

# 高原山地区山洪灾害风险评价\*1

## ——以贵州省赫章县为例

李朝仙，赵翠薇▲

(贵州师范大学地理与环境科学学院，贵州 贵阳 550001)

**【摘要】**：赫章县地处滇东高原山区，地形复杂，境内为乌江北源源区，生态脆弱，山洪严重，防御灾害能力较差，对山洪灾害风险评价可为有效防治山洪提供依据。拟以区域灾害系统理论为指导，从致灾因子和承灾体两个方面考虑，选取暴雨量、高程、坡度、河网密度、人口分布和房屋数量等作为评价指标，以 ArcGIS 为技术手段，30m×30m 的栅格为评价单元，评价研究区遭受山洪灾害的风险等级。结果显示：高风险区主要集中在城关镇，较高风险主要分布在流域中部，风险度较低区域主要分布在地形复杂，无河流流经人口密度较低的山区。评价结果与实际较符合，可为该地区防洪减灾提供合理的指导依据。

**【关键词】**：山洪灾害，风险评价，高原山地，赫章县

**【中图分类号】**：P333.2 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1003-6563 (2018) 01-0031-07

在全球气候不断变暖的背景下，极端天气气候事件发生的几率加大，世界气象组织发布的 2011-2015 年全球气候报告指出：全球破纪录的降水和洪水等极端天气气候事件的风险不断加大<sup>[1]</sup>，由此引发的自然灾害对人类生命财产安全构成极大的威胁和损害。2009-2015 年，水利部在全国范围内不断开展山洪防灾减灾的非工程建设试点工作，在山洪严重地区进行了洪水风险区划图的编制工作<sup>[2]</sup>。

山洪特指发生在山区流域面积较小的河流、溪沟或周期性的荒溪水中，历时较短，暴涨暴落的地表径流<sup>[3]</sup>。山洪灾害风险评价是以灾害理论为指导，结合自然条件与社会经济条件，以洪水演进区域为研究区，根据结果划分为不同的风险等级<sup>[4]</sup>，山洪灾害风险评价是防灾和减灾的基础和依据。我国在山洪灾害区域特征和评价方法进行了初步研究<sup>[5-9]</sup>。区域特征上分析了北京<sup>[10]</sup>、重庆<sup>[11]</sup>、太湖流域<sup>[12]</sup>、辽河中下游<sup>[13]</sup>洪水灾害的危险性，绘制了洪水危险性区划图。评价方法上，利用 ArcGIS 手段的空间叠加分析和模型模拟功能，进行了洪水灾害的风险评估<sup>[14]</sup>。周成虎等人选择暴雨、高程、人口密度和耕地百分比为主要指标，对辽河流域的洪灾进行风险区划研究<sup>[3]</sup>。总体而言，在评价区域和技术上都在不断地精确化和成熟化。高原山地区地形复杂，城镇选址不集中，社会经济水平较低，防洪能力弱，依据史培军等人提出的由致灾因子、承灾体与孕灾环境构成的区域灾害系统理论，进行灾害风险研究是建立区域综合风险管理体系的科学基础<sup>[7, 15]</sup>。

赫章县地处滇东高原山区，境内河流较多，是高原山地区山洪灾害较多的典型代表区域，拟用赫章县作为研究区，以 ArcGIS 为技术手段，通过对区域山洪灾害致灾因子和承灾体分析，构建山洪灾害风险评价指标体系，在 30m×30m 的栅格尺度上评估区

<sup>1</sup>[收稿日期]：2017-07-21；[修回日期]：2017-07-26

[基金项目]：国家重点研发计划（2016YFC0502300）。

[作者简介]：李朝仙（1992-），女，贵州省平塘人，硕士研究生，研究方向：土地利用与规划。

▲[通讯作者]：赵翠薇（1968-），教授，博士后，主要从事气候变化与土地生态环境保护。

域遭受山洪灾害的可能性及其后果。以期为区域减灾策略的制定、精准扶贫提供依据。

## 1、研究区概况

赫章县（104° 09′ 50″ —105° 01′ 31″ E, 26° 46′ 21″ —27° 28′ 21″ N）位于贵州省西北部，地处黔中山地丘陵向滇东高原过度的乌蒙山区倾斜地带，海拔最高 2865m，最低 1215m，相对高差 1650m，赫章县境被结构梁子、三望坪、舍虎梁子、韭菜坪等大山分割，地势南部、西南和西北较高，东北部偏低，境内山高坡陡，峰峦重叠，沟壑纵横，河流深切。全县最高峰（也是贵州最高点）小韭菜坪位于赫章县境内，高原山地区域特色显著。赫章县内水系发达，河流众多，主要有可乐河、六冲河、妈姑河、六曲河、野马川河等主要支流及分支的众多小河如图 1，赫章县为亚热带季风气候，降雨主要集中于夏季，年平均降水约 1089mm。

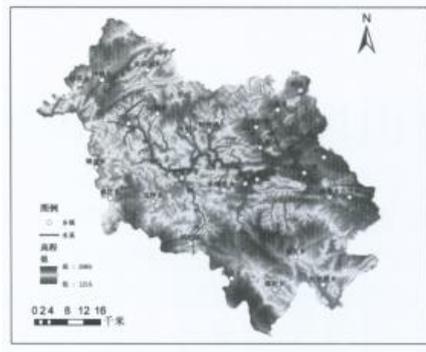


图 1 赫章县水系图

赫章县开发较早，但经济发展水平较低，据 2015 年统计，全县生产总值 112.06 亿元，人均 17112 元，低于贵州省的平均水平（29938.54 元），与全国相比，差距更大，是国家的重点贫困县之一。全县辖 27 个乡镇，户籍总人口 846141 人，受地形限制，人口多分布在狭窄的河谷和坡麓地区，平均人口密度为 217 人/km<sup>2</sup>（2015 年），高于全省的 215 人/km<sup>2</sup>（2015 年），人口集中，数量较多。根据赫章县防汛部普查统计结果显示，赫章县历年山洪带来的损失较大，如表 1 所示。

表 1 赫章县历史山洪灾害情况

流域名称	伤亡人数/人	淹没耕地/亩	淹没房屋/间
白泥河（1996、2010 年）	5	833	27
可乐河（1983 年）	4	65	8
妈姑河（1987、2002、2010 年）	28	152	10
野马川河（1999 年）	10	700	25
珠市河（2008 年）	230	200	107

## 2、数据与方法

### 2.1 数据来源

采用数据见表 2，其中所有矢量数据通过 ArcGIS 转为栅格数据，经过重分类栅格大小 30m×30m，所有数据统一采用

表 2 指标数据

数据名称	数据来源	数据格式	处理方法
暴雨量	赫章县气象局	矢量格式	IDW 插值
高程	从 1: 10000 贵州省地形图生成 DEM	1 km 栅格	重分类
坡度	从高程图上提取	1 km 栅格	重分类
河网密度	从高程图上水文分析提取	矢量格式	线密度计算
人口分布	国家第六次人口普查	矢量格式	栅格插值
房屋数量	实地调查	矢量格式	栅格插值

2015 年 8 月，调研组 30 余人分成两队对赫章县山洪灾害防治区基本社会经济情况调查，共走访 445 个自然村。沿河洪水防治村落调查，共走访 192 个自然村。调查内容包括地形地貌、沟河分布、居民住宅情况，现场查勘洪水痕迹，走访农户，调查历史最高洪水位或最高可能淹没水位，综合分析可能发生的山洪灾害程度及影响范围，调查标注成灾水位，确定沿河村落中受山洪威胁的房屋数量，并使用现场采集终端在工作底图上实地标绘了危险区范围。

## 2.2 反距离加权法 (IDW 插值)

反距离力 FI 权法 (inverse distance weighing, IDW)<sup>[16]</sup>，这种方法将未知点的属性假设与已知点的属性有关，并且认为这种关系与已知点到未知点的中心点的距离的 n 次幂成反比。计算公式为：

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p}} \quad (1)$$

$$D_i = \sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} \quad (2)$$

式中：Z<sub>0</sub>表示估计值；Z<sub>i</sub>为第 i (i=1, 2, 3...n) 个样本的属性值；p 为距离的幂，它显著影响内插的结果，它的选择标准是最小平均绝对误差；D<sub>i</sub>为距离，常选用 p=2。

## 3、山洪灾害风险评价指标

山洪灾害的发生是多种影响因素共同作用的结果，评价体系不仅要反映山洪灾害发生与孕育的自然环境和社会环境，也要为当地政府的决策服务<sup>[17-19]</sup>。依据史培军提出的“区域灾害系统”理论，把承灾体、孕灾环境和致灾因子统筹考虑<sup>[19]</sup>。结合赫章县的实际情况，主要从山洪发生的致灾因子与承灾体这两个方面选取指标进行山洪灾害风险评价，致灾因子主要选取暴雨量、河网密度、高程、坡度，承灾体因子选取人口总数、受洪灾影响的危房数量。

### (1) 暴雨量

洪灾主要是由暴雨引起的<sup>[20]</sup>，持续降雨 24 小时内大于等于 50mm 称之为暴雨<sup>[5]</sup>。赫章县地处亚热带季风气候区，降雨主要集中在夏季，7 月份暴雨日数最多，大部分地区的 24 小时最大降水量都在 70~80mm 之间，大于山洪临界雨量<sup>[20]</sup>。选取 2010-2015 年的赫章县 27 个乡镇夏季 24 小时最大暴雨量均值，使用 ArcGIS 的空间分析的插值分析，结合式 (1)、(2)，得到最大暴雨量分布图，利用自然断点法将其分为 4 类如图 2。

## (2) 高程、坡度

地形的变化程度通常用高程和坡度来表征，高程低坡度小的区域容易发生积水，淹没农田或者庄稼以及城市基础设施<sup>[3]</sup>。高程高坡度大的区域洪水流经速度快，所带来的冲刷力较强。借助 ArcGIS 的坡度提取功能从 DEM 图上提出赫章县坡度分布图，利用自然断点法将其分为 4 类（图 3、4）。

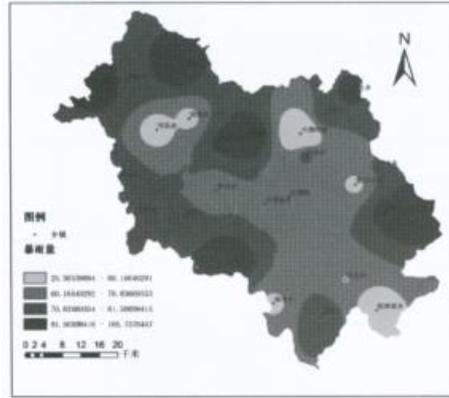


图 2 暴雨量

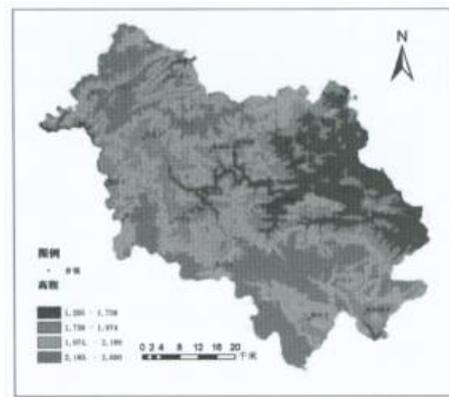


图 3 高程

## (3) 河网密度

河网密度大的地区，容易引起洪水泛滥，危险性程度也相应的增加<sup>[12-14, 21]</sup>。赫章县境内河流属于雨源性山区河流，植被差，调节作用小，洪枯流量变化大，暴涨暴落十分突出。借助 ArcGIS 的水文分析功能从 DEM 图上提出赫章县水系分布图，将得出的流域水系图放在 30m×30m 赫章县域格网上，利用密度分析计算出每个格网的河网密度，利用自然断点法将其分为 4 类如图 5。

## (4) 人口分布

在山洪灾害风险评价指标中，人口指标是首要的指标，是任何灾害中最优先保护的對象<sup>[22]</sup>。根据国家统计局第六次人口普查数据，得到赫章县 27 个乡镇 2010 年人口数，利用 ArcGIS 栅格插值将人口点状数据插到栅格内，利用自然断点法将其分为 4 类如图 6。

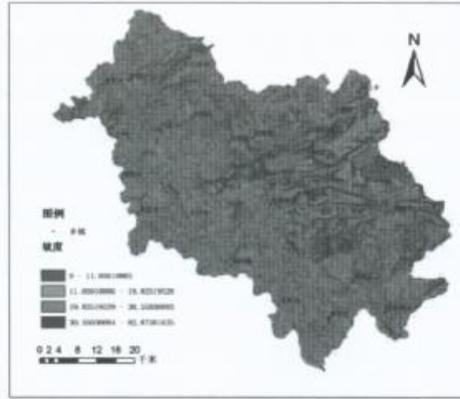


图4 坡度

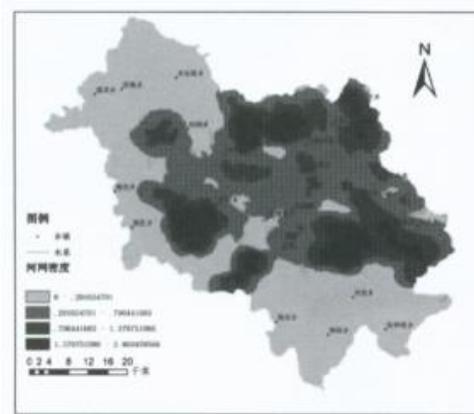


图5 河网密度

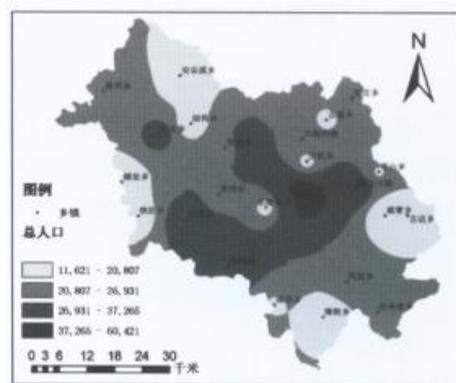


图6 人口分布

(5) 房屋数量

一般认为社会经济条件可以反映区域的承灾能力，经济社会发达的地区对山洪的承灾能力更强<sup>[3]</sup>，经济条件好的地区建房水

平相对较高，反之较弱，房屋的质量等级也是表征社会经济易损性的重要指标。根据实地走访的数据，将房屋的防洪能力依据其建筑材料进行分级，由于数据较多，具体实现各个等级的空间化较为困难，选取承灾能力较差的一级和二级的房屋数量数据合并，利用 ArcGIS 栅格插值将房屋数量点状数据插到栅格内，利用自然断点法将其分为 4 类如图 7。

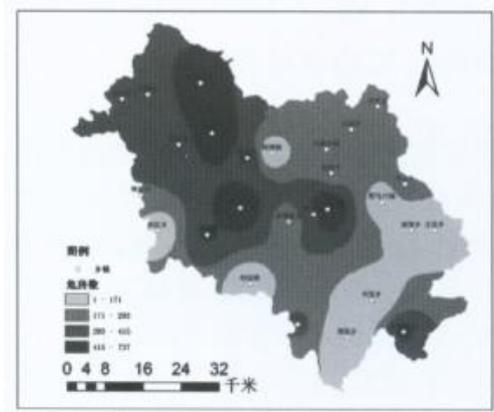


图 7 房屋分布

### 3.1 指标危险度赋值与划分

因为指标的选取因子存在量纲不同，各个指标的数值变化较大，需对指标做标准化处理，借助 ArcGIS 的数据标准差对数据进行标准化处理，通过自然断裂法对各个指标图层采取栅格重分类，然后对其赋值如表 4，将这些数值分别加载给研究区的栅格单元。

表 3 房屋质量等级

建筑材料	竹篱笆房、 草泥房、历史较久的木结构房	木结构房、 土坯房	砖石混结构	钢筋混泥土房
房屋防洪等级	一级	二级	三级	四级

表 4 各指标因子危险度划分与赋值

暴雨量		高程		坡度		河网密度		人口分布		危房数量	
分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值
23.3~60.10	1	2189~2890	1	0~11	1	0.00~0.29	1	11621~20807	1	1~171	1
60.1~70.80	2	1974~2189	2	11~19	2	0.29~0.79	2	20807~26931	2	171~293	2
70.7~81.5	3	1738~1974	3	19~30	3	0.79~1.37	3	26931~37265	3	293~415	3
81.5~105.7	4	1205~1738	4	30~82	4	1.37~2.86	4	37265~60421	4	415~737	4

单位：暴雨量/mm，人口总数/人，危房/户。

### 3.2 山洪灾害风险评价指标权重确定

层次分析法在山洪指标权重确立用得较熟练，采用层次分析法对指标进行权重划分。通过分析和比较赫章县山洪灾害评价各指标，结合实地调查情况、相关文献<sup>[14]</sup>与专家意见确定致灾因子和承灾体的指标层权重各占 0.5，得出各指标权重如表 5。

表 5 赫章县山洪灾害风险评价指标权重

目标层	指标层	变量层	指标层权重	变量层权重 $K_i$	指标层下变量权重 $w_i$
山洪灾害风险	致灾因子	暴雨量	0.5	0.432	0.3013
		高程		0.0864	0.0309
		坡度		0.0996	0.0427
	承灾体	河网密度	0.5	0.3820	0.1251
		人口分布		0.6000	0.3750
		危房数量		0.4000	0.1250

由表 5 可知，在山洪灾害致灾因子中，暴雨量和河网密度为主要因子，在承灾体的易损性中，人口相对社会经济概况的危房数量要重要得多。

## 4、结果与分析

赫章县山洪灾害风险评价基于区域灾害系统理论，从致灾因子和承灾体出发，分为以下几个步骤进行评价，即致灾因子风险评价、承灾体易损性评价和山洪灾害风险评价，以 30m×30m 为研究单元，全县分为 3604411 个栅格。

### 4.1 山洪灾害致灾因子危险性分析

在前面的基础上，借助 Arcgis 软件的空间分析，将致灾因子的指标与相应权重相乘。其致灾因子危险度为：

$$H = 0.432X_1 + 0.0864X_2 + 0.0996X_3 + 0.382X_4 \quad (3)$$

式中： $X_1$  表示暴雨量， $X_2$  表示高程， $X_3$  表示坡度， $X_4$  表示河网密度。

将计算出的致灾因子危险性值利用 ArcGIS 自然间断点分级方法把危险值分为四类分别赋值：1 为低危险区、2 为较低危险区、3 为中等危险区、4 为较高危险区、5 为高危险区，得出赫章县流域山洪灾害致灾因子危险性区划图，如图 8。

由图 8 可知，赫章县山洪灾害危险性较高的区域主要分布在双萍乡、妈姑镇、威奢乡、哲庄乡、财神镇等地区，许多河流在这些地区交汇，结合自然因素这些地区存在“三高”特点，河网密度高，暴雨量高，地形坡度较高，易导致暴雨洪涝灾害的形成。德卓乡、安乐溪乡属于较高危险区，该地区无河流流经，引起该地区的主要为暴雨量。危险性较低的地区存在于东南和西北区，这些地区暴雨量较少，无大河流经，地势也较为平坦，发生山洪的危险性较低。

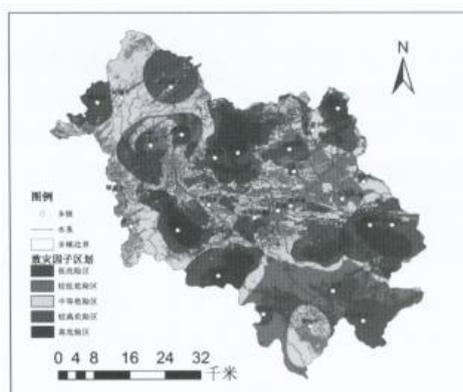


图 8 致灾因子区划图

#### 4.2 山洪灾害承灾体因子易损度分析

按照 4.1 节的步骤计算出每个栅格单元的易损度  $V$ ：

$$V = 0.6X_5 + 0.4X_6 \quad (4)$$

式中： $X_5$ 表示人口密度， $X_6$ 房屋等级。得出赫章县小流域山洪灾害承灾体易损性区划图 9。

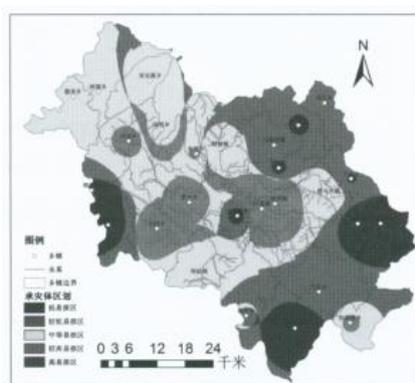


图 9 承灾体易损性区划图

由图 9 可知，赫章县山洪灾害易损度较高的地区主要集中在城关镇、罗州乡、双萍乡、白果镇、可乐乡、朱明乡，这些地区离河流近，离河岸距离较近的河流较多，城关镇和白果镇属于赫章县较大的两个乡镇，且城关镇为政府所在地，人口数量较多。如果山洪在该区域发生，比其他区域带来的损失更大。威奢乡、古达乡、古基乡，虽然有河流流经，但是该地区人口房屋较少，山洪发生带来的损失较小。

#### 4.3 山洪灾害风险分析

参照 4.1 的步骤，在 4.1 和 4.2 的基础上将两个指标与权重相乘，计算出每个栅格单元的风险度  $R$ ：

$$R = 0.500H + 0.500V \quad (5)$$

将计算出的危险区划值，利用 Arcgis 自然间断点分级方法将危险值分为 5 类分别赋值：1 为低风险区、2 为较低危险区、3 为中等危险区、4 为较高危险区、5 为高风险区，得出赫章县小流域山洪灾害综合风险图，如图 10。在风险区划图的基础上利用 Arcgis 的栅格转面并计算出不同的风险等级面积见表 6。

表 6 赫章县山洪灾害风险等级面积统计表

风险等级	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
低风险区	0.61	0.02
较低风险区	562.87	17.37
中等风险区	1697.44	52.40
较高风险区	978.45	30.20
高风险区	0.09	0.01

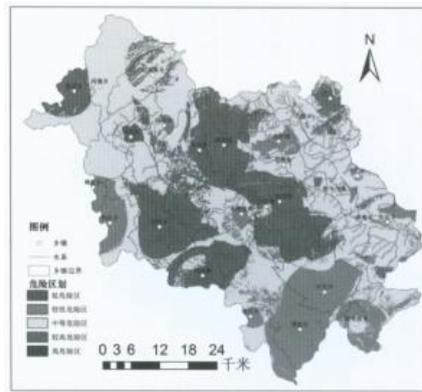


图 10 山洪灾害危险区划图

由图 10、表 6 可知，赫章小流域山洪高风险区面积最少，为 0.09km<sup>2</sup>，主要集中在城关镇小部分地区，多条河流在这里汇集，地形起伏较小，洪水的汇聚，城关镇人口密集，危房总数较多，当山洪发生时，造成的损失较为严重。较高风险区面积为 978.45km<sup>2</sup>，占比 30.20%，主要集中在中部地区的德卓乡、可乐乡、双萍乡、妈姑镇、朱明乡、财神镇、哲庄乡、白果镇和城关镇的大部分地区，这些地区河网密集，地形崎岖，人口集中分布，当山洪发生时带来的冲刷力较大。县内存在大面积的中等风险区，这些地区当致灾因子超过一定的极值，将会带来社会经济的损失。低风险区的面积最少，为 0.61km<sup>2</sup>，主要集中在东南部及其它的几个部分地区，这些地区地形起伏变化大，无河流流经，降雨量较少，人烟稀少，社会经济薄弱，所以风险区划值较低。

## 5、结论与讨论

### 5.1 结论

从山洪灾害致灾因子和承灾体出发，选取暴雨量、坡度、高程、河网密度、人口数量、房屋数量作为赫章县山洪灾害风险评价指标。利用 ArcGIS 的空间分析平台和层次分析法，得出赫章县流域的山洪致灾因子危险区划图、承灾体易损性区划图和洪灾危险区划图。

---

山地高原地区地势起伏大，流域内存在比例较大的较高危险区和中等危险区，这些地区人口密集，河网密度大，经济基础薄弱，当山洪发生时，在洪水持续演进的过程中，将会给这些地区带来较大的损失。

## 5.2 讨论

将致灾因子和承灾体结合开展了赫章县山洪灾害的风险评价，山洪灾害的形成机制较复杂，由于资料受限在指标选取上存在一定的局限，还应该考虑更多人类活动对生态环境的影响因子，如土地利用，植被覆盖等，社会经济的数据由于细化到乡镇的资料较少，应更进一步收集资料，做到评价区域的精确化，以便提出具体的应灾策略。

主要分析了赫章县境内的单一灾害——山洪，但是在高风险区、较高风险区的地区地势复杂，河网密度大，会产生多种灾害的相继发生和转化，如滑坡和泥石流等，还需加强对灾害链的深化研究。

### [参考文献]:

- [1]IPCC.Climate Change2013: The Physical Science Basis[M].Cambridge : Cambridge University Press, 2013: 1-261.
- [2]赵 刚, 庞 博, 徐宗学, 等.中国山洪灾害危险性评价[J].水利学报, 2016 (9) : 1133-1142.
- [3]周成虎, 万 庆, 黄诗峰, 等.基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J].地理学报, 2000 (1) : 15-24.
- [4]ELDEEN M T. Predisaster physical planning: integration of disaster risk analysis into physical planning—a case study in Tunisia[J].Disasters, 1980, 4 (2) : 211-222.
- [5]赵红莉, 王 力, 徐永年.基于 GIS 的山洪及诱发灾害的风险分析[J].泥沙研究, 2004 (5) : 4145.
- [6]孙建霞.基于 GIS 和 RS 技术的吉林省暴雨洪涝灾害风险评价[D].长春: 东北师范大学, 2010.
- [7]史培军, 孔 锋, 叶 谦, 等.灾害风险科学发展与科技减灾[J].地球科学进展, 2014 (11) : 1205-1211.
- [8]崔 鹏.中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题[J].地理科学进展, 2014, 33 (2) : | 45- | 52.
- [9]张 梦, 第宝锋, STAMATOPOULOSCA, 等.灾变山地环境影响下小流域脆弱性评价研究[J].长江流域资源与环境, 2015(6) : 1072-1078.
- [10]杨 坤, 李志威, 钟 莉.北京市小流域山洪危险区划分初探[J].中国水土保持, 2013 (7) : 6-8.
- [11]刘效雨.重庆市山洪灾害的初步研究[D].重庆: 西南大学, 2009.
- [12]王一秋, 许有鹏, 李群智, 等.太湖流域江苏片区洪灾风险区划[J].自然灾害学报, 2010 (4) : 195-200.
- [13]张 会, 张继权, 韩俊山.基于 GIS 技术的洪涝灾害风险评估与区划研究——以辽河中下游地区为例[J].自然灾害学报, 2005 (6) : 141-146.

- 
- [14]黄国如, 成国栋, 洗卓雁, 等. 基于 GIS 的清远市瑶安小流域山洪灾害风险评价[J]. 水电能源科学, 2015 (6) : 4347.
- [15]史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2009, 18 (5) : 1-9.
- [16]周 峰, 许有鹏, 石怡. 基于 AHP-OWA 方法的洪涝灾害风险区划研究——以秦淮河中下游地区为例[J]. 自然灾害学报, 2012 (6) : 83-90.
- [17]FUCHS S, ORNETSM? LLER C, TOTSCHNIG R. Spatial scan statistics in vulnerability assessment: an application to mountain hazards[J]. Natural Hazards, 2012, 64 (3) : 2129-2151.
- [18]崔 鹏. 探索山洪泥石流灾害防治有效途径[N]. 中国水利报, 2012-09-20.
- [19]唐 川, 朱 静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报, 2005 (1) : 87-94.
- [20]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.
- [21]崔 鹏, 苏凤环, 部 强, 等. 青藏高原山地灾害和气象灾害风险评估与减灾对策[J]. 科学通报, 2015 (32) : 3067-3077.
- [22]刘希林, 尚志海. 自然灾害风险主要分析方法及其适用性述评[J]. 地理科学进展, 2014 (11) : 1486-1497.
- [23]巫丽芸, 何东进, 洪 伟, 等. 自然灾害风险评估与灾害易损性研究进展[J]. 灾害学, 2014 (4) : 129-135.
- [24]SAATY T L .The analytical hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [25]SKAKUN S, KUSSUL N, SHKLESTOV A , et al. Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images : a case study in Namibia[J]. Risk Analysis, 2014, 34 (8) : 1521-1537.