三山岛金矿中段盘区间合理回采顺序动态模拟选择①

彭 康, 李夕兵, 彭述权, 赵国彦, 刘志祥, 姚银佩
(中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 采用 ANSYS有限元数值模拟方法动态模拟并计算了三山岛金矿新立矿区中段盘区间不同回采顺序下不同开采步骤的围岩应力和位移状况, 结果表明, 间隔两个盘区回采一个盘区的方案能取得较好的效果, 为三山岛金矿新立矿区海底安全高效回采矿石资源提供了技术支持。

关键词: 数值模拟; 回采顺序; 动态模拟
中图分类号: TD823 文献标识码: A 文章编号: 0253- 6099(2010)03- 0008- 04

Dynamic Simulation of Reasonable Stoping Sequence in Middle Section of Panel in Sanshandao Gold Mine

PENG Kang, LI Xi-bing, PENG Shu-quan, ZHAO Guo-yan, LIU Zhi-xiang, YAO Yin-pei
(*School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha* 410083, *Hunan, China*)

Abstract: By using finite element numerical simulation, a dynamic simulation and calculation were performed for the surrounding rock stress and displacement status when selecting different stoping sequence in the middle section of panel in Sanshandao Gold Mine. Results show that the mining scheme of stoping one at intervals of two panels has a better effect and can provide technical support to the safe and effective undersea mining in Xinli Area of Sanshandao Gold Mine.

Key words: numerical simulation; stoping sequence; dynamic simulation

山东黄金集团三山岛金矿矿体位于海床下数十米至数百米范围内, 是完全意义上的海底开采, 大规模海底开采存在的安全问题是矿山需要解决的首要问题。矿山现采用点柱式机械化上向水平分层充填法开采。本文采用 ANSYS有限元动态模拟分析了三山岛金矿新立矿区中段盘区间矿体不同回采顺序下不同开采步骤围岩应力和位移, 得出了合理的回采顺序[1], 为三山岛金矿新立矿区海底安全高效回采矿石资源提供技术保障。

1 新立矿区矿床回采数值模拟分析

1.1 地质条件及力学参数

三山岛金矿矿体由黄铁绢英岩化碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩组成, 两种岩性呈渐变关系, 矿化连续。矿体走向长 1 145 m, 其东北侧基本尖灭, 南西侧尚未封闭。矿体真厚度 0.48~ 28.96 m, 走向 42°~ 80°, 倾角 33°~ 67°。矿体直接上盘围岩为绢英化碎裂岩、绢英岩化花岗质碎裂岩; 矿体下盘为黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩或黄铁绢英岩化碎裂岩。矿岩硬度系数 f= 6~ 14(靠近 F1断层的矿岩硬度系数 f= 4~ 6), 属半坚硬岩石。通过对该矿区岩体工程地质调查、上下盘岩石取样测试及充填体强度试验, 得出其岩体和充填体力学参数如表 1所示。

表 1 岩体和充填体力学参数

类型	弹性模量/GPa	密度/(g·cm^{-3})	泊松比	内摩擦角/(°)	粘结力/MPa	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa
下盘	5.3	2.64	0.24	35	0.88	28.83	1.06
矿体	3.48	2.71	0.19	32	0.5	22.64	0.6
上盘	4.03	2.68	0.20	32.2	0.26	21.38	0.3
充填体	0.231	2.1	0.19	38.7	171	1.71	0.17

原岩应力包括自重应力 σ_z和构造应力, 根据现场地应力测量知, 水平构造应力主应力方向 σ_{hmax}垂直矿体走向, 主应力方向 σ_{hmin}沿矿体走向, 构造应力变化规律为:

① 收稿日期: 2009-12-21
基金项目: 国家 973项目(2002CB412703)资助
作者简介: 彭 康(1986-), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要研究方向为采矿与岩石力学。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{cases} \sigma_{h\max} = 0.11 + 0.0539H \\ \sigma_{h\min} = 0.13 + 0.0181H \\ \sigma_z = 0.08 + 0.0315H \end{cases} \quad (1)$$

式中 H 为竖直方向深度。

给有限元模型各部分赋属性加载后的计算模型如图 1所示。

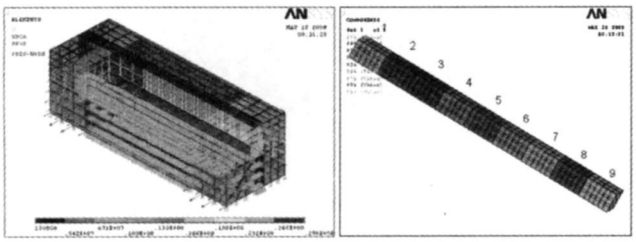


图 1　模型加载和盘区有限元模型

1.2　计算模型的建立

盘区沿走向长为 100 m, 盘区高度为 40 m; 底柱为 5 m, 顶柱为 2 m; 点柱沿走向间距为 16 m, 垂直走向间距为 12 m[2-3]; 现在 - 165 m 中段矿体已经用点柱法全部回采完并充填, 正在回采 - 240 m 中段。 - 240 m 中段矿体长度大约为 900 m, 本次大型有限元回采顺序模拟将 - 240 m 中段矿体沿走向划分为 9个盘区, 如图 1所示。根据其生产能力, 模型回采方案设计为每次同时回采 3个盘区。模拟计算意在根据 9个盘区中回采 3个盘区接顶充填后再依次回采剩下的盘区, 每次同时回采盘区数为 3个, 对比不同的回采顺序并选择出最佳的回采顺序。

2　回采顺序计算方案分析

按照定性划分的 4种阶段中矿块回采顺序, 得出 4种计算方案[4-7]:

1) 方案一: 从矿体的一翼到另一翼。第Ⅰ步回采盘区 9、8、7, 第Ⅱ步回采盘区 6、5、4, 第Ⅲ步回采盘区 3、2、1。

2) 方案二: 从矿体的中央到两翼。第Ⅰ步回采盘区 6、5、4, 第Ⅱ步回采盘区 9、8、7, 第Ⅲ步回采盘区 3、2、1。

3) 方案三: 隔二采一方案。第Ⅰ步回采盘区 9、6、3, 第Ⅱ步回采盘区 8、5、2, 第Ⅲ步回采盘区 7、4、1。

4) 方案四: 从矿体的两翼到中央。第Ⅰ步回采盘区 9、8、7, 第Ⅱ步回采盘区 3、2、1, 第Ⅲ步回采盘区 6、5、4。

3　计算结果分析

3.1　最大主应力分析比较

不同方案不同回采步骤最大水平应力数值模拟结果对比如图 2和图 3所示。

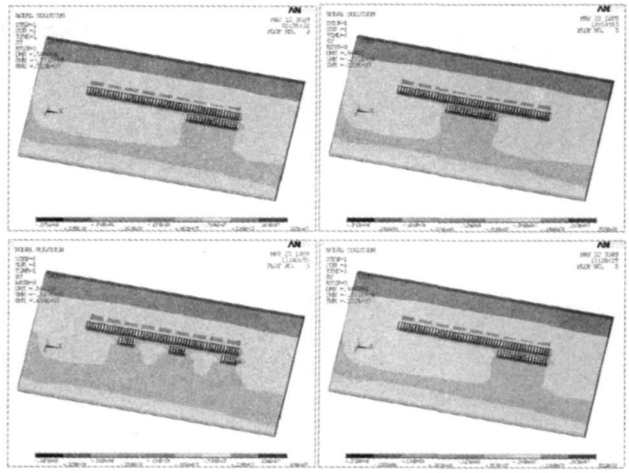


图 2　第Ⅰ步回采最大主应力比较

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

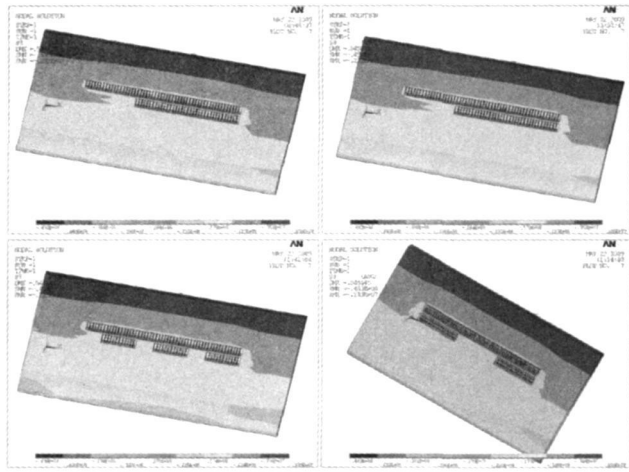


图 3　第Ⅱ步回采最大主应力比较

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

不同方案不同回采步骤的最大主应力对比分析见表 2。

表 2　不同方案不同回采步骤最大主应力对比

方案	最大主应力 /MPa			平均最大主应力 /MPa
	第Ⅰ步	第Ⅱ步	第Ⅲ步	
方案 1	48.3	49.2	49.3	48.93
方案 2	48.6	49.2	49.3	49.03
方案 3	45.1	47.6	49.3	47.33
方案 4	48.3	48.3	49.3	48.63

由图 2、图 3及表 2可知, 方案 3的 3个步骤平均最大主应力最小, 为 47.33 MPa; 方案 4平均最大主应力次之, 为 48.63 MPa; 方案 2的平均最大主应力最大, 为 49.03 MPa; 方案 1平均最大主应力居中, 为 48.93 MPa。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2 竖向应力分析比较

不同方案不同回采步骤竖向应力数值模拟结果对比如图 4和图 5所示。

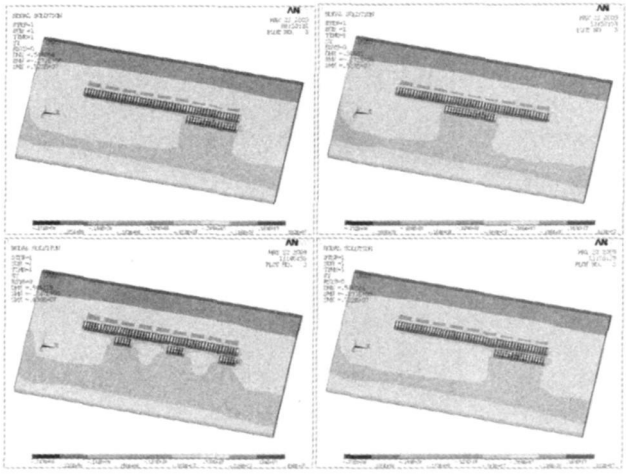


图 4 第Ⅰ步回采竖向应力比较

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

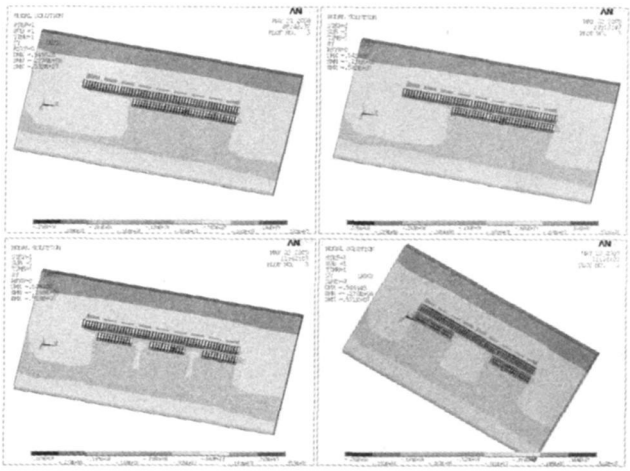


图 5 第Ⅱ步回采竖向应力比较

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

不同方案不同回采步骤的竖向围岩位移特征比较分析见表 3。

表 3 不同方案不同回采步骤最大竖向应力对比

方案	最大竖向应力/MPa			平均最大竖向应力/MPa
	第Ⅰ步	第Ⅱ步	第Ⅲ步	
方案 1	27.1	27.6	27.6	27.43
方案 2	27.2	27.6	27.6	27.47
方案 3	24.7	26.9	27.6	26.4
方案 4	27.1	27.0	27.6	27.23

由图 4、图 5及表 3可知,方案 3的 3个步骤平均最大竖向应力最小,为 26.4 MPa;方案 4平均最大竖向应力次之,为 27.23 MPa;方案 2的平均最大竖向应力最大,为 27.47 MPa;方案 1平均最大竖向应力居中,为 27.43 MPa。

3.3 围岩位移分析比较

由不同方案不同回采步骤竖向围岩变形与位移特征数值模拟结果分析比较如图 6和图 7所示。

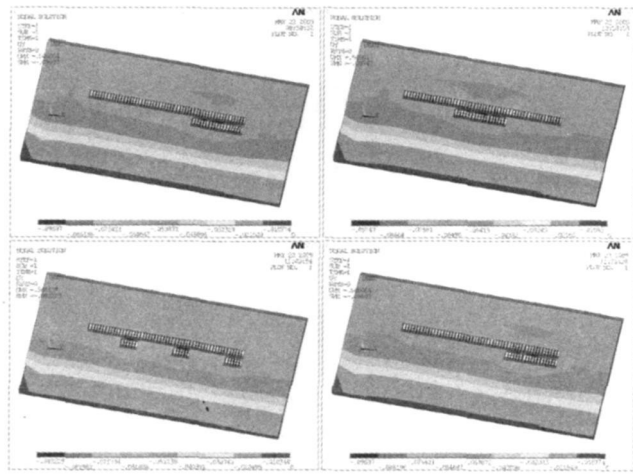


图 6 第Ⅰ步回采竖向围岩位移特征比较

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

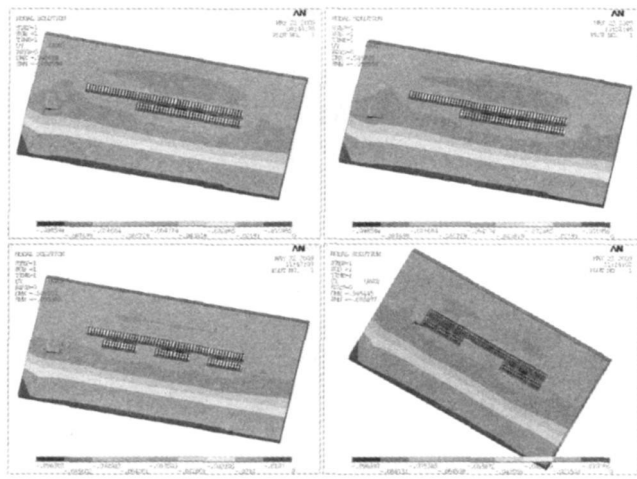


图 7 第Ⅱ步回采竖向围岩位移特征比较

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

不同方案不同回采步骤的竖向围岩位移特征比较分析见表 4。

表 4 不同方案不同回采步骤竖向围岩位移对比

方案	围岩位移/m			平均最大围岩位移/m
	第Ⅰ步	第Ⅱ步	第Ⅲ步	
方案 1	0.09697	0.098594	0.098704	0.098089
方案 2	0.09747	0.098594	0.098704	0.098256
方案 3	0.09229	0.096302	0.098704	0.095765
方案 4	0.09697	0.096897	0.098704	0.097524

由图 6、图 7及表 4可知,方案 3的 3个步骤竖向围岩平均最大位移最小,为 0.095765 m;方案 4竖方

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

向围岩平均最大位移次之, 为 0. 097524 m; 方案 2竖向围岩平均最大位移最大, 为 0. 098256 m; 方案 1竖向围岩平均最大位移居中, 为 0. 098089 m。

4 结　　语

采用 ANSYS有限元数值模拟方法动态模拟并计算了三山岛金矿新立矿区中段盘区间不同回采顺序下不同开采步骤的围岩应力和位移状况。分别采用从矿体的一翼到另一翼、从矿体的中央到两翼、隔二采一和从矿体的两翼到中央等 4种方案进行回采, 结果表明, 隔二采一效果较好。这为三山岛金矿新立矿区海底安全高效回采矿石资源提供了技术支持。

参考文献:

[1] 韩　斌, 吴爱祥, 刘同有. 金川二矿区多中段机械化盘区回采顺序的数值模拟优化研究 [J]. 矿冶工程, 2006, 24(2): 4-7.

[2] 赵德孝, 姜谙男, 鲁炳强. 大金山店铁矿合理开采顺序的力学研究 [J]. 矿业研究与开发, 2006(1): 12-14

[3] 李元辉, 刘　炜, 解世俊. 矿体阶段开采顺序的选择及数值模拟 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2006(1): 88-91.

[4] 徐世年, 李志国. 井田的阶段开采顺序与环境保护 [J]. 中国矿业, 1999(9): 88-92.

[5] 刘晓明, 杨承祥, 罗周全. 深井开采回采顺序数值模拟优化研究 [J]. 南华大学学报 (自然科学版), 2008(4): 15-20.

[6] 陈新胜, 王剑波, 刘性峰. 基于围岩稳定性的阶段中矿块开采顺序的数值模拟优化 [J]. 西部探矿工程, 2007(8): 107-110

[7] 郭　立, 吴爱祥, 邵　武. 冬瓜山矿床开采顺序的数值模拟分析 [J]. 化工矿物与加工, 2002(3): 10-13.

(上接第 3页)

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] 郭金峰. 我国地下矿山采矿方法的进展及发展趋势 [J]. 金属矿山, 2000(2): 4-7.

[3] 许毓海. 提高尾砂充填利用率技术研究 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2003(5): 11-12

[4] 许新启. 浅析立式砂仓尾砂浆固液分离技术 [J]. 采矿技术, 2006, 6(3): 201-202.

[5] 王　晖, 王方汉, 陈德彪. 立式砂仓浓缩浮选尾泥浆试验研究 [J]. 矿冶工程, 2001, 21(4): 39-41.

[6] 王方汉, 陈德标. 立式砂仓絮凝浓缩泥浆技术研究与应用 [J]. 金属矿山, 2000(1): 21-24

[7] 钟　秦, 陈迁乔, 王　娟, 等. 化工原理 (第 2版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[8] 唐　琼, 张新申, 李正山. 有机絮凝剂的研究现状及其应用前景 [J]. 中国皮革, 2002, 31(21): 29-32

[9] 王　星, 瞿圆媛, 胡伟伟, 等. 尾矿浆絮凝沉降影响因素的试验研究 [J]. 金属矿山, 2008(5): 149-153

[10] 湛含辉, 钟　乐, 韦小利. 聚丙烯酰胺絮凝机理及流体力化学因素的研究 [J]. 选煤技术, 2007(1): 7-11.

[11] 周　华. 阴离子聚丙烯酰胺的制备及应用研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2006

(上接第 7页)

参考文献:

[1] Reginald Hardy H, Jr Acoustic Emission Microseismic Activity[M]. Balkema A A Publishers, amumber of Swets& Zeitlinger Publishers, 2003.

[2] 腾山邦久. 声发射 (AE)技术的应用 [M]. 冯夏庭 译. 北京: 冶金工业出版社, 1996

[3] Lianbo Zeng Impact of rock anisotropy on fracture development[J]. Progress in Natural Scienc, 2008, 18: 1403-1408.

[4] Rudajev V. Laboratory studies of acoustic emission prior to uniaxial compressive rock failure[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2000, 37(4): 699-704.

[5] Nishizawa O. Compressive failure of mudstone samples containing quartz veins using rapid AE monitoring the role of asperities[J]. Tectonophysics, 2000, 328(3/4): 329-340.

[6] 吴　刚, 赵震洋. 不同应力状态下岩石类材料破坏的声发射特性 [J]. 岩土工程学报, 1998, 2(20): 82-85.

[7] 余贤斌, 谢　强, 李心一, 等. 直接拉伸、劈裂及单轴压缩试验下岩石的声发射特性 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 137-142

[8] 张晖辉, 颜玉定, 余怀忠, 等. 循环载荷下大试件岩石破坏声发射实验-岩石破坏前兆的研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(21): 3621-3628

[9] 李庶林, 尹贤刚, 王泳嘉, 等. 单轴受压岩石破坏全过程声发射特征研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2499-2503.

[10] 张　茹, 谢和平, 刘建锋, 等. 单轴多级加载岩石破坏声发射特性试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2584-2588

[11] 谢　强, 张永兴, 余贤斌. 石灰岩在单轴压缩条件下的声发射特性 [J]. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(1): 19-22

[12] 姚改焕, 宋战平, 余贤斌. 石灰岩声发射特性的试验研究 [J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(6): 44-46

[13] 付小敏. 典型岩石单轴压缩变形及声发射特性试验研究 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2005, 32(1): 17-21.

[14] 尹贤刚, 李庶林, 唐海燕, 等. 岩石破坏过程的声发射特征研究 [J]. 矿业研究与开发, 2003, 23(3): 9-11.

[15] 赵兴东, 田　军, 李元辉, 等. 花岗岩破裂过程中的声发射活动性研究 [J]. 中国矿业, 2006, 15(7): 74-76.

[16] 江进辉, 周创兵, 郭琴玲, 等. 大理岩受压声发射研究 [J]. 中国农村水利水电, 2005(11): 72-74

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net