

文章编号: 1000-7598-(2007) 04-0659-04

进路分步开挖背景应力场演化规律研究

赵兴东, 唐春安, 田 军

(东北大学资源与土木工程学院, 沈阳 110004)

摘 要: 鲁中小官庄铁矿由于埋藏深、地压大、矿体倾角比较缓、矿岩破碎, 是国内有名的难采矿山之一。进路开挖以后支护巷道破坏严重, 其围岩变形为无收敛变形, 也是国内支护较难的矿山之一。针对小官庄铁矿情况, 为掌握其地压活动规律, 应用东北大学岩石破裂过程分析系统(RFPA), 模拟其采用无底柱分段崩落法进路开挖过程, 对进路开挖过程巷道围岩应力变化进行数值分析。发现随着进路开挖, 导致进路出现片帮、底鼓、顶板下沉等现象, 并且在矿岩接触带出现高应力集中, 导致两进路之间的间柱破坏严重, 并随着进路开挖应力逐步向新开挖两进路之间的间柱转移, 开挖顺序造成边界矿体出现高应力集中, 导致边界矿体难采。数值分析结果可以看出: 进路的开挖顺序是导致小官庄铁矿进路围岩破坏的一个主要原因。

关 键 词: 地压; 无底柱分段崩落法; 进路; 背景应力场

中图分类号: TB 115

文献标识码: A

Study on evolvement law of background stress field of multi-step excavation of roadway

ZHAO Xing-dong, TANG Chun-an, TIAN Jun

(School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Because of the deep embedding, high underground pressure and fragmentation of ore and rockmass, the Xiaoguanzhuang Iron Mine is one of the most difficult excavation iron mine in China. The study results in recent years indicate that the rockmass of Xiaoguanzhuang Iron Mine has the creep characteristic. After the roadway was excavated, the destruction of supporting roadway is very severe. The deformation of roadway is no convergence deformation; and the iron mine is difficult support mine. According to the field condition, in order to know the distribution law of underground pressure, we used the rock failure process analysis (RFPA), in which the creep evolvement model is drawn into the numerical model, to model the excavation process of roadway by adopting the non-pillar sublevel caving; and numerically analyze the stress distribution of surrounding rock. We found that the surrounding rock occur the creep deformation along with time when the roadway is caving. Because of the creep deformation of roadway, the destruction of roadway is mainly rib spalling, floor heave and roof falling etc.. At the same time, the high stress concentration leads to the severe destruction of pillar between two roadways. Along with the caving of roadway, the stress diverts into surrounding roadway of the newly caved roadway. Because of the multi-step caving, the high stress convergence occurs in the boundary ores, which leads to the difficult excavation of boundary ore. The numerical result is in accordance with the result of field investigation. From the numerical result we concluded that the creep characteristic of rockmass and the multi-step excavation mainly lead to the destruction of roadway.

Key words: underground pressure; non-pillar sublevel caving; roadway; background stress field

1 引 言

小官庄铁矿采用无底柱分段崩落法开采, 是我国著名的地下难采铁矿山之一, 其矿床赋存具有埋藏深、矿岩软破、倾角缓、变化大等特点。小官庄铁矿经过“七五”、“八五”直至目前的“十五”科技攻关, 对全矿的开拓采准巷道变形、破坏进行

了宏观调查和收敛监测。多年来的科研结果表明^[1-4], 小官庄铁矿矿岩具有蠕变特性, 进路开挖以后支护巷道破坏严重, 其围岩变形为无收敛变形, 是国内支护较难的矿山之一。对采用无底柱分段崩落采矿法的矿山而言, 回采进路分步开挖, 破坏了原岩应力场, 进路四周围岩应力场将发生变化, 形成次生应力场。由于矿山生产是边回采, 边掘进,

收稿日期: 2005-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目: (No. 50474017) 和国家自然科学基金重大项目 (No. 50490270) 的资助。

作者简介: 赵兴东, 男, 1975年生, 讲师, 博士, 现主要从事岩石失稳与控制研究。联系电话 024-83687117, E-mail: neuzxd@126.com

而且进路回采时间长,受地质和后续进路分步开挖的影响,次生应力场会不断的随时间发展变化,这种变化直接影响到巷道和回采进路的稳定。为此,研究进路分步开挖造成的应力场变化对选取合理的进路开挖方案具有一定的指导意义。

目前,研究矿压分布规律的方法主要有:解析法,模拟法和现场观测等。当前比较成熟的数值模拟方法为有限元和离散元方法,并在岩石力学与工程方面得到比较广泛的应用,但有限元和离散元存在一些问题^[5]。使用这两种数值方法都只能给出数值计算的最终结果,而不能进行过程模拟分析,这就使得对许多理论与工程问题的分析停留在“结果分析”的方法上。而在巷道从变形、破坏直至运动过程的研究方面,目前还没有比较成熟的数值模拟方法。针对小官庄铁矿采区应力场随开挖的变化,本文应用东北大学岩石破裂与失稳研究中心自行开发的岩石破裂过程分析系统(RFPA^{2D}),对进路分步开挖引起的地压活动进行数值分析,这对掌握采区巷道背景应力场的变化规律研究具有重要现实意义,借此可以指导矿山生产。

2 数值模型建立

小官庄铁矿矿床走向为 NE17°,倾向为 NW 73°,走向长度为 2 150 m,中部有一长约 1 000 m 的 F₃ 断层将矿床分为东、西两个矿体。东西矿体分别向北、南倾伏。进路的开挖方向为垂直于纸面方向,从地质资料上看,采场范围内的岩石情况较复杂,有 Fe, δu , Sk 等岩种,大部分岩种不稳定,特别是 Sk 和矿岩接触带。进路的开挖方向为垂直于纸面向里,采用崩落法进行矿石开采。

由东北大学岩石破裂与失稳研究中心自行开发研制的岩石破裂过程分析软件(RFPA^{2D})系统^[9-12],是一个基于有限元应力分析模块和微观单元破坏分析模块的岩石变形、破裂过程研究的数值分析程序,RFPA^{2D}将细观力学与数值计算方法有机地结合起来,通过考虑岩石性质的非均匀性特点,模拟岩石变形和破裂的非线性行为,是一种用连续介

质力学方法解决非连续介质力学问题的新型数值分析工具。

本文应用岩石破裂过程分析(RFPA^{2D})系统,按平面应变模型来模拟应力场演化过程,系统研究了小官庄铁矿二采区进路的不同开挖顺序对巷道背景应力场的影响。模型尺寸为 200 m×100 m(长×高),单元划分为 300×150=45 000 个单元,岩石力学参数见表 1。通过调整 Weibull 分布函数参数改变材料的非均匀性,其细观单元的弹模和强度服从 Weibull 分布。采用修正的库仑(考虑拉伸破坏)准则作为单元破坏的依据,设准则中基元材料的拉、压强度比为 1/10,内摩擦角为 30°。数值模型中的矿块尺寸为 12 m×12 m,在模型中开挖的进路尺寸为 3.2 m×3.5 m(高×宽),其水平压力系数为 1.3。开挖进路的数目为 14 个,分别在-323 m 水平、-335 m 水平和-347 m 水平,其数值模型见图 1。本数值计算共研究 3 种开挖方案,即:(1) 1-2-3, 6-4, 7, 10-5, 8, 11-9, 12-13-14;(2) 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14;(3) 1-2, 6, 10-3, 7, 11-4, 8, 12-5, 9, 13-14。

3 数值计算结果分析

根据小官庄铁矿二采区的实际情况,建立数值模型,应用岩石破裂过程分析系统对 3 种不同进路开挖顺序进行数值模拟研究,通过数值计算可以看出:

第 1 种开挖方案:其开挖顺序主要是依据现场实际情况进行开挖。当第 1 个进路被开挖以后,在巷道原岩应力的作用下,巷道围岩产生应力集中,在巷道底板出现初始破坏(图 2(a));随着 2 号进路开挖的进行(图 2(b)),巷道围岩应力开始出现转移,两进路之间的间柱出现应力集中,并且 2 号巷道围岩应力集中;3,6 号进路开挖以后(图 2(c)),不仅仅两个间柱出现应力集中,而且在上下分层之间的矿体也出现应力集中;随着 4, 7, 10, 3 个进路的开挖(图 2(d)),进路围岩应力继续进行转移,进路受采动影响,表现出不同的破坏形式(即:单

表 1 岩石力学参数
Table 1 Mechanical parameters of rocks

岩性	弹性模量 $E / \times 10^4 \text{ MPa}$	泊松比 μ	抗压强度 σ_c / MPa	抗拉强度 σ_t / MPa	摩擦角 $\phi / (^\circ)$	容重 $\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$
红板岩	0.33~0.49	0.13~0.28	17.7~39	2.46	26~59	24.8
铁矿石	5.48~8.8	0.17~0.34	50.2~81.1	5.42	34~37	32
闪长玢岩	1.21~2.43	0.14~0.27	83.9~127.3	5.8~8.2	42~48	27.5
砂卡岩	1.23~6.5	0.1~0.17	21~74	5.5	24~35	27.5

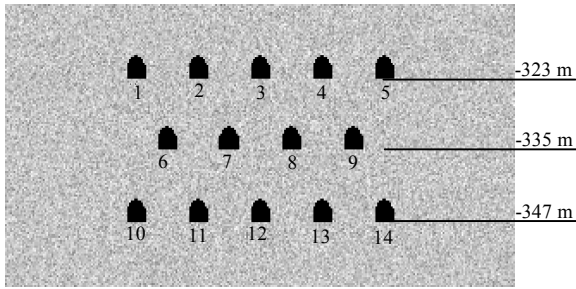
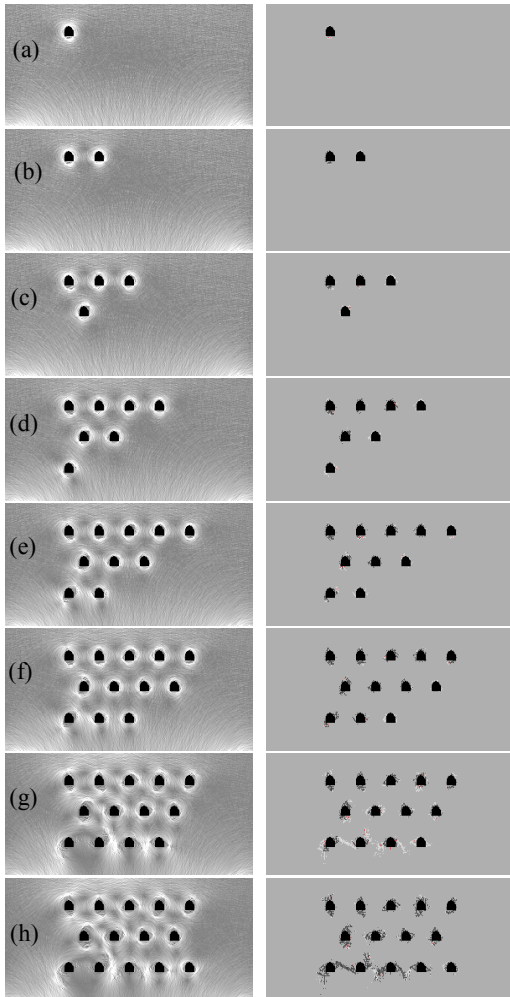


图 1 数值计算模型
Fig.1 Numerical model



剪应力图 声发射
图 2 第 1 种开挖方案围岩应力变化过程
Fig.2 The changing process of the surrounding stress about the first excavation scheme

侧破坏、顶板下沉、侧帮鼓出等现象)。当开挖最后几个进路时(图 2(f~h)),在整个开采的范围内,间柱出现高应力集中区域增加,并且造成部分间柱破坏,甚至出现进路严重跨冒的现象,如图 2(h)中 1,6 和 10 号进路。但从最后几个进路的开挖也可以看出,应力从一个间柱逐渐向相邻刚开挖的间柱转移,直至进路开挖结束不再发生转移,正是由于应力不再转移,在最后两个进路之间的间柱出现高应力集中,导致最后开挖的进路严重破坏,此应

力场的转移也造成矿岩接触带附近经常出现丢矿或贫化等现象。该数值计算结果与现场调查结果基本吻合。

从不同水平的最大主应力分布曲线(图 3)也可以看出,分布在矿岩接触带附近的进路和处于矿体中间部分的巷道围岩应力比较集中,并且-347 m 分层巷道围岩应力要高于上部两个分层的围岩应力,致使-347 m 水平进路破坏严重,因而,当开挖-347 m 水平进路时,要采取强掘强支的施工方案,以确保采矿工作的顺利进行。

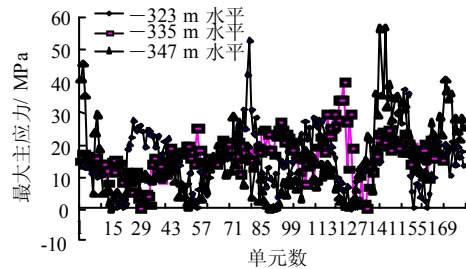
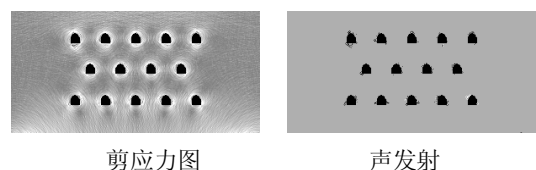


图 3 最大主应力分布曲线
Fig.3 The distribution curve of the maximum principal stress

第 2 种开挖方案为整个矿块进路逐步进行开挖,即从-323 m 水平开始开挖第 1 个进路以后,然后依次开挖其它的进路。从最终进路开挖的结果(图 4、图 5)可以看出,整个进路开挖之后,围岩应力集中,但是巷道围岩破坏的巷道很少,仅仅 1, 10, 11 号等进路出现破坏,而且其破坏模式不同。从整体来看,所有进路破坏的不是很严重,地压显现不是很明显。但此种开挖方案是一种理想的开挖方案,不适合于实际高效开采要求。

第 3 种开挖方案为强开挖方案,从最终数值计算结果(图 6、图 7)可以看出,此开挖方案主要是在第 1 个水平开挖完第 1 个进路以后,接着 3 个水平同时进行巷道开挖,为相互平行作业;在采用此种方案进行进路开挖过程中,开始开挖时巷道围岩产生应力集中,并造成进路围岩发生破坏,但 3 个水平同时进行进路开挖,巷道围岩应力逐步向采场的深部进行转移。从最大主应力曲线(图 7)可以看出,-323 m 水平应力变化比较明显,但巷道围岩



剪应力图 声发射
图 4 第 2 种开挖方案围岩应力变化结果
Fig.4 The changing process of the surrounding stress about the second excavation scheme

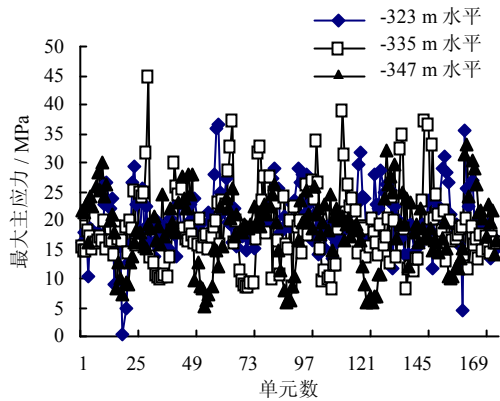


图5 最大主应力分布曲线

Fig.5 The distribution curve of the maximum principal stress

破坏不显著。此种开挖方案有利于巷道围岩的稳定,但在实际生产中,由于其施工强度大,并且对施工设备要求比较高,进而在生产中应用的比较少,但是此种开挖方案能够实行快速掘进。

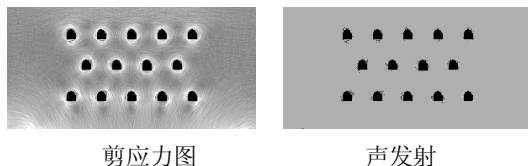


图6 第3种开挖方案围岩应力变化结果

Fig.6 The changing process of the surrounding stress about the third excavation scheme

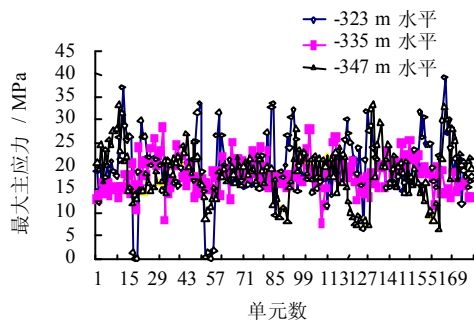


图7 最大主应力分布曲线

Fig.7 The distribution curve of the maximum principal stress

4 结 论

通过运用岩石破裂过程分析系统(RFPA),对小官庄铁矿无底柱分段崩落法进路开挖过程背景应力场演化规律进行数值分析。初步可以得出以下结论:

(1)造成巷道围岩破坏的主要因素是拉应力、压应力与剪切应力共同作用的结果;

(2)进路开挖过程也是其采场应力场不断转移的过程,正是由于应力场的不断转移,导致两进路之间的间柱以及进路围岩破坏严重,导致进路出现片帮、底鼓、顶板下沉等现象;

(3)进路开挖顺序对应力场的转移和巷道围岩稳定性有很大影响。适合于生产实际的进路开挖方案,造成边界矿体出现高应力集中,导致边界矿体难采。

总之,合理的进路开挖顺序有利于矿石的安全高效开采,不同的进路开挖顺序对进路围岩的稳定性影响也不尽相同。从以上分析可知,开挖顺序是导致小官庄铁矿进路围岩破坏的一个主要原因。

参 考 文 献

- [1] 朱建明, 黄植旺. 采场巷道围岩变形宏观规律的监测和分析[J]. 西部探矿工程, 2001, (5): 25.
ZHU Jian-ming, HUANG Zhi-wang. The measurement and analysis of macroscopic deformation rules for wall rock of stope drift[J]. **West-China Exploration Engineering**, 2001, (5): 25.
- [2] 宋卫东, 赵增山. 小官庄铁矿承压区软岩巷道变形规律研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2003, 55(3): 15-18.
- [3] 任天贵, 宋卫东, 明世祥. 小官庄铁矿承压区两翼开采回采顺序的研究[J]. 中国矿业, 1998年第7卷第1期: 45-47.
- [4] 明世祥, 于言平. 小官庄铁矿采场地压控制方法的研究[J]. 金属矿山, 2005, (1): 9-11.
MING Shi-xiang, YU Yan-ping. Investigation on stope ground pressure control method for Xiaoguanzhuang iron mine[J]. **Metal Mine**, 2005, (1): 9-11.
- [5] 赵兴东, 唐春安, 王维纲. 回采巷道稳定性的数值模拟研究[J]. 中国矿业, 2003, 12(3): 42-45.
ZHAO Xing-dong, TANG Chun-an, WANG Wei-gang. Numerical simulation study on the stability of extraction gallery[J]. **China Mining Magazine**, 2003, 12(3): 42-45.
- [6] Tang C A. Numerical simulation on progressive failure leading to collapse and associated seismicity [J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 1997, 34(2): 249-261.
- [7] Wang S H, Liu J X, Tang C A, et al. Stability analysis of large-span and deep tunnel[J]. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.** 2004, 41(3): 1-6.
- [8] Tang C A. Numerical simulations on progressive failure leading to collapse and associated seismicity[J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 1997, 34(2): 249-261.
- [9] Tang C A, Kaiser P K. Numerical simulation of cumulative damage and seismic energy release during brittle rock failure, part I: Fundamentals[J]. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.** 1998, 35, 113-121.
- [10] Tang C A, Liu H, Lee P K K, et al. Numerical studies of the influence of microstructure of rock failure in uniaxial compression, part II: Effect of heterogeneity[J]. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.** 2000, 37, 555-569.
- [11] Kou S Q, Lindqvist P A, Tang C A. Numerical simulation of the cutting of inhomogeneous rocks[J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. 1999, 36: 711-717.
- [12] Zhu W C, Tang C A. Micromechanical model for simulating the fracture process of rock[J]. **Rock Mech. Rock En.** 2004, 37(1): 25-56.