

文章编号:1009-3850(2019)04-0100-13

基于GIS和信息量法的四川峨眉山市地质灾害 易发性定量评价

陈绪钰, 李明辉, 王德伟, 田 凯, 高延超

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:以四川峨眉山市为研究区,选取坡度、坡高、坡向、岩土体类型、构造、河流侵蚀、地表覆被、降雨、工程切坡以及矿产开发10个影响因素作为评价因子,采用改进信息量法,在评价因子分级分析的基础上,利用GIS技术,对研究区地质灾害易发性进行了定量评价。结果表明:方法科学可靠,评价结果与实际基本相符;地质灾害在高陡斜坡区域、坚硬薄层-厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩、灰岩岩组、构造密集区最为发育,地形地貌、地质构造是地质灾害发育最主要的控制因素;地质灾害易发性划分为高易发、中易发、低易发、极低易发4个等级,分布面积分别为169.37km²、429.07km²、363.43km²和221.12km²。易发性评价精度74.80%。评价方法可为县域地质灾害易发性评价提供理论指导,评价结果可为该区域地质灾害防治工作提供科学依据。

关键词:地质灾害;易发性评价;信息量法;GIS;峨眉山市

中图分类号:P642.2;P627

文献标识码:A

引言

我国地质灾害严重,威胁人口众多,防范难度大^[1]。近年来,发生了大量的地质灾害事件,地质灾害造成的人员伤亡占我国自然灾害造成人员伤亡总数的比例呈逐渐上升趋势^[2]。尤其在在我国西南地区地质环境复杂、新构造运动强烈,地质灾害发生频、危害重,是我国最严重的地区^[3]。地质灾害调查、易发性评价,可为区域地质灾害防治、城市规划等提供科学依据,从而也成为地质灾害研究的热点之一^[4]。地质灾害定量评价方法众多,主要有神经网络法、信息量法、多元回归分析、逻辑回归分析等方法^[5-8]。近年来,大量学者采用不同方

法对不同区域的地质灾害易发性评价也进行了大量探索^[5-10],其中信息量模型稳定性较好、操作简单,在地质灾害空间预测评价和区划中得到了广泛应用^[10-14]。本文对信息量法进行改进,并以峨眉山市为研究对象,选取坡度、坡高、坡向、岩土体类型、构造等10个评价因子,运用改进的信息量评价方法,利用GIS技术开展了区域地质灾害易发性定量评价,并对评价结果进行了验证。

1 改进信息量法

1.1 信息量法

信息量法在评估过程中可以较好地融合工程地质专家的主观经验及成灾要素与地质灾害相关

收稿日期:2019-09-12; **改回日期:**2019-11-08

作者简介:陈绪钰(1985-),男,硕士,高级工程师,主要从事环境地质与城市地质调查研究工作。E-mail:cxuyu@cgs.cn

通讯作者:李明辉(1968-),男,学士,教授级高级工程师,主要从事环境地质与城市地质调查研究工作。E-mail:875482210@qq.com

资助项目:国家重点研发计划(2018YFC1505406);中国地质调查局项目(DD20190524;DD20160249)

性的客观特征^[10],方法稳定性较好且内涵明确。通过定量评价不仅可以反映各种成灾要素的相对敏感程度,也可反映特定成灾要素中不同要素区间的致灾贡献大小。以成灾要素为评价因子,通过计算各因子的信息量,进而将单因子的信息量进行叠加,对地质灾害易发性进行评价。信息量模型利用概率形式进行定量计算,信息量越大,表明地质灾害易发性越大^[12],其公式如下:

$$I(y, x_i) = \log_2 \frac{P(y | x_i)}{P(y)} (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{式(1)}$$

式中: $I(y, x_i)$ 为评价因子 x 中第 i 状态下对地质灾害 y 提供的信息量(bit); $P(y | x_i)$ 为评价因子 x 中第 i 状态下地质灾害发生的概率; $P(y)$ 是地质灾害发生的概率; n 为成灾要素 x 被划分为的次级区间数。

在实际工作中,为了便于计算,通常将式(1)中概率转化成样本频率进行计算,于是可将式(1)变换为下式:

$$I(y, x_i) = \log_2 \frac{N_i/S_i}{N/S} (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{式(2)}$$

式中: N_i 为评价因子 x 中第 i 区间的地质灾害面积值或灾点数; S_i 评价因子 x 中第 i 区间的分布面积; N 为地质灾害的总分布面积或总灾点数; S 为研究区总面积。

地质灾害是各成灾因素(评价因子)共同作用下发生的,需将各评价因子的信息量进行叠加计算总信息量:

$$I = \sum_{j=1}^m I_j (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{式(3)}$$

式中: I 为总信息量; I_j 为由式(2)计算出的第 j 个评价因子的信息量; m 为评价因子总数。

根据式(3)计算得到的总信息量 I 为评价单元地质灾害发生的指数,其数值的大小即代表地质灾害易发性高低,总信息量数值越大,表示越有利于地质灾害发生,地质灾害易发性越高。

1.2 信息量法的改进

在实际工作中,地质灾害的数据多为野外调查获取,而由于“以人为本”的地质灾害工作理念,加之地质环境的影响,导致野外调查工作无法覆盖所有地区,人类生活密集地区地质灾害调查工作较细致、地质灾害数据完整,而人烟罕至的区域则数据

缺失。这使得对于全区的地质灾害统计、影响因素分析则存在一定局限性,而得到的地质灾害易发性评价结果也不准确。

为保证使用当前的调查工作条件下所获取的地质灾害数据进行的分析与评价结果更为准确可靠,将信息量法进行改进,以调查涉及区域为统计分析区域,分析各影响因素对于地质灾害的作用,在此基础上计算区域内各评价单元的信息量并对地质灾害易发性进行评价,使得评价结果更为准确可靠。根据峨眉山市的地质环境条件与人类生活分布特征,界定的统计分析范围野外调查路线及其周边 2km 之内的空间地带。进行信息量计算时,式(2)中 S 不是研究区总面积,而是调查路线及周边 2km 之内空间的面积,而 S_i 评价因子 x 中第 i 区间的调查路线及周边 2km 之内空间内的分布面积。

2 研究区概况

峨眉山市位于四川盆地西南边缘,东北与川西平原接壤,西南连接大小凉山,是盆地到高山过渡地带。地理坐标在东经 $103^{\circ}10'30''$ - $103^{\circ}37'10''$,北纬 $29^{\circ}16'30''$ - $29^{\circ}43'42''$ 之间,全市幅员面积 1183km^2 。属亚热带湿润季风气候,具四季分明,降雨丰沛,雨热同季,干湿分明,降雨量有明显的时空差异。降雨受地形影响明显,高山多于平地,西北一带降雨较大,大渡河河谷一带降雨相对较少,峨眉山多年平均降水量达 1922.8mm ,市区近 36 年平均降雨量则为 1516.6mm 。4 月至 9 月降雨充沛,雨量占全年的 86% 以上,其中 6、7、8 月降雨量占这一时期的 66% 以上。区内水系发育,河川纵横。境内主要河流有峨眉河、临江河、龙池河、双福河等,花溪河在西北边境与洪雅县共界,大渡河在南边与峨边县共界。境内河流短,流量丰富,落差较大,受季节的影响最大,枯、洪季节,流量相差达 10 余倍。

地势西南高、北东低,最高点在峨眉山万佛顶 3098.8m ,最低处海拔 420m ,相对高差 2679m 。境内多山,约占总面积的 75%,山脊海拔高度 600m ~ 2000m 。峨眉山市的地势变化特点是西高东低、高差悬殊、变化急剧、过渡带狭窄。以峨眉山断层为界,以西地区属于“峨眉山-瓦山断块带”,褶皱紧密,断层纵横交错,构成中山切割地貌;以东地区属成都拗陷向西南延伸的尾部,形成丘陵及平川沃野。

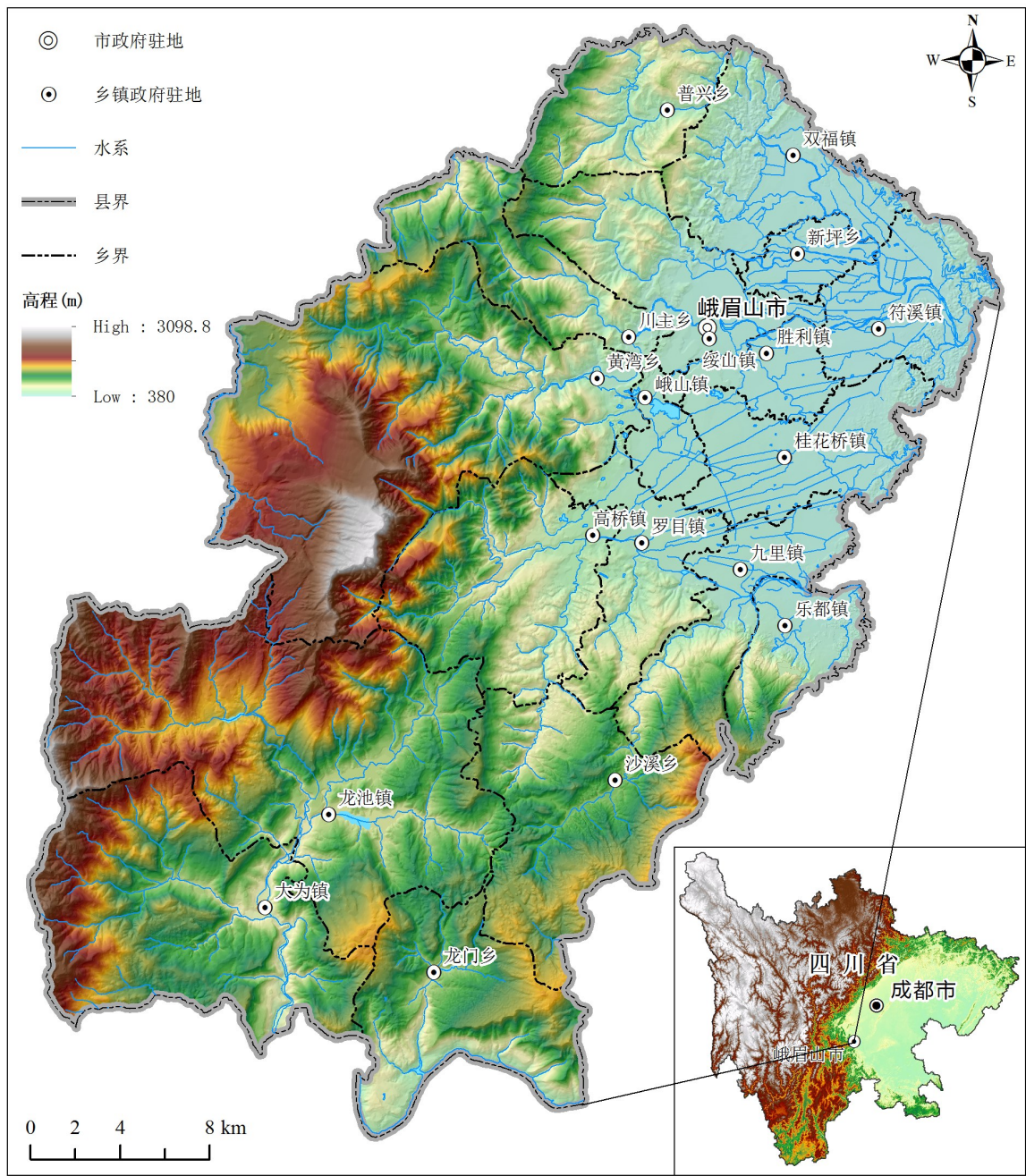


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of Emeishan City, Sichuan

境内出露地层较齐全,从老到新,除缺失志留系、泥盆系和石炭系外,从元古界到新生界地层均有出露。岩土体工程地质性质复杂多样,可分为12个工程地质岩组:软弱薄层状泥岩和砂质泥岩为主的岩组(A1),半坚硬中厚层状粉砂岩和砂岩夹泥岩、淡水灰岩岩组(A2),坚硬巨厚层状砂岩、硅质砂岩为主的岩组(A3),坚硬薄层-厚层状灰岩、白云质灰岩、白云岩和泥质灰岩为主的岩组(B1),坚硬

薄层-厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩和灰岩岩组(B2),坚硬块状玄武岩岩组(C1),坚硬火山沉积岩与火山熔岩混杂岩组(C2),坚硬花岗岩、辉绿岩脉和花岗闪长岩脉为主的岩组(C3),坚硬板状板岩、砂质板岩岩组(D),冲洪积及冰水堆积砂质粘土和砂卵砾石层为主的松散岩组(E1),冰碛冰水堆积泥砾、砂卵砾石、棕褐色粘土为主的松散-半胶结岩组(E2),以及残坡积和崩坡积碎石土松散岩组

(E3)。

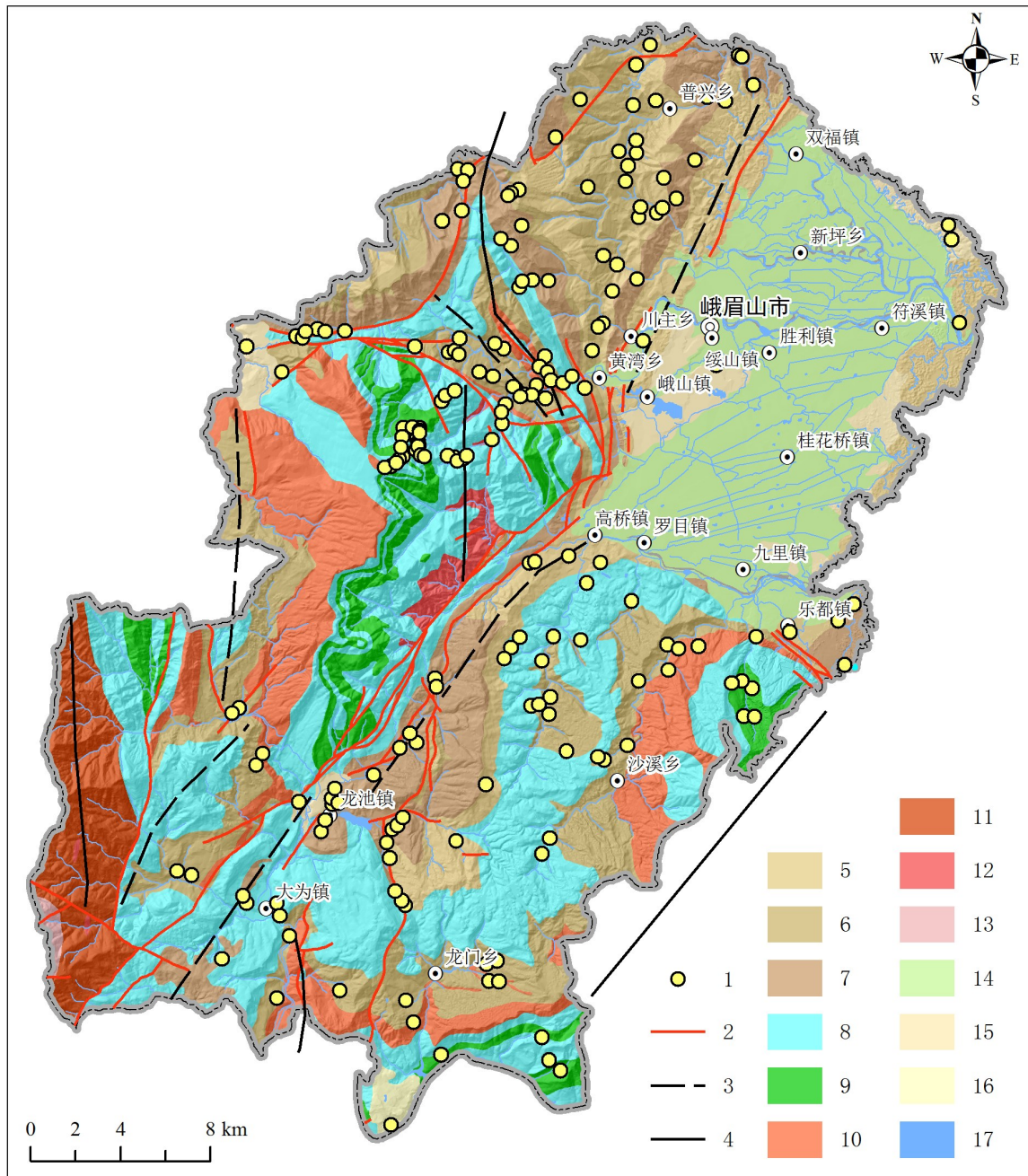


图2 研究区工程地质条件与地质灾害分布图

1. 地质灾害;2. 主要断层;3. 向斜轴迹;4. 背斜轴迹;5. 软弱薄层状泥岩、砂质泥岩为主的岩组(A1);6. 半坚硬中厚层状粉砂岩、砂岩夹泥岩、淡水灰岩岩组(A2);7. 坚硬巨厚层状砂岩、硅质砂岩为主的岩组(A3);8. 坚硬薄层、厚层状灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥质灰岩为主的岩组(B1);9. 坚硬薄层、厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩、灰岩岩组(B2);10. 坚硬块状玄武岩岩组(C1);11. 坚硬火山沉积岩与火山熔岩混杂岩组(C2);12. 坚硬花岗岩、辉绿岩脉、花岗闪长岩脉为主的岩组(C3);13. 坚硬板状板岩、砂质板岩岩组(D);14. 冲洪积及冰水堆积砂质粘土、砂卵砾石层为主的松散岩组(E1);15. 冰碛冰水堆积泥砾、砂卵砾石、棕褐色粘土为主的松散-半胶结岩组(E2);16. 残坡积、崩塌积碎石土松散岩组(E3);17. 水体

Fig.2 Engineering geological conditions and distribution of geological hazards in Emeishan City

区内构造发育,构造形迹以北东向构造为主,次为南北向构造,兼有北西向构造,地质构造以断裂为主,褶皱构造形态复杂多样。峨眉山市北东部平原丘陵区属新构造运动相对下沉区,以剥蚀、堆积地貌为主。峨眉山西部山地为新构造运动强烈上升区,以侵蚀地貌为主。峨眉山市地处我国地震活动强烈的南北地震带中段龙泉山断裂地震带与峨边-马边地震带交接部位,是一个中强地震区,据《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》,境内地震动峰值加速度为 $0.10 \sim 0.15g$,对应的地震基本烈度为Ⅶ度。

区内复杂的自然地质环境为地质灾害的形成创造了有利条件。同时,近年来,随着经济的发展,公路交通、景区开发、矿山开采、水利水电建设项目日益增多,区内森林、植被等生态环境、斜坡微地貌等不同程度遭受破坏,加剧或诱发了地质灾害的发生。根据野外调查,境内地质灾害主要为滑坡、崩塌、不稳定斜坡、地面塌陷,共发育地质灾害 198 处,具有点多面广,分布不均、局部集中等特点。以滑坡最多,共计 100 处,崩塌(危岩)65 处,不稳定斜坡 25 处,地面塌陷 8 处。

3 评价因子分析

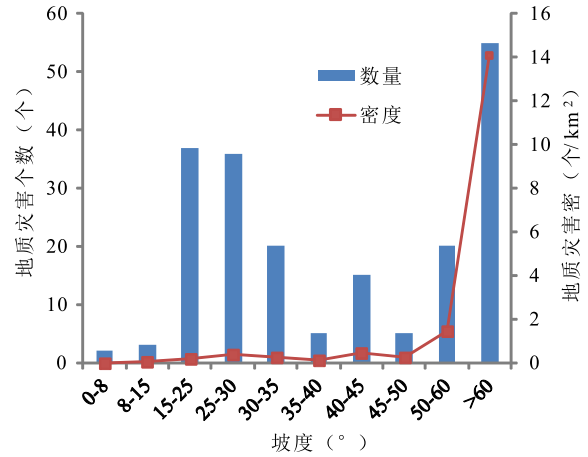
地质灾害由自身内部因素与外界因素共同作用所造成^[10]。内部因素是指对地质灾害发生发展起控制性作用的因素,具有相对稳定的、缓变的特征,主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造、河流侵蚀及植被覆盖条件等。外界因素指对地质灾害发生起触发作用的因素,具有时空不确定性的特征,如降雨、人类工程活动等^[9]。在野外调查的基础上,对区内地质灾害进行综合分析,并结合前人的研究成果,选取下列因子作为地质灾害易发性评价因子:地形地貌因子:坡度、坡高、坡向,地质构造因子:岩土体类型、构造,河流侵蚀因子:河流影响距离,地表覆被:地表覆被类型,降雨因子:多年平均降雨量,工程切坡:主干公路影响距离,矿产开发:矿山影响距离。

3.1 地形地貌因子

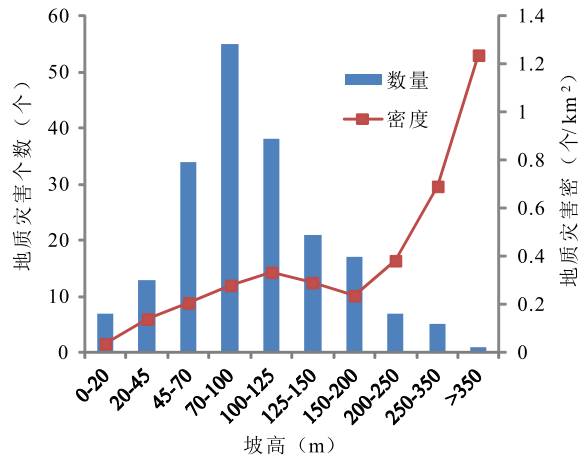
3.1.1 坡度

地形坡度是控制斜坡稳定性、破坏方式及滑坡运移特征等重要因素。在其它背景因素相似的情况下,通常坡度越陡,则坡体越易于失稳,破坏

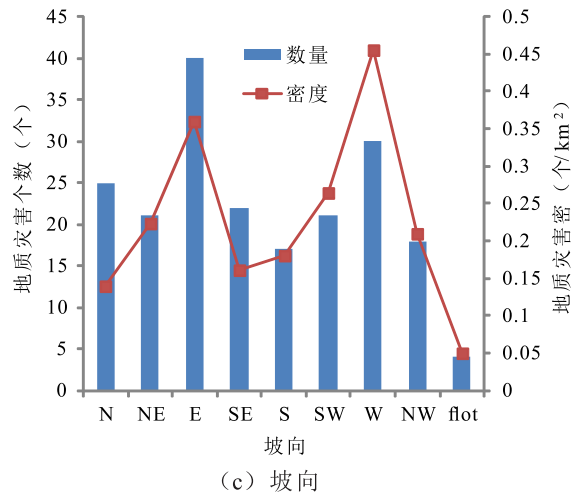
方式



(a) 坡度



(b) 坡高



(c) 坡向

图3 地形地貌因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 3 Histograms showing the correlation of topographical-geomorphological features and geological hazards

以崩塌为主;相反,坡度相对较缓时,则坡体失稳以滑坡方式为主。从图3(a)中可以看出,地质灾害分

布密度与地形坡度总体呈正相关性,地质灾害分布密度随地形坡度的增加而增大。崩塌受地形控制极为显著,发育程度与坡度呈正相关性,从个数及分布密度均随坡度的增加而增大,集中发育在坡度大于 60° 的区域。从发育个数看,而滑坡则集中分布在 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 的区域内,该地形条件下,滑坡易发。而不稳定斜坡则在 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、 $>50^{\circ}$ 两个区域集中发育, $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 区域主要为发展趋势为滑坡的不稳定斜坡, $>50^{\circ}$ 区域发展趋势为崩塌的不稳定斜坡。从分布密度分析,各类灾害均随地形坡度的增大而增大。

3.1.2 坡高

斜坡高度是制约潜在崩滑体发育的势能条件、崩滑体运移速度、距离及潜在影响范围的重要因素。从图 3b 中可以看出,地质灾害主要分布在坡高 $45 \sim 200\text{m}$ 的区域。随着坡高的增加,灾点密度整体呈递增的趋势,且在坡高为 $100 \sim 125\text{m}$ 的区域灾点密度明显高于两侧相邻区间。之所以形成这种灾害发育态势,源于河谷两岸地区河流侵蚀强烈,同时也是人类活动相对密集和强烈地区,因此灾点密度较高。这些地区通常坡高多集中在 $100 \sim 125\text{m}$ 范围内,在坡高大于 200m 后分布密度剧增,这是由于大于 200m 坡高区分布面积很小,少数的灾点分布也可造成较高的灾点密度。崩塌主要分布于坡高 $45 \sim 200\text{m}$ 的区域内,且分布密度随坡高的增大而增大,大的坡高有利于崩塌的发育。滑坡主要分布于坡高为 $45 \sim 125\text{m}$ 的区域,该区段滑坡个数及滑坡分布密度均达到峰值,为有利于滑坡发育的坡高。不稳定斜坡则主要分布于坡高小于 125m 的区域。

3.1.3 坡向

坡向与岩层产状及结构面产状的组合形成不同的斜坡结构,影响斜坡局地小气候条件如太阳辐射、温度、蒸发、水分等方面。从图 3c 中可以看出,峨眉山市最为发育的崩塌和滑坡均在 E、W 向斜坡,灾害点个数及密度均大于其它方向,达到峰值。这主要是由于峨眉山市境内岩层产状及结构面产状倾向为 E、W 向,因此在该两类坡向的斜坡中,易形成顺向或顺斜向坡,这类斜坡稳定性差,易失稳形成地质灾害。而阴坡和阳坡的差别不大。

3.2 地质构造因子

3.2.1 岩土体类型

岩土体类型对地质灾害形成和发育起着极为

重要的作用,是孕育地质灾害发生的重要内在因素,不同的岩土体中地质灾害的类型、规模及发育程度也不尽相同。通过与地质灾害分布关系的统计分析,峨边群地层(坚硬火山沉积岩与火山熔岩混杂岩组(C2)、坚硬板状板岩、砂质板岩岩组(D))中无地质灾害发育,主要是由于这两类岩组主要分布于人烟稀少的中山区,地质灾害不发育。而冲洪积及冰水堆积砂质粘土、砂卵砾石层为主的松散岩组(E_1)中,地势平坦,无地质灾害发育。崩塌在坚硬薄层-厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩、灰岩岩组(B2)中最为发育,主要由于该类岩组软硬相间,地形较陡峭,有利于崩塌的发育。滑坡则在半坚硬中厚层状粉砂岩、砂岩夹泥岩、淡水灰岩岩组(A2)及坚硬巨厚层状砂岩、硅质砂岩为主的岩组(A3)中最

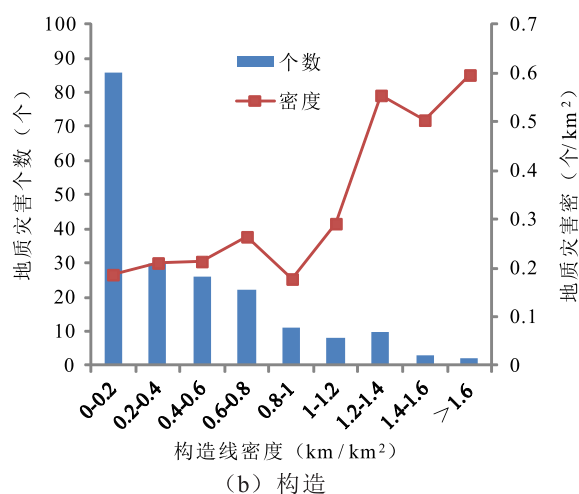
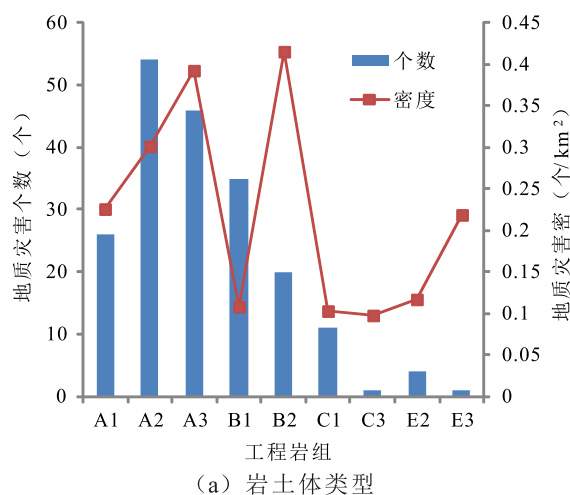


图 4 地质构造因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 4 Histograms showing the correlation of geological structures and geological hazards

为发育,主要由于在 A2 岩组中含夹多层泥岩软弱夹层,易形成软弱面,尤其在 T_1f 地层中,发育大量顺向坡的岩泥岩夹层滑动的滑坡。地质灾害在半坚硬中厚层状粉砂岩、砂岩夹泥岩、淡水灰岩岩组 (A2)、坚硬巨厚层状砂岩、硅质砂岩为主的岩组 (A3) 及坚硬薄层-厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩、灰岩岩组 (B2) 中最为发育。就整体趋势分析,境内灾害发育程度与地层岩性的强度不具备明显的单调增加或减少的相关性,而是软硬相间及含有软弱夹层的岩组中,地质灾害最为发育,有利于地质灾害的发育。

3.2.2 构造

构造既控制地形地貌,又可控制岩层的岩体结构及其组合特征,对地质灾害的发育起综合控制影响作用。研究区内构造背景复杂,断层及褶皱均较发育,通过对主要断裂构造及褶皱轴迹密度与地质灾害的关系统计,可知由于高密度区分布面积较少,在大于 $1.6\text{km}/\text{km}^2$ 的区域,没有地质灾害发育。地质灾害主要分布在小于 $1.4\text{km}/\text{km}^2$ 的区域内,且整体发育程度并非随着构造发育的强烈而正比例增强。尤其在 $1.2 \sim 1.4\text{km}/\text{km}^2$ 的区域内分布密度达到峰值。崩塌分布密度随构造发育的强烈正相关性最为明显,随构造线密度的增大,崩塌分布密度也随之增大,且在 $1.2 \sim 1.4\text{km}/\text{km}^2$ 的区域内最为发育,这是由于强烈构造作用,破坏了岩体的结构,有利于崩塌的发育。

3.3 河流侵蚀因子

河流侵蚀作用诱发地质灾害的重要因素之一。河流下蚀在增加了斜坡岩土体的势能储备的同时,也进一步加剧了斜坡卸荷和风化作用,不利于斜坡稳定。河流侧蚀对河谷岸坡坡脚的掏蚀导致坡体前缘失去支撑,抗滑力减小,易于形成坡体失稳破坏。对河流影响距离进行统计分析,结果显示地质灾害主要在在 $50 \sim 300\text{m}$ 范围内,灾点密度最高可达 0.4 处/ km^2 。在大于 350m 范围后,灾点密度呈单调递减关系,反映了河流影响效应逐渐弱化的特征。

3.4 地表覆被因子

地表覆被状况影响斜坡降雨入渗和地表径流侵蚀情况,是影响地质灾害发生的的重要因素之一。对河流影响距离进行统计分析,结果显示地质灾害主要发育于林地与旱地中。其中旱地地质灾害最为发育。

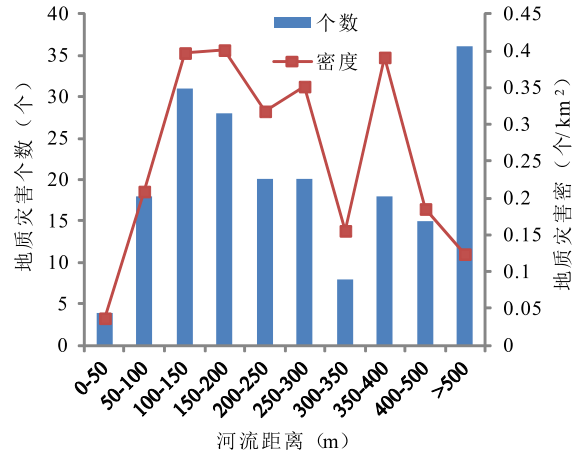


图5 河流侵蚀因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 5 Histogram showing the correlation of river features and geological hazards

3.5 降雨因子

降雨条件则是地质灾害发生的主要诱发因素之一。根据区域多年平均降雨量的分布数据,利用自然间隔分类法将年均降雨量 $870 \sim 2200\text{mm}$ 划分为 9 区间,分别进行其与地质灾害点密度的相关性分析(图 7)。结果表明,对应 $870 \sim 1800\text{mm}$ 降雨量分布区,灾害点密度随着降雨量的增加呈波动式增强趋势,在较大程度上反映了降雨在区域空间上对地质灾害发育的诱发控制作用。降雨量大于 1800mm 的区域位于区内西南部高海拔山区,人烟稀少,地质灾害不发育。

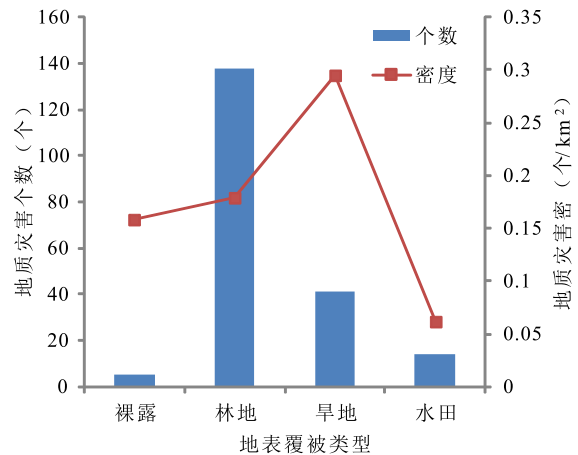


图6 地表覆被因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 6 Histogram showing the correlation of surface cover features and geological hazards

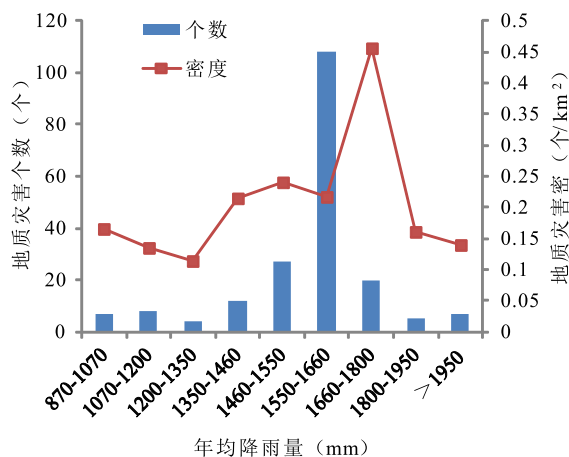


图7 降雨因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 7 Histogram showing the correlation of rainfall features and geological hazards

3.6 公路切坡因子

公路修筑切坡,破坏了原始斜坡的自然平衡状态,是地质灾害重要的诱发因素之一。不同地形地貌条件下,公路修建切坡对地质环境条件的影响各异。对不同地貌分区内主干公路进行两侧 500m 范围内分别进行影响距离分析(图 8),其中平原区无地质灾害分布,不进行统计。

统计分析结果显示柱状图呈脉冲式形态,不同地貌分区内,在主干公路两侧 0~200m 范围内灾点密度均极高。其它区间对应的灾点密度均很小,且差别不大,明确指示了主干公路沿线切坡对境内崩滑灾害的显著控制作用。

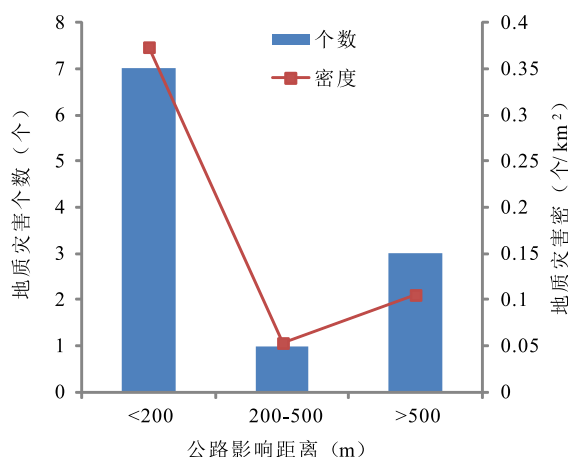
3.7 矿产开发因子

研究区内矿产资源丰富,矿山开发强度高,矿山地下采空直接导致地面塌陷灾害,且导致地面变形,诱发滑坡、崩塌等^[15],矿山露天开采,不合理开挖、堆放,导致斜坡失稳诱发地质灾害。对矿山中心点不同距离范围内地质灾害统计分析可以看出,随着距离矿山越远,地质灾害分布密度降低,可以看出矿山开发对地质灾害发育具明显的影响。

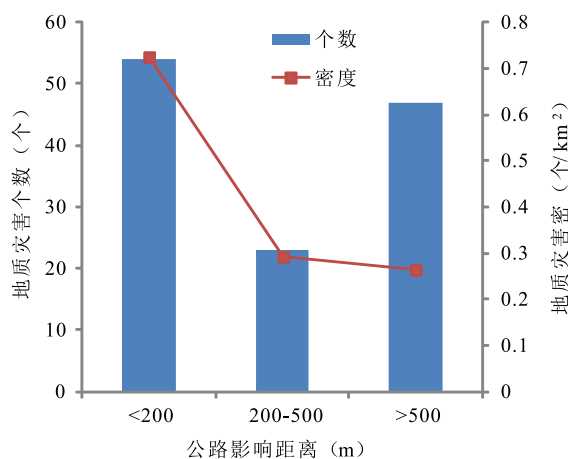
4 地质灾害易发性定量评价

4.1 评价单元的划分

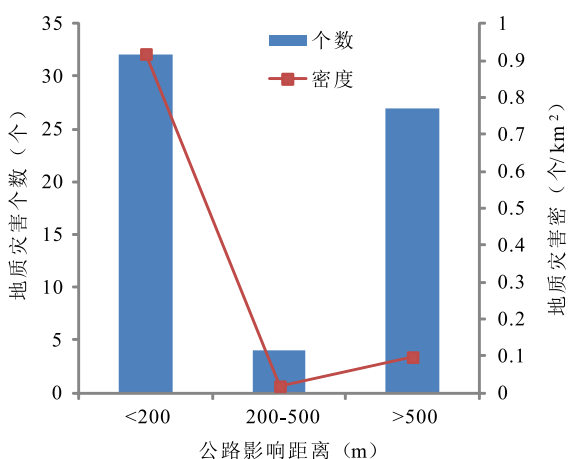
本文采用应用较成熟的栅格单元作为地质灾害易发性评价的基本评价单元。将研究区按 30m × 30m 的正方形网格划分评价单元。



(a) 丘陵区



(b) 低山区



(c) 中山区

图8 公路切坡因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 8 Histograms showing the correlation of engineering slope cutting features and geological hazards

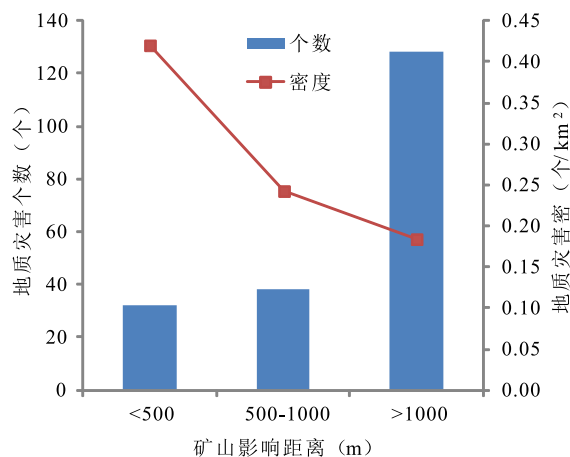


图9 矿业开发因子与地质灾害相关性统计图

Fig. 9 Histogram showing the correlation of mineral exploration and geological hazards

4.2 评价因子的信息量计算

基于改进信息量计算方法,根据上述各评价因子的分级状态与分析统计结果,计算各评价因子状态下的信息量值,计算结果如表1。10个评价因子共分79级,各分级依信息量数值从大到小排序,排在前面的状态为:(1)地形坡度 $>60^\circ$;(2)地形坡度 $50^\circ \sim 60^\circ$;(3)坡高 $>350\text{m}$;(4)坡高 $250 \sim 350\text{m}$;(5)坚硬薄层-厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩、灰岩岩组;(6)线状构造密度 $>1.6\text{km}/\text{km}^2$ 。可见,地形地貌、地质构造是地质灾害发育最主要的控制因素。

4.3 地质灾害易发性定量评价

根据各因子的信息量值,利用 ArcGIS 软件的空间分析功能,将所有单因子图层分别进行重分类和赋值,然后进行栅格图层相加运算,即可得研究区各评价单元的总信息量。根据计算结果,总信息量

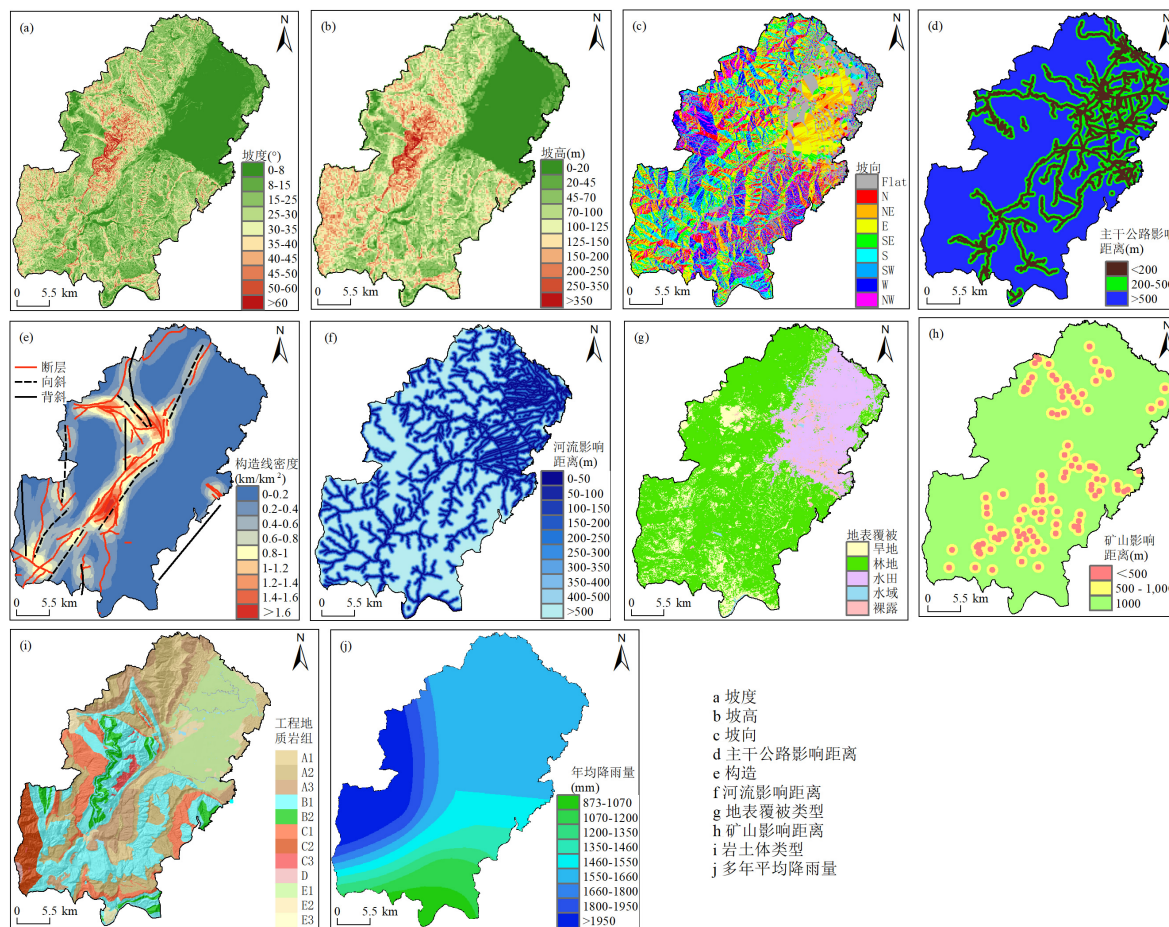


图10 评价因子状态分级图

Fig. 10 Classification of the evaluation factors

表 1 各评价因子状态信息量表
Table 1 Weighted information values of individual evaluation factors

影响因素	地形地貌											
评价因子	坡度(°)											
状态	0 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40	40 ~ 45	45 ~ 50	50 ~ 60	> 60		
信息量	-3. 396	-2. 161	-0. 296	0. 585	0. 232	-0. 835	0. 717	0. 219	1. 926	4. 191		
排序	76	75	56	19	29	70	12	30	2	1		
影响因素	地形地貌											
评价因子	坡高(m)											
状态	0 ~ 20	20 ~ 45	45 ~ 70	70 ~ 100	100 ~ 125	125 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 350	> 350		
信息量	-1. 758	-0. 434	-0. 027	0. 27	0. 447	0. 318	0. 109	0. 592	1. 178	1. 758		
排序	73	63	46	28	24	26	35	18	4	3		
影响因素	地形地貌											
评价因子	坡向											
状态	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	flot			
信息量	-0. 427	0. 049	0. 523	-0. 281	-0. 169	0. 216	0. 761	-0. 019	-1. 683			
排序	62	38	21	54	51	31	9	45	72			
影响因素	地质构造											
评价因子	工程岩组											
状态	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	D	E1	E2	E3
信息量	0. 118	0. 488	0. 608	-0. 436	1. 166	-0. 328	-3. 51	-0. 322	-3. 51	-3. 51	-0. 443	0. 017
排序	34	23	17	64	5	59	77	58	78	79	65	39
影响因素	地质构造											
评价因子	线状构造密度(km/km ²)											
状态	0 ~ 0. 2	0. 2 ~ 0. 4	0. 4 ~ 0. 6	0. 6 ~ 0. 8	0. 8 ~ 1	1 ~ 1. 2	1. 2 ~ 1. 4	1. 4 ~ 1. 6	> 1. 6			
信息量	-0. 141	-0. 011	0	0. 212	-0. 182	0. 314	0. 955	0. 857	1. 028			
排序	49	43	42	32	52	27	7	8	6			
影响因素	河流侵蚀											
评价因子	河流影响距离(m)											
状态	0 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 300	300 ~ 350	350 ~ 400	400 ~ 500	> 500		
信息量	-1. 761	-0. 017	0. 625	0. 633	0. 403	0. 501	-0. 317	0. 609	-0. 14	-0. 535		
排序	74	44	15	14	25	22	57	16	48	68		
影响因素	地表覆被			公路切坡				矿产开发				
评价因子	地表覆被类型			主干公路影响距离(m)				矿山影响距离(m)				
状态	裸露	林地	旱地	水田	< 200	200 ~ 500	> 500	< 500	500 ~ 1000	> 1000		
信息量	-0. 063	0. 054	0. 556	-1. 01	0. 73	-0. 458	-0. 347	0. 684	0. 106	-0. 142		
排序	47	37	20	71	11	67	60	13	36	50		
影响因素	降雨											
评价因子	多年平均降雨量(mm)											
状态	873 ~ 1070	1070 ~ 1200	1200 ~ 1350	1350 ~ 1460	1460 ~ 1550	1550 ~ 1660	1660 ~ 1800	1800 ~ 1950	> 1950			
信息量	-0. 253	-0. 454	-0. 62	0. 006	0. 12	0. 015	0. 758	-0. 283	-0. 421			
排序	53	66	69	41	33	40	10	55	61			

最高值为 9. 20,最低值为-22. 29,数值越大,表示地质灾害易发性越高。

对总信息量进行统计分析,首先采用快速聚类

法(K-means cluster model)对总信息量进行初步分级,获取初步分级阈值。再根据已发地质灾害点的分布规律结合野外调查,对分级阈值进行修正,最

终将地质灾害易发性信息量划分为4个等级:极低易发区(-22.29,-9.74)、低易发区(-5.94,-2.09)、中易发区(-2.09,0.93)、高易发区(0.93,9.20)。

5 结果分析

5.1 结果分析

根据上述改进信息量法地质灾害易发性评价结果(图11、表2),研究区内地质灾害高易发区分布面积169.37km²,占全区面积的14.32%,主要集中在地形切割剧烈、构造活动强烈的峨眉山脉东

坡,地形切割剧烈的河谷两岸,采矿活动密集的龙池-大为-龙门一带,人类工程活动强烈的S306沿线;地质灾害中易发区分布面积429.07km²,占全区面积的36.27%,主要分布于高易发区外围的中山低山区;地质灾害低易发区分布面积363.43km²,占全区面积的30.72%,主要分布于平原边缘的浅丘、垄岗和西部的工程活动微弱的中山森林覆盖区;地质灾害极低易发区分布面积221.12km²,占全区面积的18.67%,主要分布于东北部的平原区。

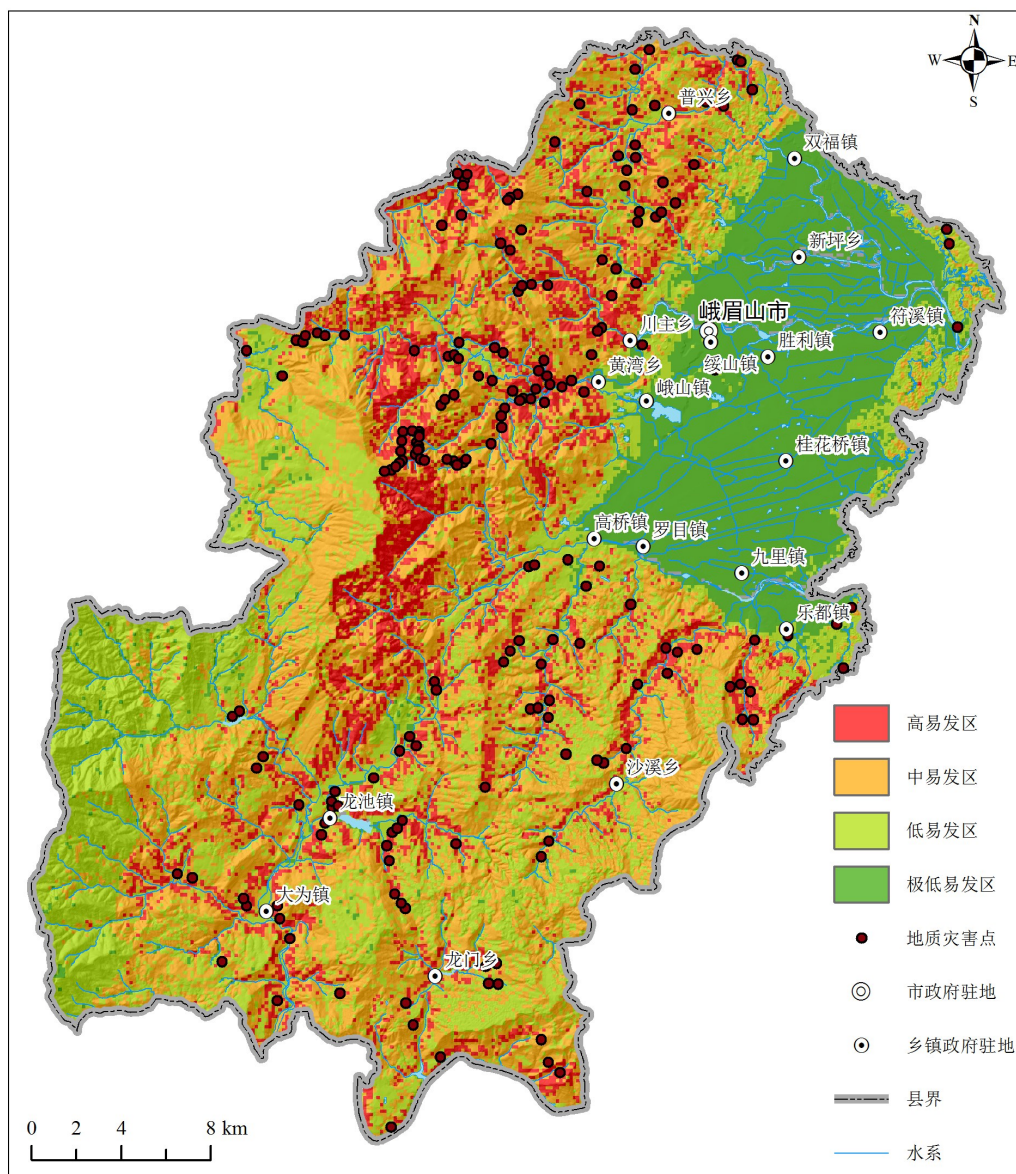


图11 地质灾害易发性分级图

Fig. 11 Distribution of potential geological hazards based on the susceptibility evaluation in the study area

5.2 精度评价

采用成功率曲线检验方法(ROC 曲线)对地质灾害易发性评价结果的精度进行验证。结果显示,ROC 曲线下面积(AUC)为 0.748,本次地质灾害易发性评价精度为 74.80%,得出的易发性分区等级与实际地质灾害发生情况相吻合,划分的结果合理,基于信息量法的地质灾害易发性评价方法对峨眉山市的适用性很好。

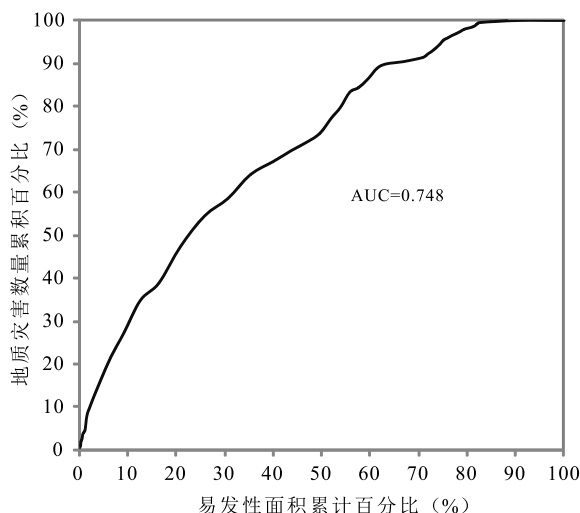


图 12 地质灾害易发性评价成功率 ROC 曲线

Fig. 12 ROC curve showing the susceptibility evaluation of the geological hazards in the study area

6 结论

(1)以峨眉山市为研究对象,选取坡度、坡高、坡向、岩土体类型、构造等 10 个评价因子,运用改进的信息量评价方法开展了区域地质灾害易发性定量评价,该方法科学可靠,评价方法可为地质灾害易发性评价工作提供参考。

(2)对评价因子信息量分析表明,地质灾害在地形坡度 $>50^\circ$ 、坡高 $>250\text{m}$ 的高陡斜坡区域,坚硬薄层—厚层状砂岩、粉砂岩夹白云岩、灰岩岩组分布区,线状构造密度 $>1.6\text{km}/\text{km}^2$ 的区域内最为发育。地形地貌、地质构造是地质灾害发育最主要的控制因素。

(3)评价结果表明,研究区内地质灾害易发性

划分为高易发、中易发、低易发、极低易发 4 个等级,分布面积分别为 169.37km^2 、 429.07km^2 、 363.43km^2 和 221.12km^2 。随着地质灾害易发性等级的降低,实际发生地质灾害数量随之减少,地质灾害实际发生的比率也随之减小,评价结果与实际基本相符,评价精度高达 91.92%,评价结果对峨眉山市地质灾害防治工作有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 李媛,曲雪妍,杨旭东等. 中国地质灾害时空分布规律及防范重点[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(4):71-78.
- [2] 房浩,李媛,杨旭东等. 2010—2015 年全国地质灾害发育分布特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2018,29(5):1-6.
- [3] 丁俊,魏伦武,秦建华等. 西南地区地质灾害调查工作的思考[J]. 沉积与特提斯地质,2006,26(3):77-80.
- [4] 杜国梁,张永双,高金川等. 基于 GIS 的白龙江流域甘肃段滑坡易发性评价[J]. 地质力学学报,2016,22(1):1-11.
- [5] 谭玉敏,郭栋,白冰心等. 基于信息量模型的涪陵区地质灾害易发性评价[J]. 地球信息科学学报,2015,27(12):1554-1562.
- [6] 张晓东,刘湘南,赵志鹏等. 信息量模型、确定性系数模型与逻辑回归模型组合评价地质灾害敏感性的对比研究[J]. 现代地质,2018,32(3):602-610.
- [7] 刘艳芳,方佳琳,陈晓慧等. 基于确定性系数分析方法的秭归县滑坡易发性评价[J]. 自然灾害学报,2014,23(6):209-217.
- [8] 王珂,郭长宝,马施民等. 基于证据权模型的川西鲜水河断裂带滑坡易发性评价[J]. 现代地质,2016,30(3):705-715.
- [9] 刘宇恒,邓辉,熊倩莹. 基于层次分析法的茂县斜坡地质灾害易发性评价[J]. 长江科学院院报,2017,34(5):31-35.
- [10] 王涛,吴树仁,石菊松等. 秦岭中部太白县地质灾害发育特征及危险性评估[J]. 地质通报,2013,32(12):1977-1983.
- [11] 殷坤龙,晏同珍. 滑坡预测及相关模型[J]. 岩石力学与工程学报,1996,15(1):1-8.
- [12] 殷坤龙,张桂荣. 地质灾害风险区划与综合防治对策[J]. 安全与环境工程,2003,10(1):32-35.
- [13] 孟庆华,孙伟峰,王涛. 陕西凤县滑坡易发性评价研究[J]. 地质调查与研究,2013,36(2):136-145.
- [14] 王佳佳,殷坤龙,肖莉丽. 基于 GIS 和信息量的滑坡灾害易发性评价—以三峡库区万州区为例[J]. 岩石力学与工程学报,2014,33(4):797-808.
- [15] 陈绪钰,李明辉,王德伟等. 采煤诱发地质灾害发育特征与成因机制[J]. 煤炭技术,2016,35(2):137-139.

Quantitative Evaluation of geohazards susceptibility based on GIS and information value model for Emeishan City, Sichuan

CHEN Xuyu, LI Minghui, WANG Dewei, TIAN Kai, GAO Yanchao

(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Exemplified by Emeishan City, Sichuan, 10 factors are selected as the evaluation factors including slope gradient, slope height, slope direction, rock and soil type, geological structure, river erosion, surface cover, rainfall, engineering slope cutting and mineral exploration. On the basis of the grading analysis of the evaluation factors and GIS techniques, the geohazards susceptibility is evaluated for Emeishan City, Sichuan with the aid of the improved information value model. The results of research show that the information value model is scientific and reliable, and the evaluation results are in general agreement with the actual conditions. The geological hazards are best developed in high and steep slopes, hard thin- to thick-bedded sandstones, siltstone intercalated with dolostones, limestone formation and closely spaced structures. Topography, geomorphology and geological structures are believed to be the main factors controlling the geological hazards in this region. The susceptibility of the geological hazards may be classified into four grades: highly, moderately, low and extremely low susceptibility, with the covering areas of 169.37, 429.07, 363.43 and 221.12 km², respectively. The precision of the susceptibility evaluation accounts for 74.80%. It can be seen that the evaluation method presented in this study may serve as a theoretical guide for the susceptibility evaluation of county-scale geological hazards, and the evaluation results may provide scientific data for the prevention and control of the geological hazards in the study area.

Key words: geological hazard; susceptibility evaluation; information value model; GIS; Emeishan City

《沉积与特提斯地质》增设新栏目的公告

自2020年第1期起,《沉积与特提斯地质》栏目设置除“沉积地质”和“特提斯地质”两个传统栏目外,将新增“环境地质”、“生态地质”、“城市地质”、“水文地质与工程地质”、“地质信息”、“学科综述与进展”等新栏目,欢迎广大地质工作者投稿本刊。

目前,本刊已开通网络投稿系统,网址为 <http://111.9.60.229:81/ch/index.aspx> 或 <http://cjytsdz.ijournals.cn:81/ch/index.aspx>,原投稿邮箱 cdgeo@163.com 不再接收投稿,仅用作联络使用。此外,明年期刊将实行新的经费管理制度,按规定收取版面费和发放稿费。

特此公告

《沉积与特提斯地质》编辑部

2019年12月19日