

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0036-03

# 基于 GIS 的洛清江流域洪涝致灾面雨量计算方法研究

黄思琦<sup>1</sup>, 谢敏<sup>2</sup>, 莫建飞<sup>3, 4</sup>, 黄卓<sup>2</sup>

(1.南京信息工程大学地理与遥感学院, 南京 210044; 2.广西气候中心, 南宁 530022; 3.广西气象减灾研究所, 南宁 530022; 4.国家卫星气象中心遥感应用试验基地, 南宁 530022)

**摘要:**根据气象风险预警服务业务需要, 基于 1:250000 基础地理信息数据, 利用 GIS 水文分析模型, 划分洛清江流域范围; 基于气象要素及灾情资料, 分析洛清江流域暴雨洪涝气候背景、洪涝灾害特征; 采用线性回归统计分析方法, 建立洛清江流域雨洪关系模型, 确定洛清江流域不同风险等级致灾面雨量阈值; 并通过历史典型个例, 对洛清江流域致灾面雨量阈值加以验证, 结果表明: 基于 GIS 的洛清江流域洪涝致灾面雨量阈值划分较为合理, 可为广西精细化暴雨洪涝灾害风险普查和气象风险预警服务业务化提供基础支撑。

**关键词:**致灾面雨量; 流域划分; 地理信息系统; 洛清江

中图分类号: S422

文献标识码: A

## The Method of Critical Rainfall Calculation in Luoqingjing River Basin Based on GIS

HUANG Siqi<sup>1</sup>, XIE Min<sup>2</sup>, MO Jianfei<sup>3,4</sup>, HUANG Zhuo<sup>2</sup>

(1.School of Geography &amp; Remote Sensing, Nanjing University of Information Science &amp; Technology, Nanjing 210044, China; 2. Guangxi Climate Center; 3. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning 530022, China; 4. Remote Sensing Application and Validation Base of National Satellite Meteorological Center, Nanning 530022, China)

**Abstracts:** According to the needs of meteorological risk warning service and the 1:250000 basic geographic information data, the range of the Luoqing River Basin is divided by the GIS hydrological analysis model; Based on meteorological factors and disaster data, the climatic background and flood disaster characteristics of flood in the Luoqing river basin were analyzed. The relationship between rainfall and flood was established by linear regression statistical analysis method to determine the threshold value of the rainfall at different risk levels in the Luoqing River basin. Through the typical historical cases, the threshold value of disaster-caused areal rainfall in the Luoqing river basin is verified. The results show that: division of threshold value of disaster-caused areal rainfall is more reasonable, which can provide the basic support for Guangxi fine rainstorm flood disaster risk census and meteorological risk early warning service.

**Key Words:** disaster-caused areal rainfall; watershed delineator; GIS; Luoqing river

在气候变化的背景下, 极端天气事件频发, 广西中小流域洪涝灾害以及因暴雨诱发的地质灾害经常发生, 使得中小流域防汛压力陡增, 中小流域的洪涝灾害损失所占比重大致日益增大, 因此, 亟需开展中小河

流洪涝灾害监测预警方法技术研究, 不断提高广西中小流域的洪涝灾害监测预警能力, 是弥补中小流域防御能力不足、降低洪涝灾害损失的重要手段。

洛清江流域位于广西东北部, 由北向南, 经桂林

收稿日期: 2016-08-16

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目 (桂科攻 1355010-9、桂科攻 14124004-4-9) 及广西气象局气象科研计划重点项目 (桂气科 201503) 共同资助

作者简介: 黄思琦 (1996-), 女, 广西南宁人, 大学本科。E-mail: mojfei@163.com

市的临桂县、永福县、柳州市的鹿寨县汇入柳江, 流域面积 7566Km<sup>2</sup>, 涉及临桂、永福、鹿寨 3 个县 26 个乡镇以及金秀瑶族自治县的三江乡、头排镇。洛清江流域 3 县地处亚热带季风气候区, 雨量丰沛, 年降水量分别为 1865.7mm、1962.2mm、1456.9mm, 是广西的三个多雨区之一; 降雨强度大且分配不均, 加上地质地貌复杂, 在强降雨影响下极易发生中小河流洪水、山洪及地质灾害。因此, 研究洛清江流域的划分、流域洪涝致灾面雨量阈值的确定, 对抗洪救灾及预警预报具有十分重要的意义。

## 1 数据及处理

### 1.1 气象要素及灾害资料

气象要素主要包括 2008 年至 2012 年 4~10 月洛清江流域 4 个水文站(两江、坪岭、黄冕和对亭)和流域内自动气象站逐时降雨数据、多年流域范围内的气象站点强降水过程数据; 气象灾害资料包括洛清江流域的洪涝灾害频次数据, 数据类型均为属性数据, 数据格式为 Excel。

### 1.2 水文资料

水文资料包括洛清江流域内 2008 年 6 月 8~13 日、2009 年 7 月 3~5 日和 2010 年 6 月 13~20 日、2012 年 5 月 13~15 日四个强降水过程 4 个水文站(两江、坪岭黄冕和对亭)的逐时水位数据, 数据类型均为属性数据, 数据格式为 Excel。

### 1.3 基础地理信息数据

基础地理信息数据主要包括 1:250000 的洛清江流域居民点、行政边界、水系、DEM(数字高程模型)基础地理信息数据, 数据类型为矢量数据, 数据格式为 shapefile, 数据投影为兰伯特投影, 地理坐标系为 WGS84。

## 2 关键技术与方法

### 2.1 基于 GIS 的流域划分技术

流域划分原理是依据水总是沿斜坡最陡方向流动的原理, 确定 DEM 中每一个高程数据点水流方向, 然后根据高程数据点的水流方向数据来计算每一个高程数据点的上游集水区, 再根据上游集水区的高程数据, 用阈值法确定属于水系的高程数据点, 最后根据水流方向数据, 从水系源头开始将整个水系追索出来, 同时进行子流域的划分。对于水流方向的确定主要采用 D8 算法, 即根据 DEM 栅格单元和 8 个相邻单元格之间的最大坡降来确定水流方向,

公式如下:

$$p_i = \frac{\Delta E_i}{d} \quad (1)$$

式中,  $p_i$  为中心网格与邻域网格之间的坡度,  $\Delta E_i$  为中心网格与邻域网格的高程差,  $d$  为两网格间的距离, 在对角线方向为  $\sqrt{2}$  倍格网间距, 在其他方向为 1 倍格网间距。

### 2.2 流域面雨量计算方法

流域面雨量是某一流域内的平均降雨量。流域面雨量能较客观地反映流域的降水情况, 定义为由每个像元点雨量推求出的平均降雨量。面雨量的表达式为:

$$p = \frac{1}{A} \int_A p dA \quad (2)$$

式中, 为面雨量,  $A$  为流域面积,  $p$  为有限元  $dA$  上的雨量。

根据气象站点雨量数据, 采用反距离加权插值法对流域内每像元点进行插值。反距离加权插值法就是通过待插点与实际观测样本点之间的距离为权重的插值方法, 离待插值点权重值的大小与离成反比, 计算公式为:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad (3)$$

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} \sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (5)$$

式中,  $Z(S_0)$  为出的预测值,  $n$  为预测计算过程使用的预测点周围样点的数量,  $\lambda_i$  为预测计算过程中使用的各样点的权重,  $Z(S_i)$  是在  $S_i$  处获得的测量值,  $P$  为指数值,  $d_{i0}$  是预测点  $S_i$  与各已知样点之间的距离。

### 2.3 洪涝致灾面雨量计算方法

采用线性回归分析法, 分析洪水水文特征量(水位上涨)与水位站以上流域的面雨量及其它有关变量的关系, 建立流域雨洪关系模型, 确定不同洪水等级(水位上涨量)的临界面雨量。多元线性回归的表达式如下:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \cdots + B_k X_k \quad (6)$$

式中,  $X_k$  为因变量,  $B_k$  为自变量,  $B_0$  为回归系数, 为常数项,  $k$  为变量数。

## 3 结果与分析

3.1 洛清江中小流域划分

采用基于 GIS 的流域划分技术, 首先得出较小区域的集水区, 然后按照水系河网特征、水文站分布特征等, 对集水区进行合并处理, 以 5 级水系划分为中小流域, 其流域面积为 200km<sup>2</sup>–3000km<sup>2</sup>, 最终将洛清江流域划分为义江、西河、大邦河、中渡河、茅江、古尝河、石榴河、洛清江干流等 8 个 小流域。

3.2 洛清江流域洪涝气候背景分析

洛清江流域属广西暴雨多发区, 多年平均年暴雨日数永福 7.9d, 临桂 6.8d、鹿寨 5.8d; 多年平均年大暴雨日数永福为 1.9d, 临桂 1.7d, 鹿寨 1.0d。暴雨多出现时间在 4~8 月, 以 5~7 月最为集中, 其中 6 月暴雨最频繁。暴雨日数的年际变化较大, 暴雨日数最多的年份: 永福 16d(1968 年、1977 年), 临桂 13d(1968 年、2002 年), 鹿寨 16d(2008 年)。降水强度较大, 据气象站观测资料统计: 日最大雨量永福 420.7mm(1966 年 6 月 21 日), 临桂 303.1mm(2002 年 6 月 16 日), 鹿寨 370.3mm(1977 年 6 月 26 日)。可见, 复杂的气候背景, 是造成洛清江流域洪涝频繁

发生的主要原因。

3.3 洛清江流域洪涝灾害分布特征分析

根据收集到的洪涝灾害资料, 洛清江流域内共发生了 46 次暴雨引发的中小河流洪水, 涉及全部(8 条)中小河流流域。其中, 义江和洛清江干流发生的洪水次数最频繁, 分别达到了 34 次, 其余中小河流发生洪水的次数为 1~3 次(表 1)。

在同一次强降雨过程中, 洛清江中小河流都会暴发洪水的情况, 但各条中小河流发生洪水灾害的次数差别比较大, 主要原因可能是历史灾情记录不全。

3.4 洛清江流域洪涝致灾面雨量确定

根据收集到的洛清江流域下游对亭水文站四个强降雨过程的水位数据, 挑选具有较明显上涨水位(水位上涨≥0.1m)的 1h、2h、3h、6h 个例, 采用相关性分析法, 分析这些个例的水位所对应的前 1h、前 2h、前 3h、前 6h、前 12h 和前 24h 面雨量与水位的相关关系, 选择相关系数较高的水位与面雨量, 利用线性回归分析法, 建立洛清江流域雨洪关系模型。经过分析, 前 24h 面雨量与水位相关最好, 相关系数为 0.74, 通过 a=0.001 的显著性检验。建立前 24h 面雨量与水位的线性方程, 公式如下:

$$y=10.113x+1721.32$$
 (7)

式中, y 为前 24h 面雨量, x 为水文站水位。

将洛清江流域各县人民政府发布的防汛抢险应急预案设定的各级洪水风险等级临界水位代入(7)式, 得到洛清江各中小流域风险等级致灾临界面雨量阈值(表 2)。

3.5 洛清江流域洪涝致灾面雨量验证

选取 2008 年 6 月 8 日至 13 日、2012 年 5 月 13 日至 14 日强降雨过程导致洛清江流域出现严重洪涝灾害为案例进行验证分析。2008 年 6 月 10 日 02

表 1 已知的洛清江中小流域洪涝发生频次

序号	中小河流名称	洪涝发生频次(次)
1	大邦河	2
2	古尝河	2
3	洛清江干流	34
4	茅江	2
5	石榴河	3
6	西河	1
7	义江	34
8	中渡河	2

表 2 洛清江流域洪涝风险等级致灾临界面雨量阈值

序号	预警区域			各风险等级 24 小时临界雨量			
	中小河流名称	市名	县名	(mm)			
1	古尝河	柳州市	鹿寨县	四级	三级	二级	一级
2	古尝河	桂林市	永福县	47	87	128	148
3	洛清江干流	柳州市	鹿寨县	47	87	128	148
4	石榴河	来宾市	金秀县	47	87	128	148
5	石榴河	柳州市	鹿寨县	47	87	128	148
6	中渡河	桂林市	永福县	47	87	128	148
7	中渡河	柳州市	鹿寨县	47	87	128	148

表 3 洛清江流域各级洪涝风险等级验证

年	月	日	时	实测 水位(m)	风险 等级	前 24h 面雨量(mm)	风险 等级	验证 情况
2008	6	10	02	76.7	四级	68.7	四级	相符
2008	6	10	14	81.4	三级	70.3	四级	偏低
2008	6	12	17	80.5	三级	157.8	一级	偏高
2008	6	13	07	86.2	一级	186.2	一级	相符
2012	5	13	13	75.2	四级	64.5	四级	相符

时,实测水位为 76.7m,流域洪涝风险等级为四级,前 24 小时面雨量为 68.7mm,洪涝风险等级也为四级,验证情况相符;10 日 14 时,实测水位为 81.4m,流域洪涝风险等级为三级,前 24 小时面雨量为 70.3mm,洪涝风险等级为四级,验证情况偏低;2008 年 6 月 12 日 17 时,实测水位为 80.5m,流域洪涝风险等级为三级,前 24 小时面雨量为 157.8mm,洪涝风险等级为一级,验证情况偏高;2008 年 6 月 13 日 07 时,实测水位为 86.2m,流域洪涝风险等级为一级,前 24 小时面雨量为 186.2mm,洪涝风险等级为一级,验证情况相符;2012 年 5 月 13 日 13 时,实测水位为 75.2m,流域洪涝风险等级为四级,前 24 小时面雨量 64.5mm,洪涝风险等级为四级,验证情况相符。可见,计算所得的洛清江中小河流风险等级与实际水位等级多数相符。

4 结束语

根据广西气象风险预警服务试验业务需要以及暴雨洪涝灾害风险普查资料的信息化需求,采用 GIS 技术,划分了洛清江中小河流域范围,利用统计分析法,确定了流域不同风险等级的致灾临界雨量阈值,并通过历史典型个例加以验证分析,结果表明:

(1)洛清江流域气候背景复杂,强降雨且时空分配不均导致了洪涝灾害频繁发生,其中,洪涝灾害与前 24h 面雨量相关性最大,洪涝灾害空间分布上主要在其干流流域。

(2)洛清江流域洪涝致灾临界面雨量阈值划定的风险等级与实测水位对应的风险等级多数相符,致灾面雨量阈值较为合理,可为广西暴雨诱发气象风险预警服务试验业务提供技术支撑。

[1] 《桂林经济社会统计年鉴—2011》编委会.桂林经济社会统计年鉴—2011 [M].北京: 中国统计出版社, 2011.

[2] 柳州市统计局.柳州统计年鉴—2011 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[3] 廖建强, 秦玉强.广西壮族自治区临桂县山洪灾害防治非工程措施实施方案报告 [R].广西水文水资源桂林分局, 2010.

[4] 李洪海, 江勇, 黄建秋, 等. 鹿寨县山洪灾害防治县级非工程措施建设实施方案 [R].鹿寨县防汛抗旱指挥部、广西柳州水利电力勘测设计研究院, 2011.

[5] 蒋杨明, 罗运辉. 广西壮族自治区永福县山洪灾害防治非工程措施实施方案报告 [R].广西水文水资源桂林分局, 2011.

[6] 鹿寨县国土资源局.广西鹿寨县地质灾害防治规划 [R]. 鹿寨县国土资源局, 2006.

[7] 章国材等.暴雨洪涝预报与风险评估 [M].北京: 气象出版社, 2012.

[8] 鹿寨县人民政府.鹿寨县人民政府关于印发鹿寨县防汛抢险应急预案(2011 年修订)的通知 [EB/OL].[http://www.liuzhou.gov.cn/lzgovpub/lzszf/gqzf/luzx/201107/t20110713\\_475663.html](http://www.liuzhou.gov.cn/lzgovpub/lzszf/gqzf/luzx/201107/t20110713_475663.html), 2011-5-13.

[9] 苏志, 李艳兰, 黄雪松.广西旱涝指标的初步研究 [J]. 广西气象, 1998, 19 (2): 26-28.

[10] 徐新良, 庄大方, 贾绍凤, 等.GIS 环境下基于 DEM 的中国流域自动提取方法 [J].长江流域资源与环境, 2014, 13 (4): 343-348.

[11] 梁维亮, 黄明策, 屈梅芳.基于 GIS 的广西中小河流山洪气象风险监测预警系统 [J].气象研究与应用, 2012, 33 (4): 43-46, 85.

[12] 李向红, 伍静, 王存真, 等.桂林地质及山洪灾害气象风险预警系统研究 [J].气象研究与应用, 2013, 34 (3): 33-38, 50.

[13] 莫建飞, 钟仕全, 罗永明, 等.基于 GIS 的广西溪河洪水型山洪沟空间分布特征 [J].气象研究与应用, 2015, 36 (2): 33-99.

参考文献: