

上向进路充填法进路回采顺序的优化研究*

张雄天, 张国胜, 赵永峰, 魏亚涛

(兰州有色冶金设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要:针对白银深部铜矿高应力环境下的深埋矿体,在深入分析采矿方法的基础上,进行了上向进路充填法进路回采顺序的优化研究,提出了适合上向进路充填法的3种合理进路回采顺序,并利用FLAC^{3D}进行数值计算分析。结果表明:3种方案中,一翼向另一翼“隔二采一”的方案,采场顶板应力集中程度最低、位移变化最小,采场稳定性程度最高,即为进路的最优回采顺序。当回采进路开采到第三步骤时,矿房顶板处应力不断积累产生明显应力集中区,此时易出现矿房顶板变形及冒落等事故,需采取相关措施,加强采场顶板的支护工作。

关键词:深部矿体;上向进路充填采矿法;回采顺序;围岩稳定性

中图分类号:TD853.34 **文献标识码:**A

文章编号:1005-2763(2016)01-0114-05

fill, Mining sequence, Rock stability

0 引言

随着浅部矿产资源的不断消耗,开采深部矿产资源成为未来采矿发展的必然趋势^[1]。与浅部矿产资源的开发利用相比,深部矿体所处的应力环境更为复杂,深部开采必然导致应力场重新平衡,从而导致巷道及采场周围岩体的变形,易诱发大型工程灾害,对深部矿产资源的安全高效开采构成威胁。地下开采时,采矿方法、开采强度、结构参数、回采顺序等因素深刻影响着地压活动的活跃程度,特别是矿体的回采顺序,对采场应力的重新分布影响较大。

回采顺序的优化不仅要保证当前开挖的稳定性,还要保证未来开挖的稳定性,同时兼顾当前开挖对将来开挖的影响。回采顺序的优化可以使岩体因为开挖聚集的能量得到最大程度的释放,从而避免开挖过程中因应力集中导致的变形破坏,防止大规模突发性地压活动的出现。因此,合理的回采顺序对解决采场稳定性问题具有重要的意义。

目前,对回采顺序的优化国内外大多数学者主要采用相似工程类比法、室内相似试验法、BP神经网络预测法、数值模拟分析法等,并在一些矿山取得了成功^[2-10]。鉴于数值模拟分析方法的方便灵活,其在回采顺序的优化方面得到了广泛的应用。本文以白银深部铜矿深部开采Ⅱ期工程为背景,采用数值模拟方法,对上向进路采矿法不同进路回采顺序导致的应力分布变化,开展深部矿体开采顺序的优化研究,为矿山安全高效开采提供科学指导。

1 开采技术条件及回采方案

白银深部铜矿地表标高1930 m,1984年8月露天开采结束,由露天开采逐渐转变为地下开采。

Optimal Research on the Drift Mining Sequence of Upward Drift Stopping with Backfill

ZHANG Xiongtian, Zhang Guosheng,
Zhao Yongfeng, WEI Yatao

(Lanzhou Colored Metallurgy Design Research Institute Co., Ltd, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Aimed at the deep orebody under high stress in Baiyin Copper Mine, the optimal research on the drift mining sequence of upward drift stopping with backfill was carried out based on the in-depth analysis of mining method. Then, three kinds of reasonable mining sequences were proposed and analyzed by FLAC^{3D}. The results showed that the mining sequence of "taking two every the other one" from one side to another side was the optimum, which had the minimum stress concentration and displacement change in stope roof, as well as the best stability in stope. As the drift mining in the third step, the stress in stope roof would accumulate constantly and produce the obvious stress concentration area. At this moment, it was easy to occur deformation and caving in stope roof, which need to take relevant measures for strengthening the support of stope roof.

Key words: Deep orebody, Upward drift stopping with back-

* 收稿日期:2015-07-06

作者简介:张雄天(1987-),男,甘肃白银人,助理工程师,硕士,主要从事采矿技术及充填材料研究,Email:0941zhangxiongtian@163.com。

目前白银深部铜矿地下二期工程开采范围为 1275 m 水平以上,1475 m 水平以下共 4 个中段,中段高 50 m。矿体厚度较薄,顶底板围岩破碎不稳固,多呈条带状、扁豆状及透镜状集合体,分支复合现象明显,平均厚度 4.44 m,铜平均品位为 1.04%。深部铜矿 I 期主要采用无底柱分段崩落采矿法开采,但随着开采深度的不断增加,围岩及矿体的岩体力学特征发生了明显的变化,原设计的采矿方法已不能高效回采深部矿体,故 1425 m 以下中段主要采用上向水平分层进路充填采矿法进行回采(见图 1)。

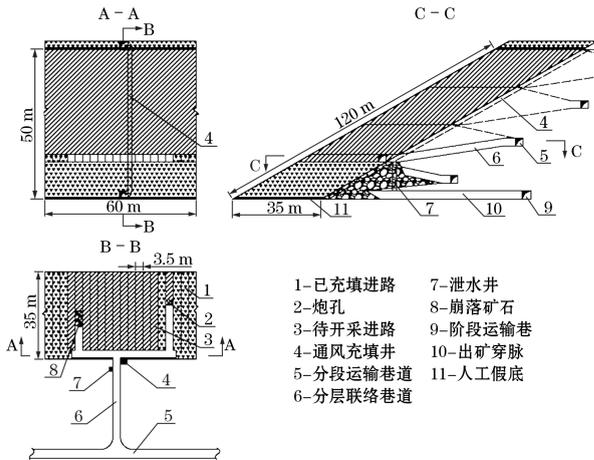


图 1 采矿方法

采场高度 50 m,矿块长 60 m,宽 35 m,将矿块划分为若干分层,在每一分层内以进路作为回采单元组织生产。沿矿块走向方向开凿切割进路,在走向方向上共划分 20 条回采进路,回采进路尺寸为 3 m×3 m×35 m,矿石崩落后由分层平巷进入分段运输巷运出采场。当用进路回采矿石时,相邻进路

作为临时矿柱维护采场稳定,进路回采完毕后采用尾砂胶结充填。采场布置见图 2。

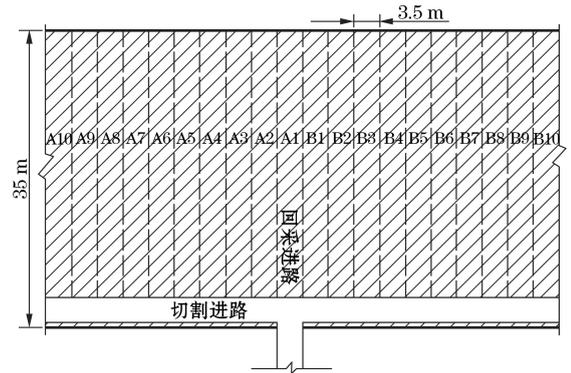


图 2 采场布置

根据矿体赋存条件及现场布置情况,综合考虑上向水平分层进路充填采矿法的生产工艺、生产能力及采矿工程各方面的影响因素,同时结合卸压式开采理论,确定进路回采顺序的优化需遵循以下原则:

(1) 对于上向水平分层进路充填采矿法,进路的回采顺序宜采用“隔一采一”或“隔二采一”的间隔回采方式;

(2) 进路回采时宜采用“中央向两翼”或“两翼向中央”的回采顺序;

(3) 通过计算分析可知,当 2 条进路同时回采时,才能保证矿山的正常生产不受影响;

(4) 当进路回采工作结束后立即展开充填作业。基于以上原则,同时根据图 2 的进路布置情况,结合实际生产,设计以下 3 种进路回采顺序方案(见表 1)。

表 1 进路开采顺序

方案	回采顺序	回采方式	回采工艺	进路回采顺序
1	中央向两翼	隔一采一	开挖 充填 开挖 充填	A1B2\A3B4\A5B6\A7B8\A9B10
				A1B2\A3B4\A5B6\A7B8\A9B10
				A2B1\A4B3\A6B5\A8B7A\10B9
				A2B1\A4B3\A6B5\A8B7A\10B9
				A10B9\A8B7\A6B5\A4B3\A2B1
				A10B9\A8B7\A6B5\A4B3\A2B1
2	两翼向中央	隔一采一	开挖 充填 开挖 充填	A9B10\A7B8\A5B6\A3B4\A1B2
				A9B10\A7B8\A5B6\A3B4\A1B2
				A10\A7\A4\A1\B3\B6\B9
				A10\A7\A4\A1\B3\B6\B9
				A8\A5\A2\B2\B5\B8
				A8\A5\A2\B2\B5\B8
3	一翼向另一翼	隔二采一	开挖 充填 开挖 充填 开挖 充填	A9\A6\A3\B1\B4\B7\B10
				A9\A6\A3\B1\B4\B7\B10
				A10\A7\A4\A1\B3\B6\B9
				A10\A7\A4\A1\B3\B6\B9
				A8\A5\A2\B2\B5\B8
				A8\A5\A2\B2\B5\B8

2 数值试验分析

2.1 模型构建

针对 FLAC^{3D} 软件用于复杂矿体建模和网格划分过程中出现的问题,本文首先利用 AutoCAD2015 软件三维建模的强大功能,建立了符合白银深部铜矿上向水平分层进路充填采矿法的复杂三维矿体模型(见图 3),然后利用接口程序,将建立的三维矿体模型导入 ANSYS14.0 有限元数值模拟软件中,利用 ANSYS14.0 有限元数值模拟软件强大的前处理能力,进行了精密的网格单元划分,建立了开采阶段的计算分析三维模型。建立的三维矿体模型 X 方向长 150 m, Y 方向长 150 m, Z 方向长 150 m, 模型共生成网格节点 88552 个。最后利用接口程序,将建立的网格单元模型导入 FLAC^{3D} 中进行计算。

2.2 数值模型参数确定

深部铜矿矿床的矿岩属于脆性硬岩,具有高应力的特点,采场开挖会使围岩应力重新分配,产生围岩应力集中区,从而导致开挖岩体周围部分岩体的状态由弹性向塑性转变。基于以上分析,本文采用弹塑性本构模型,屈服准则采用摩尔-库伦准则,边界条件采用位移约束。

根据矿区地质资料可知该区域地质构造简单,无明显的地质构造及断裂,地应力以自重应力为主,因此,本文的数值模型初始条件仅考虑岩体的自重应力。通过室内岩石力学试验获得数值模型模拟所需的其他岩体力学参数(见表 2)。

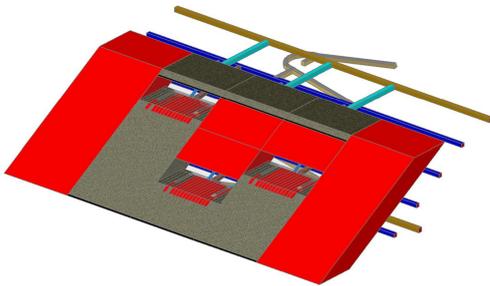


图 3 计算分析模型

表 2 白银深部铜矿主要岩体力学参数

类型	弹性模量 E /GPa	泊松比 ν	内聚力 c /MPa	内摩擦角 φ /($^{\circ}$)	抗拉强度 σ_t /MPa
岩体	70	0.25	14.15	42.4	11.12
矿体	34	0.3	8.30	42.6	8.30
充填体	0.67	0.25	0.40	33.0	0.10

2.3 回采顺序对围岩稳定性的影响

分别对进路回采顺序的 3 种方案进行数值模

拟,然后对 3 个不同回采顺序方案的应力转移规律和位移分布规律进行了分析和比较。采用不同的进路回采顺序开挖后的矿房顶板处的最大主应力分布、最小主应力分布及位移分布分别见图 4~图 6。

2.3.1 应力分布规律分析

由图 4 可知,当矿房中矿体采用进路开挖后,最大主应力主要集中在开挖进路的周围,当开挖结束,载荷卸除后,此时已开挖进路的顶板处应力值相对较低。对开挖过程中 3 种回采方案顶板处水平剖面的最大主应力值的分析可知,方案一的顶板处最大主应力值最高,方案二的顶板处最大主应力值次之,方案三的顶板处最大主应力值最低。由此可知,采用“隔二采一”及“一翼向另一翼”的进路回采顺序开采矿体时,产生的应力集中程度明显低于“隔一采一”布置时所产生的应力集中程度。由图 5 可知,矿体开挖后顶板周围最小主应力的最大值约 26 MPa,主要表现为压应力;拉应力主要集中在矿体的侧面位置处,顶板处产生的拉应力较小,最大拉应力值在 0.20 MPa 到 0.34 MPa 之间,远远小于矿体的抗拉强度。

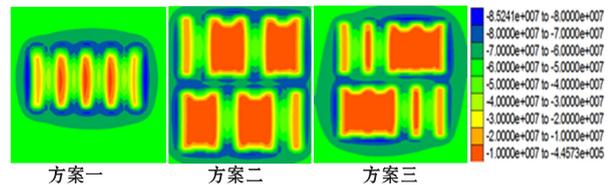


图 4 回采工作面最大主应力云图

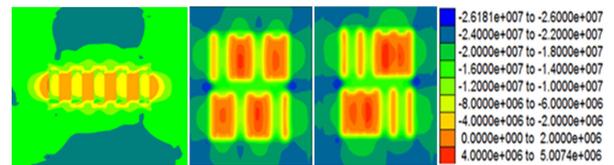


图 5 回采工作面最小主应力云图

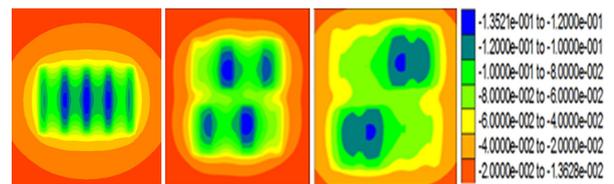


图 6 回采工作面位移云图

2.3.2 顶板位移变化分析

由图 6 和表 3 可以看出,方案一的竖向位移最大,方案二次之,方案三最小。对比 3 个方案可知,当进路回采顺序采用“隔一采一”的布置形式时,单个进路回采时,顶板处的最大竖向位移为 3.60 cm;

当采用 2 个进路同时回采时,顶板处最大竖向位移为 4.40 m;当采用三个进路连续回采时,顶板处最大竖向位移为 5.20 cm。说明当回采进路由中央向两翼回采时,相比其余两种方案,矿房顶板稳固性较差,而当采用“隔二采一”及“一翼向另一翼”的回采方式时,由于进路间距较大,顶板的稳固性更好,进路间的相互影响更小。从各方案回采过程中采场顶板处监测点位移时步曲线可以看出方案三的平均位移最小,方案二次之,方案一最大(见图 7)。

表 3 矿房第一步开挖应力位移计算结果

矿房回采方案	最大主应力 /MPa	最小主应力 /MPa	最大拉应力 /MPa	竖向最大位移/cm
1	69.81	27.19	0.31	5.80
2	69.20	27.34	0.31	5.35
3	68.67	25.17	0.22	5.20

从以上分析可知,本文设计的 3 种进路回采顺序方案,当开挖第一步的进路矿体时,3 种方案中应力均向未开挖的部位迁移。而按照方案三设计的进路回采顺序进行开采时,应力迁移速度、应力集中程度、顶板处最大主应力、竖向位移均最小,并且对相邻进路的影响程度也最小。

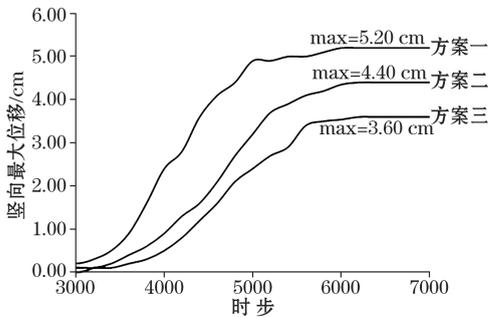


图 7 各方案监测点平均位移-时步变化曲线

矿房第二步开挖的同时充填第一步开挖的进路,其开挖后应力位移计算结果见表 4。

表 4 矿房第二步开挖应力位移计算结果

开采方案	最大主应力/MPa	竖向位移/cm
1	72.24	6.97
2	72.20	6.93
3	72.10	6.96

从表 4 可以看出,3 种方案中,随着矿房中矿体第二步的开挖,顶板处的最大主应力值不断增大,当二步骤开采完毕时,顶板处主应力值达到最大值,并且 3 种方案中,顶板处的主应力值差别不大。由

以上分析可知,3 种不同方案中,第一步骤的进路矿体开挖,对矿房顶板及周边应力的迁移及竖向位移的变化影响非常明显,而第二步骤的进路矿体开挖,对采场顶板及周围应力的转移和垂直方向位移的变化并没有显著影响。

综上所述,本文通过对设计的上向进路充填采矿法中 3 种进路回采顺序方案回采过程中的顶板最大主应力、拉应力分布及顶板位移变化规律的分析比较,得出方案三的进路回采顺序对开采深部矿体更为安全的结论。

3 结 论

(1) 本文在白银深部铜矿 II 期开采的基础上,针对应力赋存条件复杂的深部矿体环境,提出了采用上向进路采矿法开采深部矿体的方案,同时对上向进路充填采矿法中不同进路回采顺序下应力转移、应力集中及位移的变化规律进行了分析研究,确定了上向进路充填采矿法的最优进路回采顺序。针对优化的进路回采顺序,经过初期试验采场的实际生产,证明所确定的进路回采顺序是可行的,能为矿山的安全、高效生产提高保障,可以进一步扩大生产规模。

(2) 对矿房 20 条进路的 3 种不同回采顺序进行计算分析,得出先开采 A10、A7、A4、A1、B3、B6、B9,然后开采 A8、A5、A2、B2、B5、B8,最后开采 A9、A6、A3、B1、B4、B7、B10 进路的“隔二采一”及“一翼向另一翼”的回采方案,应力转移及顶板处应力聚集相对最小,同时,回采工作面顶板处垂直方向位移变化也最小。因此,方案三的进路回采顺序为最优回采顺序。

(3) 对于“隔二采一”及“一翼向另一翼”的回采方案,当进路开采到第二步时,在进路回采过程中,压应力向矿房顶板处不断集中,此时在矿房顶板处产生应力集中区的概率较大,增大了顶板发生变形及顶板冒落的风险,需采取措施加强支护工作。

(4) 通过本文的分析可知,对于选择上向进路充填采矿法回采应力赋存条件复杂的深部矿山来讲,选择合适的进路回采顺序开发深部矿产资源对安全采矿具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 古德生,李夕兵,等.现代金属矿床开采科学技术[M].北京:冶金工业出版社,2006.
- [2] 梁胜增,闻 磊.铜山铜矿回采顺序优化数值模拟研究[J].矿业研究与开发,2015,35(4):16-19.

- [3] 周伟永,饶运章,汪弘,等.基于FLAC^{3D}的采场稳固性数值模拟研究[J].矿业研究与开发,2014,34(2):13-17.
- [4] 吴亚斌.安庆铜2号西矿体开采初期岩体稳定性模拟研究[J].矿业研究与开发,2014,34(7):9-11.
- [5] 甯瑜琳,扈守全,梁超,等.上盘破碎矿体盘区上向分层充填采矿法回采超前高度优化研究[J].矿业研究与开发,2014,34(4):11-15.
- [6] 管佳林.深部地压分析及安全开采顺序研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [7] 王运敏,孙国权,王星.深部矿床上行式开采采场参数优化数值模拟[J].金属矿山,2015(5):1-6.
- [8] 李占金,李力,杨立刚,等.不稳定矿岩上向进路充填不接顶采矿方法试验[J].金属矿山,2014(1):1-4.
- [9] 施建俊,孟海利.采场结构参数与回采顺序的数值模拟优化研究[J].金属矿山,2011(6):13-16.
- [10] 罗周全,管佳林,冯富康,等.盘区隔离矿柱采场结构参数数值优化[J].采矿与安全工程学报,2012,29(2):261-264.