DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250500

基于MIKE模型的水库溃坝洪水演进模拟分析

徐　敏,王　洁,陈青青,高　爽,朱丽丽
(南京市水利规划设计院股份有限公司,江苏 南京 210006)

摘　要: 科学掌握水库水文水情,对合理制定水库防汛应急预案、避洪转移等均具有重要意义。以南京市杨塘水库为例,采用水动力模型模拟溃坝情况下洪水演进特征。根据模型计算结果,在溃坝工况下,杨塘水库下游淹没总面积为0.41 km^2,淹没水深以小于2 m为主,其面积占比为95%;最大淹没水深达3.37 m,平均淹没水深为0.69 m。结合模型计算结果所制定的人口疏散转移路径,可最大限度地避免和减少洪涝灾害,将人民群众生命财产损失降到最低,为水库防汛应急预案制定提供技术依据。

关键词: MIKE模型;溃坝;淹没水深;疏散转移
中图分类号: TV122　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0117-04

Simulation Analysis of Reservoir Dam Failure Flood Evolution Based on MIKE Model

XU Min, WANG Jie, CHEN Qingqing, GAO Shuang, ZHU Lili
(Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210006, China)

Abstract: Scientific understanding of the hydrological and water conditions of reservoirs is of great significance for the rational formulation of flood control emergency plans and flood avoidance and transfer for reservoirs. Taking Yangtang Reservoir in Nanjing as an example, the hydrodynamic model is adopted to simulate the flood evolution characteristics in the case of dam failure. According to the calculation results of model, under the condition of dam failure, the total submerged area downstream of Yangtang Reservoir is 0.41 km^2. The submerged water depth is mainly less than 2 m, and its area accounts for 95%. The maximum submerged depth is 3.37 m, and the average submerged depth is 0.69 m. Combined with the population evacuation and transfer path formulated by the calculation results of the model, the flood disasters can be minimized and avoided, which will minimize the loss of people's lives and properties, and can provide the technical basis for the formulation of flood control emergency plans for reservoirs.

Keywords: MIKE model; dam failure; submergence depth; evacuation and transfer

0　引　言

水库具有防洪、灌溉、供水、航运、生态等多种功能,在汛期能削峰错峰,保障下游城镇、村庄、道路等安全。近年来,极端洪涝事件频发[1],一旦水库发生溃坝事件,很可能导致巨大的灾害和损失[2]。2017年,陕西榆林子洲县某水库溃坝;2023年,陕西咸阳某水库发生坍塌险情,造成多处房屋和车辆受损,并有人员受伤。因此,科学掌握水库水文水情,对合理制定水库防汛应急预案、避洪转移等均具有重要意义。

近年来,较多学者开展了水库溃坝洪水演进模拟研究。吴家阳等[3]以江西省柘林水库为例,分析了水库溃坝洪水的淹没风险。赵悬涛等[4]以射月沟水库实际溃坝洪水为研究对象,模拟分析了射月沟水库洪水形成、溃坝过程、溃坝水流与机理。黄怡青等[5]运用HEC-RAS模型,模拟分析了碗米坡水电站在不同情景下的瞬间溃坝洪水过程,获得了下游淹没时间、淹没水深等重要的水情信息。

本研究以南京市杨塘水库为例,基于MIKE模型分析水库溃坝情况下的洪水淹没范围、最大淹没水深等洪水要素,并根据计算结果分析人口疏散转移路径,可为水库发生极端洪水灾害防御工作、避洪转移分析等提供技术支撑。

1　研究区概况

杨塘水库位于南京市江宁区横溪街道甘泉湖社

收稿日期:2025-05-11
作者简介:徐敏(1990—),女,硕士,工程师,从事水文与水资源、水利工程规划工作。

区，始建于2002年，规模达到小（2）型水库标准，属秦淮河流域云台山河水系。杨塘水库集水面积0.875 km²（含上库0.65 km²），干流长度0.497 km，干流比降0.016 3，吹程0.325 km。2024年，杨塘水库实施除险加固工程，设计标准为20年一遇，校核标准为200年一遇。水库大坝为土石坝，坝顶高程51.90~52.30 m，坝顶长度245 m，最大坝高11.69 m，坝顶宽度7.00 m。

杨塘水库特征参数见表1。

表1　杨塘水库特征参数

类型	序号	名称	数值
特征水位/m	（1）	校核洪水位	50.58
	（2）	设计洪水位	50.22
	（3）	正常蓄水位	49.51
	（4）	汛期限制水位	49.51
	（5）	死水位	43.50
库容/(10^4 m^3)	（1）	总库容	30.60
	（2）	调洪库容	7.22
	（3）	兴利库容	21.48
	（4）	死库容	1.90

杨塘水库主要功能为防洪、灌溉，防洪保护对象为下游村庄及农田，防洪保护面积1.0 km²，保护人口300人，保护自然村2个（朱高村、甘村），保护耕地200亩。

杨塘水库上游有甘泉湖水库，下游通过库区东北侧溢洪道连通至乌水坝水库，经乌水坝水库溢洪河连通至红星水库，后经红星水库溢洪河汇入云台山河。

杨塘水库周边水系图见图1。

图1　杨塘水库周边水系图

2　溃坝洪水分析

由于洪水的渗透和漫顶，坝体的破坏可能是瞬时的，也可能是渐进的。杨塘水库位于山丘区，易发生山洪，山洪具有爆发迅速、水量集中、流速大、冲刷破坏力强等特点，常造成局部性洪灾。杨塘水库大坝为土石坝，具有适应地基能力强、抗震性好等优势，但存在体积大、防渗要求高等不足。因此，综合考虑区域背景、工程现状和外部因素，本次溃坝方式考虑最不利工况，即杨塘水库大坝瞬间失效坍塌，短时间内产生大量洪水。

2.1　溃坝决口宽度

国内常用的溃口宽度经验公式主要有铁道部科学研究院公式、黄河水利委员会经验公式。

铁道部科学研究院计算公式为：

$$b = 0.1kW^{1/4}B^{1/7}H^{1/2} \tag{1}$$

式中：b为溃坝决口宽度，m；W为水库总库容，万m^3；B为坝顶长度，m；H为最大坝高，m；k为经验系数，该水库属土石坝，k值为1.19。

黄河水利委员会经验公式为：

$$b = 0.1kW^{1/4}B^{1/4}H^{1/2} \tag{2}$$

式中：b为溃口宽度，m；W为水库总库容，万m^3；B为主坝长度，m；H为坝高，m；k为经验系数，其中，黏土类取0.65，壤土取1.30。

根据以上公式计算得到水库溃坝决口宽度分别为21.0、20.7 m，本次取溃坝决口宽度为21.0 m。

2.2　溃坝流量

水库坝体瞬间全垮时，最大溃坝流量计算公式为：

$$Q_{max} = \frac{8}{27}\sqrt{g}\left(\frac{B}{b}\right)^{1/4} bH_0^{\frac{3}{2}} \tag{3}$$

溃口流量公式为：

$$Q = Q_{max}\left(\frac{Q_{max}}{5W}t - 1\right)^4 \tag{4}$$

式中：Q_{max}为溃口处最大溃决流量，m^3/s；H_0为溃坝前上游水深，m；t为洪水排水历时，min。

从最不利工况角度考虑，假设杨塘水库遭遇200年一遇洪水，水库水位从正常蓄水位持续上升至校核洪水位50.58 m（相应库容30.60万m^3）时，大坝发生重大工程险情，水库大坝瞬时溃决，计算得到大坝决口处最大流量为678 m^3/s。决口处溃口流量过程曲线见图2。

由图2可知，发生溃坝后，溃口处的溃坝流量在初始时刻最大，随后迅速减小，38 min后溃坝流量基本稳定至入库流量。

3　MIKE模型建立

MIKE21模型具有强大的前、后处理功能。在前处理方面，能根据地形资料进行计算网格的划分；在后处理方面具有强大的分析功能，能对流场进行动

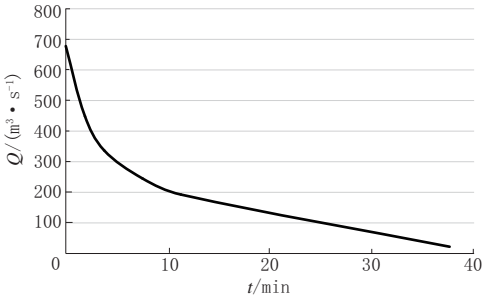

图 2　溃口流量过程曲线

态演示和动画制作。利用 MIKE21 模型，能够准确模拟水库溃坝后在下游动态演进的过程，为制定人口疏散转移方案提供理论依据。

3.1　模型原理

MIKE21 模型属于平面二维自由表面流模型，水动力模型是 MIKE21 最核心的基础模块。二维水动力模型是基于三向不可压缩和 Reynolds 值均布的 Navier-Stokes 方程，并服从 Boussinesq 假定和静水压力假定。水动力数学模型计算公式为：

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}}{\partial y}=hS \tag{5}$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x}+\frac{\partial h\overline{uv}}{\partial y}=f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{xy}\right)+hu_sS \tag{6}$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t}+\frac{\partial h\overline{uv}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y}=-f\bar{u}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}-\frac{\tau_{by}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{yy}\right)+hv_sS \tag{7}$$

式中：t 为时间；x、y 为笛卡尔坐标系坐标；η 为水位；h 为总水深，$h=\eta+d$，其中 d 为静止水深；u、v 分别为 x、y 方向上的速度分量；f 是哥氏力系数，$f=2\omega\sin\varphi$，其中 ω 为地球自转角速度，φ 为当地纬度；g 为重力加速度；ρ 为水的密度；S_{xx}、S_{xy}、S_{yy} 分别为辐射应力分量；S 为源项；(u_s,v_s) 为源项水流流速。字母上带横杠的是平均值。

3.2　构建范围

淹没区域为杨塘水库下游农田和村庄，结合水库下游地面高程情况分析，建模面积 1.77 km²。为保证较好地拟合地形、河道形态，提升计算效率，计算网格由三角形单元构成，依据地形特征采用不同网格分辨率，道路、村庄等区域网格加密，控制网格尺度不大于 36 m² 范围，共划分网格单元 457 060 个，平均面积 3.86 m²。

淹没区地形采用数字高程模型（DEM）数据，模型高程散点间距为 10 m。

建模范围网格单元叠加地形示意图见图 3。

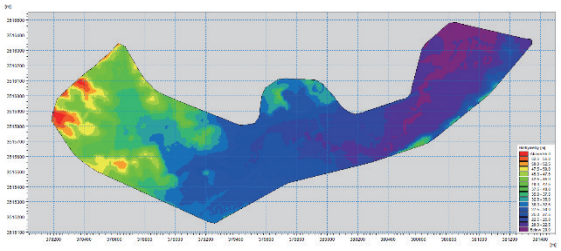

图 3　建模范围网格单元叠加地形示意图

3.3　参数设置

根据居民区、农田、道路、河道等不同下垫面设置曼宁系数，曼宁系数取值范围见表 2。

表 2　曼宁系数取值范围

地表类型	曼宁系数范围（n）
水域	0.025~0.033
建成区	0.034~0.1
水田、耕地	0.01~0.2
山林	0.1~0.8

溃坝方式考虑最不利工况，自水库校核洪水位 50.58 m 起瞬间全溃。建模范围内水库大坝为开边界，决口宽度 21.0 m 为开边界，水库其余段为闭边界；溃坝流量过程作为上游开边界条件，下游以河道水位作为下游边界条件。

4　溃坝洪水影响分析

4.1　淹没范围及最大淹没水深

根据模型计算成果，提取淹没水深大于 0.05 m 的网格，从而得到淹没范围；根据各网格淹没水深统计得到不同水深等级下的网格面积。

根据分析计算得出，水库溃坝发生后，下游河道水位迅速上升，超过河道承载能力后开始漫溢，形成洪水，最大淹没水深超过 3.0 m。38 min 后溃口流量趋于稳定，洪水水位开始回落，淹没水深从上游开始逐渐递减。表 3 为水库溃坝后下游淹没面积统计；图 4 为水库溃坝发生后下游淹没范围和最大淹没水深分布示意图。

表 3　淹没面积统计　　单位：km²

各水深等级下积水面积					淹没总面积
≤0.5 m	0.5~1.0 m	1.0~2.0 m	2.0~3.0 m	>3.0 m	
0.21	0.10	0.08	0.02	0.000 6	0.41

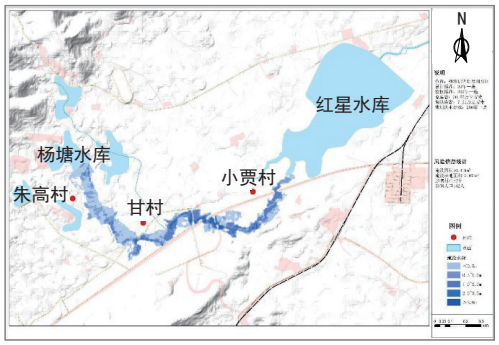

图4　淹没范围和最大淹没水深分布示意图

由表3、图4可知，溃坝工况下洪水淹没总面积0.41 km²。其中，耕地面积0.07 km²；淹没村庄主要涉及朱高村和甘村，涉及人口约42人；影响的交通基础设施主要有G235。在杨塘水库大坝发生溃坝后，研究区域内淹没水深以小于2 m为主，其面积占比为95%；淹没水深最大值达3.37 m，平均淹没水深为0.69 m。

4.2　疏散转移分析

杨塘水库溃坝后，下游朱高村和甘村部分房屋地势较低，位于淹没范围内，研究考虑对受影响人口进行疏散转移。结合研究区周边建设地块，受影响人口就近转移至附近学校或社区居委会。图5为人员转移及安置路线示意图。

5　结　语

研究针对南京市江宁区杨塘水库开展溃坝洪水演进模拟，采用水动力模型模拟溃坝情况下洪水演进特征。溃坝工况下，杨塘水库下游淹没总面积0.41 km²，淹没范围内主要为耕地、村庄（朱高村和甘村）及G235交通道路等。研究区域内淹没水深以小于2 m为主，其面积占比为95%。

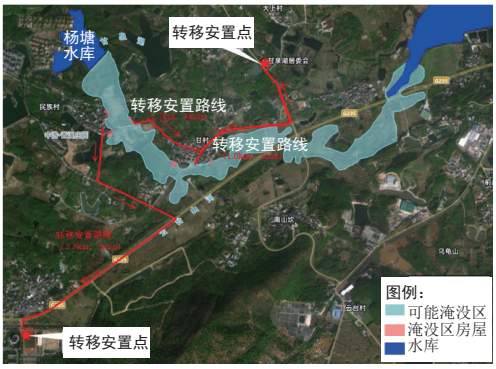

图5　人员转移及安置路线示意图

根据研究得到的淹没范围、淹没水深等计算结果，初步拟定了淹没范围内人口疏散转移路径。研究成果明确了水库溃坝后下游重点关注对象，可最大限度地避免和减少洪涝灾害，为水库防汛应急预案制定提供技术依据。

参考文献：

[1] 刘家宏，宋天旭，梅超，等. 利比亚德尔纳2023年极端洪水模拟复盘分析[J]. 水利学报，2024，55(6)：723-734.

[2] 明雪梅. 水库溃坝风险后果研究现状及发展趋势[J]. 水利技术监督，2020(5)：99-101；109.

[3] 吴家阳，刘佳明，单定军，等. 平原河网地区水库溃坝洪水数值模拟分析—以江西省柘林水库为例[J]. 水利水电快报，2023，44(2)：35-42.

[4] 赵悬涛，刘昌军，王文川，等. 射月沟水库溃坝洪水模拟及溃坝原因分析[J]. 中国农村水利水电，2022(5)：171-177.

[5] 黄怡青，宋兵，朱朝辉，等. 基于HEC-RAS模型的水库溃坝洪水模拟及影响分析[J]. 水科学与工程技术，2025(1)：20-24.