

Research on the inversion and accuracy verification method of mining subsidence prediction parameters

Chen Yao

Yangxian Vanadium Titanium Magnetite Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

Abstract

The inversion and accuracy verification of mining subsidence prediction parameters are key technologies for ensuring safe production, efficient resource utilization, and ecological protection in mines. Its theoretical basis covers subsidence mechanics models (such as probability integration method, numerical simulation method), parameter inversion algorithms (such as genetic algorithm, deep learning), and accuracy verification methods (such as residual analysis, multi-source data fusion). This technology predicts the range and intensity of subsidence through high-precision parameter inversion, providing a basis for mining scheme design and support optimization; Accuracy validation quantifies model errors to ensure prediction reliability. However, in practical applications, there are challenges such as data loss, model simplification, and single validation. To this end, the article proposes data fusion, model innovation, and multivariate validation optimization strategies to improve inversion accuracy and validation effectiveness, provide scientific support for safe mining and ecological restoration, and promote sustainable development of the mining industry.

Keywords

mining and extraction; Subsidence prediction; Parameter inversion; Accuracy verification

矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证方法研究

姚晨

洋县钒钛磁铁矿有限责任公司, 中国·陕西 汉中 723000

摘要

矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证是保障矿山安全生产、资源高效利用及生态保护的关键技术。其理论基础涵盖沉陷力学模型（如概率积分法、数值模拟法）、参数反演算法（如遗传算法、深度学习）及精度验证方法（如残差分析、多源数据融合）。该技术通过高精度参数反演预测沉陷范围与强度，为开采方案设计与支护优化提供依据；精度验证则量化模型误差，确保预测可靠性。然而，实际应用中面临数据缺失、模型粗简、验证单一等困境。为此，文章提出数据融合、模型创新与多元验证优化策略，提升反演精度与验证效果，为矿山安全开采与生态修复提供科学支撑，推动矿业可持续发展。

关键词

矿山开采；沉陷预计；参数反演；精度验证

1 引言

随着我国矿产资源开发强度不断加大，矿山开采引发的地表沉陷问题已成为制约矿业可持续发展、威胁生态安全与公共安全的关键因素。为应对这一挑战，国家出台了一系列政策法规，强调矿山开采沉陷的科学管控与生态修复，推动相关技术方法的研究与应用。《中华人民共和国安全生产法》及相关矿山安全规程明确要求，矿山企业必须采取有效措施预防地表沉陷引发的地质灾害。参数反演与精度验证技术为沉陷风险评估、预警及防控提供了科学依据。实际上，矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证方法的研究，既是落实国家资源开发与生态保护政策的具体举措，也是保障矿山

安全生产、推动绿色矿业发展的技术支撑。由此可见，文章关于矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证方法研究具有重要的现实意义。

2 矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证理论基础

矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证是保障矿山安全生产、减少环境破坏的关键技术环节，其理论基础涉及沉陷力学模型、参数反演算法及精度验证方法三大核心内容。

2.1 沉陷力学模型

沉陷预计需基于岩土体变形规律构建力学模型，常见模型包括概率积分法、负指数函数法及数值模拟法（如有限元法、离散元法）。概率积分法通过概率分布描述岩层移动，适用于大面积开采区域；数值模拟法则通过离散化计算岩体应力-应变关系，可精确模拟复杂地质条件下的沉陷过程。

【作者简介】姚晨（1995-），男，中国陕西咸阳人，本科，助理工程师，从事矿山工程测量研究。

模型选择需结合矿区地质特征（如岩层厚度、倾角）与开采方式（如长壁开采、房柱式开采）。

2.2 参数反演算法

参数反演旨在通过实测数据（如地表移动观测站数据、InSAR 形变数据）反推模型参数（如下沉系数、水平移动系数）。传统方法包括最小二乘法、线性规划法，但易受数据噪声影响。现代方法引入智能算法（如遗传算法、粒子群算法）与机器学习模型（如支持向量机、神经网络），通过全局搜索与自适应学习提升反演精度。例如，基于深度学习的卷积神经网络（CNN）可自动提取数据特征，实现参数的高效解算。

2.3 精度验证方法

精度验证通过对比反演结果与实测数据评估模型可靠性。常用方法包括残差分析（计算预测值与实测值的偏差）、均方根误差（RMSE）及交叉验证（如留一法）。针对 InSAR 数据，需进行大气相位延迟校正与地形相位解缠，以消除外部干扰。此外，多源数据融合验证（如联合 GPS 与 InSAR 数据）可进一步提升验证结果的鲁棒性。

上述理论为矿山沉陷预计提供了科学依据，但实际应用中需结合矿区具体条件优化模型参数与验证流程。

3 矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证的重要性

从安全生产维度来看，矿山开采所引发的地表沉陷是一个复杂且潜在危险极大的地质过程。随着地下煤炭等资源的不断采出，岩层原有的应力平衡被打破，导致岩层失稳、井下巷道变形，进而可能诱发突水、冒顶等严重灾害，这些灾害一旦发生，将直接威胁到井下作业人员的生命安全以及昂贵设备的正常运行。通过高精度的参数反演技术，我们能够基于岩体力学模型与具体的开采工艺参数，深入、定量地分析岩层移动规律，精准预测沉陷的范围与强度。这一过程为合理设计开采方案、优化支护参数提供了坚实的科学依据，使得矿山企业能够在保障安全的前提下进行有序生产。而精度验证则是这一过程中的重要保障，它通过将实测数据与预测结果进行细致对比，量化模型误差，确保预测结果的可靠性，避免因模型失真而引发的安全风险。这一过程不仅保障了矿山生产的连续性，更体现了“安全第一”的工程伦理，彰显了矿业工程对生命的尊重与保护。

在资源高效利用层面，沉陷参数的准确反演对于优化开采边界设计、减少煤炭资源损失具有至关重要的作用。在传统开采方式中，为保障安全，常常需要留设较大的保护煤柱，这无疑导致了煤炭资源回收率的偏低。而通过反演下沉系数、水平移动系数等关键参数，我们可以更加精准地控制开采范围，在保障安全的前提下最大限度地采出资源，提高资源利用率。同时，参数验证还能够评估不同开采方案的经济性，为矿山企业提供科学的决策支持，帮助企业在保障安

全与环保的前提下，实现经济效益与资源利用率的双赢。

在生态环境保护方面，矿山开采沉陷对地表生态环境造成了严重的破坏，如地表植被受损、水土流失加剧，甚至可能威胁到周边居民的生命财产安全。参数反演与验证技术能够量化沉陷对生态环境的长期影响，为土地复垦、生态修复提供宝贵的数据基础。例如，结合 InSAR 高精度监测数据，我们可以动态评估沉陷区的稳定性，为植被重建与土壤改良工程提供科学指导，促进矿区生态的恢复与重建。这一过程不仅是对“绿水青山就是金山银山”理念的生动践行，更是矿业工程社会责任的深刻体现。

4 矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证方法的现实困境

4.1 数据缺偏阻反演之准

矿山开采沉陷预计参数反演的精度高度依赖基础数据的完整性与准确性。当前，实际工程中普遍存在数据缺失与偏差问题：地质勘探数据受限于采样密度与成本，难以全面反映复杂岩层结构；监测数据因设备精度、环境干扰等因素，常出现异常值或失真现象。数据缺失导致参数反演的输入信息不充分，无法准确刻画岩层移动规律；数据偏差则直接传递至反演模型，放大误差影响。此外，多源数据（如地质、水文、监测）的融合困难，进一步加剧了数据层面的不确定性。这一困境使得参数反演结果难以真实反映沉陷特征，降低了预测模型的可靠性，亟需通过多源数据融合技术、数据质量控制方法等手段加以解决。

4.2 模型粗简限验证之精

现有矿山开采沉陷预计模型多基于理想化假设（如均质岩层、规则开采），难以适配复杂地质条件与开采工艺。模型简化导致参数选取缺乏针对性，无法精准描述岩层非线性变形特征；同时，模型对多场耦合作用（如应力-渗流-损伤）的考虑不足，进一步限制了预测精度。精度验证环节中，传统实测对比方法受限于监测点分布稀疏、时间序列不连续，难以全面评估模型预测能力；而数值模拟验证则受限于模型参数敏感性，易出现“模型正确但预测失效”的悖论。模型粗简与验证手段单一共同制约了沉陷预计的精度，需通过多物理场耦合模型、不确定性分析方法等提升模型适应性。

4.3 验证单一误评估之效

当前矿山开采沉陷精度验证主要依赖实测数据与预测结果的简单对比，缺乏系统性评估框架。单一验证方法的局限性体现在：空间维度上，监测点稀疏导致验证范围有限，无法捕捉沉陷盆地的局部特征；时间维度上，实测数据时效性不足，难以反映沉陷动态演化过程；指标维度上，仅采用均方根误差等单一统计量，忽视沉陷形态、最大下沉值等关键参数的评估。此外，验证过程中未充分考虑地质条件、开采工艺的时空变异，导致评估结果存在显著偏差。这一困境