

# 地空电磁法和核磁共振找水仪在煤业露天矿实践

王亚男

内蒙古平西白音华煤业有限公司, 中国·内蒙古 锡林郭勒盟 024000

**摘要:** 将地空电磁法和核磁共振联合运用于煤炭矿区地下水地质勘查, 大大提高了勘查的效率和准确性。利用地空电磁法对区域范围内的快速勘探和 NMR 的精细水文地质特征进行综合评价, 实现对区域内地下水资源的准确定位与评价。虽然该方法面临着运行复杂、费用高等诸多难题, 但随着科技进步与费用的不断提高, 有望逐渐克服上述难题, 推动其更大范围的推广应用。

**关键词:** 地空电磁法; 核磁共振技术; 水文地质勘探

## The Ground-to-air Electromagnetic Method and Nuclear Magnetic Resonance Water-finding Instrument Have Been Practiced in Open-pit Coal Mines

Yanan Wang

Inner Mongolia Pingxi Baiyinhua Coal Industry Co., Ltd., Xilingol League, Inner Mongolia, 024000, China

**Abstract:** The combined application of ground-air electromagnetic method and nuclear magnetic resonance in the underground hydrogeological exploration of coal mining areas has greatly improved the efficiency and accuracy of the exploration. The rapid exploration within the regional scope and the fine hydrogeological characteristics of NMR are comprehensively evaluated by using the ground-air electromagnetic method to achieve the accurate positioning and evaluation of groundwater resources within the region. Although this method is confronted with many problems such as complex operation and high cost, with the advancement of technology and the continuous increase in cost, it is expected to gradually overcome the above problems and promote its wider application and promotion.

**Keywords:** ground to air electromagnetic method; nuclear magnetic resonance technology; hydrogeological exploration

### 0 前言

在煤矿生产过程中, 对地下水进行勘察是十分必要的。地空电磁法与核磁共振测水仪是煤矿开采过程中的两大前沿物探手段, 在煤矿开采过程中表现出了较好的效果和精度。二者结合, 既能对常规探测手段进行完善, 又能为精细找水提供科学支撑。通过对两种方法在煤矿开采中的实践和结果进行分析, 希望对类似矿井的开采工作有一定的借鉴作用。

### 1 地空电磁法在露天矿的应用

#### 1.1 技术原理与设备介绍

地空电磁法 (AEM) 与核磁共振技术 (NMR) 在地质勘探中运用独特的物理原理和设备, 实现地下结构和资源的详细探测。AEM 技术依靠地面发射系统向地下发送电磁波, 并通过空中接收系统捕获由地下介质引起的变化的电磁响应。这种方法包含时间域和频率域, 可适应不同深度和种类的地质结构探测。

AEM 的设备组成包括高功率的地面发射器和灵敏的空中接收机, 接收机通常配备于无人机或飞机, 能够覆盖广阔且难以接近的区域。此技术不仅提高了探测的效率, 还因其

非侵入性而减少了对环境的影响。

#### 1.2 实际应用案例分析

本文以内蒙古平西白音华煤矿白音华 1 号矿区为例, 介绍了采用地空电磁法技术处理各种复杂环境的有效性。利用 GD-TXB100(T/F) 型的地空电磁仪, 完成了测线全长 124.42km, 测量范围 6.6 平方公里, 布设测点 12443 个, 点距 10m, 间隔 50m。在此基础上, 利用此方法, 可准确地划分出电性异常区, 并能清楚显示出地下的水文构造。

应用该方法对白音华一矿西帮、北帮的涌水孔进行了准确的定位, 取得了良好的效果。地空电磁测深资料表明, 西帮区内有明显的低电阻率异常, 反映了富含水的含水地层。将地空电磁资料与野外钻井资料进行比较, 表明地空电磁方法应用于工程地质勘察具有较高的精度和可信度。资料解译结果表明, 所建立的预报模式与该区的水文地质状况具有较好的一致性, 可为矿山的防洪减灾及矿山的安全生产等工作奠定基础<sup>[1-2]</sup>。该工程实例表明, 在复杂地形和地质条件不明的矿山, 地质条件复杂, 地质条件不明的情况下, 地空电磁方法对地下构造的快速准确探测具有重大意义。

#### 1.3 技术优势与局限性

地空电磁法在野外勘探中具有明显的优点, 特别是在增加勘探深度、增强资料分辨能力等方面具有明显的优越

性。该方法利用地极大电流激励和高空高灵敏的接收设备,可实现对几百米以下地层内部电性结构的精确监测。将此方法用于白音华矿区,已在近 220m 以下的地层中进行了地空电磁法的反演,大大超过了常规方法。

地空电磁法以其快速、有效的特点,适用于复杂、难以到达的区域。采用无人驾驶或轻型飞行器搭载接收机,可有效减轻复杂地表环境对探测工作的干扰。这种方法也有其不足之处。由于设备和操作费用高,初始投资额高。地空电磁法对高电阻率岩层的检测灵敏度不高,从而影响了含水岩层的准确判别。虽然有上述限制,但对于复杂的地质环境、广泛的探测范围,地空电磁法所具有的技术优点仍具有其他方法所无法取代的特殊价值。在此基础上,提出了一种基于有源场的高精度、高精度、低能耗、低能耗等新方法。

## 2 核磁共振找水仪器的应用

### 2.1 基本原理与操作流程

地空电磁法(AEM)和核磁共振技术(NMR)在地质勘探领域的应用基于各自的独特原理和操作流程。AEM 技术通过地面的发射设备向地下发送高频电磁波,利用空中或地面的接收设备捕捉由地下不同电性介质引起的电磁响应。这一方法可以迅速覆盖大范围地区,有效探测地下结构和识别潜在的矿产资源。操作过程包括设置适当的发射频率和接收频率,调整设备以匹配特定的探测深度和解析需求。

核磁共振技术则是基于核磁共振现象,通过测量地下水中氢原子在外部磁场作用下的共振特性来探测地下水资源。NMR 设备首先生成一个强磁场,使水中的氢原子磁化,随后通过射频脉冲激发这些氢原子,捕捉其在返回到平衡状态时发出的信号。该技术特别适用于精确测定地下水的分布、储量等特性。两种技术的操作流程虽各不相同,但都需精确控制设备参数,确保数据的准确性和可靠性。在实际操作中,AEM 通常需要较大的物理空间来布设发射和接收设备,而 NMR 则需要在特定地点精确部署磁场发生器和接收装置。在数据处理方面,AEM 侧重于解析电磁响应图像,而 NMR 则更侧重于通过复杂的信号解码技术来分析水文地质特性<sup>[3]</sup>。两者结合使用时,可以在宏观和微观层面提供更全面的地下信息,极大增强地质勘探的效果和精度。

### 2.2 煤业露天矿实际案例

本文结合内蒙古白音华矿井的水文地质勘察工程,阐述了利用核磁共振测水设备在煤炭企业露天矿区的实际情况。本课题拟采用 NMR 方法研究含水层的空间展布及特征,以此为基础进行矿井排水及防治工作。在此期间,作业小组将仪器置于预先确定的勘探范围内,并将勘探深度设置在 60~100m 范围内,以涵盖全采范围内的主含水层。

通过对矿井进行探测,获得了矿井各主要含水层的精确定位及水文特征。研究表明,该区近 150m 以浅存在着较大规模的含水层,其水动力学特征反映出其高渗透性,

这对矿井的治理和治理有着十分重要的作用。利用此方法找出了多个小水层,为矿山综合治理工作奠定了基础。通过实例验证了该方法在复杂的地质条件下的有效性与精度,以及该方法在煤矿开采中的实用意义。本项目提出的高精度勘察方法,可为矿山的安全开采及水资源的合理利用提供可靠的理论依据。

### 2.3 技术成效与发展前景

在煤矿开采过程中,利用核磁共振技术进行水文地质勘查,取得了较好的成果。本项目研究成果可为我国地下水资源开发利用和优化决策奠定理论基础。通过对白音华矿井实例的分析,提出了利用矿井水淹防治的方法,并为井下排班及开采方案的制定等工作提供了依据。

今后,随着该方法的不断完善及价格的不断下降,将会拓展其适用范围。这一方法有望在城市地下水监测、农业灌溉和环保等方面起到很大的推动作用<sup>[4]</sup>。该方法与其他物探手段(电法、地震等)相结合,提高 NMR 成像分辨率,为我国复杂环境下地下水资源监测研究提供更为准确、综合的方法(见图 1)。

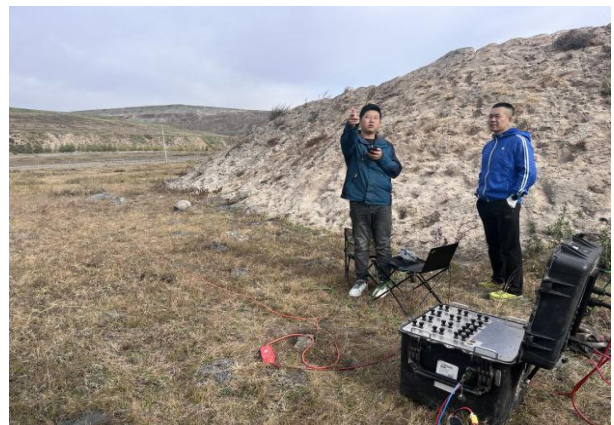


图 1 核磁共振地下水探测法现场工作图

## 3 地空电磁法与核磁共振技术的综合应用

### 3.1 技术整合的必要性

在煤业露天矿的水文地质勘探中,地空电磁法与核磁共振技术的综合应用成为提高勘探效率和精度的关键。这两种技术各有优势,地空电磁法能够迅速探测大范围的地下电性结构,而核磁共振技术则可以提供地下水的详细参数,如孔隙度和渗透性。技术整合的必要性在于,单一技术往往难以全面反映复杂地质环境下的水文地质情况。地空电磁法虽然探测范围广,但在特定条件下可能无法区分含水层与非含水层的电性差异;而核磁共振技术虽详细,但探测深度和速度受限。

通过技术整合,可以利用地空电磁法快速定位潜在的含水区域,再用核磁共振技术进行详细探测和验证,这种协同作用极大地提高了数据的可靠性和探测的经济性<sup>[5]</sup>。整合应用还有助于解决单一技术难以克服的技术瓶颈,如通过核

磁共振确定地空电磁法在浅层区域电阻率特征，使勘探结果更全面、更精确。

### 3.2 联合勘探策略与实施

在实施地空电磁法与核磁共振技术的联合勘探策略时，首先进行地空电磁勘探以快速覆盖广阔区域并初步识别地下电性结构。这一步骤利用其高效的空中探测能力，迅速确定潜在的含水区域及其大致范围。此阶段的数据提供了关键的地下电性模型，为后续的详细勘探提供方向和重点区域。

针对地空电磁法勘探结果显示的异常区域，部署核磁共振探测点位进行深入探测。核磁共振技术通过分析地下水

的核磁信号，精确测定水层的物理特性，如孔隙率和渗透性。这一步骤能够验证地空电磁法的初步探测结果，并提供更详尽的地下水数据。

整个联合勘探过程中，数据的交叉验证和整合至关重要。通过 GIS 和其他地理信息系统，将两种技术产生的数据叠加分析，可以获得更为详细且准确的地下水文地质图。通过实施这一策略，可以有效降低勘探错误的风险，优化勘探成本，增强勘探结果的应用价值，为矿区的开发和管理提供科学依据。这种综合勘探策略不仅提升了数据的准确性，也增强了解决实际地质问题的能力（见表 1）。

表 1 联合勘探策略技术参数与结果汇总

技术类型	参数设置	测量精度	覆盖区域	关键发现
地空电磁法	发射电压: 610V 发射电流: 30A	± 2%	6.6km <sup>2</sup>	识别潜在含水区域, 初步电性结构图
核磁共振技术	发射电流: 200A	± 1%	指定异常区域	精确水层物理特性, 孔隙率和渗透性
数据交叉验证	GIS 数据整合	-	-	精细化地下水文地质图, 增强勘探结果的准确性

### 3.3 提高勘探精度的策略与挑战

在联合使用地空电磁法与核磁共振技术提高勘探精度的策略中，面临多种挑战，同时也需采取相应策略以优化结果。数据融合与处理技术的高度发展是提高精度的核心策略。两种技术生成的数据类型和格式差异较大，需要高效的数据处理算法来整合信息，提取有价值的地质和水文地质特征。采用先进的地球物理数据处理软件，可以通过算法优化来增强信号的解析度，减少噪声干扰，使得从地下结构的电性响应中分辨出更细微的变化成为可能。

精确的地质模型构建对于提高勘探精度至关重要。利用地空电磁法提供的广域地下电性结构图和核磁共振提供的局部详细水文地质参数，可以构建更为精确的三维地质模型。这要求勘探团队具有跨学科的专业知识，能够理解和解释复杂的地质与水文地质数据。技术操作的精确性也是提升勘探精度的关键。操作过程中的精确控制，包括正确的仪器校准、精确的测量点定位以及适当的数据采集参数设置，都直接影响最终数据质量。环境因素如地形、地貌和季节性变化对勘探结果有显著影响，需要通过野外调查和环境监测来适当调整勘探策略。

面临的挑战也不容忽视。高导电率地层可能对核磁共振信号造成干扰，而地空电磁法在城市或电磁干扰严重的区域也可能失效。高成本的技术投入和需求高水平技术人员的操作限制了这些技术的广泛应用。通过优化数据处理技术、

精确地质模型构建和精细化操作流程，可以有效提高地空电磁法与核磁共振技术在勘探中的精度，同时也需要持续克服技术和操作上的挑战。

## 4 结语

地空电磁法和 NMR 联合运用，在煤炭露天矿区进行水文地质勘查具有明显的优越性。通过该方法的结合，能够实现区域范围内的快速、精确的水文地质信息处理，大大提高了勘察的准确性和工作效率。尽管该方法的实施难度较大、费用较高，但有望随着科技的发展与降低成本而逐渐得到解决。该方法可望在今后的矿产资源勘探中推广使用，为矿产资源的开采、探测提供更加可信的理论基础。

### 参考文献:

- [1] 李珊珊.阵列式核磁共振找水仪控制软件系统研制[D].长春:吉林大学,2012.
- [2] 林君.核磁共振找水技术的研究现状与发展趋势[J].地球物理学进展,2010(2):11.
- [3] 王应吉,林君,荣亮亮,等.地面核磁共振找水仪放大器设计[J].仪器仪表学报,2008,29(8):1627-1632.
- [4] 董浩斌,袁照令,李振宁,等.核磁共振找水方法在河南某地区的试验结果[J].物探与化探,1998,22(5):5.
- [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]//国际ct和三维断面成像理论与应用学术会议,2000.