

基于 FloodArea 模型的新疆尼勒克县暴雨山洪临界雨量的确定

吴秀兰¹, 江远安¹, 余行杰¹, 张国栋²

(1. 新疆维吾尔自治区气候中心, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 新疆尼勒克县气象局, 新疆 伊犁 835000)

摘要: [目的] 对尼勒克县科蒙乡吉林台苏河流域 2016 年 6 月 17 日发生的特大山洪过程进行模拟并结合实地考察淹没水深对模拟结果进行验证, 进而确定其山洪致灾临界雨量。[方法] 以新疆尼勒克县典型山洪沟为研究对象, 基于 FloodArea 淹没模型, 利用流域内气象站降水资料、高程数据及相关基础地理信息数据, 选取山洪预警点并分析预警点处不同累计时效的面雨量与模拟洪水过程线的相关关系。[结果] 该流域洪水的淹没水深与对应累计 9 h 面雨量相关性最高, 确定了预警点处累计 9 h 的 4 级风险等级对应的致灾临界值分别为 12.80 mm(4 级), 25.78 mm(3 级), 45.24 mm(2 级), 64.71 mm(1 级)。[结论] 淹没模型 FloodArea 能够较为准确地模拟出研究区暴雨山洪个例淹没过程, 根据其模拟结果能够反演出不同风险等级条件下该流域的山洪致灾临界面雨量。

关键词: 山洪; 临界雨量; FloodArea 模型; 新疆尼勒克县

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)01-0160-06

中图分类号: P954

文献参数: 吴秀兰, 江远安, 余行杰, 等. 基于 FloodArea 模型的新疆尼勒克县暴雨山洪临界雨量的确定[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 159-164. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.028. Wu Xiulan, Jiang Yuan'an, Yu Xingjie, et al. Determining critical rainfall for flash flood based on FloodArea model in Nileke County of Xinjiang Wei Autonomous Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 159-164.

Determining Critical Rainfall for Flash Flood Based on FloodArea Model in Nileke County of Xinjiang Wei Autonomous Region

WU Xiulan¹, JIANG Yuan'an¹, YU Xingjie¹, ZHANG Guodong²

(1. Climate Center of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xijiang 830002, China; 2. Meteorological Bureau of Nileke County, Xinjiang, Yili, Xijiang 835000, China)

Abstract: [Objective] To simulate and verify a flash flood process on June 17, 2016 in Nileke County of Xinjiang Uygur Autonomous Region by a FloodArea model, in order to determine the critical rainfall for flash flood. [Methods] A typical flash flood ditch was taken as the research object. Based on FloodArea model and using meteorological data, digital elevation model data and basic geographic information data in the flash flood ditch of Kemeng Township Nileke County, the correlations between the area rainfall with different cumulative aging and the simulated flood process line was analyzed, and the best set of correlations was used to construct the formula. [Results] It was found that the highest correlation occurred between the submerged depth of the basin and the corresponding 9 hour surface rainfall. The critical rainfall threshold at 4 levels of the 9 h cumulative rainfall was 12.80 (forth level), 25.78 (third level), 45.24 (second level) and 64.71 (first level) mm, respectively. [Conclusion] The floodArea model can well simulate the flood process in the study region, and the rainfall at different risk levels of the flash flood can be reflected.

Keywords: flash flood; critical rainfall; FloodArea model; Nilka County of Xinjiang Wei Autonomous Region

收稿日期: 2017-06-15

修回日期: 2017-08-15

资助项目: 中国气象局项目“山洪地质灾害防治气象保障工程: 山洪灾害风险区划和影响预评估能力建设”

第一作者: 吴秀兰(1988—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙古自治州博州人, 硕士研究生, 主要从事气候影响评价与气象灾害研究。E-mail: wuxiulanxj@163.com.

通讯作者: 江远安(1969—), 女(汉族), 安徽省和县人, 硕士, 高级工程师, 现主要从事气候与气候变化的研究工作。E-mail: jya_69@163.com.

在山区的溪沟或者干沟中,遇到突发暴雨时常会诱发河水暴涨,进而发展成为山洪。山洪下泄冲刷形成的溪沟叫山洪沟,山洪沟的流域面积大小一般小于 200 km²,洪灾特别严重或者一些特殊地理条件的地区(如新疆山脉纵横,山洪沟流域面积较大)面积可以适当放宽^[1]。山洪灾害多为短历时强降雨造成的,其显著特点是降水持续时间短,洪水涨幅大,具有突发性,破坏力强,常造成人畜死伤,房屋、农田、桥梁等被严重冲毁损坏^[2]。在全球变暖和超强厄尔尼诺背景下,新疆强降水等极端天气事件不断频发,强度也更甚。由暴雨引发的山洪及泥石流、滑坡等灾害也可能频频发生,同时,社会经济的不断发展导致山洪造成的经济损失也愈发严重,因此适时开展山洪监测预警以降低其造成的危害风险具有重要的科学意义和现实意义^[3]。

一些发达国家如美国、日本等早在 20 世纪 50—60 年代就已经开展了山洪灾害风险相关研究^[4],也有不少相关研究成果。中国在该领域的研究起步相对较晚一些,最早也开始于 20 世纪 80 年代,刘树坤等^[5]总结了我国哪些地区易受洪水威胁;张硕辅等^[6]制作了湖南省大型水库洪水风险示意图集;赵咸榕^[7]对黄河流域的洪水风险进行了分析并制作了图谱等。山洪灾害的诱因是短历时强降雨,能够迅速反映山洪发生的前兆降水量信号或指标就是山洪临界(面)雨量,当一定时段内的降雨量达到或超过该临界值时将引发不同等级的山洪灾害。纵观当下山洪临界面雨量的计算方法主要包含:以大量数据为基础的统计分析法和基于致灾物理机制的模型法^[8-10]。韩秀君等^[11]利用 1951—2012 年辽宁暴雨过程及暴雨灾情资料,在对该地区的暴雨特征及暴雨灾害进行评估分析的基础之上运用统计分析方法建立了暴雨致灾指标与灾害影响预评估的关系。郑永山^[12]基于甘肃省历年积累的暴雨山洪灾情资料,先在数据资料条件较好的地区用统计分析法计算临界雨量,对于无水文和暴雨灾情资料的地区采用内插法、比拟法以及实地调查法等经验法来推求临界面雨量。由此可知,统计分析方法和水文模型法对资料完备程度要求较高。近年来一些研究者在 ArcGIS 强大的空间分析功能支持下,利用 FloodArea 淹没模型反演山洪个例的演进过程,并在此基础上推算出致灾临界面雨量,成为确定山洪致灾临界面雨量一个新的研究方向,如姬兴杰等^[13]以豫西山区为研究区,采用 FloodArea 模型对研究区暴雨诱发的山洪过程进行了模拟,并结合设定雨量情景法确定了致灾临界面雨量。郑璟等^[14]利用

FloodArea 模型结合气象、水文等数据,对广东茂名马贵河流域确定了不同降水历时、不同风险等级的致灾临界雨量。王胜等^[15]基于 FloodArea 模型对广东省泮河流域暴雨山洪进行了分险区划,在利用统计方法结合水文模型确定了致灾临界雨量的基础上,通过叠加承载体信息完成了研究区内的洪水淹没风险评估与区划图,并结合淹没实例进行了验证。新疆由于其特殊的地域特征,山区面积大,海拔高,自然条件较恶劣,许多山区通达度较差致使气象站和水文站的架设不能实现,导致山洪过程的数据资料较为缺乏,对于这类资料缺乏的山洪沟可以利用水动力模型 FloodArea 模拟计算其致灾临界雨量值。

在新疆,暴雨洪涝灾害一直是有关部门关注的重点,对于暴雨的研究前人也做了许多工作,有些研究者是从发生洪灾的大气环流背景通过一次暴雨过程定性或者定量地分析水汽、低空急流等因素对降水的影响程度以及与降水强度之间的量化关系,还有学者将降水量作为新疆易灾暴雨风险区划的指标,完成了全疆易灾暴雨的风险区划^[16]。但是目前为止并未有基于淹没模型确定致灾临界雨量的相关研究,故本文拟利用基于 GIS 的水动力模型 FloodArea,选取新疆伊犁地区尼勒克县科蒙乡吉林台苏河流域为研究区,根据对洪水现场实地考察结果,测量考察点的洪水淹没深度进而调整模型参数至趋于稳定,通过对吉林台苏河“6.17”特大山洪过程的再现淹没模拟,结合预警点处逐时不同累计时效的泰森面雨量和模拟洪水过程线的相关关系,以期确定吉林台苏河流域山洪灾害致灾临界面雨量,进而验证 FloodArea 模型在该流域的适用性。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

吉林台苏河发源于新疆伊犁州尼勒克县科克浩特浩尔蒙古族乡(科蒙乡)北部山区,是喀什河的一条支流,流域面积约 185.5 km²,河流长度约 19 km。科蒙乡东距尼勒克县城约 18 km,东与乌拉斯台乡相邻,南与胡吉尔台乡接壤,西与乌赞乡、尼勒克镇相连,省道 315 由东至西横穿整个乡。2016 年 6 月 16 日夜间至 17 日上午,尼勒克全县普降暴雨,有 10 个区域自动站累计降水超过 100 mm,其中科蒙乡累计过程降水量最高达 138.6 mm。从 16 日 23:00 至 17 日早晨 8:00 共计 9 个小时,仅区域自动站 Y6 447 累计降水达到 65.4 mm,其中在 17 日 0:00—1:00 这 1 h 的降水量更达到 36.9 mm,此等强度在新疆较罕见〔新疆大(暴)雨 12 h 标准:20.1~40 mm

为暴雨,大于 40 mm 为大暴雨],短时超强降雨加之研究区地处山区故引发了暴雨山洪并造成一定灾害。

经实地考察分析此次科蒙乡吉林台苏河山洪主要原因是该区域发生了罕见的长历时强降水,暴雨雨强大、持续时间长、山区暴雨、并伴有雷电、冰雹发生,倾盆如注的大雨冲刷着山坡,顺着洪沟顷刻而下,导致该山洪沟水位暴涨,引发了山洪灾害。该流域内仅有 2 个自动气象站,无水文站,流域周边还有吉林台苏和恰哈那木沟 3 个自动气象站。

1.2 资料来源及处理

本文数据资料包括:研究区 1:5 万的数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据;基于掩膜所得 DEM 数据提取的吉林台苏河的流域边界;基于吉林台苏河流域边界提取的该流域土地利用类型数据,并进行赋值所得地表粗糙度数据(建筑用地,18;水域,25;旱田,33;水田,40;林地,50);吉林台苏河流域内及周边的 4 个区域自动站 6 月 17 日这场暴雨过程连续的、逐小时降水数据,并整理成 .txt 格式文件;在 ArcGIS 中,基于这 6 个自动站的逐小时降水数据,采用克里金(Kriging)插值方法得到代表该流域面雨量空间分布权重的栅格数据;灾害发生后,调查小组在实地考察所得到的考察点实际淹没深度数据。

1.3 研究方法

1.3.1 FloodArea 模型 FloodArea 是基于 GIS 的二维水动力模型,它是无缝镶嵌到集成到 ArcGIS 中的一个模块。其计算原理基于水动力方法,同时考虑了一个栅格的周围 8 个单元,相邻单元的水流宽度被认为是相等的,对角线上的单元,以不同的长度算法来计算。模拟演进以栅格为单元进行,通过迭代运算获得每个时相各栅格单元之间的水位坡度及由此确定的水流流向,各栅格单元的流速及邻近单元的泻入量由 Manning-Stricken 公式计算。水流方向由栅格间坡度决定,坡度由单元之间的最低的水位和最高的地形高程之间的差异所决定。FloodArea 模型能够以栅格形式输出洪水演进过程中每个时相的淹没范围、淹没深度及水流流向等数据,对洪水演进的动态过程表达得更清晰^[17]。

1.3.2 致灾临界雨量确定方法 基于 FloodArea 暴雨模式,对吉林台苏河 6 月 17 日发生的特大洪水过程进行反演。输入参数 1:5 万数字高程数据、6 月 17 日暴雨过程的逐小时数据、通过克里金插值法得到的该流域降水的空间分布权重栅格数据、地表水力糙度。启动 FloodArea 模型,模拟得到该流域逐小时洪水淹没深度和淹没范围。基于实地考察的洪水淹

没深度对模拟结果进行检验,在验证 FloodArea 模型适用性的同时率定模型参数。

选择重灾区 2 个考察点,所选的考察点均是受到不同程度洪水淹没的区域,如民居、农田、桥梁等人口集中、经济相对较发达的区域。选择其中一处作为预警点,分析预警点处逐时不同累计时效面雨量与模拟所得洪水淹没深度的线性相关,取相关性最好的一组构建表达式,即可得到预警点达到或者超过某一量值时的致灾临界面雨量。

依据山洪灾害等级的划分标准,将山洪分为 4 个等级,0.2,0.6,1.2,1.8 m 分别为 4,3,2 和 1 级山洪。基于已得到的表达式即可得出考察点累计某小时的各等级致灾临界雨量。

2 结果与分析

2.1 FloodArea 洪水过程反演

基于 GIS 的水动力淹没模型 FloodArea,在对吉林台苏河“6·17”这场持续 9 个小时降水诱发的洪水过程进行模拟试验后得到该流域此次暴雨洪水淹没结果,模拟步长为 1 h,总时长 9 h,通过 FloodArea 模型得出了吉林台苏河流域在此次洪水过程中不同时段、不同地点的淹没深度和淹没范围的变化。从再现模拟过程可以看出,随着时间的推移,洪水从上游山区向中下游的村庄和农田不断演进,洪水淹没区主要集中在中下游较平坦的吉仁台村,该村也是此次洪水淹没的重灾区。

从反演过程可以看出,流域大部淹没深度主要集中在低于 0.2 m 这个区间,洪水主要沿着河道、沟渠等向下游演进,随着时间的推移,地表降水量不断累积,洪水不断向中下游涌进,淹没范围在不断扩大,其中 0.6~1.2 m 区间的淹没范围增长最快,从 2 h 的 100.3 hm² 增加到 9 h 的 258.4 hm²。从时间和空间的演变过程来看,在 2 h 降水累计较少,整个流域的淹没深度较浅,大部分低于 0.2 m,只有吉仁台村莫扎沟山区由于降水量较大淹没深度在 0.2~0.6 m 之间。在 4 h,随着雨量不断累积,洪水逐渐向流域中游淹没,此时位于 0.2~0.6,0.6~1.2 m 深度范围的淹没面积增长剧烈。6 h 洪水已经冲刷到流域下游的村庄,多地淹没深度超过 1.2 m,有多户居民家中有不同程度的水淹、牛棚羊圈倒塌、院里积沙等灾情出现,位于考察点 2 的部分民居外墙淹没痕迹均 1 m 多高。9 h 许,洪水冲过吉仁台村继续向下游农田淹没,受淹范围进一步扩大,淹没深度达 1.8 m 左右,最终洪水汇入了下游的河道。灾后经实测下游河道桥底的桥墩处洪水痕迹最深可达 3 m。

在模拟试验中,通过调整参数最大交换率(maximum exchange rate,该参数定义了存在于当前栅格单元中可与相邻单元交换的水量百分比,通过调整该因子可以改变迭代计算的最小时间步长)得到不同交换率参数条件下模拟水位过程线(如表 1)。在模拟过程中发现,当最大交换率参数设置为 1 时,莫扎沟和吉仁台村 2 个考察点的实际淹没深度与模拟结果最接近,而在未受到洪水淹没的流域上游部分区域,模拟结果显示淹没了 0.6 m 左右,模拟结果整体上都稍偏高,但总体来看,此次吉林台苏河流域的淹没模拟效果较好。

表 1 FloodArea 模型验证

最大交换率/%	考察点 1 模拟淹没水深/m	考察点 2 模拟淹没水深/m
1	1.78	1.42
2	1.53	1.16
3	0.86	1.04
4	0.23	0.64
5	0.53	0.97

注:①考察点 1 实测淹没水深 0.65 m; ②考察点 2 实测淹没水深 1.25 m。

2.2 山洪致灾面雨量的确定

鉴于考察点 2 位于流域上方,洪水经过早、涨水快、水力大,出于几条支流的交汇处,且该点位于吉仁台村庄上游,是最早达到淹没深度的点,综合比较了 2 个考察点所在地理位置、海拔高度、距离村庄远近等多个因素,最终选择其考察点 2 作为该流域的山洪预警点。

基于山洪过程模拟得到的考察点 2 处 1~9 h 各时段的淹没深度,分别计算 1~6 h 累计面雨量与对应淹没深度的相关关系,取相关关系最好的一组来确定该流域的致灾临界面雨量(图 1a—1f)。本文利用 SPSS 软件,在求取相关系数的同时进行了这 2 组变量的显著性检验,结果显示在显著性水平为 0.05 的条件下,sig=0.013,也就是说 5 h 累计面雨量与淹没深度有显著的不同。如图 2 分析可得,模拟淹没深度与 5 h 累计面雨量的相关性最好,相关系数为 0.878 3,因此本文选取了累计 5 h 尺度的面雨量来确定吉林台苏河流域的致灾临界面雨量。

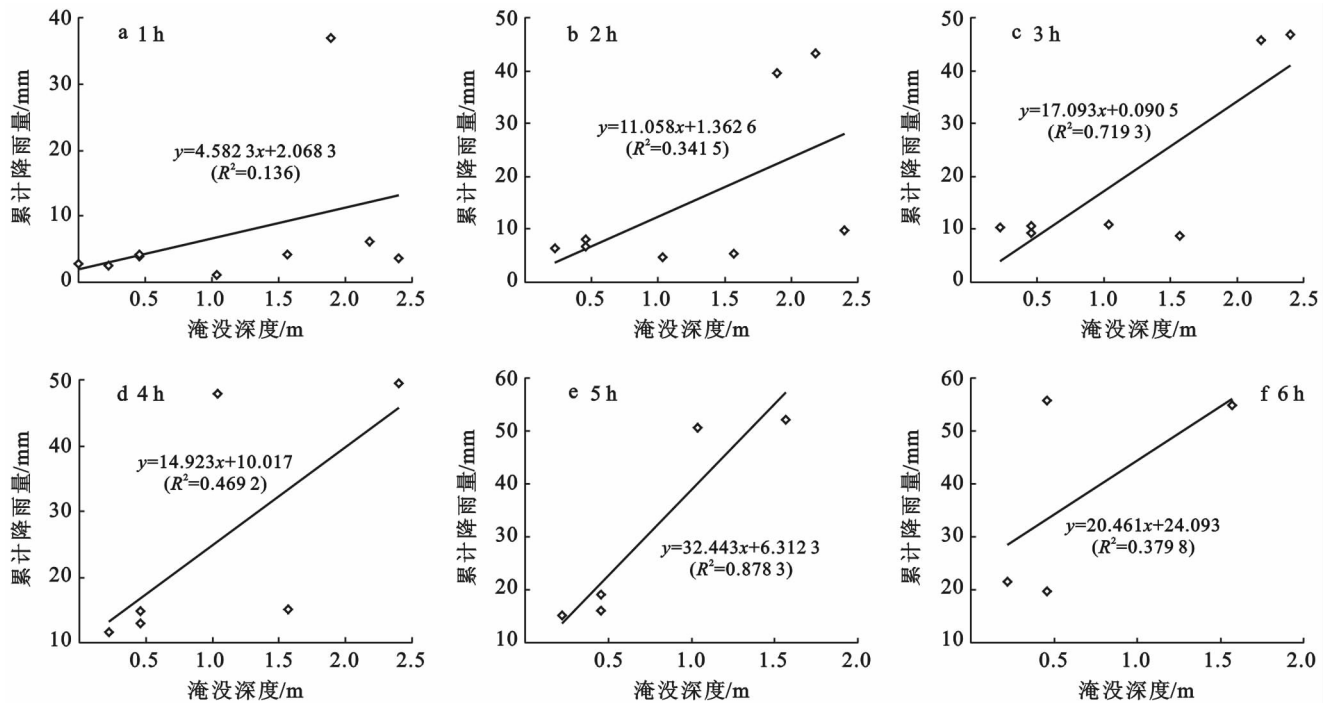


图 1 预警点模拟水深与累计降雨量的关系

由图 1 可得,吉林台苏河累计面雨量与淹没水深的换算表达式: $y=32.443x+6.3123$ (y 为致灾临界面雨量, x 为淹没水深)。

按照山洪等级的划分标准,依据以上所得累计面雨量与淹没深度的表达式即可推算出山洪预警点淹没深度超过 0.2,0.6,1.2,1.8 m(风险由低到高对应风险等级 4,3,2,1 级)4 个等级时对应的累计 5 h 的

面雨量,此降雨量即为吉林台苏河相应风险等级的致灾临界面雨量(表 2)。

表 2 吉林台苏河不同风险等级下的致灾临界面雨量

淹没风险等级	4 级	3 级	2 级	1 级
淹没深度/m	0.2	0.6	1.2	1.8
致灾临界面雨量/mm	12.80	25.78	45.24	64.71

以上各等级相较于新疆当地气象部门的 24 h 雨量标准(即 6~12 mm 为中雨,12~24 mm 为大雨,24~48 mm 为暴雨,大于 48 mm 为大暴雨),与模拟所得的 4, 3, 2 等级的临界雨量值较接近,说明基于 FloodArea 模型计算临界面雨量的方法较为有效,且该方法计算的结果更为精准和更有针对性。

3 结论

(1) FloodArea 模型能够较准确地反演出尼勒克县科蒙乡山洪个例淹没过程,并能直观的反映淹没范围和淹没深度的空间差异。

(2) 吉林台苏河流域典型洪水过程淹没深度与对应累计 5 h 的面雨量相关性最高。其规律是随着时间推移,洪水不断向中、下游聚集,地形越低,淹没水深相对越深。

(3) 研究确定了尼勒克县吉林台苏河流域的 4 级暴雨洪涝风险等级对应的致灾临界值分别为 12.80 mm(4 级),25.78 mm(3 级),45.24 mm(2 级),64.71 mm(1 级)。

4 讨论

(1) FloodArea 模型对洪水的淹没反演主要是基于高程数据完成的,因此,高程数据的空间分辨率大小就直接影响致灾临界面雨量的确定,本文采用的高程数据分辨率为 25 m,对于地形复杂的新疆山区来说精度偏低,这将会导致所确定的临界雨量存在偏差,在未来的研究中如果可以引入高精度的数据对研究结果应该会有积极地影响。

(2) 暴雨洪涝灾害的致灾临界面雨量不仅与短时强降雨有关,还与流域内的下垫面差异、土壤前期的含水量以及防洪减灾工程设施等有关,本文的试验研究未考虑土壤前期的物理性质及人类活动等因素,在未来的研究中应关注这些因子的影响,进一步提高推算山洪致灾临界雨量的准确性,能够更好地为山洪防灾减灾服务。

(3) 新疆由于其独特的地域特征,在高山区发育和分布着众多冰川和常年积雪,故新疆的洪水不止有暴雨型的,还有部分是融雪性洪水,也有的是两者共

同作用诱发的,因此对不止因暴雨诱发的洪水模拟中,Floodarea 模拟的结果精度可能会受到一定影响。

[参 考 文 献]

- [1] 张荣焱,章国材,章毅之.暴雨诱发的山洪风险预警服务业务技术指南[M].北京:气象出版社,2015.
- [2] 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.
- [3] 张亚萍,沃伟峰,刘德,等.基于精细化降水分布的山洪气象条件分析[J].气象,2013,39(1):101-111.
- [4] Kereselidze D, Matchavariani L, Trapaidze V, et al. Evaluation and management of the risk of flooding river bank[J]. Engineering Geology for Society & Territory, 2015,18(7):463-466.
- [5] 刘树坤.对暴雨灾害实施风险管理刻不容缓[N].中国水利报,2009-07-09(2).
- [6] 张硕辅,薛光达,曾务书.湖南省洪水风险分析防洪风险图编制及其应用[J].湖南水利水电,2001(1):22-24.
- [7] 赵威榕.黄河流域洪水风险图的分析与制作[J].人民黄河,1998,20(7):45-47.
- [8] 段生荣.典型小流域山洪灾害临界雨量计算分析[J].水利规划与设计,2009(2):20-21.
- [9] 程卫帅.山洪灾害临界雨量研究综述[J].水科学进展,2013,24(6):901-908.
- [10] 刘哲,张鹏远,刘广成.黑龙江省山洪灾害防治临界雨量计算分析[J].黑龙江水利科技,2005,33(5):6.
- [11] 韩秀君,孙晓巍,李爽,等.辽宁暴雨致灾指标及灾害影响预评估[J].气象与环境学报,2014,30(6):80-84.
- [12] 郑永山.甘肃省山洪灾害临界雨量分析[J].甘肃水利水电技术,2010,46(3):5-7.
- [13] 姬兴杰,李凤秀,朱业玉,等.河南省洛河上游暴雨山洪致灾临界面雨量的确定[J].气象与环境学报,2015,31(6):426-616.
- [14] 郑璟,谭畅,李春梅.基于洪水淹没模型的山洪致灾临界雨量确定方法研究[C]//第五届中国湖泊论坛论文集:湖泊湿地与发展.2015.
- [15] 王胜,吴蓉,谢五三,等.基于 FloodArea 的山洪灾害风险区划研究:以渭河流域为例[J].气候变化研究进展,2016,12(5):432-441.
- [16] 杨莲梅,张云惠,汤浩.2007 年 7 月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析[J].高原气象,2012,31(4):963-973.
- [17] Geomer. FloodArea-ArcGIS extention for calculating flooded areas: User manual(Version10.1)[M]. Geomer, Germany, 2013:1-3.