

复杂地质条件下煤矿巷道快速掘进施工研究

张勇军

郑煤集团大平煤矿 河南 登封 452470

摘要: 本文聚焦复杂地质条件下煤矿巷道快速掘进施工。先分析复杂地质条件类型及对掘进安全、效率、质量的影响,总结关键问题。接着构建快速掘进技术体系,涵盖地质超前探测、工艺优化、高效支护和智能化装备配套。随后探讨快速掘进装备配套与优化,包括选型、后配套运输、辅助系统及集成化协同性。旨在为复杂地质条件下煤矿巷道快速掘进提供理论与技术支持。

关键词: 复杂地质; 煤矿巷道; 快速掘进; 施工技术

引言: 在煤矿开采不断推进的当下,复杂地质条件下的巷道掘进成为制约煤矿高效生产的关键因素。复杂地质条件类型多样,涵盖松软破碎、含水性、高应力及特殊岩性地质等,这些地质状况对掘进作业的安全、效率与质量均产生显著影响。当前,施工过程中面临地质识别精准度不足、掘进与地质适配性差、安全防控体系不完善等关键问题。因此,开展复杂地质条件下煤矿巷道快速掘进施工研究具有重要的现实意义。

1 复杂地质条件分类及对掘进的影响分析

1.1 复杂地质条件类型

复杂地质条件是指在掘进施工过程中,存在影响施工安全、效率及质量的各类地质异常现象,主要可分为四大类。一是松软破碎地质,包括煤层松软、围岩风化破碎、断层破碎带等,此类地质稳定性极差,易发生片帮、冒顶等事故;二是含水性地质,涵盖岩溶裂隙水、断层水、老空水等,水体的存在不仅会软化围岩,还可能引发突水、涌水灾害,威胁施工安全;三是高应力地质,主要表现为冲击地压、高地应力挤压等,会导致巷道变形、支护失效,增加施工难度;四是特殊岩性地质,如硬岩、膨胀岩、瓦斯富集地质等,硬岩会提升掘进破岩难度,膨胀岩遇水易膨胀变形,瓦斯富集则存在爆炸风险。各类复杂地质并非孤立存在,常相互叠加,进一步加剧施工复杂性,为掘进作业带来多重挑战。

1.2 地质条件对掘进的主要影响

复杂地质条件对掘进作业的影响贯穿施工全过程,主要体现在安全、效率、质量三个核心维度。在安全方面,松软破碎地质易引发片帮、冒顶,含水性地质可能导致突水事故,瓦斯富集地质存在爆炸隐患,高应力地质易诱发冲击地压,均会直接威胁施工人员及设备安全^[1]。在效率方面,硬岩地质会降低破岩速度,松软地质需频繁进行临时支护,含水性地质需额外开展排水作业,这些

都会占用大量施工时间,导致掘进进尺下降,增加施工成本。在质量方面,复杂地质易导致巷道成型差、超挖欠挖现象,支护难度增加,易出现支护结构失效,影响巷道长期稳定性,后续需投入更多人力物力进行修复,同时也会影响后续工序的正常推进,整体降低掘进施工的综合效益。

1.3 关键问题总结

结合复杂地质条件的类型及对掘进的影响,可总结出施工过程中面临的三大关键问题。地质识别精准度不足,现有探测技术难以全面、实时掌握复杂地质的分布范围、发育程度及动态变化,易出现探测盲区,导致施工过程中突发地质灾害,缺乏提前防控措施。掘进与地质条件的适配性差,传统掘进工艺、支护技术及装备难以适应不同类型复杂地质的差异化需求,易出现施工效率低、支护失效等问题,无法实现高效掘进。安全防控体系不完善,针对复杂地质引发的各类风险,缺乏系统性的防控措施和应急处置方案,对突发事件的响应能力不足,同时施工人员的安全意识和应急处置能力也有待提升,这些问题相互关联,共同制约着复杂地质条件下掘进施工的安全、高效推进。

2 复杂地质条件下快速掘进技术体系构建

2.1 地质超前探测与动态评估技术

在复杂地质条件下开展快速掘进作业,地质超前探测与动态评估技术是不可或缺的前提条件,其核心在于达成地质信息的精准预判以及动态更新,为掘进作业提供坚实的地质保障。实际操作中,采用“综合探测+动态监测”的创新模式,整合物探、钻探、巷探等多种探测手段的优势。在掘进工作推进前,提前对前方地质构造、含水性、瓦斯含量、围岩强度等关键信息进行全面探测,最大程度消除探测盲区,让潜在的地质隐患无所遁形。物探凭借地震波、电磁法等先进技术,能够实

现大范围、快速的初步探测,快速勾勒出前方地质的大致轮廓;钻探则聚焦重点区域,进行精准取样分析,精确测定各项地质参数,为后续施工提供详细的数据支撑;巷探紧密结合现场施工实际情况,对物探和钻探的结果进行补充验证,确保探测结果的准确性和可靠性。建立地质动态评估机制至关重要,实时收集施工过程中的地质反馈信息,与前期探测数据进行深度动态分析。依据分析结果,及时灵活调整探测方案和施工参数,精准预判可能出现的地质风险。如此一来,就能为掘进工艺的优化、支护方案的合理调整以及装备的科学选型提供强有力的科学依据,保障掘进作业始终在安全可控的范围内稳步推进^[2]。

2.2 掘进工艺优化

掘进工艺优化是复杂地质条件下实现快速掘进的核心要素,必须紧密结合不同地质类型的独特特点,精心构建差异化的工艺体系。对于松软破碎地质,采用“超前支护+分步掘进”工艺。施工时,先运用超前锚杆、管棚等支护手段,对围岩进行加固,增强其稳定性。随后,分台阶、分断面有序掘进,最大程度减少对围岩的扰动,有效防止片帮冒顶等事故的发生。针对硬岩地质,着重优化破岩工艺,采用“钻爆优化+机械破碎”相结合的创新方式。通过合理调整炮孔参数、炸药用量,提升破岩效率,同时配套高效的清矸工艺,减少各工序之间的衔接时间,提高整体施工效率。对于含水性地质,先进行全面的排水疏干处理,再采用防水掘进工艺,避免水体对施工造成不利影响。针对瓦斯富集地质,优化通风工艺,确保瓦斯能够及时排出,同时采用浅孔爆破、慢速掘进等措施,降低瓦斯涌出量,保障施工安全。通过这些工艺优化措施,实现各工序的高效衔接,显著提升掘进速度和施工安全性。

2.3 高效支护技术

高效支护技术是保障复杂地质条件下巷道稳定性、实现快速掘进的关键所在,其核心在于构建“主动支护+被动支护”相结合的综合支护体系,兼顾支护强度和施工效率。针对不同地质条件,需精准选型适配的支护材料和支护方式。在松软破碎地质中,采用高强度锚杆、锚索配合金属网、喷浆支护,形成强大的联合支护结构,能够快速加固围岩,增强其承载能力。对于硬岩地质,采用锚杆+锚索支护,重点提升支护的抗冲击能力,有效防止围岩开裂变形,确保巷道的长期稳定。膨胀岩地质则采用抗膨胀支护材料,配合封闭喷浆工艺,减少水体与围岩的接触,抑制围岩膨胀,避免巷道变形。含水性地质在支护过程中增加防水层,采用防水锚杆、防水

喷浆材料,防止水害侵蚀支护结构,延长支护使用寿命。同时,优化支护施工流程,实现支护与掘进工序平行作业,缩短支护时间,提升支护效率,确保支护质量满足巷道长期稳定的要求。

2.4 智能化施工装备配套

智能化施工装备配套是复杂地质条件下实现快速掘进的重要支撑,其核心目标是实现掘进、支护、清矸等工序的智能化、自动化作业,减少人工干预,提升施工效率和安全性。在掘进工序方面,配套智能化掘进装备,如悬臂式掘进机、盾构机等。根据不同的地质条件,选型适配的机型,并配备智能控制系统,能够精准控制掘进速度、截割深度,提升破岩和掘进效率。在支护工序上,配套智能化支护装备,如自动锚杆钻机、喷浆机器人等,实现锚杆安装、喷浆作业的自动化,减少人工操作,提高支护质量和速度^[3]。同时,配套智能监测装备,实时监测围岩变形、瓦斯浓度、水体压力等关键参数,实现风险的实时预警,为智能化施工提供可靠的数据支撑。通过智能化装备的集成配套,实现各工序的协同作业,打破传统施工中的工序瓶颈,大幅提升复杂地质条件下的掘进效率,推动矿业施工向智能化、现代化迈进。

3 快速掘进装备配套与优化

3.1 掘进装备选型

掘进装备选型需遵循“适配地质、高效节能、安全可靠”的原则,结合复杂地质条件的类型和施工需求,精准选型适配的掘进装备。针对松软破碎地质,选型机身灵活、截割功率适中的悬臂式掘进机,配备耐磨截齿和防片帮装置,减少围岩扰动,同时具备快速调整截割角度的功能,适应不规则断面掘进;针对硬岩地质,选型大功率、高刚性的掘进机,配备高强度截齿和破碎锤,提升破岩能力,同时优化机身结构,增强设备的抗冲击性能;针对含水性地质,选型防水型掘进装备,对电机、电气控制系统进行防水处理,防止水体侵蚀设备,确保设备正常运行;针对瓦斯富集地质,选型防爆型掘进装备,满足防爆要求,同时配备瓦斯监测报警装置,提升施工安全性。装备选型还需考虑施工断面尺寸、掘进速度要求,确保装备与施工需求高度适配。

3.2 后配套运输系统

后配套运输系统作为保障快速掘进的关键环节,其核心使命在于实现掘进过程中矸石、物料的高效快速运输,最大程度减少工序衔接所造成的延误,进而全面提升施工效率。在构建后配套运输体系时,需紧密结合掘进规模和地质条件,打造“连续运输+高效转运”的先进模式。对于中大型掘进工作面,带式输送机是理想之选。

它具备运输量大、速度快、能耗低等显著优势,能够持续不断地将矸石和物料运往指定地点。同时,为确保运输过程的安全稳定,还配备了自动纠偏、过载保护等先进装置,可实时监测并调整运输状态,有效避免设备故障和事故的发生。针对小型掘进工作面或复杂断面,刮板输送机则展现出独特的优势。其机身灵活,能够轻松适应不规则巷道的运输需求,确保在各种复杂环境下都能稳定运行。为进一步优化运输系统,在掘进机与输送机之间配套设置了转载机,大大减少了物料转运时间。同时,配备矸石破碎装置,将大块矸石破碎后再进行运输,有效避免了运输通道的堵塞。最后,建立完善的运输系统日常维护机制,定期对设备进行全面检查和保养,及时排查并处理设备故障,确保运输系统能够连续高效地运行。

3.3 辅助系统配套

辅助系统配套是快速掘进的重要保障,主要包括通风、排水、供电、供液等系统,需结合复杂地质条件和施工需求,构建高效、稳定的辅助系统。通风系统方面,根据巷道长度、断面尺寸及瓦斯涌出量,配套大功率通风机,采用压入式或抽出式通风方式,确保巷道内空气流通,及时排出瓦斯、粉尘等有害物质,保障施工人员身体健康和施工安全;排水系统方面,针对含水性地质,配套多级排水泵,合理设置排水管路,实现水体的快速排出,防止涌水积水影响施工;供电系统方面,配套稳定的供电设备,采用双回路供电,防止突发停电影响施工进度,同时配备防爆电气设备,适应瓦斯、含水性地质安全要求;供液系统方面,配套高压供液设备,为掘进机、支护装备提供稳定的液压动力,确保设备正常运行,同时优化供液管路布局,减少管路损耗和故障。

3.4 装备配套的集成化与协同性

在复杂地质条件下的快速掘进作业中,装备配套的集成化与协同性是提升整体效率的核心要素,其关键在于实现掘进、支护、运输、辅助等各类装备的深度有机融合,构建起一个各设备协同作业、高效联动的紧密系统。

构建集成化的施工装备体系至关重要。将掘进机、支护装备、运输设备以及智能监测设备等进行全面系统集成,借助先进的信息技术,达成设备之间的信息互通与协同控制。如此一来,各工序间的衔接时间大幅减少,施工的连续性得到显著提升,避免了因设备等待或信息不畅导致的作业中断^[4]。优化装备协同作业流程也不容忽视,明确各设备的作业时序和操作规范,通过科学合理的安排,实现掘进与支护平行作业、运输与掘进同步推进。这种作业模式能有效避免设备闲置和工序脱节,让每一台设备都能充分发挥其效能,提高整体作业效率。同时,建立装备协同监测机制十分必要。利用智能监测设备,实时掌握各设备的运行状态,一旦发现设备故障或协同问题,能够迅速做出反应,及时进行调整和维修,确保装备始终处于最佳运行状态。通过全方位推进装备配套的集成化与协同性优化,能够使复杂地质条件下的快速掘进作业朝着高效化、智能化、安全化的方向迈进,为工程建设提供有力保障。

结束语

复杂地质条件给煤矿巷道快速掘进带来诸多挑战,但通过构建快速掘进技术体系,涵盖地质超前探测、工艺优化、高效支护及智能化装备配套,并做好快速掘进装备的选型、配套与优化,实现装备集成化与协同性,可有效应对挑战。未来,随着技术不断进步,需持续完善相关技术与装备,进一步提升复杂地质条件下煤矿巷道快速掘进水平,保障煤矿安全生产与高效运营。

参考文献

- [1]杨焱.复杂地质条件下巷道断面优化及快速掘进工艺研究[J].西部探矿工程,2025,37(8):77-78,81.
- [2]成飞,陈博,王威.半煤岩及复杂条件下智能化快速掘进工程实践[J].江西煤炭科技,2024(3):1-4.
- [3]张晶.煤矿巷道地质力学评估与支护方案优化研究[J].山东煤炭科技,2025,43(8):17-21.
- [4]刘泉声,黄兴,潘玉丛,等.TBM在煤矿巷道掘进中的技术应用和研究进展[J].煤炭科学技术,2023,51(1):242-259.