

# 煤矿水害治理中物探关键技术的应用

严锦钢

陕西彬长孟村矿业有限公司, 陕西 咸阳 713600

**[摘要]**煤炭作为我国的主要能源之一,在经济发展中占据着举足轻重的地位。物探技术作为一种非侵入式的探测手段,在煤矿水害治理中发挥着不可或缺的关键作用。它能够在不破坏地质结构的前提下,利用岩石、地层等介质在物理性质上的差异,对潜在的水害隐患进行超前探测与精准识别。通过物探技术,可以提前探明含水层的位置、厚度、富水性,以及导水通道的走向、规模等信息,为制定科学合理的防治水方案提供详实、准确的依据,这不仅有助于减少水害事故的发生,保障矿工的生命安全,降低经济损失,还能够提高煤炭资源的回收率,推动煤炭行业的可持续发展,为我国的能源供应提供坚实的保障。因此,深入研究煤矿水害治理中的物探关键技术应用具有极其重要的现实意义。

**[关键词]**煤矿;水害治理;物探关键技术

DOI: 10.33142/ect.v3i1.15109

中图分类号: TD74

文献标识码: A

## Application of Key Geophysical Techniques in Coal Mine Water Hazard Control

YAN Jingang

Shaanxi Binchang Mengcun Mining Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 713600, China

**Abstract:** Coal, as one of the main energy sources in China, plays a crucial role in economic development. Geophysical exploration technology, as a non-invasive detection method, plays an indispensable and critical role in the management of coal mine water hazards. It can use the differences in physical properties of rocks, strata and other media without damaging the geological structure to detect and accurately identify potential water hazards in advance. Through geophysical exploration technology, the location, thickness, and water abundance of aquifers, as well as the direction and scale of water channels, can be identified in advance, providing detailed and accurate basis for formulating scientific and reasonable water prevention and control plans. This not only helps reduce the occurrence of water accidents, ensure the safety of miners, and reduce economic losses, but also improves the recovery rate of coal resources, promotes the sustainable development of the coal industry, and provides a solid and reliable guarantee for Chinese energy supply. Therefore, in-depth research on the application of key geophysical techniques in coal mine water hazard control has extremely important practical significance.

**Keywords:** coal mine; water hazard management; key geophysical techniques

### 引言

在国内,随着煤炭行业对安全生产重视程度的不断提高,物探技术在煤矿水害治理领域的研究与应用也取得了长足的进步。许多高校、科研机构以及煤炭企业联合开展科研攻关,研发出一系列适合我国煤矿地质条件的物探技术与装备。然而,与国外先进水平相比,我国煤矿水害治理物探技术仍存在一定差距。一方面,物探仪器的稳定性、精度以及智能化程度有待进一步提升,部分高端仪器设备仍依赖进口;另一方面,在复杂地质条件下,如高瓦斯矿区、强岩溶发育地区,物探技术的适应性和可靠性还需加强,多物探方法融合的综合解释模型还不够完善。因此,未来我国煤矿水害治理物探技术的研究应聚焦于仪器设备的自主创新研发以及复杂地质条件下物探技术的优化应用,加强产学研合作,推动物探技术向高精度、智能化、多功能化方向发展,为煤矿安全生产提供更加坚实有力的技术支撑。

### 1 煤矿水害类型及物探技术原理

#### 1.1 煤矿水害类型与成因

老空区积水是煤矿常见且极具危险性的水害类型之

一。在煤炭开采历史悠久的地区,早期的小煤窑或已废弃的采区,由于停止排水,地下水逐渐积聚在采空区内,形成老空区积水。这些积水区域的边界、水量、水压等信息往往难以精准掌握,一旦现有的巷道或工作面意外贯通老空区,巨大的水压差会瞬间引发大量积水涌入,裹挟着有害气体,对矿工生命和矿井设施构成致命威胁。

含水层突水也是不容忽视的水害类型。煤矿开采区域周边通常分布着多个含水层,如孔隙含水层、裂隙含水层以及岩溶含水层等。当开采活动导致煤层顶底板的隔水层受到破坏,强度降低,在含水层水压的长期作用下,隔水层可能发生破裂,使得含水层中的水突破隔水层涌入矿井。尤其是在深部开采时,水压增大,而岩石的力学性质因深度增加发生变化,更易诱发含水层突水。

构造导水同样是引发煤矿水害的关键因素。断层作为地壳运动留下的地质构造痕迹,其破碎带内岩石破碎,裂隙发育,为地下水的运移提供了天然通道。若巷道掘进过程中与导水断层相遇,含水层中的水会顺着断层裂隙涌入矿井。岩溶陷落柱则是在可溶性岩石地区,由于地下水长

期溶蚀,形成溶洞,上方岩石塌落后形成的柱状地质体。岩溶陷落柱内部结构复杂,多与含水层相连通,开采过程中一旦揭露,多个含水层的水会同时涌入,引发大规模的突水事故,对矿井造成毁灭性打击。

## 1.2 物探技术基本原理

### 1.2.1 电法勘探原理

电法勘探是煤矿水害探测中应用最为广泛的物探方法之一,其核心原理基于不同岩石、地层之间存在的电性差异。在煤矿地质环境中,煤层、砂岩、页岩、灰岩以及各类含水构造等,它们的电阻率、介电常数等电性参数各不相同。

直流电法作为电法勘探的重要分支,通过在井下巷道或地面向地下供入稳定电流,构建起人工电场。根据点电源场理论,点电源在均匀全空间的电力线呈射线发散,等电位面是以供电点为球心的球面,电位差则是以供电点为球心的同心球壳,球壳厚度应为测量电极间距。当电流在地下介质中传播时,由于不同地质体导电性的差异,电流的分布会发生变化,进而导致地面或巷道内测量电极所测得的电位差也有所不同。

瞬变电磁法是一种时间域的电磁探测方法,它利用不接地回线向采掘空间周围的煤岩体中发射一次脉冲磁场。当发射回线中电流突然断开后,地球介质中将激励起二次涡流场以维持在断开电流以前产生的磁场(即一次场),二次涡流场的大小及衰减特性与周围介质的电性分布紧密相关。在一次场间歇观测二次场随时间的变化特征,由于不同地质体的导电性不同,产生的二次磁场的衰减规律也各异。

音频电透视法采用低频交流供电,一般为15赫兹~100赫兹,在此频率下电场的性质与直流场基本相同,所以其工作原理更接近直流电法,但其观测方法和资料处理解释方法与直流电法存在差异。该方法通过在矿井巷道或钻孔中供入音频电流,在另一巷道或钻孔中观测电场的分布来确定矿井之间工作面顶、底板内的含水构造和岩溶裂隙发育带等水文地质条件。由于低阻体对电流的“吸收”作用,在巷道对应接收的位置将会产生电流密度降低,视电导率随之增加的现象。将含水构造模拟为局部低阻良导体,通过点电源产生的电场分布来探查该异常体的体积及含水情况。与围岩相比,含水构造异常部位显示高电导率特征。一般涌水量大小与视电导率值的异常变化幅度正相关。通过采用多频供电和测量,利用交变电磁场的趋肤效应来实现对工作面内部两巷道之间煤层及其顶、底板一定厚度范围内岩层的电性构造的成像,进而评价其构造及富水的情况。在煤矿开采过程中,音频电透视法对于提前探查工作面顶、底板的富水性,预防突水事故具有重要作用,能够为安全生产提供有力保障。

### 1.2.2 震波勘探原理

地震勘探是基于人工激发地震波,当地震波在地下传

播遇到不同岩性的地层界面(如煤层与顶底板岩层的界面)时会发生反射、折射和透射。根据弹性波理论,不同岩石介质具有不同的弹性模量、泊松比等力学性质,这些差异导致地震波在不同介质中的传播速度不同。当波传播到两种介质的分界面时,一部分能量被反射回来,形成反射波;一部分能量改变传播方向,形成折射波;还有一部分能量继续穿透进入下一层介质,形成透射波。通过在地面或井下布置检波器来接收这些反射波和折射波,记录下波的传播时间、振幅、频率等信息。依据反射波旅行时间与速度的关系,利用双曲线定位原理,结合已知的地质资料与速度模型,通过复杂的计算与数据处理,可以推断煤层的埋深、厚度、起伏形态以及断层、褶曲等地质构造的位置和特征。在煤矿勘探阶段,地震勘探可用于确定井田范围内煤层的赋存形态和地质构造分布,为矿井设计与规划提供基础数据;在煤矿开采过程中,也能够用于探测工作面前方的小断层和地质异常体,提前做好应对措施,避免开采设备损坏和安全事故。

声波勘探原理与地震勘探相似,同样是以弹性波场理论为基础,利用岩石弹性特征的探测方法。常用的声波探测方法有穿透波法和反射波法,其中反射波法是根据超声波脉冲在异常体处产生反射现象来判断缺陷。声波在介质中传播,遇到缺陷界面(如裂隙、空洞、含水构造等)会发生反射,经反射后的声波信号返回到接收换能器,形成反射信号并被声波仪记录下来。声波反射法探测缺陷主要基于探测界面两侧介质的波阻抗变化,界面两侧的介质波阻抗越大,则会出现能量较强的反射现象;反之,则会出现能量较弱的反射现象。在煤矿井下,声波勘探常用于巷道围岩稳定性监测、煤层顶底板完整性检测以及含水构造的初步判别等方面。例如,通过向巷道顶板发射声波,根据声波反射回来的时间、强度等信息,判断顶板是否存在离层、裂隙发育情况以及是否含水,为巷道支护与安全管理提供依据。同时,声波勘探仪器设备轻便,操作简单,抗外界干扰能力强,在井下可实现快速化、自动化数据采集,是一种较为理想的井下辅助物探方法。

## 2 物探技术在煤矿水害治理中的难点与优化策略

### 2.1 物探技术面临的难点问题

#### 2.1.1 地质条件复杂影响

煤矿地质条件的复杂性对物探技术的有效应用构成了巨大挑战。复杂的地质构造,如褶皱、断层、陷落柱等,会使地层发生剧烈变形,岩石的电性、弹性等物理性质呈现出极强的非均质性。在褶皱发育区域,岩层的弯曲和扭曲导致岩石的应力状态、孔隙度以及含水量分布极不均匀,使得物探信号在传播过程中受到不规则的折射、反射和散射,严重干扰了正常的地质信息获取。

#### 2.1.2 探测精度与深度局限

尽管物探技术在不断发展,但在实际应用中,其探测

精度和深度仍存在明显的局限性。在精度方面,对于一些小型的含水水体,如直径小于数米的岩溶空洞、微小裂隙带中的积水等,现有的物探技术往往难以精确识别其位置、形态与含水量。这是由于物探仪器的分辨率有限,当目标体的规模接近或小于仪器的分辨率阈值时,所产生的物探异常信号微弱且容易被背景噪声淹没。在探测深度上,随着煤矿开采深度的不断增加,深部地质体的探测难度急剧上升。一方面,深部地层压力增大,岩石更加致密,物探信号在传播过程中能量衰减严重,使得深部目标体的响应信号变得极为微弱,难以被仪器有效接收。

### 2.1.3 多解性与不确定性

物探结果的多解性是制约其在煤矿水害治理中精准应用的关键问题之一。由于物探技术是基于地质体的物理性质差异来推断地质结构与含水水体信息,然而多种地质因素都可能导致相似的物理异常表现,这就使得物探结果存在多种可能的解释。同样,在震波勘探中,地震波的反射、折射特征不仅受含水水体影响,还与地质构造的界面形态、岩石的弹性模量差异等密切相关。当遇到复杂地质构造时,如断层与褶皱的复合区域,地震波的传播路径变得极为复杂,所产生的反射波和折射波信号交织在一起,难以准确区分哪些信号来源于含水水体,哪些是由单纯的地质构造变化引起的。这种多解性使得物探技术在水害判断上存在较大的不确定性,给煤矿防治水决策带来了极大困扰。如果仅凭不准确的物探解释贸然采取防治措施,可能会造成资源浪费,如过度注浆封堵不存在水害的区域;反之,若忽视了潜在的水害隐患,又可能引发严重的突水事故,危及矿井安全与矿工生命。

## 2.2 优化策略与技术改进方向

### 2.2.1 多方法联合探测

单一的物探方法往往在面对复杂地质条件时存在局限性,而多方法联合探测能够充分发挥不同物探方法的优势,实现优势互补,有效减少多解性,提高探测结果的可靠性。

不同物探方法基于不同的物理原理,对地质体的响应特征各异。例如,电法勘探主要依据岩石的电性差异来探测含水构造,对低阻体敏感,能够有效圈定老空区积水、含水层富水区域等;震波勘探则利用弹性波在不同介质中的传播特性,侧重于揭示地质构造的形态与分布,如通过地震波的反射、折射特征精准识别断层、褶皱等构造。在实际应用中,将电法与震波勘探相结合,可从电性和弹性两个维度对地质体进行全面刻画。在某煤矿的水害探测中,先利用三维地震勘探技术获取地下地质构造的宏观形态,清晰呈现断层、陷落柱等构造的分布,为后续探测提供地质框架;再运用瞬变电磁法对构造周边及煤层顶底板的含水量进行精细探测,依据电性异常精准定位潜在的含水区域。通过两者结合,不仅准确判断出含水层与导水构造的

空间关系,还为防治水方案的制定提供了更为精准的依据,有效避免了单一方法可能导致的误判与漏判。

此外,还可将地面物探与井下物探相结合。地面物探能够覆盖较大范围,获取井田尺度的地质结构信息,如利用高精度三维地震勘探对整个井田的煤层赋存形态、大型地质构造进行宏观把控;井下物探则聚焦于采掘工作面附近的局部区域,对巷道掘进前方、煤层顶底板等关键部位进行近距离、高精度探测,如采用地质雷达对巷道掘进前方数十米范围内的小型含水裂隙、空洞进行实时监测。两者结合,实现了从宏观到微观、从大范围到局部的全方位探测,极大地提高了水害探测的精度与可靠性,为煤矿安全生产提供了坚实保障。

### 2.2.2 数据处理与解释新技术

传统的数据处理方法主要依赖人工经验与简单的数据统计分析,在面对海量、复杂的物探数据时,效率较低且容易受主观因素影响。而机器学习算法,如支持向量机、决策树等,能够通过对大量已知地质样本数据的学习,建立数据特征与地质目标体之间的非线性映射关系。在处理瞬变电磁法采集的大量电阻率数据时,利用支持向量机算法对不同地质条件下的电阻率异常模式进行学习与分类,快速识别出可能代表含水构造的低阻异常区域,大大提高了数据处理速度与异常识别的准确性。

深度学习算法,如卷积神经网络、循环神经网络等,更是具备强大的自动特征提取与复杂模型构建能力。对于地震勘探数据,卷积神经网络可直接从地震剖面图像中自动学习提取地质构造的特征信息,如断层的走向、倾角,褶曲的形态等,无需人工手动选取特征,避免了人为误差。通过构建多层神经网络模型,深度学习算法还能够模拟复杂地质条件下物探信号的传播规律,对多源物探数据进行融合分析,有效减少多解性。将地质雷达、瞬变电磁法、地震勘探等多方法采集的数据同时输入深度学习模型,模型综合考虑不同数据的特征信息,输出更为准确的地质解释结果,为水害防治决策提供有力支持。

### 2.2.3 仪器设备研发升级

在提高仪器精度方面,需要从传感器、信号采集与处理系统等多个环节进行优化。研发高灵敏度的传感器,能够捕捉到更为微弱的物探信号,增强仪器的抗干扰能力同样至关重要。井下电气设备众多,如采煤机、运输机、变压器等,它们产生的强电磁干扰会严重影响物探仪器的正常工作。通过采用特殊的屏蔽材料与屏蔽技术,如多层金属屏蔽罩、电磁屏蔽涂料等,对仪器进行全方位屏蔽,有效阻挡外界电磁干扰;研发自适应滤波算法,实时识别并滤除干扰信号,确保仪器在强干扰环境下稳定、可靠地工作。此外,考虑到井下空间狭小、运输不便等问题,物探仪器的小型化、便携化设计也是研发重点。采用微型化的电子元件、轻量化的材料,优化仪器

的结构设计,使仪器体积更小、重量更轻,便于井下操作人员携带与快速布置。

### 3 结论

本研究系统深入地探究了煤矿水害治理中的物探关键技术应用,物探关键技术在煤矿水害治理中作用重大,为保障煤矿安全生产、推动煤炭行业可持续发展提供了坚实技术支撑,对提升我国煤矿水害治理水平、降低水害事故风险具有不可估量的价值,未来煤矿水害治理中的物探技术将在多技术融合、智能化、高精度化、绿色化等方面取得重大突破,为煤炭行业的安全生产、可持续发展注入强大动力,助力我国能源事业稳步前行。

### [参考文献]

- [1]付攀升.煤矿水害防治中的综合物探技术应用实践研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(1):3.
  - [2]韩博,魏晓,薛宇飞.煤矿水害防治井下物探技术的选择与应用[J].内蒙古煤炭经济,2023(10):190-192.
  - [3]徐克全,黄平.综合物探技术在宝英煤矿水害防治中的探测分析[J].能源与环保,2024,46(6):88-92.
- 作者简介:严锦钢(1992.10—),男,学历:本科,毕业院校:西安石油大学,所学专业:勘查技术与工程,目前职称:助理工程师,目前就职单位:陕西彬长孟村矿业有限公司。