

抚顺西露天矿区地质环境安全评价

焉博^{1,2}, 申力^{1,2}, 韩晓极^{1,2}, 范维^{1,2}

(1. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 抚顺 113122;

2. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺 113122)

摘要: 矿区地质环境安全评价是国土空间规划的基础性工作。以抚顺西露天矿区作为研究原型,通过资源开发过程中引发的地质环境问题典型案例实证分析,厘清地质环境安全过程机制,并建立适合矿区特点的地质环境安全评价指标体系。掌握矿区地质环境安全时空变化规律,开展地质环境安全综合评价,根据安全程度的5个等级划分出矿区由高到低的分区及其面积范围。评价结果客观反映了抚顺西露天矿区的地质环境条件和安全程度,进而为矿区地质灾害防治与土地资源综合利用提供参考依据。

关键词: 露天矿; 地质环境安全; 地质灾害; 安全程度分区

中图分类号: X936 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)19-0330-10

抚顺市是伴随着煤田开采逐步建设发展起来的城市,百年的煤炭开采,因采煤而引发了滑坡、崩塌、地面沉陷、地裂缝等地质灾害,导致土地占压、耕地损毁、地貌景观破坏、地表水污染、空气污染等地质环境问题^[1]。由于抚顺西露天矿特殊的毗邻城区的特殊地理位置,相较于其他矿业城市,其地质环境安全问题更为突出、典型、易发和敏感。通常地质环境安全问题是指由自然因素和人类活动作用影响而潜在存在或发生的,使人类赖以生存的地质环境的质量发生不良变化或遭到破坏,直接或间接地威胁人类的生产生活和生命财产损失的事件。探讨闭坑转型期的抚顺西露天矿区地质环境安全,对资源枯竭型城市的矿区土地资源综合利用与可持续发展具有重大意义。对于抚顺西露天矿区地质环境安全而言,主要根据不同项目的目的和现实需求,是针对具体影响区范围的区段小范围尺度上的矿山(采动与修复)与地质环境系统(毗邻城区规划与开发利用)的相互作用及其适宜性评价。因此,其评价主要考虑工程活动类型组合、地质环境开发利用及其保护的基本方向而进行。采用多因子综合评价模型进行抚顺西露天矿区地质环境安全评价简单直接,给定地质灾害影响区空间变化情形,便于综合利用规划编制的空间格局设计与完

善,更具针对性和实用性。

国内比较全面系统的地质环境研究开始于20世纪80年代,90年代中后期,环境评价工作进一步系统化,其研究多以防灾减灾为中心的工程地质稳定性分区及生态环境评价为主^[2-10]。

地质环境是人类生活和工程活动的载体和基本环境,影响因素主要包括地形地貌、水文工程地质及环境地质条件、地理交通位置等,充足和适宜的土地资源,为城市的建设发展提供了可持续发展空间;矿产能源资源是矿业城市经济和生活的根本保障,对第二产业起着决定性的作用,特别是优势资源的种类、结构往往决定着工业的主导行业、工业结构甚至产业的布局,促进城市发展。城市建设对地质环境的要求主要体现在保证地质环境安全、具备适宜的自然地质环境条件和城市地质环境对不同功能建设用地所能够承担的风险大小。因此,本文以抚顺西露天矿区作为研究原型,首先通过获取大量的矿区资源开采及现场调查资料,查清评价区内的整体(部分)的地质环境状态,即定性地对评价区的整体地质环境(或某一子系统)质量进行过程评价,即资源开发过程中引发的地质环境问题典型案例实证分析;然后综合分析相关资料,厘清地质环境安全过程机制并建立适

收稿日期: 2024-05-13

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1503106)

作者简介: 焉博(1987—),男,黑龙江鸡西人,硕士,助理工程师,研究方向为矿山安全工程;申力(1969—),男,四川开江人,总工程师,研究员,研究方向为矿山边坡工程、城市环境地质与工程安全;韩晓极(1989—),男,辽宁北镇人,博士研究生,副研究员,研究方向为露天矿山安全工程、科研技术管理;范维(1986—),女,辽宁锦州人,助理经济师,研究方向为矿山安全工程技术管理。

合矿区特点的地质环境安全评价指标体系,结合适合的评价模型进行定量计算;掌握矿区地质环境安全时空变化规律,开展地质环境安全综合评价,进而为矿区地质灾害防治与土地资源综合利用提供参考依据。

1 西露天矿资源开发引发的地质环境问题概述

抚顺西露天矿工程地质条件极为复杂,同时受到井工采动的影响,在如此复杂的工程地质和采矿技术条件下进行露天开采,形成采深超过 400 m 的高大边坡,边坡变形破坏(滑坡)规律极为复杂。西露天矿地处抚顺市新抚区、东洲区、望花区 3 区交汇处,矿区范围内无居民居住,其周边以工矿企业及城市住宅为主。基于各种原因,目前矿区面临产业转型发展、矿山地质灾害防治、城市空间结构调整等诸多资源枯竭城市转型期问题,成为制约工矿企业与城市规划建设的瓶颈^[11-14]。

在抚顺西露天矿资源开发过程中,由于生产规模大、地质构造复杂、岩性变化大等一系列因素影响,发生过许多地质灾害,根据搜集资料及地质灾害现场踏勘,抚顺西露天矿既有地质灾害主要包括滑坡、不稳定斜坡变形与地裂缝,见表 1~表 5。其中,滑坡灾害:北帮包括 E1000 滑坡、E1100 滑坡及 E3000 滑坡;不稳定斜坡变形:主要为南帮滑移变形

体;地裂缝灾害:发育于厂区及城区地表,国家及企业投资数亿元人民币开展大规模治理,起到了一定的缓解作用。但作为重大地质灾害体,其地表构造变形区至今仍影响地面工业、民用建筑的安全^[15-17]。综合现场实际调查,以抚顺西露天矿矿界及其影响区为限(不含外排土场),抚顺西露天矿开采引发的地质灾害及矿坑周边城市地质灾害影响区面积为 15.52 km²。

2 评价方法及评价指标体系

着重于矿区现状,即抚顺西露天矿处于退煤治理转型期,工程活动限于境界内消灾减灾工程(消火、削坡减重固坡、沿坑疏排水等)、内部排土与生态修复;自然因素限于水环境(地下水与降雨)与植被指数;承载体的地质灾害风险主要为引发或加剧边坡滑坡变形破坏以及地裂缝灾害点发育与破坏程度变化等。因此,在抚顺西露天矿区重大地质安全事件(地质灾害与水环境问题)确定性特征较为明确的情况下,结合影响区特点,综合相关规范、已有评价体系方法研究成果,建立了抚顺西露天矿区地质环境安全评价指标体系,力争体现判断资源(利用)、环境(质量)、生态(基线)、灾害(风险)4 要素,体现在用地的适宜性分区、开发的限制性分类和风险的警示性分级上。

表 1 北帮 E1000 滑坡情况

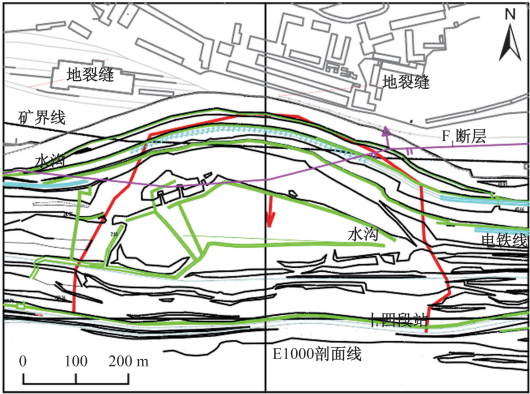
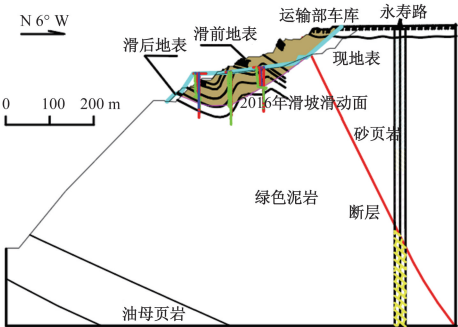
位置、条件及机制		平面图	剖面示意图
位置	北帮中部 E700-E1300, 边坡上部		
矿界线距离/m	后缘外延 85		
前后缘高程/m	-15~75		
地形地貌	边坡角度为 22°~23°		
地层岩性	绿色泥岩褐色页岩互层, 上部第四系		
构造	F ₁ 断裂带穿过		
边坡结构	层状互层结构		
诱发因素	地下水		
力学性质	推移式		
规模	面积 0.23 km ² , 体积 300 万 m ³		
稳定状态	监测显示已基本稳定		

表 2 北帮 E1100 滑坡

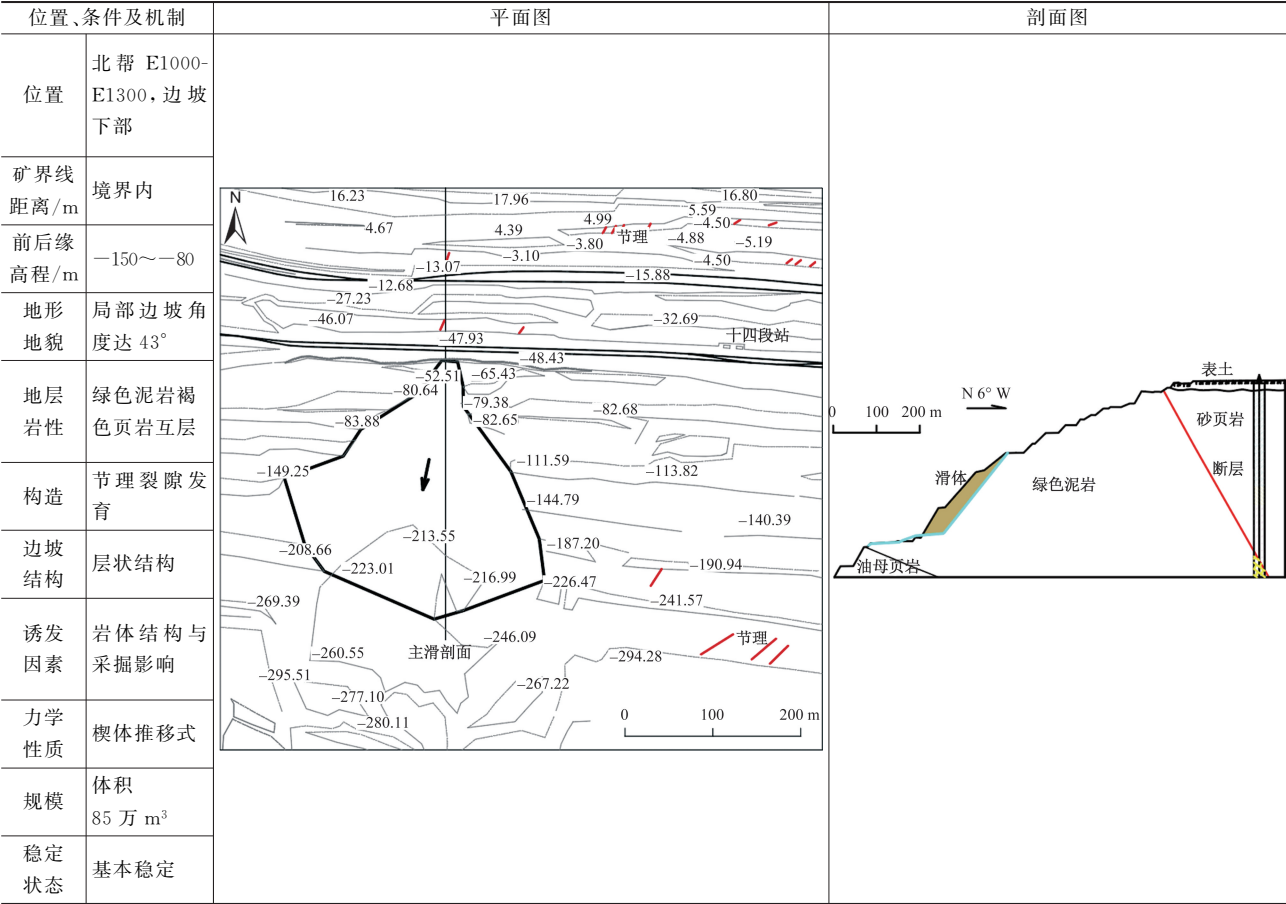


表 3 北帮 E3000 滑塌

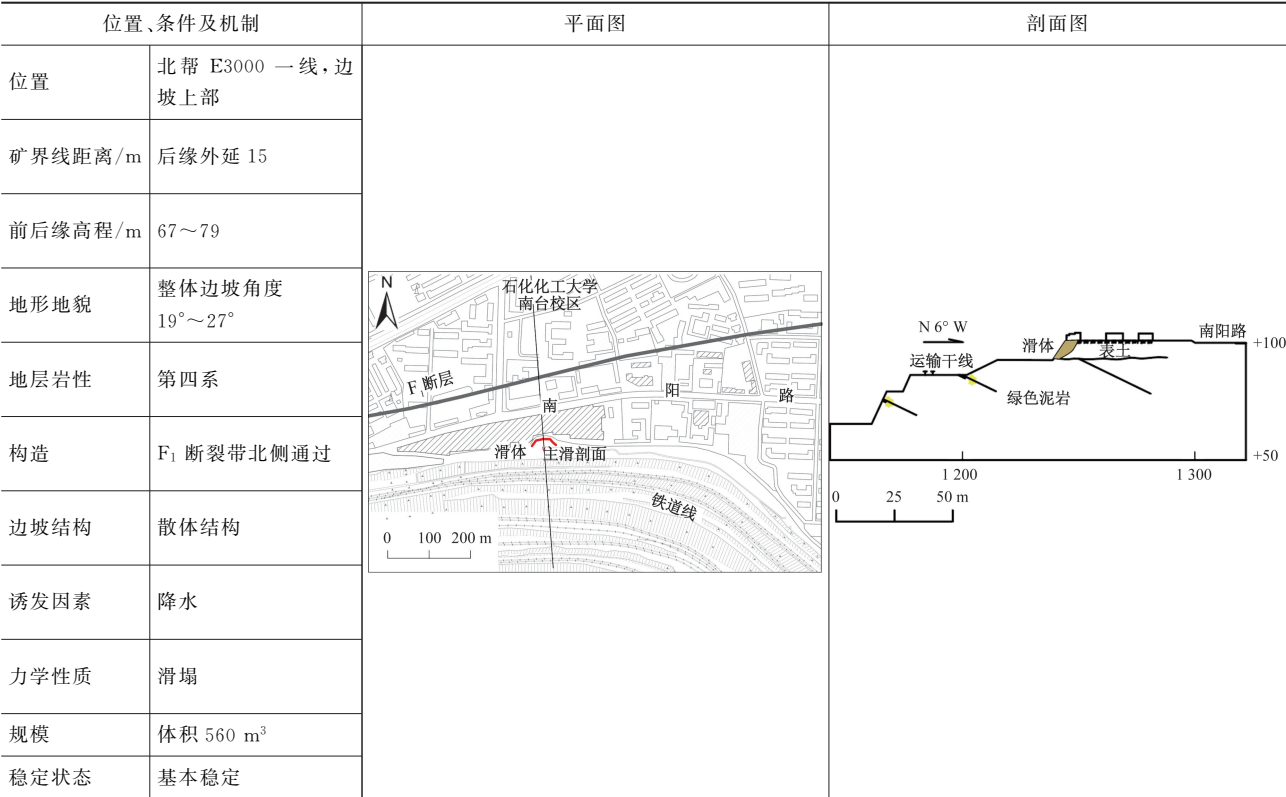
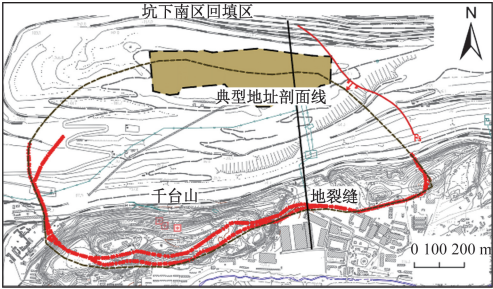
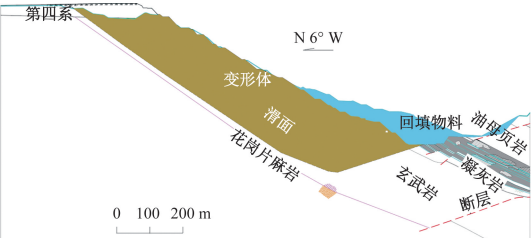


表 4 南帮滑移变形

位置、条件及机制		平面示意图	剖面示意图
位置	南帮 W750-E2200,地表至坑底		
矿界线距离/m	后缘外延 203~383		
前后缘高程/m	-313~125		
地形地貌	边坡角度 25°		
地层岩性	玄武岩		
构造	F ₃ 断层控制边界		
边坡结构	顺倾层状结构		
诱发因素	采掘与岩体结构影响		
力学性质	牵引式		
规模	面积为 3.19 km ² , 体积大于 1 亿 m ³		
稳定状态	监测显示已基本稳定		

2.1 评价方法

综合抚顺西露天矿区地质灾害影响区矿城土地适建性评价、地质灾害易损性评价研究成果,结合综合利用规划的目的,采用多因子综合评价模型进行抚顺西露天矿区地质环境安全评价,其过程如下:选取确定评价指标因子并量化;通过专家打分利用层次分析法计算各指标权重;计算各区综合得分并进行综合评价。

2.2 评价指标体系

综合考虑对矿城安全性(地质安全)有影响的要素及因子,并区分敏感因子和重要因子。从规划与建设安全角度看,敏感因子是指对重建规划与建设具有“一票否决”的因子,只要敏感因子存在的区域,即是不宜建区,影响区范围内敏感因子主要为矿坑退煤治理区域采剥作业边坡区域工程活动。按照“一票否决”原则,划分“不宜建区”。其余区域化为“可能的建设区”。在“可能的建设区”进行地质安全性评价,选择具有可比性的评价指标(即重要因子),按照取差原则进行评价,将可建区划分为“相对安全区”“次安全区”“不安全区”。

多因子综合评价模型中评价指标主要分为 5 个类别:①矿产与资源,包括煤岩矿藏可利用程度、人文景观分布、土地开发利用状况;②地质环境质量,包括地质构造分布、场地地层岩性特性、水文及降

雨;③生态环境,植被生长状况与覆盖度;④地质灾害发育与程度,包括滑坡、地裂缝及沉陷变形;⑤工程活动,包括削坡、内部排土工程扰动状况。其中,矿产与资源指标含空间管制要素、历史文化遗存及各级文物保护单位等,如近代日伪时期的探矿事务所旧址、平顶山惨案遗址、抚顺驿旧址等。

结合相关研究成果,选取表 6 所示的指标进行量化。采用 AHP 法计算判断矩阵,得出目标的权重值,见表 7、表 8。采用评价模型进行矿区城市地质环境相对安全程度评估,从而区分“安全区、较安全区、相对安全区、次安全区、不安全区”,等级划分见表 9。

3 矿区地质环境安全评价

3.1 现状分区与综合评价

根据表 9 的分级标准,现状条件下的抚顺西露天矿区地质灾害影响区地质环境安全程度分区图如图 1 所示。

安全程度Ⅰ级(安全区):面积 0.69 km²,占影响区面积(15.52 km²,下同)的 4.46%,位于断裂带以北 50~80 m 以外,距矿坑边界大于 300 m,工程地质性质良好,人类活动一般,地质灾害危险性小。

安全程度Ⅱ级(较安全区):面积 1.827 km²,占影响区面积的 11.78%。北帮地面位于 F_{1A} 断裂带以南 50~80 m 以外,距离矿坑边界大于 200 m,不良地质现象发育弱,危害小;原石油一厂、发电厂厂

表 6 评价指标分级标准

评价指标		质量状态分级				
一级指标	二级指标	好	较好	中等	较差	差
矿产资源	煤岩矿藏	无矿藏或其无开发利用价值	可利用率较低,开采对环境有影响	可利用率一般,开采对环境有影响	可利用率较高,开采对环境无影响	可利用率高,开采对环境无影响
	人文景观	临近	20 m<距离<50 m	50 m<距离<100 m	100 m<距离<300 m	300 m<距离
	土地利用	利用强度高	利用强度较高或价值高	利用强度一般或价值高	土地利用强度较低	土地利用强度低
地质环境	断裂构造	次级断层构造少	次级断层较少距断裂构造>150 m	100 m<距离<150 m	50 m<距离<100 m	距离断裂带<50 m
	地层岩性	稳定岩石,基岩地质稳定	稳定岩石,基岩地质稳定	需简单处理处置地基土	需采取复杂的整治措施	治理难度大,费用高
	水文降雨	抗污染能力强或降雨影响小	抗污染能力较强或降雨影响较小	抗污染能力较强或降雨影响中等	抗污染能力较弱或降雨影响较大	抗污染能力较弱或降雨影响大
生态	植被覆盖	无林地或植被覆盖	林地覆盖率<35%,林貌差	林地覆盖率<35%,林相单一	林地覆盖率>35%,灌木、乔木或人工林比例协调	林地覆盖率>35%,林地比例大
地质灾害	滑坡稳定系数 k	≥ 1.5	1.3~1.5	1.15~1.3	1.0~1.15	≤ 1.0
	地裂缝	低密($<0.3 \text{ km}^2$)	较低密($0.3\sim 0.6 \text{ km}^2$)	中密($0.6\sim 0.9 \text{ km}^2$)	较高密($0.9\sim 1.2 \text{ km}^2$)	高密($>1.2 \text{ km}^2$)
	沉陷变形	距离矿坑>300 m	200 m<距离<300 m	100 m<距离<200 m	200 m<距离<100 m	距离矿坑<50 m
工程活动	削坡	距离矿坑>300 m	200 m<距离<300 m	100 m<距离<200 m或削坡标高-200 m水平以上	200 m<距离<100 m或削坡标高-100 m水平以上	距离矿坑<50 m
	内部排土	距离矿坑>300 m或排弃标高>+40水平	200 m<距离<300 m或排弃标高>-70 m水平	100 m<距离<200 m或排弃标高<-150 m水平	-200 m<排弃标高<-150 m	排弃标高<-200 m水平

表 7 判断矩阵与权重

要素	矿产与资源	地质环境	生态	地质灾害	工程活动
矿产与资源	1	1/4	1/3	1/2	1
地质环境	4	1	3	2	4
生态	3	1/3	1	2	4
地质灾害	2	1/2	1/2	1	1
工程活动	1	1/4	1/4	1	1

注:一致性检验指标=0.043 043<0.1。

表 8 安全评价各指标权重

一级指标	权重	二级指标	权重	总排序权重
矿产资源	0.147 9	煤岩矿藏	0.285 7	0.042 3
		人文景观	0.142 9	0.021 1
		土地利用	0.571 4	0.084 5
地质环境	0.410 7	断裂构造	0.200 0	0.082 1
		地层岩性	0.400 0	0.164 3
		水文降雨	0.400 0	0.164 3
生态	0.086 3	植被覆盖	1.000 0	0.086 3
地质灾害	0.256 7	滑坡 k	0.680 6	0.174 7
		地裂缝	0.201 4	0.051 7
		沉陷变形	0.118 0	0.030 3
工程活动	0.098 4	削坡	0.666 7	0.065 6
		内部排土	0.333 3	0.032 8

表 9 地质环境安全性评估分级

安全性等级		说明	评分
安全程度Ⅰ级	安全区	地质环境条件优越,能够很好满足建设的地质安全要求,适合建设	>9.0
安全程度Ⅱ级	较安全区	地质环境条件基本满足建设的地质安全要求,需防治地裂缝灾害点	$8.0\sim 9.0$
安全程度Ⅲ级	相对安全区	地质环境条件基本满足建设的地质安全要求,需采取一定的工程整治措施	$6.5\sim 8.0$
安全程度Ⅳ级	次安全区	地质环境条件较差,需防治地裂缝、地面沉陷,采取一定的工程整治措施	$4.5\sim 6.5$
安全程度Ⅴ级	不安全区	地质环境条件差,不满足建设的地质安全要求,防治难度大,需避让	<4.5

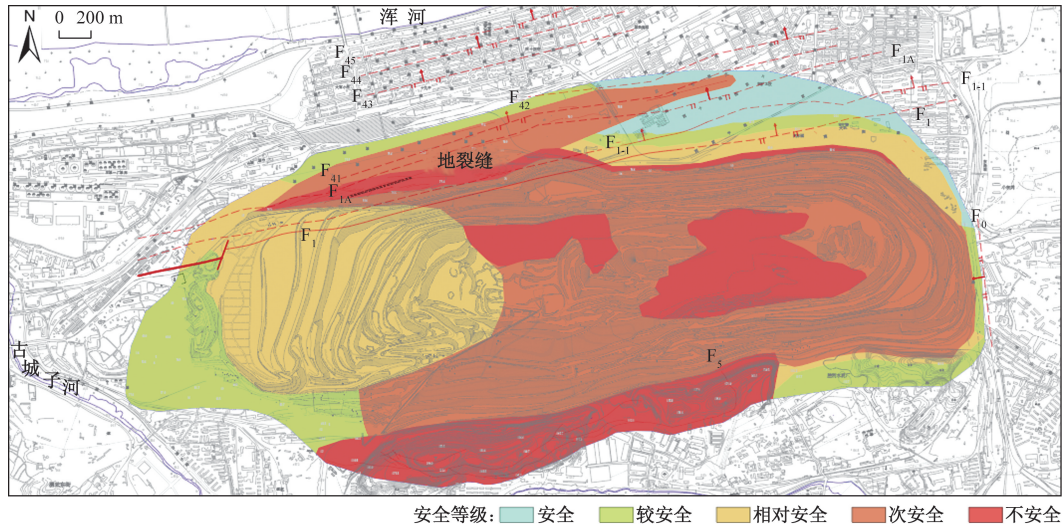


图1 抚顺西露天矿区地质环境安全程度分区(现状)

区 F_{1A} 断裂带及 F_{41} 断层地裂缝影响区以北地段,不良地质现象发育弱,危害小;南帮东部距离矿坑边界大于 50 m,工程地质性质良好,不良地质现象发育弱,危害小。需指出的是,南帮东部区域与西部区域存在相近的地质结构,坡体存在软弱夹层,受不利的工程扰动影响,具备引发大规模变形破坏的趋势,该区工程建设开发需详细论证规划。

安全程度Ⅲ级(相对安全区):面积 3.551 km²,占影响区面积的 22.88%。北帮地面位于 F_1 断裂带附近,较安全区以南,东富平路以北地段、内排土场排弃时间大于 20 年的+9 泵站区域及马架子一带,不良地质现象较发育,地面沉陷基本稳定,需加强采沉区勘探并采取一定的工程整治措施。

安全程度Ⅳ级(次安全区):面积 6.474 km²,占影响区面积的 41.69%。北帮地面位于 F_1 断裂带附近,相对安全区以南易损地段搬迁区域以北区域、内排土场排弃时间小于 20 年的及现内排作业区域,不良地质现象发育,需加强监测预警、防治地裂缝、地面沉陷,采取一定的工程整治措施。

安全程度Ⅴ级(不安全区):面积 2.978 km²,占影响区面积的 19.19%。抚顺西露天矿北帮城区范围既有的地裂缝灾害影响区段、北帮中部滑坡影响区段、北帮边坡 28 站-9 段(+35~+42 水平)以上的不稳定斜坡地段及南帮变形体后缘陡坎不稳定斜坡地段。需按照轻重缓急、总体规划、周密部署、分期实施的原则,在监测预警系统指导下,结合抚顺西露天矿地质灾害治理与综合利用规划,通过分析评价及时具体地确定搬迁时间与顺序。

3.2 矿城安全时空变化综合评价

针对抚顺西露天矿区地质灾害综合治理不同时间节点地质环境安全的关键区域,进行不同规划建设与矿城安全相互作用间的关联性分析,预测其发展趋势,并给定地质灾害影响区空间变化情形,以利于综合利用规划编制的空间格局设计完善。

根据综合治理方案的比选,拟定的 3 种优化方案如下:①回填压脚(-40 m 水平);②回填压脚(-40 m 水平)+蓄水(-40 m 水平);③回填压脚(-40 m 水平)+蓄水(+70 m 水平)。按照各方案的规划设计,经分析计算,矿区地质环境安全程度分区与综合评价结果见表 10。

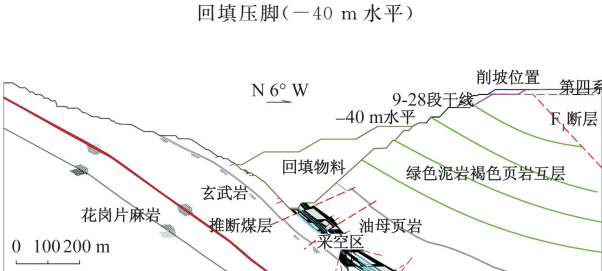
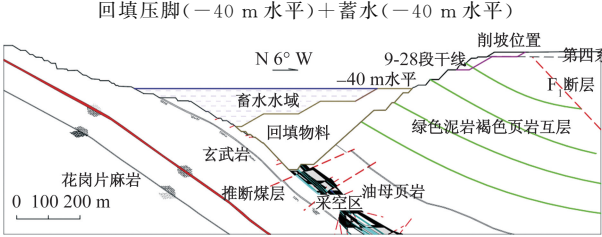
4 结论和建议

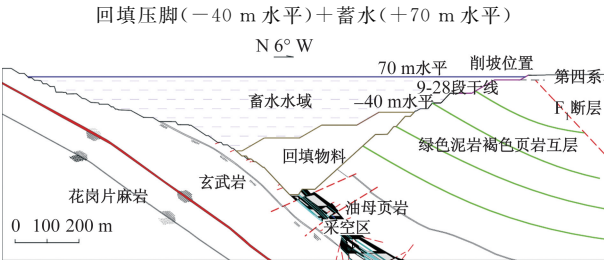
矿业城市安全格局的立身之本在于地质环境安全,在矿山衰退-后工业再造-退煤整治期需要通过采取有效应对资源耗竭过程带来的一系列开采、转型与变革再造问题,进而改善矿区地质环境安全的现实与潜在风险边界条件,以期达到矿城和谐共存的动态协调模式,促进矿业城市可持续发展。地质环境安全等级划分的主要目的是反映地质环境条件和安全程度的区段差异,为矿区地质灾害防治、重大工程建设空间布局和土地资源综合利用提供依据。提出并建立了适合矿区特点的地质环境安全评价指标体系,通过综合评价,给出了地质环境安全影响因素及综合等级的空间范围,将地质环境安全等级由高到低划分为 5 级,并形成相应的矿区地质环境安全程度分区图,便于规划编制人员使

用。评价结果显示,通过抚顺西露天矿区地质灾害综合治理,在内排土场恢复治理持续推进的基础上,依次实施抚顺西露天矿区地质灾害影响区易损地段避险搬迁、城区地裂缝灾害影响带加固治理、千台山变形体治理、原石油一厂、发电厂工业遗迹

保护等工程建设。矿坑综合利用价值逐步提升,地质环境安全程度得以提高,矿区将充分挖掘工业遗产和地质景观价值,构建多元化的文化生态景观群落。由于地质环境的复杂性,矿区地质环境评价指标和方法有待进一步深入研究。

表 10 不同工矿条件下矿区地质环境安全程度分区特征

工况	等级	分布地段	变化趋势
	安全程度Ⅰ级	矿坑北帮边坡底部压脚至—40 m水平,且实施局部削坡固坡工程,原较安全区与相对安全区地质灾害危险性小。面积 3.398 km ²	如 E2400 剖面治理方案示意图所示,经验算,北帮边坡安全储备系数>1.5,满足安全储备要求。因此,在实施至该状态的过程中,抚顺西露天矿区地质环境安全程度将是一个逐渐良性发展的状态
	安全程度Ⅲ级	北帮地面位于 F ₁ 断裂带附近,安全区以南易损地段搬迁区域以北区域、内排土场排弃时间小于 20 年的区域,需加强监测预警,采取一定的工程整治措施。面积 10.653 km ²	
	安全程度Ⅴ级	抚顺西露天矿北帮城区范围既有的地裂缝灾害影响区段、南帮变形体后缘陡坎不稳定斜坡地段。需加强监测预警,采取一定的工程整治措施。面积 1.469 km ²	
	安全程度Ⅰ级	矿坑北帮边坡底部压脚至—40 m水平,且实施局部削坡固坡工程,原较安全区与相对安全区地质灾害危险性小。面积 3.057 km ²	如 E2400 剖面治理方案示意图所示,经验算,北帮边坡安全储备系数>1.5,满足安全储备要求。在实施至该状态的过程中,蓄水成湖之前应保证周边矿区和地面建筑的安全,需要做一定规模的防渗工程,而考虑到上部边坡疏干排水及护坡表面素喷混凝土工程需要,抚顺西露天矿区地质环境安全程度将是一个逐步良性发展-局部恶化-整体良性过渡的状态
	安全程度Ⅲ级	北帮地面位于 F ₁ 断裂带附近,安全区以南易损地段搬迁区域以北区域、内排土场排弃时间小于 20 年的区域,在削坡及蓄水过程中,考虑到地质灾害不可预知性的增加,易引发局部滑塌变形,需加强超前勘查,并加强监测预警,采取一定的工程整治措施。面积 11.005 km ²	
	安全程度Ⅴ级	抚顺西露天矿北帮城区范围既有的地裂缝灾害影响区段、南帮变形体后缘陡坎不稳定斜坡地段。需加强监测预警,采取一定的工程整治措施。面积 1.458 km ²	

续表			
工况	等级	分布地段	变化趋势
	安全程度Ⅰ级	矿坑北帮边坡底部压脚至—40 m 水平,且实施局部削坡固坡工程,原较安全区与相对安全区地质灾害危险性小。面积 2.843 km ²	如 E2400 剖面治理方案示意图所示,经验算,北帮边坡安全储备系数>1.5,满足安全储备要求。在实施至该状态的过程中,蓄水成湖之前应保证周边矿区和地面建筑的安全,需要做一定规模的防渗工程,并进行一定规模的削坡工程措施,抚顺西露天矿区地质环境安全程度将是一个逐步良性发展—局部恶化—整体良性过渡的状态
	安全程度Ⅲ级	北帮地面位于 F ₁ 断裂带附近,安全区以南易损地段搬迁区域以北区域、内排土场排弃时间小于 20 年的区域,在削坡及蓄水过程中,考虑到地质灾害不可预知性的增加,易引发局部滑塌变形,需加超前勘查,并加强监测预警,采取一定的工程整治措施。面积 11.251 km ²	
	安全程度Ⅴ级	抚顺西露天矿北帮城区范围既有的地裂缝灾害影响区段、南帮变形体后缘陡坎不稳定斜坡地段。特别针对方案实施过程中出现的不良地质现象,应在不断反馈综合治理过程信息中,不断加以改善地质环境条件,确保城区安全,采取一定的工程整治措施。面积 1.426 km ²	

参考文献

[1] 侯成恒,韩晓极,申力,等. 抚顺西露天矿资源开发与城市安全的关联机制研究[M]. 北京:应急管理出版社,2023.

[2] 王思敬. 典型人类工程活动与地质环境相互作用研究[M]. 北京:地震出版社,1995.

[3] 梁和成,周爱国,唐朝晖,等. 城市建设用地地质环境评价与区划[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2010.

[4] 孟晖,张若琳,石菊松,等. 地质环境安全评价[J]. 地球科学,2021,46(10): 3764-3776.

[5] 祁生文,李永超,宋帅华,等. 青藏高原工程地质稳定性分区及工程扰动灾害分布浅析[J]. 工程地质学报,2022,30(3): 599-608.

[6] 杨兆清,陆兆华,刘丹,等. 煤炭资源型城市生态安全评价:以锡林浩特市为例[J]. 生态学报,2021,41(1): 280-289.

[7] 刘宏磊,武强,赵海卿,等. 矿业城市生态环境正效应资源开发利用研究[J]. 能源与环保,2019,41(3): 117-121.

[8] 康帅直,穆琪,赵永华,等. 黄土高原神府资源开采区生态环境质量时空格局特征[J]. 生态学报,2023,43(7): 2781-2792.

[9] 杨盼盼,王念秦,郭有金,等. 城镇化与地质环境耦合协调时空演化分析—以临潼区为例[J]. 科学技术与工程,2020,20(9): 3790-3798.

[10] 李彧磊,熊启华,龙婧,等. 基于斜坡单元鄂西山区典型集镇地质灾害风险评价[J]. 科学技术与工程,2023,23(6): 2326-2338.

[11] 申力. 抚顺西露天矿北帮地质环境综合治理工程实践[J]. 露天采矿技术,2008(6): 18-20, 23.

[12] 高伟程,纪玉石,申力. 抚顺城区矿山地质环境灾害调查分析[J]. 煤矿安全,2015,46(12): 226-228, 232.

[13] 靳鹏,申力,韩晓极,等. 抚顺西露天矿开采影响下的近矿城区安全评价[J]. 煤矿安全,2022,53(4): 237-242.

[14] 郭霖,梁博,韩晓极,等. 井采活跃期内抚顺西露天矿北帮变形规律分析[J]. 露天采矿技术,2019,34(2): 13-18.

[15] 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): 409-418.

[16] 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.

[17] 韩晓极,申力,李惠发,等. 抚顺西露天矿北帮地表断裂带注浆加固试验研究[J]. 煤矿安全,2023,54(2): 153-160.

Geological Environmental Safety Assessment of the West of Fushun Open-pit Mines

YAN Bo^{1,2}, SHEN Li^{1,2}, HAN Xiaoji^{1,2}, FAN Wei^{1,2}

(1. China Coal Technology and Engineering Group Shenyang Research Institute, Fushun 113122, Liaoning, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mine Safety Technology, Fushun 113122, Liaoning, China)

Abstract: Geological environment safety assessment in mining areas is a fundamental work in national spatial planning. Taking the Fushun West Open-pit Mining as the research prototype, and through empirical analysis of typical cases of geological environment problems caused by resource development, the mechanism of geological environment safety process is clarified and a geological environment safety evaluation index system suitable for the characteristics of the mining area is established. The spatiotemporal changes of geological environment safety in the mining area is grasped, a comprehensive evaluation of geological environment safety is conducted, and the mining area is divided from high to low and its area range based on the five levels of safety. The evaluation results objectively reflect the geological environment conditions and safety level of the Fushun West Open-pit Mining Area, and provide reference basis for geological disaster prevention and comprehensive utilization of land resources in the mining area.

Keywords: open-pit mine; geological environment safety; geological hazards; security level zoning