

顺兴露天矿顺倾软弱基底内排土场稳定性研究 *

张 信^{*,1,2} 殷志祥¹ 王 东³

(1. 辽宁工程技术大学力学与工程学院, 阜新 123000; 2. 大唐国际锡林浩特矿业公司, 锡林浩特 026000;
3. 辽宁工程技术大学矿业学院, 阜新 123000)

摘 要:以顺兴露天矿内排土场边坡为研究对象,以 Mohr-Coulomb 准则作为边坡失稳判据,基于强度折减理论,应用有限差分软件 FLAC^{3D} 对顺倾软弱基底内排土场稳定性进行了数值模拟研究,通过分析边坡的应力分布特征、位移分布特征,确定了边坡的破坏模式,揭示了滑坡机理。研究结果表明,顺兴露天煤矿内排土场边坡处于稳定状态;滑坡是在拉-剪复合作用下形成的,潜在滑坡模式为以基底弱层为底界面的切层-顺层滑动;该弱层附近产生的应力集中是边坡发生剪切破坏的外在因素,基底岩土体在载荷作用下发生破坏是边坡整体失稳的直接原因。

关键词:内排土场;边坡稳定性;顺倾软弱基底;滑坡模式;数值模拟

中图分类号:TD824.7 文献标识码:A doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2015.02.007

Researches on Slope Stability of Soft and Inclined Basement Inner Dump in Shunxing Surface Mine *

ZHANG Xin^{*,1,2} YIN Zhixiang¹ WANG Dong³

(1. College of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000;
2. Datang International Xilinhaote Mining Co., Ltd, Xilinhaote 026000;
3. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000)

Abstract: With the dump in Shunxing surface mine as the research object, with M-C Criterion as the slope instability criterion, based on the strength reduction theory, the Finite Difference Software, FLAC^{3D} was applied to study the slope stability of the soft and inclined basement inner dump by the numerical simulation. By analysis of the distribution characteristics of stress and displacement in the slope, the failure mode of slope was determined and the mechanism of the landslide was revealed. The research results show that the inner dump is being stable; landslide is formed under the compound effects of tensile and shear stress, the potential landslide mode is shear-slide along the weak layer of the basement; the stress concentration nearby the weak layer is the external factors of the shear failure of slope and it is the immediate cause that the weak layer failure under the load of the abandoned material.

Key words: inner dump; slope stability; soft and inclined basement; slip mode; numerical simulation

1 引言

矿山排土场边坡稳定性既是一个安全问题,又是一个经济问题。排土场最终帮坡角越大,排弃高度越大,排弃容量越大,占地越少,经济效益越好,但滑坡可能性增大,安全性下降,对露天矿安全生产及周边设施的安全影响较大,反之亦然。随着我国露天矿数量及产量规模的不断增加,排土场滑坡灾害频频发生。分析其原因,主要是对排土场边坡稳定性的影响因素研究不充分或掌握不清楚,导致工程设计不合理造成的。因此,排土场边坡稳定性分析及其科学评价至关重要。

目前,边坡稳定性分析的方法很多,其中极限平衡法由于原理简单、易于实现且通常能够满足工程要求而应用最为广泛^[1,2],但也存在着危险滑动面确定较困难、计算模型过于简化的缺点,往往不能考虑坡体内的应力、应变状态,无法分析边坡失稳演化机理,对于复杂结构的边坡适用性更差。随着计算机和计算方法的飞速发展,以有限元法^[3-6]、有限差分法^[7,8]、离散元法^[9,10]为代表的数值分析方法逐步在边坡工程中推广应用,此类方法无需假定滑动面的形状和位置,并且能够模拟边坡的渐进失稳过程,同时提供应力、应变和位移等力与变形的全部信息^[11],已发展成为一种强有力的计算分析工具。

本文以呼伦贝尔市顺兴露天煤矿为工程背景,应用有限差分软件 FLAC^{3D} 对顺倾软弱基底内排土场稳定性进行数值模拟研究,旨在科学评价其稳定性,揭示滑坡机理,为边坡防护措施提供指导,同时

2014-11-06 收稿,2014-11-28 接受

* 国家自然科学基金 (51104084,51474119, U1361211) 资助

* * 通讯作者, E-mail: nmtdzx99178@163.com; Tel: 14747918666

对于类似工程提供一定的借鉴。

2 边坡工程地质条件

顺兴露天矿内排土场最大排弃高度 148 m、排土台阶高度 20 m、台阶坡面角 33°、平盘宽度 31 m、整体边坡角 18°。基底岩土体以泥岩、炭质泥岩为主,泥岩多质软并且有塑性,含有较多的高岭石、伊利石、蒙脱石等次生矿物,在地下水的作用下,会降低其力学强度和抗剪能力,给边坡稳定带来不利影响。值得注意的是,基底赋存炭质泥岩弱层,其倾向与内排土场边坡倾向一致,倾角约 5°,为排土场失稳模式与稳定性的控制性因素,有可能在排弃物料载荷作用下发生沿弱层为底界面的切层-顺层滑动。内排土场边坡工程地质条件如图 1 所示(纵坐标表示高程),其岩土体物理力学指标见表 1。

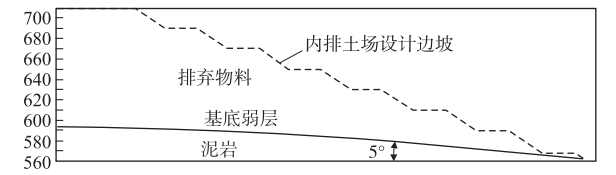


图 1 顺兴露天矿内排土场边坡工程地质剖面

表 1 岩土体物理力学指标

地层	容重 γ (kN/m^3)	内聚力 C (kPa)	内摩擦角 φ (°)	弹性模量 E (MPa)	泊松比 μ
排弃物	16.5	10	26	50	0.38
基底弱层	13.2	18	8.79	28	0.40
基底泥岩	19.3	26	25.03	83	0.35

3 边坡稳定性数值模拟

数值模拟相对于极限平衡法的最大优点是可以模拟坡体内的应力、应变状态,以便通过分析边坡的应力分布、位移分布及变形破坏特征,分析滑坡机理,近年来得到了广泛应用。本次数值模拟采用岩土体工程中应用广泛的有限差分软件 FLAC^{3D}。对岩土边坡进行稳定性数值模拟时,选用 Mohr-Coulomb 模型作为岩体本构模型,以 Mohr-Coulomb 准则作为破坏判据,以数值计算的收敛性以及塑性区的贯通作为边坡整体失稳判据,采用强度折减法对边坡稳定性进行计算,以便准确、自动地模拟出边坡的变形过程及其滑动面形状^[12]。

3.1 数值模拟模型的建立

以上述典型工程地质剖面边坡为原型建立边坡数值模拟模型。由于采用 FLAC^{3D}内嵌工具建模费时费力且容易出错,而 ANSYS 在前处理方面有着相当的优势,并且可与 CAD 软件数据共享,因此本文

利用 ANSYS 的数据接口,精确地将在 CAD 系统下提取的数据传入 ANSYS 中,运用 ANSYS 进行前处理建模以及划分网格,再将得到的有限元模型导入 FLAC^{3D}中形成模拟模型。考虑到计算时应同时满足精度及速度要求,将数值模型共划分为 7749 个节点和 6368 个单元,模型网格划分见图 2 所示。模型的边界条件为:模型的两侧和底部为位移约束,即位移为 0;加载方式为自重加载。



图 2 数值模拟模型

3.2 数值模拟结果及分析

经过计算,得出内排土场边坡稳定系数为 1.27,表明内排土场是稳定的;图 3 为模拟得出的最大不平衡力曲线,可知随着计算步的增加,最大不平衡力逐渐趋近于 0,表明在岩土体抗剪强度指标折减过程中,边坡经过应力的不断调整,经历了变形、失稳,最终达到了新的平衡状态;图 4、5 分别为边坡临界失稳时的应力分布和位移分布云图,共同描述了边坡的应力、位移分布特征以及变形破坏特征。

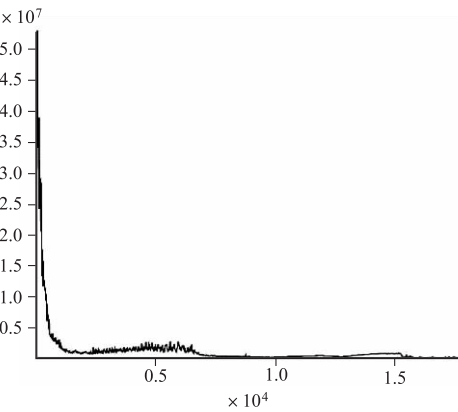


图 3 最大不平衡力曲线

1) 应力分布特征

图 4(a)和图 4(b)分别为边坡临界失稳时的铅直应力分布图和水平应力分布图。可以看出,铅直应力的分布主要受边坡自身重力的影响,竖直应力在坡体表面向下,均随着标高的降低而呈上升趋势,分布均匀,基本顺着坡面方向一直延伸到坡脚处;在泊松效应作用下,水平应力亦随埋深增加而增加,只是由于弱层的存在,在其附近有一定的应力集中现象,易引发边坡沿基底弱层发生剪切破坏;边坡表面一定范围出现了拉应力,考虑到岩土体抗压不抗拉的特性,边坡面附近岩体将发生拉伸破坏。

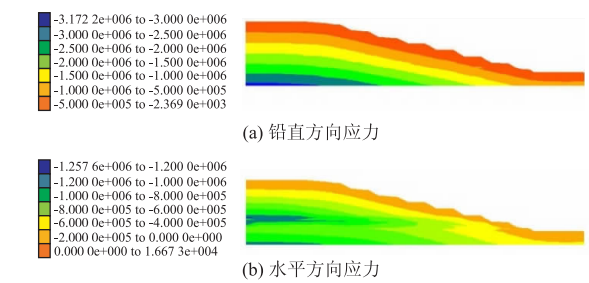


图 4 临界失稳时边坡体内应力云图

2) 位移分布特征

图 5(a) 和图 5(b) 分别为边坡临界失稳时的最大位移图和剪切应变增量图,共同描述了边坡的位移分布特征。由最大位移图可以看出,内排土场滑坡模式为上部圆弧滑动,下部沿基底弱层剪出,即以弱层为底界面的切层-顺层滑动;越靠近坡脚,岩体的位移越大,因此,坡脚是排土场变形最敏感的区域。同时,由剪切应变增量图亦可以清楚地看到排土场基底弱层附近岩土体变形明显,表明基底弱层在排土场自重作用下发生破坏而使得强度指标进一步弱化是边坡失稳的重要原因。

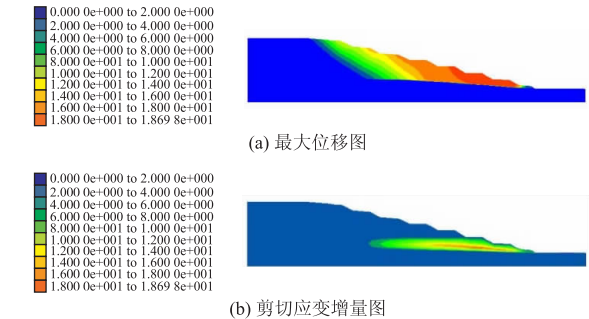


图 5 临界失稳时边坡体内位移云图

4 结论

1) 顺兴露天矿内排土场边坡稳定性较好,其潜在滑坡模式为以煤底弱层为底界面的切层-顺层滑

动,煤底弱层是边坡滑移模式与稳定性的控制性因素。

2) 受岩体自重应力及泊松效应影响,排土场内铅直应力与水平应力均随埋深增加而近线性增大,仅在基底弱层附近产生一定程度的应力集中,是边坡沿基底弱层发生剪切破坏的外在因素。

3) 对于软弱顺倾基底内排土场,基底岩土体在载荷作用下发生破坏是边坡整体失稳的直接原因,滑坡的力学成因类型为拉-剪复合型。

参考文献

[1] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社,2007:40-56.

[2] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析(原理方法程序)[M]. 北京:水利水电出版社,2003:15-20.

[3] 陈建宏,钟福生,杨珊. 基于有限元强度折减法与极限平衡法结合的岩质边坡稳定性分析[J]. 科技导报,2012,30(11):38-42.

[4] 郭永成,李建林,王兴霞. 黄龙滩电厂扩建工程进场边坡有限元分析[J]. 岩土工程学报,2013,35(增2):202-206.

[5] 陈康. 层状岩质边坡稳定性有限元塑性集贤分析上限法研究[J]. 公路工程,2014,39(4):295-298.

[6] 梁建伟,顾强康,屈波,等. 加筋高边坡稳定性影响因素及其规律的研究[J]. 建筑科学,2014,30(9):22-30.

[7] 唐乐人. 基于 FLAC3D 的危岩体高陡边坡稳定性分析[J]. 公路工程,2014,39(2):265-268.

[8] 江南宁,潘岩峻. 基于 FLAC3D 的边坡安全系数计算方法[J]. 工业建筑,2013,43(增):566-568.

[9] 师刚,刘华莉,刘学增. 不等厚互层顺层磷矿高边坡破坏机制研究[J]. 地下空间与工程学报,2014,10(5):1223-1230.

[10] 李庆喜,陈海波,陈尧尧. 白鹤滩水电站右岸进水口边坡稳定性离散元数值模拟研究[J]. 中国水运,2014,14(8):118-119.

[11] 张永兴. 边坡工程学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:24-28.

[12] 刘波,韩彦辉. FLAC 原理实例与应用指南[M]. 北京:人民交通出版社,2005:205-209.