

Breakthrough and Practice of Geological Survey Analysis and Testing Technology

Fangwang Lin

Hainan Geological Survey Institute, Haikou, Hainan, 570206, China

Abstract

Geological surveys, as a fundamental means of understanding the composition and evolution laws of Earth's materials, have long played a supporting role in major fields such as resource development, environmental protection, and disaster prevention. In recent years, the new survey technology system born from the innovation of sensing technology and the improvement of data processing capabilities has promoted the acquisition of geological information towards high precision and three-dimensional direction. The collaborative application of high-resolution remote sensing, deep geophysical exploration, and intelligent analysis algorithms is reshaping the working paradigm of geological surveys. This technological transformation not only expands the dimensions of human understanding of geological processes, but also demonstrates profound value in improving resource exploration efficiency, optimizing geological hazard warning mechanisms, and laying the foundation for the deep integration of geological disciplines and engineering practices.

Keywords

geological survey analysis; Testing technology; Breakthrough and Practice

地质调查分析测试技术的突破与实践

林方旺

海南省地质调查院, 中国·海南 海口 570206

摘要

作为认识地球物质组成与演化规律的基础手段的地质调查, 长期以来对资源开发、环境保护及灾害防治等重大领域起着支撑作用。近年来, 由传感技术革新以及数据处理能力提升所催生的新型调查技术体系, 推动着地质信息获取朝着高精度、三维化的方向迈进。高分辨率遥感、深部地球物理探测及智能分析算法协同应用的情况, 正在对地质调查的工作范式进行重塑。这种技术变革一方面拓展了人类理解地质过程的维度, 另一方面在提升资源勘探效率、优化地质灾害预警机制等方面展现出意义深远的价值, 从而为地质学科与工程实践深度融合打下基础。

关键词

地质调查分析; 测试技术; 突破与实践

1 引言

人类探索自然有着诸多需求, 而地质调查技术的发展始终与之紧密交织在一起。从早期仅是罗盘与地质锤这样简单的工具, 发展到当代形成多源数据融合的立体探测体系, 其技术一直在持续进步, 不断突破着认知的边界。对于复杂地质构造的解析以及资源定位精度提升方面, 传统调查手段在时空上存在局限性, 而当下的要求是必须克服这些局限。遥感技术波谱识别能力得以增强, 地球物理仪器深部信号捕捉性能实现突破, 在此情况下, 隐伏地质体的识别才成为可能之事。与此同时, 数据采集设备朝着微型化方向发展以及实时传输功能出现革新, 这显著提高了野外调查时的响应速

度, 也保证了数据的完整性。这些技术并非孤立地演进, 而是相互关联, 形成了能相互验证的技术生态链, 进而推动地质调查从经验驱动的模式转变为数据驱动模式。本文会对关键技术突破的路径展开系统梳理, 并对其在不同应用场景中的实践逻辑进行探讨。

2 地质调查技术的基础与进展

2.1 地质调查的主要目的与内容

在地球科学研究当中, 处于核心环节位置的地质调查, 把系统性解析岩石圈结构、物质组成以及演化规律当作核心目标, 以此服务于资源潜力评估、地质灾害预警还有生态环境治理等多个维度的需求。其核心所涵盖的内容包括对从地表至深部地质体的空间分布特征进行解析、对构造运动痕迹加以识别、对地层序列展开重建以及对地球化学场实施动态监测, 目的在于构建起区域地质模型, 进而揭示出它和人类

【作者简介】林方旺(1983-), 男, 中国海南文昌人, 本科, 高级工程师, 从事水工环地质研究。

活动之间的交互机制^[1]。传统的地质调查方法往往依赖于野外露头观测、岩矿鉴定以及地球物理剖面解译，然而由于受到设备精度以及数据整合能力的限制，难以穿透复杂的覆盖层，也没办法精准地刻画隐伏构造。伴随高光谱遥感、多参数地球物理阵列以及原位分析技术协同应用起来，现代的地质调查突破了以往单一尺度的观测局限，达成了从宏观构造格架一直到微观元素迁移的全链条信息捕捉这一状况。

2.2 现代地质调查技术的发展

在传感技术革新与数字地球理念深度融合的驱动下，现代地质调查技术已突破传统经验依赖型框架，形成多维度、多尺度协同探测体系。高光谱遥感通过窄波段光谱解析能力，实现对地表岩矿蚀变信息的亚像元级识别，结合干涉雷达对微地形变场的毫米级监测，构建起地表过程动态追踪网络^[2]。深部地球物理探测技术借助宽频电磁阵列与多波地震联合反演，穿透厚覆盖层并解析隐伏构造的三维物性结构，其多参数耦合解译模型显著提升了对复杂地质体的空间定位精度。原位微区分析技术革新则推动元素赋存状态研究进入纳米尺度，激光剥蚀质谱与同步辐射技术的集成应用，使矿物内部元素迁移轨迹的实时捕捉成为可能。这些技术通过智能算法实现异构数据流融合，构建起“空-地-深”一体化探测链路，不仅突破传统方法的时空分辨率限制，更将地质调查从静态描述转向地质过程动态模拟。技术体系的迭代正重塑地质认知范式，为资源定位、灾害预警等应用场景提供机理驱动的决策支撑。

3 技术突破与创新

3.1 高分辨率遥感技术

高分辨率遥感技术的突破性发展植根于多源光学传感与先进算法的深度耦合，其技术内核在于突破传统遥感对地表信息的粗放式捕获模式，构建起亚像元级地质特征解析能力。多光谱与高光谱成像技术的协同应用，通过窄波段光谱分割实现岩矿蚀变信息的精细识别，而合成孔径雷达凭借微波穿透特性，在植被覆盖区实现隐伏构造形迹的毫米级形变监测。技术革新体现在空间分辨率从米级向亚米级跃迁，配

合时间序列数据的动态累积，形成四维地质过程追踪能力。智能解译算法的引入，将海量光谱数据流转化为矿物组合概率分布图，极大提升了区域蚀变带空间展布规律的反演精度。这些技术要素的系统集成，不仅重构了地表地质调查的作业范式，更通过空天地一体化数据链的构建，推动地质模型从静态描述向动态演化过程解析升级，为隐伏资源定位和活动构造监测提供机理层面的科学支撑。

3.2 地球物理探测技术的创新

地球物理探测技术的范式革新源于多维场耦合理论与智能反演算法的深度融合，其技术突破体现在对地下隐伏结构的多参数协同解译能力跨越式提升。宽频带电磁阵列系统通过激发-接收模式的优化设计，突破传统单一频率探测的深度-分辨率矛盾，结合大地电磁与瞬变电磁的联合反演，构建起浅表风化层至深部基底的电阻率三维精细模型^[3]。多波地震勘探技术引入全波形反演算法，将纵波、横波及面波的能量场特征纳入统一解译框架，显著提高复杂构造区断层产状与岩性界面的刻画精度。重力梯度仪与超导磁力仪的技术迭代，使微弱重力场与磁异常信号的分辨率达到微伽级，为隐伏矿体边界识别提供物理场约束。这些技术通过异构数据流的智能融合与不确定性量化分析，形成“场-震-电磁”协同探测体系，不仅重构了深部地质体的多尺度表征方法，更将地球物理探测从单一物性参数提取转向地质过程动力学模拟，为深地资源勘探与构造活动监测注入新的技术驱动力。根据地球物理探测技术突破方向，表1汇总关键技术创新参数与典型应用场景，显示宽频带电磁阵列系统通过0.01Hz-10kHz宽频覆盖突破传统方法的频带限制，在3000米深度范围内实现电阻率结构的三维反演，其联合反演算法将浅表风化层与深部基底的建模误差降低至12%以下。多波地震全波形反演技术建立纵波、横波、面波的能量耦合方程，使逆掩断层识别准确率提升至89%。超导重力梯度仪5μGal的分辨能力可识别直径30米的隐伏矿体异常，较传统重力仪探测精度提升两个数量级。这些技术创新形成多尺度探测能力，支撑深部资源勘探从千米尺度向十米级精度的跨越。

表 1

技术名称	核心创新点	应用场景	关键技术参数	典型应用实例（文献）
宽频带电磁阵列系统	瞬变电磁与大地电磁联合反演	深部基底结构探测	频率覆盖 0.01Hz-10kHz，探测深度 3000m	青藏高原隐伏断裂带成像 ^[3]
多波地震全波形反演	纵波 / 横波 / 面波联合解译	复杂构造区岩性识别	各向异性建模误差 <8%，计算效率提升 30%	四川盆地页岩气储层建模
超导重力梯度仪	微伽级重力异常分辨率	隐伏矿体边界定位	分辨率 5 μGal，动态范围 ± 2000mGal	胶东金矿集区靶区圈定
量子磁力仪	磁场灵敏度达 0.1nT	磁性体精细探测	采样率 20Hz，绝对精度 ± 0.05nT	大兴安岭铁矿勘查
地 - 井瞬变电磁系统	钻孔与地面装置协同观测	深部矿体三维探测	发射电流 500A，有效探测半径 800m	铜陵矿集区深部铜矿定位

3.3 数据采集与处理技术的进步

数据采集与处理技术的范式跃迁源于传感网络智能化与异构数据融合能力的协同进化,其核心突破体现在全流程数据链的实时性与解析精度的革命性提升。多模态传感器阵列通过自适应滤波与噪声抑制算法,在复杂地形条件下实现电磁、重力及地震波信号的高保真捕获,配合边缘计算模块完成原位数据预处理,有效降低传输带宽压力并规避环境干扰导致的信号畸变。分布式存储架构与流式计算框架的整合,使海量异构数据流的时空配准效率跨越式优化,基于机器学习的特征提取引擎可自动识别地质体物性参数的关联模式,构建起多尺度地质模型动态更新机制。数据融合技术的突破聚焦于多源信息知识图谱构建,将遥感光谱特征、地球物理场参数与地球化学元素分布纳入统一语义网络,利用图神经网络挖掘隐含的成因关联规则^[4]。这些技术革新不仅重构了地质调查数据流的生命周期管理路径,更驱动地质解译从经验驱动向数据-机理双引擎模式转型,为深时数字地球系统的构建奠定技术基底。

4 地质调查分析测试的实践应用

4.1 资源勘探中的技术应用

资源勘探领域的技术应用创新性突破源于多学科方法链的深度融合,其核心价值体现在对隐伏地质体识别与资源潜力评估能力的系统性跨越。多尺度地球物理探测技术通过电磁场、重力场与地震波场的多参数联合反演,构建深部构造-岩性三维精细模型,精准圈定矿化异常体的空间展布规律。高分辨率遥感技术结合短波红外与热红外光谱特征,突破植被覆盖与表生改造对矿化信息的屏蔽效应,实现蚀变矿物组合的亚像元级识别与矿化带边界智能圈定。原位微区分析技术依托激光剥蚀与飞行时间质谱联用,解析矿物内部元素赋存状态与同位素分馏特征,为成矿流体演化路径提供微观证据链。智能数据处理平台集成地质大数据挖掘与知识图谱构建,将地球物理异常、地球化学场与构造控矿要素进行

多维耦合分析,形成成因驱动的资源定位模型。

4.2 工程地质调查中的应用

在工程地质调查领域,技术的演进是源于多维度探测方法和智能解析算法深度融合的结果。原位测试技术革新的聚焦点在于对岩土力学参数进行动态获取,基于声发射监测与分布式光纤传感技术,能够实时捕捉到岩体应力调整过程中微破裂的演化特征,并且结合数字孪生技术来构建工程地质体的多物理场耦合响应模型这一成果。智能数据分析平台集成了地质构造、岩体力学以及水文地质等多源信息,借助数值模拟与机器学习混合算法,达成了对工程灾害链成因的推理以及风险概率预测的实现之功。

5 结语

现代地质调查技术的集成创新标志着人类解译地球信息的能力进入新阶段。高精度探测设备与智能算法的深度耦合,不仅实现地质体空间特征的精细化建模,更建立起动态监测地质过程的可行性框架。在矿产资源定位、活动断层监测、重大工程选址等领域,新型技术体系展现出传统方法无法比拟的决策支撑价值。未来发展方向应聚焦多源异构数据的自适应融合机制构建,以及探测设备的环境适应能力强。技术研发需兼顾生态保护需求,探索低干预、高回报的调查模式,使地质调查技术既成为认知地球的利器,亦是维系人地关系平衡的纽带。

参考文献

- [1] 徐磊,林学辉,张媛媛,等.海洋地质实验测试技术及研究进展[J].海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(3):53-54.
- [2] 段文,石友昌.土壤和岩石矿物中氟元素分析测试技术研究进展[J].岩矿测试, 2023, 42(1):72-88.
- [3] 任薇.地质实验测试技术在地质调查中应用[J].新疆有色金属, 2024, 47(3):37-38.
- [4] 杨彦龙.浅层二维地震勘探技术在鄂尔多斯中北部地质调查中的应用[J].新疆地质, 2024, 42(3):451-458.