

煤矿冲击地压防治措施技术探讨

陈洪杰 蒋文利

山东能源集团建工集团有限公司地矿建设分公司 山东 邹城 273500

摘要：为有效防控深部煤矿冲击地压灾害，本文系统分析冲击地压能量积聚、应力叠加、采动扰动三大诱发机理，归纳三类灾害类型与突发、连锁、复杂的灾害特征。梳理常规与智能化监测预警技术的应用现状，剖析数据融合不足、预警精度低等现存问题。从区域防控、局部解危、动态管控三方面优化防治技术体系，提出针对性管控措施，可为深部矿井冲击地压安全防控提供技术参考。

关键词：煤矿；冲击地压；防治措施技术

引言：随着煤炭开采深度持续增加，高地应力环境愈发显著，冲击地压已成为制约深部矿井安全生产的核心灾害。该灾害诱因复杂、突发性强、破坏烈度大，易引发次生灾害，严重威胁井下人员设备安全。当前监测预警与防治技术仍存在诸多短板，难以适配复杂地质与动态采动工况。基于此，本文深入探究冲击地压灾害机理与防控技术，优化防治方案，助力提升矿井灾害防控科学化、规范化水平。

1 煤矿冲击地压诱发机理与灾害特征分析

1.1 冲击地压核心诱发机理

（1）能量积聚与释放机理。深部煤层及围岩长期处于高地应力环境中，持续储存大量弹性应变能，形成高能储能体。井下采掘作业会打破围岩原始应力平衡状态，当围岩承受的应力超出自身承载极限时，积聚的弹性应变能会在短时间内瞬间剧烈释放，对煤岩体产生强烈冲击作用，最终引发结构性破坏，形成冲击地压灾害。（2）应力叠加诱发机理。矿井巷道与工作面布置不合理、遗留煤柱留存，加之断层、褶皱等复杂地质构造，极易造成局部应力集中，形成高应力危险区域。构造应力与原岩应力相互叠加，大幅提升区域应力水平，当应力累积达到临界值，便会直接触发冲击地压，是构造区域灾害频发的核心原因^[1]。（3）采动扰动诱发机理。回采、掘进、爆破等井下人为作业，属于强烈的采动扰动行为，会彻底破坏围岩原有稳定应力场。此类扰动会加速煤岩体内部裂纹萌生、扩展与贯通，导致岩体结构逐步失稳，大幅降低围岩稳定性，进而诱发突发性、瞬时性的冲击地压灾害。

1.2 冲击地压主要灾害类型

（1）构造型冲击地压。主要由断层、陷落柱、褶皱等地质构造主导，构造应力与采动应力双向叠加催生灾害，具备突发性强、破坏烈度大的特点，是深部矿井危

险性最高的冲击灾害类型。（2）采动型冲击地压。以井下采掘扰动为核心诱因，作业过程中煤体与围岩应力重新分布，多发生在工作面超前支承压力区、巷道周边等应力活跃区域，灾害分布与采掘作业范围高度契合。（3）煤柱型冲击地压。矿井遗留的保护煤柱、隔离煤柱长期积聚高应力，应力持续累积且难以释放，煤柱失稳破坏时会瞬间释放巨量能量，灾害持续时间长、反复性强，长期威胁井下作业安全。

1.3 深部矿井冲击地压灾害特征

（1）突发性与破坏性。深部矿井地应力水平高，煤岩体能量积聚隐蔽性强，灾害前兆不明显、预判难度大，具有瞬时爆发的特点。灾害发生时瞬间摧毁巷道支护、损毁采掘设备，引发巷道大变形、片帮冒顶、断面收缩等问题，严重威胁井下人员与设备安全。（2）区域性与连锁性。深部冲击地压并非单点局部破坏，而是呈现区域失稳特征。单点冲击破坏会扰动周边围岩应力状态，引发连锁式岩体失稳，极易诱发顶板垮落、围岩大变形、瓦斯异常涌出等次生灾害，扩大灾害影响范围，加剧灾害损失。（3）复杂性与随机性。深部矿井地质条件复杂多变，地应力、岩性条件、构造形态、采动扰动等多因素耦合作用显著。各类影响因素动态变化，导致冲击地压孕育过程复杂、发生规律无固定特征，随机性较强，难以精准预判灾害发生位置与时间。

2 煤矿冲击地压监测预警关键技术

2.1 常规监测预警技术

（1）应力在线监测技术。该技术是冲击地压基础监测的核心手段，主要通过采掘工作面、巷道围岩及关键煤柱区域布设高精度应力传感器，全天候实时采集煤岩体的应力动态变化数据。系统可对数据进行持续统计与分析，精准捕捉应力异常增长、突变等特征，快速识别井下应力集中区域，并结合现场工况预判冲击地压

风险等级,为现场解危作业、风险管控提供基础数据支撑,是矿井常态化安全监测的必备技术。(2)电磁辐射监测技术。煤岩体在应力持续作用下发生内部裂隙萌生、扩展与贯通时,会持续产生电磁辐射信号。该技术依托专用监测设备捕捉岩体破裂产生的电磁辐射强度、频率变化特征,以此判定煤岩体的稳定状态,精准捕捉岩体失稳破坏的前兆信息。该技术属于非接触式监测方式,可实现不间断连续监测,无需干扰井下正常采掘作业,适配多数常规采掘工作面的风险预警工作^[2]。(3)钻屑监测技术。钻屑监测是实用性极强的定点人工监测技术,通过在高风险区域施工钻孔并采集煤屑样本,重点分析钻屑总量、颗粒粒度分布、钻孔动力现象等关键指标。煤体内部应力越高,煤屑产出量越大、粒度特征越异常,以此可精准判定煤体内部应力分布状态,快速定位局部隐蔽高应力危险区域,弥补自动化监测的局部盲区,为精准解危治理提供可靠依据。

2.2 智能化监测预警技术

(1)微震监测技术。微震监测是大范围超前预警的核心智能技术,依托高精度微震监测系统,全天候捕捉煤岩体破裂产生的微弱微震信号。通过专业算法解析震源坐标、破裂能量、震动范围及传播规律,可实时掌握井下围岩破裂演化趋势,精准预判大范围区域的冲击风险,能够实现超前预警,有效防范区域性、连锁性冲击地压灾害。(2)光纤传感监测技术。该技术依托光纤独特的应变与温度传感特性,对巷道围岩、工作面煤体的变形及应力动态变化进行长距离、高精度实时监测。相较于传统监测设备,光纤传感具备抗电磁干扰、耐腐蚀、稳定性强、使用寿命长等优势,可适应深部矿井复杂恶劣的作业环境,持续捕捉围岩细微变形与应力波动,实现全天候精准动态监测。(3)大数据智能预警技术。该技术是矿井监测预警智能化升级的关键,通过整合应力、微震、电磁辐射、钻屑等多类型监测数据,搭建智能分析算法模型。系统可自动筛选、提取冲击地压灾害前兆特征,剔除无效干扰数据,智能判别区域风险等级,替代传统人工经验研判模式,有效提升预警效率,实现冲击地压风险的自动化、智能化预判^[3]。

2.3 监测预警技术应用现存问题

(1)多源数据融合不足。当前矿井各类监测系统多独立部署、单独运行,设备接口、数据标准不统一,各系统数据无法互通共享,形成数据孤岛。单一监测技术仅能反映局部风险特征,多源数据无法联动分析,存在监测盲区,难以实现全方位、立体化的综合风险研判,制约整体预警效果。(2)预警精准度有限。深部矿井地质条件复

杂,地应力多变、围岩结构不均,加之井下设备作业、爆破扰动等外界干扰,极易导致监测信号失真、紊乱。各类干扰信号易引发系统误判,频繁出现虚假预警、漏预警问题,无法精准区分正常采动响应与灾害前兆,难以满足精准防控的生产需求。(3)动态监测能力薄弱。现有监测体系多以定点、定时监测为主,难以跟随采掘工作面推进速度动态调整监测点位与频次。针对采掘扰动引发的应力快速迁移、动态积聚过程,实时跟踪监测能力不足,无法精准捕捉动态变化的风险隐患,难以适配深部矿井动态化、常态化的灾害防控需求。

3 煤矿冲击地压核心防治技术与优化措施

3.1 区域性主动防治技术

(1)合理开拓布局优化。开拓布局是从源头防控冲击地压的基础性关键手段,对矿井整体应力分布起到决定性作用。在矿井设计与采掘规划阶段,需结合井田地质勘探资料,全面摸排断层、褶皱、陷落柱、破碎带等不良地质区域,科学规划巷道走向、工作面尺寸与采掘顺序。通过优化采掘布局,尽量规避高应力构造带,减少孤岛工作面、狭长煤柱等危险结构的产生,最大限度降低采掘活动对围岩应力场的扰动。同时,统筹规划采掘接替顺序,避免多工作面相互扰动叠加,从根本上遏制大范围应力集中现象,实现冲击地压源头主动防控。

(2)保护层开采技术。保护层开采是深部高冲击风险矿井最核心的区域性防治技术,适用于高应力、强冲击倾向性煤层开采场景。该技术选取冲击危险性低、开采条件较好的煤层作为解放层先行开采,通过采空区垮落与围岩变形,打破原有封闭应力平衡状态,促使被保护煤层及顶底板围岩内部积聚的弹性应变能缓慢释放。开采后形成的卸压区域可有效降低煤层整体应力水平,改善煤体受力状态,弱化煤体冲击倾向性,彻底消除或大幅降低被保护煤层采掘过程中的冲击地压风险,防控效果稳定且显著^[4]。(3)煤层预注水卸压技术。针对脆性强、应力集中显著的煤层,预注水卸压是高效的主动防控技术。通过在工作面煤壁提前施工注水钻孔,借助高压注水设备将水体注入煤层内部,利用水的渗透作用浸润煤体。一方面能够软化坚硬煤体,降低煤体脆性、提升煤体塑性,改变煤体力学特性;另一方面可贯通煤体内部裂隙,为集中应力和弹性应变能提供释放通道,逐步消散局部高应力,避免煤体能量骤然积聚与突发失稳,有效抑制浅部煤层冲击地压的发生。

3.2 局部被动解危防治技术

(1)钻孔卸压技术。钻孔卸压是井下局部高应力区域常用的精准解危技术,主要应用于巷道周边、工作面

超前压力区等危险区域。在监测判定的高应力区域施工大直径、深孔卸压钻孔,人为破坏煤体原有致密结构与应力积聚体系,打通煤体内部能量释放通道。钻孔可促使局部集中应力向深部转移,释放煤体内部积攒的弹性应变能,缓解局部应力叠加问题,消除单点高应力引发的冲击隐患,操作便捷、适用性强,可快速完成局部区域解危作业。(2)爆破卸压技术。对于应力高度集中、钻孔卸压效果有限的坚硬围岩及厚煤层区域,可采用爆破卸压技术进行被动解危。通过定向松动爆破、深孔卸压爆破等工艺,对高应力煤岩体进行适度破碎,人为制造裂隙松弛带,改变局部应力分布规律。爆破产生的裂隙网络能够有效释放围岩集聚能量,弱化岩体整体性,阻断应力传递路径,消除突发性冲击动力灾害风险,多用于构造影响区、煤柱高应力区等重难点区域治理。

(3)巷道支护强化技术。支护强化是抵御冲击破坏、保障巷道稳定的最后一道防护屏障。针对深部巷道变形剧烈、冲击风险高的特点,摒弃单一支护模式,采用高强锚杆、锚索、金属网、喷射混凝土联合支护体系。高强锚杆锚索可深度锚固深部稳定围岩,约束围岩变形;金属网与喷浆能够封闭巷道表层煤岩体,防止片帮、掉顶,提升巷道整体完整性。通过全方位强化围岩承载能力,有效抵御采动应力冲击,大幅提升巷道抗冲击、抗变形性能,保障井下作业空间安全稳定^[5]。

3.3 动态防控与安全管控优化措施

(1)动态风险分级管控。冲击地压风险随采掘推进动态变化,静态管控模式难以适配现场工况。需建立动态风险分级管控机制,实时结合采掘进度、地质探测数据、多源监测预警数据,动态更新矿井冲击风险区域划分。根据风险高低划分一般、较大、重大风险等级,落实分区治理、分级管控策略,对高风险区域强化监测频次、加密解危作业,对低风险区域常态化巡查管控,实现精准化、动态化的风险防控。(2)标准化施工管理。防治技术的落地效果直接取决于施工质量,不规范施工易加剧采动扰动、诱发冲击风险。需完善采掘、卸压、支护等关键工序的标准化施工流程,明确钻孔深度、注

水压力、爆破参数、支护间距等核心施工指标,严控现场施工质量。加强现场技术监管,杜绝违规采掘、偷工减料、参数不符等问题,规范施工行为,减少人为扰动带来的风险隐患,确保各项防治技术充分发挥防控作用。(3)应急保障体系完善。健全的应急体系是灾害发生后降低损失的关键保障。矿井需结合冲击地压灾害特征,修订完善专项应急预案,明确预警响应、人员撤离、抢险救援等工作流程。配齐配强通风、支护、抢险等专用应急设备与物资,建立物资定期检修更换机制。常态化开展应急演练,提升作业人员风险辨识、紧急撤离和自救互救能力,强化管理人员应急指挥、协同处置能力,全面提升矿井冲击地压灾害应急处置水平,最大限度降低灾害损失。

结束语

本文全面探究了煤矿冲击地压的诱发机理、灾害特征、监测预警技术及核心防治措施,构建了源头防控、局部解危、动态管控的一体化防治体系。明确了当前监测技术的应用短板与优化方向,完善了针对性防治方案。后续需持续推进多源数据融合智能监测技术研发,优化防治工艺,健全动态管控与应急体系,持续提升深部矿井冲击地压综合防控能力,保障煤炭安全生产稳定开展。

参考文献

- [1]王海博,王博文,宋振江.小庄煤矿冲击地压主控因素及卸压方案[J].山东煤炭科技,2024,42(8):132-136.
- [2]王义锋.冲击地压机理和防治在煤炭开采中的研究[J].内蒙古煤炭经济,2023,13(6):32-34.
- [3]李生亚.顶板疏水快速回采工作面冲击地压机理及防治措施研究[J].当代化工研究,2021,20(21):41-45.
- [4]张民永,李强,韩超.人工智能技术在煤矿冲击地压危险监测预警中的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2024,33(24):142-144.
- [5]程子龙.红旗煤矿冲击地压监测与防治技术实践[J].煤炭科技,2024,45(4):174-177.