

文章编号: 1674-8565 (2017) 01-0070-05

辽宁首钢硼铁矿业有限公司 露天采场边坡稳定性分析

周洪博

(辽宁省有色地质局勘察研究院, 辽宁 沈阳 110013)

摘要: 针对辽宁首钢硼铁矿业有限公司露天采场开采深度大, 边坡失稳滑塌问题日益突出的现状, 通过工程钻探、大型剪切试验等手段得到各岩层属性参数, 利用 FLAC^{3D} 软件对该边坡进行三维数值模拟, 分析应力应变关系, 得出变形较大及应力集中区域, 通过与野外地质调绘确立的边坡破坏模型进行对比分析, 验证本次数值模拟模型的可靠性, 为边坡进一步治理提供依据。得出结论: 辽宁首钢硼铁矿业有限公司露天采场边坡坡体尚未形成连贯破坏区, 局部加固后可继续向下开采。

关键词: FLAC^{3D}; 露天边坡; 边坡稳定性

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

DOI:10.13693/j.cnki.cn21-1573.2017.01.012

0 引言

我国矿山开采中, 露天开采处于重要位置, 随着浅部矿产资源的日益减少, 露天开采深度逐渐增大, 边坡高度不断增加, 边坡稳定性问题越发突出^[1-5], 在金属矿山的开采过程中, 由于金属矿山的岩石硬度比较大, 矿山爆破是比较常见的, 爆破震动对采空区受力的影响也是比较大的。露天矿的开采过程中, 这些动态因素具有一定的影响, 为了达到露天开采的安全和稳定, 为了避免矿山安全事故, 为了矿山产量和经济效益保持稳定, 我们需要分析这些动态因素对露天开采的影响^[6-9], 本研究依托辽宁首钢硼铁矿业有限公司露天采场工程实例, 通过工程钻探、物探、地质调绘、大型剪切试验

等手段得到各岩层属性参数, 利用 FLAC^{3D} 软件对该边坡进行三维数值模拟, 为矿区安全生产提供科学依据。

1 边坡概况

辽宁首钢硼铁矿业有限公司业家沟露天采矿场位于辽宁省凤城市境内, 边坡形态特征为: 外形在平面上为直线型, 剖面上呈台阶状, 边坡最高点标高 580m, 最低点标高 330m, 当地侵蚀基准面为 260m, 边坡台阶高度为 20m 左右, 工作台阶坡面角约为 65°~70°, 最小工作平台宽度不足 1m。

边坡围岩主要为变粒岩, 主要发育四组节理, 产状为: 344° ∠ 64°, 节理密度约为 5 条/m; 252° ∠ 75°, 节理密度约为 5 条/m; 85° ∠ 82°, 节理密度约为 5 条/m。

收稿日期: 2016-11-03 修订日期: 2017-01-16

作者简介: 周洪博 (1984-), 男, 辽宁省沈阳市人, 硕士, 工程师, 现主要从事地质灾害勘查、采空区探测治理方面的工作。

E-mail: 85902018@qq.com

节理密度约为 1 条 /m； $196^{\circ} \angle 53^{\circ}$ ，节理密度约为 5 条 /m。

边坡出露的岩性单一，主要由中下元古界辽河群里尔峪组黑云变粒岩组成，其中夹多层透辉变粒岩、电气变粒岩、电气透辉变粒岩、电气透辉岩、磁铁浅粒岩。矿物成分由长石、石英所组成。长石约占 50~55%，石英 20~30%，

角闪石 10~15%，黑云母 10~15%，有少量石榴石、绿帘石，岩石中间有宽度 0.5~2cm 长石英质脉，混合岩化较强，岩石节理裂隙发育。

受矿产露天开采爆破影响，边坡岩体破碎较严重，爆破影响范围内，边坡岩体极易破碎，岩芯呈碎石、碎块状。



图 1 边坡水平全景
Fig.1 Horizontal panorama of side slope

2 边坡破坏类型

根据现场调查，赤平投影图分析结构面与边坡、结构面之间的组合关系，本边坡的破坏模式主要有平面滑动、圆弧型破坏、倾倒破坏、崩塌破坏等几种：

(1) 平面滑动：根据节理裂隙观测点统计，边坡存在走向与边坡平行、倾向与边坡倾向一致的节理面，倾角与坡角接近，稍陡于坡角，结构面倾角与边坡角相差仅 5° 左右，但当采矿开挖的边坡较陡或出现超挖临空面时，加上风化作用将使岩体强度降低，矿山开采放炮等工程活动影响，易发生平面破坏。

(2) 圆弧型破坏：本边坡台阶处受矿山放炮及开采等活动影响，一般 20~25m 深度、局部 30m 范围的岩体为破碎—极破碎，可能在破碎—极破碎山体内发生圆弧型滑动破坏。

(3) 倾倒破坏：根据节理裂隙统计，边坡存在一组倾向与坡面倾向基本一致的陡倾角节理面，在边坡坡角陡的地段，边坡岩体已出现倾倒型破坏，规模较小，为台阶边坡破坏；如果边坡坡脚加大，将形成临空面使边坡岩体沿不连续面逐步变形倾倒，使边坡岩体发生倾倒破坏。

(4) 崩塌破坏：根据节理裂隙统计，边坡

存在多组共轭节理，且非常发育，加上边坡受采矿活动等影响，导致边坡岩体破碎，在边坡较陡地段易形成崩塌。从表 1 可以看出该边坡节理裂隙的优势分组。

本矿山边坡存在一组倾向与坡面倾向一致，倾角稍大于坡角的结构面。同时存在两组结构面交线倾向与坡面倾向一致，结构面交线倾向与坡面倾向之间夹角小于 45° ，且交线倾角小于坡面倾角，但是交线倾角为 10.3° ，小于节理裂隙面摩擦角 16.3° ，此处边坡为基本稳定结构，如图 2 所示 3—4 号观测点赤平投影图。

表 1 各个剖面节理裂隙的优势分组

观测点号	组数	个数	平均倾向 ($^{\circ}$)	平均倾角 ($^{\circ}$)
1	1	17	342	65
	2	20	94	35
	3	7	84	82
	4	4	267	73
2	1	34	24	59
	2	25	304	78
	3	18	119	78
	4	14	239	66

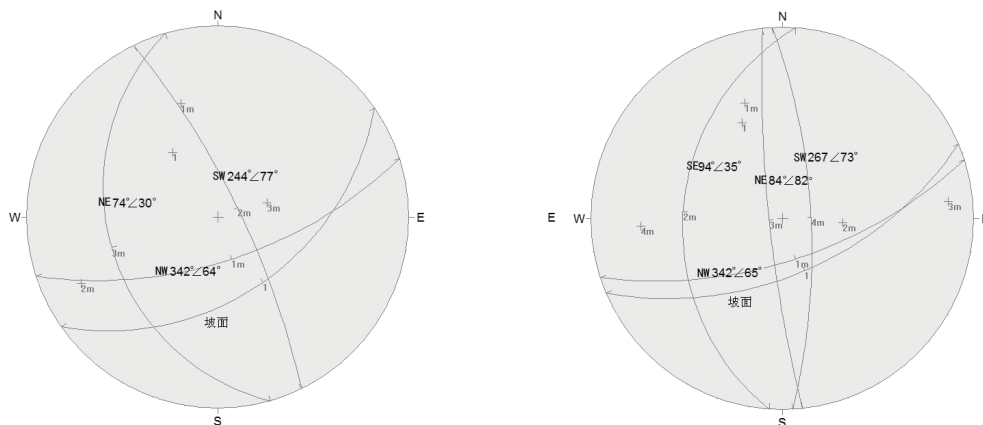


图 2 3—4 号观测点赤平投影及节理玫瑰花图

Fig.2 Stereographic projection and rose diagram of joint at No. 3-4 observation points

3 边坡稳定性三维数值模拟

3.1 模型建立及参数选取

由于 FLAC^{3D} 在数值模拟的前处理方面的不足, 在这里采用 ANSYS 建立几何模型并进行网格剖分, 将节点、单元导入 FLAC^{3D} 中进行计算。

本次数值模拟模型为防止边界效应对研究区域产生影响, 模型尺寸应大于研究区域, 边坡尺寸设置为沿坡体走向逾 260m 长, 宽

290m, 高 180m。鉴于 ANSYS 强大的前处理功能, 几何模型的构建及网格的划分在 ANSYS 中完成。对模型的两侧 (x 方向)、前后 (y 方向) 施加水平约束, 底面 (z 方向) 施加垂直约束, 对于岩土体采用摩尔-库伦模型。对于单元的划分, 在岩体风化壳表层节理裂隙发育地带进行更精细的划分, 2 个模型共剖分了 94197 个单元, 17858 个节点。

边坡岩层表面以下约 20m 内, 节理裂隙较为发育, 20m 以下岩层完整性较好, 故将边坡分为两个岩层属性, 具体参数见表 2。

表 2 模型参数统计

名称	密度 (kg/m ³)	泊松比	弹性模量 (Mpa)	体积模量 (Mpa)	剪切模量 (Mpa)	内摩擦角 (°)	内聚力 (Kpa)	抗拉强度 (Mpa)
节理裂隙不发 育变粒岩	2640	0.24	40000	25640	16130	35	200	4.9
节理裂隙发育 变粒岩	2600	0.25	32000	21333	12800	32	120	4

3.2 基本原理

FLAC^{3D} 即快速拉格朗日差分分析, 广泛的应用于工程数值分析当中, 其原理是利用有限差分的方法进行求解计算, 具体过程要先生成网格, 并把物理网格映射到数学网格上, 使数学网格编号为 i、j 的节点同物理网格相应的节点 x、y 对应起来, 形成相互映射。假设某时刻的各个节点的速度为已知, 根据高斯定理求出各个单元的应变率, 再根据材料的本构关

系求得单元的新应力。通过不断的迭代求解, 可以得出边坡各单元、节点的应力应变值, 便可以对边坡的破坏过程进行模拟^[5]。

3.3 边坡稳定性模拟结果

3.3.1 三维数值模拟应力应变规律

通过 FLAC^{3D} 数值模拟软件得出边坡的各个方向的三维应力应变云图如图 3—6。

从总体应力分布可以看出, 最大主应力区

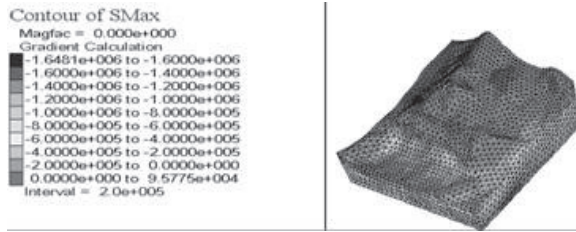


图3 最大主应力云图

Fig.3 Maximum principal stress nephogram

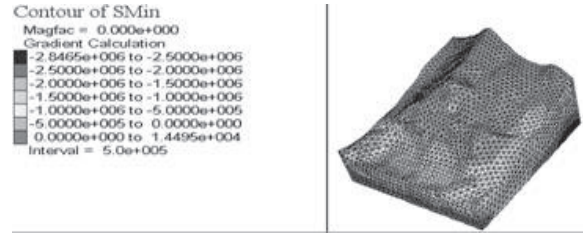


图4 最小主应力云图

Fig.4 Minimum principal stress nephogram

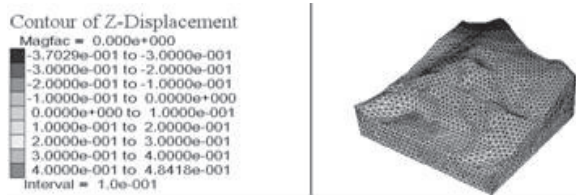


图5 z方向位移云图

Fig.5 Nephogram of displacement along z direction



图6 整体塑性区云图

Fig.6 Nephogram of the entire plastic zone

出现在坡体内部，表层临空面为最小主应力区，在表层节理裂隙发育密集区岩层中出现局部拉应力区域，z轴方向由于重力压致拉裂，形成大范围压力区以及少部分拉力区，和现场发生的岩层倾倒拉裂较为一致，向坡内垂直应力增加。

由位移分布分析，坡体z方向位移分布与总体位移分布规律大体一致。表层位移变化量最大，向下位移值逐渐减小。

由塑性分布可知，滑坡区域有塑性区域发生，从剖面图上看，主要分布在坡体的临空面上，出现沿岩层上的局部剪应力区域，当这些

局部剪应力带全部贯通，总剪应力超过滑带极限抗剪强度，坡体会产生滑坡的可能，符合圆弧滑动—平面滑动破坏模式，但目前坡体尚未形成连贯的破坏区，仅仅局部发生崩塌破坏，根据地质调查结果此处边坡岩层倾角小于坡角的结构面，而且赤平投影交线倾伏角为小于节理裂隙面摩擦角，此处边坡为基本稳定结构。

3.3.2 切割剖面应力应变规律

从整个坡体来看，位于x=164m处剖面发生的变形值较大，具体剖面上应力应变云图见图7—9。

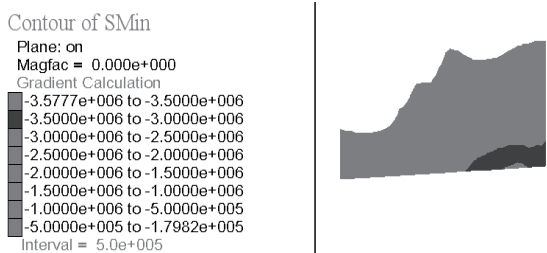


图7 x=163.9面最小主应力切片云图

Fig.7 Nephogram of minimum principal stress section when x=163.9

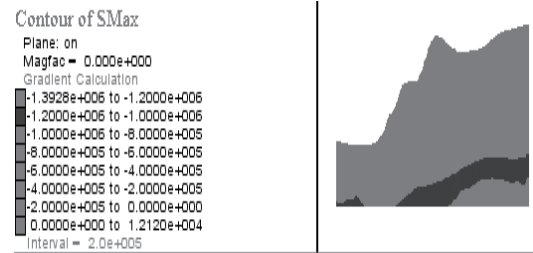


图8 x=163.9面最大主应力方向切片云图

Fig.8 Nephogram of maximum principal stress direction section when x=163.9

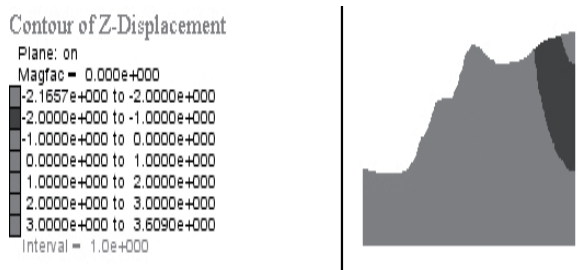


图9 x=163.9面z方向位移切片云图

Fig.9 Nephogram of displacement section along z direction when x=163.9

剖面上z轴方向发生竖向位移从坡顶到坡底逐渐减小，由于边坡向坑内的挤压，形成大滑动趋势，使得坑底隆起形成拉张破坏，发生沿z轴正方向位移，而后缘坡体拉张倾倒裂隙，产生向下载移，符合边坡倾倒破坏模式。

从应力云图上来看，最大主应力位于坡体内部，最小主应力位于表层临空面，符合现场地质调绘得出的边坡破坏模型结果，最大主应

力部位边坡岩层倾角稍大于坡角的结构面,但是交线倾伏角为小于节理裂隙面摩擦角,此处边坡为基本稳定结构。

4 结论

(1) 根据现场大量试验及调绘数据,露天矿采场边坡的破坏模式可能会发生圆弧滑动或是倾倒破坏,局部陡峻的斜坡地段,也易发生崩塌破坏。

(2) 从应力云图上可知,在表层节理裂隙发育密集区岩层中出现局部拉应力区域, z 方向由于重力压致拉裂,形成大范围压力区以及少部分拉力区,向坡内垂直应力逐渐增加。边坡坡内有塑性区域发生,主要分布在坡体的临空面上,出现沿岩层上的局部剪应力区域,符合边坡圆弧滑动—平面滑动破坏趋势,但目前坡体尚未形成连贯的破坏区,仅仅局部形成崩塌破坏。

(3) 通过 FLAC^{3D} 软件采用数值模拟技术对露天采矿边坡进行三维数值模拟,直观的得出边坡开挖后的应力应变规律,结合现场分析了变形破坏模式,对边坡的进一步治理带来指导意义。

参考文献:

- [1] 何祥,杨天鸿,南世卿.虚拟现实技术在露天矿边坡工程中的应用[J].金属矿山,2015,1(2):133-138.
- [2] 王东,王珍,曹兰柱,等.断层位置对露天矿顺倾层状边坡稳定性的影响研究[J].中国安全科学学报,2014,1(12):83-89.
- [3] 韩万东,高龙,刘刚毅.露天矿陡帮台阶并段开采边坡稳定性分析[J].煤炭技术,2014,1(10):172-174.
- [4] 倪彬,张伟,刘晓明.基于 Slide 的露天采场边坡稳定性分析[J].中国矿山工程,2013,1(6):28-31.
- [5] 彭岩岩,汪虎,解毅.南芬露天铁矿边坡稳定性有限元分析[J].矿冶工程,2015,1(1):10-13.
- [6] 王宏伟,王攀,王永强.马钢凹山露天采场南帮边坡监测及稳定性分析[J].金属矿山,2016,1(3):35-39.
- [7] 周连春. Sarma 法在宝石铁矿边坡稳定性分析中的应用[J].有色金属,2010,62(1):63-66.
- [8] Hock E. 岩石边坡工程[M].北京:冶金工业出版社,1983.
- [9] 曾志林.爆破振动对高陡边坡稳定性影响及控制技术研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [10] 郑颖人,赵尚毅,邓卫东.岩质边坡破坏机制有限元数值模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2003,22(12):1943-1952.

The Analysis on the Slope Stability of Opencast Mining by Liaoning Shougang Boron Iron Co., Ltd (LSBI)

ZHOU Hong-bo

(Geological Exploration & Research Institute of the Bureau of LNYS,
Liaoning Shenyang 110013, China)

Abstract: Aiming at the increasingly deep open mining and serious landslide of side slopes in LSBI, the rock parameters are acquired through drilling, shearing and other methods. The FLAC^{3D} is used for 3D number simulation and analysis of the stress-strain relationship, and the main area of maximum stress and deformation is obtained. The results have been proved reliable after the comparative analysis of the FLAC^{3D} simulation and the field mapping, thus providing evidence for further measures to the sliding side slopes. The conclusion is as follows, the open pits are suitable for deeper exploration because no connection among the damaged areas has appeared yet.

Key words: FLAC^{3D}; open side slopes; stability of side slopes