

北京地区“23•7”特大暴雨型地质灾害特征及预警成效分析

南 云, 翟淑花, 李 岩, 曹 颖, 罗守敬, 王云涛, 郭学飞

Analysis on the characteristics of geological disasters and effectiveness of early warning duiring heavy rainfall on “23•7” in Beijing

NAN Yun, ZHAI Shuhua, LI Yan, CAO Ying, LUO Shoujing, WANG Yuntao, and GUO Xuefei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202312023>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

2004—2018年北京市突发地质灾害时空分布特点和监测预警状况

Temporal-spatial distribution and monitoring and early warning of sudden geological disasters in Beijing during the period of 2004 to 2018

程素珍, 路璐, 翟淑花, 张长敏, 郝春燕, 任凯珍 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 38-46

北京山区突发性地质灾害易发性评价

Assessment on the susceptibility of sudden geological hazards in mountainous areas of Beijing

罗守敬, 王珊珊, 付德荃 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(4): 126-133

青海省地质灾害防治资金投入与成效分析

Analysis of funding used for geological disaster prevention in Qinghai Province and its effects

魏赛拉加, 严慧, 张俊才, 魏正发, 吴靓 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 112-116

自贡市地质灾害专群结合监测预警模式升级与实践

Upgrading and practice of early warning mode of geological disaster special group combination in Zigong City

杨江涛, 李波, 李伯宣, 罗兰 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 130-134

基于“3S”技术的地质灾害监测预警系统在我国应用现状

Review on geological disaster monitoring and early warning system based on “3S” technology in China

张凯翔 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 1-11

基于机器学习的滑坡崩塌地质灾害气象风险预警研究

Exploring early warning and forecasting of meteorological risk of landslide and rockfall induced by meteorological factors by the approach of machine learning

李阳春, 刘黔云, 李潇, 顾天红, 张楠 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 118-123



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202312023

南赞, 翟淑花, 李岩, 等. 北京地区“23·7”特大暴雨型地质灾害特征及预警成效分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 66-73.

NAN Yun, ZHAI Shuhua, LI Yan, et al. Analysis on the characteristics of geological disasters and effectiveness of early warning duiring heavy rainfall on “23·7” in Beijing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 66-73.

北京地区“23·7”特大暴雨型地质灾害特征及 预警成效分析

南 赞, 翟淑花, 李 岩, 曹 颖, 罗守敬, 王云涛, 郭学飞
(北京市地质灾害防治研究所, 北京 100120)

摘要: 极端降雨常伴随群发性地质灾害发生, 严重危害易发区人民群众生命财产安全, 影响经济社会健康发展。总结分析极端降水灾害时空分布特点及预警成效, 对于提高地质灾害综合防御能力具有重要意义。以 2023 年“23·7”强降水引发的突发地质灾害为研究对象, 以“北京市突发地质灾害监测预警系统”精细化降水数据为基础, 分析了“23·7”强降水时空分布特性和地质灾害发育分布特征, 剖析了地质灾害预警成效, 结果表明: “23·7”强降水具有总量大、雨强大、历时长、范围广等特点, 极端降水灾害具有群发性, 地质灾害分级分类多维度预警成效显著, 实现了极端天气条件下因地质灾害零伤亡的目标。研究成果可为积极防范和科学应对极端降水地质灾害提供参考。

关键词: “23·7”强降水; 突发性地质灾害; 灾害特征; 成因分析; 预警成效

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2024)02-0066-08

Analysis on the characteristics of geological disasters and effectiveness of early warning duiring heavy rainfall on “23·7” in Beijing

NAN Yun, ZHAI Shuhua, LI Yan, CAO Ying, LUO Shoujing, WANG Yuntao, GUO Xuefei
(Beijing Institute of Geological Hazard Prevention, Beijing 100120, China)

Abstract: Extreme rainfall is often accompanied by mass geological disasters, which seriously endangers the safety of people's lives and property in prone areas and affects the healthy development of the economy and society. Summarizing and analyzing the time-space distribution characteristics of geological disasters due to extreme rainfall and the effectiveness of early warning is of great significance for improving the comprehensive defense ability against geological disasters. Taking the sudden geological disasters caused by “23·7” heavy rainfall in 2023 as the research object, based on the refined precipitation data from the Beijing sudden geological disaster monitoring and early warning system, the time-space distribution characteristics of “23·7” heavy rainfall and the development and distribution characteristics of geological disasters were analyzed, and the early warning effect of geological disasters was discussed. The results show that the “23·7” heavy rainfall has the characteristics such as a large total amount, strong rainfall, long duration and wide range, and the disasters due to extreme rainfall have the

收稿日期: 2023-12-12; 修订日期: 2024-04-07

投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(8202026, 8202025); 北京市突发地质灾害监测预警系统工程运行(11000023T000002124048); 北京市突发地质灾害应急调查技术服务(11000022T000000439462); 北京山区道路典型崩塌“五度”专项研究(11000023T000002119382)

第一作者: 南 赞(1980—), 男, 陕西延安人, 硕士, 正高级工程师, 主要从事地质灾害防治相关研究工作。E-mail: 9678886@qq.com

characteristics of group occurrence. The multi-dimensional early warning of geological disaster classification has achieved remarkable results and has achieved the goal of zero casualties due to geological disasters under extreme weather conditions. The research results can provide a reference for actively preventing and scientifically responding to extreme rainfall geological disasters.

Keywords: “23•7” heavy rainfall; sudden geological disasters; disaster characteristics; causal analysis; effectiveness of early warning

0 引言

受地形地质条件复杂、断裂构造发育、降水时空分布不均匀等自然条件以及人类工程活动的影响,特别是极端强降水诱发作用下,北京市山区地质灾害呈现点多、面广、危害和影响严重,崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等均有发育。截至 2023 年 5 月,北京市突发性地质灾害隐患 8 532 处,涉及 10 个山区、浅山区 87 乡镇,威胁人数约 4 万人。

长期以来,首都的地质灾害防治工作受到党中央、国务院等各级政府和社会的高度关注,国内外科研工作者在北京地区地质灾害防治领域开展了众多卓有成效的研究工作,包括调查评价^[1-3]、监测预警^[4-6]、综合治理^[7-8]以及风险防控^[9-12]等,为地质灾害防御响应奠定了扎实的基础。2003 年,北京市启动了地质灾害气象预警会商制度,由北京市国土资源局和北京市气象局联合开展了汛期突发地质灾害气象预警预报工作,制作预警产品通过公共信息平台向公众发布预警。2013 年,区域地质灾害气象预警业务逐步从地质灾害发生的“危险性”预警向“风险性”预警转变,地质灾害气象预警预报更名为地质灾害气象风险预警。通过以往灾害事件的统计分析,根据前期雨量和预报雨量,结合突发地质灾害易发程度分区和预警分区,构建了第一代隐式预警预报产品,开发了预警预报系统,制作预警产品并向公众发布。2013—2020 年北京市分两期工程建设对全市 10 个山区 477 处隐患点实施专业监测,布设了雨量计、次声仪、泥水位计、含水率仪、深部位移计等 16 类 1 889 台/套专业设备,实现了重要地质灾害隐患点的自动化、智能化监测。2016—2022 年,优化了区域地质灾害气象风险预警模型,初步建立了单沟泥石流监测预警模型,探索构建了道路沿线崩塌气象风险预警模型,地质灾害预警模型精细化程度逐步提高。

2023 年,受台风“杜苏芮”的影响,7 月 29 日—8 月 2 日北京地区遭遇特大暴雨过程,降水量为北京地区有仪器测量记录 140 年以来最高值,给山区造成特大自然灾害,突发性地质灾害呈现群发的特点。本文依托

“北京市突发地质灾害监测预警系统工程运行项目”和“北京市突发地质灾害应急调查技术服务项目”,在系统分析研究区地质环境条件和地质灾害野外应急调查和排查成果的基础上,以“23•7”强降水引发的 1 257 处突发性地质灾害为研究对象,分析了极端降水条件下突发性地质灾害发育分布特征和预警成效,提出了北京地质灾害后地质灾害防治工作建议,为灾害防治提供科学指导。

1 研究区地质环境概况

北京市地势西北高、东南低,山区面积约占全市面积的 60%,地形切割强烈,海拔从 200 ~ 2 300 m,地形起伏大,坡陡峰峻,地形坡度一般在 25°以上。北京市降水分布不均,具有较强的集中性,汛期雨量约占到全年雨量的 70% 以上,日最大雨量可占该年总汛期雨量的 50% 以上,日暴雨中的 1 h 雨量可占当天雨量的 40% 以上。近年来极端强降水,成为突发性地质灾害主要影响因素,如 2012 年、2016 年、2021 年以及 2023 年“23•7”的强降水天气等。

山区褶皱变形与断裂构造广泛发育,以东西向及北北东向断裂最为发育、规模最大,其次是北东向断裂。不同时代、不同方向的断裂构造相互交切、复合,造成断裂带附近节理裂隙发育、岩石破碎,加剧了突发地质灾害的产生和发育。

北部山区广泛分布的变质岩、碳酸盐岩和酸性侵入岩,由于岩石坚硬、脆性大,多形成陡峻的山体;西部山区分布蓟县系、青白口系、寒武系、奥陶系地层,岩性一般为白云岩、灰岩等,岩石坚硬,脆性大,节理裂隙发育,为地质灾害的发育提供了物质基础。

据突发性地质灾害调查资料显示,截至 2023 年 6 月 30 日,北京山区共有突发地质灾害隐患 8 532 处。其中崩塌 7 419 处,泥石流 849 处,滑坡 159 处,地面塌陷 105 处;按威胁对象类型划分,威胁居民点的隐患 2 141 处、威胁道路的隐患 5 449 处、威胁景区的隐患 372 处、威胁学校的隐患 4 处,威胁矿山和水库的隐患 21 处,威胁农田、林地等其它的隐患 545 处。

2 “23·7”强降水引发地质灾害特征

2.1 “23·7”强降水概况

2023 年 7 月 29 日 20 时—8 月 2 日 7 时, 受台风“杜苏芮”影响, 北京市遭遇了历史罕见的特大暴雨。从气象监测数据上看, 单站降水量突破历史的极值。

根据北京市突发地质灾害监测预警系统监测数据

显示(图 1), 本次降水具有总量大、雨强大、历时长、范围广的特点。此次降水中北京市降水量在 1 000 mm 以上的有 3 个点位, 在 700 mm 以上的有 51 个点位, 全市的平均降水量达到了 331 mm, 在 83 h 内的降水就达到了以往平均年降水量的 60%, 门头沟区的平均降水量达到了 538.1 mm, 房山区达到了 598.7 mm。

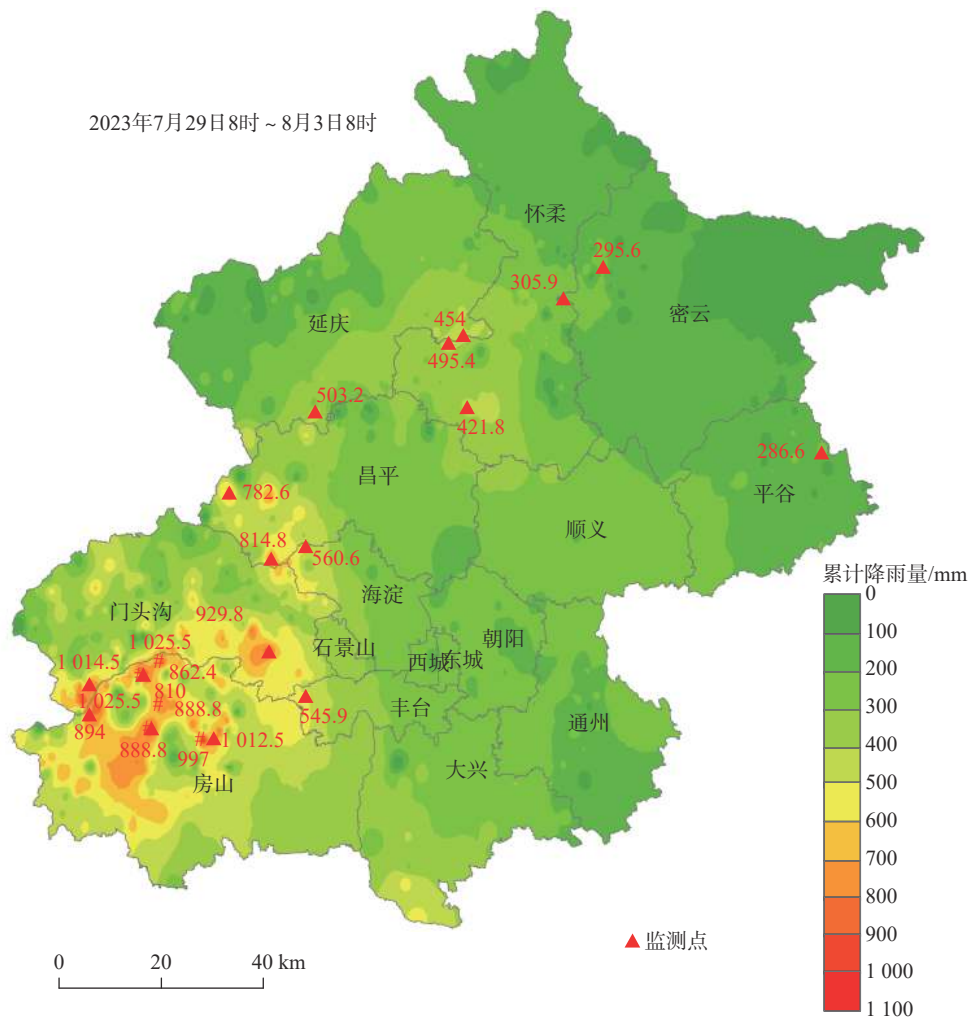


图 1 “23·7”累计降水量分布图

Fig. 1 Distribution of cumulative precipitation “23·7” heavy rainfall

2.2 “23·7”强降水引发地质灾害概况

根据北京市突发地质灾害应急调查队的调查成果, 7 月 29 日—8 月 16 日北京共发生突发性地质灾害 1 257 起, 其中崩滑灾害 1 112 起, 占总数的 88.5%; 泥石流 132 起, 占总数的 10.5%; 地面塌陷 13 起。威胁对象涉及道路 683 起、居民点 541 起、景区 10 起、中小学 1 起、其它 22 起(图 2—3)。

按灾害规模划分, 中型灾害有 17 起, 主要分布在房山区、门头沟区及丰台区, 其中泥石流 16 起, 崩塌 1

起; 其他均为小型。

按行政区划分, 门头沟区 666 起, 房山区 280 起, 昌平区 105 起, 延庆区 91 起, 海淀区 56 起, 石景山区 23 起, 丰台区 17 起, 平谷区 11 起, 怀柔区 5 起, 密云区 3 起。本次地质灾害未造成人员伤亡, 损毁房屋 600 余间, 损毁道路约 54 km, 直接经济损失约 4 亿元。

按灾情划分, 直接经济损失小于 100 万元、灾情等级为小型的地质灾害 1 169 起, 占比 93%; 直接经济损失为 100~500 万元、灾情等级为中型的地质灾害

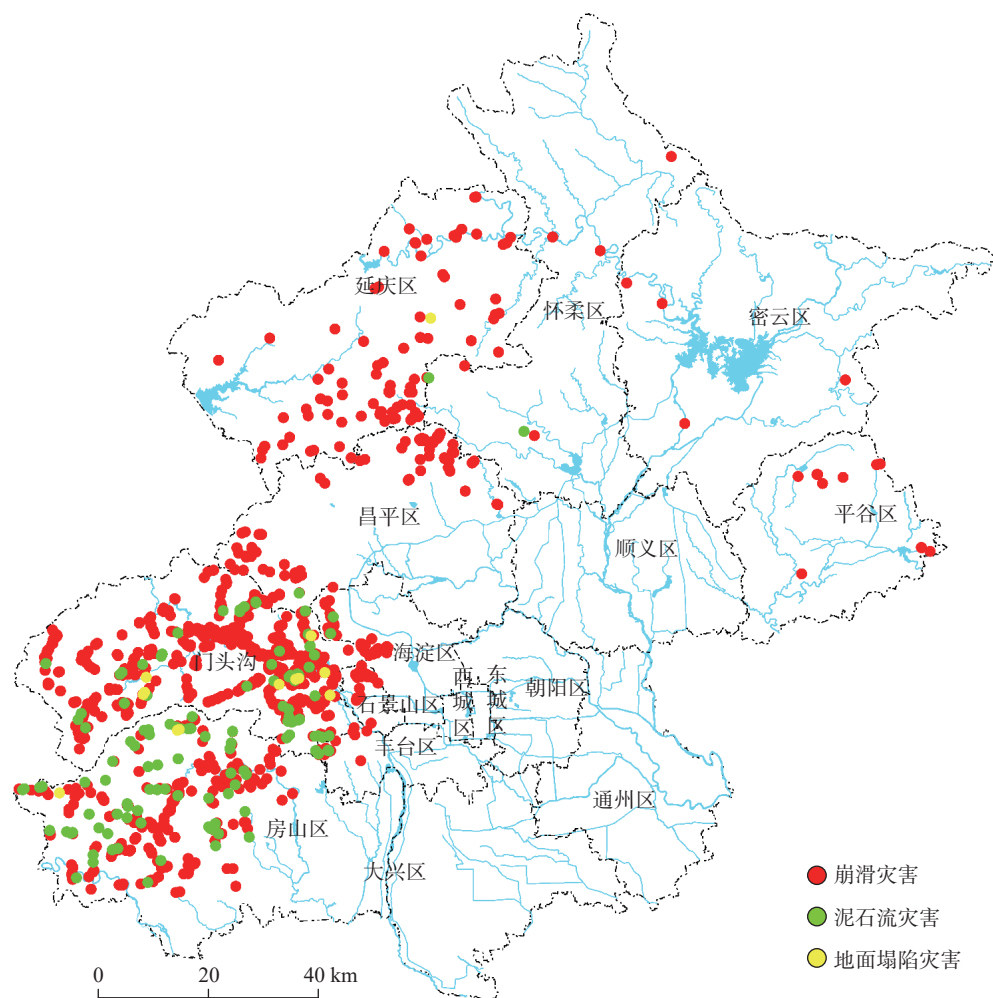


图 2 “23•7”强降水地质灾害分布图

Fig. 2 Distribution of geological disasters caused by “23•7” heavy rainfall

74 起, 占比 5.89%; 直接经济损失为 500 ~ 1 000 万元、灾情等级为大型的地质灾害 9 起, 占比 0.71%; 直接经济损失大于 1 000 万元、灾情等级为特大型的地质灾害 5 起, 占比 0.40%。

2.3 “23•7”强降水引发地质灾害成因分析

本次强降水引发的突发性地质灾害, 是多种形成机制综合作用的结果, 根据研究区的调查研究成果, 综合分析区内灾害的成因主要有以下几个方面:

(1) 地形地貌

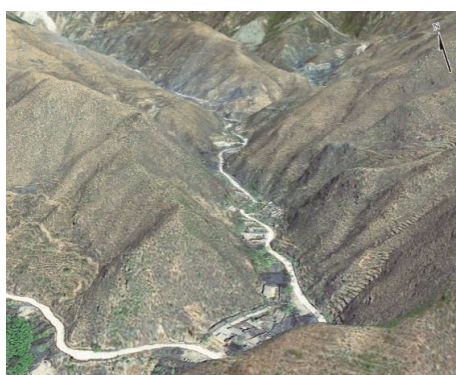
泥石流灾害受沟谷形态、流域面积、流域相对高差、沟床比降和沟坡坡度等因素影响, 相对高差越高、沟床比降越大, 暴雨条件下容易引发泥石流。本次极端降水发生沟谷型泥石流 69 起, 其沟域形态均为“V”型; 流域面积为 0.11 ~ 19.82 km²; 流域相对高差多为 600 ~ 800 m; 沟床比降多为 200% ~ 300%; 山坡坡度 30° ~ 35° 占比高(图 4—6)。

崩滑灾害所在斜坡坡度均在 50° 以上, 有的斜坡坡

面近于直立, 局部微地貌为陡崖。斜坡坡高小于 50 m 的占 60% 以上; 有些斜坡岩体较为破碎, 第四系覆盖层较薄, 受强烈降雨冲刷侵蚀, 坡积物垮落划刮松散岩体, 导致坡体产生崩滑灾害。

(2) 地层岩性

本次极端降水崩滑灾害岩性以碎屑岩和碳酸盐岩为主, 岩体节理裂隙发育, 以 2 ~ 3 组节理为主。随着降雨入渗, 碎屑岩岩体内部颗粒胶结程度变差, 岩体破碎, 降水条件下破碎岩体容易沿主控节理面或岩层面发生滑塌。在自然降雨条件下, 泥岩、页岩等软岩表面会随着降雨持续时间的增长, 岩体表层基质吸力降低明显, 会形成较大面积的暂态饱和区, 受降雨影响区域会出现张拉及剪切塑性区, 塑性区降雨过程及降雨停止后一段时间内的安全系数将会逐渐降低, 自重作用下岩体会出现垮落或滑塌。碳酸岩岩体表面在降雨条件下一般表现为浸润型, 发生崩塌的情况一般为节理裂隙发育, 降雨入渗, 主控结构面在潮湿润滑的情况下, 抗剪强度减



(a) 灾前影像



(b) 灾后影像

图 3 研究区西部泥石流发生前后遥感影像对比图

Fig. 3 Remote sensing image comparison before and after debris flow in the western research area

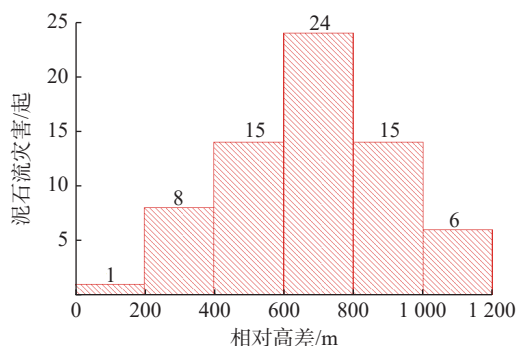


图 4 泥石流流域相对高差分布柱状图

Fig. 4 Relative height difference distribution histogram of debris flow

小,破碎岩体容易沿主控结构面发生滑塌;或者危岩体内部有软弱夹层,降雨入渗情况下,软弱夹层浸润,抗剪强度降低,危岩体发生滑移崩落。坡面泥石流灾害以坡面碎石土侵蚀搬运为主,山区坡面碎石土的厚度在 10~20 cm,坡面植被为降水入渗提供了通道,植株根系沿裂隙生长,根劈作用加大了岩体裂隙,影响岩体的稳定性,在连续降水情况下,坡积物达到饱和,岩石节理裂隙充水,坡面第四系覆盖层连同植被在长时间降水入渗作用下发生垮塌或坡面泥石流灾害。

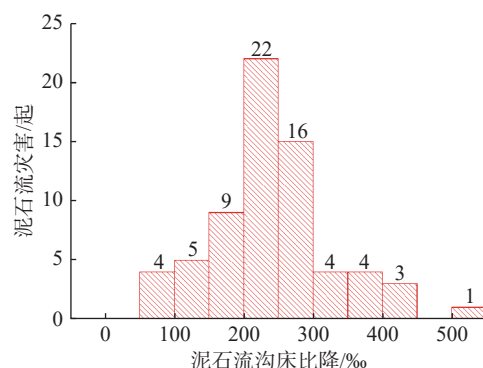


图 5 “23·7”泥石流沟床比降分布柱状图

Fig. 5 Bed gradient distribution histogram of debris flow

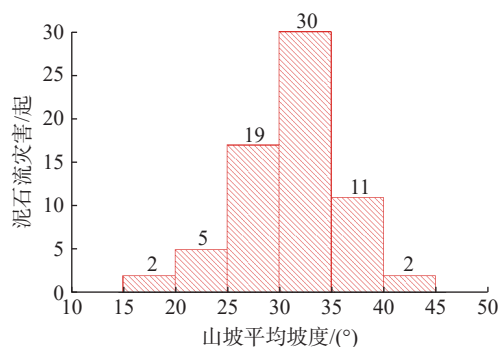


图 6 “23·7”泥石流流域山坡坡度分布柱状图

Fig. 6 Slope distribution histogram of debris flow

(3) 人类工程活动因素

强烈的人类工程活动改变了山区原有的地质环境平衡,如开山修路、切坡建房、矿山开采等活动。道路切坡改变了原始斜坡的应力平衡状态,以及坡面残留部分浮石受强降雨等其他因素共同影响,易发生崩塌灾害。本次强降雨道路沿线崩塌灾害(616起)占本次灾害总数(1257起)的49%,占崩塌灾害(1090起)的57%;居民房前屋后崩塌453起,占崩塌灾害(1090起)的42%。其中,发生在国道的崩塌灾害155起,主要有兴阳线(G234)、京昆路(G108)、京拉路(G109);发生在省道的崩塌灾害31起,主要有南雁路S219、斋幽路S211、石担路S209等;县道177起,发生在乡道及以下级别道路253起。

本次发生的95条沟谷型泥石流,近一半沟道内存在矸石弃渣,主要分布在房山区史家营乡、大安山乡、周口店镇、南窖乡,门头沟区潭柘寺镇、王平镇、清水镇等乡镇。区域内因历史采矿活动,沟道内堆积压实的矸石弃渣被冲刷、掏蚀,淤积于沟谷、河道,形成泥石流发生的主要物质来源,经实地调查评估,总物源冲出量 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上。

(4)大气降水因素

降水是地质灾害最重要的诱发因素之一^[1],“23·7”强降雨是引发研究区崩塌、泥石流大量发生的直接原因。本次降水引发地质灾害主要集中在西部房山和门头沟区,与西部山区极端降水密切相关。群发性泥石流均发生在累计雨量 300 mm 以上,小时雨强大于 40 mm 区域。其中,泥石流灾害中发生在累计雨量大于 700 mm 有 15 起,累计雨量为 600~700 mm 有 25 起,累计雨量为 500~600 mm 有 28 起,累计雨量为 400~500 mm 有 33 起,累计雨量为 300~400 mm 有 31 起;小时雨强大于 100 mm 有 4 起,小时雨强为 90~100 mm 有 3 起,小时雨强为 80~90 mm 有 10 起,小时雨强为 70~80 mm 有 5 起,小时雨强为 40~70 mm 有 110 起。山区道路沿线崩塌灾害 616 起,降水 0~100 mm 发生 1 起;100~200 mm 发生 4 起;200 mm~450 mm 发生 8 起;超过 450 mm 之后共发生 603 起。

3 地质灾害气象风险预警服务及成效分析

3.1 地质灾害气象风险预警模型构建

选取坡度、坡向、高程、地貌类型、工程地质岩组、断裂密度、年降雨量、河网密度以及矿山开采度等 11 项影响因子,采用确定性系数法,研究了北京山区地质灾害潜势度,并基于北京山区历史灾害资料和显式预警模型方法,构建了北京山区地质灾害气象风险预警表达式(1)及分级预警判据(表 1)。

$$T_1 = 0.32G + 1.02R_e - 0.19 \tag{1}$$

式中: T_1 ——预警指数;
 G ——地质灾害潜势度;
 R_e ——有效雨量,为当日预报雨量与前 3 d 有效降雨之和。

表 1 地质灾害预警风险等级划分依据
Table 1 Classification criteria for geological hazard warning risk levels

预警等级	预警指数
无预警	$T_1 < 0.55$
蓝色预警(有一定风险)	$0.55 \leq T_1 < 0.68$
黄色预警(风险较高)	$0.68 \leq T_1 < 0.74$
橙色预警(风险高)	$0.74 \leq T_1 < 0.98$
红色预警(风险极高)	$T_1 \geq 0.98$

3.2 预警服务

根据北京市气象局降水预报,7月29日13时发布72 h北京市地质灾害气象风险橙色预警和山区道路崩塌灾害气象风险橙色预警,其中:房山、门头沟、昌平

等 9 个区 77 个乡镇发布橙色预警;延庆等 4 个区 33 个乡镇发布黄色预警;密云区 2 个乡镇发布蓝色预警。房山区京昆路、军红路、涑宝路、六石路,门头沟区兴阳线、妙峰山路、清千路、潭王路旧线,延庆区滦赤路等 13 条道路发布橙色预警;门头沟区京拉线、下安路、南雁路、怀柔区承塔线、兴阳线、密云区兴阳线等 17 条道路发布了黄色预警;昌平区 G6 高速、安四路、怀柔区四宝路、平谷区胡关路、熊南路等 21 条道路发布蓝色预警。为避险转移和道路巡查提供了技术支撑。

后续根据降水实况、土壤饱和程度以及地质灾害发育分布特点,于 7 月 31 日 12 时提级发布 48 h 地质灾害气象风险红色预警和山区道路沿线崩塌灾害气象风险红色预警(图 7),其中:房山、门头沟、海淀、石景山、丰台、昌平 6 个区 57 个乡镇提级为红色预警区;密云新城子镇、古北口镇 2 个乡镇提级为黄色预警区;25 条道路提级为红色预警、18 条道路提级为橙色预警、20 条道路提级为黄色预警;评价范围为山区,无颜色地区为平原,不在评价范围内。地质灾害预警提级与风险协同处置相结合,指导属地政府和相关单位进行雨中风险防控。与此同时,降水过程中根据突发地质灾害专业监测设备实时监测数据,开展了房山区金鸡台村东江沟等 146 条泥石流沟的临灾预警,为避险转移和救灾抢险工作提供依据。

3.3 预警成效

地质灾害防御响应期间,地质灾害预警实现了面、线、点结合的多维度预警,预警校验结果表明,1 257 处地质灾害均发生在区域预警范围及时段内;发布山区道路崩塌气象风险预警产品 6 期,县级及以上道路崩塌灾害 240 起中位于预警路段范围内 182 起,预警命中率 75.83%(图 8)。发布泥石流单沟预警 146 起,统计范围内泥石流(132 起)均提前预警,实现了区域预警到镇/乡,道路沿线预警到路段,泥石流预警到单沟的精细化预警。

4 结论及建议

(1)北京市突发地质灾害监测预警系统工程布设的野外专业设备监测成果显示,“北京市突发地强降雨具有总量大、雨强大、历时长等特点,雨量在 1 000 mm 以上的有 3 个点位,门头沟区的平均降水量达到了 538.1 mm,房山区达到了 598.7 mm。

(2)强降雨期间内共发生地质灾害 1 257 起,以崩滑灾害和泥石流灾害为主,其中,崩滑灾害 1 112 起(崩塌 1 090 起,滑坡 22 起),占总数的 88.5%;泥石流 132 起,

发布时间：2023年7月31日12时
预警时间：2023年7月31日12时—2023年8月2日12时

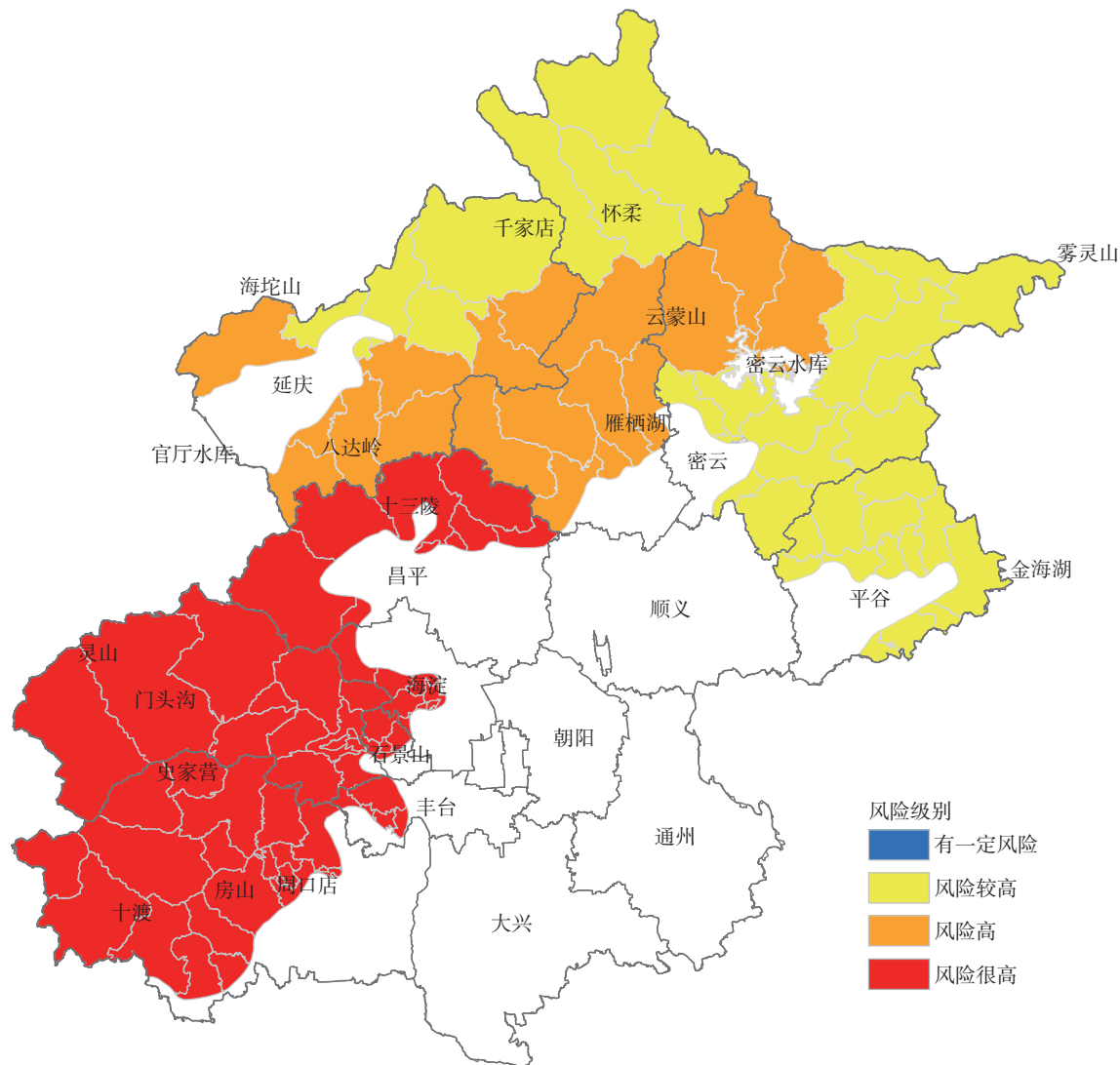


Fig. 7 Geological disaster meteorological risk warning map of Beijing at 12:00 on July 31st

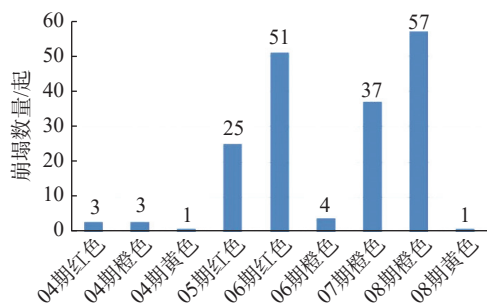


图 8 崩塌灾害成功预警情况统计

Fig. 8 Statistics on successful early warning of landslide disasters

占总数的 10.5%; 地面塌陷 13 起。威胁对象涉及道路 683 起、居民点 541 起、景区 10 起、中小学 1 起、其它 22 起; 未造成人员伤亡, 但损毁房屋 600 余间, 损毁道

路约 54 km, 直接经济损失约 4 亿元。

(3) 研究区地质灾害主要受地形地貌、岩性构造、人类工程活动、大气降水等因素影响, 大气降水为主要引发因素。其中, 泥石流灾害均发生在累计雨量 300 mm 以上, 小时雨强大于 40 mm 区域。

(4) 地质灾害防御响应期间, 研究区发布 9 期地质灾害气象风险预警, 山区道路崩塌气象风险预警 6 期, 146 条泥石流沟的单沟预警提示信息, 因预警及时并采取相应防范措施, 地质灾害未造成人员伤亡。

(5) 塌陷隐患或塌陷灾害一般都发育在西部山区, 塌陷的影响因素比较多, 受历史采矿人类活动影响强烈。本次强降雨天气过程中塌陷灾害不典型, 北京市历史上未开展过专项调查且极端降雨情况下交通受阻调

查时效相对跟不上,因此文中没有分析。

(6)“23•7”极端降雨历时长、总量大,地质灾害群发性明显,但由于地质灾害专业监测覆盖度有限,大量坡面泥石流及崩塌灾害发生的具体时间不详,导致该类灾害预警阈值的确定存在一定困难。后续将开展多源监测数据综合分析,加大当地群众的调查走访力度,为坡面泥石流及崩塌灾害精细化预警分析提供技术支持。

(7)研究区受强降水影响地质环境改变强烈,建议复盘地质灾害防御响应过程及校验预警工作,及时总结预警工作中的经验和不足;提升和完善地质灾害监测预警专业站网和信息平台,深化地质灾害监测预警模型研究,加强受地质灾害威胁险村险户识灾避险技能的培训和宣传,为今后北京地区地质灾害防治工作奠定基础。

参考文献(References):

- [1] 罗守敬,王珊珊,付德荃.北京山区突发性地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(4): 126-133. [LUO Shoujing, WANG Shanshan, FU Dequan. Assessment on the susceptibility of sudden geological hazards in mountainous areas of Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(4): 126-133. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 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. [WANG Haizhi, ZENG Qingli, XU Bing, et al. Types and characteristics of geological disasters induced by the “7•21” rainstorm in Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(2): 125-132. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 李岩,南赟,曹颖.北京山区道路沿线崩塌灾害特征分析与防治思路探讨[J].城市地质,2022,17(3): 291-298. [LI Yan, NAN Yun, CAO Ying. Characteristics analysis and prevention discussion of collapse disasters along roads in mountainous areas of Beijing [J]. Urban Geology, 2022, 17(3): 291-298. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 韩建超.北京地区崩塌监测预警初探——以琉辛路监测路段为例[J].城市地质,2020,15(2): 148-153. [HAN Jianchao. Preliminary study on collapse monitoring and early warning in Beijing area: Taking the monitoring section of Liuxin Road as an example [J]. Urban Geology, 2020, 15(2): 148-153. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 程素珍,路璐,翟淑花,等.2004—2018年北京市突发地质灾害时空分布特点和监测预警状况[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(6): 38-46. [CHENG Suzhen, LU Lu, ZHAI Shuhua, et al. Temporal-spatial distribution and monitoring and early warning of sudden geological disasters in Beijing during the period of 2004 to 2018 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(6): 38-46. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 赵忠海,李敏.北京山区公路边坡地质灾害隐患监测预警技术研究[J].城市地质,2018,13(3): 72-83. [ZHAO Zhonghai, LI Min. Study on monitoring and early warning technology of the potential slope geological disaster along the mountainous roads in Beijing [J]. Urban Geology, 2018, 13(3): 72-83. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 李晓玮.G109国道门头沟段边坡稳定性及崩滑灾害危险性评估[D].北京:中国地质大学(北京),2012. [LI Xiaowei. The slope stability and slump hazard assessment along the G109 National highway in Mentougou [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 曹亚男.房山山区公路地质灾害的预防与应急管理研究[D].北京:北京建筑大学,2019. [CAO Yanan. Study on prevention and emergency management of highway geological hazards in Fangshan district mountain area [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 南赟,曹颖,李岩.新形势下北京市突发地质灾害防治工作思路探析[J].城市地质,2020,15(3): 233-238. [NAN Yun, CAO Ying, LI Yan. An analysis on prevention and control of abrupt geo-hazards in Beijing under the new situation [J]. Urban Geology, 2020, 15(3): 233-238. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 贾三满,翟淑花,姜媛.北京突发地质灾害防控对策[J].城市地质,2017,12(4): 16-23. [JIA Sanman, ZHAI Shuhua, JIANG Yuan. Prevention and controlling idea on emergent geological disasters of Beijing [J]. Urban Geology, 2017, 12(4): 16-23. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 刘艳辉,唐灿,吴剑波,等.地质灾害与不同尺度降雨时空分布关系[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(3): 74-83. [LIU Yanhui, TANG Can, WU Jianbo, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of geo-hazards and rainfall in different scales [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(3): 74-83. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 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. [ZHANG Mingzhi, YANG Fei, MA Juan, et al. Exploration of blockchain technology application in the construction of national risk warning system on landslides [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2023, 50(6): 168-174. (in Chinese with English abstract)]