

樊建勇,单九生,管珉,等. 江西省小流域山洪灾害临界雨量计算分析[J]. 气象,2012,38(9):1110-1114.

# 江西省小流域山洪灾害临界雨量计算分析<sup>\* 1</sup>

樊建勇<sup>1</sup> 单九生<sup>1</sup> 管珉<sup>1</sup> 徐星生<sup>2</sup>

1 江西省气象科学研究所,南昌 330046

2 江西省气象台,南昌 330046

**提 要:** 临界雨量是预报山洪灾害的重要指标。针对江西省山洪灾害特征,以小流域为基本单元研究了小时雨量与山洪灾害发生时间及小流域参数之间的关系,结果表明:山洪与小时雨量有很紧密的联系,流域面积、主沟长度和主沟比降等影响山洪的小流域参数与小时雨量之间存在着很大的相关性。结合 1950—2002 年全省小流域山洪灾害与气候统计数据,计算出资料完整的小流域 1、3、6 和 24 h 的临界雨量,进而建立了流域面积、主沟长度和主沟比降等流域参数与对应小流域山洪临界雨量之间的统计模型,推算出全省 1045 个小流域的山洪灾害临界雨量,并对 2009 年 7 月 2—3 日赣州地区一次山洪过程进行模拟,能够准确预报出山洪风险等级,效果良好。

**关键词:** 小流域, 山洪, 临界雨量

## Research on Analysis and Calculation Method of Critical Precipitation of Mountain Torrents in Jiangxi Province

FAN Jianyong<sup>1</sup> SHAN Jiusheng<sup>1</sup> GUAN Min<sup>1</sup> XU Xingsheng<sup>2</sup>

1 Meteorological Science Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330046

2 Meteorological Observatory of Jiangxi Province, Nanchang 330046

**Abstract:** Critical precipitation is an important indicator for forecasting mountain torrents. According to the features of mountain torrents in Jiangxi Province, the relation between precipitation, occurrence time of mountain torrents, and basin parameters has been studied. The results indicate that precipitation and torrents have a close relation. The correlation between precipitation and basin parameters is considerable. Critical precipitation amounts within 1 h, 3 h, 6 h and 24 h were calculated in the 11 small basins by using mountain torrents and meteorological data of these small basins during 1950 to 2002. A statistical model concerning critical precipitation, basin area, main river length, and main river slope has been built. Moreover, the critical precipitation amounts for the other 1045 small basins have been calculated by using the model. The tests have indicated that the model has good effect in the application to a typical mountain torrent event in Ganzhou City during 2—3 July 2009.

**Key words:** small basin, mountain torrents, critical precipitation

## 引 言

近年来,我国山洪灾害频发,造成的灾害损失越来越大。据不完全统计,从 20 世纪 50 年代至今,江

西省共发生山洪灾害 2475 起,因灾死亡 2023 人,摧毁房屋 30 余万间,直接经济损失约 76 亿元,同时山洪灾害又威胁到近 900 万人和 360 多亿元的财产<sup>[1]</sup>。

山洪灾害的形成机理非常复杂,植被情况、山体坡度、地质地貌、土壤和降雨等诸多因素都跟山洪灾

\* 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB2J102)资助

2011 年 4 月 26 日收稿; 2012 年 2 月 27 日收修定稿

第一作者: 樊建勇,主要从事卫星遥感和应用气象研究. Email: fanlongyu@163.com

害的发生有着密切的联系,其中降雨是引发山洪灾害的最直接外动力因素<sup>[2]</sup>。当一个小流域某时段内降雨量达到或超过某一量级和强度时,形成的洪水流量刚好为河道的安全泄洪能力,大于这一降雨量将可能引发山洪灾害,把此时的降雨量称为临界雨量<sup>[3]</sup>。临界雨量是目前山洪灾害预测预报的重要指标,对山洪灾害防治有着重要的意义。

对于临界雨量的确定,根据有无实测水文和降水资料,可采用不同的计算方法。虽然我国对山洪灾害的形成机理和预报预警方面的研究起步较晚,但许多学者在山洪临界雨量研究方面做了一些有益的探索。陈桂亚等<sup>[4]</sup>对统计归纳法确定临界雨量进行了尝试;张玉龙等<sup>[5]</sup>利用克里金空间插值法对云南省山洪灾害典型区的临界雨量进行分析,制作临界雨量等值线图;张世才等<sup>[6]</sup>对比分析了灾害实例调查法、频率分析法和产流分析法,认为产流分析法比较合理;叶勇等<sup>[7]</sup>采用水位反推法计算出浙江省小流域的临界雨量;王仁乔等<sup>[8]</sup>对比分析了气象站和水文站的雨量资料并进行订正,采用综合计算方法确定湖北省山洪灾害临界雨量与降雨区划;江锦红等<sup>[9]</sup>在最小临界雨量计算的基础上,探讨了暴雨临界曲线作为山洪预警标准是合理的。但以小流域为基本单元,分析确定出整个区域内所有小流域临界雨量的研究还未见有相关报道。本文结合江西省山洪灾害情况,提出了一种较为合理的临界雨量的分析计算方法:首先,以小流域为基本单元进行降雨和灾情统计资料的调查、收集和整理,通过对基础资料的分析研究,筛选出资料完整的小流域并计算出临界雨量。其次,根据小流域之间的可比拟性,统计分析流域面积、主沟比降和主沟长度等流域参数与临界雨量之间的关系,建立统计模型并推算出全省1045个小流域的临界雨量。

## 1 江西省山洪灾害及其特征

江西省位于长江南岸,全省土地总面积 $16.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中山地和丘陵较多,占 $77.18\%$ <sup>[10]</sup>。由于江西省地处亚热带季风性气候,年降水量大约 $1400 \sim 2000 \text{ mm}$ ,降水多集中于春夏两季,降水时间集中,非常容易诱发小流域的山洪灾害。据1950—2005年江西省气象资料统计,江西省实测1 h最大雨量为 $120.7 \text{ mm}$ ,实测3 h最大雨量为 $247.9 \text{ mm}$ ,实测6 h最大雨量为 $319.4 \text{ mm}$ ,实测24 h最大雨

量为 $501 \text{ mm}$ 。这样局部高强度的降雨,作用于地形复杂的山丘区,极易致使严重的山洪灾害<sup>[11]</sup>。

江西省山洪灾害具有以下典型特征:一是季节性,多集中在4—7月,8—10月由于台风影响也会发生山洪<sup>[12]</sup>;二是分布区域广,山洪灾害威胁区涉及全省11个设区市,84个县(市),全省山洪灾害易发区分布(见图1);三是突发性强,山区地形地貌复杂,山高坡陡,溪河坡降大,山洪汇流快,降水损失小,径流系数大,导致河流径流汇集,河水陡涨,水流湍急,迅猛异常,突发性极强;四是破坏强,山丘区洪涝灾害常常瞬间成灾,猝不及防,造成河道改道,公路中断,耕地受淹,房屋倒塌,人死畜亡等。如2009年8月4日晚江西遂川县突遭强对流天气袭击,出现短时强暴雨,大坑、大汾、泉江等3个乡镇8个站3 h降雨量超过 $100 \text{ mm}$ ,其中大坑站降雨量高达 $199 \text{ mm}$ ,强暴雨引发严重山洪灾害,造成3人死亡。

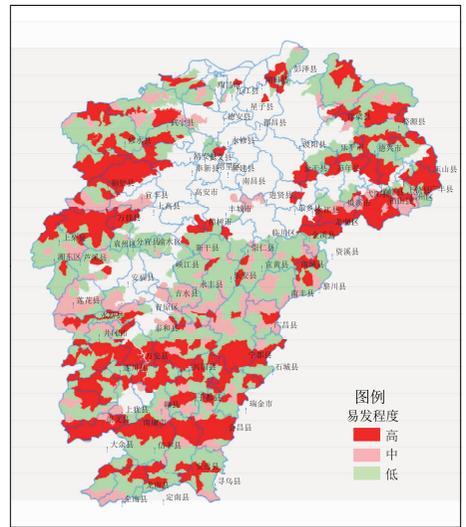


图1 江西省山洪易发区分布图  
Fig.1 Distribution of mountain torrents-prone areas in Jiangxi Province

## 2 临界雨量计算分析

### 2.1 小流域定义与划分

本研究所指的小流域是山丘区容易由强降雨引起的突发性、暴涨暴落的地表径流的中小河流,一般流域面积小于 $200 \text{ km}^2$ 。小流域具有河道调蓄能力小、坡降较陡、洪水持续时间短、涨幅大、洪峰高等特征。

小流域提取由填洼处理、生成流向、汇流计算、水系提取、流域划分和流域单元合并等步骤完成<sup>[13]</sup>,其提取流程见图2。提取小流域的关键是确

定为不同地理单元选取合适的水道给养面积阈值 (CA)。这里采用基于坡度的阈值经验公式计算阈值, 阈值  $A_{th}$  可以表达为坡度的指数关系:

$$A_{th} = CS^{-\theta} \quad (1)$$

式中,  $C$  和  $\theta$  为常数, 可以通过实际流域数据进行推算<sup>[14]</sup>, 在此, 取其经验值  $C=1800, \theta=0.5$ 。

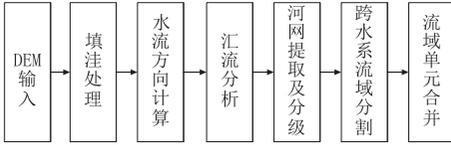


图 2 基于 DEM 的小流域提取流程

Fig. 2 Procedure of extracting the small basin based on DEM

## 2.2 资料

本研究选取的资料包括: (1) 流域的地理位置、地形地貌特征和支流水系分布情况等自然地理概况; (2) 1:50000 流域面积、河道长度和河道比降等小流域特征参数数据; (3) 1:50000 气象和水文观测站的分布数据; (4) 1950—2002 年逐时降雨量资料, 来源于江西省气象局和江西省水文局; (5) 1950—2002 年江西省 2201 个山洪灾害过程资料, 历史山洪分布情况见图 3; 小流域发生山洪灾害时流域内及邻近区域降雨持续时间、降雨强度、总雨量和强降水发生前的异常天气特征等历史山洪灾害水文气象调查数据, 来源于江西省水文局。统计出发生山洪灾害时对应的流域内降水过程的总雨量及 1、3、6 和 24 h 最大降雨量。

其中雨量和山洪灾害时间等资料直接用于临界

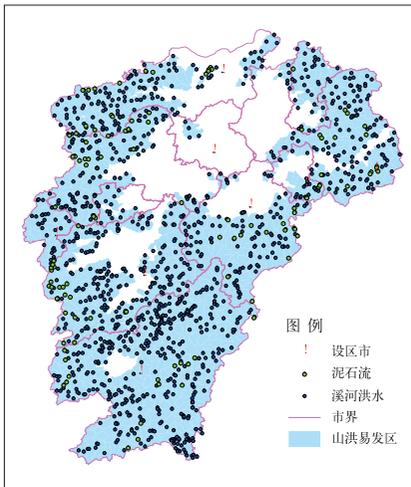


图 3 1950—2002 年江西省历史山洪分布图

Fig. 3 Distribution of historical mountain torrents in Jiangxi Province from 1950 to 2002

雨量分析计算。其他资料用于对小流域综合条件进行类比, 对灾害发生的时间及程度的综合判断, 并对临界雨量成果进行合理性分析。

## 2.3 小时降雨量与山洪的相关性

由于山丘区小流域主沟长度短、比降大, 一旦暴雨发生, 洪水汇流速度快, 从开始降雨到形成山洪, 一般只需几小时甚至几分钟, 至灾害发生时间一般也仅有 5~6 h, 最多不超过 24 h<sup>[15]</sup>。小时雨量与山洪的发生有紧密的联系。当 1 h 降雨量大于临界降雨量时, 灾害发生的可能性较小, 3、6 和 24 h 也出现大于临界值的降雨时, 灾害发生的可能性较大。在实际业务中, 利用自动气象站、多普勒雷达、数值预报等监测或预报出 1、3、6 和 24 h 雨量, 只要有其中一个时段降雨量超过其临界值, 就有可能发生山洪灾害。

## 2.4 小流域临界雨量计算方法

根据江西省历史山洪灾害发生的记录, 收集区域及周边邻近地区各雨量站对应的雨量资料。确定灾害发生时对应的降雨过程开始和结束时间, 降雨过程的开始时间, 是以连续 3 d 每日雨量  $\leq 1$  mm 后出现日雨量  $> 1$  mm 的时间, 降雨过程的结束时间是山洪灾害发生的时间。过程时间确定后, 在每次过程中依次查找并统计 1、3、6 和 24 h 降雨量, 过程总雨量及其每项对应的起止时间。

假设流域内共有  $S$  个雨量站, 共发生山洪灾害  $N$  次, 共统计  $T$  个时间段的雨量,  $R_{ij}$  为  $t$  时段第  $i$  个雨量站发生第  $j$  次山洪灾害的最大雨量, 则各站每个时间段  $N$  次统计值中, 最小的一个为临界雨量初值, 即初步认为这个值是临界雨量, 计算公式如下<sup>[3]</sup>:

$$R_{it} = \min(R_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, S; j = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

其中  $t$  为 1、3、6 和 24 h。

## 3 江西小流域山洪灾害临界雨量分析结果

通过对 1950—2002 年 1045 个小流域的 2201 个山洪案例进行分析, 选择出具有典型山洪过程、观测数据完整、历史山洪灾害过程  $\geq 3$  次的小流域, 结合山洪灾害发生时的各时段暴雨强度资料和分析通过对单站不同历时降雨强度的分析, 得出 1、3、6 和 24 h 的临界雨量。表 1 中显示出其中 11 个小

流域的临界雨量,1、3、6 和 24 h 临界雨量的大小分布具有一致性。

对于无资料或观测资料比较缺乏,无法进行临

界雨量计算的小流域,临界雨量的分析方法主要采用统计相关的方法来计算流域的临界雨量。由于在一定的区域范围内,流域的临界雨量与流域的一些地形因子及水文要素有关,如:流域面积( $F$ ),流域主沟长度( $L$ )和流域主沟比降( $J$ )等因子。利用多元回归统计方法,对已经计算出的小流域的临界雨量与流域面积( $F$ ),主沟长度( $L$ )和主沟比降( $J$ )等参数进行分析,得到小流域 1、3、6 和 24 h 的临界雨量的统计模型,见表 2。

利用该模型推算出江西省 1045 个小流域 1、3、6 和 24 h 的临界雨量,并制作出 1045 个小流域的临界雨量分布图,见图 4。

### 4 检验分析

2009 年 7 月 2—3 日,江西省赣州地区出现了

表 1 典型小流域山洪灾害临界雨量 (单位: mm)

Table 1 The critical precipitation (unit: mm) in typical small basins

流域名称	1 h	3 h	6 h	24 h
新楼	33.0	78.7	100.0	158.1
南岭	35.8	75.9	129.8	181.2
祠堂	55.7	71.7	72.0	126.5
敖桥	50.6	89.0	111.8	212.3
郎君桥	37.2	79.3	98.6	188.6
文坊镇	35.9	73.0	95.9	122.0
彭家棚	50.9	105.3	142.7	170.9
江湾	43.5	85.2	100.8	214.9
万埠	38.0	57.2	71.3	142.0
黄沙坪	36.2	86.3	113.4	200.5
何市	53.7	119.3	157.5	197.6

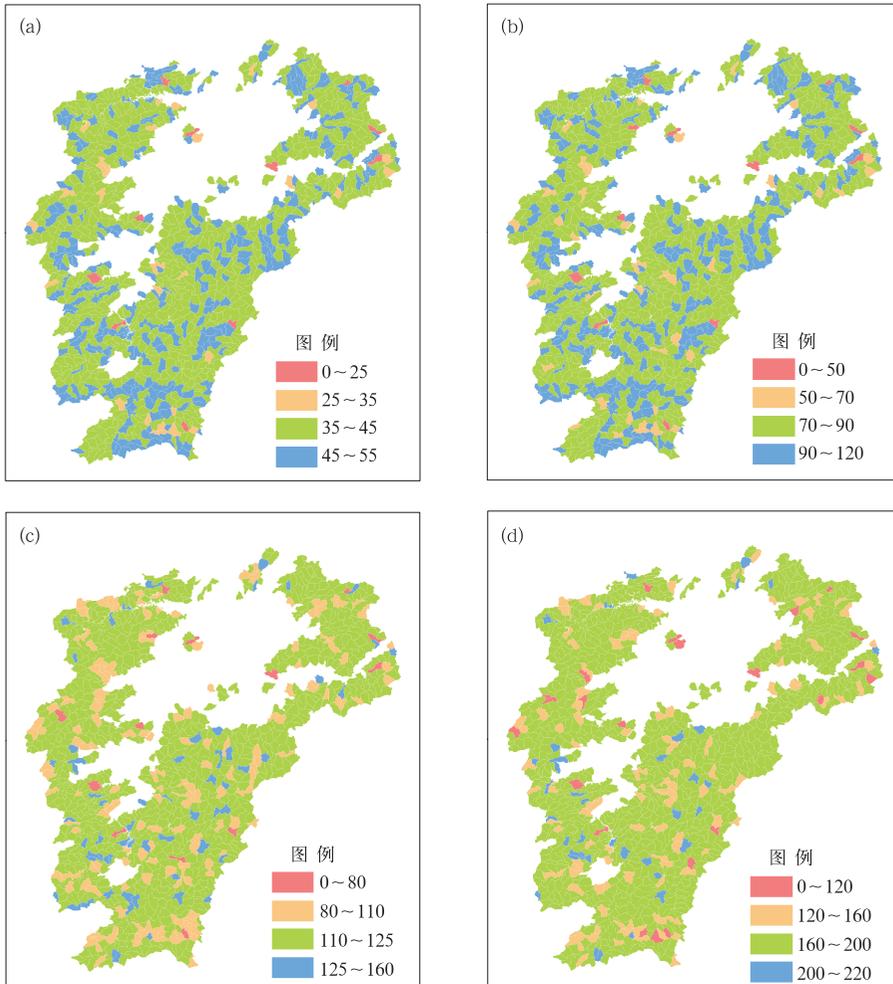


图 4 江西省小流域临界雨量分布图 (单位: mm)

(a) 1 h, (b) 3 h, (c) 6 h, (d) 24 h

Fig. 4 The map of small basins' critical precipitation (unit: mm) within 1 h (a), 3 h (b), 6 h (c), and 24 h (d) in Jiangxi Province

表2 江西省小流域临界雨量统计模型  
Table 2 The statistical model for calculating critical precipitation over small basins in Jiangxi Province

时间	统计模型
1 h	$R_{1h\text{临界}} = 0.053F - 0.161J - 0.216L + 43.083$
3 h	$R_{3h\text{临界}} = 0.128F - 0.314J - 0.498L + 84.52$
6 h	$R_{6h\text{临界}} = 0.08F - 0.381J - 0.51L + 121.126$
24 h	$R_{24h\text{临界}} = 0.217F - 1.008J - 0.734L + 178.831$

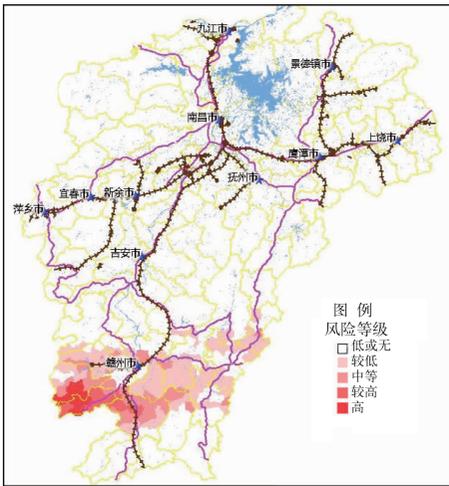


图5 2009年7月3日江西省山洪灾害风险分布图

Fig. 5 Distribution of the 3 July 2009 mountain torrent risk in Jiangxi Province

强降水过程,其中大余、信丰和南康3县(市)平均降雨量突破气象纪录极值,为50年一遇。局部乡镇出现特大暴雨,崇义县聂都站1、3、6和24 h实测降水量分别为82.5、204.0、345.5和528.0 mm,分别超过聂都河流域1、3、6和24 h临界雨量41.6、83.4、111.9和165.6 mm。根据临界雨量指标,预报出山洪灾害高易发区主要位于江西省崇义县的聂都、水口、罗屋,以及大余县的吉村、下湾和大屋里等小流域,其中聂都河流域山洪灾害风险预报等级最高(见图5)。暴雨引发了严重的山洪、山体滑坡及洪涝灾害,致使流域境内的7个山洪监测站的水位短时间内出现1.34~5.90 m的涨幅。

## 5 结语

江西省是山洪多发区,共划分为1045个小流域,山洪灾害几乎每年都有发生,小流域山洪灾害的预报预警成为突出难题。本研究选取观测资料完整

的小流域,计算出其临界雨量,通过分析临界雨量与流域面积、主沟长度和主沟比降等流域参数间的关系,建立了小流域山洪临界雨量的统计模型,并对2009年7月2—3日赣州地区一次强降水过程进行模拟,能准确预报山洪灾害风险等级,主要结论有:

(1) 山洪与小时雨量有很紧密的联系,1、3、6和24 h的临界雨量是进行山洪灾害预报的重要指标。流域面积、主沟长度和主沟比降等影响山洪的小流域参数与小时雨量之间存在着很大的相关性。

(2) 临界雨量是开展山洪预报预警最重要指标,但由于站网布设不均,大部分小流域观测资料匮乏,给临界雨量计算造成很大困难。

(3) 小流域临界雨量计算对当前所开展的小流域山洪监测预警及山洪灾害防治试点工作具有重要的推广应用价值。依据小流域分布,加密降雨和水文观测站密度是未来提高临界雨量计算精度,开展山洪监测预警服务的有效手段。

## 参考文献

- [1] 李明辉,熊剑英.江西省山洪灾害防治规划概述[J].江西水利科技,2005,31(2):73-77.
- [2] 曲晓波,张涛,刘鑫华,等.舟曲“8.8”特大山洪泥石流灾害气象成因分析[J].气象,2010,36(10):102-105.
- [3] 全国山洪灾害防治规划领导小组.山洪灾害临界雨量分析计算细则[Z].2003:9-10.
- [4] 陈桂亚,袁雅鸣.山洪灾害临界雨量分析计算方法研究[J].水资源研究,2004,25(4):36-40.
- [5] 张玉龙,王龙,李靖.云南省山洪灾害临界雨量空间插值分析方法研究[J].云南农业大学学报,2007,22(4):570-573,581.
- [6] 张世才,褚建华,张同泽.祁连山区山洪灾害临界雨量计算和风险区划分[J].水土保持学报,2007,21(5):196-200.
- [7] 叶勇,王振宇,范波芹.浙江省小流域山洪灾害临界雨量确定方法分析[J].水文,2008,28(1):56-58.
- [8] 王仁乔,周月华,王丽,等.湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划研究[J].高原气象,2006,25(2):330-334.
- [9] 江锦红,邵利萍.基于降雨观测资料的山洪预警标准[J].水利学报,2010,41(4):458-463.
- [10] 江西省统计局.江西省统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009:30-31.
- [11] 管民,申双和,单九生.江西省暴雨山洪计算模型研究[J].气象与灾害研究,2008,31(2):53-57.
- [12] 单九生,刘修奋,魏丽,等.诱发江西滑坡的降水特征分析[J].气象,2004,30(1):13-15.
- [13] 王志,赵琳娜,张国平,等.汶川地震灾区堰塞湖流域雨量计算方法研究[J].气象,2010,36(6):7-12.
- [14] 范青松,汤翠莲等.全国山洪灾害防治规划中小流域自动提取技术[J].人民长江,2005,36(4):50-52.
- [15] 徐晶,李伟华.台风强降雨诱发地质灾害的雨量特征分析[J].气象,2009,35(8):42-48.