

铁矿区岩质边坡安全治理与平台布局优化

王雅宁

中国地质工程集团有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i10.1987

[摘要] 矿区岩质边坡的稳定性问题是影响安全开采与环境保护的关键因素,尤其在地质条件复杂、边坡裂隙发育及水文环境变化显著的区域,治理难度较大。本文结合洱源县右所镇废弃矿山生态修复项目的实践案例,针对岩质边坡的稳定性问题,提出一套安全治理与平台布局优化方案。通过地形地貌分析、稳定性数值模拟及风险评估,研究结果表明,综合治理措施与优化布局方案有效提升了边坡的稳定性,减少安全风险,为类似矿区的安全治理与生态修复提供了理论参考与工程实践依据。

[关键词] 岩质边坡; 安全治理; 平台布局优化

中图分类号: P624.8 文献标识码: A

Optimisation of safety management and platform layout for rocky slopes in iron ore mining areas

Ya'ning Wang

China Geo-Engineering Group Limited

[Abstract] The stability problem of rocky slopes in mining areas is a key factor affecting safe mining and environmental protection, especially in areas with complex geological conditions, slope fissure development and significant changes in the hydrological environment, which are more difficult to manage. This paper proposes a set of safety management and platform layout optimisation solutions for the stability of rocky slopes by combining the practice cases of the ecological restoration project of abandoned mines in Youzhuo Town, Eryuan County. Through topographic and geomorphological analysis, numerical simulation of stability and risk assessment, the results show that the comprehensive management measures and optimised layout scheme effectively improve the stability of slopes and reduce the safety risk, which provides theoretical references and engineering practice basis for the safety management and ecological restoration of similar mining areas.

[Key words] rocky slope; safety management; platform layout optimisation

引言

边坡安全问题在矿区的普遍性与重要性不言而喻。矿区开采过程中,边坡的稳定性直接关系到矿区的安全性、生产效率以及矿工的生命安全。岩质边坡,因其复杂的地质条件、裂隙分布及水文环境,具有较高的不稳定性,成为矿区安全管理中的一大挑战。本研究旨在提出一套系统的岩质边坡安全治理方案,结合矿区的具体地质条件与开采需求,优化作业平台的布局,减少安全隐患,提高开采效率。

1 矿区岩质边坡安全现状分析

1.1 地质条件与边坡稳定特征。洱源县铁矿区的地质条件复杂,矿区内的岩层主要由硬质磁铁矿、赤铁矿及夹杂的页岩等矿物组成。铁矿岩体具有较高的抗压强度,但由于长期的风化作用和地质运动,岩体裂隙较为发育,部分区域岩体的完整性较差。尤其是在开采过程中,边坡的稳定性面临严重挑战。矿区的地质构造复杂,断层、褶皱、节理裂隙等广泛分布,这些区域是潜在

的滑移面,容易在外力作用下发生变形和破坏。此外,铁矿区的边坡坡度普遍较大,局部区域由于人为开挖及自然侵蚀,形成了多个不稳定的陡坎,加剧了边坡的不稳定性。结合实际调查与数值分析,矿区岩质边坡的地质条件较为复杂,主要表现在岩层交错分布、风化带发育及构造特征显著等方面。以洱源县废弃矿区为例如图1,岩层主要由硬质灰岩和页岩组成,其中灰岩具有较高的抗压强度,但由于长期风化和地质运动影响,裂隙发育较为明显,局部区域岩体完整性较差。而页岩由于其层理结构发育,易受风化作用影响,抗剪强度明显降低,遇水软化现象严重,导致边坡的整体稳定性较低。矿区的地质构造复杂,断层、褶皱及节理裂隙广泛分布,形成了多个潜在的滑移面。风化作用在边坡表面形成了明显的风化带,这些区域的岩体强度降低,容易在外力作用下发生变形和破坏。此外,边坡坡面陡峭,坡度普遍超过35°,局部区域由于人为开挖及自然侵蚀作用,形成了多个不稳定的陡坎,进一步加剧了边坡的不稳定性。地下水对边坡稳定性

也产生重要影响。洱源县矿区地下水主要通过裂隙和节理进行渗流,受降雨补给影响显著。在高水位条件下,裂隙水压力升高,加速了岩体的软化和滑动。此外,矿区的地形起伏较大,部分区域存在明显的地表径流汇集现象,这进一步加剧了边坡的水力侵蚀和稳定性劣化。

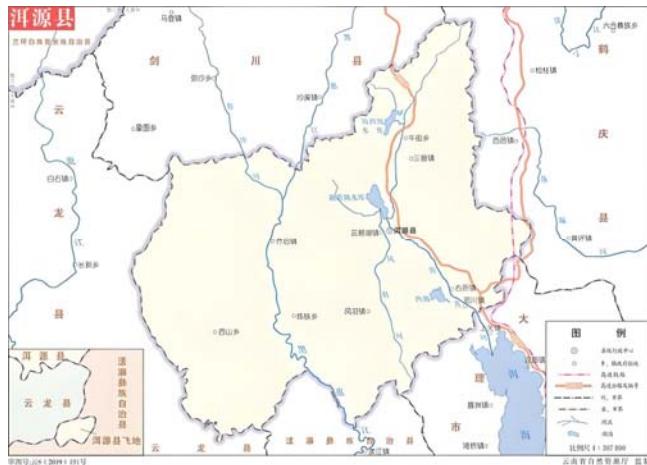


图1 洱源县交通位置图

1.2 边坡稳定性评估与风险预测。为全面评估矿区岩质边坡的稳定性,可以采用有限元法(FEM)和边坡稳定性计算模型,对不同工况条件下的边坡失稳风险进行了详细分析和评估。评估工况主要包括自然状态、强降雨条件和地震荷载作用三个典型工况,旨在识别潜在的高风险区域及其失稳机制。在自然工况下,数值模拟结果显示,边坡的整体稳定性较为有限,局部区域的岩体位移较小,但裂隙发育较多的区域仍存在潜在的滑移风险。通过模拟分析发现,主要滑移面多沿节理裂隙或软弱结构面展开,滑动模式以浅层滑坡为主,部分陡坡区域还存在块体崩塌的可能性。

在强降雨条件下,水分通过裂隙和节理渗入岩体,导致孔隙水压力升高,岩体有效应力降低,抗剪强度显著下降。模拟结果显示,在持续降雨过程中,裂隙集中区域的位移量明显增大,滑移面逐渐向深部扩展,滑坡体积和规模也随之增加。这表明降雨是诱发岩质边坡失稳的主要外部因素之一,特别是在风化带和断裂带区域,边坡稳定性明显下降。

1.3 环境因素对边坡稳定性的影响。矿区岩质边坡的稳定性受环境因素的显著影响,特别是降水、地下水与地震等自然因素,是诱发边坡失稳的重要外部条件如下图2。首先,降水作用对岩质边坡的影响尤为显著。在洱源县矿区,降水通过裂隙和节理渗透进入岩体,导致孔隙水压力升高,岩体的有效应力减小,进而削弱岩体的抗剪强度。强降雨条件下,地表水还可能形成径流,对边坡表面进行冲刷,进一步加剧了风化带和破碎带区域的失稳风险。针对这一问题,必须采取有效的截排水措施,降低地下水位,减少水力作用对边坡稳定性的影响。其次,地下水渗流是影响边坡稳定性的重要因素之一。洱源县矿区地下水主要通过裂隙和断层带渗流,局部区域存在地下水汇集现象,导致水压集中。在高地下水位条件下,裂隙水压力显著升高,增加了边坡岩

体的剪切破坏风险。最后,地震作用对边坡稳定性的破坏尤为剧烈。地震荷载作用下,地震波引发岩体的震动和位移,裂隙扩展加剧,导致岩体强度降低。尤其是在节理发育和风化带区域,地震作用极易诱发大规模的滑坡或崩塌现象。

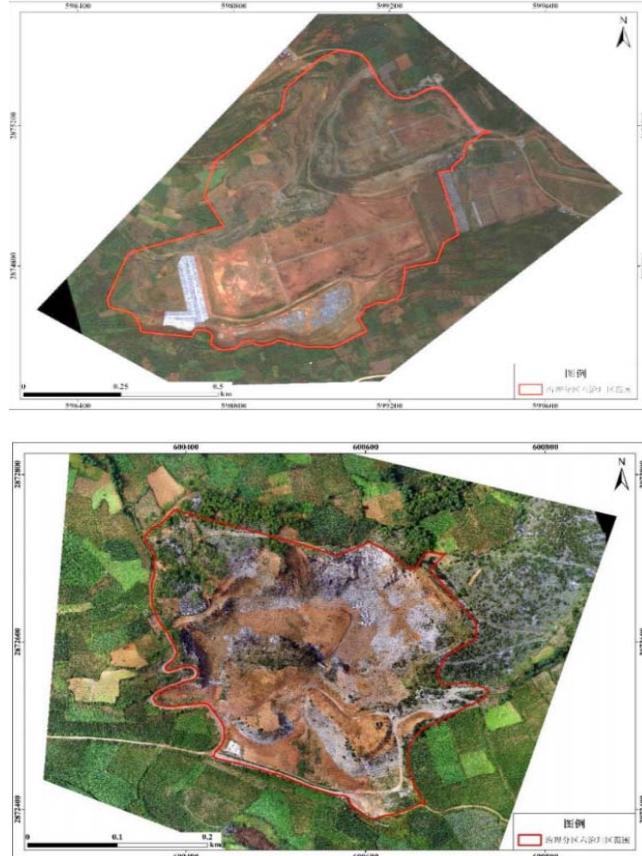


图2 项目区平面图分布示意图

2 岩质边坡安全治理方案

2.1 治理目标与原则。岩质边坡安全治理的目标是保障边坡的长期稳定性,防止滑坡、崩塌等地质灾害的发生,确保矿区的安全生产和周边生态环境的可持续发展。洱源县矿区由于岩体风化、裂隙发育和水力渗透作用显著,边坡稳定性较差,局部区域存在较大的滑坡和崩塌风险。针对这些问题,治理方案的首要目标是通过工程加固技术和水力控制手段,消除不稳定因素,提升边坡的整体稳定性,减少地质灾害发生的可能性。其次,治理方案需兼顾生态环境的保护与恢复,通过生态修复手段,减少治理过程中对环境的二次破坏,确保矿区生态功能逐步恢复。最后,在方案设计中要注重经济性与可操作性,因地制宜地选择技术措施和施工方法,合理控制治理成本,避免过度治理或资源浪费,确保治理工程的实用性和长期效果。

2.2 治理措施与技术方案。针对洱源县矿区岩质边坡的复杂地质条件与失稳特征,提出了“工程加固与生态修复相结合”的综合治理方案,主要包括削坡减载与边坡重塑、工程加固、截排水系统设计和生态修复等措施,以实现边坡的安全稳定和生态环境恢复。削坡减载是边坡治理的重要初步措施,主要用于坡度

陡峭、荷载较大的不稳定区域。通过削坡减载,可以降低边坡的重力荷载与外部应力,减小滑坡的潜在风险。在实施过程中,充分考虑边坡的地形地貌和地质结构特征,结合矿区的作业需求进行边坡重塑,形成“上缓、中稳、下固”的阶梯式结构。通过重塑边坡,可以在削坡后形成稳定的作业平台,既有助于边坡的结构稳定,又为后续生态修复提供了必要的空间基础。工程加固是解决边坡稳定性问题的核心措施,主要包括锚固技术、喷射混凝土和支护结构等手段。对于裂隙发育、岩体风化严重的区域,采用锚杆加固技术,通过预应力锚杆将不稳定岩体与深层稳定区域锚固连接,提高岩体的整体稳定性,阻止潜在滑移面发生位移。喷射混凝土主要用于边坡表面加固,特别是在风化带和破碎带区域,通过混凝土封闭岩体裂隙,防止水分进一步渗透,同时增加边坡表面的抗剪强度,减少风化侵蚀。对于坡脚破碎严重、滑动风险较高的区域,通过设置挡土墙、抗滑桩等支护结构,提供额外的外部约束力,抵消滑动力,防止岩体失稳。这些加固措施相互配合,有效提高了边坡的抗滑能力和整体稳定性。

水力作用是影响边坡稳定性关键因素之一,特别是在强降雨区域或地下水渗流明显的矿区。截排水系统的设计旨在控制地表水与地下水对边坡的影响,降低边坡内部的孔隙水压力,减少水力侵蚀对岩体稳定性的破坏。具体措施包括在坡面顶部布设截水沟,将地表径流引导至安全排放区域,防止水流直接冲刷边坡;在坡脚或地下水汇集区域布设排水孔和渗水井,降低地下水位,减少孔隙水压力对岩体的软化作用。此外,为了防止水流冲刷坡面,在边坡表面铺设植被防护网,结合排水设计形成完整的水力控制系统,从而有效提升边坡的水文稳定性。生态修复是边坡治理的重要补充措施,旨在恢复边坡的自然生态功能,减少治理过程中对环境的二次破坏。对于削坡后形成的裸露区域,实施客土喷播技术,通过喷洒混合营养基质、草籽和肥料,促进植被快速生长,形成稳定的植被覆盖层。在植被选择上,优先选用根系发达、抗旱性和抗侵蚀能力强的本地植被,如灌木、草本等植物,以提高边坡的水土保持能力。在植被恢复初期,通过铺设生态防护网防止水土流失,确保植物存活率和覆盖率。同时,生态修复措施与工程加固技术相结合,形成“工程-生态”复合型边坡,进一步提高边坡的长期稳定性与可持续性。

3 平台布局优化方案

3.1 平台布局优化模型。平台布局的优化是一个多约束条件下的复杂工程问题,需结合边坡地质条件、稳定性评估结果及矿区作业需求,通过科学的优化模型进行布局设计。

首先,平台布局的设计需满足边坡稳定性约束条件。通过有限元数值模拟(FEM)分析矿区边坡的应力分布与潜在滑移面,识别边坡的高风险区域。在布局过程中,应避开不稳定区域及裂隙密集区,确保平台荷载均匀分布,降低平台对边坡稳定性的影响。对于坡面陡峭或风化严重的区域,可通过削坡减载与锚固加固措施,为平台提供稳定的基础支撑。

其次,平台布局的优化需要依托数学优化模型进行系统规划。本研究建立了以平台稳定性、工程经济性与作业效率为目

标的多目标优化模型,采用遗传算法和模拟退火算法进行求解。目标函数包括:

$$\text{Min } Z = C_1 \cdot F_1(\text{边坡稳定性}) + C_2 \cdot F_2(\text{土方开挖量}) + C_3 \cdot F_3(\text{作业效率})$$

C_1, C_2, C_3 为权重系数,根据边坡条件和工程需求进行合理分配。通过对目标函数进行迭代求解,可以得到平台布局的最优解,合理规划平台的位置、规模及功能分区。结合矿区资源分布与生态修复需求,优化平台的空间配置。平台布局应满足开采设备运行的空间需求,确保道路、仓储、加工区等功能区域的合理分布,避免资源浪费与交叉干扰。同时,平台的边缘区域可结合生态修复技术,设置植被绿化带与排水通道,减少水土流失,促进矿区生态环境的逐步恢复。

3.2 优化后的平台布局方案。优化后的平台布局方案在满足边坡稳定性要求的前提下,科学规划了平台的位置、规模与功能分区。第一,根据岩层强度分布与边坡稳定性评估结果,将平台布置在岩体强度较高、稳定性较好的区域,避开裂隙发育和风化严重的地带。对于边坡较陡或地质条件复杂的区域,通过削坡形成分级平台,降低边坡坡度,减少边坡的滑移风险。第二,结合矿区开采需求与空间利用规划,优化平台的功能分区。作业平台主要分为机械设备作业区、物料堆放区、运输通道与生态修复带等功能区域。机械设备作业区设置在平台的中心位置,确保施工设备的安全运行;物料堆放区根据资源分布合理布置,减少物料搬运的距离,提高作业效率;运输通道与功能区域相连接,确保开采、加工与运输流程的顺畅衔接。第三,优化后的平台布局充分考虑了生态修复与可持续发展的要求。在平台边缘及周边区域,设置排水系统与生态植被防护带,通过植被绿化和土壤改良技术,防止水土流失,减少降雨对边坡稳定性的影响。同时,平台空间的合理利用减少了土方开挖量与生态破坏程度,体现了经济性与可持续性的统一。

4 结论

本文提出的岩质边坡安全治理与平台布局优化方案,成功解决了洱源县矿区的边坡不稳定问题,提高了矿区的安全性与作业效率,兼顾了生态环境的恢复与保护,为类似矿区的治理与优化提供了有力的理论支持和工程实践依据。未来研究可进一步结合智能监测技术与大数据分析,实现边坡稳定性与平台运行状态的实时动态管理,确保矿区的长期安全与可持续发展。

参考文献

- [1] 韩颖.矿区岩质边坡人工植被与土壤特性的耦合关系研究[D].山西大学,2023.
- [2] 吴朝义,魏昶帆,吴勇.某矿区岩质边坡稳定性分析及工程治理[J].低温建筑技术,2018,40(07):113-115.
- [3] 何倩.基于颗粒流法的三友矿区岩质边坡稳定性分析及防治方案研究[D].西安科技大学,2020.

作者简介:

王雅宁(1994-),女,汉族,河北衡水人,硕士研究生,助理工程师,主要从事地质灾害及矿山生态修复等相关工作。