

MIKE11 在平原河网地区防洪分析中的应用

孙映宏¹, 姬战生², 王玉明¹

(1. 杭州市水文水资源监测总站, 浙江 杭州 310016; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要 利用 MIKE11 建立平原河网降雨径流 (NAM) 和水动力学 (HD) 耦合模型, 对杭州火车东站枢纽区块河道调整工程的防洪影响进行模拟研究, 综合分析规划方案实施后河道的行洪能力和区域防洪安全。结果表明工程对区域行洪安全影响甚微。MIKE11 在本次防洪分析中的应用表明, 该耦合模型具有算法可靠、计算稳定、界面友好、前后处理方便、水工建筑物调节功能强大等优点, 可在平原河网地区的防洪评价工作中推广应用。

关键词 防洪分析; 水力计算; MIKE11; NAM 模型; 平原河网

中图分类号 TV131.4 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2008)S1-0037-04

杭州市位于长江三角洲南翼, 杭州湾西端, 钱塘江下游, 京杭运河南端, 是长江三角洲重要中心城市和中国南部交通枢纽。随着社会经济的迅猛发展以及城市功能和城市地位的不断加强, 原杭州火车站已经不能满足城市发展的需要。为适应经济社会发展和城市建设的需要, 杭州市政府对杭州火车站进行了统一规划, 提出建设杭州火车东站枢纽工程, 将该地区建设成集磁悬浮、城际客运专线、铁路、城市地铁、长途客运中心及市内公共交通于一体的综合交通枢纽, 从而成为浙江省第一客运枢纽、长江三角洲地区第二客运站枢纽。根据《杭州东站枢纽工程规划》, 建设过程中需要对该区域原有河道进行一定的整治和调整, 按照国家有关法律法规必须对河道行洪安全进行分析和评价。文中, 笔者利用 MIKE11 建立平原河网降雨径流 (NAM) 和水动力学 (HD) 耦合模型, 对杭州火车东站枢纽区块河道调整工程的防洪影响进行模拟研究, 据此综合分析河道整治后的河道防洪能力和区域防洪安全。

1 基本情况

杭州火车东站枢纽工程核心区在石桥路、德胜快速路、沪杭高速、艮山西路合围的范围, 位于一主三副城市结构的结合中心, 区块面积 9.3 km²。区块内河道纵横交错, 为典型的平原河网水系, 属上塘河水系, 主要河道包括引水河、二号港、白石港、笕桥港、备塘河、赵家港、横河港、麦庙港、五号港、三号

港、彭埠备塘河、莲花港等河流, 与钱塘江、运河、上塘河干流相通。暴雨洪水期间, 区块内涝水通过钱塘江、运河、上塘河干支流向外排泄。其中, 向钱塘江排洪主要通过五堡排灌站、七堡船闸等闸站, 向运河排洪主要通过三堡排涝站、顾家桥站、横河站等闸站, 向上塘河干支流排洪主要通过全福闸、北塘河闸、赤岸闸、东风闸、勤丰闸、丁桥排涝站等闸站。随着城市的不断发展, 区块内部分调蓄水田、水域被填, 许多排涝骨干河道淤积, 人为设障情况较为严重, 建筑物的过洪能力较差。

考虑到平原河网水力条件复杂, 泵站、水闸等水利工程对河网水流形态影响很大, 故将研究范围适当扩大, 确定为上塘河流域杭州片, 即德胜河、京杭运河以东, 京杭运河二通道以西, 钱塘江以北, 上塘河、分水岭以南, 流域面积为 171 km², 其中又将和睦港以西、备塘河以东、引水河以北、机场港以南的区域作为重点研究区域。

2 设计洪水

设计流域没有实测流量资料, 雨量资料却很丰富, 宜采用间接法推求设计洪水, 即用暴雨推求洪水方法来计算。MIKE11/NAM 模型已经广泛应用于世界各地各种水文和气候条件下的降雨径流模拟, 且通过简单设置即可与 MIKE11/HD 模型实现无缝链接, 故本次计算采用该模型推求设计洪水。

2.1 设计暴雨

按年最大值选样的方法, 统计闸口水文站一日、

三日暴雨资料,暴雨系列选用 1946 ~ 2006 年,按 P-Ⅲ型曲线适线拟合,进行经验排频计算,并经点面修正得到上塘河流域杭州片设计暴雨,其时程分配模式采用《浙江省短历时暴雨》^[1]推荐雨型,见表 1。

表 1 不同频率设计面雨量日程分配(三日雨型) mm

雨量	第 1 天	第 2 天	第 3 天	合计
P = 5%	40.1	207.4	26.7	274.2
P = 2%	49.5	255.9	33.0	338.4

2.2 子流域划分

上塘河流域属平原河网地区,其产汇流规律较为复杂。引入河网多边形的概念来划分子流域,即河网多边形由概化河道构成,假定多边形的产水量沿河长均匀分配,每一多边形便形成一个子流域。

在实际工作中,由于上塘河流域河网结构密集且河道高程变化较小,与山区型河网有很大区别,因此无法仅靠软件自动生成河道以及子流域,必须在后期工作中人工调整河道、划分子流域。笔者参考上塘河规划区域河网图及相对应的规划河道子流域划分图,以最新河道调查资料为基础,综合考虑河道流向、河道流经区域等因素来划分子流域。在针对每一条河道划分子流域的过程中,考虑河道大小、长短及附近相交河道的情况,并考虑将具体河道的每一段河长作为子流域划分大小的权重,即在某一区域中较长的河道所具有的子流域比较短的河道所具有的子流域要大。依据以上资料和原则,运用 MIKE BASIN 并辅以后期手工修改,将研究区域划分为 92 个子流域,见图 1。

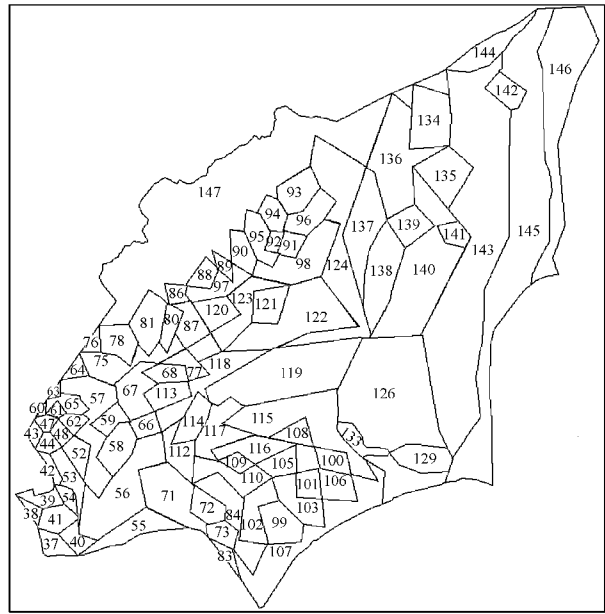


图 1 子流域划分示意图

2.3 NAM 模型搭建

NAM 模型初步搭建时一般采用默认的参数,经过一轮运算后对实测数据和模拟结果进行反复比较,

调整模型参数。因上塘河流域无流量观测站,难以直接对产汇流情况进行率定。笔者将 NAM 和 HD 模型耦合起来,结合 NAM 模型在杭州、上海、太湖流域等平原河网地区的实际应用经验及其参数的地区综合规律,耦合模型率定后以最终洪峰水位与实际调查洪峰水位拟合误差最小进行参数优选^[2]。设坡面流系数为 0.48,其余参数维持不变,模拟成果示例见图 2。

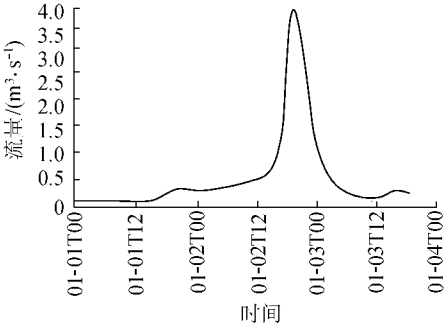


图 2 2000 年子流域 37 的模拟流量(20 年一遇设计洪水)

3 防洪水力计算

3.1 MIKE11/HD 模型

采用丹麦水利研究所研制的 MIKE11 河网一维数学模型水动力模块进行防洪水力计算。MIKE11 是模拟一维水流、泥沙和水质的国际化工程软件,适用于包括复杂平原河网在内的一维非恒定流计算。

一维水动力模型的控制方程组(Saint-Venant 方程组)^[2-3]为

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2AR} = 0 \end{cases}$$

式中: A 为过水断面面积; Q 为流量; x, t 分别为距离和时间的坐标; q 为旁侧入流流量; h 为水位; C 为谢才系数; R 为水力半径; g 为重力加速度。

利用 Abbott 6 点隐式格式^[2]离散上述控制方程组,该离散格式在每个网格点并不同时计算水位和流量,而是按顺序交替计算水位或流量,分别称为 h 点和 Q 点。该格式无条件稳定,可以在相当大的克朗数下保持计算稳定,可以取较长的时间步长以节省计算时间^[4]。

3.2 河网概化

概化河网包括河道调整前后的河网,概化原则为尽量保持与实际河网的水力特性等效^[5-6]。模型考虑了河网干流河道、支流、倒堤、漫滩、分洪及多种形式的闸、泵、堰、阻水桥梁等实际存在的各种因素,选用 312 个实测断面资料,计算出各种水力条件下河道特征断面水位过程。河网概化情况见图 3。

3.3 边界选取

钱塘江采用潮位边界,运河采用塘栖站水位边

表 4 典型断面防洪水力计算成果 m

位置	河名	桩号	20 年一遇洪水位			50 年一遇洪水位		
			现状方案	规划方案	洪水位变幅	现状方案	规划方案	洪水位变幅
建设工程区域东面	五号港	1936	4.80	4.39	-0.41	5.05	4.64	-0.41
	五号港	3424	4.81	4.44	-0.37	5.06	4.68	-0.38
	六号港	2202	4.84	4.47	-0.37	5.11	4.71	-0.40
	六号港	3682	5.03	4.82	-0.21	5.28	5.09	-0.19
建设工程区域	彭埠备塘河	2546	4.74	4.36	-0.38	4.97	4.60	-0.37
	二号港	1013	4.49	4.21	-0.28	4.75	4.45	-0.30
	二号港	2354	4.57	4.24	-0.33	4.81	4.49	-0.32
	白石港	330	4.43	4.32	-0.11	4.76	4.58	-0.18
	白石港	4000	4.74	4.36	-0.38	4.98	4.61	-0.37
	三号港	645	4.65	4.35	-0.30	4.87	4.59	-0.28
建设工程区域西、北面	笕桥港	822	4.74	4.37	-0.37	5.08	4.61	-0.47
	笕桥港	1000	4.74	4.39	-0.35	5.08	4.63	-0.45
	备塘河	6656	4.45	4.37	-0.08	4.67	4.63	-0.04
	备塘河	9654	4.43	4.46	0.03	4.78	4.83	0.05
	上塘河	1555	3.86	3.83	-0.03	3.97	3.91	-0.06
	上塘河	8962	4.27	4.18	-0.09	4.46	4.42	-0.04
	上塘河	9569	4.30	4.21	-0.09	4.49	4.45	-0.04
	南黄港	1102	4.44	4.38	-0.06	4.65	4.64	-0.01
	机场港	2218	4.86	4.63	-0.23	5.19	4.88	-0.31

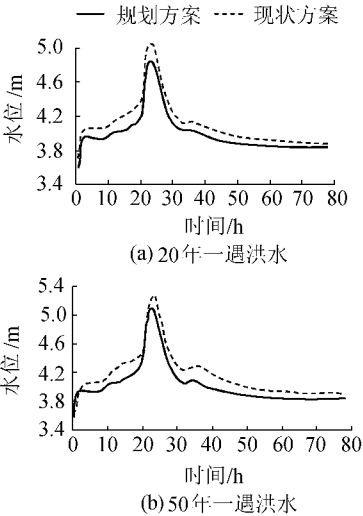


图 5 代表断面现状和规划方案洪水过程线

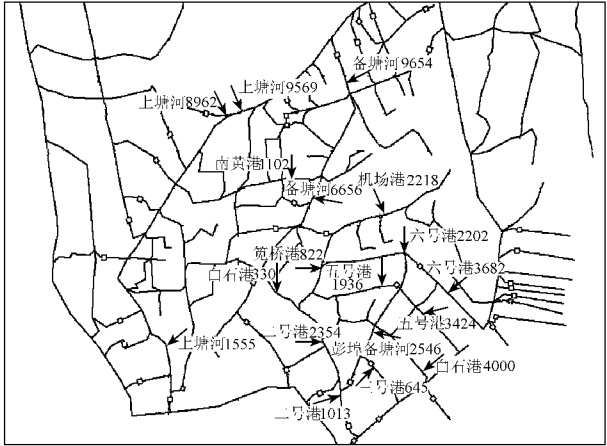


图 6 河网水力计算主要特征点位置

水河道洪水位平均下降 0.30 m, 最大下降 0.38 m, 最小 0.11 m, 50 年一遇洪水河道洪水位平均下降 0.30 m, 最大下降 0.37 m, 最小 0.18 m。工程区块以西、以北的河道降幅较小, 一般为 0.05 ~ 0.20 m, 且随距离的增加影响程度逐渐减小。但与枢纽工程区块交接处的河道洪水位局部略有壅高, 如备塘河 9654 桩号处 20 年一遇、50 年一遇洪水河道洪水位分别壅高 0.03 m 和 0.05 m。根据现场勘察, 这些交接河段两岸堤顶高程在 6.0 ~ 6.5 m 之间, 地块标高基本在 5.0 m 以上, 高于工程建成后同位置 50 年一遇设计洪水位, 故认为水位的局部壅高对防洪基本无影响。

综上, 杭州火车东站枢纽河道整治工程后, 绝大部分河道的设计洪水位都将有不同程度的下降, 区域涝水的排放更为通畅。而极个别河道洪水位壅高影响范围是局部的, 且壅高幅度有限, 未改变区域原有的防洪标准, 同时河道局部走向的调整只是改变了涝水的汇集方向, 并未加大区域的排涝压力。因此, 该工程对区域行洪安全的影响甚微。

4 结 语

本文利用 MIKE11 一维非恒定流模拟系统建立了复杂平原河网上塘河流域的降雨径流和水动力耦合数学模型, 重点模拟区域在遭遇 20 年一遇和 50 年一遇洪水时, 杭州火车东站枢纽工程区块河道调整工程对河网设计洪水位的影响, 计算结果表明该工程对区域行洪安全影响甚微。MIKE11 模型在本次防洪分析中实用效果良好, 具有算法可靠、计算稳定、界面友好、前后处理方便、水工建筑物调节功能强大等优点, 为复杂问题的研究提供了一条较便捷的途径, 可在平原河网地区防洪评价工作中推广应用。

参考文献:

[1] 马志鑫, 伍远康. 浙江省短历时暴雨 [R]. 杭州: 浙江省水文勘测局, 2003.

[2] Danish Hydraulic Institute(DHI). MIKE11 :A modeling system for rivers and channels reference manual [R]. Hörsholm , Denmark : DHI , 2007.

[3] 王船海, 李光炽. 实用河网水流计算 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.

[4] 卢士强. 平原感潮河网水环境数学模型研究与应用 [D]. 上海: 同济大学, 2003.

[5] 徐祖信, 卢士强. 平原感潮河网水动力模型研究 [J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(2): 187-191.

[6] 徐祖信. 河流污染治理规划理论与实践 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.

(收稿日期: 2008-02-26 编辑: 骆超)