DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.05.008
文献引用：姜俊超，胡晗笑，吕乐婷．基于不同降雨强度的地质灾害风险评估：以大连市金普新区为例[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2025，46（5）：56-64. JIANG J C，HU H X，LYU L T. Geologic hazard risk assessment based on different rainfall intensity：a case study of Jinpu New District in Dalian City [J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)，2025，46(5)：56-64.

基于不同降雨强度的地质灾害风险评估：以大连市金普新区为例*

姜俊超，胡晗笑，吕乐婷**

（辽宁师范大学地理科学学院，辽宁 大连　116029）

摘要：降雨是诱发地质灾害发生的重要因素。本研究以大连市金普新区为例，基于区域地质数据及社会经济统计数据，利用信息量-确定性系数耦合模型，从地形地貌和地质条件等角度选取10个评价因子开展易发性评价，根据大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨强度下的地质灾害危险性评价结果和易损性评价结果，将金普新区地质灾害风险结果进行分级。结果表明：研究区地质灾害风险可以分为低、中、高和极高4个等级，随着降雨强度的增大，位于西南部、南部和中部的高、极高风险区的面积有明显增大的趋势；在所有降雨强度等级中，低、中风险区大部分位于北部及东西部，其人口较少，经济密度低的街道。建议根据降雨的动态变化针对性地制定区域地质灾害预防策略。

关键词：信息量-确定性系数耦合模型；降雨强度；风险性评价；金普新区
中图分类号：X43；X915.5　　**文献标志码**：A

Geologic hazard risk assessment based on different rainfall intensity：a case study of Jinpu New District in Dalian City*

JIANG Junchao，HU Hanxiao，LYU Leting**

（School of Geographical Sciences，Liaoning Normal University，Dalian Liaoning　116029）

Abstract：Rainfall is a crucial factor that causes geological disasters. This paper takes Jinpu New District of Dalian City as an example and uses the information-deterministic coefficient coupling model to conduct an evaluation of geological hazard susceptibility，based on regional geological data and socio-economic statistical information. Ten evaluation indexes are selected from the perspective of topography，geomorphology and geological conditions. Meanwhile，according to the geological disaster risk evaluation results and vulnerability evaluation results under heavy rain，heavy rainstorm，violent rainstorm and extreme rainfall，the geological disaster risk evaluation results are classified. The results show that the geological hazard risk in the study area can be divided into four grades：low，medium，high and extremely high. With the increase of rainfall intensity，the areas of high and extremely high risk areas in the southwest，southeast and midland increase significantly. In all rainfall intensity levels，the low and medium risk areas are mostly located in the northern，eastern and western parts of the less populated，low economic density streets. It is suggested to formulate regional geological disaster

收稿日期：2024-03-29
*辽宁省社会科学规划基金重点项目（L22AYJ010）
**通信作者：lvleting@Innu.edu.cn

prevention strategies according to the dynamic change of rainfall.

Keywords: information-deterministic coefficient coupling model; rainfall intensity; risk assessment; Jinpu New District

CLC:X43;X915.5 **DC**:A

0 引 言

地质灾害是最为常见的自然灾害之一,影响自然环境和社会经济的可持续发展[1-2]。中国山区面积广且地质灾害种类多、频率高、强度大[3],一旦发生规模的地质灾害就可能破坏公路、毁坏房屋,甚至可能造成巨大的生命及财产损失,严重制约区域建设与发展。此外,在全球气候变化的背景下,极端天气引发的灾害事件增多,而其中极端降雨天气是诱发地质灾害的重要因素之一[4],尤其短时强降雨极易引发泥石流和滑坡等地质灾害,因此,针对不同的降雨强度进行区域的地质灾害风险评价,进而形成科学有效的灾前监测预警体系是目前亟需解决的问题。

地质灾害风险评价是在了解当地地质灾害发生情况的背景下,结合自然和社会经济状况,对灾害发生的概率以及可能造成损失的合理评估,对实现监测预警提高风险治理有重要意义[5-6]。近年来,我国在地质灾害风险评价方面倾向于耦合模型的利用:熊小辉等[7]利用基于信息量模型、确定性系数模型、证据权模型和频率比模型分别与逻辑回归模型耦合开展四川普格县地质灾害易发性评价;李亚等[8]基于信息量-随机森林耦合模型对粤北山区翁源县进行危险性评价之后,利用地理探测器对地质灾害危险性驱动因子进行分析。而在国外研究中,通过各种统计模型从灾害发生机制的角度进行风险评价成为热点:Pereira等[9]从建筑物的危害性、暴露性和物理脆弱性方面考虑了葡萄牙城市滑坡风险指数,并基于聚类分析揭示葡萄牙各个城市的灾害风险驱动因素;Novellino等[10]集合了机器学习算法和合成孔径雷达干涉技术评估了意大利南部的山体滑坡风险。综上所述,国内外对于地质灾害风险的研究方法逐渐多元化,并且将多种数学模型与地理信息技术(geographic information system,GIS)结合使用,减少了人为主观因素的影响,使得评价结果更具有客观性和准确性。但就目前的研究而言,大部分研究多是针对县级以上的地区进行的风险评价,而对于灾害诱发因子的动态变化与灾害风险之间的联系研究相对不足。

大连市金普新区地质构造较为复杂,同时工程建设活动多样,区域在短时强降雨的诱发下滑坡等灾害频发,给人民生命安全和生产建设带来威胁。因此,对区域内的地质灾害风险进行评估,加快从减轻灾害损失向降低灾害风险转变,是全面提高抵御地质灾害的综合防范能力的重要手段[11-12]。为此,本研究以大连市金普新区为研究区域,以栅格单元为评价单元,基于地质灾害易发性、危险性、易损性的三维评价体系,采用信息量-确定性系数耦合模型对大连市金普新区进行地质灾害易发性评价;基于区内极端降雨的历史事实,以降雨为灾害诱发因子,运用极值降雨假设法计算出不同降雨强度下的地质灾害危险性,其次从人口、社会经济和生态环境3个方面构建易损性评价模型,最后对大连市金普新区做出地质灾害风险区划,为区域内的资源环境可持续发展和城市建设提供参考。

1 研究区概况

大连市金普新区,位于辽东半岛南部,总面积达2 299 km^2。地理坐标为121°21′22″~122°18′43″E,38°53′40″~39°37′39″N。金普新区位于辽东台隆和华北断坳的交界处,地质构造复杂,海拔最高点为位于西南部的大黑山主峰,在其周围及研究区东北部分布着海拔高度为200~500 m的构造剥蚀丘陵(图1),在山体的顶部普遍有大量基岩裸露,而在底部则有较多松散物质堆积。此外,在研究区的中部和北部有洪积扇裙组成的堆积地形分布。研究区属于暖温带季风气候,降雨集中在7—9月,年平均降雨量可达到600~700 mm,尤其夏季多短时强降雨,24 h最大降雨量可达150 mm以上。区内水系丰富,河流多发源于中部地势较高的低山丘陵。据辽宁水文地质工程地质勘察院调查显示,区内共有71处灾害点,主要以滑坡和崩塌为主,已发生灾害中由降雨引发的占70%,说明区内地质灾害的发生与降雨带来斜坡不稳定性有较大的关系。同时,由降雨

引发的地质灾害给当地的人口和财产带来重大威胁,仅2019年,灾害造成8人伤亡,经济损失589万,潜在威胁资产687万元。

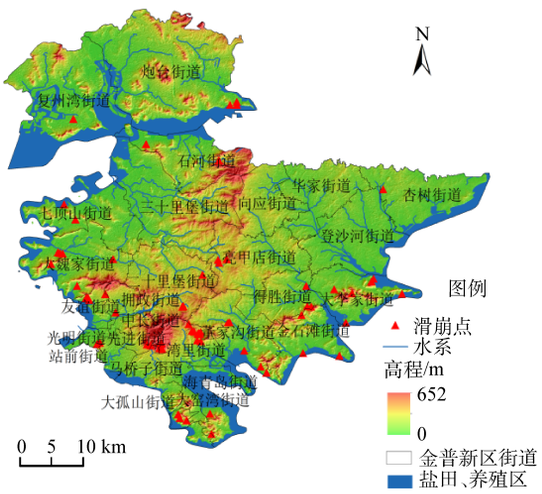


图1　金普新区概况

2　数据来源与评价方法

2.1　数据来源

本研究所使用的数据来源:数字高程模型(digital elevation modeling,DEM)数据来自于地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/),并由此提取出坡度、坡向、斜坡结构、坡型与河流水系数据;1∶25万基础地质数据来源于地质云(https://geocloud.cgs.gov.cn/);降雨量、归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)数据、土地利用及道路数据均来自于中国科学院资源与环境科学数据中心(https://www.resdc.cn/);地质灾害点数据来自于2019年辽宁水文地质工程地质勘察院的地质勘察报告;人口和经济数据来自2020年《金普年鉴》。

2.2　评价指标选取与分析

2.2.1　地质灾害易发性评价指标

(1)指标选取。评价指标体系代表了本区域内地质条件的自然属性也就是地质灾害的孕灾环境,因此指标体系的科学选择是进行区域地质灾害风险评价的关键[13]。针对研究区特殊的地形地貌特征,本研究从地质灾害影响因素的角度,考虑数据的可用性、可操作性和科学性,选取包括高程、坡度、坡向、坡型、斜坡结构、NDVI、岩土体特征、距水系距离、距断层距离和距道路距离作为地质灾害易发性评价因子[14]。高程通过影响区域岩土的稳定性来影响地质灾害的发生。坡度会将斜坡内土体的势能转化为动能来影响坡体的稳定性,坡度越大,地质灾害发生的概率也越大。坡向通过影响蒸发、径流等来间接影响地质灾害的发生。坡型与斜坡结构的分布与地质灾害的发生有密不可分的联系。断层和岩土体特征通常被认为是影响地质环境稳定性的重要因素。植被覆盖范围及其变化是影响区域生态系统环境变化的重要因素,植被覆盖度越高,越不利于发生地质灾害。地表径流会冲刷和侵蚀河流沿岸的形态和结构,因此利用距水系的距离来描述侵蚀的状态。距道路距离表示人类工程活动对边坡稳定性的影响。由10个因子表示金普新区的孕灾环境并构成易发性评价体系,如表1所示。

表1　易发性评价因子与分级表

评价因子	评价因子分级
DEM/m	≤50、>50~100、>100~150、>150~250、>250~652
坡度/(°)	≤3、>3~7、>7~12、>12~20、>20
坡向	N(337.5°~22.5°)、NE(>22.5°~67.5°)、E(>67.5°~112.5°)、SE(>112.5°~157.5°)、S(>157.5°~202.5°)、SW(>202.5°~247.5°)、W(>247.5°~292.5°)、NW(>292.5°~337.5°)
坡型	凹型坡、直线型坡、凸型坡
斜坡结构	顺向坡、顺斜坡、横向坡、逆斜坡、逆向坡
NDVI	≤0、>0~0.2、>0.2~0.3、>0.2~0.3
岩土体特征	坚硬岩、较硬岩、软硬相间、较软岩、软岩
距水系(断层、道路)距离/m	≤200、>200~500、>500~800、>800~1 100、>1 100

注:DEM为数字高程模型;NDVI为归一化植被指数。

(2)指标独立性检验。为了避免各因子之间的强相关性对评价结果产生影响,还需要对各评价因子进行独立性检验[15]。本文采用了ArcGIS中的多元分析功能获取评价因子的相关性系数(r)[16]。一般认为,$|r|<0.3$表示各因子之间基本不相关,$0.3\leqslant|r|<0.5$表示因子呈低度相关,$0.5\leqslant|r|<0.8$表示为中度相关,而$|r|\geqslant0.8$则呈现出高度相关。

2.2.2　地质灾害危险性评价指标

易发性考虑的是在一定的地质环境条件下发生灾害的难易程度,更多考虑的是客观存在的孕灾环境条件,在这众多孕灾环境条件中不考虑时间的因素。危险性评价则是在易发性评价结果的基础上,侧重于考虑特定时间段内由某一因素引发灾害的概率,如降雨和地震等的诱发下发生地质灾害的概率[17]。因此,本研究选择降雨作为危险性的评价因子,考虑24 h内不同降雨强度下对地质灾害危险性的影响,基于对24 h累计降雨量达到35、75、175和

250 mm的大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨。

2.2.3 地质灾害易损性评价指标

易损性是承灾体受到灾害破坏的程度与灾害发生时受到损毁程度的可能性,偏向于社会结构[18]。本研究将行政单元作为易损性评价单元[19],本着系统性、主导性、因地制宜的原则经过筛选判断,最终将易损性因子确定为人口易损性、环境易损性和经济易损性。其中:人口易损性包括人口密度;环境易损性包括耕地密度和林地密度;经济易损性为国内生产总值密度、建筑密度和道路密度。6个评价因子构成(表2)的研究区地质灾害易损性评价体系进行接下来的计算工作。

2.3 地质灾害风险评价方法

2.3.1 地质灾害易发性评价方法

由于研究区地质灾害数量少且影响因素众多,本研究选择信息量-确定性系数耦合模型作为易发性评价模型。信息量模型是基于各因子影响下信息熵的变化来表现地质灾害的易发程度,充分考虑了评价指标对地质灾害的客观影响,避免了主观随机性,评价结果更加科学合理[20]。确定性系数模型是从灾害点与其发生灾害影响因素的敏感性角度影响易发性结果[21]。将2个模型进行耦合可以弥补信息量模型只能评定二级指标分类的权重,而不能得出一级指标对灾害发生影响的问题[22]。具体计算公式为:

$$Q=\sum_{i=1}^{n}Q_i\cdot W=\sum_{i=1}^{n}\ln\frac{N_{ij}/N}{S_{ij}/S}\cdot W, \tag{1}$$

$$W=C_{(i,\max)}-C_{(i,\min)}, \tag{2}$$

$$C=\begin{cases}\dfrac{R-P}{R(1-P)}\ (R\geqslant P),\\ \dfrac{R-P}{P(1-R)}\ (R<P),\end{cases} \tag{3}$$

表2　易损性评价因子表

街道名称	人口密度/(人·km^{-2})	密度/(km^2·km^{-2})				国内生产总值密度/(百万元·km^{-2})
		耕地	林地	建筑	道路	
三十里堡	458.09	0.19	0.26	0.11	0.41	55.93
石河	490.00	0.09	0.28	0.15	0.57	102.99
湾里	826.49	0	0.19	0.37	1.07	82.28
复州湾	257.49	0.20	0.02	0.10	0.19	13.34
杏树	333.73	0.36	0.01	0.12	0.23	29.23
登沙河	508.12	0.35	0.01	0.19	0.33	46.78
海青岛	1 675.08	0	0.11	0.49	1.02	332.02
亮甲店	344.62	0.38	0.06	0.13	0.28	40.12
站前	1 881.28	0	0.01	0.58	1.18	1 130.48
光明	11 304.89	0.09	0.02	0.32	2.14	1 188.03
大魏家	233.46	0.18	0.13	0.14	0.35	17.18
中长	8 308.06	0	0.31	0.26	0.53	311.42
大孤山	751.85	0	0.16	0.33	0.53	89.39
炮台	276.47	0.24	0.12	0.14	0.35	24.08
二十里堡	398.89	0.17	0.21	0.19	0.51	23.33
拥政	6 660.86	0	0.23	0.36	1.39	189.84
得胜	286.11	0.36	0.06	0.15	0.46	15.99
马桥子	1 937.15	0	0.04	0.53	2.21	1 023.07
向应	395.77	0.35	0.08	0.16	0.13	21.99
华家	296.18	0.44	0.01	0.14	0.10	19.54
董家沟	345.92	0.13	0.18	0.25	1.02	20.04
先进	1 331.38	0	0.35	0.21	0.44	293.79
大窑湾	622.39	0	0.07	0.45	0.38	276.74
金石滩	597.70	0	0.24	0.25	0.33	63.34
七顶山	348.71	0.28	0.05	0.15	0.45	6.13
大李家	317.27	0.22	0.15	0.07	0.27	11.94
友谊	19 949.14	0.06	0.07	0.36	1.35	360.65

式中:Q为评价单元的总加权信息量值,其值越大说明地质灾害越容易发生;Q_i指评价因子(i)的加权信息量;N_{ij}指的是i在评价因子(j)下的地质灾害数量;N表示研究区内地质灾害总数;S_{ij}代表i在j下的面积;S表示研究区总面积;W为i确定性系数的权重;C表示确定性系数值;R为j中地质灾害个数与其面积之比;P表示研究区地质灾害总数与研究区总面积之比。

2.3.2 地质灾害危险性评价方法

本研究通过极值假设的方法[23]计算研究区灾害发生当日的最大降雨量造成的边坡失稳概率,来表现地质灾害危险性与降雨这一诱发因素的关系。

$$H = \frac{Q_i}{Q_{\max}} M, \tag{4}$$

$$M = \frac{l}{L}, \tag{5}$$

式中:H为某一降雨强度下的危险性值;$Q_{\max}$为研究区评价单元最大加权信息量值;M为某一降雨强度下的失稳概率;l为不同降雨强度下的年最大日降雨量;L为研究区记载的日最大降雨量。

2.3.3 地质灾害易损性评价方法

聚类分析方法表示一个类别具有相似性,而不同类别之间具有明显的差异性。基于易损性评价因子数据(表2)利用SPSS软件中的聚类分析方法计算得出易损性指数(V)。首先对易损性指标数据进行无量纲化预处理,其次在SPSS软件中选择方法组间联接,区间为欧氏距离。系统聚类计算步骤为:(1)把每个样本单独归为一类,计算出每2类之间的欧式距离;(2)把各类中距离最小的2类合并成一个新类;(3)重新计算新类与各旧类之间的距离;(4)重复第(2)、(3)步,直至所有样本都合并成一类。

2.3.4 地质灾害风险性评价方法

根据地质灾害风险理论,地质灾害风险指地质灾害的发生对自然界及人类社会造成危害的可能性,包括灾害发生触发破坏的潜在性以及可能造成的不良后果[24]。本研究中风险性是危险性与易损性结果的乘积,结合研究区地质灾害危险性指数以及承灾体的易损性指数,并计算研究区的地质灾害风险性[25],公式为

$$R=H\times V, \tag{6}$$

式中R为研究区地质灾害的风险性。

3 结果与分析

3.1 地质灾害易发性评价结果

经指标独立性检验,由表3可知本研究选择的10个易发性评价指标之间均无高度相关。因此,根据信息量-确定性系数耦合模型计算出总加权信息量值为−5.303 77 ~ 10.952 8,根据自然段点法划分易发性分区为低易发区、中易发区、高易发区和极高易发区,分别对应[−5.303 77,1.813 62),[−1.813 62,0.039 54),[0.039 54,2.703 31),[2.703 31,10.952 8),其空间分布见图2。从结果中看出研究区地质灾害易发性有一定的空间差异,其中低易发区分布于研究区内的东部,面积为557.35 km^2,占总面积的33.47%,该区域以坚硬岩层为主,受断裂构造活动影响较小,另外该区域以耕地为主,坡体受人类工程活动的影响相对较小,因此发生地质灾害的可能性较低;中易发区面积最大,占总面积的34.22%,为569.89 km^2,分布于研究区内的北部、中部和南部的低海拔较平坦的区域;高易发区和极高易发区呈“之”字形分布在研究区内的北部、西南部与东南部

表3 评价因子相关性系数表

评价因子	DEM	坡度	坡向	坡型	斜坡结构	NDVI	岩性	距河流距离	距断层距离	距道路距离
DEM	1.00	0.50	0.15	0.07	−0.56	0.47	0	0.31	−0.10	0.14
坡度	0.50	1.00	0.16	0.01	−0.10	0.38	0.13	0.26	0.16	0.02
坡向	0.15	0.16	1.00	0	−0.23	0.21	0.01	−0.02	−0.07	0
坡型	0.07	0.01	0	1.00	−0.07	0	0	0	0	0
斜坡结构	−0.56	−0.10	−0.23	−0.07	1.00	−0.12	0	0.01	0.04	−0.01
NDVI	0.47	0.38	0.21	0	−0.12	1.00	−0.05	0.07	−0.08	0.11
岩性	0	0.13	0.01	0	0	−0.05	1.00	0.05	−0.36	−0.15
距河流距离	0.31	0.26	−0.02	0	0.01	0.07	0.05	1.00	0.02	0.08
距断层距离	−0.10	0.16	−0.07	0	0.04	−0.08	−0.36	0.02	1.00	0.23
距道路距离	0.14	0.02	0	0	−0.01	0.11	−0.15	0.08	0.23	1.00

地区,面积分别为 360.41 和 177.55 km^2,占总面积的 21.64% 和 10.66%,该区域距离道路和断层的距离较近,受地质构造活动影响大的同时人类工程活动强烈,对坡体的稳定性造成影响。

3.2　地质灾害危险性评价结果

综合上述地质灾害易发性评价结果,并根据研究区记录的最大日降雨量为 186.4 mm,用式(4)和(5)计算 4 种降雨强度下的危险性指数为[-1.500 3, 3.098 4],将其分为低、中、高、极高危险区,分别对应[-1.500 3,0.125 2),[0.125 2,0.873 2),[0.873 2, 1.433 7),[1.433 7,3.098 4]。绘制出 4 种不同强度降雨诱发下的地质灾害危险性分区(图 3)。在大雨强度下,区内以低危险区为主,在降雨强度逐渐增强的情况下,低危险区面积明显缩小而高和极高危险区面积明显扩大。由此说明降雨是本区诱发地质灾害的一个重要因素且影响较大。4 种降雨强度条件下,高、极高危险区的走向大致一致,同样由西南部向东部和北部延伸,与研究区内的断裂和山脉的走向接近。中危险区多分布在北部、中部及东部中低山区域,植被覆盖率高,地质灾害危险性相对较低。而低危险区的分布以构造稳定且岩层坚硬的东部分布面积最广。

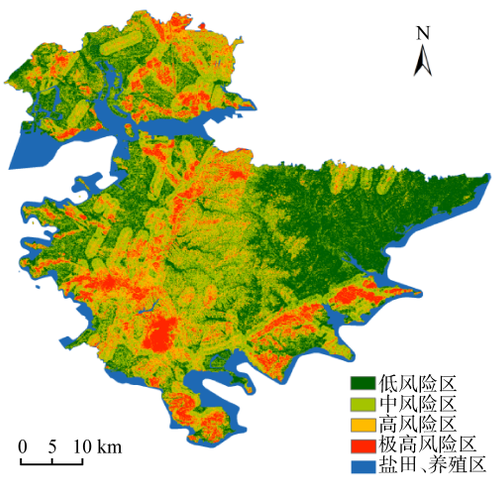


图 2　易发性分区结果

3.3　地质灾害易损性评价结果

本研究基于 SPSS 结合系统聚类分析方法开展

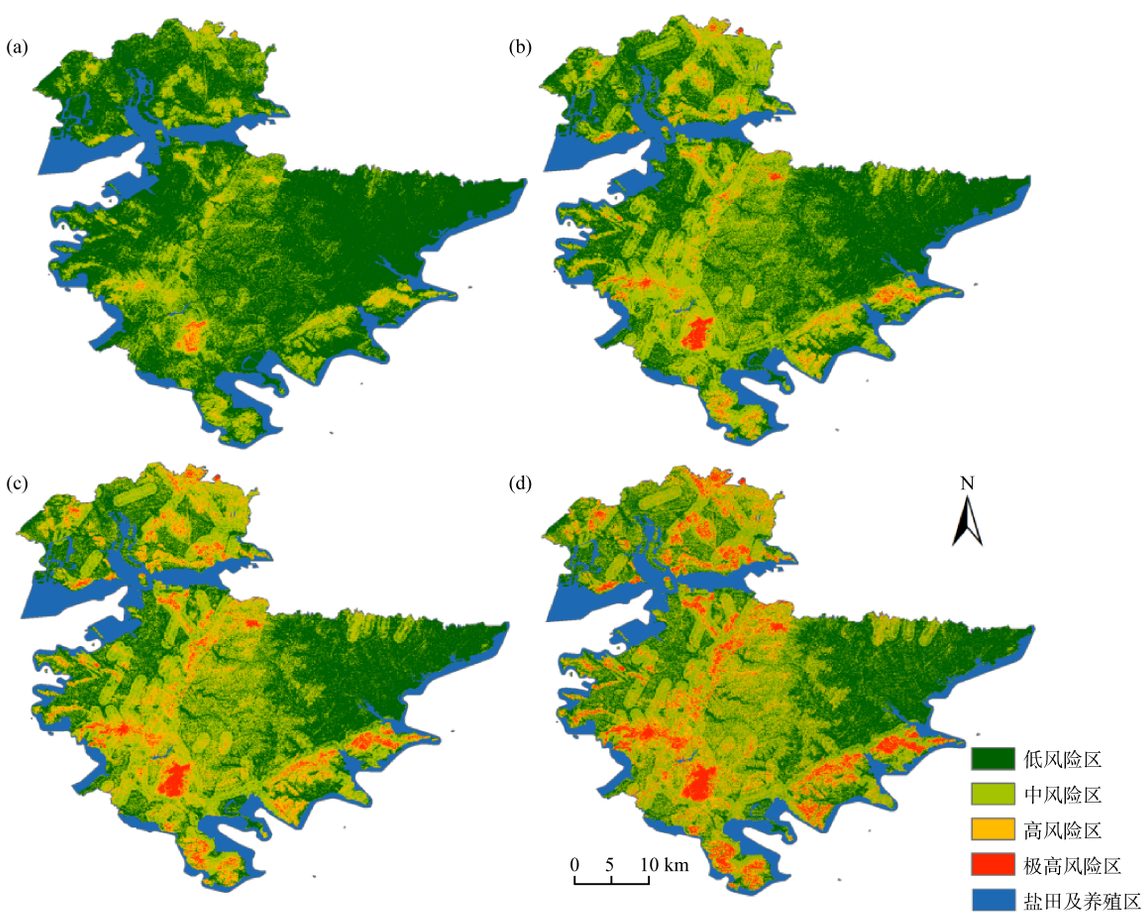


图 3　4 种降雨强度下的危险性分区

(a)大雨强度;(b)暴雨强度;(c)大暴雨强度;(d)特大暴雨强度

易损性评价,根据SPSS统计分类结果可知,研究区易损性评价结果分为4类(图4),研究区内极高、高易损区主要分布于西南的友谊街道、光明街道、站前街道和马桥子街道,原因为西南地区是研究区人口集中的地区,为支持经济发展建设的道路和建筑物密集,故易损性高;中部及南部的三十里堡街道、石河街道等多为中低山区,用地类型主要为林地和耕地,有少量房屋建筑分布,人口密度相对较小,建筑及道路面积小,表现为中等易损性。西部、北部和东部低山区人口密度小,耕地面积大,易损性相对较低。

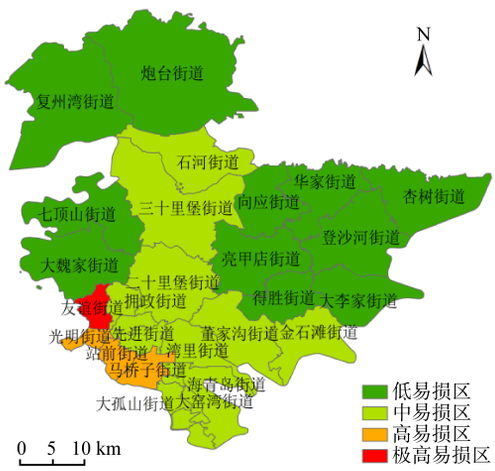


图4　金普新区易损性评价结果

3.4　地质灾害风险评价结果区划与分析

将危险性与易损性等级从低到高分别赋值为1~4,根据式(6)得出风险性指数为[1,16],将风险性分为低、中、高、极高风险区(图5),分别对应[1,2],(2,6],(6,9],(9,16]。研究区中部、西南及南部的风险等级随降雨强度的提升有明显增强的趋势。极高风险区主要分布于西南部人口、经济稠密区的友谊街道、光明街道等;此外,在极高风险区外围的湾里街道、南部的大窑湾等街道人类工程活动强烈,对坡体的破坏强烈,除此之外还有中部的石河街道和三十里堡街道等,距离断层近且断层数量多密度大,对周围坡体的稳定性带来一定的影响,呈现出高风险性,中风险区分布于二十里堡街道等高

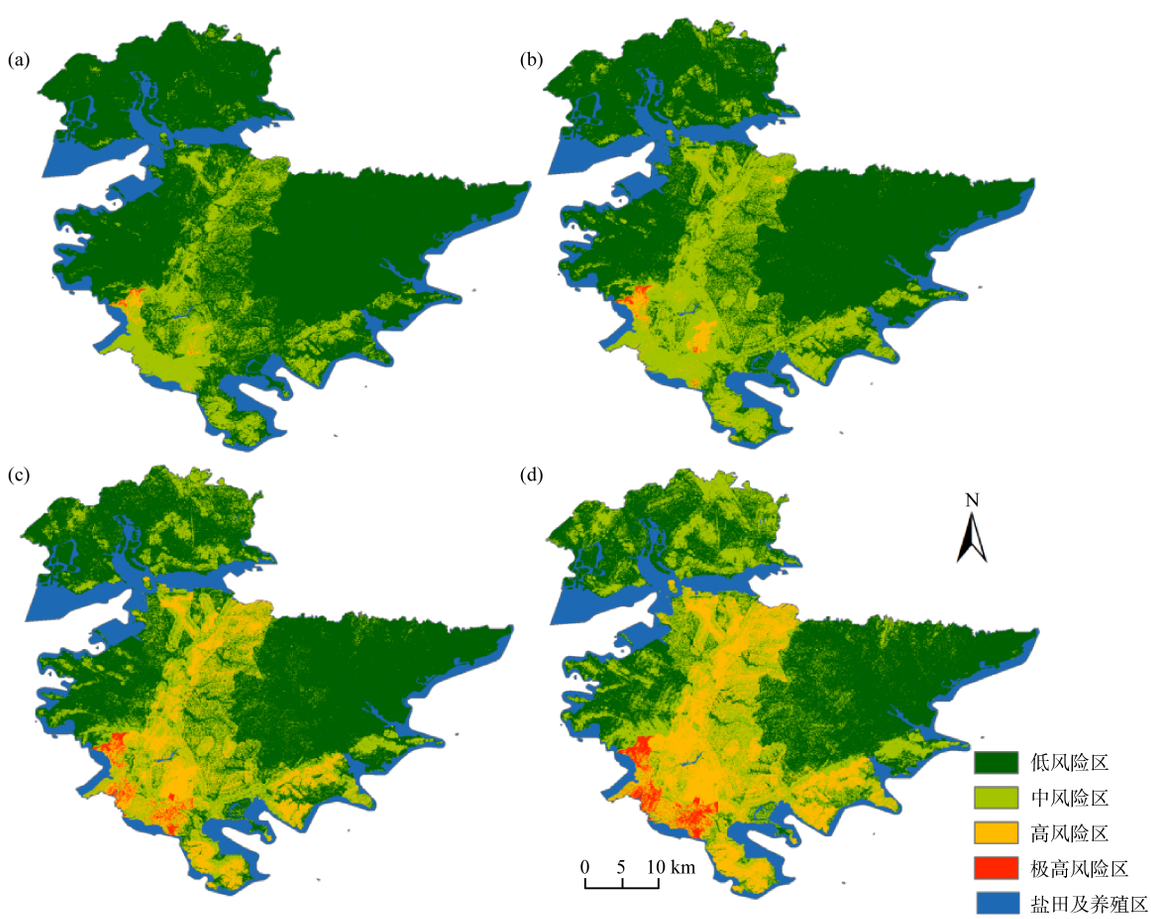


图5　4种降雨强度下的风险性分区

(a)大雨强度;(b)暴雨强度;(c)大暴雨强度;(d)特大暴雨强度

易损区的四周以及区内低海拔地区,主要为林地和耕地、建筑面积相对较小,人类活动作用不明显;低风险区分布于区内北部、东部和西部林地及耕地区域,包括杏树街道、华家街道、复洲湾街道等街道,该区内居住人数相对较少,植被覆盖率高,故风险性较低。

4 讨 论

本研究充分考虑了地质灾害的孕灾环境、诱发因子及承灾体,并且为了更好地评估研究区域内地质灾害的风险评估,在易发性评价的基础上进一步考虑了以降雨为主的外部影响因素,通过不同的降雨条件,建立了一个动态的危险评估体系。此体系与过往研究存在差异:以往多聚焦孕灾条件对地质灾害发生的影响,忽视诱发因子与承灾体的综合考量[26];且多数仅将单一降雨诱发因子用于危险性评价,未考虑降雨动态变化的作用,易降低风险评价可靠性[27]。研究表明,孕灾环境和诱发因素的共同作用是控制地质灾害风险性的内在和外在因素,随着降雨强度从大雨逐渐加强到特大暴雨,极高风险区的面积呈现出明显的扩大趋势,另外,高和极高风险区面积的扩大在区内的中部、西南以及南部最为明显,说明除降雨强度的增加带来的影响外,人类活动对地质灾害风险的影响同样较为明显。灾害极高风险位于区内人口和经济集中分布的友谊街道、光明街道、站前街道、马桥子街道,工程建设活动频繁,对坡体的破坏强烈,在自然和人类的共同作用下地质灾害的风险性较高。

虽然本研究对地质灾害的分布规律和风险进行了分析和挖掘,并建立定量分析的耦合评价模型,减少了主观因素的影响,但仍存在不足之处。例如,定量模型只对风险指数的信息熵进行线性叠加,在高维空间中很难确定各因素与灾害点之间的关系。因此,如何将机器学习更好地应用于小区域地质灾害的风险评价中,仍面临诸多挑战。此外,本研究在风险评价过程中,由于社会经济数据的可获取性相对不足,因此在区域内的防灾减灾能力评价方面仍有进步的空间。

5 结论与建议

本研究深入分析大连市金普新区的孕灾环境,以4种降雨强度作为灾害诱发因子,从地质灾害的易发性、危险性以及易损性3个方面综合考虑风险性,将风险性分级,并得出了主要结论。

(1)研究区地质灾害风险区划有较明显的地区差异。研究区风险性可以分为低、中、高、极高4个等级,其中,极高风险区主要分布于区内西南部的友谊街道、光明街道等;高风险区位于南部和中部的湾里街道、大窑湾街道、石河街道和三十里堡街道等。中风险区分布于部分低山地区,包括先进街道、二十里堡街道;低风险区分布于区内北部和东部居住人口较少的杏树街道、华家街道、复洲湾街道等街道。

(2)降雨条件的改变对研究区地质灾害的发生及危害程度影响较大,在降雨强度不断加强的情况下,地质灾害的风险性也随之发生明显的变化,区内高和极高危险区面积明显增大,由此看来降雨条件的变化对周围地质环境的影响显著。

针对降雨强度的变化对研究区地质灾害风险性的影响较大,因此建议:应针对受降雨变化影响大的极高风险地区应划分为重点防治地区,加大进行地质调查的频率,对有极易引发滑坡和崩塌的边坡,采用挡土墙、修建护坡等工程加固,并结合气象数据建立动态地质灾害监测系统,提高监测效率,以有效预警灾害发生;高风险区和中风险区可分级别采取相应的工程治理和监测预警等防灾抗灾准备,其次对高风险地区进行科学的土地利用规划,限制在此区域内进行大规模的建设和人类活动;另外,也应关注受降雨变化危害不大区域的地形地貌变化、山体裂缝等迹象,开展定期排查的同时进行风险评估更新,及时将新发现的可能存在的区域及时纳入监测范围。所有风险区域也要通过多种渠道向居民普及地质灾害的基本知识及各种灾害的应对方法,提高居民的防灾减灾意识。

参 考 文 献

[1] 兰盈盈,郭昶成,朱云福.地质灾害易发性评价方法综述[J].地质与资源,2024,33(1):65-73.

[2] KE K, ZHANG Y C, ZHANG J Q, et al. Risk assessment of earthquake-landslide hazard Chain based on CF-SVM and newmark model: using Changbai Mountain as an example[J]. Land,2023,12(3):696.

[3] 邱芹军,吴亮,马凯,等.面向灾害应急响应的地质灾害链知识图谱构建方法[J].地球科学,2023,48(5):1875-1891.

[4] 许强.对滑坡监测预警相关问题的认识与思考[J].工程地质学报,2020,28(2):360-374.
[5] 焦伟之,张明,谢鑫鹏,等.基于GIS与加权信息量模型的城镇地质灾害易发性评价:以大新镇为例[J].安全与环境工程,2022,29(4):119-128.
[6] 张鸣之,杨飞,马娟,等.区块链技术在全国地质灾害风险预警系统建设中的应用探索[J].水文地质工程地质,2023,50(6):168-174.
[7] 熊小辉,汪长林,白永健,等.基于不同耦合模型的县域滑坡易发性评价对比分析:以四川普格县为例[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(4):114-124.
[8] 李亚,邓南荣,陈朝,等.基于多源模型的粤北山区县域地质灾害危险性评价与驱动力分析[J].地球与环境,2024,52(3):330-342.
[9] PEREIRA S, SANTOS P, ZÊZERE J, et al. A landslide risk index for municipal land use planning in Portugal [J]. Science of the Total Environment, 2020, 735: 139463.
[10] NOVELLINO A, CESARANO M, CAPPELLETTI P, et al. Slow-moving landslide risk assessment combining machine learning and InSAR techniques [J]. Catena, 2021, 203: 105317.
[11] OSMAN S A, DAS J. GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River basin in southern Somalia [J]. SN Applied Sciences, 2023, 5(5): 134.
[12] ZHANG S H, TAN S C, GENG H, et al. Evaluation of geological hazard risk in Yiliang County, Yunnan Province, using combined assignment method [J]. Sustainability, 2023, 15(18): 13978.
[13] 梅乐,马星,连鑫龙,等.城市化过程中土地利用变化对地质灾害易发性影响的研究[J].自然灾害学报,2023,32(5):186-196.
[14] 陈凯,陈砺锋,张紫昭,等.基于实证调查的新疆地区地质灾害易发性和危险性评价研究[J].工程地质学报,2023,31(4):1156-1166.
[15] 李萍,李丽慧,刘昊碑,等.澜沧江流域重大水电工程扰动灾害风险评价[J].工程地质学报,2022,30(3):635-647.
[16] ZHENG Q, LYU H M, ZHOU A N, et al. Risk assessment of geohazards along Cheng-Kun railway using fuzzy AHP incorporated into GIS [J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2021, 12(1): 1508-1531.
[17] 胡鹏,王念秦,宋贵昌,等.山区切坡活动引发地质灾害风险评估及其防控措施[J].灾害学,2024,39(1):164-171.
[18] 张先林,张继,刘桃,等.基于三维数值模拟的单体崩塌风险评价:以西藏樟木口岸扎美拉山为例[J].自然灾害学报,2023,32(4):61-69.
[19] 刘阳,尚慧,占惠珠,等.评价单元对地质灾害易发性评价的影响[J].科学技术与工程,2022,22(35):15536-15545.
[20] 魏文豪,贾雨霏,盛逸凡,等.基于I、SVM、I-SVM的滑坡灾害易发性评价模型研究[J].安全与环境工程,2023,30(3):136-144.
[21] 王海芝,曾庆利,许冰,等.北京"7·21"特大暴雨诱发的地质灾害类型及其特征分析[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(2):125-132.
[22] 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.
[23] OUYANG C J, WANG Z W, AN H C, et al. An example of a hazard and risk assessment for debris flows: a case study of Niwan Gully, Wudu, China [J]. Engineering Geology, 2019, 263: 105351.
[24] 刘艳辉,苏永超.四川青川县区域地质灾害气象风险预警模型研究[J].工程地质学报,2019,27(1):134-143.
[25] 段宇英,汤军,刘远刚,等.基于随机森林的山西省柳林县黄土滑坡空间敏感性评价[J].地理科学,2022,42(2):343-351.
[26] ZHANG X, JIANG L, DENG W, et al. Risk assessment of heological hazards in the alpine gorge region and its influencing factors: a case study of Jiulong county, China [J]. Sustainability, 2024, 16(5): 1949.
[27] CHENG Y X, GAN Y, SHI C M, et al. A critical analysis of geological hazard risk assessment including future perspectives [J]. Sustainability, 2024, 16(9): 3701.

(责任编辑:李拓宇)