

# 双平面岩质边坡稳定性规律研究

肖翠霞

武汉市汉阳市政建设集团有限公司 湖北武汉 430050

**摘要:** 本文首先基于典型的露天矿山采场边坡概化了双平面岩质边坡地质模型, 然后采用数值模拟分析了双平面岩质边坡破坏机理和稳定性, 最后采用极限平衡方法系统地研究了双平面岩质边坡在滑体厚度、节理倾角和节理强度参数下的安全系数规律。研究结果表明: 离散元数值模拟和极限平衡方法计算双平面岩质边坡具有一致性; 双平面岩质边坡安全系数随滑体厚度变大呈现先减小后增大的特征; 边坡安全系数随陡倾节理增大而减小, 随缓倾节理增大而增大。研究成果可为类似双平面岩质边坡稳定性分析和加固治理提供借鉴。

**关键词:** 岩质边坡; 双平面破坏; 安全系数; 稳定性规律

## Study on stability law of bi-plane rock slope

Cuixia Xiao

Wuhan Hanyang Municipal Construction Group Co., Ltd. Wuhan 430050, Hubei

**Abstract:** This article first generalized the geological model of the double-plane rock slope based on a typical open-pit mining slope, and then used numerical simulation to analyze the failure mechanism and stability of the double-plane rock slope. Finally, the limit equilibrium method was used to systematically study the safety factor law of the double-plane rock slope under the thickness of the sliding body, joint dip angle, and joint strength parameters. The research results showed that the discrete element numerical simulation and the limit equilibrium method calculation for the double-plane rock slope were consistent. The safety factor of the double-plane rock slope decreased first and then increased with the increase of the sliding body thickness. The safety factor of the slope decreased with the increase of the steeply dipping joint and increased with the increase of the gently dipping joint. The research results can provide reference for the stability analysis, reinforcement, and treatment of similar double-plane rock slopes.

**Keywords:** rock slope; Biplane failure; Safety factor; Stability law

### 引言

岩质边坡广泛存在于铁路、公路、矿山、水利水电等基本工程建设领域。在原生作用或构造作用下, 坡内常常发育大量结构面, 这使得岩体强度弱化, 边坡稳定性劣化, 经常发生大型滑坡, 如霸王山、瓦伊昂、千将坪和鸡尾山滑坡等。

岩质边坡内部发育产状不一的结构面, 具有显著的坡体结构特征, 破坏模式复杂。平面滑动是一种常见的岩质边坡滑动破坏, 由一组出露坡面的结构面控制, 主要表现为平面滑移或蠕滑-拉裂式滑动, 破坏模式清楚, 易于查明并加固。双平面滑坡是指由陡倾和缓倾两组节理控制的岩质边坡滑动破坏, 破坏深度大、规模大、危害巨大, 常见于大型岩质滑坡中<sup>[1]</sup>。

### 一、双平面岩质边坡模型

#### 1.1 边坡地质条件背景

山西大同花岗岩矿采用露天开采方法, 为了节省成本, 往往沿着陡倾节理面向下开挖, 形成了采场顺层岩质高陡边坡。边坡岩性为黑云斜长片麻岩, 呈中风化。坡体内发育顺坡面的陡倾节理和出露坡面的缓倾节理。

本文以山西大同华北花岗岩矿采场边坡为例, 进行双平面岩质边坡地质模型概化。华北矿现场详细地质调查结果表明, 坡体内主要发育三组优势节理, 产状分别为  $75^\circ \angle 66^\circ$  (1#, 顺坡面),  $73^\circ \angle 31^\circ$  (2#, 缓倾坡外),  $179^\circ \angle 82^\circ$  (3#, 近垂直坡面), 节理的极点等密图如图1所示。1#节理顺坡面发育, 呈剪性, 略有起伏, 基本无张开, 无充填, 延伸性很好, 平均间距约0.3m; 2#节理缓倾坡外, 也呈剪性, 略有起伏, 基本无张开, 无充填, 延伸性较好, 平均间距约0.5~0.6m; 3#节理与坡面走向近垂直, 呈剪性, 平直, 延伸性差<sup>[2]</sup>。

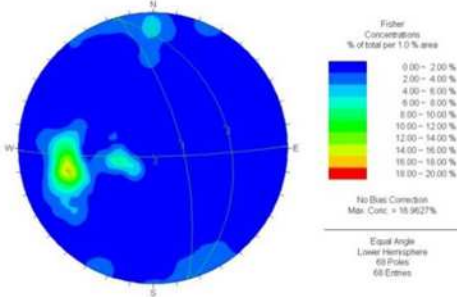
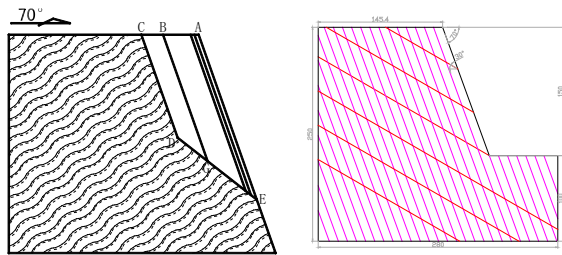


图1 节理极点等密图

## 1.2 地质几何模型

目前华北矿开采形成的岩质边坡高度约为 140–200m，边坡模型如图 2 所示。典型的边坡地质模型如图 2(a) 所示，从图中可以看出该类边坡容易发生双平面滑动破坏（如 CDE 破坏形式），表现为以产状  $75^\circ \angle 66^\circ$  的 1# 节理和产状  $73^\circ \angle 31^\circ$  的 2# 节理的组合面为主要滑动面的顺向滑动，产状为  $179^\circ \angle 82^\circ$  的 3# 节理构成滑移体的侧缘边界。边坡基本几何模型如图 2(b) 所示，边坡高度 150m，陡倾节理倾角  $70^\circ$ ，缓倾节理倾角  $30^\circ$ 。



(a) 地质模型 (b) 几何模型 (单位: m)

图2 双平面岩质边坡模型

## 二、离散元数值模拟

### 2.1 模型和参数

根据图 2(b) 所示的双平面岩质边坡基本模型建立离散元数值模型，数值模拟中，采用边坡数值模拟常用边界条件，即模型底边界固定法向和切向速度，侧边界固定法向速度。岩块使用摩尔库伦破坏准则，节理使用库伦滑移破坏准则。

### 2.2 结果与分析

采用离散元数值模拟所得结果显示，计算采用强度折减法，同时折减岩块和节理强度参数，在折减 1.16 倍时，坡体内塑性区贯通，形成完整双平面滑体。滑体主要集中在靠近坡面的 30m 范围内，呈现明显的沿两组节理滑移的双平面滑动特征，因主滑体滑动形成临空位置，致使后部岩体亦有向下滑动趋势。双平面滑体的塑性区分布图显示坡脚岩体呈现明显的剪切破坏特征，并与陡倾节理贯通形成完整破坏面<sup>[3]</sup>。

极限平衡方法原理简单，计算准确，实用方便，广泛受到工程师和相关学者的青睐。基于极限平衡理论，

采用 SLIDE 软件计算基本边坡模型在基本参数下的安全系数显示边坡最小安全系数为 1.167，对应的滑体厚度为 30m。这与数值模拟强度折减法所得边坡安全系数为 1.16，主滑体厚度为 30m 的计算结果一致，两种方法得以相互验证。

## 三、边坡安全系数规律

### 3.1 几何参数影响

为分析滑体厚度 (D)、陡倾节理倾角 ( $\beta$ ) 和缓倾节理倾角 ( $\alpha$ ) 对边坡安全系数 ( $F_s$ ) 的影响，现取 D 为 10、20、30、40、50m， $\alpha$  为  $20^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $40^\circ$ ， $\beta$  为  $50^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$  来进行分析，计算所得  $F_s$  如图 3 所示。

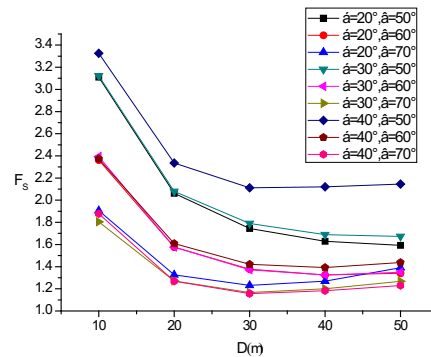


图3 不同  $\alpha$ 、 $\beta$ 、D 组合下  $F_s$  的变化

从图 3 可以看出，在不同陡倾和缓倾节理倾角组合下，边坡安全系数随滑体厚度变大呈现先减小后增大的趋势，存在一个最小安全系数，由此可得双平面岩质边坡存在一个最危险滑体厚度，这个结论与 Sun 等研究结果一致。在相同滑体厚度和缓倾节理倾角条件下，边坡安全系数随陡倾节理倾角增大而减小；这主要是由于陡倾节理越陡，对应的滑体下滑力越大，滑体安全系数就越小<sup>[4]</sup>。在相同滑体厚度和陡倾节理倾角条件下，边坡安全系数随缓倾节理倾角增大而略微增大；这主要是由于缓倾节理对双平面滑体体积影响显著，缓倾节理倾角越大，对应的滑体体积越小，能产生的下滑力较小，使得安全系数较大<sup>[5]</sup>。

### 3.2 节理强度影响

为分析节理粘聚力和内摩擦角 ( $c$ ,  $\phi$ ) 对边坡安全系数 ( $F_s$ ) 的影响，保持基本模型几何参数不变，取  $c$  为 0.3、0.4、0.5MPa， $\phi$  为  $32^\circ$ 、 $38^\circ$ 、 $44^\circ$  来进行分析，计算所得  $F_s$  如图 4 所示。

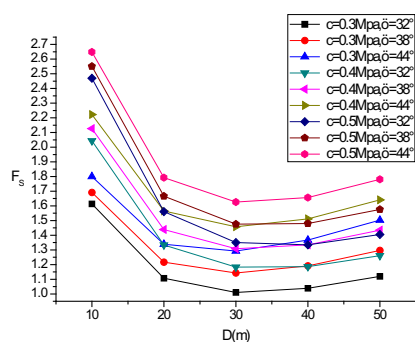


图4 不同节理强度  $c$  和  $\phi$  组合下,  $D$  和  $F_s$  的关系

从图4可以看出,节理粘聚力相同时双平面岩质边坡安全系数随内摩擦角增大而增大,节理内摩擦角相同时双平面岩质边坡安全系数随粘聚力增大而增大<sup>[6]</sup>。在不同节理强度参数组合下边坡安全系数同样随滑体厚度变大呈现先减小后增大的特征,这与图3中边坡安全系数变化规律一致,均说明双平面岩质边坡存在一个最小安全系数对应的最危险滑体厚度。

#### 四、结论

本文首先基于典型的露天矿山采场边坡概化了双平面岩质边坡地质模型,然后采用数值模拟分析了双平面岩质边坡破坏机理和稳定性,最后采用极限平衡方法系统地研究了双平面岩质边坡在滑体厚度、节理倾角和节

理强度参数下的安全系数规律,得到了主要结论如下:

(1) 离散元数值模拟和极限平衡方法计算双平面岩质边坡具有一致性,两者计算所得边坡安全系数和滑体破坏厚度均一致。

(2) 双平面岩质边坡安全系数随滑体厚度变大呈现先减小后增大的特征,存在一个最小安全系数对应的最危险滑体厚度。

(3) 双平面岩质边坡高度一定时,边坡安全系数随陡倾节理增大而减小,随缓倾节理增大而增大。

#### 参考文献:

- [1] 陈德川,王坚.二滩水电站近坝库岸霸王山滑坡稳定性分析[J].大坝与安全,2003,3: 6-9.
- [2] 王兰生.意大利瓦伊昂水库滑坡考察[J].中国地质灾害和防治学报,2007,18(3): 145-148.
- [3] 肖诗荣,刘德富,胡志宇.三峡库区千将坪滑坡地质力学模型研究[J].岩土力学,2007,28(7): 1459-1464.
- [4] 殷跃平.斜倾厚层山体滑坡视向滑动机制研究——以重庆武隆鸡尾山滑坡为例[J].岩石力学与工程学报,2010,29(02): 217-226.
- [5] 陈龙龙.双组交错结构面型顺层岩质边坡失稳机制研究[D].中国地质大学(北京),2018.
- [6] 马力.两组结构面控制下岩质高边坡的稳定性分析[D].湖北工业大学,2019.