

张明达, 李蒙, 戴丛蕊, 等. 基于 FloodArea 模型的云南山洪淹没模拟研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 78–82. [Zhang Mingda, Li Meng, Dai Congrui, et al. Simulation Study of Flood in Yunnan Based on the FloodArea Model[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 78–82.]

基于 FloodArea 模型的云南山洪淹没模拟研究^{*}

张明达, 李 蒙, 戴丛蕊, 黄 玮

(云南省气候中心, 云南 昆明 650034)

摘 要: 致灾临界雨量法被普遍用于山洪预警, 结合 FloodArea 模型动态模拟山洪灾害淹没是获取临界雨量的新方法。对 2012 年云南宣威“7.12”山洪灾害进行实地调查, 获取山洪沟基本参数及隐患点淹没高度, 利用周边气象站逐时降雨量进行淹没模拟。结果表明: 当临界雨量分别为 42 mm、85 mm、136 mm 和 180 mm 时, 达到各山洪灾害等级淹没高度, 即得出各等级致灾临界雨量。对比实测值和模拟值后得出, 此模型具有一定的参考价值, 但需更精确的地理信息数据支撑。

关键词: FloodArea; 云南; 山洪; 临界雨量; 淹没模拟

中图分类号: X43; P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2016)01–0078–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.01.016

山洪指山溪沟中发生的暴涨洪水事件, 是山洪沟集水面积上短历时强降雨大大超过水量而产生的地表径流。山洪灾害是降雨、地形地貌、地层岩性等诸多因素综合形成的结果, 降雨是最重要的影响因素。山洪具有典型的突发性、水量集中、破坏力强等特点, 所诱发的泥石流、滑坡等次生灾害常常会对公共基础设施和居民生命财产安全造成巨大的损失^[1]。山洪灾害的形成机理十分复杂, 但在诸多因素中, 降雨通常被认为是诱发山洪灾害的最直接外在动力因素^[2]。

云南省是我国地形最复杂的区域之一, 地层岩性多变, 构造运动频繁, 切割破碎、地形陡峻, 全省 94% 的国土面积为山丘区。特殊的地理环境条件、复杂的地质构造以及低纬高原区气候带类型交错, 局地性强降水频繁, 生态环境脆弱性高, 内外因的共同作用导致云南成为我国山洪灾害最严重的省份^[3], 近 20 年内强降水的强度和频次都有所增加, 更加大了局地滑坡、泥石流及洪涝灾害发生的风险^[4]。由降雨引发的山洪以及伴生的泥石流、滑坡灾害频繁, 严重威胁居住在云南山区人民的生命财产安全, 现已成为制约地区经济发展的主要因素, 防灾减灾形式非常严峻^[5]。统计表明, 云南自 1950 年代至 21 世纪初, 洪水灾害受灾面积达 0.7 亿 hm^2 , 受灾 1.2 亿人, 死亡 1.4

万人, 损失 500 多亿元; 有山洪灾害潜在威胁人口 400 多万, 潜在威胁财产 300 多亿元。2004 年云南盈江“7.20”特大山洪灾害就曾造成了 59 人死亡或失踪和 1.5 亿元的重大财产损失^[6]。云南的气象工作者在山洪灾害方面开展了大量的基础研究工作, 但多侧重于中尺度滤波、诊断分析及灾害风险评估^[7], 而对致灾临界雨量的研究尚属空白^[8–9]。

通常将山洪预报研究方法分为临界雨量阈值判别法、临界径流量水深测量法以及神经网络预测法三种方法^[10]。气象部门主要采用临界雨量作为判别山洪灾害的指标^[11], 当小流域范围内某时段的降雨量达到或者超过某一量级或强度时, 形成的山洪流量达到河道的安全泄洪能力, 而大于该降雨量时将可能导致山洪灾害, 则此时的降雨量定义为临界雨量^[12]。暴雨洪涝灾害发生的最直接原因也就是流域集水区内的强降水量超过了临界雨量, 导致河流水量无法维持平衡, 而产生渍涝或洪水淹没现象, 这会严重危害流域内的社会经济。洪水淹没动态模拟是指动态模拟不同等级洪水在空间上的扩散过程以及造成的淹没范围、淹没水深及受灾程度。洪水淹没动态模拟方法是基于 GIS 栅格数据的洪水动态演进模型^[13], 能够科学准确地反映出不同量级降雨情况下的洪水路径、淹没时间和淹没深度, 并运算出洪水各演进

^{*} 收稿日期: 2015–07–23 修回日期: 2015–09–02

基金项目: 中国气象局气象关键技术集成与应用(面上)项目(CMAGJ2015M55); 中国气象局气候变化专项(CCSF201508); 国家自然科学基金(地区基金)项目(41565002)

作者简介: 张明达(1982–), 男, 吉林省吉林市人, 工程师, 主要从事气象灾害研究. E-mail: rockerdada@163.com

通讯作者: 黄 玮(1977–), 男, 云南昭通人, 高级工程师, 主要从事气候预测相关研究. E-mail: hweimao12@163.com

时间、各深度洪水淹没地物面积以及可能损失估算等信息^[14-15]。应用洪水淹没模型进行运算, 可以结合土地利用状况、区域内降水、积水情况, 上游来水等诸多条件的变化, 及时调整模型参数, 以获取更合理的致灾阈值^[16]。

1 亦那河山洪沟概况

本研究所选取的山洪沟是位于云南省曲靖市宣威县的亦那河山洪沟。宣威县地处云南高原东北部, 地势西北高, 东南低, 是云南高原区向贵州高原区过渡的斜坡地带。境内最高点海拔 2 868 m, 最低点海拔 920 m, 相对高差 1 948 m, 乌蒙山系横亘市境, 分两支穿境而过。亦那河山洪沟归属宣威县境内的亦那河流域, 属于珠江水系, 河源位于沾益县播乐乡境内, 河口位于东山镇歌可村委会, 途经羊场镇、海岱镇、东山镇, 河流长度 92 km, 流域面积 513 km²。山洪沟流域途经羊场镇、海岱镇、田坝镇, 三个乡镇都处于山区和半山区, 村镇所在区域和延河区域土地较为平缓, 人口均较为密集, 良田肥沃。

2012 年 7 月 12 - 13 日, 受副热带高压外围气流和冷锋切变共同影响, 宣威县境内多个乡镇普降大到暴雨, 暴雨造成大面积农作物被淹, 民房倒塌损毁, 公路被冲毁, 路基的毁坏, 水利、电力设施也遭到了损坏。暴雨还引起周边乡镇发生滑坡、山体崩塌等地质灾害, 灾害点 6 处, 威胁 101 户 278 人的生命财产安全。灾后统计表明, 此次山洪灾害共造成全市 13 个乡(镇、街道)不同程度的受灾, 受灾人口达 15.66 万人, 因灾紧急转移、安置人口 450 人, 解救被困人员 34 人。分析山洪沟流域范围内雨量站监测数据表明, 强降雨

从 7 月 12 日晚间开始, 一直持续到 7 月 13 日下午才陆续结束, 羊场、海岱、田坝三镇均出现了自有降雨统计以来的日最大降雨, 其中羊场站 170.2 mm、海岱站 151.6 mm、田坝站 165.4 mm, 暴雨至 7 月 13 日 20 时后逐渐停止。

2 资料和方法

本研究针对 2013 年宣威“7.13”山洪灾害过程, 利用基础地理信息、灾害调查、气象水文等资料数据, 基于 FloodArea 模型模拟本次山洪灾害淹没过程, 并通过实测灾害资料数据进行对比, 调整模型参数, 检验模型模拟效果。本研究以 1 h 为时间步长进行洪水演进动态模拟, 根据暴雨发生过程, 模拟时间为 2012 年 7 月 12 日 21 时至 2012 年 7 月 13 日 20 时, 模拟总时长为 24 h, 模拟结果以 ArcGRID 数据格式输出, 以 1 h 为时间间隔记录了整个山洪演进过程中的淹没深度的时空分布场, 淹没深度的模拟精度控制在 0.1 m。

2.1 灾害实地调查

选取位于亦那河山洪沟周边受到影响的居民点、农田及其他公共场所和建筑周边, 在山洪灾害发生时受洪水淹没的建筑物或单体作为山洪灾害调查点, 并进行了相应的实地灾害调查。通过询问及资料查询, 与村民、小区住户进行询问调查, 进行实地测量, 准确记录淹没点的位置(经度、纬度、海拔, 均为度分秒格式)、洪水发生时间和淹没水深等参数, 并做好记录。由于山洪沟无防护堤, 实地测量中所记录的淹没水深均为基于河道的淹没水深。亦那河山洪灾害隐患点基本信息及隐患调查点附近雨量站的雨量信息见表 1、表 2。

表 1 亦那河山洪沟周边雨量站 7 月 12 日 21 时 - 7 月 13 日 20 时累计降雨量

	羊场气象区域自动站	清水气象暴雨监测站	海岱气象自动站	文阁气象暴雨站	田坝气象自动站
纬度	26°00'30"	25°29'28"	26° 04'24"	26°05'40"	26°10'29"
经度	104°14'58"	104°11'17"	104° 20'45"	104°22'58"	104°26'53"
海拔/m	1 942	2 059	1 722	1 703	1 757
累计降水量/mm	170.2	159	151.6	151.6	165.4

表 2 亦那河山洪灾害隐患点基本信息

地点	纬度	经度	海拔/m	淹没水深/m
羊场镇大硕德村	26°02'34"	104°16'17"	1 751.4	1.37
羊场镇干河村	26°02'42"	104°16'30"	1 749	1.31
海岱镇小电厂自然村	26°03'45"	104°19'09"	1 715	2.8
海岱镇木处格村	26°03'43"	104°18'37"	1 717	2.8
海岱镇孔家湾村	26°04'57"	104°20'47"	1 694	2.1
海岱镇羊场村	26°04'25"	104°20'48"	1 703	1.7
海岱镇王家村银海家园小区	26°04'22"	104°20'49"	1 702	1.7
海岱镇海嘎村	26°05'02"	104°21'35"	1 692	2.7
海岱镇泽戛村	26°05'35"	104°21'59"	1 690	2.5

2.2 地理信息数据

本研究所采用的地理信息数据主要为 1:5 万基础地理信息数据,空间分辨率为 30 m。主要包括以下几点:1:5 万高程数据(DEM)、Strilker 系数分布数据(Strilker)、降雨分布权重(Weight)、流域边界(亦那河山洪沟边界.shp)、亦那河水系数据(6 级河流)、土地利用类型(landset)、淹没调查点、宣威县乡镇分布。通过实地考察河宽和河深,将河道的高程信息嵌入到的 DEM 中,使嵌入河道的 DEM 反映出河流的汇水情况,将主河道高程下调 5 m,实际水位值根据实际河宽与像元分辨率按比例换算后使用。

2.3 FloodArea 淹没模型

德国 Geomer 公司基于 GIS 栅格数据开发的内嵌于 GIS 平台 Arcview3. x 扩展模块的 FloodArea 工具,在国外广泛用于洪水演进模拟、计算洪水淹没深度和范围及动态风险评估制图。自 2001 年发布到 2011 年 8 月,十年间已经更新数十次版本,并在 20 多个国家和地区的决策、科研以及工程等部门开展应用。FloodArea 采用 ArcGRID 数据格式,采用数字高程模型进行水文-水动力数学建模,淹没过程的水动力由二维不稳定洪水演进模型模拟完成。FloodArea 模型充分考虑了地形坡度和多种地表覆盖形态下地表粗糙度对洪水动态演进过程的影响,洪水以输入水位、流量和面雨量三种方式进入模型,并根据水文过程线进行实时参数调整^[17]。FloodArea 模型针对每个时相的运行过程,以栅格形式输出和存储,过程直观明确,便于查询,计算迅速快捷,可视化表达流向、流速和淹没水深等水文参数和时空物理场,为洪水淹没风险动态评估提供了有效工具,在国外山洪灾害监测预警以及城市内涝监测评价中得到了广泛的应用^[18-19],国内也已有江西、安徽、福建等省份正在尝试采用 FloodArea 淹没模型进行淹没风险模拟,计算山洪灾害影响范围及分布区^[20]。

3 结果与讨论

3.1 致灾条件和等级的确定

本研究通过对现场灾情信息的分析和不同雨量下淹没高度的模拟结果进行山洪灾害等级定量分级,根据气象灾害等级划分管理,结合模拟淹没结果,将山洪灾害风险等级分为 4 级。取河道为基点,考虑洪水淹没高度达到 0.5 m 时定为四级风险,此时洪水将漫出无堤防的山洪沟;考虑三级

风险设置为淹没高度为 1.0 m,此时洪水将淹没河道周围部分农田和道路等公共基础设施;二级风险设置为淹没高度达到 1.5 m 时,此时洪水将淹没河道周围少部分居民房屋,对人身安全造成中度危险。一级风险设置为淹没高度达到 2.0 m 时,此时洪水将淹没河道周围大部分居民房屋,对人身安全造成重度危险。

3.2 各时次山洪灾害模拟结果

分析表明,由于降水过程的不连续性,预警点模拟水位与前 1~6 h 累计雨量的相关关系都不明显,故取逐小时面雨量累加进行淹没模拟。得到逐小时面雨量与预警点模拟水位之间相关系数最大(0.811 8),建立淹没水位-降雨量关系的回归方程如下:

$$Y = 0.0156X + 0.3802. \quad (1)$$

式中: X 为 1 h 面雨量, Y 为预警点基于河道的淹没水深。

不同时次的洪水演进过程结果如图 1 所示。可以看出在本次暴雨过程中,整个流域范围内的大部分低洼地面均被不同程度地淹没,沿河的所有淹没隐患点的淹没高度均超过 2 m。

3.3 误差检验

针对隐患点调查获取的实测淹没高度,与模型模拟结果的淹没高度进行对比,如表 3 所示。

从表 3 可以看出, FloodArea 模型在部分隐患点的模拟结果较好,相对误差值小于 10%,但在较多的隐患点表现较差,模拟结果偏差超过 50%,甚至超过了 100%,但总体上可以表现为沿河隐患点均可以有淹没效果,地势低洼处均有集水汇集,而海拔较高的地区集水可以完全流走。

3.4 不同等级山洪灾害降雨量—淹没深度关系和临界(面)雨量的确定

利用淹没深度模拟结果较好的羊场镇干河村和海岱镇羊场村两个隐患点进行降雨量-淹没深度关系推算,推出不同山洪等级致灾临界(面)雨量,由图 2 可见,当累计面雨量 42 mm 时,淹没深度达到 0.5 m,即为四级风险等级,当累计面雨量 85 mm 时,淹没深度达到 1.0 m,即为三级风险等级,当累计面雨量 136 mm 时,淹没深度达到 1.5 m,即为二级风险等级,当累计面雨量达到 180 mm 时,淹没深度达 2.0 m,即为一级风险等级。本次暴雨过程中,羊场村和干河村两个村都达到了中等风险等级,而小电厂自然村、木格处自然村、孔家湾自然村、海戛村和泽戛村 5 个隐患点都达到了四级洪水风险等级。

表 3 隐患点实测水深与模拟水深对比

隐患点	大硕德	干河	小电厂	木格处	孔家湾	羊场	银海	海嘎	泽戛
实测水深/m	1.37	1.31	2.8	2.8	2.1	1.7	1.7	2.7	2.5
模拟水深/m	2.03	1.21	1.14	1.22	0.47	1.81	2.8	4.7	5.21
相对误差/%	48.17	-7.63	-59.28	-56.42	-77.61	6.47	64.70	74.07	108.4

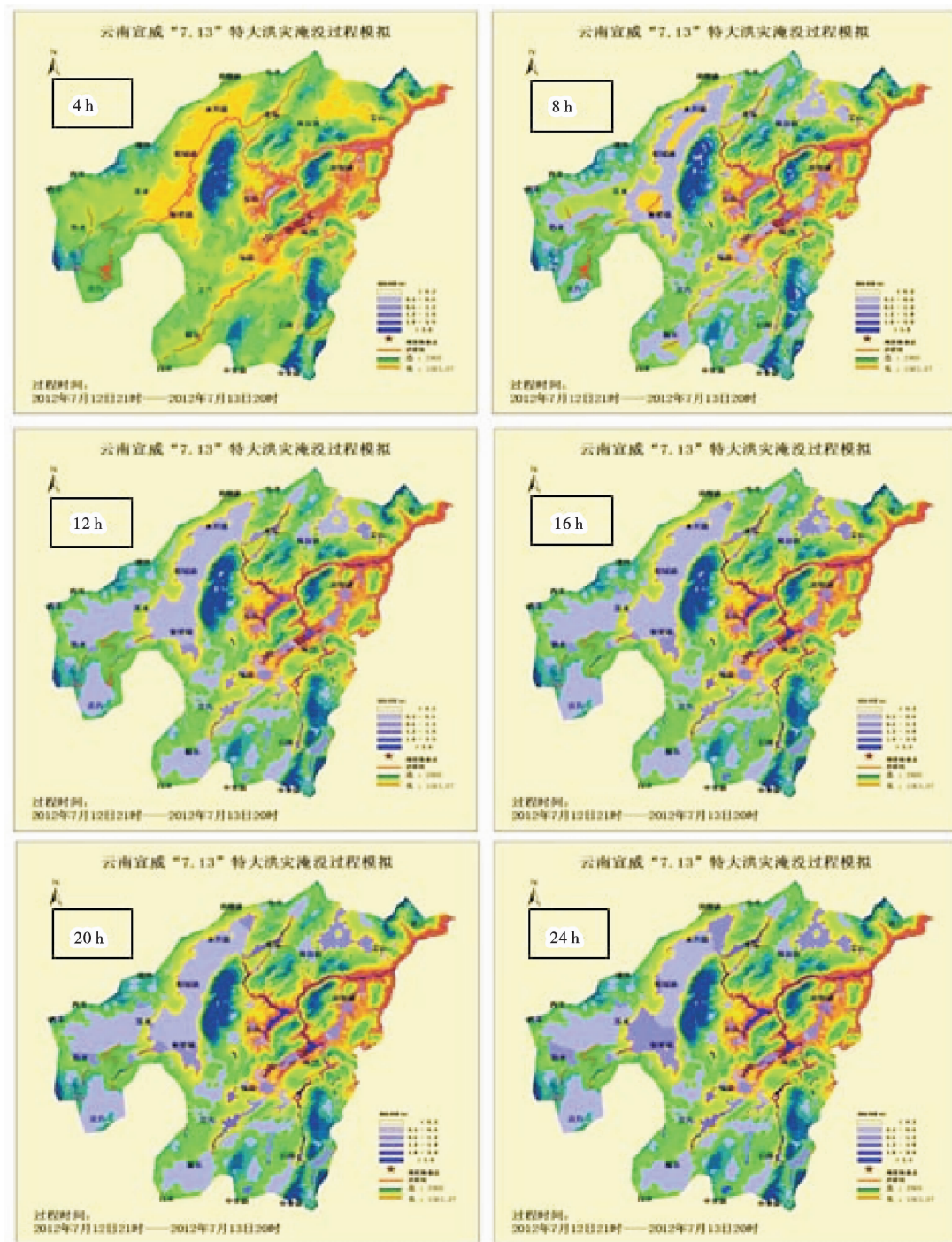


图1 不同时段洪水演进过程模拟结果

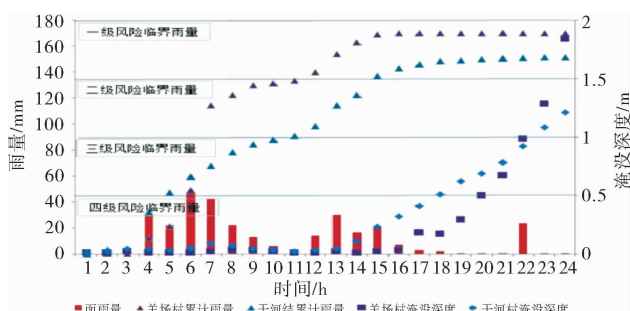


图2 致灾临界雨量确定图

3.5 误差分析

模拟过程的误差主要来源于以下几个方面。

(1) 模拟过程所采用的所有基础地理信息数据均为 1:5 万, 且云南高原区地形复杂, 数字地形与实际地形的偏差较大, 致使模拟过程中部分地区集水蓄积较多较快, 而部分地区的集水却无法形成蓄积, 这是造成模拟误差的主要原因。

(2) 实地调查点的调查为人工调查, 虽经 GPS 定位和实地测量, 但反应在 DEM 图上却有一定的偏差, 大部分隐患点的经纬度定位数据与 DEM 数

据反应不一致,主要表现在海拔高度不同上,这也极大的影响了模型模拟结果的准确率。

(3)在确定面雨量的权重文件(Weight)时,使用的是隐患点周边各雨量站的总和做权重,但从降雨量附表可以看出,本次暴雨过程的降雨量变化较为复杂,并不能简单地以一个权重文件来代表降雨分布状况,更不能以一个雨量站的数据来反应其他雨量站的数据,而且雨量站分布较散,降水数据时间跨度过长,也导致降雨输入数据有误差。

(4)文献提供的 Strilker 系数类型较少,实际土地利用类型更多,因此简单的带入相近类型的 Strilker 系数方式以及修正 Strilker 系数的方式都有误差。

4 结论

近 50 年来云南强降水事件表现为逐渐增加的趋势^[21],与此相关的伴生、次生灾害的发生频率也越来越高^[22]。临界雨量作为开展山洪灾害气象预报预警业务,制定综合防治规划方案的关键性指标,目前多采用单站雨量法或灾害气候频率法获得,前者由于气象站点分布稀疏且多位于城区,距离灾害发生地较远,代表性较差,导致临界雨量明显偏小;后者由于受到山洪灾害历史资料不全的影响,结果通常明显偏大。从本研究模拟来看,应用 FloodArea 模型在云南省地势复杂,天气多变的条件下进行山洪灾害模拟是可行的,但需要保证相关代入数据的精度,并参照更多的淹没实例模拟,开展更精细的实地调查,调整模型相关参数,选择适当的降水权重代入方式,调整模型运行效果,进一步完善淹没模型在云南的应用。

参考文献:

[1] 刘志雨,杨大文,胡健伟.基于动态临界雨量的中小河流域山

- 洪预警方法及其应用[J].北京师范大学学报:自然科学版,2010,46(3):317-318.
- [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] 胡娟,闵颖,李华宏,等.云南省山洪地质灾害气象预报预警方法研究[J].灾害学,2014,29(1):62-69.
- [4] 李运刚,胡金明,何大明,等.1960-2007年红河流域强降雨事件频次和强度变化及其影响[J].地理研究,2013,31(1):64-72.
- [5] 唐川,朱静.云南滑坡泥石流研究[M].北京:商务印书馆,2003:25-46.
- [6] 马东涛,张金山,冯自立,等.2004.7.20云南盈江滑坡泥石流山洪灾害成因及减灾对策[J].灾害学,2005,20(1):67-71.
- [7] 朱静.城市山洪灾害风险评价-以云南省文山市为例[J].地理研究,2010,29(4):655-664.
- [8] 金少华,段旭,艾永智,等.“070812”云南元江特大山洪泥石流气象成因分析[J].自然灾害学报,2011,20(6):62-67.
- [9] 陶云,唐川,寸灿琼,等.2004-07-05云南德宏州山洪泥石流气象成因分析[J].山地学报,2005,23(1):53-62.
- [10] 周金星.山洪及泥石流灾害预警技术研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- [11] 王继竹,郭英莲.湖北省中小流域山洪临界雨量计算方法及应用[J].安徽农业科学,2013,41(17):7535-7537,7540.
- [12] 叶金印,李致家,常露.基于动态临界雨量的山洪预警方法研究与应用[J].气象,2014,40(1):101-107.
- [13] Tang Chuan, Zhu Jing. Use of GIS technology for torrent risk zonation in the upstream Red River Basin, China [J]. Geographical Sciences, 2006, 16(4): 1-8.
- [14] 葛小平,许有鹏,张琪,等. GIS 支持下的洪水淹没范围模拟[J]. 水科学进展, 2002, 13(14): 456-460.
- [15] 丁志雄,李纪人,李琳.基于 GIS 格网模型的洪水淹没分析方法[J]. 水利学报, 2004, 1(6): 56-67.
- [16] 刘仁义,刘南.基于 GIS 的复杂地形洪水淹没区计算方法[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 1-6.
- [17] Gemmer M. Decision support for flood risk management at the Yangtze River by GIS/RS based flood damage estimation [M]. Giessen: Shaker. 108-127. 2004.
- [18] 苏布达,姜彤,郭业友,等.基于 GIS 栅格数据的洪水风险动态模拟模型及其应用[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2005, 33(4): 370-374.
- [19] 文明章,林昕,游立军,等.山洪灾害风险雨量评估方法研究[J]. 气象, 2013, 39(10): 1325-1330.
- [20] 张容焱,游立军,高建芸,等.统计方法与淹没模型结合的山洪灾害风险评估方法及其应用[J]. 气象, 2013, 39(12): 1642-1648.
- [21] 王学锋,郑小波,黄玮,等.近 47 年云贵高原汛期强降水和极端降水变化特征[J]. 长江流域资源和环境, 2010, 19(11): 1350-1355.
- [22] 解明恩,程建刚,范波.云南气象灾害的时空分布规律[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(51): 40-47.

Simulation Study of Flood in Yunnan Based on the FloodArea Model

Zhang Mingda, Li Meng, Dai Congrui and Huang Wei
(Yunnan Climate Center, Kunming 650034, China)

Abstract: Yunnan Province is one of the most flood-influenced regions. Disaster critical (surface) precipitation method is frequently applied to the prediction of flood. With the investigation of 7.12 flood that took place in Xuanwei, Yunnan Province, we try to simulate the inundation based on the terrain parameters, water levels, and rainfall in surrounding area. The result shows that, the thresholds of the hazard rating precipitation are 42 mm, 85 mm, 136 mm and 180 mm. With the comparison of simulated data and measured data, this model could be applied in the prediction of hazard flood. High resolution GIS data is needed for precise prediction of hazard flood.

Key words: FloodArea; Yunnan; flood inundation; critical precipitation; inundation simulation