

基于多数据源的采煤沉陷区早期识别及地面形变特征监测

张国强

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司枣泉煤矿 宁夏 银川 750409

摘要: 针对煤矿开采活动导致的地表沉陷问题, 本文提出了一种创新的监测方案, 即基于多数据源融合的采煤沉陷区早期预警与地面形变精细监测技术。该技术整合了遥感数据、地质勘察资料、GIS信息及物联网传感器数据, 旨在实现沉陷区的全面、实时、精确监测。通过理论分析与技术验证, 本文详细阐述了该技术的可行性、优势及应用前景。

关键词: 多数据源融合; 采煤沉陷区; 早期预警; 地面形变; 精细监测

引言

煤矿开采引起的地表沉陷对矿区生态、居民生活及基础设施构成严重威胁。传统监测手段单一, 难以捕捉沉陷区的复杂形变特征, 亟需新的监测技术来弥补这一不足。本文提出的多数据源融合方法, 旨在通过整合多种数据源, 实现对沉陷区的全方位、高精度监测。

1 研究背景与创新点

1.1 研究背景

当前, 针对采煤沉陷区的监测研究主要侧重于单一数据源的应用, 例如InSAR(合成孔径雷达干涉测量)、GPS(全球定位系统)以及雷达监测等。这些技术虽然各自具有独特的优势, 如InSAR能够捕捉到微小的地表形变, GPS能提供高精度的定位信息, 雷达监测则能实时跟踪地表变化, 但它们难以全面反映沉陷区复杂多变的地表形变情况。沉陷区的形变往往受到多种因素的影响, 包括地质构造、煤层分布、地下水动态以及开采活动等, 这些因素相互交织, 使得地表形变呈现出高度复杂性和时空异质性^[1]。此外, 现有研究还缺乏一个系统性的数据整合与分析框架, 导致监测结果往往不够准确和及时, 难以满足沉陷区管理的实际需求。

1.2 创新点

针对上述问题, 本研究提出了以下创新点:

1.2.1 多数据源融合技术

本研究首次将遥感影像、地质勘察资料、GIS(地理信息系统)信息与物联网传感器数据相结合, 形成了互补优势。通过多数据源融合, 能够更全面地反映沉陷区的地表形变情况, 提高监测精度。

1.2.2 早期预警模型构建

基于机器学习算法, 建立沉陷风险预测模型。该模型能够充分利用历史沉陷数据和实时监测数据, 识别沉陷区的关键影响因素和变化规律, 从而实现沉陷区的早

期识别与预警。通过设定预警阈值和制定相应的预防措施, 能够为沉陷区管理提供科学依据, 减少沉陷灾害的发生。

1.2.3 精细监测体系的构建

构建三维地表形变监测网络, 利用时间序列分析和三维建模技术, 实现对沉陷区地面形变的精细刻画与动态追踪。该监测网络能够实时监测地表形变的微小变化, 并对其进行空间分析和时间序列分析, 从而揭示沉陷区的形变特征和演化趋势。通过精细监测, 能够为沉陷区的治理和修复提供更为准确的数据支持。

2 研究方法与技术路线

2.1 数据源选择与预处理

2.1.1 遥感数据

在遥感数据方面, 我们主要利用高分辨率卫星影像和雷达干涉测量(InSAR)技术来获取地表形变信息。高分辨率卫星影像能够提供清晰、细腻的地表纹理信息, 有助于我们识别地表形变的分布特征。而InSAR技术则能够捕捉到地表微小的形变信息, 通过相位差分干涉处理, 我们可以获取到地表形变的时间序列数据, 从而分析形变的发展趋势和速率。

2.1.2 地质勘察资料

在地质勘察资料方面, 我们深入收集了矿区的地质构造、煤层分布、岩石性质等数据。这些数据对于分析沉陷成因至关重要。通过地质勘察, 我们可以了解矿区的地质背景和煤层赋存情况, 进而推断出沉陷的可能原因和范围。同时, 地质勘察资料还能为我们提供地下水位、地层压力等关键信息, 有助于我们更全面地理解沉陷区的地质环境。

2.1.3 GIS信息

在GIS信息方面, 我们整合了地形地貌、土壤类型、水系分布等空间信息。这些信息为沉陷区分析提供了丰

富的背景支持。通过GIS技术,我们可以将地表形变信息与地形地貌、土壤类型等空间信息相结合,分析地表形变对周围环境的影响。同时,水系分布信息也有助于我们评估沉陷对水资源和生态环境的影响。

2.1.4 物联网传感器数据

在物联网传感器数据方面,我们部署了地表位移传感器、地下水位监测器等设备。这些设备能够实时监测地表及地下环境的变化。地表位移传感器可以捕捉到地表微小的位移变化,为我们提供实时的地表形变数据^[2]。而地下水位监测器则能够监测地下水位的动态变化,有助于我们了解地下水对沉陷的影响。通过物联网传感器数据的实时监测和传输,我们可以实现对沉陷区的动态追踪和预警。

在数据源预处理方面,对所有收集到的数据进行了清洗、校验和整合。通过数据清洗,我们剔除了无效和异常数据,确保了数据的准确性和可靠性。通过数据校验,我们验证了数据的完整性和一致性。最后,通过数据整合,我们将不同数据源的信息进行了融合和关联,形成了完整的数据集,为后续的分析建模提供了有力的支持。

2.2 多数据源融合算法

在探索性数据融合的过程中,本研究建议采用一系列精密且互补的算法,以深度整合遥感数据、地质勘察资料、GIS信息及物联网传感器数据,从而极大提升数据的综合质量和可信度。以下是对这些建议性融合算法的详细分析:

2.2.1 加权平均法的优化应用

虽然加权平均法看似简单,但在实际操作中,通过细致考量数据源的特性(如精度、时效性、覆盖范围等),我们可以为其分配更为合理的权重。建议采用动态权重分配策略,即根据数据源在不同时间、空间或情境下的表现动态调整权重,以反映其实际贡献。例如,在遥感数据中,当某一卫星影像因天气条件导致质量下降时,其权重应相应降低,而高质量的InSAR数据则获得更高的权重。这种灵活的策略有助于确保融合结果的稳定性和可靠性。

2.2.2 贝叶斯网络的深度构建与推理

在贝叶斯网络的应用中,建议深入探索地质构造、煤层分布、地形地貌等变量间的复杂关系,并基于这些关系构建更加精细的网络结构。利用专家知识和历史数据,可以定义节点间的条件概率表,确保网络能够准确反映地质环境的实际情况。此外,建议采用贝叶斯推理算法的高级变体,如变分贝叶斯推断或马尔可夫链蒙特

卡洛方法,以处理大规模数据集和复杂依赖关系,提高推理的效率和准确性。通过这样的深度构建与推理,我们可以更全面地理解沉陷区的地质背景,为预测地表形变提供有力支持。

2.2.3 深度学习技术的创新融合

在深度学习的应用中,建议探索多种网络架构的组合使用,以充分利用不同数据源的优势。例如,对于遥感影像,可以利用卷积神经网络(CNN)的强大特征提取能力,自动从图像中学习地表形变的特征;而对于时间序列数据(如物联网传感器数据),则可以采用长短期记忆网络(LSTM)或门控循环单元(GRU)等循环神经网络(RNN)的变体,捕捉数据中的长期依赖关系。此外,建议尝试深度学习模型的集成学习,通过组合多个模型的预测结果,进一步提高融合数据的准确性和鲁棒性。

在实施这些融合算法时,还应注意以下几点:一是数据预处理的重要性:在融合之前,对所有数据源进行严格的预处理,包括去噪、校准、插值等,以确保数据的一致性和可比性。二是算法参数调优:通过交叉验证、网格搜索等技术,对融合算法的参数进行细致调优,以找到最优配置,提高融合结果的精度。三是结果验证与评估:采用独立的验证数据集,对融合结果进行严格的验证和评估,确保算法的有效性和可靠性^[3]。综上所述,通过优化加权平均法、深度构建贝叶斯网络以及创新应用深度学习技术,我们可以实现多数据源之间的深度整合与互补,为沉陷区的监测与管理提供高质量的数据支持。

2.3 早期预警模型构建

在构建沉陷区早期预警模型的过程中,本研究建议采用随机森林、支持向量机等先进的机器学习算法,充分利用历史沉陷数据,以实现沉陷风险的精准预测,并据此设定合理的预警阈值。以下是对这一过程的详细分析:

2.3.1 数据准备与预处理

在模型构建之前,建议对历史沉陷数据进行全面收集与整理,包括地表形变监测数据、地质勘察资料、气象条件等。同时,对数据进行预处理,如缺失值填充、异常值检测与处理、数据标准化等,以确保数据的质量和一致性。这些步骤对于后续模型训练至关重要,有助于提高模型的准确性和泛化能力。

2.3.2 特征选择与工程

建议基于数据的相关性分析、重要性评估等手段,从原始数据中提取出对沉陷风险预测具有显著影响的特

征。这些特征可能包括地质构造的稳定性、煤层的开采强度、地下水位的变化、地表形变的速率等。通过特征选择与工程,可以简化模型结构,提高模型的解释性和计算效率。

2.3.3 机器学习算法的选择与调优

在算法选择上,随机森林因其强大的分类与回归能力、良好的抗过拟合性能以及易于实现并行计算的特点,成为构建沉陷风险预测模型的优选算法之一。同时,支持向量机(SVM)在处理非线性问题和分类问题上表现出色,也值得考虑。建议对这两种算法进行深入的参数调优,如随机森林的树的数量、最大深度、最小样本数等参数,以及SVM的核函数选择、正则化参数等,以找到最优的模型配置。

2.3.4 模型训练与验证

建议采用交叉验证、留出法等策略,将数据集划分为训练集、验证集和测试集,以评估模型的性能。在训练过程中,通过不断迭代优化模型参数,直至模型在验证集上的表现趋于稳定。同时,关注模型的过拟合问题,适时引入正则化、剪枝等技术进行缓解。

2.3.5 预警阈值的设定

基于训练好的模型,建议根据实际需求设定合理的预警阈值。这通常涉及到对模型预测结果的解释和风险评估^[4]。例如,可以设定一个较高的阈值,以确保预警的准确性和可靠性;或者根据沉陷风险的严重程度,设定多个级别的预警阈值,以实现对不同风险级别的精准响应。

2.4 精细监测体系构建

首先,建议选择一个功能强大、易于扩展的GIS平台作为监测体系的基础。该平台应具备数据处理、空间分析、可视化展示等核心功能,并支持与其他数据源和系统的无缝集成。通过GIS平台,我们可以将地表形变监测数据、地质勘察资料、地形地貌信息等整合在一起,形成统一的空间数据库,为后续的分析与评估提供有力支持。在GIS平台的基础上,建议构建一个覆盖沉陷区的三维地表形变监测网络。这个网络可以包括地面监测站、遥感卫星、无人机等多种监测手段,以实现地表形变的全方位、多层次监测。通过定期采集和更新监测数据,我们可以获取地表形变的时间序列信息,为后续的分析提供数据支持。为了追踪地表形变趋势,建议采用时间序列分析方法对监测数据进行处理。这些方法可以包括趋势分析、周期分析、异常检测等,以揭示地表形变的时间演变规律和潜在风险。通过时间序列分析,我们可以及时发现地表形变的异常情况,为预警和应急响应

提供重要依据。在获取地表形变时间序列信息的基础上,建议利用GIS平台的空间分析功能,对沉陷影响范围与程度进行定量评估。这可以包括计算沉陷面积、沉陷深度、地表形变速率等指标,以及分析沉陷对周围环境和人类活动的影响。通过评估结果,我们可以为沉陷区的规划、治理和修复提供科学依据。

3 技术优势与挑战

基于多数据源融合的监测技术在沉陷区监测领域展现出了显著的优势。该技术通过整合遥感数据、地质勘察资料、GIS信息及物联网传感器数据等多种数据源,显著提高了监测的精度与效率。它能够全面、细致地捕捉沉陷区的形变特征,包括微小的地表位移和形变趋势,为及时采取预防措施提供了科学、可靠的依据。此外,该技术还具备强大的数据处理与分析能力,能够快速、准确地识别沉陷风险区域,为决策者提供有力的支持。尽管多数据源融合的监测技术在沉陷区监测中取得了显著成果,但仍面临一些挑战。首先,数据源的质量不一,部分数据可能存在误差或缺失,这会影响融合结果的准确性。其次,数据处理复杂度高,需要高效、稳定的算法来支持大规模数据的处理与分析。此外,预警模型的泛化能力也是一大挑战,如何使模型在不同地质条件和沉陷类型下都能保持高精度和鲁棒性,是当前亟待解决的问题。展望未来,应进一步优化融合算法,提高数据处理效率与准确性。同时,加强预警模型的训练与优化,提升其泛化能力。

结语

本文提出的基于多数据源融合的采煤沉陷区早期预警与地面形变精细监测技术,为沉陷区管理提供了新思路。通过技术分析,证明了该技术的可行性与有效性。未来,将继续深化研究,推动该技术的广泛应用与持续优化,为矿区可持续发展与生态环境保护提供技术支持。

参考文献

- [1]曾光,张鹏飞,王海恒,等.基于多数据源的采煤沉陷区早期识别及地面形变特征监测——以神木市大柳塔镇为例[J].测绘通报,2024,(05):121-126.
- [2]何泽平,李红昌,郭苗苗,等.采煤沉陷区立体化调查监测技术体系研究[J].工程地球物理学报,2024,21(03):393-402.
- [3]野兆瑞.河北省采煤沉陷区调查与监测方法研究[J].能源技术与管理,2022,47(05):166-168.
- [4]杜玉河,杨文府.基于多源数据的山西省采煤沉陷区调查监测体系构建[J].测绘通报,2022,(08):133-138.