

# 褶曲构造对矿井采区顶板稳定性的影响分析

李嘉宾

河南焦煤能源有限公司古汉山矿 河南 焦作 454350

**【摘要】**：构造作为地下岩体常见的地质现象，其形态和分布直接影响矿井采区顶板的力学特性和稳定性。本文以褶曲构造为研究对象，分析其对采区顶板结构力学性能的控制作用，探讨褶曲参数与顶板失稳之间的关系，提出力学模型与控制技术的综合方案。通过理论分析与实际案例验证，揭示褶曲构造对顶板稳定性演化过程的关键影响因素，为矿井安全生产与工程设计提供参考依据。

**【关键词】**：褶曲构造；矿井采区；顶板稳定性；力学模型；控制技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.003

## 引言

褶曲构造在矿区地质中普遍存在，其复杂的形态与力学行为使得矿井开采面临巨大的稳定性挑战。采区顶板作为矿井开采安全的关键环节，其稳定性直接决定生产过程的连续性与安全性。然而，褶曲的几何特征、分布规律与力学性质常常导致顶板受力条件急剧变化，甚至引发垮落与破坏。近年来，矿井开采深度不断增加，地应力环境更为复杂，褶曲构造的影响愈发突出。深入分析褶曲构造与顶板稳定性的内在联系，不仅有助于理解顶板破坏机理，还可为开采方案优化及灾害防治提供科学依据，具有重要的工程价值。

## 1 褶曲构造对顶板受力特征的影响机理

褶曲构造的形成过程中，地层在长期构造应力作用下发生弯曲与错动，使顶板岩层产生复杂的力学响应。褶曲轴部通常形成应力集中区，岩体内部产生拉应力和压应力交替分布，导致顶板结构在局部区域承载能力降低。受这种不均匀应力分布的影响，顶板会出现弯曲、剪切和拉裂等多种破坏模式，尤其在向斜核部，由于围岩压力聚集，顶板失稳风险显著增加。当采场推进至褶曲波峰或波谷区域时，岩层的力学特性发生突变，表现出脆性破坏与延性变形并存的特征，给顶板稳定性控制带来较大难度。

在开采过程中，褶曲构造使顶板原有的层理结构受到破坏，岩层间的结合力减弱，节理、裂隙数量急剧增多，这些不连续面成为应力释放和能量集中的通道。褶曲翼部岩层通常呈现倾斜状态，力学方向性明显，受重力及采动影响时易沿层面滑移，从而改变顶板的受力传递路径。局部构造应力与采动应力叠加后，会形成高危应力区，易引发大面积垮落。此类复杂受力状态不仅影响顶板承载性能，还使常规支护设计难以满足安全要求。

褶曲几何参数对顶板稳定性的影响不容忽视。波

幅较大的褶曲使岩层弯曲程度增加，顶板内部拉伸区与压缩区分界明显，局部区域更易形成岩桥破坏；波长较短的褶曲则会导致顶板受力频繁变化，形成密集的应力转换带。褶曲走向与采区走向的不一致，会导致顶板受力呈现各向异性特征，进一步增加不稳定因素。这些复杂构造因素在深部开采条件下表现得更加突出，使得顶板失稳问题成为矿井安全生产中亟须关注的重点。

## 2 采区顶板稳定性控制的力学模型与技术路径

采区顶板稳定性控制需要在复杂褶曲构造背景下构建合理的力学模型，以准确描述顶板在采动影响下的受力与变形规律。褶曲结构使顶板呈现多轴应力状态，单一均质弹性模型难以反映其真实特征，因此需引入力学分区理论，将褶曲轴部、翼部及转折部位视为不同力学性质区域，通过建立分段式力学模型来分析顶板稳定性。褶曲轴部区域应力集中且围岩完整度较低，可采用塑性损伤模型描述其破坏过程；翼部岩层则受倾角控制，适合采用弹塑性体模型模拟滑移与剪切失稳行为。通过将多种模型耦合，并结合三维有限元计算，可精确模拟顶板的空间应力分布和位移场变化，为后续控制措施提供理论依据。

在构建模型过程中，应充分考虑采动扰动对褶曲构造的叠加效应。随着工作面推进，顶板上方褶曲构造会导致应力重新分布，高应力集中区随采动范围扩展而不断迁移。通过采动—构造耦合分析，可以确定关键层的破断位置及时序，并预测潜在的顶板失稳模式。模型中需引入构造节理和裂隙参数，以反映顶板的不连续性特征。节理参数可采用离散单元方法嵌入模型，使模拟结果更接近实际情况。通过动态加载模拟，可研究不同开采速度、推进方向对褶曲顶板稳定性的影响，从而找到降低破坏风险的合理开采节奏与支护时机。

在技术路径上,应以预测、控制、加固三位一体的思路进行设计。通过地质勘探与数值模拟相结合的方式,对褶曲形态、岩层厚度及力学参数进行综合分析,形成顶板稳定性预测图,明确高风险区域。针对不同构造部位,需设计差异化的支护体系。褶曲轴部应采用高强度锚杆与锚索联合加固,并配合厚层钢筋网片,提高整体承载能力;翼部区域则应重点控制滑移破坏,可布置深部锚索形成稳定的拉拱结构;褶曲转折处应结合柔性支护与注浆加固技术,增强顶板完整性并降低裂隙导水风险。

为确保控制措施的有效性,还应建立实时监测与反馈机制,通过顶板离层仪、地应力监测仪及微震监测系统,实时掌握褶曲顶板的变形与应力变化情况。监测数据可反向修正力学模型,形成动态控制系统,使支护参数在生产过程中不断优化。技术路径中还应纳入采区通风与排水方案,保证应力释放与围岩稳定同步推进。通过理论模型、工程措施和监测反馈的协同作用,可有效降低褶曲构造区域顶板失稳风险,保障矿井安全开采。

### 3 研究结论与工程应用经验总结

通过对褶曲构造与采区顶板稳定性的研究,明确了褶曲形态对顶板受力分布及破坏模式的深层次影响。褶曲轴部区域由于应力集中和岩层破碎,成为顶板破坏的高发部位,表现为剪切与拉伸破坏交替出现;翼部岩层因倾角变化导致力学方向性显著,其稳定性受重力及采动叠加作用影响明显,易形成沿层面滑移失稳;褶曲转折带则呈现多向应力耦合特征,顶板易发生局部坍塌和岩块掉落。这些研究成果表明,褶曲构造的空间形态决定了顶板稳定性控制的重点区域和主要破坏模式,为采区分区管理提供理论基础。

通过力学模型与数值模拟分析,揭示了采动扰动与褶曲构造的耦合作用规律。采动过程中,顶板应力

集中区发生动态迁移,不同采深条件下褶曲对顶板的影响范围和破坏程度存在明显差异。浅部开采以顶板局部弯曲破坏为主,深部开采则表现出大范围整体失稳特征。通过将构造机理、裂隙网络参数引入模型,可实现对顶板真实受力状态的模拟和破坏趋势预测。研究结果显示,支护体系必须依据褶曲几何参数和采动特征进行动态调整,才能有效降低失稳风险。

在工程实践中,通过对典型矿区褶曲区域的监测与治理,总结出一系列适用性强的控制经验。褶曲轴部采用高强度锚索联合锚杆并辅以喷射混凝土,可显著提升整体承载力;翼部则以深部锚固与防滑结构为主,抑制岩层滑移的发生;转折部位需要布置柔性支护和注浆固结相结合的方案,增强岩体整体性并降低导水通道形成的可能性。实时监测在控制体系中发挥了核心作用,通过离层监测、地应力测定和微震预警,实现了对顶板变化的动态掌控,并在生产过程中及时调整支护参数。在实际应用中,建立了预测—控制—反馈的闭环管理模式,使顶板稳定性治理与矿井生产实现同步推进。通过理论分析与实践检验的结合,完善了褶曲构造条件下顶板控制技术体系,形成了适合不同地质条件的差异化方案,为后续类似矿区的安全高效开采提供了成熟的技术路径和可复制的管理经验。

### 4 结语

褶曲构造对矿井采区顶板稳定性具有显著影响,通过理论分析、力学模型构建及工程实践验证,明确了不同构造部位的受力特征及失稳规律。研究提出了针对褶曲轴部、翼部和转折区的差异化控制措施,并形成了预测、控制、反馈相结合的管理体系。该成果为复杂构造条件下的矿井顶板治理提供了科学依据和技术支持,对保障矿井安全高效开采具有重要工程价值。

### 参考文献:

- [1] 王建国.褶皱构造与矿井顶板稳定性关系分析[J].煤田地质与勘探,2022,50(3):45-52.
- [2] 赵明宇.深部开采条件下采区顶板力学特性研究[J].岩石力学与工程学报,2021,40(6):1134-1142.
- [3] 李志强.褶皱构造区煤矿顶板失稳机理探讨[J].矿业安全与环保,2020,47(5):26-31.