 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i2.9314

Research on Mine Pressure Prediction and Control Technology in Mining Engineering

Yun Duan

Shanxi Coal Transportation and Sales Group Jin Xinda Coal Industry Co., Ltd., Linfen, Shanxi, 041000, China

Abstract

Mine pressure prediction and control are core technologies for ensuring mining safety and efficient production. This paper systematically explores the theoretical foundations of mine pressure, including its formation mechanisms, rock mass characteristics, and mining-induced stress distribution patterns. Building on this, it provides a detailed analysis of the prediction methodology system centered on theoretical models, field monitoring, and numerical simulation. Key control technologies such as roadway support, roof management, and stress transfer are also discussed. Finally, the integration of prediction and control technologies, the development of intelligent early warning systems, and future trends are examined. The study indicates that achieving multi-source information fusion and intelligent decision-making is a crucial direction for future precise prediction and dynamic control of mine pressure.

Keywords

Mining Engineering; Mine Pressure; Pressure Prediction; Pressure Control; Support technology

采矿工程中的矿山压力预测与控制技术研究

段云

山西煤炭运销集团金辛达煤业有限公司，中国·山西 临汾 041000

摘　要

矿山压力预测与控制是保障采矿安全与高效生产的核心技术。本文系统探讨了矿山压力的理论基础，包括其形成机理、岩体特性及采动应力分布规律。在此基础上，详细分析了以理论模型、现场监测和数值模拟为核心的预测方法体系，并阐述了巷道支护、顶板管理及应力转移等关键控制技术。最后，对预测与控制技术的集成、智能预警系统的发展及未来趋势进行了展望。研究表明，实现多源信息融合与智能决策，是未来实现矿山压力精准预测与动态控制的重要方向。

关键词

采矿工程；矿山压力；压力预测；压力控制；支护技术

1 引言

矿山在开采时都会存在一定的问题，最多的是如何解决矿山压力。矿山压力具有复杂性和难预测性，解决起来也是十分的困难。对于矿山，我们知道它占地面积大，不确定的因素多，环境影响的范围大等特征，所以，在矿山开采中，对矿山压力的分析是至关重要的。随着开采深度和强度持续增长，矿山压力的表现形式变得越发强烈而繁杂，对其进行科学预测并加以有效控制，关乎矿井生产安全、资源回采效率以及经济收益，属于采矿工程范畴的经典而又尖端的话题。长久以来，国内外诸多学者针对此课题展开过诸多理论研究和工程考察活动，取得了不少技术成就。本文希望全面整理矿山压力预测与控制技术的研究脉络，覆盖基本原理、预测手段直至调节方案，还要对其综合化、智能化的发展态势作出预估，以期为该技术的深入发展与工程应用提供清晰的逻辑框架与理论参考。

【作者简介】段云（1990—），男，中国山西人，本科，中级注册安全工程师，从事采矿工程研究。

2 矿山压力理论基础

2.1 矿山压力形成机理

矿山压力的产生属于复杂的动态力学过程，其本质在于自然条件下岩体原始应力均衡因开采行为而遭到破坏。挖掘巷道或者回采矿石之后，原本的岩应力状况出现变化，应力重新分配到开挖空间四周，从而形成应力聚集区和卸压区。上覆岩层自身重量以及构造应力朝着巷道或者采场附近煤岩体迁移，致使该区域应力大幅增大。而且，采空区之上的岩层受到自身重量和应力的影响而出现弯曲、下沉、离层甚至破裂等现象，这些岩层运动所产生的负载又进一步传递给临近支撑煤岩体，这便是矿山压力主要的成因。采动效应持续传递并逐步扩大范围，于是矿山压力在时空维度上表现出动态变化的特性。

2.2 岩体结构与力学特性

岩体不是连续且均匀的介质，其内部存在多种尺度的结构面，节理、裂隙、层理以及断层等都是其中的代表。这些结构面会把岩体分割成不同形状的岩块，从而致使岩体的力学性质与完整岩石大不相同。岩体的强度、变形特点以及破坏形式受结构面的倾角、密度、充填状况以及岩块自身性质等诸多要素的共同影响。岩体结构决定了应力传递的途径和方法，是影响矿山压力表现特征的重要因素。软弱的结构面常常是应力聚集之处，也是岩体出现变形和破坏较为频繁的地方。所以，探究矿山压力应当以岩体结构为起点，透彻剖析其力学性能，涵盖抗压、抗拉、抗剪强度以及流变特征等方面。

2.3 采动应力分布规律

采掘活动于空间上造成了复杂的应力分布情形，在工作面前方往往出现超前支承压力区，该区域的应力值远远大于原岩应力，其峰值大小、位置以及影响范围同开采条件、岩性以及采深存在密切联系。在采空区两侧的煤柱或者实体煤当中会形成侧向支承压力，而采空区的上方，伴随顶板岩层的垮塌，会形成卸压区，这里的应力水平比较低。这种支承压力和卸压区在采场周边的空间分布表现出一定的规律性，它们的分布形式、发展进程以及对围岩稳定状况的影响，都是执行巷道布置、煤柱保留以及支护设计时极为重要的依照。了解各个开采阶段、不同空间位置的应力分布及其转换规律，乃是预测和控制矿山压力的关键所在。

3 矿山压力预测方法

3.1 理论分析与模型预测

理论分析方法依靠岩石力学、弹塑性力学等基本理论，通过创建简化力学模型去剖析矿山压力问题。常见的模型包含悬臂梁理论、砌体梁理论、关键层理论等，它们用于分析采场顶板的破坏机制及运动规律。这些理论模型可大致或者半定量地表现矿山压力显现的主要规律，比如初次来压和周期来压步距、支承压力分布特点等。借助理论推导，能够得到一些关键的解析解或者计算公式，给工程应用提供理论指引。不过实际地质状况要比模型复杂得多，但理论模型提供了分析问题的基本架构和主要思路，是预测工作的关键开端。

3.2 现场监测与数据分析

现场检测通过设置各类传感器直接获取矿山压力显现信息，这是最为可靠的办法。常见的检测内容涵盖巷道表面位移、顶底板移近量、支架载荷、锚杆（索）受力、岩体内部应力以及微震事件等。检测数据是表现矿山压力动态变化的直接依据，借助及时采集、传送检测数据并加以分析，就能把握围岩变形与应力在时空上的变化情况。依靠长时间积累的检测数据，可以剖析来压规律、评判支护成效，还能针对可能出现的失稳预兆发出警报。数据分析方法逐步从传统的统计分析过渡到时序分析、空间插值等，目的在于从大量的检测数据当中提炼出关键信息，给预测提供数据支撑。

3.3 数值模拟预测技术

数值模拟技术是执行矿山压力预测的一项有力手段，其依靠岩体的本构模型及破坏准则，通过有限元法、有限差分法、离散元法等数值计算方法，在计算机内重现开采情形，模仿岩层运动和应力分布状况。此方法可纳入复杂的地质构造、岩体非均质性、开采工序等诸多要素，形象表现采动应力场、位移场以及塑性区的动态变化进程。借助参数反演和方案比较，数值模拟能够预估各类开采方案下矿山压力显现的规律，评判巷道布置和支护设计是否恰当，并在施工之前评定工程风险并加以改善，极大地弥补了理论模型简化与现场监测滞后的局限性。

4 矿山压力控制技术

4.1 巷道支护技术

巷道支护是控制矿山压力、维护巷道稳定的核心环节，其关键在于通过及时有效的支护手段，与围岩协同构建稳定的承载结构。在实际工作中，通常需依据巷道服务年限、围岩等级及所处应力环境，合理选择支护形式与参数。传统刚性支架或可缩性金属支架多提供被动支撑，而现代广泛应用的锚杆、锚网、锚索等主动支护技术，则能有效加固围岩，提升其自承能力，形成强化承载圈。尤其在面对深部高应力条件时，支护设计更注重高强度、高预紧力与系统性，以实现快速强支护，从而有效抑制围岩变形，保障巷道在服务期内安全稳定。

4.2 采场顶板管理

在应对冲击地压，强矿压等灾害时，现场操作中卸压和应力转移属于核心的积极防护方法，技术人员要按照监测数据准确找出高应力危险区域，然后选择煤层大直径钻孔卸压，顶板深孔爆破预裂，煤体高压注水软化，底板切槽等合适的技术。例如，在回采巷道超前部分执行密集钻孔卸压，可以有效地减弱煤体并释放弹性能量；在坚硬的顶板地段利用深孔爆破，能够自行切断关键层，促使应力向下方迁移。这些技术重点在于经由人工干涉来改变局部煤岩体的物理力学特性或者形成结构薄弱面，进而把集中分布的应力预先释放掉或者转移到非工作区域，做到从被动接受到积极掌控的转变，这是确保深部和复杂环境矿井安全运行的重要技术手段。

4.3 卸压与应力转移技术

冲击地压、强矿压显现等特殊动力灾害时，主动卸压与应力转移技术十分关键。该技术原理在于通过人工干预，改变高应力集中区的力学状态，把危险区域的应力转移或者释放掉。常见的技术包含煤层大直径钻孔卸压、顶板深孔预裂爆破、煤体高压注水软化、底板切槽以及保护层开采等。这些方法或是改变煤岩体的物理力学性质，或者形成弱面来

引导能量的释放，亦或者改变开采顺序以改良整体的应力分布状况，以此来达成减轻应力集中的程度并减慢能量聚集的速度。此类技术属于积极防治高应力灾害的有效手段，特别适合于深部开采和复杂困难的环境。

5 技术集成与发展展望

5.1 预测与控制技术集成

矿山压力若想得到有效的治理，就离不开预测和控制的紧密结合，从而创建起“监测 - 预测 - 决策 - 控制”这样的循环系统。日后的发展趋势在于把地质勘探所获的数据、理论分析所用的模型、数值模拟得出的结果以及即时监测到的信息深入融合起来，塑造起依靠多源信息的综合预测平台。凭借这个平台，可以针对矿山压力的发展趋向展开动态分析并预先发出通知，而且按照预测的情况智能地适配或者改良控制策略。比如依照微震监测所显示的时空变化来判断存在冲击危险的地方，并自动启动相关的减压钻孔或者加固支撑命令，做到预测报警和控制手段相互配合协作，进而改善反应的速度和精确度。

5.2 智能监测预警系统

物联网、大数据和人工智能技术持续发展过程中，矿山压力监测警报系统向着智能化方向前进。智能系统会设置很多不同种类的传感器，从而达成监测数据的自动收集、无线传递以及向云端汇集。依靠数据挖掘和机器学习算法，该系统可以自行找出矿山压力表现的异常规律以及灾害来临之前的先兆信息，做到从“数据”过渡到“信息”，再由“信息”上升到“知识”的自动化提取过程。警报模型具有自学习和改良功能，其警报的准确性及其时效性会不断提升。其终极目的在于形成起一个拥有感知、分析、决策功能的智能警报系统，以做到对矿山压力灾害的及早察觉、精确警报并执行风险等级划分，进而给安全生产提供智能化保障。

5.3 未来发展趋势与挑战

未来的矿山压力控制会紧密依据现场的实际需求展开，重点在于加强预测的准确性并做到控制的即时性。其工作要点包含：依靠物联网创建更为密集、可靠的检测网络，保证井下数据持续稳定地传递；凭借大数据平台深入融合多源检测信息，并实施智能分析，立即找出压力异常的先兆；研发适合地质状况和开采工艺的警报模型，达成从“异常警报”向“风险定量评价”的转变；促使卸压、支撑等控制措施智能化地协同运作，按照警报信息自动开启或者调整施工计划，创建起“感知 - 分析 - 决策 - 执行”的闭环管理体系，从而有效地解决由于深部复杂环境引发的强烈矿压和动力灾害难题。

6 结语

矿山压力预测与控制属于采矿活动期间一直存在的系统性工程，其发展水平是衡量采矿科学与技术水平的关键标志。文章系统梳理了包含基础理论、预测方法以及控制技术的完整技术链。基础理论体现出压力形成原因和岩体行为实质，诸多预测方法形成起从理论演绎、现场感受再到数值仿真这样全面的认识体系，各种控制技术则提供了保障采动空间稳定的多种方法。应对未来深部和智能开采带来的难题时，推进多源信息融合、创建智能警报系统、达成预测与控制的动态循环整合，这是做到矿山安全、高效又绿色开采的必然选择。此领域不断更新换代，对于确保我国矿产资源安全可持续开发有着深远的意义。

参考文献

[1] 刘新会.矿山压力监测与岩体稳定性分析技术研究[J].煤炭新视界,2025,(02):208-210.

[2] 周长平.煤矿用液压支架单伸缩立柱动载过载压力特性仿真分析[J].机械管理开发,2025,40(10):28-29+32.

[3] 韩锋伟.精细化采矿技术在金矿采矿中的具体应用分析[J].冶金与材料,2025,45(12):178-180.

[4] 张晓刚.采矿工艺在煤矿采矿工程中的应用[J].自动化应用,2024,65(12):174-176+179.

[5] 张斌海.煤矿采矿技术的应用标准及改进技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025,(18):163-165.