

煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用

马 翔

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 751400

摘 要：煤炭采矿工程中，巷道掘进与支护技术的协同配合直接关乎井下作业安全与开采效率。掘进技术依托岩土力学原理，通过钻爆法、综合机械化掘进及连续采煤机等方式完成岩体破碎与空间成型；支护技术则以刚性、柔性及复合三种形式构建围岩防护体系，维持巷道结构稳定。本文围绕掘进基础技术体系、支护核心技术类型、两者协同应用要点及优化路径展开论述，分析不同地质条件下的技术适配方式，探讨工序衔接、参数调控与流程精细化管理对施工质量的影响，为井下巷道建设提供技术层面的系统参考。

关键词：巷道掘进；支护技术；围岩控制；协同应用；工艺优化

引言：井下巷道是煤炭开采作业的基础通道，掘进与支护技术的应用水平直接制约着矿井生产的安全性与持续性。不同地质条件下围岩的力学特性差异显著，单一技术手段难以覆盖全部施工场景。掘进工艺需适配岩层硬度与构造特征，支护方案须匹配围岩应力状态与变形规律，两者的工序衔接与参数协调同样影响着巷道整体质量。梳理各类型施工方法的适用条件与协同机制，对提升井下巷道施工的技术针对性具有实际价值。

1 巷道掘进基础技术体系

1.1 巷道掘进技术应用原理

巷道掘进技术开展的核心，是依托岩土力学与矿山工程基础理论，对井下煤层及围岩的结构特性进行合理利用与有序改造^[1]。地下煤层与岩层具备差异化的稳固性能与承载性能，掘进施工依托岩层自身应力分布规律，通过科学的岩体剥离方式，逐步构建出规整的井下通道。各类掘进技术的落地实施，均围绕岩体结构平衡调控展开，通过规范的岩体破碎与清运方式，保障井下巷道空间成型的规整度与安全性，为后续井下开采作业搭建基础作业通道。

1.2 巷道掘进作业基本流程

巷道掘进作业遵循规范化的施工步骤推进，形成完整的井下挖掘作业链条。施工前期会完成井下作业区域的环境清理与作业面规整处理，扫清掘进施工的各类阻碍。岩体破碎作业完成后，及时对破碎岩体进行转运清理，保证作业工作面保持整洁通畅。巷道初步成型后，对巷道岩壁与顶部岩体进行精细化修整，调整巷道整体形态与尺寸参数。完成基础挖掘作业后，跟进开展配套防护作业，稳定巷道岩体结构。整套作业流程循环开展，持续推进巷道延伸施工，保障井下掘进作业有序推进。

1.3 主流巷道掘进技术类型

国内煤炭采矿井下作业中，已经形成多种适配不同地质条件的巷道掘进技术。钻爆掘进是应用范围较广的传统施工技术，依靠钻孔装药的方式实现岩体破碎，适配各类复杂岩层结构。综合机械化掘进依托成套掘进设备完成岩体切割、装运等一体化作业，施工整体连贯程度更高，多用于煤层质地均匀、地质结构稳定的作业区域。连续掘进技术适配浅层煤层与松软岩层的施工场景，能够实现巷道持续性挖掘作业。不同技术依托差异化的施工工艺与设备配置，适配各类井下地质环境与施工场景。

1.4 掘进作业适配技术条件

巷道掘进技术的合理选用，需要匹配井下现场的各类客观施工条件。岩层硬度、岩体完整性与地质构造复杂程度，是影响掘进技术选用的核心地质条件。井下作业空间大小、通风状态与运输条件，直接制约掘进设备的选型与施工工艺的落地。煤层赋存的深度、岩层应力状态与地下水分布情况，会改变掘进作业的施工难度。井下作业的施工规划与巷道设计标准，也会对掘进技术的应用形式形成约束。各类技术条件相互结合，决定掘进作业的工艺选择与施工模式，保障井下掘进施工的平稳开展。

2 巷道支护核心技术类型及应用方式

2.1 刚性支护技术应用形式

刚性支护依靠高强度硬质结构构件搭建支护体系，依托结构自身刚度抵御井下岩体产生的压力作用。这类支护技术以硬性支撑结构承载围岩荷载，限制巷道围岩出现位移与形变问题。井下施工中多通过规整搭建钢制支架、混凝土衬砌等结构完成支护作业^[2]。硬质支护构件会紧密贴合巷道围岩表面，形成封闭稳定的支撑体系，约束岩壁岩体的松散开裂现象。整体结构具备较强抗压

能力,能够稳定承接顶板与侧壁岩体传递的作用力,维持巷道整体空间形态的固定状态,有效抵御围岩形变带来的施工隐患。

2.2 柔性支护技术应用形式

柔性支护技术摒弃高强度硬性支撑模式,利用具备形变适配能力的支护材料开展围岩防护作业。常用施工形式包含锚杆锚固、锚索张拉以及金属网铺设等工艺。各类柔性支护构件可以跟随围岩的轻微形变调整受力状态,逐步释放岩体内部蓄积的应力。支护材料可与围岩岩体紧密结合为整体结构,调动围岩自身承载能力分担外部压力。这类技术不会强行约束岩体形变,通过适配围岩动态变化的方式提升巷道整体稳定性,弱化应力集中对巷道结构造成的破坏作用。

2.3 复合支护技术应用形式

复合支护技术整合刚性支护与柔性支护的技术优势,搭建多层级的巷道防护体系。施工过程会搭配柔性锚固构件固定浅层围岩,规避表层岩体松散脱落问题。刚性支撑结构会布置于外层位置,承接整体围岩荷载,强化巷道外部结构的稳定性能。两种支护工艺相互配合,兼顾应力释放与高强度承载的施工需求。多层防护结构可以分层抵御不同深度岩体产生的作用力,弥补单一支护技术的性能短板,全面提升巷道整体防护能力与结构稳定性。

2.4 不同支护技术的适用场景

各类巷道支护技术的选用需要匹配井下地质环境与巷道施工需求。刚性支护更适配围岩压力稳定、岩质地坚硬的井下作业区域,能够长期维持巷道结构形态。柔性支护适合应用于围岩形变活跃、岩体应力波动较大的作业地段,适配岩体动态变化特性。复合支护多用于地质条件复杂、围岩破碎程度较高的巷道区域,应对多重地质因素带来的施工风险。依据井下岩层状态、巷道服务周期与开采施工需求匹配对应支护技术,能够切实提升井下巷道施工与运行的安全水平。

3 巷道掘进与支护技术协同应用要点

3.1 掘进与支护工序衔接方式

巷道掘进施工与支护施工的有序衔接,是保障井下作业连续推进的核心基础。井下巷道挖掘作业完成后,裸露围岩会逐步出现应力释放的状态,岩体结构稳定性持续下降。施工流程会把控合理的间隔时段,在岩体形变处于可控范围时开展支护施工,减少围岩松动脱落的概率。掘进作业推进固定距离后,即刻停止挖掘操作,转入巷道修整与支护施工环节^[3]。根据岩层稳定性调整两段工序的间隔长度,稳定岩层可适度拓宽掘进进

尺范围,破碎岩层需要缩短掘进段落长度并快速落实防护作业。科学调配两道工序的穿插节奏,能够有效规避巷道空顶时间过长引发的安全隐患。

3.2 采掘同步支护作业规范

采掘联动支护作业依托井下施工节奏建立标准化作业准则,适配常态化井下开采施工场景。挖掘作业推进过程中,提前布设基础防护结构,对新暴露的顶板与巷壁进行初步防护。后续精细化支护作业紧随挖掘进度逐步落实,逐步完善整体支护体系的搭建。作业开展过程中严格把控空顶区域的范围,杜绝超范围裸露围岩作业行为。支护构件的布设密度与安装质量需要贴合掘进施工进度,保证防护作业紧跟挖掘施工节奏。统一化的作业标准能够规范现场施工行为,让挖掘与防护作业形成紧密联动的施工整体。

3.3 复杂巷道工况下技术适配方式

地质条件复杂的巷道施工场景中,掘进与支护技术需要做出针对性调整适配现场工况。围岩破碎程度较高的施工区域,可采用短进尺、快防护的施工模式,缩减岩体裸露时长。地压活动频繁的巷道区域,优化支护结构布设形式,强化支护体系的形变适配能力与整体承载能力。存在地质构造带的作业区域,调整掘进施工角度与进尺深度,搭配分层防护的施工模式稳固围岩结构。结合井下现场岩体状态、地压活动规律调整施工工艺,能够让掘进与支护技术充分适配复杂多变的井下施工环境。

3.4 掘进支护一体化作业管控重点

一体化施工模式的落地运行,需要依托精细化的现场管控手段作为支撑。施工团队需要把控掘进进尺的精准度,保证巷道成型质量符合施工设计标准,为支护结构搭建提供规整的作业基础。严格管控支护构件的安装精度与贴合程度,保障支护结构可以充分发挥防护性能。实时跟进现场施工状态,及时调整不合理的施工节奏与工艺参数。强化施工全过程的质量把控,规范各环节施工操作标准,减少施工偏差带来的结构隐患。

4 巷道掘进与支护技术优化路径

4.1 掘进施工工艺优化方向

井下掘进施工工艺的升级改造,能够有效提升岩体破碎质量与巷道成型精度。传统掘进作业模式存在施工精度不足的问题,岩体破碎均匀性难以把控,极易在巷壁岩体内部滋生细微裂隙,破坏岩层原生完整结构。施工工艺优化可以从切割作业方式入手开展全面改良,调整设备作业姿态与行进角度,减少机械扰动对周边完整岩体的损伤程度^[4]。结合煤层与岩层的硬度差异、岩体结构完整状态,动态匹配合理的作业进度,科学把控单次

挖掘深度,让岩体剥离过程保持平稳有序的状态。持续优化巷道修整作业模式,及时清理作业面留存的松散岩块,对凹凸不平的巷壁结构进行平整处理。精细化的工艺调整可以大幅提升巷道成型规整度,减少围岩形变、松动等不良现象,为后续支护作业搭建稳定规整的施工基面,从源头提升整体施工质量。

4.2 支护结构布设优化方式

支护结构布设形式直接影响巷道整体稳定承载能力,传统统一化布设模式存在明显应用局限。井下围岩受力状态具备空间差异性特征,顶板与巷道两侧岩壁承受的岩体荷载存在明显区别,固定的布设标准无法适配全域围岩防护需求。施工开展阶段可以依托围岩真实受力分布特征,灵活调整支护构件的排布密度。岩体荷载集中的区域增加构件排布数量,提升整体结构的荷载承载上限。常规支护构件的组合搭配形式可以做出合理调整,优化锚固杆件的埋置角度与入土深度,提升支护结构和岩体的贴合紧密程度。对外层防护结构的搭建形式进行改良,平衡整体结构各处受力状态,规避局部受力过载引发的结构变形与破损问题,充分释放支护体系的整体防护效能。

4.3 施工流程精细化优化策略

完善的施工流程是保障掘进支护作业有序推进的核心基础,精细化整改可以全面提升作业质量与施工效率。传统施工流程划分形式较为粗放,各作业环节的管控标准相对模糊,容易造成工序衔接松散、现场操作不规范等各类问题。细化井下施工各环节的作业标准,统一岩体清理、巷道整形、构件安装的实操规范,全面标准化现场施工行为。系统梳理各类作业环节的推进顺序,优化工序穿插节奏,精简各类无效作业环节,压缩非必要作业时长,稳步提升整体施工推进速率。强化隐蔽施工环节的全过程管控,搭建完善的质量把控机制,及时整改各类不规范施工行为。优化后的流程体系可以补齐传统施工模式的各类短板,构建更加规范严谨的井下施工运行体系。

4.4 技术适配性升级改进思路

井下地质环境始终处于动态变化状态,固化的施工技术与作业模式难以适配复杂多变的井下开采工况。技术升级工作需要贴合并下现场真实施工条件完成动态优化,结合岩层构造形态、地压活动强度以及巷道使用周期,调整适配的施工实施方案。破碎围岩、深部地层等特殊作业场景,对掘进与支护施工有着更高的技术要求,针对性改良原有施工工艺存在的短板缺陷,能够有效增强技术应用的环境适配能力^[5]。依据现场围岩形变规律、岩体松动特征调整掘进推进模式与支护布设方案,让施工技术完全适配不同地质条件下的作业需求。持续迭代更新井下施工技术体系,淘汰老旧滞后的作业手段与施工理念,逐步形成适配多类复杂工况的成熟施工模式,稳步提升井下巷道建设的综合品质。

结束语

巷道掘进与支护技术的合理选用与协同配合,构成煤炭采矿井下作业的技术根基。掘进工艺的精度控制、支护结构的场景适配以及两者之间的工序衔接,共同决定着巷道的成型质量与服役稳定性。从工艺优化、结构布设调整到流程精细化管控,技术改进的每一个环节都在回应井下地质环境的动态变化。持续推动掘进与支护技术的深度融合,有助于提升井下巷道建设的综合技术水平,为煤炭开采作业的安全高效运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1]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.
- [2]孔磊,宋士涛.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术应用[J].科技资讯,2024,22(20):212-215.
- [3]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.
- [4]李骁龙.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].矿业装备,2024(12):67-69.
- [5]王斌.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].矿业装备,2023(7):128-130.