

煤矿井下瞬变电磁法探测技术及应用

刘 航

中煤科工西安研究院(集团)有限公司 陕西 西安 710077

摘要: 煤矿井下瞬变电磁法探测技术作为保障煤矿安全生产与高效开采的重要手段,在煤矿行业中具有不可替代的作用。本文阐述了煤矿井下瞬变电磁法探测的重要性,包括保障安全生产、提升开采效率、降低成本和推动智能化发展。介绍了关键技术,如发射与接收装置、数据采集与处理、正反演解释及抗干扰技术。还探讨了该技术在煤矿水害、地质构造、采空区及瓦斯富集区探测中的应用。通过精准探测,煤矿可提前采取防治措施,避免事故,优化开采方案,提高资源回收率,保障生产安全有序进行。

关键词: 煤矿井下; 瞬变电磁法; 探测技术; 应用

引言

煤矿生产过程中,面临着水害、地质构造复杂、采空区隐患以及瓦斯威胁等诸多问题,这些问题严重影响着煤矿的安全生产与资源高效开采。而煤矿井下瞬变电磁法探测技术作为一种有效的地球物理探测手段,在保障煤矿安全生产、提升开采效率、降低成本以及推动煤矿智能化发展等方面具有重要意义。本文将详细阐述煤矿井下瞬变电磁法探测的重要性、关键技术,并深入探讨其在煤矿水害、地质构造、采空区及瓦斯富集区探测等方面的具体应用。

1 煤矿井下瞬变电磁法探测的重要性

一是保障煤矿安全生产。煤矿生产面临突水、瓦斯突出等地质灾害威胁,瞬变电磁法作为有效地球物理探测方法,能提前探测到含水层、导水通道、断层等地质异常体的位置与规模。煤矿企业掌握这些地质信息后,可提前采取防治措施,如加强支护、注浆堵水、调整开采方案等,避免水害、瓦斯事故发生,保障生产安全。二是提升资源开采效率。准确了解煤矿井下地质构造和资源分布,对合理规划开采方案、提高开采效率至关重要。瞬变电磁法可探测煤层厚度、倾角、埋深等参数,以及煤层中的夹矸、断层等地质构造,为开采设计提供详细地质依据。煤矿企业依据探测结果优化开采顺序和方法,避免盲目开采和资源浪费,提高煤炭资源回收率。三是降低开采成本。煤矿开采中,若不了解井下地质情况,会遭遇地质灾害和开采难题,增加开采成本。突水等事故会造成设备损坏、生产中断,抢险救援和治理需投入大量人力、物力和财力。瞬变电磁法探测技术能在开采前详细探测井下地质,提前发现潜在地质问题,采取预防措施避免事故,从而降低成本。四是推动煤矿智能化发展。科技发展使煤矿智能化成为必然趋势,瞬变电磁法探测

技术是煤矿智能化建设重要组成部分,能为智能化开采提供准确地质信息支持^[1]。将瞬变电磁法探测数据与其他地质、采矿、监测等数据融合分析,可实现煤矿开采过程实时监测和智能决策,提高生产效率和水平。

2 煤矿井下瞬变电磁法探测的关键技术

2.1 发射与接收装置技术

发射装置作为核心设备,其性能对探测效果起着决定性作用。由于煤矿井下空间狭窄,且电磁干扰情况复杂,发射装置需专门设计。为提高探测深度与分辨率,一般会选用低频、大功率的发射源,低频信号穿透力强,能深入地下探测更远距离的地质状况,大功率可增强信号强度,让探测信息更清晰。同时,井下环境恶劣,存在高温、高湿、多粉尘等问题,发射装置必须具备良好的稳定性与可靠性,才能长时间正常工作,保障探测工作持续推进。接收装置负责接收地下介质产生的瞬变电磁响应信号,高灵敏度对它必不可少,只有这样才能捕捉到微弱的地下信号;低噪声特性可避免自身产生干扰,保证接收信号纯净;宽频带能接收不同频率范围的信号,扩大探测信息量。为进一步提升接收信号质量,要采用先进抗干扰技术,屏蔽技术能有效阻挡外界电磁信号进入接收装置,从源头减少干扰,滤波技术可对接收信号筛选处理,去除噪声等无用信号,保留有效信息,降低外界电磁干扰影响。

2.2 数据采集与处理技术

数据采集作为重要环节,其准确性与完整性直接关系到后续处理和解释的成效。在煤矿井下开展数据采集时,合理布置测点和观测装置极为必要,合理的布局可使采集到的数据更真实地反映地下介质的地电特征,若布局不合理,便可能引发数据偏差,难以准确呈现地下状况。同时,要采用高精度数据采集设备,这既能提升数据采

集的精度,又能提高采集效率,确保获取的数据质量更优、速度更快,为后续工作筑牢良好基础。数据处理则是对采集到的原始数据实施一系列操作,以此提取有用的地质信息。常见的数据处理方法包含数据滤波、增益恢复、时间域分析、频率域分析等^[2]。数据滤波能去除数据中的噪声干扰,让有效信号更为突出;增益恢复可还原信号的真实强度,防止因采集过程损耗造成信息失真;时间域分析用于研究信号随时间的变化规律,频率域分析则用于了解信号在不同频率段的特征。借助这些处理方法,可提高数据的信噪比,使数据更加清晰准确,经准确处理后的数据能为后续的正反演解释提供坚实的数据支撑,有助于更精准地掌握地下地质结构、含水层位置等信息。

2.3 正反演解释技术

正演模拟基于已知地电模型,计算地下介质产生的瞬变电磁响应,以此验证地电模型的合理性与准确性。借助正演模拟,可清晰地掌握不同地电模型下瞬变电磁响应的特征与规律,为实际探测数据解释提供参考,还能提前了解不同地质条件下瞬变电磁信号的表现形式,有利于在实际探测中更好地识别和分析信号。反演解释则是依据实际采集的瞬变电磁响应数据,反推地下介质的地电参数和地质结构,作为瞬变电磁法探测的核心技术,其准确性直接关乎探测结果的可靠性。当前常用的反演方法有最小二乘法、共轭梯度法、遗传算法等,最小二乘法通过最小化误差平方和找最优解,共轭梯度法利用共轭方向加速收敛提升计算效率,遗传算法模拟生物进化过程经选择、交叉、变异等操作寻最优解。不过,在反演解释过程中,不能单纯依赖反演算法,还需结合地质、钻探等资料,地质资料提供区域地质背景信息,钻探资料呈现地下实际地质情况,将它们与反演结果综合分析验证,能有效提高解释准确性,减少因单一数据来源或算法局限性产生的误差。

2.4 抗干扰技术

煤矿井下环境复杂程度高,存在大量电磁干扰源,涵盖电力设备、通信设备以及运输设备等。这些干扰源释放的电磁干扰,会严重冲击瞬变电磁法探测数据质量,致使数据出现偏差、噪声增大等状况,干扰后续对地下地质情况的精准判断^[3]。正因如此,抗干扰技术成为煤矿井下瞬变电磁法探测的关键技术。常用抗干扰方法包含屏蔽技术、滤波技术、自适应抵消技术。屏蔽技术借助屏蔽电缆、屏蔽线圈等举措,从物理层面搭建防护,减少外界电磁干扰对探测设备的作用,让探测设备能在相对纯净的电磁环境运行;滤波技术通过精心设计适配的

滤波器,依据噪声与有效信号在频率等方面的差异,剔除数据中的噪声干扰,保留有用信号成分;自适应抵消技术运用自适应滤波算法,此算法能依据干扰信号变化实时调整参数,实时抵消干扰信号,有效提升信号信噪比,使探测信号更清晰准确。

3 煤矿井下瞬变电磁法探测技术的应用

3.1 煤矿水害探测

水害是煤矿生产中的主要灾害,严重威胁着煤矿安全生产。瞬变电磁法在煤矿水害探测领域作用显著,可精准探测煤矿井下含水层、导水通道、老空水等水害隐患的具体位置与规模。该方法基于对不同深度和位置瞬变电磁响应的分析开展工作,因地下介质含水性不同,其对电磁场的响应存在差异,据此能判断地下介质含水性,确定含水层厚度、埋深及分布范围。同时,对于断层、裂隙等导水通道,因其会改变地下介质电磁特性,通过分析瞬变电磁响应特征,可识别其存在并评估导水能力。在煤矿水害防治工作中,瞬变电磁法提供的关键地质依据不可或缺。煤矿可依据其探测到的含水层和导水通道信息,提前制定针对性防治措施。若探测到含水层,提前规划排水系统,保障开采时及时排水;若发现导水通道,采取注浆堵水等措施阻断水流,防止水害事故。应用瞬变电磁法进行水害探测,能有效降低煤矿水害风险,保障生产的安全,减少经济损失和人员伤亡。

3.2 地质构造探测

煤矿井下地质构造复杂多样,涵盖断层、褶皱、陷落柱等多种类型,这些构造对煤矿开采安全与资源回收率有着极为重大的影响。瞬变电磁法能够用于探测煤矿井下地质构造,其原理是通过对瞬变电磁响应的异常特征进行分析,进而判断地质构造的位置、规模和性质。断层在地下会破坏岩石完整性,使岩石电阻率改变,在瞬变电磁响应中通常表现为电阻率异常带,详细分析异常带的形态和特征,可确定断层走向、倾角以及断距等参数。褶皱是岩石在应力作用下产生的弯曲变形,陷落柱是地下可溶性岩石溶解形成空洞后被上覆岩层塌陷覆盖的构造,它们都会改变地下介质电磁特性,在瞬变电磁响应中产生相应异常特征,系统分析这些异常特征,能了解褶皱的波幅、波长以及陷落柱的形状、大小等分布情况^[4]。依据瞬变电磁法探测获取的地质构造信息,煤矿可开展科学合理的开采设计,提前避开危险地质构造区域,避免因地质构造引发冒顶、片帮、突水等事故,保障开采安全,同时根据地质构造分布优化开采方案,提高资源的回收率,实现煤矿高效、安全开采。

3.3 采空区探测

采空区作为煤矿完成开采作业后留下的空间,其存在对煤矿安全生产构成严重威胁,采空区积水、冒落等状况均可能引发重大事故。在此背景下,瞬变电磁法在煤矿井下采空区探测中发挥着关键作用,可准确探测采空区的位置、范围及积水状况。由于采空区内部结构与周围完整岩体存在差异,在瞬变电磁响应中通常表现为低阻异常区。通过细致分析这些低阻异常区的形态和特征,能精确确定采空区在井下的具体位置及其覆盖范围大小。对于采空区积水情况的判断,瞬变电磁法通过分析不同时间道的瞬变电磁响应来实现,不同时间道的响应反映了地下介质在不同时间段的电磁特性变化,采空区积水会改变其电磁特性,依据这种变化规律就能判断采空区是否存在积水以及积水程度。基于瞬变电磁法探测获取的采空区位置、范围和积水情况等重要地质信息,煤矿可制定科学合理的采空区治理方案,针对存在积水的采空区及时采取排水措施以降低水患风险,对于有冒落隐患的采空区进行充填处理以增强稳定性,通过这些有效措施避免采空区事故发生,保障煤矿生产安全有序进行。

3.4 瓦斯富集区探测

瓦斯是煤矿生产中的主要危险因素,精准探测其富集区对煤矿瓦斯防治和安全生产意义非凡,准确掌握位置和范围可有效预防瓦斯爆炸、突出等事故,保障井下人员生命安全与煤矿正常生产。瞬变电磁法可用于探测煤矿井下瓦斯富集区的位置和范围,瓦斯富集区形成与煤层赋存条件、地质构造等因素紧密相连,煤层厚度变化、倾角大小以及断层、褶皱等地质构造都会影响瓦斯聚集,使瓦斯富集区地下介质电磁特性与周围正常区域产生差异,进而在瞬变电磁响应中表现出特定异常特征。应用瞬变电磁法探测时,虽通过详细分析瞬变电磁响应能

捕捉到这些异常特征,但仅靠此还不够,还需结合地质、钻探等资料综合判断,地质资料可提供煤层分布、地质构造等信息,钻探资料能获取地下岩层实际物理性质,将它们与瞬变电磁响应分析结果相互印证,能更准确确定瓦斯富集区位置和范围^[5]。依据探测得到的瓦斯富集区信息,煤矿可制定针对性瓦斯抽采和防治方案,及时在瓦斯富集区布置抽采钻孔进行抽采,降低瓦斯浓度,消除瓦斯隐患,为煤矿安全生产创造良好条件。

结语

综上所述,煤矿井下瞬变电磁法探测技术意义重大,在保障安全生产、提升开采效率、降低成本及推动智能化发展方面作用突出。其关键技术涵盖发射与接收装置、数据采集与处理、正反演解释以及抗干扰等多个方面。该技术广泛应用于煤矿水害、地质构造、采空区及瓦斯富集区探测,为煤矿提供关键地质依据,助力制定科学防治与开采方案,有效降低事故风险,保障煤矿高效、安全、有序生产,是煤矿行业不可或缺的重要技术手段。

参考文献:

- [1]韩建国.综合电磁法技术在煤矿富水性探测中的应用[J].凿岩机械气动工具,2026,52(2):196-198.
- [2]范涛,郝跃,李萍,赵睿,刘再斌,马良,李鹏,晏俊生.煤矿井下孔中瞬变电磁矢量合成超前探测方法[J].煤田地质与勘探,2025,53(11):1-11.
- [3]李寿华,陈江源,王海红,许第桥,陈志财.瞬变电磁法和微动探测技术在采空区勘查中的应用[J].工程地球物理学报,2025,22(2):227-235.
- [4]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
- [5]袁鹏.瞬变电磁探测技术在煤矿岩溶富水区勘探中的应用研究[J].科学技术创新,2025(10):18-21.