

综放工作面冲击地压微震监测与卸压解危技术研究

郭鹏飞 高健伟 白元亮 郝苗进 茹志平

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：本文聚焦综放工作面冲击地压问题，阐述其理论基础，包括分类、影响因素等。介绍微震监测技术原理、设备、信号采集与分析方法，并通过实例说明其应用。探讨卸压解危技术种类、应用策略及效果评估方法。提出微震监测与卸压解危综合应用方案，涵盖设计、实施步骤与注意事项，结合案例分析验证综合应用效果，为保障煤矿安全生产提供技术支持。

关键词：综放工作面；冲击地压微震监测；卸压解危技术

1 综放工作面冲击地压理论基础

冲击地压作为综放工作面开采中的重大安全隐患，是煤岩体受采动影响，内部积聚的弹性变形能以剧烈、突发形式释放的动力灾害。它会造成巷道垮塌、设备损毁，甚至导致人员伤亡，严重威胁煤矿安全生产与矿工生命健康，在我国每年由此造成的直接经济损失达数十亿。冲击地压分类多样，按显现强度，弹射是煤块小规模弹出，破坏有限；矿震能量释放范围广，震级一般在ML0.5-ML4.0；弱冲击致局部煤岩体破坏、巷道变形；强冲击则引发大面积煤岩体破坏，巷道严重损毁。按参与煤岩体类别，煤体冲击源于煤体应力集中释放；顶板冲击多因坚硬顶板断裂引发；底板冲击虽少见，但在特定地质条件下也会发生^[1]。其影响因素涵盖地质与开采技术两方面，地质上，煤层越厚，积聚能量越多，冲击风险越高；坚硬顶板易积聚能量，断裂时释放巨大能量引发冲击；断层、褶曲等地质构造破坏煤岩体完整性，使应力分布复杂，增加冲击发生概率。开采技术中，开采深度每增加100m，垂直应力约增2.5MPa，深度超800m时冲击风险显著上升；开采强度大、推进速度快，会加剧应力集中；不合理的采煤方法与工艺，也会提高冲击地压发生的可能性。

2 微震监测技术在综放工作面冲击地压监测中的应用

2.1 微震监测技术原理与设备

微震监测技术是基于岩体破裂时产生的弹性波原理。当煤岩体受到应力作用发生破裂时，会以地震波的形式向外释放能量，这些地震波包含了煤岩体破裂的位置、时间和能量等信息。通过在井下布置一定数量的微震传感器，实时接收这些地震波信号，并将其传输到地面监测系统进行处理和分析，就可以确定煤岩体破裂的位置、能量大小等参数，从而实现对冲击地压的监测和预警。微震监测设备主要包括微震传感器、数据采集

器、数据传输系统和地面监测主机等。微震传感器是核心部件，用于接收地震波信号并将其转换为电信号。目前常用的微震传感器有速度型和加速度型两种，其灵敏度一般在 10^{-9} - 10^{-6} m/s²范围内，能够检测到微弱的地震波信号。数据采集器负责对传感器输出的电信号进行放大、滤波和数字化处理，以便于后续的传输和分析。数据传输系统一般采用光纤或电缆，将采集到的数据快速、稳定地传输到地面监测主机。地面监测主机则对接收到的数据进行分析处理，包括信号去噪、震源定位、能量计算等，并将结果显示在监测界面上，供技术人员进行判断和决策。

2.2 微震信号采集与分析方法

微震信号采集的关键在于合理布置传感器。一般来说，在工作面上下顺槽和切眼附近布置传感器，形成一个监测网络。传感器的间距应根据监测精度要求确定，通常在100-300m之间。在数据采集过程中，要保证采样频率足够高，一般不低于1000Hz，以确保能够准确捕捉到地震波的细节信息。微震信号分析方法主要包括信号去噪、震源定位和能量计算等。信号去噪是为了去除采集到的信号中的噪声干扰，提高信号的质量。常用的去噪方法有小波变换去噪、傅里叶变换去噪等。震源定位是微震监测的核心任务之一，通过分析不同传感器接收到的地震波到达时间差，利用定位算法确定震源的位置。目前常用的定位算法有Geiger算法、单纯形算法等，定位精度一般在10-30m左右。能量计算则是根据地震波的振幅、频率等参数，计算出震源释放的能量大小，能量计算精度可达到±10%以内。

2.3 微震监测技术在综放工作面的应用实践

在某矿综放工作面进行了微震监测技术的应用实践。该工作面开采深度为950m，煤层厚度为12m，顶板为坚硬砂岩。在工作面上下顺槽和切眼附近共布置了

16个微震传感器,形成了一个覆盖整个工作面的监测网络。在监测过程中,实时采集和分析微震信号,通过对一段时间内微震事件的空间分布进行分析发现,微震事件主要集中在工作面前方50-150m的范围内,且随着工作面的推进,微震事件的分布区域也逐渐向前移动。同时对微震事件的能量释放情况进行了统计分析,发现当能量释放量超过 10^5J 时,工作面附近会出现明显的应力异常现象,如煤壁片帮、支架压力增大等^[2]。根据微震监测结果,结合工作面的实际情况,建立了冲击地压预警指标体系。当微震事件频率突然增加、能量释放量达到一定阈值或微震事件集中在某一区域时,发出冲击地压预警信号。在该工作面的应用过程中,通过微震监测技术成功预警3次冲击地压危险,提前采取相应的防治措施,避免冲击地压事故的发生,保障工作面的安全生产。

3 综放工作面冲击地压卸压解危技术研究

3.1 卸压解危技术概述

目前,常用的卸压解危技术主要包括爆破卸压、钻孔卸压、水力压裂卸压等。爆破卸压是利用炸药爆炸产生的冲击波和气体膨胀作用,使煤岩体产生裂隙和破碎,从而达到卸压的目的。该方法具有卸压效果好、作用范围广等优点,但施工过程存在一定的安全风险,且对煤岩体的破坏较大。钻孔卸压则是通过在煤岩体中钻取一定直径和深度的钻孔,使煤岩体中的应力重新分布,释放部分弹性变形能。该方法施工简单、成本较低,但卸压效果相对较慢,需要一定的时间才能显现。水力压裂卸压是利用高压水将煤岩体压裂,形成裂隙网络,降低煤岩体的强度和弹性模量,从而减少应力集中。该方法具有对煤岩体破坏小、环保等优点,但对设备和技术要求较高。

3.2 卸压解危技术在综放工作面的应用策略

在综放工作面应用卸压解危技术时,需要根据工作面的地质条件、开采工艺和冲击地压危险程度等因素,制定合理的应用策略。对于存在高应力集中区域的综放工作面,可以采用爆破卸压与钻孔卸压相结合的方法。首先,在工作面前方高应力集中区域进行爆破卸压,快速降低应力水平;然后,在爆破卸压的基础上,进行钻孔卸压,进一步释放残余的弹性变形能,巩固卸压效果。随后,在爆破区域进行钻孔卸压,钻孔间距为5m,钻孔深度为15m,经过一段时间后,微震监测结果显示该区域的微震事件频率和能量释放量均显著降低。对于顶板坚硬、容易积聚弹性变形能的综放工作面,可以采用水力压裂卸压技术。在工作面回采过程中,定期对顶板进行水力压裂,使顶板提前断裂,释放积聚的能量。

3.3 卸压解危效果评估方法

卸压解危效果评估是确保卸压解危技术有效性的重要环节。常用的评估方法包括应力监测法、微震监测法和煤体变形监测法等。应力监测法是通过在工作面布置应力传感器,实时监测煤岩体中的应力变化情况。如果在卸压解危措施实施后,应力传感器的读数明显降低,且在一定时间内保持稳定,说明卸压解危效果较好。例如,在某矿综放工作面,在实施卸压解危措施前后,对工作面前方50m处的应力进行了监测,卸压前应力值为25MPa,卸压后应力值降低至18MPa,且在后续一个月的监测中,应力值基本稳定在18-20MPa之间,表明卸压解危措施取得了较好的效果。微震监测法是通过对比卸压解危措施实施前后的微震事件进行对比分析,评估卸压效果^[3]。如果卸压后微震事件频率降低、能量释放量减小,且微震事件的空间分布更加分散,说明卸压解危措施有效。例如,在上述某矿综放工作面,卸压前每天微震事件数量平均为15次,能量释放总量为 $5\times 10^5\text{J}$;卸压后每天微震事件数量降低至8次,能量释放总量降低至 $2\times 10^5\text{J}$,且微震事件不再集中在某一区域,说明卸压解危措施有效降低了冲击地压的危险性。煤体变形监测法是通过监测煤体的变形情况,如煤壁片帮深度、顶底板移近量等,评估卸压解危效果。如果卸压后煤体变形减小,说明卸压解危措施缓解了煤岩体的应力集中,减少了煤体的破坏。

4 综放工作面冲击地压微震监测与卸压解危综合应用

4.1 综合应用方案设计

将微震监测技术与卸压解危技术进行综合应用,可以实现对综放工作面冲击地压的实时监测、准确预警和有效防治。综合应用方案主要包括几个方面:首先,建立完善的微震监测系统,在工作面及周边区域合理布置微震传感器,确保能够全面、准确地监测到煤岩体破裂产生的微震信号。配备先进的地面监测主机和数据分析软件,实现对微震信号的实时采集、处理和分析。其次,根据微震监测结果,结合工作面的地质条件和开采工艺,制定科学合理的卸压解危方案。当微震监测发现工作面存在冲击地压危险时,及时采取相应的卸压解危措施,如爆破卸压、钻孔卸压或水力压裂卸压等。最后,建立卸压解危效果评估机制,在实施卸压解危措施后,通过应力监测、微震监测和煤体变形监测等方法,对卸压效果进行评估。如果卸压效果不理想,及时调整卸压解危方案,确保工作面的安全生产。

4.2 实施步骤与注意事项

在实施微震监测与卸压解危综合应用方案时,需要

按照以下步骤进行：第一步，进行现场调研和数据收集，了解工作面的地质条件、开采工艺、历史冲击地压发生情况等信息，为后续的监测和防治工作提供依据。第二步，安装和调试微震监测设备，按照设计方案，在工作面及周边区域安装微震传感器，并进行调试和校准，确保设备正常运行。第三步，开展微震监测工作，实时采集和分析微震信号，建立微震事件数据库，对微震事件的空间分布、时间序列和能量释放情况进行分析，及时发现冲击地压危险区域。第四步，制定卸压解危方案，根据微震监测结果，结合工作面的实际情况，制定具体的卸压解危方案，包括卸压方法、卸压参数和施工时间等。第五步，实施卸压解危措施，按照卸压解危方案，组织施工人员进行卸压作业，确保施工质量和安全。第六步，进行卸压解危效果评估，在卸压解危措施实施后，采用应力监测、微震监测和煤体变形监测等方法，对卸压效果进行评估。如果卸压效果达到预期目标，则继续进行正常开采；如果卸压效果不理想，则分析原因，调整卸压解危方案，重新实施卸压作业。

在实施过程中，需要注意以下事项：一是要确保微震监测设备的可靠性和稳定性。定期对设备进行检查和维护，及时处理设备故障，保证监测数据的准确性和连续性。二是要严格按照卸压解危方案进行施工。施工人员要熟悉施工工艺和安全注意事项，确保施工质量和安全。三是要加强现场管理和安全防护。在卸压解危作业过程中，要设置明显的安全警示标志，禁止无关人员进入作业区域。同时要配备必要的安全防护设备和应急救援物资，以应对可能发生的突发情况。

4.3 案例分析

以某矿综放工作面为例，其开采深度达1020m，煤层厚13m，顶板为坚硬石灰岩，地质复杂，冲击地压风险突出。回采前，安装微震监测系统，在工作面及周边区域合理布置18个微震传感器，实现全面监测覆盖。回采期间，实时开展微震监测。当监测到工作面前方100m

处微震事件频率骤增，能量释放量达 8×10^5 J时，迅速对该区域进行详细微震定位与能量分析，精准判定存在冲击地压危险。依据监测结果，制定爆破卸压与钻孔卸压联合的卸压解危方案^[4]。在工作面前方90-110m范围内实施爆破卸压，爆破孔间距设为7m，装药量4-6kg/孔；爆破结束后，在该区域开展钻孔卸压，钻孔间距4m，深度18m。卸压措施实施后，采用应力监测、微震监测及煤体变形监测等手段评估效果。应力监测表明，卸压后该区域应力值由28MPa降至20MPa；微震监测显示，微震事件频率从每日18次降至6次，能量释放总量从 8×10^5 J降至 1.5×10^5 J；煤体变形监测表明，煤壁片帮深度从0.9m减至0.2m，顶底板移近量从0.6m/d降至0.15m/d。评估结果显示，卸压解危成效显著，有效降低冲击地压危险，保障了工作面安全生产。该案例证明，综合应用微震监测与卸压解危技术，可提升冲击地压防治水平，为煤矿安全生产保驾护航。

结束语

通过对综放工作面冲击地压微震监测与卸压解危技术的深入研究及综合应用，有效提升了冲击地压的监测预警与防治能力。微震监测技术能实时掌握煤岩体破裂动态，卸压解危技术可针对性降低应力、释放能量。综合应用二者，依据监测结果科学制定卸压方案，并评估效果，形成一套完整的防治体系，为煤矿安全生产筑牢坚实防线，具有重要实践意义。

参考文献

- [1]田晓红.胡家河煤矿综放工作面冲击地压影响因素分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(09):275-277+306.
- [2]苏越,高健勋.综放工作面冲击危险性评价及监测防治技术研究[J].煤炭工程,2022,54(08):42-47.
- [3]商伐,任玉龙.大佛寺煤矿40201综放工作面矿压观测及防治研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(08):100-102.
- [4]陈建明.煤矿井下采煤技术存在问题及质量提升措施[J].内蒙古煤炭经济,2021(05):153-154.