

小龙潭布沼坝西北边坡的数值模拟研究

杨溢, 陈俊智, 庙延钢, 杜青

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 为了研究露天矿边坡岩体的变形和破坏特征, 论文应用弹塑性三维有限单元数值分析方法, 分析计算了各种模拟方案的应力、位移及安全率的变化规律, 对小龙潭布沼坝露天矿西北边坡岩体应力场的特征和破坏规律进行研究, 为此类矿山边坡稳定性分析评价提供科学依据。

关键词: 露天矿; 边坡岩体; 三维模型; 数值模拟; 稳定性分析

中图分类号: TD824.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)03-0001-04

Numerical Simulation Study on the Northwest Slope of Xiaolongtan Buzhaoba

YANG Yi, CHEN Jun-zhi, MIAO Yan-gang, DU Qing

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract In order to study the slope rock mass deformation and destruction features of the surface mine, the changing rules of stress transfer and safety of various simulation schemes are analyzed and calculated by three-dimensional FEM, and the stress field features and destruction rules of the northwest slope rock mass of the surface mine in Xiaolongtan Buzhaoba are studied to provide scientific basis for the slope stability analysis and evaluation of such mines.

Key words surface mine; slope rock; three-dimensional model; numerical simulation; stability analysis

0 引言

随着计算机技术的迅速发展和普及, 数值计算方法获得了长足进展。在露天矿边坡稳定分析中, 有限单元法是应用最早和最广泛的方法。利用有限单元法计算模型可以模拟边坡岩体的变形与破坏问题以及矿山边坡岩体应力场变化及安全率等问题。论文将应用弹塑性三维有限单元数值分析方法, 对小龙潭布沼坝露天矿西北边坡岩体应力场的特征和破坏规律进行研究, 为此类矿山边坡稳定性分析评价提供科学依据。

布沼坝露天矿位于自然山体的下部, 而矿山的办公区、住宅区和一些工业设施等均位于矿坑的上部, 即自然山坡体的中下部; 随着露天矿山开拓开采的延深, 人工开挖边坡的坡角和坡高增大, 由此将加剧露天边坡岩体的移动和变形。与此同时, 还将诱发并加剧上部自然山体的移动和变形, 文中着重研究其边坡岩体的变形和破坏特征。

1 矿区地质概况

布沼坝露天矿是小龙潭矿务局的主要生产矿坑, 可采煤层厚度为 80~100m, 个别区段可达 200m 以上; 其中在西帮及西南帮赋存有大量的可采煤层。西帮为山体风化剥蚀和露天开挖工程共同形成的岩质高大边坡, 呈南北展布, 总长 1150m, 坡高 330m 左右。其中由碎裂镶嵌、结构坚硬灰岩岩组组成的自然边坡高 110~210m, 坡角 25~39°, 坡面植被稀少, 基岩裸露; 而由层状结构、软塑沉积半成岩和层状结构半坚硬沉积岩组成的露天开挖边坡高 120m 左右, 坡角 15°。在自然因素和矿山开挖工程的共同作用下, 西帮边坡的稳定性受到破坏, 自 1992 年初开始到 1997 年底在边坡表面出现裂缝, 并逐渐发展; 有大小不等裂缝

收稿日期: 2007-01-30 基金项目: 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (项目编号: 6Z0155D)。

第一作者简介: 杨溢 (1965-), 男, 副教授。主要研究方向: 岩土工程、边坡稳定、安全工程。

E-mail: kgbaop@163.com

20余条,最长达 500余 m,最宽达 2m之多.自然边坡中的层状石灰岩被裂缝切割,水平硐探资料表明裂缝深度达 70m左右,倾向西,倾角 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$.从边坡监测结果来看,西北帮边坡的岩体在清帮后仍有较大变形,为了了解西北帮边坡的稳定性情况,建立了三维实体模型进行数值模拟分析计算,如图 1所示.

2 数值模拟及分析

目前对露天矿山边坡岩体稳定性影响评价常用的数值模拟方法包括有限差分法、有限单元法、边界单元法、半解析法、离散元法、无界元法及有限元与边界元的耦合等^[1-3].有限单元法在模拟多种介质的非均性、工程开挖、充填及支护等方面的灵活性,在处理复杂结构、复杂边界及载荷条件方面显示出的独特性,在数值模拟实用分析技术中起着主导作用^[4,5].

本次采用的 3D-程序是为岩土工程的应用而开发的三维连续介质有限单元法程序,主要模拟岩土工程结构在三维应力、应变条件下的力学行为.程序采用图形界面操作,可进行构筑物的各步骤开挖、回填、锚杆支护等弹塑性分析以及热应力的分析计算.

2.1 计算范围、网格划分

根据项目研究内容,设计了三维模型,项目研究的矿体是沿走向方向从 344行至 348行(每行间隔 100m)共 400m的长度,在垂直方向由从 850水平至 1250水平.模型计算域的大小对数值模拟结果有重要影响,计算域取得太小容易影响计算精度及可靠性,但如果计算域取得太大又使单元划分过多,受计算机容量限制往往会给计算带来困难,因此计算域要取得适中,既保证计算工作的顺利进行,又要保证计算结果具有一定的精度.根据矿体的特点和采场布置形式,结合岩石力学相关理论,建立三维有限元模型,模型大小为所研究矿体的 3~5倍,即长 \times 宽 \times 高为 3000m \times 800m \times 500m,即沿矿体走向取 3000m(模型中 z方向),垂直矿体走向取 800m(x方向),沿垂直方向取 500m(y方向),共计 45776节点,10127个 20节点三维等参单元.单元网格划分及计算机矿体模型图分别见图 2、3所示.

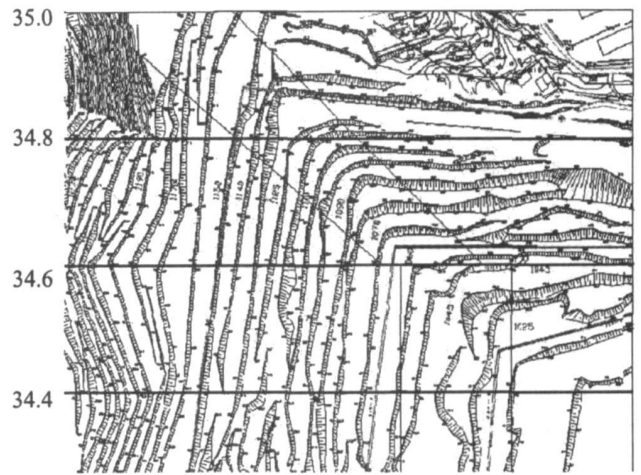


图1 布沼坝露天矿西北帮平面图

Fig.1 Plane figure of Buzhaoba open-cut in the north-west

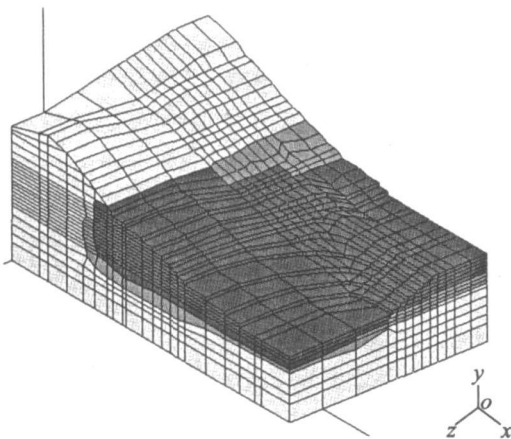


图2 部分模型实体图

Fig.2 Part model entity image

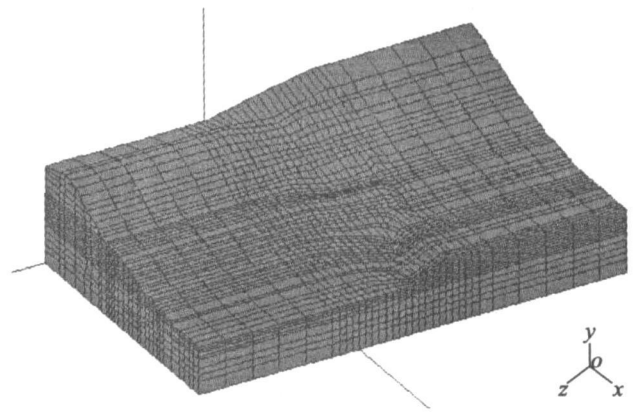


图3 模型网格图

Fig.3 Model net image

边界约束:计算域边界采取位移约束.由于采动影响范围有限,在离采场较远处岩体位移值将很小,

可将计算模型边界处位移视为 0 因此, 计算域边界采取位移约束, 即模型底部所有节点采用 x, y, z 3 个方向约束, xy 所在平面采用 z 方向约束, yz 所在平面采用 x 方向约束.

2.2 计算所采用的岩体参数

对于地质与采矿条件极为复杂的矿山岩体, 矿岩体力学参数的选取是非常困难的. 然而, 计算参数在矿岩稳定性评价和岩石力学计算中又起到关键性的作用, 因此, 为了确定合理的计算参数, 人们往往不惜花费大量的人力物力, 进行一系列室内试验, 乃至现场原位试验. 尽管如此, 由于工程岩体的非均质特性和复杂的地质因素的影响, 再加上不同区域受采动影响的程度也不同, 试图通过室内试验或现场试验确定合理的岩体参数几乎是不可能的、大多数试验结果离散, 并且数量较少, 很难给出直接可以采用的数据; 这不仅是由于岩体特性参数所固有的空间变异性和尺寸效应, 而且试验过程人为引起的误差也直接影响试验结果的可靠性, 因此, 在不同的区域, 矿岩体的力学参数事实上也存在着差异, 为了数值分析的需要, 大多数情况仍借助于工程经验 (专家经验、经验公式、工程类比等), 来选取相应的计算参数. 本次计算岩石力学参数选用云南地质勘察院 1999 处在小龙潭露天西帮边坡工程地质勘察报告中的实验成果.

2.3 数值模拟结果分析

采用矿体的实体形态进行模拟, 根据小龙潭矿目前采用的采矿方法及矿体开采技术条件模拟开采. 由于矿体的边界形态在局部比较复杂, 特别是在矿体和围岩交界部位变化较大, 东西两侧局部围岩突出, 造成采矿后围岩应力集中较大, 在该部位应引起足够的重视. 现以方案三为例对模拟结果进行分析如下:

符号说明: “+”表示应力为拉应力; 表示位移与坐标轴同向, 如在采场顶板表示位移下沉. “-”表示应力为压应力; 表示位移与坐标轴反向. 图中无特别说明, 应力单位为 MPa , 位移单位为: m .

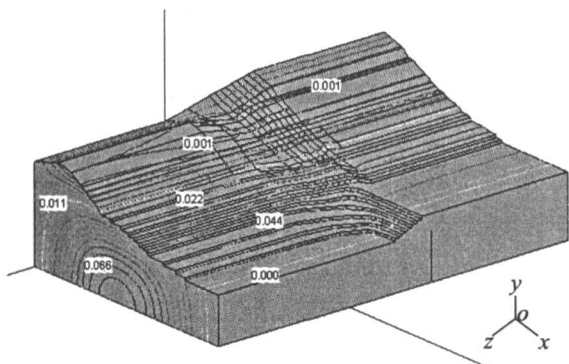


图4 x方向位移等值线图

Fig.4 x direction displacement equivalence line chart

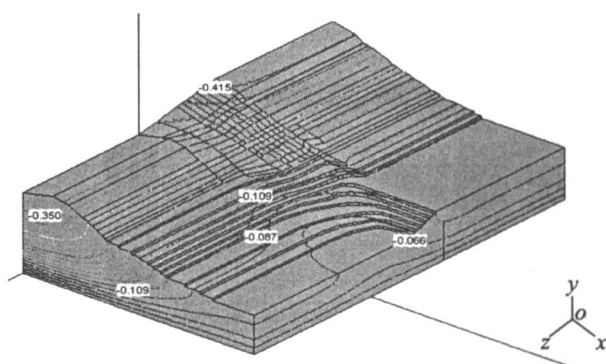


图5 y方向位移等值线图

Fig.5 y direction displacement equivalence line chart

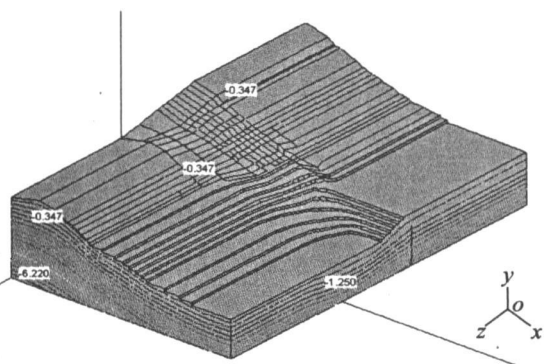


图6 最小主应力等值线图

Fig.6 Minimum principle stress equivalence line chart

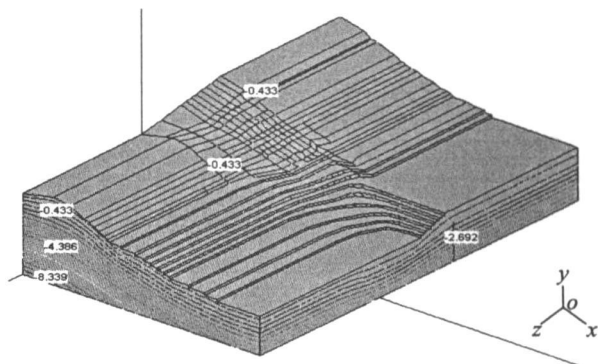


图7 最大主应力等值线图

Fig.7 Maximum principle stress equivalence line chart

对上面图 4~8 的计算结果进行分析如下:

从 x 方向位移来看: 沿 x 正方向位移主要出现在西帮边坡中下部粘土岩与灰岩的接触点处, 位移较大部位沿走向方向一直沿伸均出现在粘土岩与灰岩的接触点处, 最大处达 66 mm, 因此从 x 方向位移来看, 位移较大部位主要出现在两个较高山坡顶峰及其附近和边坡中下部粘土岩与灰岩的接触点处, 在开挖过程中应注意这些部位的位移变化。

从 y 方向位移来看: 由于重力作用, y 方向位移都是向下的, 即均为负值, 位移较大部位主要出现在两个较高山坡顶峰及其附近, 整个模型 y 位移垂直向下, 位移从上部到下部依次减小, 最大位移从上部。在开挖过程中主要观察山坡顶峰位移变化。

从应力方面来看: 模拟过程中不进行任何开挖, 矿体中仅有自重应力场作用, 最大主应力和最小主应力从模型的顶部向下依次增大, 在坡表层一定深度范围内, 应力分布基本平行于斜坡面, 当达到一定深度之后, 将恢复自然应力状态。

3 结论

该模型无任何开挖过程, 给所构建的模型施加自重力及构造应力, 在整个模型中形成自重应力场及构造应力场。该步上部位移较大。当边坡开挖的坡角和坡高继续增大时, 由于开挖工程的扰动作用, 原有的应力平衡关系和平衡条件被破坏, 并随着下部开挖量的增大, 其相应的扰动作用增大, 应力增量的变化也随之增大。因此, 对于人工开挖边坡的变形量大小及其变形范围直接受采矿工程规模大小的影响。当工程开挖量大时, 其相应的应力场将产生较大的变化。从模拟结果也说明这一点, 所以本次模拟与实际情况比较相似, 从而也验证了模拟结果有一定的可靠性。

参考文献:

- [1] 赵阳升. 有限元法及其在采矿工程中的应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994
- [2] 冯康. 数值计算方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1978
- [3] 周维垣. 高等岩石力学 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1990
- [4] 朱伯芳. 有限元法原理及应用 [M]. 北京: 水力电力出版社, 1979
- [5] 张贯峰, 谢永利, 张连成. 岩质边坡开挖效应的有限元仿真分析 [J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2006, 31(3): 5-8

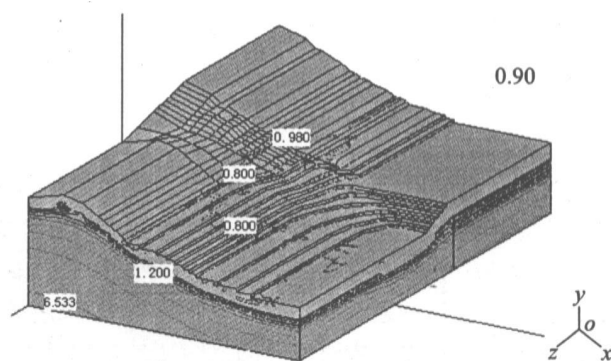


图8 安全系数等值线图

Fig.8 Equivalence line chart of safety coefficient