

采矿工程巷道掘进与支护技术分析

赵峰

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 751400

摘要: 采矿工程中, 巷道掘进与支护技术是保障施工安全与效率的关键。本文详细分析了巷道掘进技术, 包括掘进方法分类、参数优化及设备选型; 探讨了巷道支护技术, 涵盖支护类型选择、结构设计及材料选用; 阐述了掘进与支护的协同作业模式, 涉及时空关系、工艺衔接及信息化管理; 还研究了特殊地质条件下的掘进与支护技术。通过系统分析, 为采矿工程巷道掘进与支护提供理论支持与实践指导。

关键词: 采矿工程; 巷道掘进; 巷道支护; 协同作业; 特殊地质

引言: 在采矿工程中, 巷道掘进与支护是核心环节, 直接关系到矿井生产安全与效率。随着采矿深度增加与地质条件复杂化, 巷道掘进与支护面临诸多挑战。传统技术已难以满足现代采矿需求, 需不断创新与优化。因此, 深入研究巷道掘进与支护技术, 提升技术水平, 对保障采矿工程安全高效进行具有重要意义。

1 巷道掘进技术

1.1 掘进方法分类

巷道掘进方法分类基于施工原理与技术特征划分, 不同方法适配不同采矿场景, 构成巷道掘进技术的核心体系^[1]。钻爆法掘进以炸药爆破为核心原理, 通过在岩体中钻设炮眼、装填炸药引爆, 使岩体破碎后完成巷道成型, 具有适用范围广、设备投入相对较低的特点, 同时存在施工工序复杂、掘进效率受爆破效果影响较大的局限。机械掘进依托专用掘进设备实现岩体切削与破碎, 掘进机、连续采煤机均属于此类, 其原理是通过设备自带的截割机构对岩体进行连续破碎, 再通过运输装置将矸石运出, 适配性随设备类型不同存在差异, 适用于不同硬度、不同断面的巷道掘进。综合机械化掘进技术整合机械掘进、运输、支护等多道工序, 实现掘进全流程机械化作业, 优势体现在掘进效率高、作业安全性强、劳动强度低, 发展趋势朝着工序协同化、操作智能化方向推进, 契合采矿工程高效安全的发展导向。

1.2 掘进参数优化

掘进参数优化是提升巷道掘进效率、保障施工质量的关键, 需结合地质条件与施工需求科学确定。循环进尺的确定需立足岩体性质、掘进方法与支护条件, 地质条件稳定、支护及时可适当增加进尺, 岩体破碎、支护难度大则需缩短进尺, 影响因素涵盖岩体强度、爆破效果、支护速度等。炮眼布置与爆破参数设计需遵循适配岩体特性、保证破碎效果、减少巷道超挖欠挖的原则,

炮眼数量、间距、深度需与炸药用量、岩体硬度相匹配, 避免爆破力度不足导致岩体破碎不彻底或爆破过度造成巷道围岩损伤。机械掘进时的截割参数选择需结合设备性能与岩体硬度, 合理确定截割速度、截割深度与截割角度, 兼顾掘进效率与设备损耗, 实现截割作业的高效与稳定。

1.3 掘进设备选型与配套

掘进设备选型与配套需立足地质条件与施工要求, 确保设备适配性与协同性。不同地质条件下掘进设备的适应性存在差异, 岩体坚硬、整体性好的场景需选用截割能力强的设备, 岩体破碎、易坍塌的场景则需优先考虑设备作业安全性与灵活性。掘进设备与运输、支护设备的配套需遵循工序衔接顺畅、效能互补的原则, 运输设备能力需与掘进设备截割效率匹配, 支护设备需与掘进进度同步衔接, 避免出现工序脱节导致施工停滞。掘进设备的技术发展趋势聚焦智能化与高效化, 智能化应用体现在远程操控、自动截割、故障预警等方面, 可有效提升掘进作业的自动化水平, 减少人工干预, 降低作业风险, 符合采矿工程智能化发展的行业趋势。

2 巷道支护技术

2.1 支护类型与选择依据

巷道支护类型划分基于支护材料与受力特性, 选择需结合地质条件、巷道用途与施工工况, 是保障巷道围岩稳定的核心前提^[2]。刚性支护以混凝土支护、石材支护为主要形式, 特点是结构强度高、整体性好, 能有效承受围岩压力, 抑制巷道变形, 适用于围岩压力较大、地质条件相对稳定的巷道, 不足在于柔性较差, 难以适应围岩的不均匀变形。柔性支护以锚杆支护、锚索支护为代表, 原理是通过锚杆、锚索将围岩与深部稳定岩体连接, 利用围岩自身强度形成支护体系, 优势体现在适应性强、施工便捷, 能适应围岩变形, 减少支护结构受

力,提升巷道支护的安全性与经济性。联合支护整合不同支护类型的优势,锚网喷联合支护是典型形式,适用条件为围岩破碎、压力较大且变形明显的场景,通过不同支护形式协同作用,弥补单一支护的局限,保障巷道长期稳定。

2.2 支护结构设计

支护结构设计需立足围岩压力与巷道工况,遵循科学合理、经济适用的原则,核心是保障支护结构的承载能力与稳定性。支护结构承载能力计算方法需结合围岩压力计算结果,综合考虑支护材料性能、结构形式与施工工艺,通过力学分析确定结构尺寸与参数,确保能有效抵御围岩荷载。支护结构稳定性分析需兼顾结构自身强度与围岩适应性,重点分析结构在不同荷载作用下的变形规律,避免结构出现断裂、失稳等问题。支护结构与围岩相互作用的机理研究聚焦二者协同受力过程,明确围岩变形对支护结构的作用方式,以及支护结构对围岩的约束效果,为支护结构设计优化提供理论支撑,契合采矿工程支护设计的学术规范。

2.3 支护材料性能与选用

支护材料性能直接决定支护效果,选用需结合支护类型、围岩条件与施工要求,兼顾性能与经济性。锚杆、锚索等支护材料需满足特定力学性能要求,具备足够的抗拉强度、抗剪强度与韧性,能承受围岩施加的拉力与剪力,避免使用过程中出现断裂失效。混凝土、喷射混凝土等支护材料的配合比设计需结合支护强度要求,合理调配水泥、骨料、水的比例,兼顾强度与施工和易性,确保支护结构成型质量。新型支护材料研发聚焦高强度、轻量化、耐腐蚀方向,应用前景集中在复杂地质条件下的巷道支护,能有效提升支护效果,降低施工成本,推动巷道支护技术向高效、安全、经济方向发展,符合采矿工程材料技术的发展趋势。

3 巷道掘进与支护的协同作业

3.1 掘进与支护的时空关系

在巷道掘进与支护作业中,合理安排作业顺序是确保施工安全与效率的关键。掘进作业需先行开展,为后续支护作业创造空间条件,而支护作业则需紧跟掘进步伐,及时稳定围岩,防止变形与坍塌^[3]。这一顺序安排基于围岩应力释放与重新分布的规律,确保掘进过程中围岩的稳定性得到及时维护。时间间隔控制方面,掘进与支护作业之间需保持适宜的节奏。掘进速度过快可能导致支护不及时,增加围岩失稳风险;而支护作业滞后过多,则可能因围岩暴露时间过长而引发安全问题。因此,需根据围岩性质、掘进方法及支护类型等因素,科

学确定掘进与支护之间的时间间隔,确保两者在时间上紧密衔接,形成有效的作业循环。空间协调要求上,掘进与支护作业需在空间上相互配合,避免相互干扰。掘进作业需为支护作业预留足够的操作空间,确保支护设备与材料能够顺利进入作业区域;支护作业则需在掘进形成的空间内合理布置支护结构,确保支护效果。同时,还需考虑掘进与支护作业对巷道断面形状、尺寸的影响,确保巷道满足设计要求。

3.2 掘进与支护的工艺衔接

掘进后,临时支护的设置是保障作业安全的重要环节。临时支护需根据围岩条件、掘进方法等因素选择合适的类型与参数,确保能够及时承受围岩压力,防止围岩变形与坍塌。同时,临时支护的设置需迅速、稳固,为后续永久支护作业提供安全保障。永久支护与掘进作业的衔接流程需严谨有序。在掘进达到一定距离或完成一定工作量后,需及时进行永久支护作业。永久支护作业需根据设计要求选择合适的支护类型与参数,确保支护结构的强度与稳定性。在衔接过程中,需注意掘进面与永久支护面之间的过渡处理,确保支护结构的连续性与整体性。掘进与支护作业中的安全防护措施同样不可或缺。作业人员需配备齐全的安全防护装备,严格遵守安全操作规程。同时,还需设置安全警示标志、监测围岩变形等措施,及时发现并处理安全隐患,确保作业安全。

3.3 掘进与支护的信息化管理

掘进与支护作业数据的采集与分析是信息化管理的基础。通过安装传感器、监测设备等手段,实时采集掘进与支护过程中的各项数据,如掘进速度、支护压力、围岩变形等。对这些数据进行深入分析,可揭示掘进与支护作业的内在规律,为优化作业方案提供科学依据。信息化管理系统在掘进与支护中的应用可实现作业过程的可视化、智能化管理。通过构建数字化模型、开发管理软件等手段,将掘进与支护作业的各项数据集成于统一平台,实现数据的实时共享与交互。这有助于提高作业效率、降低管理成本、提升决策水平。基于信息化管理的掘进与支护决策支持可借助大数据、人工智能等技术手段,对掘进与支护作业进行智能分析与预测。通过构建决策模型、开发智能算法等手段,为作业人员提供科学合理的决策建议,指导掘进与支护作业的优化与调整。

4 特殊地质条件下的巷道掘进与支护技术

4.1 软岩巷道掘进与支护

软岩巷道掘进与支护需立足软岩自身物理力学特性,相关技术体系构建基于软岩巷道工程地质研究成果^[4]。软岩巷道变形特征呈现显著时间效应与空间效应,变形量

大且持续时间长,易出现顶板下沉、两帮收敛、底板鼓起等现象,破坏机理主要源于软岩遇水软化、应力释放后的塑性变形,以及开挖扰动引发的围岩结构失稳,需结合软岩力学特性针对性防控。软岩巷道掘进与支护需遵循“先柔后刚、分级支护、及时封闭”的特殊技术要求,掘进过程中需控制开挖扰动强度,减少对围岩的破坏,支护作业需快速跟进,缩短围岩暴露时间。软岩巷道支护结构的优化设计需聚焦变形控制与稳定性提升,结合软岩变形规律,优化支护结构的刚度与韧性,合理搭配支护材料,强化支护结构与围岩的协同作用,抑制软岩持续变形,保障巷道长期稳定。

4.2 高应力巷道掘进与支护

高应力巷道掘进与支护的核心的是应对高应力环境对巷道围岩及支护结构的作用,相关技术研究围绕应力调控与支护强化展开。高应力巷道应力分布规律受地质构造、埋深、岩体特性等因素影响,应力集中现象明显,易出现围岩破裂、支护结构失效等问题,其影响主要体现在加剧巷道变形、增加支护难度,甚至引发巷道坍塌等安全隐患。高应力巷道掘进与支护的技术难点集中在应力释放与调控、支护结构抗载能力提升两个方面,需通过科学的掘进工艺与支护技术,实现应力合理释放,降低应力集中程度。高应力巷道支护材料的选择需优先选用高强度、高韧性、抗变形能力强的材料,同时注重支护结构创新,采用复合型支护结构,提升支护体系的整体承载能力,抵御高应力作用下的围岩变形与破坏。

4.3 破碎围岩巷道掘进与支护

破碎围岩巷道掘进与支护的关键是解决围岩稳定性不足的问题,技术应用需依托破碎围岩力学特性与巷道工程实践经验。破碎围岩巷道稳定性问题突出,围岩整体性差、强度低,易发生块体崩落、巷道坍塌,面临

开挖扰动后围岩失稳速度快、支护难度大等挑战,需通过针对性工艺措施与支护结构,提升围岩整体性与稳定性。破碎围岩巷道掘进与支护的工艺措施需注重开挖方式优化,控制开挖速度与开挖断面尺寸,采用分步开挖、及时支护的方式,减少围岩扰动,可通过超前支护措施,提前加固围岩,为掘进作业提供安全保障^[5]。破碎围岩巷道支护结构的加固与维护需聚焦围岩整体性提升,采用锚网喷支护、锚索加固等复合型支护方式,强化支护结构与围岩的结合,同时建立常态化维护机制,及时排查支护结构隐患,对损坏部位进行修复,保障巷道长期安全运行。

结束语

采矿工程巷道掘进与支护技术涵盖多方面内容,从常规掘进与支护方法,到特殊地质条件下的针对性技术,每一环节都紧密关联。通过合理选择掘进方法、优化掘进参数、选型配套掘进设备,以及科学设计支护结构、选用合适支护材料,能实现掘进与支护的高效协同。针对特殊地质条件采取特殊技术措施,可有效应对复杂地质难题,保障巷道施工安全与稳定,为采矿工程顺利开展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]韩德国,杨飞飞,梁敏.采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析探讨[J].中国金属通报,2023(11):29-31.
- [2]杜兴耀.采矿工程巷道掘进与支护技术分析[J].凿岩机械气动工具,2025,51(3):110-112.
- [3]杨波伟.煤炭采矿工程巷道掘进与支护技术分析[J].魅力中国,2025(17):217-219.
- [4]张庆,张元利,苗超.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施分析[J].内蒙古煤炭经济,2025(18):73-75.
- [5]岑帅,盛鹏.煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2024(24):175-177.