

复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术的运用

陈 勇

四川芙蓉宜能建筑工程有限公司 四川 宜宾 644600

摘 要：复杂地质条件下，煤矿采煤掘进面临岩层破碎、地应力不均等难题，支护技术成为保障开采安全与效率的核心要素。锚杆支护通过主动加固围岩提升稳定性，棚式支护提供即时刚性支撑，注浆支护强化岩体整体性，联合支护实现优势互补。智能化、新材料研发、多学科融合及绿色环保技术，正推动支护技术向高效、安全、可持续方向发展，对提升煤矿资源开采水平意义深远。

关键词：复杂地质条件；煤矿采煤；掘进支护技术；运用

引言

煤矿作为我国能源供应的重要支柱，复杂地质条件下的采煤掘进作业充满挑战。破碎岩层、高地应力等不良地质状况，严重威胁开采安全与效率。支护技术作为应对这些难题的关键手段，直接关系到煤矿开采的成败。本文围绕锚杆、棚式、注浆及联合支护等技术，探讨其在复杂地质环境中的具体应用，并对智能化、新材料等发展趋势进行分析，以期煤矿安全高效开采提供参考。

1 复杂地质条件下煤矿采煤掘进支护技术的重要性

在复杂地质条件下，煤矿采煤掘进面临岩层破碎、应力集中、地下水涌等诸多挑战，这种环境中，支护技术作为保障采掘作业安全与效率的核心技术，发挥着不可替代的作用。在断层发育、顶板松软的矿区，巷道开挖后，原始地应力平衡被打破，极易引发顶板垮落、片帮等灾害，而科学合理的支护技术能及时对围岩进行加固，通过锚杆、锚索等支护构件与围岩相互作用，形成稳定的承载结构，将不稳定的岩体重力传递至深部稳定岩层，有效控制围岩变形，避免巷道坍塌事故的发生，为井下工作人员和机械设备提供安全作业空间。煤矿开采过程中，巷道的稳定性直接影响着煤炭资源开采进度。若支护效果不佳，频繁出现巷道变形、冒顶等情况，不仅需要耗费大量人力、物力进行修复，还会导致开采工作被迫中断，大幅降低煤炭生产效率，增加开采成本。高效的支护技术可确保巷道在服务周期内始终保持良好状态，保障采煤设备持续稳定运行，维持正常的采掘循环，进而提升煤矿的整体经济效益。在富含瓦斯、地下水的复杂地质区域，稳固的支护结构能够防止因围岩变形产生裂隙，避免瓦斯泄漏积聚引发爆炸，以及地下水渗漏导致透水事故，对防范重大安全事故具有关键意义。复杂地质条件下的煤矿巷道支护并非单一技

术的应用，而是多种支护方式的优化组合。根据不同的地质条件，如岩石硬度、节理发育程度、地应力大小等，综合运用锚网喷支护、架棚支护、联合支护等技术，充分发挥各支护方式的优势，形成协同效应，实现对围岩的精准控制。这种个性化、系统化的支护方案，既体现了对复杂地质条件的适应性，也反映了煤矿开采技术的先进性，推动着煤矿开采向安全、高效、智能化方向发展。

2 复杂地质条件下煤矿采煤掘进支护技术的具体运用

2.1 锚杆支护技术的运用

锚杆支护技术基于主动加固原理，通过在煤岩体中钻孔并置入锚杆，利用锚固剂将锚杆与围岩紧密粘结，使松散破碎的煤岩体形成整体承载结构。该技术利用锚杆的抗拉强度，将不稳定的浅层煤岩体与深部稳定岩体相连，有效限制围岩变形，提升岩体自承能力。在破碎围岩、高应力巷道等复杂地质条件下，全长粘结型锚杆与预应力锚杆的组合应用尤为关键。全长粘结型锚杆能在全长范围内提供均匀锚固力，增强围岩整体性；预应力锚杆则通过施加预紧力，主动对围岩进行挤压加固，抑制围岩裂隙扩展。施工过程中，锚杆参数设计是确保支护效果的核心环节。锚杆直径、长度、间距需根据巷道断面尺寸、围岩性质及应力分布状况精准计算确定。例如在软岩巷道中，为提高支护强度，需适当减小锚杆间距、增加锚杆长度。锚杆的安装角度要充分考虑岩层倾向和主要应力方向，确保锚杆能最大程度发挥锚固作用。随着新材料、新工艺的发展，新型高强度螺纹钢锚杆及快速固化锚固剂的应用，大幅提升了锚杆支护的施工效率 and 支护性能，使其在复杂地质条件下的适应性更强^[1]。

2.2 棚式支护技术的运用

棚式支护技术作为传统且有效的被动支护方式，通过型钢、U型钢或工字钢等金属材料，依据巷道断面形

状组装成棚架结构,为巷道提供刚性支撑。在破碎、松软、膨胀性围岩等复杂地质条件下,U型钢可缩性支架展现出独特优势。其通过可缩性连接件,在围岩压力作用下产生一定压缩变形,既能有效吸收围岩变形能量,又能维持持续的支护阻力,防止因围岩压力过大导致支架破坏。棚式支护的架设质量直接影响支护效果。支架的安装精度要求极高,棚架的间距需严格控制,过密会增加支护成本,过疏则无法有效支撑围岩。支架间需通过拉杆、背板等构件进行可靠连接,形成整体支护体系,增强支架的稳定性和抗侧压能力。在巷道交叉点、断层破碎带等特殊部位,常采用加强棚架结构,增加棚架密度或使用复式棚架,以应对复杂多变的围岩压力。尽管棚式支护属于被动支护,但因其直观可靠、适应性强,在煤矿采煤掘进中仍是不可或缺的支护手段,尤其适用于短期巷道维护及紧急支护场景。

2.3 注浆支护技术的运用

注浆支护技术通过向煤岩体裂隙中注入水泥浆、化学浆液等材料,利用浆液的渗透、扩散、胶结作用,改善围岩物理力学性质,提高围岩强度和整体性。在破碎、裂隙发育的岩层中,注浆可有效封堵裂隙,阻止地下水渗流,防止围岩因水的侵蚀软化而失稳。注浆形成的结石体与围岩紧密结合,增强围岩的抗剪强度和承载能力,将松散的围岩转化为具有一定强度的结构体。注浆材料的选择和配比是该技术的关键。对于不同的地质条件,需选用合适的注浆材料。在富水地层中,常采用水泥-水玻璃双液浆,其凝结时间短、结石强度高,能快速封堵水源并加固围岩;在松软煤体中,化学浆液因其良好的渗透性,可有效改善煤体力学性能。注浆参数如注浆压力、注浆量、注浆孔布置等也需根据围岩条件和工程要求精确设计。合理的注浆压力既能保证浆液充分扩散,又避免因压力过大导致围岩劈裂破坏。随着注浆技术的发展,定向注浆、可控注浆等新工艺的应用,进一步提高了注浆支护的针对性和有效性,使其在复杂地质条件下的应用更为广泛^[2]。

2.4 联合支护技术的运用

联合支护技术整合了多种支护方式的优势,针对复杂多变的地质条件,采用两种或两种以上支护技术协同作用,形成多层次、全方位的支护体系。在深部高应力、强采动影响的巷道中,单一的支护技术往往难以满足工程需求,而联合支护技术通过合理搭配锚杆支护、棚式支护、注浆支护等方式,充分发挥各支护技术的特点,实现优势互补。例如,在破碎围岩巷道中,可先采用注浆支护加固围岩,提高围岩自承能力,待浆液凝固

后,再施工锚杆支护进一步强化围岩,最后架设棚式支架提供刚性支撑,形成“注浆加固-锚杆锚固-棚式支撑”的联合支护模式。这种联合支护方式既能主动加固围岩,又能提供被动支撑,有效控制巷道变形。联合支护技术的关键在于根据不同地质条件和工程要求,科学确定各支护技术的施工顺序和参数匹配。通过数值模拟和现场监测等手段,对联合支护效果进行实时评估和优化调整,确保支护体系的可靠性和经济性。联合支护技术的应用,极大地拓展了煤矿在复杂地质条件下的开采范围,为煤矿安全生产提供了强有力的技术保障。

3 复杂地质条件下煤矿采煤掘进支护技术的发展趋势

3.1 智能化与自动化发展

(1) 随着煤矿开采向深部延伸,复杂地质条件带来的支护挑战日益严峻,智能化与自动化成为应对该问题的核心方向。基于物联网与传感器技术,新型支护设备可实时监测巷道围岩应力、位移及裂隙发育情况,通过边缘计算节点实现数据快速处理与分析,为支护决策提供精准依据。例如,智能液压支架能够根据顶板压力变化自动调整支撑力,避免因人工干预滞后导致的支护失效。(2) 机器人技术在掘进支护领域的应用持续深化,具备自主导航与避障功能的支护机器人,可在危险环境下完成锚杆锚索安装、喷浆作业等任务。结合三维激光扫描与数字孪生技术,系统能够构建巷道动态模型,模拟不同工况下的支护效果,提前预判潜在风险并优化支护方案。(3) 自动化控制系统的集成度不断提升,将掘进机、支护设备、运输系统等纳入统一调度平台,通过多设备协同控制实现掘进支护一体化作业。这种模式显著提高了施工效率,减少了人工操作误差,有效降低了作业人员在复杂地质环境下的安全风险。

3.2 新材料的研发与应用

(1) 针对复杂地质中高应力、强膨胀等特殊工况,高性能支护材料的研发成为提升支护效果的关键。纳米增强复合材料通过在传统支护材料中引入纳米级颗粒,显著提高材料的抗压强度与韧性,使其在高应力环境下仍能保持良好的支护性能。例如,纳米改性混凝土在巷道喷浆支护中,可有效抵抗围岩变形引起的开裂问题。(2) 形状记忆合金材料凭借其独特的超弹性与自修复特性,在支护领域展现出巨大潜力。当围岩变形导致支护结构受力时,形状记忆合金构件能够通过温度或应力触发恢复变形,持续提供稳定的支护力,有效解决传统材料因塑性变形丧失承载能力的问题。(3) 纤维增强聚合物(FRP)材料以其轻质、高强、耐腐蚀的优势,逐渐应用于煤矿巷道支护。玻璃纤维增强塑料锚杆相比传统金

属锚杆,不仅能减轻巷道支护结构自重,还能在潮湿、酸性等恶劣环境中保持长期稳定性能,大幅延长支护结构的使用寿命,降低维护成本^[3]。

3.3 多学科交叉融合

(1) 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术,正突破单一学科局限,向多学科交叉融合方向发展。岩土力学与工程力学结合,为支护结构设计提供精准力学分析模型,借数值模拟研究围岩与支护体相互作用机理,优化支护参数。例如,基于离散元法(DEM)建立的三维力学模型,可直观展现围岩破坏过程,指导支护方案制定。(2) 计算机科学与采矿工程的深度融合,催生了智能化支护决策系统。借助机器学习算法,系统能够对海量的地质、开采及监测数据进行分析,挖掘数据间的潜在关联,实现对复杂地质条件下支护需求的智能预测。虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术的应用,为工程技术人员提供沉浸式的支护方案设计与验证环境,提高方案的科学性与可靠性。(3) 材料科学与采矿工程的交叉,推动了新型支护材料的研发与应用。从材料微观结构设计入手,结合煤矿开采的特殊工况需求,开发出具有针对性性能的支护材料,如抗冲击、高耐久性材料,为复杂地质条件下的安全高效开采提供物质保障。

3.4 绿色环保支护技术

(1) 在生态环境保护要求日益严格的背景下,绿色环保支护技术成为煤矿开采的重要发展方向。可降解支护材料的研发取得显著进展,以生物基高分子材料为原料制备的锚杆、支架等构件,在完成支护使命后可自然降解,避免传统支护材料残留对地下环境造成污染。废弃材料再生利用技术将煤矿开采过程中产生的矸石、尾矿等废弃物,经加工处理后用于制备支护材料,实现资

源的循环利用。(2) 低能耗支护工艺的推广有效降低了煤矿开采的能源消耗。例如,采用冷压成型工艺替代传统高温烧制工艺生产支护构件,可大幅减少生产过程中的碳排放;新型注浆材料与工艺的应用,通过优化浆液配比和注射方式,在保证支护效果的同时降低材料用量与能源消耗。(3) 生态友好型支护技术注重对围岩与周边环境生态保护。通过采用精准支护技术,减少对围岩的过度扰动,维持地下生态系统的稳定;在支护结构设计中融入生态修复理念,预留生态通道与植被生长空间,促进煤矿开采区域的生态恢复,实现煤炭资源开发与生态环境保护的协调发展^[4]。结语

综上所述,复杂地质条件下煤矿采煤掘进支护技术的合理运用,对保障煤矿安全生产、提升开采效率具有不可替代的作用。锚杆、棚式、注浆及联合支护技术各有优势,需根据实际地质条件灵活选用。面对行业发展新需求,支护技术向智能化、新材料化、多学科融合及绿色环保方向发展是必然趋势。未来,应持续深化技术创新,推动煤矿开采向安全、高效、绿色的目标迈进。

参考文献

- [1]尹晋平.复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术质量及其运用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(24):195-197.
- [2]王英豪.复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术及其运用分析[J].石化技术,2020,27(7):47,41.
- [3]赵忠伟.复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术及运用[J].当代化工研究,2021(14):53-54.
- [4]孙卫平.复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术及其运用研究[J].科技风,2020(11):129.