

# 基于 SLIDE 软件矿山边坡稳定性 分析的研究

Research on Stability Analysis of Mine Slope Based on SLIDE Software

李军成 (绍兴源兴企业管理咨询有限公司, 浙江 绍兴 311800)

**摘要:** 本文通过介绍对绍兴县毛婆溪石材矿现状边坡的稳定性研究的内容, 揭示中仿 Slide 6.0 边坡分析软件在矿山边坡分析中的应用方法。中仿 Slide 6.0 边坡分析软件能直接显示边坡安全系数的计算结果, 但在不同的工况下或者使用不同的分析方法会得到不同的计算结果。本文所使用的方法对其他同类矿山具有一定参考意义。

**关键词:** Slide; 稳定性分析; 安全系数

**中图分类号:** TD325 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)02-0015-06

**Abstract:** This article introduces the content of the research on the stability of the existing slope of Maoboxi Stone Mine in Shaoxing County, and reveals the application method of slope analysis software in mining slope analysis, which is modeled after Slide 6.0. The Slope 6.0 slope analysis software can directly display the calculation results of slope safety factors, but different calculation results can be obtained under different working conditions or using different analysis methods. The method used in this article has certain reference significance for other similar mines.

**Key words:** Slide; stability analysis; safety factor

## 1 前言

近年来我国对矿业生产安全越来越重视, 对矿山安全监管的力度也越来越大。对地下矿山监管重点在采空区及提升运输系统, 对露天矿山监管重点在矿山边坡的稳定性。现国家已经要求对总高度达 100 m 及以上的矿山边坡进行稳定性分析, 各省、市也相继出台文件要求对矿山边坡进行稳定性分析, 尽管各省、市文件要求的标准不尽一致, 但都比国家矿山安全监察局的文件要严格, 由此催生了大量边坡稳定性分析的需求。由于此前很少矿山进行过边坡稳定性分析, 导致很多矿山技术人员对边坡稳定性分析无法入手、无从下手。本文通过介绍对绍兴县毛婆溪石材矿现状边坡的稳定性研究的内容, Slide 6.0 软件为基础介绍一种边坡稳定性分析的方法, 希望能给业内人士提供一些指导和帮助<sup>[1-3]</sup>。

中仿 Slide 6.0 软件是一款评价岩质或土质边坡安全系数或者失效概率的二维极限平衡程序, 滑

面可以是圆弧或者非圆弧形式, 可以利用 CAD 软件建立边坡模型<sup>[4-5]</sup>。运用中仿 Slide 6.0 边坡分析软件, 采用毕肖普法或扬布普遍条分法对边坡按各种荷载组合工况下的进行稳定性计算。在对所有可能存在的滑动面进行自动搜索的基础上, 再对边坡进行力学平衡计算, 从而求出最小的边坡稳定安全系数<sup>[6-10]</sup>。

## 2 矿山边坡现状

### 2.1 地质概况

边坡上部局部为第四系(Q), 岩性分为地表残坡积覆盖表土层。覆盖表土层厚度 1.7 ~ 3.2 m。为灰黑色的亚黏土、砂土、砾石等, 或为黄色的亚黏土、砂土等。

风化层位于覆盖表土层之下, 铅直厚度 1.7 ~ 2.9 m, 风化层平均厚度 2.14 m, 岩性为黄色或者粉色风化闪长岩。岩石中原有部分结构已破坏, 其中长石矿物成分已明显变化, 节理、裂隙发育, 呈碎裂镶嵌结构。

基岩总体特征是在层次不同的青灰色背景上, 比较均匀地分散一些黑色芝麻点, 具有色泽稳定, 色调素质不俗的外观特征。同时, 色斑、色线甚少, 没有砂眼, 可拼性好等。矿区内广泛出露燕山晚期第一次侵入的

[作者简介] 李军成 (1989—), 男, 工程师, 主要从事露天矿开采工作。

[引用格式] 李军成. 基于 SLIDE 软件矿山边坡稳定性分析的研究[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(2): 15-20.

郭家山岩体,岩体与围岩为侵入接触。岩石为细中粒辉石闪长岩。颜色为浅灰-绿灰色,半自形粒状结构,局部可见不等粒结构和细粒斑状结构。

## 2.2 边坡概况

矿山南东侧已经形成 +88.5 m、+97.8 m、+110 m、+113 m、+127 m 共5级不规则边坡,台阶高度3~29 m,平台宽度0~6 m,台阶边坡角 $44^{\circ}$ ~ $80^{\circ}$ 。

矿山中部北侧已经形成 +87 m、+97.5 m、+106 m、+111 m 共4级不规则边坡,台阶高度5~13 m,平台宽度2~6 m,台阶边坡角 $34^{\circ}$ ~ $80^{\circ}$ 。根据现场勘察,矿山中部北侧边坡岩面上有明显的裂隙斜切边坡,局部已经产生掉块。边坡上部地表已经出现裂缝,岩面裂隙雨后有水流出,裂隙应已经通达地表。锯切边坡在裂隙处有蠕变现象。

矿山东北侧已经形成 +87 m、+90 m、+97 m、+104 m、+111 m 共5级不规则边坡,台阶高度3~10 m,平台宽度5~40 m,台阶边坡角 $9^{\circ}$ ~ $37^{\circ}$ 。此处边坡未发现断层及节理裂隙。

矿山西北侧已经形成 +87 m、+91 m 共2级不规则边坡,台阶高度3~24 m,平台宽度5~18 m,台阶边坡角 $64^{\circ}$ ~ $90^{\circ}$ 。

矿山南侧已经形成 +88.7 m、+97.8 m、+107.2 m、+128.5 m 共4级不规则边坡,台阶高度9~11.3 m,平台宽度4~25 m,台阶边坡角 $26^{\circ}$ ~ $75^{\circ}$ 。

由于其他边坡尚未出现危险征兆,本文仅对出现危险征兆的矿山中部北侧的边坡进行分析。

## 2.3 选取的力学参数

从该矿山既有的工程地质资料来看,计算该评估区边坡稳定系数主要以这3种工程岩体类型为主,分别是第四系组、风化层、闪长岩。计算参数由《矿山地质报告》和相关规范标准综合分析取得,各岩层具体参数取值见表1。

表1 岩体介质的力学参数

岩性	内摩	黏聚	容重/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	饱和	地震震动 峰值加 速度为/g	爆破震动 峰值加 速度为/g
	擦角/ $(^{\circ})$	力/ kPa		容重/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$		
表土	20	25	18	18.18		
风化层	27	29	22	22.3	0.15	0.09
闪长岩	55	2100	27.4	27.54		
节理夹层	18	70	22	22.15		

## 3 建模及计算

通过大量工程实践研究,采用极限平衡法分析边坡稳定性是可行的,也是可靠的,且快捷准确。矿山的各类型边坡一贯采用极限平衡法进行稳定性分析,也是本文采用极限平衡法的依据;滑动面常呈圆弧或折线的形态,也是遵循极限平衡法应用的前提条件,故可采用简化毕肖普法或传统的瑞典条分法进行计算。

本文选用中仿 Slide 6.0 软件,该软件提供多种常用的极限平衡计算方法供使用者选择,可方便快捷地计算边坡非圆弧或圆弧滑动面的稳定性系数,已广泛应用于排土场坝体、尾矿库坝体、矿山露天边坡、公路或铁道边坡等的稳定性分析。同时,考虑地质岩体属性的差异性,通过调整相关参数,能贴合矿山边坡的实际情况,使得边坡稳定的安全系数分析成为可能。

本文利用 CAD 软件建立边坡模型。运用中仿 Slide 6.0 边坡分析软件,采用毕肖普法或扬布普遍条分法对边坡按自重+地下水、自重+地下水+爆破振动力、自重+地下水+地震力及极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力4种荷载组合工况下的进行稳定性计算。

### 3.1 软件计算原理

衡量矿山边坡稳定性的重要指标是安全系数。对边坡的稳定性进行数值模拟分析的时候,假如使用极限平衡法,如果边坡恰好处在一个极限平衡状态,此时安全系数 $K=1$ 。在实际工程当中,真正模拟自然真实条件下的边坡稳定性模拟计算时,因为有很多外界因素在影响着边坡能否达到稳定,所以需要留出一定的安全系数储备。

中仿 Slide 6.0 软件是一款评价岩质或土质边坡安全系数或者失效概率的二维极限平衡程序,滑面可以是圆弧或者非圆弧形式。程序计算方法基于竖条分法极限平衡分析(例如,毕肖普法,扬布普遍条分法,Spencer等)。

本文采用毕肖普法和扬布普遍条分法进行计算,方法是极限平衡理论基础上的条分法,在对所有可能存在的滑动面进行自动搜索的基础上,再对边坡进行力学平衡计算,从而求出最小的边坡稳定安全系数,以求结果的全面和准确。

### 3.2 建模过程及计算结果

#### 1. 对有滑坡风险的边坡 Slide 建模过程

Slide 的建模方法有两种,一种是采用坐标建模法,是直接在 Slide 软件中输入坐标的方法。该方法应用起来比较麻烦,主要是坐标换算的工作量较大,用时较长。本文不采用该方法建模,在此不作详细介绍。

另一种是采用 CAD 软件建模法,利用 CAD 软件建立模型,再导入 Slide 软件中。该方法较简单方便。详细制作过程如下:

先利用 CAD 软件绘出需要作稳定性分析分析的边坡的剖面图。然后用多段线分别绘制模型外轮廓线、地层分界线、节理裂隙或断层模拟界线、地下水位线和锚杆线等,外轮廓线要闭合。CAD 软件建模结果如图 1 所示。

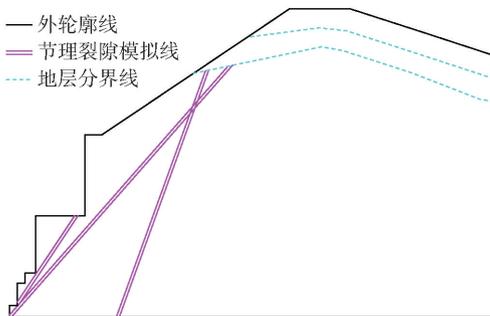


图 1 CAD 软件建模结果图

然后新建一 CAD 图,把外轮廓线复制到新建的 CAD 图中,另存为 \* w. dxf 文件;再新建一 CAD 图,把地层分界线、节理裂隙或断层模拟界线到新建的 CAD 图中,另存为 \* b. dxf 文件。

下一步把 \* w. dxf 文件和 \* b. dxf 文件导入 Slide 软件。模型导入中仿 Slide 6.0 软件初步结果如图 2 所示。

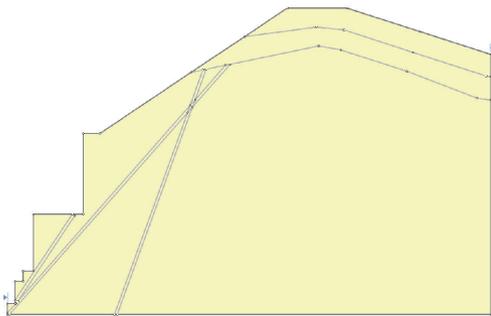


图 2 模型导入中仿 Slide 6.0 软件初步结果图

由上图 2 可知模型的剖面已经被大致划分为表土、风化层、闪长岩、节理夹层四种类型,其中最上层为表土层,上部第二层为风化层,底层为闪长岩,两根节理裂隙或断层模拟界线之间为节理夹层,只需要把各岩体的地质力学属性进行赋值即可。

赋值前先设置地质力学属性参数,地质力学属性参数设置完成后,在 Slide 软件的模型中表土层的位置,右键--Assign Material--表土层,给表土层赋值;用同样的方法完成风化层、闪长岩、节理夹层的赋值。赋值后的建模结果如图 3 所示。

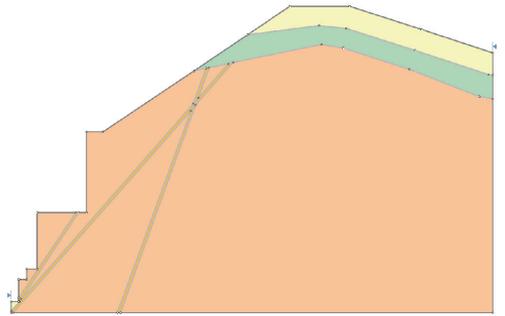


图 3 建模结果图

至此一个根据矿山边坡实际而建的 Slide 6.0 边坡边坡模型已完成。

## 2. 对有滑坡风险的边坡计算及结果分析

在中仿 Slide 6.0 边坡分析软件中,滑动面的形式可以有两种选择,即圆弧滑动面和非圆弧滑动面。由于边坡破坏形式并未确定,所以这 2 种滑动面形式均有出现的可能性,这要求对 2 种滑动面形式进行分别的计算。

### 1) 圆弧滑动面计算分析

#### (1) 滑动面寻找方法

在中仿 Slide 6.0 边坡分析软件中选择圆弧滑动形式进行计算,进一步选择自动搜索破坏面的方式来找到安全系数最小的滑动面进行安全系数的计算。具体的操作为:在主菜单点 Surface--Surface Type--在弹出对话框中左上角选择 Circular,右上角下拉菜单选择 Slope Search--OK 即可。

#### (2) 计算

##### ① 计算操作步骤

在计算之前先保存文件,可以存成 quick. sli,中仿 Slide 6.0 软件文件以 sli 为后缀。

具体的操作为:File--Save 或者利用另存为来保存文件,然后软件会自动运行 Slide Compute 计算程序。

Slide Compute 程序会在分析时保持运行,计算会耗费少许时间,当计算完成后,你可以在 Interpret 中查看计算结果。

##### ② 显示计算结果

具体的操作为:Analysis--interpret,点击后弹出

计算结果。

### (3) 计算结果分析

经上一步取得计算结果后,还可以通过调整荷载取得不同荷载(如地震、爆破)组合工况下的计算结果。按自重+地下水、自重+地下水+爆破振动力、自重+地下水+地震力及极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力4种荷载组合工况工况进行调整后,计算结果如图4、图5、图6、图7所示。

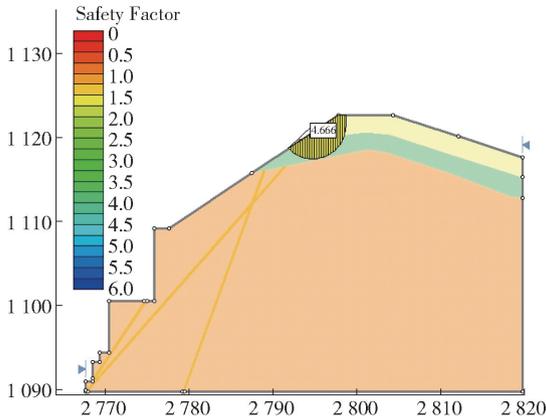


图4 自重+地下水工况下计算结果

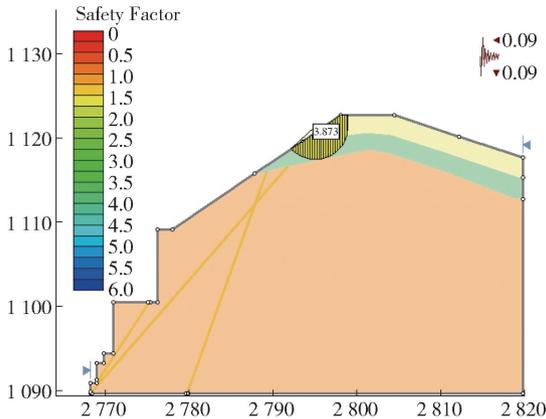


图5 自重+地下水+爆破振动力工况下计算结果

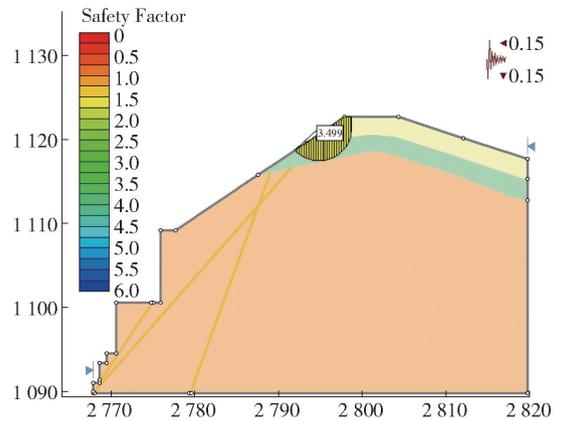


图6 自重+地下水+地震力工况下计算结果

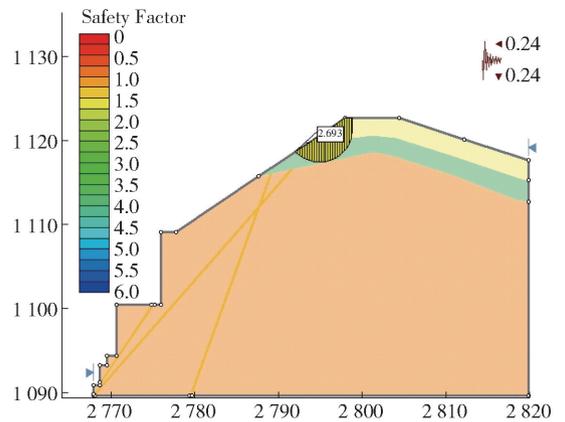


图7 自重+地下水+爆破振动力+地震力工况下计算结果

在不同荷载组合工况下的计算结果汇总,见表2。

表2 圆弧式滑动安全系数汇总表

荷载组合	自重+地下水	自重+地下水+爆破振动力	自重+地下水+地震力	自重+地下水+爆破振动力+地震力
安全系数	4.666	3.873	3.499	2.693

通过表2可知,按自重+地下水、自重+地下水+爆破振动力、自重+地下水+地震力及极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力4种荷载

组合工况进行计算,安全系数变化不大,说明工况将会影响计算结果,但不是决定性因素。按4种工况计算得到的安全系数均远远大于1,说明该边坡不会发生圆弧式滑动。

### 2) 非圆弧滑动面计算分析

#### (1) 滑动面寻找方法

在中仿 Slide 6.0 边坡分析软件中选择非圆弧滑动形式进行计算。矿山边坡岩面经产生掉块,边坡上部地表已经出现裂缝,岩面裂隙雨后有水流出。锯切边坡在裂隙处有蠕变现象,所以需沿软弱夹层发育的位置设置一个不规则的滑动面。与计算圆弧滑动破坏不同,非圆弧滑动面破坏的计算采用扬布普遍条分法进行条块计算,不存在滑动面圆心,仅需指示软件按实际情况设置的一个不规则滑动面进行计算即可,而且仅有唯一的计算结果。具体的操作为:在主菜单点 Surface--Surface Type--在弹出对话框中左上角选择 Non - Circular,右上角下拉菜单选择 Path Search--OK,然后 Surface--Add Grid--通过鼠

标在模型上指定不规则的滑动面,即可。

(2) 计算

① 计算操作步骤

在计算之前先保存文件,可以存成 quick. sli, 中仿 Slide 6.0 软件文件以 sli 为后缀。

具体的操作为:File--Save 或者利用另存为来保存文件,然后软件会自动运行 Slide Compute 计算程序。

Slide Compute 程序会在分析时保持运行,计算会耗费少许时间,当计算完成后,你可以在 Interpret 中查看计算结果。

② 显示计算结果

具体的操作为:Analysis--interpret, 点击后弹出计算结果。

(3) 计算结果分析

经上一步取得计算结果后,还可以通过调整荷载取得不同荷载(如地震、爆破)组合工况下的计算结果。按自重+地下水、自重+地下水+爆破振动力、自重+地下水+地震力及极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力4种荷载组合工况进行调整后,计算结果如图8、图9、图10、图11所示。

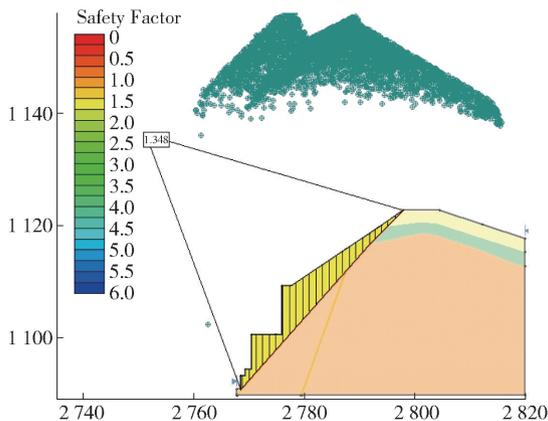


图8 自重+地下水工况下计算结果

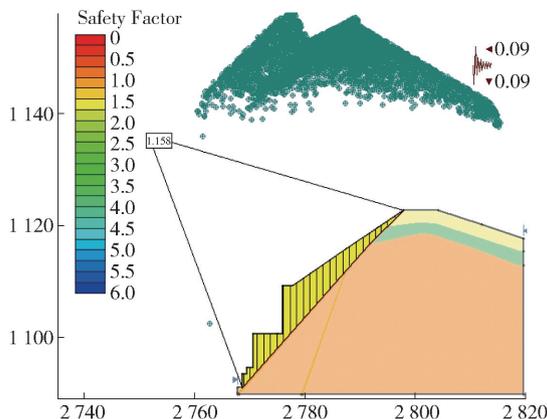


图9 自重+地下水+爆破振动力工况下计算结果

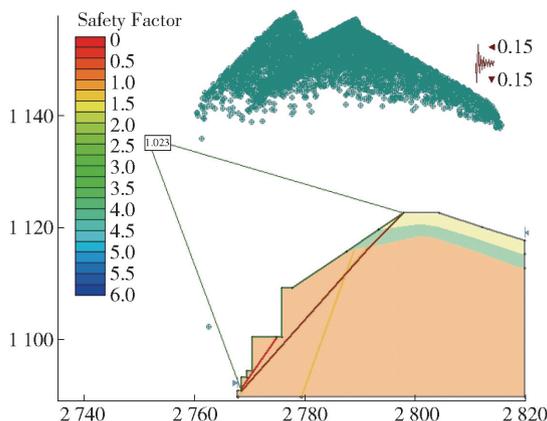


图10 自重+地下水+地震力工况下计算结果

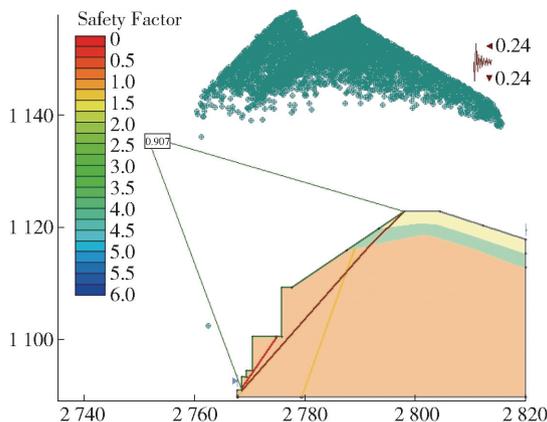


图11 自重+地下水+地震力工况下计算结果

在不同荷载组合工况下的计算结果汇总,见表3。

表3 非圆弧式滑动安全系数汇总表

荷载组合	自重+地下水	自重+地下水+爆破振动力	自重+地下水+地震力	自重+地下水+爆破振动力+地震力
安全系数	1.348	1.158	1.023	0.907

通过表3可知,按自重+地下水、自重+地下水+爆破振动力、自重+地下水+地震力及极端情

况下自重+地下水+爆破振动力+地震力等4种荷载组合工况进行计算,安全系数变化不大,说明工况将会影响计算结果,但不是决定性因素。前3种工况计算得到的安全系数均略大于1,说明该边坡暂时处于稳定状态,但安全余量不足。边坡安全系数在荷载组合:自重+地下水+地震力的工况下,边坡安全系数最低为1.023,小于1.05,不符合《非煤露天

矿边坡工程技术规范》(GB 51016—2014)第 3.0.9 条规定,边坡存在滑坡的征兆和条件,边坡存在安全隐患。极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力的工况下安全系数小于 1,容易发生滑坡事故。

### 3. 对无滑坡风险的边坡 Slide 建模过程

为验证 Slide 边坡分析计算方法的准确性,选择矿山东北侧未发现断层及节理裂隙的边坡进行建模。

无滑坡风险的边坡 Slide 建模过程与有滑坡风险的边坡 Slide 建模过程基本一致,只是不需要对节理裂隙或断层模拟界线进行建模,此处不再赘述。

### 4. 对无滑坡风险的边坡计算及结果分析

无滑坡风险的边坡边坡计算过程与有滑坡风险的边坡边坡计算过程基本一致,此处不再赘述。

由于篇幅所限,本文仅提供无滑坡风险的边坡在极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力荷载组合工况下圆弧滑动面和非圆弧滑动面计算分析结果,以验证 Slide 边坡分析计算方法的准确性。计算结果如图 12、图 13 所示。

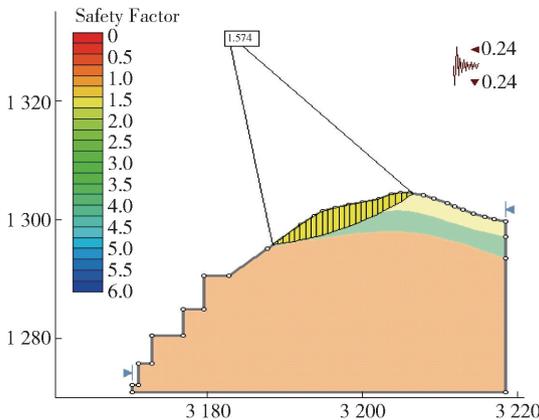


图 12 极端工况下圆弧滑动面计算分析结果

通过图 12 和图 13 可知,在自重+地下水+爆破振动力+地震力荷载组合的极端工况下进行计算,得到的边坡安全系数仍大于 1,说明该边坡不会发生滑动,也证明 Slide 边坡分析方法是准确的。

## 4 结论

(1)在中仿 Slide 6.0 边坡分析软件中对于岩质边坡采用非圆弧式滑动面比圆弧式滑动面更贴合实际,计算结果更准确。

(2)边坡安全系数在载荷组合:自重+地下水+地震力的工况下,边坡安全系数最低为 1.023,小于 1.05,不符合《非煤露天矿边坡工程技术规范》

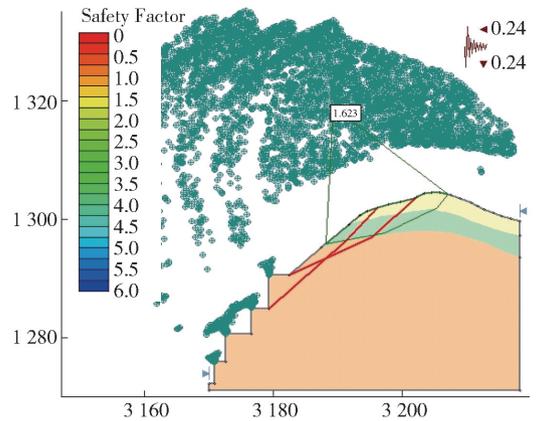


图 13 极端工况下非圆弧滑动面计算分析结果

(GB 51016—2014)第 3.0.9 条规定,边坡存在滑坡的征兆和条件,边坡存在安全隐患。极端情况下自重+地下水+爆破振动力+地震力的工况下安全系数小于 1,容易发生滑坡事故。

(3)在正确的建模前提下,Slide 6.0 软件可以对边坡是否会滑坡的判断提供有力的帮助。

### 【参考文献】

- [1] 熊赞民,高全臣,王春来. SLIDE 在深基坑支护可靠性分析中的应用[J]. 矿业研究与开发,2008(2):39-41.
- [2] 乐慧琳,魏继红,施威,等. SLIDE 和 FLAC 在某水电站边坡稳定性分析中的应用及对比[J]. 西华大学学报(自然科学版),2016,35(1):103-107.
- [3] 罗卫民. 基于 slide 软件对边坡稳定性分析[J]. 水利科技与经济,2019,25(11):45-49.
- [4] 朱赞成,徐化祥,宋卫东,等. 大黑山铝矿非永久性边坡稳定性研究[J]. 铁道建筑,2007(6):65-68.
- [5] 李毅,伍嘉,李坤,等. 基于 FLAC<sup>3D</sup> 的饱和-非饱和和渗流分析[J]. 岩土力学,2012,33(2):617-622.
- [6] 蒋鑫,高小峰,邱延峻,等. 斜坡软弱地基路堤复式滑面的极限平衡法判识[J]. 铁道学报,2014,36(8):91-97.
- [7] 陈飞,杨诗义,王家成,等. 用 ANSYS 和 FLAC3D 软件求解边坡稳定安全系数的比较分析[J]. 水利与建筑工程学报,2010,8(1):104-106.
- [8] 李建伟,范柱国. 基于 SLIDE 软件和理正软件的边坡稳定性分析对比研究[J]. 价值工程,2014,33(21):128-129.
- [9] 官长亮,刘志超,刘述栋,等. Slide 和 Midas 软件在排土场边坡稳定分析及治理中的应用[J]. 勘察科学技术,2018(5):35-39.
- [10] 吴华,史永强. 边坡生态工程效果评价方法探究[J]. 有色冶金节能,2020,36(6):5-10.