

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.02.014

陈冬, 陈一梅, 黄召彪. 长江下游黑沙洲南水道演变特征分析[J]. 水利水运工程学报, 2015(2): 84-90. (CHEN Dong, CHEN Yi-mei, HUANG Zhao-biao. Evolution characteristics analysis of Heishazhou southern waterway of the lower Yangtze River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(2): 84-90.)

长江下游黑沙洲南水道演变特征分析

陈 冬, 陈一梅, 黄召彪

(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 针对三峡水库蓄水及整治工程后长江下游分汊河段的演变问题, 收集了黑沙洲水道 1960—2005 年的实测分流、分沙比和 2004—2012 年共 31 个测次的地形图, 应用 HEC-RAS 模型分析了黑沙洲水道整治工程前后分流比的变化, 应用地理信息系统 (GIS) 和数字高程模型 (DEM) 分析了整治工程前后南水道浅滩面积、体积及位置的变化。研究分析表明: 三峡水库蓄水后的 2004—2009 年, 黑沙洲南水道的浅滩总体表现为冲刷, 但在年内仍然保持着“洪淤枯冲”的基本冲淤特性; 2009 年整治工程部分改善了南水道的航行条件, 但整治工程中潜坝的设置减小了南水道中枯水期分流比, 不利于中枯水期南水道的冲刷, 整治工程后南水道的浅滩演变呈淤积趋势。本项研究成果可为航道维护和整治工程设计提供借鉴参考。

关 键 词: HEC-RAS 模型; 数字高程模型; 分流分沙比; 河床演变; 整治工程

中图分类号: TV147

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)02-0084-07

分汊河道作为一个自然系统, 其河床演变受内部因素和外部因素的共同制约和影响。内部因素包括河床平面形态及地质情况, 外部因素包括上游来水来沙条件, 它们相互联系、相互影响。罗海超^[1-4]等通过对长江分汊河道的演变规律研究得出: 长江中、下游分汊河道在冲积河流中属于稳定性较高的汉道, 表现在主、支汊的转化周期较长, 汉道平面形态稳定; 分汊河道分流比是主、支汊地位及生命力强弱的主要体现; 三峡水库蓄水后, 大量泥沙被拦截在水库内, 坝下河床发生较大幅度冲刷, 但距大坝较远的中、下游河床仍能保持基本的冲淤特性; 对水沙条件的变化, 河段主要通过河床床面的粗化和河床比降的调整来达到新的平衡。

黑沙洲水道位于长江下游, 在安徽省境内。黑沙洲的南水道是通航汉道, 也是长江下游重要的浅险水道, 其中的碍航浅滩冲淤变化多端, 对航行条件影响较大。2000 年以后, 黑沙洲水道不仅受到水文条件周期性变化的影响, 还受到三峡大坝蓄水^[5-8]和 2007—2009 年整治工程的影响。因此, 研究黑沙洲水道浅滩的演变特征, 不仅能够为航道维护整治提供科学的依据, 而且能够了解整治工程效果和三峡大坝蓄水对长江下游河段调整机理的影响, 具有理论意义和工程应用价值。

1 研究区域概况

黑沙洲水道位于长江下游, 上距铜陵市约 62 km, 下距芜湖市约 50 km, 是典型的鹅头型分汊河道。江中的黑沙洲、天然洲将河道分为南、中、北三个汉道, 其中南水道为主汉道。黑沙洲水道的地形如图 1 所示。

黑沙洲南水道内存在碍航交错浅滩, 为改善航行条件, 2007—2009 年对黑沙洲水道进行了大规模的航道整治, 工程内容包括: 在南水道左槽布置 4 道潜坝, 沿浅滩中下部滩脊布置一道水下护滩带, 在天然洲洲头布置鱼嘴水下护滩。2007 年 12 月至 2008 年 6 月工程完成了 4 道潜坝的部分坝段、天然洲洲头及浅滩的水

收稿日期: 2014-07-24

作者简介: 陈 冬 (1985-), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事港口、航道及海岸工程研究。

E-mail: kenny716@126.com

下护滩带。2009年2—5月完成了4道潜坝,工程布置见图2。

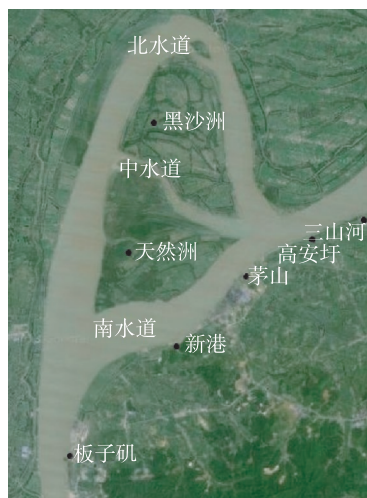


图1 黑沙洲水道地形

Fig. 1 Topographic map of Heishazhou waterway

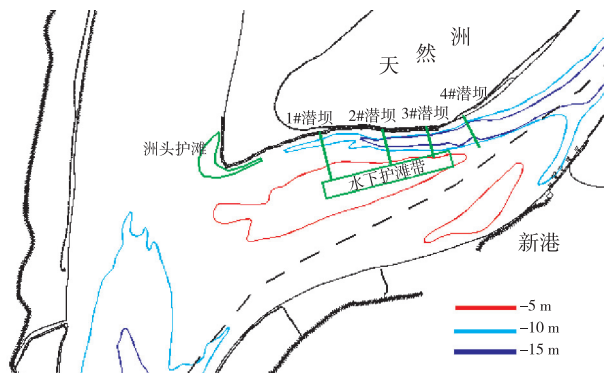


图2 黑沙洲水道整治工程布置

Fig. 2 Layout of regulation works in Heishazhou waterway

2 资料与方法

2.1 资料收集

本文在研究过程中较系统地收集了黑沙洲水道的水文和地形资料。其中,水文资料包括:黑沙洲水道1960—2005年的实测分流、分沙比;大通水文站1951—2012年径流量与输沙量,以及2003—2012年的逐日平均流量、逐日平均含沙量(大通水文站位于黑沙洲水道上游64 km处,与黑沙洲水道之间无大的支流入汇)。地形资料包括2004年2月至2013年1月共31个测次的航道图,其中有2009年以前水深分离式标注的CAD航道图、2009年以后水深整体式标注的CAD航道图,以及部分S-57格式的电子航道图。

2.2 研究方法

对于水文特征分析,采用统计方法分析黑沙洲水道历史分流分沙比变化,应用HEC-RAS^[9-10]建立黑沙洲水道一维水力模型,通过一维水力模拟分析黑沙洲水道整治前后分流比变化及原因。

对于河床演变分析,将收集到的不同格式航道图资料,统一在地理信息系统(GIS)平台下进行数据处理与分析。首先,从黑沙洲水道的CAD航道图及电子航道图中提取具有空间坐标信息的离散点数据,输入GIS系统,生成河道数字高程模型(DEM),再应用GIS对黑沙洲水道进行一维、二维和三维的空间数据处理与分析^[11]。其中,一维分析包括河段浅滩的轴线长度和方向分析;二维分析包括浅滩的面积计算和形状分析;三维分析包括河段三维模型建立和显示基础上的空间查询定位分析,以及建立在三维数据上的表面积与体积计算等。

3 黑沙洲水道水文特征变化

3.1 黑沙洲水道多年分流比与分沙比变化

图3为黑沙洲南水道1960—2005年的实测分流比变化曲线。由图可见,20世纪80年代以前,黑沙洲南、中、北三汊分流比相对均衡,南水道分流比稳定在30%左右;80年代以后,中水道逐渐衰亡,南水道分流比不断增大,从30%增长到35%,1992—1997年后增长到45%。1998年大洪水后,天然洲头及右缘冲刷崩退,南水道过水断面扩宽,进流量加大,分流比迅速增至50.4%。2003年三峡水库蓄水后,2004年分流比再次增大至57%~63%,从而占据主汊地位。

图4为黑沙洲南水道的分流比与分沙比的关系。由图可知,黑沙洲南水道的分沙比与分流比相适应,两

者呈线性相关关系,拟合度为 0.933 9,相关性良好。根据三峡水库蓄水后 2005 年的资料分析发现,黑沙洲南水道的分流比为 62%,分沙比为 57%,表明三峡水库蓄水后河段来沙量虽大幅减少,但分流比与分沙比关系仍然保持不变。20 世纪 60 年代以来,黑沙洲水道因主、支汊易位,分流比大幅变化,但南水道的分沙比始终与分流比保持相适应,因此,可以推测 2007—2009 年的整治工程后,南水道的分流比与分沙比仍然保持线性相关的函数关系。

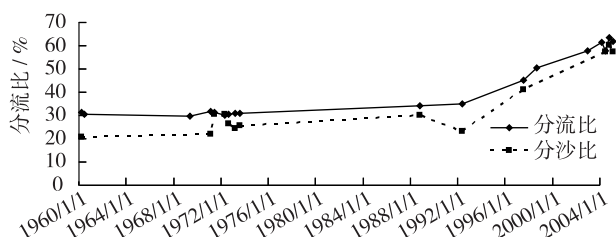


图 3 黑沙洲南水道分流/分沙比历年变化

Fig. 3 Changes in flow and sediment diversion ratio

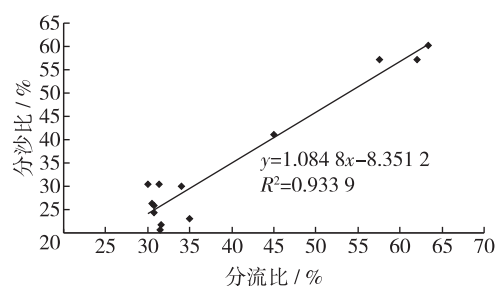


图 4 黑沙洲南水道分流/分沙比关系

Fig. 4 Relationship between flow and sediment diversion ratio

3.2 整治工程对黑沙洲南水道分流比的影响

应用 HEC-RAS 软件对黑沙洲水道进行了一维水力模拟。模型采用 2004 年 8 月的地形,以上游大通站流量为上游流量边界,以下游芜湖水位为下游水位边界,并采用 2004 年 3 月至 2005 年 3 月黑沙洲水道上游的实测水位资料进行验证。验证结果如图 5 所示,误差在 0.1 m 以内,验证结果与实测值相符合。同时,根据 2004 年黑沙洲水道的水文测验资料,当流量为 $11\,741\text{ m}^3/\text{s}$ 时,南水道分流比为 62.5%,北水道分流比为 37.5%。当流量为 $41\,737\text{ m}^3/\text{s}$ 时,南水道分流比减小到 58.3%,北水道分流比增大到 41.7%。一维水力模拟值与实际基本相符。

模型经过验证后,对整治前后不同流量下黑沙洲南水道分流比进行了模拟计算,其中,整治前的模拟采用 2004 年 8 月的地形图,整治后的模拟分别采用 2010 年 5 月、2011 年 7 月及 2012 年 6 月的地形图。图 6 即为整治前 2004—2005 年不同流量下南水道分流比。图 7 为整治后 2010—2012 年不同流量下南水道分流比。

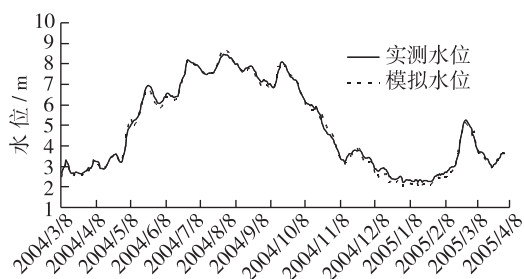


图 5 模型水位过程验证

Fig. 5 Water level verification by a HEC-RAS model

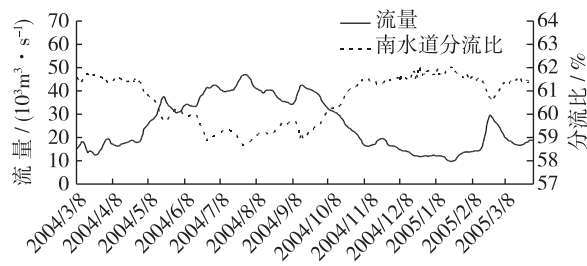


图 6 2004—2005 年不同流量下南水道分流比

Fig. 6 Flow diversion ratio under different discharges from 2004 to 2005

从图 6 可知,整治前 2004—2005 年,黑沙洲南水道的分流比受流量变化影响较大,枯季分流比 61.5% 大于洪季分流比 59%,涨水过程随流量增加分流比减小,落水过程随流量减小分流比增加。枯水期南水道分流比约 61.5%,北水道分流比约 38.5%,从平面形态上看主要原因在于,黑沙洲南水道为捷水道,流程短且顺直,河道沿程阻力较小,有利于枯水期南水道的分流;洪水期南水道分流比减小至约 59%,北水道分流比增大至约 41%,主要原因在于北水道上段长直,入流条件好,其分流比随着洪水期水流流速的增加而增大。

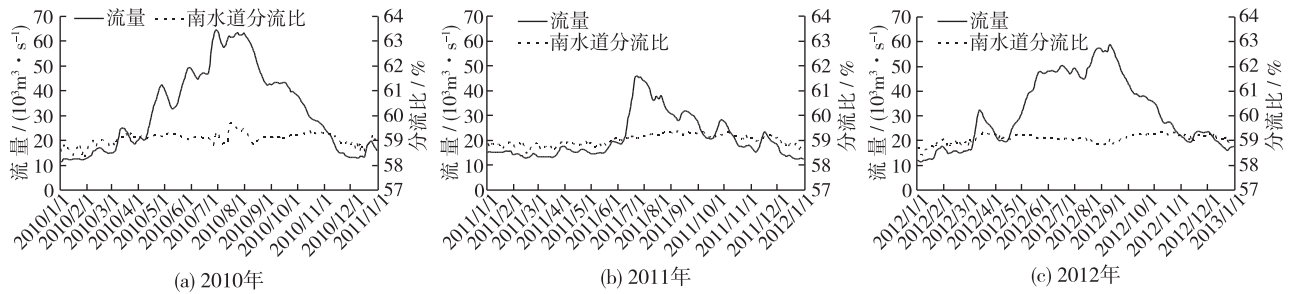


图7 2010—2012年不同流量下南水道分流比

Fig. 7 Flow diversion ratios under different flow rates from 2010 to 2012

通过图7对比可知:①潜坝的设置使南水道分流比的年内变化幅度减小,整治后的南水道分流比为58.5%~59.5%,各级流量下南水道分流比仍然大于北水道。②整治工程对枯水期南水道分流比影响较大,而对洪水期南水道分流比影响较小,枯水期南水道分流比从整治前约61.5%减少到整治后约58.8%。③枯水期南水道分流比减小的主要原因是潜坝的设置束窄了枯水期南水道的过水断面,使得枯水期潜坝处过水断面减少14%~21%,增大了过流阻力,而洪水期随着水位的升高,潜坝对南水道过水断面的影响减小,对分流的影响也减弱。

由此可知,整治工程改变了黑沙洲水道年内分流比的调整过程,落水过程南水道分流比没有像整治前那样随着流量减小而增加,这可能影响落水过程南水道的水流挟沙能力,从而影响其冲淤演变的规律。

4 南水道浅滩演变分析

4.1 南水道浅滩面积变化分析

在建立黑沙洲水道各个测次的数字高程模型(DEM)后,本文应用ArcGIS软件,从DEM中准确地计算并提取了南水道浅滩面积和体积。图8为黑沙洲南水道浅滩面积的变化过程。

从年际变化看,2004—2009年黑沙洲南水道浅滩面积呈减小趋势,从2004年2月21日的160万 m^2 ,减小到2009年3月3日的112万 m^2 ,年平均增长率为-9.6万 m^2/a 。黑沙洲南水道航道整治工程结束后,2009—2012年浅滩面积转为增长趋势,浅滩面积从2009年3月3日的112万 m^2 ,增长到2013年1月18日的157万 m^2 ,年平均增长率为11.3万 m^2/a 。

从年内变化来看,黑沙洲南水道浅滩遵循“洪淤枯冲”的变化特点。由图8可知,在洪水期5—10月,浅滩面积因淤积不断增大。2006,2009和2011年为少沙年,因洪水期来沙量小,浅滩面积增长在25万 m^2 以内,涨幅较小;2004,2005,2010和2012年为多沙年,因洪水期来沙量大,浅滩面积增长超过40万 m^2 ,涨幅较大。而在汛后枯水期11月至翌年4月,浅滩面积因冲刷不断减小。其中,2009和2011年因枯水期流量小、含沙量高,浅滩面积减少在25万 m^2 以内,减幅较小;2004,2005,2006和2010年因枯水期流量较大或含沙量较低,浅滩面积减小超过50万 m^2 ,减幅较大。

4.2 南水道浅滩体积变化

2004年2月21日至2009年3月3日,黑沙洲南水道呈冲刷趋势,期间共冲刷减少417万 m^3 ,平均年冲刷深度7.9 cm/a;整治工程后2009年3月3日至2013年1月18日,黑沙洲南水道呈淤积趋势,期间共淤积549万 m^3 ,年均淤厚15.6 cm。

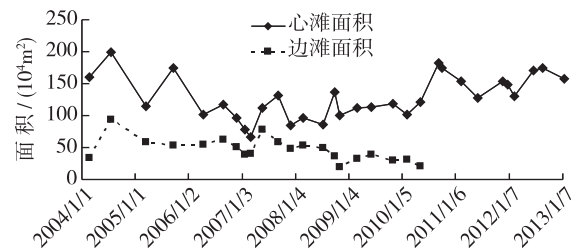


图8 黑沙洲水道浅滩面积变化

Fig. 8 Area changes of shoal in Heishazhou waterway

4.3 南水道浅滩位置变化

黑沙洲南水道的浅滩总体呈椭圆形,浅滩滩头、滩尾以及形心的位置不固定,洪水季节时,滩头多发生淤积上提,滩尾多发生淤积下延。枯水季节时,滩头多发生冲刷后退,滩尾多发生冲刷上提。

黑沙洲南水道整治前后的浅滩轴线对比见图 9。2004—2009 年期间,浅滩长轴与 2004 年 2 月长轴的位置和方位相似,基本稳定在 20° 的方位。2009 年整治工程之后,由于南水道枯水期分流比减少,水动力减弱,滩头向上游淤积发展,面积不断增加,浅滩形状发生较大变化,由椭圆形发展为近似半圆形,浅滩的长轴方位角由整治前的约 20° 增大到 26° 左右。

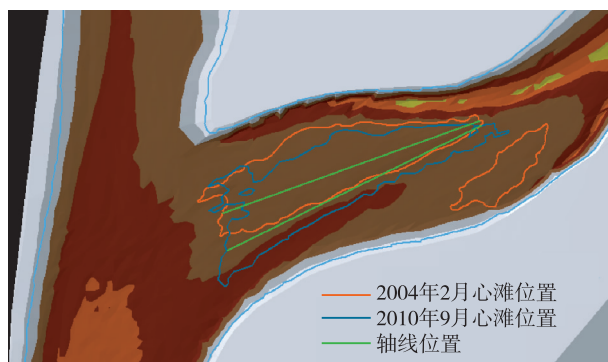


图 9 黑沙洲南水道整治前后的浅滩轴线对比

Fig. 9 Axial contrast of shoal before and after the regulation project

5 工程对浅滩演变的影响

5.1 三峡水库蓄水对南水道浅滩演变的影响

上述分析可知,2004—2009 年黑沙洲南水道发生冲刷,主要原因是三峡水库蓄水改变了黑沙洲水道上游水沙过程^[12]。统计分析了三峡水库蓄水后,大通站 2003—2012 年的年平均和月平均径流量、输沙量。从年际变化情况看,大通站 2003—2012 年平均径流量与蓄水前多年平均相比减少了 3%,变幅不大;但大量泥沙被拦截在水库之内,大通站 2003—2012 年平均输沙量与蓄水前多年平均相比减少了 63%,减幅很大。同时,大通站年内枯水期流量相比蓄水前有不同程度的增加,1,2,3 月大通站的月均流量分别增大了 2 410, 3 109 和 4 361 m^3/s ,增幅分别为 24%,29%和 29%。上游来沙量的减少以及汛后流量增加,都加大了枯水期浅滩的冲刷作用,因此,黑沙洲南水道浅滩总体表现为冲刷。

5.2 南水道航道整治工程对浅滩演变影响

2009 年完成的黑沙洲水道整治工程,不仅改变了南水道的分流比和分沙比,也改变了南水道的水流结构,浅滩演变进入一个新的时期。

护滩工程稳定了浅滩,避免了浅滩及浅滩尾部的大幅冲刷,减小了对下游航道的影响;天然洲头守护工程稳定了南、北两汊分流条件,巩固了黑沙洲水道的河势;左槽内布置潜坝,减少了左槽分流,整治后左槽落淤明显,对比 2012 年 6 月与 2008 年 7 月的地形图可知,左槽-15 m 等深线下挫近 500 m,倒套的上朔发展趋势得到抑制;右槽发生冲刷,右槽进口段-7 m 等深线下延约 650 m。但整治工程也有不利影响,潜坝的设置减小了南水道的分流比,使得南水道进口水动力减弱,南水道浅滩 2009—2012 年间向上游产生了较大面积的淤积。

6 结 语

黑沙洲水道的演变过程大致可分为以下几个阶段:20 世纪 80 年代以前,黑沙洲南、中、北三个水道分流条件基本均衡,主航道在南水道和中水道之间来回调整;80 年代以后,中水道逐渐淤积衰亡,南水道分流分沙比逐渐增大,并在 2004 年以后稳定在 60%左右,主航道一直稳定在南水道。三峡水库蓄水后的 2004—2009 年,上游来沙量的减少以及枯水期流量增大,使黑沙洲南水道的浅滩总体表现为冲刷,但浅滩在年内仍然保持着“洪淤枯冲”的基本冲淤特性。2009 年整治工程后,南水道的航行条件得到部分改善,但整治工程中潜坝的设置增大了枯水期南水道的阻力,使得南水道中、枯水期分流比从整治前的 61.5%左右减少到整治后的 58.8%左右,不利于中、枯水期南水道的冲刷。整治工程后南水道的浅滩演变呈淤积趋势,浅滩的面积和体积有所增大。

综上所述,建议加强黑沙洲水道整治后的观测和演变趋势预测研究分析,及时采取措施,稳定南水道的动力条件,保证南水道航行条件的持续改善。此外,在对长江中、下游的分汊河段进行航道整治时,应注意整治工程对汊道分流比的影响,防止因汊道水动力条件减弱,降低预期的整治效果。

参 考 文 献:

- [1] 罗海超.长江中下游分汊河道的演变特点及稳定性[J]. 水利学报,1989(6):10-18.(LUO Hai-chao. Characteristics of fluvial processes and stability of the braided channel in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Hydraulic Engineering,1989(6):10-18.(in Chinese))
- [2] 刘小斌,林木松,张政权.长江中下游分汊河道主、支汊易位特性研究[J]. 东北水利水电,2006,24(1):55-58.(LIU Xiao-bin, LIN Mu-song, ZHANG Zheng-quan. The characteristics study of the exchange of mainstream and tributary in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Northeast China Water Conservancy and Hydropower,2006,24(1):55-58.(in Chinese))
- [3] 李明,朱玲玲,李义天,等.长江中下游鹅头型分汊河道演变机理及发展趋势研究[J]. 水力发电学报,2013,32(1):174-180,186.(LI Ming, ZHU Ling-ling, LI Yi-tian, et al. Study on evolution mechanism and development trend of the goose-head pattern braided channel in the middle and lower Yangtze River [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013,32(1):174-180,186.(in Chinese))
- [4] 江凌,李义天,葛华,等.荆江微弯分汊浅滩的水沙输移及河床演变[J]. 武汉大学学报:工学版,2008,41(4):10-19.(JIANG Ling, LI Yi-tian, GE Hua, et al. Discharge and sediment transporting and riverbed evolution in slightly curved and multi-branched river reach in Jingjiang reach [J]. Engineering Journal of Wuhan University,2008,41(4):10-19.(in Chinese))
- [5] 刘怀汉,何明宪.三峡工程135 m蓄水运用对长江中航道的影晌[J]. 水利水运工程学报,2003(1):49-52.(LIU Huai-Han, HE Ming-xian. Influences of 135-m-height storage of Three Gorges project on the middle-reach channel of the Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering,2003(1):49-52.(in Chinese))
- [6] 熊明,许全喜,袁晶,等.三峡水库初期运用对长江中下游水文河道情势影响分析[J]. 水力发电学报,2010,29(1):120-125.(XIONG Ming, XU Quan-xi, YUAN Jing, et al. A study of the influences of Three Gorges project's initial operation on river regime of the middle and lower Yangtze River [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2010,29(1):120-125.(in Chinese))
- [7] 何娟,陈立,关洪林.水库下游不同的约束条件分汊河道冲刷调整规律研究[J]. 长江科学院院报,2009,26(5):5-8.(HE Juan, CHEN Li, GUAN Hong-lin. Research on erosion adjustment law of braided reach in downstream reservoir in different constraint conditions [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2009,26(5):5-8.(in Chinese))
- [8] 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.(XU Quan-xi, YUAN Jing, WU Wen-jun, et al. Fluvial processes in middle Yangtze River after impoundment of Three Gorges project [J]. Journal of Sediment Research,2011(2):38-46.(in Chinese))
- [9] 方园皓,张行南,夏达忠.HEC-RAS系列模型在洪水演进模拟中的应用研究[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2011,33(2):12-15.(FANG Yuan-hao, ZHANG Xing-nan, XIA Da-zhong. Research on application of series of HEC-RAS model to flood routing simulation [J]. Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences),2011,33(2):12-15.(in Chinese))
- [10] 陈建峰,杨国丽,王颖.Arc View GIS耦合HEC-RAS模型的应用研究[J]. 河北建筑工程学院学报,2009,27(2):5-7.(CHEN Jian-feng, YANG Guo-li, WANG Ying. Application research of Arc View GIS coupling with a HEC-RAS model [J]. Journal of Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering,2009,27(2):5-7.(in Chinese))
- [11] 李晓军.GIS空间分析方法研究[D]. 浙江:浙江大学,2007.(LI Xiao-jun. GIS research on spatial analysis methods [D]. Zhejiang: Zhejiang University,2007.(in Chinese))
- [12] 许全喜,童辉.近50年来长江水沙变化规律研究[J]. 水文,2012,32(5):38-47,76.(XU Quan-xi, TONG Hui. Characteristics of flow and sediment change in Yangtze River in recent 50 years [J]. Journal of China Hydrology, 2012,32(5):38-47,76.(in Chinese))

Evolution characteristics analysis of Heishazhou southern waterway of the lower Yangtze River

CHEN Dong, CHEN Yi-mei, HUANG Zhao-biao

(*Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China*)

Abstract: In order to study the riverbed evolution characteristics and trends of the braided waterway downstream of the Yangtze River after impoundment of the Three Gorges hydroproject and construction of the regulation works, the measured flow and sediment diversion ratio from 1960 to 2005 and a total of 31 topographic maps from 2004 to 2012 are collected in the Heishazhou waterway studies. A one-dimensional hydraulic model of HEC-RAS is used to calculate and analyze the flow diversion ratio of the Heishazhou southern waterway before and after regulation works. The geographic information system (GIS) and a digital elevation model (DEM) are used to calculate and analyze the changes in the area, volumes and location of the shoal of the Heishazhou southern waterway. The analysis results show that the shoal of the Heishazhou southern waterway was scoured from 2004 to 2009; and the shoal still keeps the characteristics of erosion and deposition after the impoundment of the Three Gorges hydroproject. The flow diversion ratio of the southern waterway during the low-water season is reduced by 1.5% and the shoal evolution trends toward deposition after completion of the regulation works. The research findings can be used as a reference for design and maintenance of the similar waterway works.

Key words: a HEC-RAS model; a digital elevation model; flow and sediment diversion ratio; shoal evolution; regulation works