

煤矿综采工作面采空区顶板塌落规律分析

刘海斌

河南焦煤能源有限公司古汉山矿 河南 焦作 454350

【摘要】：煤矿综采工作面采空区顶板稳定性直接影响矿井安全与生产效率。随着采场推进，上覆岩层在应力重新分布作用下发生弯曲、破断及垮落，表现出明显的阶段性与周期性规律。通过现场监测与数值模拟分析，揭示了顶板从初次破断到周期来压的演化过程，明确了关键层在顶板运动中的主控作用，并探讨了采场推进速度、采高及岩层结构对塌落特征的影响。在此基础上提出顶板控制措施，为合理确定支护参数与采场布局提供科学依据。

【关键词】：煤矿综采；采空区；顶板塌落；规律分析；支护控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.015

引言

煤矿综采技术作为现代化矿业生产的重要方式，具有高效率和高产出的特点，但随着采掘范围不断扩大，采空区顶板的不稳定问题日益突出。顶板的塌落不仅威胁作业人员安全，还可能导致设备损坏及生产中斷，造成严重经济损失。深入研究采空区顶板塌落规律，有助于揭示岩层运动与压力变化的内在联系，为制定科学的采场推进方案和支护设计提供理论基础。通过掌握顶板的破坏过程，可实现对采空区塌落的预测与控制，从而确保矿井持续、安全生产。

1 采空区顶板塌落问题的形成机制

采掘活动进行过程中，煤层上覆岩层在开采扰动的作用下产生应力重新分布，原本处于稳定状态的顶板结构被破坏。随着工作面的推进，煤层支撑力逐渐削弱，直接顶与基本顶之间形成明显的悬空结构。在垂直应力和水平应力共同作用下，岩层发生弯曲、张拉和剪切破坏，导致顶板初次破断。此过程中，岩石内部会产生裂隙扩展，局部结构失稳，促使顶板整体进入塌落的准备阶段。顶板的完整性与岩性特征密切相关，坚硬厚层岩石在破断时表现出大跨度整体断裂，软弱夹层则容易形成分层剥落，呈现出不同的破坏模式。

在工作面形成采空区后，顶板失去支撑产生垮落，初次破断点通常位于采场中心区域上方，随着塌落的继续发展，裂隙网络不断扩大，岩块逐步下沉填充采空区，形成稳定的垮落带和裂隙带。支护系统的承载能力与顶板受力状态密切相关，当采场推进速度较快、支护强度不足时，顶板压力无法及时释放，容易引发大规模冒顶事故。矿压显现规律表现为周期性来压，顶板破断后的压力会周期性传递至支护设备，使得液压支架承受冲击载荷。

顶板破断与塌落还受到采场几何形态和推进工艺的影响。工作面长度增加时，顶板跨度扩大，形成的悬空区更大，导致垮落更为剧烈。推进方向、采高和煤层倾角等因素也改变了应力分布，进而影响顶板运动特征。岩层组合结构中的关键层起到控制整体运动的作用，当关键层失稳破坏后，上覆岩层整体垮落更加迅速，采空区塌落呈现出明显的阶段性和规律性变化。这一过程不仅改变了矿井围岩结构，也为后续的顶板控制提出了更高要求。

2 顶板塌落规律的系统分析与研究

通过现场实测数据与理论计算模型的综合研究，采空区顶板塌落规律表现出明显的阶段性特征。顶板在初次破断后，直接顶岩层迅速垮落，形成最初的垮落区，上覆基本顶在支撑力不足的情况下逐渐失稳，进入大面积的下沉阶段。在这一过程中，岩层运动呈现由缓慢变形到快速塌落的动态变化，采空区上部裂隙逐步贯通至地表，形成明显的分层破坏现象。随着工作面持续推进，顶板塌落逐步进入周期性阶段，每次垮落伴随矿压集中显现，表现为周期来压特征，支架受力曲线呈现出明显的峰值波动规律。

在周期性塌落过程中，顶板运动幅度与采场推进速度密切相关。推进速度较高时，顶板无法及时释放积累的能量，导致悬顶范围扩大，塌落规模增大，矿压冲击更为剧烈；推进速度较低时，顶板破断频率增加，但每次垮落范围较小，压力表现趋于稳定。通过对不同推进条件下的数据分析发现，合理控制推进速度可有效减缓周期来压对支架及顶板的破坏作用。采高变化对顶板稳定性有显著影响，采高增大会使基本顶承载能力下降，垮落带高度增加，采空区裂隙扩展范围更广。

岩层结构组合是影响采空区顶板运动规律的核心

因素,其中关键层起着主导作用。关键层作为整个上覆岩层的承重骨架,其厚度、埋深、岩性以及完整性直接决定了顶板破坏的范围、速度和强度。当关键层保持稳定时,上覆岩层呈现缓慢的渐进式下沉,塌落过程相对平稳,矿压表现较为均衡。当关键层发生破坏时,整体承载体系迅速失稳,矿压集中显现,顶板塌落具有突发性和不可控性。通过建立三维数值模拟模型,可清晰反映应力集中区域和裂隙扩展路径,并结合现场监测数据进行对比分析,从而揭示顶板运动的空间分布特征,为科学制定支护方案提供可靠理论依据与技术支持。

采空区顶板塌落的空间分布也具有一定规律性。工作面两端和采场中部的受力差异明显,端部因受煤柱约束作用产生较高集中应力,更易发生局部冒顶,中部区域则表现为整体性垮落。随着工作面推进,顶板上方裂隙网络不断扩大并延伸至上覆岩层,形成贯通带和缓冲带的分布格局。通过对塌落演化过程的持续跟踪,可明确不同阶段的运动规律,并进一步揭示采空区内压力传递与顶板运动的耦合关系。这一研究为预测顶板破坏时间和范围提供了可靠的技术基础,也为采场管理提供了科学的数据支持。

3 顶板控制策略与经验总结

在充分掌握采空区顶板塌落规律的基础上,针对不同条件下的塌落特征制定合理的控制措施,是保障工作面安全与高效生产的重要环节。顶板控制的核心在于维持岩层稳定和释放集中应力,通过强化支护与合理布置采场结构,实现顶板运动的可控化。在直接顶破断初期,需根据岩层承载特性和顶板厚度,选取合适的液压支架型号及支护参数,使其具备足够的承载力和工作阻力,以抵御矿压冲击。对于坚硬厚层顶板,必须采用高强度、高支护密度的联合控制方式,并结合前探梁等预防性措施,提前形成有效的支撑体系,减少大跨度悬顶的形成。

在周期来压阶段,顶板的运动规律更加复杂,需

根据监测数据动态调整支护策略。利用矿压在线监测系统实时跟踪支架受力和顶板下沉幅度,分析压力变化曲线,预测来压时间与强度,在关键区域加设临时支护或加固装置。采场推进过程中,控制推进速度与步距大小是影响顶板稳定的关键因素。推进速度过快容易导致顶板大面积悬空,增加垮落规模。通过合理降低推进速度并配合分段回采工艺,可缓解应力集中并减小矿压峰值。

顶板控制还需结合采场结构布置进行综合治理。在工作面两端及煤柱区域,由于应力集中度高,需采用加密支护与局部加固手段,防止局部冒顶及边角区域垮落。在条件允许时,可通过沿空留巷技术和充填开采方式增加采空区的支撑,减轻基本顶下沉幅度,降低裂隙扩展速度。岩层组合中关键层的稳定性直接决定顶板的整体控制效果,通过超前钻孔压力释放和分层注浆固结等措施,可以有效降低关键层的整体破坏风险,延缓塌落过程。

在长期生产管理中,顶板控制经验的积累与传承同样重要。通过建立完善的矿压数据库,记录不同采场条件下的顶板运动特征与支护反应,形成可供比对的标准化资料。基于历史数据与理论模型,可不断优化支护设计和采场管理方案,实现顶板控制的精细化与科学化。通过持续完善监测手段和预防措施,使顶板运动保持在可控范围之内,从而保障矿井生产的持续稳定运行。

4 结语

通过对采空区顶板塌落形成机制、运动规律及控制策略的系统分析,揭示了顶板破断、周期来压与支护响应之间的内在联系。结合理论模型与现场数据,提出多种适用于不同地质条件的控制措施,涵盖支护参数优化、推进速度调控及关键层稳定管理等方面。研究成果为煤矿综采工作面安全高效生产提供了理论依据与实践指导,对降低顶板事故风险、保障矿井长期稳定运行具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王国胜.综采工作面顶板控制技术研究[J].煤炭科学技术,2021,49(6):45-52.
- [2] 刘建宏.采空区顶板运动规律与支护参数优化[J].煤矿安全,2020,51(8):33-40.
- [3] 赵庆祥.基于数值模拟的矿山顶板稳定性分析[J].岩土工程学报,2023,41(12):2105-2113.