

# 弓长岭铁矿上下含铁带开采稳定性研究

A study of the mining stability of the upper and lower iron ore layers of Gongchangling iron mine

田迎春<sup>1</sup>, 范文录<sup>2</sup>, 马东<sup>1</sup>, 谢盛青<sup>2</sup>, 宫国慧<sup>1</sup>, 陈小伟<sup>2</sup>,  
李宗武<sup>1</sup>, 王怀勇<sup>2</sup>, 胡世超<sup>1</sup>, 傅利民<sup>1</sup>

(1. 鞍钢集团矿业弓长岭有限公司, 辽宁 辽阳 111007; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**摘要:**弓长岭铁矿上下含铁带开采间隔仅有 10 m, 回采顺序为先开采上铁带后充填, 再进行下铁带开采, 由于矿体间隔较近, 若下铁带采场暴露面积过大, 将对上铁带稳定性产生影响, 造成中间隔离岩柱与上铁带充填体垮塌的风险。根据矿床开采技术条件与设计采场结构参数, 采用有限差分程序模拟分析了弓长岭铁矿上下铁带开采稳定性。研究结果表明, 不充填开采时, 上下铁带隔离岩柱产生的塑性区贯通, 且拉应力接近 1 MPa; 上铁带采空区及时充填后, 塑性区不发生贯通, 拉应力较小, 岩柱及采场可维持稳定。

**关键词:**稳定性; 隔离岩柱; 垮塌; 充填

**中图分类号:** TD853 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)03-0023-04

**Abstract:** The upper and lower iron ore layers in Gongchangling Iron Mine are apart only by 10 m. The upper ore layer is first extracted and backfilled before the lower layer is mined. Due to the short upright interval, a large mined out area in the lower layer may affect the ground stability of the upper layer, posing a risk of falling interval rock pillars and backfilled material in the upper layer. A study was therefore conducted based on the mining design and the stope structural parameters, through the finite difference method. The study shows that when the upper layer is mined without backfilling, connections will form in the plastic zones of the interval rock pillars between the upper and lower layers, with tensile stress approximating 1 MPa; when the mined areas of the upper layer are timely backfilled, however, no connections form in the plastic zones, with rather low tensile stress, and both the rock pillars and the stopes can remain stable.

**Key words:** stability; interval rocks; collapse; backfilling

## 1 前言

弓长岭铁矿位于辽宁省辽阳市弓长岭区苏家街道, 北距沈阳 70 km, 西北距辽阳市 39 km, 矿区交通十分便利。弓长岭铁矿目前采用采矿方法主要为无底柱分段崩落法, 为解决矿山面临的采矿损失率和贫化率大等问题, 研究采用充填法开采, 开采示意图如图 1 所示。

弓长岭铁矿自西向东被划分为三个区段, 西北区、中央区和东南区。中央区分为上含铁带采区和下含铁带采区, 上下含铁带间隔最近接近 10 m, 上铁带平均厚度为 15 m, 下铁带平均厚度为 10 m, 铁矿层总体走向 120° ~ 160°, 北东倾, 平均倾角 70°。根据类似矿山生产条件, 设计上铁带采场跨度为

20 m, 下铁带采场跨度为 25 m。由于上下铁矿层间隔距离较近, 下铁带矿体开采必然对上铁带的岩层及充填体产生影响, 难以确保中间隔离岩柱及充填体的稳定性, 因此需通过数值分析进一步予以验证<sup>[1]</sup>。

研究采用有限差分程序 FLAC3D5.0<sup>[2]</sup> 建立弓长岭铁矿上下铁带开采模型, 对给定的设计采场参数下的矿体分别进行不充填开采及充填开采稳定性分析研究, 验证上下铁矿层开采稳定性, 为矿山安全开采提供理论依据。

## 2 数值模型

数值分析的可靠性在一定程度上取决于所建立的计算模型, 包括计算模型的真实度、应力条件、岩体力学参数及其破坏准则等<sup>[3]</sup>。

### 2.1 初始地应力

根据《弓长岭井下铁矿地应力测量研究报告》应力数据成果, 弓长岭矿区地应力场分布具有以下规律: 各测点最大主应力近水平方向; 5 个测点中最

[作者简介] 田迎春(1973 -), 男, 高级工程师, 从事矿山开采工程技术与管理工作。

[引用格式] 田迎春, 范文录, 马东, 等. 弓长岭铁矿上下含铁带开采稳定性研究[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(3): 23 - 26.

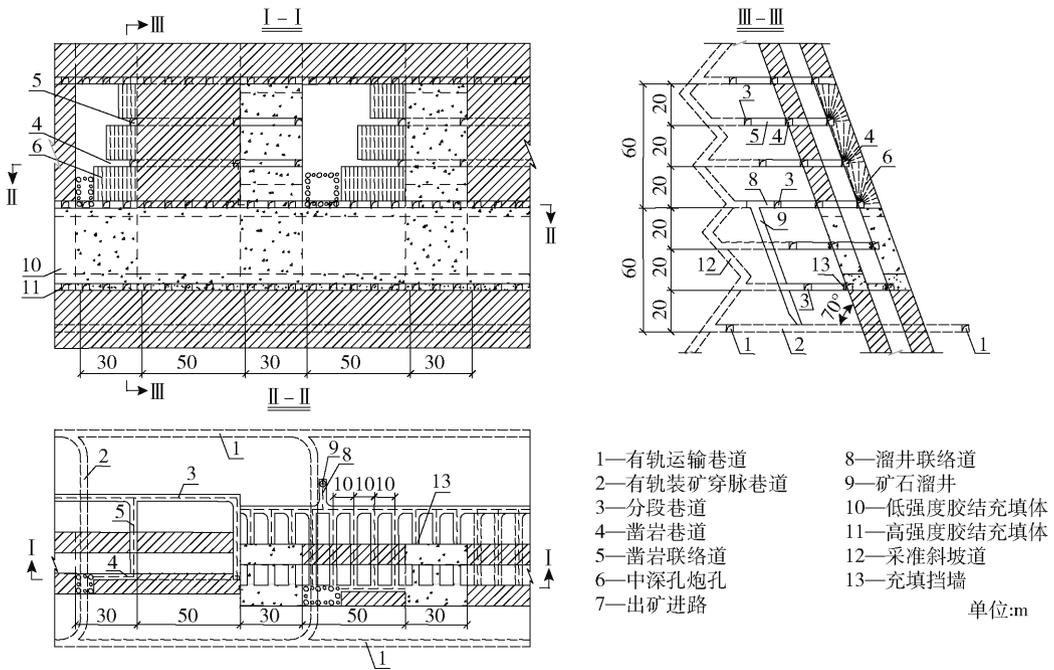


图1 弓长岭充填法开采示意图

大水平主应力值是自重应力的 1.6 ~ 2 倍,说明井下铁矿地应力场是以水平构造应力为主导的;垂直应力值基本上等于或微大于上覆岩层的重量,与自重应力的比值为 0.98 ~ 1.02。最大水平主应力( $\sigma_{hmax}$ )、最小水平主应力( $\sigma_{hmin}$ )和垂直主应力( $\sigma_v$ )均随深度( $H$ )呈近似线性增长的关系,线性回归方程为

$$\sigma_{h,max} = 0.03232H + 0.33 \quad (1)$$

$$\sigma_{h,min} = 0.02321H + 0.3232 \quad (2)$$

$$\sigma_v = 0.02323H + 0.1213 \quad (3)$$

式中: $H$ ——埋深,m。

## 2.2 本构模型

岩体开挖后,围岩内发生应力重分布,周边附近是应力集中带。假定围岩呈弹塑性变形,可用莫尔-库仑强度理论建立其屈服条件为

$$\delta_\theta = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m} \delta_r + \frac{2C_m \cos \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m} \quad (4)$$

式中: $\delta_r$ 、 $\delta_\theta$ ——围岩发生屈服破坏时的径向、切向应力;

$C_m$ 、 $\varphi_m$ ——岩体的黏结力、内摩擦角。

## 2.3 矿岩力学参数

弓长岭铁矿矿岩力学参数见表1。

## 2.4 数值模型

根据弓长岭铁矿矿体特征,通过建立两条矿带模型,模拟两条矿带先后开采的应力变化情况。模型当中,矿体倾角均设为 70°,开挖过程为先开采上

表1 弓长岭铁矿矿岩力学参数

岩性	抗压强度 $\sigma_c$ /MPa	弹性模量 $E_m$ /GPa	抗拉强度 $\sigma_t$ /MPa	泊松比 $\mu$	黏结力 $C_m$ /MPa	内摩擦角 $\varphi_m$ /( $^\circ$ )
矿体	78.1	9.58	2.39	0.13	5.14	39.1
上部围岩	45.2	5.65	1.71	0.16	1.87	37.0
下部围岩	47.3	5.97	1.84	0.17	2.2	38.3

矿带,采场开采后充填,之后对下矿带进行开采,并充填,采场跨度为 25 m。为便于结果对照分析,同时进行上下矿带开采后不充填模拟,并与充填开采过程所得结果进行对比分析。计算模型如图2所示。

## 3 结果分析

### 3.1 不充填计算结果

根据图3a最大主应力结果,若开采过程中不充填,最大主应力达到 42 MPa 以上,岩体所受压应力过大则容易产生剪切破坏;图3b所示为最小主应力结果,最小主应力超过部分岩体的抗压强度,且达到 0.9 MPa 以上,由于岩体在受拉时,极易发生受拉破坏,因此不充填开采,采场明显无法满足稳定性要求。

图4a所示为垂直位移计算结果,图4b所示为塑性区分布结果。从图中可看出,垂直位移大幅增加,上盘岩体的垂直位移达到 84 mm,且随着采场逐步开采,垂直位移呈线性增加的趋势;从塑性区分布

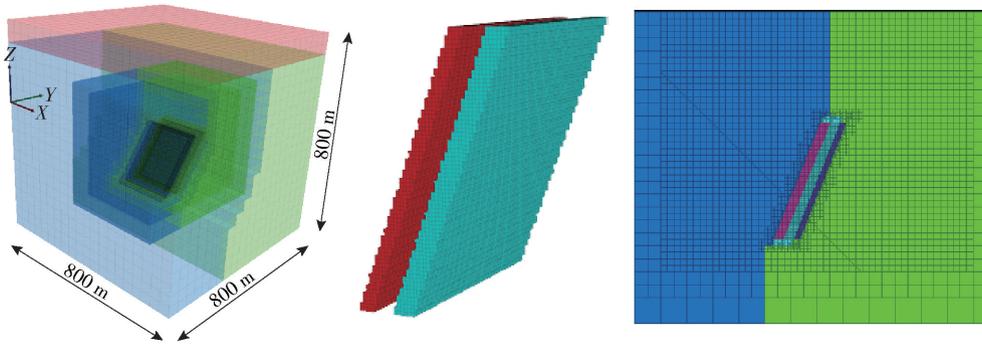
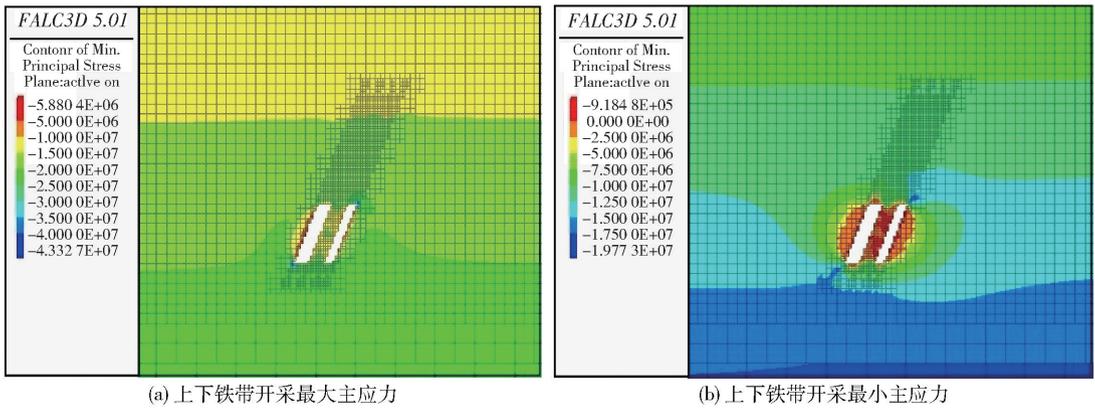


图2 整体模型和矿体模型



(a) 上下铁带开采最大主应力

(b) 上下铁带开采最小主应力

图3 上下铁带开采最大主应力与最小主应力计算结果

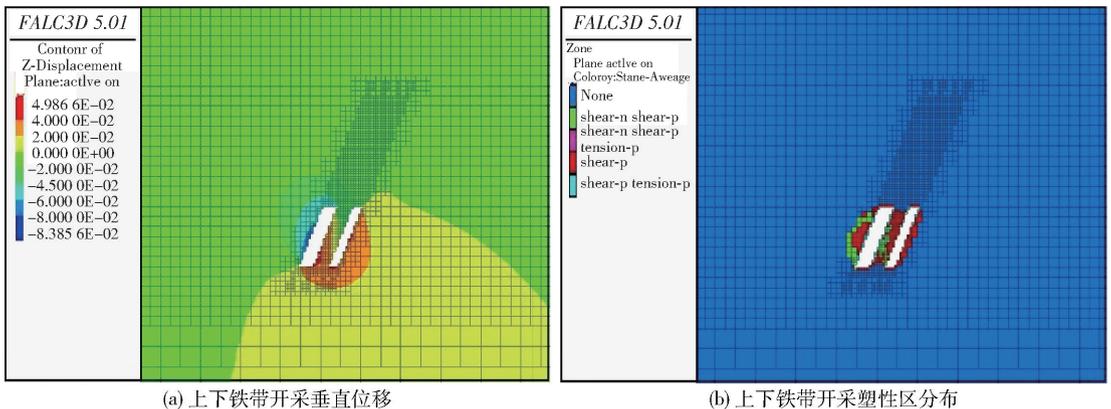
来看,采场不充填,上下盘围岩塑性区分布扩展范围大,尤其是中间岩柱塑性区已全部贯通,这是由于中间岩柱受到较大的应力集中影响,易发生剪切破坏,因此,采场不充填不利于上下铁带间岩柱的稳定。

### 3.2 充填开采计算结果

根据图 5a 最大主应力结果,在上矿带采场开采后并及时充填直至下矿带开采过程模拟中,矿岩体最大主应力均未超过岩体抗压强度,充填体起到很好的支撑作用;根据图 5b 最小主应力结果,在上矿带开采充填后,下矿带开采过程中产生的拉应力较小,局部出现拉应力为 0.21 MPa,小于岩体抗拉强

度。以上结果对比不充填开采,矿岩受力情况得到明显改善,且说明采用上述采场结构参数合理可行。

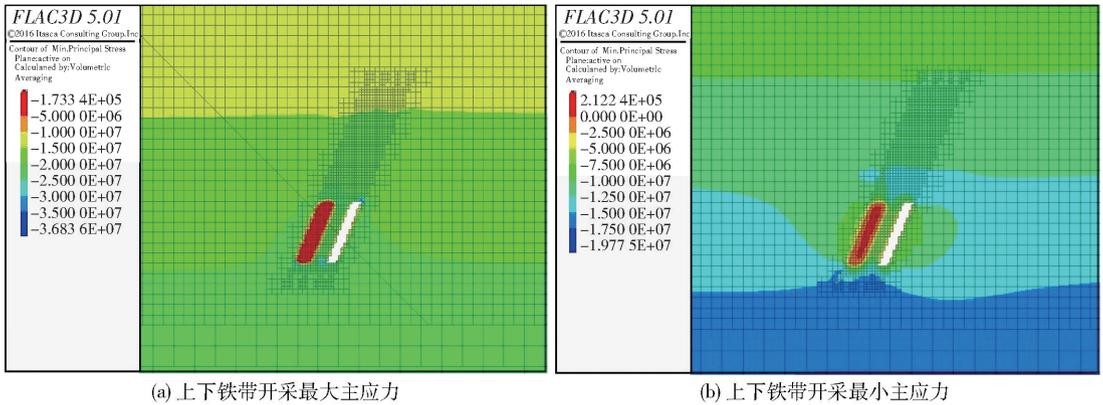
根据图 6a 为垂直位移计算结果,图 6b 所示为塑性区分布结果。随着下矿带开采,上矿带垂直位移有一定增加,但由于充填体的支撑作用,垂直位移增加量并不大,说明充填体起到较好的支撑作用;从塑性区结果来看,随着下矿带采场逐步开采,塑性区分布范围开始变大,由于充填体力学强度较小,在下矿带采场逐步开采过程中,充填体受力逐渐增大,因此充填体容易发生剪切受拉破坏。此时上下矿带中间的岩柱由于应力集中影响,塑性区范围逐渐增大,



(a) 上下铁带开采垂直位移

(b) 上下铁带开采塑性区分布

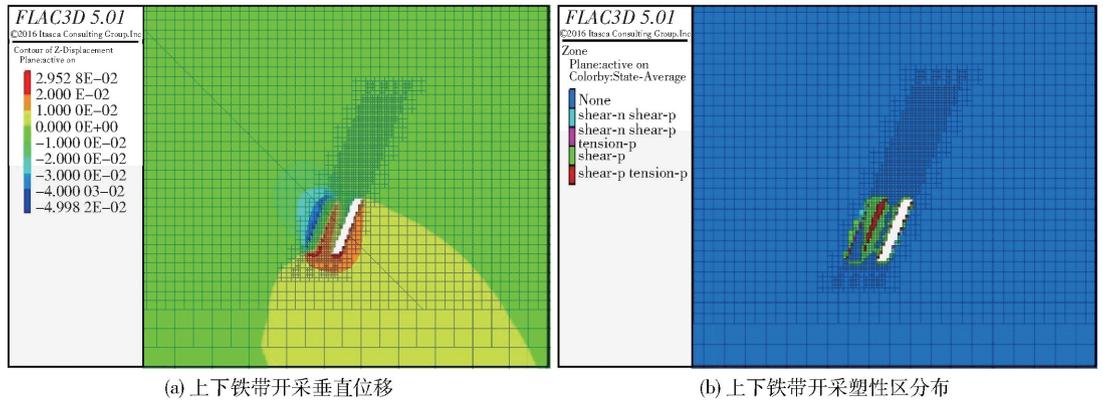
图4 上下铁带开采垂直位移与塑性区分布结果



(a) 上下铁带开采最大主应力

(b) 上下铁带开采最小主应力

图5 上下铁带开采最大主应力与最小主应力计算结果



(a) 上下铁带开采垂直位移

(b) 上下铁带开采塑性区分布

图6 上下铁带开采垂直位移与塑性区分布结果

但未完全贯通,说明充填开采可以维持上下矿带开采采场的稳定。

### 4 结论

通过对弓长岭铁矿上下含铁带开采数值分析,并对比不充填开采结果,验证了上下铁矿层充填开采下采场的稳定性,主要结论有:

(1)上下矿层开采后不充填时,上下铁带隔离岩柱产生的塑性发生贯通,主要为剪切塑性区,说明中间隔离岩柱受压应力较大已发生剪切破坏;上盘岩体则存在较多受拉塑性区,说明岩体受拉应力破坏,且通过最小主应力可知,岩体所受拉应力接近 1 MPa。

(2)上铁带采空区及时充填后,中间隔离岩柱存在的塑性区不发生贯通,且上盘岩体所受拉应力

较小,岩柱及采场周边岩体基本可维持稳定。

(3)由于充填体力学强度较小,在下矿带采场逐步开采过程中,充填体受力逐渐增大,充填体容易发生剪切受拉破坏,因此在下矿带采场开采到一定数量时,建议将采场跨度适当降低来进一步保证顶板的稳定性。

### [参考文献]

[1] 古德生,李夕兵. 现代金属矿床开采科学技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.

[2] 刘晓明,罗周全,杨承祥,等. 基于实测的采空区稳定性数值模拟分析[J]. 岩土力学,2007, 28(S1): 521 - 526.

[3] 陈宗基. 应力释放对开挖工程稳定性的重要影响[J]. 岩石力学与工程学报, 1992, 11(1): 1 - 10.