

Application of InfoWorks RS to Simulate Dike-Break Floods

Yalin Li¹, Xiaoxiao Wang²

Jiangxi Provincial Water Conservancy Research Institute, Nanchang Jiangxi
Email: 876861633@qq.com

Received: Aug. 12th, 2017; accepted: Aug. 24th, 2017; published: Sep. 5th, 2017

Abstract

The dike-break flood has the characteristics of short duration, fast speed and large flow rate, which will cause great influence on the safety of the people's property in the protected area. Based on the theory of hydraulics, hydrology and risk analysis, this paper uses the technical methods such as numerical calculation and mathematical statistics to simulate the dike-break flood under design and over-standard flood in the Ganjiang River. InfoWorks RS is employed to simulate the protection area of Fengcheng Dikes in Jiangxi Province. The flood routing and factors, such as inundated depth and area, are analyzed under different simulation cases. The results provide the scientific basis for flood prevention and mitigation, disaster assessment, flood transfer and protection of the people's property.

Keywords

InfoWorks RS, Dike-Break Flood, Simulation, Flood Risk

应用Infoworks RS模拟溃堤洪水

李亚琳, 王小笑

江西省水利科学研究院, 江西 南昌
Email: 876861633@qq.com

收稿日期: 2017年8月12日; 录用日期: 2017年8月24日; 发布日期: 2017年9月5日

摘要

溃堤洪水具有历时短、速度快、流量大的特点,往往会对保护区内人民财产安全造成巨大影响。以江西省丰城大联圩防洪保护区为例,应用InfoWorks RS软件,从水力学、水文学、风险分析理论出发,通过数值计算、数

作者简介: 李亚琳(1989-),女,河南商丘人,助理工程师,主要从事防洪减灾、水文水资源等方向研究。

文章引用: 李亚琳,王小笑. 应用 Infoworks RS 模拟溃堤洪水[J]. 水资源研究, 2017, 6(5): 443-451.
DOI: 10.12677/jwrr.2017.65052

理统计等技术手段,对赣江设计洪水及超标洪水进行溃堤洪水模拟分析,模拟了不同方案下溃堤洪水演进过程,统计了洪水淹没水深、面积等洪水影响要素。该分析成果为防洪减灾、灾害评估、避洪转移和人民财产安全保护提供了科学依据。

关键词

InfoWorks RS, 溃堤洪水, 模拟, 洪水风险

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

洪涝灾害是我国频繁发生的最主要的自然灾害之一,溃堤是一种低概率、高危害的洪灾因素。本文研究区域位于江西省丰城市,江西省河流众多,水系复杂,雨量充沛,堤防是省防洪工程体系的重要组成部分,根据历史洪涝灾害调查,多次发生由汛期暴雨洪水引起的溃堤事件。溃堤洪水历时短,速度快,流量大,对保护区内造成的危害远大于一般洪水危害[1]。溃堤洪水风险主要来源于河道高洪水位,导致堤防薄弱环节溃决。因此,通过对防洪断面洪水水位过程的模拟分析,可为防洪管理提供决策支持。目前,对河道洪水模拟有效途径之一为基于水文-水动力学的耦合。水文-水动力学耦合模型建立在反映水流物理机制智商而得到较多应用,并逐步开发形成商业化应用软件系统,如 MIKE、Delft3D、InfoWorks RS 等。InfoWork RS 因其具有集成陷阱的 ISIS 仿真引擎、地理分析及关系数据库,能及时根据不断变化的数据建立准确的流域及河流模型的特点,在我国得到了广泛应用[2]。本文以江西省丰城大联圩防洪保护区为研究区域,基于 InfoWorks RS 软件构建了赣江河道与保护区内一、二维耦合模型,对溃堤洪水进行了模拟分析与洪水影响要素统计。

2. 模型简介

InfoWorks RS 是英国 Wallingford 公司开发的水力学模型专业应用软件,主要用于河网水动力学模型建模和计算,能够模拟流域降雨径流、明渠、滞洪区、堤坝和复杂的水工结构(水闸、桥、泵、堰等)并提供决策支持和先进的图形分析表现功能[3] [4]。

基于 InfoWorks RS 软件,洪水模拟分析采用河道一维、洪泛区二维、堤坝溃坝过程一体化的数值模拟方法。其中河道采用一维非恒定流方法,洪泛区采用二维非恒定流方法进行一、二维嵌套洪水分析计算。

1) 河道一维模型:一维河道(河网)的洪水运动用 St.Venant 方程组描述,包括质量方程与动量方程。其上、下游边界的控制条件一般采用水位过程控制、流量过程控制、流量~水位关系控制等形式[2]。由基本方程 St.Venant 方程、边界条件和初始条件同组成一维洪水运动的定解问题。

质量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{gA|Q|Q}{K^2} = q_L v_x \quad (2)$$

式中: x, t 为距离和时间, 为自变量; A 为各断面的过水断面面积; Q 为流量; Z 为水位; α 为动量修正系数; K 为流量模数; q_L 为旁侧入流, 入流为正, 出流为负; v_x 为入流沿水流方向的速度, 若旁侧入流垂直于主流则其值为 0。

2) 洪泛区二维模型: 如河槽内水流具有一维性, 河槽外水流具有二维性, 决口处水流则具有三维性质。一般情况下, 洪水是在两岸设有堤防的河道内运动, 一维 St.Venant 方程组可以解决河道过流能力和水位升降的变化, 而洪水到达时间、洪水淹没范围、淹没水深、淹没历时等, 需要做二维洪水模拟计算, 采用守恒型式的浅水波方程作为二维洪水运动的控制方程[5]。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial X} + \frac{\partial G}{\partial Y} = s \quad (3)$$

式中: 守恒物理量 U 、 x 和 y 轴方向上的通量 E 和 G , 以及源向量分别为

$$U = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix} E = \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{gh^2}{2} \\ G = huv \end{bmatrix} G = \begin{bmatrix} hu \\ huv \\ hv^2 + \frac{gh^2}{2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$S = S_0 + S_f = -gh \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\partial z_B / \partial x}{\partial z_B / \partial y} \\ -\frac{gn^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u \\ v \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: h 为水深; u 和 v 分别是 x 和 y 轴方向垂线平均水平流速分量; g 为重力加速度; S_0 为底坡源项; S_f 为底摩擦源项; n 为糙率; z 为河底高程。

3) 耦合模型

维耦合水力学模型中一维河网模型与二维洪泛区模型通过“溢流单元”上的连接条件来实现模型耦合, “溢流单元”是河道堤防所在的位置, 漏口也设置于此处。

3. 洪水模拟分析思路

基于 InfoWorks RS, 整个计算模型划分为事件库、网络库和逻辑库物理上相互区别、数值模拟上密切联系的三部分[6]。事件库用于存储模型计算边界条件和初始条件, 网络库包含用于水文与水力学计算的地理图层、河道断面、工程节点、工程链接、河网交汇等各类实体模型, 逻辑库则用于存储反映人工控制的管理的各类规则与方案。利用构建的水力学数值模拟模型库, 针对本文研究区域, 依据设计洪水、超标洪水组成的洪水模拟方案, 确定上下游模拟条件, 利用生成的流域洪水计算模拟平台, 进行方案数值模拟; 基于 ArcGIS 平台针对不同类型洪水致灾要素(淹没范围、淹没水深)进行统计分析。

4. 应用案例

4.1. 研究区域概况

丰城大联圩防洪保护区位于丰城市境内, 赣江下游东岸, 清丰山溪北岸, 丰城大联圩圩堤起自拖船镇的谭家窑, 沿清丰山溪北上, 止于小港口闸, 与赣东大堤共同保护丰城市的防洪安全, 圩堤保护面积 147.6 km^2 。保护区区内有浙赣铁路、105 国道等重要设施和丰城市城区, 防洪形势尤为重要。丰城市城区地处赣抚平原地区, 地势较低, 洪涝灾害频繁发生。据历史洪涝灾害资料, 赣江东岸(右岸)大堤拖船埠以上 2.5 km 处的樟树下、拖船郭厚段、万石圩在金坊横堤段等, 均因暴雨洪水, 赣江达高洪水位, 发生过堤防决口事件, 对保护区内造成严重威胁。经多年除险加固, 现赣东大堤抗洪能力为 50 年一遇的防洪标准。

4.2. 模型构建

4.2.1. 洪源分析

本文研究区主要洪水风险考虑赣江超标洪水引起的堤防溃决，根据历史溃口及险工险段分析，设置溃口位置为赣东大堤剑东村堤段(东经 $115^{\circ}48'04''$ ，北纬 $28^{\circ}13'40''$)。结合保护区内河道的设防标准，选取赣江洪水量级为 50 年一遇、100 年一遇设计洪水，设置两种工况下的洪水模拟方案，即：赣江发生 50 年、100 年一遇洪水，赣东大堤剑东村段溃决，溃口最终宽度 300 m，底高程 21.3 m，瞬溃，发展历时 4.5 h，不考虑区间降雨，模拟时间 16 天。

洪水模拟分析思路框架，见图 1。

4.2.2. 网络

河道一维模型：赣江河道采用一维水力学模型模拟计算。共收集赣江河道断面 76 个，将实测的断面数据，信息整理成 IWRS 所需的部分 ISIS 文件格式，导入到软件中，自动生成断面及其之间的河道连接。共创建赣江断面河道链接 75 个，总长度 89.81 km。

二维模型：保护区采用二维水力学模型模拟计算，赣江发生超标洪水出现堤防溃决时，洪水很可能会漫过丰城大联圩堤防，进入清丰山溪河道并漫过对岸，故赣江外洪风险计算范围扩大至 658.29 km^2 。采用 2D 区间概化二维模拟区域，2D 区间以面状对象概化，最大三角形面积为 8000 m^2 。糙率则根据下垫面条件的不同分别确定。网格划分时以计算域外边界、区域内堤防、阻水建筑物、较大河渠、主要公路、铁路作为依据，共概化保护区道路 199 段，生成计算网格 102,911 个，创建糙率分区 384 片。

一维和二维耦合模型：一维河网模型与二维洪泛区模型通过“溢流单元”上的连接条件来实现模型耦合共创建赣江外洪模型溢流单元 85 个，与二维保护区连接。共设置清丰山溪与保护区之间“溢流单元” 16 个，并采用“漫堤”的方式使溃堤洪水自由漫过清丰山溪。

4.2.3. 事件

主要初始条件：初始条件主要为一维河道初始水位，取高于河床底高程 2~3 m 左右。

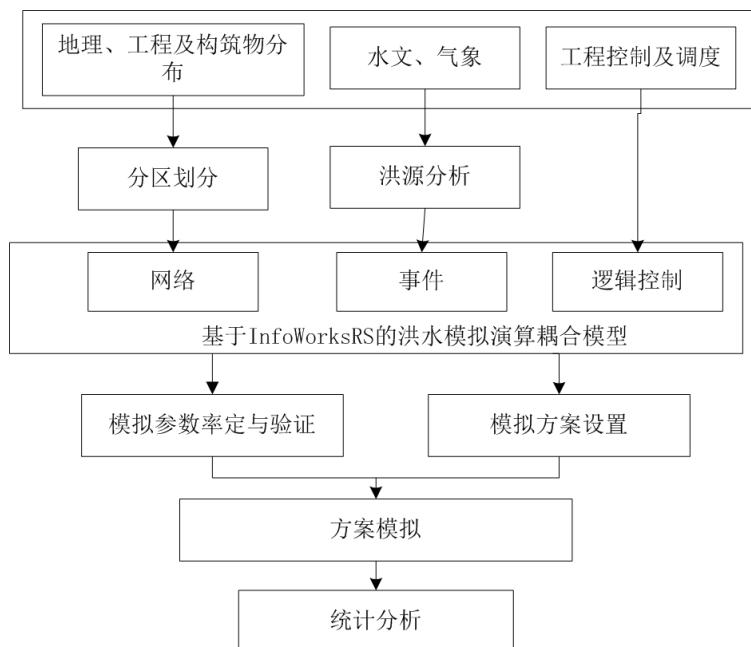


Figure 1. Frame of flood simulation analysis

图 1. 洪水模拟分析思路框架

主要外边界条件：上边界为樟树站设计洪水流量过程，下边界为外洲站水位 - 流量过程曲线。

主要内边界：1) 对于堤防溃决，首先确定各个溃决口门位置后，设置口门初始、最终尺寸(底高程、底宽等)，设定溃口发展过程，将其作为内部边界条件，计算溃口洪水过程。2) 对于区域内高于地面 0.5 m 以上的堤防、道路等线状构筑物，当泛滥洪水达到其顶高程时，选择漫溢方式进行洪水分析计算。

4.2.4. 逻辑控制

本文构建的外洪模型不考虑闸门、泵站等建筑物控制，故没有对其进行逻辑控制进行相关设置。

4.2.5. 参数率定

一维水动力学模型参数主要为河道糙率。糙率是表征河道底部、岸坡影响水流阻力的综合系数，是水力计算的重要灵敏参数，也是水动力数学模型中最重要的参数。采用 2010 年 6 月 15 日~2010 年 8 月 31 日市汊站和丰城站计算水位与实测水位的对比结果(见图 2、图 3)，对河道糙率进行率定，确定丰城大联圩防洪保护区赣江一维河道模型糙率取值 0.025~0.027 之间，平均糙率为 0.026。

二维水动力学模型参数主要为二维洪泛区的糙率。由于缺乏实测资料，本次根据研究区地形、地貌的实际情况，结合以往规划设计资料和经验值分析确定丰城大联圩防洪保护区二维洪泛区糙率采用值。本文洪泛区地表采用不同下垫面不同的糙率分区，具体数值详见表 1。

4.3. 结果分析

不考虑区间降雨的情况下，赣江发生 50 年、100 年一遇洪水时，赣东大堤剑东村段出现溃决险情。如图 4 所示，为两种工况条件下，洪水演进过程(本文选取 80 h、100 h、170 h 三个时刻)。溃口处进洪量大，水流向四周散开，洪水进入保护区内时，小港镇东北部相对地势低，水流优先向东北部演进，当洪水遇到高地(或线状阻水建筑物)时，由于挡水作用，水流向地势低的两端分流。

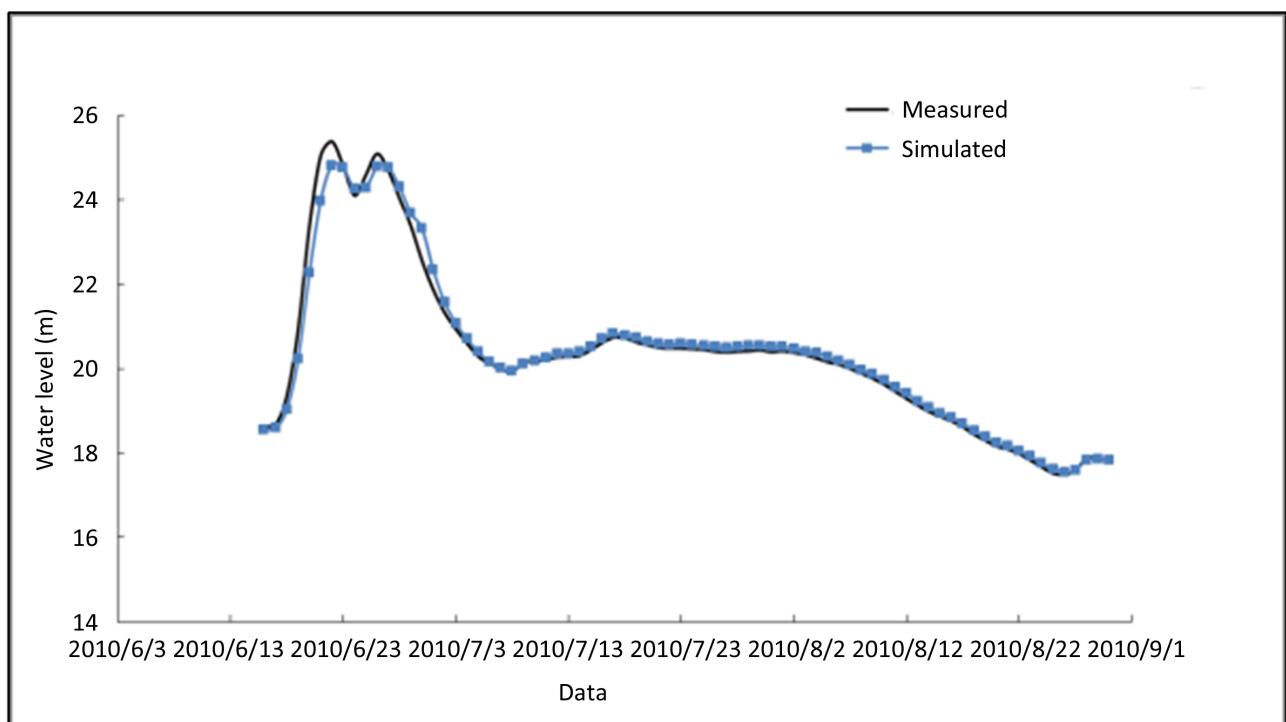
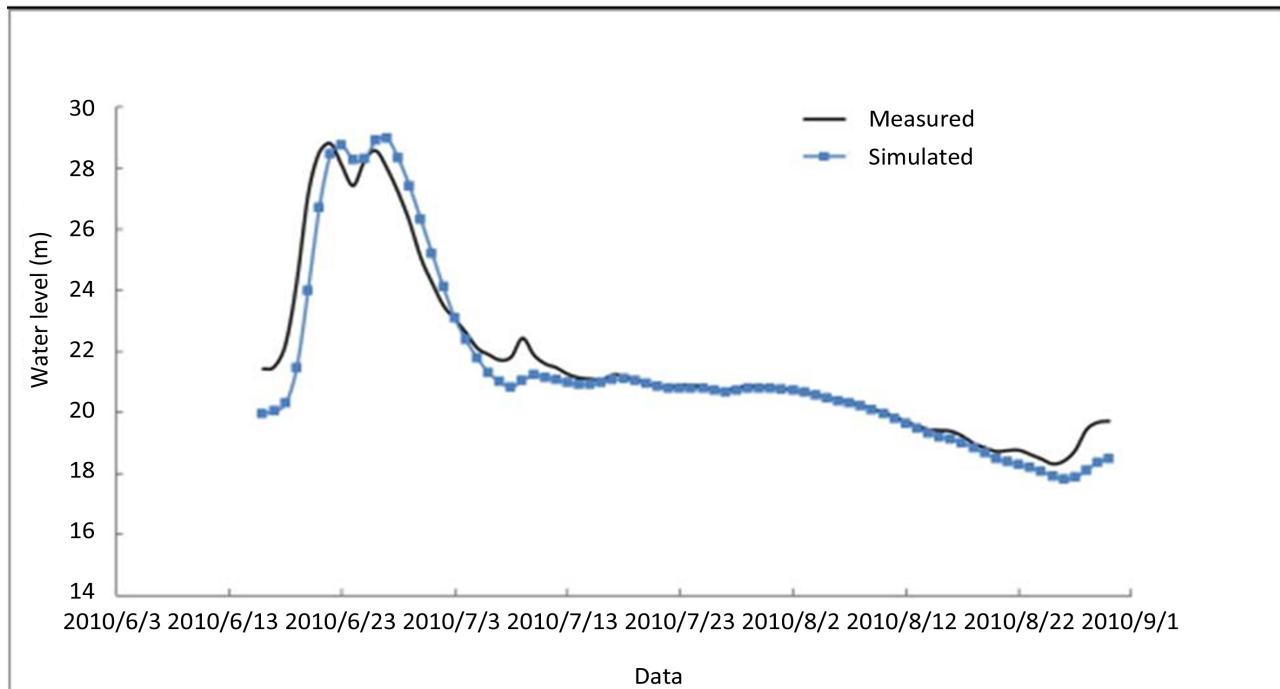
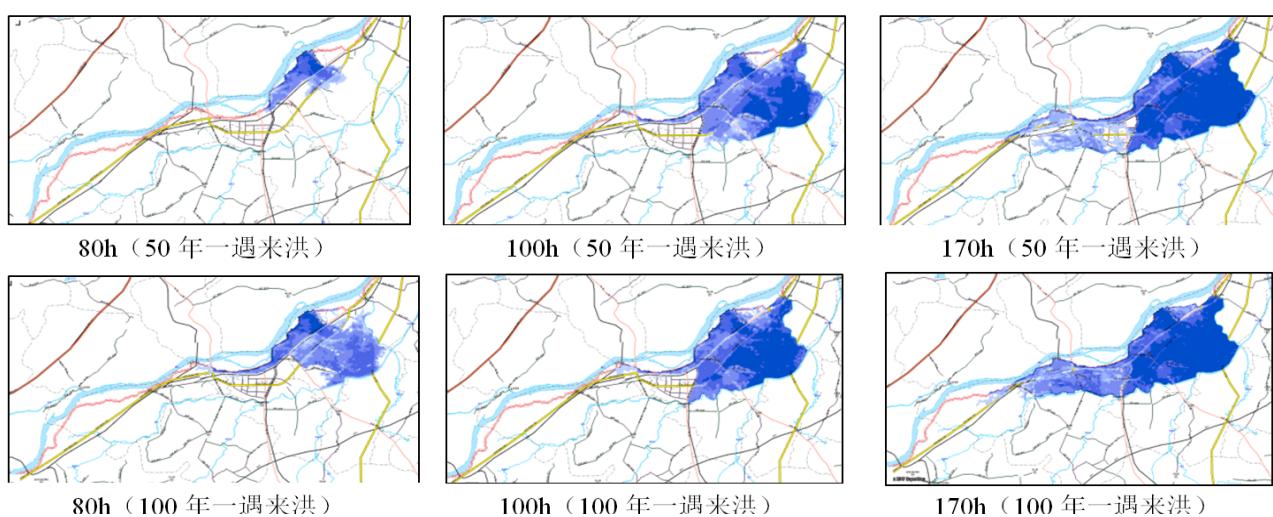


Figure 2. Comparison of measured and simulated water levels of Shicha station

图 2. 市汊站实测水位与计算水位对比

Table 1. List of roughness coefficients used in the simulation**表 1. 数值模拟糙率取值表**

| 土地利用类型 | 糙率(n) | 备注 |
|--------|-------|----------------------------------|
| 村庄 | 0.07 | 居民地 |
| 树丛 | 0.065 | 幼林、竹林、疏林、成林、灌木林 |
| 旱田 | 0.06 | 旱地、城市绿地、园地、草地、苗圃、荒草地、高草地、半荒草地、迹地 |
| 水田 | 0.05 | |

**Figure 3.** Comparison of measured and simulated water levels of Fengcheng station**图 3. 丰城站实测水位与计算水位对比****Figure 4.** Flood routing of dike bursts for 50- and 100-year floods**图 4. 50 年和 100 年一遇洪水溃堤洪水演进过程**

两种工况下，保护区内的淹没面积（除保护区外漫堤洪水淹没范围）分别为 106.97 km^2 、 132.14 km^2 ，如图 5 和图 6。研究区域东北部地区受淹情况最为严重，淹没水深基本在 3 米以上，这是由于东北部地势相对低洼平坦。赣江洪水风险较大，部分水量漫过丰城大联圩堤防到达对岸，减少了保护区内的进洪量。研究区内水深等级与洪水淹没面积统计结果见表 2。

两种工况，剑东村溃口流量过程如图 7 和图 8，其最大流量分别为 $3814.99 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4632.46 \text{ m}^3/\text{s}$ ，计算时段内的进洪总量分别为 $18.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $19.01 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。后期赣江来水量减小，水位下降，出现保护区内洪水回流现象。

Table 2. Inundated depth and corresponding inundated area in Jiandong Village village under two cases
表 2. 剑东村溃口方案及各水深等级淹没面积

| 方案编号 | 方案名称 | 各水深(m)等级下淹没面积(km ²) | | | | |
|------|---------------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| | | S2 0.05~0.5 | S3 0.5~1.0 | S4 1.0~2.0 | S5 2.0~3.0 | S6 >3.0 |
| 方案 1 | 赣江 50 年一遇洪水剑东村溃口溃决 | 9.44 | 10.44 | 18.56 | 18.24 | 50.29 |
| 方案 2 | 赣江 100 年一遇洪水剑东村溃口溃决 | 6.17 | 13.05 | 25.79 | 30.2 | 56.93 |

丰城大联圩防洪保护区赣江50年一遇洪水赣东大堤剑东村段溃决淹没水深图

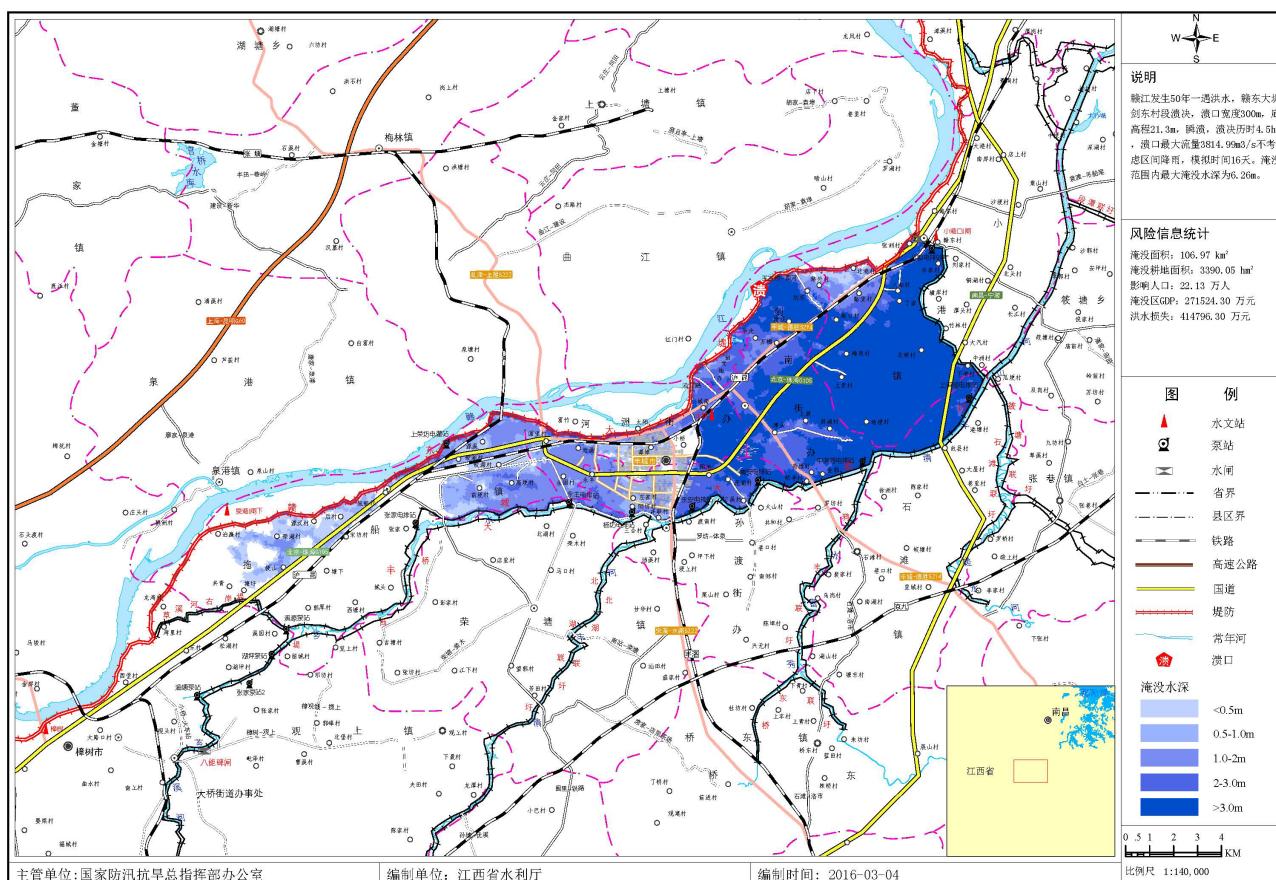


Figure 5. Inundated area of the dike burst caused by a 50-year flood in Ganjiang

图 5. 赣江 50 年一遇洪水溃堤淹没范围

丰城大联圩防洪保护区赣江100年一遇洪水赣东大堤剑东村段溃决淹没水深图

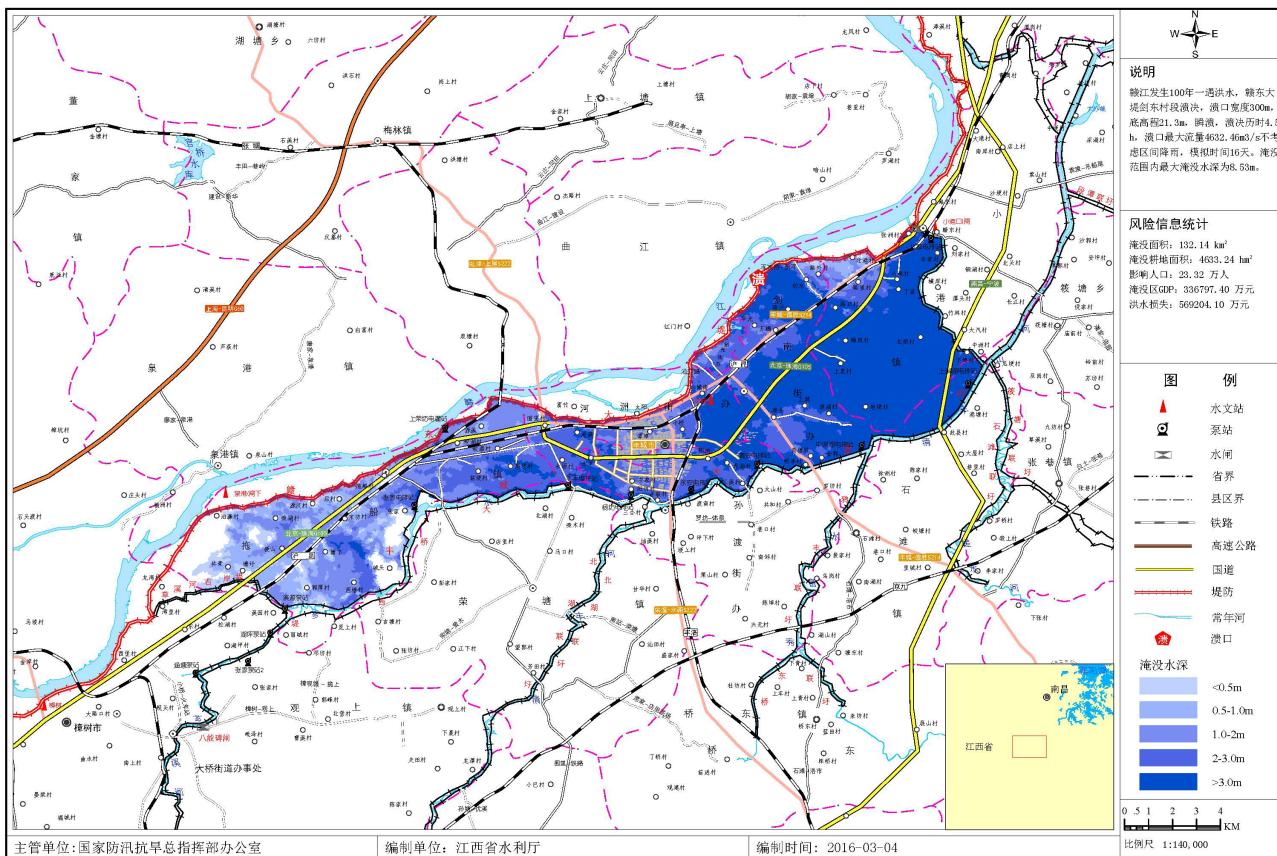


Figure 6. Inundated area of the dike burst caused by a 100-year flood in Ganjiang

图 6. 赣江 100 年一遇洪水溃堤淹没范围

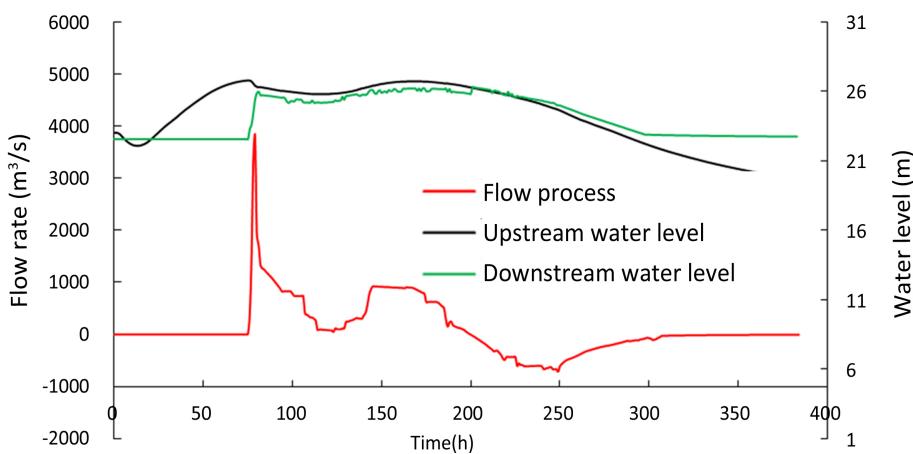


Figure 7. Flow process of the burst under case 1

图 7. 方案 1 溃口流量过程

5. 结语

通过实地考察，结合历史溃堤情况，选择本文溃口点。对研究区域设计了两组洪水风险方案，能够反映赣江最不利洪水对研究区域产生的威胁。

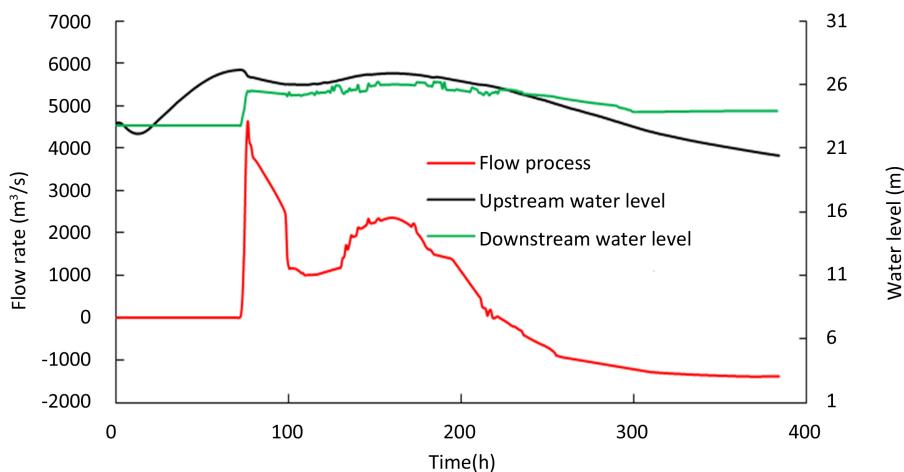


Figure 8. Flow process of the burst under case 2
图 8. 方案 2 溃口流量过程

在二维模型构建当中，考虑了区域内道路、铁路等建筑物对洪水演进的影响，借助相应工程模块合理、准确地概化了阻水建筑物与过水建筑物，使洪水在受灾区域的演进过程更为准确、合理。

以丰城大联圩防洪保护区为例，设置堤防薄弱环节为溃口，模拟分析了赣江 50 年一遇设计洪水与 100 年一遇超标洪水引起的堤防溃决洪水演进过程，并统计分析了两种工况下保护区内各水深等级的淹没面积、保护区内进洪总量等，为防洪减灾、灾害评估、避洪转移和人民财产安全保护提供了依据。

参考文献 (References)

- [1] 李尚超,牛志伟,刘晓青,吴浩然. 溃坝洪水演进影响因素分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2016(4): 1-5.
LI Shangzhi, NIU Zhiwei, LIU Xiaoqing and WU Haoran. Analysis of influencing factors of dam-break flood routing. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2016(4): 1-5. (in Chinese)
- [2] 魏凯,梁忠民,陈永钢. InfoWorks RS 软件在河道洪水模拟中的应用[J]. 水电能源科学, 2013(8): 56-58.
WEI Kai, LIANG Zhongmin and CHEN Yonggang. Application of InfoWorks RS in channel flood routing. Water Resources and Power, 2013(8): 56-58. (in Chinese)
- [3] 王学超,梁士奎,叶飞. InfoWorks RS 在河流系统模拟中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2013(2): 8-10.
WANG Xuechao, LIANG Shikui and YE Fei. Application of InfoWorks RS in river system simulation. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydropower, 2013(2): 8-10. (in Chinese)
- [4] 喻胜春,袁锦虎,邹允福. InfoWorks RS 软件在平原河网计算中的应用研究[J]. 中国农村水利水电, 2009(10): 44-46.
YU Shengchun, YUAN Jinhui and ZOU Yunfu. Application and research of InfoWorks RS in plain river system simulation. China Rural Water and Hydropower, 2009(10): 44-46. (in Chinese)
- [5] 范中亮,史杰,王剑楠,马艳红. InfoWorks RS 在黄河中卫市城市河段洪水演算中的应用[J]. 中国水运, 2015(10): 142-143.
FAN Zhongliang, SHI Jie, WANG Jiannan and MA Yanhong. Application of InfoWorks RS in flood routing in city (Zhongwei) part of Huang River. China Water Transport, 2015(10): 142-143. (in Chinese)
- [6] 陈鸣,范子武,李云,等. 河流模拟系统软件及应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 2010.
CHEN Ming, FAN Ziwu, LI Yun, et al. System software and application of river simulation. Nanjing: Hohai University Press, 2010. (in Chinese)