



长江下游安庆水道航道条件与整治方案

李青云

(长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 近期安庆水道的河床演变表明, 安庆水道进出口狭窄、中间开阔, 河心洲滩发育, 进口主流居中。目前的河势有利于新中汉的发展, 左汊航道条件有向不利方向发展的趋势。因此, 需要对安庆水道实施航道整治工程, 确保航道达到 $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1\,050\text{ m}$ 的标准。采用二维水沙数学模型, 首先, 进行了控制守护方案的计算, 计算结果分析表明护底带和潜坝能够较好地限制新中汉分流; 其次, 进行了各整治方案的计算, 经过对比分析和综合考虑, 提出了航道整治控制守护推荐方案; 再次, 对推荐方案实施的航道条件变化进行了系列年计算、分析, 研究结果可供工程建设参考。

关键词: 安庆水道; 航道整治; 数学模型

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)06-0075-006

Waterway condition and regulation scheme of Anqing waterway in the lower Yangtze River

LI qing-yun

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: Anqing waterway has narrow inlet and outlet but very broad middle part, where develops sandbars. Through the river bed evolution analysis, the talweg now points to the middle of the river, beneficial to the middle branch development and detrimental to the navigation channel conditions. According to the development trend, waterway regulation is needed to ensure that the channel meets the standards $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1\,050\text{ m}$. Firstly, the 2D flow and sediment mathematical model is utilized to simulate the effects of several different control-protection schemes, and the results indicate that submerged dike and bottom protection can limit the development of the middle branch effectively; then, on the basis of effect comparisons, comprehensive consideration is taken to propose a recommended control-protection; finally, the variation of navigation channel conditions is calculated and analyzed by water and sediment series, which can provide information for project constructions.

Key words: Anqing waterway; waterway regulation; mathematical model

安庆水道位于长江下游安徽省境内, 根据《长江干线航道总体规划纲要》, 航道建设标准为 $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1\,050\text{ m}$ (水深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径)。安庆水道是长江下游的重点浅水道之一, 航道条件较差, 尤其在1998和1999年的连续大洪水年, 航道条件恶化, 需采用清障、疏浚等措施才能保证航道畅通。近年来安庆水道航道条件逐渐好转, 但局部河势并未稳定, 一些不利变化仍

然存在, 自然条件下的滩槽变化较剧烈, 航道条件时好时差, 稳定性较差。因此, 为保障安庆水道达到所要求的航道建设标准, 需要对水道实施航道整治工程。

本文在河床演变分析的基础上, 通过二维水沙数学模型对整治工程效果进行了计算, 对比分析了安庆水道不同整治方案的工程效果, 提出了航道建设推荐方案。

收稿日期: 2012-11-20

作者简介: 李青云 (1964—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事水流泥沙及航道整治研究。

1 概况

1.1 河道概况

安庆水道上接官洲河段,下连太子矶河段。安庆河段上起皖河口,下至钱江嘴,河段全长 21.5 km,为首尾束窄中间放宽的微弯分汉型河道,见图1。其中皖河口—魏家嘴,为单一微弯河道,长约10 km。水道两岸土质较好,河势稳定,自然水深充足,主流在皖河口由右侧过渡到左岸靠近安庆港。魏家嘴以下河道逐渐展宽并分汉,水流被江心洲、鹅毛洲分为南北两支,其中北支河面宽阔,水流又被新洲分成左汉和新中汉两汉,左汉为主航道所在。

段,长约10 km。水道两岸土质较好,河势稳定,自然水深充足,主流在皖河口由右侧过渡到左岸靠近安庆港。魏家嘴以下河道逐渐展宽并分汉,水流被江心洲、鹅毛洲分为南北两支,其中北支河面宽阔,水流又被新洲分成左汉和新中汉两汉,左汉为主航道所在。

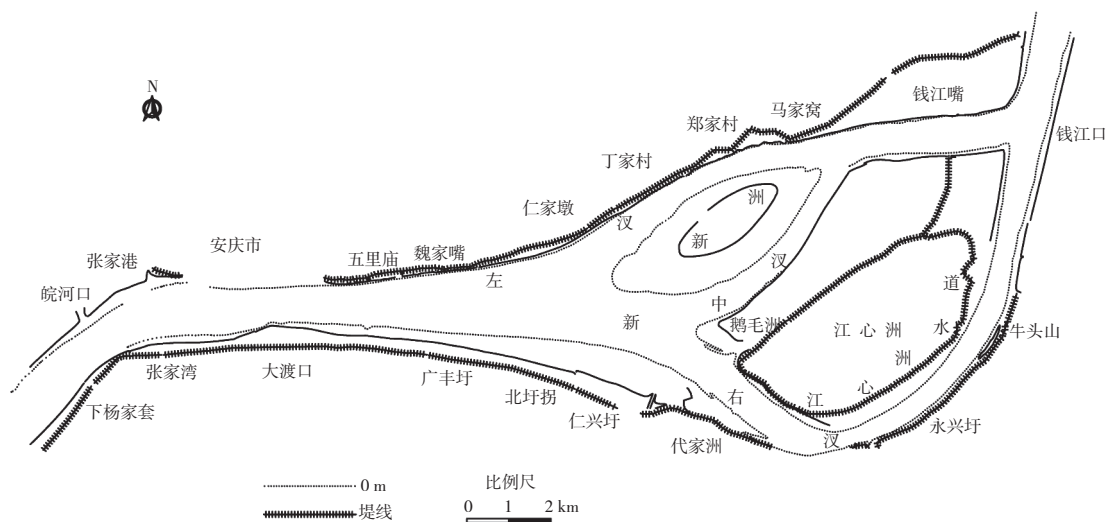


图1 安庆河段

1.2 深泓线变化

官洲河段出口处,水流动力轴线沿右岸而下,在杨家套附近水流向左岸过渡,至张家港完成过渡,此后水流贴左岸下行,至魏家嘴附近,由于水面展宽,河道出现分汉(图2)。

安庆单一段是安庆段中最为稳定的一段,多

年来深泓贴左岸靠近安庆市区的形势长期保持不变。由图可知,单一段深槽下游端的指向随下游沙洲演变而变化,目前深槽正对中汉,有利于中汉发展。江心洲分汉段的左、中两泓分流点变化较大,而汇流点变化很小。左汉深泓历年变化不大,中汉深泓随着新洲的淤长而呈现出向右移动的趋势。

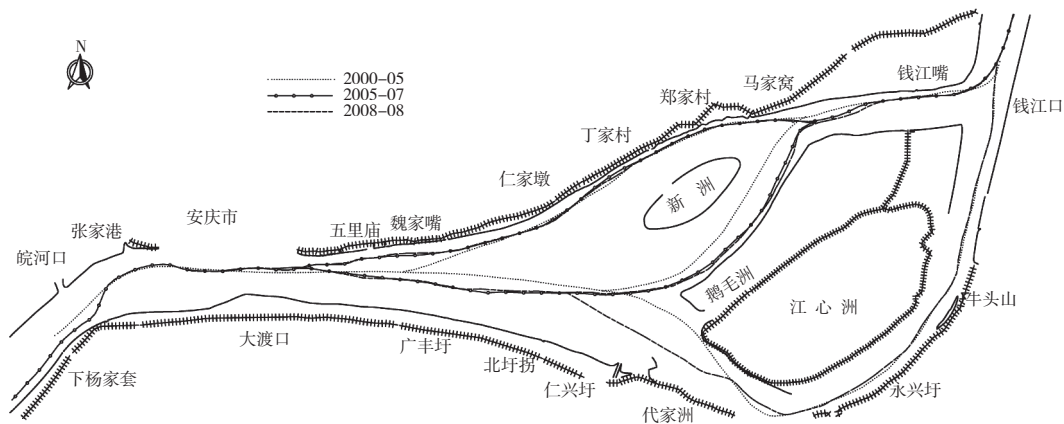


图2 三峡蓄水前后安庆河段深泓线变化

1.3 分流比变化

1981年鹅毛洲和江心洲合并前,水道由鹅毛洲、江心洲分为左、中、右三汉;1981—

1992年,汉道只有左右两汉;1993年后,新洲发育,分汉段又发展为三汉分流。分汉段洲滩呈现出周期性变化的过程,近些年左汉分流比

在40%左右,与1959年相近,但右汉分流比却由两汉格局时的40%左右减小到27%,表明右汉处于淤积萎缩的演变阶段。安庆水道各汉分流比见表1。

表1 安庆水道各汉分流比

时间	水位/m	分流比/%		
		左汉	中汉	右汉
1959-06	12.21	39.12	19.82	41.06
1979-08	10.57	50.42	1.54	48.03
1984-04	8.48	56.55		43.45
1991-04	9.50	54.90		45.10
1993-12	5.90	32.20	25.90	41.90
2000-02	4.80	42.00	29.30	28.70
2005-08	11.22	39.30	33.60	27.10
2008-08	11.01	41.67	30.94	27.38

1.4 航道条件

安庆水道主航道位于左汉,浅区位于左汉进口仁家墩处。浅区在年内遵循“涨淤落冲”的演变规律,2000年以前,浅区碍航主要表现为枯季水深不足,2000年以后,由于新洲洲体的大幅淤积,江心滩高大完整,束水作用加强,浅区得到冲刷。水道枯季航道形势与当年退水期浅区的冲刷幅度密切相关。

连续性方程:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial (C_{\eta} H u)}{\partial \xi} + \frac{\partial (C_{\xi} H v)}{\partial \eta} \right] = 0 \quad (1)$$

水流运动方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial (H u)}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (C_{\eta} H u u) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_{\xi} H v u) + H v u \frac{\partial C_{\xi}}{\partial \eta} - H v^2 \frac{\partial C_{\eta}}{\partial \xi} \right] = & - \frac{g u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} - \frac{g H}{C_{\xi}} \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \\ & \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (C_{\eta} H \sigma_{\xi\xi}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_{\xi} H \sigma_{\eta\xi}) + H \sigma_{\xi\eta} \frac{\partial C_{\xi}}{\partial \eta} - H \sigma_{\eta\eta} \frac{\partial C_{\eta}}{\partial \xi} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (H v)}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (C_{\eta} H u v) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_{\xi} H v v) + H u v \frac{\partial C_{\eta}}{\partial \xi} - H u^2 \frac{\partial C_{\xi}}{\partial \eta} \right] = & - \frac{g v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} - \frac{g H}{C_{\eta}} \frac{\partial Z}{\partial \eta} + \\ & \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (C_{\eta} H \sigma_{\xi\eta}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_{\xi} H \sigma_{\eta\eta}) + H \sigma_{\eta\xi} \frac{\partial C_{\eta}}{\partial \xi} - H \sigma_{\xi\xi} \frac{\partial C_{\xi}}{\partial \eta} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

悬移质不平衡输移方程:

$$\frac{\partial H S_i}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (C_{\eta} H u S_i) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_{\xi} H v S_i) \right] = \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\varepsilon_{\xi}}{\sigma_s} \frac{C_{\eta}}{C_{\xi}} \frac{\partial H S_i}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\varepsilon_{\eta}}{\sigma_s} \frac{C_{\xi}}{C_{\eta}} \frac{\partial H S_i}{\partial \eta} \right) \right] + a \omega_i (S_i^* - S_i) \quad (4)$$

推移质不平衡输移方程:

$$\frac{\partial h S_{bL}}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (C_{\eta} h u S_{bL}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_{\xi} h v S_{bL}) \right] = \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\varepsilon_{\xi}}{\sigma_b} \frac{C_{\eta}}{C_{\xi}} \frac{\partial h S_{bL}}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\varepsilon_{\eta}}{\sigma_b} \frac{C_{\xi}}{C_{\eta}} \frac{\partial h S_{bL}}{\partial \eta} \right) \right] + a_{bL} \omega_{bL} (S_{bL}^* - S_{bL}) \quad (5)$$

三峡工程蓄水前,分汉河段自1959年三汉到1981年的两汉,再恢复到目前的三汉过流,依次经历了中汉形成—发展—右移—衰亡—新中汉生成—发展—右移的一个周期性变化过程^[1]。三峡工程蓄水以来,安庆水道演变规律保持不变,右汉缓慢衰退,左汉与新中汉分流比呈此消彼长的态势,目前正处于新洲向右淤长的阶段,出现了不利于航道条件稳定的变化。表现为新洲形成年代不久,随着来沙量的减少,新洲头部刷低,对左汉进口的束水作用减弱,造成浅滩淤浅^[2]。加之,新中汉的发展,影响左汉分流,使得航道条件向不利方向发展。

2 数学模型建立与验证

2.1 二维水沙数学模型

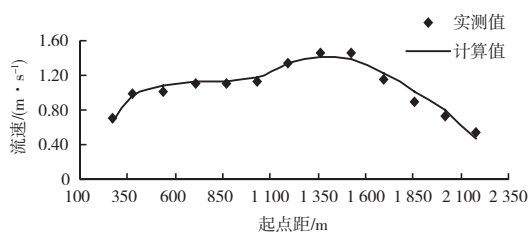
针对河道蜿蜒曲折的特点,选用正交贴体曲线坐标拟合边界^[3-4],以便较好地模拟河道边界,大大减少了废网格。正交曲线坐标系下水流泥沙运动基本方程见式(1)~(5)。采用控制体积法对方程进行离散,得到的离散方程具有良好的积分守恒性,并利用SIMPLER计算式求解耦合方程^[5-6]。有关数学模型的边界条件、动边界处理及数值解法等见文献[6-9]。

式中: u , v 分别为 ξ , η 方向流速分量; Z 为水位; H 为水深; C 为谢才系数; $\sigma_{\xi\xi}$, $\sigma_{\eta\eta}$, $\sigma_{\xi\eta}$, $\sigma_{\eta\xi}$ 为紊动切应力; α_i 为泥沙的含沙量恢复饱和系数; ω_i 为第 i 组泥沙的沉速; S_i 为分组粒径含沙量; S_i^* 为分组粒径挟沙力, ε_{ξ} , ε_{η} 分别为坐标系 ξ , η 方向的泥沙扩散系数, $\varepsilon_{\xi} = \varepsilon_{\eta} = \nu_t$; σ_s 为常数, $\sigma_s = 1.0$; S_{bL}^* 表示第 L 组推移质的挟沙能力; S_{bL} 表示床面推移层的含沙浓度; α_{bL} 为第 L 组推移质泥沙的恢复饱和系数; ω_{bL} 为推移质的沉速。

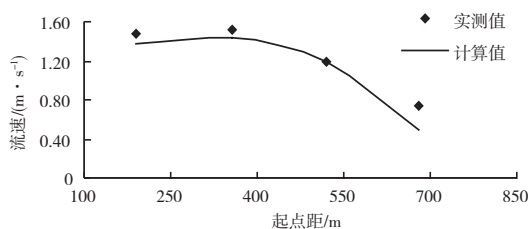
2.2 模型验证

1) 水流验证。

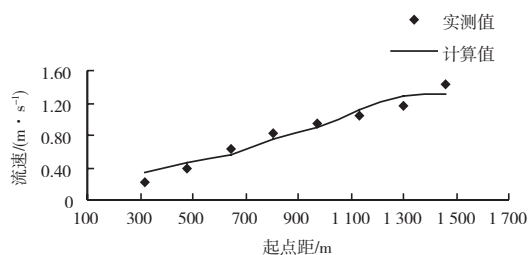
根据收集的地形、水文资料, 分别采用2008年8月和2008年12月两次水文测验资料进行验证计算^[10], 平均河道流量分别为37 419 m³/s和12 056 m³/s。上游进口边界采用实测流量控制, 下游出口边界由实测水位控制。图3分别给出了分汉段进口仁家墩断面和左汉、中汉中部以及右汉进口断面的流速分布, 由图3可见, 典型断面垂线平均流速分布计算值与实测值较为一致, 仅个别点有所偏差。



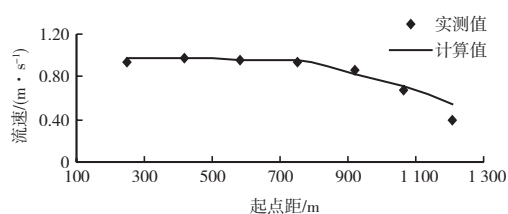
a) 分汉进口断面



b) 左汉中部



c) 中汉中部

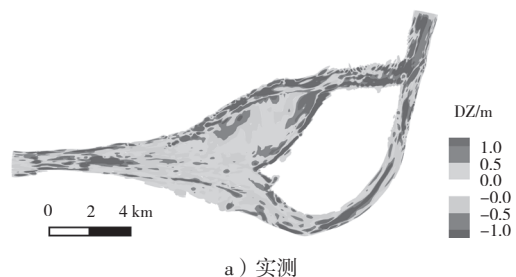


d) 右汉进口

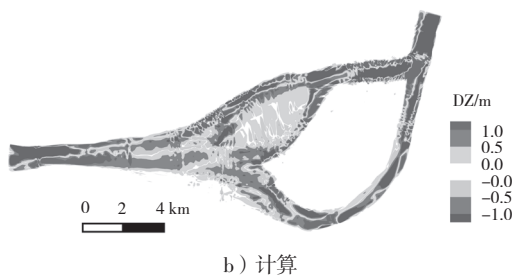
图3 典型断面流速计算值与实测值对比

2) 泥沙验证。

模型验证的进口流量、含沙量由大通站实测过程概化求得, 以每6 d为一个单元取平均值, 概化出每一级流量和含沙量, 出口水位由实测流量-水位关系曲线插补得到。初始地形为2007年12月地形, 验证地形为2009年1月地形, 将2008年全年水沙过程概化成61级流量和含沙量作为验证水沙条件进行施放。涨水期淤积量实测1 127万m³, 计算值为1 186万m³, 偏差5.2%, 落水期冲刷量实测2 269万m³, 计算冲刷量为2 323万m³, 偏差2.4%。实测与计算的冲淤图见图4。



a) 实测



b) 计算

图4 安庆水道实测与计算冲淤分布对比

3 航道整治工程方案

3.1 整治思路

新洲低滩的冲刷和新中汉的发展不利于左汉航道的维护, 同时航道条件好坏与洲滩形态关系密切, 洲滩高大完整则航道条件较好。因此, 本河段的整治思路为: 结合长江河势控制工程,

通过一定的控制守护工程，来守护和稳定洲滩形态，进一步稳定主航道。

3.2 整治方案

为了守护低滩并限制新中汉发展，进行了多组方案研究，本文选取对河势影响较小的3组守护控制方案进行探讨（图5）。

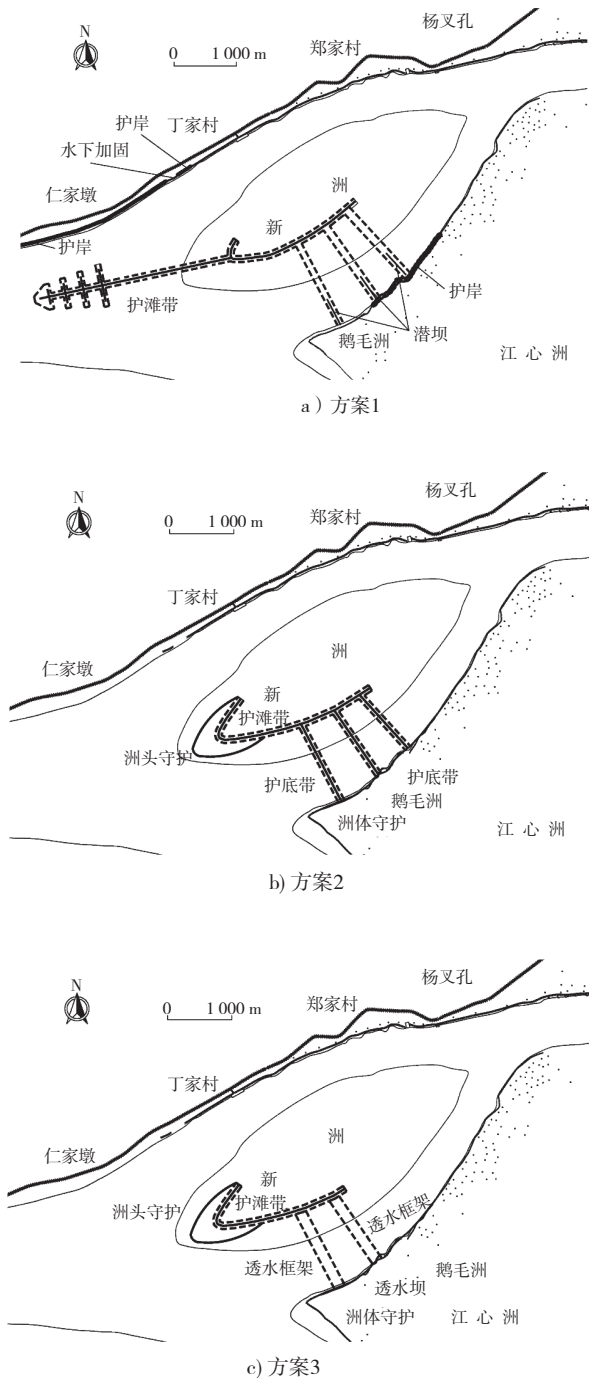


图5 整治方案平面布置

1) 方案1。新洲头部守护工程，包括低滩弧形护滩带、一条长3 144 m的纵向护滩带、以及

4条横向护滩带，自上游至下游长度分别为250,326, 420和533 m；新中汉中上部布置3道潜坝，高程分别为航基面下3,3和5 m；岸线加固工程包括仁家墩一带岸线守护、鹅毛洲左缘中上部和右缘岸线守护以及右汉右岸黄湓闸已护岸线加固。

2) 方案2。新洲洲头守护工程，航基面上6~7 m布置弧形护滩带，并在护滩带头部低滩布置椭圆形护滩带；新中汉中上段3道护底带，长度自上而下依次为1 357,1 222和1 126 m；鹅毛洲头及左右缘守护工程，守护长度4 230 m。

3) 方案3。新洲洲头守护工程和鹅毛洲守护工程布置同方案2；新中汉中上段采用透水框架布置两道透水坝，长度分别为1 357,1 222 m。

3.3 方案效果对比分析

分别对3种方案的水流条件进行计算，结果见表2。由表2可见，各方案实施后，均能达到稳定新洲、控制新中汉的作用。对新中汉限制作用由大到小依次是潜坝、护底带、透水坝，各方案均能增大左汉分流比，其中前两个方案效果略好于方案3。

表2 设计流量下工程实施前后分流比变化 %

方案	左汉分流比变化			新中汉分流比变化		
	工程前	工程后	差值	工程前	工程后	差值
1	59.33	60.85	1.52	24.20	21.32	-2.88
2	59.33	60.93	1.59	24.20	22.14	-2.06
3	59.33	60.26	0.93	24.20	22.99	-1.21

3.4 航道建设推荐方案

综合考虑河势、防洪影响、工程稳定性及工程经济等因素，提出守护控制工程方案2作为推荐方案。

1) 水流条件影响。

整体上，工程以护滩和护底为主，对流场影响不大，对分流比略有调整，水位壅高较小。工程后，左汉和右汉分流比增大，新中汉分流比减小，分流比的改变量随着流量的增大而减小。在设计流量、中水流量和洪水流量下，左汉分流比变幅为0.52%~1.59%，新中汉分流比变幅为-2.06%~-0.69%。与分流比变化相对应，工程实施后左右汉流速增大约0.01~0.03 m/s，新中汉

流速减小,减幅为0.04~0.06 m/s。工程使分汉段进口水位略有壅高,洪水位新中汉进口壅高约0.003 m,可见工程对洪水期水位基本没有影响。

2) 冲淤变化。

为了分析推荐工程方案实施后的整治效果,进行了系列年冲淤计算,图6给出了有、无整治工程时第5 a的冲淤分布图。无工程情况下,新洲右缘淤积,鹅毛洲左缘冲刷,新中汉深泓逐渐右摆;右汉进口相对稳定;新洲头部洪淤枯冲,左汉在一般水沙年份基本满足规划要求,大水大沙年由于泥沙落淤,进口航道变窄。工程实施后,新中汉淤积明显,护底带上游淤积,下游有所冲刷;右汉进口也有所冲刷,深槽基本稳定;新洲头部低滩略有冲刷,左汉进口浅滩冲刷。

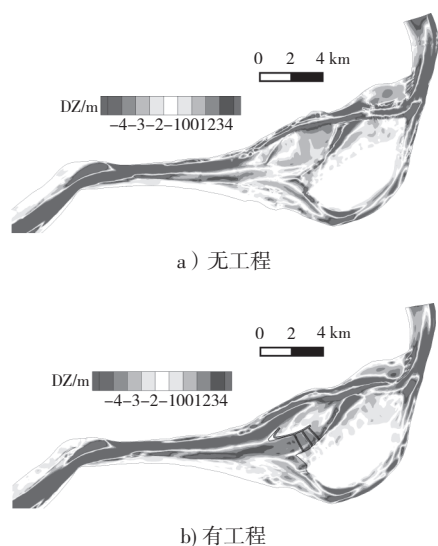


图6 有、无工程条件下河道冲淤情况

3) 航道条件。

工程的实施有效地限制了新中汉的发展,维持了左汉较好的航道条件。从各年末航道条件来看,左汉进口航宽增大,6.0 m水深航宽均能满足200 m,第5和10 a的6.0 m水深线宽度分别为220 m和280 m,满足规划6.0 m × 200 m × 1 050 m的航道尺度要求。

4 结论

1) 安庆水道进出口较窄、中间宽阔,江中洲滩遵循周期性演变规律为:河心洲发育-淤积长大-逐渐右移-并入江心洲-新的河心洲发育。航道

在河心洲体右移及新的洲体尚未发育完整时,水流分散,航道条件较差。

2) 安庆水道河心洲滩发育,目前新洲、江心洲将河道分为左汉、新中汉、右汉三汉,其中左汉为主汉。近年来,新中汉的发展、新洲低滩冲刷同时洲体向右淤长,使左汉航道条件向不利方向发展。

3) 守护控制工程效果的计算研究表明,对新中汉的限制效果由大到小依次为潜坝、护底带、透水坝。综合考虑防洪、稳定性和工程经济等因素,本文建议护底带方案作为推荐方案。

4) 推荐方案数模计算结果表明,工程实施后,有效限制了新中汉的发展,改善了左汉进口浅区航道条件,在系列水文年的作用下,进口浅区能够满足规划航道尺度要求。

参考文献:

- [1] 刘奇峰,刘林.长江下游安庆水道航道整治控制守护工程可行性研究报告[R].长江航道设计研究院,2009:43-64.
- [2] 林承坤,潘少明.长江下游安庆港及其航道泥沙沉积原因的分析[J].中国航海,2004,61(4):5-9.
- [3] 李义天,赵明登,曹志芳.河道平面二维水沙数学模型[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [4] Willemse J B T M. Solving shallow water equations with an orthogonal Eoordinate transformation[G]// Delft Hydraulics Communication, California: Hydraulics Laboratory, 1987.
- [5] 陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社,2001.
- [6] Patankar S V. Numerical heat transfer and fluid flow[M]. Washington, D C: Hemisphere Pub Co,1980:31.
- [7] 谢作涛,张小峰,袁晶,等.一般曲线坐标系平面二维水沙数学模型研究与应用[J].泥沙研究,2005(6):58-64.
- [8] 许慧.丁坝水流数值模拟关键技术研究[D].南京:南京水利科学研究院,2009.
- [9] 陆永军,王兆印,左利钦,等.长江中游瓦口子至马家咀河段二维水沙数学模型[J].水科学进展,2006,17(2):227-234.
- [10] 李国斌,朱振荣,许慧,等.长江下游安庆水道航道整治控制守护工程数学模型研究[R].南京:南京水利科学研究院,2009.

(本文编辑 武亚庆)