

# 矿山地压监测规律及采场安全防控研究

田志云

宁武德盛煤业有限公司 山西 忻州 036700

**【摘要】**：矿山地压显现是地下开采过程中不可避免的地质现象，其变化规律直接影响采场作业安全与矿山生产效率，不合理的监测方式与防控措施易引发冒顶、岩爆等安全事故，威胁人员生命与财产安全。本文结合矿山开采实际工况，聚焦地压监测规律与采场安全防控两大核心，通过分析地压监测的常用技术与数据变化特征，总结不同开采阶段地压显现的核心规律，针对性提出贴合现场实际的采场安全防控措施，重点优化监测系统布局与防控流程，为矿山安全生产提供可落地的技术参考。研究表明，矿山地压监测需结合开采进度动态调整，采场安全防控应坚持“监测先行、预防为主、协同管控”的原则，实现地压变化的实时感知与灾害的提前防控，有效降低地压灾害发生概率。

**【关键词】**：矿山地压；监测规律；采场安全；防控措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.056

## 引言

随着矿山开采深度不断增加，地下地质环境日趋复杂，地压灾害风险显著上升，岩爆、冒顶、片帮等事故频发，严重制约矿山安全高效生产，也对采矿行业的安全管理水平提出更高要求。地压作为地下岩体受力状态的直接体现，其变化具有一定的隐蔽性和突发性，准确掌握地压监测规律，构建科学完善的采场安全防控体系，成为矿山安全生产的关键环节。当前，部分矿山仍沿用传统的地压监测模式，存在数据分散、监测不全面、防控措施针对性不强等问题，难以适应复杂开采条件下的地压管控需求。基于此，开展矿山地压监测规律及采场安全防控研究，结合现有监测技术与防控经验，优化监测方案与防控措施，破解地压灾害防控难题，对推动矿山安全生产、提升采矿作业安全性具有重要的现实意义，也能为同类矿山的地压管控提供实践借鉴。

## 1 矿山地压监测基础

### 1.1 地压监测核心对象

矿山地压监测的核心对象围绕地下岩体的受力状态、位移变化及相关环境参数展开，重点关注采场顶板、矿柱、巷道两帮的应力与位移变化，这些部位是地压显现最集中、最易发生灾害的区域。顶板岩体的下沉量、下沉速度及离层量直接反映顶板稳定性，一旦出现异常变化，极易引发冒顶事故；矿柱作为采场的承重结构，其应力分布与变形情况决定采场整体稳定性，需重点监测矿柱的应力集中程度与变形速率；巷道两帮的收敛量与位移变化，能及时反映巷道围岩的稳定性，避免出现片帮、巷道坍塌等问题。同时，监测过程中也需兼顾岩体的微震活动情况，通过捕捉微震信号的频次、强度变化，预判地压灾害的发生趋势，为后续防控工作提供数据支撑。

### 1.2 常用地压监测技术

矿山地压监测技术的选择需结合开采条件、监测对象及现场实际需求，优先选用操作简便、数据精准、实时性强的监测

技术，兼顾实用性与经济性。应力监测多采用应力传感器，直接嵌入岩体内部，实时采集岩体应力数据，能准确捕捉应力集中点的变化情况，及时发现应力异常升高现象；位移监测主要采用测缝计、位移计等设备，安装在顶板、巷道两帮及矿柱表面，实时监测岩体位移量与位移速度，通过数据变化判断岩体稳定性；微震监测技术通过布置微震监测系统，捕捉岩体破裂产生的微震信号，分析微震事件的时空分布特征，预判地压灾害的发生风险。此外，部分矿山引入基于三维可视化技术的地压监测预警平台，整合多源监测数据，实现地压安全态势的实时感知与分级预警，提升监测效率与管控水平。

## 2 矿山地压监测规律分析

### 2.1 开采前期地压监测规律

开采前期矿山地下岩体处于相对稳定的天然应力状态，地压监测数据整体波动较小，应力分布均匀，岩体位移量处于合理范围，微震活动频次低、强度小，无明显异常现象。这一阶段的地压变化主要受原始地质条件影响，岩体应力主要为自重应力与构造应力，监测数据能准确反映岩体的天然受力状态。随着采场准备工作的推进，巷道掘进等作业会轻微扰动岩体，导致局部应力出现小幅升高，位移量出现微量增加，但变化幅度均在安全阈值范围内，微震信号无明显增强趋势。此时的监测重点是掌握岩体原始应力与位移基准数据，建立监测基线，为后续开采过程中的地压变化对比分析提供依据，同时排查原始地质构造引发的局部地压异常隐患。

### 2.2 开采中期地压监测规律

开采中期是地压变化最剧烈、最复杂的阶段，随着采矿作业的持续推进，地下岩体的天然应力平衡被打破，地压显现逐渐明显，监测数据呈现显著的动态变化特征。采场顶板下沉量与下沉速度大幅增加，尤其是在回采作业推进过程中，顶板岩体失去支撑，应力重新分布，易出现顶板离层现象，离层量超过安全阈值后，冒顶风险显著上升；矿柱承受的应力持续增大，

应力集中现象日益突出，部分矿柱会出现细微裂缝，变形速率加快，若不及时采取防控措施，会导致矿柱失稳，引发采场坍塌；巷道两帮收敛量明显增大，岩体易出现片帮现象，微震活动频次与强度大幅提升，微震信号的时空分布与采场回采进度高度相关，回采工作面附近的微震事件最为集中。这一阶段的地压变化呈现明显的阶段性，回采推进速度、采场结构参数会直接影响地压变化幅度，监测数据需实时跟踪，及时捕捉异常变化信号。

### 2.3 开采后期地压监测规律

开采后期采场回采作业接近尾声，采空区面积不断扩大，岩体应力重新分布趋于稳定，但地压显现仍存在一定的风险，监测数据波动逐渐趋于平缓，但需重点关注采空区顶板的稳定性与矿柱的残余承载能力。此时顶板下沉量与位移速度逐渐放缓，趋于稳定，但部分区域由于采空区顶板岩体长期受力，可能出现局部冒落现象，需持续监测顶板离层量与应力变化；矿柱经过长期受力，残余应力逐渐降低，变形趋于稳定，但部分受损矿柱仍存在失稳风险，需重点监测矿柱的裂缝发展情况与变形速率；微震活动频次与强度逐渐降低，趋于稳定，但仍可能出现零星的微震事件，多与采空区岩体的缓慢变形有关。这一阶段的监测重点是防范采空区顶板冒落与残余矿柱失稳，监测数据需持续跟踪，直至采场封闭完成。

## 3 采场安全防控措施

### 3.1 基于监测数据的动态防控

采场安全防控需以地压监测数据为核心，建立全生命周期的动态防控机制。这要求我们打破传统静态、被动的管理模式，将防控关口前移，根据多源监测数据的变化趋势，及时调整防控措施，实现地压灾害的提前预防与精准管控。首先，必须构建“近场+远场”相结合的多场协调监测系统，整合液压支架工作阻力、顶板离层、锚杆（索）应力以及微震等多维数据，形成对采场围岩状态的全面感知。

在此基础上，建立监测数据实时智能分析机制。安排专业技术人员对监测数据进行常态化深度挖掘，对比监测基线与实时数据，利用人工智能算法识别应力异常升高、位移量突变、微震活动频次增强等潜在的危害前兆信号。一旦发现异常，系统应立即发出分级预警，现场必须果断停止相关作业，并迅速组织人员沿既定避灾路线撤离至安全区域。针对开采中期地压变化剧烈的特点，需依据监测反馈动态调整回采推进速度，避免因推进过快导致采场岩体受力集中。同时，结合三维地质建模与数字孪生技术，优化采场结构参数，科学设置矿柱尺寸与间距，从源头上提升采场的整体稳定性。通过构建地压监测预警平台，实现地压安全态势的实时可视化，为防控决策提供科学依据，确保各项措施与地压演化规律精准匹配。

### 3.2 采场岩体加固防控

采场岩体加固是提升采场本质安全水平、防范地压灾害的关键物理屏障。该项工作需紧密结合地压监测规律与岩体实际赋存状态，坚持“主动支护为主，被动防护为辅”的原则，针对性开展加固作业，重点强化顶板、矿柱及巷道两帮等关键承载部位。

在顶板加固方面，优先采用高强度的锚网喷联合支护方式。根据顶板岩体的完整性及离层监测数据，合理优选锚杆（索）的型号、长度与排布间距，并通过喷射混凝土封闭岩面，增强顶板岩体的整体性与自承能力，有效防止顶板离层与冒落。对于地压显现强烈或穿越断层破碎带的区域，应增设大吨位锚索进行补强，大幅提升顶板的深层承载能力。矿柱加固则主要采用深孔注浆改性技术，向矿柱内部高压注入化学浆液或水泥基材料，充分填充内部原生裂隙与采动裂隙，胶结松散岩体，从而显著增强矿柱的强度与抗变形能力，降低其失稳风险。注浆参数需根据实时的应力监测数据进行动态调整，确保加固效果最大化。巷道两帮广泛采用锚网支护，及时封闭岩体表面裂缝，抑制岩体风化剥蚀与非弹性变形，严防片帮事故发生。在过构造带等特殊地段，必须编制专项高强度支护设计，经严格的安全评估合格后方可实施，全方位保障巷道的长期稳定。

### 3.3 防控管理制度与应急防控

完善的防控管理制度与高效的应急响应体系，是采场安全防控工作落地见效的根本保障。企业必须建立健全涵盖地压监测管理、岗位安全责任、防治专业培训及事故报告的全链条制度体系，明确从管理层到一线作业人员的具体职责，规范日常监测与防控作业的标准化流程。

在设备与人员管理上，需定期对各类监测传感设备进行检修与校准，确保源头数据的准确性与可靠性。同时，制定严格的防冲与地压防治培训计划，定期组织井下作业人员、班组长及技术人员开展专题培训，切实提升全员的安全红线意识与实操技能，使其能够准确识别地压异常的前兆信息，熟练掌握各类防控设施的操作与应急处置方法。此外，必须建立科学的地压灾害应急预案，结合本矿井的地压显现规律与采场实际空间布局，明确不同等级预警下的应急处置流程、人员撤离路线及应急救援具体措施。每年至少组织一次全流程的应急预案实战演练，检验预案的可操作性并提升队伍的协同作战能力。一旦发生地压灾害征兆或事故，必须立即启动应急预案，第一时间组织涉险区域人员撤离，同步开展专业应急救援工作，最大限度减少人员伤亡与财产损失，筑牢矿山安全生产的最后防线。

## 4 地压监测与安全防控优化建议

### 4.1 监测系统优化

现有矿山地压监测系统仍存在布局不合理、数据整合困难等问题，需结合地压监测规律与采场开采条件，优化监测系统

布局,提升监测全面性与实时性。根据不同开采阶段的地压变化特点,调整监测点的布置位置与数量,开采中期重点增加回采工作面、矿柱及巷道两帮的监测点密度,确保能够全面捕捉地压异常变化;整合各类监测技术,将应力监测、位移监测与微震监测有机结合,实现多维度、全方位监测,避免单一监测技术的局限性。引入智能化监测设备,提升监测数据的采集效率与传输速度,优化监测数据处理算法,减少数据误差,同时完善地压监测预警平台功能,实现监测数据的实时分析、预警与可视化展示,提升监测系统的智能化水平。

#### 4.2 防控措施优化

结合地压监测规律与现场防控实践,优化采场安全防控措施,提升防控措施的针对性与实用性,坚持“区域先行、局部跟进、分区管理、分类防治”的原则。根据不同开采阶段的地压风险等级,划分不同的防控区域,采取差异化的防控措施,开采中期重点强化动态防控与岩体加固,开采后期重点防范采空区顶板冒落与残余矿柱失稳。推广应用充填采矿法,减少采空区面积,降低地压显现风险,同时优化支护设计,结合巷道围岩地质力学评估结果,科学精准开展支护设计,避免擅自改变支护形式与增加暴露面积。加强地压异常变化管控,建立现

场巡查机制,动态开展矿压观测,发现地压异常征兆立即停止作业,撤离人员,待隐患消除、验收合格后再恢复作业。

#### 5 结论

本文围绕矿山地压监测规律及采场安全防控展开研究,结合矿山开采实际与参考资料,分析了矿山地压监测的基础内容与常用技术,总结了开采前期、中期、后期三个阶段的地压监测规律,提出了针对性的采场安全防控措施,并给出了监测系统与防控措施的优化建议。研究表明,矿山地压变化具有明显的阶段性特征,开采中期是地压变化最剧烈、灾害风险最高的阶段,也是监测与防控的重点;地压监测需结合开采进度动态调整,构建多维度、智能化的监测系统,才能准确捕捉地压变化规律;采场安全防控需坚持“监测先行、预防为主、协同管控”的原则,将动态防控、岩体加固与管理制度有机结合,才能有效降低地压灾害发生概率。本次研究贴合矿山生产实际,减少理论阐述,重点突出实践应用,提出的监测与防控措施具有较强的可操作性,能够为矿山安全生产提供技术支撑。但由于矿山地质条件的复杂性,不同矿山的地压变化规律存在差异,后续需结合具体矿山的实际情况,进一步细化监测方案与防控措施,提升地压管控水平,推动矿山安全高效生产。

#### 参考文献:

- [1] 倪健.矿山安全智能化体系与矿山智能安全总体解决方案[J].世界有色金属,2026,(01):130-132.
- [2] 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.
- [3] 杨诚.基于微震技术的矿山地压活动监测及信息化预警分析[J].智能制造研究与应用,2025,1(03):144-146.
- [4] 蔡兆松.金属矿山采矿工程技术与安全管理探究[J].世界有色金属,2025,(23):229-231.
- [5] 张继文.基于矿山应力-微震监测的岩体破裂类型与数值模拟研究[D].安徽理工大学,2025.