

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.157

引用格式: 王焯, 李英, 张呈彬, 等. 辽宁省地质灾害隐患点发育规律研究[J]. 中国地质调查, 2025, 12(3): 114-127. (Wang X, Li Y, Zhang C B, et al. Development law of geological hazard potential sites in Liaoning Province[J]. Geological Survey of China, 2025, 12(3): 114-127.)

辽宁省地质灾害隐患点发育规律

王焯^{1,2}, 李英^{1,2}, 张呈彬^{1,2}, 卢君实^{1,2}, 赵利军^{1*}, 王然^{1,2},
杨欢^{1,2}, 张旭东^{1,2}

(1. 辽宁省地质勘查院有限责任公司, 辽宁 大连 116100; 2. 高分辨率对地观测系统辽宁
地质资源环境应用与服务中心, 辽宁 大连 116100)

摘要: 为研究辽宁省地质灾害隐患点发育规律, 为防灾减灾提供决策支持, 基于辽宁省1:5万地质灾害隐患点风险调查项目成果数据、ALOS卫星地形高程数字模型(digital elevation model, DEM)数据以及辽宁省区域地质志数据, 利用ArcGIS软件, 使用核密度分析、邻域分析、坡度分析、坡向分析、山体阴影、栅格重分类等方法开展研究。结果表明: 在辽宁省范围内, 地质灾害隐患点多发育在辽西北低山丘陵区及辽东、辽南山区, 大连市是地质灾害隐患点数量最多的地级市, 鞍山市是地质灾害隐患点密度最高的市; 滑坡隐患点多位于地形切割强烈和边坡陡峻地带; 崩塌隐患点主要受花岗岩、变质岩、碎屑岩控制, 多发生在坡度大于60°的陡崖地带; 泥石流隐患点主要发育在距断裂两侧2.5 km范围的花岗岩、混合花岗岩、片麻岩中; 地面塌陷和地裂缝隐患点多由矿产开采造成, 主要分布地层为第四系、碎屑岩和碳酸盐岩。研究可进一步揭示辽宁省地质灾害隐患点的分布规律情况, 深化对地质灾害的科学认知, 为地质灾害的预测、评估、防治和防灾减灾工作提供数据支撑和科学参考。

关键词: 地质灾害; 空间分布; GIS; 辽宁省

中图分类号: P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2025)03-0114-14

0 引言

辽宁省地处我国东北地区南部, 西南与河北省接壤, 西北与内蒙古自治区为邻, 东北和吉林省毗邻, 东南以鸭绿江为界, 南部辽东半岛插入黄海与渤海之间, 隔渤海海峡与山东省相望^[1]。2006—2022年, 全省共发生地质灾害约3 734处, 造成约22人死亡, 直接经济损失达31.7亿元。针对辽宁省地质灾害, 前人开展了大量研究工作^[2-5], 采用遥感手段, 辽宁省全域开展采煤沉陷现状及恢复治理调查^[6], 结合野外调查^[7]、遥感解译^[8-10]及取样

分析^[11-14]计算等手段, 对辽宁省矿山地质环境评价与治理进行分区研究^[15-16]。然而, 针对辽宁省地质灾害的发育特征、分布规律等方面^[17-26]的系统性研究仍存在不足。本文利用辽宁省地质灾害数据, 基于地理信息系统理论, 分析辽宁省地质灾害分布规律与发育特征, 以期对辽宁省地质灾害的防灾减灾工作提供数据支撑和科学参考。

1 研究概况

1.1 区域概况

地形地貌方面, 研究区按成因和形态特征可分

收稿日期: 2024-03-14; 修订日期: 2025-04-28。

基金项目: 辽宁省自然资源厅“辽宁省1:5万地质灾害风险调查项目”子项目“风险调查工作成果信息化数据集成(编号: JH21-210000-87489)”资助。

第一作者简介: 王焯(1989—), 男, 高级工程师, 主要从事遥感地质学、三维地质结构建模、计算机软件编程方面的研究工作。Email: 372836765@qq.com。

通信作者简介: 赵利军(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查开发、地质工程及岩土工程方面的研究工作。Email: 15840665937@139.com。

为辽东山地丘陵、辽西低山丘陵、辽北波状平原和下辽河平原4个基本地貌单元。辽东山地丘陵海拔为400~900 m,千米以上高山数十座,最高峰花脖子山达1 336 m;辽西低山丘陵地势由西北向东南呈阶梯式降低,海拔为300~800 m;辽北波状平原由谷丘相间的波状高平原和铁法低丘组成,坡度平缓,海拔为50~250 m;下辽河平原位于辽东、辽

西山地丘陵之间,地形平缓,海拔低于50 m。

水系方面,研究区水系较发育,河流众多,以辽河、鸭绿江、黄渤海沿海诸河(大洋河、碧流河、大凌河、小凌河、六股河等为主)(图1)。受气候影响,河流的季节变化明显,河流的侵蚀和堆积作用对研究区的地貌形态产生了重要影响,形成了河谷、平原等地貌景观。

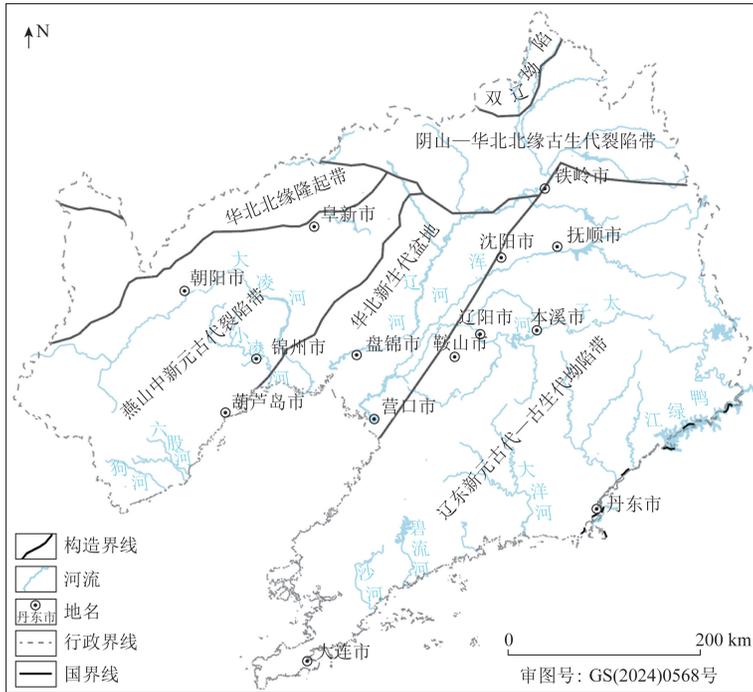


图1 辽宁省构造简图

Fig.1 Tectonic sketch of Liaoning Province

大地构造方面,根据研究区基底、盖层、中生代板内叠加构造特征,结合建造、改造、地质构造综合特点,划分出三级构造单元^[27]。一级构造单元为柴达木—华北板块和西伯利亚板块;二级构造单元分别为华北北缘古生代拗陷带、华北陆块、松辽盆地;三级构造单元分别为阴山—华北北缘古生代裂陷带、华北北缘隆起带、燕山中新元古代裂陷带、华北新生代盆地、辽东新元古代—古生代拗陷带、双辽拗陷(图1)。

工程地质条件方面,研究区工程地质条件复杂,岩土体类型多样。主要岩土体工程地质特征为新近沉积黏性土(压缩性相对较高,抗剪切强度差,)、软土(淤泥质土,具有显著的压缩性和较低的承载力)、沉积岩(包括松散沉积物和黏性土层)、岩浆岩(以侵入岩和火成岩为主)、变质岩(以区域变质岩为主)和其他岩土体(淤泥类土、黄土类土、盐渍土等)。

人类工程活动方面,研究区工程活动对地质环境破坏较为强烈,主要为采矿活动、公路铁路建设、城镇开发建设等。研究区矿产资源丰富,大规模、高强度的采矿活动,不仅破坏地质环境,还诱发一系列地质灾害,主要表现为地面塌陷、地面沉降、地裂缝、滑坡和崩塌、泥石流、岩爆和矿震等种类繁多的地质灾害,且往往具有严重的破坏性和危害性。

1.2 数据与方法

本文使用的地质灾害数据来源于2022年度开展的辽宁省1:5万地质灾害风险调查项目,利用ArcGIS软件使用核密度分析、邻近分析、融合分析、相交分析等方法,进行研究区地质灾害隐患点发育特征与分布规律分析。

地形高程数字模型(digital elevation model, DEM)数据来源于ALOS卫星的12.5 m分辨率数据(2014年),利用ArcGIS软件的坡度分析、坡向分析、山体阴影、栅格重分类等方法,提取研究区内

坡向、坡度等数据并转为矢量用于统计分析。

基础地质数据来源于辽宁省区域地质志,使用 ArcGIS 软件对构造做缓冲区分析,生成断层缓冲区,用于地质灾害隐患点与断层关系分析,将地质体数据在 ArcGIS 中按照岩性类别合并,用于地质灾害隐患点与岩石关系分析。

2 地质灾害隐患点发育特征

2.1 地质灾害隐患点类型

截至 2022 年 12 月 31 日,辽宁省共有在册地质灾害隐患点 1 709 处,该数据为 2022 年度开展的辽宁省 1:5 万地质灾害风险调查项目成果数据。本次使用融合分析统计方法,统计出主要地质灾害

隐患类型 5 种,分别为滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷和地裂缝。包括滑坡隐患点 169 处、崩塌隐患点 746 处、泥石流隐患点 676 处、地面塌陷隐患点 111 处及地裂缝隐患点 7 处。其中滑坡隐患点数量占比为 9.89%,崩塌隐患点数量占比为 43.65%,泥石流隐患点数量占比为 39.56%,地面塌陷隐患点数量占比为 6.50%,地裂缝隐患点数量占比为 0.41%。

各类地质灾害隐患点分布见图 2,可以看出地质灾害隐患点主要分布在辽西北低山丘陵区及辽东、辽南山区。从行政区上来看,主要分布在鞍山市东部、营口市东部、本溪市西部和大连市北部,丹东市、抚顺市、朝阳市和葫芦岛市分布均匀,阜新市、沈阳市和盘锦市分布较少或零星分布。

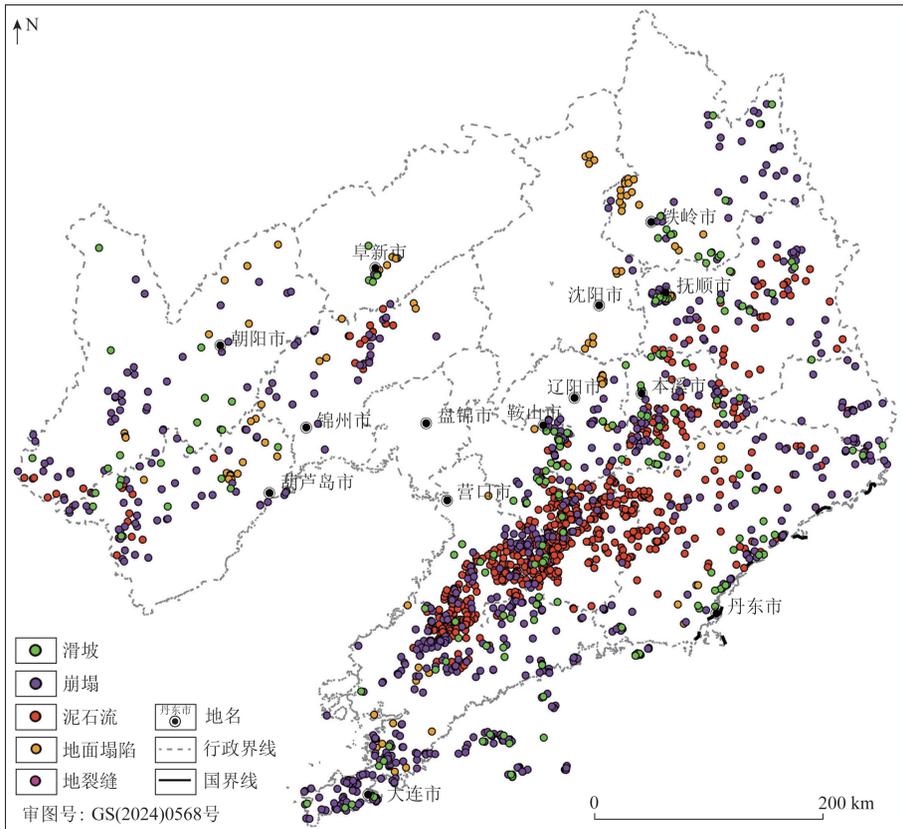


图 2 辽宁省地质灾害隐患点分布

Fig. 2 Distribution of geological hazard potential sites in Liaoning Province

2.2 地质灾害隐患点数量及密度

使用相交分析统计出各行政区内地质灾害隐患点情况。从辽宁省各地级市现有地质灾害隐患点数量来看(表 1),各城市之间差异较大,其中数量最多的为大连市 417 个,其次为鞍山市 328 个,数量最少为地处辽河平原的盘锦市,没有地质灾害

隐患点^[19];从地质灾害隐患点发育密度来看,密度最高的城市为鞍山市 3.54 个/100 km²,其次为营口市 3.15 个/100 km²,从密度分布来看,在营口市东部、鞍山市西部、营口市南部和大连市北部地区,具有地质灾害隐患点高密度分布特征,应在此区域着重部署地质灾害防治措施。

表1 辽宁省各地市地质灾害隐患点基本情况统计

Tab.1 Statistics of the basic situation of geological hazard potential sites in various cities of Liaoning Province

城市	面积/km ²	隐患点数量/个					总计	密度/ (个·100 km ⁻²)
		滑坡	崩塌	泥石流	地面塌陷	地裂缝		
沈阳市	12 859.90	0	2	0	11	0	13	0.10
大连市	13 739.32	33	264	106	14	0	417	3.04
鞍山市	9 255.35	22	55	248	3	0	328	3.54
抚顺市	11 271.05	14	47	35	4	7	107	0.95
本溪市	8 413.96	21	74	59	3	0	157	1.87
丹东市	14 966.74	21	92	67	8	0	188	1.26
锦州市	10 048.32	0	28	15	6	0	49	0.49
营口市	5 424.65	6	42	122	1	0	171	3.15
阜新市	10 327.01	5	2	0	7	0	14	0.14
辽阳市	4 735.79	8	19	3	14	0	44	0.93
盘锦市	4 102.95	0	0	0	0	0	0	0.00
铁岭市	12 984.52	17	33	0	16	0	66	0.51
朝阳市	19 697.88	13	41	7	8	0	69	0.35
葫芦岛市	10 414.29	9	47	14	16	0	86	0.83
合计	14 8241.73	169	746	676	111	7	1 709	1.15

3 地质灾害隐患点分布规律

3.1 滑坡隐患点分布规律

滑坡形成原因以暴雨诱发因素(自然因素)为主,其次是人类工程活动(人为因素)。滑坡

隐患点主要分布在鞍山市东部与辽阳市南部交界处、铁岭市南部和抚顺市北部交界处(图3)。从规模等级来看,主要以小型为主(162个),中型、大型、巨型数量较少(分别为5、1、1个),大型和巨型滑坡隐患点均位于抚顺市西露天矿,由人为因素造成。

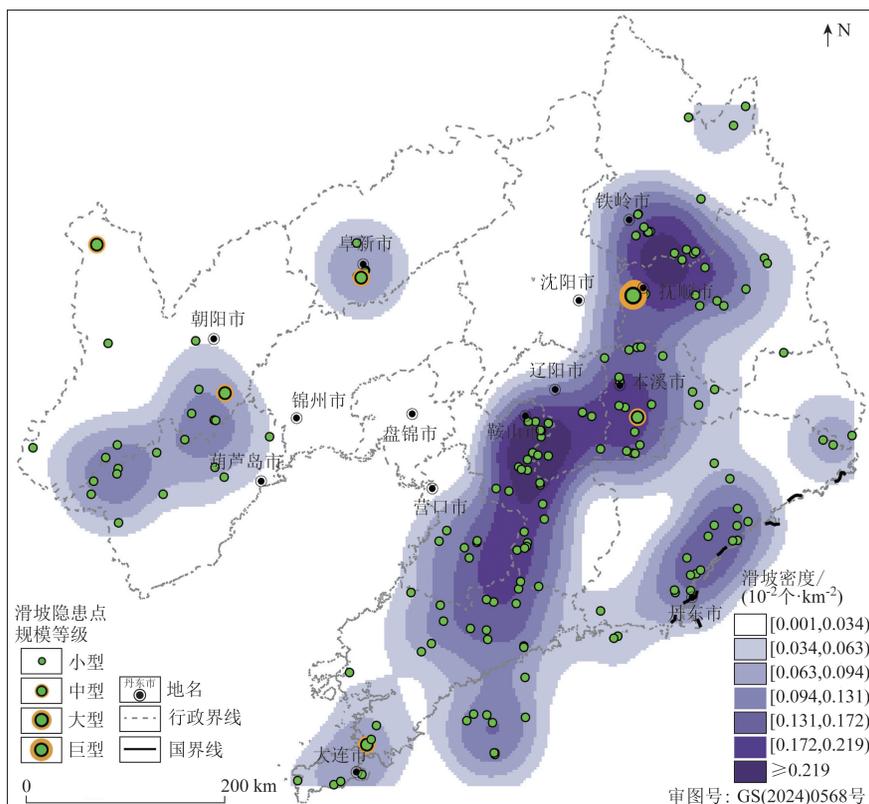


图3 辽宁省滑坡隐患点分布

Fig.3 Potential landslide sites distribution in Liaoning Province

地层岩性是滑坡发生的物质基础,滑坡隐患发育与易滑地层分布密切相关。辽宁省滑坡隐患点多发生在变质岩、花岗岩和碎屑岩地区,这3类地区滑坡隐患点总和占比为76.34%(表2)。这些地区的地层岩体强度较低、抗风化能力相对较差,浸水后出现软化情况,失水后发生崩解情况,风化侵蚀和泥化作用为滑面的形成和滑坡的启动提供了条件。

表2 滑坡隐患点在各类岩石地层中发育占比

Tab.2 Proportion of potential landslide sites developed in various rock formations

地层岩性	规模等级	滑坡数量/个	数量占比/%
第四系	大型	1	0.59
	小型	4	2.37
火山岩	中型	1	0.59
	小型	14	8.28
碎屑岩	巨型	1	0.59
	小型	35	20.71
碳酸盐岩	中型	1	0.59
	小型	15	8.88
花岗岩	小型	44	26.04
闪长岩	小型	3	1.78
基性侵入岩	小型	1	0.59
变质岩	小型	46	27.22
合计		169	100.00

使用邻近分析,获取地质灾害隐患点距离断层的距离,发育在距断裂两侧2.5 km范围内的滑坡隐患点数量占滑坡隐患点总数^[19]的71%(图4)。滑坡隐患点沿构造断裂呈带状分布(图5),构造破

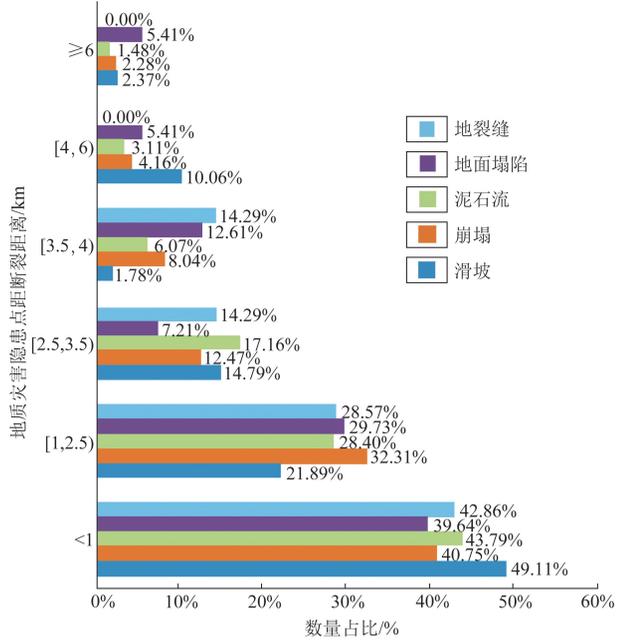


图4 辽宁省地质灾害隐患点与距断裂距离的关系统计
Fig.4 Statistics of the relationship between geological disaster potential sites and distance from fracture

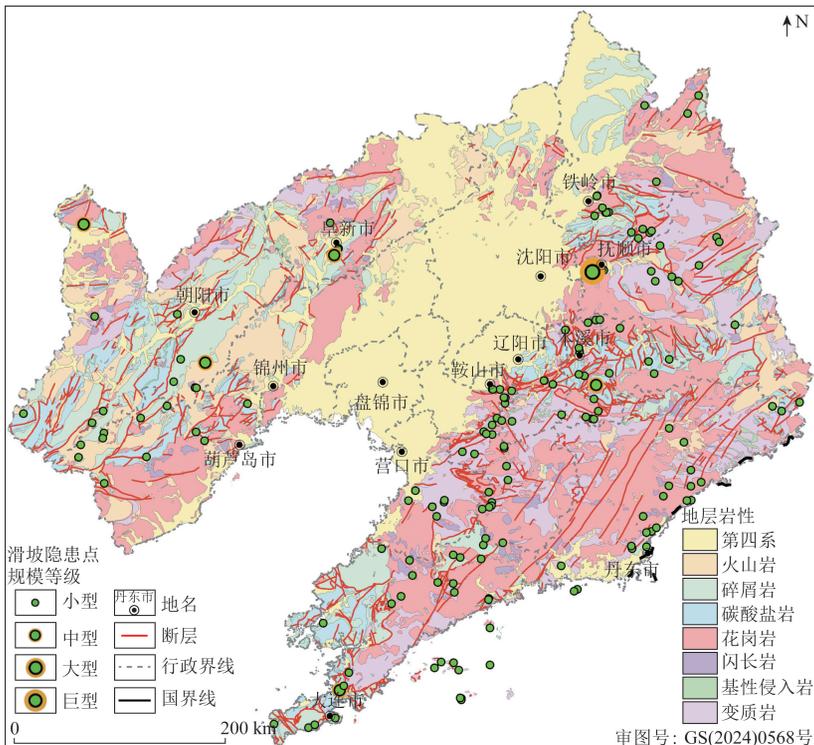


图5 辽宁省滑坡隐患点与地层分布对比

Fig.5 Comparison of potential landslide sites and stratigraphic distribution

坏了岩石的稳定性,加速岩石崩解,由于构造附近节理大量出现,有利于地表水和地下水的渗入^[28],为斜坡能量的积累提供了必要条件,为滑坡的形成创造了有利条件。

斜坡的坡形、高度、坡度、坡向等构成微观地貌,是影响地质灾害隐患点发育类型和规模的因素,有利于各类地质灾害发生的地形地貌条件。辽

宁省地质灾害隐患点与坡度之间关系见图6,可以看出地质灾害隐患点总体分布在坡度较陡区域,在坡度较缓区域,如盘锦市、沈阳市,几乎无地质灾害隐患点。据调查统计,滑坡多发生在山体坡度为(25°,60°]的地区^[22],下陡中缓上陡、上部成环状的坡形易产生滑坡。本次研究区内滑坡大多发生在陡坡或陡崖地带,占滑坡总发生数的90.53%(表3)。

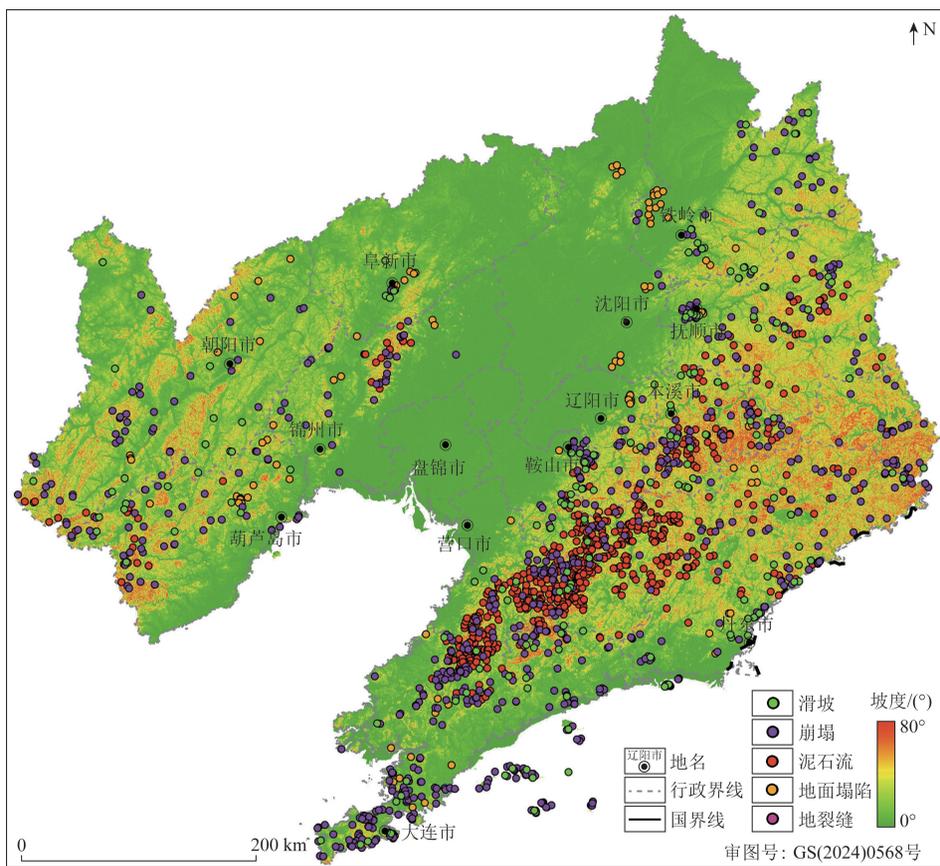


图6 辽宁省地质灾害隐患点与坡度关系

Fig. 6 Relationship between geological hazard potential sites and slope in Liaoning Province

表3 滑坡隐患点与边坡坡度关系

Tab. 3 Statistics of the relationship between potential landslide sites and slope gradient

微地貌	陡崖 (>60°)	陡坡 (25°,60°]	缓坡 (8°,25°]	平台 [0°,8°]
滑坡/个	33	120	15	1
数量占比/%	19.52	71.01	8.88	0.59

3.2 崩塌隐患点分布规律

崩塌隐患点主要分布在辽东及辽南山区,辽西北地区少量分布,下辽河平原地区不发育,在辽宁省地质灾害隐患点类型中占比最高,共计746个。

从行政区来看,除盘锦市以外,所有地级市均有发育;从密度来看,在大连市南部和北部、营口市东部和鞍山市南部以及辽阳市西南部,存在高密度分布(图7)。全省多为小型崩塌隐患点,共670个,中型崩塌隐患点70个,大型6个。中、大型主要分布在丹东市北部和本溪市东部。

崩塌发育与易崩地层分布密切相关,辽宁省崩塌隐患点多分布于花岗岩、变质岩、碎屑岩地区,这3类地区崩塌隐患点数量总和占比为72.66%(表4)。这些岩石节理裂隙较为发育,

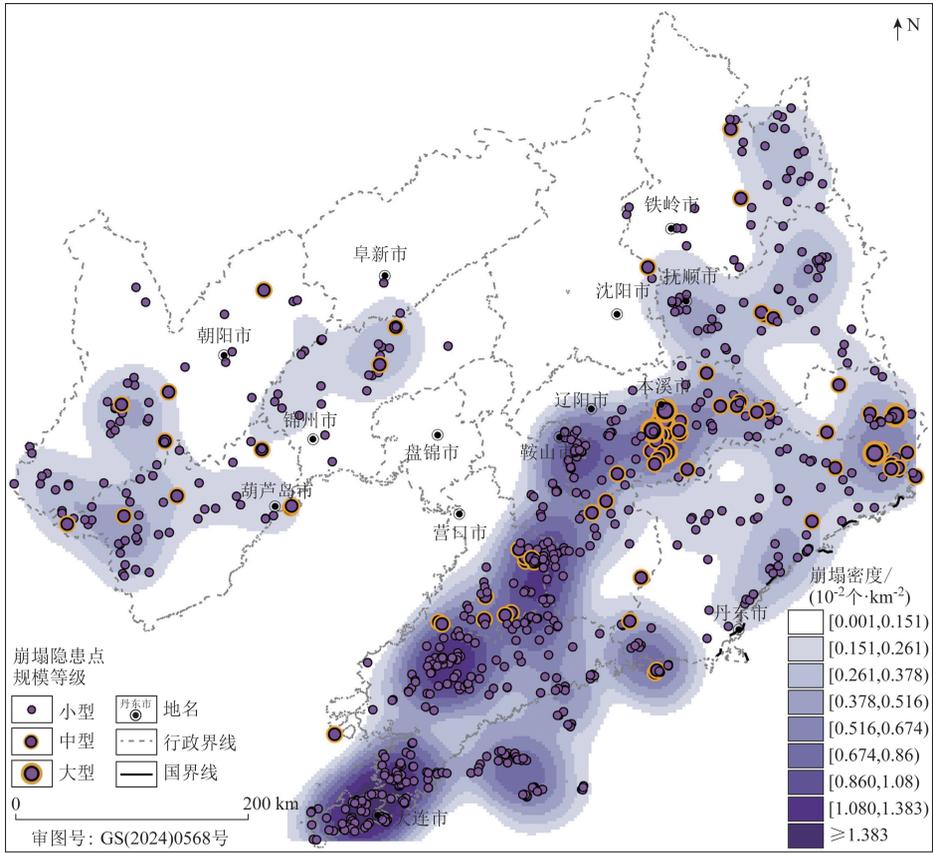


图7 辽宁省崩塌隐患点分布

Fig.7 Potential collapse sites distribution in Liaoning Province

表4 崩塌隐患点在各类岩石地层中发育占比

Tab.4 Proportion of potential collapse sites developed in various rock formations

地层岩性	规模等级	数量/个	数量占比/%
第四系	中型	1	0.13
	小型	22	2.95
火山岩	中型	5	0.67
	小型	53	7.10
碎屑岩	大型	2	0.27
	中型	15	2.01
	小型	127	17.02
碳酸盐岩	大型	2	0.27
	小型	86	11.53
花岗岩	大型	2	0.27
	小型	202	27.08
闪长岩	中型	1	0.13
	小型	8	1.07
基性侵入岩	中型	1	0.13
	小型	9	1.21
变质岩	中型	14	1.88
	小型	163	21.86
合计		746	100.00

加之受构造作用常形成较大规模的构造裂隙,岩石节理裂隙、断层最易成为岩体的软弱结构面,这些软弱结构面受雨水软化和风化作用,易形成崩塌。

崩塌沿河谷及支沟、断裂呈带状分布(图8)。河谷、断层两侧的高落差地形,为崩塌提供了临空条件,同时风化作用、雨水下渗、卸荷作用等加剧了崩塌的形成。如图4所示,发育在距断裂两侧2.5 km范围内的崩塌隐患点数量占崩塌隐患点总数^[19]的73.06%。除此之外,崩塌受工程活动切坡影响大。在本溪市东部,多条国道、高速修建时产生大量隧道、岩质斜坡,为崩塌的形成提供了有利条件。

崩塌隐患在陡坡、急坡、急陡坡、垂直坡中均有分布^[29],据调查统计,崩塌多发生在高陡斜坡处。研究区发育在坡度大于60°的陡崖地带的崩塌隐患点有522处,占崩塌隐患点总数的69.98%。坡度小于25°缓坡或平台地带,一般不容易发生崩塌灾害(图6,表5)。

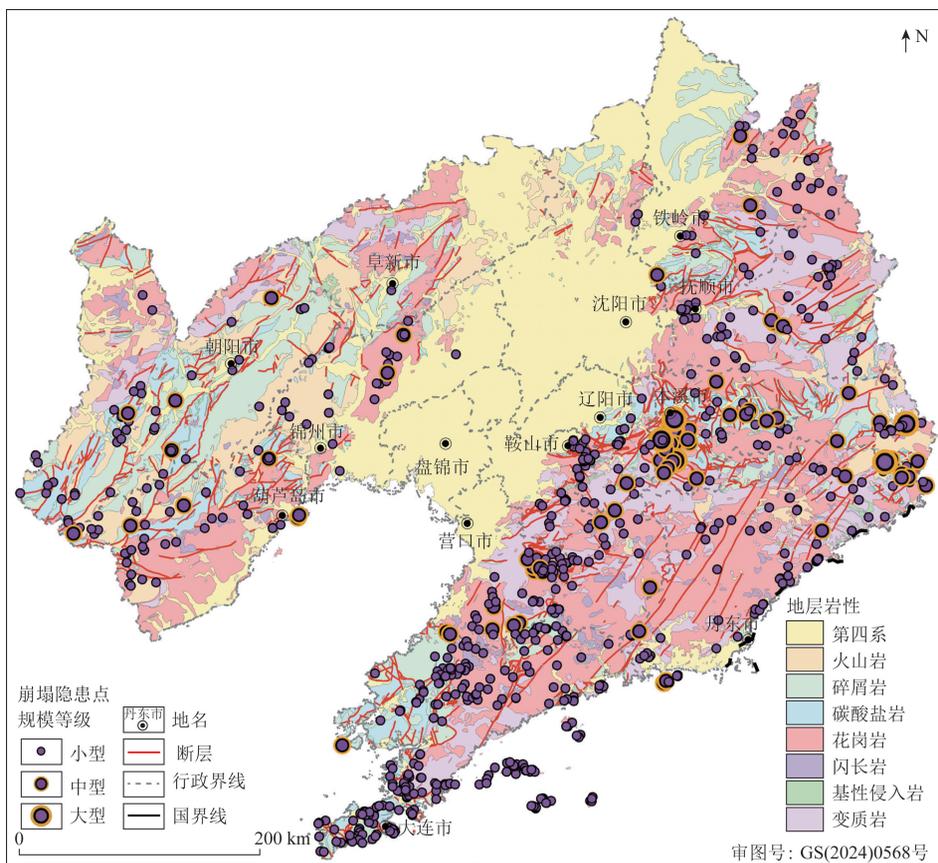


图8 崩塌隐患点与地层分布对比

Fig. 8 Comparison of potential collapse sites and stratigraphic distribution

表5 崩塌隐患点与边坡坡度关系

Tab. 5 Statistics of the relationship between potential collapse sites and slope gradient

微地貌	陡崖 ($>60^\circ$)	陡坡 ($25^\circ, 60^\circ$)	缓坡 ($8^\circ, 25^\circ$)	平台 [$0^\circ, 8^\circ$]
崩塌/个	522	203	21	0
数量占比/%	69.98	27.21	2.81	0

3.3 泥石流隐患点分布规律

泥石流是辽宁省地质灾害隐患点第二占比类型,主要集中在辽东南地区(图9),80%的隐患点分布在大连市北部、营口市东南部、丹东市西北部以及本溪市西部,总体上呈现沿北东方向线性展布,与辽宁省主要构造格架走向相同。泥石流地质灾害隐患点共计676个,规模多数为中型和小型,其中特大型6个,大型30个,中型255个,小型385个。

泥石流分布与地形地貌密切相关,地形陡峭,坡度大于 32° 的地区易发生泥石流地质灾害。辽南与辽东山区地形切割强烈,地表崎岖,

山高坡陡,高差悬殊,地表冲沟发育,沟谷狭窄,且多呈“V”字形发育,径流冲刷强烈,两侧山坡坡度较陡^[30-31],易形成泥石流隐患。从局部地形条件看,泥石流一般要有比较充分的汇水区和碎屑物的形成区、足够坡度的流通区、比较宽敞的堆积区。从地层岩性角度,泥石流多发育在辽东南地区的花岗岩和变质岩地区,这两类地区泥石流隐患点数量占比达83.69%(表6)。辽东南山地丘陵地区岩体多为岩浆岩和变质岩,其主要岩性为花岗岩、混合花岗岩、片麻岩,此类岩石在岩浆冷凝和高温高压的成岩环境下,形成较大矿物结晶颗粒。在炎热多雨的气候条件下,因其抗风化能力相对较弱,会在山体斜坡、凹地、沟谷大量松散堆积。这些松散堆积物成为泥石流固体径流的主要物源^[30]。受辽东南地区特殊地形因素影响,降水量在山地多于河谷,迎风坡多于背风坡,这种地形降水分布不均也为泥石流的发生提供了有利条件。

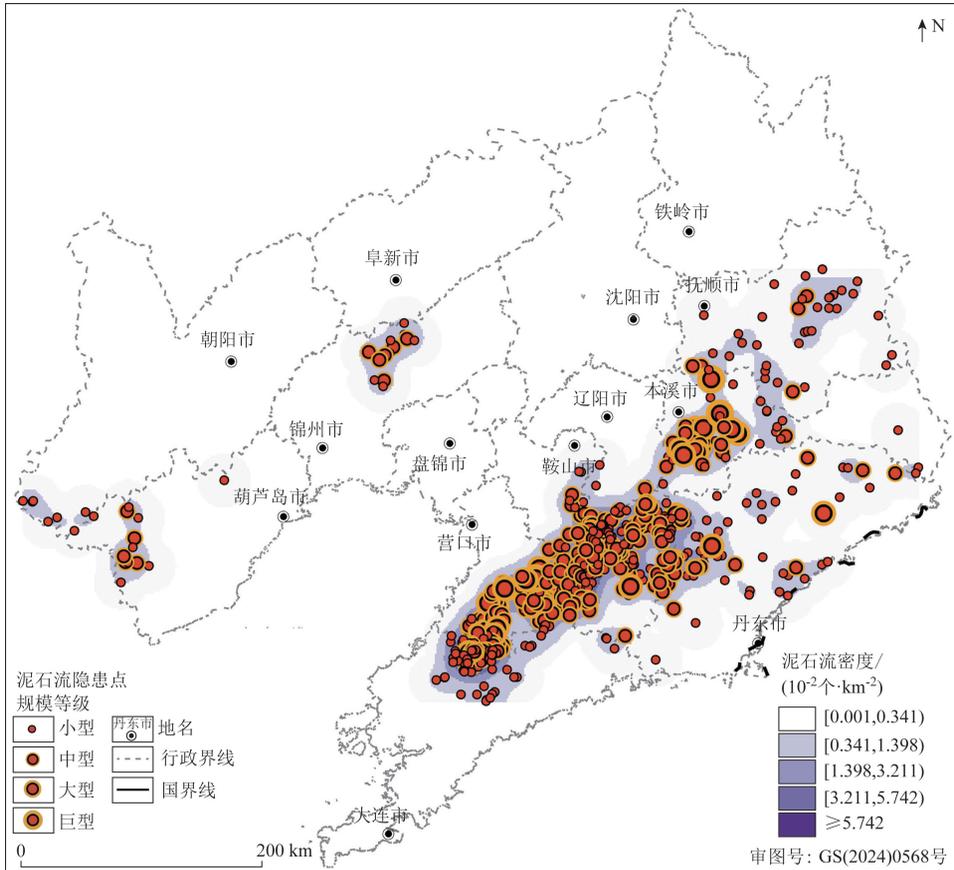


图9 辽宁省泥石流地质灾害隐患点分布

Fig.9 Potential debris flow sites distribution in Liaoning Province

表6 泥石流隐患在各类岩石地层中发育占比

Tab.6 Proportion of potential debris flow sites developed in various rock formations

地层岩性	规模等级	数量/个	数量占比/%
火山岩	中型	6	0.89
	小型	14	2.07
	大型	2	0.30
碎屑岩	中型	8	1.18
	小型	22	3.25
碳酸盐岩	特大型	1	0.15
	大型	3	0.40
	中型	11	1.63
	小型	16	2.37
花岗岩	特大型	3	0.40
	大型	15	2.22
	中型	145	21.45
闪长岩	小型	185	27.37
	大型	1	0.15
	中型	9	1.33
基性侵入岩	小型	16	2.37
	中型	1	0.15
变质岩	特大型	2	0.30
	大型	9	1.33
	中型	75	11.09
合计	小型	132	19.53
		676	100.00

泥石流沿断裂呈带状分布,如图10所示,泥石流隐患分布情况与主要构造走向方向一致。发育在距断裂两侧2.5 km范围内的泥石流隐患点数量占泥石流隐患点总数^[19]的72.19%(图4),受断裂带影响,岩石风化强烈,岩体破碎,形成大量松散固体物质堆积于冲沟源头和沟道,为泥石流提供了大量物源^[19]。

坡度大小会直接影响到泥石流的规模和固体物质的补给方式与数量,据统计分析,研究区内有83.73%的泥石流隐患点分布在沟岸山坡坡度为 $[32^{\circ}, 60^{\circ})$ 的沟中、沟口、中上游主沟和主要支沟,在沟岸山坡坡度 $\leq 15^{\circ}$ 的情况下,发生泥石流的机率很小(图6,表7)。坡面的稳定性是泥石流防治的必要条件。另在山坡坡度陡峭的地方,上方如有较高的陡崖,出现局地降雨也可以加大泥石流发生的可能性。

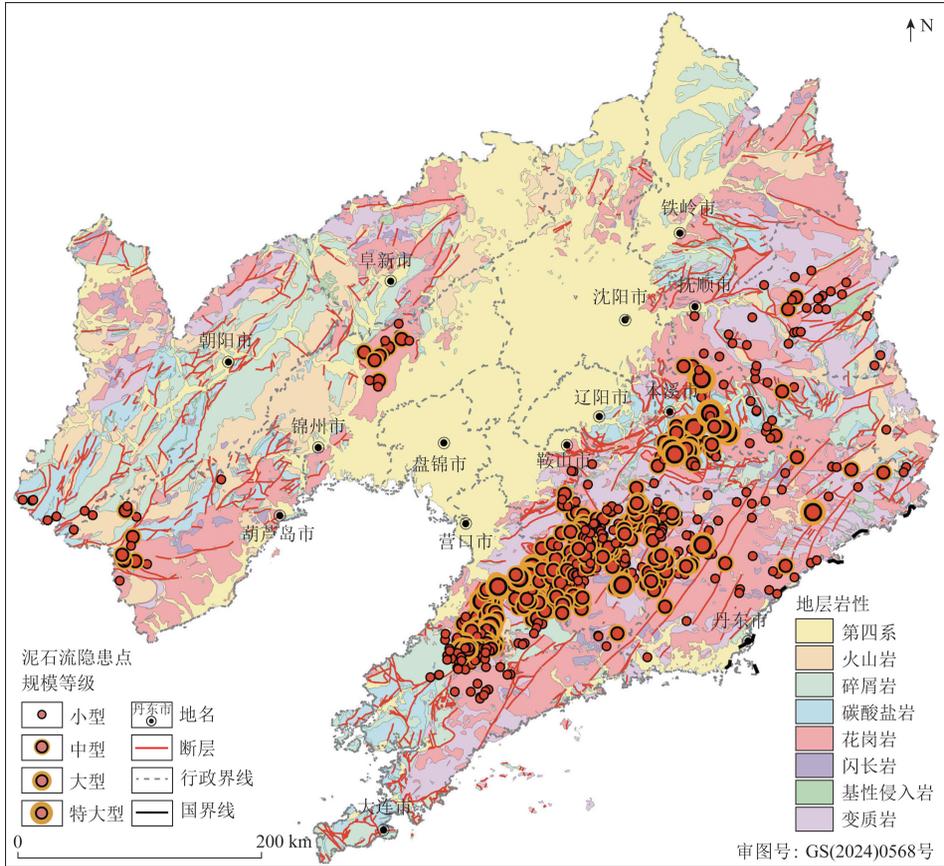


图10 泥石流隐患点与地层分布对比

Fig. 10 Comparison of potential debris flow sites and stratigraphic distribution

表7 泥石流隐患点与边坡坡度关系

Tab.7 Relationship between potential debris flow sites and slope gradient

山坡坡度/(°)	[32°,60°)	(25°,32°]	(15°,25°]	[0°,15°]
泥石流/处	286	280	89	21
数量占比/%	42.31	41.42	13.16	3.11

3.4 地面塌陷和地裂缝隐患点分布规律

地面塌陷和地裂缝隐患点主要分布在辽阳市北部、抚顺市西部、铁岭市西南部和葫芦岛市北部,存在地面塌陷与地裂缝高密度发育区。辽宁省地面塌陷和地裂缝多为矿产开采造成,隐患点发育处地层岩性应为矿体本身或矿体顶部围岩,主要分布在第四系、碎屑岩和碳酸盐岩地区,这3类地区地面塌陷和地裂缝隐患点数量占比为83.91%(表8)。其中第四系地区多为地下水开采,碎屑岩地区多为煤层开采,碳酸盐岩地区多为金属矿山开采所致。辽宁省地面塌陷与地裂缝隐患点分布见图11。

表8 地面塌陷和地裂缝隐患在各类岩石地层中发育占比

Tab.8 Proportion of potential ground collapse and ground fissure sites developed in various rock formations

地层岩性	规模等级	数量/个	数量占比/%
第四系	大型	13	11.02
	中型	9	7.63
	小型	24	20.34
火山岩	中型	1	0.85
	特大型	5	4.24
碎屑岩	大型	4	3.39
	中型	5	4.24
	小型	12	10.17
碳酸盐岩	特大型	1	0.85
	大型	2	1.69
	中型	3	2.54
花岗岩	小型	21	17.80
	大型	1	0.85
	中型	1	0.85
闪长岩	小型	3	2.54
	特大型	1	0.85
变质岩	大型	3	2.54
	小型	9	7.63
合计		118	100.00

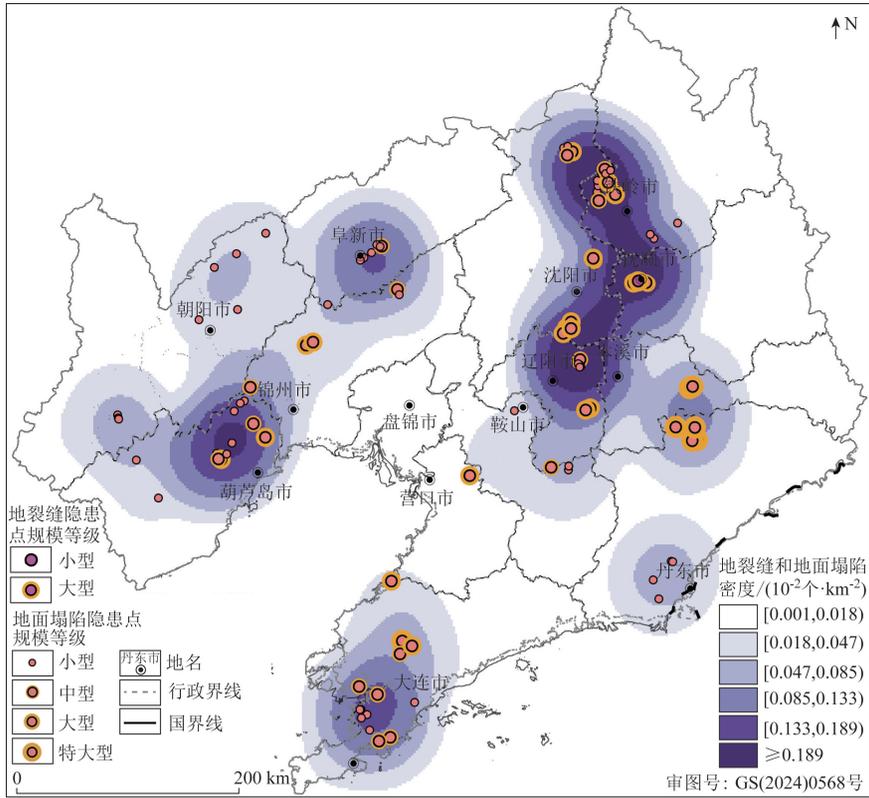


图 11 辽宁省地面塌陷与地裂缝隐患点分布

Fig. 11 Potential ground subsidence and ground fissure sites distribution in Liaoning Province

地面塌陷隐患点共有 111 处,从行政区划上看,除盘锦市,在 13 个市均有分布,其中特大型 6 处,大型 14 处,中型 8 处,小型 83 处。地面塌陷的主要诱因是采矿活动(如采煤)导致的地下采空区塌陷,基本分布在各市主要采矿活动区,其中危害较大的有阜新市海州露天矿、抚顺市西露天矿、本溪彩屯采煤沉陷区、灯塔铍子采煤沉陷区等。地裂缝隐患点共有 7 处,均分布在抚顺市,其中大型 5 处,小型 2 处,裂缝性质大多数为拉张裂缝,个别为下错裂缝。

4 结论及建议

(1)根据 2022 年开展的辽宁省 1:5 万地质灾害风险调查,目前辽宁省共有 1 709 处地质灾害隐患点,主要有滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷和地裂缝 5 种类型,其中滑坡隐患点数量占比为 9.89%,崩塌隐患点数量占比为 43.65%,泥石流隐患点数量占比为 39.56%,地面塌陷隐患点数量占比为 6.50%,地裂缝隐患点数量占比为 0.41%。

(2)从辽宁省各地级市现有地质灾害隐患点数量来看,大连市是地质灾害隐患点数量(417 个)最多的地级市,盘锦市无地质灾害隐患点分布,鞍山市是地质灾害隐患点密度最高的市,为 3.54 个/100 km²,其次是营口市,为 3.15 个/100 km²。

(3)辽宁省滑坡隐患点主要分布在鞍山市东部与辽阳市南部交界处、铁岭市南部和抚顺市北部交界处,山体坡度(25°,60°]之间,距断裂两侧 2.5 km 范围内,由于构造附近节理大量出现,为地表水和地下水的渗入提供了通道,有利于斜坡能量的积累,为滑坡创造了有利条件。并且集中分布在变质岩、花岗岩和碎屑岩中,这些地层岩体强度较低、抗风化相对能力较差,为滑面的形成和滑坡的启动提供了条件。

(4)辽宁省崩塌隐患点主要分布于大连市南部和北部、营口市东部和鞍山市南部以及辽阳市西南部,多发生在距断裂两侧 2.5 km 范围内,坡度大于 60°的陡崖地带,沿河谷及支沟、构造断裂呈带状分布。并且集中分布在花岗岩、变质岩、碎屑岩地区,这类岩石的节理裂隙、断层最易成为岩体的软弱结

构面,这些软弱结构面受雨水软化和风化作用,易形成崩塌。崩塌受工程活动切坡影响大,国道、高速修建时产生大量隧道、岩质斜坡,为崩塌的形成提供了有利条件。

(5)辽宁省泥石流隐患点主要分布在大连市北部、营口市东南部、丹东市西北部以及本溪市西部,沟岸山坡坡度 $[32^{\circ}, 60^{\circ}]$ 之间的沟中、沟口、中上游主沟和主要支沟,距断裂两侧 2.5 km 范围的花岗岩、混合花岗岩、片麻岩中。此类岩石中矿物结晶颗粒粗大,易于风化,并且受断裂带影响,形成大量松散固体物质堆积于冲沟源头和沟道,为泥石流提供了大量物源。受辽东南地区特殊地形因素影响,降水量在山地多于河谷,迎风坡多于背风坡,这种地形降水分布不均也为泥石流的发生提供了有利条件。

(6)辽宁省地面塌陷和地裂缝隐患点主要分布在辽阳市北部、抚顺市西部、铁岭市西南部和葫芦岛市北部。地面塌陷的主要诱因是采矿活动(如采煤)导致的地下采空区塌陷,基本分布在各市主要采矿活动区。

(7)研究可进一步揭示辽宁省地质灾害隐患点的分布规律情况,深化对地质灾害的科学认知,为地质灾害的预测、评估、防治和防灾减灾工作提供数据支撑和科学参考。

参考文献 (References):

[1] 武爽. 辽宁省人类活动、地质灾害及防灾减灾研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2009.
Wu S. The study on Geological Hazards and Disaster Prevention and Reduction Human Activities in Liaoning Province [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2009.

[2] 王鹏, 罗银花, 高世缘, 等. 辽宁西部地区地质灾害风险评价[J]. 防灾减灾学报, 2023, 39(4): 88-92.
Wang P, Luo Y H, Gao S Y, et al. Risk assessment of geological hazards in western Liaoning Region [J]. Journal of Disaster Prevention and Reduction, 2023, 39(4): 88-92.

[3] 金澍. 辽宁抚顺地区地质灾害评价及防治措施研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
Jin S. Study on Geological Disaster Assessment and Prevention Measures in Fushun Area of Liaoning Province [D]. Changchun: Jilin University, 2020.

[4] 翟富荣, 梁帅, 金鑫, 等. 遥感技术在地质灾害调查及灾害规律研究中的应用——以辽宁省建昌县为例[J]. 化工矿产地质, 2020, 42(2): 155-161.
Zhai F R, Liang S, Jin X, et al. Application of remote sensing technology in geological hazard investigation and hazard law re-

search; Taking Jianchang county in Liaoning province as an example [J]. Geology of Chemical Minerals, 2020, 42(2): 155-161.

[5] 赵彤彤. 辽宁省常见的地质灾害及防治措施[J]. 国土资源, 2018(3): 54-55.
Zhao T T. Common geological hazards and their prevention and control measures in Liaoning province [J]. Land & Resources, 2018(3): 54-55.

[6] 刘莎莎, 高俊华, 尹向红, 等. 基于遥感的辽宁省采煤沉陷区治理调查[J]. 国土资源导刊, 2022, 19(1): 17-22.
Liu S S, Gao J H, Yin X H, et al. Investigation on coal mining subsidence area control based on remote sensing in Liaoning province [J]. Land & Resources Herald, 2022, 19(1): 17-22.

[7] 杨吉红, 李剑, 侯欣雨. ArcGIS在湖北省公路地质灾害危险性评估中的应用[J]. 山西建筑, 2024, 50(1): 73-76.
Yang J H, Li J, Hou X Y. Application of ArcGIS in the risk assessment of highway geological hazards in Hubei province [J]. Shanxi Architecture, 2024, 50(1): 73-76.

[8] 李永威, 徐林荣, 陈昀灏, 等. 基于天-空-车-地一体化铁路路基灾害隐患早期识别与服役状态监测[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2024, 49(8): 1392-1406, 1421.
Li Y W, Xu L R, Chen Y H, et al. Intergrated space-air-train-ground multi-source techniques for early detection of subgrade disasters and service status of railway subgrade [J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2024, 49(8): 1392-1406, 1421.

[9] 李志才, 陈智, 武军郢, 等. 基于高频 GNSS 观测的甘肃积石山 Ms6.2 级地震同震形变[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2025, 50(2): 236-246.
Li Z C, Chen Z, Wu J L, et al. Coseismic deformation of the Ms 6.2 Jishishan earthquake in Gansu province based on high-frequency GNSS observation [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2025, 50(2): 236-246.

[10] 董继红, 张肃, 梁京涛, 等. 利用 Stacking/SBAS 技术在滇西北地区滑坡隐患的识别对比[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2023, 42(4): 21-31.
Dong J H, Zhang S, Liang J T, et al. Comparison of landslide hazard identification in Northwest Yunnan using Stacking/SBAS technology [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2023, 42(4): 21-31.

[11] 许强, 彭大雷, 范宣梅, 等. 甘肃积石山 Ms6.2 级地震触发青海中川乡液化型滑坡-泥流特征与成因机理[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2025, 50(2): 207-222.
Xu Q, Peng D L, Fan X M, et al. Preliminary study on the characteristics and initiation mechanism of Zhongchuan flowslide due to liquefaction triggered by the Ms 6.2 Jishishan earthquake in Gansu province [J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2025, 50(2): 207-222.

[12] 铁永波, 张宪政, 曹佳文, 等. 积石山 Ms6.2 级和泸定 Ms6.8 级地震地质灾害发育规律对比[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2024, 51(1): 9-21, 59.
Tie Y B, Zhang X Z, Cao J W, et al. Comparative research of the

- characteristics of geological hazards induced by the Jishishan (Ms6. 2) and Luding (Ms6. 8) earthquakes [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2024, 51(1): 9–21, 59.
- [13] 陈博, 宋闯, 陈毅, 等. 2023年甘肃积石山 Ms 6.2 地震同震滑坡和建筑物损毁情况应急识别与影响因素研究[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2025, 50(2): 322–332.
- Chen B, Song C, Chen Y, et al. Emergency identification and influencing factor analysis of coseismic landslides and building damages induced by the 2023 Ms 6. 2 Jishishan (Gansu, China) Earthquake [J]. *Journal of Wuhan University (Information Science Edition)*, 2025, 50(2): 322–332.
- [14] 刘玉伟, 甘建军, 余广文, 等. 江西省地质灾害分布特征及诱发因素分析[J]. *四川地质学报*, 2023, 43(4): 708–712.
- Liu Y W, Gan J J, Yu G W, et al. Analysis on distribution characteristics and induced factors of geological disasters in Jiangxi province [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2023, 43(4): 708–712.
- [15] 王志红, 王娟, 初娜, 等. 辽宁省矿山地质环境评价与治理分区研究[J]. *矿产勘查*, 2023, 14(3): 510–517.
- Wang Z H, Wang J, Chu N, et al. Study on mine geological environment evaluation and treatment zoning in Liaoning province [J]. *Mineral Exploration*, 2023, 14(3): 510–517.
- [16] 王立朝, 侯圣山, 董英, 等. 甘肃积石山 Ms6. 2 级地震的同震地质灾害基本特征及风险防控建议[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2024, 35(3): 108–118.
- Wang L C, Hou S S, Dong Y, et al. Basic characteristics of coseismic geological hazards induced by Jishishan Ms6. 2 earthquake and suggestions for their risk control [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2024, 35(3): 108–118.
- [17] 孙丽影, 张弘怀, 邱昌骏, 等. 宁波地质灾害影响因子权重的时变性与雨量阈值研究[J]. *华东地质*, 2024, 45(2): 218–227.
- Sun L Y, Zhang H H, Qiu C J, et al. Temporal variability of influence factors weights and rainfall thresholds of geological hazards in Ningbo City [J]. *East China Geology*, 2024, 45(2): 218–227.
- [18] 刘帅, 王涛, 曹佳文, 等. 基于优化随机森林模型的降雨群发滑坡易发性评价——以西秦岭极端降雨事件为例[J]. *地质通报*, 2024, 43(6): 958–970.
- Liu S, Wang T, Cao J W, et al. Susceptibility assessment of precipitation-induced mass landslides based on optimal random forest model: Taking the extreme precipitation event in western Qinling mountains as an example [J]. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(6): 958–970.
- [19] 徐伟, 铁永波, 郑玄, 等. 凉山州地质灾害发育特征与时空分布规律[J]. *沉积与特提斯地质*, 2024, 44(3): 478–492.
- Xu W, Tie Y B, Zheng X, et al. Development characteristics and temporal-spatial distribution of geological hazards in Liangshan Prefecture [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2024, 44(3): 478–492.
- [20] 赵旭. 辽宁省海岸带地质环境适宜性研究[D]. 大连: 吉林大学, 2014.
- Zhao X. The Study of Coastal Zone Geological Environment Suitability, Liaoning Province [D]. Dalian: Jilin University, 2014.
- [21] 万芳. 关于辽宁省高职教育特色建设的几点建议[J]. *才智*, 2014(36): 264–265.
- Wan F. Some suggestions on the characteristic construction of higher vocational education in Liaoning province [J]. *Intelligence*, 2014(36): 264–265.
- [22] 李志远, 刘超. 简述岫岩县西北部地质灾害调查[J]. *科技传播*, 2016, 8(8): 121–122.
- Li Z Y, Liu C. Brief description of the geological hazard survey in northwest Xiuyan Manchu Autonomous County [J]. *Public Communication of Science & Technology*, 2016, 8(8): 121–122.
- [23] 丁阳. 辽宁省山地灾害特点及对策[J]. *东北水利水电*, 2005, 23(12): 48–49, 56.
- Ding Y. Characteristics and measures of mountainous damage in Liaoning province [J]. *Water Resources & Hydropower of Northeast China*, 2005, 23(12): 48–49, 56.
- [24] 韩明友, 赵锡刚. 辽宁省泥石流特点及灾害防治对策[J]. *东北水利水电*, 2009, 27(5): 49–50.
- Han M Y, Zhao X G. Characteristics and prevention measure of debris flow in Liaoning province [J]. *Water Resources & Hydropower of Northeast China*, 2009, 27(5): 49–50.
- [25] 罗锡宜, 邹杰, 易守勇, 等. 佛山市南海区里水石塘村猪仔狸岗滑坡特征与成因研究[J]. *西部资源*, 2017(4): 118–119, 150.
- Luo X Y, Zou J, Yi S Y, et al. Research for characteristics and genesis of Zhu Zai Li gang landslide in Nanhai District of Foshan city Shuitang village [J]. *Western Resources*, 2017(4): 118–119, 150.
- [26] 徐静. 皖南山区斜坡碎石土工程地质特性研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- Xu J. Study on Engineering-Geological Characteristics of Gravel-Soil Slopes In Southern Mountainous Area of Anhui Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [27] 辽宁省地质勘察院. 中国区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 1171–1177.
- Liaoning Institute of Geological Exploration Co., Ltd. Regional Geology of China [M]. Beijing: Geology Press, 2017: 1171–1177.
- [28] 徐江, 罗本全, 李卿辰, 等. 四川宜宾井场滑坡成因分析与治理措施[J]. *中国地质调查*, 2024, 11(1): 75–82.
- Xu J, Luo B Q, Li Q C, et al. Cause analysis and control measures of landslide in Yibin well site of Sichuan province [J]. *Geological Survey of China*, 2024, 11(1): 75–82.
- [29] 刘文, 王猛, 王朋, 等. 国道 219 沿线崩塌地质灾害隐患遥感调查及发育分布规律[J]. *中国地质调查*, 2023, 10(5): 99–108.
- Liu W, Wang M, Wang P, et al. Remote sensing investigation and development distribution regularity of collapse and landslide geological hazard potentials along National Highway 219 [J]. *Geological Survey of China*, 2023, 10(5): 99–108.
- [30] 唐雯. 辽宁省北镇市地质灾害形成条件及影响因素分析[J]. *硅谷*, 2015, 8(1): 204–205.

Tang W. Analysis on formation conditions and influencing factors of geological hazards in Beizhen City, Liaoning province [J]. Silicon Valley, 2015, 8(1): 204-205.

华北自然资源, 2019(1): 101, 103.

Zhao Y X. An analysis of the relationship between the landforms and geological disasters in Qinyuan County, Shanxi province [J].

Huabei Natural Resources, 2019(1): 101, 103.

[31] 赵亚雄. 浅析山西省沁源县地形地貌与地质灾害的关系 [J].

Development law of geological hazard potential sites in Liaoning Province

WANG Xuan^{1,2}, LI Ying^{1,2}, ZHANG Chengbin^{1,2}, LU Junshi^{1,2}, ZHAO Lijun¹, WANG Ran^{1,2},
YANG Huan^{1,2}, ZHANG Xudong^{1,2}

(1. Liaoning Provincial Institute of Geological Exploration, Dalian Liaoning 116100, China; 2. Liaoning High-resolution Observation System Application and Service Center of Geological Resources and Environmental, Dalian Liaoning 116100, China)

Abstract: In order to study the development law of geological hazard potential sites in Liaoning Province and provide decision support for disaster prevention and mitigation, the authors in this paper used results of 1:50 000 geological hazard risk survey project, ALOS satellite DEM data, regional geological data of Liaoning Province and ArcGIS software to conduct research by kernel density analysis, neighborhood analysis, slope analysis, aspect analysis, mountain shadow, raster reclassification and other methods. The results show that geological hazard potential sites are mostly developed in the low mountainous and hilly areas in the northwestern Liaoning and the mountainous areas in the eastern and southern Liaoning. Dalian is the city with the largest number of geological hazard potential sites, and Anshan is the city with the highest density of geological hazard potential sites. The landslide potential sites are mostly located in areas with strong terrain cutting and steep slopes. And the collapse potential sites are mainly controlled by granite, metamorphic rock and clastic rock, and mostly occur in steep cliffs with a slope greater than 60 degrees. The debris flow potential sites are mainly developed in granite, mixed granite and gneiss within 2.5 km from both sides of the fault. Ground subsidence and ground fissures are primarily caused by mining activities, and they are mainly distributed in the Quaternary strata, clastic rocks, and carbonate rocks. This research could further reveal the distribution patterns of geological disasters in Liaoning Province, and deepen the scientific understanding of geological disasters, which could provide data support and scientific references for the prediction, assessment, prevention and mitigation of geological disasters.

Keywords: geological hazards; spatial distribution; GIS; Liaoning Province

(责任编辑: 刘丹)