

# 基于 WebGIS 的白马湖片洪涝风险 实时预报预警系统

蒋肇冰<sup>1</sup>, 沈 逸<sup>2</sup>, 杨万红<sup>1</sup>

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127; 2. 扬州苏水科技有限公司, 江苏 扬州 225127)

**摘要:** 为了加强白马湖片洪涝风险的管控能力, 采用 WebGIS 与水文学、水力学模型相结合, 构建了区域一、二维耦合的水动力学模型, 将模型内于 B/S 系统, 建立了白马湖片洪涝风险实时预报预警系统。系统具有远程操控功能, 可手工或自动接入雨情、水情和工情信息, 运用模型实时计算重要节点的水位、流量, 自动发布预报预警, 进一步提高了区域洪涝风险数字化管控水平, 对于保障生命安全、降低财产损失具有重要意义。

**关键词:** 洪涝风险; 实时预报预警; 系统; 白马湖片

中图分类号: TV671 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2022)01-0035-05

## WebGIS-based real-time flood risk forecast and early warning system in the Whitehorse Lake

JIANG Zhaobing<sup>1</sup>, SHEN Yi<sup>2</sup>, YANG Wanhong<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225127, China;

2. Yangzhou Sushui Technology Co., Ltd., Yangzhou 225127, China)

**Abstract:** In order to strengthen the flood risk control capability of the Whitehorse Lake, WebGIS combined with hydrology and hydraulics models is used to build zone 1D-2D coupling hydrodynamic model, which is incorporated into the B/S system to establish a real-time flood risk prediction and early warning system of the Whitehorse Lake zone. The system has the function of remote control, which can manually or automatically access the information of rain, water and working. The model is used to calculate the water level and flow of important nodes in real time, and automatically issue the forecast and early warning, which further improves the digital control level of regional flood risk, and is of great significance for ensuring life safety and reducing property losses.

**Key words:** flood risk; real-time forecast and early warning; system; the whitehorse lake zone

白马湖片防洪保护区位于洪泽湖大堤以东、苏北灌溉总渠以南、里运河以西、老三河和 S331 省道以北, 面积为 1 091 km<sup>2</sup>。该区域降水量年内分配不均, 汛期 6—9 月降水量约占全年的 70%。白马湖是区域洪水的调蓄湖泊, 总面积 113.4 km<sup>2</sup>, 汛限水位 6.8 m, 相应库容 1.40 亿 m<sup>3</sup>; 设计排涝水位

7.50 m, 相应库容 2.16 亿 m<sup>3</sup>; 设计防洪水位 8.00 m, 相应库容 2.71 亿 m<sup>3</sup>, 防洪库容 1.31 亿 m<sup>3</sup>。白马湖主要入湖河道有草泽河、浚河、望良河、花河等, 主要在白马湖西侧, 主要出湖河道有新河、运西河、阮桥河等, 出湖口门分别为淮安站、北运西闸、阮桥闸。

收稿日期: 2021-09-13

作者简介: 蒋肇冰 (1993—), 男, 工程师, 主要从事水利设计工作。E-mail: 1026575448@qq.com

白马湖是区域洪涝的调蓄湖泊,区域暴雨与上游洪水经常遭遇,由于地势低洼,受四面高水围困,涝水外排出路不畅,洪涝灾害频繁发生,1954 年、1956 年、1974 年、1984 年、1987 年、1991 年、2003 年、2006 年、2007 年洪涝都造成了较大灾害损失。因此,研究建设洪水风险实时预报预警系统对于白马湖片防洪减灾具有重大意义。

近年来,基于 WebGIS 开发的针对城市、河道、水库等方面洪涝灾害的预报预警系统较多,大多采用 C/S(客户端/服务器)和 B/S(浏览器/服务器)相结合的架构,纯 B/S 架构的较为少见<sup>[1-2]</sup>,开发语言多采用 .NET,或者采用 .NET 与 JavaScript 相结合或借助 Flex 等<sup>[3-4]</sup>。本研究将白马湖片一、二维耦合的水动力模型内嵌于系统,采用纯 B/S 架构,采用 Java 语言进行系统开发,实现了系统可视化操作、远程操控、实时计算、实时预报预警的强大功能,能够有效提高区域洪涝风险管控的数字化和智能化水平。

## 1 模型构建

本研究利用 MIKE 11、MIKE 21、MIKE FLOOD 等系列软件建立洪水分析模型并进行计算。结合雨量站分布和水系特点,在 NAM 模型中把保护区划分为 11 个子流域,分别建立降雨径流模型,模拟子流域的产汇流过程。

### 1.1 模型概况

根据原始地形资料生成地形 DEM,然后把 DEM 导入 MIKE Zero,构建三角网格。对于一些因地形原因生成的面积太小或角度太小等不规则三角网格,利用 MIKE Zero 对其进行优化调整,网格总数为 52 485 个(含白马湖湖区)。

由于白马湖片防洪保护区内的河网沟渠纵横交错、水系复杂,本研究用于建模的河道(河段)总数达 272 条(段),断面总数为 1 717 个。MIKE 21 模型中采用概化的挡水构筑物来模拟保护区内高于地面 0.5 m 以上的道路、堤防等。

### 1.2 参数率定

模型参数主要包括 NAM 降雨径流模型参数和河道糙率。由于白马湖片入湖河道没有流量监测站,部分相邻子流域之间河道相通,子流域汇水范围随水情和工情不同而变化,且该区域有坡地自流、圩区抽排和混合排水,为了准确模拟区域产汇流过程,在模型中适当增加圩区内部的有关排涝沟,排涝站根据运行办法和排涝站前水位进行控

制,并按照排涝站位置和流量汇入圩外河道。由于各入湖河道的汇水区面积较小,选取典型区域利用经过验证的公式计算结果对 NAM 模型参数进行率定,合理地模拟入湖流量过程。根据入湖流量、出湖流量过程,计算白马湖山阳站水位,将计算水位与实测水位进行对比,反复调整 NAM 模型相关参数,直至水位差小于允许值,且计算水位过程与实测过程一致为止。

为确保 NAM 参数的准确性、合理性和适应性,选取兼有 3 种汇水区的草泽河片,按照其理论公式计算的洪水过程,先对 NAM 模型的部分参数进行初步调试,与水利工程规划设计和实际排水状况相适应,减少调试的难度和工作量,流量对比如图 1 所示。

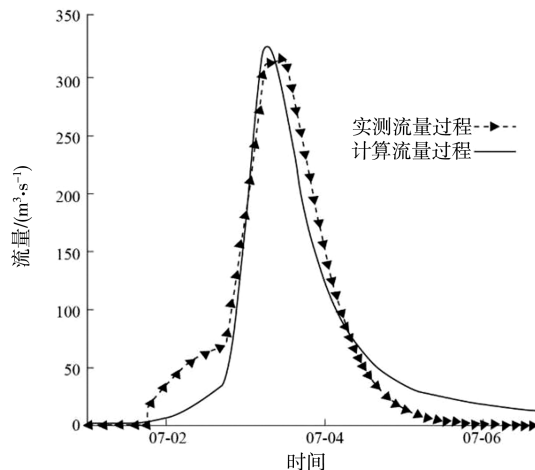


图 1 20 年一遇 NAM 参数调试流量对比图

在初步确定主要参数的基础上,选取典型年实测资料对 NAM 模型参数进行最终率定,客观反映各条入湖河道的入湖流量过程。为了减小初始条件等对计算成果的影响,本研究选用资料较全且有代表性的完整次降雨过程进行模拟计算,选取 2003 年 7 月 8—17 日(10 d)、2006 年 6 月 30 日至 7 月 7 日(8 d)进行参数率定,选取 2007 年 7 月 6—13 日(8 d)进行模型验证。率定时先把白马湖的初始水位分别设置为 2003 年 7 月 8 日、2006 年 6 月 30 日的实测水位 6.95 m、6.76 m,然后将计算时段内的实测降水量、出湖流量导入模型进行调试计算,当计算山阳站水位和实测水位一致时,确定模型参数。水位对比见图 2~3。

根据对比,计算的白马湖山阳站最高水位与 2003 年、2006 年实测水位相近,水位变化过程基本一致,最高洪水位到达时间相同,最大差值分别为 0.16 m、0.11 m,小于允许值 0.2 m,表明调试参数

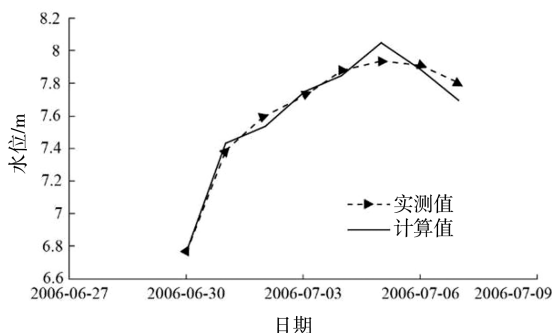


图2 2003年实测水位与计算水位对比

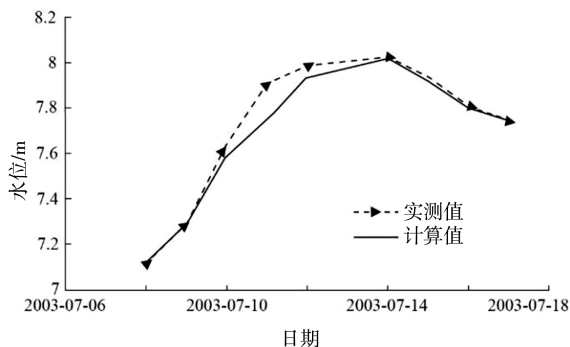


图3 2006年白马湖实测水位与计算水位对比

合理、准确。一维河道糙率结合以往区域内河道设计采用的糙率,在 MIKE 11 河网模型中对河道糙率进行了概化处理,根据率定结果,糙率一般为 0.0225,局部河段糙率略有调整,最小值为 0.022,最大值为 0.03。

### 1.3 模型验证

选取 2007 年作为典型年对模型进行验证。根据计算结果,白马湖山阳站计算水位与 2007 年实测水位相近,水位变化过程基本一致、最高洪水位到达时间相同,最大水位差为 0.1 m,小于允许值 0.2 m(图 4),参数和模型与实际情况基本相符,可以用该模型对白马湖片防洪保护区的洪水风险进行各种工况的模拟计算。

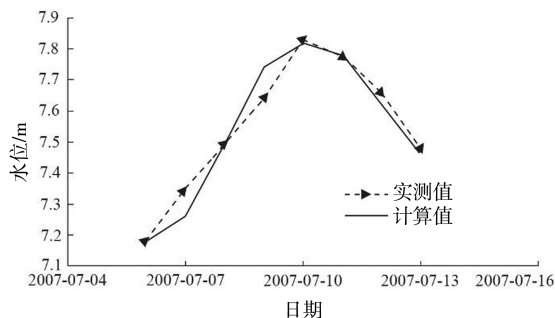


图4 2007年白马湖水位实测值与计算值对比

## 2 系统开发

### 2.1 功能设计

根据开发要求,系统设定的主要功能有:

(1)雨情、水情信息查询。读取数据库中各站点的雨情、水情数据,提供点选、下拉菜单、文本输入与地图交互检索等形式,供用户查询区域内各站点当日、近 3 日内的降水量、水位、流量等信息。

(2)洪水风险要素查询。从模型实时计算结果中提取各网格最高水位、最大淹没水深、最大洪水流速、最大淹没历时等洪水风险要素信息,在 GIS 图中以分级色彩显示,其中主要节点自动显示,各网格通过点击 GIS 图可直接查询。

(3)超标洪水预警。用户设置边界条件,包括初始水位、降雨过程等上边界,镇湖闸(或淮安站)、北运西闸、阮桥闸的出湖流量或水位流量关系等下边界,Web 服务器远程驱动模型进行实时或模拟洪水计算后,主要节点洪水超标时自动发布超标洪水预警信息。

(4)在数据输入端口设计保留了自动接入功能的接口,可实现雨情、水情、工情的实时自动接入。

### 2.2 工作流程

系统充分利用 WebGIS 强大的空间表达、空间分析及动态预测功能,管理 GIS 要素,将地图或地形数据?入系统中,通过浏览器实现与用户的动态交互,为用户展现更加及时、全面、直接的动态洪水信息。选用 WebGIS 技术进行开发,利用 ArcGIS Server 将地理信息发布为各类服务,借助 ArcGIS API for JavaScript 调用这些服务,从而在系统中集成地图及 GIS 功能。当用户访问地图数据时,GIS 服务器接收 Web 服务器发送的请求,通过接口驱动模型进行计算,将计算成果更新至数据库,通过 GIS 服务器对计算成果进行可视化表达。系统工作流程如图 5 所示。

### 2.3 架构设计

系统总体采用典型的 MVC[模型(model)—视图(view)—控制(controller)]3 层结构。在模型层的支持下,利用控制层的组件和核心引擎进行预报预警流程中的信息处理、模拟计算和结果分析,在视图层中显示地图数据、统计查询模拟计算结果。

模型层集成了地理信息数据库、基础信息数据库和洪水模拟模型。将水文模型和一维、二维水动力模型与数据库进行连接,经由控制层的事务处理后,集成到视图层。模型、数据库之间通过外部接口相连接,进行数据流、控制流的信号传输。

视图层负责前端页面和后台控制层的交互,由信息管理、风险图管理、预报预警和系统管理四大模块构成,采用纯 B/S 架构与松散耦合结构——利

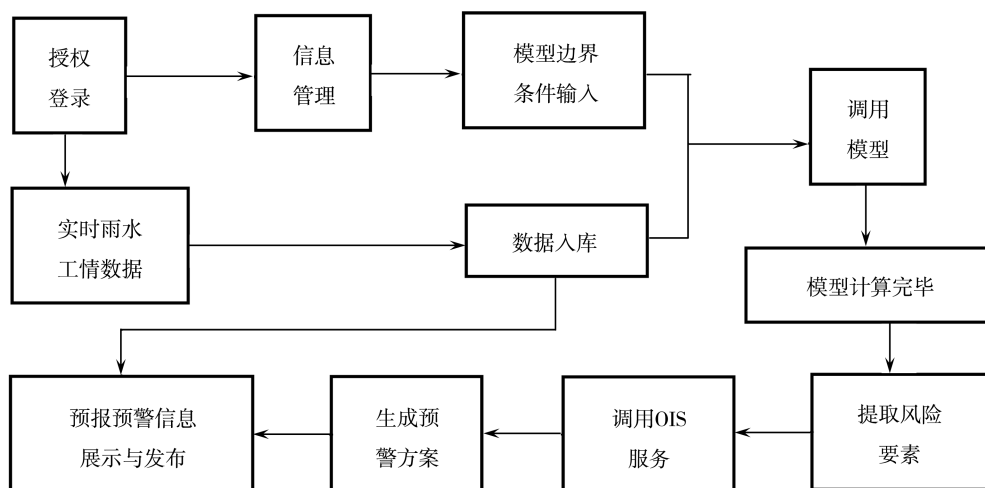


图5 系统工作流程框架

用 GIS 服务进行地理信息处理及空间分析,利用洪水模型进行数值计算<sup>[5]</sup>。系统在信息数据库和模型数据库的支持下,以 GIS 服务作为内核支撑,通过核心服务层各模块进行数据处理、模拟计算,并展示地图、计算结果和统计分析。

控制层负责系统与使用者的交互,提供了统一的信息接口,支持多种浏览器向核心服务层推送请求以远程操作并驱动系统工作流程,分为数据管理模块、洪水模型接口模块、Web 信息发布模块、GIS 信息处理模块与系统配置模块等。通过 REST 架构的 HTML 数据流来实现跨平台、跨模块之间的数据支持,是系统数据处理的核心、各功能模块互操作的媒介。

## 2.4 数据库设计

在统一数据格式与规范下,根据数据入库方式,将数据库分为基础信息数据库和地理信息数据库。基础信息数据库包括洪水数据库、算法数据库。洪水数据库主要存储白马湖地区的数据资料,包括:(1)历史水文、社会经济和洪灾损失等数据;(2)实时雨情、水情和工情,包括实时雨量、水位、流量等数据;(3)模型边界、参数等。算法数据库包含模型计算所需算法和数据图形转换等,用来支撑对数据的分析和计算,以及数据和可视化元素之间的映射转换<sup>[6]</sup>。

借助 GIS 创建企业级地理信息数据库,主要存储雨量站、水位站、水利设施等矢量点数据;道路、河道、圩堤等矢量线数据;行政区划、湖泊水面、土地利用等矢量面数据。洪水风险要素按节点或网格存储,要素字段包括节点或网格编码、最高水位、最大淹没水深、最大淹没历时、最大洪水流速、洪水到达时间和标记字段等。

## 2.5 预报预警

通过人工或自动接入获取过去 3 d 内的实测雨量过程及山阳站、镇湖闸(或淮安站)、北运西闸等水位、流量过程,可以模拟复核过去 72 h 以内的洪水过程。通过输入未来 3 d 内的预报雨量,按照出湖流量控制要求,能够模拟计算白马湖及主要入出湖河道的最高水位;或者按照最高水位控制要求,能够模拟计算所需的出湖流量,为区域防汛调度决策提供技术支撑。系统通过接口调用模型层内置的洪涝模型,在后台进行洪水演进计算,按照计算结果将地理信息数据库中存储的洪水风险要素的属性进行更新,利用 GIS 服务将实时洪水风险要素显示于 GIS 图上。主要节点洪水超标时,系统会以特定图标和声音自动发布超标洪水预警信息。

## 2.6 系统测试和管理

选择江苏省防汛防旱指挥部办公室计算机网络中的任意一台计算机,对系统进行了测试。经测试,系统完全实现了远程驱动、实时计算和预报预警功能,留用雨情、水情和工情的自动接口,可人工或自动接入有关信息,系统业务、界面、兼容性、安全性、适用性、操作性均满足系统开发要求。

系统管理包括用户管理、帮助文档。用户管理子模块的功能有添加、删除、修改用户及设置用户的使用、访问权限等。

## 3 结 论

白马湖片是江苏省洪涝灾害多发地区和重点防洪区域,被列入全国重点地区洪水风险图编制项目,洪水预报预警系统研究是该项目的重要组成部分。研究得到如下结论:

(1)构建的一维河道与二维湖面、淹没区相耦

合的洪水演进模型,经验证,与历史洪涝拟合较好,用于洪涝风险模拟计算和预报预警是适宜的。

(2)采用纯 B/S 架构,与传统的基于 C/S 或者 B/S 与 C/S 相结合的架构相比,其优点体现在:①系统通用性、兼容性、可移植性好;②系统模块化、结构化,可扩充性强;③客户端不需布置系统及相关软件,利用授权的登录密码可以通过网络访问,远程操控系统运行,系统布置和后期维护费用低;④系统操作性强、界面简洁,适用于基层水利工作人员。

(3)基于 WebGIS 技术,依托洪水信息库与模型开发了洪涝风险预报预警系统,可对白马湖片未来 3 d 内洪涝风险进行模拟计算,实现了远程驱动、实时计算和预报预警功能,操作过程与风险查询均为可视化展示,有助于决策者快速、准确地预估洪水风险,合理制定避洪策略。研究证明,WebGIS 是一种高效的数据管理和分析手段,在防灾减灾、洪水预报预警等方面具有良好的应用前景。今后在系

统应用过程中,应根据实测成果,进一步验证、修改、完善和提升本系统。

#### 参考文献:

- [1] 叶青. 城市暴雨内涝气象监测预警系统的设计与实现[D]. 西安:电子科技大学, 2012.
  - [2] 刘恒. 中小型水库防洪减灾预报预警关键技术研究[J]. 人民黄河, 2015, 37(7):37-40.
  - [3] 徐帮树, 贾超, 王育奎, 等. 城市防汛预警决策支持系统研究及应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2011, 41(2):167-172.
  - [4] 贾超, 徐帮树, 韩永军, 等. 济南城市防汛预警决策支持系统研究[J]. 中国水利, 2010(5):42-44.
  - [5] 陈志伯. 数据库原理及应用教程[M]. 3 版. 北京:人民邮电出版社, 2014.
  - [6] 杨丹, 宋英华, 洪志坤, 等. 洪涝灾害数据可视化预警系统研究[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(5):158-163.
- 
- (上接第 18 页)
- [12] 易彬, 陈璐, 路岚青, 等. 珠江上中游社会-水文多因素的系统动力学生活需水预测[J]. 中国农村水利水电, 2020(11):35-41.
  - [13] 潘阳, 王丹. 基于强化节水的城市需水预测方法[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(8):100-101.
  - [14] 管桂玲, 卢发周, 果利娟, 等. 基于组合预测法的城市需水预测[J]. 江苏水利, 2019(3):6-8, 16.
  - [15] 崔惠敏. 基于多目标规划的城市水资源优化配置研究[D]. 西安:西安理工大学, 2020.
  - [16] 刘学红, 陈智乾. 节水优先视角下的城市节约用水规划要点——以东台为例[J]. 城镇供水, 2018(1):60-65, 10.