

复杂地质矿井生产中综合物探关键技术与应用

杨海涛

河南焦煤能源有限公司科学技术研究所, 河南 焦作 454000

摘 要 : 复杂地质矿井生产所面临的挑战相对较多, 如地质构造复杂、水文条件多变等。为应对这些挑战, 在矿井生产中广泛应用综合物探技术, 以地震波与电磁法为前提, 结合槽波地震勘探与瞬变电磁法勘探等多种手段, 对矿井地质构造和水文条件进行精确探测。通过对槽波地震和瞬变电磁勘探技术, 可准确获取地质信息。研究以九里山矿和赵固二矿为例, 在两个矿井中进行工业性试验, 验证了综合物探技术在复杂地质矿井生产中具有有效性、实用性。

关 键 词 : 复杂地质; 矿井生产; 综合物探; 关键技术

Key Technologies and Applications of Integrated Geophysical Exploration in Complex Geological Mine Production

Yang Haitao

Henan Coking Coal Energy Co., Ltd. Science and Technology Research Institute, Jiaozuo, Henan 454000

Abstract : Complex geological mine production faces relatively many challenges, such as complex geological structures and variable hydrological conditions. To address these challenges, integrated geophysical exploration techniques are widely used in mine production. Based on seismic waves and electromagnetic methods, combined with various means such as channel wave seismic exploration and transient electromagnetic exploration, the mine's geological structure and hydrological conditions are accurately detected. Through channel wave seismic and transient electromagnetic exploration techniques, geological information can be accurately obtained. Taking Jiulishan Mine and Zhaogu No.2 Mine as examples, industrial experiments were conducted in the two mines, which verified the effectiveness and practicality of integrated geophysical exploration technology in complex geological mine production.

Keywords : complex geology; mine production; integrated geophysical exploration; key technology

引言

矿产资源开发、利用过程中, 复杂地质条件矿井生产是矿业领域的一大难题, 其地质构造复杂多变, 断层、褶皱、岩浆岩侵入等地质现象频繁出现, 给矿井开采工作带来了极大的困难。同时, 复杂地质条件还可能导致矿井水文地质条件复杂, 地下水资源丰富且分布不均, 增加了矿井水害风险。为有效应对此类挑战, 矿业领域不断探索和应用新技术、新方法, 其中综合物探技术作为一种非侵入性、高效、准确的探测手段, 在复杂地质矿井生产中可起到重要作用。该技术主要通过利用地震波、电磁波等多种物理场信息, 对矿井地下的地质构造、岩层分布、水文地质条件等进行全面、系统的探测和分析, 能够有效提高矿井地质构造和水文地质条件探测精度, 为矿井安全生产及资源高效利用提供有力的技术支撑。

一、地质条件复杂矿井面临的挑战

在复杂地质条件下, 矿井的地质构造极为错综复杂, 常常伴生断层、褶皱以及岩浆岩体的侵入, 导致地下空间结构错综复杂, 难以准确预测, 在一定程度上增加了矿井开拓、开采难度, 导致安全生产工作安全风险较高^[1]。而复杂的地质条件下, 水文地质环境变化速度也比较快, 地下水系分布错综复杂, 水量、水压难以预测, 给

矿井的排水和防水工作带来了极大的困扰, 一旦处理不当, 极易引发矿井水害, 严重威胁生产安全^[2]。因此, 在复杂地质矿井的生产过程中, 准确把握地质构造特征、有效评估水文地质条件是保证矿井安全、高效生产的关键, 也正是综合物探技术得以在复杂地质矿井生产中发挥重要作用的主要原因。通过综合运用多种物理探测手段, 综合物探技术能够为相关人员提供更为准确、全面的地质信息, 为矿井安全生产及资源开发提供有力的技术支持。

作者简介: 杨海涛 (1979-), 男, 汉族, 河南焦作人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 矿井地质、物探。

二、复杂地质矿井生产中综合物探技术原理

(一) 地震波与电磁法的应用前提

在复杂地质矿井生产中,综合物探技术应用可为矿井安全、高效生产提供重要的技术支持,其中最关键的技术手段为,地震波与电磁法两种。地震波探测技术主要利用地震波在介质中的传播规律,以扫描形式映射成像,可以直观、形象地呈现地质层及边界的具体情况^[3]。该技术能够帮助勘测人员更清晰地了解地质层内部波长和波速变化情况,精确探测地质构造。在复杂地质矿井中,地震波探测技术能够穿透厚重的岩层,发现隐藏的地质构造,为矿井开拓和开采提供准确的地质依据^[4]。而电磁法勘探则是利用地壳中岩石的导电性与导磁性差异,通过测量和分析地下电磁场的分布和变化规律,推断地下结构和岩层变化。该方法尤其适用于勘测和分析矿井采空区积水位置、低阻异常体等地质特征^[5]。在复杂地质矿井中,电磁法勘探能够准确识别出含水层、断层等关键地质构造,为矿井防水治水工作提供重要参考。由此可知,地震波与电磁法是综合物探技术的两大核心手段,在复杂地质矿井生产中能够发挥出非常重要的作用,不仅能够提高矿井地质构造和水文地质条件的探测精度,还能为矿井安全生产及资源高效利用提供有力的技术支撑^[6]。随着现代科学技术的不断进步,上述两种技术在矿井生产过程中被广泛应用,为矿井安全生产奠定了坚实基础。

(二) 槽波地震勘探原理

复杂地质矿井生产中,槽波地震勘探技术是一项非常重要的综合物探技术,主要依赖槽波在煤层中的传播特性,通过激发和接收槽波信号精细探测煤层内部的地质构造。槽波是一种在煤层中传播的导波,主要依赖煤层的物理特性进行传播。在煤层地质结构工作中,槽波地震勘探方法在煤层至顶底板的地质结构探测中被广泛应用^[7]。因煤层的相对密度较低,槽波在其中传播时会产生一系列折射、透射和反射作用,为全反射条件奠定了基础,有利于保证地震波能量禁锢,提高探测准确性、可靠性。槽波地震勘探技术主要包括透射槽波地震勘探和反射槽波地震勘探两种方法,其中前者主要通过将煤层两侧布置炮点和检波点,利用槽波信号穿透煤层进行探测,能够准确判断煤层内部是否存在构造异常;后者则通过在同一巷道内布置炮点和检波点,利用槽波信号在煤层内部遇到地质异常体时产生的反射作用进行探测,可精细成像煤层内部的地质构造。在复杂地质矿井生产中,槽波地震勘探技术具有探测距离大、分辨率高、波形易于识别以及受外界因素干扰小等优点,能够直接探测煤层内部的断层、陷落柱等地质异常体,为矿井安全生产及资源高效利用提供有力的技术保障^[8]。同时,槽波地震勘探技术还能够精确测量煤层厚度,为矿井开采设计、资源评估提供重要的参考依据。

(三) 瞬变电磁法勘探原理

瞬变电磁法勘探技术基于电磁感应原理,通过发射线圈向地下发送脉冲电流,并在其停止发射的瞬间,利用接收线圈观测地下介质中感应二次场随时间变化的响应,推断地下地质构造、物理特性分布情况。在瞬变电磁法勘探中,发射线圈产生的脉冲电

流会在地质介质中产生感应电流,其可随着时间逐渐衰减。而地下介质中不同电性参数存在一定差异,会影响感应电流的衰减速度和分布特征,通过观测接收线圈中感应电动势变化,即可获取地下介质中电性参数的分布信息,以此推断地下地质构造。瞬变电磁法勘探优势较多,其探测深度较大,能够覆盖到较深的地下介质,可有效满足复杂地质矿井生产中的探测需求。该方法对地下介质的电性参数变化敏感,能够准确反映地下地质构造及物理特性分布情况,且探测速度快、操作简便、对环境影响小。在复杂地质矿井生产中,瞬变电磁法勘探能够应用于多种场景,例如可用于探测煤层中的断层、陷落柱等地质异常体,为矿井安全生产提供重要保障;用于探测矿井水文地质条件,为矿井防水治水工作提供有力支持;用于探测煤层厚度、煤层顶底板距离等关键参数,为矿井开采设计和资源评估提供重要依据。

三、综合物探关键技术

(一) 瞬变电磁法

瞬变电磁法是一种高效的地球物理勘探手段,可有效确定采空区位置以及范围,不仅能够保证后续的矿井生产安全、稳定,还能有效规避水害风险,全面满足地质勘探任务需求。通过对勘探结果进行细致验证,可从根源上消除矿井生产中的潜在危险因素,并对异常区域展开深入分析,有效保证后续施工方案切实可行。在实际操作当中,相关人员需要采用大回线定源方式安装勘探装置,并密切监测接收主机屏幕,保证所采集的数据质量可用。随后,在勘探区当中精心挑选合适的区域进行试验性勘探,并形成详细、完整的试验报告。数据采集完成之后,相关人员可利用先进的计算机技术处理原始数据,并对验收其准确性,计算存在的误差。在这一基础上,相关人员可对原始数据进行进一步的预处理,计算视电阻率、视深度等关键参数。而施工人员则可根据参数绘制定性图件,直观解读勘探结果。通过对勘探资料进行深入分析,相关人员可结合地质分析标准以及复杂地质条件的实际情况,科学判断生产条件和状况。在此基础上,得出勘察区域的地质特征,准确判断采空区和含水性变化情况,并结合以往工作经验对生产附近的地质情况进行合理推测,为矿井后续生产提供有力的地质依据。

(二) 槽波地震探测技术

复杂地质矿井生产中,槽波地震探测技术是一种重要的综合物探方法,适用于煤层内部地质异常探测,主要利用槽波在煤层中的传播特点,通过激发和接收槽波信号以此探测采煤工作前方的断层、陷落柱等地质异常。在槽波地震探测过程中,勘探需要做好相应的准备工作、布置震源与接收点、数据采集与处理等。勘探前,需进行详细的矿井地质调查,了解煤层厚度、走向以及可能存在的地质异常情况,为勘探工作提供基础资料。根据调查结果,工作人员在矿井巷道中布置震源和接收点,震源主要使用炸药或锤击等方式激发地震波,接收点则布置在巷道的不同位置,用于接收地震波信号。利用透射法在两条巷道或工作面之间布置震源和接收点,通过测量槽波信号缺失、强弱及速度变化来

判断是否存在地质异常情况；利用反射法在同一条巷道内布置震源和接收点，通过接收反射回来的槽波信号确定地址异常的具体位置。采集数据过程中，采用高精度槽波地震仪进行记录，保证信号准确、完整；完成采集后，利用专业数据处理软件处理和分析地震波数据，提取有用的地质信息。通过对槽波信号的频散分析、速度分析以及成像处理，准确判断煤层内部的地质异常位置和详细特征。

四、矿井水文地质概况

（一）九里山矿水文地质概况

九里山矿地处焦作矿区东部，井田内地质构造复杂，以断层为主，并伴有宽缓褶曲。主要含水层包括奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层、L₂灰岩含水层、L₃灰岩含水层等，其中L₃灰岩含水层对矿井开采影响最大，是二₁煤层底板的主要充水含水层。矿井历史上突水事故频发，尤其是底板突水事件，给安全生产带来了严重威胁。矿井水文地质条件复杂，需采取有效的防治水措施，保证安全生产。

（二）赵固二矿水文地质概况

赵固二矿位于焦作煤田东部，井田内地层以断裂构造为主，伴有局部宽缓褶皱。主要含水层包括第四系砾石含水层、新近系砂砾石含水层等，其中底板L₃灰岩含水层水占矿井涌水量82%，水压高且水量大，对矿井安全构成了重大威胁。矿井建矿以来多次发生突水事故，多为L₃灰岩含水层突水。因赵固二矿水文地质条件复杂，所以需持续加强水文地质监测与防治水工作，以保障矿井安全生产。

（三）工业性试验

在工业性试验中，九里山矿16071中间底抽巷与赵固二矿

14030工作面分别采用了“借道超前”探查技术，均取得了良好效果。九里山矿16071中间底抽巷通过瞬变电磁法，借助已有巷道对目标区域进行全方位扫描探测，成功识别出煤层底板下方的低阻异常区，为掘进工作提供了重要安全指导。而赵固二矿14030工作面则采用槽波地震反射法勘探技术，通过反射地震波信号分析，精确探明了工作面外围煤岩层中的地质构造异常体分布，为回采工作面设计提供了科学依据。在九里山矿试验中，瞬变电磁法以对低阻体敏感性、探测距离远的优点，成功规避了金属干扰，准确圈定了低阻异常区，为后续掘进工作提供了安全保障。而在赵固二矿试验中，槽波地震勘探技术则以高分辨率、抗干扰能力强优势，准确发现了煤层中的隐蔽断层和裂隙发育区，为矿井防治水工作提供了有力支持。

通过两次工业性试验，不仅验证了“借道超前”探查技术在复杂地质条件下具有有效性和可靠性，还为全国矿井安全生产提供了宝贵的经验和借鉴参考。此类技术成功应用，不仅有效提高了矿井的安全系数，还有效降低了钻探成本和时间成本，为矿井可持续发展奠定了坚实基础。

五、结束语

复杂地质矿井生产中，综合物探关键技术应用充分展现出了物理勘探技术在矿井安全生产中应用的重要价值。随着现代技术的不断发展，多种物探方法，如瞬变电磁法、槽波地震勘探等技术得到了综合运用，能够有效提高地质构造体判断准确性，不仅可为煤矿安全、高效生产提供可靠的技术保障，还能有效推动矿井勘探技术进步。但是，综合物探技术在实践中也存在一定的局限性，需在实际勘察过程中不断进行总结，结合多种物探方法探索与工程相符合的勘探技术。

参考文献

- [1] 刘春生. 矿井水害的钻物探一体化地质超前精细综合探测系统与应用[J]. 晋控科学技术, 2023, (04): 1-7+59.
- [2] 张陆. 综合物探技术在马兰矿探查隐伏陷落柱中的应用[J]. 山西焦煤科技, 2023, 47(07): 32-36.
- [3] 李昶. 综合物探技术在矿山水文地质勘探中的应用研究[J]. 中国金属通报, 2023, (06): 83-85.
- [4] 周鹏. 复杂地质条件回采面多手段综合物探技术应用与成果分析[J]. 煤炭与化工, 2023, 46(03): 47-52.
- [5] 李鹏飞, 马玉龙, 张杰, 等. 矿井综合物探技术在隐伏含水构造探测中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2022, 34(10): 60-65.
- [6] 华相征. 综合物探技术在探测矿井隐伏含水构造中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(07): 177-179.
- [7] 梁雁侠, 程刚, 王岳, 等. 矿井综合物探方法在掘进面前方地质构造探测中的应用[J]. 同煤科技, 2022, (03): 14-17.
- [8] 康涛. 综合物探技术在矿井导水通道超前探测中的应用研究[J]. 山西化工, 2021, 41(06): 171-172+175.