

官山河两河口河段暴雨洪水顶托效应研究

王以逵¹, 訾丽², 王协康^{1*}

(1. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都, 610065;

2. 长江水利委员会水文局, 武汉 430010)

摘要: 官山镇位于湖北十堰丹江口市, 2012年8月5日该地发生特大洪水灾害, 导致官山镇及官亭村等地区受灾严重。经实地考察发现官山河干流与其支流吕家河交汇处河道交汇角接近于 180° , 交汇处的顶托回水作用是上游官山镇产生淹没灾害的主要诱因。针对官山河暴雨洪水成灾特点, 本研究采用KW-GIUH水文模型模拟交汇处的洪水过程, 并结合HEC-RAS数值模型, 分析了两河口区域受暴雨洪水顶托产生的淹没特征, 探讨了官山河和吕家河干支交汇水流顶托作用的变化规律。

关键词: 官山河; 交汇河段; 暴雨洪水; 水流顶托; 数值模拟

1 研究区域介绍

官山河位于湖北省十堰丹江口市官山镇境内, 发源于房县马蹄山, 经由官山镇、六里坪镇后汇入丹江口水库, 河长67.5km, 流域面积413km²。地处丹江口市南部, 官山河流域全年降雨量充沛, 暴雨季节主要集中在7—8月份, 且山洪灾害多发。2012年8月5日, 官山镇发生特大洪水灾害, 对人民群众生命和财产安全造成严重影响。实地考察中发现官山镇和官亭村两处受灾点, 都位于官山河主流与其支流吕家河的 180° 交汇口附近。

由于缺少历年详细水文资料, 且只有下游水文站有不完全的水位流量实测资料, 本研究采用降雨资料和分布式水文模型推求上游断面的洪水流量过程。目前较为常用的分布式水文模型有美国的TOPMODEL模型、SWAT模型、欧洲的她SHE模型、中国的新安江模型以及流溪河模型等。本研究采用运动波—地貌瞬时单位线模型(KW-GIUH模型)^[1]将下垫面的遥感资料融入到了分布式水文模型中。

在干支河流交汇区常发生水流顶托作用, 顶托作用显著影响干支流的水位等特性^[2]。本研究讨论在暴雨洪水的情况下, 两河交汇处的顶托效应对上游水位的影响, 采用了

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFC1502504); 国家自然科学基金项目(41771543)。

作者简介: 王以逵(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水力学及河流动力学。

*通讯联系人 E-mail: wangxie kang@scu.edu.cn

HEC-RAS 软件进行一维数值模拟，以此分析吕家河和官山河交汇顶托的变化规律。

2 计算模型简介

2.1 运动波—地貌瞬时单位线模型

河网的特征集中反映了流域的水文情势，同时，水流汇集与运动又受河网的影响。因此，借助数学模型将地貌信息转化为水文信息，然后结合降雨特性，就能推求流域出口断面的流量过程。李光敦和严本琦依据流域的河网特性，将每一级的子流域以一个 V 形坡地流模型进行模拟，并将雨滴在此坡地流模型中的运行，划分为坡地流与渠流过程，而应用运动波理论以解析方式，直接求解径流时间概率密度函数的平均值，称为运动波—地貌瞬时单位线(KW-GIUH)。

2.2 HEC-RAS 模型及算法

河道水力分析模型(HEC-RAS)^[3]是针对一维恒定/非恒定流的水力模型，主要用于明渠河道流动分析和洪泛平原区域的确定，模型主要有如下三大功能。

(1) 恒定流水面线计算。可对单个河段、树枝状河系或河网的缓流、急流和临界流进行水面线计算，采用直接步进法逐断面推求水面线。计算原理基于一维能量方程：

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

式中， Y_1 、 Y_2 分别为断面 1 和断面 2 水深； Z_1 、 Z_2 分别为断面 1 和断面 2 主河道高程； α_1 、 α_2 分别为断面 1 和断面 2 流速系数； g 为重力加速度； h_e 为水头损失。

(2) 非恒定流模拟。计算原理基于连续性方程和能量方程，分别为：

$$\partial / \partial t + \partial(\rho u_i) / \partial x_i = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \lambda \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3)$$

(3) 可动边界的泥沙输移计算。可对一维泥沙冲刷或沉积进行模拟，时间段可为代表年，也可为单个洪水事件。

目前在山区河流山洪预警上涉及的因素越来越多，需要处理的信息量也越来越多。HEC-GeoRAS 模块与 GIS 软件的结合有效地简化了前期的数据准备工作，快速生成河道几何信息，在模型计算后又可与 GIS 软件结合生成洪水淹没范围。将 HEC-RAS 的计算功能与 GIS 软件的数据处理与可视化相互结合起来，有效的对山洪灾害进行模拟^[4]。

3 模型建立及计算工况设置

3.1 KW-GIUH 模型建立

经实地考察，发现官山河河段和吕家河河段交汇处（图 1）的顶托回水作用对两河口区域致灾有着主要影响，现以交汇处为出口，分别划分出官山河以及吕家河两个子流域（图 2），通过建立 KW-GIUH 模型模拟计算各子流域出口流量过程。

由于只有下游孤山水文站的实测资料，将孤山水文站降雨资料视为子流域平均降雨量，降雨时段选取 2012 年 8 月 4 日 10 时至 8 月 7 日 8 时，历时 70h 降雨资料代入 KW-GIUH 中计算。将官山河流域 DEM 图，导入 GIS 软件中，利用水文分析工具提取出两研究河段的基本地形地貌信息（表 1）。降雨资料和地理信息导入 KW-GIUH 模型求出口流量过程。

经过查表选取河道糙率为 0.03，坡面糙率为 0.6。官山河子流域出口河宽为 60 m，吕家河子流域出口河宽为 35 m。



图 1 官山河流域水系分布

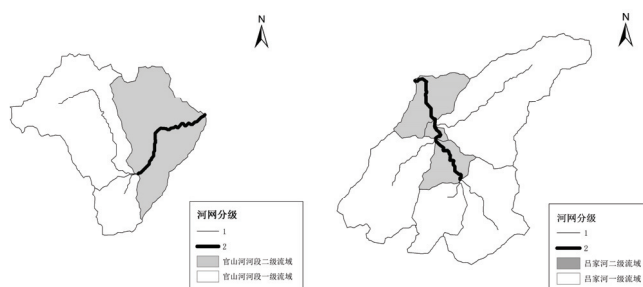


图 2 两河口交汇区官山河和吕家河子流域

表 1 两子流域地形地貌参数

河流	河流级别	集水区平均面积 (km ²)	河槽平均长度 (km)	占该子流域面积概率	坡地平均坡度	河槽平均坡度
官山河	1	36.31	7.62	0.5974	0.4047	0.0155
河段	2	48.94	8.9	0.4026	0.4074	0.0049
吕家河	1	25.88	5.16	0.8425	0.3771	0.0152
河段	2	6.45	3.1	0.1575	0.3506	0.006

3.2 河道模型建立及工况设置

选取河槽糙率为 0.03，漫滩糙率为 0.05。出口边界条件为比降为 0.003 的自由出流。结合实地考察，选取 CS1、CS2、CS3 三个典型断面（图 3）进行水位和工况 1 时最大淹没范围的分析。为了分析两河流交汇产生的顶托回水效应对淹没范围的影响

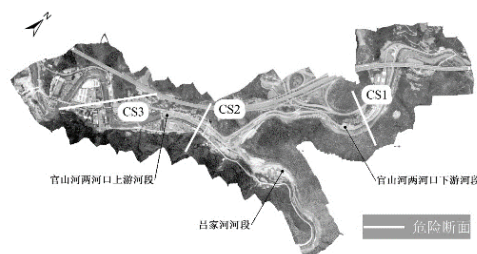


图 3 断面分布

影响，以主支流来流量为变量分别设置如下 4 个工况（表 2）。

表 2 各工况参数表

工况编号	主流洪峰流量 m^3/s	支流洪峰流量 m^3/s
1	430	435
2	430	242
3	232	435
4	232	242

4 计算结果与分析

4.1 洪水过程线

采用建立的 KW-GIUH 模型，可计算两个子流域的洪水过程，若采用孤山站降雨参数计算两子流域出流过程，官山河和吕家河两子流域的洪峰流量分别为 $958.5\text{m}^3/\text{s}$ 和 $1054\text{m}^3/\text{s}$ ，其汇流峰量基本接近孤山实测洪峰流量 $1032\text{m}^3/\text{s}$ 的 2 倍。由于两子流域缺乏实测降雨资料，暂假定上游平均降雨量视为孤山水文站实测资料的 0.5 倍（图 4a）和 0.3 倍（图 4b），使流量过程更符合实际。

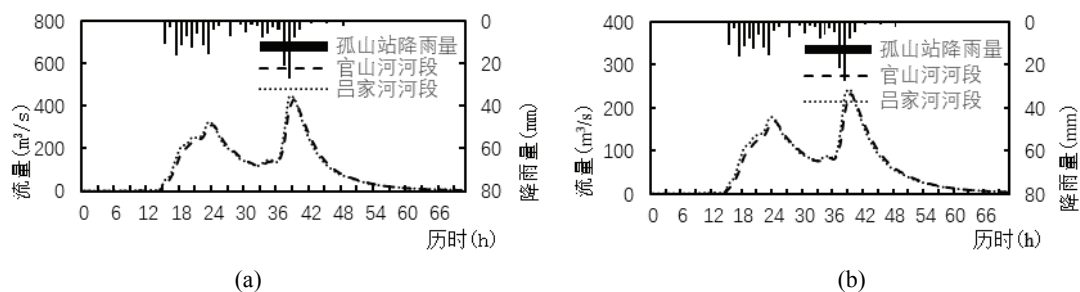


图 4 孤山降雨量折减系数为 0.5 和 0.3 时两子流域洪水过程模拟

4.2 典型断面水位变化

利用 HEC-RAS 水动力模型可计算典型断面水位(图 5)。典型断面 CS2 最高水位 199.8m 比左岸马路高 3.3m (图 5b)，与实地调查洪水漫过左岸路边房屋一楼洪痕基本相同，说明模型符合计算要求。

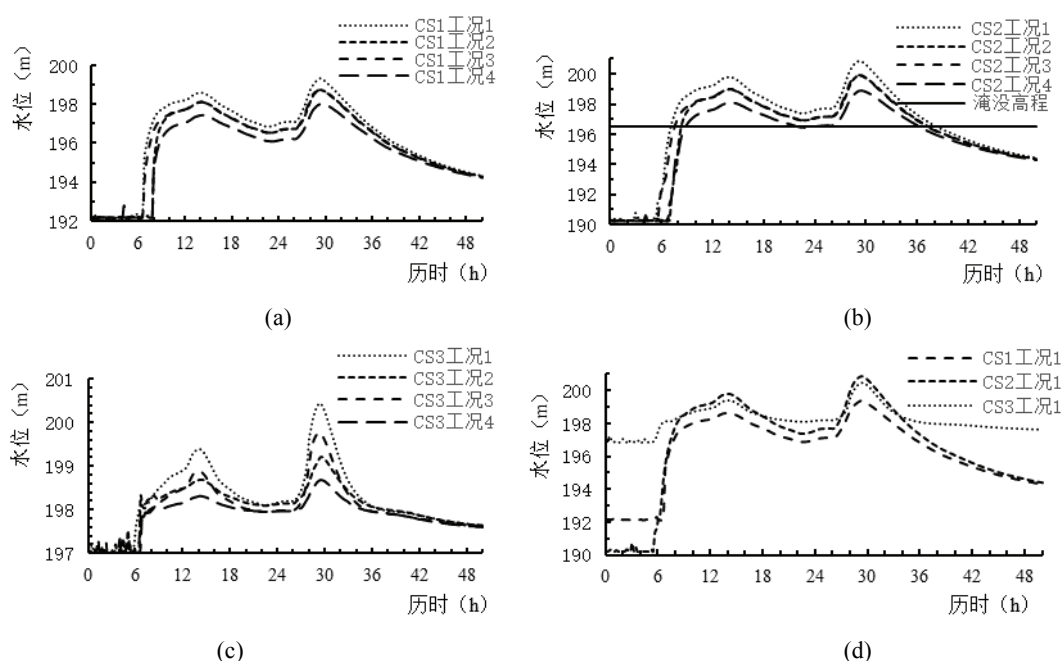


图5 CS1、CS2 和 CS3 四种工况下以及工况 1 时各断面的水位变化

计算表明：不同断面处，工况 1 与工况 2 涨水时间接近，洪峰水位工况 1 大于工况 2，说明支流汇入产生顶托回水效应，使上游水位上升。工况 2 与工况 3 洪峰水位接近，前者洪水到达时间更快，可知当两条交汇河流流量总量一定时，支流流量的减小会使干流上游洪水上涨更加迅速。工况 1 时 CS3 断面的水位比 CS2 断面水位低(图 5d)，是由壅水引起。淹没范围(图 6)可以清晰的观察到受灾区域与实地考察相符。

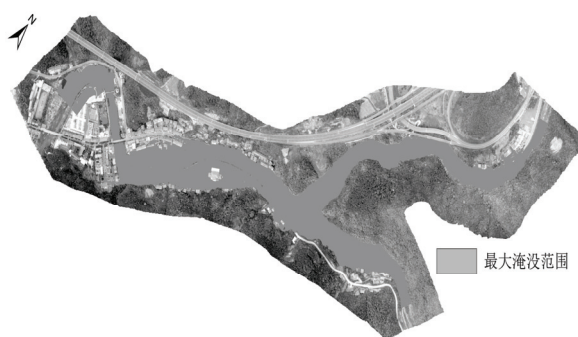


图6 工况 1 下的最大淹没范围

5 小结

通过 GIS 软件提取流域地形地貌数据，类比缩小下游水文站的降雨资料，利用 KW-GIUH 模型模拟两交汇子流域出口的流量过程。接下来，利用 HEC-RAS 进行数值模拟，推求典型断面在不同来水条件下的水面高程变化与危险高程做比较。并将计算结果与 GIS 软件结合，进行可视化，得到该区域的淹没范围。得到的主要结论如下。

(1) 通过 GIS 软件的对研究地区 DEM 资料处理和信息提取, 再采用 KW-GIUH 模型模拟两河口的洪水流量过程, 使无资料地区得出可参考的洪水流量过程。

(2) 通过 HEC-RAS 计算模拟 3 个典型断面的洪水水位变化过程, 发现随着支流来流的增加, 顶托回水作用导致上游水位上升, 增加了上游受灾面积。通过 GIS 软件可使淹没范围可视化, 为洪水灾害预警提供依据。

参 考 文 献

- 1 Lee K T, Yen B C. Geomorphology and kinematic-wave-based hydrograph derivation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 123(1): 73-80.
- 2 周苏芬, 叶龙, 刘兴年, et al. 嘉陵江与长江交汇水流顶托效应特性研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2014, 46(S1): 7-11.
- 3 Brunner G W. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 5.0[M]. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, 2016.
- 4 方园皓, 张行南, 夏达忠. HEC-RAS 系列模型在洪水演进模拟中的应用研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2011, 33(02): 12-15.

Numerical simulation on backwater effect of rainstorm flood at confluence zone in Guanshan River

WANG Yi-kui¹, ZI Li², WANG Xie-kang^{1*}

- (1. State Key Lab. of Hydraulics and Mountain River Eng., Sichuan Uni., Chengdu, 610065;
2. Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010)

Abstract: Guanshan town is located in hubei province. On August 5, 2012, a huge flood disaster occurred in this town, causing serious damage to downstream areas of guanshan town and guanting village. Field investigation shows that the intersection angle of the guanshan river main stream and its tributary is close to 180 degrees, and the backwater effect of the junction is the main inducement of the inundation disaster in the upstream. According to the characteristics of the heavy rain flood simulated by KW-GIUH hydrological model and HEC-RAS model, the backwater effect affected by heavy rains flood area has been analyzed and discussed at confluence zone.

Key words: Guanshan river; Confluence zone; Torrential rains and floods; Backwater; Numerical simulation.