DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2016.03.32

## 西控工程对望虞河西岸地区防洪的影响

库勒江·多斯江,刘俊,刘鑫,李朋 (河海大学水文水资源学院,江苏南京210098)

摘 要:为了评估西控工程对望虞河西岸地区造成的防洪影响,以望虞河西岸为研究区域并结合其水文特性,构建 了适合于模拟平原河网地区产汇流过程的 MIKE11 水文水力模型并利用当地降雨、水位等实测资料进行了率定。 通过模拟 50 年一遇设计暴雨情况下的不同工况,得到研究区域内水系各节点的水位等要素变化情况,并依此分析 了西控工程对望虞河西岸地区造成的防洪影响。结果表明:西控工程运行后,研究区域内重要节点的最高水位抬 升明显,部分地区有遭受洪水淹没的风险;MIKE11 水文水力模型对于分析平原河网地区河流沿线闸控影响具有较 高的应用价值。

关键词:降雨;防洪影响;MIKE11模型;平原河网地区;西控工程 中图分类号:TV87 文献标识码:A 文章编号:1672-643X(2016)03-0166-05

# Effect of west bank control engineering on flood control in west area of Wangyu river

#### Kulejiang · Duosijiang, LIU Jun, LIU Xin, LI Peng

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to evaluate the impact of west bank control engineering on flood control in the area of WangYu River, the paper took the west basin of Wangyu River as the study area and based on hydrological characteristics to construct the MIKE11 hydrological and hydraulic model which was suitable to simulate runoff process of a river network plain area, and to use the local rainfall and water level measured data to calibrate. Through simulating the fifferent conditions of designed storm one every 50 years, the paper got the change situation of water level each node in the river network. According to the calculation, and analyzed the impact of west bank control engineering on flood control in the west area of Wangyu River. The results showed that the highest water level of important node in the study uplift distinctly, some places are in risk of flood submerging. MIKE11 hydrological and hydraulic model has a high application value on analyzing the influence of water gate control in the river network plain area.

Key words: rainfall; flood control effect; MIKE11model; plain river network area; west bank control project

## 1 研究背景

近年来,受全球气候变化、城市化进程加快等因 素的影响,我国所遭受的洪涝灾害损失日益加剧。 太湖流域地处长江三角洲南翼,是我国人口密集、经 济发达的地区之一,也是受洪涝灾害威胁比较严重 的地区之一<sup>[1]</sup>。

MIKE11 水文水动力学模型是一款应用于模拟 一维水流运动和水质变化的国际化工程软件,适合 于复杂平原河网的一维非恒定流计算,是经过工程 实践验证的模型工具<sup>[2]</sup>。目前,MIKE11 在水利规 划、水资源利用、污染评价、河道防洪等方面得到了

基金项目:国家自然科学基金项目(41471015)

收稿日期:2015-12-21; 修回日期:2016-03-15

作者简介:库勒江・多斯江(1989-),女,新疆阿勒泰人,硕士研究生,研究方向为城市防洪与排水。

通讯作者:刘俊(1968-),男,安徽马鞍山人,博士,教授,博导,研究方向为城市防洪、水资源配置。

广泛应用<sup>[3]</sup>。黄程<sup>[4]</sup>在东莞市防洪分析中认为,使 用传统方法难以模拟水利工程调度以及流域水系间 相互作用等因素的影响,因此采用 MIKE11 模型进 行模 拟 并 取 得 了 很 好 的 效 果;顾 钰 蓉 等<sup>[5]</sup>将 MIKE11 应用于苏州河综合调水、水环境模拟与预 测、防洪等方面;周惠成等<sup>[6]</sup>用 MIKE11 模型研究了 碧流河水库下游河道的现状防洪能力;孙映宏等<sup>[7]</sup> 在 研究河 流施 工 围 堰 对 防 洪 安 全 影 响 中 使 用 MIKE11 模型并取得了较好的成效。

望虞河是排泄太湖洪水的主干河道,对太湖流 域防洪工作起着举足轻重的作用<sup>[8]</sup>。望虞河西岸 控制工程(以下简称西控工程)是《太湖流域防洪规 划》所确定的流域防洪工程群中重要的组成部 分<sup>[9]</sup>。但在西控工程实施后,闸门的束水作用及起 调水位的升高可能会对望虞河西岸地区的区域防洪 带来一定的影响,尤其是对望虞河和走马塘之间中 不设防的半高地地区影响可能会比较明显。

目前已有学者对研究区域的水质<sup>[10]</sup>、水环 境<sup>[11]</sup>等方面进行了一定的研究,但通过 MIKE11 模 型针对西控建闸及起调水位对望虞河西岸地区可能 会造成的防洪影响研究的还比较少。因此本次研究 借助 MIKE11 模型对西控工程在不同工况下主要水 系节点的水位等要素变化情况进行了数值模拟,并 分析了西控建闸及起调水位的相应提高对望虞河西 岸地区可能造成的防洪影响。

## 2 研究方法

望虞河西岸地区为平原河网感潮地区。平原感 潮河网地区与一般的流域相比,具有更加复杂的水 文结构特征<sup>[12]</sup>。因此在进行水文计算时不仅要考 虑不同下垫面的产汇流情况,还要考虑河湖的调蓄 作用以及由于水利工程的控制作用对水位的影响。 为更好地反映平原河网的水流运动特性、下垫面情 况和水利工程的特点,本次研究采用丹麦水力研究 所开发的 MIKE11 软件建立河网非恒定水动力数学 模型<sup>[13]</sup>。将降雨径流模块(NAM)的计算结果作为 水动力模型(HD)的流量输入条件,并添加可控水 工建筑物,实现降雨径流模型(NAM)和水动力学模 型(HD)的耦合及不同工况下的水闸模拟。

水动力学模块基于垂向积分的物质和动量守恒 方程,采用有限差分格式对圣维南方程组进行数值 求解。包含 Wuskingum 与 Muskingum – Cunge 方法 用于简化的河道演算,自行匹配次临界流与超临界 流计算;可模拟闸与泵等多种水工建筑物,水位和流 量水文特征值以及洪水调度<sup>[14]</sup>。

降雨径流模块是通过连续计算4个不同且相互 影响的储水层的含水量来模拟产汇流过程,这4个 储水层分别代表了流域内不同的物理单元即积雪储 水层,地表储水层,土壤和植物根区储水层和地下储 水层。NAM 模型是以简单定量关系描述水文循环 集总式概念性水文模型,各参数与变量是流域的平 均值。可先根据流域的自然特征确定各参数与变量 的初始值,然后再利用实测水文资料进行率定<sup>[15]</sup>。

## 3 模型构建及参数率定

#### 3.1 河网及水工建筑物概化

由于走马塘和望虞河之间的区域地处长江和京 杭大运河的中间地带,引排水与泄洪距离都相对较 远,这部分区域在降雨小于5年一遇时,改向走马塘 及其它河道排泄,使河流流向发生变化,河流的流速 变小,河流的自净能力也将减弱。因此,西控工程对 这部分区域的影响最大,故确定计算边界为东至望 虞河、西至京杭运河、南至太湖、北至长江的区域为 主要研究区域,见图1。

本次概化以望虞河、沈渎港 - 走马塘、锡澄运河 - 京杭大运河、白屈港、东横河、张家港河、九里河、 伯渎港等为干流,其他河道以支流形式汇入干流。 区域内河道纵横交错,河流流向不定,河网水系连接 成环状结构,在河网内部还有湖泊。综合考虑边界 条件的稳定性、水系的完整性以及周围区域对研究 区域洪水位的影响等因素,共概化河道138条,河道 节点908个,调蓄节点67个,其中评价区域内概化 河道90条。

在本次研究水动力模拟过程中,也涉及到水工 建筑物的设置。在 MIKE11 中,每个可控建筑物都 有多种调度方式,比如一座闸可同时用于防洪、水污 染控制调度等等,在这些调度方式中存在优先度的 问题。调度方案的优先度是以设定的 Priority 值来 实现的,其值越小优先度就越高。本次研究对望虞 河西岸的泵站、闸站、无锡大包围的水闸以及长江沿 岸的泵站、闸站等水工建筑物进行了概化。主要研 究区域河网概化图详见图1。

#### 3.2 边界条件

根据研究区域河网概化结果,以水位边界作为 模型入流边界。共选取16个开边界,包括锡澄运 河、白屈港、张家港、太字圩港、朝东圩港、一干河、十 一圩港、三干河、四干河、五干河、六干河、走马塘、福 山塘、望虞河、南横套河等河流。 根据研究区域河网概化结果,以流量边界作为模型 出流边界。共选取2个开边界,即京杭运河和望虞河。

#### 3.3 参数率定分析

模型的主要参数包括地表最大储水量,根区最 大储水量、地表径流系数、地表径流时间常数、根区 阈值等,常用参数的取值范围见表1。

本次计算除了要考虑上述参数之外,还需考虑 河道糙率。糙率是河道水流一维数值模拟以及进行 水文分析的关键参数之一,对河道的水力条件有较 大的影响。结合研究区域河道特征,查水力学计算 手册并参考相似河道,确定河道糙率系数为0.0333。

为了模型率定的效果,选取长江实测潮位、太湖 实测水位等边界资料;率定选取研究范围内有实测 水位数据的水文站,青旸站、甘露站、陈墅站 2012 年 8月1日-8月25日的实测水位资料进行率定;率 定结果详见图 2。



图1 研究区域河网概化图

	<b>双</b> 1 1000 侯王王安平足多数		
主要参数	取值范围	实际取值	
U max ∕ mm	影响蒸发和水量平衡	15	
地表最大储水量	一般取值范围:10~25 mm	15	
$L \max \measuredangle mm$	影响蒸发和水量平衡	150	
根区最大储水量	一般取值范围:50~250 mm		
CK12 ∕ h	决定流量峰值形状	6	
地表径流计算的时间常数	一般取值范围:3~48 h		
TOF	汛期开始时延迟地表径流的形成	0.4	
地表径流的根区阈值	一般取值范围:0.0~0.7		
CQOF	将净降雨分配为地表径流和入渗	0.5~0.85	
地表径流系数	一般取值范围:0.01~0.9		
CKIF ∕ h	与 U max 一起决定壤中流流量	500	
壤中流时间常数	一般取值范围:500~1000 h	500	
TIF	汛期开始时延迟壤中流的形成	0	
壤中流的根区阈值	一般取值范围:0.0	0	
TG	汛期开始时延迟地下水补充的发生	0	
地下水补充的根区阈值	一般取值范围:0.0~0.7	0	
CKBF ∕ h	决定基流过程线的形状	形状 2000	
基流计算的时间常数	一般取值范围:500~5 000 h	2000	



图 2 2012 年 8 月 1 日 - 8 月 25 日的实测水位率定图

从率定结果看,模型计算的洪水过程线与实测 资料吻合程度较好,最高水位亦相差不大,说明参数 选择合理、计算误差较小,所构建的平原河网区模型 能够较好模拟当地水动力学过程。

## 4 模拟计算

#### 4.1 设计暴雨计算

选用位于武澄锡虞区内的无锡站、陈墅站、张家 港站等12个雨量测站的1951-2013年共63年逐 日降雨量资料,采用年最大值法独立选样,分别统计 出最大1、3、7、15、30日的最大雨量资料并进行频率 计算。武澄锡虞区防洪标准均为50年一遇,流域和 区域设计暴雨空间组合按武澄锡虞区与太湖流域设 计雨量同频,本次50年一遇设计暴雨典型采用太湖 流域91北部方案,暴雨典型年为1991年,设计时段 为7d,起讫时间为6月30日-7月6日。按照同 频率法进行缩放,推求武澄锡虞区的最大7d设计 暴雨过程,详见表2。

	表 2 区域设计暴雨	j过程 mm
日期	1991 年实况暴雨	50年一遇设计暴雨
06 - 30	63.3	54.2
07 – 01	164.8	172.6
07 - 02	33.3	28.4
07 - 03	53.5	45.1
07 - 04	9.9	8.4
07 - 05	7.7	6.5
07 - 06	16.2	13.7

#### 4.2 工况设定

根据西控工程建设及调度情况,共设定3种计 算工况,工况1为现状工况;工况2为西控工程建成 之后,西控闸门打开;工况3为西岸控制口门平均水 位达到五年一遇时(西岸5年一遇水位为4.2m)闸 门开启。具体见表3。

表 3 防洪计算工况

工况	望虞河	走马塘	西控建成	西控建成	
	现状	工程	(开闸)	(按水位控制调度)	
	工况 1	$\checkmark$			
	工况 2		$\checkmark$		
	工况 3		$\checkmark$		$\checkmark$

通过对比分析工况1和工况2的模拟结果,可 以得出西控建闸对河道壅水的影响。而通过对比分 析工况一和工况三的模拟结果,则可以得出西控建 闸对西岸地区的防洪影响。分析比较这两组模拟结 果,可以较为科学地评估西控工程对当地防洪所造 成的影响。

#### 4.3 影响分析

4.3.1 西控设闸对河道壅水的影响 根据工况1 与工况2的计算结果,可得到50年一遇设计暴雨情 况下西控实施前后,建闸对于望虞河西岸主要支河 口门及支河汇入走马塘的节点最高水位的影响。具 体对比情况见表4。

表 4 望虞河西岸主要节点最高水位情况对比 m

区域	河道节点	工况 1	工况 2	抬升水位
	伯渎港	4.75	4.77	0.02
望虞河	九里河	4.72	4.77	0.05
沿线	羊尖塘	4.69	4.76	0.07
	锡北运河	4.68	4.71	0.03
누고뱌	伯渎港	4.77	4.79	0.02
走马塘 - 派 <u>继</u>	九里河	4.77	4.79	0.02
伯线	锡北运河	4.79	4.81	0.02

工况1为望虞河西控现状,工况2为望虞河西 控工程建成之后水闸全开状态。由表4可知,西控 设闸会造成入望虞河的支河口门区域水位普遍抬升 2 cm以上,局部区域可达5~7 cm,支河汇入走马塘 沿线水位比现状水位普遍抬升2cm。水位抬升明显 的口门是羊尖塘枢纽和九里河卫浜枢纽,其主要原 因是由于节制闸规模相对较小,导致在区域洪水下 泄期间水位较现状相比抬升较多。

4.3.2 西控对西岸洪水位影响分析 工况1为望 虞河西控现状,工况3为望虞河西控工程建成之后 闸门按水位控制调度状态。望虞河西岸主要支河口 门最高水位对比情况见表5。

表 5 入望虞河主要支河口门最高水位情况对比 m

河道节点	工况1	工况 3	抬升水位
伯渎港	4.75	4.81	0.06
九里河	4.72	4.80	0.08
羊尖塘	4.69	4.78	0.09
锡北运河	4.68	4.76	0.08

通过对比分析工况1与工况3条件下的模拟结 果,可以得出由于西控建闸及起调水位的相应提高 对西岸地区的洪水位存在着显著影响,在现状条件 下,望虞河西岸主要支河口门最高水位在4.68~

### 5 结 论

(1)西控工程建闸之后西岸支河最高水位普遍 抬升。水闸全开时束水作用不明显,对西岸的防洪 排涝影响不大。

(2)西控工程起调水位上升之后,望虞河沿线口门水位抬升明显,对西岸部分半高地有一定的淹没风险,对区域防洪有一定的影响。

(3)本次研究主要分析望虞河西岸区域遭遇50 年一遇降雨时的防洪影响,但由于该地区缺乏详细 淹没范围的统计资料,因而无法作出准确的定量估 算。另外不同的起调水位对防洪的影响还需做进一 步研究。

#### 参考文献:

- [1] 章杭惠,李 琛. 太湖流域防洪形势及对策分析[J]. 中 国防汛抗旱,2014(2):35-38.
- [2] 姜 昀. 济南市城市化进程中的水文循环演变研究[D]. 青岛:山东科技大学,2011.
- [3] 伍成成,郑西来,林国庆.双台子河口感潮段纳潮量研究 [J].水资源与水工程学报,2010,21(4):105-110.

- [4] 黄程. MIKE11 模型在东莞市防洪分析中的应用[J]. 水 利规划与设计,2013(4):26-29.
- [5] 顾珏蓉,徐祖信,林卫青.苏州河水系水动力模型建立及应用[J].上海环境科学,2002,21(10):606-609.
- [6]周惠成,李伟,张弛,等.碧流河水库下游河道的现状防 洪能力[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2006,25(S2):109-111.
- [7] 孙映宏,姬战生,周 蔚. 基于 MIKE11 HD 和 NAM 耦合 模型在河流施工围堰对防洪安全影响分析中的应用与 研究[J].浙江水利科技,2009(2):30-34.
- [8] 王跃奎,陈 润,高 怡.2009 年望虞河泄洪影响因素分析 [J].中国防汛抗旱,2010,20(5):48-49.
- [9] 吴巍巍. 走马塘拓浚延伸工程对望虞河西岸地区水环境 的影响研究[J]. 中国农村水利水电,2013(9):20-22.
- [10] 徐 慧, 韩 青. 常熟市望虞河西岸地区排水通道问题 [J]. 水资源保护,2008,24(1):72-75.
- [11] 朱桂娥,吴巍巍,朱 勇,等. 西岸有效控制对引江济太 作用的分析[J]. 中国水利,2008(1):26-27.
- [12] 赖正清. 平原河网区水文特征骨架数据模型与分布式 空间离散化研究[D]. 南京:南京师范大学,2013.
- [13] Danish Hydraulic Institute (DHI). Mike11: A modeling system for rivers and channels user guide [M]. Danish Hydraulic Institute, 2013.
- [14] 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.
- [15] 杨 洵,梁国华,周惠成. 基于 MIKE11 的太子河观 葠 河段水文水动力模型研究[J]. 水电能源科学,2010,28 (11):84-87.