

电磁法在煤矿水害探测中的应用研究

刘 航

中煤科工西安研究院(集团)有限公司 陕西 西安 710077

摘要: 煤矿水害是威胁煤炭安全生产的核心灾害之一,精准探测是水害主动防控的关键。系统梳理直流电法、瞬变电磁法等常用电磁法的核心技术原理,阐述其在煤层顶底板富水性、断层导水性、采空区积水探测等场景的核心应用,分析影响探测精度的关键干扰因素,提出全流程质量控制措施,为煤矿水害精准识别与风险防控提供可靠技术支持。

关键词: 煤矿水害; 电磁法; 水害探测; 质量控制

引言: 煤炭资源开采深度持续增加,复杂地质条件下的水害风险显著加剧,突水、涌水事故严重威胁矿井作业安全与生产效率。传统探测手段难以满足深部、隐蔽性水害隐患的精准识别需求,电磁法凭借地下介质电性差异识别的技术优势,成为煤矿水害探测的核心技术手段。围绕电磁法的技术体系、应用场景、精度管控等核心维度展开系统阐述,为水害探测技术的规范应用与优化升级提供参考。

1 煤矿水害探测的重要性

煤矿水害探测是保障煤炭资源安全开采的核心环节,其重要性贯穿于生产全周期。水害作为煤矿五大灾害之一,若是探测不到位,可能引发突水、涌水等事故,威胁作业人员生命安全,造成设备损毁与生产停滞;精准探测能提前识别含水层分布、导水裂隙带发育特征及老空水积聚区域,为采掘设计提供科学依据,避免盲目施工导致的透水风险。同时,探测数据可辅助优化排水系统布局,减少无效排水能耗,提升资源利用效率;此外,通过动态监测水压、水位变化,可预警水害发展趋势,实现从被动应对向主动防控的转变,为煤矿安全高效生产构筑坚实技术屏障,推动行业向智能化、绿色化方向稳步发展^[1]。

2 煤矿水害探测常用电磁法技术体系

2.1 直流电法探测核心技术原理

直流电法探测基于岩石电性差异特性,通过人工施加直流电流场,测量地下介质电阻率分布规律以识别水害隐患,其核心原理在于不同岩层含水状态差异导致电阻率显著变化,含水层通常呈现低阻特征,而致密岩层则为高阻。探测时,地面或井下布置供电电极与测量电极,形成稳定电流场后,采集电位差数据并反演电阻率剖面,该技术对横向不均匀地质体敏感,可精准刻画含水构造边界、断层导水通道及岩溶发育区。数据处理中,

通过联合剖面法、高密度电法等手段提升分辨率,结合地质模型修正电阻率异常解释,直流电法具有设备轻便、抗干扰能力强、探测深度大等优势。在煤矿水害早期识别、巷道掘进超前探测中发挥关键作用,为水害防治提供可靠地质依据,是电磁法技术体系中的基础且高效的技术分支。

2.2 瞬变电磁法探测核心技术原理

瞬变电磁法作为煤矿水害探测的核心电磁技术,其原理依托电磁感应与地下介质电性差异特性,通过发射装置向地下发送脉冲电磁场,在脉冲间歇期接收由地下介质产生的二次电磁场信号。二次场衰减特性与地下介质电阻率分布紧密相关,低阻异常区往往对应含水层、导水断层或老空区积水区域,该方法具备探测深度大、分辨率高、抗干扰能力强等优势,适用于复杂地质环境下的水害隐患识别。在数据采集阶段,通过优化发射频率、叠加次数及接收装置布局,可有效提升信号信噪比与探测精度;瞬变电磁法通过分析二次场衰减曲线形态,结合地质资料综合解译,能够精确定位水害隐患位置、范围及危险程度,为煤矿安全生产提供关键技术支撑,推动水害防治从被动应对向主动预防转变,助力矿业安全水平提升与可持续发展^[2]。

2.3 大地电磁法探测核心技术原理

大地电磁法以天然电磁场为场源,通过测量地表电磁场响应反演地下介质电性结构。其核心在于利用高频电磁波穿透能力与低频电磁波探测深度优势,捕捉地下介质对天然场源的吸收、衰减及相位变化特征。地下介质电性差异导致电磁波传播路径偏移、振幅衰减及相位延迟,形成可探测的电磁异常信号,该方法无需人工场源,具有探测深度大、横向分辨率高、抗干扰能力强的特点,适用于深部水害隐患探测。数据采集时需考虑场源随机性影响,通过多站同步观测与长周期记录提升信

号稳定性,通过二维或三维反演算法,将电磁场数据转化为电阻率分布模型,可精准识别含水层、导水构造及老空区积水范围。大地电磁法为深部矿井水害防治提供关键技术支持,推动探测技术向深部、精细、智能方向发展,助力矿业安全与资源高效开发。

2.4 可控源音频电磁法探测核心技术原理

可控源音频电磁法以人工场源发射音频频段电磁波,通过测量地表接收的电磁场响应反演地下介质电性结构,其核心在于利用可控场源的频率与空间特性,实现探测深度与分辨率的灵活调控。电磁波在地下传播时,因介质电性差异产生反射、折射及衰减效应,形成可识别的电磁异常信号,该方法兼具主动源探测优势与音频频段穿透能力,抗干扰能力强,适用于复杂地质环境下的水害隐患识别。数据采集时通过优化发射频率、观测方位及信号叠加处理,提升信噪比与探测精度,结合地质资料综合解译电磁场振幅、相位变化特征,可精准刻画含水层分布、导水断层走向及老空区积水范围,为水害防治提供关键技术支持,推动探测技术向深部、精细、智能方向演进,助力矿业安全与资源高效开发^[3]。

3 电磁法在煤矿水害探测的核心应用

3.1 煤层顶底板富水性探测应用

煤层顶底板富水性探测是电磁法在煤矿水害防治中的关键应用方向。电磁法通过捕捉地下介质电性差异引发的电磁场异常信号,精准识别顶底板岩层含水特征,煤层顶板通常为砂岩、泥岩互层,底板多为灰岩、砂岩,不同岩性及含水状态导致电阻率差异显著。电磁法利用这一特性,通过分析电磁场振幅、相位及频率响应变化,可定量评估顶底板富水程度;探测过程中,通过优化发射频率、观测方位及数据处理算法,提升对低阻异常区的识别精度,有效区分含水层与隔水层。该方法具有非接触、高效、抗干扰能力强等优势,适用于复杂地质条件下的富水性快速评估,为采掘工作面布局优化、支护设计及排水系统规划提供科学依据,推动水害防治从被动治理向主动预防转变,提升矿井安全生产水平。

3.2 断层构造导水性探测应用

电磁法在煤矿水害探测中,针对断层构造导水性探测具有独特优势。该方法通过测量地下岩体电磁响应差异,识别断层位置及导水特性;断层带因裂隙发育、含水饱和度变化,其电阻率、介电常数等电磁参数与围岩存在显著差异。电磁法可快速圈定断层范围,评估其导水风险;探测过程中,需结合地质资料综合分析,避免单一参数误判。设备操作需考虑矿井环境干扰因素,如金属支架、电缆等对电磁信号的影响,通过滤波处理提

升数据可靠性,该方法具有非破坏性、高效性特点,适用于复杂地质条件下的水害隐患排查,为煤矿安全生产提供关键技术支持,助力实现水害防控目标^[4]。

3.3 陷落柱含水性探测应用

电磁法在陷落柱含水性探测中,通过捕捉地下介质电磁响应特征,精准识别陷落柱空间分布及含水特性;陷落柱因岩体破碎、孔隙度大,其电磁参数与完整岩层存在明显差异,如电阻率降低、极化率升高等。探测时,需结合地质剖面数据,分析电磁异常形态、幅度及梯度变化,推断陷落柱规模、形态及含水层位置,设备部署需考虑矿井空间限制,采用多频段、多分量观测模式,提升数据分辨率。数据处理中,需剔除巷道金属物、电机干扰信号,通过反演算法构建三维电磁模型,直观呈现陷落柱含水性分布,该方法具有探测精度高、适应性强优势,可有效指导煤矿防水煤柱留设、注浆堵水工程实施,为矿井水害防治提供科学依据,保障作业安全与资源高效开发。

3.4 采空区积水范围探测应用

电磁法在采空区积水范围探测中,利用积水区域与围岩电磁参数差异实现精准定位。采空区积水后,岩体孔隙度增大、含水饱和度升高,导致电阻率显著降低、介电常数升高,形成可识别的电磁异常。探测时需结合矿井地质条件,采用井下瞬变电磁、频率域电磁等方法,通过多方位、多深度观测获取三维电磁数据;数据处理需剔除巷道金属支护、电缆等干扰信号,运用反演算法构建采空区积水分布模型,直观呈现积水范围、深度及连通性;该方法具有非接触、高效探测优势,可快速识别隐蔽积水区,避免盲目掘进引发透水事故。通过实时监测积水动态变化,为煤矿防水煤柱设计、排水系统优化提供科学依据,有效保障矿井作业安全与资源可持续开发,提升水害防治技术水平。

4 电磁法探测应用的关键质量控制

4.1 探测环境干扰因素管控

电磁法探测中,环境干扰因素管控是保障数据质量的关键环节。自然电磁噪声、地下金属管线、地表建筑设施等均可能干扰信号采集,导致数据失真;需通过场地预调查识别干扰源类型与分布,采用频率滤波、信号叠加、空间滤波等技术抑制噪声。设备接地状态、发射接收装置间距、观测方位等参数需严格校准,避免人为操作误差引入干扰;同时,需关注地质构造引起的电磁场畸变效应,通过多测线交叉验证与地质资料对比,区分真实异常与干扰假象。通过建立标准化操作流程与质量监控体系,实现从数据采集到处理的全流程管控,提

升探测结果可靠性,为水害隐患精准识别提供坚实数据支撑,推动电磁法探测技术向智能化、精细化方向发展。

4.2 探测工作参数优化选取

探测工作参数优化选取是提升电磁法探测精度的核心环节。发射频率需根据目标体深度与分辨率需求匹配,高频适合浅部精细探测,低频适用于深部目标识别;观测方位需结合地质构造走向布设,多角度交叉观测可有效抑制方向性干扰,提升异常识别可靠性。信号叠加次数需平衡信噪比与探测效率,过少易受随机噪声影响,过多则降低作业效率;数据处理算法需针对电磁场衰减特性优化,通过去噪、滤波、反演等步骤提升数据解析度。参数优化需结合地质资料与现场试验,通过迭代调整实现最佳匹配,确保探测结果真实反映地下介质电性特征,为水害隐患精准定位与风险评估提供可靠数据支撑,推动电磁法探测技术向智能化、精细化方向演进^[5]。

4.3 探测数据精准解译要点

探测数据精准解译需融合电磁场特性与地质背景综合研判。数据预处理阶段应通过滤波、去趋势等操作剔除噪声干扰,提升信号信噪比;反演算法需匹配目标体电性特征,如最小二乘法、贝叶斯反演等可优化电阻率模型精度。地质资料如钻孔数据、构造图需与电磁数据交叉验证,确保解译结果符合实际地质条件,多参数协同分析如振幅、相位、频率响应需综合解读,识别低阻异常区的真实成因,区分水害隐患与非地质因素干扰。解译过程应遵循标准化流程,结合专家经验与智能算法,提升结果可靠性与可重复性,通过多维度数据融合与动态校准,实现从信号特征到地质属性的精准映射,为水害风险评估提供科学依据,推动电磁法探测技术向智能化、精准化方向演进。

4.4 探测结果精度保障措施

探测结果精度保障需贯穿数据全生命周期管控。数据采集阶段应实施重复观测与交叉布线,通过多测线数据对比验证异常一致性;仪器需定期校准,确保发射接收系统性能稳定,减少系统误差。数据处理时需采用自适应滤波、多参数联合反演等技术,提升信号解析度与模型可靠性;解译环节应结合地质资料动态校准,通过专家经验与智能算法融合,区分真实水害异常与干扰假象;建立质量监控指标体系,如信噪比阈值、反演误差范围等,实现数据质量量化评估。通过全流程标准化操作与动态反馈机制,确保探测结果真实反映地下电性特征,为水害风险精准评估提供高精度数据支撑,推动电磁法探测技术向智能化、精准化方向持续演进。

结束语:电磁法凭借多场景适配、高精度识别的技术优势,已成为煤矿水害隐患探测的核心技术支撑。不同电磁法技术各有适用场景与技术要点,需结合探测目标与地质条件合理选型;全流程的质量管控是保障探测精度、规避解译偏差的核心环节,后续可以结合智能化算法进一步优化反演解译精度,拓展复杂地质条件下的应用边界,为煤矿水害主动防控与安全生产筑牢技术屏障。

参考文献

- [1]池泉.瞬变电磁探测技术在煤矿水害防治中的应用实验[J].凿岩机械气动工具,2025,51(3):74-76.
- [2]张文祥.基于瞬变电磁法的煤矿水害探测与综合防治水策略[J].凿岩机械气动工具,2025,51(12):216-218.
- [3]王杰.煤矿水害探测中钻探物探一体化技术的应用[J].能源与节能,2025(6):332-334+337.
- [4]罗树其,廖文句,董柏林.贵州省煤矿水害致灾因素及地测防治水技术案例分析[J].能源科技,2025,23(2):17-20.
- [5]职志攀,宋凯,汪孝博,等.基于瞬变电磁法的煤矿地下水分布及水害探测研究[J].能源与环保,2025,47(2):147-152.