

# 有色金属露天矿边坡位移监测数据异常识别与风险判别研究

赖烈强

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

**【摘要】**：在有色金属露天矿边坡的稳定性分析中，边坡位移的监测数据扮演着关键角色。通过对边坡位移监测数据的异常识别和风险判别进行研究，可以有效预警边坡滑坡等灾害风险，减少矿山事故的发生。研究提出了一种基于监测数据的异常识别方法，结合地质特征和环境因素，探讨了如何通过数据处理和分析实现对边坡位移的精准判别。在此基础上，建立了风险评估模型，以量化判断边坡滑坡风险的概率，进一步提高了边坡安全管理的科学性和预见性。

**【关键词】**：有色金属矿；边坡位移；异常识别；风险判别；监测数据

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.038

## 引言

有色金属露天矿作为矿产资源的重要开采方式，其边坡稳定性直接关系到矿山的安全生产与环境保护。然而，随着开采深度的加大，边坡的稳定性问题日益严重，尤其是在一些特殊地质条件下，边坡位移可能成为引发灾害的隐患。边坡位移的监测数据是预测潜在风险的重要依据，但如何从这些数据中准确识别异常情况并进行风险判别，仍然是一个亟待解决的问题。近年来，随着信息技术的发展，数据采集、分析和建模的精度不断提高，这为边坡风险管理提供了新的解决方案。基于此，研究了利用监测数据的异常识别和风险判别技术，以实现露天矿边坡潜在风险的预警和管控。

## 1 边坡位移监测数据的采集与处理方法

### 1.1 监测设备的选择与安装

边坡位移监测的准确性和可靠性与监测设备的选择和安装方式密切相关。为了确保边坡位移数据的高效采集，首先需要选用适合露天矿开采环境的监测设备。常用的监测设备包括电子倾斜仪、全站仪、GNSS（全球导航卫星系统）设备以及激光扫描仪等。电子倾斜仪适用于监测边坡的微小位移变化，而全站仪和GNSS设备能够提供更大范围内的位移数据，适合长时间连续监测。激光扫描仪则可以通过高精度的三维扫描获得详细的边坡表面位移情况。在设备的安装过程中，位置选择至关重要，监测点应选择在边坡易发生位移的区域，如裂隙处、岩层接触面等。设备的安装角度、传感器的稳定性以及防水防尘措施，都应根据矿山的实际环境进行合理设计。安装后的设备还需要进行定期检修和校准，确保监测数据的准确性。

### 1.2 数据采集的准确性与有效性

数据采集的准确性和有效性是确保边坡位移监测系统正常运行的关键因素。数据采集频率必须根据露天矿的开采进度和边坡稳定性进行合理安排。在开采初期和边坡变动较大的阶段，应增加数据采集频率，以及时捕捉到位移异常信号。在数据采集过程中，还需要避免外界干扰因素的影响，如强烈的气候变化、电磁干扰等，这些因素可能会对设备的工作状态产生

影响，导致数据误差。为了保证数据的有效性，应通过多点采集、实时数据传输和远程监控等方式，保证数据能够及时、准确地上传至数据分析平台。数据传输系统的稳定性也不容忽视，防止数据丢失或延迟，影响后续的数据分析和风险判断。

### 1.3 数据处理的技术要求与方法

边坡位移监测数据的处理是确保其能有效用于风险评估和异常识别的关键环节。数据处理主要包括数据预处理、噪声去除和异常值筛选等步骤。原始监测数据往往包含噪声和误差，可能来源于设备故障、环境变化等因素。在数据处理的初步阶段，必须对数据进行去噪处理。常见的数据去噪方法包括基于时间序列的滤波算法、统计方法和小波变换等，这些方法可以有效去除噪声，提高数据的平滑度。边坡位移数据通常会出现一定的异常值，这些异常值可能是由于设备故障、数据传输问题等因素引起的。需要通过合理的异常检测方法，如基于阈值的检测法或基于模型的检测法，对异常值进行剔除，保证数据的可信度。最后，数据的有效性检查也至关重要，需确保采集到的数据覆盖了边坡的关键区域，并且具有足够的时间跨度，以便进行长期的稳定性分析。

## 2 边坡位移异常识别的技术路径与方法

### 2.1 位移数据的预处理与去噪

位移监测数据的质量直接影响后续分析结果的准确性，数据预处理与去噪是异常识别的第一步。在数据采集阶段，监测设备可能会受到多种因素的干扰，如气候变化、电磁波干扰、设备故障等，导致数据中存在噪声。噪声的存在不仅影响数据的可靠性，还会干扰后续的异常识别工作。为了解决这一问题，常常采用多种数据去噪方法，如移动平均滤波、卡尔曼滤波、小波变换等。移动平均滤波能够平滑数据中的高频噪声，卡尔曼滤波则在动态系统中对噪声进行滤除，小波变换则能在时频域上对噪声进行分离。数据的异常点识别和修正也是预处理的一部分。通过分析数据的变化趋势和波动幅度，可以在早期阶段发现并剔除异常值，从而提高数据的质量。

## 2.2 异常值检测方法的选择与比较

边坡位移数据中异常值的检测是评估边坡稳定性的重要环节。异常值的来源可能包括设备故障、数据传输错误或人为操作问题等。为确保边坡监测数据的准确性，必须选用合适的异常值检测方法。传统的异常检测方法如基于统计学的标准差法、箱型图法和基于规则的检测法，能够识别出数据的离群点并进行排除。然而，这些方法在处理大规模、高维度数据时可能存在一定局限性。近年来，基于机器学习的异常检测方法逐渐成为主流。支持向量机（SVM）、聚类分析、决策树等机器学习算法，能够通过学习正常数据的分布特征，自动识别出异常数据。这些方法在复杂和动态的环境中表现出较好的适应性，能够有效提高异常值检测的准确性。

## 2.3 基于机器学习的异常识别模型

随着机器学习技术的不断发展，基于机器学习的异常识别模型在边坡位移数据分析中逐渐应用。相比传统方法，机器学习方法具有自学习、自适应的特点，能够处理大量的复杂数据并自动识别出潜在的异常情况。常用的机器学习方法包括支持向量机（SVM）、随机森林、神经网络等，这些算法能够根据已有的正常数据训练模型，形成对比模型，再通过对新数据的输入进行比对，自动判断是否存在异常。在实际应用中，基于神经网络的模型可以处理更加复杂的非线性关系，适应性强，能准确捕捉到微小的位移变化。通过不断优化模型的结构和参数，可以提高模型对异常的识别精度。深度学习技术的发展也为异常识别提供了更多可能，通过构建多层神经网络，能够更好地捕捉到数据中的隐含特征，提高异常检测的准确性和可靠性。

# 3 边坡风险评估模型的构建与应用

## 3.1 风险评估模型的基本框架

边坡风险评估模型的构建是实现边坡稳定性分析和滑坡风险预测的基础。基本框架通常包括风险识别、风险分析和风险评判三个主要模块。风险识别是对所有可能影响边坡稳定性的因素进行系统归类和分析，包括地质条件、气候变化、开采方式等。在此基础上，采用合适的风险分析方法，如定性分析、定量分析和概率分析，评估不同因素对边坡稳定性的影响程度。最后，通过风险评判，将不同风险因素的影响进行综合评分，最终形成一个综合的风险评估结果。该模型通常结合地质数据、监测数据和现场实测数据，通过数据融合技术来提高评估结果的准确性和全面性。

## 3.2 风险评估模型中的关键参数

边坡风险评估模型的有效性依赖于对关键参数的合理选择与优化。地质参数，如土壤类型、岩层结构、裂隙分布等，直接影响边坡的稳定性。通过对这些参数的详细调查和分析，可以为模型提供基本的地质背景数据。气候参数，如降水量、

温度变化等，也会对边坡的稳定性产生影响，尤其是在多雨季节，降水量的变化可能导致边坡发生滑坡等灾害。监测数据中的位移量、应变值、加速度等信息是评估边坡风险的重要依据，及时反映边坡的实时变化情况。最后，开采方式、坡面植被覆盖度等因素也在一定程度上影响边坡的稳定性。通过合理选择并优化这些关键参数，可以提高风险评估模型的准确性和可靠性。

## 3.3 模型的应用案例与效果分析

在实际应用中，边坡风险评估模型已在多个有色金属露天矿得到了广泛验证和应用。在某露天铜矿的边坡稳定性分析中，通过将地质勘探数据、监测数据、气象数据以及历史滑坡事件数据输入评估模型，成功预测了边坡的潜在滑坡风险。通过后续的监测和数据反馈，进一步验证了模型预测的准确性，并在风险显现初期及时采取了加固措施，有效避免了事故的发生。模型的应用不仅帮助矿山管理者提前识别和预警潜在风险，还为科学决策提供了全面的数据支持和优化建议。效果分析表明，边坡风险评估模型能够有效提升矿山的安全管理水平，减少突发事件的发生率，提高矿山生产过程的安全性，确保矿山的可持续发展。

# 4 有色金属露天矿边坡滑坡风险的判别与预警

## 4.1 滑坡风险判别的依据与标准

滑坡风险判别是边坡稳定性分析中的关键环节，其依据与标准应根据地质特征、监测数据和外部环境因素的综合评估来确定。在实际应用中，滑坡风险判别常常依据边坡的位移速度、加速度变化以及变形趋势来判断。如果位移速度超过某一阈值，或者出现加速度异常，往往意味着边坡可能存在滑坡的风险。地质条件和气候因素也需要纳入风险判别的考虑范围，土壤的湿度、降水量的变化以及岩层的裂隙情况等，都会影响边坡的稳定性。通过设定滑坡风险判别标准，可以为矿山的安全管理提供重要依据，帮助工作人员及时识别潜在的滑坡风险，提前采取措施进行干预。

## 4.2 多因素综合分析的风险评估方法

滑坡风险评估不仅需要考虑单一因素，还需要进行多因素综合分析。通过结合地质条件、气候变化、开采活动、环境影响以及实时监测数据等多方面信息，可以形成一个更加全面和精确的风险评估体系。在实际操作中，常常采用层次分析法（AHP）、模糊综合评价法、灰色系统分析等多种方法，对各类风险因素进行加权计算，最终得出一个综合的风险评估值。通过这种多因素综合分析方法，可以深入考虑不同因素之间的相互作用及其对边坡稳定性的综合影响，避免了单一因素分析带来的局限性和偏差。这一方法有助于提高评估的全面性和精确性，能够更好地为矿山管理者提供科学的决策依据，进一步增强矿山风险管理的准确性、可靠性与实效性。

### 4.3 预警系统的设计与实现

滑坡风险预警系统的设计和实现是确保矿山安全的重要组成部分。预警系统的核心是实时监测数据的采集、处理和分析。通过在矿山边坡安装多种传感器，实时监控边坡位移、应变等重要指标，并将监测数据传输至预警平台。预警系统采用智能分析算法，实时对数据进行比对和分析，判断是否出现异常或滑坡风险。如果系统检测到位移速率超过设定的危险阈值，或出现其他异常变化时，预警系统会发出报警信号，提醒矿山工作人员采取相应的应急措施。该系统不仅能够及时预警滑坡风险，还可以为矿山管理者提供精确的决策支持，有效降低矿山事故的发生率。见表1：

表1 中国典型露天矿山边坡位移监测预警阈值参考表(基于行业规范与工程实践)

矿山类型	边坡高度(m)	日位移速率预警阈值(mm/d)	累计位移临界值(mm)	数据来源
金属矿	100-200	5	150	《有色金属矿山排土场设计规范》(GB50421-2018)及现场监测案例汇总
非金属矿	50-100	3	100	《非煤露天矿边坡工程技术规范》(GB51019-2014)
煤矿	150-300	7	200	国家矿山安全监察局《煤矿防治水细则》(2018年)及典型矿区调研数据
建材矿	30-80	2	80	《建材工业矿山工程施工与验收规范》(GB50843-2013)

## 5 边坡稳定性分析的优化与未来展望

### 5.1 监测技术与数据处理方法的创新

科技的迅猛发展推动了监测技术和数据处理方法的不断创新。未来，高精度传感器和智能化设备将广泛应用于边坡位移监测，提升其精准度与效率。结合大数据与人工智能技术，数据处理方法将得到进一步优化，特别是通过深度学习算法对海量监测数据进行分析，不仅能提高数据的准确性，还能够预测边坡未来的变化趋势，从而为风险管理提供更为可靠的支持。传感器网络的集成化和智能化将显著增强监测系统的实时

### 参考文献：

- [1] 王阳,李志强.基于监测数据的边坡稳定性分析与风险评估[J].地质与环境工程,2022,44(3):56-62.
- [2] 高鹏,孙秀兰.露天矿边坡稳定性分析与监测方法研究[J].岩土工程学报,2021,43(2):112-118.
- [3] 赵敏,刘英杰.边坡滑坡风险评估模型的应用与优化[J].安全与环境学报,2023,40(4):67-74.
- [4] 陈林,王晓梅.基于大数据的露天矿边坡风险管理研究[J].矿业工程学报,2020,38(6):85-91.
- [5] 张洪,薛建华.露天矿边坡稳定性评估与风险判别技术研究[J].矿山安全与环保,2022,40(1):93-98.

性与响应速度，使其能快速识别异常并及时发出预警。这一系列技术革新将为边坡稳定性分析和风险预警提供更强大的技术保障。

### 5.2 风险评估模型的优化与精度提升

边坡风险评估模型的优化与精度提升是当前和未来研究中的关键方向。引入更为丰富的动态监测数据与细化的地质信息，将使得风险评估模型更具精准性与全面性。结合无人机遥感技术、激光雷达扫描等前沿技术，可以实时获取更加详细和高精度的边坡数据，进而有效提高风险预警的能力。随着算法的不断优化，通过引入先进的机器学习和人工智能技术，可以自动识别数据中的潜在风险点，减少人为判断的偏差，提高评估结果的可靠性。通过这一系列技术创新，边坡稳定性分析将更加精确，帮助矿山管理者做出更加科学、精准的决策，从而更好地保障矿山安全生产。

### 5.3 边坡稳定性管理的智能化发展

未来，边坡稳定性管理的智能化发展将成为矿山安全管理的趋势。通过建设智能化的监控平台，结合云计算、大数据分析和人工智能技术，可以实现对边坡稳定性的全天候、实时监测和动态评估。智能化系统不仅能够实时采集和分析监测数据，还能够根据历史数据和当前数据进行智能预测，提前预警潜在风险。智能化平台可以根据实时数据自动调整风险评估模型和监测方案，使矿山管理者能够做出更加精准的决策。智能化管理系统的普及，将大大提高矿山的安全生产水平，减少矿山事故的发生率，为矿山的可持续发展提供强有力的保障。

## 6 结语

本文探讨了有色金属露天矿边坡位移监测数据的异常识别与风险判别，提出了基于监测数据进行边坡稳定性分析的有效方法。通过采集多种监测数据、引入现代数据处理技术并结合机器学习与风险评估模型，能够提前识别潜在的边坡风险，并为矿山安全管理提供了科学依据。随着科技的进步，边坡监测和风险评估将变得更加精准与高效，为矿山安全生产提供更有力的保障。未来，随着新技术的不断发展，边坡稳定性分析和风险预警系统将进一步优化，推动矿山管理进入智能化、自动化的新阶段。