

煤矿巷道锚网索支护失效原因及预防措施研究

谷 伟

河南省郑州煤炭工业(集团)有限责任公司大平煤矿 河南 郑州 450000

摘 要: 本文围绕煤矿巷道锚网索支护失效展开研究。阐述锚网索支护的组成、作用机制与核心功能,分析失效表现形式,包括锚杆与锚索、金属网与连接部件、支护体系整体的失效情况。从围岩条件、支护设计与材料、施工工艺与管理等方面剖析失效原因,并提出基于围岩条件的支护优化设计、材料质量控制与选型改进、施工工艺规范化与质量管控、支护体系监测与维护等预防措施。

关键词: 煤矿巷道; 锚网索支护; 失效原因; 预防措施

引言: 煤矿巷道支护对安全生产至关重要,锚网索支护作为常用方式,能有效维持围岩稳定。然而,在实际应用中,锚网索支护常出现失效问题,影响巷道结构完整与开采作业安全。了解锚网索支护失效原因并采取预防措施,对保障煤矿生产安全、提高经济效益意义重大。本文将深入分析锚网索支护失效原因,并提出相应预防策略。

1 煤矿巷道锚网索支护的基础认知

1.1 锚网索支护的组成与作用机制

锚网索支护由锚杆、锚索、金属网及连接件构成。锚杆为杆状构件,一端带有螺纹可安装螺母,另一端呈尖状(或平底)插入钻孔。锚索是由多根钢丝绞合而成的柔性钢索,两端配有锚具用于固定^[1]。金属网多为菱形或矩形网格结构,边缘带有挂钩、孔洞以便拼接或搭接十字捆绑连接。连接件包括托盘、螺母等,用于将各组件固定成整体。锚杆与锚索通过钻孔植入围岩内部,金属网覆盖巷道表面并与锚杆、锚索的外露部分连接,形成立体支护体系。各组件通过协同作用维持围岩稳定。锚杆深入围岩后,通过托盘与螺母施加预紧力,使端部围岩形成压缩区,限制围岩径向膨胀。锚索长度大于锚杆,可延伸至更深层的稳定岩层,借助自身高强度承受围岩传递的拉力,平衡深层岩体的变形趋势。金属网覆盖在围岩表面,将分散的岩块连接成整体,阻止单个岩块松动掉落,同时将锚杆、锚索的锚固力传递至更大范围,使支护力均匀分布。这种协同作用使原本松散的围岩被约束成整体结构,抵抗外部压力对巷道的挤压。

1.2 锚网索支护的核心功能

约束围岩变形是锚网索支护的首要功能。在开采过程中,围岩受应力作用易发生膨胀或收缩,锚杆与锚索的拉力可抵消部分变形力,金属网则限制表层围岩的横向位移,使围岩变形控制在允许范围内。阻止裂隙扩展

通过锚固力实现,围岩中的天然裂隙在应力作用下可能延伸,锚杆与锚索的预紧力使裂隙两侧岩体紧密接触,减少裂隙扩展空间,维持岩体完整性。传递围岩荷载依靠支护体系的力学传导。围岩自身重量及外部压力通过金属网传递至锚杆和锚索,再由锚杆和锚索将荷载分散到稳定岩层,避免荷载集中导致局部岩体破坏。维护巷道断面形状需各组件共同作用,锚杆和锚索从内部提供支撑力,金属网从表面约束岩体坍塌,两者配合确保巷道不出现过度收缩或变形,保持断面尺寸稳定,为开采作业提供足够空间。这些功能相互配合,在开采过程中持续作用,保障巷道结构完整,减少因支护失效引发的安全隐患。

2 煤矿巷道锚网索支护失效的表现形式

2.1 锚杆与锚索的失效表现

锚杆松动常表现为与围岩之间出现间隙,在外力轻微扰动下发生晃动,原本施加的预紧力逐渐丧失,无法有效约束围岩的径向膨胀。断裂多发生在杆体中段或与托盘连接处,断裂后锚杆失去锚固作用,其所在区域的围岩失去约束,易出现局部岩块松动^[2]。锚固力不足时,锚杆虽未断裂但无法深入稳定岩层,在围岩压力作用下逐渐被拉出,导致该部位支护强度骤降。锚索张拉失效会使自身处于松弛状态,无法承担深层围岩传递的拉力,深层岩体的变形得不到有效控制。破断通常发生在锚索两端的锚具附近或钢索中段,破断后深层围岩失去向上的提拉约束,易向巷道内部挤压。与围岩脱离时,锚索虽保持完整但锚固端未深入稳定岩层,受力后整体滑移,深层加固作用完全丧失。这些情况会破坏支护体系的力学平衡,原本由锚杆和锚索共同承担的荷载分布失衡,部分区域因受力过大引发连锁失效,削弱支护体系的整体稳定性。

2.2 金属网与连接部件的失效表现

金属网撕裂多从网格节点或边缘开始,逐渐扩大形成不规则裂口,裂口处的岩块失去遮挡,易发生掉落。变形表现为网面出现波浪状凸起或凹陷,与围岩表面脱离接触,无法将锚杆和锚索的力传递至表层岩体,护表作用大幅下降。搭接处分离使相邻网片之间出现空隙,空隙处的围岩直接暴露,岩块易从缝隙中滑落。连接部件的松动会导致托盘与锚杆、锚索之间出现间隙,预紧力无法有效传递至围岩,锚杆和锚索的锚固作用被削弱。损坏的配件如变形的托盘、滑丝的螺母,无法与锚杆、锚索紧密连接,金属网与锚杆、锚索之间的固定关系松动,网片在围岩压力下发生位移,护表效果进一步恶化。这些问题会破坏支护体系的整体性,金属网无法形成连续的防护面,锚杆和锚索的作用力难以均匀分布,支护体系对表层围岩的控制能力显著下降。

2.3 支护体系整体失效表现

局部组件失效若未及时处理,会引发连锁反应。某根锚杆断裂后,其周边的锚杆受力增大,可能相继出现松动或断裂,进而导致该区域金属网撕裂,表层围岩失去约束向巷道内变形。这种局部失效逐渐扩散,会使巷道顶板在重力作用下出现下沉,初期表现为轻微的弧度变化,随后下沉幅度逐渐增大,形成明显的凹陷。两帮内挤多伴随顶板下沉发生,巷道两侧的岩壁在压力作用下向中间倾斜,原本规整的断面逐渐变窄,影响开采设备通行。底板鼓起会使巷道底部向上隆起,与顶板下沉共同作用,进一步压缩巷道空间。当这些整体变形现象持续加剧,支护体系与围岩之间形成明显空隙,锚杆、锚索、金属网均无法与围岩有效接触,完全失去对围岩的控制能力,巷道结构面临坍塌风险。

3 煤矿巷道锚网索支护失效的原因分析

3.1 围岩条件因素

围岩强度低会直接影响支护效果,松软岩体无法为锚杆和锚索提供足够的锚固基础,锚固力难以传递至深层,支护组件易与围岩脱离。完整性差的围岩存在大量天然裂隙,这些裂隙在应力作用下不断扩展,使锚杆和锚索周围的岩体破碎,锚固范围缩小,无法形成有效的压缩区^[3]。存在软弱夹层的围岩在受力时易发生层间滑动,夹层部位的锚杆和锚索受力集中,远超其承载能力,导致过早损坏。围岩应力状态对支护体系的影响显著。高地应力环境下,围岩会产生持续的变形压力,这种压力通过岩体传递至支护组件,当压力超过设计荷载时,锚杆可能被拉断,锚索出现松弛。应力集中区域多位于巷道拐角或断层附近,局部压力骤增会使该部位的支护组件受力失衡,金属网因过度挤压而撕裂,连接部

件发生变形,逐步引发局部支护失效。

3.2 支护设计与材料因素

支护参数设计不合理会削弱支护作用。锚杆长度不足无法深入稳定岩层,仅能约束表层围岩,深层岩体的变形得不到控制;间距过大则锚固点之间存在空隙,围岩易从空隙处挤出。锚索预紧力设置不当,过小则无法提供足够的提拉作用,深层围岩向巷道内挤压;过大则可能导致锚索提前受力疲劳,缩短使用寿命。这些参数与围岩条件不匹配时,支护体系无法形成有效的力学平衡,易在受力过程中出现局部失效。材料性能缺陷是支护失效的重要诱因。锚杆和锚索材质强度不足,在正常围岩压力作用下会发生塑性变形,甚至断裂,丧失锚固能力。金属网韧性不够,受挤压时易脆断,无法覆盖保护围岩表面。配件质量差如托盘厚度不足、螺母强度低,会在受力时变形或滑丝,导致锚杆和锚索的预紧力丧失,金属网与支护组件的连接松动,整体支护效果下降。

3.3 施工工艺与管理因素

施工过程不规范会降低支护体系的可靠性。锚杆钻孔角度偏差会使锚杆无法与围岩垂直,锚固力分布不均,部分区域受力过大;钻孔深度不足则锚杆锚固长度不够,易被拉出。锚索张拉不到位会导致预紧力不足,无法有效约束深层围岩变形;张拉过度则可能损伤锚索结构,留下断裂隐患。金属网铺设不平整会使网面与围岩之间出现间隙,无法紧密贴合,护表作用减弱,岩块易从间隙处掉落。管理环节的疏漏会放大施工中的问题。施工质量检测不严格,未及时发现锚杆锚固力不足、锚索张拉不合格等隐患,这些隐患在后期受力过程中逐步显现,引发支护失效。支护维护不及时,当发现金属网撕裂、锚杆松动等初期问题时,未采取补强措施,导致小范围损坏不断扩大,最终影响整个支护体系的稳定性。施工后的监测不到位,无法掌握围岩变形与支护受力的变化,难以提前预判失效风险,错失处理时机。

4 煤矿巷道锚网索支护失效的预防措施

4.1 基于围岩条件的支护优化设计

根据围岩勘察结果精准设计支护参数是预防失效的基础。针对软弱围岩,需采用加长锚杆深入稳定岩层,增加锚固深度以提升锚固力,同时加密锚索布置缩小间距,使深层加固作用更均匀。对于完整性差且裂隙发育的围岩,在锚杆和锚索设计中增加预紧力,通过更大的约束力限制裂隙扩展^[4]。高地应力区域需提高支护强度,选用更高强度等级的锚杆和锚索,同时优化布置方式,在巷道拐角等应力集中处增设加强型锚索,使支护体系能承受更大的围岩压力。支护设计的动态调整需贯穿巷

道开挖全程。巷道开挖过程中通过监测围岩变形数据,判断初始设计是否适配实际围岩状态。若发现局部变形速率加快,需及时增加锚杆或锚索数量,强化该区域的支护力度。当围岩应力分布与预期不符时,调整锚索的角度和深度,使其能更有效地平衡应力集中,避免支护组件因受力过大而失效。

4.2 材料质量控制与选型改进

加强材料质量管控需从源头把关。严格筛选供应商,优先选择生产工艺成熟、质量稳定的厂家,确保所供材料的性能一致性。材料进场时进行全面检验,检查锚杆和锚索的材质证明,测试其抗拉强度和韧性,验证金属网的抗撕裂能力,核查配件的尺寸和强度是否符合设计标准。对检验不合格的材料坚决拒收,同时记录不合格项并反馈给供应商,防止劣质材料进入施工环节。新型材料的应用可提升支护体系的抗失效能力。高强度锚杆能承受更大的拉力,在围岩压力作用下不易发生塑性变形或断裂。高韧性金属网在受到挤压时可产生一定形变而不撕裂,能更好地适应围岩表面的起伏变化,保持护表作用的连续性。采用防腐性能优异的材料制作配件,可减少矿井潮湿环境对其的侵蚀,延长使用寿命,维持支护组件连接的稳定性。

4.3 施工工艺规范化与质量管控

施工过程的标准化操作是保障支护质量的关键。锚杆钻孔时确保角度垂直于围岩表面,使用专用导向工具控制钻孔方向,避免因角度偏差导致的锚固力分布不均,钻孔深度需严格符合设计要求,保证锚杆有足够的锚固长度。锚索张拉时按规定程序操作,采用分级张拉方式逐步施加预紧力至设计值,避免因张拉不到位导致的预紧力不足,或张拉过度造成的结构损伤。金属网铺设需平整绷紧,与围岩表面紧密贴合,搭接处采用绑扎或焊接牢固连接,消除间隙防止岩块掉落。加强施工质量检测可及时发现问题。采用无损检测技术定期检查锚杆锚固力,通过专业仪器测试其实际承载能力,对锚固力不足的锚杆立即进行二次张拉或更换。定期检查锚索的预紧力变化,发现松弛及时补张拉。对金属网的搭接质量和完整性进行巡查,发现撕裂或分离立即修补,确

保支护体系的整体性不受破坏。

4.4 支护体系的监测与维护

建立常态化监测机制能提前预警失效风险。在巷道关键位置布设监测点,包括顶板、两帮及底板等易变形区域,实时跟踪围岩变形量和速率,通过安装应力传感器监测锚杆和锚索的受力状态。当监测数据显示围岩变形加速或支护组件受力接近设计限值时,发出预警信号,为采取预防措施争取时间。支护维护需及时且有针对性。对松动的锚杆和锚索进行补张拉,使用专用工具确保预紧力恢复至设计标准,确保锚固作用有效。发现损坏的金属网立即更换,修补搭接处的缝隙,维持护表的连续性。对于变形严重的配件如托盘、螺母,及时更换新件,保证支护组件连接牢固。通过持续维护,防止局部小范围失效逐步扩大,确保整个支护体系的稳定性。定期组织技术人员对监测数据与维护记录进行综合分析,总结支护失效规律,为后续类似巷道的支护设计与施工提供经验参考。

结束语

煤矿巷道锚网索支护失效问题复杂多样,涉及围岩条件、支护设计、材料质量、施工工艺及监测维护等多方面因素。通过对失效原因的深入剖析,提出针对性的预防措施,如基于围岩条件优化支护设计、加强材料质量控制与选型改进、规范施工工艺与质量管控、建立常态化监测机制并及时维护等。这些措施有助于提高锚网索支护的可靠性,保障煤矿巷道的安全稳定,为煤矿安全生产提供有力支持。

参考文献

- [1]杜才溢,张鹏.煤矿巷道锚网索支护优化及应用[J].内蒙古煤炭经济,2024(22):118-120.
- [2]杨威.复杂地质条件下煤矿巷道高强预应力锚网索支护研究与应用[J].现代矿业,2025,41(2):32-35.
- [3]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.
- [4]李旭日.巷道中锚网索联合支护方案的应用分析[J].能源与节能,2024(3):241-243,247.