

# 切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术在煤矿矿井采掘中的应用研究

张博 陈文清

内蒙古伊东煤炭集团窑沟扶贫煤炭有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘要:**切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术通过切断预留巷道顶板一定深度岩层与回采垮落区之间岩石的地应力联系,改造顶板压力传递路径,实现随着工作面的回采,采空区顶板沿预裂缝定向下沉,压力定向释放在采空区垮落岩体上,使计划留下的巷道空间压应力稳定,从而方便相邻的下一个回采工作面继续使用。该技术涵盖基本原理、关键工艺流程及适用条件,通过构建顶板力学模型、分析切顶参数敏感性及多目标优化,明确技术关键点。同时,从地质适配性、稳定性控制、施工与成本、安全风险防控等方面提出应用优化策略,旨在实现顶板稳定、施工可行与经济合理协同最优,提高资源回收率,减少巷道掘进量,保障煤矿开采安全高效。

**关键词:**切顶卸压;沿空留巷;无煤柱开采;矿压控制;绿色开采

引言:在煤矿矿井采掘中,传统留煤柱护巷方式存在资源浪费、巷道掘进量大等问题。切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术作为一种创新方法,能有效解决这些难题。它通过主动干预顶板运动,将被动承压转变为主动卸压控稳,实现无煤柱开采。深入探究该技术在煤矿矿井采掘中的应用,涵盖其原理、工艺、参数优化及应用策略等方面,对于提高资源利用率、降低开采成本、保障开采安全具有重要意义,是推动煤矿绿色高效开采的关键举措。

## 1 切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术相关内容

### 1.1 技术基本原理

切顶卸压沿空留巷技术核心原理是通过主动切断工作面后方顶板的力学传递路径,实现顶板压力的定向释放与转移,进而在采空区边缘形成稳定的留巷空间。该技术以“主动卸压、定向垮落、围岩自稳”为核心思路,利用爆破或液压裂切等方式,在巷道外侧一定位置形成切顶缝,破坏顶板的完整性与连续性,使上覆岩层荷载向采空区深部垮落岩层传递,降低留巷区域围岩所受应力。通过布设巷旁支护体(如混凝土砌块、充填体等)与巷内支护系统协同作用,抵抗残余应力,约束围岩变形,保障留巷在后续采掘过程中的稳定性<sup>[1]</sup>。其本质是通过人为干预顶板运动规律,将传统留煤柱护巷的被动承压转变为主动卸压控稳,实现无煤柱开采,提高资源回收率,减少巷道掘进工程量。

### 1.2 关键工艺流程

切顶卸压沿空留巷关键工艺流程需严格遵循“超前准备-切顶实施-支护跟进-监测调整”的闭环作业逻辑。首

先,超前准备阶段需完成地质勘察,明确顶板岩性、厚度及应力分布,制定切顶与支护方案,同时对巷内原有支护进行加固。其次,切顶施工阶段在工作面推进至预定位置后,采用定向爆破或液压裂切设备,沿设计切顶线精准实施切顶作业,确保切顶缝深度、宽度及间距符合设计要求,实现顶板的可控断裂。随后,巷旁支护施工同步开展,通过现场浇筑、预制块砌筑等方式构建巷旁支撑体,保障其强度与密实度。另外,巷内支护强化环节针对切顶后围岩变形特征,补充锚杆、锚索、金属网等支护构件,形成协同支护体系。最后,全程开展围岩变形、应力及顶板垮落监测,根据监测数据动态调整施工参数,确保留巷质量与作业安全,整个流程需与工作面推进节奏精准匹配,保障各环节衔接顺畅。

### 1.3 技术适用条件

切顶卸压沿空留巷技术的适用需满足地质、开采及工程条件等多方面要求。地质条件方面,顶板岩层需具备一定的可切割性,中等硬度以上且层理、节理发育适中的岩层更利于切顶作业实施;煤层埋深宜控制在中等范围,一般50-800m内应力环境更易通过切顶卸压调控,过浅易受地表影响,过深则应力过大增加控稳难度;煤层厚度以中薄煤层至厚煤层为宜,且煤层赋存稳定,无大规模断层、褶曲等复杂地质构造。开采条件方面,工作面推进速度需与切顶、支护施工节奏匹配,走向长壁开采方式更适配该技术;矿井需具备完善的施工设备与监测系统,保障切顶精准性与支护及时性。对于高瓦斯、强冲击地压等特殊地质条件矿井,需配套针对性的瓦斯抽采、防冲卸压措施后,方可考虑应用该技术,确保施工

与开采安全。

## 2 顶板运动规律与切顶参数优化研究

### 2.1 顶板力学模型构建

顶板力学模型构建是深入揭示切顶卸压沿空留巷顶板运动规律的核心手段，在理论研究和工程实践中都具有至关重要的地位。其核心思路紧密依托岩石力学理论，同时充分考虑工程地质条件的复杂性和特殊性，对顶板受力与变形特征进行抽象和简化处理，进而构建出能够精准反映顶板与支护体系相互作用的数学力学模型。在构建过程中，首先要开展全面且细致的现场勘察与室内试验工作。通过现场勘察，直观了解顶板岩层的分布、形态等基本情况；借助室内试验，精确获取顶板岩层物理力学参数，如弹性模量、抗压强度、内摩擦角等，以及顶板的应力初始状态<sup>[2]</sup>。随后，依据顶板岩层赋存特征，将其科学合理地划分为不同力学单元，像关键承载层、软弱夹层等，并明确各单元间的力学传递关系。基于静力平衡、变形协调等基本原埋，灵活采用弹性力学、塑性力学或离散元等理论方法，建立顶板在切顶前后的受力方程与变形方程。同时，要将巷旁支护与巷内支护的力学响应特性融入模型之中。最终构建的模型要具备定量描述顶板应力分布、位移变化及垮落形态的能力，为后续切顶参数优化提供坚实的理论基础。模型建立后，还需通过现场实测数据进行严格验证与修正，确保其可靠性与适用性，使其能更好地指导实际工程。

### 2.2 切顶参数敏感性分析

切顶参数敏感性分析是明确各切顶参数对顶板稳定性影响程度的关键环节，在切顶卸压沿空留巷技术中起着承上启下的重要作用。它旨在通过系统、全面的分析，从众多切顶参数中筛选出对切顶效果起主导作用的核心参数，为后续的参数优化提供具有靶向性的依据。分析对象主要聚焦于切顶深度、切顶间距、切顶角度及切顶强度等关键参数。在分析过程中，以已构建的顶板力学模型为基础，采用控制变量法这一科学方法。即固定其他参数不变，逐一改变单一参数的取值范围，模拟计算不同参数组合下顶板应力分布、位移变形及支护受力等核心指标的变化规律。通过定量分析各参数变化与核心指标之间的相关性，构建一套科学合理的敏感性评价体系，采用敏感度系数等量化指标来精确衡量各参数的影响程度。例如，切顶深度不足时，顶板无法被完全切断，应力传递路径未得到有效阻断，会导致留巷压力过大，影响留巷的稳定性；而切顶深度过大，则可能破坏深部稳定岩层，引发次生灾害，给工程带来安全隐患。通过敏感性分析，能够明确各参数的合理取值区间，为后续开

展多目标优化提供优先级依据，使切顶参数的优化更具科学性和合理性。

### 2.3 多目标优化方法

切顶卸压沿空留巷切顶参数多目标优化方法以实现顶板稳定性、施工可行性与经济合理性协同最优为核心目标，整合多种优化理论与技术手段，构建多目标优化体系。该方法首先明确优化目标，包括首要目标（如顶板位移量最小、支护受力最均匀）、次要目标（如施工成本最低、作业效率最高）及约束条件（如切顶设备能力、地质条件限制、安全规程要求等）。随后，基于前期敏感性分析结果，确定优化变量（即核心切顶参数）及其取值范围。采用多目标优化算法（如遗传算法、粒子群优化算法等），结合顶板力学模型，建立优化目标函数与约束方程，通过算法迭代计算，求解得到多组非劣最优解（即帕累托最优解集）。最后，结合工程实际需求，采用模糊综合评价、层次分析等方法，从最优解集中筛选出最贴合工程实际的最优参数组合<sup>[3]</sup>。该方法突破了传统单目标优化的局限性，能够统筹兼顾多方面需求，确保优化后的切顶参数既满足顶板稳定要求，又具备良好的经济与施工效益。

## 3 切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术应用优化策略

### 3.1 地质适配性优化

地质适配性优化是切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术应用优化的重要前提。其核心在于依据不同地质条件，精准调整技术方案，实现技术与地质条件的完美匹配。在优化过程中，首先要开展精细化地质勘察工作，综合运用物探、钻探等多种手段，全面且精准地查明开采区域内岩层赋存特征、地质构造分布情况，如断层、裂隙的位置与规模，以及地下水赋存状态和应力环境等关键地质信息。针对不同地质类型，制定差异化的优化策略。对于顶板岩层坚硬且厚度较大的区域，适当增大切顶深度与强度，确保顶板能够可控垮落，避免对留巷造成过大冲击；对于软弱顶板区域，减小切顶间距，强化巷旁支护强度，采用柔性支护与刚性支护协同的方式，有效控制围岩变形；对于存在断层等地质构造的区域，尽量避免开构造核心影响区，调整切顶线位置，并增设加强支护段。建立地质条件动态监测机制，实时跟踪地质条件的变化，根据监测数据动态调整技术方案，确保技术应用始终与地质条件相适配，从而提升留巷的稳定性与开采的安全性。

### 3.2 稳定性控制优化

稳定性控制优化以实现留巷全生命周期稳定为核心目标，通过优化支护体系、调整施工工艺，强化顶板、巷

帮及底板的协同控稳效果。在支护体系优化方面，基于顶板运动规律与应力分布特征，对巷内支护参数进行优化，合理匹配锚杆、锚索的长度、间距与锚固力，采用高强度、高刚度的支护材料，提升支护体系的承载能力，有效抵抗顶板压力；优化巷旁支护形式，根据地质条件选用充填体、预制块或膏体充填等支护方式，调整巷旁支护体的宽度与强度，确保其能够有效阻挡顶板垮落与侧向挤压，维护留巷的稳定。在施工工艺优化方面，优化切顶与支护的施工时序，确保切顶后支护能够及时跟进，减少围岩暴露时间，降低围岩变形风险；采用精细化施工工艺，提升切顶精准度与支护施工质量，避免因施工误差导致支护失效。建立稳定性动态监测与预警体系，实时监测围岩变形与支护受力情况，根据监测数据及时采取补支护等加固措施，实现稳定性的动态控制，保障留巷的长期稳定。

### 3.3 施工与成本优化

施工与成本优化旨在通过优化施工流程、改进施工技术，在保障工程质量的前提下，提升施工效率、降低开采成本。在施工优化方面，对切顶、支护、监测等各施工环节的流程进行全面梳理，消除流程中的冗余环节，实现各环节的高效衔接，减少施工等待时间；引入智能化施工设备，如智能定向切顶设备、自动化支护设备等，提升施工自动化水平，减少人工投入，提高施工效率与施工精度，降低人为因素导致的施工误差；制定标准化施工规范，统一施工工艺与操作流程，使施工人员有章可循，降低施工误差，减少返工成本。在成本优化方面，基于地质适配性优化结果，合理选用支护材料与施工设备，降低采购成本；优化切顶与支护参数，避免过度支护导致的成本浪费，实现资源的合理利用；通过提升施工效率，缩短施工周期，降低工期成本与管理成本。同时建立施工成本动态核算机制，实时跟进成本支出实况，及时调整优化思路，推动施工效率与成本效益协同提升，助力企业斩获更优经济效益。

### 3.4 安全风险防控优化

安全风险防控优化以“预防为主、防治结合”为核

心原则，构建全流程、全方位的安全风险防控体系，确保切顶卸压沿空留巷无煤柱开采过程安全可控。首先，开展全面的安全风险辨识工作，针对切顶施工、支护作业、顶板垮落及采掘衔接等关键环节，深入识别可能存在的顶板坍塌、支护失效、瓦斯积聚、透水等安全风险，建立详细的风险清单与风险等级评价体系，明确各类风险的重要程度和可能造成的危害<sup>[4]</sup>。基于风险辨识结果，制定针对性的防控措施：针对顶板风险，强化顶板监测与预警，及时采取补支护、卸压等措施，防止顶板事故的发生；针对瓦斯风险，优化通风系统，加强瓦斯抽采与监测，确保瓦斯浓度始终控制在安全范围内，避免瓦斯爆炸等事故；针对透水风险，加强地下水监测，完善排水系统，提高应对透水事故的能力。建立动态风险管控机制，实时跟踪风险变化情况，及时更新防控措施；加强施工人员安全培训，提升其安全操作技能与风险防范意识；制定应急救援预案，定期开展应急演练，提升突发安全事故处置能力，最大程度减少事故损失，保障开采作业安全推进。

### 结束语

切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术为煤矿矿井采掘带来了新的思路与方法。通过对其技术原理、关键工艺、适用条件、参数优化及应用策略的深入研究，明确了该技术在提高资源回收率、减少巷道掘进量等方面的优势。然而，实际应用中仍需根据不同地质条件灵活调整方案，加强稳定性控制与安全风险防控。未来，随着技术的不断完善与创新，该技术有望在更多煤矿得到推广应用，为煤矿行业的绿色、安全、高效发展提供有力支撑。

### 参考文献

- [1]寇哲源.自动化与智能化技术在煤矿采掘中的应用研究[J].新疆钢铁,2024(3):57-59.
- [2]管俊.煤矿井下采掘工作面过断层技术的应用及发展趋势[J].内蒙古煤炭经济,2025(2):116-118.
- [3]卜祥坤,丁辉.煤矿采掘工作面智能化关键技术研究[J].新疆钢铁,2025(3):250-252.
- [4]闫保伦.现代矿井采掘面煤尘治理技术研究与应用[J].内蒙古煤炭经济,2021(19):123-124.