



长吉图经济区地质灾害易发性区划研究

石旭飞, 江山, 郭晓东, 赵海卿

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110000

摘 要: 利用地质灾害综合危险性指数法对长吉图经济区崩塌、滑坡、泥石流等环境地质灾害的易发性进行分区。研究区内诱发地质灾害最主要的因素是降水, 其次为地形地貌。和龙市、龙井市、延吉市、珲春市、安图县部分地区、汪清县嘎呀河上游沿岸以及长白山天池周边等地为崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害高易发区, 约占研究区总面积的 22.31%, 共有地质灾害点 726 处, 平均密度为 4.52 个/100 km²; 蛟河市、永吉县、敦化市、汪清县等低山丘陵地区为崩塌、滑坡、泥石流地质灾害中易发区, 约占研究区总面积 48.10%, 共有地质灾害点 671 处, 平均密度为 1.94 个/100 km²; 伊通县、吉林市、长春市、德惠县、农安县一带为崩塌、滑坡、泥石流地质灾害低易发区, 约占研究区总面积 29.59%, 共有地质灾害点 157 处, 平均密度为 0.74 个/100 km²。

关键词: 崩塌; 滑坡; 泥石流; 易发性区划; 长吉图经济区; 吉林省

VULNERABILITY ZONING OF MAIN GEOLOGICAL HAZARDS IN CHANGCHUN-JILIN-TUMEN ECONOMIC ZONE

SHI Xu-fei, JIANG Shan, GUO Xiao-dong, ZHAO Hai-qing

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: The synthetic risk index method is used for the vulnerability zoning of environmental geological hazards such as collapse, landslide and debris flow in Changchun-Jilin-Tumen Economic Zone. Precipitation is the most important factor inducing geohazards in the region, followed by topography and landform. Helong City, Longjing City, Yanji City, Hunchun City, part of Antu County, the upper reaches of Gaya River in Wangqing County and surrounding area of Tianchi Lake in Changbai Mountain are highly prone to the above geohazards, accounting for 22.31% of the study area, with 726 geohazard sites and average density of 4.52 sites per 100 km²; Low hilly areas such as Jiaohe City, Yongji County, Dunhua City and Wangqing County belong to medium susceptible area, accounting for about 48.10% with 671 geohazard sites and average density of 1.94 sites per 100 km²; Yitong County, Jilin City, Changchun City, Dehui County and Nong'an County are of low susceptible areas, accounting for about 29.59% with 157 geohazard sites and average density of 0.74 site per 100 km².

Key words: collapse; landslide; debris flow; vulnerability zoning; Changchun-Jilin-Tumen Economic Zone; Jilin Province

收稿日期:2021-09-03;修回日期:2021-10-01. 编辑:李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“松辽流域水文地质与水资源调查监测”(DD20221753);“长吉图地质环境调查评价与区划专题和综合研究”(1212011140027).

作者简介: 石旭飞(1986—),男,博士,高级工程师,主要从事水文地质与环境地质调查研究工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//shixufei1986@163.com

通信作者: 江山(1985—),男,硕士,高级工程师,主要从事遥感地质研究工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//jiangshan85@qq.com

0 引言

长(长春)吉(吉林)图(图们)经济区是我国东北地区重要的工业基地,是振兴东北老工业基地国家战略的重要组成部分^[1]。但是,在城市建设与发展过程中,各种自然与人为诱发的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等地质灾害^[2-4]严重阻碍了长吉图经济区经济社会的发展^[5-6]。因此,如何保持人类经济活动在无害少灾的环境中生存发展并保持与地质环境较为协调的关系,是摆在区域规划者、城市建设者、环境地质研究者面前一个难题。

解决上述问题的一个重要方法是对研究区地质灾害易发性进行区划。目前国内外研究地质灾害易发性区划的方法主要有 GIS 法^[7-10]、数理统计法^[11-15]、数学模型法^[16-19]。由于地质灾害系统的复杂性和不确定性^[20-21],上述方法均是基于地质灾害的影响因素和地质现象作出宏观评价,有关地质灾害易发性区划定量研究还较为缺乏。

综上,本研究在调查分析长吉图经济区内存在的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等环境地质问题的数量及其影响因素的基础上,利用地质灾害综合危险性指数法对上述地质灾害的易发性进行定量研究并分区,为研究区优化配置利用地质资源与国土空间规划提供科学依据。

1 研究区概况

长吉图经济区位于吉林省中东部,包括吉林省长春市城区、德惠市、九台市和农安县,吉林市城区、蛟河市和永吉县,及延边朝鲜族自治州全境,面积约 72 000 km²。研究区属温带大陆性季风气候,降水多集中于 6—9 月份,占全年降水量的 80%以上。雨季多暴雨,常造成江河泛滥,诱发地质灾害。区内河网密布,以长白山群峰为中心,向西北和东北分别形成松花江、图们江二大水系(图 1)。

研究区地势东南高西北低,起伏较大。全区自东

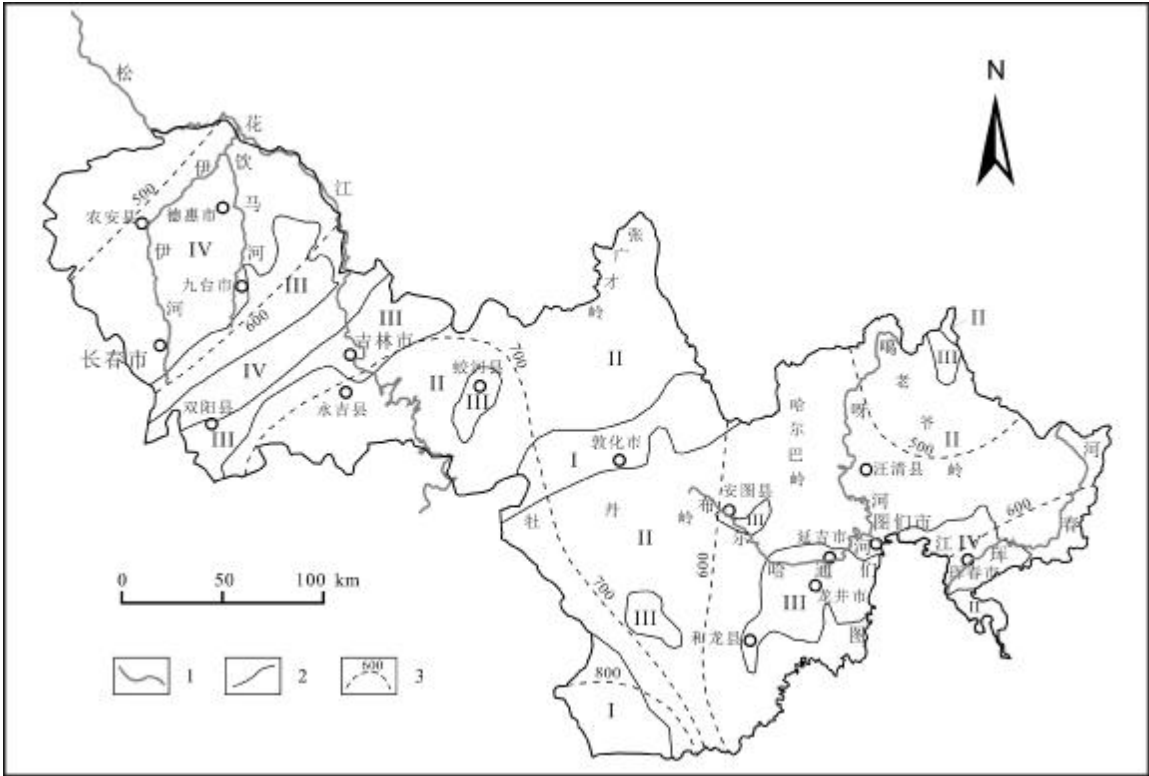


图 1 长吉图经济区地貌分区及多年平均降水量等值线图

Fig. 1 Geomorphic division and multiyear average precipitation isoline in the CJT Economic Zone

1—河流(river); 2—地貌分区界线(geomorphic zoning boundary); 3—多年平均降雨量等值线(multiyear average precipitation isoline); I—侵蚀火山地貌(eroded volcanic landform); II—侵蚀构造地貌(eroded structural landform); III—构造剥蚀地貌(structural denudation landform); IV—剥蚀堆积地貌(denudation-accumulation landform)

向西以北东向为主的山岭、盆地平行排列,相间分布。研究区基岩主要有以奥陶系和侏罗系泥岩、砂质泥岩、粉砂岩互层为主要特征的泥质岩类以及变质的中基性-酸性岩浆岩、碳酸盐岩和三叠系、白垩系夹煤层的沉积碎屑岩。研究区第四系分布广泛,以河流冲积、冲洪积和冰川堆积为主。中更新统黄土状亚砂土、亚黏土比较发育。

研究区地下水资源丰富,在山区地下水主要赋存于基岩裂隙中,而在平原区及山间盆地、河谷区地下水主要赋存于松散堆积物的孔隙中,富水性差别大。

2 研究方法

地质灾害易发区指具备地质灾害发生的地质构造、地形地貌和气候条件,或可能发生地质灾害的区域。作者在分析研究区内主要环境地质问题的特征与影响因素的基础上,利用原国土资源部下发的《〈县(市)地质灾害调查与区划基本要求〉实施细则》^[22]中的地质灾害综合危险性指数法对研究区地质灾害易发区进行划分,进而分析研究区环境地质问题的分布特征。

将研究区进行网格剖分,每个单元面积为 $1\text{ km} \times 1\text{ km} \sim 3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 。对于地质条件变化不大的地区,单元面积可取高限;对于地质条件复杂的地区,单元面积可取低限。计算每个单元格的地质灾害综合危险性指数 Z :

$$Z=Z_q \cdot r_1 + Z_x \cdot r_2$$

式中: Z_q 为潜在地质灾害强度指数; r_1 为潜在地质灾害强度权值; Z_x 为现状地质灾害强度指数; r_2 为现状地质灾害强度权值。

潜在地质灾害强度指数按以下公式计算:

$$Z_q = \sum T_i \cdot A_i = D \cdot A_D + X \cdot A_X + Q \cdot A_Q + R \cdot A_R$$

式中, T_i 分别为控制评价单元地质灾害形成的地质条件(D)、地形地貌条件(X)、气候植被条件(Q)、人为条件(R)充分程度的表度分值,各评价指标的选取与评判标准依据具体情况而定; A_i 分别为各条件的权值,根据实际情况分配。

现状地质灾害强度指数可以用单元格灾害点密度、灾害面积密度以及灾害体积密度求得:

$$Z_x = a + b + c$$

式中, a 为归一化处理后的灾害个数密度系数; b 为归一化处理后的灾害面积密度系数; c 为归一化处理后的

的灾害体积密度系数,地面塌陷灾害体积密度系数为0。

根据各评价单元的地质、地形地貌、气候以及人类工程活动等条件,利用 MapGIS 软件空间分析功能计算各评价单元的潜在地质灾害强度指数与现状地质灾害强度指数,赋权后计算得到各评价单元的地质灾害综合危险性指数,并根据计算结果合并相同单元格,划定地质灾害易发区。

3 主要地质灾害及其影响因素

3.1 崩塌

崩塌是长吉图经济区突发性地质灾害中发生频度最大的灾害类型,区内一般包括岩崩和土崩两种类型。

研究区岩崩多分布在坡角受人为破坏、岩体裸露、坡度较陡的山坡处,尤其是江河沿岸,具有崩落滚动特点,水平位移较小。区内土崩坡角基本处于天然状态,坡度 $40^\circ \sim 45^\circ$ 左右,多发生于表层松散物质发育、植被稀少的山体坡角处。崩塌时具有一定的水平位移,面积较大,厚度较小。单体崩塌具有多次重复发生性,表现为某一崩塌带(群)一年内或多年内多次重复发生,有时每年发生 2~5 次,如长白山天池地区。

研究区崩塌的区域空间分布规律主要表现为在某些地区成群、成带、连片地集中分布,绝大多数分布在中低山区,其次为低山丘陵区,尤其是集中分布在老岭中山区及图们江沿岸,均发育在地形高差大(一般高差大于 300 m)、坡度陡(坡角 40° 以上)的地区。区内崩塌点岩土体类型以岩浆岩为主,占 72.8%;碎屑岩占 15.9%;变质岩占 11.2%。此与区内岩体类型分布面积比例基本一致。从发生时间上看,发生于 6—9 月的崩塌占研究区全年崩塌的 87.4%,其中 7—8 月占 65.6%,说明崩塌与降水关系密切,具有明显的正相关性。

3.2 泥石流

泥石流是研究区东部中低山区分布较普遍、活动较频繁的地质灾害,主要以河谷型水石流和沟谷型泥石流为主。区内引发泥石流地质灾害的降雨临界值约为:24 h 降水量大于 100 mm,或 48 h 连续降水量大于 150 mm。研究区大型泥石流周期为 10~20 年发生一次,小型泥石流灾害发生周期为 2~3 年发生一次。

研究区泥石流绝大部分分布在张广才岭-龙岗山的中低山区。河谷型水石流分布在山间坡降较大、地

形开阔,物源广泛的河谷中,其形成区与流通区无明显界线,搬运路程较长,具有流速快、能量大、破坏力强的特点。沟谷型泥石流分布于中低山山区易于汇水、地形坡度大、冲沟发育、无常年流水、碎屑物质丰富的沟谷中,物源范围小,具有发生频率高、规模小的特点。

研究区泥石流多以稀性泥石流为主,一般均发育多条泥石流支沟,坡降 20° 左右,常成群集中分布。从泥石流中的固体碎屑物质组成上看,河谷型由碎石、砾石、砂及黏土组成,粒径大小相差不太悬殊,有一定的磨圆度和分选性;沟谷型由块石、角砾、砂、黏土及耕植土组成,粒径大小相差十分悬殊,磨圆度差,且无分选性。泥石流流体运动特征也有差别。河谷型泥石流属稀性泥石流,固体碎屑物质在流体中具有明显的垂直分带性,土粒与砂粒呈悬浮状态,紊流运动,被搬运距离远;碎石、砾石在流体中为半悬浮状态,在流体下部以翻滚、跳跃和被推移的搬运,被搬运距离相对较近。沟谷型泥石流属黏性,固体碎屑物质含量高,其运动除靠流体搬运外,由于坡度大,自身还具有较大的下滑力。因此,固体碎屑物质在流体中没有明显的垂直分带性,块石、碎石、砂、土混杂。研究区泥石流的堆积特征主要有:河谷型泥石流堆积区比例大,自上而下略有粒径由大到小的总体趋势,多次活动后,堆积扇轴方向变化较小,堆积物叠加为主;沟谷型泥石流堆积区比例很小,粒径分布无明显规律,多次活动后,堆积扇轴摆动大,堆积物相接,部分叠加方式分布。

坡面型泥石流主要分布在老岭山脉,一般分布在山体坡角 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 的坡面稍凹处,其特点是流通区极短,供给区与堆积区几乎相连。堆积物近锥体型,规模一般较小,泥石流沟总长度百余米左右,供给区长度 $50\sim 80$ m,堆积区长 $30\sim 60$ m,堆积物无分选,暴发时间短。

3.3 滑坡

研究区内滑坡分布较少,但危害较大,多属岩体蠕动滑坡,具有间歇性活动特点,已发生的滑坡均为小型。研究区内滑坡按动力成因多属自然滑坡,按滑坡体物质组成划分多属土体滑坡,滑动面为碎石土滑坡体与基岩接触面。区内滑坡具有较明显的形态特征一致性,即滑坡要素基本相同。滑坡体上部由破碎松散的土石组成,表面起伏不平,周界不明显;滑坡壁高度 $1\sim 5$ m左右,陡度 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 左右;滑动面(带)倾向与坡体总体坡度基本一致,与滑动方向基本一致的剪切裂

缝成群出现,一般延伸长度 $20\sim 30$ m,个别达 50 m左右,多数宽度为 $5\sim 10$ cm,最宽达 30 cm,相对错距一般 $0.3\sim 1.0$ m,最大为 1.5 m。

3.4 地面塌陷

地面塌陷是研究区造成单位面积国民经济损失最大的地质灾害,多为采矿引起。多年以来,各矿山均有不同程度的地面塌陷发生,尤其是珲春市、九台市、蛟河市等煤矿分布较多的城市。研究区地面塌陷坑一般为近椭圆形或近圆形,比采空区范围稍大,塌陷深度从内到外,由大变小,有时数个塌陷坑相连或部分重叠。

4 环境地质问题易发性区划及其分布特征

通过利用地质灾害综合危险性指数法对研究区地质灾害易发性进行计算,将研究区环境地质问题分为4个高易发区、2个中易发区和3个低易发区(图2)。

4.1 地质灾害高易发区(I)

主要分布于地质构造密集,岩土体类型复杂,年降雨量较大的长白中低山区,分布面积 $16\,048\text{ km}^2$,占研究区总面积的 22.31% 。区内有崩塌369处,滑坡61处,泥石流285处,地裂缝及地面塌陷11处,共计726处,占研究区地质灾害点总数的 46.75% ,平均地质灾害点密度为 4.52 个/ 100 km^2 。

(1)和龙-龙井-延吉-珲春高易发区(I₁)

位于长吉图经济区的东南部的和龙市、龙井市、延吉市及珲春市和西北部的安图县部分地区,分布面积 $11\,751\text{ km}^2$,占研究区总面积的 16.34% 。区内岩土体类型主要为坚硬的中厚层状以砂砾岩为主的岩组、软弱的中层—薄层状以砂砾岩为主的岩组及坚硬块状以花岗岩为主的侵入岩岩组,北西向及北东向断裂发育。区内地貌由长白山火山与熔岩台地区、延边中山低山区及延吉、和龙、图们、珲春丘陵盆地等组成。区内有崩塌336处,泥石流152处,滑坡58处,地裂缝及地面塌陷7处,共计553处,占研究区地质灾害点总数的 35.61% ,平均密度为 4.71 个/ 100 km^2 ,为崩塌、滑坡、泥石流高易发区域。

(2)嘎呀河上游高易发区(I₂)

位于汪清县嘎呀河上游沿岸,分布面积 $2\,772\text{ km}^2$,占研究区总面积的 3.85% 。区内岩土体类型主要为砂砾岩及软弱的中厚—薄层状黏土,为泥石流的形成提供了丰富的物源条件。区内地貌类型主要为中低山。

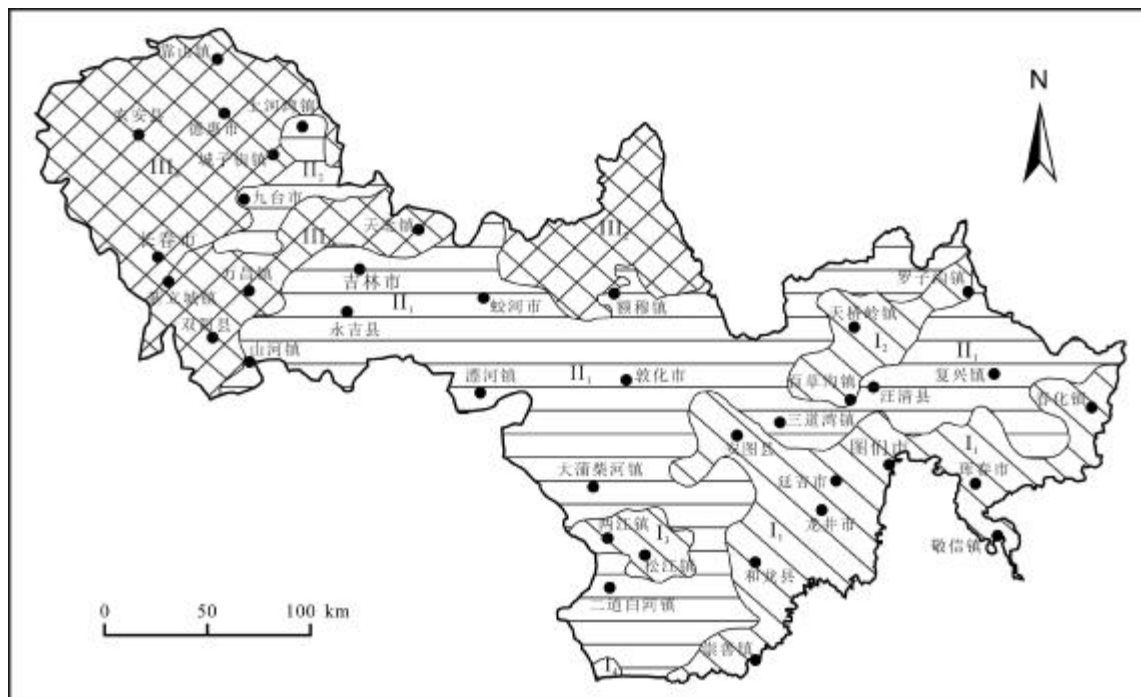


图2 长吉图经济区环境地质问题分区图

Fig. 2 Environmental geological zoning map of the CJT Economic Zone

I—地质灾害高易发区(high-risk area of geohazard); II—地质灾害中易发区(medium-risk area of geohazard); III—地质灾害低易发区(low-risk area of geohazard)

区内有泥石流 76 处,崩塌 14 处,滑坡 2 处,共计 92 处,占研究区地质灾害点总数的 5.92%,平均密度为 3.32 个/100 km²,为泥石流高易发区。

(3)安图县松江-永庆高易发区(I₃)

位于研究区东南部安图县所属三道乡、松江镇、两江镇、小沙河乡及永庆乡,分布面积 1 406 km²,占研究区总面积的 1.95%。区内岩土体类型以较坚硬夹软弱的中厚—薄层状砂砾岩黏土岩互层岩组为主,地貌类型主要为中低山。区内有泥石流 55 处,崩塌 14 处,地裂缝及地面塌陷 4 处,共计 73 处,占研究区地质灾害点总数的 4.70%,平均密度为 5.19 个/100 km²,为泥石流高易发区域。

(4)长白山天池高易发区(I₄)

位于长白山天池周边,分布面积 119 km²,占研究区总面积的 0.17%。区内岩土体类型主要为块状坚硬玄武岩,地貌属长白山火山中山区,地形坡度大。崩塌、泥石流地质灾害发生频率高,现有崩塌 5 处,泥石流 2 处,滑坡 1 处,总计 8 处,占研究区地质灾害点总数的 0.52%,平均密度为 6.72 个/100 km²,为崩塌、泥石流、滑坡高易发区域。

4.2 地质灾害中易发区(II)

主要分布在岩土体类型较多或地质构造较密集的东部低山丘陵及部分中低山地区,分布面积 34 599 km²,占研究区总面积 48.10%。区内有崩塌 364 处,滑坡 63 处,泥石流 179 处,地面塌陷及地裂缝 65 处,共计 671 处,占研究区地质灾害点总数的 43.21%,平均密度为 1.94 个/100 km²。

(1)吉林-蛟河-敦化-汪清中易发区(II₁)

位于研究区中部及东部的蛟河市、永吉县、敦化市、汪清及安图县的部分地区,分布面积 32 595 km²,占研究区总面积的 45.31%。区内岩土体类型复杂,变质岩、花岗岩、碎屑岩、土体均有分布,地貌类型大部分为低山丘陵,部分为中低山。区内有崩塌 313 处,滑坡 62 处,泥石流 173 处,地面塌陷及地裂缝 53 处,共计 601 处,占研究区地质灾害点总数的 38.70%,平均密度为 1.84 个/100 km²。区内受人类工程活动影响比较强,岩土体较为松散,在公路沿线及岩土体类型接触带附近发生崩塌灾害较多,加之年平均降雨量较大,在汛期常发生泥石流等突发性地质灾害,为崩塌、泥石流中易发区域。

(2)九台-上河湾中易发区(Ⅱ₂)

位于九台市,呈带状分布,面积2 004 km²,占研究区总面积的2.79%。区内岩土体类型为砂砾岩、火山岩及砂类土,地貌类型为低山丘陵及冲洪积台地,地形坡度10~40°。区内煤矿、采石场较多,人类工程活动比较剧烈,地面塌陷灾害较为发育。区内有崩塌51处,滑坡1处,泥石流6处,地面塌陷及地裂缝12处,共计70处,占研究区地质灾害点总数的4.51%,平均密度为2.79个/100 km²。由于区内九台煤矿开采并且修建铁路、公路较多,因此引发地质灾害发生较多,属崩塌、地面塌陷为主的中等易发区域。

4.3 地质灾害低易发区(Ⅲ)

主要分布在岩土体类型较少,地质构造密度较低的地区以及平原区,分布面积21 288 km²,占研究区总面积的29.59%。区内有崩塌123处,滑坡10处,泥石流23处,地面塌陷及地裂缝1处,共计157处,占研究区地质灾害点总数的10.11%,平均密度为0.74个/100 km²。该区域大部地区地形比较平缓,地质构造较不发育,丘陵区森林植被覆盖较好,不易发生危害性较大的地质灾害。

(1)双阳-万昌-孤店子低易发区(Ⅲ₁)

位于伊舒槽地、伊通县及吉林市,分布面积5 270 km²,占研究区总面积的7.33%。区内有崩塌28处,滑坡3处,泥石流11处,地面塌陷及地裂缝1处,共计43处,占研究区地质灾害点总数的2.77%,平均密度为0.82个/100 km²。区内岩土体类型较简单,以砂类土和黏性土为主。该区域地质灾害以土质崩塌、水土流失为主,主要分布在河流沿岸,其表现形式多为人工切坡或河流冲刷形成的陡坎而导致的崩塌。

(2)林海-海浪低易发区(Ⅲ₂)

位于蛟河市与敦化市北部蛟河、牡丹江的上游,分布面积4 672 km²,占研究区总面积的6.49%。区内有崩塌28处,滑坡6处,泥石流12处,共计46处,占研究区地质灾害点总数的2.96%,平均密度为0.98个/100 km²。区内岩土体类型主要有坚硬块状中厚花岗岩、薄层状软弱花岗岩风化壳、较坚硬块状-厚层状火山碎屑岩,为崩塌低易发区域。

(3)平原地区为主地质灾害低易发区(Ⅲ₃)

主要分布在长春-德惠-农安一带,地形比较平坦,分布面积11 346 km²,占研究区总面积的15.77%。

区内共有67处小型崩塌点,1处滑坡点,共计68处,占研究区地质灾害点总数的4.38%,平均密度为0.60个/100 km²。区内岩土体类型较简单,主要为黄土状亚黏土、亚砂土、砂、泥岩等。区内地质灾害以土质崩塌为主,多分布在河流沿岸,其表现形式多为人工切坡或河流冲刷形成的陡坎。

5 结论

(1)研究区内崩塌、滑坡、泥石流地质灾害发生的主要影响因素是降水、地形地貌、岩土体类型、地质构造、人类工程活动。区内地质灾害的发生多由以上数种因素共同作用产生,其中降水是诱发地质灾害的最主要的原因,其次为地形地貌。

(2)研究区内的和龙市、龙井市、延吉市、珲春市、安图县部分地区、汪清县嘎呀河上游沿岸以及长白山天池周边等地为崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害高易发区,共有地质灾害点726处,占研究区地质灾害点总数的46.75%;蛟河市、永吉县、敦化市、汪清县等低山丘陵地区为崩塌、滑坡、泥石流地质灾害中易发区,共有地质灾害点671处,占研究区地质灾害点总数的43.21%;伊通县、吉林市和长春-德惠-农安一带为崩塌、滑坡、泥石流地质灾害低易发区,共有地质灾害点157处,占研究区地质灾害点总数的10.11%。

(3)研究区内崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害高易发区分布面积约占研究区总面积的22.31%,平均密度为4.52个/100 km²;中易发区分布面积约占研究区总面积48.10%,平均密度为1.94个/100 km²;低易发区分布面积约占研究区总面积29.59%,平均密度为0.74个/100 km²。

参考文献(References):

- [1]袁家冬,张娜.东北老工业基地振兴与吉林省新型城市化的响应[J].世界地理研究,2005,14(2):64-71.
Yuan J D, Zhang N. Revitalization of the old industrial base of Northeast China and the response of new-type urbanization of Jilin Province[J]. World Regional Studies, 2005, 14(2): 64-71.
- [2]王立春.浅谈吉林省地质灾害现状[J].吉林地质,2001,20(2):42-46.
Wang L C. A preliminary study on the present situation of geologic hazard in Jilin Province[J]. Jilin Geology, 2001, 20(2): 42-46.
- [3]滕继奎.吉林省地质灾害类型及防治对策探讨[J].吉林地质,

- 1997, 16(2): 62-64.
- Teng J K. A preliminary study on geologic hazard types and the prevention in Jilin Province[J]. *Jilin Geology*, 1997, 16(2): 62-64.
- [4] 赵彦宁, 孙秀菲. 吉林省地质灾害发育特征及防治对策研究[J]. *吉林地质*, 2012, 31(2): 117-122.
- Zhao Y N, Sun X F. Developmental features and control measures of geological disasters in Jilin Province[J]. *Jilin Geology*, 2012, 31(2): 117-122.
- [5] 张以晨. 吉林省地质灾害调查与区划综合研究及预报预警系统建设[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- Zhang Y C. Research on geological disaster survey and zoning in Jilin and forecasting and early warning system construction[D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [6] 赵海卿, 李广杰, 张哲寰. 吉林省东部山区地质灾害危害性评价[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2004, 34(1): 119-124.
- Zhao H Q, Li G J, Zhang Z H. Probability analysis of geological disaster in the mountainous area in East Jilin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2004, 34(1): 119-124.
- [7] 张宁博. 基于 GIS 的岚皋县地质灾害易发性分区评价[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- Zhang N B. The evaluating of the susceptibility about geological disaster in Langao County based on GIS [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [8] Ohlmacher G C, Davis J C. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA[J]. *Engineering Geology*, 2003, 69(3/4): 331-343.
- [9] 鲁光银, 韩旭里, 朱自强, 等. 地质灾害综合评估与区划模型[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2005, 36(5): 877-881.
- Lu G Y, Han X L, Zhu Z Q, et al. Synthetical evaluation and classification model of geological hazards[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2005, 36(5): 877-881.
- [10] 唐伟. GIS 系统在区域地质环境质量评价中的应用[D]. 西安: 长安大学, 2006.
- Tang W. Application of GIS system in regional geological environment quality evaluation[D]. Xi'an: Chang'an University, 2006. (in Chinese)
- [11] 张丽, 李广杰, 周志广, 等. 基于灰色聚类的区域地质灾害危险性分区评价[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(1): 164-168.
- Zhang L, Li G J, Zhou Z G, et al. Grey clustering method-based zoning assessment of regional geological disaster[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(1): 164-168.
- [12] Lee S, Min K. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea[J]. *Environmental Geology*, 2001, 40(9): 1095-1113.
- [13] 单新建, 叶洪, 李焯芬, 等. 基于 GIS 的区域滑坡危险性预测方法与初步应用[J]. *岩石力学与工程学报*, 2002, 21(10): 1507-1514.
- Shan X J, Ye H, Lee C F, et al. Prediction method of dangerous areas of regional landslide based on GIS and its application[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(10): 1507-1514.
- [14] 于明宽. 模糊综合评判法在靖宇县地质灾害易发区划分中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- Yu M K. Application to the fuzzy comprehensive evaluation in the zoning of the geological hazard in the Jingyu County[D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [15] 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, 14(3): 125-129.
- Chu H B, Mu H D, Wang J Z. Application of analytic hierarchy process on zoning hazard degree of geologic disaster in Taihang Mountain region[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2003, 14(3): 125-129.
- [16] Ercanoglu M, Gokceoglu C. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (North of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach[J]. *Environmental Geology*, 2002, 41(6): 720-730.
- [17] Collison A J C, Anderson M G. Using a combined slope hydrology/stability model to identify suitable conditions for landslide prevention by vegetation in the humid tropics[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1996, 21(8): 737-747.
- [18] 孟凡奇, 李广杰, 秦胜伍, 等. 基于证据权法的泥石流危险度区划[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2010, 40(6): 1380-1384.
- Meng F Q, Li G J, Qin S W, et al. Zoning of debris flow hazard degree with weight-of-evidence method[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2010, 40(6): 1380-1384.
- [19] 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, 18(1): 89-92.
- Ruan S Y, Huang R Q. Application of GIS-based information model on assessment of geological hazards risk [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2001, 18(1): 89-92.
- [20] 傅卫东. 地质灾害易发性区划研究与防治对策——以南靖县为例[D]. 武汉: 中国地质大学, 2005.
- Fu W D. Liability zoning study and countermeasure of geological hazard: Taking Nanjing as an example[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2005.
- [21] 徐开祥, 黄学斌, 付小林, 等. 地质灾害治理工程的特殊性风险性及治理工程风险事件实例分析[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2006, 17(3): 127-132.
- Xu K X, Huang X B, Fu X L, et al. Uniqueness and risk of geological hazard remediation and some typical cases[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2006, 17(3): 127-132.
- [22] 国土资源部. 《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》实施细则[S]. 北京: 国土资源部, 2006.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Detailed rules for the Implementation of Basic Requirements for County and City Geological Hazard Investigation and Zoning [S]. Beijing: Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, 2006. (in Chinese)