

文章编号 :1005-2712(2006)03-0013-05

新城金矿难采矿体采场结构参数数值模拟分析

崔栋梁, 李夕兵, 赵国彦

(中南大学, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 为研究新城金矿极破碎难采矿体用上向水平进路充填法回采时的稳定性, 采用 ANSYS 有限元软件, 选择盘区 4 种结构参数进行了不同开采时期的分析和比较, 从而获得了最佳进路规格为 $5\text{m} \times 7\text{m}$, 一步盘区超前准一步盘区 5 个分层, 即 25m , 也与矿山试验采场的参数相吻合。

关键词: 难采矿体; 数值模拟; ANSYS; 结构参数

中图分类号: TD853.34; O241.82 **文献标识码:** A

0 引言

新城金矿是我国 20 世纪 70 年代发现的蚀变岩型金矿床的典型代表。除具有成矿规模大、工业价值高的优点外, 也存在着开采技术条件复杂等问题, 尤其是 -480m 到 -530m 水平的 # 矿体属于极破碎难采矿体, 经多方论证和比较, 采用垂直走向布置的机械化盘区上向进路充填采矿法进行开采。本文采用 ANSYS 软件对采场结构参数进行数值模拟。

1 数值模拟的必要性

为了研究 # 极破碎难采矿体回采时的稳定性, 并确定合理的回采结构参数, 必须采用数值模拟的方法, 定量地计算和分析回采过程中围岩中的应力、位移和破坏的分布状况, 确定它们在假定条件下随回采进行的动态变化过程, 从而对围岩的稳定性状态做出判断。通过对多种方案的计算和分析, 比较不同的回采结构参数下的围岩稳定性状态, 做出最优的开采设计, 确定最合理的采场结构参数, 从而保证安全生产, 提高生产效益。

当前, 数值模拟的方法有很多种, 如有限元、离散元、边界元、无界元以及流行元等^[1]。在已有的数值模拟方法中, 有限元方法是比较适合模拟和分析地下开挖稳定性问题的方法。有限元模拟分析的基本思路是: 首先将要分析的连续体分割成数目有限的单元, 在结点上引进等效力以代替实际作用于单

元上的力, 对于每个单元根据分块近似的思想, 选择一个简单函数来近似地表示位移分量的分布规律, 并建立单元结点力和位移之间的关系, 再把所有单元的这种特性关系集合起来, 就得到一组以结点位移为未知量的代数方程式, 由此方程组求出物体上有限个离散结点上的位移分量, 进而根据物理方程和几何方程来求得单元的应力和变形。三维有限元数值模拟可以定量地计算和分析回采过程中采场围岩中的应力、位移和塑性区、破坏区的分布状况, 确定它们随每步回采的动态变化过程, 从而对采场围岩的稳定性状态做出判断^[2]。软件 ANSYS 具有多种有限元分析的能力, 包括从简单线性静态分析到复杂的非线性瞬态动力学分析。一个典型的 ANSYS 分析过程可分为建立模型、加载并求解、查看分析结果 3 个步骤。

2 计算力学模型

为了达到数值模拟的准确性, 在选取参数时采用新城金矿前期工作所测得的矿区岩体的物理力学参数, 对矿区工程地质、水文地质特别是对矿区岩体结构面、节理、裂隙的调查、统计和分析结果作为程序的初始条件。岩体的初始应力条件是指由岩体自重而引起的应力状态。模型的垂直与水平应力荷载分别是由原地应力场来决定的。在这个阶段, 将要分步开挖的矿岩及不同的岩石性质都将分成不同的块体。在开挖时只要将要挖掉的块体删除或把其材料

收稿日期 2006-06-08

作者简介: 崔栋梁 (1981-) 男, 山西朔州人, 中南大学资源与安全工程学院在读硕士生, 主要从事采矿与岩土工程研究。
© 1994-2012 China Academic Electronic Journal Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

属性重新设置为零即可。

2.1 岩体与充填体力学参数

岩体物理力学参数是根据矿区内不同的岩体分别选取的，为简化计算，分析时将井下介质分为 4 类：上盘岩体、矿体、下盘岩体和充填体。由于岩体节理裂隙问题单独考虑，所以用岩石试块平均抗压强度代替岩体的强度参数。其不同类型的岩体物理力学性质如表 1 所示。

表 1 不同岩体物理力学参数

| 岩体 | 弹性模量 GPa | 泊松比 | 容重 MN/m³ | 内聚力 MPa | 内摩擦角 (°) | 抗拉强度 MPa |
|------|-------------|------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 上盘岩体 | 8.5 | 0.23 | 0.0269 | 4.2 | 52 | 65.10 |
| 下盘岩体 | 9.3 | 0.22 | 0.0264 | 5.3 | 53 | 54.62 |
| 矿体 | 10.0 | 0.21 | 0.0281 | 5.4 | 54 | 46.59 |
| 断层岩体 | 1.0 | 0.29 | 0.0212 | 0.8 | 32 | 32.53 |
| 充填体 | 1.2 | 0.28 | 0.0202 | 0.4 | 40 | 33.10 |

2.2 原岩应力场

新城金矿地应力场的规律是：最大主应力为竖直方向，其他两个主应力一个是水平方向垂直矿体走向，另一个是水平方向且与矿体走向一致。模拟中取最大主应力方向为 Y 方向，水平方向为 X 方向，另一个为 Z 方向，原岩应力场经实测并回归如下：

$\sigma_x = \sigma_{\max} = -0.02 + 0.0457H$

$\sigma_y = \sigma_v = 0.01 + 0.273H$

$\sigma_z = \sigma_{\min} = -0.14 + 0.0301H$

式中： σ_{\max} ——最大水平主应力；
 σ_{\min} ——最小水平主应力；
 σ_y ——垂直主应力；
 H ——测点埋深 m 。

2.3 计算模型尺寸

为了使数值模拟计算充分反映采场开挖的准确性，拟对两种不同的采场结构模型进行计算，这两个结构模型分别是盘区模型和矿体整体模型，运用 ANSYS 中的平面应变模型 SOLID 单元 plane42 对其进行分析。

盘区模型尺寸为 30m×50m，即沿走向长 30m，埋藏深度从 -480m 水平到 -530m 水平，高 50m。如图 1 所示。

矿体整体模型尺寸为 120m×50m，即沿走向长 120m，埋藏深度从 -480m 水平到 -530m 水平，高 50m。如图 2 所示。

2.4 计算方案

当采用上向进路充填采矿法进行采场开挖时，破坏了围岩应力固有的平衡，引起应力的重新分布，

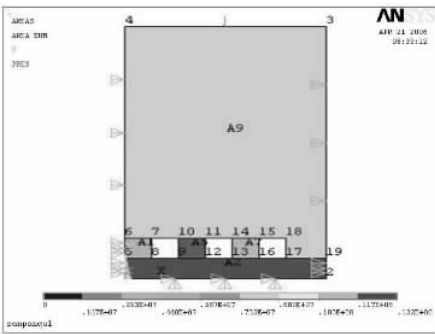


图 1 盘区模型

A9.矿体; A1、A2、A5、A7.充填体

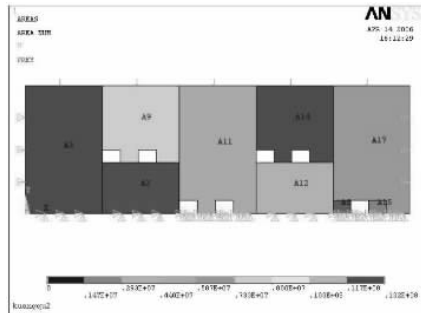


图 2 矿区整体模型

进而达到新的平衡。但随着开采的不断进行，应力不断改变，围岩应力场不断调整，并处于一个周而复始的动态平衡中，直到采矿活动的停止。从力学的角度看，采矿过程是引起一系列围岩应力动态平衡的原因，因此，围岩中的力学行为状态与采场的结构参数有着密切的关系，同样也可以在对矿区整体和单个采场采用上向进路充填采矿法开采时的应力、应变、位移计算中，研究极破碎矿体的采场结构参数。

2.4.1 盘区模型计算方案

为了确定盘区内合理的采场结构参数，拟对盘区采场 4 种结构参数 (P_{1-4}) 进行计算，并认为进路开采时每采一条充填一条。其结构参数如表 2。

表 2 采场结构参数 m

| 名称 | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 分层高度 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 进路宽度 | 4 | 7 | 6 | 7 |

2.4.2 矿体整体模型计算方案

数值模拟的目的之一就是从宏观的角度分析整个矿体在开采过程中因不同的盘区开采顺序而导致的不同应力分布情况。在实际生产中为了增大生产力，往往是盘区先行开采，盘区紧随其后。根据经验，盘区相对盘区超前的层数对整个矿体在开采过程中的应力分布有很大的影响，故矿体整体模型计算方案制定如下：

方案一：、盘区比、盘区超前 3 层。即、盘区先用上向进路法进行回采，当采至第 4 层时，、盘区也开始回采比、盘区滞后 3 个分层。

方案二：、盘区比、盘区超前 5 层。即、盘区先用上向进路法进行回采，当采至第 6 层时，、盘区也开始回采，比、盘区滞后 5 个分层。

3 计算结果分析

计算采用 ANSYS 有限元程序中的平面应变模型 对所选方案进行了模拟研究。

3.1 盘区模型计算分析

由于所要分析的 盘区处在整个矿体中，当矿体的其他盘区进行开采时，必然将引起整个应力场的变化，所分析的 盘区也将有不同的变形情况出现 所以有必要从整体出发 来分析 盘区进行开采时的应力、应变情况。边界条件如下：两侧水平方向位移为零，530m 水平、垂直方向位移为零。上部承受 13.2MPa 的压力。材料设置为矿体和充填体。

图 3~6 为 4 种模型在同等条件下 Y 方向上的位移分布图。其最大值分别为 0.098、0.089、0.111、0.099m，差别不是很大。图 7~10 为 4 种模型在同等约束条件下的等效应力分布图。

通过数值模拟并对结果进行分析，应力最为集中的地方处于两步进路开采时靠近矿体一侧的顶板上，具体对 4 种采场结构参数模型位移和应力情况比较见表 3。

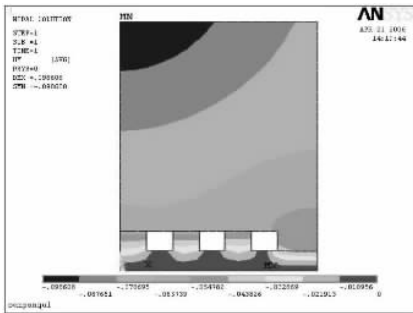


图 3 p₁ 参数 Y 方向位移分布

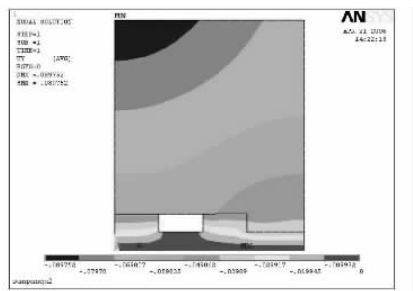


图 4 p₂ 参数 Y 方向位移分布

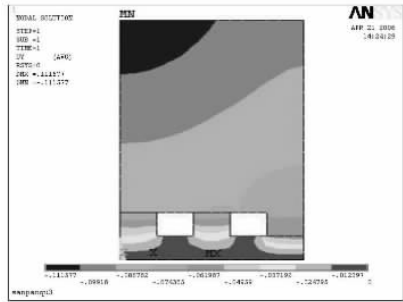


图 5 p₃ 参数 Y 方向位移分布

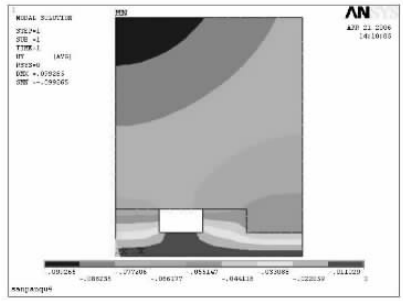


图 6 p₄ 参数 Y 方向位移分布

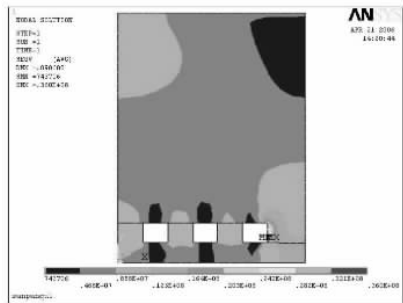


图 7 p₁ 参数等效应力分布

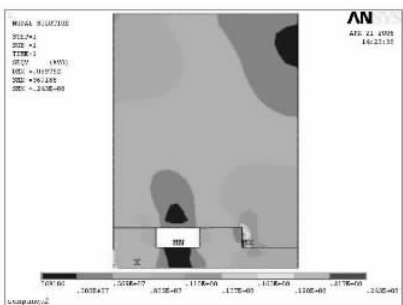


图 8 p₂ 参数等效应力分布

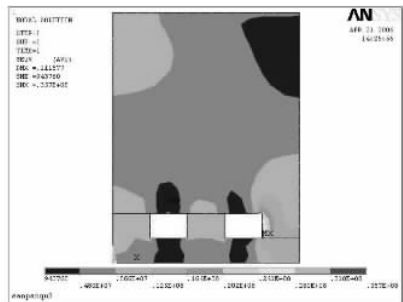


图 9 p₃ 参数等效应力分布

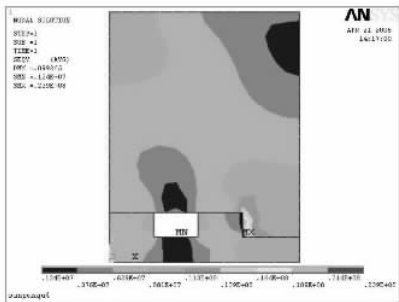


图 10 p_4 参数等效应力分布

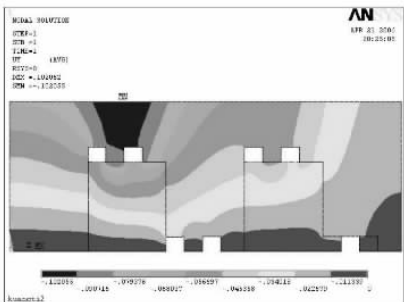


图 12 方案二 Y 方向位移分布

表 3 盘区模型位移、应力模拟结果

| 模 型 | Y 方向最大位移 m | Y 方向最大压应力 MPa | 最大等效应力 MPa |
|-------|---------------|------------------|---------------|
| P_1 | 0.098 | 36.4 | 36.0 |
| P_2 | 0.089 | 23.9 | 24.3 |
| P_3 | 0.111 | 36.5 | 35.7 |
| P_4 | 0.099 | 23.6 | 21.4 |

从表 3 可以看出，模型 P_1 和模型 P_3 无论从最大位移还是从最大等效应力方面，都明显比其他两个模型数值上要大些，从这个方面来讲，模型 P_2 和模型 P_4 较模型 P_1 和模型 P_3 要优。通过对模型 P_2 和模型 P_4 进行比较后发现，二者在位移和应力集中方面近似相同，但是结合矿山实际情况，对产量要求较高，故模型 P_4 要较模型一更为切合实际，这也与矿山现阶段的实际情况相符（试验采场采用 $5\text{m}\times 7\text{m}$ 的进路规格）。

3.2 矿体整体模型计算

矿体整体模拟的主要目的是对 、 盘区超前、 盘区的层数进行研究。根据经验，往往是 、 盘区先进行回采， 、 盘区紧随其后，便于增大生产能力，但是，超前的层数不同， 、 盘区进路回采时应力集中状态就不同，根据上文所计算出的最佳进路规格，选取进路为 $5\text{m}\times 7\text{m}$ 规格。边界条件为：矿体两侧水平方向位移为零，矿体底面水平方向和竖直方向位移均为零，矿体承受 13.2MPa 上覆围岩压力。材料设置为矿体和充填体。

通过数值模拟并对结果分析处理后得知，矿体

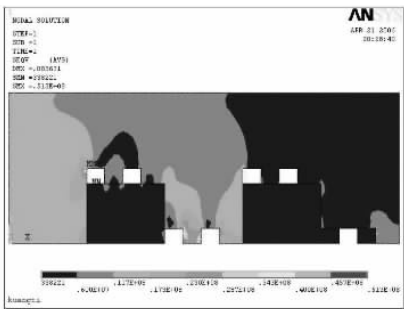


图 13 方案一等效应力分布

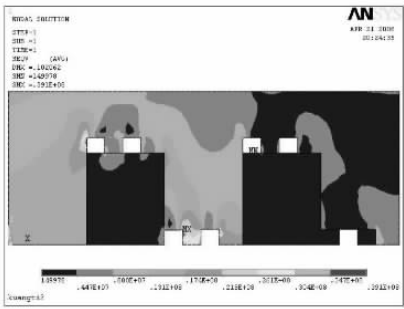


图 14 方案二等效应力分布

整体模型在 4 个盘区同时回采时，其应力主要集中在一步正在开采进路的顶板和侧帮处。随着 、 盘区比 、 盘区超前的层数不同，应力集中的程度也有所不同。具体数据如表 4 所示。

表 4 矿区整体模型位移、应力模拟结果

| 方 案 | Y 方向最大位移 m | Y 方向最大压应力 MPa | 最大等效应力 MPa |
|-----|---------------|------------------|---------------|
| 一 | 0.084 | 1.12 | 51.3 |
| 二 | 0.102 | 0.63 | 39.1 |

由表 4 数据可知，方案一除了在 Y 方向上的位移略小于方案二，其余几个方面均比方案二的数值大，应力较集中，故选择方案二，即 、 盘区比 、 盘区超前 5 层，也就是 25m 。

4 结 论

通过对新城金矿极破碎难采矿体使用有限元程序 ANSYS 软件进行数值模拟、计算分析并参照现场

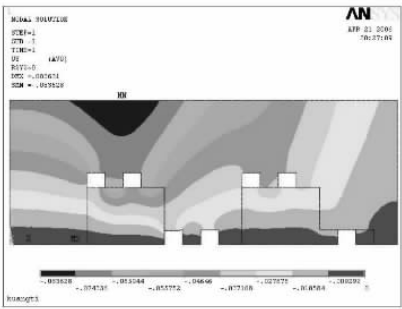


图 11 方案一 Y 方向位移分布

经验,得出如下结论:

(1)采场的应力分布与其结构参数密切相关,合理的进路参数可以明显地改善应力状态。

(2)通过对单个盘区开采现状的模拟,采用4种不同的进路参数进行计算,得出最佳进路规格,与现场试验采场采用的参数基本相同,验证了数值模拟的正确性。

(3)建立了矿体整体模型,在得出最佳进路规格的基础上,采用了两种超前高度进行模拟计算,最终

得出合理的超前高度为25m。

(4)数值模拟作为一种特殊意义下的实验,是科技发展的潮流,不仅减少了试验工作量,更对实际工程具有指导意义。

参考文献:

- [1] 董卫军,苏永华,孙玉堂,等.乳山金矿深部采场结构参数的数值模拟[J].采矿技术,2002,(6):15-18.
- [2] 乔兰.新城金矿深部采场结构参数和开采顺序优化研究[J].金属矿山,2001,(6):11-15.

Analysis of the Numerical Simulation to Structure Parameter of Hard-To-Mine Ore Body in Xincheng Gold Mine

CUI Dong-liang, LI Xi-bing, ZHAO Guo-yan

(Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: In order to study the stability of hard-to-mine ore body when using overhand drift mining method, we made analysis and comparison on four different structure parameter of mining area in different mining period by using the software ANSYS. In the end, we obtain the best standard of the drift 5m \times 7m and the distance which first mining area exceed the second one, i.e. 25m which are similar with the parameter of the cut-and-try stop.

Key words: hard-to-mine ore body; numerical simulation; ANSYS; structure parameter

2007年《黄金》杂志征订启事

《黄金》杂志于1980年创刊,是由中华人民共和国新闻出版总署批准,中国黄金集团公司主管,长春黄金研究院主办的黄金行业惟一的综合性科技刊物。主要报道黄金及其相关行业在经济管理、黄金市场、(黄金及贵金属)工业应用、黄金地质、采矿工程、机电与自动控制、选矿与冶炼、分析与环保等方面的科研成果和综合评述,以及新理论、新技术、新动态、新方法、新工艺、新设备、生产技术经验等内容,同时还开辟了首饰之苑、企业之窗、信息纵横、专利技术、读编往来等栏目。

《黄金》杂志为全国中文核心期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、美国《化学文摘》(CA)检索文献源、《中国学术期刊综合评价数据库》统计刊源,并被《中国期刊网》、《中国期刊全文数据库》、《中文科技期刊数据库》、《万方数据——数字化期刊群》和《中国核心期刊(遴选)数据库》全文收录,入编《中国学术期刊(光盘版)》。《黄金》杂志荣获冶金工业系统优秀期刊奖和吉林省优秀期刊奖。

《黄金》杂志是黄金行业权威性科技期刊,内容翔实,信息量大,实用性强,覆盖面广,现已遍布黄

金、冶金、地质矿产、有色金属、环境保护、化工、机械、核工业、金融及金银珠宝首饰等行业。

《黄金》广告合理的价格定位,全方位的优质服务,为客户提供了理想的宣传平台。通过《黄金》广告宣传,有助于树立企业形象,创出企业名牌,提高企业知名度,促进产品销售,增加企业效益。

《黄金》杂志为月刊,国际标准刊号ISSN 1001-1277,国内统一刊号CN 22-1110/TF,国际刊名代码CODEN HANGFV,彩色封面,国际开本(297mm \times 210mm),64页,国内外公开发行。国内邮发代号12-47,全国各地邮局均可订阅,国外发行代号M3331,由中国国际图书贸易总公司承办。国内每期定价10.00元,全年定价120.00元。订阅者请到当地邮局(所)订阅,也可直接通过《黄金》杂志社发行部订阅。

地址:吉林省长春市南湖大路6760号《黄金》杂志社发行部 邮编:130012

网址: <http://www.ccgri.com/gold>

电子信箱: journal@ccgri.com

电话: (0431) 5529838-8002 5514586-3066

传真: (0431) 5521861 联系人: 李跃辉