水初期关洲分汊河段的冲淤调整特性分析[J]. 泥沙研究, 2012(1): 53–57.]
- [14] You Qiangqiang, Xu Guo, Zhao Deyu, et al. Characteristics of riverbed evolution and change of waterway conditions about Guanzhou waterway after water impoundment of the Three Gorges[J]. Port & Waterway Engineering, 2015, 505(7): 53–57. [游强强, 徐果, 赵德玉, 等. 三峡水库蓄水后关洲水道河床演变特征及航道条件变化[J]. 水运工程, 2015, 505(7): 53–57.]
- [15] 中国建筑西南勘察设计研究院有限公司. 长江中游宜昌—宜昌门溪河段原型观测工程地质勘察报告[R]. 武汉: 中国建筑西南勘察设计研究院有限公司, 2011.

(编辑 张 琼)

引用格式: Huang Li, Liu Shihe. Influence of channel adjustment of Guanzhou Reach on flow diversion at Songzikou after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. Advanced Engineering Sciences, 2018, 50(1): 22–27. [黄莉, 刘士和. 三峡水库蓄水后关洲河段河势调整对松滋口分流影响[J]. 工程科学与技术, 2018, 50(1): 22–27.]