

某工程河道采砂对防洪评价影响的二维数值模拟

罗蔚, 陈龙

(江西省水利规划设计研究院, 江西 南昌 330029)

摘要: 为评价南昌市大飞机项目填方工程的河道采砂对防洪的影响, 根据江西赣江下游尾间河道特点, 采用二维水动力学模型, 对采区处的水位、流速等水力要素进行求解和率定。结果表明: 采砂工程实施后, 由于该河段设计情况下由湖洪控制, 其水位最大降低值为 0.017 m, 流速最大变化值在 0.20 m/s 以内, 水流动力轴线仅在采区局部河段有一定调整。采砂工程对行洪安全的影响是局部的、有限的。

关键词: 二维水动力学模型; 采砂; 防洪评价; 水流模拟

中图分类号: TV131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2015)06-0410-05

0 引言

南昌市大飞机项目填方工程采砂河段为赣江下游尾间河道南支(见图1)。赣江干流在八一桥下游约 2 km 处被扬子洲分成左、右两汉道。右汉(东河)在赣江铁桥下游约 1.7 km, 分为南支和中支; 左汉(西河)在樵舍附近, 分成主支和北支, 北支在田垅村附近分为官港河和三老官河。从南到北, 赣江尾间河道按南支、中支、官港河、三老官河、主支共五支呈扇型分别汇入鄱阳湖。由于尾间各分汉河道均来源于赣江下游干流, 共汇入鄱

阳湖, 其洪水位(水面线)与上游干流来水、河道断面特性、入湖口起始水位等相互关联, 形成一整体。因此, 其防洪评价计算需进行赣江下游干流与尾间河道全部河段的水面线分析计算。

数学模型是防洪评价的一种重要技术手段^[1]。由于该项目范围较大, 为避免单纯采用二维数学模型研究范围有限、模拟范围越大工作量越大、耗时过长的缺陷^[2], 所以考虑采区河段入口、出口断面边界根据一维河道水面线成果确定, 在采区附近局部河段建立二维水动力学模型, 以研究疏浚、采砂工程实施后在多种频率设计洪水下河道内水位、流速、流向等水动力特征变化规律, 为进一步评价疏浚、采砂工程对两岸防洪、治涝、河势的影响提供参考依据。

1 水流数学模型

水流连续性方程:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor}v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{cor}u$$

式中: u 和 v 分别是沿 x 和 y 方向的垂线平均流速; Z 表示水位; h 表示水深; τ_{xx} 、 τ_{xy} 和 τ_{yy} 是沿水深积分

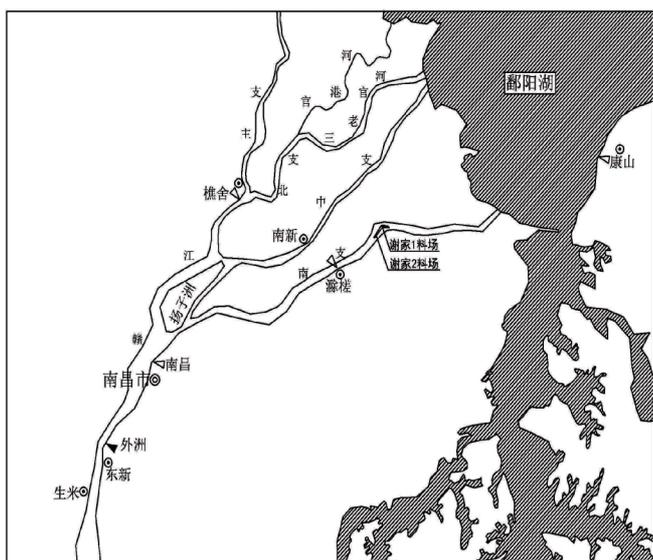


图1 工程地理位置示意

收稿日期: 2015-09-22

作者简介: 罗蔚(1982-), 女, 博士, 工程师。

的雷诺应力, τ_{bx} 和 τ_{by} 是河床剪切力; ρ 为密度; g 为重力加速度; f 为柯氏力。

2 模型应用

2.1 基本情况

本项目谢家料场位于赣江尾间南支吉里万家滩洲右侧,由谢家1和谢家2组成(见图1)。

谢家1料场位于赣江南支右岸吉里万家滩右侧滩洲上,料场左岸为蒋巷联圩,右岸为红旗联圩。该料场布设基本与水流方向一致,呈梯形状,料场面积为 0.34 km^2 ,长约 $1\,350 \text{ m}$,宽约 250 m ,平均高程约 16.8 m 。该料场采用链斗式开采方式,控制开采高程为 11.80 m ,平均开采深度约 5 m ,拟开采量 $170 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。料场边缘距左岸蒋巷联圩 290 m 以上,距右岸红旗联圩 550 m 以上。谢家2料场位于赣江南支右岸吉里万家滩洲上谢家1料场右侧。该料场布设基本与水流方向一致,呈长条状,料场面积为 1.75 km^2 ,长约 $4\,590 \text{ m}$,宽约 380 m ,平均高程约 16.6 m 。该料场采用链斗式开采方式,开采边坡 $1:5$,控制开采高程为 11.80 m ,平均开采深度约 4.8 m ,拟开采量 $770 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。料场边缘距左岸蒋巷联圩 380 m 以上,距右岸红旗联圩 250 m 。

2.2 计算河段及网格划分

计算河段从福银高速跨赣江南支公路桥下游约 1.1 km 处起,至赣江南支出口头河子处,计算河段长约 14.7 km 。

计算网格采用贴体正交网格形式,沿河道纵向布置 177 条网格线,横向布置 70 条网格线,采区所在河段网格线均进行了加密布置,网格节点数为 177×70 个,网格间距纵向为 $22.00 \sim 152.00 \text{ m}$,横向为 $5.40 \sim 42.00 \text{ m}$ (见图2)。网格正交性在岸线剧烈变化处边界附近稍差,其它区域网格节点基本保持正交。

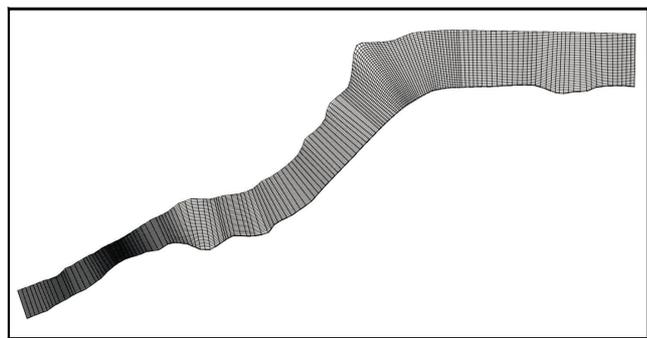


图2 二维网格示意

2.3 工程区概化处理

考虑到前述计算河段网格划分较密,而河道采砂区平面轮廓相对较大,本次评价范围内采砂区共2个:①谢家采区(包括谢家1和谢家2),长约 $4\,700 \text{ m}$,中间宽两头窄,中间宽约 650 m ,两头宽约 $210 \sim 350 \text{ m}$;②长湖1采区,长约 2.2 km ,宽约 $320 \sim 490 \text{ m}$ 。而正交网格尺寸纵向为 $22.00 \sim 152.00 \text{ m}$,横向为 $5.40 \sim 42.00 \text{ m}$,且在采砂区附近网格均进行了加密布置,可见计算网格尺寸小于采区平面尺寸。因此,采用地形修正的方式概化处理采砂区合理可行。

2.4 计算条件

赣江尾间河道水位除受上游来水(即河洪)的影响外,还受鄱阳湖洪水(即湖洪)的顶托影响。本次模拟计算为二维恒定流模拟,边界条件主要为河段进、出口断面边界,上游入口断面边界为恒定流量边界,下游出口断面为恒定水位边界。模拟河段入口、出口断面边界根据一维河道水面线成果确定。本次对50年一遇、20年一遇湖洪及河洪分别进行了模拟计算,各种工况下边界条件详见表1。

计算河段的地形资料为2008年江西省水利规划设计院测量的 $1/5\,000$ 河道地形图及本次采砂论证采区布置图。

表1 计算河段边界条件

序号	洪水频率 (年一遇)	洪水类型	入口边界/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$		出口边界 /(黄海.m)
			工程前	工程后	
1	50	湖洪	1 922	1 944	21.29
2		河洪	6 514	6 643	18.05
3	20	湖洪	1 922	1 944	20.74
4		河洪	5 714	5 826	17.85

2.5 模型验证

由于计算河段缺少水位、流量实测资料,无法直接验证二维数学模型,故采用间接的方法验证,通过对比二维模型计算结果与一维恒定渐变流试算法推求的水面线(河道糙率根据调查洪水反算)来确定二维模型的准确性。几种频率下河洪、湖洪设计洪水水位沿程分布二维模拟成果与一维水面线成果基本一致,最大水位误差在 0.04 m 以下,且二维模拟成果中断面流速分布具备天然河道分布特征,计算河段内水位、流速、佛罗德数、比流量等水力要素无异常变化,说明此次构建的模型能较好反映计算河段水动力特性。

2.6 计算结果

本次计算共选取 50 年一遇、20 年一遇两种频率的河洪和湖洪,按工程前、工程后分 8 种组合情况作为对比计算处理,研究工程实施后对采砂区附近河段洪水位、流速分布、水流动力轴线等要素的影响。

2.6.1 水位

采砂工程实施后,采区处河床有所降低,河道行洪

断面增大,采区及其上游河道洪水位也有所降低,其降幅与河道洪水类型有关,河洪水位降幅较大,湖洪水位降幅较小。各种工况下河道洪水位变化情况如下:

(1)河洪水位。当遭遇 50 年一遇洪水时,计算河段内采区上游河道洪水位均会降低,河道洪水位降低幅度在 0.10~0.60 m 之间,最大降幅为 0.60 m,位于谢家采区上缘,降低幅度超过 0.50 m 区域河段长约 5.0 km,计算范围内吉里万家以上河段降幅均大于 0.3 m。当遭遇 20 年一遇洪水时,计算河段内水位变化情况与 50 年一遇洪水变化基本相似,水位下降区位置及范围没有太大差异。水位最大降幅为 0.497 m。河洪各频率水位变化具体见图 3 和图 4。

(2)湖洪水位。由于湖洪水位主要受鄱阳湖水顶托作用,洪水位较高,且计算河段相应来水流量较小,因此,工程实施后遭遇湖洪时河道内洪水位变幅小于河洪时洪水位变化。当遭遇 50 年一遇洪水时,与河洪类似,采区上游河段内水位同样有所下降,但在水位变幅却有显著差异。水位最大降幅为 0.011 m,位于采区上

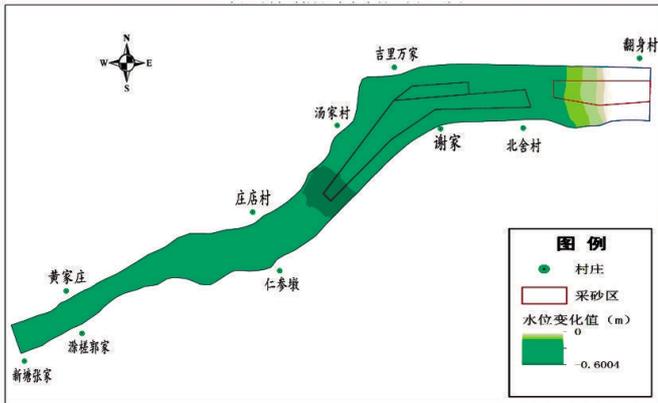


图 3 P=2% 河洪计算河段洪水位变化等值线图

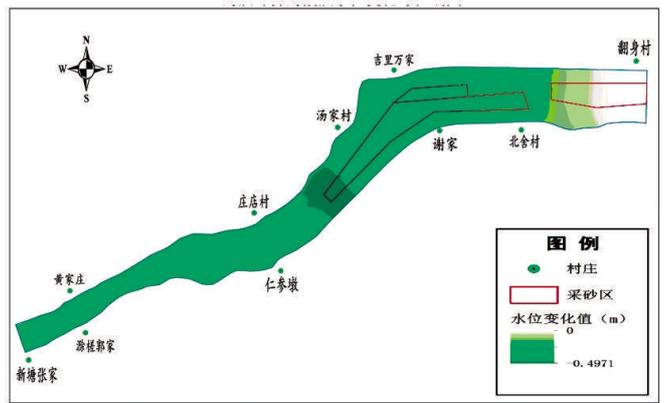


图 4 P=5% 河洪计算河段洪水位变化等值线图

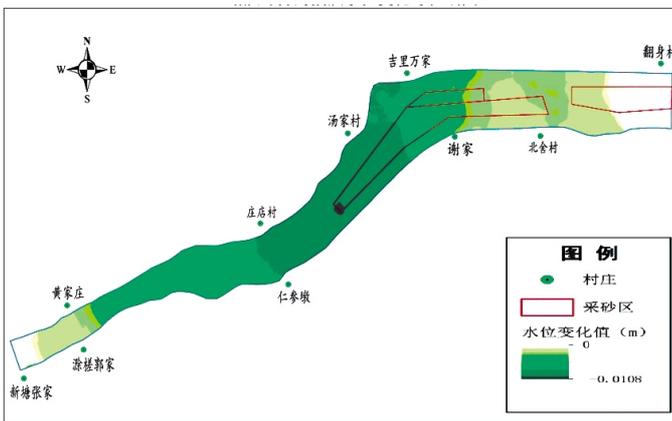


图 5 P=2% 湖洪计算河段洪水位变化等值线图

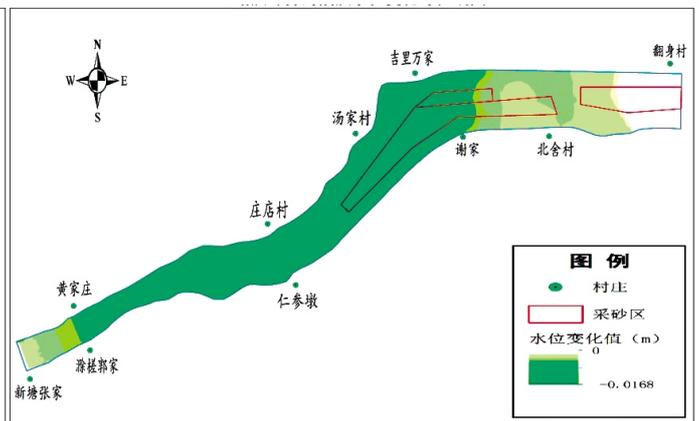


图 6 P=5% 湖洪计算河段洪水位变化等值线图

缘。当遭遇 20 年一遇洪水时,水位变化情况与 50 年一遇湖洪相似,但水位下降幅度较 50 年一遇洪水时略大,这是因为两种频率洪水上游洪峰流量相同,而下游水位 20 年一遇洪水比 50 年一遇低 0.55 m,故河道平均流速相对较大,采砂工程对河道洪水影响也相对较大。20 年一遇洪水时,水位最大降幅为 0.017 m。湖洪各频率水位变化具体见图 5 和图 6。

2.6.2 流速

流速变化的区域主要集中于采区附近河段,变化幅度与河道内水位、流量及平均流速有关,当遭遇河洪时上游河道洪峰流量较大,行洪断面平均流速较大,工程实施后各计算节点的流速变幅也相应较大。各种工况下计算河段流速变化情况如下:

(1)河洪流速。谢家和长湖 1 采区流速增大的区域集中于采区,局部最大增加值为 2.47 m/s,位于谢家采区下缘,流速增加值沿最大增加处向河道下游及河道两岸迅速递减;采区两侧水域流速有所减小,减小最大值约 1.05 m/s,位于左岸主槽处,由于河滩采砂后增加了河滩处行洪断面,采区处水流通量较工程前增加,在上

游河道来水量不变的情况下,采区两侧水流量自然减小,流速也相应降低。另外,水流流向较工程前也发生了一定变化。从图中可以看出,采区所在河段流向出现一定偏转,采区中上部河段流向朝采区方向偏转,采区处流向偏转为顺采区方向,偏转角度 10~30 度,采区下缘局部区域水流挤压向两侧偏转。当遭遇 20 年一遇河洪时,河道内水流速增加区、流速减小区、流向变化分布范围与 50 年一遇河洪差异不大,局部流速增加最大值为 2.6 m/s,减小最大值为 0.94 m/s。河洪各频率流速变化具体见图 7 和图 8。

(2)湖洪流速。当遭遇湖洪时流速变幅小于河洪时流速变幅。由于湖洪时下游湖区洪水位较高,而上游来水较小,故工程前河道内流速相对较小,工程实施后其流速变幅相应也较小。流速变化最大值所在区域与河洪时类似,当遭遇 50 年一遇湖洪时,流速增加最大值位于采区下缘,最大增加值为 0.16 m/s,流速减小最大值位于左岸主槽内,最大减小值为 0.15 m/s;当遭遇 20 年一遇湖洪时,流速最大增加值为 0.20 m/s,流速最大减小值为 0.18 m/s。湖洪各频率流速变化具体见图 9 和

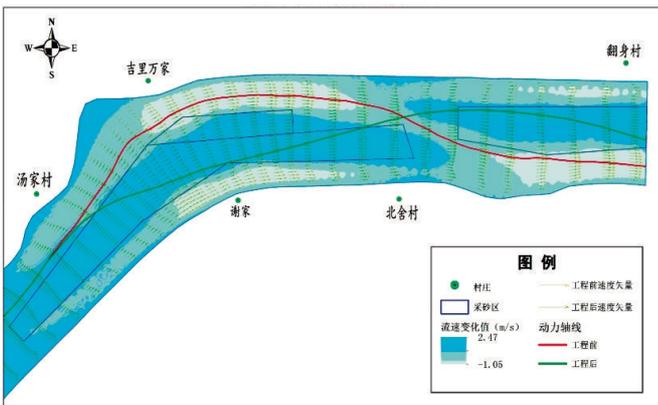


图 7 P=2 %河洪采砂区河段流速变化图

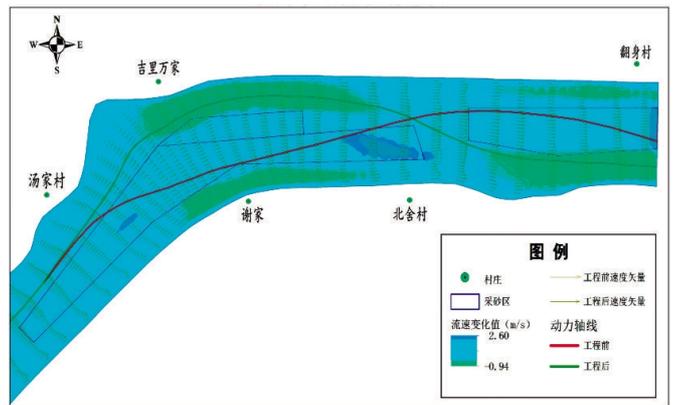


图 8 P=5 %河洪采砂区河段流速变化图

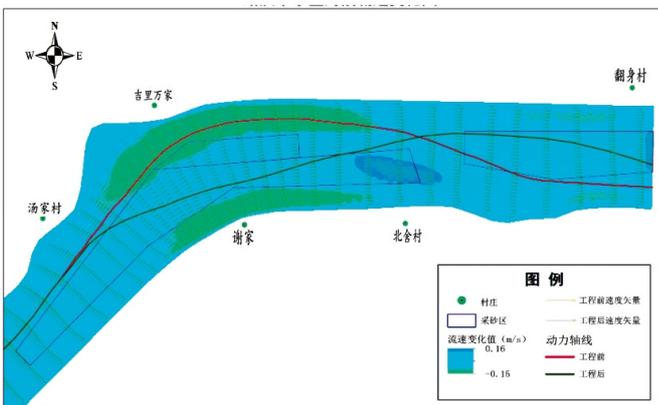


图 9 P=2 %湖洪采砂区河段流速变化图

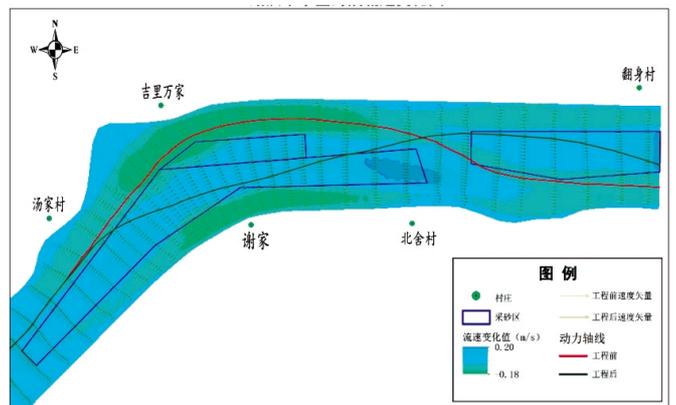


图 10 P=5 %湖洪采砂区河段流速变化图

图 10。

2.6.3 水流动力轴线

水流动力轴线的摆动是影响河床变形和航道尺度变化的重要原因之一。工程实施后谢家和长湖 1 采区附近河段过水断面发生显著变化,采区所在的河滩处水流流速及过流量较工程前显著增加,致使水流动力轴线也发生了一定调整。各种工况下,水流动力轴线在采区附近河段总体均向采区方向偏移,偏移量约 0~500 m,河洪和湖洪偏移量也有一定差异,同频率洪水下河洪偏移量较湖洪偏移略大,但湖洪下水流动力轴线发生变化的河段略长。河、湖洪各频率水流动力轴线变化具体见图 7~10。

3 成果分析与总结

(1)水位。2 %和 5 %河洪情况下水位最大降低值分别为 0.497 m 和 0.60 m,湖洪情况下水位最大降低值为 0.011 m 和 0.017 m;河洪和湖洪情况下,水位最大降幅均位于谢家采区上缘。该河段设计洪水位由湖洪控制,即在设计情况下,水位降低值较小。

(2)流速。工程所在河段,由于行洪断面扩大,断面平均流速有所降低,断面流速分布等也略有调整。2 %和 5 %河洪情况下流速最大增加值分别为 2.47 m/s 和 2.60 m/s,最大减小值分别为 0.94 m/s 和 1.05 m/s;2 %和

5 %湖洪情况下流速最大增加值分别为 0.16 m/s 和 0.20 m/s 之间,最大减小值分别为 0.15 m/s 和 0.18 m/s。计算河段流速增大的区域集中于采区及其下游局部水域,采区两侧水域流速有所减小,由于河滩采砂后增加了河滩处行洪断面,采区处水流量较工程前增加,在上游河道来水量不变的情况下,采区两侧水流量自然减小,流速也相应降低。

(3)水流动力轴线。由于采砂改变采区河道地形,工程实施后水流动力轴线发生一定变化,但根据模拟结果可以看出仅在采区局部河段有一定调整。

通过二维数学模型模拟结果分析可知,采砂工程实施后,采区附近行洪水位、流速分布、水流动力轴线及近岸流速等水力要素变化均不大,工程对行洪安全的影响是局部的、有限的,不会对行洪构成明显威胁。将二维水动力学模型应用在河道整治工程(采砂、疏浚等)的防洪评价中,成果更合理、直观,具有实用价值。

参考文献:

[1] 陈娟,李杰,曹磊.二维水流数学模型在码头工程防洪评价中的应用[J].人民长江, 2010, 41:62-64.
 [2] 朱秋菊,李杰,马志鹏,等.一二维联解潮流数学模型在防洪评价中的应用[J].人民长江, 2012(43):4-6,58.
 [3] 江西省水利规划设计院.南昌市大飞机项目填方工程河道料场采砂可行性论证[R].南昌:江西省水利规划设计院,2013.

2D numerical simulation for flood control evaluation with sand mining

LUO Wei, CHEN Long

(Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Research Institute, Nanchang 330029, China)

Abstract: To evaluate the flood control impact of sand mining project on embankment project of large aircraft in Nanchang, based on the characteristic of on tail reach of the lower Ganjiang River, combined with the requirements of the sand mining project in river, 2D hydraulic model was used to solve and calibrate water level, flow rate, and other factors at the mining area. The results show that after the project is implemented, because the design of the case is under lake flood control, so its biggest lowering of water level is 0.017m, the maximum change of flow rate is within 0.20m /s, the flow dynamic axis only have a local adjustment in the mining area. It is indicated that the sand mining project had a partial, limited influence on the flood control safety.

Key words: 2D hydraulic model; Sand mining; Flood control evaluation; Flow simulation

编辑:张绍付

