中国地质灾害与防治学报
THE CHINESE JOURNAL OF GEOLOGICAL HAZARD AND CONTROL
中国科技核心期刊
《中国科学引用文数据库》来源期刊
Caj-cd规范获奖期刊

辽宁抚顺西露天矿地质灾害时空分布特征及影响因素分析

靳　鹏，申　力，韩晓枢，郭　霁，王毛毛

Spatial-temporal distribution characteristics and influencing factors of geological disasters in the open-pit mining area of western Fushun,Liaoning Province

JIN Peng, SHEN Li, HAN Xiaoji, GUO Ji, and WANG Maomao

在线阅读 View online: https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2022.03-08

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

广东佛山市高明区三洲盆地岩溶塌陷发育特征与时空分布规律

Characteristics and spatial-temporal distribution law of karst collapse in Sanzhou basin in Gaoming District of Foshan City, Guangdong Province

韩庆定, 罗锡宜, 易守勇, 邹杰　中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 131-139

青海省滑坡崩塌泥石流灾害时空分布特征

Temporal and spatial characteristics of landslide, rockfall and debris flow disasters in Qinghai Province during the period

魏正发, 曹小岩, 张俊才, 应忠敏, 严慧, 魏赛拉加　中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(6): 134-142

辽宁抚顺西露天矿南帮滑坡应力变化规律及影响因素分析

${suggestArticle.titleEn}

滕超, 王雷, 刘宝华, 崔原, 贺鑫, 唐浩　中国地质灾害与防治学报. 2018, 29(2): 35-42

基于普适型仪器的滑坡监测预警初探——以甘肃兰州岷县三处滑坡为例

Application of universal geo-hazard monitoring instruments in landslides and early warning of three landslides in Gansu Province: a case study in Minxian County and Lanzhou City of Gansu Province

侯圣山, 李昂, 陈亮, 冯振, 王立朝, 曹鹏, 刘军友, 郑浩, 李阳光, 黄鑫, 郭伟, 魏新平　中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 47-53

辽宁抚顺西露天矿南帮滑坡变形与地下水位关系

${suggestArticle.titleEn}

贺鑫, 崔原, 滕超, 陈奉川, 康丹, 李兵　中国地质灾害与防治学报. 2018, 29(1): 72-77

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2022.03-08
靳鹏, 申力, 韩晓极, 等. 辽宁抚顺西露天矿地质灾害时空分布特征及影响因素分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(3): 68-76.
JIN Peng, SHEN Li, HAN Xiaoji, *et al*. Spatial-temporal distribution characteristics and influencing factors of geological disasters in the open-pit mining area of western Fushun,Liaoning Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(3): 68-76.

辽宁抚顺西露天矿地质灾害时空分布特征及影响因素分析

靳　鹏[1,2,3], 申　力[1,2,3], 韩晓极[2,3], 郭　霖[2,3], 王毛毛[2,3]
（1. 煤炭科学研究总院, 北京　100013；2. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 抚顺　113122；
3. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺　113122）

摘要: 已有百年开采历史的抚顺西露天矿进入闭坑期, 由于资源的开采, 导致西露天矿长期受地质灾害的威胁。为了总结西露天矿地质灾害发生规律、保障矿区及近矿城区的生产生活安全, 同时为其他同类露天矿的灾害分析、安全防护提供可参考案例, 从时间和空间尺度对抚顺西露天矿滑坡、地裂缝的分布规律和影响因素进行研究分析, 基于 DPSR 模型, 从驱动力响应、压力响应、状态响应三个方面提出对应的断链减灾和安全防护措施。地质灾害的时空分布特征为: 滑坡灾害最早出现于 1927 年南帮西部, 滑坡主要位置由南帮西部区域向西端帮、北帮西部、北帮中部、北帮东部方向发展, 近年南帮出现大规模岩质边坡滑移变形, 1970—2000 年期间, 滑坡灾害最为频发, 2000 年以后滑坡灾害频次减少, 且滑坡灾害多发生在 5—9 月份; 北帮附近地裂缝出现于 1960 年后, 上世纪 70、80 年代加速发育, 走向与 F_1、F_{1A} 断层走向基本一致, 南帮地裂缝分布在南帮巨大滑移变形体后缘, 呈弧扇型分布, 于 2009 年出现, 2012 年后迅速发展。通过对灾害影响因素分析发现, 滑坡与地裂缝存在同源性和互为因果性的链式关系, 影响矿区地质灾害发生的主要因素为地质构造和不良工程地质环境控制、采矿活动驱动、降雨及地下水因素的诱发。

关键词: 抚顺西露天矿; 地质灾害; 时空分布; 滑坡; 地裂缝
中图分类号: P642.2　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1003-8035(2022)03-0068-09

Spatial-temporal distribution characteristics and influencing factors of geological disasters in the open-pit mining area of western Fushun,Liaoning Province

JIN Peng[1,2,3], SHEN Li[1,2,3], HAN Xiaoji[2,3], GUO Ji[2,3], WANG Maomao[2,3]
(1. *China Coal Research Institute*, *Beijing*　100013, *China*;
2. *China Coal Technology & Engineering Group Shenyang Research Institute*, *Fushun*, *Liaoning*　113122, *China*;
3. *State Key Laboratory of Coal Mine Safety Technology*, *Fushun*, *Liaoning*　113122, *China*)

Abstract: Fushun west open-pit mine, which has a history of 100 years of mining, entered the pit-closing period. Due to the exploitation of resources, the west open-pit mine was threatened by geological disasters for a long time. In order to summarize the occurrence regularity of geological disasters in the west open-pit mine, ensure the safety of production and life in the mining

收稿日期: 2021-11-25; **修订日期:** 2022-02-14　　**投稿网址:** https://www.zgdzzhyfzxb.com/
基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC1503106); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项项目(2019-ZD004)
第一作者: 靳　鹏(1994-)男, 山东德州人, 硕士生, 主要从事地质灾害防治研究工作。E-mail: 2517241751@qq.com
通讯作者: 申　力(1969-)男, 四川开江人, 研究员, 硕导, 主要从事矿山地质灾害预测、防治、评估研究工作。E-mail: inshenli@263.net

area and near-mining city, and provide reference cases for disaster analysis and safety protection of other similar open-pit mines, the distribution law and influencing factors of landslides and ground fissures in west open-pit mine are studied and analyzed from time and space scale, based on the DPSR model, the corresponding measures of chain break disaster reduction and safety protection are put forward from three aspects: driving force response, pressure response and state response. Spatial-temporal distribution characteristics of landslide: in space, it first appeared in the western part of the southern slope in 1927. In recent hundred years, due to the driving influence of open-pit mining and underground mining, the main location of landslide developed from the western part of the southern slope to the western part of the northern slope, the western part of the northern slope, the central part of the northern slope and the eastern part of the northern slope. In recent years, large-scale rock slope sliding deformation occurred in the southern slope. Actually, from 1970 to 2000, landslide disasters occurred most frequently. After 2000, the frequency of landslide disasters decreased, and most of them occurred from May to September. Spatial-temporal distribution of ground fissures: the ground fissures near the north slope appeared after 1960, and accelerated in 1970s and 1980s, with the strike basically consistent with that of F_1 and F_{1A} faults; the ground fissures in the southern slope are distributed in the rear edge of the huge slip deformation body in the southern slope, which are arc-fan shaped and appeared in 2009 and developed rapidly after 2012. Through the analysis of disaster influencing factors, it is found that there is a chain relationship of homology and mutual causality between landslides and ground fissures, and the main factors affecting the occurrence of geological disasters in mining areas are geological structure and control of unfavorable engineering geological environment, driving of mining activities and inducing of rainfall.

Keywords: Fushun west open-pit mine；geologic hazard；spatial-temporal distribution；landslide；ground fissure

0　引言

抚顺西露天矿有百年开采历史，大规模露天开采始于 1914 年，持续百年的开采形成了东西长 6.6 km、南北宽 2.2 km、面积 10.81 km^2、矿坑最低标高−360 m、容积约为 1.7×10^9 m^3 的特大型深凹露天矿坑，曾是亚洲第一露天矿。西露天矿的开采方式为露天和井工开采。露天开采形成了 400 ~ 500 m 的高陡边坡，局部地段边坡角超过 40°，改变了原来的地形地貌，破坏了原有的水文地质环境、岩体结构；井工开采始于 1907 年，于 1979 年停采，地下开采使得采空区周围应力重新分布，打破原岩体的应力平衡而发生变形，使得原生裂隙发育，露天采场北帮几乎全部处于井工采动后的岩移扰动范围内[1]。自开采以来，矿区及其周边城区出现了一系列的地质灾害，影响较大的主要有滑坡、地裂缝和不稳定斜坡，并且其时空分布具有一定的变迁规律。由于西露天矿区环境地质灾害的持续性和频发性，以及“矿在城中”位置的特殊性，所以灾害分布规律及影响因素的研究对矿区的安全生产、近矿城区市民安居有着重要影响。长时间以来有许多的学者对西露天矿的地质灾害产生机理、预测方法、风险评估、灾害影响[2－11]等进行研究分析，其中纪玉石等[12]和申力等[13]研究发现西露天矿采矿引起的倾倒滑移变形是在特定的地质构造和采矿工程条件下产生的；杨天鸿等[14]人以西露天矿北帮边坡为例，建立了弱层流变力学模型和长期强度的时间效应模型。如今西露天矿已进入闭坑期，但地质灾害仍然对矿区周边企业运营安全、市民安居产生威胁。通过对西露天矿地质灾害时空变迁规律及影响因素进行分析研究，提出防灾减灾措施，为今后矿区及近矿城区的安全评价和防护提供思路，也为同类露天矿不同开采阶段内地质灾害的研究分析提供可借鉴的案例。

1　矿区概述

抚顺西露天矿位于抚顺市区的南部、抚顺煤田的西南部，矿坑位于浑河南岸，千台山北麓，发育于浑河深大断裂带。抚顺西露天矿地表水系发育，北邻浑河，西有古城子河，南有杨柏人工河。

西露天矿位于煤田西段，处于 F_1 断层牵引构造急剧发育部位，区内构造表现为断层构造、褶皱构造及节理构造（图 1）。其中：露天矿北帮西部地质条件较复杂，由于 F_{1A} 和 F_1 断层以及一些次生裂缝，使地层产状和岩体结构受其影响，位于 F_1 南侧的古近系地层被牵引形成不对称向斜及复式褶曲构造，向斜北翼岩层倒转；北帮东部多以裂隙发育为主，无大型构造发育，地质条件相对简单，均以单斜地层出露。

矿田为新生代古近系内陆沼泽相沉积地层，主要为泥岩和页岩等软岩，软岩地层覆盖在火山岩、玄武岩与片麻岩之上。其中：北帮边坡岩体的软岩主要是绿色泥岩与褐色页岩的互层岩组，断层 F_1 和 F_{1A} 的两种断层泥；南帮边坡玄武岩大范围出露，岩体节理裂隙较发育，

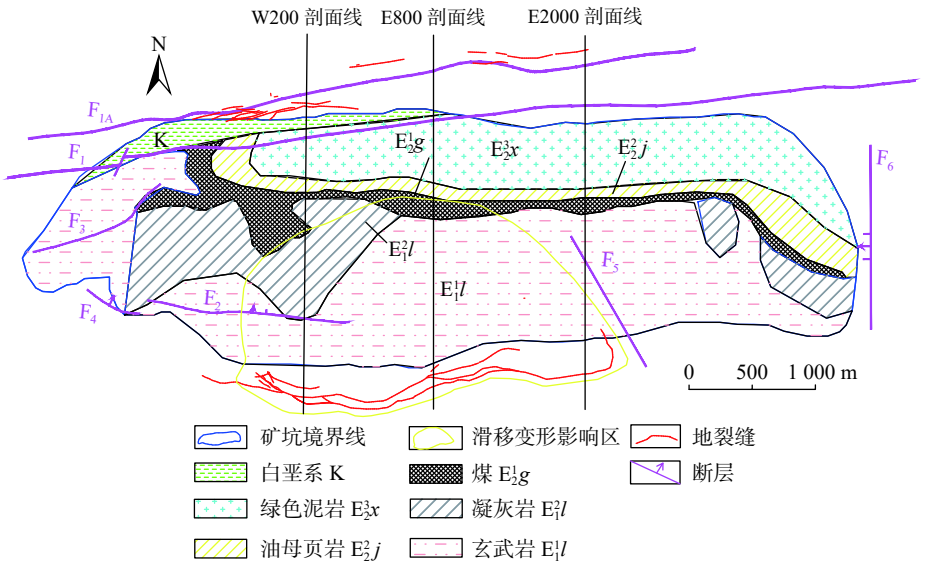


图 1 矿区概况图

Fig. 1 Overview of mining area

岩体结构类型为块状结构局部存在碎裂结构，南帮西区为裂隙、节理都较发育的玄武岩，岩体成块体或楔形体，南帮东区则有软弱层凝灰岩覆盖在较稳定的玄武岩之上。目前矿区西部区域大部分被内排土覆盖，下部由厚层状的油母页岩、煤层组成。

2 西露天矿滑坡灾害分布及影响因素分析

2.1 滑坡灾害时空分布特征

据资料记载，西露天矿地质灾害问题最早出现于1927 年南帮的滑坡灾害，至今发生可统计的滑坡灾害近百次，威胁着矿区的安全生产。根据滑坡的岩体结构及滑动面特征，将滑动模式分为圆弧滑坡、平面顺层滑坡、平面圆弧滑坡、楔体滑坡、反倾向岩体滑坡、倾倒变形破坏[15]等。通过对不同时期滑坡灾害空间位置(图 2)的统计分析，总结出西露天矿滑坡灾害的时空迁移特征：1930—1960 年发生可统计的滑坡 16 次，滑坡集中发生在南帮西部区域；1960—1970 年发生可统计的滑坡 7 次，由南帮西部地区向北帮西部地区拓展；

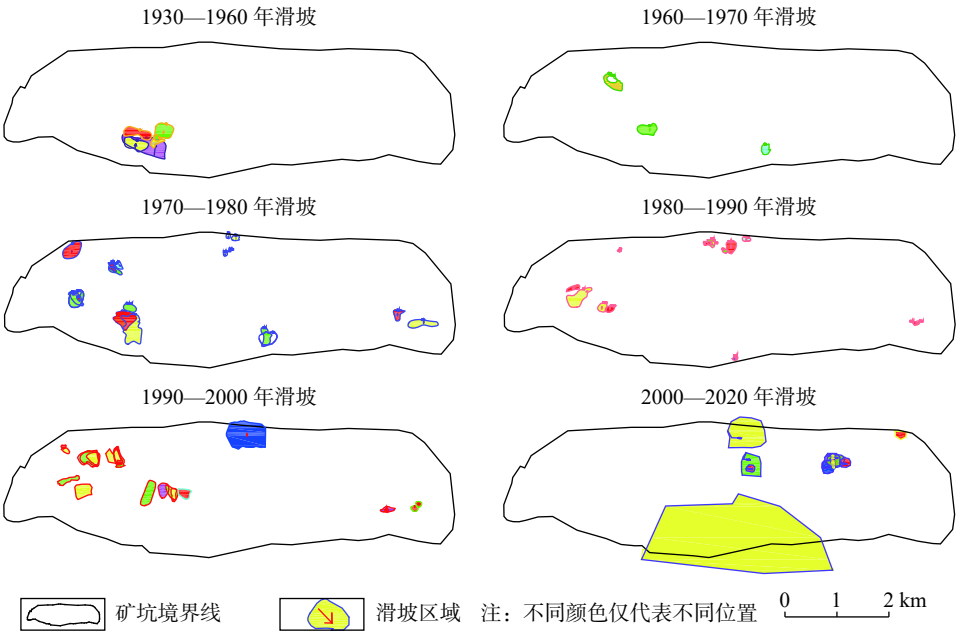


图 2 不同时期滑坡分布图

Fig. 2 Distribution map of landslides in different periods

1970—1980 年发生可统计的滑坡 24 次，滑坡灾害频次增加，且广泛分布，但仍集中于矿区西部区域（西端帮、南帮西部、北帮西部）；1980—1990 年发生可统计的滑坡 14 次，滑坡频次略有减少，除集中于矿区西部，北帮中部小型滑坡次数也明显增多；1990—2000 年发生可统计的滑坡 31 次，滑坡灾害在该时间段发生的频次最多，灾害集中于南帮西部、北帮西部、西端帮区域，并在北帮中部靠近矿界线处发生较大规模的滑坡；2000—2020 年发生可统计的滑坡 10 次，滑坡频次减少，尤其西部区域没有出现滑坡灾害大规模发生，但 2013 年后南帮出现了投影面积 3.37 km^2、整个滑体约 $4.5\times10^8m^3$ 的巨型深层岩质边坡滑移变形，中小型滑坡多集中于北帮，北帮滑坡由中部向北帮东部区域转移。矿区滑坡位置的总体变迁方向为：从南帮西部区域向西端帮和北帮西部区域扩展，2000 年后向北帮中部和北帮东部区域转移，南帮形成巨大的滑移变形体。

2.2　滑坡灾害因素分析

2.2.1　地质构造影响

据统计，滑坡灾害的分布多集中于断层附近，其中 75.4% 的滑坡位置距离断层 200 m 以内。而且北帮的滑坡灾害多集中于分布多条断层、复式褶曲构造的西部和中部（图 3），岩体受构造运动影响，节理十分发育，破坏了岩体完整性，使其结构强度降低，影响了边坡稳定性，说明复杂的地质构造和工程地质环境是西露天矿滑坡灾害产生的基础因素。

2.2.2　开采活动影响

选取 W200、E800、E2000 三个剖面的历年轮廓线（图 3），根据不同时期滑坡位置可知早期滑坡发生在开挖强度较大、开挖边坡较陡的南帮西部区域。剖面 W200 中 1945 年及 1955 年发生的历史滑坡处于开挖强度大，存在软弱夹层的顺倾层岩体结构的南帮西区位置，见图 3（a）。矿区西部在 2000 年进行内排回填治理后，滑坡灾害得到有效控制。20 世纪 80 年代后持续露天开挖，北帮形成高超过 400 m、局部边坡角超过 40°的露天边坡，此阶段北帮西部和中部区域滑坡灾害数量明显增多。剖面 E800 中发生于 1987 年 4 月的滑坡处于开挖边坡角度大的褶皱构造区域。北帮中部区域，在 2018 年进行矿坑回填压脚后近几年内无滑坡灾害的发生，见图 3（b）。北帮东部区域目前未进行内排回填，仍多次出现小型滑坡，见图 3（c）。持续的露天开采使边坡总体轮廓发生改变，原有的应力平衡状态被破坏，开挖卸载导致边坡岩体松弛变形，致使高陡的边坡稳定性降低，极易引发滑坡灾害。说明露天开采活动是西露天矿滑坡灾害发生的驱动因素，且压脚回填能有效减少滑坡灾害的发生。

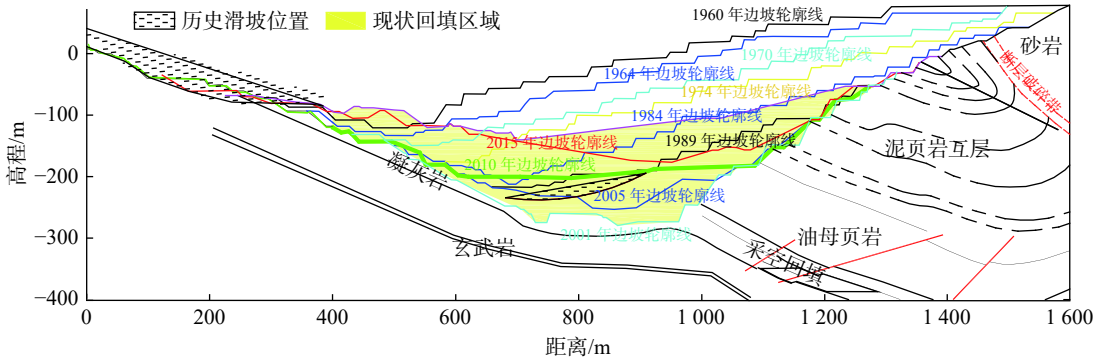
2.2.3　诱发因素

水是影响边坡稳定性的重要因素，约有 76.9% 的地质灾害是持续性降雨所诱发的[16－19]。以月为单位对西露天矿滑坡灾害进行统计分析，抚顺西西露天矿滑坡灾害主要集中在 5—9 月份，占灾害总数的 70%，其中 7—9 月份滑坡灾害发生最为集中，占总数的 54%。对抚顺地区近二十年平均降雨量统计，该地区降雨季节性明显，主要集中在 5—8 月份，占全年降雨量的 70%，滑坡频次和降雨量近似呈现正相关关系（图 4）。除大气降水外，西露天矿地下水补给还主要通过坑北侧的浑河、坑西侧的古城子河、坑南侧的杨柏人工河等河水沿第四系地层侧向补给。其中浑河距离露天矿约 1.2 km，洪峰季节水位高达 75 m 标高，露天矿北帮水位标高通常为 68 ~ 69 m，北帮与河床之间的冲积层是连续分布，基底以 2‰的坡度缓倾向采坑；古城子河为季节性河流，靠近采坑西帮，由南向北汇入浑河；杨柏人工河及旧河道，该处第四系含水层厚度 5 ~ 6 m，渗透系数为 31.04 ~ 112.14 m/d，矿坑地下水的补充仍然受季节性降雨的影响。水对边坡稳定性的影响主要有两个方面：一是当岩层或其中软弱夹层有亲水性强、易溶矿物时，浸水后易发生崩解泥化等作用，使得岩体强度变差，导致边坡的抗滑力下降，稳定性降低[20]；二是水的力学作用的影响，静水压力的作用能增大滑动力，减少摩擦力从而降低边坡稳定性，当地下水在斜坡岩土体渗流排出时，对斜坡产生动水压力，边坡稳定性降低[21]。因此，降雨和河流水头补给是西露天矿滑坡灾害的主要诱发因素。

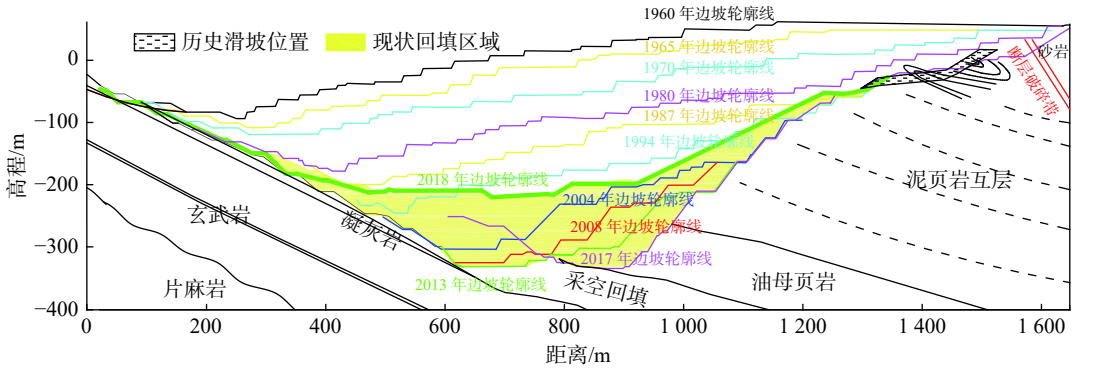
3　地裂缝分布特征及影响因素分析

3.1　西露天矿地裂缝发育特征

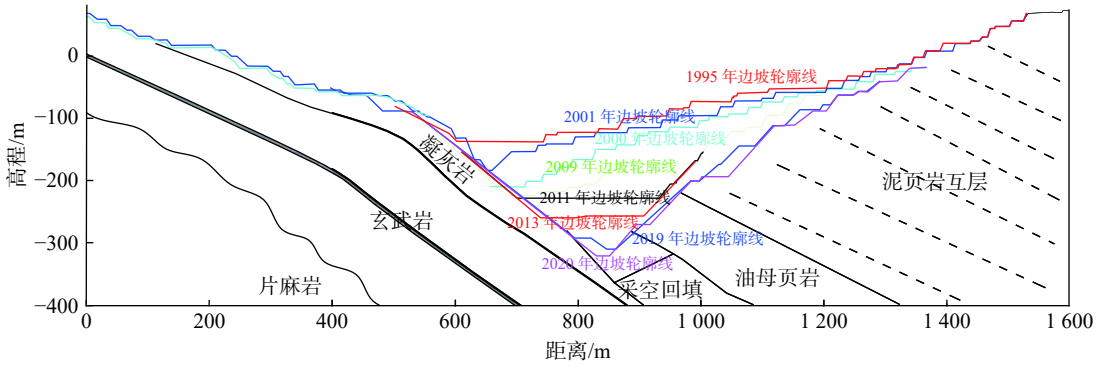
由于西露天矿地处抚顺城区，矿区周围分布着石油一厂、电厂等许多企业且靠近人口密集区，因此地裂缝灾害对于近矿城区安全与稳定发展有着重要影响。矿区周边分布的地裂缝导致厂房、道路、居民楼、生活设施等破坏，制约了企业的安全生产，直接威胁着附近居民生命财产安全。从 20 世纪 60 年代石油一厂出现地裂缝导致的建筑物破坏，到如今西露天矿区北帮附近、南帮千台山后缘出现多条地裂缝。分布在北帮附近的石油一厂、电厂、市区附近的地裂缝影响区域东西跨度超过 3 km，分布于南帮千台山后缘的两条近似平行地裂缝东西向延展，弧扇形分布（图 1）。北帮厂区建筑物



(a) 剖面 W200



(b) 剖面 E800



(c) 剖面 E2000

图 3 典型剖面的历年边坡轮廓线及地质剖面图

Fig. 3 Slope contour and geological profile of typical profile over the years

在 20 世纪 60 年代开始出现大量破坏情况，于 1975—1976 年建筑物第二次出现较集中的大规模破坏，第三次出现建筑物集中破坏发生在 1985—1987 年，由此分析北帮地裂缝出现于 1960 年以后，20 世纪七八十年代加速发育；南帮地裂缝最早发现于 2009 年，于 2012 年末地裂缝变形加速发展。

3.2 北帮地裂缝产生因素分析

由图 1 中地裂缝与断层位置分析可知，北帮地裂缝走向与 F_1、F_{1A} 断层走向基本一致，且大部分分布在断层水平距离 150 m 内，因此北帮地裂缝受断层影响，F_1、F_{1A} 断层控制北帮地裂缝的分布和发展。

对石油一厂 20 世纪六七十年代建筑物的破坏统计与地下开采进程进行对比分析。图 5(a)中标号①的建筑物破坏区域为石油一厂总变电所，在 1961 年出现裂缝，并于 1976 年拓展多条裂缝；标号②为石油一厂西废页岩仓，1962 年页岩仓顶部出现偏移，1975 年出现多条宽为 30 ~ 130 mm 的地裂缝；标号③为西原油车间，在 1966 年之前出现裂缝；标号④为西锅炉车间，1966 年以前发现建筑物有裂缝破坏，1974 年后又有新增裂缝；标号⑤为硫铵车间，1974 年出现裂缝，1975 年出现基础不均匀沉降；标号⑥为硫酸车间，自 1963 年开始出现裂缝，后出现地基不均匀沉降并不断有裂缝发展。6 个破

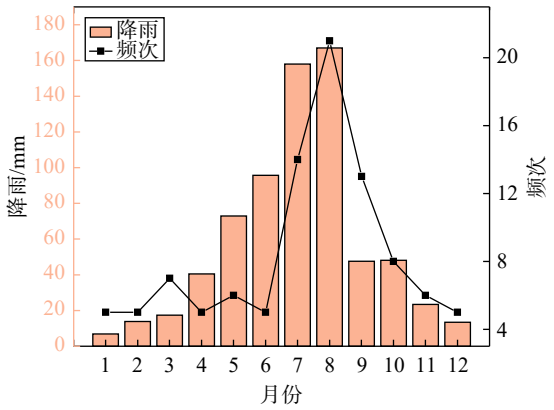
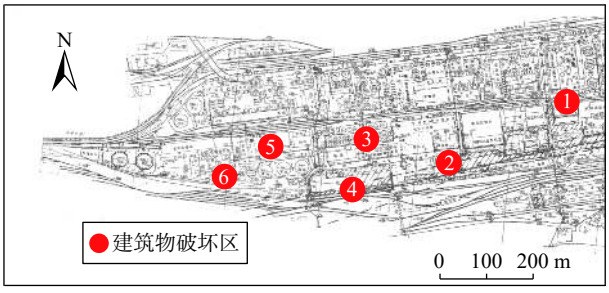


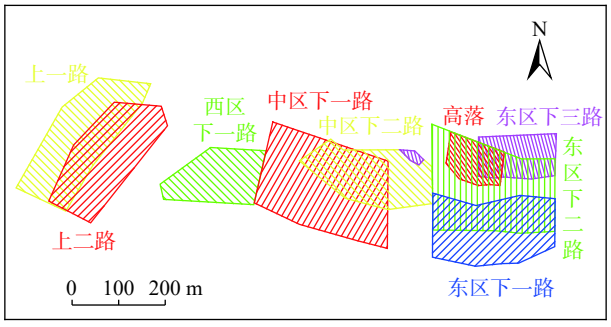
图 4　西露天矿滑坡灾害和降雨量在每月的分布

Fig. 4　Monthly distribution of landslide disasters and rainfalls in West Open-pit Mine

坏区域位置见图 5(b)，与破坏时间(表 1)对比发现，井工开采位置与地表建筑物在时间和空间上有对应关系，地裂缝对建筑物的破坏与地下开采上大致在同一垂直位置，时间上地裂缝的产生有相对滞后性。结合对应时间内露天边坡开采位置(图 3)可知，1960—1970 年露天开采远离破坏区域，且北帮滑坡频次少，此时露天开挖对北帮边坡稳定性影响较小，北帮出现的地裂缝主要由地下开采活动驱动产生；1970—1979 年露天矿的持续开采，北帮边坡坡角变大，边坡稳定性降低，北帮西区出现多次滑坡灾害，此时间段内北帮地裂缝发展受露天开采和地下开采活动共同驱动的影响；1979 年井工停采后，西露天矿向北扩帮，边坡稳定性降低，北帮多次出现滑坡灾害，同时引起北帮地裂缝的急剧发展，导致附近的建筑物大量破坏。综上，北帮地裂缝主要受 F_1、F_{1A} 断层构造的影响控制，露天开采和井工开采不断驱动影响。



(a) 地表建筑物破坏区域



(b) 井工开采位置

图 5　地表建筑物破坏区域及地下开采区域图

Fig. 5　Map of damaged areas of surface buildings and underground mining areas

表 1　部分区域地下开采时间表

Table 1　Part of underground mining status table

采区		标高/m	开采时间
东区	下一路	−305 ~ −337	1952年10月—1955年12月
	下二路	−342 ~ −380	1955年10月—1961年10月
	下二高落	−342 ~ −362	1960年5月—1961年6月
	下三路	−350 ~ −417	1962年5月—1964年5月
中区	下一路	−305 ~ −337	1954年3月—1958年4月
	下二路	−342 ~ −380	1956年7月—1962年5月
	下二高落	−342 ~ −378	1960年5月—1960年6月
西区	下一路	−305 ~ −337	1957年6月—1961年12月
	上一路	−100 ~ −160	1964年1月—1973年12月
	上二路南	−170 ~ −210	1971年1月—1973年12月
	上二路北	−170 ~ −210	1972年6月—1977年5月

3.3　南帮地裂缝产生因素分析

南帮地裂缝的产生是受南帮巨大滑移变形体控制形成的。2010 年发现零星分布的单一裂缝逐渐发展成贯通的线状地裂缝，由图 3 中南帮地质剖面图可知，南帮岩层倾向与坡体均倾向北，为顺倾层结构，在玄武岩岩体中存在的软弱夹层以及玄武岩与片麻岩的不整合接触面构成潜在的滑动面，在露天开采活动的影响下破坏了边坡岩体结构，使得部分岩层处于临空状态。随着矿坑加深、加陡，使得边坡稳定性变差，在边坡蠕变变形的积累和降雨、地下水的影响下，发生局部的边坡滑移，变形体整体向北滑动，在滑移变形体后缘浅层岩体处被拉张，在地表形成地裂缝。同时地裂缝的形成加剧了雨水入渗，进一步降低了边坡稳定性。因此南帮地裂缝形成的主要因素为在不良的地质环境下，露天开采活动驱动产生的，受不稳定岩体滑移变形的控制。

4　地质灾害间的关联性及断链减灾措施

4.1　西露天矿滑坡与地裂缝的关联性

灾害的产生、发展并不是孤立的，各灾种之间往往存在链式同源和转化的关系。西露天矿区滑坡灾害、地裂缝的产生有共同的影响因素：岩性、岩体结构、水文地质、断层构造、褶曲构造等因素控制灾害发生；开采活动影响矿区工程地质环境，破坏其自身稳定性；持

续降雨使得岩体抗剪强度降低,从而诱发滑坡和地裂缝灾害。滑坡和地裂缝单一灾害的产生和发展,都会对另一个灾害产生影响,因此滑坡和地裂缝存在互为因果的关系。西露天矿以地裂缝与滑坡灾害为主的地质灾害存在同源性和互为因果性,因此影响西露天矿地质灾害的主要因素可以系统的概况为:不良工程地质环境、地质构造为基础因素,露天采矿和地下开采活动是驱动因素,降雨是诱发因素。对于影响地质灾害的因素系统性分析,有利于为地质灾害治理、断链减灾、安全评估提供基础依据。

4.2 基于 DPSR 模型的减灾和安全防护措施

PSR(Pressure-State-Response)模型,即压力(P)、状态(S)、响应模型(R),以因果关系为基础,常用于研究环境问题的框架体系,进行环境评价[22]。DPSR 模型在此模型基础上进一步引进驱动力(D),更大程度上考虑人的行为对环境问题的影响。“驱动力”指对环境产生压力的潜在原因,“压力”即人类活动对研究区内的影响,“状态”指环境在此压力下所处出现的状况,“响应”指人类在面对所处状态的对应措施。

该模型常用于安全评价指标体系的构建,结合影响西露天矿地质灾害的因素,文章尝试运用该模型对地质灾害防治措施进行分析。开采活动在抚顺西露天矿影响区引发一系列地质灾害的安全性问题,是一个系统性的、具有因果关系的链式灾害问题,适合用 DPSR 模型对于此类问题的分析。驱动力系统影响,主要考虑抚顺西露天矿影响区内人类开采行为产生的潜在不利因素;压力系统影响,主要表示不同开采阶段工程地质环境、水文地质环境等所处的压力状态;状态系统指的是滑坡、泥石流、地裂缝等地质灾害的发生和灾害影响程度;响应系统指人对西露天矿区进行减灾防护的措施和应急管理的能力,主要通过对引起地质灾害问题的驱动力、环境压力、灾害状态进行相应措施的预防和治理。

根据 DPSR 模型,提出地质灾害引起矿区安全问题的应对措施。响应系统中人主观能动性反馈措施从 3 个方面进行:(1)“D-驱动力”响应,主要措施有露天矿开采及时进行技术改造、设计合理的边坡角和稳定性系数、地下开采的施工工艺与回填;(2)“P-压力”响应,改善不利的工程地质和水文地质环境,对构造发育、裂隙发育等不良地质区域进行注浆、止水帷幕、疏干排水等措施改善水文地质状况,抗滑桩、回填压脚等工程提升边坡结构的稳定性;(3)“S-状态”响应,提高灾害监测和预测能力、灾害救援能力、灾后恢复治理能力。目前矿区处于闭坑阶段,应从“P-压力”和“S-状态”响应方面入手,及时进行压脚回填,对于仍有滑坡危险的矿区北帮东部及时进行边坡位移监测和稳定性分析,及时制定应急预案,避免出现地质灾害对矿界外人口密集的市区产生安全威胁。

5 结论

(1)1927—1970 年西露天矿滑坡发生频次相对较少,由南帮西部向北帮西部拓展的分布趋势;1970—2000 年期间,滑坡灾害发生频次明显增多,仍主要集中于矿区西部区域,且有向北帮中部扩展趋势;2000—2020 年,经过西区的内排回填,矿区西部的滑坡灾害明显减少,北帮滑坡灾害由中部向东部扩展,南帮出现大规模的岩质边坡滑移变形。滑坡灾害主要集中在降雨量较大的 5—9 月份,且 75.4%的滑坡分布于距离断层 200 m 以内范围。

(2)西露天矿地裂缝分布于北帮附近,出现于 1960 年,20 世纪七八十年代加速发育,走向与 F_1、F_{1A} 断层走向基本一致,且主要分布在断层水平距离 150 m 内;2009 年南帮出现地裂缝,分布在南帮巨大滑移变形体后缘,受滑移变形体控制,呈弧扇型分布,2012 年后迅速发展。

(3)矿区滑坡与地裂缝的发育具有同源性和互为因果性,其影响因素概括为:地质构造和不良工程地质环境控制、采矿活动驱动、降雨和地下水等。

(4)从驱动力响应、压力响应、状态响应三个方面提出断链减灾和安全防护措施。现阶段进入闭坑期可通过改变滑体重心,上部减重,下部加载,进行回填压脚,改善在不良地质区域的力学条件,进行注浆增加岩体强度等措施进行压力系统的响应;建立健全灾害监测和预警系统,发展灾害救援技术与装备,科学制定应急预案进行状态系统的响应,从而减少灾害的发生和危害,保障近矿城区的安全。

参考文献(References):

[1] 高国骧. 抚顺西露天矿开采技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1993. [GAO Guoxiang. Mining technology of the Fushun west open pit[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1993. (in Chinese)]

[2] 王永胜,郭静芸,董高峰,等. 辽宁抚顺西露天矿北帮边坡稳定性分析及变形分区[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(4): 86-93. [WANG Yongsheng, GUO Jingyun, DONG Gaofeng, et al. Slope stability evaluation of Fushun west open-pit mine[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard

and Control, 2012, 23(4): 86 − 93. (in Chinese with English abstract)]

[3] 滕超, 王雷, 刘宝华, 等. 辽宁抚顺西露天矿南帮滑坡应力变化规律及影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(2): 35 − 42. [TENG Chao, WANG Lei, LIU Baohua, et al. Stress variation within the southern landslide of Fushun West Open-Pit and its influencing factors[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(2): 35 − 42. (in Chinese with English abstract)]

[4] 吴季寰, 张春山, 孟华君, 等. 抚顺西露天矿区滑坡易发性评价与时空特征分析[J]. 地质力学学报, 2021, 27(3): 409 − 417. [WU Jihuan, ZHANG Chunshan, MENG Huajun, et al. Temporal and spatial characteristics of landslide susceptibility in the West open-pit mining area, Fushun, China[J]. Journal of Geomechanics, 2021, 27(3): 409 − 417. (in Chinese with English abstract)]

[5] 李泽闯. 抚顺西露天矿南帮滑坡滑动机制与滑坡破坏时间预测预报研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017. [LI Zechuang. Study on deformation mechanism and failure prediction of landslide in west open-pit mine in Fushun[D]. Changchun: Jilin University, 2017. (in Chinese with English abstract)]

[6] 王宏飞. 抚顺市区地裂缝分布特征、成因机制及活动性预测模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017. [WANG Hongfei. Study on distribution characteristics, genetic mechanism and activity prediction model of ground fissures in Fushun City[D]. Changchun: Jilin University, 2017. (in Chinese with English abstract)]

[7] 李淑艳. 抚顺市矿山环境地质灾害形成机制与防治对策研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2008. [LI Shuyan. The research of mining environmental geology disaster's forming mechanism and countermeasures of Fushun City[D]. Beijing: China coal research institute, 2008. (in Chinese with English abstract)]

[8] 刘大勇, 王恩德, 宋建潮, 等. 抚顺西露天煤矿滑坡与降雨的关系及预报方法[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 50 − 54. [LIU Dayong, WANG Ende, SONG Jianchao, et al. The relation between landslide and rainfall and prediction method of western open-pit coal mine of Fushun[J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(2): 50 − 54. (in Chinese with English abstract)]

[9] 翟文杰, 钟以章, 姜德录, 等. 抚顺西露天煤矿地质灾害预测[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 132 − 137. [ZHAI Wenjie, ZHONG Yizhang, JIANG Delu, et al. Prediction of geological disaster in Fushunxilutian Coal Mine[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 132 − 137. (in Chinese with English abstract)]

[10] 高安琪, 王金安, 李飞, 等. 西露天矿周边建筑物损害区位特征分析[J]. 煤炭学报, 2021, 46(4): 1320 − 1330. [GAO Anqi, WANG Jin'an, LI Fei, et al. Locational characteristics of damage on buildings around the West Open-pit Mine[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(4): 1320 − 1330. (in Chinese with English abstract)]

[11] 陈毓. 抚顺西露天矿采空区北部区域地质灾害风险评估与适应性评价研究[J]. 矿业安全与环保, 2021, 48(3): 106 − 111. [CHEN Yu. Study on risk assessment and adaptability evaluation of regional geological hazards in the northern part of goaf in Fushun west surface mine[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2021, 48(3): 106 − 111. (in Chinese with English abstract)]

[12] 纪玉石, 申力, 刘晶辉. 采矿引起的倾倒滑移变形机理及其控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(19): 3594 − 3598. [JI Yushi, SHEN Li, LIU Jinghui. Deformation mechanism and control of mining-induced toppling-displacement[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(19): 3594 − 3598. (in Chinese with English abstract)]

[13] 申力, 纪玉石, 刘大勇, 等. 采矿引起的边坡倾倒滑移变形机理与变形安全性分析研究——以抚顺西露天矿边坡为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(3): 63 − 68. [SHEN Li, JI Yushi, LIU Dayong, et al. Deformation mechanism and stability analysis of slope toppling-sliding rock mass due to mining: A case study on west open pit slope of Fushun Coal Mine[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(3): 63 − 68. (in Chinese with English abstract)]

[14] 杨天鸿, 芮勇勤, 唐春安, 等. 抚顺西露天矿蠕动边坡变形特征及稳定性动态分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(1): 153 − 156. [YANG Tianhong, RUI Yongqin, TANG Chunan, et al. Study on deformation features and dynamic stability of creeping slope of Fushun West Strip Mine[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(1): 153 − 156. (in Chinese with English abstract)]

[15] 中国煤炭学会露天开采专业委员会. 中国露天煤炭事业发展报告: 1914—2007[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010. [China Coal Society Open-pit Mining Professional Committee. Development report of open-pit coal industry in China[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2010. (in Chinese)]

[16] 毛佳睿, 武雄. 山西省黄土崩塌影响因素及时空分布特征[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(10): 3799 − 3807. [MAO Jiarui, WU Xiong. Influencing factors and temporal and spatial distribution characteristics of loess collapse in Shanxi Province[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(10): 3799 − 3807. (in Chinese with English abstract)]

[17] 刘向峰, 郭子钰, 王来贵, 等. 降雨矿震叠加作用下抚顺西露天矿边坡稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(4): 40 − 46. [LIU Xiangfeng, GUO Ziyu, WANG Laigui, et al. Analysis on the slope stability of Fushun West

Open-pit Mine under superimposed action of rainfall, mine and earthquake［J］. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(4): 40－46. (in Chinese with English abstract)］

［18］ 李绍红, 朱建东, 王少阳, 等. 考虑降雨类型的基岩型浅层边坡稳定性分析方法［J］. 水文地质工程地质, 2018, 45(2): 131－135. ［LI Shaohong, ZHU Jiandong, WANG Shaoyang, et al. Stability analysis methods for the bedrock shallow slope considering rainfall types［J］. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(2): 131－135. (in Chinese with English abstract)］

［19］ 张勇, 温智, 程英建. 四川巴中市滑坡灾害与降雨雨型关系探讨［J］. 水文地质工程地质, 2020, 47(2): 178－182. ［ZHANG Yong, WEN Zhi, CHENG Yingjian. A discussion of the relationship between landslide disaster and rainfall types in Bazhong of Sichuan［J］. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(2): 178－182. (in Chinese with English abstract)］

［20］ 马水山, 雷俊荣, 张保军, 等. 滑坡体水岩作用机制与变形机理研究［J］. 长江科学院院报, 2005, 22(5): 37－39. ［MA Shuishan, LEI Junrong, ZHANG Baojun, et al. Study on rock-water interaction and deformation mechanism of landslide［J］. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2005, 22(5): 37－39. (in Chinese with English abstract)］

［21］ 刘新荣, 熊飞, 李滨, 等. 水力作用下岩质斜坡破坏机制和稳定性分析研究现状［J］. 中国岩溶, 2020, 39(4): 547－558. ［LIU Xinrong, XIONG Fei, LI Bin, et al. Current situation of research on failure mechanism and stability of rock slopes under hydraulic action［J］. Carsologica Sinica, 2020, 39(4): 547－558. (in Chinese with English abstract)］

［22］ 张秀梅. 基于PSR模型的煤炭资源型城市生态安全评价研究［D］. 北京: 北京林业大学, 2011. ［ZHANG Xiumei. Ecological security evaluation of coal-mining supported city based on PSR model［D］. Beijing: Beijing Forestry University, 2011. (in Chinese with English abstract)］