

煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用

孙洪臣

冀中能源张家口矿业集团有限公司 河北 张家口 075100

摘要：巷道掘进与支护是煤炭采矿工程的核心工序，直接影响采矿作业的安全稳定性与高效性。本文系统梳理巷道掘进与支护技术的分类、应用流程及核心要点，分析机械、爆破、综合三种掘进技术的适配场景与操作规范，阐述锚杆、锚索、棚式等支护技术的应用逻辑，探讨掘进与支护技术的协同衔接模式及不同地质条件下的适配策略，提出技术优化路径。研究围绕技术应用与协同优化展开，完善煤炭采矿巷道施工技术体系，为巷道施工提供技术参考，助力提升煤炭采矿工程的施工质量与安全保障水平。

关键词：煤炭采矿工程；巷道掘进技术；巷道支护技术；协同应用；技术优化

引言：巷道工程承担着煤矿通风、运输及安全保障等多重功能，掘进效率与支护质量共同影响矿井整体生产水平。伴随开采深度持续加大，围岩地质条件日趋复杂，单一掘进和支护手段已难以应对实际工况，技术间的协同配合显得尤为关键。掘进后煤岩体应力场迅速重新分布，支护若不能及时跟进，围岩变形将迅速失控；而支护参数脱离掘进工况设定，则易造成材料浪费或支护失效。梳理掘进与支护技术的分类特征与协同机制，对适应不同地质条件下的施工需求具有现实意义。

1 巷道掘进技术应用

1.1 巷道掘进技术分类

机械掘进技术以专业化掘进设备为核心支撑，实现巷道开挖的机械化、连续化作业，核心配套设备涵盖综掘机、TBM掘进机等，通过截割机构对岩体进行破碎处理，搭配输送系统完成破碎物料的转运作业，适配多种岩性条件下的巷道开挖需求，尤其适用于中软岩巷道的高效掘进^[1]。爆破掘进技术是煤矿岩巷掘进领域的传统核心技术，分为人工钻爆与液压钻车钻爆两种作业形式，通过科学布设炮眼位置、优化装药结构与起爆网络，借助炸药爆炸释放的能量破碎岩体，满足硬岩巷道开挖的强度要求。综合掘进技术整合机械掘进与爆破掘进的技术优势，针对硬岩等复杂工况优化作业模式，先通过超深孔爆破工艺弱化岩体强度，再利用机械化设备开展掘进作业，既保障作业灵活性，又能有效提升掘进效率，适配复杂地质条件下的巷道开挖需求。

1.2 各类掘进技术的应用流程

前期准备环节是巷道掘进作业的基础前提，需完成巷道断面参数设计、作业区域地质条件探测以及各类设备调试工作，精准核算巷道尺寸规格，通常巷道断面宽度为 4-6 米、高度为 3-5 米，全面排查作业区域潜在地质

隐患，对掘进设备、通风除尘装置及物料运输系统进行空载试运行，试运行时间不少于 1 小时，排查设备运行隐患，确保各类设备性能达到作业标准后再启动掘进作业。掘进作业环节需结合不同掘进技术的特点开展针对性操作，机械掘进过程中注重截割路径的科学规划，实时监测设备运行状态，及时调整操作参数；爆破掘进严格按照炮眼钻进、装药、起爆、通风排烟的流程规范作业，通风排烟时间不少于 30 分钟，杜绝违规操作；综合掘进则合理衔接爆破弱化与机械截割工序，爆破后等待不少于 30 分钟，检查确认安全后再开展机械掘进，保障各环节有序推进。掘进后整理环节重点开展作业面余渣清理工作，细致检查巷道断面成型质量，对暴露在外的围岩采取临时防护措施，规范整理运输系统中的物料，清理作业现场杂物，为后续支护等工序的顺利开展筑牢基础。

1.3 掘进技术的应用要点

掘进参数控制需结合作业区域岩性特征与巷道设计标准，精准调控截割深度、炮眼间距、装药量等核心参数，机械掘进需根据岩石硬度匹配截割功率，避免截割过载或效率不足；爆破掘进严格把控周边眼间距与单位长度装药量，减少岩体过度破碎，保障巷道成型精度。掘进效率提升可通过优化设备联动模式、改进截割工艺实现，配置高效通风除尘与物料运输系统，缩短设备检修与物料转运耗时，减少作业中断时长，采用记忆截割等先进技术优化操作流程，提升作业连续性。掘进过程中的技术适配需根据地质条件动态调整，穿越破碎带或富水区时优化掘进方式，强化围岩扰动管控，结合环境感知技术实时捕捉地质变化，灵活调整作业参数，满足不同工况下的巷道掘进需求，保障作业安全与质量^[2]。

2 巷道支护技术应用

2.1 巷道支护技术分类

锚杆支护技术通过将锚杆植入围岩内部,利用锚杆与岩体的粘结力和摩擦力约束围岩变形,维持巷道围岩稳定性,是煤矿巷道支护中应用最广泛的技术之一,适配中硬岩、完整性较好的软岩巷道的支护需求,支护成本较低且施工便捷。锚索支护技术依托高强度锚索深入岩体深部稳定层,通过施加预紧力将浅层围岩与深部稳定岩体连接为整体,提升围岩承载能力,多用于围岩压力较大、地质条件复杂的巷道,可有效控制巷道大变形。棚式支护技术采用型钢、木材等材料搭建棚架结构,直接承受围岩压力并传递至巷道底板,结构简单且施工速度快,适用于临时支护及破碎带、断层等复杂地质段的支护。喷射混凝土支护技术将混凝土混合料通过喷射设备均匀覆盖于巷道围岩表面,形成致密的混凝土层,封闭围岩裂隙、防止岩体风化,同时增强围岩整体性,常作为单独支护或联合支护的组成部分。联合支护技术整合两种及以上单一支护技术的优势,根据巷道地质条件和围岩压力特点合理组合,兼顾支护强度与灵活性,解决复杂地质条件下单一支护技术难以满足支护要求的问题,保障巷道长期稳定。

2.2 各类支护技术的应用流程

支护前准备环节需完成围岩地质条件检测、支护材料检验及作业面清理工作,精准判定围岩级别和压力分布,核查支护材料的强度、规格等指标是否符合设计要求,清理作业面浮渣、杂物及突出岩体,修整巷道断面,确保支护作业空间达标。支护作业环节需结合不同支护技术的工艺特点规范操作,锚杆支护注重锚杆钻孔角度、深度及锚固剂配比,确保锚杆植入牢固并达到设计预紧力;锚索支护严格控制钻孔精度和锚索张拉力度,保障锚索与岩体有效结合;棚式支护规范棚架间距、垂直度及连接强度,避免棚架变形失稳;喷射混凝土支护把控混合料配合比和喷射压力,确保混凝土层厚度均匀、粘结紧密;联合支护合理安排各支护工序的先后顺序,保障各支护结构协同发挥作用。支护后检查环节重点核查支护结构的施工质量,检查锚杆、锚索的锚固效果和预紧力,查看棚架稳定性和喷射混凝土层完整性,排查支护结构存在的松动、破损等隐患,对不合格部位及时整改,确保支护结构达到设计支护标准。

2.3 支护技术的应用要点

支护材料选择需结合巷道围岩级别、压力大小及使用年限,优先选用强度高、耐久性好且适配施工条件的材料,锚杆、锚索需选用符合煤矿支护标准的高强度钢材,喷射混凝土需搭配适配的骨料和外加剂,棚式支护材料需具备足够的承载能力和抗变形性能。支护结构设

计需根据围岩地质条件和巷道用途优化参数,合理确定锚杆、锚索的间距、长度及预紧力,科学设计棚架规格和喷射混凝土层厚度,联合支护需明确各支护结构的组合方式和受力分配,确保支护结构与围岩受力状态相适配。支护时机把控需结合围岩变形规律,避免支护过早导致围岩应力无法释放引发支护结构过载,防止支护过晚造成围岩过度变形难以控制,通常在巷道掘进后及时开展临时支护,待围岩变形趋于稳定后实施永久支护,动态调整支护时机以适配围岩变形特征。

3 巷道掘进与支护技术的协同应用

3.1 掘进与支护的衔接流程

掘进与支护的衔接流程需围绕作业连续性和安全性优化设计,掘进作业完成一段距离后,及时转入支护准备工作,避免围岩长时间暴露引发变形失稳^[3]。衔接过程需明确掘进作业终止节点与支护作业启动节点,合理规划作业面空间分配,确保掘进设备与支护设备有序交替作业,减少工序衔接间隙。掘进作业结束后,先对作业面进行简单清理,修整巷道断面,确认围岩状态符合支护条件后,启动支护前准备工作,待支护材料、设备到位且调试完毕,正式开展支护作业。支护作业过程中需兼顾后续掘进作业规划,预留合理作业空间,支护完成并经检查合格后,再启动下一段掘进作业,形成“掘进—清理—支护—检查—再掘进”的闭环衔接模式,保障整个施工流程有序推进。

3.2 协同应用中的技术配合要点

协同应用中的技术配合需聚焦掘进与支护的参数匹配,掘进参数调整需充分考虑后续支护作业需求,优化截割深度、断面尺寸等参数,为支护作业提供便捷条件,减少支护施工难度。支护技术选择需适配掘进方式,机械掘进速度较快时,优先选用施工便捷、效率较高的支护技术,爆破掘进后围岩扰动较大时,需强化支护强度,提升围岩约束效果。技术配合需注重施工工艺的衔接优化,掘进过程中同步监测围岩变形数据,及时将数据反馈至支护作业环节,为支护参数调整提供依据。支护作业需控制施工节奏,与掘进作业进度合理适配,避免支护滞后导致围岩变形加剧,同时避免支护超前影响掘进作业效率,实现掘进与支护技术的精准配合。

3.3 不同地质条件下的协同适配

不同地质条件下的协同适配需结合围岩岩性、压力分布等特征优化协同模式,硬岩地质条件下,掘进可采用爆破或综合掘进技术,支护优先选用锚杆、锚索支护,强化深部围岩约束,减少岩体破碎对施工的影响。中软岩地质条件下,掘进选用机械掘进技术,降低围岩

扰动,支护采用锚杆与喷射混凝土结合的方式,封闭围岩裂隙,增强围岩整体性。破碎带及断层地质条件下,优化掘进方式,缩短单次掘进距离,采用棚式支护与锚杆支护联合的协同模式,及时控制围岩变形,防止围岩坍塌。富水地质条件下,掘进前做好排水处理,选用防水性能良好的支护材料,采用喷射混凝土与锚索联合支护,兼顾支护强度与防水效果,实现掘进与支护技术在不同地质条件下的高效适配,保障施工安全与质量^[4]。

4 巷道掘进与支护技术的优化方向

4.1 掘进技术的优化路径

掘进技术的优化路径聚焦智能化与高效化双向提升,顺应煤矿智能化发展主流趋势,引入先进环境感知技术与自动化控制技术,升级掘进设备的智能调控效能,实现截割路径自动规划、设备运行状态实时监测及故障提前预警,降低人工操作强度的同时,显著提升掘进作业精准度。优化掘进工艺核心参数,结合不同地质条件动态调整截割深度、炮眼布置密度等关键指标,改进截割刀具性能,选用耐磨、高强度复合刀具材料,延长刀具使用寿命,减少设备检修频次与作业停滞时间。整合掘进系统与辅助作业系统,优化通风除尘、物料运输流程设计,提升辅助系统与掘进设备的适配程度,缩短各类工序衔接耗时,推动掘进技术向连续化、高效化转型,更好适配复杂地质条件下的巷道掘进需求。

4.2 支护技术的优化路径

支护技术的优化路径侧重材料性能升级与结构设计精细化,依托材料科学进步,研发高强度、轻量化、耐久性优良的支护材料,改进锚杆、锚索的材质配方与加工工艺,提升材料抗腐蚀、抗变形能力,降低支护材料损耗率与施工成本。优化支护结构设计方案,结合围岩受力特征与巷道实际用途,细化支护参数设置,简化支护施工流程,提升支护施工效率与质量稳定性。引入新型支护技术与工艺,推广高强度喷射混凝土、新型环保锚固剂等产品应用,强化支护结构与围岩的粘结效果,提升支护承载能力与整体稳定性。完善支护质量管控体系,优化支护施工过程中的参数监测与动态调整机制,推动支护技术从被动防护向主动防控转型。

4.3 掘进与支护协同优化的重点

掘进与支护协同优化的重点在于构建一体化协同管控体系,打破掘进与支护工序相互割裂的现状,建立参数联动调整机制,让掘进参数与支护参数精准适配、动态优化。依托大数据、互联网等先进技术,搭建掘进与支护协同监测平台,实时采集掘进过程中的围岩变形、设备运行、受力状态等数据,为支护参数调整与掘进工艺优化提供精准数据支撑。优化工序衔接流程设计,缩短掘进与支护的衔接间隙,合理规划作业节奏,实现两道核心工序的有序衔接与高效推进^[5]。针对不同地质条件,制定差异化协同优化方案,兼顾掘进效率与支护质量,平衡施工进度与作业安全,推动掘进与支护技术形成协同发力、互补提升的良好格局,全面提升煤矿巷道施工的整体技术水平与安全保障能力。

结束语

掘进与支护技术的合理运用是煤矿采掘工程顺利推进的基础保障。二者在工艺特征与适用条件上各有侧重,施工中却相互依存、彼此制约,掘进速度与支护时效的匹配程度、支护参数与围岩状态的契合程度,均对巷道长期稳定性产生直接影响。通过优化掘进参数、升级支护材料、构建掘支协同管控机制,可有效提升施工质量与安全水平。随着智能化技术在矿山领域持续渗透,掘进与支护技术的深度融合将成为巷道工程发展的主要方向,为煤炭安全高效生产提供坚实支撑。

参考文献

- [1]薛瑶.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用探析[J].内蒙古煤炭经济,2025(17):160-162.
- [2]王军锋.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].石化技术,2025,32(7):151-153.
- [3]赵连欢.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2024(12):136-138.
- [4]姜鹏涛.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用探讨[J].内蒙古煤炭经济,2024(10):162-164.
- [5]闫伟.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术分析[J].低碳世界,2024,14(2):49-51.