

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2021.03-05

珠湖蓄滞洪区溃堤洪水模拟及损失评估

吴海真¹, 支欢乐², 陈李蓉², 蒋水华²

(1. 江西省水利投资集团有限公司, 江西 南昌, 330029; 2. 南昌大学建筑工程学院, 江西 南昌, 330031)

摘要: 为有效评估蓄滞洪区溃堤洪水灾害风险, 本文依托鄱阳湖区珠湖蓄滞洪区, 建立了洪水演进数值模型, 模拟了蓄滞洪区溃堤洪水演进过程, 获得了历史最高洪水水位下的蓄滞洪区淹没范围、淹没水深及流速等重要淹没信息, 进而根据洪水淹没信息分别估算了溃堤洪水可能给蓄滞洪区造成的生命、经济和生态环境损失。研究结果可为溃堤洪水灾害风险评估、蓄滞洪区内灾害等级划分、人员和物资撤离及迁移方案制定等提供重要的理论依据。

关键词: 蓄滞洪区; 溃堤; 洪水演进; 损失评估; 珠湖

中图分类号: TV122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2021)03-0177-07

0 引言

蓄滞洪区作为大江大河洪水时的分滞洪区域是江河防洪体系中重要的组成部分, 更是防洪调度的重要手段和有效措施。在我国洪水灾害频发的情况下, 蓄滞洪区遭受洪水淹没频率较高, 因此准确合理的蓄滞洪区洪水演进过程模拟可以为防洪调度的科学决策提供理论支撑, 同时对蓄滞洪区安全建设、避险转移和洪水保险服务等具有重要的指导意义^[1]。

鉴于溃堤洪水演进过程的复杂性、有限的试验数据及现场资料, 常规的室内模型试验难以得到准确的溃堤洪水演进过程, 主要是由于溃口流量、水位、流速等水文要素难以测量。即使采用国际较先进的技术也只能跟踪测量水位的变化过程, 关于非恒定流的测量研究远远不够。相比之下, 采用数值模拟技术进行堤防溃决洪水演进模拟, 不仅可以获得通过不同断面的流量与水位过程、溃口形状发展过程以及洪水宣泄至下游的水位、流量及流速过程, 还可以统计出淹没范围, 进而为堤坝失事风险评价奠定基础。本文以鄱阳湖区

珠湖蓄滞洪区为典型案例, 建立洪水演进数值模型, 对蓄滞洪区溃堤洪水演进过程进行模拟, 并基于洪水淹没信息估算溃堤洪水可能给蓄滞洪区造成的生命、经济和生态环境损失。

1 工程背景

珠湖蓄滞洪区西北部以珠湖联圩与鄱阳湖分隔, 北至珠湖镇, 西接饶河出口, 东邻四十里街, 南至团林, 地理坐标为东经 116°36'13"~116°46'47"、北纬 29°03'17"~29°12'37"之间。全区集雨面积为 256km², 其中蓄洪面积为 128.52km²(该蓄洪面积对应的水位为 20.83m)。其环湖丘陵高程一般在 30~40m, 最高的双港镇境内笔架山达 189.1m。现区内共涉及双港镇、团林乡、四十里街镇、高家岭镇、珠湖乡和白沙洲乡等 6 个乡镇和 62 个行政村, 居住人口 100 249 人, 耕地面积 5 537hm², 专业养殖类包括家畜类 1.55 万头、家禽类 14.26 万只、渔业类面积 1 413hm², 居民住房 9.60 万间, 房屋面积 3.77×10⁶m², 还有农业生产机械 9 575 台, 家庭主要需求消费品 50 937 台, 珠湖蓄滞洪区为鄱阳湖区四大分洪

收稿日期: 2021-04-23

项目来源: 江西省自然科学基金项目(20192BBG70078)。

作者简介: 吴海真(1977-), 男, 博士, 教授级高级工程师。

区之一，承担长江超额洪水 5.64 亿 m^3 的分洪任务^[2,3]。珠湖蓄滞洪区地理数据和行政区划数据分别在 1:10000 和 1:50000 的比例尺上采集，其中 1:10000 的珠湖蓄滞洪区数字高程模型如图 1 所示。

珠湖联圩起自车门村，经白沙河、罗潭、过店前、聂家、利池，终至尧山村。在竹湖堤 k14+100~k14+600 处预留一个分洪口，如图 2 所示。珠湖联圩的起点（即 k0+000）是车门村，在分洪口门两端布置了深层水泥搅拌桩以防止口门无限制扩大。根据国家防汛抗旱指挥部《关于长江洪水调度方案的批复》^[4]的要求，当鄱阳湖湖口水位达到 20.61m，并预报将持续上涨且将危及到长江重点堤防安全时，由长江防汛抗旱总指挥部会商江西省人民政府决定运用珠湖蓄滞洪区进行分洪，采用人工爆破的方式将预留分洪口扒开。受到洪水冲刷作

用，溃口将迅速扩大。图 3 为最终的溃口几何形状，顶部宽度为 180.00m，底部宽度为 150.00m，底部高程为 15.06m^[4]。

2 洪水演进过程模拟

考虑珠湖蓄滞洪区实际地形条件，采用 MIKE 21 FM 模型模拟溃堤洪水在蓄滞洪区内的演进过程，并在双港镇、团林乡、四十里街镇、高家岭镇、珠湖乡和白沙洲乡内共设置了 24 个特征点，如图 2 所示。图 4 给出了 4 个典型分洪时段的水深分布。可见，洪水在决堤后 1h 内到达白沙洲乡，白沙洲乡地区由于地处溃坝口附近，最大流速超过 0.7m/s，受洪水冲刷影响较大。6h 内洪水逼至双港镇、团林乡和珠湖乡，12h 内洪水继续向

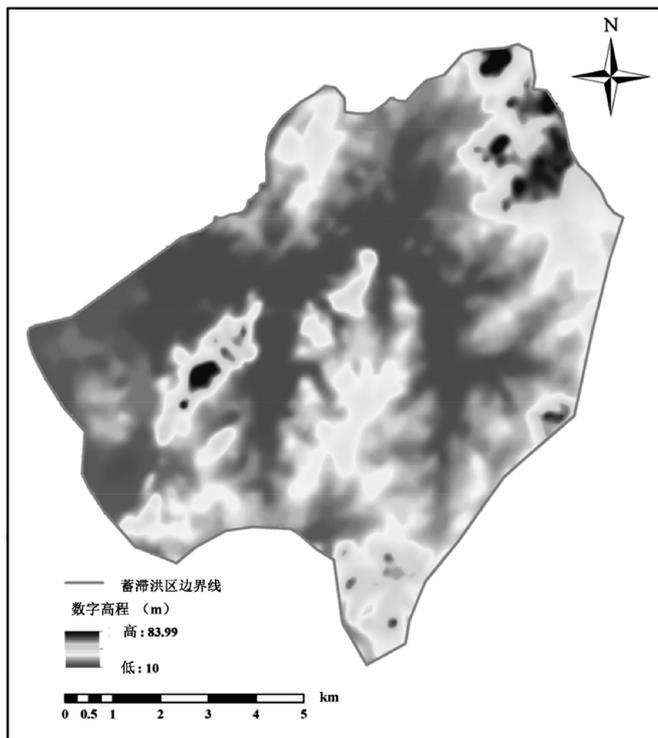


图 1 珠湖蓄滞洪区数字高程模型图(1:10000)

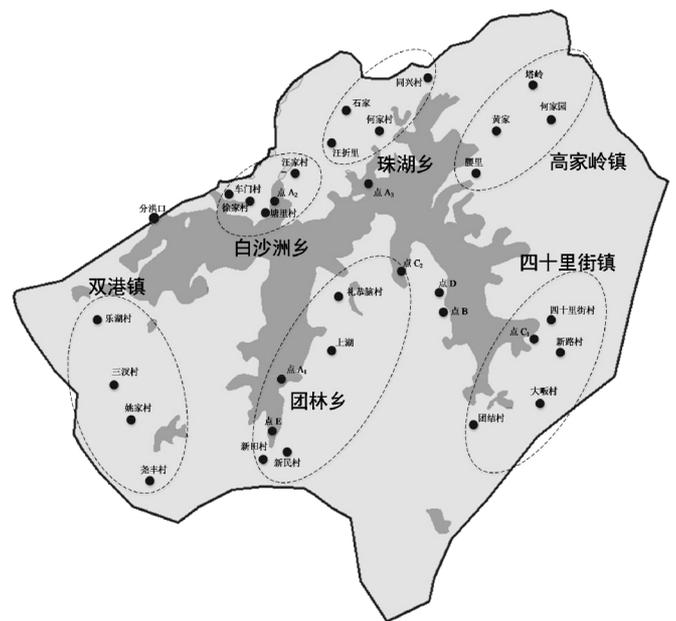


图 2 珠湖蓄滞洪区特征点和溃口位置图

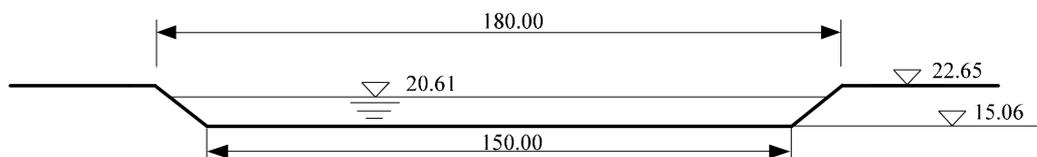


图 3 珠湖最终溃口的几何形状(单位:m)

四十里街镇挺进,18h 后洪水淹没高家岭镇一小部分。整个分洪过程结束后,高家岭镇遭受溃堤洪水的影响相对较小,这是由于高家岭镇东北地区地势相对较高,并且距离溃口较远。由图 4(d)可知,在分洪结束时珠湖蓄滞洪区的平均水深为 8.8m,白沙洲乡水深达 9.6m。表明白沙洲乡遭受洪水的影响严重,需要尽快疏散和

转移该片区的人员和居民物资。

3 洪水淹没信息统计

经洪水演进模拟可知,在珠湖联圩溃决前,蓄滞洪区内初始水位为 15.06m,水面面积约为 75.02km²;分洪

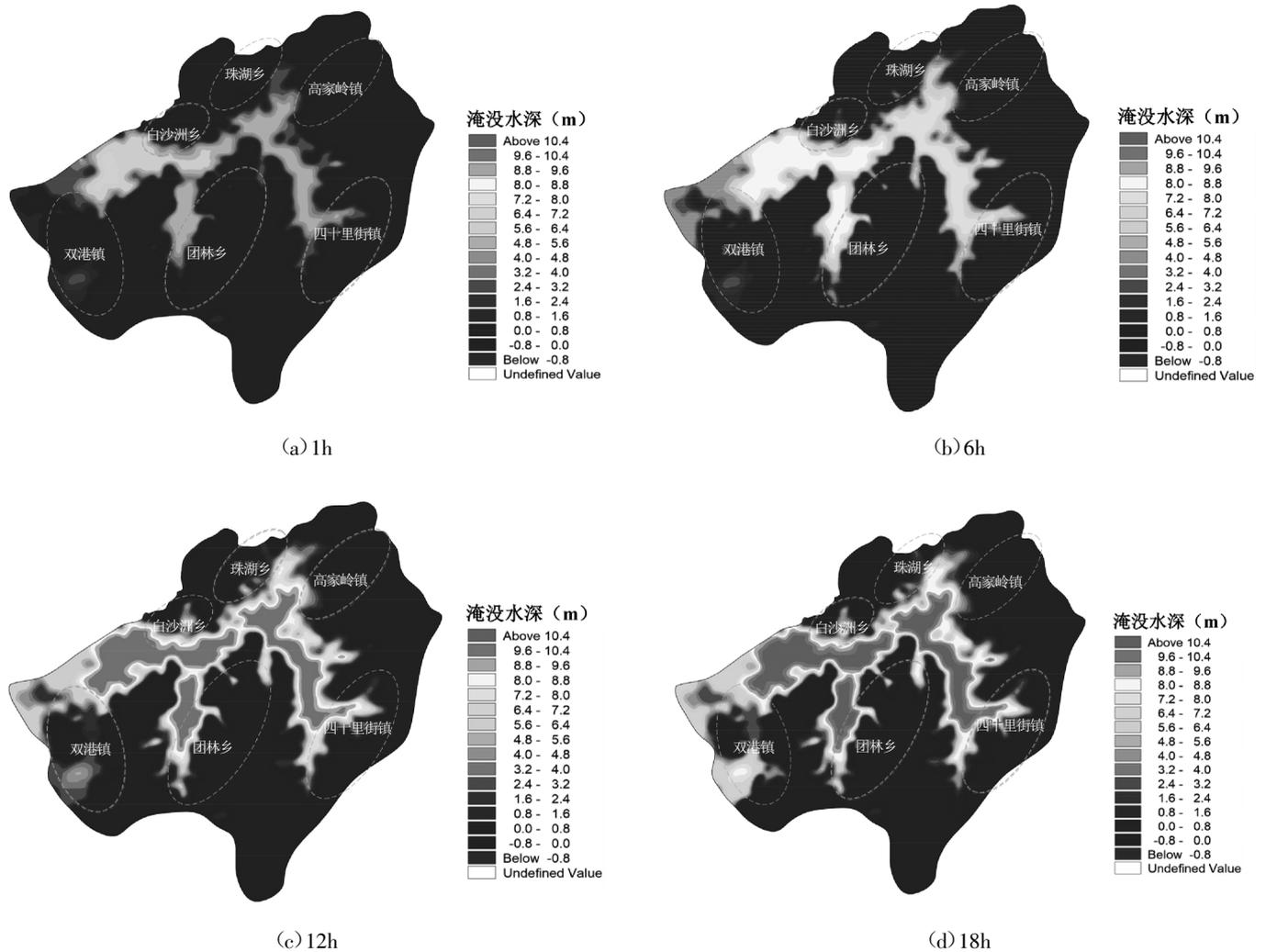


图 4 不同分洪时段的淹没水深分布图

结束时,蓄滞洪区内总水量为 5.63 亿 m³,水面面积达 130.78km²,增幅显著。表 1 统计了 6 个行政区域 24 个特征点的相关洪水淹没信息。由表 1 可知,白沙洲乡地区较早受到洪水影响,溃堤 15min 后洪水就进入白沙洲乡的徐家村和塘里村。最大水深和峰值流速都出现在塘里村,分别为 3.92m 和 0.697m/s,峰现时间为 10.53h。白沙洲乡片区 4 个特征点的淹没水深和流速过程线见图 5。

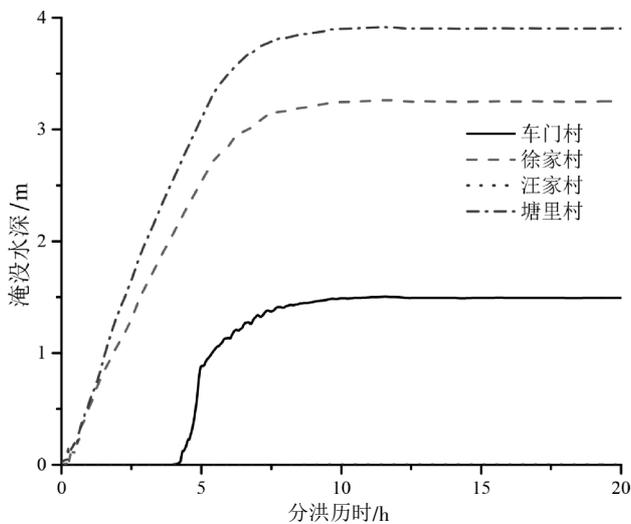
4 溃堤洪水损失评估

4.1 溃堤后损失评估方法

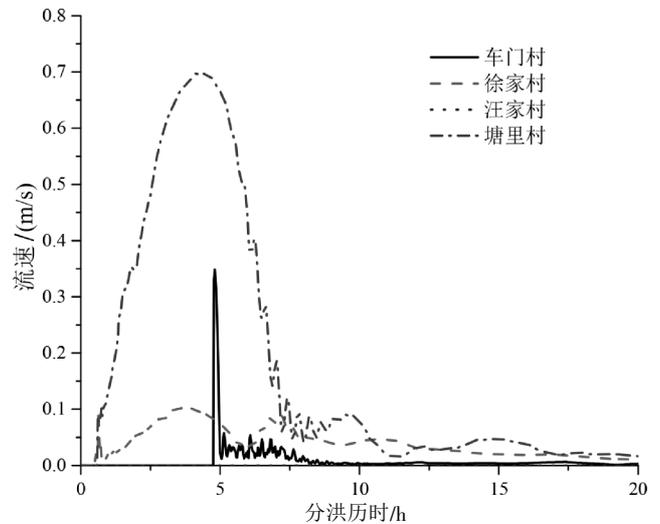
基于洪水淹没范围、淹没水深及流速等重要淹没信息,可以快速估算溃堤洪水可能给蓄滞洪区造成的生命、经济和生态环境损失。关于生命损失,根据人口聚居特点结合行政区划将淹没区划分为若干子区

表1 特征点洪水淹没信息统计表

特征点序号	行政村(自然村)	所属行政区域	洪水到达特征点时间/h	最大淹没水深/m	流速峰值/(m/s)	峰现时间/h
1	双港镇	乐湖村	0.97	2.66	0.66	9.67
2		三汊村	-	-	-	-
3		姚家村	4.42	2.99	0.121	9.28
4		尧丰村	-	-	-	-
5	团林乡	新田村	1.67	1.27	0.021	11.44
6		新民村	2.58	1.23	0.061	11.47
7		上湖	1.11	3.12	0.059	11.25
8		礼恭脑村	-	-	-	-
9	四十里街镇	团结村	3.81	0.61	0.018	10.31
10		大畈村	-	-	-	-
11		新路村	-	-	-	-
12		四十里街村	3.31	0.56	0.014	10.67
13	高家岭镇	腰里	0.01	8.78	0.763	10.25
14		黄家	-	-	-	-
15		何家园	-	-	-	-
16		塔岭	-	-	-	-
17	珠湖乡	同兴村	0.81	2.77	0.037	10.19
18		何家村	2.86	1.92	0.095	10.61
19		汪折里	-	-	-	-
20		石家	-	-	-	-
21	白沙洲乡	车门村	3.94	1.50	0.349	10.92
22		徐家村	0.19	3.26	0.104	10.97
23		汪家村	-	-	-	-
24		塘里村	0.22	3.92	0.697	10.53



(a) 淹没水深过程线



(b) 流速过程线

图5 白沙洲片区4个特征点的淹没水深和流速过程线

域, 利用风险人群积分算法得到实用的生命损失 LOL 计算公式^[9]为

$$LOL = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^c PAR_{ij} IR_{ij} \quad (1)$$

式中: PAR_{ij} 为第 i 个区域中第 j 组风险人口数量, $i=1, 2, \dots, a, j=1, 2, \dots, c$, 其中 a 为风险区域总数, c 为风险人口的分组数目; IR_{ij} 为第 i 个区域中第 j 组风险人群的个体生命损失率, 计算公式^[9]为

$$IR = \sum_{i=1}^l P_i f_i \quad (2)$$

式中: P_i 为堤防溃决概率; f_i 为发生第 i 等级的洪水个体死亡率; l 为洪水等级数。其次, 经济损失主要包括堤防破坏、下游淹没区城镇损害、工程收益损失等。根据损失特征, 采用损失率方法得到直接经济损失 S 计算公式^[9]为

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^e \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^l \beta_{ijk} W_{ijk} \quad (3)$$

式中: S_i 为第 i 类财产损失; β_{ijk} 、 W_{ijk} 分别为第 i 类第 j 种财产在第 k 种淹没程度下的损失率和财产价值; e 为财产分类数量; h 为第 i 类财产分类数量; l 为淹没水深等级。另外, 间接经济损失一般取直接经济损失的 0.63 倍^[6,7]。最后, 采取条件价值评估方法估算溃堤洪水造成的生态环境损失, 即通过问卷调查方式来调查风险区内人口愿意为改善该环境功能的支付意愿, 或者

是放弃该环境功能的补偿意愿, 以此揭示环境对于被调查者的价值, 也就是该区域环境资源的经济价值, 其中平均支付意愿 E (元/年/人) 和环境损失量 F 的计算公式^[9]分别为

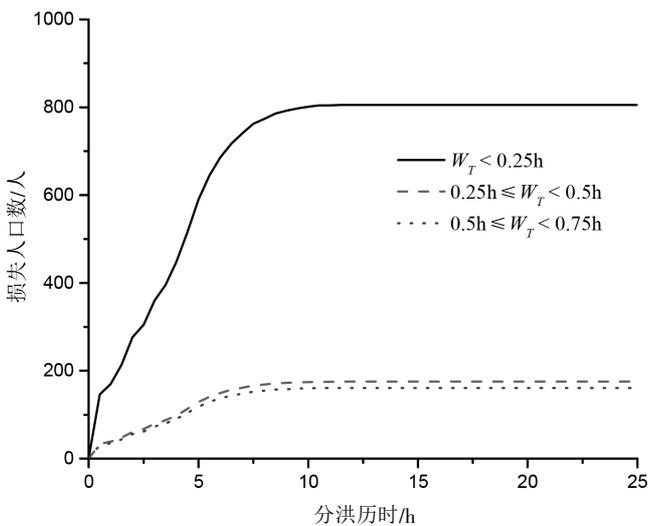
$$E = \sum_{i=1}^u D_i A_i \quad (4)$$

$$F = ENf \quad (5)$$

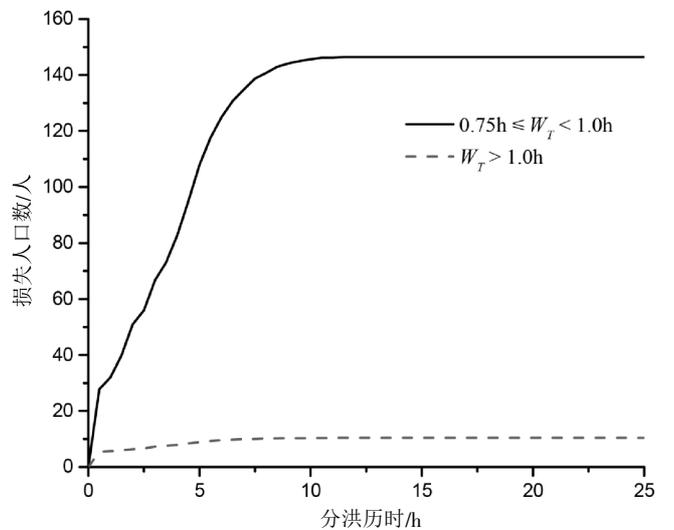
式中: A_i 为每人愿意支付的金额; D_i 为个体选择该金额的概率; u 金额的具体数量; N 为年限; f 为人口数量。

4.2 洪水损失评估

图 6(a) 和 (b) 分别给出了采用风险人群积分算法计算的洪水预警时间 W_T 小于和大于 0.75h 洪水造成的损失人口数随分洪历时的变化关系曲线; 图 6(c) 给出了采用损失率方法计算的直接经济损失随分洪历时的变化关系曲线; 图 6(d) 给出了采取条件价值评估方法计算的生态环境损失随分洪历时的变化关系曲线。由图可知, 预警时间对生命损失有重要的影响, 预警时间越短, 生命损失越大。如果堤防服役寿命拟定为 20 年, 那么珠湖联圩溃决洪水造成的生态环境损失将为 4.359 亿元。溃堤洪水造成的总损失等于生命、经济和生态环境损失之和。珠湖蓄滞洪区停止进洪之后, 溃堤洪水造成的经济和生态环境损失高达 10.69 亿元。因此, 必须及时制定洪水预警和应急措施与决策, 及时采取有效的工程或非工程的抗洪抢险和救援措施, 减少



(a) 预警时间小于 0.75h 淹没区损失人口



(b) 预警时间大于 0.75h 淹没区损失人口

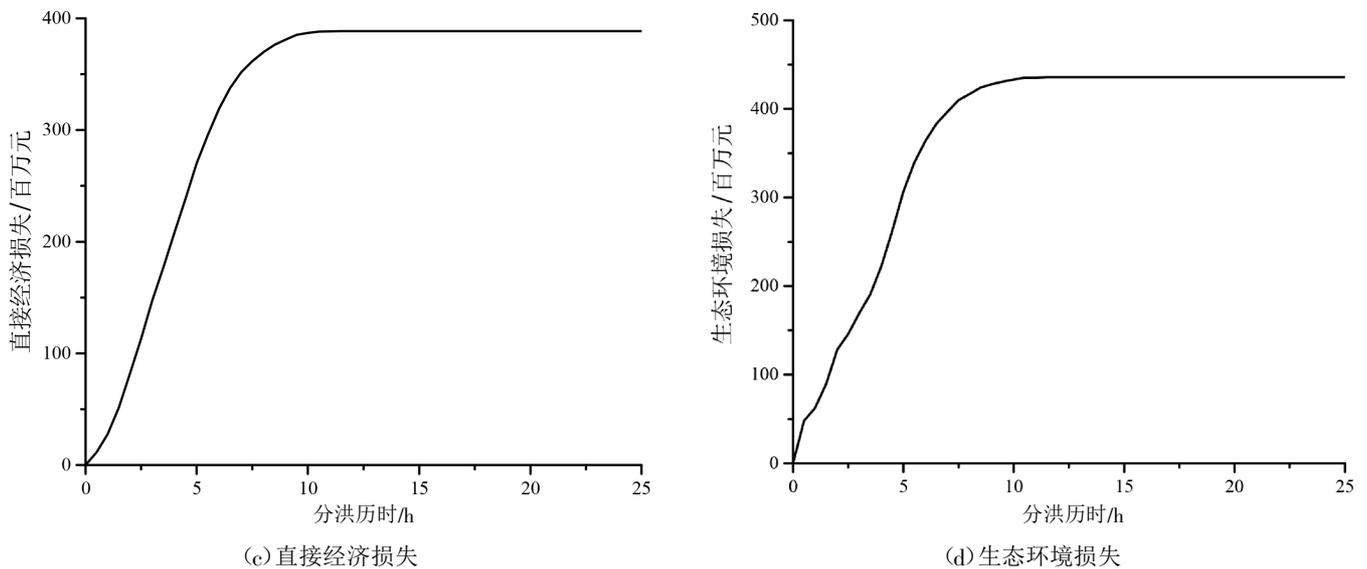


图6 溃堤洪水造成的生命、经济和生态环境损失随分洪时间的变化关系曲线

分洪给蓄滞洪区内造成的生命、经济和生态环境损失以及溃堤洪水引起的潜在洪水风险及次生灾害。

为了促进本研究成果在蓄滞洪区洪水预警中的应用,还需要开展以下工作:(1)开发基于 MIKE 21 的软件平台,该平台被视为“黑匣子”,工程师和堤防管理人员即可快速熟练运用“黑匣子”高效便捷地进行洪水演进路径模拟,通过导入基本的地形数据和输入相关的洪水数据和模型参数,快速获得洪水淹没信息;(2)加强与政府部门的合作,以便及时向政府部门提供潜在的洪水淹没信息和可能造成的洪灾后果(包括生命、经济和生态环境损失)。

5 结语

本文依托鄱阳湖区珠湖蓄滞洪区建立了洪水演进数值模型,进行了蓄滞洪区溃堤洪水演进过程模拟,获得了历史最高洪水水位下蓄滞洪区淹没范围、淹没水深及流速等重要淹没信息,同时基于洪水淹没信息有效估算了溃堤洪水给蓄滞洪区可能造成的生命、经济和生态环境损失。研究结果可为溃堤洪水灾害风险评估、

蓄滞洪区内灾害等级划分、人员和物资撤离及迁移方案制定等提供重要的理论依据。

参考文献:

- [1] 刘晓琴,刘国庆,王振. MIKE 系列模型在蓄滞洪区模拟中的应用研究[J]. 中国农村水利水电,2020(6):10-20.
- [2] 纪伟涛. 鄱阳湖——地形·水文·植被 [M]. 科学出版社,2017.
- [3] 张秀平,柳杨,许小华,等. 珠湖蓄滞洪区运用对鄱阳湖湿地公园项目的影响[J]. 人民长江,2018,49(10):21-25.
- [4] 国家防总. 关于印发长江洪水调度方案的通知(国汛[1999]10号)[S]. 国家防汛抗旱总指挥部.
- [5] 蒋水华,黄中发,黄劲松,等. 蓄滞洪区洪水演进模拟及堤防溃决损失评估方法 [J]. 水资源与水工程学报,2020,31(1):131-139.
- [6] ZHANG S,TAN Y. Risk assessment of earth dam overtopping and its application research [J]. Natural Hazards,2014,74(2):717-736.
- [7] 施国庆,朱淮宁,荀厚平,等. 水库溃坝损失及其计算方法研究[J]. 灾害学,1998,13(4):28-33.

编辑:张绍付

Modeling of dike-break induced flood routing and assessment of flood consequence in Zhuhu detention basin

WU Haizhen¹, ZHI Huanle², CHEN Lirong², JIANG Shuihua²

(1. Jiangxi Provincial Water Conservancy Investment Group Corporation, Nanchang, Jiangxi 330029, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330031, China)

Abstract: To effectively evaluate the risk of flood disaster induced by dike breach in the detention basin, a numerical model for flood routing analysis was established by taking Zhuhu detention basin in Poyang Lake area as a typical case. The flood routing process in Zhuhu detention basin was systematically simulated. The important inundate information, including the inundate area, inundate depth and velocity in Zhuhu detention basin under a historical maximum flood level was obtained. Based on the obtained inundate information, the damage of life, economic and ecological environment in the detention area caused by the dike-break flood were estimated, respectively. The research results can provide important theoretical basis for the risk assessment of dike-break flood disaster, classification of disaster levels in the detention basin, and formulation of evacuation and migration schemes of personnel and materials.

Key words: detention basin; dike breach; flood routing; consequence assessment; Zhuhu

翻译: 支欢乐

蔡勇副厅长调研指导农村水利水电工作

2021年5月28日上午,蔡勇副厅长到江西省水利技术中心专题调研指导农村水利水电工作。

蔡勇听取了江西省水利技术中心关于全省涝区治理、小水电清理整改巩固提升、生态流量监控、绿色小水电创建和度汛安全调度等工作情况的汇报,充分肯定了省水利技术中心在农村水利水电工作上取得的成效,同时也指出了当前工作中需要引起重视和亟待解决的问题,客观分析了存在的困难与破解的思路,强调要切实深入推进各项工作高质量发展。

一要牢牢扭住项目建设“牛鼻子”,推进农村水利水电项目补短板、提标准落地见效。要严格落实“项目大会战”要求,执行清单式管理,准确掌握每个项目前期工作、资金筹措、施工进度等各项工作进展情况,适时开展审计、稽察等工作,确保资金安全、工程安全、生产安全和干部安全。同时,推进涝区治理项目验收进度,加紧项目验收资料整理和档案验收等基础性工作。二要牢牢守住农村水利水电工程安全度汛底线,积极推进安全生产责任制落地见效。当前防汛Ⅳ级应急响应已启动,应重点加密对病险水电站的控制运行和水雨情调度,确保度汛安全。三要牢牢抓住“我为群众办实事”实践活动,推进党史学习教育落地见效。要结合农村水利水电工作实际,赓续红色血脉,发扬革命斗争精神,切实抓好督察整改等各项工作,让人民群众有更多更直接的获得感、幸福感、安全感。

(http://slt.jiangxi.gov.cn/art/2021/6/3/art_27165_3386146.html, 2021-06-03, 江西省水利技术中心 邵嵩)