

地空电磁与核磁共振联合方法在地质勘探中的应用研究

曹建军

郑州煤电股份有限公司芦沟煤矿, 中国·河南 郑州 452370

摘要: 地空电磁与核磁共振联合方法在地质勘探中的应用, 结合了电磁波探测地下电性特征和核磁共振探测地下水文特征的优势。地空电磁法通过识别地下电性异常区, 为核磁共振法的精确探测提供了目标区域。核磁共振法则精准测定了含水层的深度、厚度及渗透性等关键参数。在芦沟煤矿的应用中, 联合方法有效识别了矿区的富水区域与断层带, 为水害防治及安全回采提供了科学依据。该方法显著提升了矿区水文地质模型的精度, 确保了矿井的安全开采与高效管理。

关键词: 地空电磁法; 核磁共振法; 地质勘探; 水害防治

Research on the Application of the Combined Method of Air - to - Ground Electromagnetics and Nuclear Magnetic Resonance in Geological Exploration

Jianjun Cao

Lugou Coal Mine, Zhengzhou Coal Electricity Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 452370, China

Abstract: The application of the combined method of air-to-ground electromagnetics and nuclear magnetic resonance in geological exploration combines the advantages of using electromagnetic waves to detect the underground electrical characteristics and nuclear magnetic resonance to detect the hydrogeological characteristics. The air-to-ground electromagnetic method provides a target area for the precise detection of the nuclear magnetic resonance method by identifying the underground electrical anomaly areas. The nuclear magnetic resonance method accurately determines key parameters such as the depth, thickness, and permeability of the aquifer. In the application at Lugou Coal Mine, the combined method effectively identified the water-rich areas and fault zones in the mining area, providing a scientific basis for the prevention and control of water hazards and safe coal mining. This method significantly improves the accuracy of the hydrogeological model in the mining area, ensuring the safe mining and efficient management of the mine.

Keywords: air-to-ground electromagnetic method; nuclear magnetic resonance method; geological exploration; prevention and control of water hazards

0 前言

在地质勘探领域, 地空电磁与核磁共振联合方法被逐渐应用于地下电性与水文特征的综合探测。这两种方法在单独应用时具有各自的优势与局限性, 而通过联合使用, 能够在更复杂的地质条件下实现更高效、准确的地下勘测。地空电磁法能够通过电磁场响应来识别地下的电性异常, 从而揭示岩层、矿体及水文结构; 而核磁共振法则通过响应地层中含水层的磁性特征, 获取地下水的分布与动态。论文将详细探讨地空电磁与核磁共振联合应用于复杂地质环境中的技术实施及数据解译方法。

1 地空电磁与核磁共振技术概述

1.1 地空电磁法的原理与应用

地空电磁法是一种基于电磁波原理的地球物理勘探方法, 通过发送电磁波并测量地下介质对其响应的变化, 来推测地下的电性分布。该方法利用地下物质的电导率差异, 识别地层的结构、矿体、断层及水体等特征。其原理是通过地

面电磁仪器发射电磁信号, 信号在地下介质中传播时, 遇到电性差异时会产生不同的电磁响应, 这些响应被接收器捕捉并转化为电阻率等参数。电磁法的优势在于对大范围区域的探测能力, 尤其适用于矿区水文地质勘查、地下含水层的识别以及复杂地质结构的映射。

地空电磁法广泛应用于煤矿、水文地质、石油与天然气勘探中, 能够快速、有效地圈定电性异常区域。在芦沟煤矿的应用中, 通过地空电磁法成功识别出多个电性异常区域, 并为核磁共振法的进一步验证提供了准确的指引^[1]。通过与地质钻孔资料的结合, 地空电磁法能够有效揭示地下电性特征, 为矿区安全回采及水害预防提供重要依据。

1.2 核磁共振法在地下水探测中的优势

核磁共振法(NMR)是一种利用地下水分子对外部磁场响应的物理勘探技术, 广泛应用于地下水含水层的探测与评价。该方法基于水分子在外加磁场中的氢核共振现象, 能准确测量地下水体的含水饱和度、渗透性及流动性等关键水文特征。NMR技术通过测量水分子在磁场中的弛豫时间(T1

和 T2)，进而推导出地下水的孔隙度、含水层深度和水力传导性等参数。

在矿区水文地质勘探中，NMR 法能够深入探测复杂的含水层特征，尤其是对裂隙水、孔隙水等不同水源类型的区分具有显著优势。与传统钻探方法相比，NMR 法具有非破坏性、快速实时的优点，且能精确地对地下水层进行定量分析。在芦沟煤矿的应用中，通过 NMR 法对电性异常区的验证，成功识别出多个含水层，并对其富水性和渗透性进行了精确评估^[2]。基于核磁共振数据反演分析，矿区的主要含水层显示出较高的水力传导性，提供了精确的地下水动态信息，为防治水工作提供了可靠数据支持。

1.3 地空电磁与核磁共振联合应用的必要性

地空电磁法与核磁共振法的联合应用在复杂地质条件下具有显著的技术优势。单独使用地空电磁法能够快速识别地下的电性异常区域，但对于地下水层的深度、厚度及渗透性等细节信息的获取存在局限。核磁共振法则能提供精确的地下水层分布与水文特性，但在大范围勘探中效率较低。地空电磁与核磁共振联合应用能够弥补各自的不足，实现对地下结构与水文特征的全面探测。

在芦沟煤矿的勘探中，地空电磁法首先通过测量电性异常范围，成功圈定了潜在的富水区域。在 31 采区，通过地空电磁法确定了电性异常区域，后续使用核磁共振法对该区域进行进一步验证，精准确定了含水层的深度与渗透性，获得了详细的水文地质信息。联合应用的优势在于，地空电磁法为核磁共振提供了目标区域，避免了盲目布点，提高了核磁共振的效率和精度。此外，结合两种方法的数据，能够实现地下电性特征与水文信息的综合分析，为水害预防、矿井安全回采及工程设计提供可靠依据。

2 地空电磁与核磁共振联合方法的实施

2.1 地质勘探中的联合勘探策略

在复杂地质条件下，地空电磁法与核磁共振法的联合应用已成为提高勘探精度和效率的关键策略。地质勘探的首要目标是准确识别地下的岩性结构、含水层分布以及水文地质特征，尤其是在水害防治和矿井安全回采等方面。通过合理设计联合勘探策略，能够实现多维度、综合性的信息获取，减少单一方法可能带来的盲点。

联合勘探的策略通常以地空电磁法为主导，通过电磁波探测地下的电性异常，快速圈定含水层及潜在的富水区域。在芦沟煤矿的勘探中，采用地空电磁法（DKDC-1 型号）对矿区进行全面扫描，共完成 155 条测线的探测，测区面积达到 6.6 平方公里。通过对测得电性异常的反演与分析，确定了多个潜在的水体和断层区域，为后续的核磁共振验证提供了基础数据。

核磁共振法则针对地空电磁法确定的电性异常区域进行详细探测。通过设置合适的测点（如 JLHCGZ-G 型设备），

NMR 技术对地下水层的深度、厚度、渗透性等参数进行精确测量。在芦沟煤矿的应用中，通过 10 个测点的核磁共振探测，成功验证了电性异常区的富水性和水流动态^[3]。最终，联合探测结果为矿区水文地质模型提供了精准的数据支持。这种联合勘探策略，通过地空电磁法与核磁共振法的互补，显著提高了地下地质及水文特征的勘探精度，并为矿区水害防治、资源勘查及工程设计提供了强有力的数据支撑。

2.2 数据采集与处理流程

在地空电磁与核磁共振联合应用中，数据采集与处理流程的高效性直接影响勘探结果的准确性和可靠性。该过程通常包括现场数据采集、数据预处理、反演分析及综合解译几个关键环节。地空电磁波的采集过程通过地面电磁仪器进行电磁信号的发射与接收。在芦沟煤矿的勘探中，采用 DKDC-1 型号地空电磁设备，布设 155 条测线，测区面积达到 6.6 平方公里，每条测线的点距为 8 米，总测点数达到 43338 个。该设备通过发送交变电流，测量地下电性反应，得到电阻率和电磁响应数据。这些数据用于反演计算，生成地下电性剖面图，进而识别含水层、断层等电性异常区域。

在核磁共振法的采集过程中，通过 JLHCGZ-G 型号核磁共振仪器，在地空电磁法确定的电性异常区内进行进一步探测。通过布设 10 个测点，收集地下水层的 T1 和 T2 松弛时间数据。T1 和 T2 是核磁共振法中反映水分子运动和环境影响的重要参数，能够准确评估地下水的孔隙度、渗透性和水饱和度等关键信息。

数据预处理阶段，地空电磁法数据通过电阻率剖面法进行初步清洗与去噪，核磁共振数据则进行背景噪声剔除与时间修正。反演过程则采用最小二乘法、有限差分法等数学模型对电性数据进行深度反演，而核磁共振数据通过 QT 反演算法精确计算地下水层的深度、厚度和水力特性。最终，通过综合分析地空电磁与核磁共振法的数据，形成矿区的地质水文综合模型，为后续的勘探与水害防治提供准确依据（见图 1）。

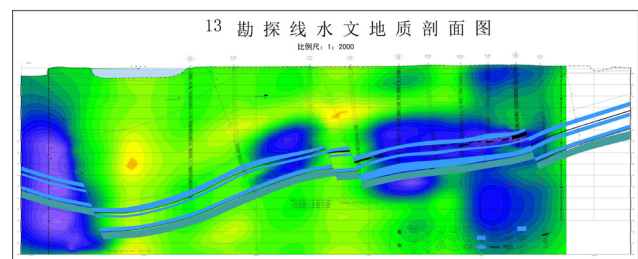


图 1 地空电磁法在 13 勘探线的剖面图

2.3 联合方法在复杂地质条件下的应用案例

地空电磁法与核磁共振法联合应用在复杂地质条件下展现了其优越性，尤其在芦沟煤矿的勘探中，成功识别了多个含水层及地质构造特征，为矿区安全回采及水害防治提供了可靠的数据支持。在芦沟煤矿的勘探过程中，首先采用地空电磁法对矿区进行广泛的电性异常探测。通过 DKDC-1

型电磁设备, 布设 155 条测线, 覆盖 6.6 平方公里的测区, 总测点数达 43338 个。该方法快速识别出多个电性异常区域, 初步确定了潜在的含水层及断层分布。这些电性异常的分布为后续的核磁共振法验证提供了精准的定位。

核磁共振法在地空电磁法识别的异常区内进行详细测量。通过 JLHCGZ-G 型核磁共振设备, 选定 10 个测点, 采集了 T1 和 T2 松弛时间数据, 精确测定了地下水层的深度、厚度和渗透性等关键参数。数据处理结果显示, 矿区内主要含水层的水力传导性较强, 特别是在 L1-3 灰岩层与二 1 煤层顶板的交界处, 发现了较大的水力联系, 为矿井防治水工作提供了科学依据^[4]。通过地空电磁与核磁共振法的联合应用, 矿区的地下水文地质模型得到了精准建立, 能够有效识别水害风险区域, 并为矿井开采及安全回采提供了强有力的技术支持。这一成功案例验证了联合方法在复杂地质条件下的高效性和准确性。

3 联合方法的数据解译与应用效果

3.1 数据解译过程与反演技术

在地空电磁与核磁共振联合应用中, 数据解译过程和反演技术是实现高精度地质和水文特征探测的关键步骤。通过精确的数据解译与反演处理, 可以有效地提取地下电性特征与水文信息, 为矿区安全回采及水害预防提供科学依据。地空电磁法数据的解译过程通常涉及电阻率反演。采集到的电磁波响应数据经过预处理后, 采用最小二乘法或有限差分法进行反演。这一过程通过构建电性模型, 结合地质背景和钻孔数据, 生成地下电性剖面图。在芦沟煤矿的应用中, 通过反演电阻率数据, 成功识别了多个电性异常区, 进一步确定了含水层和断层的位置。这些异常区域为核磁共振法的后续验证提供了精准的目标区域。

对于核磁共振法, 数据解译主要依赖于 T1 和 T2 松弛时间的分析。通过 QT 反演算法, 将采集到的松弛时间数据转化为地下水层的物理参数, 如水饱和度、渗透性和孔隙度等。在芦沟煤矿中, 核磁共振数据的反演分析表明, 矿区内 L1-3 灰岩层与二 1 煤层顶板之间的水力联系较为密切, 为水文地质模型的建立提供了必要参数。通过地空电磁法和核磁共振法的联合数据解译与反演, 矿区地下水文与地质结构得到了精确重建, 能够有效支持水害风险评估与治理决策。

3.2 联合技术应用效果与验证

地空电磁与核磁共振联合方法在芦沟煤矿的应用中, 展现了显著的技术效果, 尤其在水文地质特征识别和矿区安全回采方面取得了有效验证。通过两种技术的综合应用, 矿区地下水文与电性特征得到了全面、精确的勘探, 为防治水工作提供了有力的数据支持。地空电磁法在勘探初期通过电磁响应快速识别了矿区内多个电性异常区, 尤其是在 31 采区, 通过 155 条测线、总测点数达到 43338 个, 圈定了含水

层及断层的潜在分布区域。根据电性异常的反演结果, 成功识别了电导率较低的富水区和潜在的断层带, 这为后续的核磁共振法验证提供了重要依据。

核磁共振法在地空电磁法标定的异常区域进行了深度验证, 成功确定了地下含水层的深度、厚度及渗透性等关键参数。通过 10 个测点的核磁共振数据分析, 发现 L1-3 灰岩层和二 1 煤层顶板之间的水力联系较为紧密。反演结果表明, 该区域的水力传导性较强, 为防治水和水害预防提供了科学依据。联合技术的应用大幅提升了地下水文地质模型的精度, 矿区水害风险评估和防治水方案得到了有效优化, 确保了矿井的安全生产和高效开采^[5]。这一应用效果的验证表明, 地空电磁与核磁共振联合方法在复杂地质条件下具有重要的实践意义。

3.3 安全生产与防治水工作的技术支持

地空电磁与核磁共振联合方法为矿区的安全生产和防治水工作提供了关键技术支持。在芦沟煤矿, 地空电磁法首先通过电性异常探测, 成功识别了潜在的富水区和断层带, 为核磁共振法的后续验证提供了明确方向。核磁共振法进一步分析了地下水层的深度、厚度和渗透性, 特别是 L1-3 灰岩层与二 1 煤层顶板的水力联系, 为防治水工作提供了精准数据。

通过两种技术的结合, 矿区水文地质模型得到了精确构建, 水害风险得到了有效评估, 为矿井的水害预防和应急措施制定提供了科学依据, 确保了矿区的安全开采与生产。

4 结语

地空电磁与核磁共振联合方法在复杂地质条件下的应用有效提升了矿区勘探精度, 特别是在水文地质特征的识别与水害预防方面。地空电磁法通过识别地下电性异常区, 为核磁共振法的深入探测提供了目标区域, 而核磁共振法则精准测定了含水层的深度、厚度及水力特性。两种技术的结合不仅优化了矿区水文地质模型, 也为矿井安全生产和防治水工作提供了科学依据, 确保了矿井的高效安全开采。

参考文献:

- [1] 孙继平. 水文地质勘察方法在找水工作中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2012(5):1.
- [2] 温新房. 核磁共振测井技术在江苏油田油气勘探中的应用研究[J]. 石油天然气学报, 2003, 25(22):54-55.
- [3] 刘磊. 核磁共振与瞬变电磁方法联合解释研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [4] 刘磊. 核磁共振与瞬变电磁方法联合解释研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [5] 潘玉玲, Jean BERNARD. 地面核磁共振找水仪及其在水文地质调查工作中的应用研究[C]//2000年国际CT和三维断面成像理论与应用会议, 2000.