

# 复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术优化研究

潘瑞强

内蒙古北联电高头窑矿业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:** 复杂地质条件给煤矿巷道掘进支护带来诸多难题, 研究其支护技术优化意义重大。本文分析了复杂地质条件对煤矿巷道掘进支护的影响, 包括地质构造、岩性变化、水文地质条件等方面。介绍了锚杆、锚索、金属支架及联合支护技术, 提出从支护参数、材料、工艺、动态管理以及加强地质勘察与预测等方面进行优化, 以提高复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护效果, 保障施工安全与巷道稳定。

**关键词:** 复杂地质条件; 煤矿巷道; 掘进支护技术

## 引言

煤矿开采中, 巷道掘进支护至关重要。复杂地质条件下, 地质构造复杂、岩性多变、水文地质条件差, 给巷道掘进支护带来极大挑战。传统的支护方式难以满足复杂地质条件下的支护需求, 易出现支护失效、巷道变形等问题, 影响煤矿开采的安全与效率。因此, 研究复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术优化策略具有重要的现实意义。

### 1 复杂地质条件对煤矿巷道掘进支护的影响分析

复杂地质条件给煤矿巷道掘进支护带来诸多挑战, 涵盖地质构造、岩性变化以及水文地质条件等方面。地质构造特征带来显著挑战。断层处岩石破碎带完整性与稳定性差, 内部结构松散, 颗粒间连接力弱, 难以承受上覆岩层压力与巷道开挖应力, 普通支护方式难以固定破碎岩石, 增加支护难度。褶皱构造使巷道处于不同应力状态, 褶皱核部应力高度集中, 巷道周围岩石承受压力远超其他部位, 易引发顶板下沉、底板鼓起、两帮收敛等变形破坏现象, 影响正常使用与施工安全<sup>[1]</sup>。节理裂隙发育使岩石力学性能变差, 承载能力降低, 将岩石分割成块体, 块体间连接力弱, 开挖后易滑动错动, 增加围岩失稳风险。岩性变化对支护影响各异。软岩地层强度低、变形大、遇水易软化, 掘进时易发生较大变形破坏, 产生塑性变形使巷道断面缩小, 遇水后强度进一步降低、变形加剧, 需特殊支护方式与材料控制。硬岩地层虽强度较高, 但节理裂隙发育时, 块体在重力作用下可能掉落, 威胁施工人员与设备安全, 且影响整体稳定性, 对支护及时性与有效性要求高。水文地质条件影响不容忽视。地下水软化岩石, 削弱颗粒间连接力, 降低岩石强度与稳定性, 增加重量并改变应力状态, 加剧围岩变形破坏。地下水还会腐蚀支护材料, 金属材料易锈蚀, 混凝土材料可能软化剥落, 影响支护效果。

## 2 复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术

### 2.1 锚杆支护技术

锚杆支护是目前煤矿巷道掘进中应用最广泛的支护方式之一。其原理是通过锚杆将巷道围岩加固在一起, 提高围岩的自稳能力。锚杆一端固定在稳定的岩层中, 另一端与巷道围岩相连, 通过锚杆的拉力作用, 将围岩中的应力传递到稳定岩层中, 增强围岩的整体性和稳定性。锚杆支护具有施工方便、成本较低、适应性强等优点。施工时, 只需使用简单的钻孔设备和安装工具, 即可快速完成锚杆的安装。而且, 锚杆支护的材料成本相对较低, 能够降低巷道支护的总成本。此外, 锚杆支护适用于多种地质条件下的巷道支护, 对不同岩性和地质构造的巷道都有一定的适应性。然而, 在复杂地质条件下, 锚杆支护的支护效果可能会受到一定影响。例如, 在断层破碎带或软岩地层中, 锚杆的锚固力可能不足。断层破碎带岩石破碎, 锚杆难以找到稳定的锚固点, 导致锚固力下降; 软岩地层强度低, 锚杆与围岩之间的摩擦力较小, 也容易使锚固力不足, 无法有效控制围岩的变形和破坏。

### 2.2 锚索支护技术

锚索支护是在锚杆支护的基础上发展起来的一种支护方式, 它具有更大的锚固力和更长的锚固深度。锚索通常采用高强度的钢绞线制作, 能够承受较大的拉力。通过将锚索锚固在深部稳定的岩层中, 能够更好地控制巷道围岩的大变形。锚索支护适用于深部巷道、高应力巷道以及地质条件复杂的巷道。在深部巷道和高应力巷道中, 围岩应力较大, 普通的锚杆支护难以满足支护要求, 而锚索支护能够提供更大的支护力, 有效控制围岩的变形。在地质条件复杂的巷道中, 如断层破碎带、软岩与硬岩交界处等, 锚索支护能够深入稳定岩层, 增强支护的稳定性。然而, 锚索支护的施工工艺相对复杂, 对施工人员的技术水平要求较高。施工时需要使用专业

的张拉设备对锚索进行张拉和锚固,操作不当容易影响锚索的支护效果。而且,锚索支护的成本相对较高,包括锚索材料、张拉设备以及施工费用等,这在一定程度上限制了其广泛应用。

### 2.3 金属支架支护技术

金属支架支护是一种传统的支护方式,包括U型钢支架、工字钢支架等。金属支架具有较高的强度和刚度,能够承受较大的围岩压力。在地质条件较差、围岩变形较大的巷道中,金属支架能够有效地支撑围岩,防止巷道垮塌。金属支架支护通过支架的支撑作用,将围岩压力传递到巷道两侧的岩体中,减轻巷道顶板和两帮的受力<sup>[2]</sup>。不同类型的金属支架具有不同的特点,U型钢支架具有较好的可缩性,能够适应围岩的一定变形;工字钢支架强度较高,适用于围岩压力较大的巷道。但金属支架的重量较大,安装和拆卸不方便。在巷道掘进过程中,搬运和安装金属支架需要消耗大量的人力和物力,增加了施工难度和成本。在复杂地质条件下,支架的稳定性可能会受到影响,容易出现支架扭曲、折断等问题。

### 2.4 联合支护技术

联合支护技术是将两种或两种以上的支护方式结合起来使用,以充分发挥各种支护方式的优点,提高支护效果。常见的联合支护方式有锚杆锚索联合支护、锚杆金属支架联合支护等。锚杆锚索联合支护结合了锚杆支护和锚索支护的优点,锚杆能够提供近距的支护力,控制巷道围岩的浅部变形;锚索则能够深入稳定岩层,提供远距的支护力,控制巷道围岩的大变形。两者相互配合,能够有效地提高巷道围岩的稳定性。锚杆金属支架联合支护将锚杆支护与金属支架支护相结合,锚杆能够加固围岩,提高围岩的自稳能力;金属支架能够提供强大的支撑力,承受较大的围岩压力。这种联合支护方式适用于地质条件复杂、围岩变形较大的巷道。然而,联合支护技术的施工工艺较为复杂,成本较高。施工时需要同时进行多种支护方式的施工,增加了施工难度和工期。而且,需要合理选择支护方式和参数,如果选择不当,可能无法发挥联合支护的优势,甚至会影响支护效果。

## 3 复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术优化策略

### 3.1 支护参数优化

根据复杂地质条件下的巷道地质特征和围岩应力状态,对支护参数进行优化设计是提高支护效果的关键。对于锚杆支护,需要合理确定锚杆的长度、直径、间距和排距等参数。锚杆的长度应根据巷道围岩的破碎程度和稳定岩层的位置确定,确保锚杆能够锚固在稳定岩层中;锚杆的直径应根据围岩的强度和支护要求选择,一

般强度较高的围岩可选择较大直径的锚杆;锚杆的间距和排距应根据围岩的应力和变形情况确定,在应力较大、变形较严重的区域应适当减小间距和排距,提高锚杆的支护密度,增强支护效果<sup>[3]</sup>。在锚索支护中,根据巷道的变形情况和围岩压力,调整锚索的长度、预紧力和布置方式。锚索的长度应能够深入到深部稳定岩层中,以提供足够的支护力;预紧力的大小应根据围岩的应力和变形情况确定,适当的预紧力能够及时控制围岩的变形;锚索的布置方式应根据巷道的形状和围岩的应力分布进行优化,确保锚索能够均匀地承受围岩压力,增强对围岩的控制能力。对于金属支架支护,优化支架的型号、间距和搭接长度等参数。根据围岩压力的大小选择合适型号的金属支架,确保支架具有足够的强度和刚度;支架的间距应根据围岩的变形情况和支架的承载能力确定,在围岩变形较大的区域应适当减小支架间距;搭接长度应符合设计要求,保证支架之间的连接牢固,提高支架的稳定性和承载能力。

### 3.2 支护材料改进

研发和应用适合复杂地质条件的新型支护材料是提高支护效果的重要途径。例如,开发高强度、高韧性的锚杆和锚索材料,提高其抗拉、抗剪性能。高强度、高韧性的锚杆和锚索能够承受更大的拉力,增强在破碎围岩中的锚固效果,有效控制围岩的变形和破坏。采用新型的金属支架材料,减轻支架的重量,提高支架的耐腐蚀性和抗变形能力。新型金属支架材料可以选用高强度合金钢等,在保证支架强度的前提下,降低支架的重量,方便安装和拆卸。同时,通过表面处理等技术提高支架的耐腐蚀性,延长支架的使用寿命;优化支架的结构设计,提高其抗变形能力,适应复杂地质条件下围岩的变形<sup>[4]</sup>。推广使用新型的注浆材料,对破碎围岩进行加固。新型注浆材料应具有流动性好、凝固时间可调、强度增长快等特点,能够快速填充围岩中的孔隙和裂隙,将破碎围岩胶结成一个整体,提高围岩的完整性和稳定性。

### 3.3 施工工艺优化

改进巷道掘进和支护的施工工艺,能够提高施工效率和质量。在掘进过程中,采用光面爆破技术,减少对围岩的扰动,保持围岩的完整性。光面爆破技术通过合理布置炮眼、控制装药量等措施,使巷道周边眼爆破后形成平整的轮廓,减少对围岩的破坏,降低围岩的应力集中程度,有利于巷道的稳定。优化支护施工顺序,采用先锚后喷、锚喷联合等施工工艺,及时对巷道围岩进行支护,防止围岩变形和破坏。先锚后喷工艺是先安装锚杆,对围岩进行初步加固,然后再进行喷射混凝土支

护,形成复合支护结构,提高支护效果;锚喷联合支护则是将锚杆支护和喷射混凝土支护有机结合,充分发挥两者的优势,及时控制围岩的变形。加强施工过程中的监测和检测,及时掌握巷道的变形情况和支护效果,根据监测结果调整支护参数和施工工艺。通过安装位移传感器、应力传感器等监测设备,对巷道的顶板下沉、两帮收敛、底板鼓起等变形情况进行实时监测。

### 3.4 动态支护管理

建立动态支护管理体系,根据巷道掘进过程中围岩的变化情况,及时调整支护方案。在巷道掘进初期,加强对围岩的监测和分析,确定合理的初始支护参数。通过对围岩的地质勘察和应力测试,了解围岩的性质和应力状态,结合类似工程经验,制定初始支护方案。随着巷道的掘进和围岩应力的重新分布,根据监测数据对支护参数进行动态调整。在掘进过程中,围岩的应力状态会不断发生变化,原有的支护参数可能无法适应新的应力状态。因此,需要根据实时监测数据,及时调整锚杆的长度、间距,锚索的预紧力等支护参数,确保支护结构始终能够适应围岩的变化<sup>[5]</sup>。加强对支护结构的维护和管理,及时修复损坏的支护构件,保证支护系统的完整性和有效性。定期对支护结构进行检查,发现锚杆松动、锚索断裂、支架变形等问题及时进行处理。对损坏的支护构件进行更换或加固,确保支护系统能够正常发挥作用,保障巷道的安全。

### 3.5 加强地质勘察与预测

在巷道掘进前,加强地质勘察工作,详细了解巷道沿线的地质构造、岩性变化和水文地质条件等情况。采用先进的地质勘察技术和方法,如地质雷达探测、三维地震勘探等,提高地质勘察的精度和可靠性。通过地质

勘察,掌握巷道沿线的地质情况,为支护设计提供准确的地质资料。同时,建立地质预测模型,对巷道掘进过程中可能遇到的地质问题进行预测和分析。利用地质勘察数据和数值模拟技术,建立地质预测模型,模拟巷道掘进过程中围岩的应力变化和变形情况,预测可能出现的断层、褶皱、突水等地质问题。根据预测结果,提前制定相应的支护措施和应急预案,为巷道掘进支护提供科学依据。在遇到突发地质问题时,能够迅速采取有效的措施进行处理,保障施工安全和巷道的稳定。

### 结语:

复杂地质条件下的煤矿巷道掘进支护,需统筹地质、技术与管理的多维协同。针对断层、高应力、富水等复杂环境,需通过超前地质预报精准识别风险,结合锚杆-注浆-支架联合支护技术,优化参数匹配围岩变形特征;选用高强耐腐蚀材料,改进短掘短支工艺,并依托智能监测系统实时调控;最终形成“勘察-设计-施工-反馈”闭环管理,提升支护可靠性,为煤矿安全高效开采提供保障。

### 参考文献:

- [1]王鹏.复杂地质条件下的煤矿巷道掘进支护技术研究[J].能源与节能,2025(1):149-152.
- [2]郭广宇.复杂地质条件下煤矿掘进支护技术优化研究[J].能源与节能,2025(9):210-212.
- [3]郝力强.煤矿地质条件复杂化下掘进工作面多锚杆支护技术优化研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(9):138-140.
- [4]黄志忠.复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术探讨[J].内蒙古煤炭经济,2025(16):181-183.
- [5]胡本杰.复杂地质条件下煤矿巷道掘进与支护技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(4):091-094.