

Application of Horizontal Directional Drilling Technology in the Geological Structure Exploration of Coal Mine

Xiao Liu

The Third Exploration Team of Shandong Coal Geology Bureau, Tai'an, Shandong, 271200, China

Abstract

Horizontal directional drilling technology is a precision technology applied in underground engineering, which is widely used in the exploration of coal mine geological structure. This technology relies on the near bit measurement system (MWD), which can monitor the direction and depth of the bit in real time, realize the accurate control of drilling path, and provide important support for the safe production and resource mining of coal mine. By analyzing the working principle and characteristic of horizontal directional drilling technology, this paper expounds its application in coal mine geological structure exploration. Based on the actual drilling data, the application of horizontal well is deeply analyzed, including the identification of fault position, measurement of coal seam thickness and monitoring of gas distribution. Application examples show that the horizontal directional drilling technology not only improves the accuracy of geological structure detection, but also significantly improves the effect of gas extraction and enhances the safety of the mine. In the future, with the continuous progress of automation and intelligent technology, horizontal directional drilling will have stronger adaptability and operational flexibility, which will provide a strong guarantee for the sustainable and safe development of the coal mining industry.

Keywords

horizontal directional drilling; geological structure exploration; gas extraction; technology application

水平定向钻进技术在煤矿地质构造勘探中的应用

刘晓

山东省煤田地质局第三勘探队, 中国·山东 泰安 271200

摘要

水平定向钻进技术是一种应用于地下工程的精密技术, 广泛用于煤矿地质构造勘探中。该技术依靠近钻头测量系统 (Measurement While Drilling, 简称MWD), 能实时监测钻头方向和深度, 实现钻井路径的精准控制, 为煤矿的安全生产和资源开采提供了重要支持。通过分析水平定向钻进技术的工作原理和特点, 论文阐述了其在煤矿地质构造勘探中的应用。文章基于实际钻井数据, 对水平井的应用情况进行了深入剖析, 包括断层位置的识别、煤层厚度的测量和瓦斯分布的监测等。应用实例表明, 水平定向钻进技术不仅提高了地质构造探测的精度, 而且显著提升了瓦斯抽采的效果, 增强了矿井的安全性。未来, 随着自动化和智能化技术的不断进步, 水平定向钻进将具备更强的适应性和操作灵活性, 为煤矿行业的持续安全发展提供有力保障。

关键词

水平定向钻进; 地质构造勘探; 瓦斯抽采; 技术应用

1 引言

煤矿井下存在断层、褶皱等构造, 这些地质特征直接关系到煤层分布的稳定性和开采难度, 稍有不慎就可能引发地质灾害。传统的地质勘探方法, 如钻探和地震波探测, 在识别这些地质结构时存在局限, 尤其在精确度、勘探深度, 以及成本效益方面未能完全满足煤矿高效安全开采的需求。此外, 煤矿井下的瓦斯和地下水等问题也进一步增加了勘探

的难度和风险。因此, 煤矿行业亟需一种能够在确保安全的前提下, 精准获取地下地质构造信息的技术。水平定向钻进技术作为一种先进的地下工程技术, 能够克服传统勘探方法的诸多局限。它具备精确控制钻孔方向和位置的能力, 能够在复杂的地质条件下实现灵活的勘探作业。通过这项技术, 工程师能够获取地层、构造特征和瓦斯分布等重要信息, 从而为煤矿的安全运营和资源优化提供科学依据。

2 煤矿地质构造勘探的需求与挑战

2.1 地质构造识别的必要性

煤矿地质构造的复杂性直接影响煤矿的安全性和开采效率。地下地质构造, 如断层、褶皱、岩性变化等, 对煤层

【作者简介】刘晓 (1983-), 男, 中国河北保定人, 本科, 工程师, 从事地热能分析、水平井、多分支井的开发利用, 现场技术管理, 矿产资源勘查分析等研究。

的分布和厚度产生重要影响,而这些构造特征的准确识别是煤矿安全开采的前提条件。断层和褶皱等地质构造在矿井中可能导致煤层不连续,增加了开采难度,并可能诱发矿井坍塌等重大安全事故。如果对这些构造缺乏精准的识别和评估,容易在开采过程中产生未知的风险,导致地质灾害的发生;地质构造还影响煤层的储量和开采条件,准确识别煤层的地质构造有助于合理规划开采方案,优化资源利用;随着煤矿开采向深部延伸,地下地质条件日益复杂,传统的勘探方法难以满足高精度、深层次的地质构造探测需求。

2.2 煤矿安全中的关键因素

煤矿安全是煤炭行业生产中的核心问题,关系到矿工生命安全和企业的正常运营。在煤矿生产过程中,有多种因素影响煤矿的安全运营,其中包括瓦斯浓度、地下水地质条件和采空区稳定性等。井下瓦斯是影响煤矿安全的主要因素之一,瓦斯是一种易燃易爆气体,当其浓度达到一定水平时,遇火源可能引发爆炸,造成重大人员伤亡和设备损坏;地下水的存在也会对煤矿安全构成威胁,井下水位的上升可能导致矿井积水,甚至发生井下涌水事故,严重影响矿工的工作环境和煤矿的正常运营;采空区的稳定性同样是煤矿安全中的关键因素,采空区的不稳定可能引发矿井塌陷,威胁到矿井的结构安全^[1]。

3 水平定向钻进技术概述

3.1 技术原理

水平定向钻进技术依托MED近钻头系统(Measurement While Drilling),通过实时导向、监测钻头方向和深度,能精确控制钻井轨迹并提供关键的地质数据。此系统将钻井过程分为导向钻进、扩孔和回拉三个阶段。在导向钻进过程中,MED系统可以实时收集钻孔数据,确保钻孔沿预定轨迹前进,并依据实际地层特征动态调整钻进路径。

3.2 技术特点

相比传统钻进方法,水平定向钻进技术具有高灵活性和精准控制力。MED系统使该技术能够在复杂地质条件下进行多角度钻进,导向精度达0.1度。实时监测和数据采集系统则使得操作员能精确跟踪钻头位置和倾角,以便及时调整钻进方向。该技术的应用降低了对地表的破坏,增加了作业的环保性。

4 水平定向钻进技术在煤矿地质构造勘探中的应用

4.1 地质构造勘探的关键内容

在煤矿地质构造勘探中,关键任务是精确识别地下的断层、褶皱等复杂地质结构,并详细获取煤层厚度、位置、瓦斯含量等数据。这些信息为煤矿的安全生产和科学规划提供了必要的支持。以山西大同塔山煤矿为例,该矿区地质条件复杂,包含多个断层,传统的垂直钻进方法难以准确识别深层构造,且获取的数据精度难以满足实际需求。因此,塔

山煤矿采用了水平定向钻进技术以应对这些挑战。实际钻进数据显示,钻孔深度平均达到450m,直径为96mm,使用了近钻头测量系统(MED)以提供实时的钻头位置和角度数据,使钻头能在勘探过程中始终保持精确定位。在该矿区的勘探过程中,钻探获取的地层样本显示煤层厚度为12m,顶部为砂岩、底部为泥岩结构。通过水平定向钻进技术,工程师可以在复杂地层中收集到更为详细的地质数据,这些数据成为矿山规划和开采设计的重要依据。此外,基于水平定向钻进技术绘制的三维地下模型,更直观地展示了断层的分布情况,使工程师能够提前预判断层对开采的潜在影响并采取相应的风险规避措施,为煤矿安全运营提供了重要保障。

4.2 水平定向钻进在地质构造识别中的应用

在陕西榆林神东矿区,水平定向钻进技术被用于提升断层和褶皱结构的探测精度,解决了煤层深埋和断层分布复杂带来的地质勘探难题。神东矿区地质构造多样,煤层的埋藏深度较大,且断层和褶皱较多,传统的垂直钻进技术难以满足对复杂地质结构的精确探测需求。因此,该矿区采用水平定向钻进技术,在地下布置深度为500m的定向钻孔,并通过近钻头测量系统(MED)实时监控钻孔的方向和角度。通过该系统,工程师可以将钻孔误差控制在0.3度以内,确保钻头能够准确进入目标断层区域,从而获取精准的地质数据。在神东矿区的实际勘探过程中,钻孔数据提供了丰富的地质信息,表明该区域的主要断层倾角为45°,煤层厚度为10m,底板为泥质粉砂岩。通过对这些数据的分析,工程师绘制了矿区的地质构造图,展现了断层、褶皱等复杂地质结构的三维分布情况。该构造图成为评估断层对煤层开采影响的科学依据,使矿区能够在开采前期根据地质特征制定应对措施,避免了采掘中的安全隐患。该技术应用后,矿井在开采过程中未出现重大地质灾害,证明了水平定向钻进在复杂地质条件下的适用性和可靠性。水平定向钻进技术通过高精度的钻孔定位和实时数据反馈,使神东矿区能够有效识别地下构造,优化开采方案,并显著提升了矿区的安全性和生产效率。这种高效的地质识别手段在神东矿区的成功应用不仅验证了其在断层复杂矿区的应用价值,也为类似复杂地质条件下的煤矿勘探提供了技术借鉴^[2]。

4.3 水平定向钻进在瓦斯抽采中的应用

在高瓦斯矿区如贵州六盘水盘江煤矿,瓦斯浓度监控与抽采是确保安全生产的关键。该矿区瓦斯浓度常年在1.5%以上,已接近爆炸的临界水平。为降低矿井中的瓦斯浓度,盘江煤矿引入了水平定向钻进技术,利用近钻头系统(MED)实现对钻头路径和瓦斯浓度的精确监控,从而进行高效的瓦斯抽采作业。在实际操作中,钻孔深度设计在250~400m之间,钻孔直径为96mm。通过多层瓦斯排气孔的布置,平均钻孔间距保持在15m,确保了高瓦斯区的覆盖面和抽采效率。实时监测系统可以动态调整钻头的方向和深度,使得钻孔能够精确定位在瓦斯含量较高的区域,并通过多层排气孔

布局提高抽采效果。每个钻孔平均抽采量为每日 2000m³ 瓦斯，全矿区日抽采总量达到 20 万 m³。通过该技术的应用，盘江煤矿瓦斯浓度从 1.5% 下降至安全范围内的 0.5%，大幅降低了瓦斯爆炸的风险，显著提高了矿井的安全性。同时，MED 系统的实时监测确保了瓦斯浓度变化的即时反馈，使得抽采过程可以根据实时数据进行动态调整，保障了抽采的持续高效。此外，该项目共布设了 100 余个瓦斯排气孔，瓦斯抽采效率显著提升，为矿井的长期生产运行提供了安全保障。水平定向钻进技术的应用不仅延长了盘江煤矿的使用寿命，还使得瓦斯抽采过程更加高效、安全。在环保方面，水平定向钻进的精确定位减少了对井下结构的破坏，最大限度地降低了地表环境的影响。

5 平定向钻进技术的工程设计与实施

5.1 钻孔设计与导向系统的使用

在煤层气 H2 井的钻孔设计与导向系统应用中，项目团队严格依据地质勘探数据和地层分析结果，制定了精细的钻孔方案，以确保钻井的精准性和施工的安全性。该井孔设计综合考虑了井深、井斜、地层压力及温度等关键参数，通过科学规划井眼轨迹，确保钻井过程中能够有效避开风险地层，最大化钻井效率。在井眼轨迹规划中，使用了先进的三维地层建模和井眼设计软件，细致分析了井眼的倾角、方位角及钻井路径，以适应地层的变化和钻探目标的需求。导向系统方面，煤层气 H2 井使用了现代化的旋转导向系统（RSS），结合 PDC 钻头应用，有效实现了对井眼的精确控制。RSS 系统在钻进过程中持续调整钻头的方向和角度，使钻头能够在不同地层的复杂条件下保持预定轨迹，确保钻井作业的精度和安全性。在实际钻进操作中，导向系统不断实时采集和分析井下数据，通过感应器记录井斜、方位及地层压力等重要参数，并与地面监控系统同步，便于技术人员即时分析并调整钻井路径。为提高钻孔稳定性，项目团队还利用了膨润土基钻井液，在提高井壁支持力的同时，有效冷却和润滑钻头，防止井下高温对钻头的磨损。整个设计和导向系统的应用，使得煤层气 H2 井的钻探在高精度的导向控制下顺利进行，确保了复杂地层中的钻井过程能够高效、安全地完成，为后续的油气开采奠定了坚实基础^[1]。

5.2 钻进操作与数据采集过程

在煤层气 H2 井的钻探施工过程中，钻进操作和数据采集密切结合，以确保整个工程的高效推进和安全保障。钻进

操作严格依照井眼设计和地层要求，采用先进的控制技术，精确调整钻压、转速和钻井液性能，以减少地层的破坏风险并优化钻速。施工初期，团队对地层特性进行了详细的评估，通过分析周边区域的地质数据和先前钻井记录，为煤层气 H2 井钻探奠定了坚实的基础。在实际钻进过程中，PDC 钻头被广泛应用，结合自动化控制系统，精确调节钻头的下压和转速，使得钻头能够在不同地层条件下实现高效穿透。膨润土基钻井液在钻进过程中得到了应用，以改善井壁的稳定性和防止井塌等复杂情况的发生，并有效冷却和润滑钻头，提高其使用寿命。整个钻井操作过程中，数据采集系统持续监测井下数据，包括钻压、转速、钻井液密度、流速、井下温度和压力等关键参数。这些数据通过传感器和实时传输系统反馈到地面监控设备，工程师可以实时调整钻进参数，确保在复杂地层条件下的安全施工。为了进一步提升钻进效率，数据采集系统还具备自动化预警功能，当某一参数超出预设范围时系统会自动发出警告，提醒操作人员进行调整，以避免潜在风险。通过科学地钻进操作和精确的数据采集，煤层气 H2 井在钻探过程中成功避免了复杂地层带来的钻井事故，实现了项目的高效、安全、精准的钻探目标。

6 结论

水平定向钻进技术在煤矿地质构造勘探中的应用，显著提升了地下结构识别的精度和瓦斯抽采的效率。通过精确的钻孔控制和实时数据采集，该技术有效解决了传统勘探方法在深层复杂地质条件下的局限性，不仅提高了矿井的安全性，也优化了资源开采的效率。山西塔山煤矿、陕西神东矿区及贵州盘江煤矿的成功应用实例，充分证明了水平定向钻进技术在煤矿行业中的广泛适用性和可靠性。未来，随着自动化与智能化技术的发展，水平定向钻进技术将在更加复杂的地质环境中发挥更大的作用。融合大数据和人工智能地钻进系统将进一步提高勘探精度，并减少人力和时间成本。同时，环保型钻探液体的开发也将减少对生态环境的影响，为煤矿的绿色开采提供更强有力的支持。

参考文献

- [1] 付帅,时晓东,姜晓飞,等.近水平定向钻进技术在煤矿岩溶水害防治中的应用研究[J].地下水,2024,46(5):171-173.
- [2] 翟勇.水平定向钻进技术在煤矿地质构造勘探中的应用[J].能源与节能,2024(7):46-48+64.
- [3] 魏宏超.煤矿井下近水平定向钻进小功率装备及应用[J].煤炭科技,2023,44(2):44-47+53.