

露天矿山边坡稳定性分析与防护技术研究

张福隆

福建海峡科化富兴建设工程有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1764

[摘要] 为了提高露天矿山的安全性和经济效益,必须对露天矿山边坡稳定性及其防护技术进行研究。露天矿山边坡稳定性受多种因素影响,包括地质因素、水文条件和人为因素等,针对这些影响因素,采用理论分析法、实验分析法和数值模拟法进行全面分析。在防护技术方面,主要分为被动防护和主动防护,被动防护技术包括锚杆加固和挡土墙与护坡,而主动防护技术则包括排水措施和植被绿化。此外,智能监测与预警技术也越来越受到重视,通过自动化监测系统和数据分析与预警系统,可以及时发现并预警潜在的边坡失稳风险。研究表明,综合运用以上方法和技术,可有效提高露天矿山边坡的稳定性,降低安全隐患,提升开采效率和经济效益。

[关键词] 露天矿山; 边坡稳定性; 防护技术; 地质勘探; 开采设计

中图分类号: P624 **文献标识码:** A

Stability analysis and protection technology research of open-pit mine slopes

Fulong Zhang

Fujian Strait Science and Technology Fuxing Construction Engineering Co., Ltd

[Abstract] In order to improve the safety and economic benefits of open-pit mines, it is of great significance to study the stability and protection technology of open-pit mine slopes. The stability of open-pit mine slopes is influenced by various factors, including geological factors, hydrological conditions, and human factors. To address these influencing factors, theoretical analysis, experimental analysis, and numerical simulation methods were used for comprehensive analysis. In terms of protection technology, it is mainly divided into passive protection and active protection. Passive protection technology includes anchor reinforcement and retaining walls and slopes, while active protection technology includes drainage measures and vegetation greening. In addition, intelligent monitoring and early warning technology is also receiving increasing attention. Through automated monitoring systems and data analysis and early warning systems, potential slope instability risks can be detected and warned in a timely manner. Research has shown that the comprehensive application of the above methods and technologies can effectively improve the stability of open-pit mine slopes, reduce safety hazards, and improve mining efficiency and economic benefits.

[Key words] open-pit mines; Slope stability; Protective technology; Geological exploration; Mining design

引言

露天矿山由于其开采方式的特殊性,边坡稳定性成为影响矿山安全和经济效益的重要因素。因此,研究露天矿山边坡的稳定性及其防护技术,不仅具有重要的理论意义,还有重要的实际应用价值。本文将从影响边坡稳定性的主要因素出发,探讨现有的防护技术,并提出未来可能的发展方向。

1 露天矿山边坡稳定性分析

1.1 边坡稳定性的影响因素

1.1.1 地质因素

地质因素是影响露天矿山边坡稳定性的核心因素之一,对

边坡的物理和力学性质有着至关重要的影响。首先,岩石和土壤的组成及其结构特性直接决定了边坡材料的强度和变形特性。例如,硬质岩石如花岗岩和玄武岩通常具有较高的抗剪强度,而软质岩石如页岩和泥岩则容易发生变形和破裂。此外,地质构造如断层、节理、褶皱等也会显著影响边坡的稳定性。断层和节理的存在会削弱岩体的整体强度,使其更易发生滑动或崩塌。

1.1.2 水文条件

水文条件对露天矿山边坡的稳定性也有着显著影响,主要通过改变岩体的物理力学性质和增加孔隙水压力来影响边坡的稳定性。首先,降雨和地下水渗透会导致岩土体含水量增加,

增加滑动的可能性。在降雨量较大的地区,暴雨冲刷会引起表层土体的流失和边坡的侵蚀,进一步削弱边坡的稳定性。其次,水的浸入还会导致土体膨胀、软化,甚至发生液化现象。此外,地下水位的变化也是一个关键因素。当地下水位上升时,会增加边坡内部的孔隙水压力,导致有效应力减小,从而降低边坡的稳定性。

1.1.3 人为因素

人为因素在露天矿山边坡稳定性中扮演着重要角色,主要体现在开采活动、工程建设和管理措施等方面。首先,开采活动本身会改变边坡的几何形态和应力分布。例如,过度开采导致边坡角度过陡,超出材料的自然休止角,增加了滑坡和崩塌的风险。其次,爆破作业引发的震动会对边坡产生冲击,可能导致局部破坏和裂隙扩展。此外,矿山道路和平台的建设如果规划不当,可能会引起表层土体的扰动和破坏,进一步影响边坡的稳定性。

1.2 边坡稳定性分析方法

1.2.1 理论分析法

理论分析法是边坡稳定性研究中的一种传统且基础的方法,主要依靠力学原理和数学模型对边坡的稳定性进行评估。该方法通常包括以下几个步骤:首先,通过对边坡的地质条件和几何形态进行详细调查,确定其物理力学参数,如密度、黏聚力和内摩擦角等。然后,选择适当的边坡稳定性计算模型,例如极限平衡法和应力分析法。极限平衡法是一种较为常用的方法,它基于边坡失稳时处于极限平衡状态的假设,计算潜在滑动面的安全系数。应力分析法则通过求解边坡内部的应力分布,预测可能的破坏模式和破坏位置。这类方法需要较高的数学和力学基础,但能够提供较精准的定量分析结果。

1.2.2 实验分析法

实验分析法是通过现场测试和实验室试验获取数据,以评估边坡的稳定性。这种方法能够直接反映边坡材料的真实物理力学性质,有助于对理论分析和数值模拟进行校核和验证。首先,现场测试是实验分析的重要组成部分。常见的现场测试方法包括钻探取样、标准贯入试验、剪切试验和地震波测试等。此外,现场监测手段如倾斜仪、应力计和孔隙水压力计等,也能实时获取边坡的变形和应力变化数据,为边坡稳定性评估提供动态信息。其次,实验室试验是另一关键环节。通过对采集的岩样和土样进行一系列力学试验,可以准确测定材料的力学参数。实验室条件下的试验可以严格控制环境变量,如温度、湿度和加载速率,从而获得更为精确的结果。实验分析法的优势在于其数据的高可靠性和真实性,但同时也存在一些不足,如测试设备和技术要求较高,试验周期长,成本较大^[1]。

1.2.3 数值模拟法

数值模拟法是近年来在边坡稳定性分析中广泛应用的一种先进方法,它通过构建数学模型和利用计算机软件模拟边坡的受力和变形情况,以预测其稳定性。数值模拟法的核心在于通过有限元法、离散元法和边界元法等数值计算方法,对边坡的复杂力学行为进行模拟分析。有限元法是最为常用的数值模拟技术

之一。它将边坡划分为若干个小的有限单元,通过建立每个单元的力学方程,模拟整体边坡的应力应变分布。其次,离散元法主要用于模拟颗粒材料和块体岩石的力学行为。它通过模拟颗粒之间的相互作用,分析边坡的变形和破坏机制,特别适用于碎屑岩坡和松散土坡的稳定性分析。边界元法则通过对边界进行离散化处理,减少了计算量,适用于大型边坡和复杂边界条件下的分析。数值模拟法的优势在于其高效性和灵活性,可以在短时间内完成大规模复杂计算,并且能够考虑各种复杂工况和非线性效应^[2]。

2 露天矿山边坡防护技术

2.1 被动防护技术

2.1.1 锚杆加固

锚杆加固是一种广泛应用于边坡稳定性增强的技术,通过在边坡内部安装锚杆,将边坡土体或岩体与深处稳定层连结,以增加边坡的抗剪强度和整体稳定性。锚杆通常由高强度钢筋或预应力钢缆构成,安装过程包括钻孔、注浆和锚固等步骤。首先,锚杆加固的设计需要根据边坡的地质条件、滑动面位置和受力情况进行详细分析。钻孔的角度和深度、锚杆间距和长度以及注浆材料的选择都是关键参数。通过合理的设计,可以确保锚杆有效地穿透潜在滑动面,并将滑动体与稳定基岩紧密连接。其次,施工过程中,钻孔和注浆的质量直接影响锚杆的加固效果。钻孔应尽量避免扰动周围土体,保持孔壁的完整性。注浆材料通常采用水泥浆或化学浆液,要求具有良好的流动性和粘结性能,以确保锚杆与孔壁之间形成牢固的结合。在注浆过程中,需要控制注浆压力和速度,使浆液充分填充孔隙,排除孔内空气和水分,从而提高锚固效果。锚杆加固的优势在于施工灵活、适应性强,不仅适用于各种类型的土坡和岩坡,还可用于复杂地形和狭小空间。然而,该技术也存在一些局限性,如对施工设备和技术要求较高,施工成本较大,且在软土和松散堆积体中效果有限。

2.1.2 挡土墙和护坡

挡土墙和护坡是另一类常见的被动防护技术,挡土墙通常由混凝土、石砌体或钢筋混凝土等材料构成,根据其结构形式可分为重力式、悬臂式和支撑式等类型。护坡则是通过在边坡表面铺设防护层,如植被、格网或护坡板等,减少雨水冲刷和表层风化,增强边坡表层的稳定性。首先,挡土墙的设计需要综合考虑边坡的地质条件、土压力分布和地震作用等因素。重力式挡土墙主要依靠自身重量抵抗土压力,适用于低矮边坡和浅基础条件下。悬臂式挡土墙通过墙后填土产生的主动土压力和墙前土体的被动土压力相平衡,适用于中等高度的边坡。支撑式挡土墙则通过设置支柱或锚杆,增强结构的稳定性,适用于高陡边坡和软弱地基条件。施工过程中,挡土墙的基础处理至关重要,需要确保基础稳固,避免不均匀沉降和滑移。此外,墙体的浇筑和砌筑工艺也需严格控制,保证结构的整体性和耐久性。在墙后填土时,应分层夯实,设置排水设施,防止墙后积水引起土压力增大和墙体变形。护坡技术则更多关注边坡表层的防护。通过铺设植物、土工合成材料或砌块等防护层,减少地表径流和雨水侵

蚀,防止表层土体松动和滑移。植被护坡是最为环保的方式,通过种植草皮或灌木,利用植物根系增强土体结构,同时美化环境。对于坡度较陡或土质较差的边坡,可采用格网护坡或护坡板,通过机械加固手段提升边坡表层的稳定性^[3]。

2.2 主动防护技术

2.2.1 排水措施

排水措施在边坡防护中起着至关重要的作用,其主要目的是降低边坡内的地下水位,减少孔隙水压力,从而提高土体的抗剪强度,防止滑坡和崩塌等地质灾害。常用的排水措施包括明沟排水、暗管排水和降水井等。首先,明沟排水是一种简单有效的表面排水方式,通过在边坡顶部和坡面设置排水沟,将雨水和地表径流迅速排出,防止其渗入土体内部。明沟排水的设计需要考虑沟渠的尺寸、坡度以及排水方向,确保排水畅通且不对周围环境造成二次侵蚀。其次,暗管排水则针对地下水的排放问题,通过在边坡内部埋设排水管道,将地下水集中导出。暗管排水通常采用PVC管或PE管,配有滤网和反滤层,以防止管道堵塞和土体流失。施工过程中,需根据地质勘查结果合理布置排水管的深度和间距,确保覆盖整个滑动体范围。降水井是一种深层排水措施,适用于地下水位较高或水量较大的边坡情况。

2.2.2 植被绿化

植被绿化是一种生态友好的主动防护技术,通过在边坡上种植适宜的植物,防止土壤侵蚀和滑坡,同时改善生态环境。首先,植被的选择是植被绿化成功的关键,因此需根据边坡的土壤类型、气候条件和坡度选择合适的植物。一般来说,草本植物、生长迅速且根系发达的小灌木是较为理想的选择。这些植物的根系能够迅速覆盖坡面,形成致密的根网,增强土体结构的稳定性。其次,植被绿化的施工需要科学规划和精心管理。种植前需对边坡进行清理和整地,确保土壤松散而肥沃,有利于植物扎根生长。在陡坡或易受侵蚀的区域,可铺设土工布或格网,提供临时保护并促进植物根系的固定。种植后需定期浇水、施肥和修剪,促进植物生长,防止病虫害和杂草侵扰。植被绿化的优势在于其环保性和可持续性。植物根系不仅能机械加固土体,还能通过蒸腾作用调节土壤水分,减缓地表径流和降雨对土体的冲刷。

2.3 智能监测与预警技术

2.3.1 自动化监测系统

自动化监测系统通过安装在边坡上的各类传感器来实时采集数据,以便及时发现潜在的危险因素。位移传感器主要用于监测边坡表面的水平和垂直位移,帮助判断滑移趋势;倾角传感器可以检测边坡的倾斜角度变化,评估边坡的稳定性;应变仪则用

于测量土体或结构内部的应力应变变化,了解内部变形情况;孔隙水压力计可以监测地下水压力变化,预测雨季或融雪期的滑坡风险;气象传感器则提供降雨量、温度、湿度等外部环境数据,对边坡稳定性的影响进行综合评估。这些传感器的数据通过无线网络或有线方式传输到监控中心,实现远程监控和实时数据采集,有效提高了监测效率和准确性。

2.3.2 数据分析与预警系统

数据分析与预警系统是智能监测技术的核心,通过对监测数据的处理和分析,及时识别边坡的不稳定迹象,并发出预警信号。首先,数据分析模块对采集到的原始数据进行清洗、滤波和归一化处理,消除噪声和异常值,然后结合历史数据和地质勘查资料,建立多维度的统计模型,评估当前边坡的稳定状态。其次,系统通过时序分析和趋势预测,识别边坡位移、倾角、应力应变等参数的变化模式,判断是否存在异常增长或突变的情况。最后,根据设定的预警阈值,当监测参数超出安全范围时,系统会自动触发预警机制,发送警报信息至相关部门和人员,便于采取紧急措施。预警系统不仅能提前发现潜在风险,还可提供科学的决策支持,优化防护方案。

3 结论

综上所述,露天矿山边坡稳定性分析与防护技术研究表明,综合考虑地质因素、水文条件和人为因素对于确保边坡稳定性至关重要。通过理论分析法、实验分析法和数值模拟法的结合,我们能够更全面地评估边坡的稳定状况,从而制定更有效的防护措施。锚杆加固、挡土墙和护坡等被动防护技术,通过增强边坡结构整体稳定性,有效延长了矿山使用寿命并减少滑坡风险。排水措施和植被绿化等主动防护技术,则改善了边坡环境条件,降低了土体滑动发生概率。此外,智能监测与预警技术的发展显著提升了边坡稳定性监测的实时性和准确性。自动化监测系统提供连续的数据采集,数据分析与预警系统在异常情况出现时及时发出预警,帮助管理者迅速采取应对措施,进一步提高了边坡的安全管理水平。

[参考文献]

- [1]李聪然,马明星,潘懿,等.季冻区露天矿山边坡稳定性分析及加固措施研究[J].河北地质大学学报,2024,47(03):73-79.
- [2]王敬世,张望南.小上峪石灰岩矿露天边坡治理与绿化复垦技术探索[J].水泥,2024,(S1):84-86.
- [3]何海龙.地下水运移对露天矿山边坡的影响探析与渗流减缓措施研究[J/OL].甘肃科学学报:1-10[2024-06-14].