

露天矿排土场边坡监测方法

赵利权

内蒙古伊泰煤炭股份有限公司纳林庙煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：露天矿排土场边坡监测是确保矿山安全生产的关键环节。常用的监测方法包括地面监测技术，如安装传感器测量位移、变形等参数，以及遥感监测技术，利用卫星、无人机等远距离传感器获取边坡数据。近年来，还出现了三维激光扫描、GNSS定位等先进技术，提高了监测的精度和自动化水平。这些监测方法有助于及时发现边坡的不稳定趋势，为采取预防措施提供科学依据，从而降低边坡灾害的发生风险，保障矿山开采过程的安全性和可持续性。

关键词：露天矿；排土场边坡；监测方法

引言：露天矿排土场边坡的稳定性对于矿山的安全生产至关重要。在采矿过程中，边坡可能会受到多种因素的影响，如地质条件、气候条件、开采方式等，导致其稳定性发生变化。因此，对边坡进行监测是预防边坡灾害、保障矿山安全生产的重要手段。本文将介绍露天矿排土场边坡监测的常用方法，旨在提高监测的准确性和效率，为矿山的安全生产提供科学依据和技术支持。

1 露天矿排土场边坡监测的重要性

露天矿排土场边坡监测在矿山安全生产中具有极其重要的地位，它直接关系到矿山生产活动的顺利进行以及人员和设备的安全。第一，边坡监测是预防地质灾害的重要手段。露天矿排土场由于长期开采和堆排废石，往往形成高陡边坡，这些边坡在雨水冲刷、风力侵蚀、地震等自然因素以及人为活动的影响下，容易发生滑坡、崩塌等地质灾害。通过边坡监测，可以及时发现边坡的变形和异常情况，为地质灾害的预警和防治提供科学依据，从而有效避免或减少灾害的发生。第二，边坡监测有助于保障矿山生产活动的顺利进行。露天矿的生产活动需要稳定的边坡作为支撑，边坡的失稳将直接影响采矿作业的安全和效率。通过监测边坡的稳定性，可以及时调整采矿计划，采取必要的加固措施，确保矿山生产活动的连续性和稳定性。第三，边坡监测也是保护矿山生态环境的重要措施^[1]。露天矿开采过程中，排土场边坡的变形和破坏往往会对周边的生态环境造成严重影响，如水土流失、植被破坏等。通过监测边坡的变化，可以及时发现并采取措施，减少对环境的破坏，促进矿山与生态环境的协调发展。

2 露天矿排土场边坡监测主要方法

2.1 测量机器人监测技术

测量机器人通过对固定于边坡表面监测点上的棱镜进行自动搜索、识别、照准和测量，实现对边坡监测点

角度、距离、高程及三维坐标等数据的采集。这种技术具有监测效率高、测量精度高、自动化程度高和远程无接触监测等优点，非常适合用于露天矿排土场边坡的监测。在具体应用中，测量机器人监测技术主要依赖于后方交会原理，通过无线网络通信技术将监测变形点数据实时传输至数据处理中心。数据处理中心利用专业监测软件对采集到的数据进行自动分析，得出监测结果，从而实现了对边坡稳定性的实时监测和预警。这种技术的应用，不仅提高了监测的准确性和效率，还大大降低了人工监测的劳动强度和安全风险。除此之外，测量机器人监测技术还具有灵活性和可扩展性。它可以根据边坡的具体情况 and 监测需求，调整监测点的布局 and 监测频率，实现对边坡不同区域、不同时间段的精细化监测。同时，该技术还可以与其他监测手段（如GNSS、三维激光扫描等）进行集成和融合，形成综合监测系统，进一步提高监测的准确性和全面性。

2.2 GNSS（全球导航卫星系统）监测技术

GNSS（全球导航卫星系统）监测技术利用卫星信号进行高精度定位，实现对边坡稳定性的实时监测。GNSS技术是一种基于卫星信号的定位技术，它通过接收来自地球轨道上的一组卫星的信号，确定接收器的三维坐标。在边坡监测中，将GNSS接收器安装在边坡的关键部位，如坡顶、坡脚、裂缝等位置，可以实时获取这些位置的三维坐标数据。通过对这些数据的处理和分析，可以评估边坡的稳定性，预测可能的滑坡灾害，为边坡治理提供决策依据。另外，GNSS监测技术具有高精度、实时性强、自动化程度高等优点。其定位精度可以达到厘米级甚至毫米级，能够满足大多数边坡监测的需求。同时，GNSS技术可以实时监测边坡的位移变化，及时发现潜在的危險，为预警和防治提供重要信息。此外，GNSS技术还可以实现自动化监测，减少人力投入，降低监测

成本。在露天矿排土场边坡监测中，GNSS技术的应用范围广泛。它可以用于监测滑坡体的位移变化，为预警和防治提供重要信息；也可以用于矿山边坡的稳定性评估和治理，确保矿山生产的安全和稳定；还可以用于水利工程、交通工程等领域的边坡监测，为这些工程的安全运行提供保障。

2.3 三维激光扫描监测技术

三维激光扫描技术的工作原理是，扫描仪器内部的扫描控制模块调整并测量每个脉冲激光的角度，激光束发射器发射出一束激光束，经过光学系统聚焦后照射到目标物体表面。当激光束的能量被物体表面吸收或反射回来时，激光接收器接收到反射信号，并计算出激光束从发射到接收的时间差，从而得到激光与物体的距离信息。通过旋转激光器或移动扫描平台，可以对整个边坡表面进行全面扫描，获取其表面的三维坐标数据。在露天矿排土场边坡监测中，三维激光扫描技术具有显著的优势。首先，它能够实现非接触式测量，避免了传统测量方法中因接触而产生的误差和损坏。其次，三维激光扫描技术具有数据采集效率高、数据量大、精度高等特点，能够快速生成边坡的三维模型，直观地展示边坡的变形情况。此外，该技术还可以对边坡进行连续、动态的监测，及时发现边坡的微小变形，为边坡稳定性的评估和预警提供重要依据。在实际应用中，三维激光扫描监测技术可以用于监测边坡的整体变形情况，包括水平位移、垂直位移和倾斜角度等。通过对比不同时间点的三维模型，可以分析边坡的变形趋势和速率，为边坡治理和灾害预防提供科学依据^[2]。同时，该技术还可以用于边坡的虚拟仿真和可视化展示，帮助相关人员更好地理解边坡的变形机制和稳定性状况。三维激光扫描监测技术也存在一定的局限性，如设备成本较高、数据分析和处理需要专业技能等。因此，在实际应用中，需要结合边坡的具体情况和监测需求，选择合适的监测设备和方案，确保监测结果的准确性和可靠性。

2.4 近景摄影监测技术

近景摄影监测技术的基本原理是利用高精度的数字化成像设备，拍摄边坡的影像数据。通过对比不同时期拍摄的影像，利用图像处理技术恢复出边坡表面的三维坐标，进而分析边坡的变形情况。这种方法能够快速获取边坡的整体变形信息，为边坡稳定性的评估提供重要依据。近景摄影监测技术无需接触边坡表面，避免了传统测量方法中因接触而产生的误差和损坏，同时也降低了测量人员的安全风险。随着摄影技术和图像处理技术的不断发展，近景摄影监测技术的精度不断提高，能

够满足大多数边坡监测的需求，能够快速获取边坡的变形信息，及时发现潜在的安全隐患，为预警和防治提供重要依据。通过图像处理技术，可以将边坡的变形情况以三维模型的形式直观地展示出来，有助于相关人员更好地理解边坡的变形机制。在露天矿排土场边坡监测中，近景摄影监测技术可以用于监测边坡的整体变形情况，包括水平位移、垂直位移和倾斜角度等。通过对比不同时间点的影像数据，可以分析边坡的变形趋势和速率，为边坡稳定性的评估和预警提供科学依据。同时，该技术还可以用于边坡的虚拟仿真和可视化展示，帮助相关人员更好地理解边坡的变形机制和稳定性状况。

3 露天矿排土场边坡监测方法的优化建议

3.1 集成化监测系统的构建

集成化监测系统是将多种边坡监测技术（如GNSS、三维激光扫描、近景摄影监测等）进行有机融合，形成一个高效、全面的边坡监测体系。这一系统不仅具备实时监测边坡变形的能力，还能通过数据分析，预测边坡的稳定性趋势，为矿山的安全生产提供科学依据。在构建集成化监测系统时，关键在于技术的有效集成与数据的统一管理。（1）需要选择适合露天矿排土场边坡特点的监测技术，并确保这些技术之间能够无缝对接，实现数据的实时共享与处理。例如，GNSS技术可以用于定位监测，提供边坡的整体位移信息；三维激光扫描技术则可以获取边坡表面的详细形态数据，用于分析边坡的局部变形；而近景摄影监测技术则可以捕捉边坡表面的微小裂缝，为预警和防治提供重要线索。（2）集成化监测系统需要建立高效的数据传输与处理机制。通过云计算、大数据等先进技术，可以实现对监测数据的实时采集、存储、分析和展示。这不仅提高了数据处理的效率，还使得监测结果更加直观、易于理解。（3）集成化监测系统还应具备预警与响应机制。当监测到边坡变形超过设定阈值时，系统能够自动触发预警信号，并采取相应的应急措施，确保矿山的安全生产。

3.2 自动化与智能化水平的提升

在提升自动化水平方面，关键在于实现监测设备的自动化运行和数据采集。传统的边坡监测往往依赖于人工巡检和手动记录，这种方式不仅耗时费力，而且容易受到人为因素的影响，导致监测结果的不准确。而通过引入自动化监测设备，如自动化GNSS测量站、自动化三维激光扫描仪等，可以实现对边坡变形的实时监测和自动数据采集。这些设备能够全天候、不间断地工作，大大提高了监测的连续性和准确性。在提升智能化水平方面，则需要借助先进的算法和数据分析技术，对监测数

据进行深度挖掘和分析。通过引入机器学习、深度学习等智能化算法,可以对监测数据进行自动分类、识别和预测,从而实现边坡稳定性的智能评估。这些算法能够自动识别边坡变形的模式和趋势,预测潜在的滑坡风险,为矿山的安全生产提供科学依据。

3.3 监测周期的合理调整

监测周期的设定需综合考虑多种因素,包括边坡的地形条件、物理性质、岩土情况、监测设备的精度与灵敏度,以及历史监测数据所反映的变形趋势等。对于较为稳定的边坡区域,可以适当延长监测周期,以减少监测频次,降低成本,同时避免过度监测对现场管理的干扰。然而,这种延长不应牺牲监测的时效性,必须确保在边坡状态发生显著变化时,能够及时捕捉到这些变化。相反,对于处于活跃变形状态或存在潜在滑坡风险的边坡区域,则需要缩短监测周期,增加监测频次,以实现更灵敏、更及时的监测^[3]。这有助于更早地发现边坡的微小变形,为预警和防治提供宝贵的时间窗口。同时通过连续、密集的监测数据,可以更准确地评估边坡的稳定性,为制定有效的治理方案提供科学依据。在调整监测周期时,还需注意与历史监测数据的对比分析。通过对比不同时间点的监测数据,可以识别出边坡变形的模式和趋势,从而更合理地设定未来的监测周期。

3.4 监测数据的可视化与共享

监测数据的可视化是将复杂的边坡变形数据转化为直观、易于理解的图形或图像的过程。通过可视化技术,可以将监测数据以时间序列图、三维模型等形式展示,使数据更加生动、立体,便于相关人员从不同角度、不同层面分析边坡的稳定性。这种直观性有助于及时发现潜在的安全隐患,为边坡治理提供科学依据。另外,监测数据的共享是指将监测数据在相关部门、单位或个人之间进行传递和交流。这一做法有助于打破信息孤岛,促进监测信息的整合和共享,提高边坡监测工作的整体效率和水平。通过共享监测数据,相关部门可以更加全面地了解边坡的变形情况,协同制定有效的治理

方案,共同应对潜在的安全隐患。实施监测数据的可视化与共享需要遵循一系列关键步骤。一是需要建立统一的数据标准和格式,确保数据的可读性和可比较性。二是需要选择合适的可视化工具和平台,将监测数据转化为直观、易于理解的图形或图像。同时,还需要建立数据共享机制,明确数据的共享范围、方式和责任,确保数据的合法合规使用。三是需要定期对可视化与共享的效果进行评估和反馈,不断优化和完善相关流程和机制。最后,在监测数据的可视化与共享过程中,数据安全与隐私保护是不可忽视的重要方面。监测数据往往包含敏感信息,如边坡的具体位置、变形情况等,这些信息一旦泄露,可能会对矿山的安全生产和环境保护造成不利影响。因此,在共享监测数据时,必须严格遵守相关法律法规和保密规定,采取必要的技术措施和管理手段,确保数据的安全性和隐私保护,还需要建立数据泄露应急响应机制,一旦发生数据泄露事件,能够迅速采取措施进行处置和应对。

结语

总之,露天矿排土场边坡监测方法的选择与应用对于确保矿山安全生产具有重要意义。通过综合运用多种监测技术,可以实现对边坡稳定性的全面、实时监测,及时发现潜在的安全隐患。未来,随着技术的不断进步和创新,边坡监测方法将更加智能化、自动化,为矿山的安全生产提供更加精准、高效的技术支持。因此,矿山企业应高度重视边坡监测工作,不断完善监测体系,提高监测水平,确保矿山生产的安全稳定。

参考文献

- [1]孙新虎.雷达监测系统在煤矿边坡监测中的应用[J].煤矿安全,2020,44(8):9-10.
- [2]程斌,刘文胜,陈能革.凹山采场边坡稳定性监测监控系统[J].现代矿业,2021(10):12-13.
- [3]杨俊,乞耀龙,谭维贤.地基SAR图像与地形数据的几何映射三维匹配方法[J].中国科学院大学学报,2020,32(3):11-14.