

# 广西德保岩溶内涝灾害风险评价

曾家俊<sup>1a</sup>, 黄华爱<sup>2</sup>, 刘松<sup>2</sup>, 马兴华<sup>3</sup>, 黄国如<sup>1a,1b</sup>

(1. 华南理工大学 a. 土木与交通学院; b. 热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640;  
2. 广西防汛抗旱指挥部办公室, 广西 南宁 530023; 3. 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611)

**摘要:** 利用基于 ArcGIS 技术和层次分析法的灾害风险评价模型对广西德保县岩溶内涝灾害进行风险评价, 以期防治岩溶内涝灾害提供科学依据。综合比较德保县降雨条件、社会经济与自然环境等因素, 利用层次分析法确定各因子权重, 然后利用 ArcGIS 技术得到德保县岩溶内涝灾害危险性、易损性和风险区划图。风险评价结果表明: 广西德保县岩溶内涝高风险区主要集中在人口密集的城关镇, 较高风险区主要分布在耕地面积分布较广的北部地区, 而东部及西部地区的内涝灾害风险较低。

**关键词:** 岩溶内涝灾害; 风险评价; 层次分析法; ArcGIS; 德保县

中图分类号: X43 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)01-0070-05

## Risk assessment of Karst waterlogging disaster in Debao County of Guangxi

ZENG Jiajun<sup>1a</sup>, HUANG Huaai<sup>2</sup>, LIU Song<sup>2</sup>, MA Xinghua<sup>3</sup>, HUANG Guoru<sup>1a,1b</sup>

(1. a. School of Civil Engineering and Transportation; b. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Guangxi Flood and Drought Control Headquarters Office, Nanning 530023, China; 3. Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou 510611, China)

**Abstract:** The paper used the disaster risk evaluation model based on ArcGIS technology and analytic hierarchy process to conduct risk assessment for karst waterlogging disasters in Debao county of Guangxi in order to provide important scientific basis for the prevention and treatment of karst waterlogging. By comparing the factors of Debao country such as rainfall, socio-economic and natural environment, it used AHP to determine the weight each factor, and then made use of ArcGIS to get the hazard and vulnerability zoning map of karst waterlogging disaster. The results indicated that high risk areas are mainly located in Chengguan town of densely-populated areas. The secondary high risk areas are mainly located in the northern area of the county where agricultural acreage is widely distributed. The waterlogging disaster risk in the eastern and western of Debao county is low.

**Key words:** Karst waterlogging disaster; risk assessment; AHP; ArcGIS; Debao county

## 1 研究背景

岩溶内涝灾害是岩溶地区特有的、自然因素与人为因素综合影响下发生的灾害, 内涝灾害的危害包括山区河流泛滥造成淹没地区的人员伤亡、禽畜和农作物受害、基础设施受损等, 与山洪灾害的受灾情况十分类似<sup>[1-4]</sup>。岩溶内涝灾害风险评估是提高人们应对灾害的认识和技术能力的重要依据, 有利

于人们在灾前积极做好预防措施, 计划好灾后重建和救援计划。参考洪涝灾害风险评估的研究方法与成果<sup>[5-12]</sup>, 岩溶内涝灾害可从自然属性和社会属性等角度展开研究, 岩溶地质环境是一个复杂的结构系统, 为各属性选用不同指标, 利用层次分析法构建层次结构模型并对各指标判断评分<sup>[13]</sup>, 能定性定量地对灾害进行综合风险分析评价; 综合分析地形地貌、坡度、降雨量分布、地下水富集程度、内涝持续时

收稿日期: 2015-11-10; 修回日期: 2015-12-11

基金项目: 广西水利厅科技项目(201530)

作者简介: 曾家俊(1993-), 男, 广东广州人, 硕士研究生, 研究方向为水文水资源。

通讯作者: 黄国如(1969-), 男, 江苏南京人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为水文水资源。

间、涝灾历史统计资料,得到岩溶内涝灾害危险评价区划图;以人口密度、土地利用情况等社会经济指标进行内涝灾害易损性分析,利用 ArcGIS 技术将危险性图和易损性图进行叠加分析,得到岩溶内涝灾害风险区划图。岩溶内涝灾害风险评估方法处于起步阶段,岩溶环境十分复杂,内涝灾害大多难以查明,本文选用广西德保县岩溶区为主要研究对象,利用 GIS 技术和层次分析法构建灾害风险评价模型,对广西德保县岩溶内涝灾害进行风险评估,为该地区的岩溶内涝灾害防治提供科学依据。

## 2 研究区域概况

德保县位于广西壮族自治区西南部,地处东经 106°09′~106°59′,北纬 23°01′~23°39′之间,属亚热带季风气候区。东部与田东县、天等县相连,南部和西南部与靖西县交界,北与田阳县接壤,西北部与百色市右江区毗邻。总面积 2575 km<sup>2</sup>,辖 5 个镇 7 个乡 185 个村,总人口 34.15 万人,耕地面积 29.2 万亩,其中水田面积 14.45 万亩,人均耕地面积 0.92 亩。县境内地势西北高东南低,由西北向东南倾斜,主要地貌为岩溶地貌,分布形态有峰丛洼地、峰林谷地等。全县属中低山地形,分为山地、丘陵、台地、平地 4 种类型;其中山地面积占总面积的 78.4%,丘陵占总面积的 8.2%,台地占总面积的 0.04%,平地占总面积的 13.36%。

德保县雨量充沛,多年平均降雨量为 1463.7 mm,年降雨在时段上分配极不均匀,5-9 月为汛期,降雨连续集中,降雨量占全年总降雨量的 77%。在典型的岩溶地区中,降雨汇流时间短,水力侵蚀明显,容易堵塞岩溶天窗、落水洞等排水口,从而诱发岩溶内涝灾害,对居民人身财产安全构成威胁,妨碍农作物的生长。根据历史灾害记载,以 1998 年内涝灾情最为严重,影响范围达 6 个乡镇 67 个村 8.07 万人,造成经济损失 5 600 万元;2011 年内涝持续时间最长,对农田、房屋、基础设施造成严重破坏,经济损失达 3 520 万元。

## 3 岩溶内涝灾害风险评价指标体系及其权重

### 3.1 岩溶内涝灾害风险评价指标体系构建

综合分析德保县致灾因子、孕灾环境、承灾体等资料,结合岩溶地区实地考察和特点分析,以客观性、代表性、可获性等为原则<sup>[14]</sup>,分别以灾害的危险性和承灾体易损性两方面作为岩溶内涝灾害风险评

价指标。其中,致灾因子易发性和孕灾环境敏感性共同构成了岩溶内涝灾害的危险性,其说明了内涝灾害发生的严重程度,降雨是德保县岩溶内涝主要外因,下垫面因素中地形地貌因素和土壤类型对内涝危险性影响较大,所以选用最大 3 d 降雨量、高程、坡度、土壤类型、岩性、地下水埋深、地下水径流模数 7 个因子作为岩溶内涝灾害危险性评价指标;同时,灾害易损性说明了内涝发生给承灾体造成社会经济损失的可能性与严重程度,因此选用人口密度和土地利用类型指标进行岩溶内涝灾害易损性评价。综上所述,构建出德保县岩溶内涝灾害风险评价指标体系如图 1 所示,由目标层、准则层、指标层及变量层 4 个层次构成该指标体系<sup>[15]</sup>。

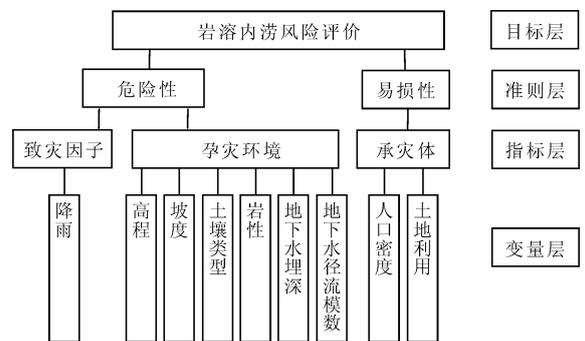


图 1 德保县岩溶内涝灾害风险评价指标体系

### 3.2 岩溶内涝灾害风险评价指标的量化

研究中采用的评价指标量纲不同,为使各指标之间具有可比性,必须对其数据进行无量纲化与标准化处理。结合德保县实际情况,利用 ArcGIS 将各指标的数据图层栅格化转换,运用自然断裂法对各指标图层进行栅格重分类,根据各指标属性的低、中、较高、高危险度分别赋值为 1~4,见表 1 所示,并将这些数值分别赋值给每个栅格单元。标准化处理后,各指标因子的空间分布特征不会发生改变,各指标因子危险度分级见图 2 (a~i)。

### 3.3 岩溶内涝风险评价指标权重

层次分析法(AHP)是多目标评价与应用系统理论综合对目标层次权重决策分析的方法<sup>[16]</sup>,它对指标进行定性定量分析,同一层次的各要素两两比较判断并计算出各要素权重,为风险计算提供条件。本文采用层次分析法对岩溶内涝灾害风险评价问题进行条理化、层次化处理,并且构造出层次分析的结构模型,通过分析和比较德保县内涝灾害风险评价各指标,构建各层次的判断矩阵<sup>[15]</sup>,采用 AHP 法求得的德保县岩溶内涝灾害评价各指标权重如表 2 所示。

表1 各指标危险度划分

最大3d降雨/mm		高程/m		坡度/(°)		土壤类型		岩性	
分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值
<145	1	<985	1	<12	1	粗骨土/水稻土	1	碎屑岩	1
145~155	2	785~985	2	12~22	2	红壤/赤红壤	2	泥质灰岩	2
155~160	3	575~785	3	22~33	3	黄壤	3	白云岩	3
>160	4	<575	4	>33	4	石灰土	4	石灰岩	4
地下水埋深/m		地下水径流模数/(L·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )		人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )		土地利用			
分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值
裂隙水	1	<1	1	<105	1	林地			1
>50	2	1~3	2	105~132	2	草地/灌木			2
10~50	3	3~5	3	132~183	3	耕地			3
<10	4	>5	4	>183	4	房屋建筑			4

在德保县岩溶内涝灾害风险分析各指标中,影响内涝灾害发生的危险性因子中,降雨的影响最大,低洼地易受淹,所以高程次之,土壤类型影响最小,经计算得危险性各指标权重为(0.303,0.184,0.105,0.060,0.060,0.184,0.105);易损性因子中,人口密度是影响最大的指标,因为人口分布密集地区对岩溶内涝灾害最敏感,因此人口密度与土地利用的权重为(0.750,0.250);在灾害风险分析中,一般认为危险性为主导,因此在德保县岩溶内涝灾害风险区划中,拟定危险性的权重为0.75,而易损性的权重为0.25,经过归一化计算后进行加权叠加得到各指标权重矩阵为(0.227,0.138,0.078,0.045,0.045,0.138,0.078,0.188,0.063)。

表2 德保县岩溶内涝灾害风险评价各指标权重

目标层	准则层	指标	变量层 权重	指标层 权重
岩溶 内涝 灾害 风险	危险性 因子	降雨	0.303	0.227
		高程	0.184	0.138
		坡度	0.105	0.078
		土壤类型	0.060	0.045
	易损性 因子	岩性	0.060	0.045
		地下水埋深	0.184	0.138
		地下水径流模数	0.105	0.078
		人口密度	0.750	0.188
		土地利用	0.250	0.063

## 4 基于GIS的岩溶内涝灾害风险评价

德保县岩溶内涝灾害风险评价主要以自然灾害风险评估理论为指导,结合内涝成因机制,在气象条件、基础地理信息数据、社会经济等数据基础上,从岩溶内涝灾害的危险性和易损性出发,先对岩溶内涝的危险性与易损性进行区划分析,然后加权叠加

得出风险区划图完成岩溶内涝风险评价。

### 4.1 岩溶内涝灾害危险性评价

本文中为岩溶内涝灾害危险性选取了最大3d降雨、高程、坡度、土壤类型、岩性、地下水埋深、地下水径流模数7个指标,结合各指标危险度划分后的标准化结果以及确定的变量层权重,利用ArcGIS空间分析功能中的栅格计算器,将7个危险性指标图层按下式加权叠加计算,得到每个栅格单元的危险度( $H$ ):

$$H = 0.303X_1 + 0.184X_2 + 0.105X_3 + 0.060X_4 + 0.060X_5 + 0.184X_6 + 0.105X_7 \quad (1)$$

式中: $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 分别为各个栅格单元中经过标准化处理后的最大3d降雨、高程、坡度、土壤类型、岩性、地下水埋深、地下水径流模数所赋的值。叠加图层后利用自然间断点重分类方法,将危险性计算结果划分为低、较低、中等、较高、高危险区5类,由此得到德保县岩溶内涝灾害危险性区划图,见图3。

由图3可知,德保县内涝灾害危险性较高区域主要分布在德保县北部区域,包括东凌乡、巴头乡、马隘镇和龙光乡的南部;危险性较低区域主要分布在荣华乡、足荣镇、敬德镇、都安乡等;从全县看,德保县北部一带发生岩溶内涝危险性较大,东西两边的危险性较小。因为降雨因素为最主要因素,影响程度所占比重最大,降雨在德保县分布中以巴头乡最大,因此危险性较大;东凌乡地下水含量丰富,雨季地下水容易溢出,造成内涝灾害危险性大;内涝灾害地形地貌对灾害发生的危险性影响不容忽视,如那甲乡、隆桑镇等地,虽然降雨量不大,但坡度较大,高程偏小,有利于降水汇流和洪水在低洼地区汇集,因此发生内涝灾害的危险性也应引起注意。

### 4.2 岩溶内涝灾害易损性评价

岩溶内涝灾害易损性指标为人口密度与土地利用类型,同理利用栅格计算器,结合指标标准化结果以及确定的变量层权重,将两个指标图层按下式加权叠加计算,得出每个栅格单元的易损度(V):

$$V = 0.750X_8 + 0.250X_9 \quad (2)$$

式中:  $X_8$ 、 $X_9$  分别为经过标准化处理后的人口密度、土地利用类型所赋的值。同时,将易损性从低到高划分为 5 个等级,由此得到德保县岩溶内涝灾害易损性区划图,见图 4。

由图 4 可看到,社会经济易损最高的为城关镇,城关镇为德保县县城,人口密度最高,乡民居住地相对集中,人民的生命财产安全应当优先考虑,因此易损性程度最大;都安乡至隆桑镇一带及龙光乡人口密度也偏高,而且这些区域分布的耕地面积较大,农作物受内涝灾害影响程度较大,所以易损性程度

较高;德保县西北部的乡镇即东凌乡、巴头乡、敬德镇的地形多为山林地,人口分布较少,而荣华乡与燕峒乡地广人稀,所以内涝灾害易损性较低。

### 4.3 岩溶内涝灾害风险评价

岩溶内涝风险是危险性和易损性综合作用的结果,首先借助 ArcGIS 将危险性区划图与易损性区划图进行量化,按危险性从低到高分别赋值为 1~5 作为风险分析的危险性指标值,同理按易损性从低到高分别赋值为 1~5 作为风险分析的易损性指标值,结合上文确定的指标层权重,在栅格计算器上根据下式进行计算,得出每个栅格单元的风险度(R):

$$R = 0.75H + 0.25V \quad (3)$$

对岩溶内涝危险性和易损性区划图进行空间叠加,得到岩溶内涝风险区划图,基于自然间断点重分类法,将风险度计算结果划分为低、较低、中等、较高、高风险 5 个风险区,见图 5。

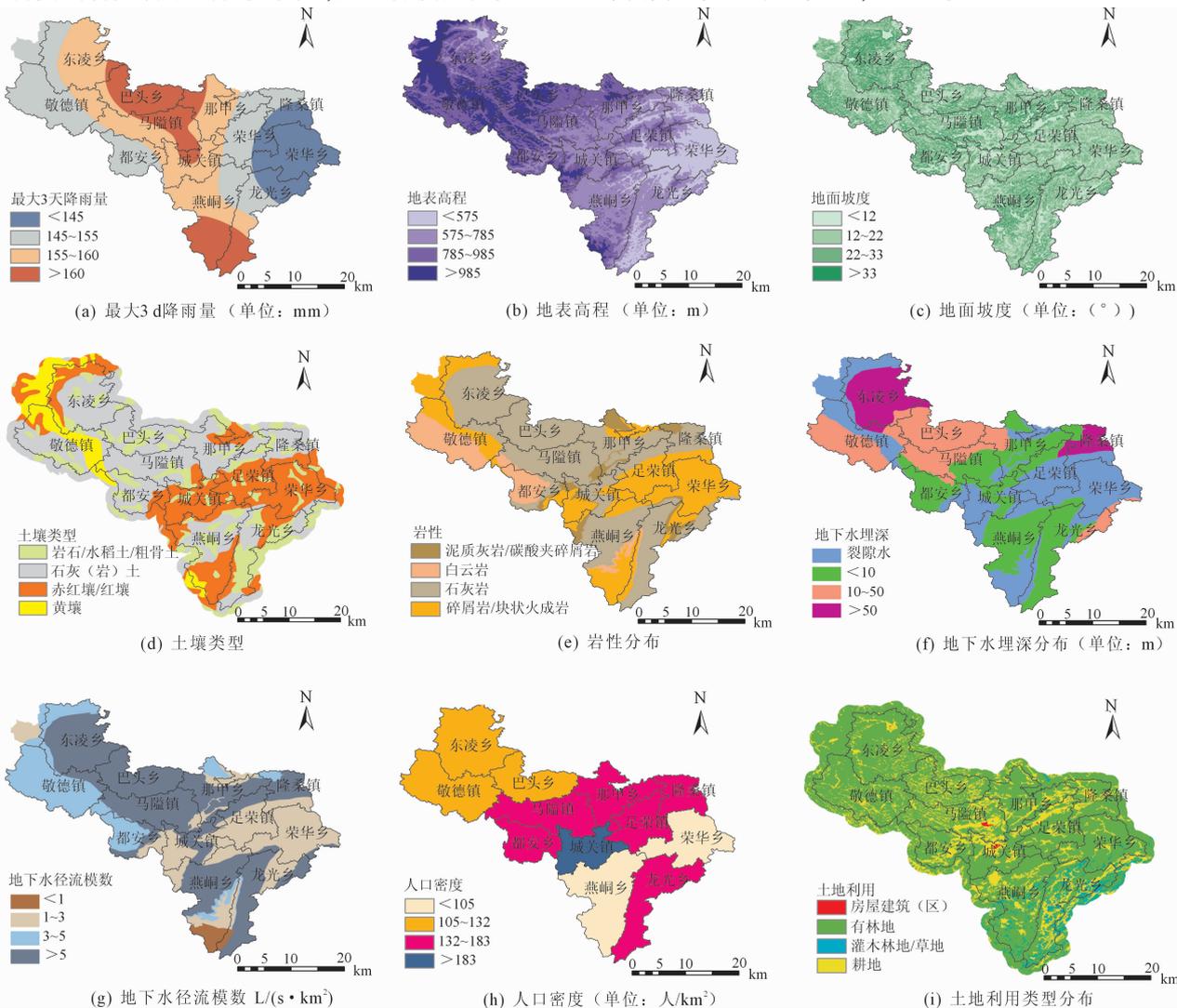


图 2 德保县风险指标评价指标等级分布图

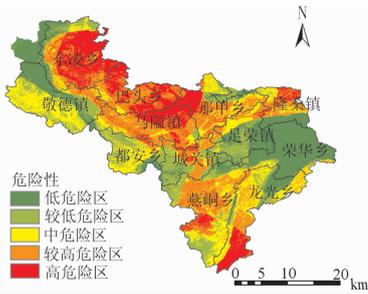


图3 德保县岩溶内涝灾害危险性区划图

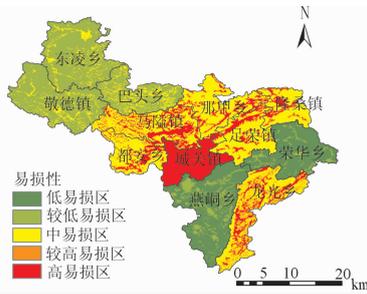


图4 德保县岩溶内涝灾害易损性区划图

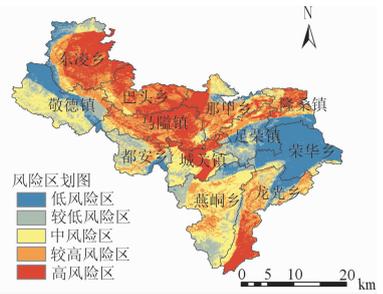


图5 德保县岩溶内涝灾害风险区划图

由图5可知,德保县岩溶内涝灾害高风险区主要分布在东凌乡、巴头乡、马隘镇、隆桑镇一带及龙华乡南部,这些地区降雨量较为丰沛,人口相对密集,耕地分布较广,因此遭受岩溶内涝灾害的风险程度较高,其中城管镇县城经济相对发达,东西高程比镇区中部相对较高,水流容易汇集,而且城区坡度较缓,不易于排水;北部的东凌乡、巴头乡、隆桑镇等经济欠发达,农田较多,且地处低洼,地下水富集,汛期岩溶内涝灾害风险较高;西部的敬德镇、都安乡及东部的荣华乡的降雨量均较少,但西部的地形坡度比东部的荣华乡高,雨水冲刷能力强,且西部土壤类型主要为黄壤,比东部的赤红壤更易受到侵蚀,水土流失容易堵塞排水口,因此敬德镇和东凌乡的内涝风险比荣华乡的高;荣华乡降雨量最小,地下水含量较少,地面坡度不大,人口密度少,因此其岩溶内涝灾害风险最小。

## 5 结论

岩溶内涝灾害风险评估对岩溶内涝灾害预防与治理具有重要意义,本文利用 ArcGIS 技术和层次分析法构建德保县岩溶内涝风险评估模型,从岩溶内涝灾害危险性和社会经济易损性方面选取不同指标,综合考虑各指标对岩溶内涝灾害发生的影响,利用层次分析法确定各指标权重,采用 ArcGIS 技术加权综合得到德保县岩溶内涝灾害风险区划图。

分析结果表明,德保县中轴线一带岩溶内涝灾害危险性普遍高于东西两边地区,其中南北两边危险性最高,且北部的东凌乡至隆桑镇一带的岩溶内涝风险尤为突出,且该区域为典型的岩溶区域,在灾害预防及整治措施的实施中可以德保县北部地区为示范,建议考察地下河流量动态变化规律,注意排水口、排水通道不被堵塞,转移低洼易涝区财产,以减少岩溶内涝灾害对人民群众的危害。

## 参考文献:

[1] Hapuarachchi H A P, Wang Q J, Pagano T C. A review of advances in flash flood forecasting [J]. Hydrological

Processes, 2011, 25(18): 2771-2784.

- [2] Zhang J, Hori T, Tatano H, et al. GIS and flood inundation model - based flood risk assessment in urbanized floodplain [C] // Proceedings of the International Conference of GIS and Remote Sensing in Hydrology, 2003: 16-19.
- [3] 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.
- [4] 黄国如, 成国栋, 洗卓雁, 等. 清远市瑶安小流域山洪灾害成因分析[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(3): 136-141.
- [5] 孙厚才, 沙耘, 黄志鹏. 山洪灾害研究现状综述[J]. 长江科学院院报, 2004, 21(6): 77-80.
- [6] 张骞. 基于 GIS 的北京地区山洪灾害风险区划研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2014.
- [7] 马建华, 张平仓, 任洪玉. 我国山洪灾害防治区划方法研究[J]. 中国水利, 2007(14): 21-24.
- [8] 孟翠丽, 匡昭敏, 李莉, 等. 基于 GIS 的广西暴雨灾害风险实时评估技术研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(26): 184-189.
- [9] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 38-43.
- [10] 梁玉莲, 黄丹萍, 黎美宏, 等. 基于 GIS 的南宁市暴雨洪涝灾害风险评估与区划[J]. 气象科技, 2013, 41(5): 934-939.
- [11] 唐川, 朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 87-94.
- [12] 王兴菊, 卢岳, 郝玉伟. 基于 GIS 指数模型的山洪灾害防治区划方法研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(9): 54-57.
- [13] 郭纯青. 岩溶浸没内涝灾害风险评价[J]. 地球与环境, 2005, 33(B10): 337-342.
- [14] 黄国如, 洗卓雁, 成国栋, 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, 33(6): 43-47.
- [15] 向碧为, 黄国如, 冯杰. 基于 AHP 法的东江流域水基系统健康模糊综合评价[J]. 水电能源科学, 2011, 29(10): 1-4.
- [16] 王以彭, 李结松, 刘立元. 层次分析法在确定评价指标权重系数中的应用[J]. 第一军医大学学报, 1999, 19(4): 377-379.