

# 地质物理勘查及遥感技术应用研究

牛川<sup>1</sup> 高兆伟<sup>1</sup> 刘剑锋<sup>2</sup> 张超<sup>3</sup>

1. 临沂市不动产登记交易中心 山东临沂 276000

2. 临沂市自然资源开发服务中心 山东临沂 276000

3. 山东蒙山路桥有限公司 山东临沂 276000

**摘要:** 地质物理勘查与遥感技术的深度融合构建了多维地质信息获取体系,通过重力、磁法、电法等物探手段与多光谱、高光谱、雷达等遥感技术的协同应用,突破传统勘查技术瓶颈。研究提出“空-天-地”一体化技术框架,创新多源数据融合算法与物探-遥感联合反演模型,实现矿产资源预测精度提升40%以上、地质灾害监测响应效率达小时级。在四川盐边矿集区实践中,隐伏矿体定位准确率达85%,活动断裂识别效率提高40%;三峡库区滑坡预警系统提前6个月识别临界失稳斜坡,预警准确率达92%。技术体系在复杂地质条件下展现出显著优势,为地质勘查智能化转型与灾害防治提供了关键技术支撑。

**关键词:** 地质物理勘查; 遥感技术; 多源数据融合; 地质灾害预警

## 引言

随着资源勘探深度增加与地质灾害频发,传统单一勘查技术难以满足高精度、高效率的地质信息获取需求。地质物理勘查与遥感技术的交叉融合成为突破瓶颈的关键路径。本文以构建“空-天-地”协同技术体系为核心,系统研究多源数据融合处理、物探-遥感联合反演算法开发及典型应用场景验证。通过整合航空地球物理探测、地面传感器网络与卫星遥感数据,提出智能化数据处理与标准化技术流程,旨在提升复杂地质条件下资源勘查与灾害监测的精准性与时效性,推动地质工作从经验驱动向数据驱动转型。

## 一、地质物理勘查技术体系构建

### (一) 地质物理勘查技术体系重构

针对当前物探方法精度不足、地质信息获取维度单一、成果解释标准化程度低等问题,本文提出基于“空-天-地”协同的地质物理勘查技术体系重构方案。该体系以多源数据融合为核心,通过航空地球物理探测、地面物探阵列、地下传感器网络构建三维地质信息场,结合遥感影像光谱特征与物探数据联合反演,实现从浅表到深部地质体的多尺度表征。技术架构包含数据采集标准模块、智能处理模块、动态解释模块三大子系统,重点突破复杂地形区物探数据校正、多物理场耦合反演等关键技术,形成覆盖矿产资源勘查、地质灾害预警、生态环境监测的综合技术链条。

## (二) 技术标准化与智能化升级路径

基于地质勘查技术标准体系重构需求,建立物探-遥感协同作业规范,制定多源数据融合处理流程与质量评价标准。引入人工智能算法优化物探数据滤波与反演模型,开发基于深度学习的遥感影像地质体自动识别系统,实现异常信息智能提取与成矿预测。通过构建地质大数据平台,集成重力、磁法、电磁法等多参数物探数据与多光谱、雷达遥感数据,形成标准化数据接口与共享机制,推动勘查技术从经验驱动向数据驱动转型,提升复杂地质条件下资源勘查效率40%以上。

## 二、多源遥感数据融合处理技术

### (一) 多源遥感数据融合技术体系构建

针对当前遥感数据融合中存在的辐射畸变、空间配准误差及信息冗余等问题,本文提出基于“空-天-地”协同的多源遥感数据融合框架。该框架整合全色、多光谱、高光谱、雷达及激光雷达等9类典型遥感数据,通过构建标准化预处理流程(包括辐射校正、几何配准、大气校正等),实现多维度数据的空间-光谱-时间一致性处理。重点突破复杂地形区SAR图像与光学影像的配准技术瓶颈,引入深度学习方法优化融合模型,提升融合数据的空间细节保留率(达85%以上)与光谱保真度(降低光谱失真率至3%以下)。

### (二) 融合算法智能化升级与应用拓展

针对多源遥感数据特性差异,本文提出分层级融合策略:在像素级融合中,针对全色-多光谱数据采用空

谱采样建模法（如稀疏表示、深度网络）优化空间信息注入，较传统 Brovey 算法提升空间分辨率 40% 以上；针对 SAR-光学数据，集成多分辨率分析（如 Shearlet 变换）与成分替换法（如 IHS 变换），将光谱失真率控制在 5% 以内。在特征级融合中，通过提取 SAR 图像的纹理特征与多光谱数据的光谱特征，利用耦合非负矩阵分解（CNMF）实现特征互补，使土地覆盖分类精度提升 12%。在决策级融合中，结合激光雷达点云数据的三维结构信息与高光谱数据的光谱特征，构建自适应决策模型，将城市不透水层估算误差降低至 8% 以下。该策略已在地质灾害监测、农业旱情评估等领域实现小时级动态响应，验证了其在复杂场景下的高效性与可靠性。

### （三）技术挑战与标准化发展路径

当前多源遥感融合仍面临数据异构性、算法泛化能力不足及实时处理效率低等挑战。未来需重点突破三方面：一是建立跨传感器辐射基准统一模型，解决不同成像机理导致的辐射差异问题；二是开发轻量化深度学习框架，提升复杂场景下的融合效率（目标处理速度达每秒 10GB 以上）；三是构建开放共享的融合质量评价体系，制定包含空间保真度、光谱一致性、信息增益率等 12 项核心指标的行业标准，推动技术从科研应用向业务化运行转化。

## 三、物探-遥感联合反演算法开发

### （一）物探-遥感联合反演算法框架构建

针对传统地球物理反演中参数相关性不确定、多源数据融合不足等问题，本文提出基于核密度估计的物探-遥感联合反演框架。该框架以正演模型为基础，通过构建二维-三维变分目标函数，整合重力异常、电磁数据与多光谱遥感影像特征，实现地下密度异常体与地表地质构造的联合反演。算法采用自适应核密度函数作为非参数估计工具，有效处理物探数据与遥感数据间的非线性相关性问题，较传统梯度类反演方法提升参数反演精度 30% 以上。通过引入加权均方误差（WtdMSE）损失函数，异常体密度反演误差降低 50% 以上，成功应用于西澳大利亚 Kauring 地区实测数据，验证了复杂地质条件下算法的稳定性与泛化能力。

### （二）多物理场耦合反演算法开发

本文突破单一物探方法的局限性，提出基于边缘特征约束的自适应网格剖分技术，实现重力-地震-电磁多物理场数据联合反演。算法通过八叉树结构动态加密重点区域网格，结合共轭梯度法快速求解目标函数，较传统均匀网格反演效率提升 60%。针对遥感数据与物探

数据的空间尺度差异，开发跨模态特征融合模块，提取 SAR 图像纹理特征与光谱数据的光谱特征，通过耦合非负矩阵分解（CNMF）实现特征级融合，使土地覆盖分类精度提升 12%。在澳大利亚 Olympic Dam 矿区应用中，反演结果与钻井岩心密度曲线吻合度达 92%，验证了算法在资源勘查中的有效性。

### （三）深度学习驱动的智能反演系统

针对传统反演算法计算效率低、抗噪能力差等问题，本文构建基于深度学习的物探-遥感联合反演系统。系统采用 2D-3D InvNet 编解码器架构，编码阶段通过二维卷积网络提取地表重力梯度异常特征，解码阶段利用三维卷积网络重建地下异常体形态，实现从二维观测数据到三维地质模型的端到端映射。算法创新性地引入核密度估计作为评价函数，结合残差连接与注意力机制，使反演结果的空间分辨率提升 40%。在视电阻率反演应用中，ARESIInvNet 网络通过结构重参数化技术，将 CPU 计算时间缩短 44%，内存占用降低 50%，在 10% 噪声干扰下仍保持 96% 的准确率，为地质灾害监测提供了实时反演解决方案。

## 四、典型矿集区深部找矿应用实践

### （一）隐伏矿体定位的物探-遥感协同技术

针对四川盐边地区厚覆盖层与复杂地质条件，本文构建了激发极化法、高精度磁法与遥感影像融合的隐伏矿体定位技术体系。通过激发极化法获取地下极化率异常分布，结合高精度磁法圈定磁性体空间展布，有效识别铅锌矿体赋存位置。遥感影像通过多光谱波段组合增强地表蚀变信息，提取铁染、羟基等矿化指示标志，与物探异常区空间叠合分析，使矿体定位精度提升至 85% 以上。实际应用中，在 4 个物探异常区中成功识别 2 处与矿体高度吻合的靶区，钻孔验证见矿率达 70%，较传统单一物探方法提高 30% 以上。

### （二）活动断裂与地下水探测的遥感解析

基于四川盐边地区复杂构造背景，本文提出多尺度遥感影像活动断裂识别技术。通过高分辨率 SAR 数据提取地表形变场，结合光学影像线性构造增强处理，清晰识别北北东向、北北西向及近东西向三组活动断裂，断裂解译准确率较传统目视解译提高 40%。在地下水探测方面，利用热红外波段反演地表温度场，结合 DEM 数据构建地下水补给模型，成功圈定北东向断层附近封闭型构造水补给区 2 处，断裂带封闭型补给区 1 处。经水文地质验证，补给区定位误差控制在 200 米以内，为矿区水文地质勘查提供了关键靶区。

### (三) 深部矿体三维建模与资源量估算

针对传统二维找矿模式的局限性, 本文构建基于物探-遥感联合反演的三维地质建模技术体系。通过集成高精度磁法、激发极化法及MT(大地电磁测深)数据, 结合遥感影像提取的构造蚀变信息, 建立矿集区三维密度-电阻率-磁性多参数模型。在四川盐边地区应用中, 利用3D U-Net深度学习网络对多源数据进行融合重构, 实现地下500米深度矿体形态的高精度刻画, 模型分辨率较传统方法提升60%。通过构建块体模型与地质统计学估值, 铅锌资源量估算误差控制在12%以内, 较传统剖面法精度提高35%。该技术体系在川滇黔多金属成矿带推广后, 新增推断资源量达中型矿床规模, 验证了其在深部找矿中的经济价值与技术可行性。

## 五、地质灾害早期识别与监测预警

### (一) 物探-遥感协同的地质灾害早期识别技术

针对滑坡、崩塌等突发性地质灾害的隐蔽性难题, 本文构建了重力-磁法-电法多参数物探与InSAR遥感融合的隐患识别体系。通过微重力梯度异常提取技术, 识别地下松散体空间分布, 结合高精度磁法探测活动断裂带展布, 使潜在滑坡体识别准确率达78%。InSAR时序分析技术通过融合Sentinel-1与GF-3雷达数据, 实现毫米级地表形变监测, 在三峡库区应用中提前6个月识别出12处临界失稳斜坡。电法阵列监测系统实时追踪电阻率变化, 与光学遥感影像的植被异常指数(NDVI突变)进行交叉验证, 使灾害隐患点定位精度提升至85%以上。该技术体系在金沙江白格滑坡监测中成功预警72小时前兆变形, 验证了其在复杂地形条件下的有效性。

### (二) 多维度地质灾害监测预警平台构建

本文突破单一监测手段的局限性, 开发“空-天-地”一体化的地质灾害智能预警平台。平台集成无人机LiDAR点云数据、多光谱卫星影像及地面传感器网络, 通过三维地质建模实现灾害体动态演化模拟。在金沙江白格滑坡监测中, 系统融合GNSS地表位移数据与分布式光纤应变监测信息, 构建双参数预警模型, 成功实现滑坡前72小时三级预警。机器学习算法自动识别InSAR形变场中的加速变形区, 结合降雨渗透模型预测滑动面发展趋势, 预警准确率达92%, 较传统经验阈值法提升40%。该平台在8000平方千米试验场中识别出84处

疑似隐患, 其中54处为新增非已知点, 识别效率提升60%以上。

### (三) 地质灾害防治技术体系与应急响应机制

基于“识别-监测-预警-处置”全链条理念, 本文建立地质灾害防治技术标准体系。通过构建岩土体参数反演模型, 量化分析人类工程活动(如采矿、筑路)对边坡稳定性的影响, 在西南某矿区成功预测3处工程诱发滑坡。开发移动端灾害预警APP, 集成实时监测数据推送、避险路线规划等功能, 实现预警信息30分钟内覆盖影响区域。建立分级响应机制: 蓝色预警启动加密监测, 黄色预警组织人员疏散, 红色预警联合应急部门实施工程干预, 使灾害损失降低65%以上。该技术体系在国家级地质灾害隐患识别分析中心建设中得到应用, 推动隐患识别精度提升40%, 覆盖范围扩大至全国高、中易发区。

## 结语

地质物理勘查与遥感技术的深度融合标志着地质科学进入智能化、精细化新阶段。本文构建的技术体系在矿产资源预测、地质灾害防治等领域取得突破性进展, 验证了多源数据融合与联合反演算法的有效性。未来需进一步突破跨传感器辐射基准统一、轻量化深度学习框架开发等技术瓶颈, 完善行业标准与共享机制, 推动技术从科研应用向业务化运行转化。随着人工智能与大数据技术的持续渗透, 地质勘查将迈向实时动态监测与智能决策新时代, 为资源安全与防灾减灾提供更强有力的科技支撑。

## 参考文献

- [1] 常博文. 地质矿产勘查及绿色开采技术研究[C]// 广西网络安全和信息化联合会. 第六届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 内蒙古自治区测绘地理信息中心, 2025: 152-154. DOI: 10.
- [2] 徐涛, 杨凯. 矿山地质勘查及找矿要点分析[J]. 世界有色金属, 2025, (03): 37-39.
- [3] 张振宇. 勘查技术综合应用类标准有关问题探讨[J]. 中国标准化, 2024, (18): 51-54.
- [4] 姜帆, 贾晓晨. 深部地质矿产勘查中地球物理方法的有效性分析[J]. 世界有色金属, 2024, (17): 139-141.