

露天煤矿边坡稳定性研究

刘忠魁

义马煤业集团青海义海能源有限责任公司大煤沟煤矿 青海 德令哈 817000

摘要：本研究聚焦于露天煤矿边坡稳定性，综合运用多种理论、方法与技术，对其稳定性的基础理论、监测预警系统、稳定性分析及治理措施展开深入探讨。通过实地勘察、数据分析及模型构建等手段，明确露天煤矿边坡失稳的类型、机理与影响因素，建立有效的监测预警体系，深入分析边坡稳定性的数值模拟结果，并提出针对性的治理措施，为露天煤矿的安全生产提供重要的理论支持与实践指导。

关键词：露天煤矿；边坡稳定性；监测预警；数值模拟；治理措施

引言

随着露天煤矿开采规模的不断扩大，边坡稳定性问题日益突出，成为制约露天煤矿安全生产的关键因素。边坡失稳不仅会影响煤矿的正常生产，还可能引发严重的安全事故和环境问题。因此，深入研究露天煤矿边坡稳定性具有极其重要的现实意义。本研究旨在系统地分析露天煤矿边坡稳定性的相关问题，为提高露天煤矿的安全性和生产效率提供科学依据。

1 露天煤矿边坡稳定性基础理论

1.1 边坡稳定性基本概念

边坡稳定性是指边坡在各种自然因素（如重力、风、水、地震等）及人为因素（如开采、爆破、堆载等）的综合作用下，能够保持其原有形态和结构，不发生滑动、坍塌等失稳现象的能力。这一稳定性是露天煤矿安全生产的重要基石。在露天煤矿开采过程中，边坡的稳定性直接关系到作业人员的安全、生产设备的稳定运行以及煤矿的整体生产效率。因此，深入研究边坡稳定性，明确其影响因素和变化规律，对于制定有效的治理措施、确保露天煤矿的安全生产具有重要意义，也是后续相关研究的理论基础。

1.2 边坡失稳类型与机理

（1）失稳类型分类：包括滑坡、崩塌、泥石流等不同类型的边坡失稳现象，分析每种类型的特点和表现形式。例如，滑坡是指边坡岩土体在重力作用下沿一定的滑动面整体滑动的现象，具有滑动速度较慢、破坏力较大等特点；崩塌则是边坡岩土体突然脱离母体并以自由落体的方式下落，具有突发性和破坏性强的特点。（2）失稳机理分析：从岩土体的力学性质、地质构造、水文地质条件等方面深入分析边坡失稳的机理。例如，岩土体的抗剪强度不足、地质构造的不稳定性以及地下水的渗流作用等都可能導致边坡失稳。

1.3 影响边坡稳定的因素

（1）内在因素。一是岩性：不同类型的岩石具有不同的力学性质和抗风化能力，对边坡稳定性影响较大。例如，坚硬的岩石如花岗岩、石灰岩等具有较高的强度和稳定性，而软弱的岩石如页岩、泥岩等则容易发生变形和破坏。二是地质构造：包括断层、褶皱、节理等地质构造，它们会破坏岩土体的完整性，降低边坡的稳定性。例如，断层附近的岩土体容易受到应力集中的影响，从而导致边坡失稳。（2）外在因素。一是降雨：降雨会使岩土体的含水量增加，降低其抗剪强度，同时增加岩土体的重度，从而增加边坡的下滑力。在暴雨等极端降雨条件下，边坡失稳的风险会大大增加。二是爆破震动：露天煤矿开采过程中的爆破作业会产生强烈的震动，对边坡的稳定性产生不利影响。震动会使岩土体的结构受到破坏，降低其强度和稳定性^[1]。

2 露天煤矿边坡稳定性监测预警系统

2.1 监测预警系统技术架构设计

（1）系统功能与性能要求。功能需求包括对边坡位移、变形、应力、地下水等参数的实时监测，以及对监测数据的分析、处理和预警功能；例如，系统能够实时监测边坡的位移变化，并根据预设的阈值发出预警信号。性能指标，如监测数据的精度、准确性、实时性，系统的可靠性、稳定性等性能指标，确保系统能够满足露天煤矿边坡监测的要求。（2）系统架构设计。总体架构包括传感器层、数据传输层、数据处理层和应用层等层次结构，各层次之间相互协作，实现对边坡稳定性的监测和预警；硬件架构包括传感器、数据采集设备、通信设备、服务器等硬件设备的选型和配置，确保硬件设备的性能和可靠性。

2.2 监测网络建设

（1）监测点布置原则：根据边坡的地质条件、地形

地貌、开采方式等因素,合理确定监测点的位置和数量;例如,在边坡的潜在滑动面、变形较大的区域以及重要的工程部位应加密布置监测点。(2)数据传输与存储:选择合适的数据传输方式,确保监测数据能够及时、准确地传输到数据处理中心;建立可靠的数据存储系统,对监测数据进行长期保存,以便后续的分析 and 研究。

2.3 传感器技术与优化布置

(1)传感器选型与特性:介绍各种常用的边坡监测传感器,如位移传感器、应力传感器、地下水监测传感器等,分析其工作原理、性能特点和适用范围,为传感器的选型提供依据。(2)优化布置策略:基于边坡的地质条件和监测需求,采用数值模拟、现场试验等方法,对传感器的布置方案进行优化,提高监测数据的准确性和可靠性^[2]。

3 露天煤矿边坡稳定性分析

3.1 边坡稳定性计算

(1)地质情况分析:对露天煤矿边坡的地质情况进行详细的勘察和分析,包括岩土体的类型、结构、物理力学性质等,为稳定性计算提供基础数据。(2)选择适宜的计算方法:根据边坡的地质条件和工程要求,选择合适的稳定性计算方法,如极限平衡法、数值分析法等。对每种计算方法的原理、适用范围和优缺点进行分析和比较,为实际应用提供参考。

3.2 边坡稳定性数值模拟与分析

(1)数值模拟方法概述:介绍常用的数值模拟软件,如FLAC3D、ABAQUS、ANSYS等,分析其在边坡稳定性分析中的应用。(2)模型建立与参数选择:根据露天煤矿边坡的实际情况,建立合理的数值模型,包括岩土体的本构模型、边界条件、初始条件等。选择合适的参数,如岩土体的弹性模量、泊松比、抗剪强度等,确保模型的准确性和可靠性。(3)模拟结果与分析:对数值模拟的结果进行分析,包括边坡的位移场、应力场、塑性区等,评估边坡的稳定性。根据模拟结果,提出优化边坡设计和施工的建议。

3.3 边坡稳定性监测技术

(1)传统大地测量:介绍传统大地测量方法在边坡稳定性监测中的应用,如经纬仪、水准仪、全站仪等仪器的使用方法和监测原理。分析传统大地测量方法的优点和局限性,如监测精度高、成本低,但监测效率低、受环境影响大等。(2)测量机器人:讲解测量机器人在边坡稳定性监测中的应用,如自动搜索、识别、照准和测量功能。分析测量机器人的优点和局限性,如监测效率高、自动化程度高,但对点间通视有一定要求、受外

界环境影响较大等。(3)全球卫星导航系统:阐述全球卫星导航系统在边坡稳定性监测中的应用,如GPS、北斗等系统的工作原理和监测方法。分析全球卫星导航系统的优点和局限性,如监测范围广、全天候、实时性好,但监测精度受卫星信号影响、成本较高等^[3]。

4 露天煤矿边坡稳定性治理措施

4.1 边坡治理原则与策略

(1)综合治理原则,作为边坡治理的核心理念,强调在治理过程中应全面考虑地质条件、开采方式、环境影响等多重因素,避免单一措施的局限性。地质条件是边坡稳定性的基础,不同的地质构造、岩性特征对治理措施的选择提出了不同要求;开采方式则直接关系到边坡的受力状态和变形特征,合理的开采顺序与方法能够有效减轻对边坡的扰动;环境治理也是不可忽视的一环,治理措施需兼顾生态恢复与环境保护,实现经济效益与生态效益的双赢。(2)基于综合治理原则,治理策略的选择需根据边坡的稳定性状况和治理目标进行灵活调整。对于稳定性较差、存在明显安全隐患的边坡,应采取“预防为主”的策略,通过提前加固、防护等措施,将潜在风险降至最低;而对于稳定性相对较好,但受开采活动影响较大的边坡,则应采用“防治结合”的策略,既要对其已出现的问题进行及时治理,又要对可能出现的风险进行预防;在特定情况下,如边坡稳定性极差,且开采活动对其影响巨大,还需考虑采取“先治理后开采”的策略,确保在安全的条件下进行煤矿开采。

4.2 传统治理方法与现代技术

(1)削坡减压,作为一种直接而有效的治理手段,其核心在于通过削减边坡的坡度和高度,来降低边坡所受的下滑力,从而达到提高边坡稳定性的目的。在实施削坡减压时,需根据边坡的地质条件、岩土体性质以及开采计划,科学确定削坡的范围和深度;施工过程中,应严格控制削坡的坡度,避免过陡导致新的不稳定因素产生,同时做好边坡的防护和排水工作,确保治理效果。(2)抗滑桩,则是通过在边坡的潜在滑动面以下设置桩体,利用桩体与岩土体的相互作用,增加边坡的抗滑力,从而阻止边坡的滑动。抗滑桩的设计原理基于岩土体的抗剪强度和桩体的抗弯能力,施工过程中需严格控制桩位、桩径、桩长等关键参数,确保桩体能够充分发挥其抗滑作用;抗滑桩的施工质量和耐久性也是影响其治理效果的重要因素,必须加强质量控制和后期维护。(3)锚杆(索)技术,则是利用锚杆(索)将边坡的岩土体进行锚固,通过锚杆(索)的拉力来提高边坡的稳定性。锚杆(索)的类型多样,包括全长粘结型

锚杆、预应力锚杆等，其设计方法和施工技术也各不相同；在设计时，需根据边坡的岩土体性质、锚杆（索）的受力特点以及治理目标，合理选择锚杆（索）的类型和参数。施工过程中，应严格控制锚杆（索）的锚固深度、拉力等关键指标，确保锚杆（索）能够稳定可靠地工作。

4.3 现代治理技术应用

（1）松动爆破技术，以其独特的治理理念，为边坡稳定性治理开辟了新的途径。该技术通过精确控制爆破的参数和方式，如炸药量、爆破顺序、爆破方向等，使边坡的岩土体在爆破作用下产生松动，从而降低其强度和稳定性，达到治理边坡的目的。松动爆破的技术要点在于确保爆破的精准度和安全性，既要达到松动岩土体的效果，又要避免对边坡整体稳定性造成过大的影响；在实施松动爆破前，必须进行详细的爆破设计，包括爆破方案的制定、爆破参数的确定以及安全措施的实施等，以确保爆破过程的顺利进行和边坡的稳定安全。

（2）地下水排放疏干技术，则是针对地下水对边坡稳定性影响显著的问题而提出的一种有效治理方法。该技术通过排水井、排水孔等排水设施，将边坡内的地下水位降低至安全范围内，从而减少地下水对边坡岩土体的渗透压力和浮力作用，提高边坡的稳定性；地下水排放疏干的设计和施工方法需根据边坡的地质条件、地下水位分布以及治理目标进行综合考虑；在设计阶段，需确定排水设施的位置、数量、深度等关键参数，并制定相应的施工方案；在施工过程中，应严格控制施工质量，确保排水设施的畅通有效，同时加强监测和预警，及时发现并处理可能出现的问题^[4]。

4.4 治理方案设计要点

（1）方案设计之初，需全面分析地质条件、边坡形态、开采方式以及周边环境等核心要素。地质条件作为边坡稳定性的基础，其复杂性直接决定了治理措施的多样性和针对性；在地质构造复杂、岩土体性质多变的地区，应采用多种治理措施相结合的方式，如抗滑桩、锚杆（索）与削坡减压等，以形成稳定的支护体系；边坡形态则影响着治理措施的选择和布置，高度较大、坡度

较陡的边坡需加强支护和加固措施，确保边坡的整体稳定。开采方式也是不可忽视的因素，合理的开采顺序和方法能够减轻对边坡的扰动，降低治理难度。周边环境则要求治理方案在保障边坡稳定的同时，兼顾生态恢复和环境保护。（2）在明确治理方案后，需详细介绍施工工艺和流程。这包括施工顺序的合理安排、施工方法的科学选择以及质量控制的严格把关。施工顺序应遵循“先易后难、先上后下”的原则，确保施工过程的顺利进行；施工方法则需根据具体治理措施的特点进行确定，如抗滑桩的施工应采用机械成孔或人工挖孔等方式，确保桩体的垂直度和深度；质量控制则是施工工艺中的关键环节，通过加强原材料检验、施工过程监控以及竣工验收等措施，确保治理方案的有效实施。（3）安全措施的制定也是治理方案设计的重要组成部分。需根据施工过程中的潜在风险，制定相应的安全防范措施，如设置安全警示标志、加强施工人员的安全培训、配备必要的安全防护设备等，确保施工过程中的安全。

结语

露天煤矿边坡稳定性是一个复杂的系统工程，涉及到地质、采矿、力学等多个学科领域。本研究通过对露天煤矿边坡稳定性的基础理论、监测预警系统、稳定性分析以及治理措施的研究，取得了一定的成果。然而，由于露天煤矿边坡的地质条件和开采方式各不相同，边坡稳定性问题仍然存在许多挑战。未来的研究需要进一步加强多学科的交叉融合，深入开展现场试验和数值模拟研究，不断完善边坡稳定性的分析方法和治理技术，为露天煤矿的安全生产提供更加可靠的保障。

参考文献

- [1]高焕然,吕淑然,王婉青,张博倩.某露天煤矿边坡稳定性分析及治理措施[J].现代矿业,2020,3404:193-195.
- [2]韩猛.露天煤矿边坡失稳条件下恢复正常开采工艺[J].煤矿安全,2020,5008:145-147+157.
- [3]陈路良,古玉葵,赵建康.露天煤矿边坡监测预警安全决策系统的构思[J].露天采矿技术,2020,3301:47-49+54.
- [4]关伟.露天煤矿外排土场边坡稳定性研究[J].煤矿现代化,2022,31(5):70-73.