

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0052

班美娜,武永新.基于MIKE21 FM的南渡江河口段行洪能力分析[J].南水北调与水利科技,2018,16(2):151-157. BAN M N, WU Y X. Flood discharging capacity of the outlet section of Nandu river based on MIKE21 FM model[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(2): 151-157. (in Chinese)

# 基于 MIKE21 FM 的南渡江河口段行洪能力分析

班美娜, 武永新

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300350)

**摘要:** 为预测并分析滨江西带状公园建设后对南渡江河口段行洪能力的影响, 基于 MIKE21 FM 水动力模块, 建立了南渡江河口段平面二维水流数值模型。首先结合水文站实测洪水资料, 对河口段河道、滩地糙率参数进行率定与验证。将公园模型概化为局部阻力修正和局部地形修正两种方式, 然后分别模拟计算三种潮洪组合工况下河口段水面线和流场变化。计算结果表明, 两种概化方式计算结果基本一致, 公园建设后河道地形和糙率发生变化, 导致水面线壅高和主流流速加大。阻力修正法计算的水面线壅高值稍偏大, 但仍低于左右岸防洪堤设计水位, 没有降低南渡江河口段防洪能力。司马坡岛附近局部出现高流速区, 有必要采取相应的防冲措施。

**关键词:** MIKE 21; 数值模拟; 局部阻力修正; 局部地形修正; 行洪能力

**中图分类号:** TV 143; TV 87 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)02-0151-07

## Flood discharging capacity of the outlet section of Nandu river based on MIKE21 FM model

BAN Meina, WU Yongxin

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

**Abstract:** In order to predict and analyze the influence of the construction of Riverside West Park on the flood discharging capacity of the outlet section of Nandu River, we established a two-dimensional flow numerical model based on the hydrodynamic model of MIKE21 FM. Firstly, we used the measured flood data of the hydrological stations to calibrate and verify the roughness coefficient of the main channel and tidal flats. We adopted local roughness correction method and local topographic correction method as the generalization methods of the park model. Then, we simulated the water level and flow field changes at the outlet section under three typical conditions of flood and tide combinations. The calculation results of the two generalization methods were basically consistent. The topography and roughness of the river channel would change after the park is built, leading to the increase of the water level and main flow velocity. The water level increase value calculated by the local roughness correction method was slightly larger, but the water level was still lower than the design water level of the flood embankment. The construction of the park would not reduce the discharging capacity of the outlet section of Nandu River. A high velocity area would appear near Simapo Island. It is necessary to take corresponding measures to prevent scouring.

**Key words:** MIKE21 FM; numerical simulation; local roughness correction; local topographic correction; flood discharging capacity

城市起源于河流, 繁荣于滨水区域, 同时城市的发展也受其限制<sup>[1]</sup>。城市滨水景观不仅是城市功能需求的反应, 同时也是自然生态的延续, 城市内涵与

文明的体现<sup>[2-3]</sup>。随着计算机技术的发展, 数值模拟方法在河道水流模拟方面日益体现出其周期短、可操作性强、计算精度高、通用性强等优势, 逐渐成为

收稿日期: 2017-08-05 修回日期: 2017-09-17 网络出版时间: 2017-12-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171229.0857.008.html>

作者简介: 班美娜(1991-), 女, 河南新乡人, 主要从事防洪减灾及数值仿真方面研究。E-mail: Banmeina2010@163.com

通讯作者: 武永新(1962-), 男, 山西忻州人, 教授, 主要从事防洪减灾及数值仿真研究。E-mail: 1262577103@qq.com

一种简便可靠的工具<sup>[4,5]</sup>。常见的河流数值模拟软件有荷兰 Delft 大学开发的 Delft3D 软件<sup>[6]</sup>, 美国的水动力学 Sms 模型<sup>[7]</sup> 及目前广泛应用于实际工程计算的丹麦 DHI Mike 系列河道水流模拟软件<sup>[8,11]</sup>。近年来, 许多学者运用二维河流数值模拟方法对南渡江河口段的不同特性进行模拟研究, 并取得满意的结果。许栋<sup>[12]</sup> 等将高分辨的 DEM 地形图像与二维河流数值模拟有机结合, 模拟了不同流量下南渡江河口段江滩的淹没情况。潘中奇<sup>[13]</sup> 基于二维水流模型和二维盐度模型, 较好地模拟了橡胶坝建设前后对河口段水动力特性及盐水入侵的影响。任梅芳<sup>[14]</sup> 等利用 MIKE21 水动力模型, 模拟计算南渡江河口段 6 座跨江大桥桥墩的壅水情况, 并与经验公式计算结果相比较, 建议使用 MIKE21 数学模型计算壅水值。滨江西带状公园的建设将成为海口市发展的助推力与催化剂, 滨江小品景观彰显海口地区特性。为减少工程建设对河道行洪与防洪安全的影响, 因此需要对公园建设后南渡江河口段的行洪能力进行分析。

## 1 研究方法

MIKE21 FM 中的水动力模块采用非结构化网格有限体积法求解二维浅水方程。该浅水方程是沿水深积分不可压缩的雷诺平均 Navier-Stokes 方程, 可以模拟因各种力作用而产生的水位和流速变化及模拟任何忽略分层的二维自由表面流<sup>[15]</sup>。

### 1.1 控制方程

南渡江河口段属于宽浅河道, 平面尺寸远大于垂直尺寸。本模型采用平面二维浅水方程描述河口段的水流运动, 水流数值模型的控制方程在直角坐标系下采用如下形式。

平面二维水流的连续方程为

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = hS \quad (1)$$

平面二维水流的动量方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = f_v h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \\ \frac{\partial h^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \\ \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (2)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ g\eta \frac{\partial d}{\partial x} + f_v h - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + hu_s \\ g\eta \frac{\partial d}{\partial y} - f_u h - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + hv_s \end{bmatrix} \quad (9)$$

对式(4)中的第  $i$  个单元上积分, 并运用高斯原

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = f_v h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \\ \frac{\partial h^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \\ \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $h$  为总水深,  $h = \eta + d$ , 其中  $d$  为静水深,  $\eta$  为河底高程;  $x, y$  为右手笛卡尔坐标;  $S$  为点源流量大小;  $u, v$  为  $x, y$  方向的流速分量;  $u, v$  为沿水深平均的流速;  $t$  为时间;  $f$  为科氏力参数;  $f_u, f_v$  为地球自转引起的加速度;  $g$  为当地重力加速度;  $\rho_0$  为水的相对密度;  $p_a$  为当地大气压强;  $\rho$  为水的密度;  $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$  为四个辐射应力的分量;  $u_s, v_s$  为源汇项水流的流速;  $\tau_{sx}, \tau_{sy}$  为风场摩擦力在  $x, y$  上的分量;  $\tau_{bx}, \tau_{by}$  为河床摩擦力在  $x, y$  方向上的分量;  $T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$  为水平黏滞应力。

### 1.2 数值解法

计算区域的空间离散采用有限体积法, 将连续统一体细分为不重叠的三角形或四边形单元。

浅水方程的积分形式常表示为如下形式:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \Delta \cdot F(U) = S(U) \quad (4)$$

式中:  $U$  表示守恒物理向量;  $F$  表示对流通量;  $S$  表示源项。

在直角坐标系下二维浅水方程组可表示为:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial (F_x^I - F_x^V)}{\partial x} + \frac{\partial (F_y^I - F_y^V)}{\partial y} = S \quad (5)$$

式中: 上标  $I$  和  $V$  分别表示无黏性的和黏性的对流通量。并且  $U, F$  和  $S$  各项的表达式如下:

$$U = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$F_x^I = \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}g(h^2 - d^2) \\ h\overline{uv} \end{bmatrix}, F_x^V = \begin{bmatrix} 0 \\ hA(2\frac{\partial u}{\partial x}) \\ hA(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$F_y^I = \begin{bmatrix} hv \\ h\overline{vu} \\ hv^2 + \frac{1}{2}g(h^2 - d^2) \end{bmatrix}, F_y^V = \begin{bmatrix} 0 \\ hA(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}) \\ hA(2\frac{\partial v}{\partial x}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

理重新写出, 可得到:

$$\int_{A_i} \frac{\partial U}{\partial t} d\Omega + \int_{\Gamma_i} (F \cdot n) ds = \int_{A_i} S(U) d\Omega \quad (10)$$

式中:  $A_i$  为第  $i$  个控制体的面积;  $\Omega$  为定义在  $A_i$  上的积分变量;  $n$  为单位外法向量;  $F_i$  为第  $i$  个控制体的边界;  $ds$  为边界上的积分变量。

式(10)可以改写为:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{A_i} \sum_j^{NS} F_j \cdot n_j \Delta \Gamma_j = S_i \quad (11)$$

式中:  $U_i$  和  $S_i$  分别为  $U$  和  $S$  在第  $i$  控制单元上的平均值;  $n_j$  为控制体第  $j$  个边的单位外法向量;  $NS$  为控制体的边数;  $\Delta \Gamma_j$  为第  $j$  个单元的长度。

## 2 工程概况

海口市滨江西带状公园沿南渡江左岸江滩布置, 公园北起长堤路新埠桥, 南至南渡江大桥, 全长 12.70 km, 西边以南渡江河口段左岸堤防为界, 东至江边, 主要位于堤东侧的江滩绿地上。依据景观设计方案, 带状公园共分为古渡生态公园区(含白沙古渡、红树帆影、蛋家芦韵三景)、椰风活力公园区(含活力琼海、椰风寻鹭、椰岛飞轮、南渡草岸四景)、都市休闲公园区(含欢乐南渡、浪漫椰乡、断桥古今三景)三个园区。其中, 古渡生态公园区总长约 5.70 km, 最大宽度约 318 m, 最小宽度约 14 m; 椰风活力公园区总长约 3.90 km, 最大宽度约 250 m, 最小宽度约 41 m; 都市休闲公园区总长约 3.10 km, 最大宽度约 213 m, 最小宽度约 27 m。根据相关规划设计文件, 滨江西带状公园主要行人游览区域防洪标准为 20 年一遇, 其它滨水部分位于 20 年一遇水位线以下, 带状公园总布局见图 1。

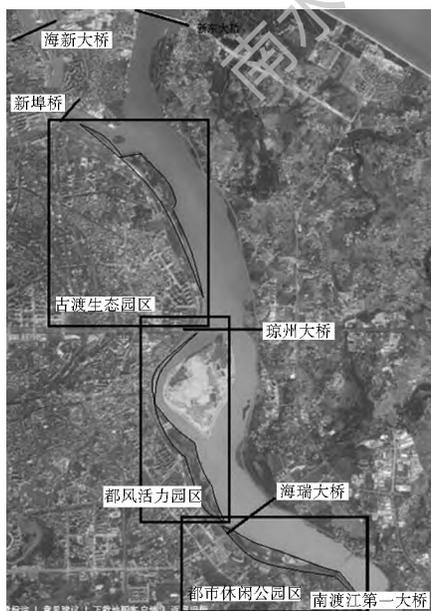


图 1 海口市滨江西带状公园总平面布置

Fig. 1 General plane layout of Riverside West Park in Haikou city

南渡江龙塘电站坝址以下为河口段, 河段长约 26 km, 龙塘水文站的水文资料可直接用于龙塘站以下河段的洪水计算。南渡江河口段左岸堤防按照 100 年一遇防洪标准建成, 始起海口市新埠桥, 止于水娇村, 堤防总长 15.17 km。右岸防洪堤起始于儒范村, 止于麻余村, 共 14.98 km, 防洪标准为 30 年一遇洪水。南渡江河口段处于河口冲积及滨海沉积平原, 河床宽浅, 坡降平缓, 从上游依次出现顺直分汊河段、弯曲型河段、弯曲分汊型河段和河口三角洲分汊河段等四种类型。在两岸防洪堤形成的新河势下及近年来无序采砂得到有效的控制后, 南渡江河口段河床基本保持稳定。河段在纵向变化上虽有冲有淤, 冲淤相间, 但变化幅度较小, 属冲淤变形较稳定的河段。

## 3 计算模型构建

### 3.1 模型计算范围及网格划分

模型计算范围自东环铁路南渡江特大桥至河口以外 15 m 水深海区, 计算河段全长约 28.0 km, 其中南渡江干流计算河长约 18 km。模型采用 1:1000 的南渡江河道实测 CAD 地形图、1:500 桥梁实测 CAD 地形图、滨江西带状公园现状实测地形资料。采用三角形非结构化网格, 司马坡岛、左岸带状公园及河口三角洲分汊处进行网格加密, 网格边长为 20 m, 主河道网格边长 30~50 m, 共计 15100 个网格。模拟时间段为 2015 年 2 月 1 日 0:00~5 日 4:00, 时间步长为 60 s, 模拟步数为 6000。计算区域网格剖分见图 2。



图 2 计算区域网格剖分图

Fig. 2 Triangle mesh dissection of calculation area

### 3.2 边界条件

计算模型的上游边界采用龙塘滚水坝下泄流量控制, 下游边界采用潮位控制。司马坡岛在大洪水时可部分或完全淹没, 在计算时采用动边界技术模

拟司马坡岛的淹没状态,使用限制水深的方法处理活动边界问题,即:将计算网格分为干、湿和半干三类,网格水深  $h < h_1$  时为干网格,  $h_1$  可取 0.005 m; 在网格水深  $h_1 < h < h_2$  时为半干网格,相邻单元界面上只有流量通量而没有动量通量,  $h_2$  取为 0.1 m; 网格水深  $h > h_2$  时为湿网格。

《海口市防洪(潮)规划报告》<sup>[16]</sup> 研究表明,南渡江的洪水多由台风暴雨形成,但南渡江流域集雨面积大,洪峰汇集时间较长,松涛建库蓄水后,汇流时间缩短为 32~45 h。风暴潮来去时间短暂,最高潮位驻留不足 0.5 h,因此风暴潮与龙塘洪峰遭遇的机会很小,且河口分汊段以下河段百年一遇洪水水位普遍高于百年一遇风暴潮位。而天文潮与洪水的遭遇是必然的,即使洪水与天文潮遭遇,河口段水位仍由洪峰流量控制。因此,本次计算中与洪水遭遇的潮水位频率均低于洪水频率,各工况洪峰流量与潮位组合见表 1。

表 1 洪潮遭遇组合

Tab. 1 The combinations of floods and tides

工况	洪水频率(%)	洪峰流量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	潮水频率(%)	潮水位/m
I	1	10 500	10	2.63
0	3.33	8 320	多年平均	2.00
0	5	7 570	多年平均	2.00

### 3.3 河道糙率率定与验证

江滩绿地及司马坡岛上分布有大面积的植被、树木,在模拟计算江滩绿地及司马坡岛淹没状态下的水流运动时,应根据植被分布状况选择相应的糙率模拟不同植被对水流的阻力,切实反映南渡江河口段水流运动过程。南渡江河口段河道没有实测的糙率,因此需要根据历史水文资料对糙率进行率定,进而确定河道糙率分布。数学模型对 2000 年和 2008 年两次洪水的洪水水面线进行了验证。其中 2000 年龙塘站实测最大洪峰流量  $9\,300\,m^3/s$ , 在 50 年一遇与 100 年一遇之间; 2008 年最大洪峰流量  $5\,700\,m^3/s$ , 接近 10 年一遇。模型上、下游分别以龙塘站实测流量和河口实测潮位为边界条件,进行两次洪水水面线的验证。

进行 2000 年洪水模拟计算时,参照《天然河道糙率  $n$  值》表<sup>[17]</sup> 选择相应的糙率模拟不同植被对水流的阻力,采用的河道沿程糙率见表 2,洪水水面线验证结果见表 3。结果显示,模型计算的沿程洪水水位与实测值相差均在 5 cm 以内,相对误差在 0.19%~0.85% 之间,满足洪水水面线验证的精度要求。同样以 2000 年洪水计算采用的模型糙率对

2008 年洪水水面线进行了验证。计算结果与实测值相差也在 5 cm 以内(见表 4),相对误差在 0.21%~0.88% 之间,同样满足要求。接近 10 年一遇和接近 100 年一遇等不同水位的验证结果表明,建立的数学模型能够客观复演南渡江河口段流场和洪水过程,具备进行不同重现期洪水计算的能力。

表 2 南渡江河口段糙率率定结果

Tab. 2 The calibration results of roughness coefficient in the outlet section of Nandu River

断面位置	断面间距/km	主槽糙率	江滩糙率
外敦村	0.000	0.030	0.050
麻余村(分流口)	2.250	0.030	0.050
儒房村	4.810	0.030	0.050
司马坡岛	8.250	0.035	0.050
铁桥	12.52	0.040	0.050
尚道村	14.50	0.035	0.050
儒范村	17.97	0.035	0.050
横沟河	全段	0.030	—

表 3 2000 年洪水水面线验证

Tab. 3 The verification of water level for the flood in 2000

断面位置	断面里程 / km	实测水位 / m	模型计算水位 / m	差值 / cm
新埠外坪村	0.000	5.200	5.190	1.00
新埠外滩渡口	1.800	5.400	5.354	4.60
儒房渡口	5.300	5.860	5.832	2.80
流水陂沙场	6.300	6.040	6.007	3.30
攀丹水厂	8.300	6.400	6.372	2.80
赵村	11.00	7.140	7.096	4.40
南渡江铁桥	14.40	7.670	7.640	3.00

表 4 2008 年洪水水面线验证

Tab. 4 The verification of water level for the flood in 2008

断面位置	断面里程 / km	实测水位 / m	模型计算水位 / m	差值 / cm
新埠外坪村	0.000	3.580	3.565	1.50
新埠外滩渡口	1.800	3.840	3.848	-0.80
儒房渡口	5.300	4.410	4.398	1.20
攀丹水厂	8.300	4.770	4.758	1.20
赵村	11.00	5.080	5.128	-4.80
铁桥	13.30	5.470	5.434	3.60
南渡江第一大桥	14.40	6.190	6.170	2.00

### 3.4 滨江西带状公园概化方式

滨江西带状公园由三个园区十处景致共同构成“活力滨江生态休闲观光带”。公园之中既有亭台、汀步、栈道等阻水建筑物,又有大面积的植物草被。概化方式既不同于单纯的江滩绿地,又区别于纯粹的桥梁、堰、涵等水工建筑物。由于目前公园还在初步设计阶段,没有详细的设计资料。因此将公园概

化为两种不同的方式进行模拟计算:(1) 公园区域局部糙率修正, 根据各个景点布置区域选择合适糙率来模拟公园对水流的阻力<sup>[18]</sup>; (2) 公园区域局部地形修正法, 将公园区的局部地形高程增加到略高于公园建设前 20 年一遇洪水水位高程来体现公园对水流的阻力。

参照《各种材料明渠糙率  $n$  值》<sup>[17]</sup> 表及《海口市滨江西带状公园景观设计方案》报告, 古渡生态园区主要保持现状的农田及红树林保护区, 建议糙率值取 0.070, 公园建设前 20 年一遇洪水水位最大高度约 5.0 m; 椰风活力园区由不同类型的小品景观组成, 建议糙率值取 0.150, 公园建设前 20 年一遇洪水水位最大高度约 5.75 m; 都市休闲公园区主要以大型休闲广场为主, 建议糙率值取 0.10, 公园建设前 20 年一遇洪水水位最大高度约 6.25 m。根据带状公园不同园区的建设方案, 局部糙率和地形概化参数见表 5, 修正后的计算区域的参数分布见图 3。

表 5 公园概化参数

Tab. 5 The generalization parameters of the park

园区名称	局部糙率概化	地形概化高程/m
古渡生态公园区	0.07	5.50
椰风活力公园区	0.15	6.25
都市休闲公园区	0.10	6.75

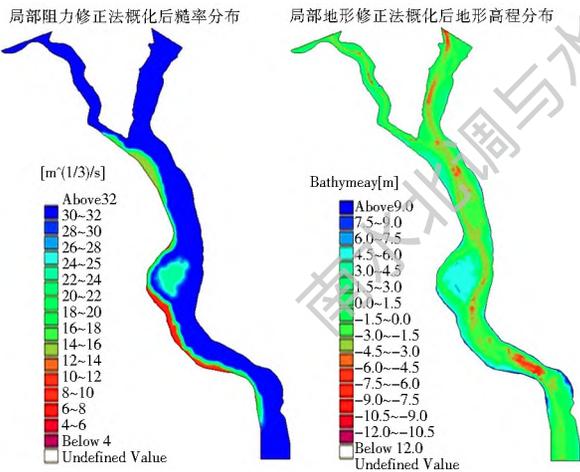


图 3 公园概化后参数分布

Fig. 3 Distribution of parameters after generalization of the park

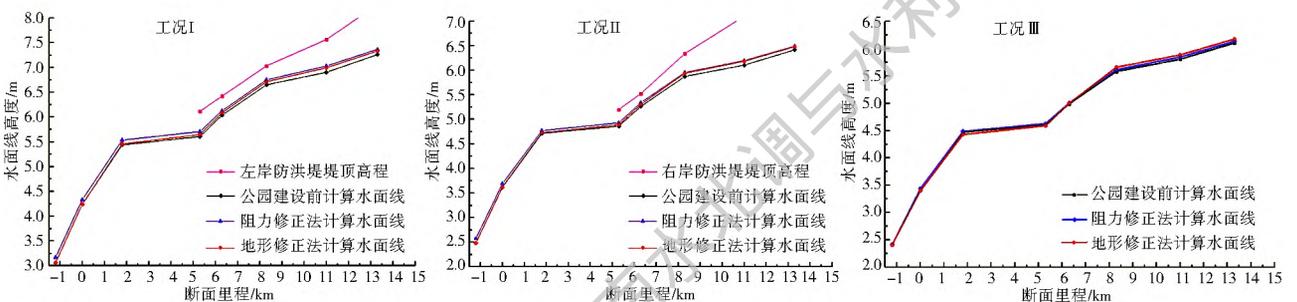


图 4 各工况下水面线对比

Fig. 4 Comparison of water surface under different working conditions

### 3.5 桥墩的概化模型

模型计算范围内南渡江河口段共有 6 座跨江大桥。MIKE21 FM 模拟计算中, 局部建筑物桥墩对水流的影响是通过桥墩所在单元增加拖曳力求出的。在进行计算时, 桥墩的位置由一个点定义, 需要设定的参数有桥墩的位置、流线系数、桥墩垂向断面的分段数及桥墩的角度等。模型可以很好的拟合复杂地形, 计算结果合理满足精度要求<sup>[19-20]</sup>。

## 4 计算结果与分析

南渡江河口段江滩绿地开发为公园后, 河道糙率及河道地形改变, 导致河道水面线和流速发生变化。以公园起点新埠桥为零断面, 提取公园起点下游 1.5 km 至公园终点上游 1.5 km 范围河道水面线高程。分析图 4 计算结果, 局部阻力修正概化方式在 3 种工况下水面线均呈现壅高现象, 而局部地形修正概化方式在工况 0 时局部水面线低于公园建设前。工况 I 时, 局部阻力修正法计算水位线高于局部地形修正法计算结果, 对上游壅水的影响范围略大于局部地形修正法。局部阻力修正法水位线至计算范围上游边界最大壅水高度 9.85 cm, 而局部地形修正法至计算上游边界壅水高度由 9.25 cm 降为 8.30 cm, 均低于南渡江河口段左岸防洪堤堤顶高程, 不会出现漫堤情况。在工况 0 情况下, 两种概化方式模拟结果基本接近, 最大壅水高度约 7.80 cm, 均低于右岸防洪堤堤顶高程。且在 1970-1990 年期间, 由于上游松涛水库、中游水土流失治理及下游龙塘滚水坝建设, 导致来沙量逐年减少, 特别是大量开采河砂的影响, 南渡江河口段河床泥沙持续减少, 河床下切。河道深泓线已明显降低, 河口段河道比降已由 0.35‰ 降至 1995 年的 0.294‰。在工况 0 时, 局部地形修正概化方式计算水面线在古渡生态园区上游段的 1.8 km 范围内水面线略低于公园建设前。分析原因可能是 20 年一遇洪水时, 洪峰流量较小, 公园局部高地类似桥墩阻水, 且附近建设有

琼州大桥,在其下游处出现了较明显的跌水。此区域在司马坡岛下游,流速较公园建设前增加比较明显,造成水面线略低于公园建设前。

分析图 5,两种概化方式下流速计算结果基本一致。不同洪水重现期最大流速由 2.25~2.68 m/s 增大至 2.49~2.91 m/s(局部阻力修正法)、2.45~2.89 m/s(局部地形修正法)。综合分析图 5-图 8,公园建设后南渡江流速的增大主要出现在主河道深泓区,两岸岸坡处流速平均整体增大幅度相对较小,使得主流越集中于主河道深泓区,水流流向与河道

深泓线走向趋于一致。

司马坡岛为河口段江心洲,左汊建设公园后,过水断面面积减小相对较大,流速增加比较明显。在司马坡岛中下游局部出现了高流速区,未来拟建司马坡岛文体基地时,增大了司马坡岛护岸防冲保护的的压力。司马坡岛周围水流场矢量图(图 6-图 8)显示,两种概化方式下司马坡岛右汊流场密集程度明显加大,高流速区出现在岛尾,在两汊水流汇流区,流速差形成压差,主流线左移,对附近左岸防洪堤护岸前沿存在冲刷危险,但对防洪堤安全不构成直接危害。

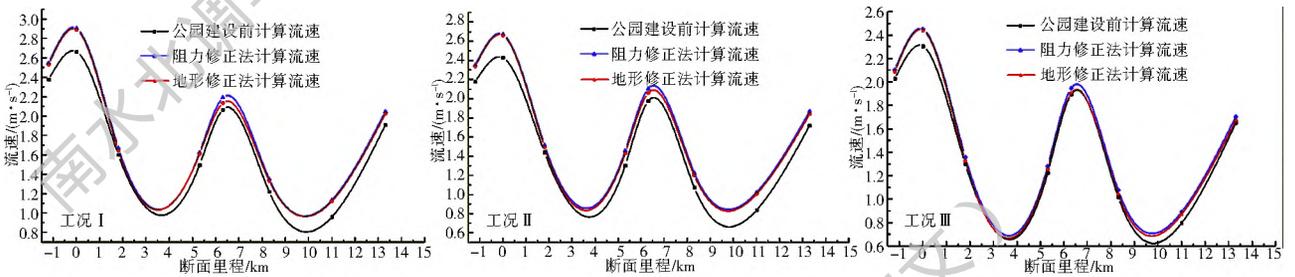


图 5 各工况下流速对比

Fig. 5 Comparison of velocity under different working conditions

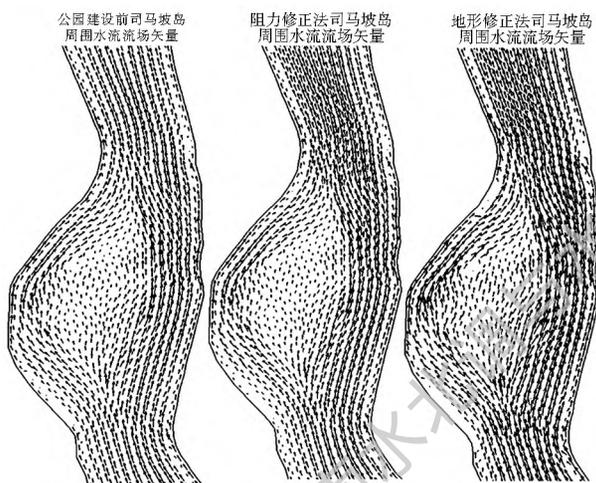


图 6 工况 N 下司马坡岛周围水流场矢量

Fig. 6 The flow velocity distribution near Simapo Island under working condition N

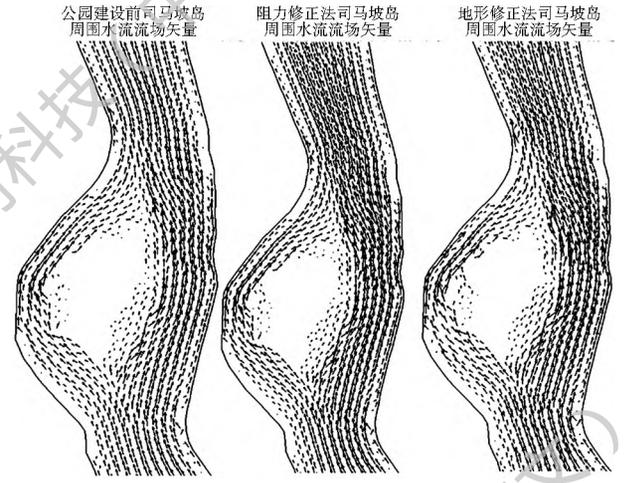


图 8 工况 0 下司马坡岛周围水流场矢量

Fig. 8 The flow velocity distribution near Simapo Island under working condition 0

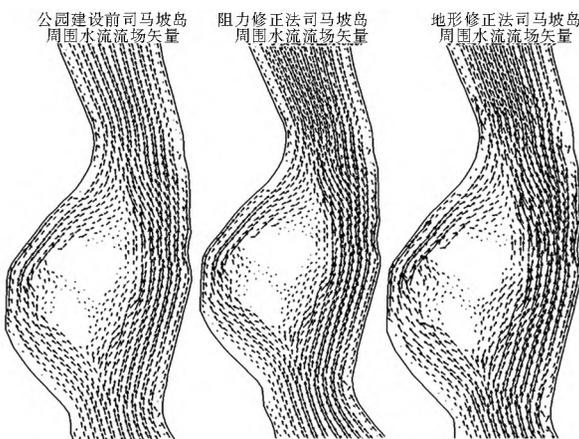


图 7 工况 0 下司马坡岛周围水流场矢量

Fig. 7 The flow velocity distribution near Simapo Island under working condition 0

## 5 结论

本文基于 MIKE21 FM 水动力模型,模拟分析了海口市滨江西带状公园建设对南渡江河口段行洪能力的影响。同时,对 MIKE 21 FM 模型模拟河口段水动力的过程进行了研究,得到如下结论。

(1) 根据 2000 年和 2008 年历史洪水资料完成了对河口段河道模型糙率的率定和验证。模拟结果与历史资料吻合,MIKE21 FM 模型可以很好地模拟河口段水位变化且具有较高计算的精度。

(2) 两种概化方法计算结果均表明,公园的建设将导致南渡江河口段水面线有较轻的壅高现象,但建设后的水面线仍低于左右岸堤防堤顶高程,因此该

工程的实施没有降低南渡江河口段河道的泄洪能力。

由于公园还在规划设计阶段,此次模拟计算对公园的糙率及边界概化略显粗糙,未来拟根据公园的建设详图,进一步优化模型与参数,为公园设计提供参考依据。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘杰. 地域文化在城市滨水景观中的表达研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014. (LIU J. Expression of regional culture in urban waterfronts landscape[D]. Chongqing: Southwest University, 2014. (in Chinese))
- [2] 李妍. 地域文化对城市滨水景观的影响[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2014. (LI Y. Influence of the regional culture to the city waterfront landscape[D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2014. (in Chinese))
- [3] 李梦依. 城市滨水景观设计生态理念与材料运用[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014. (LI M Y. Urban waterfront landscape ecological design concept and application of materials[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2014. (in Chinese))
- [4] 肖毅, 邵学军, 周刚, 等. 考虑河岸植被影响及变形的河流形态数值模拟研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 149-153, 159. (XIAO Y, SHAO X J, ZHOU G, et al. 2D Mathematical modeling of fluvial processes considering influences of vegetation and bank erosion[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(6): 149-153, 159. (in Chinese))
- [5] 史莹, 江春波, 陈正兵, 等. 弯曲河道对水流流态影响数值模拟[J]. 水利学报, 2013, 44(9): 1050-1057. (SHI Y, JIANG C B, CHEN Z B, et al. Numerical simulation of flow pattern in meandering rivers[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(9): 1050-1057. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2013.09.007.
- [6] 黄庆超, 石巍方, 刘广龙, 等. 基于 Delft3D 的三峡水库不同工况下香溪河水动力水质模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(2): 33-39. (HUANG Q C, SHI W F, LIU G L, et al. Modeling the hydrodynamics and water quality of Xiangxi River under different working conditions of Three Gorges Reservoir Based on Delft 3D[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2017, 28(2): 33-39. (in Chinese)) DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2017.02.06.
- [7] 周苏芬, 易子靖, 闫旭峰, 等. 山区宽窄相间河道平面二维水流数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(01): 22-26. (ZHOU S F, YI Z J, YAN X F, et al. Two dimensional numerical simulation of flows in wide and narrow alternated channels in mountainous areas[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(1): 22-26. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2013.01.005.
- [8] 修海峰, 吴联志. 基于 MIKE21 的平原河网洪水演进水动力研究[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(6): 151-154. (XIU H F, WU L Z. Hydrodynamic Research of flood routing in the plain river network based on MIKE 21[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(6): 151-154. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2012.06151.
- [9] 库勒江·多斯江, 刘俊, 刘鑫, 等. 西控工程对望虞河西岸地区防洪的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(3): 166-170. (KULEJIANG · D S J, LIU J, LIU X, et al. Effect of west bank control engineering on flood control in west area of Warr
- gyu River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2016, 27(3): 166-170. (in Chinese)) DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2016.03.32.
- [10] 梁云, 殷峻祝, 祝雪萍, 等. 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(1): 135-137, 99. (LIANG Y, YIN J F, ZHU X P, et al. Application of MIKE 21 hydrodynamic model in water level simulation of Hongze Lake[J]. Water Resource and Power, 2013, 31(1): 135-137, 99. (in Chinese))
- [11] 张伟超, 宋策, 郭梦京, 等. 基于 MIKE 建模的城市生态公园行洪能力分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 128-131. (ZHANG W C, SONG C, GUO M J, et al. Flood discharging capacity of urban ecological park based on MIKE modeling[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 128-131. (in Chinese)) DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.023.
- [12] 许栋, 徐彬, 白玉川, 等. 基于二维浅水模拟的河道滩地洪水淹没研究[J]. 水文, 2015, 35(6): 1-5, 23. (XU D, XU B, BAI Y C, et al. Study on flood submergence of river beaches based on two dimensional numerical simulation of shallow water flow[J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(6): 1-5, 23. (in Chinese))
- [13] 潘中奇. 南渡江河口段河网水动力特性研究[D]. 天津: 天津大学, 2009. (PAN Z Q. Research on hydrodynamic characteristics of river networks in Nandu River estuary area[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009. (in Chinese))
- [14] 任梅芳, 徐宗学, 苏广新. 基于二维水动力模型与经验公式的桥梁壅水计算及其对比分析[J]. 水力发电学报, 2017, 36(5): 78-87. (REN M F, XU Z X, SU G X. Comparative analysis on bridge backwater depths estimated using 2D hydrodynamic model and empirical formulas[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2017, 36(5): 78-87. (in Chinese)) DOI: 10.11660/slfdbx.20170509.
- [15] 衣秀勇, 关春曼, 果有娜, 等. DHI MIKE FLOOD 洪水模拟技术应用与研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014. (YI X Y, GUAN C M, GUO Y N, et al. Application and research of flood simulation technology of DHI MIKE FLOOD[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2014. (in Chinese))
- [16] 海口市水务局. 海口市防洪(潮)规划报告[R]. 海口: 海口市水务局, 2008. (Haikou Water Affairs Bureau. Haikou Flood Control (Tide) Planning Report [R]. Haikou: Haikou Water Affairs Bureau, 2008. (in Chinese))
- [17] 赵振兴, 何建京. 水力学(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010. (ZHAO Z X, HE J J. Hydraulics (Second Edition) [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010. (in Chinese))
- [18] 殷云珠. 斑状糙率不均匀分布的明渠水力计算与防洪评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013. (YIN Y Z. The hydraulic calculation of open channel and the flood control evaluation using uneven spot roughness method[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. (in Chinese))
- [19] 王增钦. MIKE21FM 在桥梁壅水分析中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2015(3): 161-163. (WANG Z Q. Application and analysis of the bridge backwater based on MIKE21[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(3): 161-163. (in Chinese))
- [20] 袁雄燕, 徐德龙. 丹麦 MIKE21 模型在桥渡壅水计算中的应用研究[J]. 人民长江, 2006(4): 31-32, 52. (YUAN X Y, XU D L. Application of MIKE 21 model in bridge backwater depths estimated[J]. Yangtze River, 2006(4): 31-32, 52. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2006.04.013.