

# 地采扰动下露天坑地表岩移特征及废石充填方案研究

韩岩松<sup>1</sup>, 张晶<sup>1</sup>, 周宗红<sup>1</sup>, 刘银<sup>1,2</sup>

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 654093;  
2. 鹤庆北衙矿业有限公司, 云南 大理 671507

中图分类号: TD824; TD853.34 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)04-0085-08  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.04.010

**摘要** 无底柱分段崩落法常应用于黑色金属露天转地下矿山, 该方法易引起露天采场边坡失稳, 影响矿区周边建(构)筑物的安全。以地表斜坡坡度较陡且地形切割强烈的李家河铁矿为研究对象, 依据地表航拍点云数据和生产平面图建立精细的数值模型, 采用数值模拟研究地下持续开采扰动作用下的露天坑地表岩移特征, 并结合地势、植被、农作物和公路等因素, 对比优选合理可行的地表废石充填方案。结果显示, 随着矿体逐步向深部开采, 受地形和矿体分布影响, I号矿坑呈现局部零星破坏, II号矿坑以东北侧区域破坏为主, I号矿坑地表沉降变化范围小于II号矿坑, 最终优选出从侧壁向中间靠拢再向北侧推进的地表废石充填方案。

**关键词** 无底柱分段崩落法; 露天转地下; 地表岩移; 数值模拟; 废石充填

## 引言

崩落法或空场法矿山常因地下采空区塌冒引起地表岩移<sup>[1-3]</sup>, 进而引发不同程度的地质灾害, 一直是采矿工程领域的研究热点之一<sup>[4]</sup>。对于露天转地下矿山而言, 地下开采扰动的持续作用极易造成上部露天采场边坡失稳<sup>[5]</sup>。当地下矿体应用无底柱分段崩落法时, 露天边坡的滑移风险随地下采深增加逐步增大<sup>[6-7]</sup>, 而塌陷坑废石充填可有效控制塌陷坑地表岩移和延长地下开采服务年限<sup>[8]</sup>。因此, 研究地采扰动下露天坑地表岩移特征及地表废石充填方案具有重要的现实意义。

地表岩移的内在原因与地下采空区围岩逐步向上冒落有关, 两者的动态关系常利用理论模型或数值模拟予以揭示。理论模型方面, 以经典冒落模型<sup>[9]</sup>为代表, 其揭示了采空区上覆岩层逐步冒透地表形成塌陷坑的全过程。数值模拟方面, 韩智勇等<sup>[10]</sup>分析认为矿体倾角对地表垂直最大位移的影响程度较大; 邹开华等<sup>[11]</sup>研究了开采深度与地表岩移的时空演变规律, 认为随开采深度增加, 地表岩移可分为持续平稳、缓

慢增加与显著增加三个阶段; 杨宇江等<sup>[12]</sup>提出, 稳定崩落法覆盖岩层标高可有效抑制露天边坡围岩变形; 同时, 不少学者<sup>[13-15]</sup>研究了地下开采与露天边坡覆岩高度的动态关系。针对地表岩移范围的控制, 阎佳钊等<sup>[16]</sup>针对露天采场边坡和深部开采区域的联动关系, 提出削坡以减小深部采空区应力集中, 进而控制边坡稳定性的方案, 该方案的缺点在于工程量大且难以彻底消除边坡失稳隐患。曹建立等<sup>[17]</sup>借助物理相似实验研究了干排尾砂替代废石充填地表塌陷坑的岩移控制方法; 任凤玉等<sup>[18]</sup>研究了端部放矿条件下的干排尾砂穿流特性, 但干排尾砂较难精细控制, 且面临的环保压力较大。也有学者<sup>[19-21]</sup>基于临界散体柱原理, 分析了塌陷坑充填废石散体的安全可行性, 提出利用废石充填塌陷坑的方案, 取得了较好的实际应用效果。

在持续利用废石充填地表塌陷坑的前提下, 塌陷坑地表岩移可在深部开采过程中得到有效控制。然而, 受地表地形、地表建(构)筑物、地下矿岩分布、开采进程、生产能力等因素影响, 塌陷坑废石充填方案需要因矿而异。本文针对李家河铁矿井下生产与露天坑地表岩移的协调性和下部矿体持续开采与露天

收稿日期: 2024-05-23

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51864023, 52264019); 云南省重大科技专项(202202AG050014); 云南省基础研究计划项目青年项目(202401AU070175)

作者简介: 韩岩松(2000—), 男, 山西晋城人, 硕士研究生, 主要从事矿山岩体力学与灾变数据分析方面的研究, E-mail: hubert\_han@163.com。

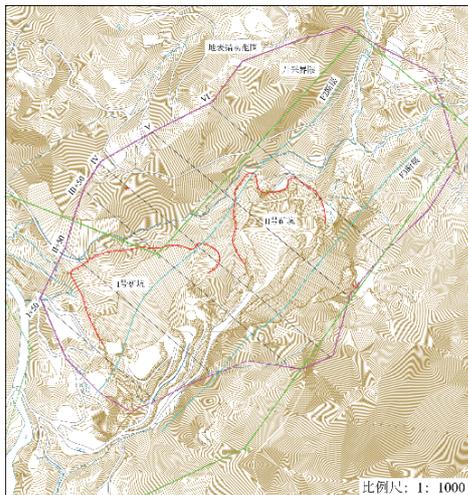
通信作者: 张晶(1990—), 男, 湖北荆州人, 博士, 讲师, 硕士研究生导师, 主要从事岩体力学与矿山灾害防控方面的研究, E-mail: yuanzhongni33@163.com。

坑周边设施及农田安全等问题,依据地表航拍点云数据和生产平面图建立较为精细的数值模型,采用数值模拟研究地下持续开采扰动作用下的露天坑地表岩移特征,并结合地势、植被、农作物和公路等因素,对比优选切实可行的地表废石充填方案,以期有效控制地表岩移范围,为同类型矿山解决类似问题提供一定的借鉴。

### 1 工程背景

李家河铁矿为中小型矿山,矿区内地表斜坡坡度较陡,地形切割强烈,相对高差较大,地表平均标高约

为 1 200 m。矿体为薄~中厚、倾斜,矿石以磁铁矿为主,矿体顶底板主要为矿化大理岩,两类矿岩较为稳固,但矿体夹层为较为破碎的绿色层(属含绿色碳质物大理岩)。露天采场于 2006 年形成,开采深度为 69 m。地下开采以无底柱分段崩落法为主,开采至 970 m 水平时(距露天采场坑底约 150 m),受地采扰动、露天采场及 F2 和 F3 两条主断层等影响(图 1a),地下采场冒透地表露天采场区域,形成 2 个大型露天坑(图 1 所示, I 号露天坑投影面积约 4.62 万 m<sup>2</sup>, II 号露天坑约 2.08 万 m<sup>2</sup>),造成原有矿坑附近发生滑坡、崩塌等不同形式破坏,对矿坑附近乡村公路及农田造成一定威胁。



(a) 地表地形图



(b) 露天坑航拍图

图 1 地表露天坑现状分布  
Fig. 1 Current distribution of surface open-pit pits

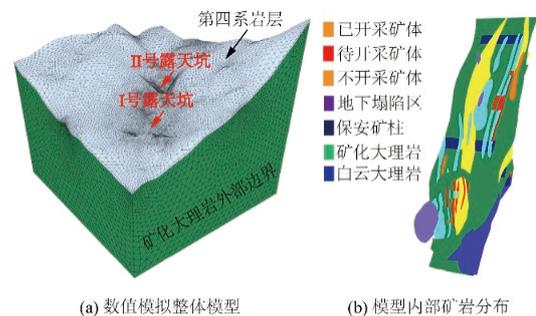
由于无底柱崩落法采场已冒透地表,在散体覆盖层的作用下,李家河铁矿地下采空区冒落风险处于可控阶段。然而,地下开采区域接近露天采坑(受矿权限制)。为保障地下开采安全,矿方在主要生产中段沿走向方向布置两个 30 m 宽的保安矿柱,矿柱 1 位于 IV 号勘探线附近,矿柱 2 位于 VII 号勘探线附近。两个矿柱间隔约 300 m。然而,受矿岩条件及开采现状限制,地下开采仍使得地表在临近地表矿坑处发生不同程度滑坡和崩塌。

### 2 露天坑地表岩移特征

#### 2.1 数值模型建立

李家河铁矿岩层赋存条件较为复杂,从上至下依次分布有第四系松散岩层、矿化大理岩层、白云大理岩层及绿色层(属大理岩,赋存于断层附近,含绿色碳质物,较破碎)等。考虑以生产平面图为基准建立的数值模型,可较为精准地反映矿岩分布位置及矿体受夹石影响体现的分枝复合特征<sup>[10]</sup>。其中,地表根据无人机测量获取的点云数据建立,中段矿岩倾角根据不

同中段(1060 中段、970 中段、910 中段、850 中段)矿体倾角平均值选取,数值模型如图 2 所示。



(a) 数值模拟整体模型 (b) 模型内部矿岩分布

图 2 李家河铁矿矿区数值模型  
Fig. 2 Numerical model of Lijiahe Iron Mine Area

#### 2.2 矿岩力学参数及模拟方案

李家河铁矿各类矿岩的物理力学参数如表 1 所示,其中,第四系、白云大理岩、绿色层、矿化大理岩及矿体等物理力学参数由室内实验确定,废石充填体指地下采场形成后依靠强制崩落和自然冒落而充填采空区的废石堆体,其物理力学参数依据文献 [22] 选

表 1 矿岩物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of ore and rock

| 岩组类别  | 密度/(kg·m <sup>-3</sup> ) | 弹性模量/GPa | 泊松比  | 内凝聚力/MPa | 内摩擦角/(°) | 抗拉强度/MPa | 抗压强度/MPa |
|-------|--------------------------|----------|------|----------|----------|----------|----------|
| 第四系   | 1610                     | 0.03     | 0.28 | 0.0045   | 19.21    | 0.007    | 0.1      |
| 白云大理岩 | 2870                     | 27.65    | 0.29 | 14.79    | 29.60    | 1.45     | 57.52    |
| 绿色层   | 2760                     | 16.56    | 0.26 | 11.66    | 33.40    | 0.75     | 38.40    |
| 矿化大理岩 | 2880                     | 29.34    | 0.27 | 16.75    | 30.42    | 1.62     | 58.39    |
| 磁铁矿   | 3730                     | 34.80    | 0.31 | 6.11     | 39.95    | 1.53     | 55.51    |
| 废石充填体 | 2000                     | 0.20     | 0.40 | 0.01     | 18.00    | 0.01     | 0.5      |

取, 如表 1 所示。

数值模拟利用有限差分的 FLAC3D, 采用摩尔-库仑塑性破坏准则, 应力条件考虑自重应力与采动应力影响。模型进行数值计算的边界条件为位移边界条件: (1)模型左右边界为固定约束, 限制  $x$  方向的速度; (2)模型前后边界为固定约束, 限制  $y$  方向速度; (3)模型底部边界为固定; (4)模型顶部为自由面, 不施加约束。模拟计算时, 以现状露天坑分布为时间节点, 赋予各中段塌陷区及已有采场的矿岩物理力学参数为废石充填体, 从上至下逐步开挖, 分析地采扰动下露天坑地表岩移特征。

### 2.3 数值模拟结果分析

李家河铁矿目前采矿权范围为 850 m 水平以上矿体, 开采现状条件下共划分 1060 中段、970 中段、

910 中段、850 中段等四个中段, 其中 1060 中段开采基本接近尾声, 因其靠近地表, 残留矿体不予开采。在开采现状条件下, 随着矿体逐步向深部开挖, 受采动应力和自重应力影响, 地表与井下发生不同程度的破坏。

如图 3 所示, 现状开采条件下图 3a, 因李家河铁矿矿区地表斜坡坡度较陡, 地形切割强烈, 在地表高程差别较大的情形下, 受位移边界条件约束, 整体模型中地势较低区域呈现出隆起(约 10 cm)的现象。因 II 号矿坑相较 I 号矿坑的不规则程度较高, 且东北侧边坡角度较大, 其垂直位移明显大于 I 号矿坑。随着矿体逐步开采至 850 中段, I 号矿坑局部区域垂直位移明显(约 40 mm), II 号矿坑整体垂直位移较大区域(超 100 mm)明显增加, 由东北侧向西南侧扩大。由此可见, 随着矿体逐步向深部开采, I 号矿坑地表沉降变化范围小于 II 号矿坑。

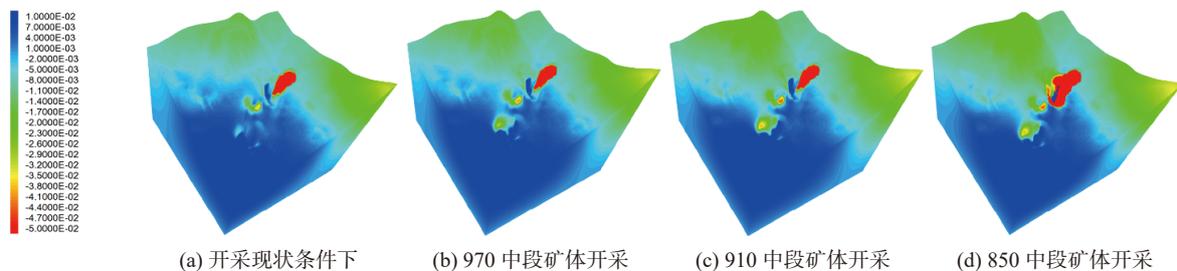


图 3 李家河铁矿地表垂直位移云图

Fig. 3 Vertical displacement nephogram of the surface of Lijiahe Iron Mine

由露天坑与地下矿体的开采位置可知, I 号矿坑位于矿体 1 的西南侧, II 号矿坑位于矿柱 1 和矿柱 2 之间。因此, I 号矿坑和 II 号矿坑地表沉降的差异性,

除 II 号矿坑自身形态的特殊性外, 可能还与井下开采相关。当矿体开采至 850 中段时, 各中段矿岩最大主应力云图如图 4 所示, 最大主应力主要集中在矿柱 1

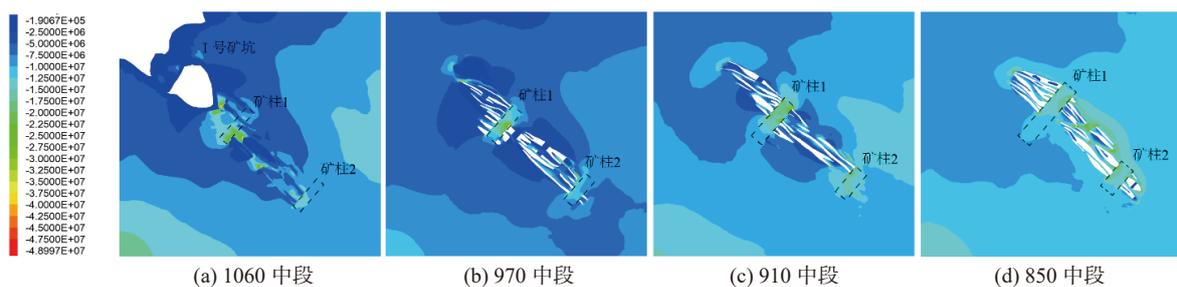


图 4 矿体开采至 850 中段时各中段矿岩最大主应力云图

Fig. 4 Maximum principal stress nephogram of each middle section during mining up to 850 m level

和矿柱 2 附近,最大主应力较大区域以 30 MPa 为主,临近 49 MPa 的最大主应力体现在模型尖点的局部零星区域,易引起应力集中现象,但均未超出磁铁矿和主要围岩单轴抗压强度(均超过 55 MPa)。与此同时,李家河铁矿井下大部分开采区域正好位于 II 号矿坑下方,导致 II 号矿坑周边矿岩承受的采动应力明显大于 I 号矿坑。

此外,矿体开采至 850 中段时各中段矿岩塑性区云图(图 5)也可以说明 II 号矿坑地表沉降较大的内在

原因。如图 5 所示,当矿体开采至 850 中段时,970 中段、910 中段及 850 中段的矿柱 1 和矿柱 2 两侧虽未超过单轴抗压强度,但依然发生不同程度的拉伸破坏、剪切破坏和拉伸-剪切混合破坏。1060 中段距离地表较近,与 I 号矿坑和 II 号矿坑直接接触,该中段矿柱 1 临近 I 号矿坑侧并未发生明显塑性破坏,而在矿柱 1 和矿柱 2 之间发生较大范围的拉伸破坏、剪切破坏和拉伸-剪切混合破坏,这进一步揭示了 I 号矿坑地表沉降变化范围小于 II 号矿坑的内在原因。

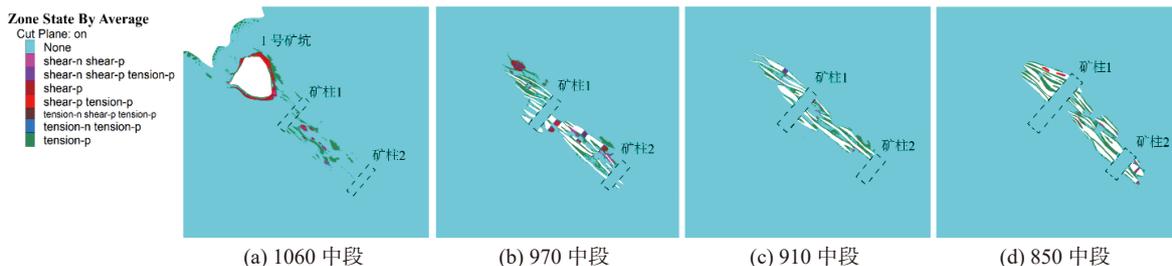


图 5 矿体开采至 850 中段时各中段矿岩塑性区云图

Fig. 5 Plastic zones nephogram of each middle section during mining up to 850 m level

### 3 地表废石充填方案

数值模拟结果显示,李家河铁矿随地下开采的进行,地表岩层发生不同形式和不同程度的破坏,主要集中在 I 号矿坑和 II 号矿坑内外,其中, I 号矿坑整体地表沉降稳定性优于 II 号矿坑。在地采扰动和空区顶板持续崩落的前提下,地表岩移范围将进一步加剧,于井下安全生产及地表周边环境不利。因此,有必要针对 I 号矿坑和 II 号矿坑实施地表废石充填,保障地表建(构)筑物、农田及乡村公路等安全。

#### 3.1 地表废石充填的一般步骤

地表塌陷坑内充填废石可有效控制地表岩移范围,其充填过程常利用矿用卡车和铲车交替作业,一般可归纳为 5 个步骤(图 6): (1)在距离塌陷坑边缘裂缝约 20 m 的安全距离,利用矿用卡车堆积一定高度的废石散体堆; (2)利用矿用铲车从高至低依次将废石散体堆推入塌陷坑; (3)重复步骤(1)和(2),待塌陷坑边缘裂缝上覆废石层约 3 m 左右时,散体堆位置前移,利用矿用卡车堆积一定高度的废石散体堆; (4)与步骤(2)类似,利用矿用铲车从高至低依次将废石散体堆推入塌陷坑; (5)重复步骤(1)~(4),当废石散体堆距离塌陷坑中心小于安全距离时,停止充填。在循序渐进的充填步骤下,可保障地表塌陷坑得到有效充填。

#### 3.2 地表废石充填方案对比分析

塌陷坑边缘充填地点的选择一般遵循以下原则: (1)充填点宜选在塌陷坑附近实体原岩处,且充填点一侧坑底前期积累一定的废石散体,边壁外倾,可保

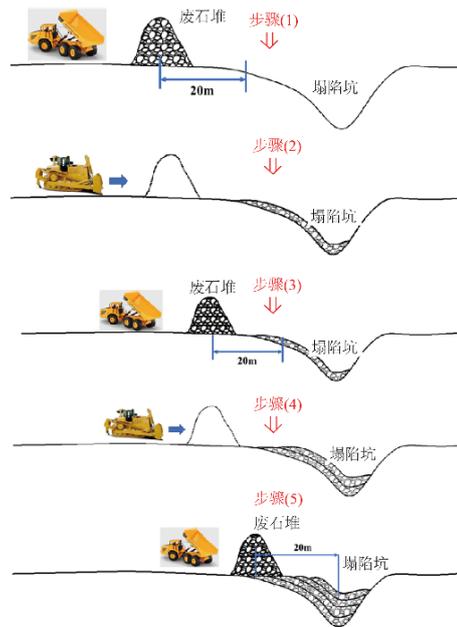


图 6 地表塌陷坑废石充填的一般步骤

Fig. 6 General steps for filling surface subsidence pits with waste rocks

障下部放矿时坑内废石散体不发生大幅度下降,有利于维持边壁的稳定; (2)充填点宜选择两个及以上,形成相互垂直方向的充填条件,不便于垂直方向充填时,选择相对方向充填,使充填散体流动坡面互为支撑,保障散体流动坡面的稳定性。此外,在满足塌陷坑边缘充填地点选择原则的前提下,还需充分利用矿区地势和已有公路运输系统等。针对李家河铁矿地表矿坑、滑坡及崩塌等现状,根据塌陷坑边缘充填地点选择原则,确定如下废石充填方案:

(1)方案一:如图 7a 所示,针对 I 号矿坑和 II 号

矿坑, 在两个矿坑附近设置 I 号、II 号和 III 号三个废石堆体, 其中, I 号废石堆体位于 I 号矿坑东南侧(或 II 号矿坑西南侧), II 号废石堆体位于 I 号矿坑正北侧, III 号废石堆体位于 II 号矿坑北东侧。废石堆体应置于坑边稳定的实体原岩处, 利用矿用卡车形成堆体, 其中 I 号和 II 号废石堆体用于充填 I 号矿坑, I 号和

III 号废石堆体用于充填 II 号矿坑, 使用矿用铲车将废石堆体从上至下依次充填至目标矿坑。此方案中 I 号废石堆体和 II 号废石堆体虽不能形成两个相互垂直方向的充填条件, 但可节省废石堆体场地, 且后期随矿坑逐步被充填, 可利用铲车改变 I 号废石堆体充填 I 号矿坑的推进方向。

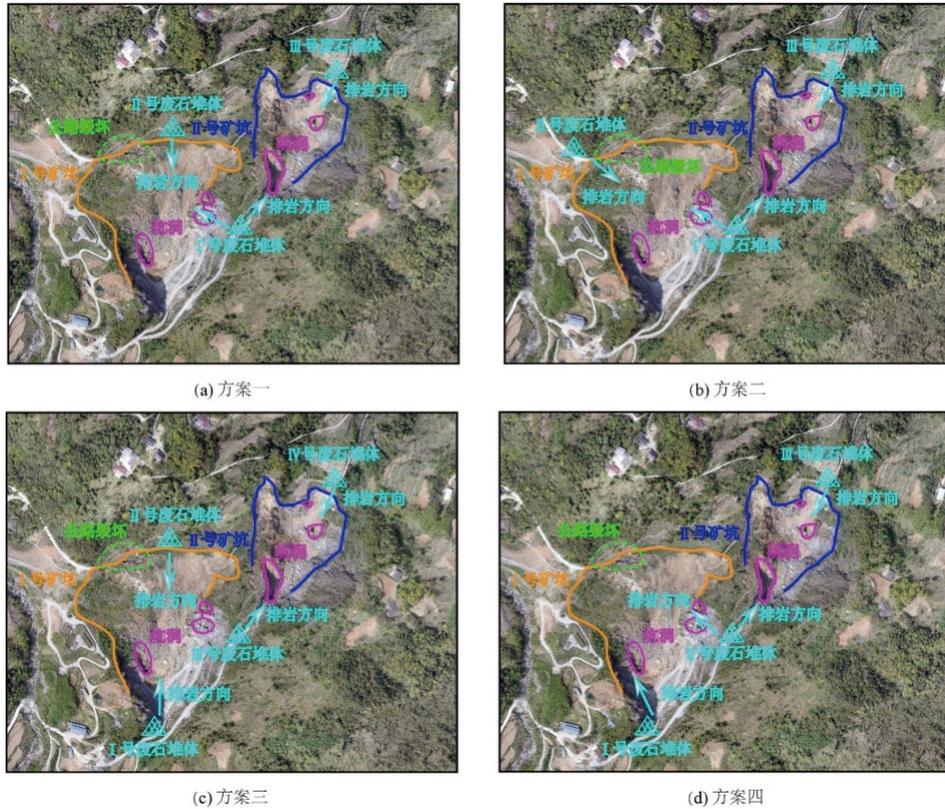


图 7 废石充填方案示意图  
Fig. 7 Schematic diagram of waste rock filling scheme

(2)方案二: 如图 7b 所示, 针对 I 号矿坑和 II 号矿坑, 在两个矿坑附近设置 I 号、II 号和 III 号三个废石堆体, 其中, I 号废石堆体和 III 号废石堆体设置地点与方案一相同, II 号废石堆体位于 I 号矿坑西北侧, 可形成两个相互垂直方向的充填条件。废石堆体应置于坑边稳定的实体原岩处, 利用矿用卡车形成堆体, 其中 I 号和 II 号废石堆体用于充填 I 号矿坑, I 号和 III 号废石堆体用于充填 II 号矿坑, 使用矿用铲车将废石堆体从上至下依次充填至目标矿坑。

(3)方案三: 针对 I 号矿坑和 II 号矿坑, 在两个矿坑附近设置 I 号、II 号、III 号和 IV 号四个废石堆体(图 7c), 其中, I 号废石堆体位于 I 号矿坑正南侧, II 号废石堆体位于 I 号矿坑正北侧, III 号废石堆体位于 II 号矿坑西南侧, IV 号废石堆体位于 II 号矿坑北东侧, 可形成两个相互垂直方向的充填条件。废石堆体应置于坑边稳定的实体原岩处, 利用矿用卡车形成堆体, 其中 I 号和 II 号废石堆体用于充填 I 号矿坑, III 号和 IV 号废石堆体用于充填 II 号矿坑, 使用矿用铲车将废

石堆体从上至下依次充填至目标矿坑。

(4)方案四: 如图 7d 所示, 针对 I 号矿坑和 II 号矿坑, 在两个矿坑附近设置 I 号、II 号和 III 号三个废石堆体, 其中, I 号废石堆体位于 I 号矿坑正南侧, II 号废石堆体位于 I 号矿坑东南侧(或 II 号矿坑西南侧), III 号废石堆体位于 II 号矿坑北东侧。废石堆体应置于坑边稳定的实体原岩处, 利用矿用卡车形成堆体, 其中 I 号和 II 号废石堆体用于充填 I 号矿坑, II 号和 III 号废石堆体用于充填 II 号矿坑, 使用矿用铲车将废石堆体从上至下依次充填至目标矿坑。

方案一~四中 II 号矿坑的废石堆体设置位置在满足形成两个相互垂直方向的充填条件的前提下, 废石堆体位置可选择的地点不多。前述可知, II 号矿坑东北侧坡度较大, 滑坡风险较高, 且伴随矿体开采至 850 中段时, 滑坡风险将覆盖西南侧, 但现状条件下仅局限于东北侧。因此, II 号矿坑废石堆体位置在四个方案中基本保持不变, 但该区域宜尽早形成充填所具备的条件, 以降低东北侧岩体的滑坡风险。

受地势、植被、农作物和公路等因素影响,方案一和方案三中Ⅱ号废石堆体因左侧公路破坏,矿用卡车和铲车进场施工作业较为困难,可暂不考虑。方案二相较方案一和方案三而言,其将Ⅰ号矿坑北侧废石堆体移至公路破坏区域的左侧,可满足公路运输的便利条件,但该处距离Ⅰ号矿坑相对较远,且向Ⅰ号矿坑排岩时,需经过坡度较缓的植被区域,散体在铲车推动作用下较难全部滚动至坑底,故方案二暂不考虑。综合方案一~三的特点,推荐李家河铁矿地表废石充填方案采纳方案四,其中充填所用废石来源以矿山地下掘进围岩为主,主要成分为白云大理岩和矿化大理岩,根据地表塌陷坑废石充填工程案例<sup>[20]</sup>,李家河铁矿充填废石粒径宜小于 1.8 m,可保障塌陷坑内废石散体随地下开采进程具有良好的流动性。

方案四初期在Ⅰ号矿坑充填过程中,无法形成两个相互垂直方向的充填条件,但可以通过优化排岩工序(图 8),满足两个相互垂直方向的充填条件。如图 8 所示,Ⅱ号矿坑充填点位置不变,但需要注意的是,Ⅱ号废石堆体相对Ⅲ号废石堆体地势较低,在利用两个废石堆体充填Ⅱ号矿坑时,应优先利用铲车推进Ⅱ号废石堆体,再利用铲车推进Ⅲ号废石堆体。Ⅰ号矿坑废石充填相对较为复杂,Ⅰ号废石堆体和Ⅱ号废石堆体的推进方向近似于相互平行。其中,Ⅰ号废石堆体沿Ⅰ号矿坑左侧壁逐步向中间充填,Ⅱ号废石堆体沿Ⅰ号矿坑右侧壁逐步向中间充填。从Ⅰ号废石堆体和Ⅱ号废石堆体的充填于Ⅰ号矿坑的废石散体层,在整体上逐步从侧壁向中间靠拢。考虑Ⅰ号矿坑西北侧存在植被的缓边坡,Ⅰ号矿坑前期废石充填高度以缓边坡标高为基准,形成如图 8 所示的废石散体层。后期以已充填的废石散体层为垫层,将Ⅰ号废石堆体和Ⅱ号废石堆体前置,用于充填Ⅰ号矿坑北侧地势较高的边坡。

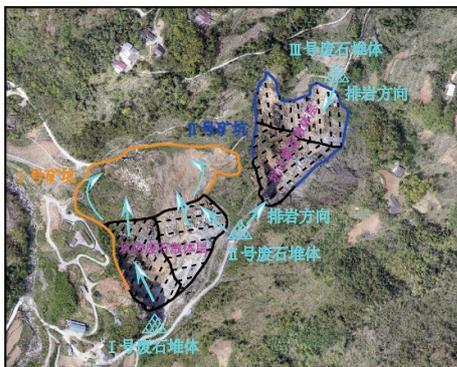


图 8 优选的废石充填方案示意图  
Fig. 8 Schematic diagram of the preferred waste rock filling scheme

方案四的优点在于:(1)减少了废石堆体的数量;(2)Ⅰ号和Ⅱ号废石堆体在同向上,缩短了形成废石堆体所需的行车路线;(3)避开了原乡村公路破坏的

影响。缺点在于:(1)铲车推进废石堆体充填Ⅰ号矿坑的工序要求较高;(2)Ⅰ号矿坑北侧边坡承受散体有效支撑作用的滞后时间较长。

## 4 结论

(1)李家河铁矿Ⅱ号矿坑不规则程度较高,且东北侧边坡角度较大,初始平衡迭代计算时该区域垂直位移较大。当矿体开采至 850 中段时,Ⅰ号矿坑呈现局部零星破坏,Ⅱ号矿坑较大垂直位移区域由东北侧向西南侧扩大,露天边坡大滑移风险较大。

(2)矿体开采至 850 中段时,最大主应力主要集中在矿柱 1 和矿柱 2 附近,但塑性区主要发生在矿柱 1 和矿柱 2 两侧,以拉伸破坏、剪切破坏和拉伸-剪切混合破坏为主,其中,1060 中段矿柱 1 和矿柱 2 之间发生较大范围塑性破坏,这是导致Ⅱ号矿坑整体稳定性劣于Ⅰ号矿坑的内在因素。

(3)结合数值模拟结果和地势、植被、农作物和公路破坏等因素影响,在满足塌陷坑边缘充填地点选址原则的前提下,Ⅱ号矿坑废石充填点位置较为局限,Ⅰ号矿坑内废石散体层宜采取从侧壁向中间靠拢,再向北侧推进的回填方案。

(4)地表塌陷坑废石充填对控制地表岩移和修复土地具有重要现实意义,需结合实际工况制订合理可行的充填方案,目前研究仅针对充填点位置和充填顺序等开展研究,其废石充填量、废石充填高度和充填实施效果将在下一步研究中详细进行。

## 参考文献:

- [1] 张东杰,任凤玉,王健多.崩落法开采岩体冒落及岩移机理[J].采矿与岩层控制工程学报,2021,3(3):033521.  
ZHANG D J, REN F Y, WANG J D. Rock mass caving and movement mechanisms of block caving mining[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2021, 3(3): 033521.
- [2] 任凤玉,张晶,何荣兴,等.复杂条件下不规则空区围岩冒落时空演化特征研究[J].金属矿山,2022(3):28-34.  
REN F Y, ZHANG J, HE R X, et al. Study on the temporal and spatial evolution characteristics of surrounding rock caving in irregular goaf under complex conditions[J]. Metal Mine, 2022(3): 28-34.
- [3] DENG Y, CHEN C, XIA K, et al. Investigation on the characteristics of overlying strata caving in the Chengchao Iron Mine, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(10): 1-25.
- [4] 蔡美峰,薛鼎龙,任奋华.金属矿深部开采现状与发展战略[J].工程科学学报,2019,41(4):417-426.  
CAI M F, XUE D L, REN F H. Current status and development strategy of metal mine[J]. Chinese Journal of Engineering 2019, 41(4): 417-426.
- [5] 张玮,杨天鸿,侯俊旭,等.大红山铁矿露天-地下联合开采岩移发展规律研究[J].金属矿山,2024(2):232-238.  
ZHANG W, YANG T L, HOU J X, et al. Research on the development law of rock movement in the opencast underground combined mining of Dahongshan Iron Mine[J]. Metal Mine, 2024(2): 232-238.
- [6] 张亚宾,王鑫,艾蕊,等.三友石矿露天转地下开采边坡稳定性研究[J].华北理工大学学报(自然科学版),2024,46(1):18-25.

- ZHANG Y B, WANG X, AI R, et al. Study on slope stability from open pit to underground mining in quarry of Tangshan Sanyou Company[J]. Journal of North China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2024, 46(1): 18–25.
- [7] ZHAO X, ZHU Q. Analysis of the surface subsidence induced by sublevel caving based on GPS monitoring and numerical simulation[J]. *Natural Hazards*, 2020, 103(3): 3063–3083.
- [8] 刘洋, 任凤玉, 何荣兴, 等. 基于放矿下临界散体柱理论的地表塌陷范围预测[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(3): 858–887.
- LIU Y, REN F Y, HE R X, et al. Prediction of surface subsidence range based on the critical medium column's theory under ore drawin[J]. Journal of Northeastern University( Natural Science), 2018, 39(3): 858–887.
- [9] 张东杰. 临界散体柱支撑理论及其在锡林浩特萤石矿应用研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2019.
- Zhang D J. Critical medium column support theory and its application in the Xilinhot Fluorite Mine[D]. Shenyang: Northeastern University, 2019.
- [10] 韩智勇, 曹建立, 刘洋, 等. 近地表急倾斜厚矿体地表移动规律及影响因素的敏感性分析[J]. 金属矿山, 2020(2): 158–162.
- Han Z Y, Cao J L, Liu Y, et al. Strata movement law of near-surface steeply inclined thick ore bodies and sensitivity analysis of influencing factor[J]. *Metal Mine*, 2020(2): 158–162.
- [11] 邹开华, 任凤玉, 丁航行, 等. 北洛河铁矿开采深度与地表岩移时空演变规律研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(8): 60–65.
- ZOU K H, REN F Y, DING H X, et al. Study on temporal and spatia evolution of mining depth and surface rock movement in Beiminghe Iron Mine[J]. *Mining Research and Development*, 2022, 42(8): 60–65.
- [12] 杨宇江, 路增祥. 地下采深变化的露天矿残余边坡稳定性分析[J]. 金属矿山, 2019(1): 168–173.
- YANG Y J, LU Z X. Stability analysis of residual slope of open-pit mine with variation of underground mining dept[J]. *Metal Mine*, 2019(1): 168–173.
- [13] 罗浪, 李小双, 王运敏. 露天转地下开采不同坡高影响下覆岩移动响应特征研究[J]. 金属矿山, 2020(8): 32–37.
- LUO L, LI X S, WANG Y M. Research on mining response character of underground overlying strata under different slope heights during transition from open pit to underground mining[J]. *Metal Mine*, 2020(8): 32–37.
- [14] 姜安民, 董彦辰, 江学良, 等. 露天转地下开采引起露天采场边坡垮塌数值模拟研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(3): 14–17.
- JANG A M, DONG Y C, JIANG X L, et al. Numerical simulation of open pit slope collapse caused by transition from open pit to underground mining[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2022, 42(3): 14–17.
- [15] 王创业, 李俊鹏, 刘伟, 等. 露天地下联合开采边坡的稳定性及时效性研究[J]. 矿业研究与开发, 2017, 37(12): 107–110.
- WANG C Y, LI J P, LIU W, et al. Study on the stability and timeliness of slope mining combination of open pit and underground[J]. *Mining Research and Development*, 2017, 37(12): 107–110.
- [16] 闫佳钊, 刘溪鸽, 朱万成, 等. 露天削坡对地下采场地压显现影响的数值模拟[J]. 金属矿山, 2023(6): 213–219.
- YAN J Z, LIU X G, ZHU W C, et al. Numerical simulation on ground pressure appearance in underground stope caused by open-pit slope stripping[J]. *Metal Mine*, 2023(6): 213–219.
- [17] 曹建立, 谭宝会, 张东杰. 孟家堡子铁矿岩移控制方法研究[J]. 金属矿山, 2019(11): 1–7.
- CAO J L, TAN B H, ZHANG D J, et al. Study on the method of rock movement control in Mengjiapuzi Iron Mine[J]. *Metal Mine*, 2019(11): 1–7.
- [18] 任凤玉, 刘洋, 何荣兴, 等. 放矿条件下塌陷区内尾砂穿流特性[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2020, 41(6): 858–887.
- REN F Y, LIU Y, HE R X, et al. Flow-through features of tailings in subsidence area under ore drawing conditions[J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 2020, 41(6): 858–887.
- [19] 曹建立, 任凤玉, 丁航行, 等. 基于露天地下协同开采的地表岩移控制技术研究[J]. 金属矿山, 2020(1): 37–43.
- CAO J L, REN F Y, DING H X, et al. Study on surface rock movement control technology based on open-pit and underground synergetic mining[J]. *Metal Mine*, 2020(1): 37–43.
- [20] 张东杰, 任凤玉, 郑有伟. 临界散体柱主要影响因素研究[J]. 金属矿山, 2020(9): 72–79.
- ZHANG D J, REN F Y, ZHENG Y W. Study on the main influencing factors of the critical medium column[J]. *Metal Mine*, 2020(9): 72–79.
- [21] 王昊. 鑫达金矿盲竖井保安矿柱圈定及其稳定性分析[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2021.
- WANG H. Delimitation and stability analysis of safety pillar of blind shaft in Xinda gold mine[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science & Technology, 2021.
- [22] 何荣兴, 付煜, 任凤玉, 等. 弓长岭东南区塌陷坑后续开采岩移规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36(3): 527–534.
- HE R X, FU Y, REN F Y, et al. Strata movement law of subsequent mining of collapse pit in southeast mining area of Gongchangling iron mine[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2019, 36(3): 527–534.

# Surface Rock Displacement Characteristics and Waste Rock Backfill Scheme of Open Pit under the Underground Mining Disturbance

HAN Yansong<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, ZHOU Zonghong<sup>1</sup>, LIU Yin<sup>1,2</sup>

1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;

2. Heqing Beiya Mining Co., Ltd., Dali 671507, China

**Abstract:** The non-pillar sublevel caving method is often used in the black metal mines with open-pit to underground, which can easily cause instability of open-pit slopes and threaten the safety of surrounding buildings in the mining area. Taking the Lijiahe Iron Mine with steep surface slopes and strong terrain cutting as the research object, a detailed numerical model was constructed based on the surface aerial point cloud data and the production plans. The numerical simulation was used to study the surface rock movement characteristics of open-pit pits under the action of continuous underground mining disturbance. In combination with the factors such as terrain, vegetation, crops, and roads, a feasible surface waste rock filling scheme was compared and selected. The results showed that the No.1 mine pit showed local sporadic damage, while the No.2 mine pit was mainly damaged in the north-eastern area under the deep mining and the terrain and distribution of the ore body. The overall surface subsidence stability of the No.1 mine pit was better than that of the No.2 mine pit. Finally, a surface waste rock filling scheme was selected that moves from the sidewall to the centre and then northwards.

**Keywords:** non-pillar sublevel caving method; open pit to underground; surface rock displacement; numerical simulation; waste rock backfill

引用格式: 韩岩松, 张晶, 周宗红, 刘银. 地采扰动下露天坑地表岩移特征及废石充填方案研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(4): 85-92.

HAN Yansong, ZHANG Jing, ZHOU Zonghong, LIU Yin. Surface rock displacement characteristics and waste rock backfill scheme of open pit under the underground mining disturbance[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(4): 85-92.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)



## 通信作者简介:

张晶(1990—), 湖北荆州人, 资源开发工程系党支部书记, 研究方向为岩体力学与矿山灾害防控。参与国家自然科学基金重点项目主题项目及国家重点研发计划各 1 项; 主持云南省基础研究计划青年项目 1 项、湖北省重点实验室开放基金 2 项、横向课题 3 项。获中国黄金协会科技进步奖一等奖及二等奖各 1 次, 发表及收录国内外学术期刊 16 篇, 其中 SCI 期刊 5 篇, EI 期刊 3 篇。