DOI:10.19789/j.1004-9398.2022.05.006
文献引用:刘晓.基于AHP的吉林省辽源市地质灾害危险性评价[J].首都师范大学学报(自然科学版),2022,43(5):35-43. LIU X. Risk assessment of geological hazards in Liaoyuan City of Jilin Province based on AHP[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition),2022,43(5):35-43.

基于AHP的吉林省辽源市地质灾害危险性评价

刘　晓*

(辽源市地质矿产监测中心，吉林 辽源　136200)

摘要:辽源市煤田有着百年以上开采历史,矿产开采破坏了原有的生态环境平衡,造成了一系列的地质灾害隐患,对人类生产生活造成威胁.本文以辽源市为研究对象,基于层次分析法(AHP)和地理信息系统(GIS)技术,以地形、环境、诱发条件和灾害历史4个因素为基础,选取坡度、坡向、地形起伏度、地层岩性、距水系的距离、土地利用类型、距构造断裂带的距离、距道路的距离、年均降雨量、灾害密度和地震烈度11种影响因子构建危险性评价体系.结果表明:(1)极高危险区主要分布在煤矿开采范围周边区域与辽源市南部山区;高度危险区分布在极高危险区的外围区域及河流、道路沿线;中度危险区与低度危险区位于除极高危险区与高度危险区除外的其他区域.(2)县级直管地区、辽源民营经济开发区和灯塔镇等9个乡(镇)为高发区域,其余21个乡(镇)为低发区域.(3)辽源市地质灾害发育主要由岩性(蕴含着大量矿产资源)、地形起伏度主控,经人类工程活动诱发并在多重因素的共同作用下,最终形成了地质灾害危险性程度上的差异发育与分布.

关键词:地质灾害;危险性评价;层次分析法(AHP);地理信息系统(GIS);辽源市
中图分类号:P694

Risk assessment of geological hazards in Liaoyuan City of Jilin Province based on AHP

LIU Xiao*

(Geological and Mineral Resources Monitoring Center of Liaoyuan City, Liaoyuan Jilin　136200)

Abstract: The coal field in Liaoyuan City has a mining history of more than 100 years. The mining of mineral resources disrupted the original ecological environment balance, causing a series of hidden dangers of geological disasters, and threatened human production and life. This paper takes Liaoyuan City as the research object, based on analytic hierarchy process (AHP) and geographic information system (GIS) technology, take topographic, environment, inducing factors, and disaster history as basics, eleven factors have been chosen, such as distance from structural fault zone, land use type, distance from water system, average annual precipitation, distance from road, disaster density, earthquake intensity to construct a risk evaluation system. The results show that: (1) extremely high danger zones are mainly distributed in the surrounding areas of coal mining areas and the mountainous areas in the southern part of Liaoyuan City; high danger zones are distributed in the peripheral areas of extremely high danger zones and along rivers and roads; medium danger zones and low danger zones

收稿日期:2021-10-13
* 通信作者:494343073@qq.com

are located in other zones except for the extremely high danger zone and the high danger zone. (2) Zone directly administered by the county, Liaoyuan Provincial Economic Development Zone, and nine townships (including Dengta town, et al) are high incidence areas, and the remaining 21 towns are low incidence areas. (3) The development of geological hazards in Liaoyuan City is mainly controlled by lithology (contains a large amount of mineral resources) and topographic undulations, induced by human engineering activities and the joint action of multiple factors, finally formed the difference in the degree of risk of geological hazards development and distribution.

Keywords: geological disaster; risk assessment; analytic hierarchy process (AHP); geographic information system(GIS); Liaoyuan City

CLC: P694

0 引 言

地质灾害是指由暴雨、地震等各种自然现象诱发或工程建设施工破坏原有的地质环境平衡,对生态环境及可利用资源造成破坏,对人类安居乐业造成威胁的地质作用[1].根据地质灾害产生前后的环境条件及导致灾难后的不同表现,可将地质灾害划分为地面塌陷、崩塌、泥石流、滑坡和水土流失等[2],其中前4类发生频次较高且灾后造成的影响很大,呈现出明显的区域性群发或条带状展布特征[3-4],且发展机制复杂.地质灾害的产生是区域性地质背景、自然环境和各种诱发因素综合作用的结果[5-6].危险性评价作为地质灾害易发性、危险性、敏感性、易损性、风险性评价的基础内容之一,是建立各地区地质灾害预先警报和管理管控系统的基础与关键[7].

近年来,空间信息技术迅猛发展,以地理信息系统(geography information system, GIS)和遥感技术(remote sensing, RS)为集成对象的技术已经广泛应用于地质灾害的调查和监测当中[8-9].虽然学者们针对不同地区不同类型的地质灾害构建了不同的评价模型,但是由于地质灾害空间分布上的差异性,其致灾因素与孕灾机制均存在着差异[10],针对不同地区地质灾害类型,需要根据实际情况建立对应的指标体系进行评价与分析.当前地质灾害危险性评价定量分析方法中,常用的主要有层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)[11]、模糊综合评判法[12]、逻辑回归法[13]、确定系数法[14]和信息量法[15-16]等.其中,AHP技术已经十分成熟,该方法具有便捷实用性,能够有效解决复杂性问题,因此在地质灾害危险性评价中得到了广泛应用.

辽源市辖区内自然地理环境与地质环境条件较为复杂,辽源煤田有百年以上开采历史,其余矿产(石灰石、硅灰石等)也具有相当储备量,受矿产开采、修筑道路和毁林开荒等人类工程经济活动影响,辽源市地质环境问题严重,区域内有众多地质灾害隐患点赋存,制约着辽源市社会经济发展.为了适应辽源市经济社会可持续发展的需要,有必要及时开展辽源市地质灾害防灾减灾研究,构建完善的地质灾害监控预警体系.本文以辽源市为研究区域,结合地质灾害详细调查数据资料,从诱发地质灾害的成因分析,将辽源市地质灾害基础评价要素分为地形、环境、诱发条件和灾害历史4个因素,包含坡度、坡向、地形起伏度、地层岩性、距水系的距离、土地利用类型、距构造断裂带的距离、距道路的距离、年均降雨量、灾害密度和地震烈度11种影响因子.基于AHP构建分析模型,利用GIS工具完成评价体系,对研究区地质灾害危险性进行分析,以期为后续减灾工作提供技术支持.

1 研究区概况

辽源市位于吉林省中南部,下辖2个区(龙山区、西安区)、2个县(东丰县、东辽县),本研究共划分了32个行政单元,包括共23个镇、7个乡、1个县级直管地区(包括14个街道)和1个省级民营经济开发区.辽源市地处辽河、辉发河上游,因东辽河从此处发源而得名,地理概貌为“五山一水四分田”[17-18].从辽源市数字高程模型(digital elevation model, DEM)(图1)可以看出,辽源市地形变化总体呈现出东南高西北低的趋势.第三纪以来,受燕山运动强烈的隆起作用和喜马拉雅运动的影响,辽源市褶皱和断裂构造都有发育,东西向和北西2组断裂构造发育明显,东西断裂由华力西晚期花岗岩中的逆断层挤压带组成,单条断裂带几米至几百米不等;北西向断裂呈北西-南东方向并

且略向西南方向突出的微弧形展布[19]，该断裂控制并切割、破坏了辽源区域的中新生代断裂盆地.

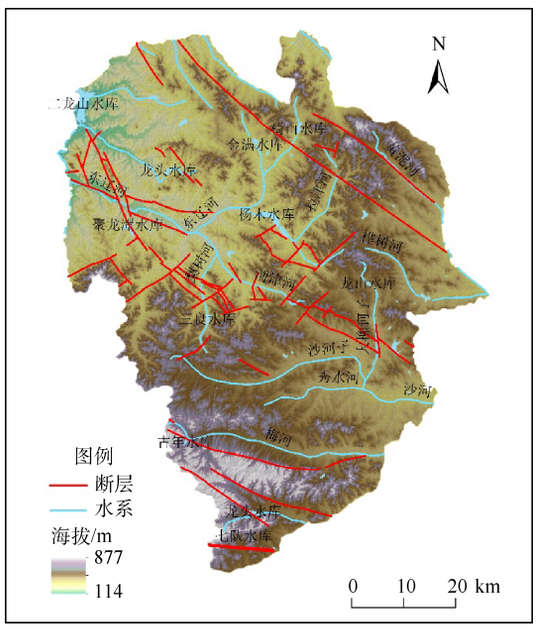


图1　研究区示意

辽源市矿产开采引发了一系列的地质灾害，如地面塌陷、崩塌等.由煤矿开发衍生的煤矸石、废渣的不合理堆放，为泥石流灾害的孕育提供了主要物源[20-21].滑坡、崩塌和地面塌陷对交通设施及房屋住宅的破坏，给人类生产生活造成巨大威胁[22].辽源西安煤矿、东辽县平岗煤矿、辽河源煤矿和大水缸煤矿等地下开采矿区，均存在着不同程度、不同种类的地质灾害隐患.根据现有资料[23]及部分野外调查抽调，辽源市各种类型地质灾害均有分布，已查明的地质灾害隐患点有173处，主要类型为崩塌、地面塌陷、泥石流和滑坡，灾害点分别为137、20、13和3处.

2　数据来源及方法

2.1　数据来源

本文所使用的数据包括：DEM数据（30 m×30 m分辨率的栅格数据），来源于地理空间数据云（http://www.gscloud.cn/），并由此生成坡度、坡向、地形起伏度数据和河网水系数据；1∶50万地质图，来源于全国地质资料馆（http://www.ngac.org.cn/），由此提取地层岩性和主构造断裂带数据；土地利用土地覆盖变化（land-use and lond-cover change，LUCC）数据，来源于中国科学院资源环境科学数据中心土地利用现状遥感监测数据集（http://www.resdc.cn/）；降雨量数据，来源于寒区旱区科学数据中心土壤、水文综合工具（soil and water assessment tool，SWAT）模型，中国大气同化驱动数据集（CMADSV1.1）的降水数据（http://westdc.westgis.ac.cn/），在GIS中对获得的离散的降水量数据进行插值整理，得到该地区多年平均降雨量栅格数据；地质灾害隐患点数据、《辽源市矿产资源总体规划》和《辽源市地质灾害防治规划》等文本资料，来源于辽源市自然资源局（http://zrzyj.liaoyuan.gov.cn/）；地震烈度区划数据，来源于中国地震台网地震编目的地震数据（http://news.ceic.ac.cn/）.其他数据包括行政区划和按照中国道路分类标准划分的道路交通网分布图等，均来源于中国科学院资源环境科学数据中心（http://www.resdc.cn/）.

2.2　评价方法

AHP是一种将定性与定量分析相结合的多目标决策方法[24]，依据各要素之间的相关性和归属度不同，采用专家评分制进行权重计算，将各种影响因素进行归类和分层，使复杂问题变得清晰有序.本文层次分析的主要步骤为：地质灾害的危险性作为决策目标层，并将其分解为中间层和措施层，采用1～9及其倒数的标度法[25]来构建该层次的判断矩阵；比较次级层次内要素对上一层次某个单独元素影响程度大小，采用合理的权重计算方法求出各层判断矩阵的权重[26]；最后检验判断矩阵的一致性，用一致性比率（consistent ratio，CR）衡量，若CR<0.1，则判断矩阵的一致性满意，反之就需要对判断矩阵进行调整，直至CR<0.1.

计算判别矩阵的最大特征值

$$\lambda_{\max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(\boldsymbol{AW})_i}{\boldsymbol{W}_i},\tag{1}$$

计算判别矩阵的一致性检验指标

$$I_{\mathrm{C}}=(\lambda_{\max}-n)/n-1,\tag{2}$$

CR计算公式为

$$R_{\mathrm{C}}=I_{\mathrm{C}}/I_{\mathrm{R}},\tag{3}$$

式中：$\lambda_{\max}$为最大特征值；$\boldsymbol{A}$为判断矩阵，$\boldsymbol{W}$为权重矩阵，n代表判断矩阵的阶数；$(\boldsymbol{AW})_i$表示向量$\boldsymbol{AW}$的第i个要素；I_{C}代表判断矩阵的一致性检验指标；R_{C}代表随机一致性比率；I_{R}是随机一致性指标，可通过查表获取.

2.3　评价因子的选取与分级

地质灾害危险性评价以区域范围内重要的地质灾害类型及其空间分布特征作为评价基础，需要对多种因素的综合作用进行考虑[27].构建评价指标

体系涉及到评价因子的选取,在当前已有的地质灾害敏感性、危险性、易发性、易损性和风险性评估中,较高频率使用的指标主要有高程、坡度、岩性、地形起伏度、距构造断裂带的距离、多年平均降雨量、土地利用和地震影响等[28-29].基于辽源地区地质灾害形成规律及其空间分布特征,选取地形、环境、诱发条件和灾害历史4个因素作为基础评价要素,在此基础上确定了11种影响因子,即坡度、坡向、地形起伏度、地层岩性、距构造断裂带的距离、土地利用类型、距离水系的距离、年均降雨量、距道路的距离、灾害密度和地震烈度.研究区11种地质灾害危险性评价因子分级结果见图2.

(1)坡度.随着坡度的增加,剪切应力也随之增加,地质灾害发生的概率也相应的变大.地形坡度对地质灾害的孕育有直接性影响,野外调查滑坡多发育在坡度为25°~35°的地形上[30];崩塌常发生在陡坡区域,坡度>35°[31];泥石流的致灾沟谷地形与其危险程度紧密相关,沟谷坡度<35°[32].本文借助ArcGIS平台,使用30 m的DEM数据提取辽源市坡度因子并将其划分为0°~15°,>15°~25°,>25°~35°3个等级,见图2(a).

(2)坡向.不同坡向区域受太阳光照程度不同,侵蚀和风化等物理过程也会存在差异,地质灾害的孕育机制也会产生变化[33].本文选取30 m的DEM数据作为基础数据,利用GIS工具提取出坡向因子并将其划分为平面、北(0°~22.5°、>337.5°~360.0°)、东北(>22.5°~67.5°)、东(>67.5°~112.5°)、东南(>112.5°~157.5°)、南(>157.5°~202.5°)、西南(>202.5°~247.5°)、西(>247.5°~292.5°)和西北(>292.5°~337.5°)9个等级,见图2(b).

(3)地形起伏度.高程是地质灾害孕育的主要影响因素之一,但辽源市地貌属低山丘陵,海拔高度为114~887 m,整体海拔高度低,高程对地质灾害发育的影响不明显,因而本文选择地形起伏度作为评价因子来体现出辽源市高低不同的地形特征.借助ArcGIS平台,以DEM数据为基础,提取出辽源市的地形起伏为104 m,按照陈志明等[34]分类标准,将辽源市地形起伏度划分为:0~20 m、>20~75 m、>75~104 m 3个等级,见图2(c).

(4)地层岩性.地层岩性是地质灾害孕育的基础,是否孕育地质灾害首先取决于此,岩石的类型和硬度直接影响抗风化能力、强度和应力分布等参数[35].此外,岩性特征不同的岩石,在不同的地层单元间,因结构类型组成间的差异,对地质灾害危险性的影响也不尽不同,孕育地质灾害的类型及特征也有明显差别.依据辽源市地层特点,按照地层岩性软硬程度区分标准,将其划分为软岩、较软岩和坚硬岩3个等级.

(5)距水系的距离.河流反映着一个地区的地表径流大小,对地形地貌的变迁有着重要影响[36-37],同时也是地质灾害发育发展的重要影响因素之一.调查研究表明[38-39],绝大部分地质灾害主要分布在河流的两侧,沿山间沟谷分布,表现出极强的线性分布特征.河流水系对岩土体的影响因素常采用河流水系缓冲距离来表示,距水系200、400和600 m作为分界,将缓冲距离分为4个等级,见图2(e).

(6)土地利用类型.土地利用类型与各类地质灾害的发育发展情况存在着一定的相关性[40].辽源市矿产开发活动及生产生活需求的扩张,改变了原有的土地利用方式,对地表原生地貌与植被造成一定程度的破坏,加剧了土壤侵蚀,导致水土流失严重、地质灾害等生态环境问题频发.因此,本文选取土地利用类型作为评估地质灾害危险性的重要指标之一.按照工地利用类型分类标准,将辽源市土地利用类型划分为草地、耕地、水域、林地和工矿用地5种类型,见图2(f).

(7)距构造断裂带的距离.地质构造断裂是当前时间段用来评价地质单元稳定性的影响因素之一,对地质灾害孕育及其后续发展起着重要作用[41].距离断裂带越近,受地质构造影响越大,岩体的完整性在其影响下发生错动的机率越大,地质灾害发育程度就越高.辽源市山地延构造线受强烈的断层作用影响,地质环境条件复杂,有许多裂隙面发育.以距构造断裂带500、1 000和1 500 m为分界,对地质构造进行缓冲区划分为4个等级,见图2(g).

(8)距道路的距离.道路建设在施工过程中的土方开挖,施工占地以及工程中对植被的破坏都改变了地质环境,在一定程度上对地质灾害的发生发展起到直接性或间接性的作用[8].因道路施工前需进行重要性、敏感性等评价,来确定施工地点与方式,地质灾害点多位于距工程线路1 km以外的区域,但由于道路作为人类工程活动的重要方式,改变了周边地区的生境平衡,因此仍将距道路的距离作为危险性评价指标之一.以距道路距离200、300和400 m为分界,划分为4个等级,见图2(h).

(9)年均降雨量.在地表径流作用下,降雨渗入到上覆岩土体,随着渗透力的不断增大,岩土体的重量不断增加,导致其力学强度降低,坡体向不稳定的趋势发展,诱发地质灾害产生[42].辽源市气候类型属半湿润中温带大陆性季风气候,一年之中四季分明,雨热同期、光照充足,降水集中在7—9月,短时间内雨量大且密集,多在降雨过程中或稍滞后发生形成地质灾害.本文根据降雨量程度将其划分为657~<678、678~<698和698~747 mm 3个等级.

(10)灾害密度.通过对区域内已发生的地质灾害或隐患点进行系统、全面地调查,并对其可能的影响区域和对象进行评价,可以了解地质灾害孕育的背景条件、规模大小及其表象特征,为地质灾害防治、监测及抢险救灾等工作提供数据支撑和决策依据[40].本文选取重点地质灾害隐患点61处,生成辽源市灾害密度图,见图2(j).

(11)地震烈度.地震活动是诱发地质灾害的重要动力条件,可诱发多种次生地质灾害,衍生成其他灾害.李忠生[43]证实崩塌与地震烈度的关系十分密切,地震烈度的大小与崩塌的形成有很大关系,地震烈度级别较高的地区发生崩塌的可能性更大,在低烈度区分布较少,滑坡、泥石流主要分布在中小烈度区域[31].本文根据影响程度将地震烈度划分为Ⅵ和Ⅴ 2个等级,见图2(k).

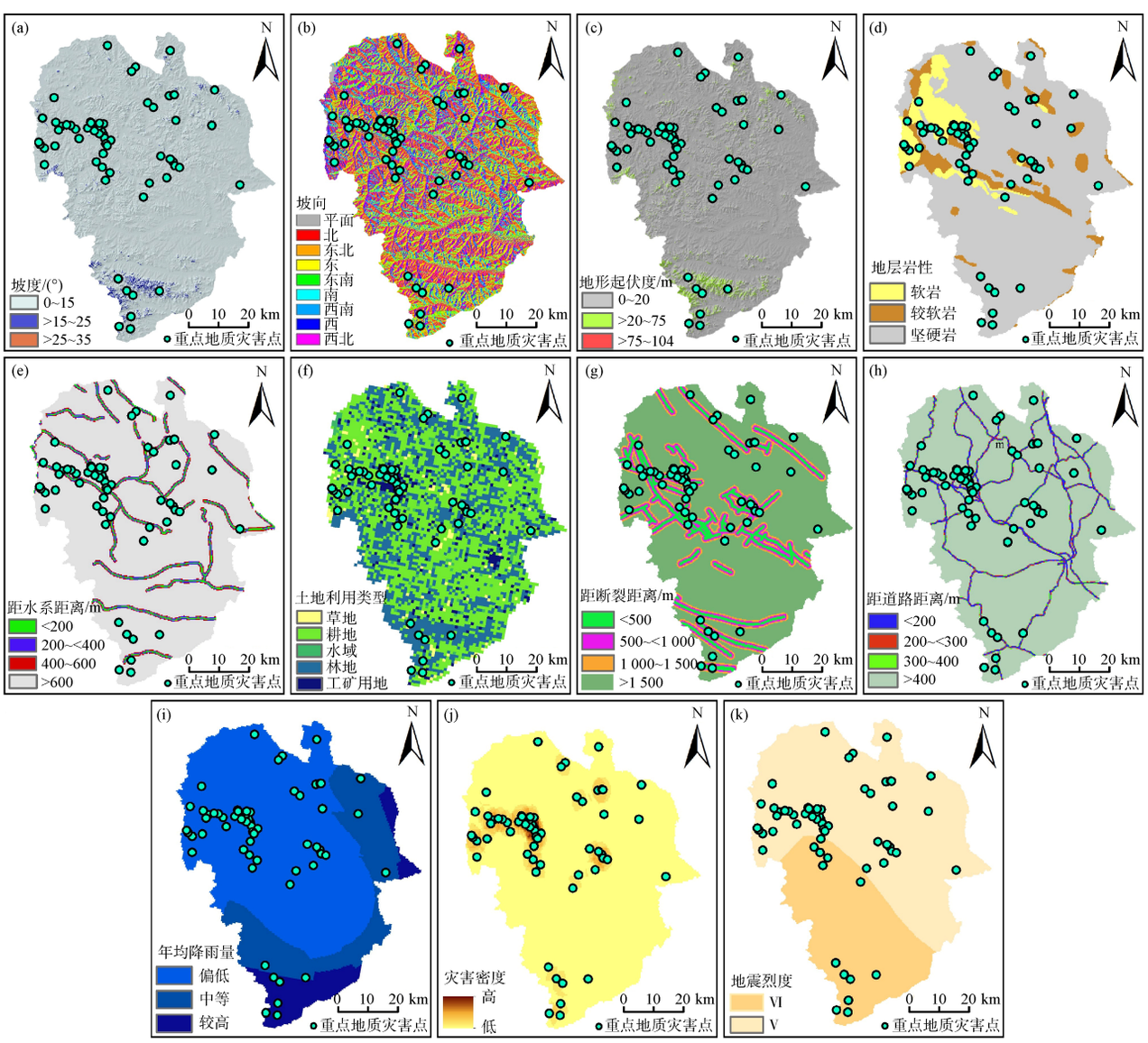


图2　辽源市地质灾害评价因子分级

(a)坡度;(b)坡向;(c)地形起伏度;(d)地层岩性;(e)距水系的距离;(f)土地利用类型;(g)距构造断裂带的距离;(h)距道路的距离;(i)年均降雨量;(j)灾害密度;(k)地震烈度

2.4　评价因子权重

由于地质灾害的危险性受多个因素的影响控制,最终呈现的结果为危险性越高的区域分值越大,越低的区域分值越小.因此本文利用AHP软件中的专家打分法将各个指标因子贡献率赋予相应的权重,权重总和为1,各评价指标因子的权重见表1.地形起伏度和地层岩性的权重系数最高,然后坡度、距水系的距离、灾害历史、年均降雨量、土地利用类型、坡向、地震烈度和距道路的距离的权重系数依次降低,距断裂构造距离的权重系数最低.

表1　地质灾害危险性目标权重

指标类型	评价因子	单一目标权重	总目标权重
地形因素	坡度	0.285 7	0.107 1
	坡向	0.142 9	0.053 6
	地形起伏度	0.571 4	0.214 3
环境因素	地层岩性	0.571 4	0.214 3
	距水系的距离	0.285 7	0.107 1
	土地利用类型	0.142 9	0.053 6
诱发条件因素	距构造断裂带的距离	0.142 9	0.017 9
	距道路的距离	0.285 7	0.035 7
	年均降雨量	0.571 4	0.071 4
灾害历史因素	灾害密度	0.666 7	0.083 3
	地震烈度	0.333 3	0.041 7

3　评价结果

3.1　辽源市地质灾害危险性分级

将计算出的权重值分别赋予相应指标的栅格图层,使用ArcGIS软件的栅格计算功能,将赋值了信息量的各个栅格与相应权重相乘,通过重分类、归一化,求和叠加运算得到研究区加权信息量值,便得到了辽源市地质灾害危险性的评价.将危险性评价结果图层采用自然间断点法分为极高危险区、高度危险区、中度危险区和低度危险区4级(图3).叠加61处重要灾害点坐标信息危险性等级分布图,获取灾害点所在区域的危险性等级,结果表明:61处灾害点中,44处分布在极高、高度危险区内,占总数的72.13%;15处分布在中度危险区,占总数的24.59%;2处分布在低度危险区,占总数的3.28%.总体来看,灾害点的分布与危险性等级区划吻合度高,具有一定的可信性,达到了预期的区划效果.这也表明,辽源市地质灾害危险性评价与实际情况相符,对辽源市地质灾害防治工作具有一定的科学实践指导意义.

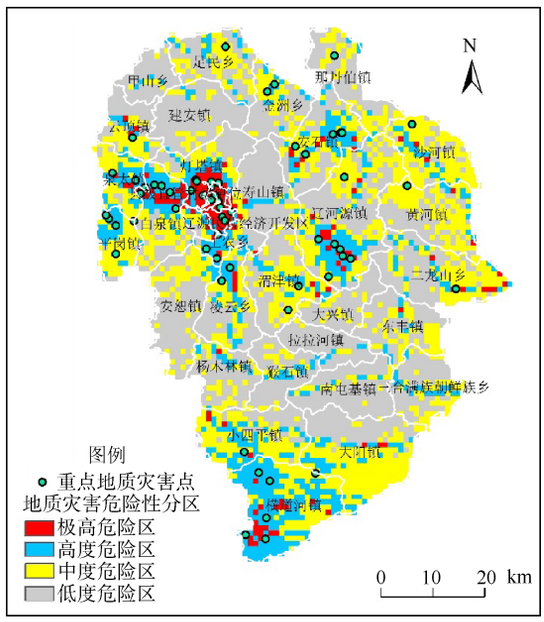


图3　辽源市地质灾害危险性评价

极高危险区面积为184 km^2,占区域总面积的3.88%,主要分布于辽源市区北部西安煤矿周边地区和辽河源镇东南部以及南部低山地区,前者岩性为安山岩、砂岩、粉砂岩、页岩、砂质页岩及煤层地区,构造破碎带及矿体岩石强度低,在煤炭的开采过程中,形成采空区,极易引发地面塌陷和产生地裂缝等地质灾害,特别是西安煤矿周边地区,塌陷面积约为采空区面积的1.5倍;后者地貌特征为低山丘陵区,区域内地质构造发育强烈,矿产开采、道路修建及陡坡开荒等人为经济活动强烈,开挖边坡使基岩裸露并破碎,局部岩体临空面大,受风化程度高.

高度危险区面积为780 km^2,占区域总面积的16.47%,主要分布于极高危险区的外围区域,受人类工程活动影响明显,主要由人类工程引发,呈现出强烈的沿河流、道路和人类工程活动强烈地区分布的特征,河流两岸易于发生堆积与侵蚀作用,可为地质灾害的发生提供物源与引发条件,加之施工建设需求,人类工程多沿山间河谷地形而建,建设中多开挖,削坡,筑路,扩基活动,使得该区域地质灾害程度较高.

中度危险区面积为1 658 km^2,占区域总面积的35.00%;低度危险区面积为2 115 km^2,占区域总面积的44.65 %.中度危险区与低度危险区位于除极高危险区与高度危险区除外的其他区域,地貌多为构造剥蚀丘陵与河谷冲积平原,区域内地形特征较为平坦,经济水平发展程度低,采矿活动相对较少,受人类工程影响小,破坏程度轻,加上地质构造、地层

岩性较为稳定,地质环境条件较好,因而是较为稳定的区域.

3.2　辽源市乡镇危险性等级

辽源市各乡镇地质灾害危险性评价面积统计结果见表2,县级直管地区、灯塔镇、辽源民营经济开发区、白泉镇、横道河镇、工农乡、辽河源镇、安石镇、泉太镇、凌云乡和小四平镇为地质灾害高发重点防范区域,极高危险区与高度危险区面积之和占乡镇总面积的比例>20.00%,地质灾害隐患点数量多、稳定性差,且具有明显的聚集性特征;二龙乡镇、云顶镇、沙河镇、寿山镇、渭津镇、大阳镇、黄河镇、杨木林镇、东丰镇、平岗镇、三合满族朝鲜族乡、足民乡、金洲乡、猴石镇、甲山乡、拉拉河镇、南屯基镇、安恕镇、建安镇、那丹伯镇和大兴镇为地质灾害相对低发区域,中度危险区与低度危险区面积之和占乡镇总面积的比例>80.00%,地质灾害发育一般,且稳定性良好.

4　影响因素分析

地质灾害的发生受到地形、环境、诱发条件、灾

表2　各乡镇危险性等级的面积统计

等级划分	乡镇	极高危险区		高度危险区		中度危险区		低度危险区	
		面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%
高发区域	县级直管地区	33	89.19	4	10.81	0	0	0	0
	灯塔镇	37	24.18	28	18.30	33	21.57	55	35.95
	辽源民营经济开发区	5	20.00	7	28.00	10	40.00	3	12.00
	白泉镇	18	11.11	46	28.40	57	35.19	41	25.30
	横道河镇	21	7.50	169	60.36	90	32.14	0	0
	工农乡	4	7.41	26	48.15	8	14.81	16	29.63
	辽河源镇	17	4.50	72	19.05	141	37.30	148	39.15
	安石镇	9	4.34	48	23.19	70	33.82	80	38.65
	泉太镇	4	4.17	34	35.42	51	53.12	7	7.29
	凌云乡	5	3.23	31	20.00	53	34.19	66	42.58
	小四平镇	4	1.91	51	24.40	101	48.33	53	25.36
低发区域	二龙乡镇	8	3.32	24	9.96	96	39.83	113	46.89
	云顶镇	3	2.75	11	10.09	36	33.03	59	54.13
	沙河镇	3	1.85	19	11.73	111	68.52	29	17.90
	寿山镇	3	1.85	11	6.79	20	12.35	128	79.01
	渭津镇	3	1.49	20	9.90	93	46.04	86	42.57
	大阳镇	3	1.01	39	13.09	157	52.68	99	33.22
	黄河镇	2	0.99	10	4.98	104	51.74	85	42.29
	杨木林镇	1	0.77	13	10.00	35	26.92	81	62.31
	东丰镇	1	0.61	9	5.52	54	33.13	99	60.74
	平岗镇	0	0	29	33.33	53	60.92	5	5.75
	三合满族朝鲜族乡	0	0	18	12.08	46	30.87	85	57.05
	足民乡	0	0	19	11.38	65	38.92	83	49.70
	金洲乡	0	0	13	10.32	47	37.30	66	52.38
	猴石镇	0	0	13	10.15	23	17.97	92	71.88
	甲山乡	0	0	4	4.82	7	8.43	72	86.75
	拉拉河镇	0	0	5	4.81	6	5.77	93	89.42
	南屯基镇	0	0	8	4.73	20	11.84	141	83.43
	安恕镇	0	0	8	3.79	59	27.96	144	68.25
	建安镇	0	0	6	3.31	23	12.71	152	83.98
	那丹伯镇	0	0	5	3.45	51	35.17	89	61.38
	大兴镇	0	0	1	0.98	20	19.61	81	79.41

害历史等诸多因素影响,且不同地区的地质灾害存在着孕育特征、分布规律以及灾害类型上的差异[7,44],因此,致灾因子的选择会有所差异.根据辽源市地质灾害危险性影响因子权重值可知,该区域主要由地层岩性与地形起伏度主控.结合实际调查数据,地质灾害高危险区岩性多为安山岩、砂岩、粉砂岩、炭质页岩、凝灰质角砾岩和页岩夹煤层,煤层埋藏浅、构造破碎带及矿体岩石强度低,在煤炭的开采地程中形成采空区,造成地面塌陷.其他高危险区位于北部低山丘陵区、中部丘陵地区和南部低山地区,主要因森林过度砍伐和陡坡开荒等工程活动破坏山体植被而引发地质灾害.由此可见,地层岩性与地形起伏度是辽源市地质灾害的主要致灾因素.

结合辽源市地质灾害危险性分级图与实际野外调查数据,地质灾害高危险区除多发于采矿活动强烈、地形起伏度较高的地区之外,还呈现出沿公路、河流两岸分布的线性特征.在工程活动影响下,河流水系位置地形起伏度低,通常会符合道路选线要求,因此河流分布与道路建设高度重合,且重合区域的地质灾害危险性较高.因而,当前辽源市地质灾害发展趋势的特点是:以自然因素原因(蕴含着大量煤炭以及其他矿产资源、属低山丘陵区)为基础,由矿产开发、筑路修坡和毁林开荒等工程活动诱发山体崩塌、滑坡、泥石流和地面塌陷等地质灾害发生,并且矿山开发引发的地质灾害还在不断地发展并可能进一步加剧.

5 结 论

本文通过对吉林省辽源市的地质灾害野外调查,在收集以往资料基础上,构建了辽源市地质灾害危险性评价结构模型,利用AHP法确定各因子权重,基于GIS软件分析评价了研究区地质灾害的危险性,并得出以下结论:

(1)辽源市极高危险区面积为184 km^2,占区域总面积的3.88%,主要分布于煤矿开采范围周边地区及辽源市南部区域,由矿产开采等人类工程活动引发地质灾害隐患;高度危险区面积为780 km^2,占区域总面积的16.47%,分布于极高危险区的外围区域,主要由工程活动引发,呈现出强烈的沿河流、道路和工程活动强烈地区分布的特征;中度危险区面积为1 658 km^2,占区域总面积的35.00%;低度危险区面积为2 115 km^2,占区域总面积的44.65%,中度危险区与低度危险区位于除极高危险区与高度危险区除外的其他区域,受工程活动影响较小,地质灾害危险性较低.

(2)根据辽源市乡镇地质灾害危险评价结果分析表明,县级直管村级单位、灯塔镇、辽源民营经济开发区、白泉镇、横道河镇、工农乡、辽河源镇、安石镇、泉太镇、凌云乡和小四平镇等区域为地质灾害高发重点防范区域,地质灾害聚集分布且稳定性差.

(3)辽源市地质灾害发育主要由岩性(蕴含着大量矿产资源)、地形起伏度主控,经人类工程活动诱发,如煤矿开采、道路修建等,并最终在坡度、坡向、土地利用类型等多重因素的共同作用下,形成了辽源市地质灾害危险性程度的差异发育与分布.

参 考 文 献

[1] 李迎新.地质灾害分类与防治[J].西部探矿工程,2009,21(4):42-46.

[2] 柳源.中国地质灾害(以崩、滑、流为主)危险性分析与区划[J].中国地质灾害与防治学报,2003(1):98-102.

[3] 武强.我国矿山环境地质问题类型划分研究[J].水文地质工程地质,2003(5):107-112.

[4] 褚洪斌,母海东,王金哲.层次分析法在太行山区地质灾害危险性分区中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2003(3):128-132.

[5] 张梁,郝秀英.地质灾害经济学导论[J].地质灾害与环境保护,1995(2):1-11.

[6] 陈奇,李智毅,石怀伦.区域地质灾害危险性评价的思路与基本方法[J].地质力学学报,2004(1):71-80.

[7] 张春山,吴满路,张业成.地质灾害风险评价方法及展望[J].自然灾害学报,2003(1):96-102.

[8] 戴泉玉,孙淑萍.基于3S的川藏公路环境灾害监测技术研究初探[J].交通节能与环保,2006(1):7-10.

[9] 耿杰利,章鑫,林锦富,等.3S技术及其在矿山地质灾害评估与监测中的应用[J].数字技术与应用,2013(4):93-95.

[10] 罗红.南山地质灾害预测及应急对策研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.

[11] 李萍,叶辉,谈树成.基于层次分析法的永德县地质灾害易发性评价[J].水土保持研究,2021,28(5):394-399+406.

[12] 常青,刘琳,苗利勇.基于模糊综合评判法临潼区地质灾害危险性评价[J].中国人口·资源与环境,2014,24(增刊1):355-358.

[13] 李晓璇,马海建.基于Logistic模型的地震次生崩滑危险性评价:以汶川县为例[J].地震,2013,33(2):63-70.

[14] 李剑锋，芦艳丽，邹治亮.确定性系数法的海城市地质灾害易发性评价[J].首都师范大学学报(自然科学版)，2021，42(4)：62-68.
[15] 田春阳，张威，张戈，等.基于信息量法的西丰县地质灾害易发性评价[J].首都师范大学学报(自然科学版)，2020，41(2)：32-40.
[16] 李怡飞，刘延国，梁丽萍，等.青藏高原高山峡谷地貌区地质灾害危险性评价：以雅江县为例[J].水土保持研究，2021，28(3)：364-370.
[17] 刘继斌，杨青山，张春丽.吉林省中部城镇群城市化进程与空间组织[J].经济地理，2008(2)：228-231.
[18] 段思营，金国华，王宪恩，等.基于水量水质耦合多目标模型的辽源地区水资源优化配置[J].数学的实践与认识，2017，47(7)：176-182.
[19] 崔斗烈.吉林省新构造运动的基本特征[J].吉林地质，1983(3)：14-31.
[20] 安志宏，程玉书，汪宝存，等.辽源市矿山地质环境恢复治理遥感监测与整治模式一体化研究[J].地质力学学报，2017，23(4)：631-637.
[21] 王洁玉，张以晨，赵净民.吉林省辽源市主要环境地质问题及其防治对策研究[J].地质与资源，2010，19(1)：47-49.
[22] 胡向德，黎志恒.甘肃省矿山地质灾害及其基本特征[J].中国地质灾害与防治学报，2010，21(2)：35-39.
[23] 辽源市人民政府.辽源市地质灾害防治“十二五”规划(2011—2015年)[EB/OL].(2018-04-09)[2021-12-21].http://zrzyj.liaoyuan.gov.cn/ztzl/kxpj/201804/t20180409_294059.html.
[24] SATTY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York：Mcgraw-Hill，1980：1-160.
[25] SAATY T L，BENNETT J P. A theory of analytical hierarchies applied to political candidacy[J]. Behavioral Science，1997，22：237-245.
[26] 胡胜，曹明明，李婷，等.基于AHP和GIS的陕西省地震次生地质灾害危险性评价[J].第四纪研究，2014，34(2)：336-345.
[27] 张晓东，刘湘南，赵志鹏，等.基于层次分析法的盐池县地质灾害危险性评价[J].国土资源遥感，2019，31(3)：183-192.
[28] VAN WESTON C J，CASTELLANOS E，KYRIAKOSE S L. Spatial data for landslide susceptibility，hazard，and vulnerability assessment：an overview [J]. Engineering Geology，2008，102(3/4)：112-131.
[29] LARSEN I J，MONTGOMERY D R. Landslide erosion coupled to tectonics and river incision [J]. Nature Geoscience，2012，5：468-473.
[30] 徐永年，匡尚富，李文武，等.边坡形状对崩塌的影响[J].泥沙研究，1999(5)：69-75.
[31] 蒋瑶，吴中海，李家存，等.2010年玉树7.1级地震诱发滑坡特征及其地震地质意义[J].地质学报，2014，88(6)：1157-1176.
[32] 闫满存，王光谦，刘家宏.GIS支持的澜沧江下游区泥石流爆发危险性评价[J].地理科学，2001(4)：334-338.
[33] 李三忠，索艳慧，王光增，等.海底“三极”与地表“三极”：动力学关联[J].海洋地质与第四纪地质，2019，39(5)：1-22.
[34] 陈志明，刘振东，于秀波.中国地貌全图研制[J].地图，1995(1)：36-38.
[35] 殷跃平.三峡库区边坡结构及失稳模式研究[J].工程地质学报，2005(2)：145-154.
[36] 尹安.喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化：显生宙亚洲大陆生长[J].地球学报，2001(3)：193-230.
[37] 徐嵩，曾坚.山洪灾害背景下京津冀山区生态安全综合评价研究[J].北京社会科学，2019(3)：111-118.
[38] 胡兴林，肖洪浪，蓝永超，等.黑河中上游段河道渗漏量计算方法的试验研究[J].冰川冻土，2012，34(2)：460-468.
[39] 刘志雨.山洪预警预报技术研究与应用[J].中国防汛抗旱，2012，22(2)：41-45+50.
[40] 王润生，熊盛青，聂洪峰，等.遥感地质勘查技术与应用研究[J].地质学报，2011，85(11)：1699-1743.
[41] 阮沈勇，黄润秋.基于GIS的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J].成都理工学院学报，2001(1)：89-92.
[42] 王涛，吴树仁，石菊松，等.国内外典型工程滑坡灾害比较[J].地质通报，2013，32(12)：1881-1899.
[43] 李忠生.国内外地震滑坡灾害研究综述[J].灾害学，2003(4)：65-71.
[44] 黄润秋.20世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J].岩石力学与工程学报，2007(3)：433-454.

(责任编辑：李拓宇)