

煤矿井下掘进工作面超前物探技术分析

呼树业

山西华润联盛能源投资有限公司 山西 吕梁 033000

摘要：煤矿井下掘进工作面超前物探技术是一项关键的安全保障措施。它利用瞬变电磁法、直流电法探测技术及激发极化法等物理探测方法，对工作面前方的地质构造、水文情况进行精准预测和探测。这些技术不仅提高了煤矿开采的效率和安全性，还降低了地质灾害的风险。通过科学合理的探测设计和实施，结合超前钻探验证，该技术能够确保掘进工作面的安全稳定，为煤矿的安全生产提供有力保障。

关键词：煤矿井下；掘进工作面；超前物探技术

引言：煤矿井下掘进工作面超前物探技术，作为现代煤矿安全生产的重要组成部分，对于预防地质灾害、指导掘进作业具有重要意义。随着煤炭资源的深入开发，地质条件日益复杂，对超前探测技术的准确性和可靠性提出了更高要求。本文旨在探讨煤矿井下掘进工作面超前物探技术的原理、应用及其效果评价，以期煤矿安全生产提供更加科学、有效的技术支持，促进煤炭资源的可持续开发利用。

1 煤矿井下超前物探技术概述

1.1 井下超前物探技术的定义与分类

煤矿井下超前物探技术，是指在煤矿井下开采过程中，利用物理探测方法对工作面前方的地质构造、水文情况等进行预测和探测的技术。这一技术的应用对于确保煤矿安全生产、提高开采效率以及降低安全风险具有重要意义。井下超前物探技术主要可以分为以下几类：

（1）瞬变电磁法。瞬变电磁法是一种基于电磁感应原理的地质探测方法。它通过在地面或井下发射脉冲磁场，利用接收装置观测地下介质中产生的二次感应涡流场，进而分析地下介质的导电性、导磁性等物理特性。瞬变电磁法在煤矿井下超前探测中，主要用于探测含水层、断层、裂隙等不良地质构造，为煤矿开采提供地质信息支持。（2）直流电法探测技术。直流电法探测技术是一种利用岩石和矿石电性差异进行地质探测的方法。它通过在地下布置电极，形成直流电场，并观测电场分布和变化情况，从而推断地下介质的电阻率等电性参数。直流电法探测技术在煤矿井下主要用于探测含水层、断层、空洞等地质异常体，为煤矿安全生产提供重要依据。（3）激发极化法。激发极化法是一种基于电化学反应原理的地质探测方法。它通过在地下施加稳定电流，观测地下介质中产生的激发极化现象，进而分析地下介质的电学性质。激发极化法在煤矿井下超前探测中，

主要用于探测含水层、煤层等电性差异较大的地质体，为煤矿开采提供有力的地质信息支持。

1.2 井下超前物探技术的发展历程与趋势

（1）技术的发展历程。井下超前物探技术起源于20世纪中期，随着科技的发展，经历了多次技术革新和升级。从最初的直流电法、瞬变电磁法等单一技术的应用，到现在的多种技术综合应用，井下超前物探技术的准确性和可靠性得到了显著提高。（2）国内外技术对比。国内外在井下超前物探技术方面存在一定的差异。国外在瞬变电磁法、激发极化法等技术方面具有较高的研究水平和应用经验，而国内在直流电法探测技术等方面具有独特优势。同时，国内外在井下超前物探技术的仪器设备和数据处理方法等方面也存在一定的差异。（3）未来发展趋势预测。未来，井下超前物探技术将更加注重集成化、智能化和环保化。集成化意味着多种物探方法的联合应用，以获得更全面的地质信息；智能化体现在数据采集、处理和解释的自动化，以及人工智能在异常识别和模型构建中的应用；环保化则是通过开发低噪声、低能耗的物探设备，减少对环境的影响。

2 井下超前物探技术的基本原理

2.1 瞬变电磁法基本原理

（1）脉冲磁场发射与二次感应涡流场的观测：首先，在地面或井下，通过发射线圈通以一定波形的电流，产生瞬变的脉冲磁场。该磁场会向地下传播，当遇到不同导电性的地质体时，会在其中产生感应电流，即二次涡流场。这个二次涡流场随着地质体的导电性、形状、大小等因素的变化而变化。（2）利用二次场衰减规律分析地质体导电性：断电后，感应电流会因热损耗而随时间衰减。通过观测断电后各个时间段的二次场随时间变化规律，可得到不同深度的地电特征，进而分析地质体的导电性。导电性好的地质体，其二次场衰减较

慢,而导电性差的地质体,其二次场衰减较快。(3)探测范围与精度分析:瞬变电磁法的探测范围取决于发射线圈的大小、发射电流的强度和频率,以及地下地质体的导电性。一般来说,探测深度可达数十米至上百米。其精度则受到多种因素的影响,如地质体的形状、大小、导电性差异、观测噪声等。为了提高探测精度,通常采用多频点同时发射、等频点同时接收的方式,以克服井下自然、人为等因素带来的强干扰背景^[1]。

2.2 直流电法探测技术基本原理

(1)全空间电场理论与导电性差异探测:在井下,通过布置供电电极和测量电极,形成直流电场。当地下存在不同导电性的地质体时,电场分布会发生变化,这种变化可以被测量电极捕捉到,从而推断出地下地质体的位置和导电性。(2)电阻率剖面法、电阻率测探法等具体方法:电阻率剖面法是通过沿一定剖面方向逐点观测视电阻率,研究剖面方向地下一定深度的岩、矿石电阻率变化。而电阻率测探法则是通过改变供电电极间的距离,观测不同深度地质体的电阻率变化。(3)探测深度与响应速度分析:直流电法探测技术的探测深度取决于供电电极的布置和电流的大小,一般来说,探测深度可达数十米。其响应速度较快,可以在较短的时间内获得地质体的电阻率信息。

2.3 激发极化法基本原理

(1)加载稳定电流与附加电场的形成:激发极化法通过向地下供入稳恒电流,使岩矿石内部电荷重新分布,形成电性符号相反的偶电层。这个偶电层会产生附加电场,这个附加电场是激发极化法探测的基础。通过观测这个附加电场的变化规律,可以获取地质体的电学性质信息。(2)瞬时电位随时间变化的分析:在断电后,被极化的岩矿石会通过围岩中的水溶液及导体本身进行放电,直至恢复其原来偶电层的均匀分布。这个过程中,瞬时电位会随时间发生变化。通过观测这个瞬时电位随时间的变化规律,可以计算出视极化率和充电率等参数,这些参数能够反映地质体的电学性质。(3)激发极化法在煤矿探测中的应用:激发极化法在煤矿探测中具有广泛的应用前景。由于煤矿中的煤层通常具有较低的电阻率和较高的极化率,因此可以利用激发极化法来识别煤层的位置和厚度。此外,激发极化法还可以用于探测煤矿中的含水层、断层等不良地质构造,为煤矿的安全生产提供有力保障。在实际应用中,激发极化法通常与其他物探方法相结合,以提高探测结果的准确性和可靠性。

3 井下掘进工作面超前物探技术的实际应用

3.1 工作面概况与地质条件分析

(1)工作面井下位置及四邻关系。本次超前物探技术应用的工作面位于矿井深部,具体位于第三开采水平的东翼,是连接上下两个开采水平的关键通道。工作面东侧紧邻已开采完毕的205采空区,西侧为未开采的207煤层区域,南侧与主运输巷相连,北侧靠近回风巷。这种布局要求在进行超前物探时,必须充分考虑相邻区域的地质构造特征和开采历史,以避免对已有巷道或采空区造成破坏,同时确保掘进工作面的安全推进。(2)地质情况与水文地质条件。该工作面所在区域的地质条件较为复杂,煤层赋存不稳定,存在多组断层和褶皱构造。这些地质构造不仅影响煤层的连续性和稳定性,还可能成为导水通道,增加水文地质条件的复杂性。煤层上方发育有砂岩含水层和灰岩含水层,它们与煤层之间的隔水层较薄,存在潜在的突水风险^[2]。此外,煤层中还发育有裂隙和节理,这些构造为地下水提供了良好的通道,进一步增加了水文地质条件的不确定性。因此,在进行超前物探时,必须充分考虑这些潜在的地质灾害风险。

3.2 超前物探仪器选择与环境要求

(1)仪器名称、型号及主要参数。针对工作面复杂的地质条件和水文地质条件,选择了瞬变电磁仪(型号:YCS-60)和高密度电法仪(型号:WED-2A)进行超前物探。瞬变电磁仪具有探测深度大、分辨率高、对低阻体敏感等优点,适用于探测含水层、断层等地质构造。其主要参数包括发射功率1.5kW、发射频率25Hz、采样率1kHz。高密度电法仪则通过测量地下介质的电阻率差异来揭示地质体的分布特征,适用于探测煤层、岩层等地质体。其主要参数包括供电电流100A、测量电极间距5m、数据采集密度1m×1m。(2)环境要求与电气机械设备停运等。在进行超前物探时,需要确保巷道内无积水、无杂物,以便仪器能够顺利移动和布置。同时,由于物探仪器对电磁干扰敏感,因此需要关闭巷道内的电气机械设备,如电机车、皮带机等,以避免电磁干扰对探测结果的影响。此外,还需确保巷道内的通风良好,以减少湿度和温度对探测仪器的影响。在探测过程中,应安排专人负责监测巷道内的环境参数,如温度、湿度和瓦斯浓度等,确保探测环境的稳定性和安全性。

3.3 探测设计与实施

(1)测线、测点布置与探测深度确定。根据工作面的地质条件和开采计划,设计了多条测线,沿巷道方向均匀布置。测点间距根据地质构造的复杂程度和探测仪器的分辨率进行确定,一般为10-20米。探测深度则根据煤层赋存深度、含水层位置及地质构造特征进行综合评估,确保探测范围能够覆盖掘进工作面前方的潜在地质

灾害风险区域。(2)扇形或半圆形测点布置与倾角调整。为了全面探测掘进工作面前方的地质情况,采用了扇形测点布置方式。这种方式能够覆盖更广的范围,提高探测的准确性和可靠性。在布置测点时,根据地质体的倾角和倾向进行了倾角调整,以确保探测结果能够准确反映地质体的空间分布特征。通过调整测点的倾角,可以更好地揭示断层、褶皱等地质构造的立体形态及其与煤层的关系。(3)探测盲区与效果不佳时的处置措施。由于地质条件的复杂性和探测仪器的局限性,可能存在探测盲区或效果不佳的情况。针对这些问题,采取了以下处置措施:一是增加测线数量和测点密度,以扩大探测范围并提高探测精度;二是调整探测参数,如发射功率、发射频率等,以优化探测效果;三是采用多种物探方法进行联合探测,如结合地质雷达、地震勘探等方法,以弥补单一方法的不足;四是在必要时进行超前钻探验证,以获取更准确的地质信息。同时,建立了完善的探测结果分析和评估体系,对探测数据进行综合分析,确保探测结果的准确性和可靠性^[3]。

3.4 超前钻探设计与实施

(1)钻机型号、钻孔布置及参数。在超前钻探设计中,选择了性能稳定、钻进能力强的全液压坑道钻机(型号:ZDY-4000L)。该钻机具有结构紧凑、操作简便、钻进效率高特点,适用于井下复杂地质条件下的钻探作业。钻孔布置方面,根据超前物探的结果和地质条件进行了精心规划。在掘进工作面前方,布置了多个钻孔,形成扇形钻孔网。钻孔的间距、孔深、倾角等参数根据地质构造的规模、稳定性和掘进速度等因素进行了综合评估。同时,还考虑了钻孔的直径和钻孔数量,以确保能够全面揭示掘进工作面前方的地质情况。(2)超前距、帮距的确定与处置措施。超前距指钻孔揭露地质构造至掘进工作面的最小安全距离,需综合考虑地质稳定性、掘进速度、钻探可靠性及安全需求,本案例设为30米,确保掘进前方地质安全。帮距为钻孔揭露地质构造与巷道侧帮的最小安全距离,需考虑巷道侧帮稳定

性、支护强度及安全要求,本项目根据巷道断面、地质特征及支护设计,设为15米,降低地质灾害风险。钻探中若超前距或帮距不足,立即停掘并采取处置措施,如增孔扩探、调孔布局或加强支护。同时,密切监控地质变化,调整掘进速度和超前距,确保掘进工作面安全。

(3)钻探过程中的安全与技术措施。在钻探过程中,始终将安全生产放在首位。为确保钻探作业的安全进行,采取了以下技术措施:一是加强钻机维护和保养,确保其处于良好的工作状态;二是严格操作规程,避免因操作不当而引发安全事故;三是实时监测钻孔参数,如钻孔直径、孔深、倾角等,确保钻孔能够准确地揭露地质体的实际情况;四是加强巷道支护和监测工作,确保巷道的稳定性;五是制定应急预案,以应对可能发生的突发情况;六是加强安全管理,建立健全的安全管理制度和监管机制,确保钻探作业的安全进行^[4]。

结束语

综上所述,煤矿井下掘进工作面超前物探技术在确保煤矿安全生产、提高开采效率方面发挥着至关重要的作用。通过精准探测地质构造和水文情况,该技术为掘进作业提供了可靠的地质信息支持,有效降低了地质灾害风险。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,井下超前物探技术将更加智能化、集成化,为煤矿行业的可持续发展注入新的活力。我们期待该技术能够持续创新,为煤矿安全生产保驾护航。

参考文献

- [1]马伯华.煤矿井下掘进工作面超前物探技术分析[J].能源与节能,2023,(13):158-159.
- [2]杨菲.煤矿井下掘进工作面超前物探技术分析[J].当代化工研究,2021.(05):55-56.
- [3]黄治富.煤矿井下掘进工作面超前物探技术分析[J].江西化工,2020,(14):144-145.
- [4]程军.煤矿井下掘进工作面超前物探技术分析[J].当代化工研究,2019,(04):43-44.