

锚网支护技术在回采巷道中的应用实践

聂德州

河南神火煤电股份有限公司新庄煤矿 河南 永城 476600

【摘要】：回采巷道受采动压力、围岩破碎和断面变形影响，容易出现顶板下沉、两帮收敛、支护结构失稳等问题，影响煤矿安全生产和采掘衔接。针对传统支护强度不足、适应性较差、变形控制效果不稳定等情况，采用锚网支护技术，通过优化锚杆间排距、提高锚固质量、加强顶帮联合支护、完善施工检测流程，形成主动承载和整体加固体系。实践表明，该技术可明显降低巷道围岩变形量，减少返修频次，提升支护可靠性和回采作业连续性。

【关键词】：锚网支护技术；回采巷道；围岩控制；顶板管理；支护优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.065

引言

回采巷道处于煤层开采活动直接影响区域，顶板压力集中、两帮变形明显、底鼓风险突出，支护质量直接关系到工作面推进效率和井下作业安全。传统棚式支护或单一锚杆支护在复杂围岩条件下容易出现承载滞后、局部失稳、维护量增加等情况，难以满足高强度回采条件下的稳定需求。锚网支护技术通过锚杆锚固、金属网护表、托盘压紧和锚索补强，使浅部破碎围岩形成连续承载结构，并将深部稳定岩层纳入受力体系。该技术在回采巷道中的应用，关键在于根据围岩性质、采动影响范围和巷道断面特征确定支护参数，确保支护结构同围岩变形协调匹配，为巷道安全使用提供可靠支撑。

1 回采巷道围岩受力特征分析

1.1 采动压力对巷道顶板的影响

采动压力作用下，回采巷道顶板原有应力平衡被打破，煤层内部应力向巷道两侧和顶板浅部集中转移，顶板容易形成拉伸裂隙、剪切裂隙和层间离层。工作面推进过程中，超前支承压力持续增强，顶板浅部破碎岩层承载能力下降，深部岩层与浅部岩层变形不协调，容易出现局部下沉、网兜变形和锚杆受力不均等现象。若支护结构不能及时形成主动约束，顶板裂隙会沿层面扩展，破碎岩块逐渐脱离稳定岩层，造成顶板整体性降低。锚网支护在该条件下需要突出主动加固和协同承载，通过锚杆预紧力压紧浅部岩层，利用金属网控制破碎岩体表面松动，再结合锚索向深部稳定岩层传递载荷，使顶板形成连续受力结构。

1.2 两帮变形产生的主要原因

回采巷道两帮变形主要源于煤体强度降低、侧向应力集中和采动扰动叠加影响。巷道开挖后，两帮煤体失去原有约束，靠近巷道表面的煤体首先发生压裂和剪切破坏，内部裂隙在高应力作用下逐步贯通，形成由浅入深的塑性破坏区。工作面回采期间，超前压力使两帮煤体承受更强的水平挤压，软弱煤层或节理发育区域容易出现片帮、鼓帮和支护构件外移^[1]。若锚杆锚固范围仅停留在松动圈内，支护结构难以调动深部煤岩体

承载能力，变形会持续向巷道空间释放。锚网支护应用中应根据两帮破坏深度确定锚杆长度和布置密度，加强帮部锚杆角度控制，配合钢筋网和托盘形成面状约束，减少煤体表层剥落和深部裂隙扩展。

1.3 围岩破碎程度对支护稳定性的影响

围岩破碎程度直接决定锚网支护结构的受力状态和稳定效果。破碎围岩内部裂隙多、完整性差、层间胶结能力弱，锚杆安装后容易出现锚固剂包裹不密实、孔壁塌落、锚固段受力不足等情况，导致锚杆预紧力难以有效传递。顶板破碎严重时，浅部岩体无法形成稳定承载拱，金属网会承受较大散体压力，托盘附近容易出现局部压碎和网片变形。帮部破碎严重时，煤岩体表层松散剥落速度加快，锚杆与围岩之间的咬合作用减弱，支护体系整体刚度下降。针对该类条件，应提高护表结构连续性，合理缩小锚杆间排距，增加锚固长度和锚索补强强度，并利用施工监测数据动态调整支护参数，使支护结构适应围岩破碎区扩展规律。

2 回采巷道支护薄弱环节识别

2.1 传统支护承载滞后问题

传统支护多以被动承载为主，支护结构通常在围岩产生明显变形后才逐步发挥约束能力，难以及时控制回采巷道初期松动和裂隙扩展。顶板受采动压力影响后，浅部岩层先发生离层和下沉，支架或棚式构件受力存在启动滞后，无法在围岩破坏早期形成有效压紧。两帮煤体发生侧向挤压时，传统支护对煤壁表层约束不足，支护点位之间容易形成空档，导致局部破碎区不断扩大。该类支护方式与现代矿井高强度、连续化开采要求不匹配，主要薄弱点体现在主动控制不足、受力传递不连续、支护参数调整滞后。回采巷道支护识别中，应重点关注支护结构介入时间、构件受力协调性和围岩变形响应速度。

2.2 锚固深度不足导致的失稳问题

锚固深度不足会使锚杆主要作用范围停留在浅部松动圈内，难以穿过破碎带进入相对稳定岩层，支护结构无法形成可靠悬吊和组合梁效应。回采巷道受超前压力影响时，顶板裂隙

向深部发展,两帮塑性区范围扩大,浅层锚固点容易随破碎围岩共同位移,造成锚杆拉拔力下降、托盘失压和网片松弛^[2]。锚固段长度偏短或锚固位置选择不合理,还会削弱锚杆与围岩之间的黏结强度,使预紧力难以传递到关键承载层。该问题在软弱夹层、节理裂隙发育和复合顶板条件下更加突出。支护薄弱环节识别应结合松动圈厚度、顶板分层结构和锚杆受力监测结果,判断锚固深度是否满足深浅部围岩协同控制要求。

2.3 护表能力不足引发的片帮冒顶问题

护表能力不足主要表现为金属网铺设不连续、搭接长度不足、托盘压紧不实和锚杆间排距偏大,导致破碎围岩表层缺乏连续约束。回采巷道顶板浅部岩体破碎后,零散岩块容易在自重和采动扰动作用下脱落,局部网片受力集中后出现鼓包、撕裂和下坠。两帮煤体受水平应力挤压时,表层煤块沿裂隙面剥离,若网片与煤壁贴合度不足,片帮范围会沿支护空隙持续扩展。护表结构失效还会降低锚杆托盘的压紧效果,使点状支护难以转化为面状控制。该薄弱环节识别应重点检查网片连接质量、搭接压茬方式、托盘受力状态和破碎围岩暴露面积,为锚网支护参数优化提供依据。

3 锚网支护技术参数设计

3.1 锚杆长度间排距优化方法

锚杆长度需根据巷道围岩破碎深度和超前压力分布进行分层设计,使锚杆既能穿透浅部松动岩层,又能充分锚固深部稳定岩体,实现整体承载协同。间距设计应遵循力学均匀分布原则,确保支护点间形成连续支撑网,避免产生受力空档或应力集中。顶板锚杆可采用梯度排布策略,上层锚杆布置密度稍大以控制浅部裂隙,下层锚杆保持较长锚固段以牵引深层岩体承载力,两侧帮部锚杆应与顶板锚杆形成承载互动,通过角度调整使水平与垂直分力均匀分布。优化排距过程中应结合巷道断面形态、岩层节理发育特征和施工可操作性,计算不同位置锚杆受力与预紧力传递效率,确保整体锚杆网络能够在采动作用下及时响应围岩变形,形成连续支撑体系,实现支护结构主动承载和深浅层协同加固。

3.2 金属网铺设搭接加固方法

金属网应覆盖顶板和帮部破碎围岩表面,形成连续护表结构,搭接长度需根据破碎岩体松散程度和支护荷载进行设计。网片搭接可采用交错铺设,确保连接节点受力均匀,并通过托盘或压板压紧至岩体表面,提高网片与围岩间摩擦力和附着稳定性。铺设过程中应注意网片与锚杆、锚索形成整体受力结构,使网片不仅承载表层松散块体重量,还能将荷载传递到锚杆和深层岩体。对高破碎或节理发育区域,应增设纵横向钢筋支撑或加密搭接点,增强局部刚度和抗拉强度,实现面状支撑效果^[3]。金属网材质和厚度应匹配巷道压力等级,结合预紧力监测数据动态调整搭接方式,使护表层在采动扰动下保持连续性和

承载能力,防止局部塌落或鼓包,提高顶板与两帮的整体稳定性。

3.3 锚索补强层位确定方法

锚索补强需选定关键破碎区和承载薄弱层位,将深部稳定岩层与浅部破碎带形成力学联系,增强整体支护刚度和承载能力。补强层位应根据围岩塑性深度、裂隙分布及两帮收敛趋势进行精准定位,使锚索沿破碎带纵向和横向分布,形成受力连续面。锚索张拉力应与锚杆预紧力和金属网压力匹配,实现多点协同加固,避免局部过载或应力集中。施工中应考虑锚索长度、锚固深度及安装角度,使深层受力有效传递至浅部托盘和网片,形成整体承载体系。锚索布置需兼顾施工可行性和动态监测需求,在不同采动阶段可调节张拉力,确保巷道顶板与两帮围岩在采动扰动下保持稳定,同时提升支护结构的韧性和延展性。

4 锚网支护施工控制措施

4.1 钻孔成型质量控制措施

钻孔成型质量直接影响锚杆、锚索的锚固效果,施工控制应从孔位、孔深、孔径、角度和孔壁完整性等环节同步落实。孔位布置需严格对应设计间排距,顶板孔应保持与岩层受力方向协调,帮部孔应根据煤壁破坏深度控制倾角,避免锚杆进入松散破碎带后无法形成有效锚固。孔深应满足锚固段进入稳定岩层的要求,过浅会削弱承载能力,过深则容易造成锚固剂充填不均。孔径应与锚杆直径和锚固剂规格匹配,孔径偏大会降低树脂包裹密实度,孔径偏小会影响锚杆送入和搅拌质量。钻进过程中应控制推进速度和钻杆稳定性,减少偏孔、塌孔和孔壁扩径现象。破碎顶板区域应及时清孔,排除煤粉、岩粉和积水,保证锚固剂与孔壁充分接触。智能化施工理念下,可通过钻机参数记录、孔深检测和成孔质量抽检提高施工可追溯性,为锚网支护质量验收提供依据。

4.2 锚固剂安装注入力控制措施

锚固剂安装质量决定锚杆锚固段的黏结强度和预紧力传递效率,施工中应保证锚固剂规格、数量、送入顺序和搅拌时间符合支护设计要求。树脂锚固剂应根据孔深和锚固长度合理配置,快速型与中速型材料应按规定顺序送入孔底,确保端部锚固和全长黏结效果协调^[4]。锚杆推进时应保持连续、稳定,避免锚固剂在孔内破裂不充分或堆积偏移。搅拌阶段需控制转速和时间,搅拌不足会造成树脂药卷混合不均,搅拌过度可能破坏初凝结构,影响早期承载能力。注入力控制应结合孔内阻力变化判断锚固剂填充状态,阻力异常时应及时排查塌孔、孔内残渣或药卷规格不匹配问题。安装完成后应保证足够凝固时间,再进行托盘压紧和预紧加载。绿色高效施工理念要求减少材料浪费和返工损耗,通过锚固剂用量精准控制、安装过程标准化和拉拔检测闭环管理,提高锚固质量稳定性。

4.3 托盘压紧预紧力检测措施

托盘压紧和预紧力检测是锚网支护由点状锚固转化为面状约束的关键环节, 施工中应确保托盘与围岩表面、金属网之间紧密贴合。托盘安装前应清理岩面松散块体, 凹凸不平区域可通过垫片或调平措施改善接触状态, 防止托盘受力偏斜和局部压碎。预紧加载应按照设计扭矩或张拉力分级完成, 顶板锚杆应优先保证托盘压实网片, 帮部锚杆应重点控制煤壁贴帮效果, 避免金属网悬空。检测过程中应采用扭矩扳手、锚杆拉拔仪或在线监测装置核验预紧力, 发现预紧不足、螺母松动、托盘变形等情况应立即复紧或更换。采动影响增强区域应增加复测频次, 掌握预紧力衰减规律, 并将检测结果反馈到支护参数调整环节。数字化矿山建设要求支护施工数据可记录、可追踪、可分析, 通过预紧力检测台账和异常点位闭环处理, 提升回采巷道锚网支护的可靠性。

5 锚网支护应用成效评价

5.1 顶板下沉控制效果

锚网支护在回采巷道顶板下沉控制中形成连续受力体系, 将浅部破碎岩层与深部稳定岩层有效耦合, 使顶板整体下沉量显著降低。锚杆预紧力传递到深部岩体, 金属网分散表层岩块压力, 托盘压紧形成面状约束, 顶板微小位移及时被支护结构吸收。监测数据显示, 采用优化锚杆长度和间排距的支护段, 顶板最大下沉速度明显减缓, 初期裂隙扩展得到抑制, 整体下沉趋势趋于稳定。结合动态监测结果, 可调整预紧力和网片张紧度, 实现采动扰动阶段的连续控制, 有效提高巷道顶板使用寿命和安全性, 同时降低局部破坏和顶板修复需求。

5.2 两帮收敛降低效果

锚网支护通过帮部锚杆、托盘和网片协同形成约束面, 将两帮煤体的水平位移限制在可控范围内, 减缓两帮收敛速度。深部锚固段牵引作用增强帮部刚度, 浅部金属网与托盘约束表层破碎岩块, 阻止裂隙沿水平面扩展。监测数据显示, 两帮最大收敛量较传统支护降低显著, 局部片帮剥落和鼓帮现象减少, 支护结构与围岩整体变形协调性提升^[5]。通过优化锚杆角度和锚索补强布置, 能够对受力薄弱区实施针对性控制, 实现支护刚度和韧性双重优化, 使巷道空间形态保持稳定, 为连续回采提供可靠条件。

5.3 巷道维护频次减少效果

锚网支护形成主动承载和整体加固体系后, 巷道局部破坏和松散块体脱落频率降低, 维护干预次数明显减少。托盘压紧和金属网连续约束有效减缓浅层岩体位移, 锚杆锚固深度充分发挥承载作用, 支护结构长期保持预紧状态。动态监测和施工反馈显示, 巷道返修作业集中在极少数高应力节点, 常规维护周期延长, 施工和生产干扰显著降低。通过支护参数优化、施工质量控制和监测数据闭环调整, 可实现支护结构长期稳定运行, 提高回采作业连续性和安全性, 同时降低维护成本和人力投入, 实现智能化、精细化支护管理。

6 结语

锚网支护技术应用于回采巷道, 可增强顶板、两帮及浅部破碎围岩的整体承载能力。合理设置锚杆长度、间排距、金属网搭接方式和锚索补强层位, 能够控制顶板下沉、两帮收敛及片帮冒顶问题。施工质量检测和动态监测协同推进, 可提升支护可靠性, 减少返修次数, 保障回采巷道安全稳定使用。

参考文献:

- [1] 蔡红财. 近距离煤层群回采巷道围岩稳定性分析及支护参数优化研究[D]. 贵州大学, 2025.
- [2] 崔立德. 煤层群采空区下回采巷道锚网索梁支护技术研究[J]. 能源与节能, 2025, (1): 124-126.
- [3] 李海斌, 刘伟. 厚层坚硬顶板回采巷道锚网索联合支护技术应用与评价[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(4): 151-153.
- [4] 金欢. 新疆兴陶大北矿松软特厚煤层回采巷道支护技术研究[D]. 辽宁工程技术大学, 2024.
- [5] 邓宏. 上榆泉煤矿近距离煤层群采空区下回采巷道布置及支护技术研究[D]. 中国矿业大学, 2023.