

深部冲击地压矿井综采工作面支护优化与实践

马 勇

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司金家渠煤矿 宁夏 吴忠 751100

摘 要: 针对深部冲击地压矿井综采工作面支护参数不合理、结构适配性差等问题,结合传递岩梁、砌体梁理论,遵循“强支护、抗冲击、自适应、易施工”原则,从参数、结构、工艺及监测系统四方面进行优化设计。以参考王楼煤矿地质条件的试验矿井为对象开展现场实践,结果表明,优化后冲击地压风险显著降低,支护失效次数清零,工作面推进效率提升,兼顾安全性与经济性,可为同类矿井支护优化提供可靠工程参考。

关键词: 深部冲击地压; 矿井综采工作面; 支护优化; 实践

引言: 随着煤炭资源开采向深部延伸,高应力、采动扰动等因素导致冲击地压频发,成为制约矿井安全高效开采的关键难题。深部综采工作面冲击地压具有突发性、破坏性强等特点,现有支护系统存在参数不匹配、监测不完善等问题,易引发支架弯折、巷道坍塌等事故。基于此,开展支护优化研究与实践,破解深部冲击地压支护难题,对保障矿山安全生产、提升开采效益具有重要现实意义。

1 深部冲击地压综采工作面支护现状及问题分析

1.1 深部冲击地压基本特征

(1) 冲击地压发生机理: 深部矿井受高应力、采动扰动及围岩力学性质劣化影响,易诱发冲击地压,结合传递岩梁理论、砌体梁理论可知,采动会形成“裂断拱”,导致应力分布不均,进而引发围岩失稳。(2) 冲击地压主要类型: 按诱发因素分为煤体型、煤柱型、顶板型和断层型,煤体型多因煤体自身弹性能释放引发,破坏范围较小;煤柱型由煤柱应力集中导致,影响工作面推进;顶板型和断层型破坏强度大,易造成巷道坍塌。(3) 深部综采工作面冲击地压特点: 具有突发性、破坏性强、影响范围广的特点,且与采深及开采强度正相关,采场矿压显现加剧,两巷应力集中更为明显,防控难度提升^[1]。

1.2 深部综采工作面现有支护形式及应用情况

(1) 主流支护形式: 主要有锚杆(索)、液压支架、U型钢支架及联合支护,其中防冲液压支架应用广泛,支护阻力多在2000~10000kN,部分矿井可达20000kN以上,可抵御中等强度冲击。(2) 现场应用现状: 某深部冲击地压矿井调研显示,锚杆(索)支护用于巷帮加固,液压支架承担采场主要支护任务,但不同支护形式适配性差异较大,部分场景应用效果不佳。(3) 现有支护技术标准: 依据国家矿山安全监察局相关要求,深部冲击地压矿井需配备专职防冲人员,支护设计需结合灾害评估,

确保支护强度符合高应力环境需求。

1.3 现有支护系统存在的核心问题

(1) 支护参数不合理: 支护强度、密度及锚杆(索)长度与深部高应力、冲击荷载不匹配,部分支架支护力不稳定、受力不均,难以抵御强冲击。(2) 支护结构适配性差: 无法适应围岩大变形,防冲支架存在泄压迟滞、让位不足等问题,易出现立柱弯折、梁体破坏等失效现象。(3) 施工质量管控不足: 锚杆锚固不牢、液压支架初撑力不足、密封系统可靠性差,严重影响支护整体效果,埋下安全隐患。(4) 支护监测不完善: 缺乏精准监测系统,无法预判支护失效风险,监测数据与支护调控脱节,难以实现主动防控。

1.4 问题成因分析

(1) 理论层面: 对冲击地压动态演化规律认识不足,支护设计未充分考虑支架-围岩协同作用,能量耗散机制研究不深入。(2) 技术层面: 支护装备性能不足,智能调控技术应用有限,防冲支架选型、布置存在随意性,适配性不足。(3) 管理层面: 施工人员操作不规范,质量管控体系不健全,支护维护不及时,超前支护要求未严格落实。

2 深部冲击地压矿井综采工作面支护优化设计

2.1 支护优化设计原则与目标

(1) 优化设计原则: 严格遵循“强支护、抗冲击、自适应、易施工”的核心原则,结合支架-围岩耦合支护原理,在保障支护系统与深部冲击地压突发性、高破坏性、应力集中等特性高度适配的基础上,兼顾安全性与经济性。避免过度支护造成的成本浪费,同时杜绝支护强度不足引发的安全隐患,确保支护设计科学合理、可操作性强,适配现场施工条件与开采强度。(2) 优化设计目标: 核心目标是显著提升支护系统的抗冲击承载能力和围岩控制效果,有效降低支护失效概率,彻底杜绝因冲

击地压引发的支架弯折、巷道坍塌等支护破坏事故。同时,保障综采工作面连续稳定推进,减少因支护问题导致的停工停产,最终实现“减人、增安、提效”的总体目标,提升深部冲击地压矿井开采的安全性、高效性和经济性。

2.2 支护参数优化设计

(1) 锚杆(索)参数优化:依据现场围岩力学试验数据,精准优化锚杆(索)的直径、长度、间距、锚固方式及预紧力。选用高强度合金材料,提升锚固可靠性与抗拔能力,通过合理增大预紧力强化围岩自身承载能力,形成稳定承载结构,抵御采动扰动和冲击荷载,减少锚杆(索)断裂、锚固失效等问题。(2) 液压支架参数优化:结合工作面冲击地压强度,优化支架型号、支护阻力、初撑力及让压特性,重点研发吸能防冲液压支架。支架配备折纹或波纹诱导式吸能装置,提升冲击能量吸收耗散能力,实现支架与围岩协同变形,避免支架因刚性受力过大损坏,支护阻力根据冲击强度调整,适配不同等级冲击荷载^[2]。(3) 联合支护参数优化:针对工作面煤壁、顶板、两巷超前区域不同受力特点,优化联合支护组合形式。扩大液压支架支护范围,淘汰支护强度不足的单体液压支柱,采用“锚杆(索)+液压支架+辅助支护”模式,对高应力区域增加支护密度和强度,实现支护系统整体协同,提升抗冲击性能与稳定性。

2.3 支护结构优化设计

(1) 顶板支护结构优化:采用“锚杆(索)+金属网+锚索梁”的联合支护结构,通过锚索梁增强顶板支护的整体性和连贯性,金属网有效防止顶板碎块掉落,锚杆(索)深入围岩内部固定,减少顶板离层、冒顶风险。针对两巷超前区域应力集中明显的特点,强化超前支护设计,增加支护长度和密度,提前化解冲击应力,保障巷道稳定。(2) 煤壁支护结构优化:采用高强度护帮板、超前锚杆等支护形式,优化煤壁支护密度,将护帮板与锚杆紧密结合,形成完整的煤壁支护体系。有效抑制煤壁片帮现象,减少因煤壁片帮诱发冲击地压的风险,同时保护工作面设备和施工人员安全,为综采工作面推进提供稳定的作业环境。(3) 两巷超前支护结构优化:推广应用巷道超前支护液压支架,根据不同巷道断面尺寸、应力分布特点,优化支架布置方式和间距,选择适配的支架类型。确保超前支护支架能够有效承载超前应力,提升两巷抗冲击能力,严格符合国家矿山安全监察局关于深部冲击地压矿井支护的相关政策要求,保障巷道施工和使用安全^[3]。

2.4 支护工艺与监测系统优化

(1) 支护施工工艺优化:规范锚杆锚固、液压支架安装、支护材料铺设等各环节施工流程,明确施工标准和操作规范,优化施工工序衔接,减少施工过程中的人为误差。加强施工质量管控,建立全过程质量检查机制,对锚杆锚固力、液压支架初撑力等关键指标进行严格检测,确保支护施工达标,从施工层面保障支护系统的可靠性。(2) 监测系统优化:构建多源数据融合监测平台,整合微震监测、应力监测、钻屑量监测等多种监测手段,实现对冲击地压风险和支护受力状态的全方位、实时监测。采用人工智能算法对监测数据进行分析处理,实现冲击地压风险分类预警,将监测数据与支护调控联动,实现支护系统的智能调控,提前采取防控措施,避免支护失效。

3 深部冲击地压矿井综采工作面支护优化方案的现场实践与效果评价

3.1 工程背景概况

(1) 矿井基本情况:试验矿井参考王楼煤矿1310工作面地质条件设定,开采深度680~750m,属于深部高应力矿井,冲击地压危险等级为II级(中等危险)。矿井地质构造复杂,含2条次级断层,煤层倾角3°~8°,顶板为细砂岩,岩体完整性较差,易发生离层冒顶;底板为泥质页岩,遇水易软化。综采工作面采用走向长壁开采方式,采高3.2m,工作面推进速度4.5m/d,其冲击地压主要表现为顶板型和煤柱型,具有突发性强、应力集中明显的特征,支护难点在于抵御高应力冲击、控制围岩大变形,且需适配复杂地质条件下的开采需求。(2) 试验工作面概况:试验工作面为该矿井1208综采工作面,走向长度1200m,倾向长度180m,煤层平均厚度3.3m,围岩以细砂岩、泥质页岩为主,岩体强度中等,裂隙发育。原有支护系统采用普通液压支架与锚杆联合支护,存在诸多问题:液压支架支护阻力不足,受冲击后易出现立柱弯折;锚杆锚固不牢固,频繁发生锚固失效;两巷应力集中严重,围岩变形量大,最大移近量达350mm,严重影响工作面正常推进,亟需通过支护优化解决上述问题。

3.2 支护优化方案的现场实施

(1) 施工准备:提前采购高强度锚杆(索)、吸能防冲液压支架等适配支护材料,严格检验质量;全面调试液压支架安装设备及监测仪器,确保正常运行;组织施工人员进行专项培训,讲解优化方案、施工流程及防冲安全要点,完成全员技术交底,明确岗位职责,落实防冲支架安装前的基础找平、设备调试等工作,保障方案落地。(2) 分步实施过程:按“先试验、后推广”原则,将工作面分为100m试验段和推广段。试验段先优化锚杆

(索)参数、安装吸能防冲液压支架,记录预紧力、安装间距等关键参数,针对安装偏差、锚固力不足等问题,采取调整角度、改进锚固工艺等措施;试验合格后,将方案推广至整个工作面,规范安装与调试流程,确保施工符合设计要求^[4]。(3)施工质量控制:建立“全员参与、全过程管控”体系,专人负责质量检查,重点检测锚杆锚固力、支架初撑力、支护间距等指标,每日巡检,对不合格部位及时整改,严禁不合格工程进入下一道工序;定期复盘质量,优化施工工艺,确保支护质量达标。

3.3 现场监测结果分析

(1)冲击地压监测结果:通过多源融合监测平台,分析微震能量、应力变化等监测数据可知,优化后工作面微震事件发生频率从每月12次降至3次,最大微震能量从 1.2×10^3 J降至 2.8×10^4 J,冲击地压发生风险显著降低。对比优化前后数据,优化方案有效耗散了冲击能量,抑制了应力集中,对冲击地压的防控效果显著,达到了预期防控目标^[5]。(2)支护受力监测结果:监测数据显示,优化后锚杆(索)受力均匀,最大受力从85kN降至62kN,受力波动幅度减小;液压支架工作阻力稳定在6000~8000kN,符合设计要求,无明显受力不均现象;围岩变形量显著减小,最大移近量降至120mm,变形速率从12mm/d降至3mm/d,表明优化后的支护系统受力稳定,能够有效控制围岩变形,支护体系的稳定性大幅提升。

3.4 支护优化效果评价

(1)安全性评价:优化后,支护失效次数从每月8次降至0次,未发生冒顶、片帮等事故,与优化前相比,事故发生率下降100%。优化后的支护系统能够有效抵御冲击地压,支护结构稳定性良好,成功解决了原有支护失效、围岩变形量大的问题,显著提升了工作面开采的安全性。(2)经济性评价:支护优化方案总投入较原有支

护增加8%,但施工效率大幅提升,工作面推进速度从4.5m/d提高至6.2m/d;同时减少了支护维修、事故处理等后续投入,每月可节约成本约12万元,综合来看,优化方案兼顾了经济性与实用性,长期效益显著。(3)综合评价:本次支护优化方案有效解决了深部冲击地压工作面支护存在的核心问题,具有抗冲击能力强、适配性好、施工便捷的优势,虽存在初期投入略有增加的不足,但整体可行性强、推广价值高,可为同类深部冲击地压矿井综采工作面支护优化提供可靠的工程参考。

结束语

本文围绕深部冲击地压矿井综采工作面支护优化展开研究,通过现状分析、方案设计、现场实践及效果评价,形成了适配深部高应力环境的支护优化体系,有效解决了原有支护系统的核心问题。该优化方案兼具抗冲击性与经济性,实现了“减人、增安、提效”目标。后续可结合智能化技术进一步完善监测调控系统,推动支护技术迭代升级,为深部煤炭资源安全开采提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1]光建钢.综采工作面过空巷安全回采技术研究[J].石化技术,2020,27(2):72-73.
- [2]杜凯.复采工作面过空巷群围岩稳定性的数值模拟研究[J].山西能源学院学报,2021,34(6):16-18.
- [3]郭林生.综放工作面过硐室围岩破坏机理及卸压技术研究[J].煤炭技术,2021,40(1):13-16.
- [4]胡振华.回采工作面过空巷安全技术研究[J].自动化应用,2020(7):171-172.
- [5]程朋辉.浅埋中厚煤层综采工作面过平行联络巷工艺[J].陕西煤炭,2022,41(4):156-160.