

复杂地质条件下的采矿掘进支护技术及应用

写 峰

呼图壁县西沟煤炭有限责任公司 新疆 昌吉 831100

摘 要: 复杂地质条件下采矿掘进面临围岩破碎、地应力异常等难题, 严重威胁施工安全与开采效率。锚杆支护通过锚固作用增强围岩稳定性, 喷射混凝土支护可及时封闭岩面防止风化剥落, 钢拱架支护能有效抵御大变形压力, 注浆加固支护则改善岩体力学性能。通过加强地质勘探与动态监测、综合运用多种支护技术、优化施工工艺及强化人员管理等策略, 可显著提升支护效果, 为复杂地质采矿作业提供可靠保障。

关键词: 复杂地质条件; 采矿掘进支护技术; 应用

引言

随着矿产资源开采向深部延伸, 采矿作业面临的地质条件愈发复杂, 断层、破碎带、高应力等问题给掘进支护带来巨大挑战。传统支护技术在复杂地质环境下适应性不足, 难以满足安全生产与高效开采需求。本文聚焦复杂地质条件下采矿掘进支护技术, 系统分析锚杆、喷射混凝土、钢拱架及注浆加固等支护技术的原理与优势, 探讨科学合理的应用策略, 旨在为提升复杂地质采矿工程安全与效率提供理论参考与实践指导。

1 复杂地质条件对采矿掘进的影响

复杂地质条件下, 采矿掘进作业面临着多重挑战与风险。断层、褶皱等地质构造发育区, 岩层破碎程度高, 完整性差, 岩体力学性质复杂多变, 导致巷道围岩稳定性显著降低。在掘进过程中, 破碎带极易出现冒顶、片帮等现象, 不仅影响掘进进度, 还严重威胁作业人员安全。例如, 在富含软弱夹层的地质中掘进, 软弱岩层因承载能力不足, 易发生塑性变形, 使巷道断面收敛变形加大, 支护结构承受的荷载不断增加, 常规支护方式难以有效控制巷道变形, 需要采用特殊的支护技术和加强支护措施。地下水丰富的地质环境同样对采矿掘进影响深远。含水层与掘进巷道贯通后, 会引发涌水问题, 大量涌水不仅增加排水设备的运行负荷和能耗, 还会软化围岩, 进一步降低岩体强度。高压水作用下, 巷道壁易出现渗水、滴水甚至突水现象, 突水一旦发生, 可能瞬间淹没巷道, 造成设备损坏和人员伤亡。地下水对支护结构的侵蚀作用, 会缩短支护材料的使用寿命, 降低支护效果。高地应力环境也是复杂地质条件下采矿掘进的关键影响因素。在高应力集中区域, 岩体处于高能量储存状态, 掘进扰动打破原岩应力平衡, 可能引发岩爆现象。岩爆发生时, 岩块突然弹射、崩落, 具有突发性和强烈的破坏性, 对设备和人员安全构成极大威

胁。高地应力还会导致巷道围岩产生大变形, 使巷道断面尺寸难以维持设计要求, 频繁的修复和维护工作大幅增加掘进成本和时间成本。不同的复杂地质条件往往相互叠加、相互影响, 使得采矿掘进作业的难度和风险进一步加剧, 需要在掘进过程中充分考虑地质条件的复杂性, 采取针对性的技术措施保障作业顺利进行。

2 复杂地质条件下采矿掘进支护技术分析

2.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术基于主动加固原理, 通过将锚杆深入稳定岩体内, 利用锚杆与岩体间的粘结力、摩擦力以及自身的抗拉强度, 将不稳定的表层岩体与深部稳定岩体连接为整体, 形成具有一定承载能力的组合梁或悬吊结构, 从而有效控制围岩变形。锚杆通常采用高强度螺纹钢制作, 杆体前端设有锚头, 后端配有托盘和螺母, 锚头形式多样, 常见的有楔缝式、涨壳式和粘结式等。在复杂地质条件下, 粘结式锚杆应用广泛, 其通过树脂、水泥砂浆等粘结剂将锚杆与孔壁紧密粘结, 能充分发挥锚杆的锚固作用。施工时, 需先使用钻机按设计角度和深度钻孔, 孔壁要求平整、干净, 以保证粘结效果。将搅拌好的粘结剂注入孔内后, 迅速插入锚杆, 待粘结剂固化达到设计强度后, 安装托盘并拧紧螺母, 使锚杆对围岩产生预紧力。该技术适用于裂隙发育、破碎程度较高的岩体, 尤其在高地应力软岩巷道中, 能有效抑制围岩的蠕变变形, 提高巷道的稳定性。锚杆支护对钻孔质量和粘结剂性能要求严格, 若钻孔角度偏差或粘结不牢固, 将严重影响锚固效果, 且当围岩变形过大时, 锚杆可能出现破断失效^[1]。

2.2 喷射混凝土支护技术

喷射混凝土支护技术借助喷射机械, 将搅拌均匀的混凝土混合料以高速喷射到岩面上, 使混凝土在冲击力作用下迅速密实, 并与岩面紧密粘结, 形成一层具有

一定强度和厚度的支护层。喷射混凝土多采用干喷、湿喷或潮喷工艺，干喷工艺设备简单、操作方便，但粉尘大、回弹率高；湿喷工艺则有效降低了粉尘和回弹，混凝土质量更易控制，在现代矿山支护中应用逐渐增多。混凝土材料一般选用42.5级及以上普通硅酸盐水泥，搭配中粗砂和碎石，通过添加速凝剂来调节凝结时间，以满足支护及时性要求。在复杂地质条件下，喷射混凝土能及时封闭暴露的岩面，阻止围岩风化、潮解和破碎，同时填充裂隙，使不连续的岩体形成整体，提高岩体的自承能力。对于岩性差异较大的地段，可通过调整喷射混凝土的厚度和强度等级实现差异化支护。喷射混凝土施工受喷射角度、距离和风压等因素影响较大，需严格控制施工参数，以保证喷射质量。喷射混凝土层属于脆性材料，在高荷载或大变形工况下，易出现开裂剥落，需与其他支护形式联合使用以增强支护效果。

2.3 钢拱架支护技术

钢拱架支护技术采用型钢、工字钢或U型钢等钢材加工成拱形结构，通过拱脚固定在巷道底板或基础上，为围岩提供强大的被动支撑力。钢拱架具有强度高、刚度大的特点，能够迅速承担围岩压力，控制围岩的大变形，尤其适用于断层破碎带、松软煤层等极不稳定地质条件。钢拱架的结构形式根据巷道断面形状和围岩压力分布进行设计，常见的有三心拱、半圆拱和封闭马蹄形等。施工时，先在巷道开挖轮廓线内架设钢拱架，各节拱架之间通过螺栓或连接板进行连接，确保结构的整体性和稳定性。钢拱架与围岩之间需用背板或木楔等材料进行背紧，使钢拱架与围岩紧密接触，保证荷载均匀传递。为提高钢拱架的承载能力和抗变形能力，常采用锁脚锚杆或注浆加固拱脚，防止拱架下沉和底鼓。钢拱架支护能够在短时间内形成稳定的支护结构，有效保障施工安全，但钢材用量大、成本较高，且钢拱架属于刚性支护，对围岩变形的适应性较差，在围岩持续变形过程中，可能因应力集中导致局部破坏^[2]。

2.4 注浆加固支护技术

注浆加固支护技术是通过注浆泵将水泥浆、化学浆液等注入到破碎或松散的岩体内，浆液在压力作用下渗透、扩散、充填裂隙和孔隙，待浆液凝结硬化后，将破碎岩体胶结成整体，提高岩体的强度、整体性和抗渗性，从而改善围岩的力学性能，增强其自稳能力。根据注浆材料和目的不同，可分为水泥注浆、水泥-水玻璃双液注浆、化学注浆等。在复杂地质条件下，对于裂隙发育、富水的岩层，常采用水泥-水玻璃双液注浆，其凝结时间短、强度增长快，能有效封堵地下水，减少围岩的

水软化作用。注浆施工前需进行详细的地质勘探，确定注浆孔的布置方式、深度和间距。钻孔完成后，安装注浆管并进行封孔处理，以防止浆液外漏。注浆过程中，严格控制注浆压力和注浆量，压力过高可能导致岩体劈裂破坏，压力过低则影响浆液的扩散范围。注浆加固支护技术能够从根本改善围岩的物理力学性质，适用于各种复杂地质条件，尤其在处理深部软岩、岩溶发育地层时优势明显。注浆施工工艺复杂，对施工人员技术要求较高，且注浆效果受地质条件和浆液性能影响较大，存在一定的不确定性，同时浆液固化后难以拆除，会对后续开采活动产生一定影响。

3 复杂地质条件下采矿掘进支护技术应用策略

3.1 加强地质勘探与动态监测

(1) 在复杂地质条件下采矿掘进，全面且精准的地质勘探是支护技术有效应用的基础。采用钻探、物探等多种勘探手段，结合三维地质建模技术，对地层岩性、地质构造、地下水分布等信息进行详细勘察，构建高精度地质模型，清晰呈现巷道掘进区域的地质特征，为支护方案设计提供可靠数据支撑。(2) 建立完善的动态监测体系，通过安装位移传感器、应力传感器等监测设备，对巷道围岩变形、支护结构受力等状态进行实时监测。利用大数据分析人工智能算法，对监测数据进行深度挖掘与处理，及时发现围岩变形趋势和支护结构异常，实现对潜在安全隐患的早期预警。(3) 根据动态监测反馈的信息，结合地质条件的变化，及时调整支护参数和施工方案。当监测到围岩变形速率加快或支护结构应力超过阈值时，迅速采取加强支护措施，确保巷道掘进过程中的安全性和稳定性，使支护技术能够适应复杂多变的地质环境。

3.2 综合运用多种支护技术

(1) 针对复杂地质条件下巷道围岩的不同特性，单一支护技术往往难以满足支护需求，需综合运用多种支护技术。将锚杆支护与喷射混凝土支护相结合，锚杆深入围岩内部，通过锚固作用将松动岩体与稳定岩体连接起来，提供主动支护力；喷射混凝土在巷道表面形成连续的支护层，封闭围岩，防止风化和剥落，同时与锚杆共同作用，提高围岩的整体稳定性。(2) 对于破碎严重、稳定性极差的围岩，可采用管棚超前支护与注浆加固技术。管棚通过在巷道开挖前方形成棚状保护结构，提前支撑围岩，减少开挖时的围岩变形；注浆加固则利用浆液填充围岩裂隙，提高围岩的粘结力和强度，改善围岩的力学性能，为后续掘进和支护创造有利条件。(3) 根据巷道的不同部位和受力特点，合理选择支护技

术组合。在巷道顶板和两帮采用不同的支护参数和支护形式,例如在顶板采用强度较高的锚索支护,增强顶板的承载能力;在两帮采用锚杆与金属网联合支护,防止帮部片帮。通过多种支护技术的协同作用,形成立体、有效的支护体系,保障巷道的安全稳定^[1]。

3.3 优化施工工艺与流程

(1) 优化巷道掘进施工工艺,采用合适的掘进方法是保障支护效果的关键。对于硬岩地层,可采用爆破掘进与机械破岩相结合的方式,控制爆破参数,减少爆破振动对围岩的扰动;在软岩地层中,优先选用盾构机、掘进机等机械掘进设备,实现连续、高效、低扰动的开挖,最大程度保持围岩的原始稳定性。(2) 合理安排支护施工时间与顺序,确保支护及时有效。在巷道开挖后,立即进行初喷混凝土支护,封闭围岩表面,抑制围岩的初期变形;随后及时安装锚杆、锚索等支护构件,施加预紧力,使支护结构与围岩尽快形成共同承载体系。在后续施工中,根据围岩变形情况适时进行二次支护,提高支护结构的长期稳定性。(3) 引入信息化施工管理系统,对施工过程进行实时监控与优化。通过系统集成施工进度、支护参数、监测数据等信息,实现对施工过程的全面可视化管理。利用施工模拟技术,对不同施工方案进行预演和分析,提前发现潜在问题,优化施工工艺和流程,提高施工效率和质量,降低施工成本和安全风险。

3.4 强化人员培训与管理

(1) 采矿掘进支护施工人员的专业技能和操作水平直接影响支护技术的应用效果。开展针对性的技能培训,通过理论授课、现场实操、案例分析等多种方式,使施工人员深入掌握各种支护技术的原理、施工工艺和操作要点,熟悉不同地质条件下的支护方案选择和调整

方法,提高施工人员的专业素养和技术能力。(2) 建立完善的人员考核与激励机制,对施工人员的技能水平和工作表现进行定期考核。根据考核结果,对表现优秀的人员给予奖励,对技能不足或工作不认真的人员进行再培训或岗位调整,激发施工人员的工作积极性和责任心,确保支护施工严格按照规范和设计要求进行。(3) 加强施工团队的协作与沟通,在施工过程中,不同工种之间密切配合、协同作业是保障支护施工顺利进行的重要条件。通过组织团队建设活动、开展技术交流会议等方式,增进施工人员之间的相互了解和信任,提高团队的协作能力和凝聚力,形成高效、有序的施工团队,共同保障采矿掘进支护工程的质量和安^[4]。

结语

综上所述,复杂地质条件下采矿掘进支护技术的合理应用,对保障采矿工程安全与高效至关重要。通过对各类支护技术的深入分析与应用策略的研究,为应对复杂地质挑战提供了有效路径。未来,随着技术不断进步,需进一步探索智能化、精准化支护技术,结合大数据与人工智能,实现复杂地质采矿掘进支护技术的创新发展,推动采矿行业向更安全、高效的方向迈进。

参考文献

- [1]冉景程.复杂地质条件下的采矿掘进支护技术及应用[J].越野世界,2023,18(23):134-135.
- [2]王少楠.复杂地质条件下的采矿掘进支护技术及应用[J].中国化工贸易,2021(14):100-101.
- [3]孔凡军.复杂地质条件下的采矿掘进支护技术及应用[J].越野世界,2022,17(2):161-163.
- [4]史洪业.复杂地质条件下采矿掘进支护技术及应用探究[J].世界有色金属,2024(13):40-42.