

冲击地压防治现场监测及卸压研究

盛海峰

山东省泰安市宁阳县华丰煤矿 山东 泰安 271000

摘要：本文围绕冲击地压防治展开，深入研究现场监测方法与卸压技术及其协同作用。首先分析了冲击地压发生的原因，包括地应力、采动应力和煤层特性因素。接着详细阐述了现场监测方法，如微震监测法、电磁辐射监测法、钻屑法和应力监测法，分别介绍其原理、优缺点。然后对钻孔卸压法、煤层注水法、爆破卸压法和顶板管理法等卸压技术在煤矿及隧道工程中的应用进行说明。最后强调现场监测与卸压协同作用的重要性，如精准指导卸压、验证效果、保障安全和优化防治方案，为冲击地压防治提供科学有效的参考。

关键词：冲击地压防治；现场监测；卸压研究

引言

在煤矿开采和地下工程建设中，冲击地压是一种极具破坏性的动力现象，严重威胁着人员安全和工程的顺利进行。随着开采深度增加和工程环境的复杂多变，冲击地压的防治愈发重要。了解冲击地压发生的原因是有有效防治的前提，而现场监测方法和卸压技术是防治工作的关键环节。合理的监测能够及时察觉危险，有效的卸压可以降低冲击地压发生风险。

1 冲击地压发生的原因

1.1 地应力因素

（1）构造应力影响：地壳运动使矿区形成特定的地质构造，产生构造应力。当煤层矿井冲击地压区域的构造应力以水平应力方向为主，且方位角、整体走向具有特定方向时，会使煤岩体处于复杂的应力状态。这种应力分布不利于巷道布置对冲击地压的预防，因为不合理的应力分布可能导致煤岩体在采动过程中更容易发生失稳，进而引发冲击地压。（2）应力大小与能量积聚：地应力的分布大小直接关系到冲击地压的发生可能性^[1]。在高应力区域，煤岩体受到强大的压力作用，内部会积聚大量的弹性变形能。这些能量如同被压缩的弹簧，当外界条件如采煤活动等触发时，能量就会突然释放，产生强大的冲击力，导致冲击地压的发生。

1.2 采动应力因素

（1）承载压力与应力叠加：煤层矿井在开采过程中，会受到采动应力和水平方向应力的共同作用，这些应力通过顶底板传递到整个煤体。当应力较大时，会出现应力叠加现象，使工作面的应力过度集中。这种高静载状态下，煤岩体内部积聚了大量的弹性性能，一旦达到极限，就会引发冲击地压。（2）顶板活动的影响：顶板的破断、滑动等活动会对煤岩体产生额外的作用力。顶

板破断时，会释放能量并产生应力波，这些应力波传播到煤体中，可能会破坏煤岩体的稳定性，使其更容易发生冲击地压。

1.3 煤层特性因素

（1）物理力学性质：坚硬的煤层具有较高的强度和弹性模量，这意味着它们在受到采动影响时，能够承受较大的应力，但同时也更容易积聚弹性变形能。当积聚的能量达到一定程度时，就会引发冲击地压。相比之下，较软的煤层则更容易发生变形，能够在一定程度上释放应力，冲击地压的发生风险相对较低。（2）煤层厚度和倾角：较厚的煤层会使煤岩体的受力情况更加复杂，因为厚煤层内部的应力分布不均匀，且在采动过程中，不同部位的煤体受到的影响也不同。较大的倾角会使煤岩体受到重力的分力作用，增加了煤岩体的不稳定性，从而增加了冲击地压的发生可能性。

2 冲击地压防治现场监测方法

2.1 微震监测法

（1）原理：微震监测法基于岩体受力破坏过程中产生的微弱地震波传播现象。当地下岩石因人为或自然因素发生破裂、移动时，会产生微震波向周围传播。通过在破裂区周围布置多组检波器，实时采集微震数据，再经过数据处理，利用震动定位原理确定破裂发生的位置，并在三维空间上显示出来。（2）优点：微震监测法具有实时监测的特点，能够全天候对微震事件进行监测；可实现全范围立体监测，突破传统的“点”或“线”式监测模式，全面掌握岩体破坏的时间过程；能对微震事件进行高精度定位，对于分析震源特征和潜在危险区域非常有价值；采用全数字化数据采集、存储和处理，方便计算机监控，数据的存储、处理更为便捷；还支持远程监测和信息远传输送，以及多用户计算机可

视化监控与分析。

2.2 电磁辐射监测法

电磁辐射监测法依据煤岩体受载产生电磁辐射的原理,当内部应力增加,其结构变化,带电粒子运动和相互作用加剧,使电磁辐射信号及其强度、频率等参数随应力改变,用专业设备接收分析这些信号,可判断煤岩体应力状态与冲击地压危险程度。其优点是操作相对简单,布置好监测设备后进行数据采集分析就行,对人员专业技能要求不高;响应速度快,能实时或接近实时反映应力变化,利于及时发现潜在危险;还可连续监测,能长期跟踪煤岩体应力状态,为冲击地压预测和防治持续提供数据支持^[2]。缺点是监测结果易受外界干扰,周边电气设备、通信信号等产生的电磁干扰会影响对煤岩体电磁辐射信号的接收分析,而且不同煤岩体电磁特性有差异,可能导致监测结果不确定。

2.3 钻屑法

钻屑法是通过在煤岩体钻孔,收集排出的煤粉并分析其粒度、重量等参数来判断煤岩体应力状态和冲击地压危险程度,煤岩体内部应力增加时,钻孔难度增大,煤粉量增多、粒度变大。其优点是简单实用,设备和操作相对简单,无需复杂仪器和技术,在煤矿现场容易实施,而且直观性强,可通过直接观察分析煤粉了解煤岩体应力情况。它是我国冲击地压灾害最基本的监测手段之一,在煤矿现场应用广泛且积累了丰富的实践经验。不过,钻屑法存在缺点,其劳动强度大,需要人工进行钻孔、煤粉收集和分析等工作,工作量大,对操作人员体力要求高。此外,监测结果受人为主观因素影响明显,比如钻孔的位置、深度、角度等操作因素会对结果产生影响,同时在煤粉收集和分析过程中也容易出现人为误差,这些都可能导致监测结果准确性下降,从而在一定程度上影响对煤岩体应力状态和冲击地压危险程度的判断。

2.4 应力监测法

应力监测法是在煤岩体中安装应力传感器,传感器可实时感知煤岩体内部应力变化,将应力信息转化为电信号或其他可读信号,传输到监测系统实时监测分析,通过分析应力数据准确反映煤岩体应力状态,进而预测冲击地压发生。其优点在于监测精度高,应力传感器能精确测量煤岩体内部应力大小和方向,为冲击地压预测提供准确数据支持,并且能实现实时监测,可随时掌握应力变化情况,及时发现异常并采取措施。应力监测法也是有缺点。一是传感器安装困难,需在煤岩体钻孔安装,煤矿井下环境复杂,煤岩体硬度和结构各异,给安装带来极大挑战。二是成本较高,应力传感器价格

不菲,而且还需要配套的监测系统和数据分析设备,这些都增加了监测成本,使得这种方法在应用时可能受到成本和安装条件的限制,需要综合考虑其可行性和必要性,在有条件的情况下发挥其高精度监测的优势。

3 卸压技术的应用

3.1 钻孔卸压法

(1) 煤矿领域应用:在煤矿开采中,钻孔卸压法应用广泛。比如在一些具有冲击地压倾向的煤层中,工作人员根据前期的地质勘探和应力分析结果,在巷道周围或采煤工作面前方的煤岩体中施工钻孔。通过合理确定钻孔的直径、深度和间距等参数,使煤岩体内部的应力得以释放,降低了应力集中程度,减少了冲击地压发生的可能性。在具体的煤矿中,随着开采深度的增加,地应力不断增大,钻孔卸压法成为保障安全生产的重要措施之一。比如一些深部开采的煤矿通过定期实施钻孔卸压作业,有效地避免了冲击地压事故的发生,保障了矿工的生命安全和煤矿的正常生产。(2) 隧道工程应用:在隧道工程建设中,当隧道穿越高地应力区域或者遇到软弱围岩时,也会采用钻孔卸压法。在隧道的周边围岩中钻孔,可以释放围岩内部的应力,减少隧道开挖过程中围岩的变形和坍塌风险。例如在一些山区的铁路隧道建设中,施工团队通过在隧道周边进行钻孔卸压,成功地穿越了复杂的地质区域,保证了隧道的施工安全和工程进度。

3.2 煤层注水法

(1) 煤矿防尘方面:煤层注水是煤矿回采工作面最有效的防尘措施。水的注入可以湿润煤体内的原生煤尘,使其失去飞扬的能力;还能有效地包裹煤体的每个细小部分,当煤体在开采中破碎时,避免细粒煤尘的飞扬。在实际应用中,煤矿企业会根据煤层的特性和开采条件,制定合理的注水方案,确保注水效果。(2) 预防煤与瓦斯突出方面:注水湿润煤体,可使煤的力学性质发生明显变化,煤的弹性和强度减小,塑性增大,从而使巷道前方的压力分布发生变化,即高压向煤体深部转移,压力集中系数减小。同时煤体湿润后,其透气性也将成百上千倍的降低,水对瓦斯的运动起到明显的阻碍效应,煤中瓦斯涌出量和涌出速度都在大幅度下降,这对于预防煤与瓦斯突出具有重要意义。(3) 防治冲击地压方面:高压注水改变了煤体的裂隙结构,使煤体脆性减弱,塑性增强。促使煤壁前方塑性变形区(卸压带)加宽,使集中压力区(弹塑性变形区)向煤壁深处移动并加宽,减弱了压力集中程度,缓和了煤体压力潜能的积聚,从而预防冲击地压的发生或使其强度减弱。

3.3 爆破卸压法

(1) 在煤矿中的应用: 在煤矿井下, 爆破卸压法通常用于处理巷道周围的高应力区域。通过在煤岩体中进行爆破, 产生的冲击波和应力波可以破坏煤岩体的完整性, 使煤岩体内部的应力重新分布, 降低应力集中程度, 从而减少冲击地压的发生风险。比如, 在一些深部矿井中, 由于地应力较高, 巷道周边的煤岩体处于高应力状态, 采用爆破卸压法可以有效地释放应力, 保障巷道的稳定性。不过在爆破作业过程中, 需要严格控制爆破的药量、炮眼的布置等参数, 以确保卸压效果和作业安全。(2) 在隧道工程中的应用: 在隧道工程中, 如果隧道穿越的山体岩石强度较高、地应力较大, 可能会导致隧道开挖过程中出现岩爆等地质灾害。此时, 可以采用爆破卸压法, 在隧道周边的岩石中进行控制性爆破, 提前释放岩石内部的应力, 降低岩爆的发生概率^[3]。例如, 在一些高海拔地区的隧道建设中, 由于山体岩石的地应力较大, 施工团队采用了爆破卸压法, 有效地预防了岩爆事故的发生, 保障了施工人员的安全。

3.4 顶板管理法

(1) 采煤工作面顶板管理: 在采煤工作面, 合理的顶板管理对于防止冲击地压至关重要。通过采用合适的支护方式, 如液压支架、锚杆支护等, 可以有效地控制顶板的下沉和垮落, 保持顶板的稳定性, 减少顶板对煤岩体的作用, 从而降低煤岩体内部的应力集中程度。(2) 巷道顶板管理: 在巷道掘进过程中, 顶板管理同样重要。根据巷道的地质条件和使用要求, 选择合适的支护方式和支护参数, 如锚杆支护、锚索支护、喷射混凝土支护等, 可以增强巷道顶板的稳定性, 减少巷道顶板的变形和破坏。在一些软岩巷道中, 采用锚杆和锚索联合支护的方式, 可以有效地提高巷道顶板的承载能力, 防止顶板的下沉和垮落。

4 冲击地压防治现场监测与卸压的协同作用

冲击地压防治现场监测与卸压具有显著的协同作用, 主要体现在以下几个方面: (1) 精准指导卸压措施: 监测能够准确地确定冲击地压的危险区域和危险程度。例如通过微震监测法可以监测到煤岩体内部的微小震动, 电磁辐射监测法能够检测到煤岩体的电磁辐射变化, 这些信息能够帮助确定应力集中的区域。根据监测

结果, 有针对性地在危险区域实施卸压措施, 如钻孔卸压法、爆破卸压法等, 能够提高卸压的效果和效率。精准的卸压可以避免在非危险区域进行不必要的作业, 减少资源浪费和对煤岩体的不必要扰动。(2) 验证卸压效果: 现场监测可以对卸压措施的效果进行实时评估和验证。在卸压作业后, 通过监测应力、变形等参数的变化, 可以判断卸压是否达到了预期的效果。如果监测结果显示卸压效果不理想, 能够及时调整卸压方案, 增加卸压的强度或范围, 确保冲击地压的风险得到有效控制。(3) 保障施工安全: 卸压作业过程中可能会对煤岩体的稳定性产生一定的影响, 甚至可能引发局部的坍塌或其他安全事故。现场监测能够实时监测卸压作业过程中煤岩体的变化, 及时发现潜在的安全隐患, 并采取相应的措施进行防范。(4) 优化防治方案: 长期的监测数据和卸压实践经验相结合, 可以为优化冲击地压防治方案提供依据。通过对不同监测方法得到的数据和不同卸压措施的效果进行分析和总结, 能够找出最适合该矿区地质条件和开采情况的防治方案, 提高冲击地压防治的科学性和有效性。

结束语: 冲击地压防治是一个复杂且系统的工程。冲击地压的发生是多种因素共同作用的结果, 深入理解这些因素为防治工作提供了基础。现场监测方法各有千秋, 在实际应用中应根据具体情况选择合适的方法或多种方法联合使用, 以准确地掌握煤岩体的应力状态。卸压技术的应用也需要结合实际工况, 充分发挥其降低冲击地压风险的作用。尤其不能忽视现场监测与卸压之间的协同作用, 通过精准指导、效果验证、安全保障和方案优化等方面的紧密配合, 才能有效提高冲击地压防治的效果, 保障煤矿开采和地下工程建设的安全与稳定, 推动相关行业的持续健康发展。

参考文献

- [1] 张毅, 江成玉. 煤岩冲击倾向性测试及冲击地压防治技术研究[J]. 煤, 2023, 32(9): 14-18.
- [2] 肖自义, 张兆举, 宋韦晓, 等. 深井断层切割煤柱冲击地压防治实践[J]. 煤矿现代化, 2024, 33(4): 86-90.
- [3] 谭云亮, 郭伟耀, 辛恒奇, 等. 煤矿深部开采冲击地压监测解危关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 160-172.