

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2019.10.010

地质灾害区域趋势预测理论方法与应用评估探讨

温铭生, 陈春利, 徐 为, 方志伟, 刘艳辉

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 自然资源部地质灾害技术指导中心, 北京 100081)

摘要: 基于地质灾害潜势度的危险度预测理论, 预测 2017 年全国地质灾害总体灾情、灾害类型及空间分布特征。结果显示, 2017 年全国地质灾害发生数量为 7 190 起, 主要集中在云南西北部及东北部、四川南部及东北部、贵州西北部及东部、重庆南部、广东北部局部、湖南西部及东南部、江西南部及福建西部地区等地区。通过与 2017 年实际灾害发生情况对比分析, 灾害总数量和滑坡数量预测效果较好, 误差在 5% 以内, 潜在危险性极高 (I 级)、高 (II 级) 区地质灾害发生密度较高, 中 (III 级) 和低 (IV 级) 区地质灾害发生密度低, 与实际情况整体吻合程度较好, 但极高区域 (I 级) 的判断有误, II 级区的发灾密度较 I 级区高。地质灾害区域趋势预测结果可为政府部门提前制定防灾减灾相关措施工作提供决策支撑。

关键词: 地质灾害; 趋势预测; 空间分布; 效果评价

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2019)10-082-10

The discussion of theoretical method and result evaluation of regional geo-hazard trend forecasting

WEN Mingsheng, CHEN Chunli, XU Wei, FANG Zhiwei, LIU Yanhui

(1. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, P. R. China; 2. Consultative Centre of Geo-Hazard Mitigation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, P. R. China)

Abstract: In this paper, trend forecasting of geo-hazards of China in 2017 was carried out based on the dangerous parameter of geo-hazard forecasting theory. The profile, type and spatial distribution characteristics were forecasted. The trend forecasting result showed that 7 190 geo-hazards would happen all over the country in 2017, primarily in northwestern and northeastern Yunnan, southern and northeastern Sichuan, northwestern and eastern Guizhou, southern Chongqing, part of northern Guangdong, western and southeastern Hunan, southern Jiangxi, and western Fujian, etc. Comparison with the actual situation of geo-hazards in 2017 indicates that the forecasting of total quantity and landslide quantity are highly acceptable with errors less than 5%. The incidence of geo-hazards is high in the areas with very high potential risk (Level I) or high potential risk (Level II), and low in the areas with moderate potential risk (Level III) or low potential risk (Level IV), proving that the forecasting is in good

收稿日期: 2019-03-05

基金项目: 国家重点研发计划课题资助项目 (2018YFC1505503); 国家级地质环境监测与预报资助项目 (121201014000150003)。

Supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFC1505503) and National Geological Environment Monitoring and Forecasting (121201014000150003).

作者简介: 温铭生 (1977—), 男, 博士, 中国环境地质监测研究院教授级高工, 主要从事地质灾害调查评价、监测预警与应急防治研究工作, (E-mail) 17115582@qq.com。

agreement with the the actual situation as a whole. But the forecasting in the areas (Level I) is not accurate enough because the geo-hazard incidence in the areas (Level II) is higher than that in the areas (Level I). The result of geo-hazard trend forecasting provides support and decision-making reference on disaster prevention and reduction for the government departments concerned.

Keywords: geo-hazards; trend forecasting; spatial distribution; effectiveness evaluation

中国是世界上地质灾害最严重、受威胁人口最多的国家之一,地质条件复杂,构造活动频繁,崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害隐患多、分布广,且隐蔽性、突发性和破坏性强,防范难度大。特别是近年来受极端天气、地震、工程建设等因素影响,地质灾害多发频发,对人民群众生命财产造成严重威胁。据统计,2011—2017年,全国共发生地质灾害 81 751 起,其中崩塌、滑坡、泥石流等 3 类突发性地质灾害占灾害总量的 96.6%,造成 2 767 人死亡或失踪,直接经济损失 341 亿元^[1]。

为了更好地做好突发性地质灾害防灾减灾工作,不仅需要了解和掌握地质灾害的发生和危害情况,也越来越需要预知地质灾害的发生、发展趋势,逐渐从灾后救助向灾前预防转变,以便更有针对性地做好防范部署。自上世纪 90 年代以来,国内外专家学者在地质灾害趋势预测分析研究方面做了有益的探索,并逐渐形成了位移—时间曲线变化趋势判断法、斋藤法等预测方法^[2-11]。但现有的预测模型多适用于单体地质灾害预测评价,不适于大面积的区域预测^[12-13],目前的区域地质灾害预测则多以定性预测为主。地质灾害的发生机理复杂,影响因素众多,亟需开展基于多因子的全国地质灾害趋势预测,圈定地质灾害可能发生的重点区域、严重程度、重点类型等。笔者以 2017 年度全国突发性地质灾害趋势预测为例,总结提出了区域地质灾害的预测理论和预测方法,探索建立了基于地质、地震、气象、人类活动等地质灾害多因子综合预测模型,分析研判预测结果并开展效果校验,可为政府主管部门部署年度地质灾害防治工作提供参考和依据。

1 趋势预测理论

地质灾害趋势预测是根据地质灾害发生规律,结合地质条件、气象变化、地震及人类活动等因素,对未来地质灾害发生的时间、地点、成灾范围和影响程度等进行估计和推断的工作。根据预测时间长短,可分为长期预测、中期预测、短期预测^[14]。根据预测内容分为时间预测、空间预测、强度预测和综合预测。

1.1 基于潜势度的危险度预测

地质灾害受多种因素影响,潜势度通过基于地质环境要素组合空间分析,研究地质灾害区域孕育成生潜在能力的重要因素,是反映地质灾害成生内因的一种综合表达,代表着地质环境孕育地质灾害的潜在能力,即为潜势度^[15-16]。相关因素包括地形地貌特征、地质体成分、岩土体结构、区域地壳动力背景、地质构造活动性、植被类型与覆盖度等因素。潜势度在性质上类同于敏感性或易发性指标,是各类地质灾害趋势预测的基础指标(式(1))。

$$Q_i = \sum_{j=1}^n a_j b_j, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

式中: Q_i 为第 i 个单元的“潜势度”; j 为评价因子; a_j 为第 j 评价因子在第 i 评价单元的赋值; b_j 为第 j 个评价因子的权重; m 为评价单元数; n 为评价因子数。

基于潜势度分析,在大气降雨、地震和人类活动等一种或多种引发因素下,预测一定时间内某空间区域发生地质灾害的可能性程度,即为危险度预测。如果预知一个地区未来时段引发因素的大小及其持续时间,就可以根据预测模型(式(2))计算相应的地质灾害危险度指标,可供决策部门进行防灾减灾部署。

$$W_i = Q_i \times T_i = Q_i \times \sum_{j=1}^n \omega_j T_{ij}, \quad (2)$$

式中: W_i 为第 i 个单元的“危险度”; Q_i 为第 i 个单元的“潜势度”; T_i 为第 i 个单元的引发因子指数; T_{ij} 为第 j 类引发因子(共 n 类)在第 i 个单元的引发作用指标(两类及以上引发因子); ω_j 为第 j 类引发因子的权重; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; m$ 为评价单元数; n 为引发因子数。

1.2 基于危险度的风险度预测

地质灾害发生后可能造成的危害程度,是一个地区在一定时间内某种地质灾害危险度作用下产生实际

危害可能性大小的量度。风险度可以是单一对象如对人类生命的伤害,或对工程设施、自然环境的破坏可能性的量度,也可以反映一个地区社会经济活动的易损性和综合抗灾能力。地质灾害的风险度的计算模型是危险性、威胁对象与易损性的组合,用公式可表达为

$$R = H \times E \times V, \quad (3)$$

式中: R (Risk)为地质灾害的风险,指特定的地质灾害现象可能造成的损失; H (Hazard)为地质灾害危险度,一定时间内某空间区域发生地质灾害的可能性程度; E (Element)为给定区域内受特定地质灾害威胁的对象,包括人口、财产、基础设施、经济活动等; V (Vulnerability)为特定的地质灾害以一定的强度发生而对受威胁对象所造成的损失程度,即受威胁对象的易损性,用 $0\sim 1$ 来表示(0 表示无损失, 1 表示完全损失)。

地质灾害的灾情严重程度与其形成条件、诱发机制以及灾害区承灾能力相关,还受到地质条件、气候条件、人为因素等多种因素的影响,小区域(如县级)受威胁对象的基础信息获得相对容易,其预测多采用风险度的预测方法;大区域(省、市级及以上)的预测多采用危险度分析,辅以统计规律、工程地质类比、专家经验等方法进行预测。我国幅员辽阔,自然地质条件复杂多样,气候、人类工程活动的强度因地制宜。为了更好的预测 2017 年度全国突发性地质灾害发展趋势,采用多种方法综合分析:按照地质灾害的发生规律进行推测,推测 2017 年全国地质灾害的主要类型及重点发生时段,综合分析地质灾害的发生数量;采用危险度空间分析法分析地质条件、气候、地震及人类工程活动等影响因素对地质灾害发育程度的影响;最终采用专家经验法对预测结果进行修正。

2 预测分析

2.1 地质灾害发生规律推测分析

2.1.1 总体灾情

2007—2016 年全国共发生地质灾害 167 684 起,其中 2010 年发生地质灾害最多,为 30 670 起;2015 年发生地质灾害最少,为 8 224 起。这 10 年间地质灾害发生数量总体趋势波动下降。其中 2009 年和 2010 年波动变化较大,2009 年是地震后的第二年,全国年平均降水量为 573.3 mm,是 1987 年以来的最小值,灾害发生数量也处于低位。2010 年平均降水量 681 mm,比常年偏多 11.1%,为 1961 年以来第二多,灾害发生数量为近 10 年来最多,特别是发生了“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害,造成了大量的人员伤亡和经济损失。2009 年、2010 年属于异常轻微、严重年份,其余年份发生数量均呈线性趋势,上下小幅波动,基本符合线性规律(图 1)。据此,按线性规律预测 2017 年全国地质灾害发生数量为 7 190 起。

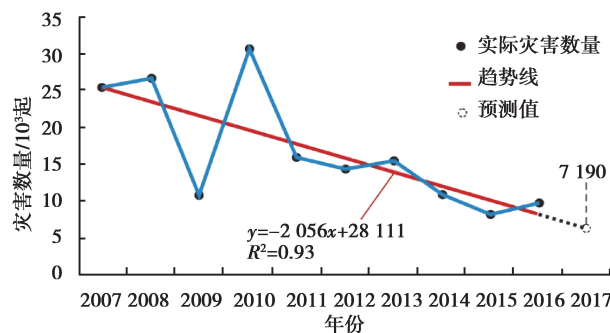


图 1 地质灾害发生数量预测

Fig. 1 Quantitative forecasting of geo-hazards

2.1.2 灾害类型

近十年统计的地质灾害中,滑坡发生数量最多,共发生 11.13 万起,占地质灾害总数的 66.4%;其次是崩塌,共发生 3.66 万起,占地质灾害总数的 21.8%;再次是泥石流,共发生 1.05 万起,占总数的 6.3%。滑坡、崩塌、泥石流是造成人员伤亡的主要类型,也是地质灾害趋势预测的最关键对象,2007—2016 年三者的发生数量占地质灾害总数的 94.5%。

从单灾种的年度变化趋势分析,滑坡占总数的比例在逐渐增加,崩塌在逐渐减少,泥石流整体处于较为平衡阶段,但在汶川地震后有较大的增加,随后逐年降低并趋于稳定(图 2)。根据该变化趋势,预测 2017 年地质灾害类型仍然是滑坡、崩塌、泥石流为主,预测滑坡数量 5 529 起,占总数的 76.9%,崩塌数量 1 028 起,占总数的 14.3%,泥石流数量 510 起,占总数的 7.1%。

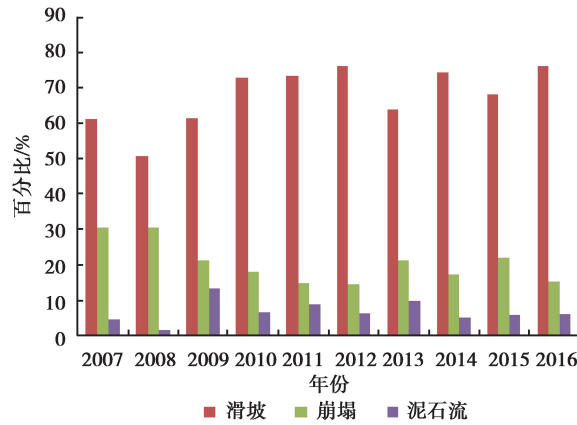


图 2 地质灾害类型构成及分灾种数量趋势

Fig. 2 Quantitative forecasting of geo-hazards by types

2.2 空间分布预测

空间分布预测是地质灾害趋势预测的关键和重点,是防灾部署的基础。地质灾害的发生受到地形地质条件、气候条件、人为因素等多种因素的影响,本节结合全国地质灾害潜势度分区和 2017 年主要诱发因素(气候、地震、人类工程活动等)的预测变化趋势,对地质灾害发生趋势进行空间分布预测(全文分析均不涉及台湾地区,台湾地区无数据)。

2.2.1 潜势度基础条件

根据潜势度计算模型和趋势预测理论,整理集成全国地质环境与地质灾害调查、监测和研究成果,包括气象、水文、地质、构造、地震、地貌等相关信息图层 30 个^[16],充分考虑了地质灾害发生的地质环境基础信息、地质灾害历史发生实况等,潜势度评价模型(式 1),以 10 km×10 km 的网格进行剖分,计算地质灾害潜势度(图 3)。

审图号: GS(2019)2351号

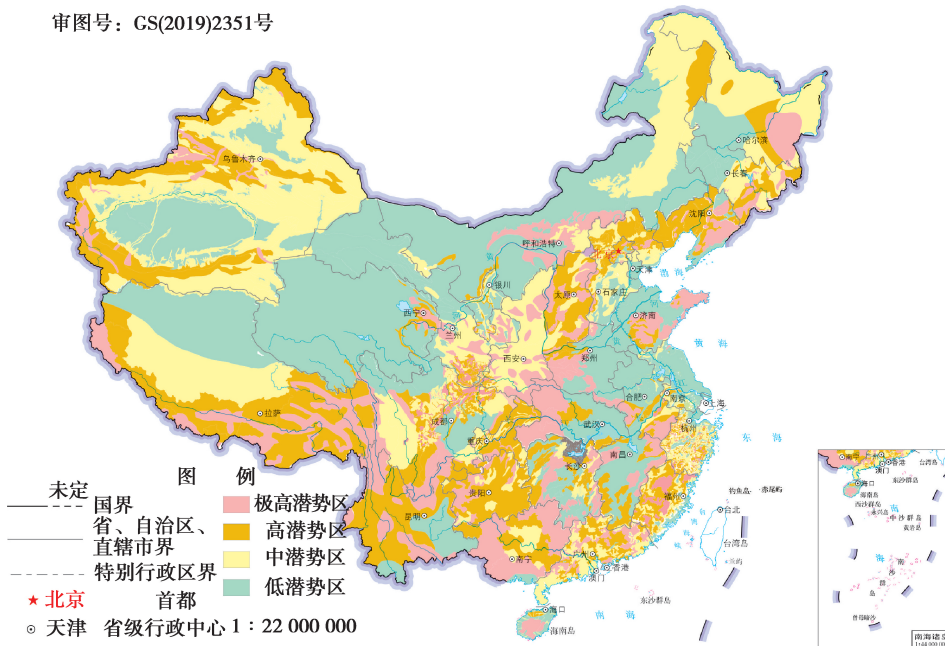


图 3 中国地质灾害潜势度分区

Fig. 3 Potential map of geo-hazard in China

2.2.2 气候诱发条件

根据国家气候中心发布的全国气候趋势及主要气象灾害预测意见,汛期全国气候状况总体偏差,降水总体“北少南多”,旱涝并存,极端天气气候事件多,洪涝灾害比 2016 年轻,干旱比 2016 年重。预测 2017 年汛期在广西大部、江西东北部、附件北部、浙江、安徽东南部、江苏南部、新疆北部、内蒙古西北部及东北部、甘肃中北部、黑龙江北部地区降雨距平偏多 20% 以上(图 4)。

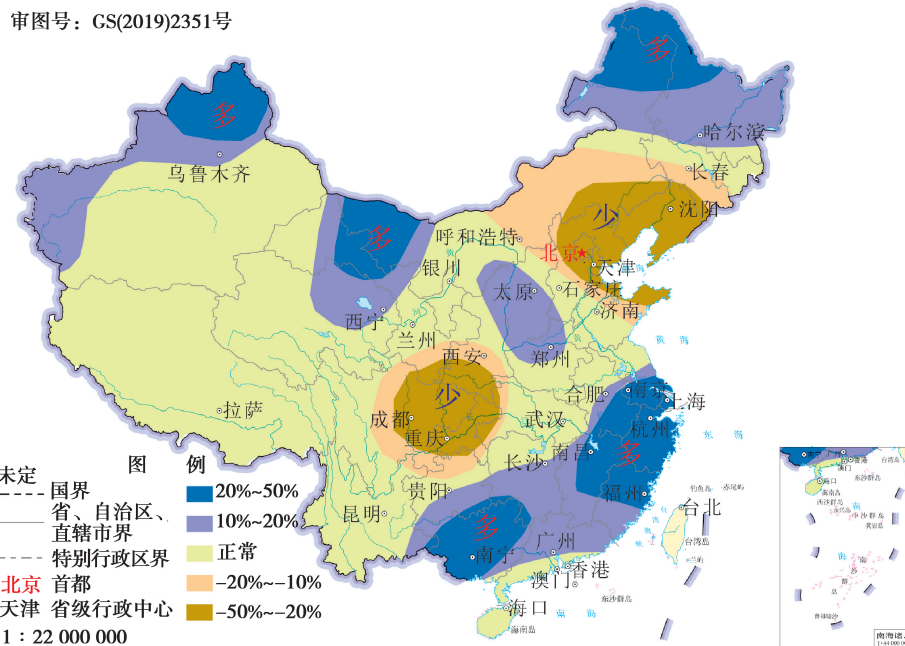


图 4 2017 年汛期降水量距平百分率预报图

Fig. 4 Precipitation anomaly percentage forecasting during the flood season in 2017

2.2.3 地震诱发条件

地震尤其强震的发生会造成地质环境的破坏,如汶川地震引起地表破裂断裂延伸长度达 300 km,山体松动形成的潜在斜坡变形隐患区域达 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[17]。强震过后地震灾区滑坡等地质灾害活动显著增强,日本学者 Nakamura 通过研究关东地区地震后滑坡活动规律表明,关东地震影响持续约 40~50 a,其中,不稳定阶段对应于滑坡的强活动期,持续时间为 15 a;恢复阶段滑坡数量出现明显的下降,持续时间约为 24 a;其后又经历了约 10 a 的稳定阶段滑坡活动才恢复到震前的水平^[18]。黄润秋^[19]研究了汶川震后 3 a 地震灾区重大地质灾害的特点和发生规律,认为地震区地质灾害活动性还要持续 20~25 a,且以 4~5 a 为周期呈震荡衰减。同时根据 2017 年“6·24”茂县特大滑坡灾害的成灾机理显示^[20-22],1933 年“8·25”叠溪地震对该滑坡的发生有重要促进作用,说明特大地震发生后对后期地质灾害的影响还将持续更长的时间。根据近年发生的重大地震,划定地震导致地表岩土体变化地区,结合 2017 年地震趋势预测形成地震诱发条件图层(图 5)。

2.2.4 人类活动诱发条件

近年来,伴随经济的快速发展,人类活动对地质环境的扰动程度不断加重,在地质环境脆弱区,大规模人类工程活动改变了原有的地质环境条件。持续推进的“一带一路”、“长江经济带”等国家重大战略,在大力发展经济建设的同时,人为活动诱发地质灾害的风险也随之提高,在云南、贵州、四川、陕西、重庆、甘肃、湖北、湖南、广西、新疆、浙江等地质灾害高易发区,需重点防范地质灾害的发生。据中国政府网站消息,中国五年内开工建设的重大水利工程有三十余项,三峡水电站、溪洛渡水电站、白鹤滩水电站、锦屏二级水电站、龙羊峡水电站等已建成大型水电站对流域地质环境仍有长远影响。根据交通部提出的《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》,“十三五”期间将大力推进高速公路、铁路建设^[18],其中部分规划路段位于地质环境较脆弱的地区,应防范工程建设对地质灾害的影响。另一方面,地质灾害防治措施对地质灾害的发生发展有减缓作用。原国土资源部提出的地质灾害群测群防“十有县”、“高标准十有县”建设覆盖了大部分地质灾害易发区(图 6),对提高基层防治能力、有效防范地质灾害起到了十分重要的作用。综合以上因素,形成人类工程活动影响强度图层。

审图号: GS(2019)2351号

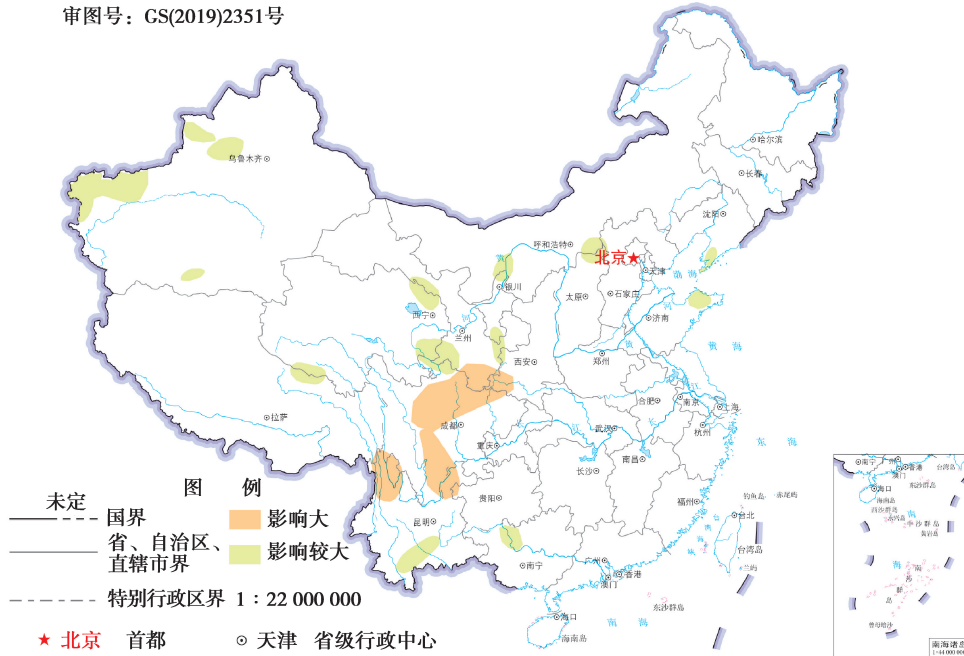


图 5 地震引发地质灾害影响分布

Fig. 5 Distribution of earthquake impact on geo-hazard

审图号: GS(2019)2351号

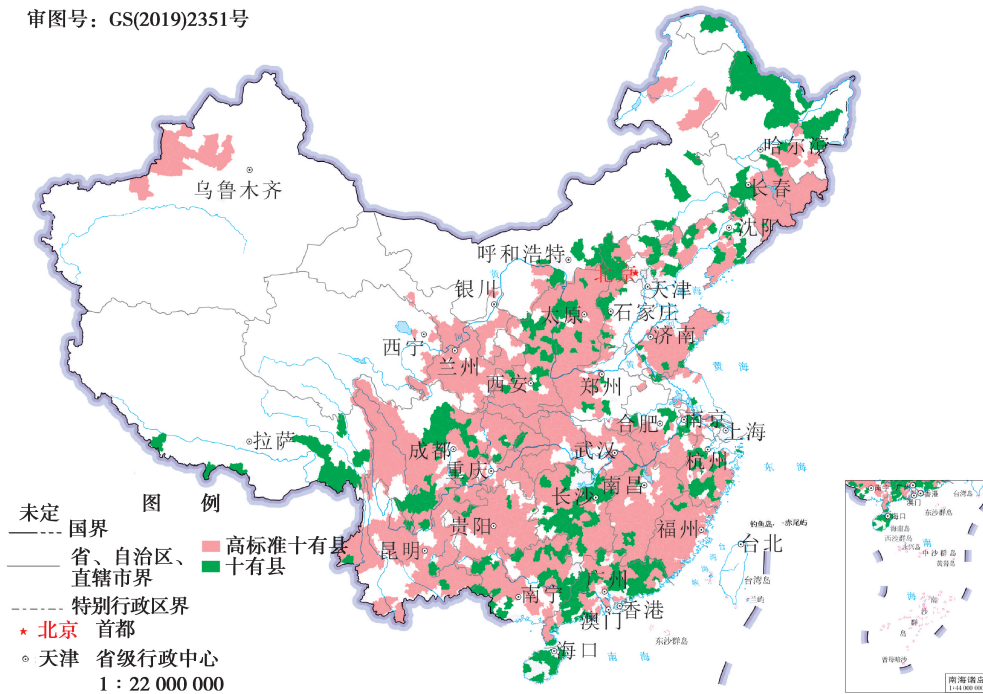


图 6 地质灾害防治十有县分布

Fig. 6 Distribution of Ten-Have Counties of geo-hazard prevention

2.2.5 空间预测结果

采用专家打分法确定各因子权重(表 1),认为地质灾害潜势度是基础条件,权重为 0.50,气候条件为较重要的引发条件,权重系数为 0.20,地震和人类活动权重系数分别为 0.15。

表 1 地质灾害影响因子权重

Table 1 Weight of every influence factors on geo-hazard

因子	潜势度 基础条件	气候 诱发条件	地震 诱发条件	人类活动 诱发条件
权重值	0.50	0.20	0.15	0.15

对地质灾害潜势度、气候、地震、人类工程活动 4 个因子进行叠加分析,区域合并后形成 2017 年度地质灾害趋势预测结果(图 7),共划分为 4 个等级,分别是潜在危险性极高(I级)、高(II级)、中(III级)和低(IV级)。云南西北部及东北部、四川南部及东北部、贵州西北部及东部、重庆南部、广东北部局部、湖南西部及东南部、江西南部及福建西部地区地质灾害潜在危险性极高;云南中南部、四川中部及东部山区、重庆北部、贵州东南部、广西大部、广东中部、湖南南部、江西东部、福建北部、浙江南部、安徽东南部、山东中部、甘肃南部、陕西南部、山西南部、河南西部等地区地质灾害的潜在危险性高。其余地区地质灾害潜在危险性属于中等或较低水平。

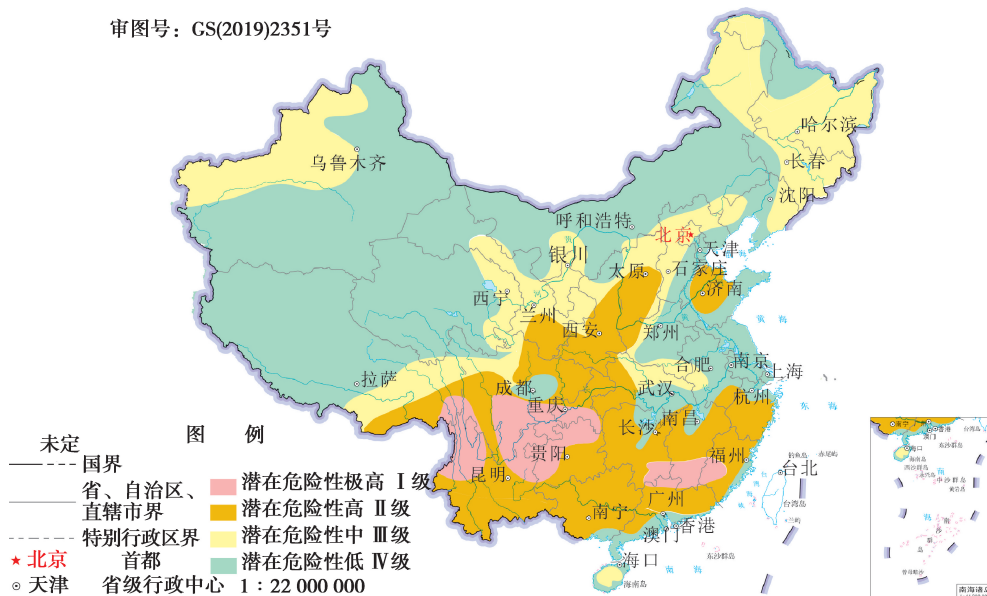


图 7 地质灾害趋势预测空间分布

Fig. 7 Forecasting on spatial distribution of geo-hazards

3 预测效果评价

3.1 灾害基本特征预测评价

2017 年,全国共发生突发性地质灾害 7 521 起,其中滑坡 5 524 起、崩塌 1 356 起、泥石流 387 起。共造成 329 人死亡、25 人失踪、169 人受伤,地质灾害分布在全国 29 个省(自治区、直辖市)(图 8)。发生数量最多的是湖南,超过 3 400 起,湖北和广西在 500 起以上,云南、江西、重庆、四川、广东、陕西、贵州等省(直辖市)在 100 起至 500 起之间,其他省份低于 100 起。

通过预测与实际的对比分析(表 2),灾害总数量和滑坡数量预测效果较好,误差在 5% 以内,崩塌和泥石流的误差较大,在 30% 左右,这与崩塌、泥石流的发生数量波动性大有关。全年的地质灾害类型以突发性的滑坡、崩塌、泥石流为主,共发生 7 267 起,占总数的 96.6%;地质灾害发生时段多为汛期,汛期 5—9 月发生地质灾害 6 211 起,占总数的 82.6%,主汛期 6—8 月发生地质灾害 5 323 起,占总数的 70.8%,与多年的规律基本一致。

审图号: GS(2019)2351号

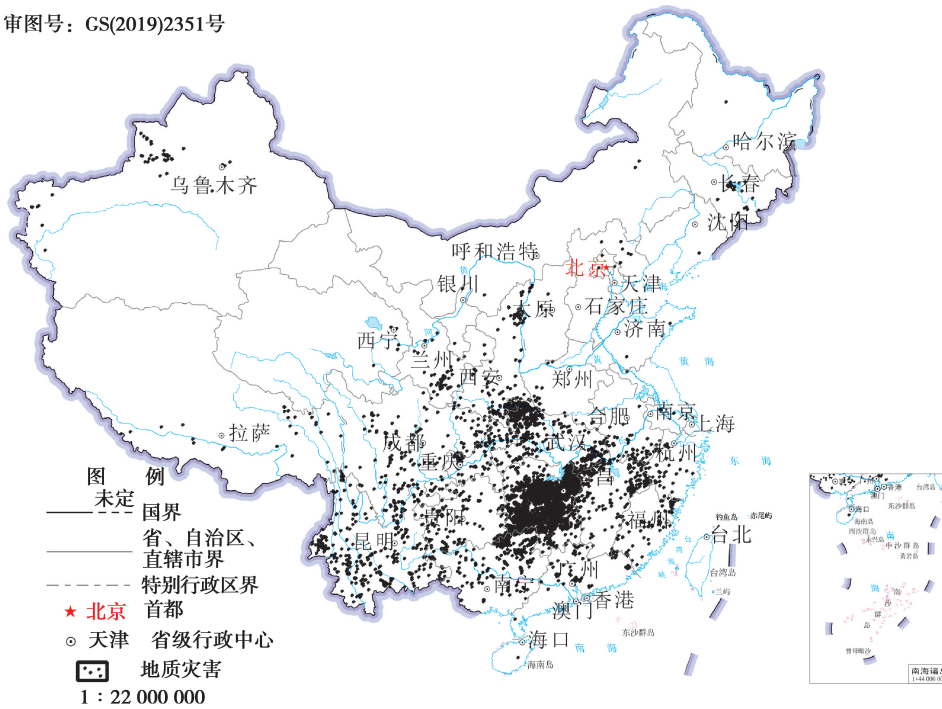


图 8 2017 年全国地质灾害分布
Fig. 8 Distribution of geo-hazards in 2017, China

表 2 地质灾害数量预测
Table 2 Quantitative forecasting of geo-hazards

内容	预测值/起	实际/起	误差/%
灾害总数	7 190	7 521	4.6
滑坡	5 529	5 524	-0.1
崩塌	1028	1 356	31.9
泥石流	510	387	-24.1

3.2 灾害空间分布预测评价

根据潜在危险性预测结果与地质灾害实际发生情况对比分析,灾害发生的空间区域主要集中在潜在危险性极高(I级)和高(II级)的区域内。若以极高危险区(I级)作为预测靶区进行准确率计算,本次预测的准确率为7.35%,效果一般。以极高(I级)、高(II级)危险区作为预测靶区进行准确率计算,本次预测的准确率为81.81%,效果较好。在危险性中(III级)和低(IV级)的区域内发生地质灾害的密度为每万平方千米3起以下,与预测结果基本一致。从预测结果(表3)对比可以看出,对潜在危险性极高区的预测判断不准,表现为预测准确率仅为7.35%,主要灾害发生在潜在危险性高(II级)的区域,准确率81.81%,灾害点密度每万平方公里达到26.47起。同时,危险性中和低的区域划分标准有误,2个区域的灾害点密度相近。根据预测理论,在潜在危险性低的地区属于地质灾害不易发的地区,但在该地区仍然发生了较多地质灾害,特别是安徽中部、湖南东南部和西藏南部地区发生了较多地质灾害,预测危险性较高的区域并未包括以上区域。

表 3 地质灾害分布

Table 3 Distribution of geo-hazards

潜在危险性	预测面积/ 10^4 km^2	灾害数量/起	灾害密度/(起 $\cdot 10^{-4} \text{ km}^{-2}$)
极高 I 级	53.3	534	10.01
高 II 级	204.4	5 411	26.47
中 III 级	219.2	475	2.17
低 IV 级	484.1	847	1.75

3.3 影响因素分析

地质灾害的发生受多种因素共同作用,除了受基础地质、构造、岩土体结构等本身因素的控制,受降雨、地震、人类活动等诱发因素的影响较大。诱发因素中影响最大的降雨预测准确率直接影响到地质灾害趋势预测的准确程度,如汛期预测中没有预测到 2017 年 7 月湖南省的持续强降水,该降水过程引发了 2 995 起地质灾害,造成 21 人死亡、22 人受伤,直接经济损失 14.4 亿元,全年的极高危险区应该集中在湖南及陕西南部,预测时有明显偏差。同时受地震因素的不可控、人类活动的不可准确预知等多个因素影响,地质灾害空间预测难度很大,准确程度较低。

4 结 论

1) 基于潜势度的危险度预测理论方法,可以应用于现阶段大范围的地质灾害区域趋势预测研究。基于危险度的风险度预测,适用于较小区域的地质灾害预测研究。

2) 通过开展 2017 年全国地质灾害趋势预测及效果评价,证实预测地质灾害数量、类型等总体效果较好。空间预测结果将全国划分为 4 个等级,分别是潜在危险性极高(I 级)、高(II 级)、中(III 级)和低(IV 级),其中 I 级、II 级区地质灾害发生密度较高,III 级和 IV 级区地质灾害发生密度低,与实际情况整体吻合程度较好,但潜在危险性极高区域(I 级)和高(II 级)区域的判断有误,II 级区的发灾密度较 I 级区高。

3) 由于地质灾害的发生机理复杂,受到多因素影响,其发生数量有波动性,尤其是滑坡、崩塌、泥石流的发生数量波动性显著,此时仍采用线性预测误差较大,如崩塌发生数量预测误差达 31.9%。因此,考虑将分灾种数量预测方法改进,改为通过地质灾害发生总体数量预测值乘以该灾种多年平均占比来计算其预测值。

4) 地质灾害的发生受基础地质、构造、岩土体结构等本身因素的控制,受降雨、地震、人类活动等诱发因素影响大,地质灾害趋势预测难度大,预测精度、效果有待进一步提高。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部. 中国国土资源公报(2008—2017)[R/OL]. [2018-02-08]. <http://www.mnr.gov.cn/sj/tjgb/>.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. China land and resource bulletin(2008—2017)[R/OL]. [2018-02-08]. <http://www.mnr.gov.cn/sj/tjgb/>. (in Chinese)
- [2] Saito M. Research on forecasting the time of occurrence of slope failure[J]. Soil Mechanics & Foundation Engineering, 1969, 17: 29-38.
- [3] Fukuzono T. A method to predict the time of slope failure caused by rainfall using the inverse number of velocity of surface displacement[J]. Landslides, 1985, 22(2): 8-13.
- [4] Carrara A, Cardinali M, Detti R, et al. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1991, 16(5): 427-445.
- [5] Guzzetti F, Reichenbach P, Cardinali M, et al. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale[J]. Geomorphology, 2005, 72(1/2/3/4): 272-299.
- [6] 殷跃平, 李媛. 区域地质灾害趋势预测理论与方法[J]. 工程地质学报, 1996, 4(4): 75-79.
YIN Yueping, LI Yuan. Theory and method for prediction of regional geo-hazards[J]. Journal of Engineering Geology, 1996, 4(4): 75-79. (in Chinese)
- [7] 殷跃平, 张颖, 康宏达, 等. 全国地质灾害趋势预测及预测图编制[J]. 第四纪研究, 1996, 16(2): 123-130.
YIN Yueping, ZHANG Ying, KANG Hongda, et al. Nation-wide main geologic hazard forecast and mapping[J].

- Quaternary Sciences, 1996, 16(2): 123-130. (in Chinese)
- [8] 关凤峻, 沈伟志. 全国地质灾害防治分析研究与趋势预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(1): 1-3.
GUAN Fengjun, SHEN Weizhi. Analysis research and trend prediction on geo-hazard prevention and control in China[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(1): 1-3. (in Chinese)
- [9] 陈春利, 贺凯, 温铭生, 等. 基于灰色系统理论的长江经济带地区地质灾害趋势预测研究[J]. 地质力学学报, 2016, 22(3): 706-713.
CHEN Chunli, HE Kai, WEN Mingsheng, et al. Trend prediction research of geological hazard in the yangtze economic zone based on gray system theory[J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22(3): 706-713. (in Chinese)
- [10] 李保继, 杨梅忠. 陕西省合阳县地质灾害趋势预测与防治建议[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(12): 197-198.
LI Yuji, YANG Meizhong. Tendency forecast and prevention recommendation of geology disaster in Heyang Country of Shaanxi Province[J]. West-China Exploration Engineering, 2004, 16(12): 197-198. (in Chinese)
- [11] 朱启荣, 尧林, 陈柳柳, 等. 普安县地质灾害分布规律与发展趋势预测[J]. 交通科技, 2013(1): 127-129.
ZHU Qirong, YAO Lin, CHEN Liuliu, et al. Spatial distribution and trend prediction of geo-hazard in Pu'an County[J]. Transportation Science & Technology, 2013(1): 127-129. (in Chinese)
- [12] 文宝萍. 滑坡预测预报研究现状与发展趋势[J]. 地学前缘, 1996, 3(1): 86-92.
WEN Baoping. The state of the art and trend of the landslide predictions[J]. Earth Science Frontiers, 1996, 3(1): 86-92. (in Chinese)
- [13] 吴树仁. 突发地质灾害研究某些新进展[J]. 地质力学学报, 2006, 12(2): 265-273.
WU Shuren. Some progress in the study of sudden geological hazards[J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12(2): 265-273. (in Chinese)
- [14] 地球科学大辞典编委会. 地球科学大辞典[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
Editorial Committee of Dictionary of Earth Sciences. Dictionary of Earth Sciences[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [15] 刘传正, 温铭生, 刘艳辉, 等. 汶川地震区地质灾害生成规律研究[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(5): 1-16.
LIU Chuansheng, WEN Mingsheng, LIU Yanhui, et al. Regional assessment on geological disasters in "5.12" Wenchuan seismic area, China[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2016, 43(5): 1-16. (in Chinese)
- [16] 刘传正, 刘艳辉, 温铭生, 等. 中国地质灾害区域预警方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
LIU Chuansheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al. Method and application of regional warning for geohazards in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009. (in Chinese)
- [17] 刘传正. 四川汶川地震灾害与地质环境安全[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1907-1912.
LIU Chuansheng. Disasters induced by the Wenchuan earthquakes, Sichuan, China, and geo-environmental safety[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(11): 1907-1912. (in Chinese)
- [18] Nakamura H, Tsuchiya S, Inoue K, et al. Sabo against earthquakes[M]. Tokyo: Kokon Shoin, 2000: 190-220.
- [19] 黄润秋. 汶川地震地质灾害后效应分析[J]. 工程地质学报, 2011, 19(2): 145-151.
HUANG Runqiu. After effect of geohazards induced by the Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(2): 145-151. (in Chinese)
- [20] Yin Y P, Wang W P, Zhang N, et al. The June 2017 Maoxian landslide: geological disaster in an earthquake area after the Wenchuan Ms 8.0 earthquake[J]. Science China Technological Sciences, 2017, 60(11): 1762-1766.
- [21] 殷跃平, 王文沛, 张楠, 等. 强震区高位滑坡远程灾害特征研究: 以四川茂县新磨滑坡为例[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 827-841.
YIN Yueping, WANG Wenpei, ZHANG Nan, et al. Long runout geological disaster initiated by the ridge-top rockslide in a strong earthquake area: a case study of the Xinmo landslide in Maoxian County, Sichuan Province[J]. Geology in China, 2017, 44(5): 827-841. (in Chinese)
- [22] 温铭生, 陈红旗, 张鸣之, 等. 四川茂县“6·24”特大滑坡特征与成因机制分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(3): 1-7.
WEN Mingsheng, CHEN Hongqi, ZHANG Mingzhi, et al. Characteristics and formation mechanism analysis of the "6·24" catastrophic landslide of the June 24 of 2017, at Maoxian, Sichuan[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(3): 1-7. (in Chinese)