

# 暴雨变化下马贵河小流域洪水特性研究

周湘航<sup>1</sup>, 欧国强<sup>2</sup>, 郭晓军<sup>2</sup>, 潘华利<sup>2</sup>, 王协康<sup>1\*</sup>

(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; Email: wangxiakang@scu.edu.cn

2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都, 610041)

**摘要:** 广东省高州市马贵镇频繁受台风影响, 极易形成强对流暴雨, 且这种暴雨具有突发性, 短时间雨量大等特点, 容易诱发山洪灾害。对流域洪水特性的研究有助于山洪灾害的预报及预警, 以减少山洪灾害所造成的损失。以数字高程模型 (DEM) 为基础, 对马贵河流域进行分析, 利用 KW-GIUH 水文模型对洪水进行模拟, 获得了典型断面在不同雨量下的流量变化过程, 并探讨了马贵河流域流量陡涨率与累积降雨量陡增变化关系和 2010 年发生 9·21 特大洪水特性, 可为该流域山洪灾害的防治提供科学依据。

**关键词:** 马贵河; 暴雨洪水; 水文模型; 山洪灾害

马贵河流域处于粤西山区的丘林地带, 其主要干流是鉴江的上游部分, 受台风影响很大, 暴雨天气十分频繁, 容易引发山洪。山洪灾害具有突发性、水量集中、流速大等特点, 且洪水中常常携带泥沙石块等冲刷物破坏力非常大。随着经济社会的不断发展, 因降雨引发的山洪造成的灾害问题日益突出, 因此山洪灾害的预警预报和灾害防御长期以来一直是我国防灾减灾的重要工作。2010 年 9 月 21 日, 因为受 1011 号超强台风“凡亚比”残余环流影响, 广东高州等地普降特大暴雨, 导致山洪暴发, 造成了严重的人员伤亡和经济财产损失。由于山洪灾害具有爆发突然的特点, 而降雨又是山洪爆发的最大外力因素, 因此利用 KW-GIUH 水文模型通过降雨推导流量预判山洪的发生对于启动相应的防洪减灾预案有很大的帮助, 这样便可在一定程度上减少山洪灾害造成的损失。因此,

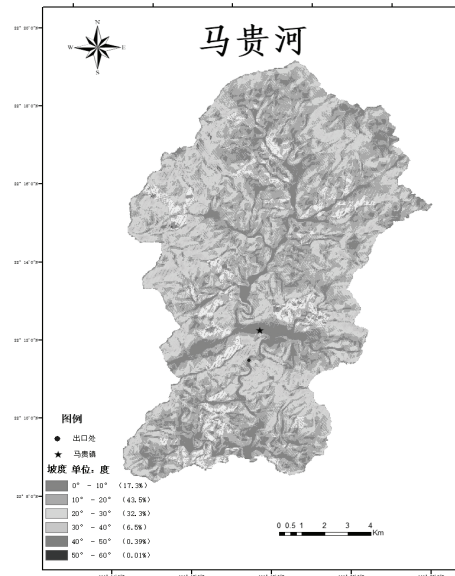


图 1 马贵河流域坡度

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC1502504); 国家自然科学基金项目(51639007).

作者简介: 周湘航 (1994-), 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: [wangxiakang@scu.edu.cn](mailto:wangxiakang@scu.edu.cn)

确定雨量与山洪流量之间的关系对于山洪灾害防治有着重要的意义。

## 1 计算过程

本研究利用 Arcgis 对马贵河流域进行分析，参考了高鑫磊的基于 DEM 的流域自动提取方法<sup>1</sup>，主要是水流路径的确定，水流网格和地形参数的提取。主要分为以下四步：DEM 数据预处理、水流方向的计算、河流网络的提取、流域地形参数的统计分析，包含流域面积、流域坡度、沟谷长度和沟谷坡度以及河网密度等。

表 1 马贵河流域参数

河流等级	河流级数数量	河流平均长度 (km)	流域面积比例	流域平均坡度 (m/s)	河道平均坡度 (m/s)
1	34	3.68	0.694054	0.34638	0.0849
2	8	3.22	0.203911	0.30537	0.02105
3	2	11.71	0.092099	0.28264	0.0269
4	1	2.21	0.009936	0.31749	0.03378

提取完各项参数后，KW-GIUH 水文模型利用径流在河网中的运行机制，配合所推导出的流域内各级序坡地流与渠流的径流运行时间，即可建立适用于无流量纪录地区的运动波—地貌瞬时单位线<sup>2</sup>。此运动波—地貌瞬时单位线模型的应用公式，可归纳整理如下：

$$u(t) = \sum_{w \in W} [a_{oi} e^{(-\frac{t}{T_{xoi}})} + a_i e^{(-\frac{t}{T_{xi}}} + a_j e^{(-\frac{t}{T_{xj}}} + \dots + a_{\Omega} e^{(-\frac{t}{T_{x\Omega}})}]_w \cdot P(w) \quad (1)$$

式中，

$$T_{xoi} = \left( \frac{n_o \bar{L}_{oi}}{S_{oi} i_e^{m-1}} \right)^{1/m} \quad (2)$$

$$T_{xi} = \frac{B_i}{2i_e \bar{L}_{oi}} \left[ (h_{coi}^{m_c} + \frac{2i_e n_c \bar{L}_{oi} \bar{L}_{ci}}{S_{ci} B_i})^{1/m} - h_{coi} \right] \quad (3)$$

$$h_{coi} = \left[ \frac{i_e n_c (N_i \bar{A}_i - AP_{O_i})}{N_i B_i S_{ci}^{1/2}} \right]^{1/m} \quad (4)$$

应用上述运动波—地貌瞬时单位线模型进行流域降雨径流模拟，其所需输入的模式参

数有流域的有效降雨  $i_e$ 、糙度系数  $n_0$  与  $n_c$ ，以及直接由 arcgis 处理地形图得到的流域水文因子；而模型的输出则为流域的直接径流曲线，本研究所用降雨数据为黄晓莹发表的台风“凡亚比”造成马贵镇致洪暴雨<sup>3</sup>所用数据，因为汇流面积以及暴雨中心的差异，所以将黄晓莹所的数据类比减小了 10%。

## 2 计算结果

通过四场暴雨对马贵河流域洪水的流量进行模拟，不同工况的累积降雨过程如图 2 所示，分别计算累积降雨陡增率（表 2）。根据不同雨量过程，采用建立的水文模型计算其流量过程，如图 3 所示，根据洪水陡涨过程，计算不同工况的流量陡涨率（表 2）。图 3（a）为最大小时降雨量 21mm，最大洪峰流量为 532m<sup>3</sup>，最大洪峰比最大雨强约延迟一个小时，流量增长速率对应着早 1h 雨量的增长速率，呈现出陡涨陡落的状态。图 3（b）流量出现双峰过程，对应的洪峰比对应的最大降雨强度要晚一些，且流量的涨落情况对应着雨量的涨落情况。图 3（c）为模拟马贵河“9.21”特大洪水的流量过程，从图上可知最大洪峰流量已达 3400m<sup>3</sup>/m，且最大洪峰与最大雨量相比没有出现之前所示的滞后，流量的涨落速率也是依次对应着雨量的涨落速率情况。图 3（d）显示最大流量约为 1000m<sup>3</sup>/s，最大雨强之时的流量情况就已经接近最大洪峰的流量情况。基于表 2 的累积降雨量陡增和流量陡涨数据，点绘两者关系图 4，表明流量上涨率与累积降雨量陡增呈现较好的线性关系。

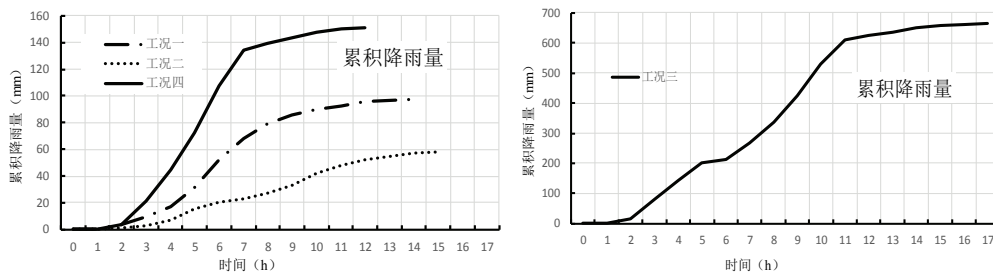


图 2 不同工况的累积降雨过程

表 2 累积降雨量陡增和流量陡涨统计表

降雨工况	累积时间 (h)	累积降雨量陡增强度 (mm/h)	流量陡涨率(m <sup>3</sup> / (s·h) )
一	7	13.5	126
二	11	5.3	266.4
三 (峰 1)	7	57	655.2
三 (峰 2)	12	78.7	1688.4
四	7	26.6	2412

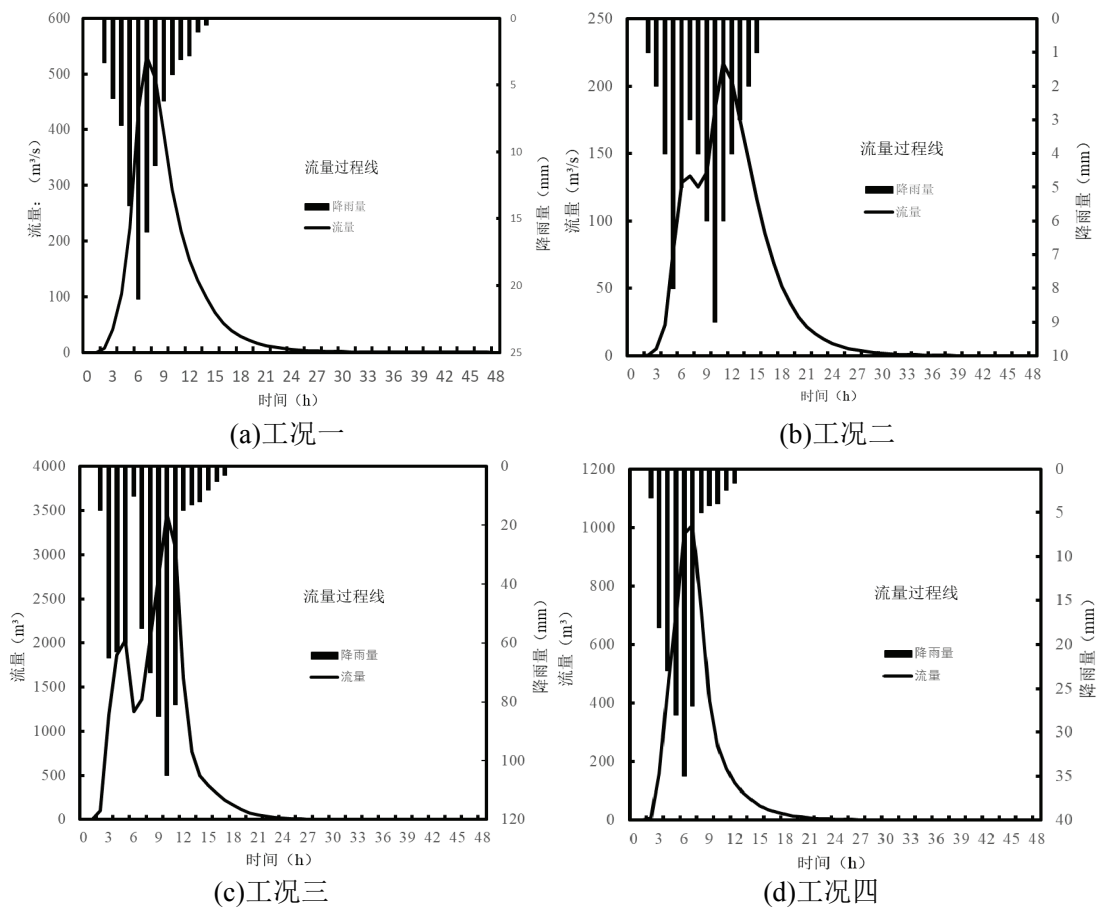


图3 不同降雨条件的流量过程

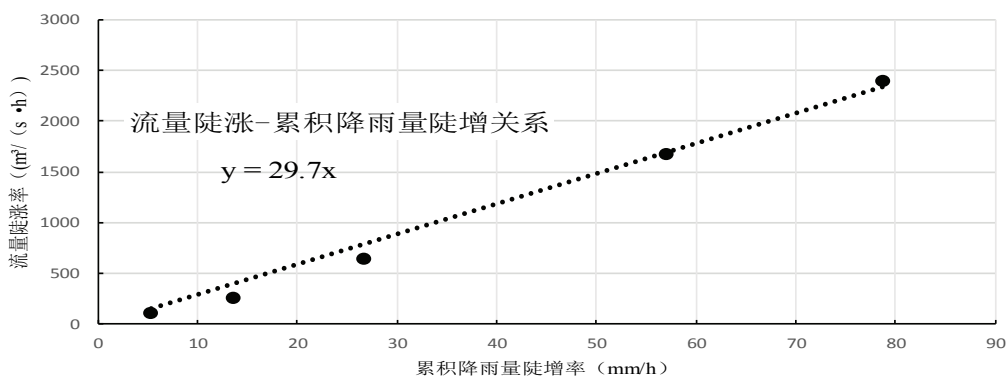


图4 流量陡增率与累积降雨量陡增变化关系

### 3 结果分析

通过实验的模拟来看,马贵河流域的洪水具有陡涨陡落,汇流速度很快的特点,且从实验的模拟结果来看,雨强越大汇流速度越快,洪峰来临的速度也就越快,模拟出的结果可以用土壤以及植被的阻流作用来解释,当雨强不大时,植被以及土壤的阻流作用能起到较好的效果,使得洪峰推迟,但是当雨强过大时,这种阻流作用也就效果甚微了,杨筱筱发现植被和土壤共同作用下暴雨洪水径流系数比没有措施情况下要小 29.38%~76.94%<sup>4</sup>,当然这种效果也与地形因素分不开,坡度越大,这种阻流的作用也就越小了,这方面彭清娥以坡面长度  $L$ 、糙率  $n$ 、有效降雨强度  $i$  及坡度  $S$  的恒定指数形式表征其对汇流时间  $T$  的变化有过详细的研究<sup>[5]</sup>。

### 4 小结

运用 GIS 软件提取流域地形地貌数据,利用所获取的降雨资料并类比缩小,然后降水水文数据与地形参数输入到水文模型中模拟出马贵镇下游电站出口流量过程。通过 4 场不同降雨,从中归纳出其洪峰与降雨强度之间关系,分析出马贵河流域地区累积雨量陡增率与流量陡增率之间关系,得出的成果主要如下。

(1) 在马贵河流域地区没有流量资料的情况下,对马贵河 9·21 特大洪水的流量模拟,得出了此次洪水的洪峰流量以及洪峰时间,为以后防灾减灾以及灾害预警方面提供了一定的资料。

(2) 在其他三场降雨的流量模拟下,发现洪峰时间的出现与雨量大小的关系,即降雨量越大,最大洪峰出现的时间与最大降雨强度出现的时间越接近,而且这个时间段的大小与坡度地形也有一定的关系。此外,流量上涨率与累积降雨强度之间主要呈现线性关系。

## 参 考 文 献

- 1 高鑫磊.GIS 环境下基于 DEM 的流域自动提取方法[J].北京水务,2009(02):46-48.
- 2 LEE Kwan Tun,HO Juiyi.Analysis of Runoff in Ungauged Mountain Watersheds in Sichuan,China using Kinematic-wave-based GIUH Model[J].Journal of Mountain Science,2010,7(02):157-166.
- 3 黄晓莹,程正泉.台风“凡亚比”造成马贵镇致洪暴雨分析[J].广东气象,2011,33 (06): 1-3+24.
- 4 杨筱筱.水土保持措施对秃尾河流域产汇流参数的影响研究[D].西北农林科技大学,2012.
- 5 彭清娥,赵明辉,史学伟,黄尔.山区流域坡面汇流时间参数优化试验研究[J].工程科学与技术,2018,50(05):64-70.

## **Research on flood characteristics with changed rainstorm in Magui river watershed**

ZHOU Xiang-hang<sup>1</sup>, OU Guo-qiang<sup>2</sup>, GUO Xiao-jun<sup>2</sup>, PAN Hua-li<sup>2</sup>, WANG Xie-kang<sup>1\*</sup>

(1.State Key Lab. of Hydraulics and Mountain River Eng., College of Water Resource&Hydropower, Sichuan Uni., Chengdu, 610065. Email: wangxiakang@scu.edu.cn

2. Key Lab. of Mountain Hazards and Land Surface Processes/Inst. of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041)

**Abstract:** Magui town is frequently affected by typhoons, and it is easy to form severe convective rainstorm, which has the characteristics of sudden occurrence, large rainfall in a short time, and easy to induce mountain flood disaster. The study on flood characteristics of river basin is helpful to the prediction and early warning of mountain flood disaster so as to reduce the loss caused by mountain flood disaster. Based on the digital elevation model (DEM), analysis of the river basin, using KW-GIUH model for simulating the flood, and flow rate under different rainfall, and discusses the Magui river basin in 9-21 flooding characteristics, to provide Mgui river on the basis of disaster prevention, and is contribute to the prevention of mountain flood disasters.

**Key words:** Magui river; Torrential rains and floods; Hydrological model; Mountain torrent disaster