

煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析

李 跃

内蒙古仲泰能源集团有限公司宏景塔分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要: 煤炭采矿工程通过数字化建模优化掘进路径,减少人员井下暴露风险;同时加强煤岩界面识别技术,以应对深部开采的地质挑战。掘进与支护协同作业需以智能装备联动、工序无缝衔接、数据动态调控为核心,通过设备协同(如掘锚一体机)、工艺匹配(动态调整参数)及人员组织优化,实现安全与效率双提升。

关键词: 煤炭采矿工程;巷道掘进;支护技术

煤炭采矿工程巷道掘进技术是煤矿开采的核心环节,其效率和安全性直接影响资源回收率与生产效益。通过巷道掘进技术应用与创新,巷道掘进效率、安全性及资源利用率将显著提升,为煤矿可持续发展提供支撑。

1 煤炭采矿工程巷道掘进技术

1.1 巷道掘进技术分类。凿岩爆破掘进,主要用于硬岩或半煤岩巷道,采用毫秒雷管全断面一次爆破技术,总延期时间控制在130ms以内,以减少围岩扰动。配套设备包括耙斗装载机、蟹爪装载机等,长距离掘进中采用转载机提升调车效率。联合掘进机技术,悬臂式掘进机(如ELM型、AM-50型)适用于中硬以下煤层,具备破煤、装煤、运输一体化功能,月进尺可达1300米以上。配套运输方式包括链板输送机或仓式列车,结合锚喷支护或金属支架保障稳定性。水力掘进技术,应用于水力采煤区,利用高压水射流破煤并通过溜槽自流运输,适合煤层松软、地质条件简单的场。

1.2 关键技术要点。断面优化设计,根据巷道服务年限、围岩压力选择拱形(如直墙半圆拱)、梯形或矩形断面,提升结构稳定性和利用率。小煤柱开采技术,通过缩小护巷煤柱宽度(如从20米优化至7米),增加工作面长度,提高资源回收率10万吨以上,同时降低维护成本。需结合煤柱内应力、塑性区分布及相邻巷道变形数据,采用理论计算与现场经验综合确定煤柱尺寸。智能化与预测技术,如某能源集团开发的“帮部围岩片帮预测方法”专利,通过动态监测围岩应力变化,提前预警片帮风险。自动化和少人化技术逐步推广,减少井下作业人员并提升环境安全。

1.3 设备选型与配套。掘进设备选择,硬岩条件下优先选用凿岩爆破+机械化装载组合;中硬以下煤层采用悬臂式掘进机。极端复杂地质条件(如深部高应力)需定制化掘进方案,结合支护同步优化。运输系统配套,短距离巷道采用链板输送机;长距离配合仓式列车或连续

运输系统,减少停机时间。

2 现代煤炭采矿工程巷道掘进技术特点分析

2.1 技术类型多样性。煤巷与岩巷差异化掘进,煤巷以煤层为主(断面占比 $\geq 4/5$),需兼顾运输设备尺寸与瓦斯防爆要求,巷道强度和环境控制要求高。岩巷以岩层为主(断面占比 $\geq 4/5$),需采用岩石掘进机等专用设备,支护需适应岩石变形和长期稳定性需求。半煤岩巷为复合结构,施工需平衡煤层与岩层特性,支护方式需动态调整。掘进方式适配性,硬岩层以钻爆法为主,结合光面爆破减少超挖,配套机械化装载提升效率。中硬以下煤层多采用悬臂式掘进机或连续采煤机,实现破煤、装运一体化,月进尺可达1300米以上。

2.2 安全风险控制强化。瓦斯与顶板隐患防控,煤层巷道施工需强化瓦斯监测与探放水措施,避免瓦斯爆炸及老空区透水风险^[1]。软岩或强采动条件下易引发顶板离层和大变形,需采用高强锚索、单元式支撑装置等主动支护技术。动态监测与参数优化,引入智能化系统(如应力传感器、AI算法)实时监测围岩变形,动态调整掘进速度与支护参数。

2.3 高效快速掘进技术发展。掘锚一体化技术突破,传统掘锚机组集成掘进与支护功能,减少设备换位时间,但支护耗时仍较长。新型掘锚一体化设备(如连续采煤机升级版)实现“掘、锚、运”同步作业,单巷掘进效率提升30%以上。机械化与智能化协同,综掘法形成掘进机-支护设备-运输系统全流程机械化链,减少人工干预。5G通信技术实现设备远程操控与数据实时传输,优化掘进路径与安全预警^[2]。

2.4 复杂条件下的适应性。深部开采挑战应对,高地应力、软岩大变形区域需采用柔性支护(如可缩式支架)和动态补强技术。冲击地压风险区域引入吸能支护材料,结合微震监测系统实现风险预判。短服务周期巷道优化,采区巷道服务周期短(1个月至1年),允许0.3-

1.0m收敛量,采用可复用支护结构(如快速安装锚杆)降低成本。

3 如何提升煤炭采矿工程巷道掘进效率

3.1 技术装备升级。盾构机应用,在硬岩巷道中引入矿用盾构机(如晋能控股塔山矿“盾构1号”),通过“掘进、换步、支护、出渣”四步工作法,单月进尺可达613米,效率较传统综掘提升3-4倍。配套智能化远程操作系统,优化破碎围岩控制和破岩技术,减少设备故障导致的停机时间。

3.2 生产管理强化。设备维护与组织优化,实施设备包机制,定期检修关键设备(如链板输送机、锚杆钻车),减少突发性故障导致的停工。优化劳动组织,通过“同步掘进、同步支护、同步出矸”工艺,提升正规循环率与劳动效率。激励机制创新,制定“掘进提效突出区队额外嘉奖”政策,通过正向激励提升队伍积极性,如运河煤矿通过奖励措施使单进水平显著提高。

3.3 智能化技术融合。多元感知与智能控制,应用应力传感器和AI算法实时监测围岩变形,动态调整掘进速度与支护参数,减少片帮冒顶风险。5G通信技术实现设备远程操控与数据实时传输,优化掘进路径与安全预警响应速度^[3]。数字化矿山协同,构建掘进-支护-运输全流程智能调控系统,如陕煤集团通过数字化技术打破“重采轻掘”传统观念,推动掘进工艺革新。

4 煤炭采矿工程支护技术应用

4.1 主动支护技术。锚杆支护,锚杆通过锚入煤岩体形成锚固层,配合金属网与隔离布收集破碎煤体,防止支护失效,同时采用阻燃抗静电材料降低自燃风险。锚杆参数需根据巷道围岩强度动态调整,高强锚索在深部高应力区域可显著提升支护稳定性。锚网索协同支护,增强支护系统整体性,适用于复合顶板或强采动影响区域。锚网喷支护,锚杆+金属网+喷射混凝土联合支护,适用于节理发育或破碎围岩,增强整体承载能力。锚杆钢带(梁)支护,锚杆与钢带/钢梁组合,形成连续支护结构,用于围岩强度较高但存在局部破碎的巷道。金属网与隔离布组合,金属网收集碎煤,底部阻燃抗静电隔离布防止煤体自燃,并通过通风孔增强散热。

4.2 超前支护技术。超前管棚支护,在掘进面前方安装钢支架与长钢管,形成超前锚固层,加固破碎岩体并控制顶板下沉。适用于断层带或软岩大变形区域,减少掘进过程中片帮冒顶风险。注浆锚杆超前加固,通过注浆锚杆向破碎岩体注入水泥浆,胶结硬化后形成承载拱,提升围岩自承能力。

4.3 动态补强技术。柔性支护与可缩结构,深部高应

力区域采用可缩式支架或吸能材料,允许围岩适度变形以释放应力,避免刚性支护失效。结合实时监测数据,动态调整支护密度与强度,适应围岩变形阶段性特征。单元式支撑装置,在顶板离层区域安装单元式支撑装置(如液压支柱群),局部补强并平衡顶板压力分布^[4]。

4.4 小煤柱优化与支护协同。小煤柱尺寸设计,通过理论计算与现场实测(如煤柱内应力、塑性区分布),将护巷煤柱宽度从20米优化至7米,降低支护压力并提升资源回收率。小煤柱区域需强化帮部锚杆支护密度,配合注浆加固煤柱内部裂隙。

4.5 绿色支护技术。可复用支护结构,采用快速安装/拆卸锚杆、模块化钢带等可回收支护材料,降低支护成本并减少资源浪费。短服务周期巷道允许0.3-1.0m收敛量,优先选用轻量化临时支护方案。

4.6 特殊场景支护技术。注浆加固支护,针对破碎围岩,通过注浆锚杆填充裂隙,提高围岩整体强度。U型钢可缩性支架,在顶板压力超限时支架可收缩变形,暂时释放围岩压力,适用于深部开采。

5 煤炭采矿工程支护效果评估方法

5.1 数值模拟评估。力学模型构建,基于巷道围岩物理力学参数(如弹性模量、抗压强度),建立三维有限元模型,模拟不同支护方案下的应力分布与变形规律,预测支护结构承载能力。结合原岩应力场分析,评估高应力区支护失效风险,优化锚杆排距、预紧力等参数。动态仿真验证,通过模拟采动影响下的围岩渐进破坏过程,验证支护系统对顶板离层、底鼓等变形的控制效果,对比不同支护方案的适应性。

5.2 现场监测评估。围岩变形监测,采用位移计、激光测距仪实时监测巷道顶底板收敛量及两帮移近量,设定预警阈值(如单月收敛量超过200mm需补强支护)。通过多点位移计测量围岩内部裂隙扩展深度,评估锚固层对破碎岩体的约束效果。支护结构性能检测,利用锚杆拉力计、超声波检测仪评估锚杆锚固力衰减情况,检测锚杆断裂或松动风险。对钢带、金属网等构件进行无损探伤,确保支护材料抗拉强度与耐久性满足设计要求^[5]。

5.3 围岩稳定性分级评估。地质力学参数综合分级,基于岩体基本质量指标(RQD值、岩层倾角、裂隙密度),划分围岩工程稳定性等级(I-V级),针对性匹配支护强度。引入“岩体工程质量指标”,整合岩体强度、地应力与支护响应参数,建立量化评估体系。灾害风险预测,结合地质勘探数据(如断层带、软岩夹层分布),构建冒顶、片帮概率模型,评估支护系统对复杂地质条件的适应性。

5.4 经济与工程效果综合评估。成本效益分析,对比支护材料投入与巷道维护成本(如返修率、补强频次),评估支护方案的经济性,优选高性价比技术组合。工程效率验证,统计支护施工耗时与巷道服务周期内稳定性数据,验证“支得快、支得住”目标的达成度(如锚杆支护效率提升30%以上为达标)。

6 煤炭采矿工程巷道掘进支护技术应用要点

煤炭采矿工程巷道掘进支护技术应用要点可归纳为以下关键方向:

6.1 关键影响因素把控。围岩强度控制,围岩强度直接影响支护参数设计,需通过锚杆支护等技术增强围岩自承能力,降低顶板位移风险。地应力分布需结合围岩承载能力评估,避免应力集中导致支护失效^[6]。地质条件适应性,需综合水文、岩层结构等因素选择掘进工艺(如钻眼爆破或机械掘进)。在破碎顶板区域,优先采用高强度锚杆联合金属网、钢带等复合支护技术。支护材料与设备匹配,支护材料需根据地质条件定制,如选择高强度锚杆、可缩性金属支架或 π 型钢梁等。设备技术需满足机械化需求,例如采用单元式支撑装置替代传统单体液压支柱,提升支护效率。

6.2 支护技术选择要点。锚杆支护技术,全球煤炭行业主流技术,需结合围岩特性设计锚杆密度、长度及预紧力,形成有效承载结构^[7]。破碎顶板可采用“锚杆+金属网+钢带”组合支护,增强抗变形能力。新型机械化支护方案,单元式支撑装置适用于工作面顺槽超前支护,实现机械化操作并减少人工干预。液压支柱改造优化后可用于顺槽支护,提升支护强度与安全性。动态支护设计,需根据掘进过程中顶底板变化动态调整支护参数,例如采用可缩性支架适应顶板下沉。

6.3 掘进工艺优化方向。掘进设备高效协同,采用

煤矿巷道掘进机配合运输设备(如刮板输送机),提升破煤、装煤效率。针对复杂地质条件,结合修复机进行扩帮卧底,优化巷道断面尺寸。施工流程标准化,钻眼爆破需精准计算炸药剂量与切口尺寸,避免岩层过度损伤。在围岩较弱区域,采用单向掏槽法降低掘进风险。

6.4 安全与效益平衡。安全保障措施,通过水力压裂技术阻隔采动应力传递,减少动压对巷道的扰动。支护方案需兼顾顶板稳定性与底板承压能力,避免支护盲区。经济效益提升,机械化支护技术可减少人工成本与材料浪费,例如单元式装置取消传统单体支柱工序。优化支护材料采购标准,避免因材料质量不足引发安全隐患。

综上所述,巷道掘进支护需综合地质条件、围岩强度及设备技术,以锚杆支护为核心,结合动态调整与机械化创新,实现安全高效开采。关键点包括围岩强度控制、支护材料适配、机械化技术应用及动态设计优化。

参考文献

- [1]王超.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,2023(14):160-162.
- [2]王文峰.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].矿业装备,2023(07):128-130.
- [3]李伟.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].自动化应用,2023,64(08):135-137+140.
- [4]郭涛.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].矿业装备,2022(02):66-67.
- [5]武志.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用探析[J].矿业装备,2022(02):166-167.
- [6]志林勋.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J].石化技术,2020,27(09):220+272.
- [7]吴鑫.浅谈煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[J].当代化工研究,2020(11):106-107.