

煤矿掘进工作面物探技术应用探讨

王金锁

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘要: 煤矿掘进工作面的地质复杂性易引发安全风险,物探技术是保障掘进安全的关键手段。本文系统探讨煤矿掘进工作面物探技术的核心原理、适用条件及主流关键技术,梳理技术应用全流程,分析其在地质异常探测与安全风险预警中的具体应用。研究表明,地震波类、电法、电磁法等物探技术及多源数据融合技术可有效提升地质探测精度,标准化应用流程能保障成果可靠性。本文研究为优化物探技术在煤矿掘进工作面的应用提供理论与实践参考,助力提升掘进作业安全性与效率。

关键词: 煤矿掘进;物探技术;应用流程;具体应用

引言: 随着煤矿开采深度增加,掘进工作面地质条件愈发复杂,含水构造、断层破碎带等不良地质体及瓦斯、突水等安全风险对掘进作业构成严重威胁。传统地质勘查手段难以精准捕捉隐蔽地质信息,制约掘进安全与效率提升。物探技术凭借非接触、高精度、高效率的优势,在煤矿地质探测中得到广泛应用。基于此,本文围绕煤矿掘进工作面物探技术展开探讨,阐述技术基础与关键类型,梳理应用流程,分析具体应用场景,旨在为物探技术的科学应用提供支撑,推动煤矿掘进作业安全高效开展。

1 煤矿掘进工作面物探技术概述

1.1 物探技术核心原理

煤矿掘进工作面物探技术的核心原理是利用地下不同地质体在物理性质上的差异,通过专门设备发射特定物理场信号,接收经地质体反射、折射或透射后的信号,再借助数据处理与分析方法反演地下地质结构特征。不同类型物探技术依托的物理性质存在差异,如地震波类技术基于弹性波传播速度差异,电法技术基于地层导电性能差异,电磁法技术则利用电磁感应原理,通过捕捉信号传播过程中的参数变化,实现对地下隐蔽地质体的定位与识别,为掘进施工提供地质参考依据。

1.2 掘进工作面物探技术适用条件

掘进工作面物探技术的适用需结合地质条件、施工环境及探测目标综合判定。从地质条件来看,需满足探测目标与周边地层存在显著物理性质差异,否则易导致信号辨识度低,影响探测精度;施工环境方面,需保证作业空间满足设备布置与操作需求,避免极端施工干扰信号采集;同时要匹配探测深度与分辨率要求,不同技术的有效探测范围存在差异,需根据掘进进度规划与探测任务精准选择。作业环境的温度、湿度及电磁干扰程

度也需符合设备运行要求,确保技术应用的稳定性与可靠性。

1.3 物探技术在掘进安全中的作用

物探技术是保障煤矿掘进安全的关键技术手段,其核心作用体现在提前排查隐蔽地质风险、为安全施工提供决策支撑。通过精准探测掘进前方及周边的含水构造、断层破碎带等不良地质体,可提前预判突水、坍塌等风险,为制定针对性防控措施提供依据;能够辅助识别瓦斯富集区等潜在危险区域,降低掘进过程中瓦斯突出等事故概率。物探技术可实时跟踪掘进过程中地质条件的变化,动态反馈施工影响范围内的地质稳定性,助力及时调整施工方案,从源头规避安全隐患,保障掘进作业的连续性与安全性^[1]。

2 煤矿掘进工作面主流物探关键技术

2.1 地震波类物探关键技术

地震波类物探技术是掘进工作面深层地质探测的核心技术,其关键技术要点集中在信号调控与接收解析环节。(1)震源优化技术:根据掘进工作面空间限制,选用适配的可控震源类型,精准调控震源能量与频率参数,确保地震波可穿透至目标探测深度,同时减少对周边施工环境的干扰;采用多波激发技术,提升地震波信号的辨识度与覆盖范围。(2)高分辨率接收技术:采用高密度检波器阵列布置方式,缩小检波器间距以提升空间采样精度;优化检波器耦合方式,增强与地层的接触稳定性,减少信号衰减;配备高灵敏度信号接收设备,实现微弱地震波信号的有效捕捉。(3)波场分离与成像技术:运用多域滤波算法实现有效波与干扰波的精准分离,剔除施工振动、设备噪声等干扰信号;采用偏移成像处理技术,对地震波传播路径进行校正,提升地质体成像的清晰度与定位精度,准确反演地下地质结构形态。

2.2 电法物探关键技术

电法物探技术依托地层导电差异实现地质探测，其关键技术聚焦于电极布置与数据校正。(1) 电极优化布置技术：根据探测目标深度与范围，确定合理的电极排列方式与间距，采用对称或非对称布置策略提升探测分辨率；针对掘进工作面狭小空间，选用小型化、轻量化电极，优化电极嵌入深度与固定方式，确保电极与地层良好接触，保障电流稳定传导。(2) 干扰抑制技术：采用屏蔽电极或接地屏蔽技术，减少掘进设备、电缆等金属构件产生的电磁干扰；通过电流源频率优化，避开工业干扰频率段，提升电信号的稳定性；运用差分式测量技术，降低环境电场、杂散电流对测量数据的影响。(3) 数据校正与反演技术：开展地形校正与围岩电性校正，消除掘进巷道起伏、围岩不均匀性对测量结果的干扰；采用高精度二维或三维反演算法，结合前期地质资料，精准反演地下地层的电阻率分布特征，实现对不良地质体的精准定位。

2.3 电磁法物探关键技术

电磁法物探技术（以地质雷达为代表）适用于浅层地质探测，关键技术体现在天线设计与信号解析。(1) 天线适配技术：根据探测深度需求选用对应中心频率的天线，浅层探测选用高频天线提升分辨率，深层探测选用低频天线扩大探测范围；采用收发一体天线设计，缩小设备体积以适配掘进工作面狭小空间，同时优化天线辐射角度，增强信号定向传播能力。(2) 信号采集控制技术：采用步进频率扫描技术，精准调控发射信号的频率范围与采样率，实现不同深度地质信息的全面采集；建立实时信号监测机制，根据信号强度动态调整采集参数，确保数据采集的完整性与可靠性；配备高速数据存储模块，实现海量采集数据的实时存储。(3) 信号解析与成像技术：运用时域、频域联合分析方法，提取电磁信号的幅值、相位等特征参数；采用偏移成像处理技术，修正信号传播过程中的畸变，生成清晰的地质雷达剖面图；通过信号特征与地质体的对应关系分析，实现对浅层隐蔽地质体的快速识别。

2.4 多源物探数据融合关键技术

多源物探数据融合技术可提升探测精度，其关键技术在于数据标准化与融合算法优化。(1) 数据标准化处理技术：建立统一的数据格式与坐标体系，对不同类型物探数据进行归一化处理，消除数据量纲差异；开展数据预处理同步化，统一完成降噪、校正等前期处理步骤，确保不同数据源的一致性与可比性。(2) 特征提取与匹配技术：从各类物探数据中提取反映地质体本质的特征参

数，如地震波速度、地层电阻率、电磁信号幅值等；采用特征匹配算法，建立不同数据源特征参数的对应关系，识别共性地质信息与互补信息。(3) 融合建模与解释技术：选用适配的融合算法，将多源数据进行分层融合或全局融合，构建三维地质模型；结合地质先验信息，对融合结果进行综合解释，降低单一物探技术的多解性，提升地质解释的准确性与可靠性，为掘进施工提供全面、精准的地质依据^[2]。

3 煤矿掘进工作面物探技术应用流程

3.1 前期勘查准备与场地布置

此环节为物探精准应用的基础，围绕技术适配、设备保障、场地适配推进。(1) 技术资料梳理与方案编制：收集地质报告、钻孔资料等基础信息，明确探测目标参数并选定适配物探技术，制定施工方案，明确探测范围、精度及各环节技术规范。(2) 设备检查与调试：全面排查发射、接收、存储等设备，校准参数确保性能达标，备齐配件与维修工具规避作业中断。(3) 场地清理与点位规划：清理探测区域障碍物并平整场地，精准标记发射与接收点位，规划设备架设区与作业通道，避免施工冲突并设置安全警示。

3.2 数据采集与质量控制

作为保障成果可靠性的关键，需遵循标准化流程全程把控质量。(1) 采集前准备：复核设备参数与连接状态，对人员岗前交底，清理干扰源并采取电磁屏蔽措施。(2) 标准化采集：按方案参数启动设备，保持采集连续性，实时监测数据特征，同步记录时间、温湿度等可追溯信息。(3) 质量核查与修正：建立多级核查机制，筛查剔除异常数据，完成探测单元后进行重复性测试，偏差超限时重新采集，定期检查设备状态避免数据失真。

3.3 数据处理与解释方法

核心是剔除干扰、精准反演地质特征。(1) 原始数据预处理：用专业软件滤波去噪，完成数据标准化转换与校准，补充辅助信息形成完整数据集，对缺失区域插值补全。(2) 核心数据处理：按物探技术类型选用对应算法，如地震波数据波场分离、偏移成像，电法数据地形与围岩校正，转化为直观的剖面、平面图成果。(3) 地质解释：结合前期地质资料综合分析处理成果，依据地质体物理响应特征识别隐蔽构造，通过多参数交叉验证降低多解性，形成精准结论。

3.4 成果输出与应用衔接

实现物探成果与施工精准对接。(1) 成果整理与输出：编制含探测概况、处理流程、解释成果及风险预判的标准化报告，同步输出标注隐蔽地质体位置、风险等

级的可视化图件。(2) 成果审核与交底: 组织专业人员审核报告规范性与结论合理性, 向施工团队交底探测成果、风险及注意事项。(3) 施工应用与反馈: 以物探成果指导施工方案制定与风险防控, 建立反馈机制跟踪实际地质情况, 验证成果准确性, 偏差时及时调整探测与施工方案^[3]。

4 煤矿掘进工作面物探技术具体应用

4.1 在掘进工作面地质异常探测中的应用

物探技术在掘进工作面地质异常探测中的应用, 核心是通过捕捉地质体物理性质差异实现精准识别与定位, 具体应用流程围绕针对性准备、精准采集、科学解析及动态跟踪展开。(1) 探测前期针对性准备: 系统梳理掘进区域地质报告、钻孔资料等基础信息, 明确潜在地质异常的核心类型, 据此选定单类适配物探技术或多技术组合方案; 结合异常探测需求优化技术参数, 明确探测深度、分辨率及有效覆盖范围, 确保探测方案与地质条件匹配。(2) 多维度信号采集与重点聚焦: 采用高密度、全方位采集布局, 重点强化掘进前方迎头、巷道两帮及顶板等关键区域的信号覆盖; 实时监测采集信号的幅值、相位等特征参数, 标记信号突变、畸变等可疑异常区域, 为后续数据处理锁定重点方向。(3) 异常数据精准解析: 对采集数据进行针对性降噪、滤波处理, 剔除施工干扰与设备噪声; 运用偏移成像、反演计算等技术, 突出异常地质体的信号特征, 量化分析其位置、形态及规模; 结合地质先验信息开展多参数交叉验证, 降低异常识别的多解性, 形成精准的地质异常判定结论。(4) 动态跟踪探测: 伴随掘进施工进度, 对已探测异常区域进行复核验证, 同时持续推进前方新区域探测; 实时更新地质异常数据库, 动态反馈地质条件变化, 为掘进施工调整提供实时地质支撑。

4.2 在掘进工作面安全风险预警中的应用

物探技术在掘进工作面安全风险预警中的应用, 以地质异常信号为核心关联要素, 通过标准化流程实现风险提前预判, 具体应用要点如下。(1) 风险关联地质特征识别: 针对突水、瓦斯突出、顶板坍塌等核心安全风

险, 明确对应的关联地质特征, 如突水关联的高导含水构造、瓦斯突出关联的低阻瓦斯富集区、顶板坍塌关联的破碎带等; 建立风险-地质特征-物探信号的对应关系模型, 为风险识别提供判定依据。(2) 预警导向信号采集与筛选: 基于风险预警需求, 优化采集参数与布局, 重点聚焦风险高发区域的物探信号采集; 建立信号筛选机制, 优先提取与安全风险关联度高的特征参数, 剔除无关干扰信号, 提升预警信号的针对性。(3) 风险等级研判与预警阈值设定: 结合煤矿安全规程与施工经验, 设定不同风险类型的物探信号预警阈值; 通过信号强度、分布范围等参数量化分析, 判定风险等级, 区分一般预警、重点预警及紧急预警层级。(4) 预警输出与响应衔接: 将风险预警结论以标准化报告形式输出, 明确预警区域、风险类型、等级及防控建议; 建立预警信息交底机制, 同步推送至施工、安全管理等相关部门; 衔接风险防控流程, 指导针对性防控措施制定与落实, 形成“探测-预警-防控”的闭环管理^[4]。

结束语: 本文全面探讨了煤矿掘进工作面物探技术的应用相关内容, 明确了不同物探技术的关键要点与应用流程, 验证了其在地质异常探测与安全风险预警中的实用价值。物探技术的科学应用可有效破解掘进工作面地质探测难题, 为安全施工提供有力保障。未来应进一步推动物探技术的智能化、轻量化发展, 深化多源数据融合技术研究, 优化技术应用与施工的协同机制。相信通过技术创新与实践完善, 物探技术将在煤矿掘进安全高效生产中发挥更重要作用, 助力煤炭行业高质量发展。

参考文献:

- [1]李波.煤矿掘进工作面物探技术应用探讨[J].机械工程与自动化,2023(2):219-221.
- [2]张利军,张瑞杰.煤矿井下掘进工作面超前物探技术与应用[J].矿业装备,2025(1):44-46.
- [3]刘珂,李德福,霍佳楠.煤矿井下掘进工作面超前物探技术与应用[J].中国科技纵横,2025(10):6-8.
- [4]张旭.煤矿井下掘进工作面超前物探技术探讨[J].西部探矿工程,2024,36(3):61-63.