

露天矿山土质边坡滑坡特征及成因分析

强秋平¹, 傅家亮², 张 国³, 李传振⁴, 袁 瑞², 薛兴太¹, 曹兴丹¹

¹华东冶金地质勘查局八一地质队, 安徽 滁州

²滁州市兴天矿业有限公司, 安徽 滁州

³安徽华塑股份有限公司, 安徽 滁州

⁴安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2025年6月19日; 录用日期: 2025年7月10日; 发布日期: 2025年7月21日

摘 要

本文基于现场调查、勘探、工程实践、综合分析等, 对天长市谕兴地区建筑用玄武岩矿南侧边坡J6~J7段滑坡体特征、滑坡成因及治理方案进行分析, 分析结果表明: 1. 矿界南侧边坡为三级土质边坡, 高27 m左右, J6~J7段滑坡体边界较清晰, 呈近半圆形, 前缘高程+20 m, 后缘高程+46 m, 前缘宽度138 m, 长度约80 m, 主滑方向22°; 2. 滑坡产生原因主要是由于强降雨条件下诱发土体结构弱化、抗剪强度降低; 3. 滑坡治理方案采用置换法, 治理后边坡稳定。

关键词

土质边坡, 滑坡特征, 滑坡成因, 滑坡治理

Characteristics and Cause Analysis of Soil Slope Landslides in Open-Pit Mines

Qiuping Qiang¹, Jialiang Fu², Guo Zhang³, Chuazhen Li⁴, Rui Yuan², Xingtai Xue¹, Xingdan Cao¹

¹Geological Team 811 of East China Metallurgical Geological Exploration Bureau, Chuzhou Anhui

²Chuzhou Xingtian Mining Co., Ltd., Chuzhou Anhui

³Anhui Huasu Co., Ltd., Chuzhou Anhui

⁴School of Earth & Environmental Sciences of Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Jun. 19th, 2025; accepted: Jul. 10th, 2025; published: Jul. 21st, 2025

Abstract

Based on on-site investigation and exploration, engineering practice, comprehensive analysis, the

文章引用: 强秋平, 傅家亮, 张国, 李传振, 袁瑞, 薛兴太, 曹兴丹. 露天矿山土质边坡滑坡特征及成因分析[J]. 矿山工程, 2025, 13(4): 763-770. DOI: 10.12677/me.2025.134087

characteristics, causes, and treatment plans of the J6-J7 section of the southern slope of the basalt mining boundary in the Yuxing area of Tianchang City were analyzed. The research results indicate that: 1. The southern slope of the mining boundary is a three-level soil slope with a height of about 27 m. The boundary of the J6-J7 section landslide is relatively clear, forming a nearly semi-circular shape with a leading edge elevation of +20 m, a trailing edge elevation of +46 m, a leading edge width of 138 m, a length of about 80 m, and a main sliding direction of 22°. 2. The main cause of landslides is the weakening of soil structure and the decrease in shear strength induced by heavy rainfall conditions. 3. The landslide treatment plan adopts the replacement method, and the slope after treatment is stable.

Keywords

Soil Slope, Landslide Characteristics, Landslide Cause, Landslide Treatment

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

随着人类采矿活动的强度和规模日益扩大,由此引发的环境地质问题及地质灾害愈发频繁[1]。露天开采作为矿产资源开采的重要方式,具有产能大、效率高、成本低等特点,但由于在采矿活动中形成多级高陡边坡,产生滑塌灾害的风险较大。2023年2月22日,内蒙古自治区阿拉善盟新井煤业有限公司露天煤矿发生特大滑塌事故,造成53人死亡、6人受伤,直接经济损失超过2亿元[2]。滑坡是露天矿山最常见地质灾害,研究表明滑坡变形特征对于分析滑坡形成机理和制定防治措施至关重要[3]。

目前滑坡治理是防灾减灾工作的热点[4][5]。滑坡治理方法较多,工程实践中常通过修建挡土墙、削坡减载等治理潜在滑坡。滑坡一旦发生,对滑坡开展应急治理十分必要,陈金宏[6]等探讨了采用微型注浆钢管桩在滑坡应急治理中的应用效果。本文以天长市谕兴地区建筑用玄武岩矿南侧边坡局部滑坡段为例,通过现场调查和勘探对滑坡特征、滑坡成因及影响因素进行分析,并探讨了土质滑坡的应急治理技术及效果。

2. 研究区概况

2.1. 矿山基本情况

天长市谕兴地区建筑用玄武岩矿位于安徽省天长市金集镇谕兴社区,开采矿产主要为建筑用玄武岩,开采方式为露天开采,目前为在建矿山,由于开挖已在矿界南侧及东侧形成三级边坡,坡高25~30 m,总长约700 m。

2.2. 自然地理

研究区地处淮河下游平原区,地貌类型为波状平原,地势较平坦,地表高程43~47 m。研究区属亚热带湿润季风气候区,四季分明,旱、雨季分明。区内多年平均降水量1073.5 mm,多年平均气温14.8℃,降水期主要集中在每年的7~9月份。

研究区属淮河流域秦栏河水系,其中天长市境内来水面积约130 km²。矿区周边大多为农田,有多个灌溉水塘,矿界南侧边坡距坡顶5~8 m处有一条东西向灌溉水渠。

2.3. 地质概况

研究区地层属华南地层大区扬子地层区下扬子地层分区,发育有震旦-寒武系、古近系、新近系和第四系地层,出露地层为新近系上新统桂五组地层。研究区内第四系地层主要为全新统芜湖组粉质粘土,褐色-黄褐色,稍湿,主要由粘土矿物组成,干强度及韧性中等,无摇晃反应,塑性指数 19.2~35.3,液性指数-0.22~0.26,可塑至硬塑状,厚度 12.0~14.1 m。

上新统桂五组地层岩性较复杂,主要有火山角砾岩、粘土岩、玄武岩等,其中火山角砾岩呈灰白色,棱角-次棱角,松散,火山角砾结构,块状构造,砾石主要为玄武岩角砾,基质主要为火山灰,胶结性差,遇水易软化,工程性质较差;粘土岩呈灰绿色,泥质结构,主要由膨润土、伊利石等粘土矿物组成,可塑至硬塑状,遇水易软化和膨胀,工程性质差;玄武岩呈灰褐色、灰黑色,间粒结构,致密块状构造、气孔状构造,矿物成分主要为基性斜长石、普通辉石及少量橄榄石等,其饱和单轴抗压强度为 27.9~128.27 MPa。

研究区内地下水赋存条件受地层岩性、地质构造及地貌条件控制,依据岩性及赋存空间等特征,地下水分为松散岩类孔隙水、基岩裂隙水两类。

松散岩类孔隙水主要分布于上部粉质粘土孔隙中,富水性变化较大,主要受大气降水影响。基岩裂隙水又分为火山角砾岩基岩裂隙水和玄武岩孔洞裂隙水。地下水主要赋存在玄武岩气孔、裂隙之中,直接受大气降水补给,并以泉的形成排泄,为典型的溶滤-渗入水。靠近断裂构造的玄武岩由于节理裂隙发育,且连通性好,有利于地下水富集。

研究区地震基本烈度为VI度区,地震动峰值加速度为 0.10 g,地震活动不强烈。

2.4. 矿山边坡基本情况

矿区原始地貌类型为波状平原。根据矿山开采计划,目前在矿界南侧已形成三级边坡,平台标高分别为+40 m、+30 m、+20 m,坡顶标高为+44.79~+46.78 m,坡高 27 m 左右,每级边坡坡度 30°~40°,其中+20 m 平台目前为矿山内部运输道路。+30 m 平台以上坡面采用格构锚杆加固,平台坡脚局部设置格宾石笼及挡土墙等支护措施,在坡体及坡脚修筑有排水沟,边坡基本情况参见图 1。

3. 滑坡特征及成因

3.1. 滑坡发生过程

2024 年 6 月 29 日 6:30,由于持续强降雨,矿界南侧边坡 J6~J7 段+30~+40 m 二级边坡约 100 m 发生整体滑塌,坡顶道路发生垮塌和沉降,路面裂缝宽 2~5 cm,后缘陡坎下座高度 0.5~1.5 m,坡面格构发生显著变形和破坏。6 月 29 日 12:00,边坡持续变形,+30~+40 m 边坡上格构完全破坏,+30 m 平台原有挡土墙产生严重破坏,挡土墙被外推 1.0~1.5 m,平台排水沟断裂,+20 m 平台坡脚鼓丘明显。6 月 29 日 19:00,边坡整体滑塌,滑坡段长约 120 m,滑坡前缘堆积体堵塞运输道路,长度约 40 m;坡顶道路沉降 2~3 m,长度约 90 m 左右,滑坡体后缘陡坎下座高度 1.5~2.0 m,可见深度 2.0~3.0 m。6 月 30 日,因持续强降雨,边坡滑动破坏持续发展,滑坡体后缘陡坎下座高度 2.0~2.5 m,可见深度 3~3.5 m,道路及坡顶农田见多条拉张裂缝,裂缝宽度 3.0~7.0 cm,最远裂缝距后缘陡坎约 3 m。滑坡前缘堆积体累计向前滑移约 15 m,造成运输道路堵塞。本次滑坡由于事前征兆明显,处置及时,滑坡未造成人员伤亡,但影响了矿山正常生产。

3.2. 滑坡体特征

滑坡发生后,通过现场调查、实测,该滑坡体边界较清晰,平面形态呈近半圆形,滑坡前缘高程为

+20 m, 后缘高程为+46 m, 前缘宽度 138 m, 长度约 80 m, 主滑方向 22° , 滑坡影响范围约 8500 m^2 。

本次滑坡形成完整的舌形拉裂周界, 后缘壁和后缘裂缝、两侧翼拉张裂缝及多条小型拉张裂缝发育明显, 裂缝附近格构、挡土墙、排水沟等工程变形断裂; 滑坡体西北发育一次级滑坡。滑坡体特征具体参见图 2。



Figure 1. Image of the south slope of the mining area

图 1. 矿区南侧边坡影像图



Figure 2. Image of landslide mass in J6-J7 section of the south slope of the mining area

图 2. 矿区南侧边坡 J6~J7 段滑坡体影像图

滑坡后缘陡坎高程约+46.0 m, 呈弧形展布, 长度 27 m, 整体延伸方向大致为 110° , 下座高度 2~2.5 m, 可见深度 3~3.5 m, 壁面倾角 $70^\circ\sim 90^\circ$, 壁面粗糙, 未见擦痕, 由第四系粉质粘土组成。后缘裂缝主要分布于坡顶路面, 多呈近圆弧形, 长度 3~10 m, 延伸方向 $110^\circ\sim 120^\circ$, 裂缝宽度 3~50 cm 不等。左翼裂缝在滑坡西北侧边界, 呈微波状线形, 长度约 32 m, 延伸方向 $15^\circ\sim 20^\circ$, 裂缝宽度 0.2~0.4 m, 可见深度大于 1 m, 次级滑坡左翼土体滑塌, 坡面格构完全破坏, 侧壁陡坎高度 0.5~2.0 m, 壁面倾角 $70^\circ\sim 80^\circ$, 下端贯穿至滑坡前缘, 在+20 m 平台中部尖灭; 右翼裂缝位于滑坡东南侧边界, 呈近直线形, 长度约 33 m, 延伸方向 $40^\circ\sim 45^\circ$, 宽度 0.2~0.5 m, 裂缝下端直接贯穿至前缘陡坎。前缘鼓胀裂缝、扇形裂缝多呈微弧形, 长度 5~25 m, 宽度 0.1~0.4 m, 下坐 0.2~0.4 m。鼓胀裂缝延伸方向与主滑方向近乎垂直, 约 85° 。

通过对滑坡体勘查，基本查明了滑坡体位置地层分布特征，滑坡体地层结构见图 3，滑动面自上而下切穿了粉质粘土层、火山角砾岩层、粘土岩层等，滑动面整体位于坚硬的玄武岩层之上。

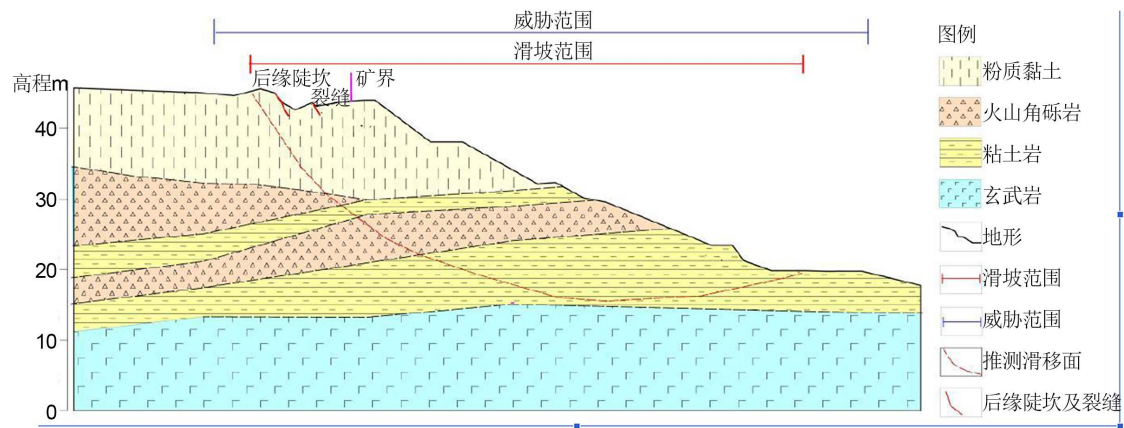


Figure 3. Schematic diagram of geological profile of landslide section J6-J7 on the south slope
图 3. 南侧边坡 J6~J7 段滑坡段地层剖面示意图

3.3. 滑坡成因及影响因素

依据 J6~J7 段滑坡地质环境条件，结合滑坡形成过程及滑坡体特征分析，本次滑坡产生原因主要是由于强降雨导致土体抗剪强度降低引发的混合式滑坡，主要影响因素包括持续降雨影响、坡顶环境不利因素、岩土体特性等。

1、持续降雨影响

区内持续性强降雨，大量雨水入渗，导致地下水位上升，坡体中水压力增大。在高水头作用下坡体至坡脚处渗透作用增大，滑坡前在坡面及坡脚处出现多处渗水点均表明地下水活动性增强；此外，滑坡体变形破坏特征与降水时长及强度具有明显的对应性，这些现象均表明本次滑坡的主要诱发因素是强降雨影响。

2、坡顶环境不利因素

研究区原始地貌为波状平原，地势较平坦，因矿山采掘在南侧形成三级边坡，每级坡高 7~10 m，坡度 30°~35°，按工程经验边坡应该是稳定的。从现场调查可知，坡顶外侧是一条机耕路，宽约 5 m，时常有行人及车辆通过，对边坡稳定性不利；同时机耕路外侧有一条排水沟，排水沟在 J6~J7 段地势较低，强降雨后导致排水不畅，且由于底部防渗不佳，雨水入渗量较大，增加坡体土压力和水压力，对边坡稳定性不利。调查发现滑坡段后缘由排水沟处垂直下错可证明排水沟对此次滑坡的影响。

3、岩土体特性

滑坡体土层组成自上而下依次为粉质粘土、粘土岩、火山角砾岩、玄武岩，其中火山角砾岩、粘土岩矿物成分主要为粘土矿物，具有显著的膨胀岩特性。随着雨水入渗，这些膨胀岩遇水后结构软化疏松，岩土体抗剪强度大大降低，是造成此次滑坡的重要原因。滑坡面自上而下切穿了粉质粘土层、火山角砾岩层、粘土岩层等，整体位于坚硬的玄武岩层之上也可证明坡体岩土体的影响。

4. 滑坡治理措施

4.1. 滑坡治理

南侧边坡 J6~J7 段滑坡严重影响矿区正常生产，且有持续发展趋势，安全隐患较大，需及时开展滑

坡治理。基于本次滑坡特征及影响因素，本次滑坡治理采用换填法。滑坡治理工作于 2024 年 8 月 2 至 9 月 2 日完成，治理过程参见图 4、图 5，及时治理确保了矿山正常生产，避免了更大危害性。



Figure 4. Landslide cleaning
图 4. 滑坡体清理



Figure 5. Replacement construction
图 5. 换填施工

治理后边坡基本恢复原始边坡形态，形成由+20.0 m、+30.0 m、+40.0 m 三个台阶组成的多级边坡，其中+20 m 平台以上坡度 40°，+30 m 平台以上坡度 30°，+40 m 平台以上坡度 45°，治理后边坡形态参见图 6。

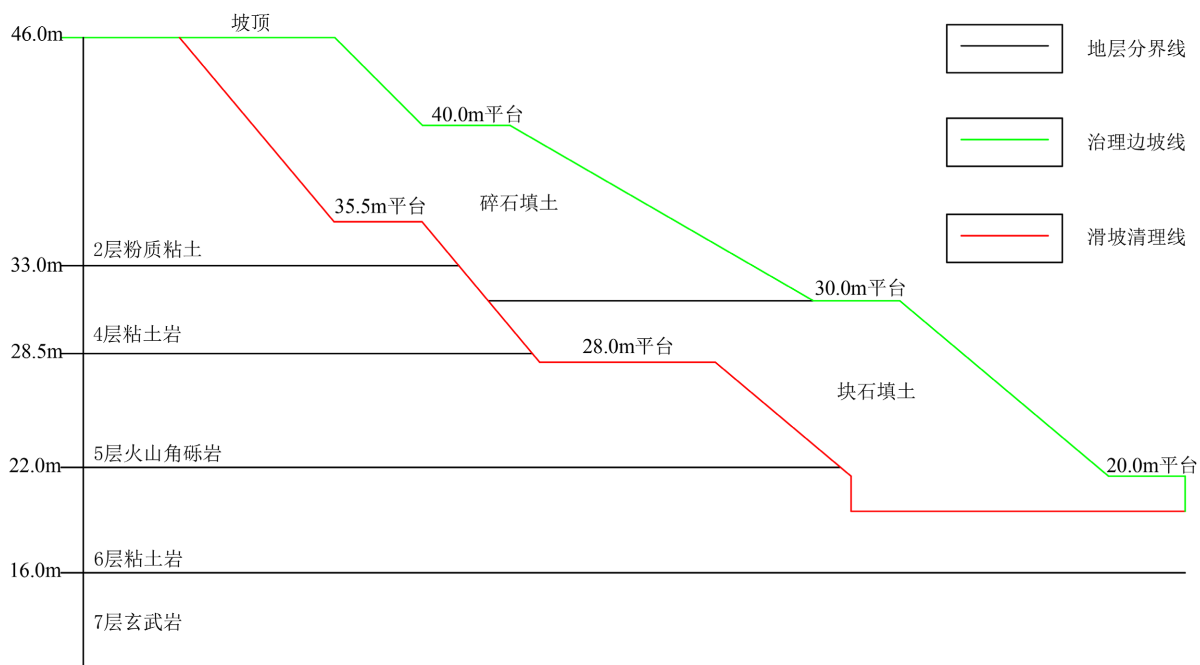


Figure 6. Schematic diagram of slope morphology treatment
图 6. 治理边坡形态示意图

4.2. 治理后边坡稳定性

治理后边坡为三级边坡，其中+20 m 平台以上坡度 40°，+30 m 平台以上坡度 30°，+40 m 平台以上坡度 45°，每级边坡坡高为 10 m，坡度为 30°~45°，坡体材料为碎石及碎石土。依据《工程地质手册》(第五版)相关规定，对于碎石土边坡(坡高 5~10 m)，坡率允许值(高宽比)为 1:0.50~1:0.75，结合治理后边坡实际特征表明边坡是稳定的。

为了解治理后边坡稳定性，在治理边坡坡脚及坡肩处共布设了 5 条测线，共 26 个测点，测线及测点位置详见图 7。从 2024 年 9 月 2 日至 2025 年 3 月 31 日开展了现场监测，由监测结果可知，沿坡向累积水平位移 0.112~0.208 m，横向累积水平位移 0.103~0.176 m，累积沉降 0.092~0.181 m。监测结果表明治理后边坡沉降及位移较小，均小于预警值，边坡是稳定的。



Figure 7. Layout of monitoring points for slope management
图 7. 治理边坡监测点布置图

5. 结论

本次针对天长市谕兴地区建筑用玄武岩矿南侧边坡 J6~J7 段滑坡, 通过现场调查及勘探, 查明滑坡体边界较清晰, 平面形态呈近半圆形, 滑坡前缘高程为+20 m, 后缘高程为+46 m, 前缘宽度 138 m, 长度约 80 m, 主滑方向 22°; 滑坡产生原因主要是由于强降雨导致土体结构软化, 抗剪强度降低引发滑坡。滑坡治理采用换填方案, 综合分析及现场监测表明换填后边坡稳定性较好。后期应根据治理边坡监测结果及坡体变形特征, 采取必要的加固措施, 确保边坡稳定。

资助项目

矿山地质灾害防治安徽省高校重点实验室开放基金(项目编号: 2022-MGDP-03)。

参考文献

- [1] 韩朝君, 李国营, 吴玮江, 等. 静宁县田堡调蓄水池滑坡成因及稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(6): 13-19.
- [2] 吴宏安, 张永红, 康永辉, 等. 利用 FS-InSAR 技术精细监测内蒙古新井露天矿地表形变[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2024, 49(3): 389-399.
- [3] 徐永福, 程岩, 肖杰, 等. 膨胀土滑坡和工程边坡新型防治技术研究[J]. 岩土工程学报, 2022, 44(7): 1281-1294.
- [4] 韩冬冬, 门玉明, 胡兆江. 土质滑坡格构锚杆抗滑机制及受力试验研究[J]. 岩土力学, 2020, 41(4): 1189-1194+1202.
- [5] 程强, 周兴泉, 张肖. 四川新市-金阳公路唐家湾滑坡变形特征和形成机理分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2025, 36(1): 46-56.
- [6] 陈金宏, 王彤标, 冉章清, 等. 微型注浆钢管桩在滑坡应急治理工程中的应用[J]. 岩土工程技术, 2025, 39(1): 49-54.