

# 某采掘场滑坡地质灾害综合治理研究

谢 潇<sup>1,2,3,4</sup>, 王璐瑶<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

<sup>4</sup>自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

收稿日期: 2025年2月21日; 录用日期: 2025年3月21日; 发布日期: 2025年5月12日

## 摘要

露天矿边坡的稳定性关系到露天矿安全生产, 是矿山开采设计和生产过程中应解决的安全技术问题。针对露天矿边坡的稳定性及治理问题, 本文以某采掘滑坡为研究对象, 探讨了矿山采掘边坡的形成原因及治理技术, 同时评估对比了两种不同的滑坡治理方案。结果表明该滑坡一方面是因为断层破坏, 岩石稳固性较差, 另一方面由于矿山开发, 在采掘工作帮边坡上部导致局部岩土体滑落, 造成边坡属于欠稳定至不稳定状态。综合考虑边坡稳定性状态、周边地质环境及开采资源, 设计了削坡 + 清运 + 平整 + 修建排水沟和削坡减载 + 清运 + 重力式挡墙 + 修建排水沟两种边坡治理方案, 并对其进行了综合评估和比选, 确定了兼顾边坡稳定性和下部煤层最大化开采的边坡治理方案。

## 关键词

边坡稳定性, 滑坡治理, 地质灾害

# Study on Comprehensive Treatment of Landslide Geological Disaster in a Mining Field

Xiao Xie<sup>1,2,3,4</sup>, Luyao Wang<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2025; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2025; published: May 12<sup>th</sup>, 2025

文章引用: 谢潇, 王璐瑶. 某采掘场滑坡地质灾害综合治理研究[J]. 矿山工程, 2025, 13(3): 475-480.  
DOI: 10.12677/me.2025.133052

## Abstract

The stability of the open-pit slope is related to the safety production of open-pit mines, which is a safety technical problem that should be solved in the process of mining design and production. In view of the stability and treatment of open-pit slopes, this paper takes a mining landslide as the research object. The formation reasons and treatment technology of the mining slope were discussed. The results show that, on the one hand, the landslide was caused by fault damage and poor rock stability. On the other hand, due to mine development, local rock and soil mass slips on the upper part of the mining work slope, resulting in the slope being in a state of sub-stability to instability. Considering the slope stability state, surrounding geological environment and mining resources, two slope treatment schemes of cutting slope + clearing transportation + leveling + construction of drainage ditch and cutting slope load reduction + clearing transportation + gravity retaining wall + construction of drainage ditch are designed. The comprehensive evaluation and contrastive selection are carried out. The slope treatment scheme that takes into account the slope stability and the maximum mining of the lower coal seam is determined.

## Keywords

Slope Stability, Landslide Control, Geological Disasters

Copyright © 2025 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

露天采矿中, 边坡的稳定性对于确保开采活动的安全至关重要。露天矿边坡的稳定性既关系到工程的安全, 也是影响开采作业深度和开采效率的重要因素之一, 是相关企业安全管理的重要内容[1][2]。边坡的稳固性不仅构成了工程安全的核心, 而且直接影响到采矿作业的深度和效率[3]。近年来, 煤矿的需求量逐渐增加, 导致矿山的开采量也在不断增加, 而一些矿山企业在开采的过程中, 只重视效率, 忽略了安全性问题, 忽视了边坡稳定性防护, 导致矿山开采过程中的高陡边坡存在, 对人员和设备安全造成极大威胁[4][5]。分析矿区边坡的稳定性及其影响因素, 研究其综合治理方法, 可夯实边坡稳定性基础理论, 有助于预防滑坡事故的发生, 保证矿区人身财产安全, 提升经济和环境效益[6][7], 具有重要的科学意义和工程实践价值。

目前边坡稳定性的分析方法有极限平衡法(Bishop/Janbu 法)、数值模拟方法(如有限元法、有限差分法及离散元法等)、概率分析方法, 还有一些基于监测数据的分析方法[8]。不同分析方法适用于不同边坡类型或者不同阶段需求, 如极限平衡法适用于均质土坡及初步设计阶段, 离散元法适用于碎裂岩体, 数值模拟适用于详细分析阶段及机理研究, 而如果需要实时管理则可用监测数据进行驱动预警。实际工程中可组合使用多种方法, 例如利用极限平衡法初筛后, 通过数值模拟验证, 辅以监测数据动态调整。

在滑坡治理技术方面, 目前传统的方法有排水, 混凝土墙等挡土结构、锚固技术及抗滑桩等。传统方法一般都存在着一定的局限性, 如排水和抗滑桩的成本较高, 且一般依赖地质条件, 施工复杂。挡土结构可能对环境有一定程度的破坏。近年来随着人们对环境保护的重视, 也出现了一些新型的滑坡治理技术, 主要有植被护坡, 微生物诱导矿化加固边坡土体, 高分子及纳米材料的应用和生态混凝土等技术。实际工程中需结合地质条件与灾害类型, 灵活选用治理技术与材料, 同时需加强长期性能评估与成本优

化, 以实现安全、经济、可持续的治理目标。

## 2. 滑坡概况

滑坡体位于某矿区煤矿西侧工作帮边坡, 经过现场勘查, 滑坡体可见多处拉张裂缝, 裂缝宽度 0.2~2.2 m, 整个滑坡可分为 3 个滑块呈阶梯状, 滑坡后缘壁向下延伸, 形成后缘平台, 随后倾角变缓, 形成滑坡台坎, 前缘鼓胀突起。调查过程中, 首先利用遥感、无人机等手段将滑坡体整体形态与外部边界进行圈定, 进而通过钻探和物探手段相结合的方式查证并推断出该滑坡主滑断面及其埋深情况, 为下一步工作部署打好基础。调查显示滑体地层岩性为二叠系上统上石盒子组(P<sub>2</sub>s), 岩性为厚层状含砾粗砂岩、砂岩等组成, 下统山西组(P<sub>1</sub>s), 岩性主要由粗砂岩、中砂岩、砂质泥岩及炭质泥岩、煤层组成, 局部夹粘土岩, 滑体整体透水性较强, 而滑动带地层为砂质泥岩, 其透水能力差, 遇水湿滑。调查显示滑坡区构造特征为存在 F<sub>1</sub> 逆断层(棋盘井逆断层), 该断层位于露天矿区西部边界, 系滑坡区主要地质构造, 为一低角度逆冲推覆断层。该断裂上盘为奥陶系灰岩地层, 下盘为二叠系砂岩、泥岩和石炭系。断层破碎带内岩石呈粉末状且出现断层泥。

影响边坡稳定性的有内在条件和外在条件。其中内在条件包括边坡岩土体类型、地质构造、水文地质条件、边坡形态等; 而外在条件包括气候条件、地震、工程活动等的影响[9]-[11]。综上所述地质特征均有利于滑坡产生。一方面断层的存在使得破碎带内岩石呈粉末状且出现断层泥, 边坡岩体稳定性受到影响, 抵抗外力破坏的能力变差; 另一方面该滑坡由于露天煤矿开采、开挖坡脚导致斜坡体前缘应力缺失、稳定性遭到破坏, 最终导致滑坡产生。

## 3. 研究区区域地质概况

### 3.1. 气象水文

工作区属半沙漠、干旱~半干旱高原大陆性气候, 阳光辐射强烈, 日照丰富。春季少雨多风, 夏季炎热短暂, 秋季多雨凉爽, 冬季寒冷漫长。冬春季节多刮西北风, 夏秋季节多刮东南风, 平均风速 3.2 m/s, 最大风速达 28 m/s。年平均降水量 274.7 mm, 一般降水季节多集中在 7、8、9 三个月内; 年平均蒸发量 3525.7 mm。矿区最高气温 39.4℃, 最低气温-28.8℃。每年 11 月至翌年 5 月初为结冻期, 最大冻土深度 1.50 m。

区内最大沟谷为棋盘井沟, 沿 F<sub>1</sub> 断层北东向延伸, 东北高, 西南低, 向矿区中部发育次一级冲沟。区内大小沟谷均为季节性河流, 一般干枯无水, 只在洪水期才有地表径流, 水流向南东汇入黄河。

### 3.2. 地形地貌

矿区位于东北边缘处, 矿区地形总体上西部较高, 东、中部和南部较低。矿区附近一般地形海拔标高在 1219~1639 m, 最大高差 420 m, 最低点位于矿区南部一采区采坑内, 最高点位于西部边界外的桌子上山上, 矿区范围整体位于沟谷内, 相对较低, 但矿山西部边界外与高陡的山体相邻。华武煤矿矿区地貌按形态特征可划分为两种类型, 即低山丘陵地貌(I)和沟谷地貌(II)。

其中低山丘陵区在该矿区分布较多, 地形波状起伏。山顶呈浑圆状或尖脊状, 坡度较缓, 一般 15°~20° 之间, 表面大部分被第四系黄土层覆盖, 厚度一般小于 20 m。在水流侵蚀作用下, 表面冲沟发育, 冲沟规模不等, 切割深度不一, 一般切割深度小于 10 m。

### 3.3. 土壤与植被

矿区附近地形较平缓处主要的土壤类型有黄绵土、风沙土和栗钙土, 由于长期强烈的水蚀和风蚀作用, 栗钙土、黄绵土与风沙土交错分布。山坡处多为崩落、风化堆积的砂土。梁峁顶多为粗骨性栗钙土,

坡中下部多为侵蚀形成的黄绵土。孔隙度适中, 腐殖质薄, 有机质含量低, 土壤肥力较差。矿区内土壤厚度约为 1 m, 土壤 pH 值在 8.0 左右, 呈偏碱性, 无植被及农作物。

## 4. 滑坡工程地质特征及矿山开发引起的环境地质问题

### 4.1. 滑坡工程地质条件评述

根据露天矿区勘探资料及现场踏勘, 该矿区的工程地质条件评述如下:

本露天矿区各煤层顶底板均以软弱 - 半坚硬岩石为主, 再加上断层的破坏, 因此矿区内煤层顶底板岩石的稳固性较差, 特别是在断层带附近岩石的稳固性更差。根据上述现象以及邻区资料分析, 该矿区工程地质条件按构成露天边坡岩层的岩性、物理力学性质和结构面的发育程度衡量, 应为三类一型, 即: 岩层倾角平缓, 各类结构面不发育, 地下水位深, 含水不丰富, 软弱夹层(面)较少。如果按剥离岩层的岩性和物理力学性质划分, 应为第三类硬岩类, 即: 岩层的抗压强度值一般均在 15 Mpa 以上, 不能采用连续开采工艺。综合上述, 该露天矿工程地质勘探类型为三类二型, 即以层状岩类为主, 工程地质条件中等类型。

### 4.2. 矿山开发引起的环境地质问题

该矿区分两个采区进行开采, 一采区位于矿区南部, 二采区位于矿区北部, 目前, 煤矿东部、南部、北部基本开采到界, 西部矿界沿线仍未开采到界, 矿山在向西侧推进的过程中, 西侧工作帮边坡上部出现局部土岩滑落, 发生滑坡地质灾害, 滑动对矿区西边界内外区域均有影响。已发生滑动的区域涉及到矿区外的区域及矿区内二采区的西侧工作帮的剥离台阶, 影响区域整体落差较大, 近 150 m, 部分剥离台阶被掩盖, 滑落区域南北长约 413 m, 宽 160~190 m, 滑落面积为 61,833 m<sup>2</sup>, 土方量约为 309,165 m<sup>3</sup>。滑体物质成分主要由崩滑堆积、坡积的砂土、砾石和砂岩组成。滑带为砂土与破碎砂岩接触带。煤矿西工作帮主要是以基岩面为滑动面的岩质滑坡。

### 4.3. 滑坡类型及稳定性分析

#### 4.3.1. 滑坡类型

根据对滑坡分类的相关研究[12], 按滑体物质组成, 该滑坡属于岩质滑坡; 按滑坡结构因素, 属沿倾向坡外的软弱面滑动, 岩层倾向山内, 滑动面与岩层层面向相反的逆层滑坡; 按滑动形式, 属于牵引式滑坡; 按滑坡发生时代, 属于新滑坡; 按滑坡体积, 属于中型滑坡; 按滑体厚度, 属于深层滑坡; 按滑坡发生原因, 该滑坡主要由于煤矿开采引起, 属于工程滑坡。

#### 4.3.2. 滑坡稳定性分析

潜在滑面形态呈折线形, 根据《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T 0218-2006)[13], 采用极限平衡的传递系数法对该滑坡的稳定性进行定量分析计算。根据滑坡变形的特点, 选择以下三种工况进行计算: 第一为天然工况, 第二为暴雨饱和工况, 第三种工况为天然状态 + 地震。其中一和三工况采用天然重度、天然内摩擦角和天然内聚力; 第二工况采用饱和重度、饱和内摩擦角和饱和内聚力。

根据计算结果, 该滑坡在天然状态、暴雨状态及天然状态 + 地震状态下的稳定性系数分别为 1.03、0.94、0.99, 其稳定状态分别为欠稳定、不稳定和不稳定。

## 5. 滑坡治理方案设计及评估

根据已发生滑坡区域的地质灾害特征及矿山整个采掘场西边坡的地质环境特征, 且考虑到矿区后期西工作帮正常开采时对已发生滑坡区域及矿山整个采掘场西边坡的影响, 危及矿山安全生产, 因此将包括矿区内外的影响区域划定为治理区域。依据《滑坡防治工程设计与施工技术规范》[14], 综合确定本滑

坡治理工程分级属于Ⅲ级, 安全系数采用自重 + 暴雨 + 地下水工况下抗滑安全系数  $K_s = 1.05$ , 抗倾安全系数  $K_s = 1.30$ , 抗剪断安全系数  $K_s = 1.3$  进行设计。根据该滑坡特点, 设计了如下两种治理方案。

### 5.1. 削坡 + 清运 + 平整 + 修建排水沟

削坡方式为水平划分台阶, 以 1423 m 为削坡起始点, 在 1408 m、1393 m、1378、1363 m、1351 m 位置形成 5 个平台。第一层、第二层坡面高度 15 米, 形成边坡角度为  $40^\circ$ , 第三层、第四层坡面高度 15 米, 形成边坡角度为  $60^\circ$ , 第五层坡面高度 12 米, 形成边坡角度为  $40^\circ$ , 一至四层平台宽 10 米, 第五层平台宽 23 米。第五层平台下部松散堆积体较薄, 无破碎带, 装车清走即可, 不再设置平台。经验算, 计算工况状态下, 边坡安全系数为 1.39。土方削坡工程量为  $51.61 \times 10^4$ , 岩石削坡  $34.19 \times 10^4$ 。

削坡产生的碎石土清运至矿区内排土场进行临时堆积, 运距约 2.0 km, 削坡的渣土中有大量的砂土, 后期可以用作排土场及采掘场边坡的覆土土源使用, 堆积过程中应有序堆放, 堆积边坡应控制在  $25^\circ$  左右, 高度不大于 20 m。清运工程量共约  $85.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

利用机械和人工相结合的方式对场地进行平整, 台阶平台进行反坡平整, 设计反坡坡度  $4^\circ$  左右, 反坡向台阶内缘, 可以将雨水导向排水沟。其它区域进行整形, 避免出现高低不平的地段, 整体平整厚度取 0.3 m, 需平整面积为  $1.88 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 则平整工程量为  $5640 \text{ m}^3$ 。

在治理区台阶平面内缘修建排水沟, 防止雨水汇集到采坑内, 也减少对治理区坡面的冲刷。排水沟沿南北向修建, 雨水可以向南、向北排出矿区外。排水沟汇水面积按  $56,668 \text{ m}^2$  全部形成面流设计, 小时汇水量  $275 \text{ m}^3$  ( $0.0764 \text{ m}^3/\text{s}$ )。排水沟设计采用混凝土浇筑, 混凝土强度 C25, 厚度为 10 cm, 排水沟底宽 0.3 m、口宽 0.6 m、深 0.5 m, 每延长米混凝土浇筑工程量  $0.152 \text{ m}^3$ , 沟底纵坡 1‰, 设计排水能力  $0.0764 \text{ m}^3/\text{s}$ , 预计将修建 1881 m 长的排水沟, 经计算, 排水沟工程量为  $224.35 \text{ m}^3$ 。通过计算表明设计排水沟能够满足设计排水能力。

### 5.2. 削坡减载 + 清运 + 重力式挡墙 + 修建排水沟

清运表层堆积物, 以 1423 m 为削坡起始点, 在 1408 m、1393 m、1378、1363 m、1348 m、1333 m、1306 m 位置形成 7 个平台。第一层、第二层坡面高度 15 米, 形成边坡角度为  $45^\circ$ , 三至六层坡面高度 15 米, 第七层坡面高度 17 米, 形成边坡角度为  $65^\circ$ , 平台宽度均为 8 米。经验算, 工况Ⅲ状态下, 边坡安全系数为 1.35。土方削坡工程量为  $51.61 \times 10^4$ , 岩石削坡  $115.67 \times 10^4$ 。

将削坡减载产生的砂土及岩石清运至矿区内排土场, 运距约 2.0 km, 清运工程量约  $167.28 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

在治理区台阶平面内缘修建排水沟, 防止雨水汇集到采坑内, 也减少对治理区坡面的冲刷。排水沟沿南北向修建, 雨水可以向南、向北排出矿区外。排水沟做法同方案一, 预计将修建 2587 m 长的排水沟, 经计算, 排水沟工程量为  $393.22 \text{ m}^3$ 。

## 4.3. 滑坡治理方案评估比选

### (1) 环境影响因素比选

在环境影响方面, 两个方案对局部区域的环境和生态均存在一定的影响, 但随着施工的完成及环境保护措施的实施, 其影响随即消失。两个治理方案对环境的影响主要可概括如下[15]: 工程建筑材料(钢筋、水泥、砂、碎石等)对环境的污染包括材料的运输、堆放和管理等几个方面产生的污染。建筑材料的污染主要集中在雨季, 如土石堆放不当可能引起大量浑水产生, 其对地下水影响较小, 主要是会影响地表水水质, 使水中悬浮物、油类、耗氧类物质增加, 但对水资源产生的影响是暂时性的, 在采取有效保护措施下, 不会对水资源产生永久性破坏影响; 然而油料等施工材料若保管不善, 被雨水冲刷入渗以及生活污水随意排放将会对地下水造成污染。另外, 施工过程中的包装袋以及搅拌过程中产生的飞尘, 也

会影响水质及周边环境。总体来说, 方案二的工程量更大, 对环境的影响也更大。

在技术可行性方面, 方案一与方案二主要采用削方减载、平整及地表排水等工程措施。其工程治理措施在当地工程建设中已多次成功的应用, 技术上均成熟可靠, 均具备技术可行性。在经济方面, 由于两个方案在削方数量上差距较大, 造成两方案造价相差较大。方案二比方案一的投资额大。对开采资源影响性方面, 在保证边坡稳定的前提下, 方案一仅对滑坡进行有效治理, 未考虑下部煤层最大化开采, 方案二则兼顾了边坡稳定性及下部煤层最大化开采, 但岩石削方量较大。在施工工期方面, 根据方案削方减载数量的不同, 方案一施工工期为 5 个月; 方案二施工工期为 6 个月。

总体来说, 方案二虽然工期长、投资造价较高, 但其兼顾了边坡稳定性及下部煤层最大化开采, 综合以上分析, 应当选定方案 2 为此滑坡的治理方案。

## 6. 结论

本文以某采掘滑坡为研究对象, 探讨了矿山采掘边坡的形成原因及治理技术, 同时评估对比了两种不同的滑坡治理方案。结果表明该滑坡一方面是因为断层破坏, 岩石稳固性较差, 另一方面由于矿山开发, 在采掘工作帮边坡上部导致局部岩土体滑落, 造成边坡属于欠稳定至不稳定状态。综合考虑边坡稳定性状态、周边地质环境及开采资源, 设计了削坡 + 清运 + 平整 + 修建排水沟和削坡减载 + 清运 + 重力式挡墙 + 修建排水沟两种边坡治理方案, 并对其进行了综合评估和比选, 确定了削坡减载 + 清运 + 重力式挡墙 + 修建排水沟为此滑坡的最佳治理方案, 可以兼顾边坡稳定性和下部煤层最大化开采。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(编号: 42072311); 陕西省土地工程建设集团内部科研项目(编号: DJNY2024-24)。

## 参考文献

- [1] 颜红迪, 费汉强, 李佳盛. 降雨对露天矿山高陡边坡稳定性的弱化效应研究[J]. 采矿技术, 2023, 23(4): 120-125.
- [2] 宋志飞, 辛晓平, 贺言言. 某露天矿边坡稳定性分析与优化设计[J]. 煤矿安全, 2014, 45(7): 216-218.
- [3] 王康. 露天矿下伏采空区对边坡稳定性影响机理研究[D]: [博士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2024.
- [4] 景杨凡. 某露天矿土质-强风化岩质南帮边坡失稳研究及工程治理[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2022.
- [5] 刘金江. 大采高露天石灰岩矿山最终边坡角优化研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆科技学院, 2018.
- [6] 代思学. 历史遗留矿山滑坡地质灾害勘查及其治理设计研究[J]. 中国水土保持, 2023(11): 74-75.
- [7] 栗嘉彬, 齐翔, 刘籽钰, 等. 布沼坝露天矿西帮边坡滑坡机制及综合治理研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(S1): 116-120.
- [8] 王玉平, 曾志强, 潘树林. 边坡稳定性分析方法综述[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2012, 31(2): 101-105.
- [9] 卢林娟, 陈俊智, 任春芳, 等. 非贯通节理岩质边坡稳定性影响因素分析[J]. 采矿技术, 2025, 25(1): 169-174.
- [10] 邢庆祝, 李嘉斌, 冯仕轩. 风化花岗岩类土质边坡稳定性影响因素分析及防护设计研究[J]. 广东土木与建筑, 2024, 31(8): 65-68.
- [11] 王进城, 韩德昌. 亭子口灌区一期工程红层区黏性土边坡稳定性及影响因素研究[J]. 水利水电工程设计, 2024, 43(1): 16-19.
- [12] 刘东燕. 边坡工程[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013.
- [13] 中华人民共和国国土资源部. GB/T32864-2016 滑坡防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0219-2006 滑坡防治工程设计与施工技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] 郭磊. 浅析平定县娘子关村河岸边坡地质灾害治理工程对娘子关泉域水环境的影响及防治对策[J]. 华北国土资源, 2015(4): 119-120.