

试验研究

# 托库孜巴依金矿分段空场嗣后充填采矿法优化及数值模拟

董山

(山东省冶金设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

**摘要:**随着托库孜巴依金矿深部探矿工作的推进,须对井下采矿方法进行适应性调整,优化实施有底部结构的分段空场嗣后充填采矿法方案。采用Flac<sup>3D</sup>软件对采准矿块结构、中段内回采及充填工艺匹配顺序进行三维数值模拟,对模拟结果数据的分析及采场稳定性计算结果表明,优化的采矿方案利于矿山整体稳定性及安全目标的实现;同时方案的实施改善矿山的地表作业环境和矿区的生态环境,提升矿山安全状态及企业品质,实现绿色开采。

**关键词:**采矿法;分段空场嗣后充填;数值模拟;结构参数

中图分类号:TD863

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2017)03-0028-03

## 1 工程背景

托库孜巴依金矿已生产近10 a,开采对象为I号矿段12号矿脉;地下开采深度+645~+154 m;开拓方式为竖井开拓,中段高度40 m;原矿采选能力为1 000 t/d。2012年前,矿山开采+447 m以上中段,矿体厚度1.64~3.22 m,倾角70°~79°,矿岩较稳定,选用浅孔留矿法采矿。浅孔留矿法采矿易于掌握,运用成熟;但暴露出作业安全条件差、采场生产能力低、经济技术指标不理想等问题。2014年始,探矿工作获知深部矿体赋存条件骤变:+407 m中段矿脉厚度10~50 m,矿体倾角56°~84°;+367 m中段矿脉厚度11~52 m,矿体倾角58°~67°;上下盘围岩稳定。

综合看来,深部矿体倾角变缓,厚度增大,局部厚度甚至达到上百米,同时又因矿化不均匀的影响,给采场的布置构成了很大影响,2014年甚至出现采场顶板局部坍塌危害;浅孔留矿法已不适用于矿山深部厚大矿体的开采。

## 2 优化设计及实施方案

矿山经论证确认实施方案为有底部结构的分段空场嗣后充填采矿法。矿块沿矿体走向布置,设底部结构,不设顶柱、底柱和间柱;矿块沿走向划分为一步矿房和第二步矿房;出矿进路设在底部结构中,出矿工作安全性好;矿房分步实施回采,一步矿房回采完成并形成采空区后立即进行充填作业,第二步矿房在一步矿房充填体固结完成并达到预期强度后,在其支撑下进行回采。

收稿日期:2016-05-12;修回日期:2017-05-11

作者简介:董山,男,1984年生,2011年毕业于北京科技大学采矿工程专业。现为山东省冶金设计院股份有限公司矿山事业部副部长,从事金属非金属矿山采选工程咨询、工程设计及工程总承包项目的经营、生产及管理工作。

矿块高度为阶段高度40 m,矿块长度为30 m,一步、二步矿房宽度均为15 m,矿房内沿垂向由上至下按照13 m、13 m、14 m的高度划分3个分段。

底部结构设计为平底式,简化设计,不留底柱;采场内矿石在拉底水平形成三角矿堆,使用铲运机实施搬运工作;拉底、出矿和运输三个水平层合并为一。矿块整体采切量小,切割效率高,放矿条件好,作业安全,出矿效率高。

## 3 数值模拟研究

### 3.1 三维模型的建立

为获得岩石力学对采矿作业影响的普遍性,模拟对象设置为最深部水平标准矿块,同时考虑到矿房开挖后的扰动范围约为开挖半径的3~5倍<sup>[1]</sup>,故所建模型高度为4个中段高度;模型长度为11个矿房宽度;模型设置固定边界,模型宽度规划为30 m。

建立模型尺寸为108 m×30 m×160 m(长×宽×高),模型上部加210 m厚的岩石重力约束条件。

### 3.2 模型材料参数

矿岩及充填体均采用莫尔-库仑材料,矿岩参数参考地质勘查报告,充填体参数参照类似矿山<sup>[2]</sup>,具体数值如表1所示。

### 3.3 中段开采过程及计算结果分析

计算过程设置监控点为一步矿房顶板中心。

1)一步矿房开采后矿房应力平衡模拟结果见图1~3。由图1计算分析:顶板位移由未开采时的7.5 mm增加到10.8 mm。由图3计算分析:一步矿房开采后,二步矿房应力显著增加,z轴垂直应力 $S_{zz}$ 最大值达到了15 MPa,比未开采时的8~9 MPa增加了约1.5倍。

2)一步矿房充填后矿房应力平衡模拟结果见图4~6。由图4计算分析:顶板位移由一步矿房充填前的10.8 mm增加到约11 mm,顶板变形基本可忽

表1 矿岩及充填体物理力学参数

岩性	体积模量/MPa	切变模量/MPa	弹性模量/MPa	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)	泊松比	抗拉强度/MPa	容重/(t·m <sup>-3</sup> )
矿岩	4.39 × 10 <sup>4</sup>	3.02 × 10 <sup>4</sup>	9.2 × 10 <sup>4</sup>	55.1	51	0.26	3.9	2.7
充填体	8.33	4.76	12	0.14	37	0.26	0.2	1.8

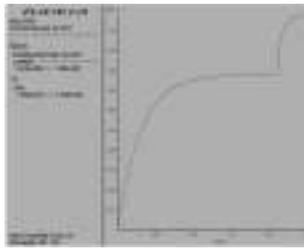


图1 矿岩模型监控点位移1

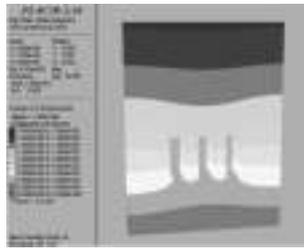


图2 矿岩整体模型z轴位移云图1

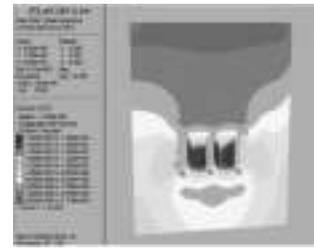


图3 矿岩整体模型z轴应力云图1

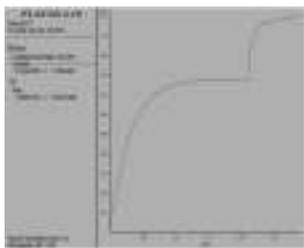


图4 矿岩模型监控点位移2

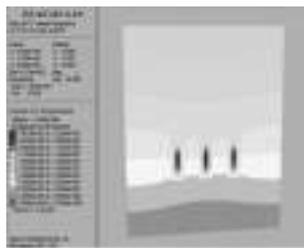


图5 矿岩整体模型z轴位移云图2

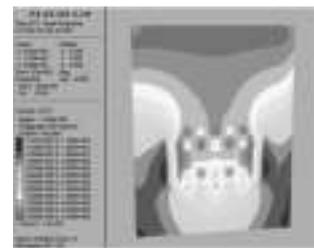


图6 矿岩整体模型z轴应力云图2

略不计,即充填体对顶板变形起到了很好的限制作用。由图6计算分析:一步矿房充填后,相比二步矿房应力由13~15 MPa下降到6.5~7.5 MPa,同时充填体的顶底角发生了明显的形变,可见充填体对于采空区起到了很好的支撑作用,使二步矿房内部应力降低约50%,有利于二步矿房安全开采。

3) 二步矿房采空后矿房应力平衡模拟结果见图7~9。由图7计算分析:顶板位移由一步矿房充填后的11 mm增加到约15 mm,可见充填体在二步矿房开采后,仍然保持稳定,未产生大的变形。由图9计算分析:二步矿房开采后,顶底板及两侧充填体的应力约为0~2 MPa。

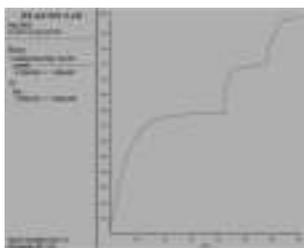


图7 矿岩模型监控点位移3



图8 矿岩整体模型z轴位移云图3



图9 矿岩整体模型z轴应力云图3

4) 二步矿房全部充填后矿房应力平衡模拟结果见图10~12。

由图10计算分析:二步矿房充填结束直至最终达到稳定状态,矿房顶板的位移为28 mm。

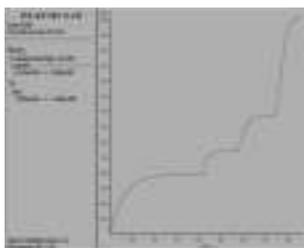


图10 矿岩模型监控点位移4

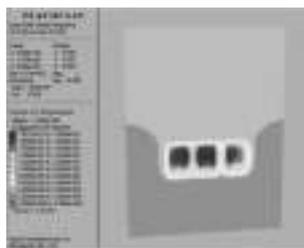


图11 矿岩整体模型z轴位移云图4



图12 矿岩整体模型z轴应力云图4

## 4 采场及充填体的稳定性分析

### 4.1 一步矿房开采稳定性分析

根据数值模拟结果得出的数据绘制岩石的莫尔强度包络线,用以分析一步矿房采空后顶板及二

步矿房的稳定性;若矿房中各点的应力组合均落在莫尔强度包络线以下,岩石不会破坏,反之,则岩石将出现破坏<sup>[3]</sup>。莫尔强度包络线服从库伦准则:

$$\tau = c + \sigma \tan \Phi$$

内聚力  $c$  为 55.1 MPa, 则莫尔强度包络线与  $\tau$  轴

的交点为 55.1 MPa, 而二步矿房的应力集中区最大应力为 27.5 MPa, 若按此强度绘出莫尔圆, 莫尔圆必定在莫尔强度包络线之下。考虑到 FLAC<sup>3D</sup> 模拟采用理想性的摩尔-库伦本构模型, 而节理、裂隙等结构面亦是影响岩体的重要因素, 因此引入准岩体强度对岩体强度进行修正<sup>[3]</sup>。准岩体抗压强度:  $\sigma_{mc} = K\sigma_c$ ; 准岩体抗拉强度:  $\sigma_{mi} = K\sigma_{ci}$ 。式中  $\sigma_c$ 、 $\sigma_{ci}$  分别为岩石试件的抗压强度和抗拉强度,  $K$  为岩体完整性系数, 取 0.5。据以上绘制核算, 莫尔强度包络线  $y$  轴

截距为 27.55 MPa, 大于二步矿房最大垂直应力 15 MPa。因此一步矿房采空后, 矿房内各处岩体应力组合落在莫尔强度包络线以下, 矿房内各处岩体一般不会出现破坏。

#### 4.2 充填体稳定性分析

一步矿房回采时, 二步矿房岩体支撑其空区, 保证作业安全; 二步矿房回采, 以一步矿房充填体为支撑实施回采作业。灰砂比分别为 1:8、1:10、1:12, 不同料浆浓度对抗压强度的影响见图 13。

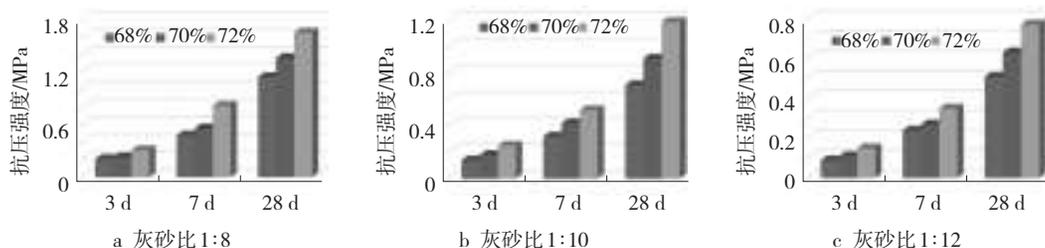


图 13 不同料浆浓度对抗压强度的影响

胶结试块单轴抗压强度随料浆浓度的升高和灰砂比的增大而增大。灰砂比为 1:8 时(图 13a), 3 d 抗压强度 0.2 MPa 以上, 28 d 抗压强度 1 MPa 以上; 灰砂比为 1:12 时(图 13c), 3 d 抗压强度在 0.1 MPa 以上, 28 d 抗压强度 0.5 MPa 以上。

根据数值模拟二步矿房开采过程中充填体  $z$  轴应力的变化情况, 并综合生产实际过程,  $z$  轴应力不会超过 2 MPa, 取 0~1 MPa 较为适宜。因此, 为保证充填结构体安全及设备行走可靠, 设计一步矿房采场空区下部(相对坐标 0~14 m)胶结充填料灰砂比为 1:8、采场空区中部(相对坐标 14~37.5 m)胶结充填料灰砂比为 1:12、采场空区上部(相对坐标 37.5~40 m)胶结充填料灰砂比为 1:8。

## 5 结论

5.1 矿山深部矿体变厚、倾角变缓、矿化不均匀, 浅孔留矿法已不适宜矿山开采, 优化实施有底部结构的分段空场嗣后充填采矿法方案, 工艺经济合理、

技术成熟、安全可靠, 既能解决矿山生产的实际困难, 又可满足扩大产能、加强安全的需要。

5.2 根据三维数值模拟及采场稳定性分析, 选用的采准矿块结构安全稳定性均较好, 中段内回采及充填工艺匹配顺序利于矿山整体稳定性及安全目标的实现。

5.3 新疆阿勒泰地区风沙天气较多, 给尾矿库存砂及矿区环境带来不利影响; 矿山引入充填工序, 可缓解尾矿库库容压力, 改善矿山的地表作业环境和矿区的生态环境, 有效提升矿山安全状态及企业品质, 实现绿色开采。

#### 参考文献:

- [1] 彭文斌. FLAC 3D 实用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 81-87.
- [2] 张梅花, 高谦, 翟淑花, 等. 金川二矿贫矿开采充填设计优化及数值分析[J]. 金属矿山, 2009(11): 28-31.
- [3] 蔡美峰, 何满潮, 刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 223-226.

## Optimizing and Numerical Simulation about Sublevel Mining Method with Subsequent Filling in Tukuzbuy Gold Deposit

DONG Shan

(Shandong Province Metallurgical Engineering Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** As the advance of prospecting work in the deep of Tukuzbuy gold deposit, mine is need to adjust the plan of mining method. Optimization scheme is sublevel mining method with subsequent filling. The Flac<sup>3D</sup> is adapted to simulate and analysis the mining ore block structure and middle stopping and filling technology matching order. Through the analysis of simulation data and the stop stability calculation, the following conclusions were got: the optimization scheme of mining method help to achieve the goal of overall stability and security; the implementation of the plan at the same time is used to improve the surface of mine working environment and the ecological environment of mining area, the quality of mine safety status and enterprise are effectively improved, and green mining is realized.

**Key words:** mining method; filling after subsection-open mining; numerical simulation; structure parameter