

大断面煤巷锚网索支护施工技术研究与应用

张勇军

郑煤集团大平煤矿 河南 登封 452470

摘要: 本文以煤矿大断面煤巷为背景,分析其复杂地质条件与围岩变形特征,阐述锚网索支护设计原理,优化支护方案与参数,针对特殊地段提出补强设计。研究施工关键技术,明确质量控制标准与围岩监测方案。实践表明,优化后的锚网索支护技术有效控制围岩变形,保障施工安全,降低工程成本,为类似工程提供参考,推动煤矿巷道支护技术发展。

关键词: 大断面煤巷; 锚网索支护; 围岩控制; 施工工艺

引言: 大断面煤巷在煤矿生产中地位关键,承担煤炭运输、设备通行及通风等重要任务。然而,其施工面临顶板暴露面积大、围岩稳定性差、地质条件复杂等诸多难题,传统支护方式难以满足需求。锚网索支护作为高强度主动支护技术,能有效强化围岩自身稳定性。本文围绕大断面煤巷锚网索支护施工技术展开研究,旨在探索科学合理的支护方案与施工工艺,保障巷道安全稳定。

1 大断面煤巷工程地质条件及围岩变形特征

1.1 工程概况

本次研究以煤矿大断面煤巷为工程背景,该巷道为矿井东翼采区主运输大巷,设计总长度 2800 米,采用直墙半圆拱断面,净宽 6.8 米,净高 4.8 米,净断面面积 26.5 平方米,掘进断面面积 30.8 平方米,设计服务年限 20 年。巷道主要承担煤炭运输、设备通行及通风任务,是矿井生产的核心通道。巷道掘进采用综掘工艺,施工过程中需穿越复杂地质区域,面临顶板暴露面积大、围岩稳定性差等难题。工程施工涉及 3 个掘进队、1 个支护队及多个管理部门,施工人员配置充足,同时需兼顾平行作业时的通风、运输协同问题,整体施工难度较大,对支护技术和施工管理提出了较高要求。

1.2 地质条件分析

该大断面煤巷所处地质条件复杂,穿越岩层以中粒砂岩(占比 45%)、砂质页岩(30%)及煤层(15%)为主,岩石坚固性系数 $f = 3-4$,岩体完整性较差,裂隙发育较为普遍。巷道揭露 3 条落差大于 3 米的正断层(F1、F2、F3),其中 F2 断层带宽 8-15m,存在突水风险,最大涌水量预计 $25\text{m}^3/\text{h}$ 。矿井属低瓦斯矿井,瓦斯绝对涌出量 $0.8\text{m}^3/\text{min}$,煤尘具有爆炸危险性^[1]。巷道埋

深最大达 680m,属于高地应力区域,采动应力影响显著,煤柱帮围岩侧向支撑应力呈“马鞍状”分布,两侧垂直应力分布不对称,这些地质因素共同导致巷道围岩易发生变形、破碎,给支护和施工安全带来极大挑战。

1.3 围岩变形破坏机制与特征

大断面煤巷围岩变形破坏主要受地质条件、地应力及施工扰动三重因素影响,其破坏机制以拉剪破坏为主,伴随局部压溃破坏。受采动应力作用,围岩变形呈现明显的阶段性特征,依次经历无明显变形、缓慢变形、快速变形、再缓慢变形,最终趋于稳定的过程。变形特征主要表现为顶板下沉、两帮内挤、底鼓明显,其中顶板和煤柱帮变形量最为突出,采用传统锚杆支护时,顶板、煤壁帮和煤柱帮的表面平均最大收敛量较大。围岩破坏多从裂隙发育处开始,逐步向深部扩展,形成松动圈,若支护不及时或支护强度不足,易引发顶板垮落、两帮片帮等事故,严重影响巷道稳定性和施工安全。

2 大断面煤巷锚网索支护设计原理与方案优化

2.1 锚网索支护基本原理

大断面煤巷锚网索支护属于高强度主动支护技术,其核心原理是通过锚杆、金属网、锚索三者协同作用,将巷道围岩由“被动承压”转化为“主动承载”,实现围岩自身稳定性的强化。锚杆主要作用于巷道围岩浅层,通过树脂锚固剂与孔壁黏结,对浅层围岩施加预紧力,约束浅层岩体的变形和位移,防止局部岩块脱落;金属网可将分散的岩块“编织”成整体,填补锚杆之间的支护盲区,阻止碎块掉落;锚索则深入巷道深部稳定岩层,通过超长锚固段将浅层支护结构与深部稳定围岩连接,传递围岩应力,抵抗高地压导致的大变形,三者

协同形成“浅层约束、深层锚固”的立体支护体系，有效控制围岩变形，保障巷道稳定。

2.2 支护设计原则与依据

锚网索支护设计作为保障地下工程安全的关键环节，始终严格遵循“安全可靠、经济合理、技术可行、动态调整”的核心原则，并坚持“先护后掘、分层支护、实时监测”的施工导向。在具体实施中，设计依据涵盖四大维度：其一，基于详实的工程地质勘察资料，通过地质雷达探测、钻孔取芯等手段，精确获取围岩岩性、裂隙发育程度、地应力分布特征、断层构造及涌水量等关键参数，为支护参数设计提供基础数据支撑；其二，严格参照《煤矿巷道支护技术规范》等 20 余项行业规范标准，确保支护结构强度、锚固深度等指标符合安全要求；其三，充分借鉴同类型地质条件下成功支护案例，运用工程类比法优化设计方案，避免重复性试错；其四，通过现场原位试验获取支护体受力变形数据，结合 FLAC3D 数值模拟分析，形成“理论计算-模型验证-现场反馈”的闭环论证体系。设计过程中特别注重支护效果与经济性的平衡，采用动态设计理念，根据监测数据及时调整支护参数，在确保围岩长期稳定的前提下，通过优化锚杆间距、索体规格等措施降低工程投资，实现安全与效益的双控目标^[2]。

2.3 支护构件选型

结合巷道地质条件和支护需求，对锚网索支护构件进行科学选型，确保构件性能与围岩条件匹配。锚杆选用高强度螺纹钢锚杆，直径 20-22mm，长度 2.0-2.5m，配套高强度树脂锚固剂、托盘及螺母，锚固剂选用中速型，确保锚固速度与施工进度匹配，锚杆抗拉强度和锚固力满足设计要求。金属网采用菱形网，网孔规格 50mm×50mm~100mm×100mm，丝径 4-6mm，网片尺寸根据巷道断面裁剪，相邻网片搭接长度不小于 100mm，保证整体防护效果。锚索采用高强度低松弛钢绞线，18.9-21.8mm，长度 8-12m，配套专用锚索托盘、锁具及树脂锚固剂，确保锚索能深入深部稳定岩层，提供足够的锚固力。

2.4 锚网索支护参数优化设计

基于巷道地质条件和围岩变形特征，对锚网索支护参数进行优化设计，摒弃传统经验化设计模式，采用理论计算与现场试验相结合的方式确定参数。锚杆布置采用矩形排列，顶板锚杆间排距为 700×800mm，两帮锚杆间排距为 700×800mm，钻孔方向与巷道轮廓线垂直，孔深比锚杆长度长 100-150mm。锚索按“隔排布

置、菱形排列”的方式布置，间距比锚杆大，重点补强巷道顶板中部、两帮肩部等应力集中区域，锚索间排距为 1400×1600mm，孔深比锚索长度长 100-200mm。同时根据围岩破碎程度和地应力大小，动态调整锚杆、锚索的长度和间排距，确保支护强度与围岩荷载相匹配，相比原支护方案，优化后围岩变形量降幅超过 20%。

2.5 特殊地段支护补强设计

针对巷道断层破碎带、交叉硐室、高地应力段等特殊地段，制定专项支护补强方案，确保特殊地段巷道稳定。断层破碎带采用“注浆加固+锚网索联合支护”模式，先通过注浆孔注入水泥-水玻璃双液浆，封堵导水通道、胶结破碎岩体，注浆压力控制在 2.5-3.0MPa，注浆完成后再施工锚网索支护，加密锚杆、锚索布置密度。交叉硐室（如井底车场三岔口）最大跨度达 9.5m，采用“锚网索+钢拱架”复合支护，钢拱架间距 500mm，与锚网索协同作用，承受三维应力。高地应力段（埋深 > 600m）增加锚索数量，采用长锚索深入稳定岩层，同时安装应力传感器，实时监测围岩应力，根据监测数据动态调整补强方案，防范围岩大变形。

3 大断面煤巷锚网索支护施工关键技术

3.1 施工准备工作

施工准备工作是保障锚网索支护施工质量和安全的基础，主要包括地质探查、材料设备准备和巷道清理三个方面。地质探查采用超前钻探、地质雷达与瑞利波勘探相结合的方式，每次超前探测 30m，明确巷道围岩的岩性、破碎程度、裂隙发育及地应力大小，确定支护参数调整依据^[3]。材料设备准备需严格控制材料质量，对锚杆、锚索、锚固剂等材料进行进场检验，确保符合设计要求；施工设备选用锚杆钻机、锚索张拉机具、搅拌机、扭矩扳手等，提前进行调试，确保设备正常运行。巷道清理需在掘进后及时清除顶帮浮矸、危岩，平整围岩表面，标定锚杆、锚索钻孔位置，确保布孔均匀、符合设计要求，为后续支护施工创造良好条件。

3.2 施工工艺流程

大断面煤巷锚网索支护施工遵循“先护后掘、分层支护”的原则，具体工艺流程清晰有序，主要分为六个步骤：第一步，巷道掘进成型后，立即进行顶帮浮矸清理，做好安全防护；第二步，按标定位置进行锚杆钻孔，钻孔完成后用高压风将孔内岩粉吹净；第三步，安装锚杆与锚固剂，搅拌均匀后套上托盘、拧紧螺母，达到设计预紧力；第四步，铺设金属网，相邻网片搭接牢固，绑扎紧密，确保无松动；第五步，

进行锚索钻孔、清孔，安装锚索与锚固剂，待锚固剂凝固后进行张拉锁定；第六步，对支护质量进行初步检查，合格后进入下一段施工，部分工况可增加喷射混凝土工序，强化支护效果，整个流程确保各工序衔接顺畅，避免出现支护盲区。

3.3 核心工序施工技术要点

锚网索支护施工的核心工序包括锚杆施工、锚索施工和金属网铺设，各工序需严格把控技术要点。锚杆施工要点：钻孔方向必须与巷道轮廓线垂直，孔位偏差不超过 100mm，孔深误差不大于 $\pm 50\text{mm}$ ；锚固剂搅拌时间严格按型号控制，确保混合均匀、黏结牢固；螺母拧紧需达到设计预紧力，用扭矩扳手复检，防止松动。锚索施工要点：采用大功率钻机钻孔，确保孔道通畅；锚索插入后需充分搅拌锚固剂，确保锚固段饱满；张拉锁定时需逐步施加预应力，达到设计值后锁定，避免张拉过度或不足。金属网铺设要点：网片紧贴围岩表面，搭接长度符合要求，绑扎点间距不大于 200mm，确保网片平整、牢固，有效阻挡碎块掉落。

3.4 施工安全保障措施

为确保锚网索支护施工安全，制定全方位的安全保障措施，覆盖施工全过程。一是建立安全管理制度，明确各岗位安全职责，开展安全培训和技术交底，提高施工人员安全意识和操作技能。二是现场安全防护，施工人员必须佩戴安全帽、安全带等防护用品，巷道内设置警示标识，严禁违规作业；高空作业时搭设安全平台，防止人员坠落。三是通风与瓦斯管理，采用双风机双电源压入式通风，风筒出口距工作面距离符合要求，安装瓦斯监控系统，实行一炮三检制度，瓦斯浓度超标时立即停止施工。四是防治水措施，完善排水系统，设置临时和永久水仓，对断层带提前注浆封堵，防范突水事故，确保施工安全有序进行。

4 锚网索支护施工质量控制与围岩监测

4.1 施工质量控制标准

锚网索支护施工质量控制严格遵循行业规范和设计要求，制定明确的质量控制标准，重点把控四个核心环节。一是钻孔质量标准，孔位、孔深、孔径必须符合设计要求，孔道无堵塞、无偏斜，钻孔方向偏差不超过 5° 。二是锚固质量标准，锚杆、锚索锚固力必须达

到设计值，锚杆锚固力抽检合格率不低于 95%，锚索预应力抽检合格率不低于 100%，锚固剂搅拌均匀、凝固充分。三是构件安装标准，托盘必须贴紧围岩表面，无松动、歪斜现象，金属网搭接牢固、绑扎紧密，锚索外露长度符合设计要求。四是整体质量标准，支护后巷道轮廓线偏差不超过 $\pm 150\text{mm}$ ，顶板无明显下沉，两帮无片帮现象，定期进行质量复检，发现问题及时整改，确保支护质量达标。

4.2 围岩变形监测方案设计

为实时掌握围岩变形规律，及时调整支护策略，设计科学完善的围岩变形监测方案，实现对巷道围岩的全过程管控。监测内容主要包括顶板离层、顶底板及两帮移近量、锚杆锚索载荷等^[4]。监测点布置：顶板离层仪每 50m 设置 1 个测点，深部基点埋深 5m，浅部基点 2m；收敛计按每 50m 设置 1 个监测断面，监测顶底板及两帮移近量；锚杆测力计每 300 根锚杆抽样 1 组（3 根），监测锚固力。监测频率：施工期间每天监测 1 次，围岩变形稳定后每 3 天监测 1 次，临近工作面回采时加密至每天 2 次。监测预警：设定顶底板移近量 $\leq 150\text{mm}/\text{月}$ 、深部位移 $\geq 50\text{mm}$ 报警，发现数据异常立即停止施工，采取补强支护措施，确保巷道稳定。

结束语

大断面煤巷锚网索支护施工技术研究与应用成效显著。通过深入分析地质条件与围岩变形特征，优化设计支护方案与参数，针对性处理特殊地段，掌握施工关键技术并严格把控质量与监测，有效控制围岩变形，保障施工安全与巷道稳定。该技术不仅适用于本研究工程，也为类似大断面煤巷支护提供宝贵经验，推动煤矿巷道支护技术不断进步，助力煤矿安全高效生产。

参考文献

- [1] 吕金帅. 大断面煤巷锚网索联合支护研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(19): 76-78.
- [2] 孟武峰, 董社, 秦伟超. 采空区下煤巷锚网索支护技术研究及应用 [J]. 煤炭工程, 2022, 54(5): 54-58.
- [3] 武润虎. 大断面沿空煤巷锚索桁架非对称支护技术研究 [J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(9): 11-13, 20.
- [4] 许守琦, 宋庆飞. 大断面煤巷掘进与支护参数优化研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(9): 163-165.