

基于层次分析法的永德县地质灾害易发性评价

李萍¹, 叶辉², 谈树成¹

(1.云南大学 地球科学学院, 昆明 650500; 2.云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500)

摘要:为了全面分析与评估地质灾害的易发性,选取永德县为研究区,从地质环境、地理环境、人类工程活动 3 个方面累计选取与地质灾害密切相关的 14 个指标因子构建了永德县地质灾害易发性评价指标体系,并采用层次分析法分别计算了各个指标与要素层的权重,结合 GIS 的空间分析功能进行了永德县地质灾害易发性评价,并对评价结果进行了精度验证。结果表明:(1)永德县地质灾害总体呈现为中易发状态,中易发区域面积为 1 386.01 km²,占全县面积的 44.09%,高易发区域面积为 852.51 km²,占全县面积的 27.13%,主要分布在永德县的德党镇、永康镇、崇岗乡和勐板乡;(2)永德县地质灾害高易发区域内出露的泥岩、砂岩、板岩等质地较为松软、节理裂隙较为发育的岩类在遭受到流水侵蚀、风力剥蚀以及地质构造运动等各种内外应力的作用影响下风化破碎,为地质灾害的发育提供了物质来源;(3)采用成功率曲线和 ROC 曲线分别对评价结果进行检验,成功率曲线检验结果的 AUC 值为 0.79,ROC 曲线的 AUC 值为 0.87,检验结果精度较好,说明层次分析法适用于永德县地质灾害易发性评价。

关键词:地质灾害;易发性评价;层次分析法(AHP);永德县

中图分类号:K909;X43

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0394-06

Evaluation of Geological Hazards in Yongde County Based on Analytic Hierarchy Process

LI Ping¹, YE Hui², TAN Shucheng¹

(1.College of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, China;

2.College of Tourism and Geographic Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to comprehensively analyze and evaluate the susceptibility of geological disasters, Yongde County was selected as the research area, and 14 index factors closely related to geological disasters were selected from the three aspects of geological environment, geographic environment, and human engineering activities to construct geological hazard susceptibility evaluation index system of Yongde County, and the analytic hierarchy process was used to calculate the weight of each index and element layer by combining with the spatial analysis function of GIS, the susceptibility of geological hazards in Yongde County was evaluated and the accuracy of the evaluation results was verified. The results show that: (1) the geological hazards in Yongde County are generally in a moderately prone state; the medium prone area is 1 386.01 km², accounting for 44.09% of the county's area, and the high prone area is 852.51 km², accounting for 27.13% of the county's area, which distribute in Dedang Town, Yongkang Town, Chonggang Township and Mengban Township in Yongde County; (2) the mudstone, sandstone, slate and other rocks with relatively soft texture and well-developed joint fissures expose in the high-prone areas of geological disasters in Yongde County; the rocks are weathered and broken under the influence of various internal and external stresses, such as flowing water erosion, wind erosion, and geological tectonic movement, which provided a material source for the development of geological disasters; (3) the success rate curve and ROC curve are used to evaluate the results, respectively; in the test, the AUC value of the success rate curve test result is 0.79, and the AUC value of the ROC curve is 0.87; the test result has good accuracy, indicating that the analytic hierarchy

收稿日期:2020-10-15

修回日期:2020-11-05

资助项目:云南大学服务云南行动计划(2016ZD07);第二批云岭学者培养项目(C6153001)

第一作者:李萍(1989—),女,甘肃陇南人,硕士研究生,主要研究方向为资源与环境。E-mail:leeping14@163.com

通信作者:谈树成(1970—),男,河南信阳人,博士,教授,博导,主要研究方向为灾害地质、环境地质、遥感与地理信息系统。E-mail:shchtan@ynu.edu.cn

process is suitable for the assessment of the susceptibility of geological disasters in Yongde County.

Keywords: geological hazards; susceptibility evaluation; analytic hierarchy process (AHP); Yongde County

随着社会经济的不断快速发展,人类工程活动对于整体生态环境的破坏日趋强烈,进而引发的地质灾害活动愈发频繁,对地区经济发展建设、自然环境以及人类生命财产安全造成了极大的破坏且构成了严重的威胁^[1]。利用 3S(RS, GIS, GPS) 技术及时、准确、高效地对区域内的地质灾害进行调查评价与防治,不仅能够减少各方面的损失而且对于推动当地的经济建设活动也有很大的促进作用^[2]。目前关于地质灾害危险性评价的方法主要分为定性评价和定量评价两种,定性评价主要侧重于对不同地质灾害进行分类研究分析和灾害成灾理论方法上的研究,常常采用德尔菲法以及和地理密切相关的一些分析方法^[3-6];伴随着计算机技术以及 3S 技术的不断发展,越来越多的数学模型以及大量的定量评价的方法被运用到地质灾害的危险性与易发性评价中,如杜晓晨等^[7]选用多因子综合评价法与信息量模型选取了不同方面的评价因子对凉山州德昌县的滑坡危险性进行了分级与评价;王雷等^[8]结合 GIS 技术分别选取 8 个与地质灾害密切相关的指标因子结合信息量模型对安徽省池州市地质灾害的易发性进行了易发性评价与分级;赵冬梅等^[9]基于 GIS 空间分析方法,采用最大熵模型选取与滑坡易发性最为相关的 15 种评价指标对哈尼梯田核心区的滑坡易发性进行了评价,并选用 ROC-AUC 应试工作者特征曲线对评价结果进行了精度验证;李益敏等^[10]在 GIS 技术平台支持下从地质、地理、气候以及人类工程活动 4 个方面选取与斜坡地质灾害敏感性密切相关的评价指标因子采用确定性系数与敏感性指数对怒江州的斜坡地质灾害敏感性进行了评价与分析;吴常润等^[11]选用 GIS 技术首先对华宁县的滑坡地质灾害进行了详细调查并建立了灾害数据库,然后选取了与滑坡地质灾害易发性密切相关的评价因子并利用统计指数的方法分别计算了各个因子的权重,对华宁县的滑坡灾害易发性进行了评价与分析;魏江波等^[12]将传统的确定性系数法与 AHP 层次分析法进行结合提出一种新的加权确定性系数法对陕西省渭南市澄城县的地质灾害易发性进行了评价。虽然大量的学者分别选用了不同的模型与方法对不同地区不同类型的地质灾害分别进行了评价与研究,但是由于地质灾害空间分布上的差异性,其诱发因素与机制均存在着不同的差异,因此针对不同地区地质灾害易发性需要分别建立不同的评价指标体系单独进行评价与分析^[13]。本文

以云南省临沧市永德县为研究区,在现有研究文献基础上结合遥感科学、地质学、地理学等学科理论依据,以 3S 技术为支撑,结合永德县地质灾害详细调查数据资料,在此基础上建立科学可操作的评价指标体系对其进行评价与分析,为永德县的地质灾害防治预防等工作提供强有力的支撑与全新的基础地质资料。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

永德县隶属于临沧市,位于全市的西北方向,地理坐标范围为东经 99°05′—99°50′,北纬 23°45′—24°27′,国土总面积 3 208 km²,东西最远距离为 71.5 km,南北最长距离为 75.8 km^[14]。东与云县交界,西与镇康、龙陵、施甸县接壤,南与耿马县隔河相望,北与昌宁、凤庆县毗邻。境内交通主要以公路为主,县城所在地德党镇距省会昆明 787 km,距市政府所在地临沧 226 km,与邻国缅甸的果敢虽有镇康县相隔,也仅相距 108 km,县内各乡(镇)及 90% 以上的村庄均通公路,但村道雨季行车困难,总体交通尚属方便。根据中国地质调查局地质灾害详细调查数据资料统计显示,永德县域范围内共计发生地质灾害 188 处,其中崩塌 9 处,滑坡 120 处,泥石流 25 条,斜坡 34 处;灾害等级为中型的滑坡共计 4 处,其余所有灾害等级均为小型。

1.2 数据来源

开展本研究所用到的数据主要包括地质数据、地理数据以及统计数据三大类,地质数据均来自于全国地质资料馆,地理数据统一采用像元大小为 30 m 的空间栅格数据,国民经济统计数据均利用 ArcGIS 软件的空间分析、插值分析等工具转换为 30 m 的栅格数据,便于后续的统计分析,详细数据来源见表 1。

2 研究方法

2.1 指标因子的选取

地质灾害的危险性是在多种因素的作用与影响下发生的^[15],是各种地质环境因素相互影响以及不等量共同作用影响的结果。影响地质灾害的形成与发展主要包括其控制作用的内在因素和起诱发破坏作用的外在因素两方面,内因主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造以及岩土体结构特征、水文地质等条件,外在因素主要包括植被覆盖、生态环境、降雨、河流水系以及人类工程活动等因素。通过综合研究

区域地质地理概况、地质灾害的种类、规模、灾险情特征以及前人的研究成果,拟从地理环境、地质环境、人类工程活动 3 个方面选取 15 个要素作为指标因子对永德县地质灾害易发性进行评价与分析。

表 1 研究区基本数据

类别	名称	规格	数据来源
地质数据	永德县区域地质图	1 : 20 万	全国地质资料馆
	永德县构造分布图	1 : 20 万	
	永德县区域地貌图	1 : 100 万	
	云南省区域地质志	1 : 100 万	
	永德县地质灾害数据	1 : 5 万	
地理数据	DEM 数字高程	空间分辨率 30 m	中国地质调查局 地理空间数据云
	土地利用类型	空间分辨率 30 m	
	NDVI 植被覆盖度	空间分辨率 30 m	
	云南省基础地理数据	矢量数据	
统计数据	云南省统计年鉴	2019 年发布	云南省统计局

2.2 权重的计算

AHP 层次分析法对于解决受多因素影响的地质灾害易发性具有较强的适用性和可操作性,且方法简便,能够较好地表现各个因素以及其之间的相互关联程度^[16]。其主要的核心部分就是将整个问题进行分解,将地质灾害的易发性作为目标层,然后继续将目标层进行分解为准则层和要素层^[17],对同一准则层下的各个要素结合专家咨询法以及相关文献采用 1—9 标度法分别进行两两对比并构建判断矩阵,计算出各要素层与准则层的权重^[18],最后对判断矩阵进行一致性检验。若 $CR \leq 0.1$,则说明判断矩阵的一致性良好,通过检验;若 $CR > 0.1$,则说明检验不通过,需要对判断矩阵进行调整之后再次进行权重计算和

一致性检验,直至通过检验为止^[19],各评价指标因子的权重见表 2。

计算判别矩阵的最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum (AW)_i}{nW_i}$$

(1)

计算判别矩阵的一致性检验指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1}$$

(2)

随机一致性比率 CR 计算:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

(3)

式中: λ_{\max} 代表最大特征值; n 代表判断矩阵的阶数;CI 代表判断矩阵的一致性检验指标;CR 代表随机一致性比率。

表 2 永德县地质灾害易发性评价因子分级与权重系数

目标层	准则层	要素层	权重	分级		
				低易发	中易发	高易发
永德县地质灾害易发性评价 A	地理环境 指数 B_1 (权重:0.358)	坡度 B_{11}	0.132	0~15(缓坡)	15~25(陡坡)	25~90(急陡坡)
		坡向 B_{12}	0.041	225~315	315~135	135~225
		地形起伏度 B_{13}	0.131	0~75	75~100	100~300
		土地利用 B_{14}	0.117	水田、有林地、河渠、水库坑塘、农村居民点	灌木林、高覆盖度草地、城镇用地	旱地、疏林地、其他林地、中覆盖度草地、其他建设用地
		植被覆盖度指数 B_{15}	0.162	0.83~1	0.73~0.82	0~0.72
		降雨量 B_{16}	0.233	1090~1187	1188~1240	1241~1339
	地质环境 指数 B_2 (权重:0.305)	距水系距离 B_{17}	0.184	>1000	500~1000	0~500
		距断层距离 B_{21}	0.436	>1000	300~1000	0~300
		地质灾害密度 B_{22}	0.294	0~0.04	0.04~0.09	0.09~0.18
		地层岩性 B_{23}	0.203	石英砂岩、白云岩、凝灰岩、辉绿岩、花岗岩、蛇纹岩	灰岩、粉砂岩、泥灰岩	泥岩、板岩、页岩、砂砾岩、黏土层
		地貌类型 B_{24}	0.067	中海拔中起伏山地	中高海拔大起伏山地	中高海拔极大起伏山地
		人类工程 距道路距离 B_{31}	0.397	>1000	500~1000	0~500
	活动 B_3 (权重:0.337)	居民点密度 B_{32}	0.296	0~0.28	0.29~0.55	0.56~1.10
		人均耕地面积 B_{33}	0.307	0~22.85	22.86~64.15	64.16~120.00

3 结果与分析

3.1 地质灾害易发性单因子评价

永德县地质灾害易发性评价从地理环境指数、地质环境指数以及人类工程活动 3 个方面累计选取与地质灾害密切相关的坡度、坡向、地形起伏度、土地利用、植被覆盖度指数、降雨量、距水系距离、距断层距

离、地质灾害密度、地层岩性、地貌类型、距道路距离、居民点密度、人均耕地面积 14 个指标因子。因为各个指标因子分别的来源不同,其原始的量纲有所差别,在此结合前人研究成果、地质灾害易发性评价规范、GIS 自然间断点法以及相关地方标准对每个指标因子进行统一的归一化处理,统一分为 3 个等级,分别代表低易发区、中易发区、高易发区,详细结果见图 1。

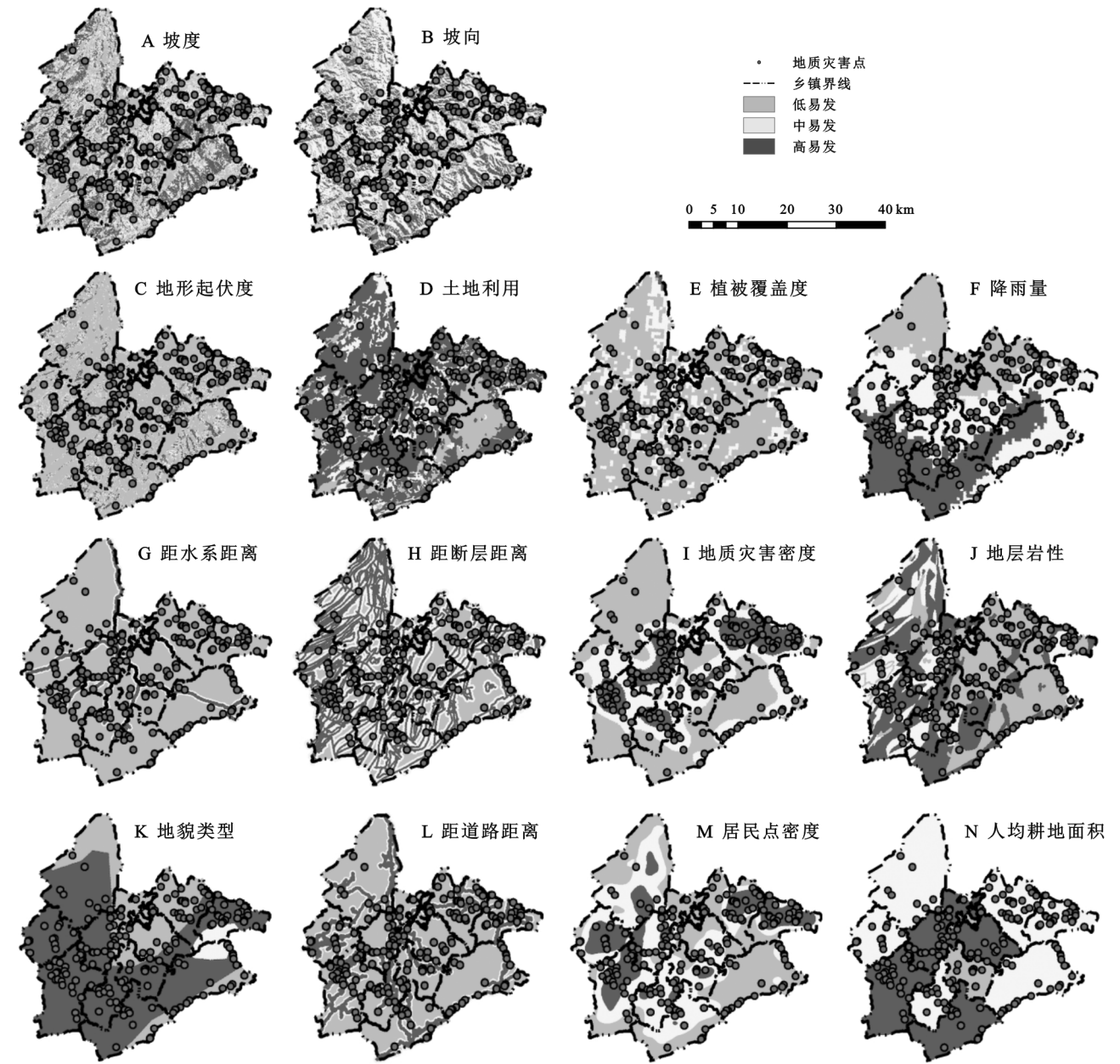


图 1 单指标因子评价

不同的地形对于地表物质的汇集以及流水的冲刷程度都会有一定的影响,坡度对于地质灾害的易发性有着很强的影响作用,直接影响各类斜坡以及边坡的稳定程度,同时影响着各地质灾害点的不同力学分布特征;坡向的不同所能够接受光照的强度存在较大的差异,长时间的日照对地表物质的松散程度以及土壤干湿度有着较强的影响,日照强烈的区域地表物质

较为松散,土壤水分蒸发较快,经过雨水冲蚀后容易流失,为泥石流、滑坡等地质灾害提供了物质来源;研究区处于高山峡谷地貌,地表切割较为强烈,相对高差大,是划分地形地貌的重要参考依据,对于地质灾害的形成也有着极为强烈的影响;人均耕地面积、土地利用类型以及利用程度等对于地质灾害的易发性影响差异较为明显,近年来对于大量林地的破坏导致

了水土流失、洪涝以及旱涝等各种自然灾害,研究区域内人口基数较大,对于耕地的需求不断扩张致使大量的林木被砍伐,因此导致的水土流失以及滑坡灾害常有发生;降雨量、距水系距离等因素对于地质灾害的发生有着决定性的作用,长时间流水对地表物质的冲蚀、侵蚀作用导致大量的土壤流失以及沼泽化等,对于山体、岩体的冲蚀更容易导致滑坡、崩塌以及不稳定斜坡等灾害的发生;植被覆盖度指数最主要的是反映一个地区植被发育程度的因子,植被发育状况越好的区域植被覆盖度指数越高,植被生长力及其生长状况越好,越不容易发生地质灾害,反之相反;距离断层、道路、乡镇等要素的距离不同,地质灾害的发育程度也有一定的影响,断层以及人类工程活动同时会导致大量的水土物质流失以及地表结构的破坏,加之受到其他因素的二次影响,距离断层、道路、乡镇越近的区域越容易发生地质灾害;地层岩性不同其物质组成与力学性质均存在较大的差异,在泥岩、板岩、页岩、砂砾岩、黏土层等物质较为松散的区域地质灾害发生的几率越高,相对于较为坚硬的石英砂岩、白云岩、凝灰岩、辉绿岩、花岗岩、蛇纹岩区域,其地质灾害发生几率相

对较低;地质灾害密度反映的是一定区域范围内地质灾害数量的分布程度,地质灾害密度较大的区域由于地表结构遭到破坏、力学性质不稳定等因素的影响更加容易形成二次灾害,密度较小的区域相对稳定。

3.2 地质灾害易发性综合评价

由于地质灾害的易发性来源于多个因素的影响与控制,采用线性加权求和函数结合 ArcGIS 的栅格计算功能,首先将地质环境指数、地理环境指数与人类工程活动 3 个要素层各个指标因子的栅格图层分别乘以各自的权重得到要素层评价结果,最后将要素层乘以各自的权重进行叠加,便得到了永德县地质灾害易发性的评价结果(图 2)。最后将结果图层采用自然间断点法进行分级,易发性越高的地区分值越大,越低的地区分值越小。此类方法较为便捷且易于操作,所采用的数据能够很有效的获取到,评价结果具有较强的科学性和客观性。公式如下:

$$P_i = \sum_{i=1}^n X_i \times Y_i \quad (i=1,2,3,\dots,n)$$

式中: P_i 表示永德县地质灾害易发性的评价价值; X_i 表示各指标层的权重; Y_i 表示指标层的评价指标因子; n 为因子项数。

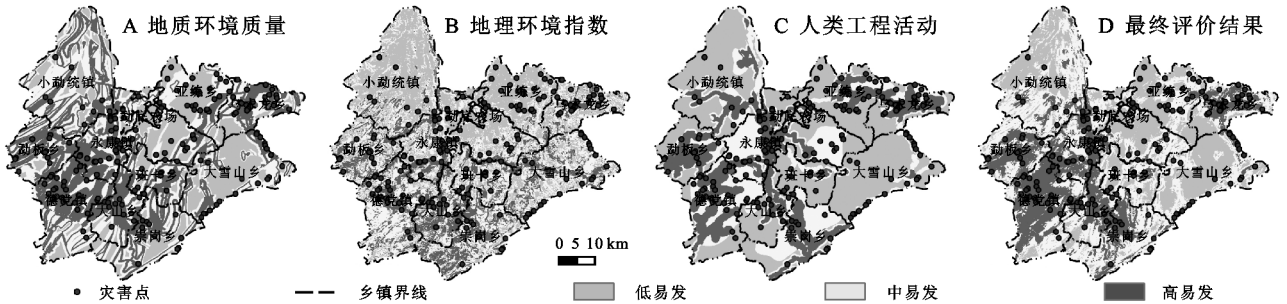


图 2 永德县地质灾害易发性综合评价结果

根据永德县地质灾害易发性评价结果得知,永德县地质灾害总体呈现为中易发状态,主要分布于小勐统镇、永康镇、崇岗乡、大雪山乡、德党镇、亚练乡,其面积分别依次为 283.646 7 km², 214.180 2 km², 169.633 8 km², 143.562 6 km², 116.430 3 km², 109.836 9 km²;高易发区域主要分布在永德县的德党镇、永康镇、崇岗乡和勐板乡,其面积分别依次为 224.364 6 km², 147.410 1 km², 111.262 5 km², 101.711 7 km²;其主要原因为这些乡镇近年来经济发展迅速,大量建设项目新建以及人口快速增长对于耕地的需求不断增加,大量的开垦荒地致使水土流失,进而引发大量地质灾害。其余各乡镇地质灾害易发性区域面积见图 3。

高易发区域内主要出露泥岩、砂岩、板岩等质地较为松软、节理裂隙较为发育的岩类,其在遭受到流水侵蚀、风力剥蚀以及地质构造运动的作用影响下,结构破碎,易于风化,为地质灾害的发育提供了物质

来源。此外,伴随着城镇化建设步伐的不断加快,大量的交通、水利等基础建设项目不断新增,矿产资源的需求量以及开发力度不断加大,人类工程活动形式渐趋多样、规模逐渐扩大等多方面的因素,在可以预见的较长时间内,永德县县境内滑坡、泥石流等地质灾害的活动水平将保持持续上升的态势。因此相关职能部门在今后的地质灾害防治工作中应将重心放在预防上,在各类工程建设项目的审批环节就应当考虑其对于自然生态环境的影响,权衡利弊,辅以治理,减少灾害发生几率。

3.3 精度验证

在地质灾害易发性与危险性评价工作的精度验证中,经常采用成功率曲线和受试者工作特征曲线来进行检验。成功率曲线对于检验评价模型对于样本的贴合程度较为适用,当高易发区域中的评价样本占比较高时,说明评价精度较好;ROC 曲线则对于检验评价模型和正、负评价样本的预测能力和可分性较为

适用^[20-22]。在研究区域内分别随机选取 140 处地质灾害点与非灾害点,分别单独采用成功率曲线和受试者工作特征曲线对永德县地质灾害易发性评价结果进行检验。成功率曲线检验结果的 AUC 值为 0.79, ROC 曲线的 AUC 值为 0.87(图 4),一般当 AUC>0.5 时,其 AUC 值越接近 1 说明评价结果精度越高,当 AUC 值介于 0.7~0.9 时,说明结果较为准确。上述检验结果表明,采用层次分析法对永德县进行的地质灾害易发性评价不仅具有方法简便易操作、评价指标因子数据能够较为简单的获取等优点,而且评价结果精度较高,方法可行。

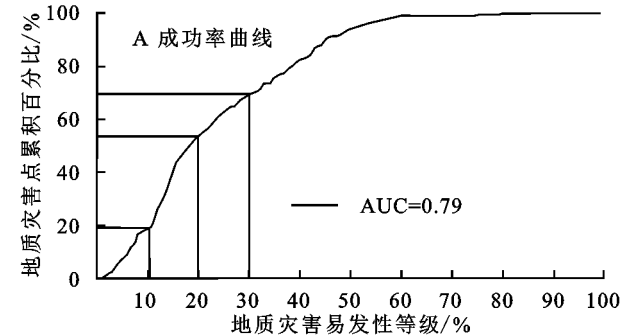


图 4 评价结果精度检验曲线

4 结论

(1) 在全面分析永德县区域位置、地理环境、地质概况以及地质灾害空间分布特征等情况下,分别从地理环境、地质环境、人类工程活动 3 个方面选取 14 个指标因子构建了永德县地质灾害易发性评价指标体系,并运用层次分析法分别计算了各指标因子与要素层的权重,结合 GIS 的空间分析功能对永德县地质灾害易发性进行了评价与分析。

(2) 永德县地质灾害总体呈现为中易发状态,中易发区域面积为 1 386.01 km²,占全县面积的 44.09%,主要分布于小勐统镇、永康镇、崇岗乡、大雪山乡、德党镇、亚练乡;高易发区域面积为 852.51 km²,占全县面积的 27.13%,主要分布在永德县的德党镇、永康镇、崇岗乡和勐板乡。

(3) 永德县地质灾害高易发区域内出露的泥岩、砂岩、板岩等质地较为松软、节理裂隙较为发育的岩类在遭受到流水侵蚀、风力剥蚀以及地质构造运动等各种内外应力的作用影响下风化破碎,为地质灾害的发育提供了物质来源。

参考文献:

[1] 连志鹏,徐勇,付圣,等.采用多模型融合方法评价滑坡灾害易发性:以湖北省五峰县为例[J].地质科技通报,2020,39(3):178-186.

[2] 董毅兵,郁文,张仲福.基于 GIS 的地质灾害易发性分区

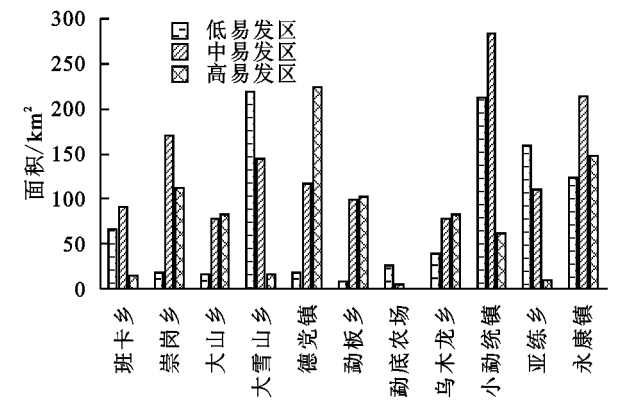
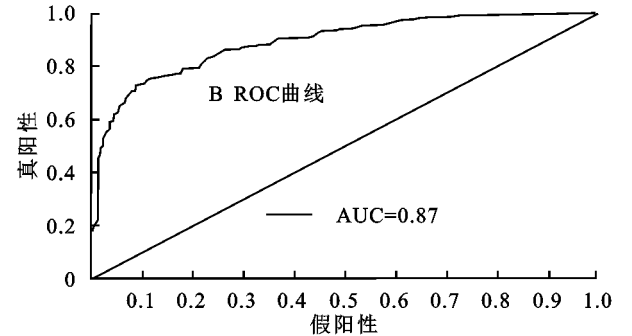


图 3 永德县各乡镇地质灾害易发性区域面积统计



评价:以甘肃省会宁县为例[J].中国地质调查,2020,7(3):89-95.

[3] 鲁霞,兰安军,母浩江,等.基于信息量模型的盘州市地质灾害易发性评价[J].科学技术与工程,2020,20(14):5544-5551.

[4] 王昌明,黄健,李桥,等.基于信息量模型与 Logistic 回归模型耦合的山西吕梁市地质灾害易发性评价研究[J].水利水电技术,2019,50(3):132-138.

[5] Hollingsworth R, Kovacs G S. Soil slumps and debris flows: prediction and protection[J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1981,38(1):17-28.

[6] 殷坤龙,晏同珍.汉江河谷旬阳段区域滑坡规律及斜坡不稳定性预测[J].地球科学,1987,12(6):631-638.

[7] 杜晓晨,陈莉,陈廷芳.基于 GIS 的凉山州德昌县滑坡危险性评价[J].长江流域资源与环境,2020,29(5):1206-1215.

[8] 王雷,吴君平,赵冰雪,等.基于 GIS 和信息量模型的安徽池州地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(3):96-103.

[9] 赵冬梅,角媛梅,邱应美,等.基于 maxEnt 模型的哈尼梯田核心区滑坡易发性评价[J].水土保持研究,2020,27(4):392-399,407.

[10] 李益敏,谢亚亚,蒋德明,等.怒江州斜坡地质灾害孕灾环境因素敏感性研究[J].水土保持研究,2018,25(5):300-305.

[11] 吴常润,赵冬梅,刘澄静,等.基于 GIS 的华宁县滑坡灾害影响因子分析及易发性评价[J].水土保持研究,2019,26(6):212-218,225.