

煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术

王立东

宁夏王洼煤业有限公司 宁夏 固原 756504

摘要: 煤矿采矿工程中, 巷道掘进与支护技术是保障安全、提升效率的关键。掘进技术涵盖钻爆法、综合机械化掘进及连续采煤机掘进等, 适用于不同地质条件。支护技术则包括锚杆支护、锚索支护、U型钢支护及联合支护等, 旨在增强围岩稳定性。通过合理选择掘进与支护技术, 结合地质条件优化施工方案, 可显著提升巷道掘进效率, 降低安全风险, 为煤矿高效开采提供坚实保障。

关键词: 煤矿采矿工程; 巷道掘进; 支护技术

引言: 在煤矿采矿工程里, 巷道掘进与支护是核心环节, 关乎开采作业的顺利推进与人员设备安全。随着煤炭资源开采向深部延伸、开采强度增大, 地质条件愈发复杂, 对巷道掘进效率和支护稳定性提出更高要求。传统的掘进与支护技术, 在应对复杂地质时, 逐渐暴露出效率低、安全性不足等问题。因此, 深入探究先进的巷道掘进与支护技术, 对于提升煤矿开采水平、保障安全生产, 具有极其重要的现实意义。

1 煤矿采矿工程巷道掘进技术分析

1.1 常见掘进方法及适用条件

(1) 钻爆法: 工艺流程主要包括钻孔、装药、爆破、通风、排矸及支护等环节。其优点是设备投入少、适应性强, 可应对复杂断面巷道掘进; 缺点是爆破后围岩稳定性受影响, 作业效率较低且安全性较差。适用地质条件为坚硬岩层、地质构造复杂区域, 以及中小型煤矿或临时巷道掘进。(2) 综合机械化掘进: 核心是实现截割、装运、支护协同作业, 通过掘进机完成截割破岩, 配套刮板输送机或带式输送机转运矸石, 同步进行锚杆、锚索支护。具有掘进效率高、作业人员少、安全性好的优势, 适用中厚煤层、稳定岩层及大断面巷道的规模化掘进。(3) 连续采煤机掘进: 以连续采煤机为核心设备, 兼具采煤与掘进功能, 配套转载机、锚杆机等实现高效作业。特点是机动性强、循环作业快, 主要适用于短壁开采、薄煤层及边角煤回收, 以及中小型煤矿的快速掘进工程。

1.2 掘进效率影响因素

(1) 地质条件: 断层、褶皱等地质构造会增加破岩难度, 松软岩层易引发坍塌, 高瓦斯、涌水等情况需额外开展安全管控, 均会降低掘进效率。(2) 设备选型与参数优化: 掘进机功率、截割头转速等参数与岩性不匹配, 或设备老化、配套设备协同性差, 会导致作业中断频繁, 影

响掘进连续性。(3) 施工组织与管理: 施工人员技能水平、作业流程衔接、安全管控措施及调度合理性, 直接决定掘进循环效率, 管理混乱易引发工期延误^[1]。

1.3 掘进技术发展趋势

(1) 智能化掘进装备: 依托物联网、大数据技术, 开发具备智能截割、自主导航、远程操控功能的掘进设备, 实现掘进参数实时优化与无人化作业, 提升掘进精度与安全性。(2) 绿色掘进技术: 重点发展高压喷雾降尘、干式除尘等减尘技术, 采用低噪声设备与隔音装置降噪, 推广节能型掘进装备与余热回收系统, 减少掘进过程对环境的污染, 实现绿色矿山建设目标。

2 煤矿采矿工程巷道支护技术体系与优化

2.1 支护技术分类与原理

(1) 被动支护: 核心力学机制是承受围岩变形产生的荷载, 通过自身强度约束围岩破坏。其中锚杆(网)依靠锚杆锚固力将松动围岩与稳定岩体联结, 形成承载结构; 锚索借助超长锚固深度传递围岩荷载至深部稳定岩层, 提升支护承载力; 金属支架通过刚性支撑直接抵御围岩压力, 适用于围岩破碎、变形量较小的巷道。

(2) 主动支护: 通过主动施加作用力改善围岩力学状态, 抑制围岩变形。注浆加固利用浆液填充围岩裂隙, 胶结松散岩体, 提升围岩整体性与强度, 适用于松软破碎围岩巷道; 充填支护通过充填材料填充巷道空隙, 平衡围岩应力, 适用于采空区周边或围岩塌陷风险较高的区域; 让压支护通过支护结构的可控变形吸收围岩能量, 适用于围岩变形量大的深部或软岩巷道。

2.2 支护设计方法

(1) 经验类比法: 基于相似地质条件、巷道参数的已建工程支护经验, 确定支护方案, 具有简便高效的特点, 但精度受经验局限性影响较大; 理论计算法以悬吊理论、组合梁理论等为核心, 通过分析围岩与支护的力

学平衡关系,计算支护参数,适用于地质条件相对简单的巷道设计。(2)数值模拟与监测反馈优化设计:借助FLAC3D、UDEC等数值模拟软件,模拟不同支护方案下的围岩应力与变形规律,筛选最优方案;同时通过现场监测围岩位移、应力等数据,动态反馈支护效果,实时调整支护参数,提升设计的科学性与适应性^[2]。

2.3 特殊地质条件下的支护技术

(1)软岩巷道:采用高预应力锚杆+注浆联合支护技术,高预应力锚杆可提前约束围岩变形,注浆加固改善软岩力学性能,二者协同形成高强度支护体系,有效控制软岩大变形。(2)深部巷道:受高地应力影响显著,采用高强度支护与围岩协同控制技术,通过高强度锚杆锚索、高强金属支架提供足够支护阻力,同时配合卸压钻孔等措施释放围岩应力,实现支护与围岩的协同承载。(3)动压巷道:受采动影响频繁,采用吸能支护与动态加固技术,利用吸能支架、阻尼器等吸收采动冲击能量,同时通过二次注浆等动态加固措施,及时补强围岩强度,抵御动压破坏^[3]。

3 煤矿采矿工程巷道掘进与支护协同作业模式

3.1 传统施工模式的问题分析

传统施工中,掘进与支护多为串行作业,掘进工序完成一段距离后,需暂停掘进工作切换至支护工序。这种工序脱节使得设备闲置时间长,作业循环周期被拉长,无法实现连续施工。例如在中厚煤层巷道掘进中,传统模式下掘进后需等待支护班组进场、搭建作业平台、实施锚杆锚索支护,平均每循环闲置时间可达2-3小时,大幅降低了巷道掘进的整体效率。同时,工序分离易导致支护不及时,掘进后暴露的围岩在无支护状态下易发生变形、坍塌,不仅增加了后续支护的难度和成本,还存在极大的安全隐患。此外,串行作业模式下,掘进与支护班组的协调配合难度大,易出现工序衔接不畅、施工进度延误等问题,进一步制约了施工效率的提升。

3.2 快速掘进-支护一体化技术

(1)掘锚一体机协同作业案例:某大型煤矿在厚煤层大断面巷道掘进中,采用EBZ260H型掘锚一体机实施一体化作业。该设备集成了掘进、锚杆钻孔、锚杆安装等功能,在掘进机完成截割破岩的同时,配套的锚杆钻机可同步开展顶板及侧帮锚杆的钻孔与安装作业,实现了掘进与支护的平行作业。作业过程中,掘锚一体机截割头截割岩石后,刮板输送机及时转运矸石,锚杆钻机通过机械臂精准定位钻孔位置,采用液压动力完成钻孔,随后自动推送锚杆并完成锚固。通过该一体化技术,巷道掘进循环进尺从传统模式的1.8米提升至3.5米,

月掘进效率提升60%以上,同时减少了作业人员数量,降低了因工序切换带来的安全风险,支护质量也得到显著提升^[4]。(2)连采机+锚杆钻机协同作业案例:在某中小型煤矿短壁开采巷道施工中,采用连续采煤机与锚杆钻机协同作业的一体化模式。连续采煤机负责快速截割岩石并完成矸石的初步转运,配套的锚杆钻机紧随其后,开展支护作业。为实现高效协同,通过优化施工流程,明确连采机与锚杆钻机的作业间距控制在10-15米,连采机采用多循环短进尺的掘进方式,为锚杆钻机预留安全作业空间。同时,配备专用转载输送机实现矸石连续转运,避免因矸石堆积影响两道工序的协同推进。该模式下,短壁巷道月掘进效率提升50%,有效解决了传统模式下短壁开采巷道掘进效率低、支护不及时的问题,大幅提升了边角煤资源的回收利用率。

3.3 信息化施工管理

(1)巷道变形监测系统:采用激光扫描与光纤传感相结合的巷道变形监测系统,实现对巷道围岩变形的实时、精准监测。激光扫描设备安装在巷道顶部,通过360度扫描获取巷道断面的三维数据,对比不同时期的扫描结果,可精准计算出巷道的收敛量、下沉量等变形参数;光纤传感系统则通过在围岩内部布设光纤传感器,实时感知围岩应力变化和变形趋势,当变形量接近预警阈值时,系统自动发出警报。例如某深部煤矿在巷道施工中应用该监测系统,成功预警了3次围岩较大变形,为及时调整支护方案、采取加固措施提供了精准的数据支撑,有效避免了坍塌事故的发生^[5]。(2)支护质量动态评估与预警平台:构建基于大数据的支护质量动态评估与预警平台,整合锚杆锚固力检测数据、支护材料性能参数、现场施工影像等多源信息。平台通过预设的评估模型,对支护质量进行实时评估,重点分析锚杆锚索的锚固效果、支护密度、支护强度等关键指标是否满足设计要求。当出现锚杆锚固力不足、支护间距超标等问题时,平台立即发出预警,并精准定位问题区域,推送至现场施工管理人员的移动终端。同时,平台可对支护质量数据进行趋势分析,为后续支护方案的优化提供数据支持。通过该平台的应用,某煤矿支护质量合格率从92%提升至98%,大幅降低了因支护质量问题导致的巷道返修率,保障了掘进与支护协同作业的顺利推进。

4 工程案例分析

4.1 工程概况

(1)矿井地质条件:本次案例选取某国有重点煤矿3号煤层掘进工作面,该区域煤层平均厚度4.2m,倾角8°-12°,属于近水平中厚煤层。围岩以砂质泥岩和粉砂岩为

主, 普氏硬度 $f = 3-5$, 局部存在断层破碎带, 涌水量较小($1.2\text{m}^3/\text{h}$), 瓦斯含量为 $0.8\text{m}^3/\text{t}$, 属于低瓦斯矿井, 地质条件整体相对稳定, 但破碎带区域需重点管控。(2) 巷道用途及设计参数: 该巷道为回采工作面运输巷, 主要承担煤炭运输、设备转运及人员通行任务。设计断面为矩形, 净宽 5.0m 、净高 3.2m , 净断面面积 16.0m^2 , 设计掘进长度 1200m 。巷道采用锚网索支护体系, 设计服务年限5年, 需满足回采期间的通风、运输及安全保障要求。

4.2 技术方案选择

(1) 掘进方法: 综掘与连采对比分析。从适用性来看, 综掘适用于中厚煤层大断面长距离掘进, 匹配本巷道 1200m 长距离、 16m^2 大断面的需求; 连采机更适用于短壁开采或边角煤掘进, 难以满足本巷道长距离连续作业要求。从效率来看, 综掘机截割功率大, 配套带式输送机可实现连续转运, 预计月掘进效率 $300-350\text{m}$; 连采机虽机动性强, 但配套设备转运效率有限, 月掘进效率约 $220-260\text{m}$ 。从成本来看, 综掘设备初始投入较高, 但长距离作业单位成本更低; 连采设备投入相对较低, 但连续作业稳定性差, 后续维护成本较高。综合对比, 最终选用EBZ320型综掘机进行掘进作业。(2) 支护方案: 锚杆+锚索+钢带联合支护设计。针对本区域围岩特性, 采用主动与被动支护结合的联合体系: 顶板选用 $\Phi 22\text{mm} \times 2400\text{mm}$ 高强度螺纹钢锚杆, 间排距 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$; 锚索选用 $\Phi 17.8\text{mm} \times 6300\text{mm}$ 低松弛钢绞线, 间排距 $1600\text{mm} \times 1600\text{mm}$, 每排3根; 配套 $\Phi 12\text{mm}$ 钢筋网(网格 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$)及W型钢带(宽 280mm 、厚 3mm)增强支护整体性。断层破碎带区域额外增设注浆锚杆, 通过浆液填充裂隙, 提升围岩承载能力, 确保支护可靠性。

4.3 实施效果评价

(1) 掘进速度、支护成本、围岩变形量等数据对比: 实施后, 巷道月均掘进效率达 332m , 较计划提前28天完成掘进任务, 较连采机预计效率提升 27.7% ; 支护成本为 $1280\text{元}/\text{m}^2$, 较传统单一锚杆支护降低 15.3% , 较连

采机配套支护成本降低 11.2% ; 通过激光扫描监测, 巷道顶底板最大下沉量为 85mm , 两帮最大收敛量为 62mm , 均控制在设计允许的 150mm 限值内, 变形量较未采用联合支护的同类巷道减少 40% 以上。(2) 经济效益与社会效益分析: 经济效益方面, 提前完成掘进任务减少工期成本约 126万元 , 高效掘进与低成本支护累计节约费用 238万元 ; 巷道稳定运行降低返修率, 减少维护费用 45万元 , 同时保障回采工作面顺利衔接, 提升煤炭产量约 3.2万吨 , 新增产值 1600万元 。社会效益方面, 综掘技术减少作业人员8人, 降低劳动强度的同时提升作业安全性, 施工期间未发生安全事故; 绿色掘进配套措施减少粉尘排放, 改善作业环境, 符合绿色矿山建设要求, 为同类地质条件矿井提供了可借鉴的技术方案。

结束语

煤矿采矿工程中, 巷道掘进与支护技术是保障开采安全、高效推进的基石。通过不断探索与实践, 先进掘进装备与智能化技术提升了掘进效率, 多样化支护体系增强了巷道稳定性。然而, 面对复杂多变的地质条件, 仍需持续创新技术、优化方案。未来, 应进一步融合智能化、绿色化理念, 推动掘进与支护技术协同发展, 为煤矿安全、高效、可持续发展筑牢坚实的技术支撑, 助力煤炭行业迈向更高水平。

参考文献

- [1]李德均,董岩,孙计云,等.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J].矿业装备,2022(5):57-59.
- [2]郭晓辉.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J].当代化工研究,2022(7):108-110.
- [3]李鹏.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的运用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(24):145-146.
- [4]王飞云.关于采矿工程巷道掘进与支护技术探讨[J].当代化工研究,2023(1):149-151.
- [5]李乾.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].矿业装备,2022(5):152-153.