

基于 MIKE21 模型的滁河切滩工程 防洪效益研究

陈 璇, 管桂玲, 杨 博, 尹桂平

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210022)

摘要: 工程设计中对于河道切滩工程的防洪效益多以定性分析为主, 通过二维水动力模型定量分析工程的防洪效益, 为工程设计提供参考。采用 MIKE21 模型搭建了滁河干流划子口河河口段二维水动力模型, 并对模型参数进行了率定, 率定结果表明模型可以较好反映该段河道的水动力特点; 通过模型分析了划子口河河口切滩工程实施前后河道水动力特性的变化情况, 结果表明切滩工程实施后可以有效改善该河段水流条件, 增加划子口河分洪道的分洪流量, 减轻滁河干流行洪压力, 工程的局部防洪效益较为明显。

关键词: 滁河; MIKE21; 防洪; 切滩工程

中图分类号: TV131.4

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2019)05-0059-05

Study on the flood control benefit of the shoal – cutting project in Chuhe River Basin using MIKE21 model

CHEN Xuan, GUAN Guiling, YANG Bo, YIN Guiping

(Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, Jiangsu)

Abstract: In the engineering design, the flood control benefits of the river shoal – cutting project are mainly qualitative analysis. The flood control benefit was attempted to quantitatively analyze through the two – dimensional hydrodynamic model, which could be used as a reference for the design of engineering. The two – dimensional hydrodynamic model of Huazikou section of Chuhe River was built using MIKE21 software and the parameters of the model were calibrated. The results showed that the model could better reflect the hydrodynamic characteristics. The changes of hydrodynamic characteristics of river before and after the implementation of the shoal – cutting project of Huazikou River were analyzed. The results showed that the water flow condition could be improved effectively after the project, and the flood discharge of the Huazikou diversion channel was increased, the flood pressure of Chuhe River was decreased. The local flood control benefit of the project was obvious.

Key words: Chuhe River; MIKE21; flood control; shoal – cutting project

滁河位于江淮之间, 为长江下游左岸一级支流, 流域面积约 8000 km², 地跨安徽省合肥市、巢湖市、滁州市和江苏省南京市所辖的 9 个县(区、市), 其中安徽省 6250 km², 江苏省 1750 km²。滁河洪水汇集快而河道泄流不畅, 属洪涝灾害易发区域^[1]。

2008 年大水后, 水利部专门组织开展了滁河治理调研, 在此基础上, 部署了滁河流域防洪治理工作^[2], 其中滁河干流切滩工程是滁河整治工程的重要内容。原有流域规划里对于切滩工程的防洪效益多以定性分析为主, 近年来随着新技术、新方法的出

收稿日期: 2018-03-28

作者简介: 陈璇(1987—), 男, 硕士、工程师, 研究方向为水文及水资源。

现,定量分析的手段逐渐成熟,如朱勤、谈昌莉等按“扩大指标法”分析估算防洪规划方案实施后的多年平均防洪效益^[3],郭凤清、屈寒飞等对滁江蓄滞洪区蓄滞超标洪水时造成的洪水危险性进行快速、动态的量化估算^[4]。本文以滁河干流划子口河切滩工程为例,采用 MIKE21 二维河网水动力模型对切滩段河道进行建模,以模型为抓手量化分析了划子口河切滩工程的工程效益,以供滁河防洪治理工作借鉴。

1 工程概况

划子口河位于滁河干流右岸,为滁河分洪河道,河口上游因多年淤积,形成大片滩地,面积约 0.255 km²,滩地上现建有土埂一道和大片水塘,外侧土埂高程为 8.4~9.3 m,内侧水塘底高程为 4.4~6.0 m。该处滁河河道宽度仅为 80 m 左右,为干流瓶颈段,洪水期过流不畅,同时由于滩地的影响,导致该处流场混乱,洪水进入划子口河须绕过滩地,进水条件差,降低了划子口河分洪道的分流效果;

为了拓宽该段滁河干流河段,同时为了改善划子口河入流条件,本段切滩工程设计将滁河左岸堤防迎水坡脚 120 m 范围外侧高程高于 6.0 m 的滩地进行挖除,切滩的土方用于该处堤前填塘。切滩后新建 6 m 宽子堤,堤顶高程 9.0 m。工程平面布置见图 1。

2 研究方法

2.1 模型原理

MIKE21 模型是基于三向不可压缩和 Reynolds 值均布的 Navier-Stokes 方程,并服从于 Boussinesq 假定和静水压力的假定^[5]。

二维非恒定浅水方程组为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

$$\frac{\partial h \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{u} \bar{v}}{\partial y} = f \bar{v} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left[\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \quad (3)$$

式中: t 为时间; x, y 为笛卡尔坐标系坐标; η 为水位; d 为静止水深; $h = \eta + d$ 为总水深; u, v 分别为 x, y 方向上的速度分量; f 是哥氏力系数, $f = 2\omega \sin \varphi$, ω 为地球自转角速度; g 为重力加速度; ρ 为水的密度; S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} 分别为辐射应力分量; S 为源项; (u_s, v_s) 为源项水流流速。

2.2 建模范围

划子口河河口切滩工程二维模型的搭建范围为:滁河干流划子口河河口以上 1000 m,滁河干流划子口河河口以下 800 m,范围包括了整个切滩工

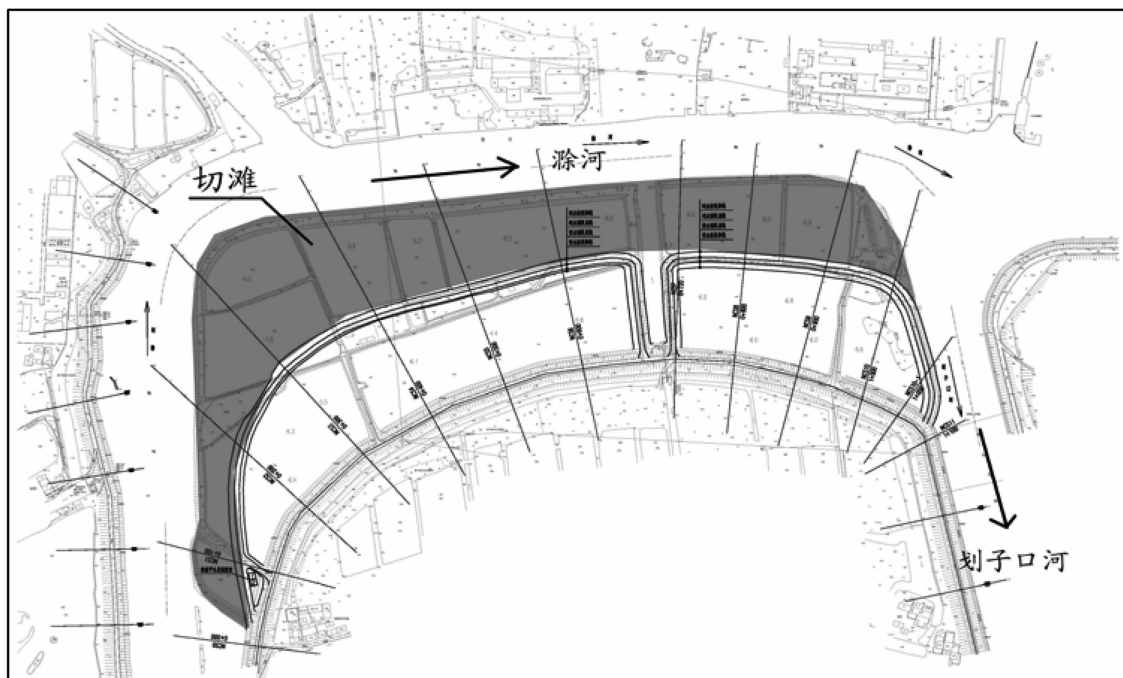


图 1 划子口河入口切滩平面图

程范围,同时为了分析切滩工程对划子口河分洪作用的影响,对划子口河 1050 m 段河段进行建模。

2.3 模型搭建

2.3.1 二维河网搭建

该河段岸线曲折,主槽与滩地形态多变,形状不很规则,为典型的平原浅水河道,本文采用 MIKE21 软件对研究范围进行二维建模,模型依据实测地形数据对河道进行数字化处理,基于较好拟合岸线和计算效率,计算网格由三角形单元构成^[6],所建模型网格节点 6842 个,网格单元 13064 个。根据局部区域的地形特点,采用了不同网格分辨率,滁河干流水域的网格尺度控制不大于 100 m² 范围内,切滩处地形变化明显的区域网格加密,划子口河水域的网格尺度控制不大于 50 m² 范围内,网格方案及水下地形见图 2。

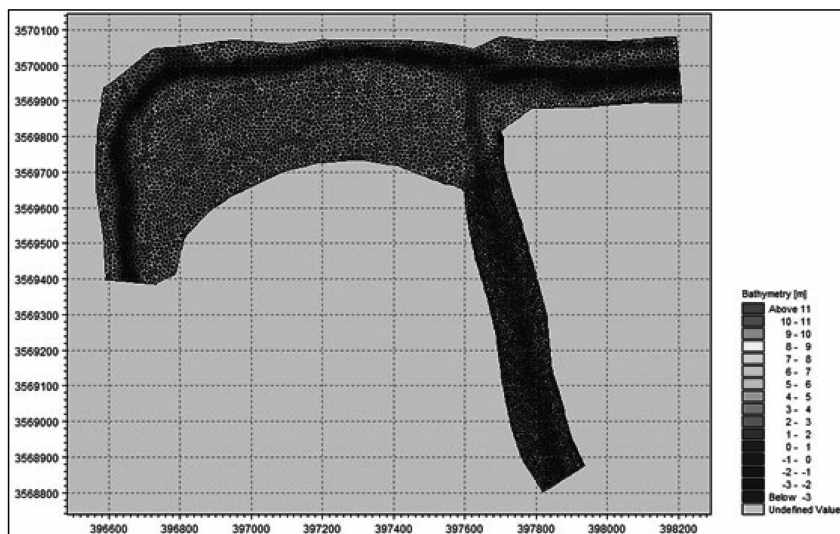


图2 划子口河滩地段现状二维模型图

2.3.2 边界条件与初始条件

本文采用平面二维水动力模型进行分级恒定流数值模拟,依照设计流量与水位边界进行计算。进行给定工况下的分级恒定流水动力数值模拟时,模型上游以滁河干流设定流量为边界;下游以滁河干流水位为边界;划子口河下游受长江水位影响,故取入江口水位作为边界;河床边界为固体边界,采用无滑动条件和不可入条件,给定床面糙率系数,床面阻力采用曼宁公式计算。模型采用冷启动,给定计算区域初始水位,初始流速为 0。

2.4 模型参数率定

考虑到研究区内河道缺乏实测水位、流量资料,无法通过实测资料对模型河道糙率参数进行率定。本次研究以《南京城市防洪规划 2013 ~ 2030》滁河设计洪水专题研究报告中该段河道的下游水

位和上游流量计算成果为边界,进行模型率定,以划子口河和滁河干流分流比为判断条件,若二维模型模拟出的该段河道的分流比与《南京城市防洪规划 2013 ~ 2030》中成果一致,即认为该套参数合理。率定结果见表 1。

从率定结果看,MIKE21 二维模型模拟的 50 年一遇和 100 年一遇洪水,划子口河和滁河干流的分流比基本与《南京城市防洪规划 2013 ~ 2030》滁河设计洪水专题研究报告成果一致,可认为模型参数合理。率定之后确定的河道糙率参数为:滁河干流主槽糙率为 0.022,边滩糙率为 0.04,划子口河河道糙率 0.025。

3 工程效益分析

3.1 数值模拟计算工况

滁河干流切滩工程的效益主要为防洪,本文以流域 50 年一遇洪水和 100 年一遇洪水为计算工况,针对大洪水期间划子口河河口切滩后的河道水动力特性的变化情况进行分析,其中 50 年一遇计算工况为流域 50 年一遇降雨遭遇长江“917”潮位,100 年一遇计算工况为流域 100 年一遇降雨遭遇长江“917”潮位。模型所需要的各工况下的水位、流量边界根据《南京城市防洪规划 2013 ~ 2030》已有成果确定,具体数据见表 2。

3.2 模型结果分析

切滩前后的滁河干流沿线水位结果见表 3 和图 3,从结果看切滩后划子口河河口以上沿程水位有了明显降低,50 年一遇洪水时,水位降幅在 7 ~ 19 cm,100 年一遇洪水时,水位降幅在 8 ~ 19 cm。

切滩前后的滁河干流和划子口河流量结果见

表 1 模型率定成果表

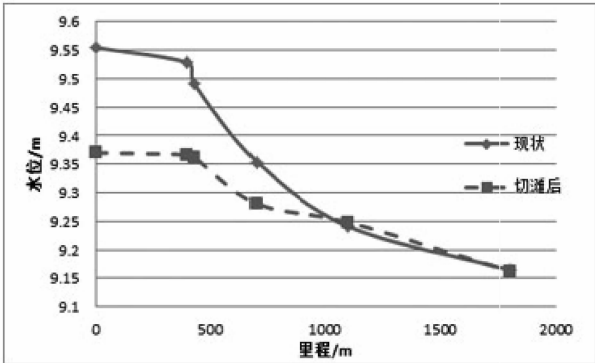
工况	洪水标准	滁河上游入流量 (m^3/s)	划子口河分流量 (m^3/s)	滁河下游出流量 (m^3/s)
二维模型模拟成果	50 年一遇洪水	935	231	704
	100 年一遇洪水	1017	256	761
《南京城市防洪规划 2016~2030》成果	50 年一遇洪水	935	222	713
	100 年一遇洪水	1017	256	761

表 2 各工况下模型边界条件取值

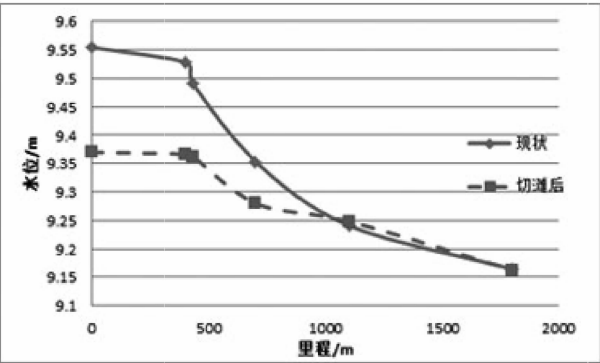
位置	100 降雨遭遇“917”潮位	50 降雨遭遇“917”潮位	边界类型
滁河干流上游(m^3/s)	1017	935	流量边界
滁河干流下游(m)	9.23	9.15	水位边界
划子口河下游(m)	9.20	9.13	水位边界

表 3 切滩工程实施前后滁河干流沿线水位统计表

里程		0+000	0+400	0+430	0+700	1+000 分流口	1+800
50 年一遇	切滩前(m)	9.55	9.53	9.49	9.35	9.24	9.16
	切滩后(m)	9.37	9.37	9.36	9.28	9.25	9.16
100 年一遇	切滩前(m)	9.65	9.63	9.59	9.45	9.33	9.25
	切滩后(m)	9.47	9.47	9.46	9.37	9.34	9.24



遭遇50年一遇洪水时研究区切滩前后沿程水位变化图



遭遇100年一遇洪水时研究区切滩前后沿程水位变化图

图 3 各计算工况下切滩前后滁河干流沿程水位变化图

表 4,从结果看切滩后,遭遇 50 年一遇洪水时,划子口河分流量多了约 $40\text{ m}^3/\text{s}$,遭遇 100 年一遇洪水时,划子口河分流量多了约 $46\text{ m}^3/\text{s}$,可见切滩工程实施后,划子口河分流量有所增加,滁河干流下泄流量有所减少。切滩前后该段河道流速见表 5,流场分布见图 4^[7]。从流场分布图看,切滩后划子口河附近流场变得比较平顺,分流口水动力条件较切滩前有较明显的改善,河口的水头损失小于切滩前,因此分流量有所增加。从流速上看切滩段滁河干流由于过流面积增大,流速有所下降,降幅在 $0.10\sim0.19\text{ m/s}$,滁河干流分流口以下由于流量减

小,流速略有降低。

4 结语

- (1) 将 MIKE21 模型应用于滁河干流切滩工程,通过三角网格对河道地形进行数字化处理,可以很好地模拟该段河道二维流畅的水动力特性。
- (2) 从模型计算结果看,滁河划子口河河口处切滩工程实施后,可以有效降低滁河干流洪水位,局部防洪效益较为明显。
- (3) 划子口河河口处切滩后,该段流场更加顺畅,划子口河の入流条件得以改善,其分洪量有所

表 4 切滩工程实施前后流量统计表

工况	洪水标准	滁河上游入流量	划子口河分流量	滁河下游出流量
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
现状	50 年一遇洪水	935	231	704
	100 年一遇洪水	1017	256	761
切滩后	50 年一遇洪水	935	271	664
	100 年一遇洪水	1017	302	715

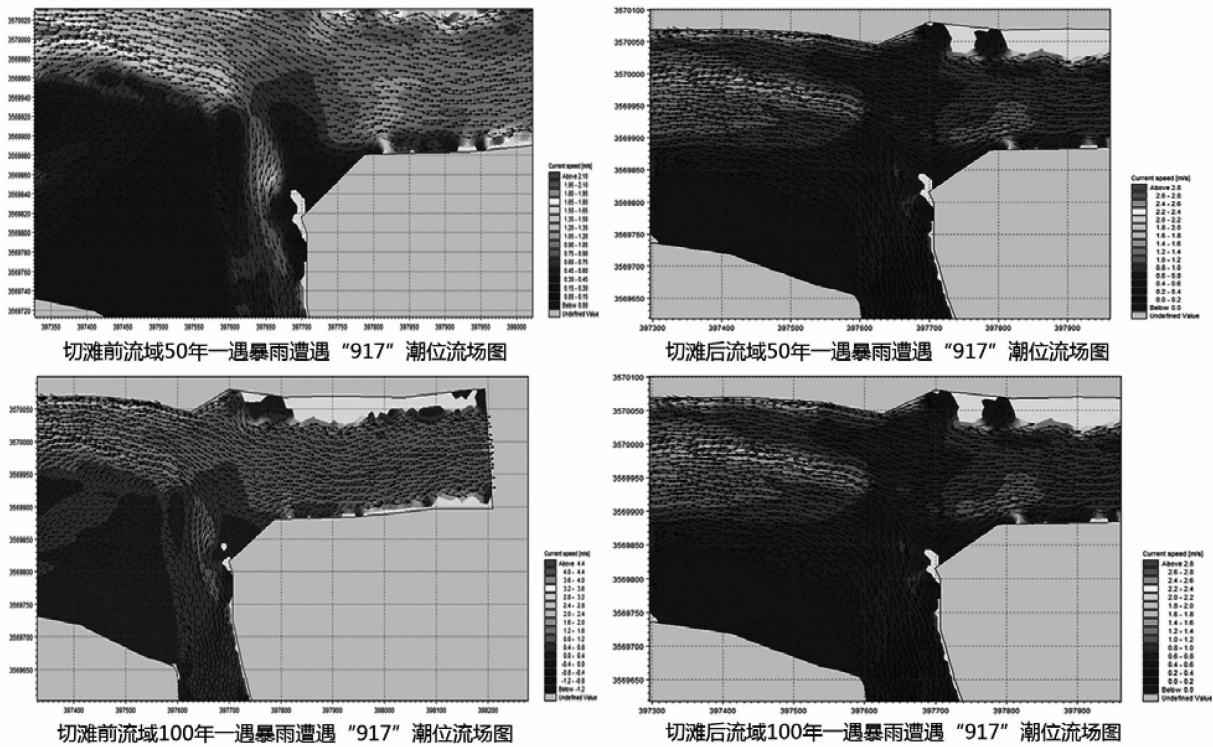


图 4 各工况下切滩前后流场变化图

表 5 切滩工程实施前后滁河干流沿线流速统计表

里程		0 + 000	0 + 400	0 + 430	0 + 700	1 + 000 分流口	1 + 800
50 年一遇	切滩前 (m/s)	1.52	0.90	0.85	1.26	0.91	1.10
	切滩后 (m/s)	1.61	0.71	0.51	0.93	0.66	1.03
100 年一遇	切滩前 (m/s)	1.62	0.91	0.86	1.29	0.97	1.17
	切滩后 (m/s)	1.72	0.75	0.54	0.98	0.69	1.10

增加,可以缓解滁河干流的防洪压力。

参考文献:

[1] 徐维国,蔡正中,朱晓二. 2015 年滁河防洪效益分析及治理对策[J]. 中国防汛抗旱,2015,25(06):23-24.

[2] 褚明华,尚全民. 2015 年滁河洪水的应对启示[J]. 中国水利,2016(05):22-24.

[3] 朱勤,谈昌莉,刘晖. 长江流域防洪规划经济效益分析[J]. 人民长江,2006(09):40-42.

[4] 郭凤清,屈寒飞,曾辉,丛沛桐,耿欣. 基于 MIKE21 的

[5] 许婷. 丹麦 MIKE21 模型概述及应用实例[J]. 水利科技与经济,2010,16(08):867-869.

[6] 梁云,殷峻暹,祝雪萍,黄晓敏. MIKE21 水动力学模型在洪泽湖水位模拟中的应用[J]. 水电能源科学,2013,31(01):135-137+99.

[7] 张志林,贾艾晨. 基于 MIKE21 FM 模型的河道流场图绘制[J]. 东北水利水电,2016,34(10):35-37+70+72.

[8] 江蓄滞洪区洪水危险性快速预测[J]. 自然灾害学报,2013,22(03):144-152.