

煤矿大断面巷道掘进支护技术的设计

杨永峰

神华新街能源有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 本文围绕煤矿大断面巷道(断面面积 $\geq 20\text{m}^2$)掘进支护技术设计展开研究,结合GB/T15663.2-2023规范,阐述其核心特征与影响因素,遵循地质适配、安全可靠等原则,完成支护形式选型、参数优化及数值模拟验证,明确施工工艺、质量控制与安全保障措施,构建科学完善的支护体系,实现掘进效率与围岩稳定性的平衡,为煤矿大断面巷道安全高效施工提供技术支撑与实践参考。

关键词: 煤矿大断面;巷道;掘进支护技术;设计

引言: 随着煤矿开采向深部延伸,大型采煤设备广泛应用,断面面积 $\geq 20\text{m}^2$ 的大断面巷道需求日益增加,但其受力复杂、围岩应力集中,易出现变形坍塌隐患,支护难度显著高于中小断面巷道。当前部分支护方案存在参数不匹配、工艺不合理等问题,制约施工安全与效率。因此,开展煤矿大断面巷道掘进支护技术设计研究,优化支护方案与施工工艺,对保障煤矿生产安全、提升开采效益具有重要现实意义。

1 煤矿大断面巷道掘进支护相关基础理论

1.1 煤矿大断面巷道核心界定与特征

(1)大断面巷道的界定标准:结合GB/T15663.2-2023煤矿科技术语行业规范,结合煤矿生产实际需求,明确断面面积 $\geq 20\text{m}^2$ 为大断面巷道核心界定依据,主要适配大型采煤设备通行、通风及运输需求,区别于常规中小断面巷道的功能定位与施工要求。(2)大断面巷道的结构与功能特征:断面形态多为矩形、拱形,适配井下空间利用需求;服务周期长,多为永久或半永久巷道;受力环境复杂,开挖后围岩应力集中明显,易出现变形、坍塌隐患,稳定性控制难度大。(3)大断面巷道掘进与支护的核心需求:核心是兼顾掘进效率与围岩稳定性,实现快速掘进的同时,通过科学支护控制围岩变形,保障巷道服务周期内的安全性,满足井下设备、人员通行及通风运输的基本需求^[1]。

1.2 巷道掘进支护核心理论基础

(1)围岩应力分布理论:巷道开挖后原岩应力发生重新分布,形成应力降低区与应力集中区,应力集中特性显著,需通过支护措施缓解应力集中,避免围岩因应力过载破坏。(2)锚杆锚索支护机理:基于悬吊理论、叠加梁理论、组合拱理论,通过锚杆锚索的锚固作用,将松散围岩悬吊于稳定岩层,形成整体承载结构,增强围岩自身承载能力,抑制围岩变形。(3)动态信息设

计理论:遵循“地质力学评估-初始设计-监测反馈-优化完善”核心逻辑,结合现场实测数据,动态调整支护方案,确保支护参数与实际地质、施工条件匹配,提升支护可靠性。

1.3 大断面巷道掘进支护的影响因素

(1)地质条件因素:围岩强度、煤层倾角、地质构造及地下水均会影响支护效果,其中软岩围岩、大倾角煤层、断层构造及富水环境,会显著增加支护难度与变形风险。(2)工程设计因素:断面尺寸越大,支护难度越高;掘进工艺合理性直接影响围岩扰动程度;支护参数匹配性不足会导致支护失效,无法有效控制围岩变形。(3)施工与环境因素:施工精度偏差会破坏围岩完整性,支护时机滞后易加剧围岩松动;井下潮湿、粉尘等作业环境,会影响支护材料性能与施工质量。

2 煤矿大断面巷道掘进支护方案设计原则与前期准备

2.1 掘进支护方案设计核心原则

(1)地质适配原则:结合井下围岩类别,针对硬岩、软岩及破碎围岩等不同地质,选用锚杆锚索、喷锚等适配支护形式,避免与地质条件脱节,保障支护有效。(2)安全可靠原则:围绕支护体系承载能力,结合大断面巷道应力集中、易变形特点优化参数,抵御围岩变形、应力冲击及坍塌风险,保障施工及后期使用安全。(3)经济高效原则:兼顾安全与经济,杜绝过度支护浪费,优化工艺、简化流程,在控成本的同时提升施工效率,实现安全与效益平衡。(4)动态优化原则:摒弃固定设计,结合现场监测数据,跟踪围岩变形及应力变化,及时调整支护参数和形式,确保与现场工况匹配。

2.2 前期地质勘察与参数获取

(1)工程地质勘察内容:重点开展煤层、顶底板岩层特性勘察,明确煤层厚度、硬度及分布规律,查清顶底板岩层的岩性、完整性及稳定性;全面排查断层、裂

隙等地质构造, 预判地质构造对巷道掘进支护的影响。

(2) 围岩力学参数测试: 采用单轴压缩、巴西劈裂、剪切试验等常用测试方法, 精准获取围岩抗压强度、抗拉强度、剪切强度等核心力学参数, 为支护方案设计、支护参数计算提供科学依据。(3) 勘察数据整理与分析: 对勘察获取的各类数据进行系统汇总、校验, 剔除无效数据; 结合围岩力学参数及地质条件, 开展围岩稳定性分级评价, 明确不同区段围岩的稳定等级, 为后续工艺选型和支护设计提供支撑^[2]。

2.3 掘进工艺选型与支护时机确定

(1) 大断面巷道掘进工艺选型: 结合围岩稳定性、施工效率需求, 合理选型; 综合机械化掘进适配围岩较稳定、断面规整的区段, 具有效率高、扰动小的优势; 爆破掘进适配围岩较破碎、坚硬岩层区段, 可灵活适配复杂断面。(2) 支护时机优化: 严格遵循短掘短支原则, 根据围岩稳定性分级, 确定合理滞后支护时间, 软岩、破碎围岩区段缩短滞后时间, 硬岩区段合理调整, 避免围岩长时间暴露导致松动、变形。(3) 掘进与支护工序协同设计: 统筹规划掘进与支护工序, 明确各工序的作业时长、衔接流程, 避免工序冲突; 优化工序衔接细节, 实现掘进后及时支护, 提升施工效率, 同时减少围岩扰动。

3 煤矿大断面巷道掘进支护关键技术设计与参数优化

3.1 主要支护形式选型设计

(1) 锚杆支护设计: 根据围岩强度分级选型, 硬岩区段选用高强度螺纹钢锚杆, 直径选用22-24mm、长度2.4-2.8m; 软岩及破碎围岩区段选用中空注浆锚杆, 直径25-28mm、长度2.8-3.2m, 确保锚杆与围岩适配, 增强锚固可靠性。(2) 锚索支护设计: 选用高强度低松弛锚索, 规格优先采用 $\Phi 17.8\text{mm} \times 6300\text{mm}$ 、 $\Phi 18.9\text{mm} \times 7300\text{mm}$, 结合围岩应力计算确定预紧力为120-150kN, 实现深层锚固, 将松散围岩与深部稳定岩层连接, 强化支护承载能力。(3) 联合支护设计: 采用锚网索+钢带/梯子梁+喷射混凝土协同支护方案, 锚杆锚索提供主动锚固力, 钢带、梯子梁分散应力、固定锚杆间距, 喷射混凝土封闭围岩、防止风化, 形成全方位、多层次的支护体系, 提升围岩整体稳定性。(4) 特殊地段支护设计: 断层破碎带采用超前小导管注浆+U型钢棚联合支护, 超前注浆加固破碎围岩, U型钢棚增强局部承载; 高应力区域选用锚索桁架支护, 搭配卸压孔卸除集中应力, 防范围岩变形破坏^[3]。

3.2 支护参数精准优化

(1) 锚杆锚索间排距优化: 基于围岩应力计算与数

值模拟结果调整, 硬岩区段锚杆间排距设为 $800 \times 800\text{mm}$ - $1000 \times 1000\text{mm}$, 锚索间排距 $2000 \times 2000\text{mm}$; 软岩区段缩小至 $700 \times 700\text{mm}$ - $800 \times 800\text{mm}$, 锚索间排距 $1800 \times 2000\text{mm}$, 避免应力集中。(2) 锚固剂选型与锚固长度设计: 软岩、破碎围岩采用全长锚固, 选用树脂锚固剂, 锚固长度不小于1.2m; 硬岩区段采用端头锚固, 锚固长度0.8-1.0m, 兼顾锚固效果与施工效率, 确保锚杆锚索发挥最优锚固作用。(3) 支护材料性能参数确定: 锚杆抗拉强度不低于600MPa, 锚索抗拉强度不低于1860MPa, 配套托盘、螺母选用高强度钢材, 承载力与锚杆锚索匹配; 喷射混凝土强度等级不低于C20, 厚度100-150mm, 保障支护材料性能达标^[4]。

3.3 掘进支护数值模拟验证

(1) 数值模拟模型构建: 结合工程实际断面尺寸、地质参数, 采用FLAC3D软件构建数值模型, 设定模型尺寸适配巷道埋深与断面大小, 明确边界约束条件、围岩力学参数及支护结构参数, 确保模型贴合现场实际。(2) 支护效果模拟分析: 模拟巷道掘进与支护全过程, 分析围岩位移量、应力分布规律及支护结构受力情况, 重点监测顶板、两帮位移及锚杆锚索受力峰值, 判断支护方案的合理性与可行性。(3) 基于模拟结果的参数修正: 针对模拟中出现的围岩位移过大、支护受力不均等问题, 调整锚杆锚索间排距、预紧力及支护材料参数, 优化联合支护方案, 直至模拟结果满足围岩控制要求, 为现场施工提供科学依据。

4 煤矿大断面巷道掘进支护施工工艺与质量控制

4.1 掘进支护施工工艺流程设计

(1) 掘进施工流程: 综合机械化掘进时, 严格按设计断面截割, 截割顺序遵循“由上至下、由中到边”, 避免超挖、欠挖; 爆破掘进需精准控制炸药用量与炮孔布置, 确保断面成型规整。装岩采用机械化装岩设备, 清理断面浮矸, 避免浮矸堆积影响后续工序; 运输选用刮板输送机或胶带输送机, 规范运输线路, 确保矸石运输顺畅, 减少工序延误。(2) 支护施工流程: 遵循“先锚后网、先支后护”原则, 先按设计钻孔安装锚杆, 施加规定预紧力后铺设金属网, 再安装钢带/梯子梁并固定牢固; 锚杆锚索安装完成后, 进行喷射混凝土施工, 喷射顺序从顶板到两帮、从下至上, 确保喷射均匀, 封闭围岩。(3) “掘-支-运”协同施工流程优化: 合理规划作业区域, 划分掘进、支护、运输专属作业带, 避免设备交叉干扰; 采用平行作业模式, 掘进作业的同时准备支护材料、检修运输设备, 减少设备等待时间; 优化工序衔接时间, 明确各工序作业时长, 提升整体作业效率。

4.2 关键施工工序质量控制要点

(1) 锚杆锚索安装质量控制: 钻孔精度需满足设计要求, 孔径、孔深偏差不超过 $\pm 50\text{mm}$, 孔位偏差不超过 100mm ; 锚固力检测每循环抽检, 锚杆锚固力不低于 80kN , 锚索不低于 120kN , 不合格者立即补打; 预紧力施加严格按标准执行, 锚杆预紧力矩不低于 $300\text{N}\cdot\text{m}$, 锚索预紧力控制在 $120\text{--}150\text{kN}$ 。(2) 喷射混凝土施工质量控制: 严格按设计配合比搅拌混凝土, 水泥、砂石、外加剂比例精准, 搅拌均匀; 喷射厚度控制在 $100\text{--}150\text{mm}$, 偏差不超过 $\pm 10\text{mm}$, 表面平整、无裂缝、无露筋; 强度检测按规范抽样, 28天抗压强度不低于C20标准, 不合格区段及时补喷加固。(3) 特殊地段施工质量管控: 超前支护严格按设计参数施工, 超前小导管注浆压力控制在 $1.5\text{--}2.0\text{MPa}$, 确保注浆饱满; 断层破碎带施工时, 缩小掘进循环进尺, 采用短掘短支, 及时加固围岩, 防止破碎矸石掉落, 确保支护结构牢固^[5]。

4.3 支护效果监测与动态调整

(1) 监测指标与监测方案设计: 监测指标包括围岩位移(顶板下沉量、两帮收敛量)、支护结构受力(锚杆锚索受力、钢带应力); 监测点按“每 $5\text{--}10\text{m}$ 布置1组, 特殊地段加密至每 3m 1组”的原则布置, 顶板、两帮各设1个位移监测点, 锚杆锚索上安装应力传感器。

(2) 监测数据采集与分析: 采用自动化监测设备实时采集数据, 每日整理汇总, 绘制位移-时间、应力-时间曲线, 分析围岩变形趋势与支护结构受力状态; 若位移速率超过 2mm/d 、应力超过设计值 80% , 立即发出预警, 判断支护有效性。(3) 基于监测结果的支护方案调整: 针对监测中发现的围岩变形过大、支护受力不均等问题, 及时缩小锚杆锚索间排距、增大预紧力, 或增设U型钢棚加强支护; 对变形严重区段, 采取注浆加固措施, 优化支护方案, 确保围岩稳定。

4.4 施工安全保障措施

(1) 现场作业安全防护: 高空作业人员必须系安

全带、戴安全帽, 作业平台搭设牢固; 交叉作业时设置隔离防护设施, 明确作业顺序, 避免高空坠物、机械伤害; 井下作业佩戴防尘、防毒防护用品, 改善作业环境。(2) 设备安全管理: 建立掘进、支护设备日常检修台账, 每日作业前检查设备运转状态, 重点检修液压系统、电气系统, 及时排查故障隐患; 安装设备故障预警装置, 发现异常立即停机检修, 严禁设备“带病作业”, 定期对设备进行校准、维护。(3) 应急处置措施: 制定围岩坍塌、支护失效等突发情况应急预案, 配备应急物资(千斤顶、注浆设备、急救器材); 定期开展应急演练, 明确应急处置流程与人员职责, 突发情况时立即启动预案, 撤离作业人员, 采取加固、抢险措施, 降低事故损失。

结束语

煤矿大断面巷道掘进支护技术设计需兼顾安全性、经济性与高效性, 本文基于围岩应力分布等核心理论, 结合前期勘察数据, 完成支护选型、参数优化、施工管控及安全保障全流程设计, 通过数值模拟与现场监测实现动态优化, 有效解决围岩变形、支护失效等难题。该设计贴合工程实际, 可直接应用于现场施工, 后续可结合深部开采“三高一扰动”特点, 进一步优化支护技术, 提升适配性与可靠性。

参考文献

- [1]岳辉.大断面煤巷快速掘进支护技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2022,(24):55-57.
- [2]王志诚.煤矿大断面巷道掘进支护技术的设计与应用[J].现代工业经济和信息化,2022,12(06):344-346.
- [3]张妙生.复杂条件下大断面巷道掘进支护技术研究[J].煤,2022,31(05):84-86.
- [4]李坤.煤矿大断面巷道快速掘进与支护技术研究[J].机械管理开发,2021,36(08):209-210.
- [5]辛奇,刘春升,冯浩.煤矿大断面巷道快速掘进与支护技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(15):46-47.