

基于 GIS 的忠县滑坡危险评价研究*

林 庆, 林孝松, 田 佳, 韩 赧

(重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘 要:在综合分析忠县滑坡灾害影响因子的基础上,选取地表坡度、地表高程、地形起伏度、距道路远近、距河流远近、汇流累积量以及年均降雨量等 7 危险评价因子构建忠县滑坡危险评价体系;采用专家系统评分方法对各评价因子进行分级赋值,利用 AHP 法确定各评价因子权重值,在 GIS 软件平台上建立各评价因子专题图层;基于综合指数分析方法建立忠县滑坡灾害危险评价综合指数模型,并利用综合指数进行分区评价,最终将忠县滑坡灾害分为微危险、低危险、中危险、高危险 4 个危险等级区;研究结果表明:忠县滑坡灾害微危险区面积 689.18 km², 占总面积的 34.39%;低危险区面积 643.91 km², 占 32.14%;中危险与高危险区面积分别为 366.13、334.54 km², 占总面积的 17.02%与 16.45%。评价结果与忠县滑坡灾害的实际情况吻合,可用于指导滑坡灾害的防灾减灾工作。

关键词:滑坡灾害;危险评价;GIS;层次分析法;忠县

中图分类号:XP47

文献标识码:A

文章编号:1672-058X(2015)08-0076-07

我国 70%的地域属于山区,其滑坡发生频率高、密度大,是世界上受滑坡危害最为严重的国家之一^[1]。作为滑坡灾害风险评估的一部分,滑坡灾害危险评价是通过对单体滑坡、局部地域或大面积区域滑坡进行危险评价,从而实现对各种类型滑坡进行高效管理,以减少滑坡灾害造成的生命以及财产损失。在对滑坡危险评价研究中,R.L.舒斯特等^[2]采用与滑坡相关的地形因素和岩性因素等对滑坡危险度进行评价;Kienholz H^[3]采用坡度和滑动速度等因素对滑坡危险度进行评价;冲村孝^[4]采用切割密度、降雨等因素对滑坡危险度进行评价。近年来,关于滑坡危险评价研究则越来越倾向于将具有强大空间分析功能与数据管理功能的 GIS 分析技术融入到研究工作中^[5-8]。评价的一般流程是在确定评价方法基础上,提取研究区域危险性因子,将其转化成 GIS 图形数据;结合滑坡空间分布进行分析,选用适当方法获取各个因子的权重以及赋值;建立评价模型进行 GIS 空间分析,从而获得研究区域滑坡危险度分区图,并在此基础上进一步细化,最终完成研究区域滑坡灾害危险评价。

基于 GIS 技术,在综合分析忠县滑坡灾害影响因子基础上,选取地表坡度、地表高程、地形起伏度、距道路远近、距河流远近、汇流累积量以及年均降雨量等 7 危险评价因子构建忠县滑坡危险评价指标体系,采用专家系统评分法对各评价因子进行分级赋值,基于综合指数分析方法建立忠县滑坡灾害危险评价综合指数模型,并利用综合指数进行滑坡危险等级区划分,为滑坡灾害的防灾减灾工作提供科学依据。

1 研究区概况

忠县位于重庆市中部,三峡库区腹心地带。东北与万州区相邻,西接垫江县,东南与石柱县毗邻,西南

收稿日期:2014-10-01;修回日期:2014-12-10.

* 基金项目:国家自然科学基金项目(51479015);重庆市教委科技项目(KJ100406)。

作者简介:林庆(1989-),男,重庆铜梁人,硕士研究生,从事地质灾害与地理信息系统方面研究。

与丰都县接壤,北与梁平县为界。地理位置介于东经 $107^{\circ}3'-108^{\circ}14'$ 、北纬 $30^{\circ}03'-30^{\circ}35'$ 之间,东西长 66.45 km,南北宽 60.15 km,幅员面积 2 183 km²。境内呈“三山两槽”地形,即由金华山、方斗山、猫耳山 3 个斜背山和其间的拔山、忠洲两个向斜沟槽构成,海拔 117~1 680 m,是典型的丘陵地貌。属于亚热带东南季风区山地气候,温热寒凉,四季分明。降雨量时空分布不均,多年平均降雨量为 1 200 mm。境内有溪河 28 条,均属长江水系,其中流域面积大于 50 km² 的有 8 条。2013 年忠县总人口达到 102 万人,全县实现国内生产总值达 156.8 亿元。研究区相关基础数据分布如图 1 所示。

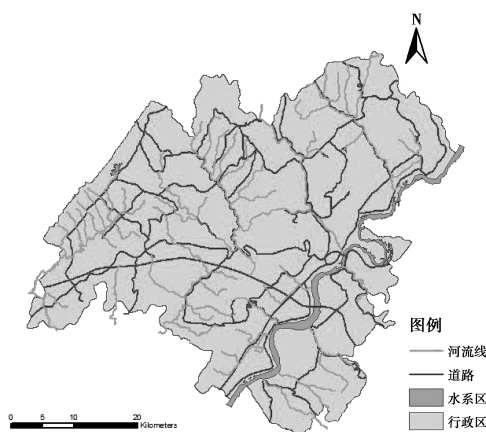


图1 研究区相关基础数据分布

2 危险评价因子分析与指标选取

影响滑坡灾害发生的因素很多,但大致可分为外在因素和内在因素两大类。外在因素主要包括大气降水、地表水侵蚀和人类工程活动等;内在因素则包括地形地貌、地层岩性、地质构造、斜坡结构类型以及水文地质等^[9]。同时由于有一些因素本身属于不恒定的因素,因此在众多因素中,若仅仅只是对任何一个单因素进行评价,其最终结果是不精确的^[10]。

2.1 滑坡灾害危险评价因子分析

2.1.1 地表坡度

地表坡度是滑坡发育的重要影响因素之一。通过绘制坡度图,对区域进行坡度分区,这些都可作为斜坡稳定性分区和防治滑坡提供分析依据。对收集到的忠县滑坡点数据按照 10° 为间隔进行整理,结果表明: $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 滑坡相对较多,有 296 个滑坡点。 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 、 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $>30^{\circ}$ 的滑坡分别有 96、57、48。因此可以看出 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间滑坡点最多,约占总滑坡点的 60%,同时可以判断忠县的滑坡点大多分布于 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间,坡度大于 20° 以后,滑坡点的数量明显减少,其是滑坡发生的转折点。

2.1.2 地表高程

忠县主要呈“三山两槽”的地形状态,地势东高西低,地表高程变化于 117~1 680 m,通过对忠县滑坡点数据进行统计,发现滑坡点主要分布高程为 200~550 m 地区,其所在范围共计有 435 处滑坡灾害,约占滑坡总数的 87.53%,而其他高程段 550~1 000 m 和 1 117~1 200 m 以及 1 000 m~1 680 m 的滑坡点则分别有 42、15、5 处,相对来说较少。由此对地表高程进行分级赋值,同时也说明区域的地表高程与区域所在滑坡的分布有着紧密的关系。

2.1.3 地形起伏度

地形起伏度作为描述区域地形的一个宏观指标,具体表现了区域地表起伏度的高低以及地表的崎岖,地形起伏度高的地区往往较为陡峭,地貌形态复杂,地质构造活跃,易产生滑坡;而地形起伏度低的区域则较为平坦,地貌形态单一,地质构造稳定,滑坡发生几率较低。因此将地形起伏度选作滑坡灾害危险评价因子,通过忠县地形起伏度的高低,反映忠县滑坡产生频率的大小,并以此分级赋值。

2.1.4 距道路远近

交通道路网遍及于丘陵、山区、河流以及平原之间,在对道路网中铁路、公路、省级道路以及国道的修建和维护中,尤其是在对坡体之间、峡谷边缘的道路进行修建与维护中,难以避免的都会对坡体进行打通或者是开挖坡脚,这些都容易造成坡体内部应力的重分布,从而诱发滑坡的产生。同时对忠县滑坡点进行统计分析,发现大多数的滑坡都是沿着道路展开,因此对忠县的交通道路网络进行多级缓冲分析,以此确定不同距离范围内道路对滑坡的影响程度,并以此结果进行分级赋值。

2.1.5 距河流远近

当坡体的前方有足够的临空面,那么其就有可能产生滑坡。而河流冲刷淘蚀坡脚,使得坡体前方产生

众多临空面,从而使得大量的斜坡滑移控制面得以暴露,进而引发滑坡的产生。同时地表水的冲刷与淘蚀及其对地下水的补给,常常和岸坡岩体中的地下水冲蚀产生联合作用,再加上暴雨的诱发,从而使的滑坡更容易产生。因此对忠县河流网络进行多级缓冲分析,以此确定距离河流远近对于滑坡产生的不同影响,并以此结果进行分级赋值。

2.1.6 汇流累积量

汇流累积量代表的是河流产流量集中到某一范围的多少,即用量化的数字大小来表示汇流量的多少。某一区域河水汇流量值越大,流经区域的汇流就越多,从而使得该区域河流水位上升甚至是发生洪水。而河流水位的上升往往对斜坡稳定性带来不利影响^[11],斜坡前缘内部的水压力会因为水位的上升而变化,从而是的有效正压力降低,这会对斜坡的稳定性产生不利的影响,同时由于斜坡下部岩土长期浸泡于地表水当中,降低了斜坡的整体性和力学强度,再加之重力影响,引发上部的强烈蠕动变形,在暴雨作用下时易导致滑坡的发生。在忠县 DEM 数据基础上,利用 GIS 的水文分析功能来计算流域水系汇流累积量来确定河水汇流量的大小对滑坡产生的影响,并在此基础上进行分类赋值。

2.1.7 年均降雨量

年均降雨量是反映降雨多少的量化依据,亦是导致滑坡灾害频发的诱因。年均降雨量越大,则表示降雨强度越大,冲刷力越强,激发力越大,在稳定性较差的垫面条件下,则更易产生滑坡、泥石流等地质灾害,因此将忠县年均降雨量选作危险评价因子。基于重庆市各个区县以及周边区县共 44 个县级气象台站的高程以及多年平均降水量数据进行线性回归分析^[12],模拟得到忠县年均降水量的回归方程^[13],再利用 ArcGIS 栅格计算功能,最终得到忠县年均降雨量分布图,并在此基础上进行分类赋值。

2.2 危险评价因子选取与量化

通过对忠县滑坡各个因素的分析,在咨询相关专家意见的基础上,将地表坡度、地表高程、地形起伏度、距道路远近、距河流远近、汇流累积量以及年均降雨量作为滑坡灾害危险评价指标。采用滑坡稳定性因子赋予判别值方法对各因子赋值^[14],最后得到各因子的状态分类以及赋值(表 1)。在此基础上利用 GIS 分析技术对各项因子进行分析处理得到各评价因子分级图,同时参照表 1 进行重分类得到各指标重分类图(图 2-8)。

表 1 各危险性因子状态分类及赋值

指标因子	状态	赋值	指标因子	状态	赋值
地表坡度/°	<10	3	距道路远近/m	<150	4
	10~20	4		150~300	3
	20~30	2		300~450	2
	>30	1		>450	1
地表高程/m	<300	4	距河流远近/m	<100	4
	300~600	3		100~200	3
	600~900	2		200~300	2
	>900	1		>300	1
地形起伏度/m	>150	4	年均降雨量/mm	>1 300	4
	100~150	3		1 200~1 300	3
	50~100	2		1 100~1 200	2
	<50	1		<1 100	1
汇流累积量	>30 000	4			
	15 000~30 000	3			
	5 000~15 000	2			
	<5 000	1			

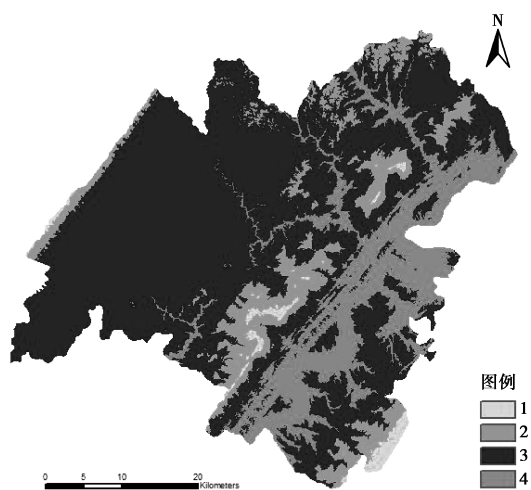


图 2 DEM 重分类

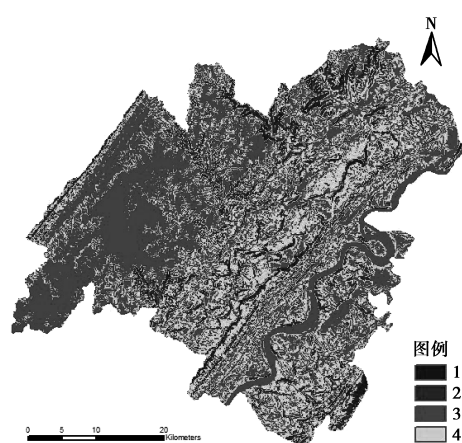


图 3 坡度重分类

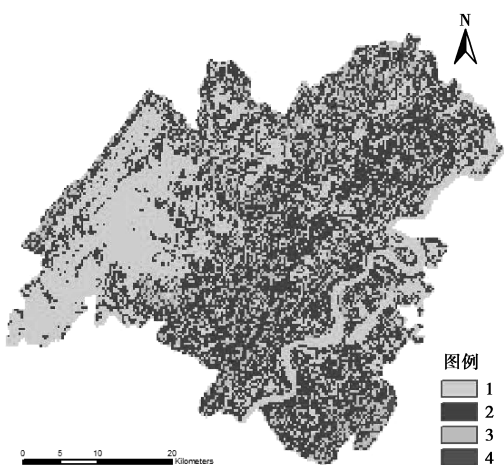


图 4 起伏度重分类

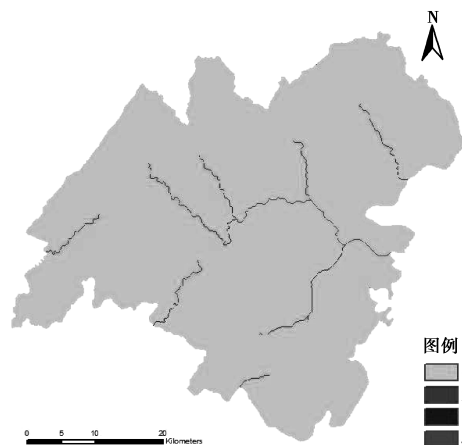


图 5 汇流量重分类

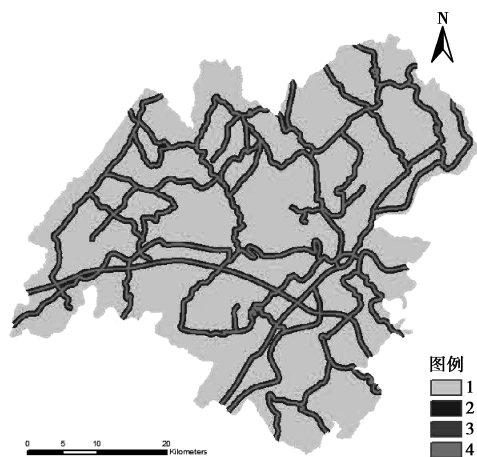


图 6 道路缓冲重分类

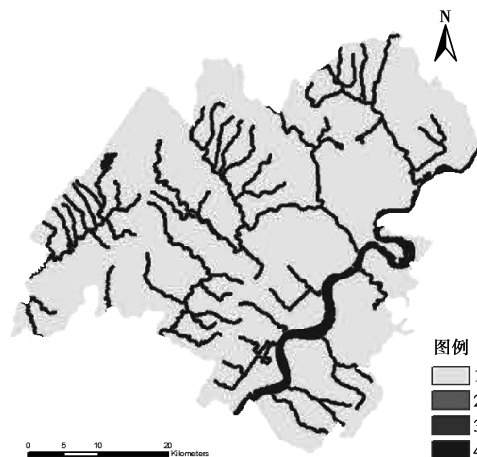


图 7 河流缓冲重分类

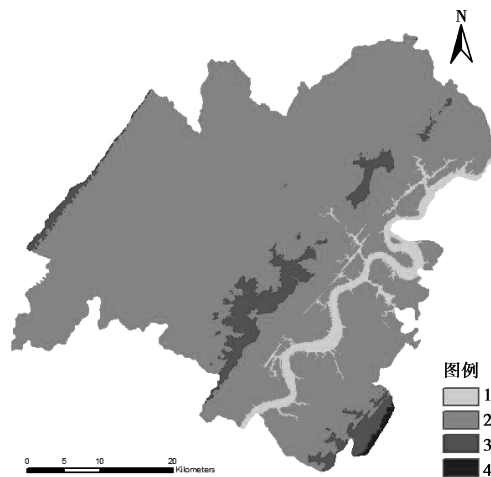


图 8 年均降雨量重分类

3 危险评价模型构建级危险分区与评价

3.1 危险评价模型构建

3.1.1 危险评价因子权重值获取

利用 AHP 方法对评价因子两两对比,利用 1-9 标度法表示各个评价因子之间影响的强弱程度^[15],并在此基础上通过 18 位专家对各个评价因子的相对重要性赋值打分,以此来构建判别矩阵,之后通过计算得到评价因子的权重值(表 2)。最后在对所构建的判别矩阵进行层次单排序一致性检验,算出一致性指标 $CR < 0.1$,由此可得判别矩阵通过一致性检验。

表 2 各评价因子权重值表

评价因子	地表坡度	地表高程	地形起伏度	距道路远近	距河流远近	汇流累积量	年均降雨量
权重	0.231 1	0.103 2	0.194 0	0.116 4	0.107 0	0.062 8	0.185 5

3.1.2 滑坡危险评价模型建立

忠县滑坡危险评价模型采用多因素综合指数评价方法建立。方法是利用 GIS 空间分析功能将滑坡灾害危险各影响指标的单因素图层叠加,最终得出研究区危险分区结果。多因素综合指数法计算模型:

$$z = \sum_{i=1}^n K_i \cdot X_i \quad (1)$$

式(1)中, Z 代表滑坡危险综合指数,其是用以评价滑坡危险性分级的一种综合量化指标,它的综合指标数值大小决定着滑坡危险分区结果。 K_i 为危险性各评价因子的权重值; X_i 为各危险评价因子的量化赋值。

3.2 滑坡危险分区与评价

采用综合评价法构建了滑坡灾害的危险评价指标体系,层次分析法确定各危险评价因子的权重值,在通过 ArcGIS 的空间叠加分析功能,将各个评价因子按照权重值综合评定滑坡灾害的危险性,最终得到忠县滑坡灾害危险评价结果。

通过危险评价结果,对忠县滑坡灾害进行危险分区与评价。查阅相关文献,发现利用 GIS 软件,采用几何级数分类的分级方法对评价结果进行分区的效果最为显著,也更能体现危险性的分布规律^[16,17]。因此采

用几何级数分类方法对忠县滑坡灾害危险评价结果进行分区,最终结果是分为了微危险、低危险、中危险、高危险共计4个区,其中等级赋值分别为1.28~2.22,2.22~2.36,2.36~2.50,2.50~3.44,最终得到了忠县滑坡危险性评价分区图(图9),同时进行重分类统计得到了各个危险区的网格数量以及面积,其中微危险区网格数为68 918,面积为689.18 km²,占总面积的34.39%;低危险区网格数为64 391,面积为643.91 km²,占总面积的32.14%;中危险区网格数为36 613,面积为366.13 km²,占总面积的17.02%;高危险区网格数为33 454,面积为334.54 km²,占总面积的16.45%。

从最终滑坡危险评价分区图可看出:忠县滑坡灾害呈现出空间上面积分布广,等级高的特点,中度以上危险区面积占到总面积的33.47%,这部分地区集中了忠县大部分的滑坡灾害点。同时还可看出滑坡灾害的高危险区与中危险区主要是集中沿河流、道路地区。而在海拔高度上也具有一定集中性,高危险区与中危险区主要分布在忠县的东南方向,与地形的走向西北高,东南低呈现出反向的关系。

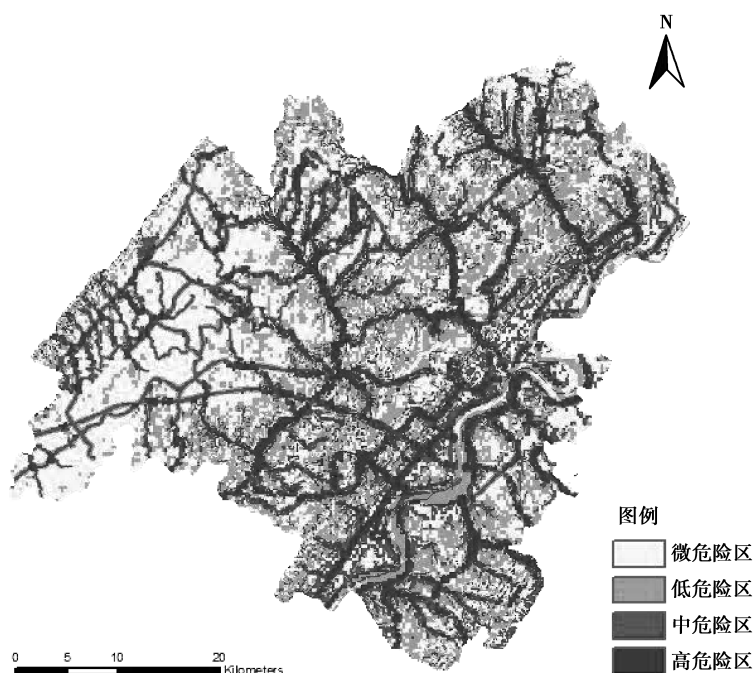


图9 忠县滑坡危险评价分区

4 结 论

(1) 在对滑坡灾害进行危险性评价研究时,将GIS的空间数据管理与空间分析功能与层次分析法相结合,不仅实现了将影响滑坡发生的相关评价因子数字化管理,还将将权重值确定判别中的主观因子与客观因子合理有效的结合在了一起,为评价研究工作提供了可行性手段,是一种行之有效的防灾减灾措施,具有很好的实用价值与应用前景。

(2) 在GIS软件支持下,以单位为100 m×100 m的网格尺寸精细获取各指标因子数据,在此基础上,得到忠县滑坡灾害危险评价综合指数数值,并进行分区与评价。研究表明:忠县滑坡灾害危险评价综合指数在1.28~3.44之间,中度以上危险区面积分别为:366.13 km²、334.54 km²、共计占到总面积的33.47%,由此可见忠县滑坡灾害防治工作亦不容忽视。

(3) 滑坡危险区的划分反映出了整个忠县滑坡危险性的空间差异和分布特征,同时参照野外调查的滑坡灾害点,其结果与实地情况也比较符合,为忠县防灾减灾部门的进一步工作提供了很好的依据。当然滑

坡灾害本身是一个复杂的过程,在因子量化分级、数据获取与评价模型等方面都还有进一步研究的空间。

参考文献:

- [1] 樊晓一,乔建平.滑坡危险度评价的地形判别法[J].山地学报,2004,22(6):730-734
- [2] R.L.舒斯特,R.J.克利泽克.滑坡分析与防治[M].铁道部科学研究院西北研究所译.北京:中国铁道出版社,1987
- [3] 乔建平,赵宇.滑坡危险度区划研究述评[J].山地学报,2001,19(2):157-160
- [4] 冲村孝.地形要因が山腹壊発生危険度評価の一手法[J].新砂防,35(3):126
- [5] 倪晓娇,南颖.基于 GIS 的长白山地区地质灾害风险综合评估[J].自然灾害学报,2014,23(1):112-120
- [6] 毛伟,如黑艳.基于 GIS 与 AHP 的金坪子滑坡危险性评价研究[J].地球与环境,2011,39(3):399-404
- [7] 楚敬龙,杜加强,滕彦国,等.基于 GIS 的重庆市万州区滑坡灾害危险性评价[J].地质通报,2008,27(11):1875-1881
- [8] 林孝松,唐红梅,陈洪凯,等.重庆市地质灾害孕灾环境分区研究[J].中国安全科学学报,2011,21(7):3-9
- [9] 唐红梅,陈洪凯,林孝松,等.重庆万州区地质灾害危险性分区及评价[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(3):1-5
- [10] 金晓媚,刘金韬.四川省万县市滑坡群灾害灾情评估[J].工程地质学报,1999(1):45-49
- [11] 向喜琼.区域滑坡地质灾害危险性评价与风险管理[D].成都:成都理工大学,2005
- [12] 林孝松,余情.重庆市农业气候资源优度评价[J].中国农业气象,2007,28(3):241-245
- [13] 余情,郭跃,林孝松,等.基于模糊物元的重庆市农业气候资源优度评价[J].海南师范大学学报:自然科学版,2008,21(2):208-212
- [14] 乔建平.滑坡减灾理论与实践[M].北京:科学出版社,1997
- [15] 谷秀芝,彭玉麒,陈洪凯.三峡库区巫山冯家坝滑坡危险度研究[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(4):724-727
- [16] 孙欣,林孝松,何锦峰,等.基于 GIS 的山区镇域山洪灾害危险性分区及评价[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2014,31(9):82-88
- [17] 李娜,王静.山洪灾害特点分析及风险图制作方法探讨[J].水利水电技术,2011,42(2):57-61

Research on the Landslide Hazard Evaluation of Zhongxian, Chongqing Based on GIS Method

LIN Qing, LIN Xiao-song, TIAN Jia, HAN Ze

(School of River and Sea Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: On the basis of comprehensively analyzing the impact factors of landslides in Zhongxian, seven factors are selected as evaluation indices including surface slope, surface elevation, terrain undulation, the distance to roads, the distance to rivers, flow cumulant of rivers and annual average rainfall. Every indicator is given a value by using the method of expert system; weight of the seven indices are determined by Analytic Hierarchy Process (AHP); a thematic map for every evaluation index is built by GIS. Based on comprehensive index analysis, the index model of the landslide hazard evaluation of Zhongxian is established. Landslide hazards are divided into 4 rating area, ie. micro hazard, low hazard, medium hazard and high hazard according to the zoning evaluation by comprehensive index. The results show that the 4 rating area respectively cover 689.18 km², 643.91 km², 366.13 km², 334.54 km² respectively, and each account for 34.39%, 32.14%, 17.02%, 16.45% of the total area. The results also corresponds with the actual situation of landslides in Zhongxian, which can be used to guide the work of landslide prevention and reduction in Zhongxian.

Key words: landslide; hazard evaluation; GIS; AHP; Zhongxian