

Study on Stability of East Side Slope of Shengli East No. 2 Mine Based on Geo-Studio Numerical Software

Hengcai Liu, He Huang, Bowen Shuai, Yu Feng

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui
Email: 1030154808@qq.com

Received: Jul. 9th, 2020; accepted: Jul. 23rd, 2020; published: Jul. 30th, 2020

Abstract

Ensuring the stability of open-pit coal mine slopes has a positive effect on personnel safety, economic benefits, and mining progress. Based on the analysis of engineering survey data of Shengli East No. 2 Mine, this article uses Geo-Studio numerical software to establish an engineering model to predict the safety factor and potential slip surface of the east side slope. At the same time, the same analysis method is used to solve the safety factor under the influence of groundwater, and the adverse effect of groundwater level on the slope stability is analyzed. The study found that the results of the three analysis methods are basically the same, and there is a danger of slippage on the slope.

Keywords

Open-Pit Coal Mine, Slope Stability, Geo-Studio, Groundwater

基于Geo-Studio数值软件的胜利东二矿东帮边坡稳定性研究

刘恒材, 黄河, 帅博文, 冯宇

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南
Email: 1030154808@qq.com

收稿日期: 2020年7月9日; 录用日期: 2020年7月23日; 发布日期: 2020年7月30日

摘要

保证露天煤矿边坡稳定对人员安全、经济效益、开采进度都具有积极作用。本文在分析胜利东二矿工程

文章引用: 刘恒材, 黄河, 帅博文, 冯宇. 基于 Geo-Studio 数值软件的胜利东二矿东帮边坡稳定性研究[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(7): 622-628. DOI: 10.12677/ag.2020.107061

勘察资料基础上,采用Geo-Studio数值软件建立工程模型,预测东帮边坡的安全系数及潜在滑移面。同时选用相同分析方法对地下水影响下的安全系数求解,分析地下水位对边坡稳定性的不利影响。研究发现三种分析方法求解结果基本一致,边坡存在滑移危险。

关键词

露天煤矿, 边坡稳定性, Geo-Studio, 地下水

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

边坡稳定性是露天煤矿边坡工程的研究重点,据相关资料显示,我国约有15%的大中型露天煤矿边坡存在安全隐患[1],随着现代开采技术的快速进步以及煤炭资源面临枯竭,露天煤矿出现向深部开采的趋势,引起深度更大、稳定性更差等问题[2]。杨青潮[3]对东明露天矿工程实例进行研究,采用Geo-Studio数值软件对岩质高边坡进行定量分析,得到在降雨条件下地下水位的升高会导致滑动面向外移动,同时安全系数不断变大直至边坡失稳的结论;王婉青[4]利用Slide数值软件对某露天煤矿边坡安全系数求解,选取不同分析方法计算出的最小安全系数作为分析依据,对边坡稳定性进行评价并提出防治措施;向章波[5]采用Slide数值软件对川南某红层路堑边坡稳定性进行分析,模拟了不同工况下边坡稳定性状况,为降雨条件下保证边坡稳定性提供理论支持。胜利东二矿东帮边坡规模近年来快速增大,稳定性情况不断恶化,已经有大量学者研究总结,并提出一定的治理方案。尽管现有研究成果推动了国内边坡稳定性研究领域的发展,但针对胜利东二矿东帮边坡深度大、地层复杂等特点,仍需利用数值软件对边坡安全系数进行精确计算,以防煤矿边坡发生滑坡等地质灾害[6]。Geo-Studio软件具有操作方便、界面友好、功能强大等特点,利用Geo-Studio软件可以快速建立边坡模型对其稳定性准确分析,Geo-Studio软件主要包括:SLOPE/W(边坡稳定性分析)、SEEP/W(地下水渗流分析)、SIGMA/W(岩土应力变形分析)、QUAKE/W(地震响应分析)、TEMP/W(地热分析)、CTRAN/W(地下水污染物传输分析)、AIR/W(空气流动分析)、VADOSE/W(综合渗流蒸发力和土壤表层分析)、Seep3D(三维渗流分析)八大功能。本文利用Geo-Studio软件中的Slope/W模块对东帮边坡稳定性进行分析,以期为边坡治理提供理论参考。

2. 工程概况

胜利煤田距内蒙古自治区锡林浩特市3000 m,为向斜构造,大体呈北东-南西条带状[7],含煤面积达到341 km²,长45 km,倾斜走向宽平均为7.6 km。

煤田整体中部划分为胜利东二矿,煤层厚度大,在向斜轴部聚煤中心单层煤层厚244.7 m,三个可采煤层的总厚度达320.65 m,上覆剥离厚度379.25 m,最大开采深度623 m。开采面积约49.74 km²,地表东西长平均8.0 km,南北宽平均6.6 km,可采储量39.59×10⁹ t,可采原煤量41.82×10⁹ t,平均剥采比3.01 m³/t。

胜利东二矿东帮边坡长约700 m,高约260 m,整体边坡角约为20°,岩体结构较为复杂,边坡地下水位较高,对其稳定性不利。

矿区内地层自上而下分布为:第四系、新生界第三系上新统、中生界白垩系下统巴彦花群胜利组[8]。

- 1) 第四系(Q): 全层厚度平均 37.0 m, 浅黄至灰黄色砂砾与亚粘土、覆盖土等组成, 第四系分布于全区域;
- 2) 第三系上新统(N2): 全层厚度平均为 45.26 m, 是由灰绿色的粘土和砂岩、灰绿色砂砾岩组成, 第三系上新统分布于全区域;
- 3) 中生界白垩系下统巴彦花群胜利组(K1bsh): 全层厚度平均 354.83 m, 主要是由煤层、泥岩、细砂岩等组成它的岩性, 它处在该区域的含煤主要地层, 11 煤组底板是这一组的底界, 含有煤层 13 个。

3. 边坡稳定性影响因素及失稳模式

3.1. 边坡稳定性影响因素

由于边坡角较小, 胜利东二矿在开采过程中未出现边坡失稳情况, 但随着煤矿进一步开采, 边坡规模持续增加、煤矸石堆积以及雨季导致地下水位的上升都将降低边坡的稳定性, 因此提前预测边坡稳定性情况对安全开采具有重要意义。

露天煤矿因其边坡规模较大, 其稳定性受诸多因素影响, 正确分析影响因素对工程模型的建立具有指导意义, 边坡稳定性影响因素主要为: 岩石性质、地下水、岩体结构面和地震等因素[9]。

- 1) 岩性是岩石矿物所表现出的一种基本属性, 主要体现在岩石构造、结构、孔隙度等方面。组成岩石矿物的颗粒大小及数量不同、胶结松散程度各异均会使岩石的整体强度发生变化。本文研究的边坡工程大部分由软岩组成, 强度较低, 对边坡稳定性不利;
- 2) 地下水位的变化对边坡稳定性的影响较大, 地下水通过溶蚀作用、软化作用、静水作用和动水作用对岩石产生不利影响, 从而破坏边坡稳定性[10], 本文将通过 Geo-Studio 软件模拟地下水对边坡稳定性的影响;
- 3) 岩体中的岩层产状及岩石中存在较多的结构面对边坡稳定性影响较大, 在岩层产状方面, 岩层倾角处在临空状态的时候, 随着岩层倾角减少, 边坡稳定性先增大后降低; 顺倾的时候发生的规律与逆倾时是相反的[11]。本文主要在模型建立的过程中体现岩层倾角的影响;
- 4) 惯性力是地震破坏的主要作用方式, 地震发生会直接导致滑坡等地质灾害, 因为地震的影响是持续的, 地震后不会因为未发生滑坡而松懈下来, 可能在多年后引发二次破坏。因为胜利东二矿所处区域发生地震可能性较小, 本文不作分析。

3.2. 边坡失稳模式

根据过程类比经验与边坡稳定相关理论, 结合工程首采区的岩体性质、地形条件和地质构造[12], 分析得出可能存在的边坡变形失稳模式:

- 1) 根据现场地质条件, 边坡在降水、震动等作用下抗剪强度不断降低, 同时边坡降深载荷增大, 边坡内部发生剪切滑动, 侧面是剪切圆弧, 沿着边坡内部的软弱层滑动, 易发生切层 - 顺层破坏。当软弱层与剪切面贯通时, 边坡沿软弱层发生切层的顺层破坏[13]。
- 2) 边坡内部的剪切圆弧面为圆弧 - 顺层破坏。

4. 建立 Geo-Studio 模型

4.1. 模型建立

根据相关勘察资料, 胜利东二矿东帮边坡长 700 m, 高程 280 m, 地下水位在边坡形成后发生变化, 水位差约 50 m。模型建立主要考虑: 边坡的结构、岩层变化、物理力学参数、地下水位置等因素, 本模型按地层岩性将斜坡划分六个层面, 分别为: 砂砾与亚粘土层、砂砾层、泥岩层、粉砂岩层、粗砂岩层

和煤层，其中各岩层截面积自上而下为： 4300 m^2 、 9333.3 m^2 、 $16,100\text{ m}^2$ 、 8700 m^2 、 $28,700\text{ m}^2$ 、 $44,767\text{ m}^2$ ，具体边坡模型如图 1 所示。

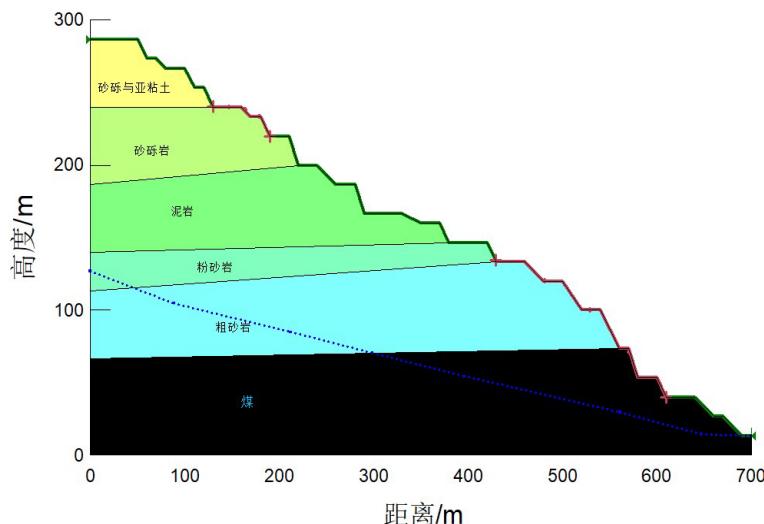


Figure 1. Modeling diagram of the east side slope of Shengli East No. 2 Mine

图 1. 胜利东二矿东帮边坡建模图

4.2. 参数选取

胜利二号矿处于胜利向斜的轴部，首采区位于向斜的南翼。对于东帮边坡的稳定性计算运用的方法是极限平衡法，根据计算结果再进行地质评价与稳定性分析[14]。根据工程概况数据，岩石力学参数见表 1。

Table 1. Rock formation mechanical parameters

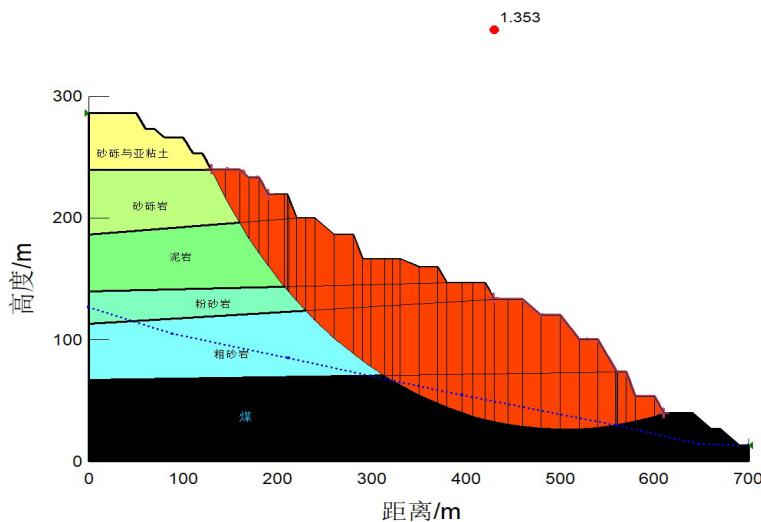
表 1. 岩层力学参数

地层岩石	粘聚力/kPa	内摩擦角/°	重度/kN/m ³
砂砾与亚粘土	15	33	18.5
砂砾岩	70	21	18.5
泥岩	100	23	22.0
粉砂岩	150	25	21.6
粗砂岩	170	24	22.0
煤	70	24	13.1

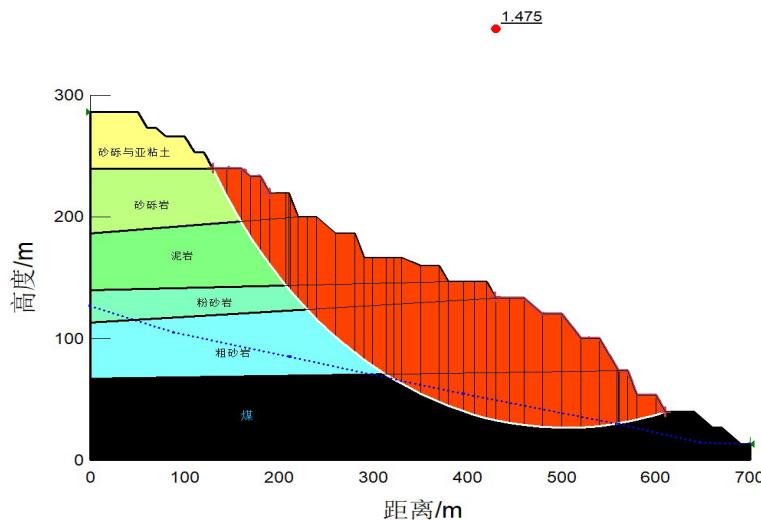
4.3. 边坡稳定性分析

对于同一边坡采用不同分析方法可以更合理的预测边坡稳定性，如果不同分析方法所得安全系数相差很大，则说明工程模型存在问题，反正则符合事实。本文对东帮边坡建模后，首先考虑在存在地下水情况下分别采用 Janbu 法、Bishop 法和 Morgenstern-Price 法求解安全系数以及推测滑移面，求解结果分别如图 2~4 所示。

Janbu 法假设边坡滑动面的安全系数相同，事先假设滑动面的位置，每个土条上的垂向荷载的合力作用线与滑动面的法向反作用力作用于同一点，Janbu 法求边坡稳定安全系数和边坡应力分布较为可靠。

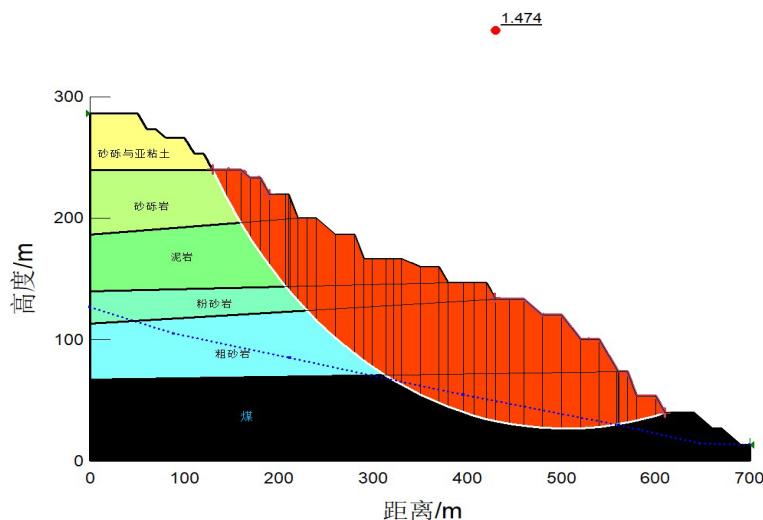
**Figure 2.** Janbu method analysis results**图 2.** Janbu 法分析结果图

Bishop 法以库伦强度理论为基础，原理是圆弧滑动面分析，将边坡稳定简化为平面应变问题，然后假定稳定系数 K ，以此反算稳定系数计算值 F ，经过重复计算将稳定系数计算值 F 的误差控制在规定范围内。

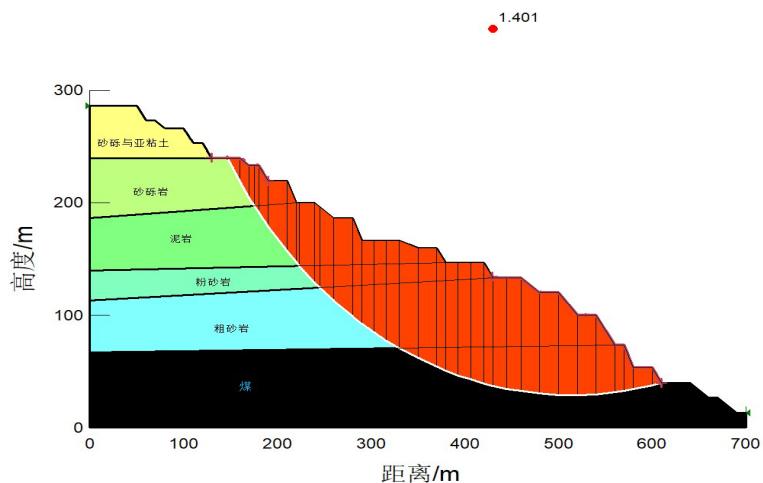
**Figure 3.** Bishop method analysis result chart**图 3.** Bishop 法分析结果图

Morgenstern-Price 法假设相邻土条之间的法向条间力和切向条间力在水平方向上呈坐标函数关系，采用条分法对边坡滑动岩土体的受力情况进行分析。

由图 2~4 可知，Janbu 法、Bishop 法和 Morgenstern-Price 法所求安全系数较为吻合，证明三种分析方法能够用于边坡角较小、规模较大的岩土质边坡，因此采用三种分析方法相互论证东帮边坡的稳定性，能够较为准确反映实际情况。其中 Janbu 法求解安全系数最小，距离临界值较近。从求解结果来看，滑坡规模较大，部分滑移面在地下水位以下，影响到煤层，其中粗砂岩层影响面积最大。因此，在预防滑坡治理过程中，选择粗砂岩层之上的粉砂岩层设置抗滑桩，从根本上避免滑坡的发生。

**Figure 4.** Morgenstern-Price analysis results graph**图 4.** Morgenstern-Price 法分析结果图

为了论证地下水对东帮边坡的影响情况，在相同工况、相同地质条件情况下，不考虑地下水的影响情况，采用 Janbu 法对该边坡安全系数求解，求解结果如图 5 所示。

**Figure 5.** Result graph of Janbu method without considering the impact of groundwater**图 5.** 不考虑地下水影响 Janbu 法分析结果图

与考虑地下水影响的求解结果相比，由图 5 可知安全系数增高，同时滑坡的进口发生变化，滑坡体积缩小，因此地下水对边坡的稳定性不利，证明前文所述地下水不利影响符合事实。

根据上述研究结果显示，无论地下水影响大小，东帮边坡的滑动面很可能为圆弧或圆弧-顺层模式，因此对东帮边坡的治理较为重要。

5. 结论

利用 Geo-Studio 数值软件对胜利东二矿东帮边坡进行分析，能够客观真实的求解该边坡的安全系数，同时分析结果图也能直观地看出潜在滑移面的具体情况，通过对东帮边坡分析研究，可以得出以下结论：

- 1) 基于 Geo-Studio 数值软件对岩质边坡稳定性的研究，具有快捷、精确、直观等优点，对露天煤矿

边坡稳定性研究具有积极意义;

- 2) 在相同工程条件下, 各分析方法求解结果相似, 其中 Janbu 法求解结果距临界值最小, 所以东帮边坡存在滑坡的可能;
- 3) 在地下水的影响下, 相同分析方法求解的安全系数降低, 边坡稳定性更差, 因此在边坡治理过程中, 应尽量降低地下水位, 从根本上减小地下水对边坡稳定性的不利影响;
- 4) 地下水的影响没有改变东帮边坡的破坏形式, 东帮边坡的滑动面很可能为圆弧或是圆弧 - 顺层模式, 这就需要工作人员及时治理边坡, 预先消除东帮边坡的安全隐患。

参考文献

- [1] 王伟. 宝利露天煤矿端帮边坡稳定性分析[J]. 露天采矿技术, 2019, 34(5): 94-97.
- [2] 张金贵. 露天煤矿工作帮边坡破坏模式及稳定性控制研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(9): 132-135.
- [3] 杨青潮. 水对露天矿高边坡稳定性影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳大学, 2012.
- [4] 王婉青, 陈印, 杨溢. 某露天煤矿采场边坡稳定性分析[J]. 煤矿机械, 2016, 37(12): 63-65.
- [5] 向章波, 张家铭, 周晓宇, 等. 基于 Slide 的某红层路堑边坡稳定性分析[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(4): 90-95.
- [6] 韩万东, 张冀东, 张学东, 等. 胜利一号露天煤矿排土场边坡稳定性分析及评价[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(10): 15-17.
- [7] 刘明新. 胜利东二露天煤矿内排土场边坡稳定性研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(24): 16-19.
- [8] 孔令伟, 张信, 秦文清. 胜利东二号露天矿首采区推进方案边坡稳定性分析[J]. 露天采矿技术, 2015(11): 11-14.
- [9] 高焕然, 吕淑然, 王婉青, 等. 某露天煤矿边坡稳定性分析及治理措施[J]. 现代矿业, 2018, 34(4): 193-195.
- [10] 李雪梅, 陈玉明, 袁利伟, 等. 降雨对某露天矿风化砂质边坡稳定性影响规律研究[J]. 中国钨业, 2016, 31(2): 11-16.
- [11] 许东. 基于 FLAC 模拟的露天煤矿边坡稳定性分析评价[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(1): 84-86.
- [12] 迟学海. 嘉福露天煤矿边坡稳定性分析[J]. 中外企业家, 2018(3): 226-227.
- [13] 石耀国. 魏家峁露天矿边坡稳定性分析与研究[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2019.
- [14] 刘干, 张晓敏, 李晓俊, 等. 弱层蠕变对边坡稳定性的影响[J]. 露天采矿技术, 2019, 34(2): 56-58+62.