

急倾斜煤层综采工艺适应性分析与装备配套优化分析

吴建平 安学忠

山东新陶阳矿业有限责任公司 山东 泰安 肥城市 271624

【摘要】：急倾斜煤层开采环境中，综采系统受倾向重力分量影响显著，设备受力结构与运行姿态呈现非对称特征，传统配套模式难以满足稳定生产要求。围绕综采工艺适应性不足与装备协同效率偏低等问题，结合支架受力重构、采煤机牵引调控及运输系统稳链设计，构建工艺—装备一体化配置思路。通过优化结构参数与运行节拍匹配关系，提升系统整体稳定性与连续作业能力，为急倾斜煤层高效安全开采提供技术依据。

【关键词】：急倾斜煤层；综采工艺；适应性分析；装备配套；系统优化

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.027

引言

急倾斜煤层赋存条件复杂，煤体受力状态与顶板结构明显区别于缓倾斜煤层，开采过程中易出现支架失稳、设备滑移与运输受阻等现象。传统综采工艺多以中缓倾角煤层为设计基础，在大倾角环境下运行稳定性与协调性不足，系统效率难以充分发挥。倾角增大不仅改变采场空间结构，也对采煤机运行轨迹、支架受力分布及运输方式提出更高要求。工艺参数与装备配置之间的匹配程度直接影响生产连续性与安全水平。围绕急倾斜条件下的工艺适配与装备协同展开系统分析，有助于形成更具针对性的技术路径，为后续深入论述奠定基础。

1 急倾斜煤层开采条件特征与技术难点

(1)大倾角条件下围岩受力特征：急倾斜煤层中，煤体与顶底板岩层在重力分量作用下沿倾向产生明显的剪切滑移趋势，围岩应力分布呈非对称状态。支承压力由传统的近似均布形态转变为沿倾向偏移集中，局部区域易形成高应力带与应力集中区。顶板岩层受弯曲与剪切耦合作用影响，破断步距缩短，离层与片帮现象更为突出。底板在倾斜重载条件下易发生剪切错动与压缩隆起，影响支架底座稳定。围岩整体稳定性受层理发育程度与节理裂隙走向控制，空间受力体系复杂化，对综采支护强度与结构稳定性提出更高要求。

(2)采场空间结构变化规律：大倾角条件下，工作面空间结构由相对平衡状态转变为沿倾向失衡结构，设备布置呈现高低端落差明显的立体格局。煤流沿倾向自重下滑，改变传统运输路径组织方式，刮板输送机承载状态出现偏载现象^[1]。液压支架排列在重力分量作用下存在倾覆与下滑趋势，支架受力轴线与煤层法线方向偏离，影响支护效果。采煤机运行轨迹受倾角影响产生姿态偏移，滚筒切割角度与截割深度控制难度增加。采场空间受限与设备姿态变化相互叠

加，使整体结构稳定性呈动态波动状态。

(3)生产系统稳定性制约因素：急倾斜工作面生产系统运行受多因素耦合影响，设备间协调程度成为制约关键。支架抗滑能力不足易引发连锁位移，导致支护体系整体失稳；采煤机牵引阻力受倾角重力分量叠加影响，运行负荷波动明显；运输系统在煤流自重作用下产生堆积与冲击载荷，增加机械磨损与故障概率。通风与排水条件在高低端落差环境中分布不均，影响作业安全。工艺参数与装备性能匹配度不足时，系统运行连续性下降，难以保持高效稳定的综采节奏。

2 综采工艺在急倾斜煤层中的适配问题

(1)采煤机运行姿态控制难点：急倾斜煤层条件下，采煤机在倾向分力作用下产生沿下倾方向的附加滑移趋势，牵引系统承受的负载呈现明显不平衡状态。机身在运行过程中易出现横向摆动与俯仰偏移，滚筒切割轨迹与煤层走向之间形成角度偏差，影响截割断面成型质量。牵引链受力不稳定，链轮啮合冲击增大，传动系统磨损加剧。机身调姿依赖底托与导向滑靴的摩擦阻力，在煤壁软硬变化区域易发生局部打滑现象。截割阻力、重力分量与牵引力之间的耦合作用，使运行姿态控制需要兼顾牵引功率匹配、滚筒高度调节及防滑装置协同配合，工艺参数调整复杂。

(2)液压支架稳定性与支护适配：在大倾角工作面布置中，液压支架承载结构面与重力方向存在偏差，立柱轴线受压状态呈现倾斜受力特征，顶梁与底座之间形成附加剪切力矩^[2]。支架在推进与回撤过程中易产生沿倾向位移，支护中心线偏移导致支撑压力分布失衡。顶板岩层破断位置向低端转移，支架需承受不规则载荷传递路径。底座与底板接触面在倾斜环境中易发生局部滑移与压陷，影响初撑力与工作阻力的有效发挥。支护参数设置需结合顶板完整性、煤层倾角及岩性结构进行针对性匹配，使支架抗滑能力、支撑

强度与移架步距形成协调关系。

(3) 工作面推进方式调整策略: 急倾斜煤层综采推进过程中, 单向顺序推进模式易造成高低端受力差异扩大, 采场稳定状态呈现阶段性波动。分段控制推进节奏, 可减缓支护体系集中受力现象。高端与低端推进步距需根据倾角分布与煤体稳定性进行差异化设定, 避免形成过大空间暴露区。移架顺序调整应结合采煤机运行方向进行组织, 保持支架前移与截割作业之间的时序匹配。运输设备在推进过程中应同步校正中心线位置, 防止因空间错位产生偏载运行。推进策略的合理设计, 有助于维持工作面空间结构稳定与设备协同运行状态。

3 关键装备系统协同运行机理

(1) 采煤机与支架协同机制: 急倾斜煤层综采条件下, 采煤机截割作业与液压支架支护行为构成高度耦合关系。截割过程中煤壁受扰动范围扩大, 顶板来压节奏与采煤机运行速度密切相关, 若牵引速度与支架跟机移架节拍不匹配, 易形成局部悬顶或超前暴露区。支架护帮板伸缩状态直接影响煤壁稳定与机身运行通道宽度, 滚筒截割高度调节需与支架顶梁姿态保持一致, 以保证支护覆盖范围与截割断面相协调。采煤机通过电液控制系统向支架发送联动信号, 实现移架时序控制与负载反馈调节, 在大倾角环境中还需增加防滑连锁装置, 限制设备沿倾向异常位移。两者在空间位置、时间节奏与受力传递路径上的协同程度, 决定综采系统运行稳定性与作业效率。

(2) 支护系统与运输系统匹配关系: 液压支架构成顶板控制主体结构, 其底座位置与刮板输送机中心线保持相对稳定关系。急倾斜煤层中, 煤流在重力分力作用下向低端集中, 刮板链条受力呈现偏载状态, 机头与机尾张紧力差异增大^[3]。支架底座与输送机槽帮之间的连接装置承受附加剪切应力, 若匹配精度不足, 易引发槽体错位与链条跳动。支护系统的移架步距与输送机推移节奏存在严格对应关系, 推移油缸同步性不足将导致输送机弯曲变形, 影响煤流连续运输。支架初撑力与工作阻力水平还影响底板稳定性, 底板失稳会改变输送机受力状态。支护结构参数与运输能力之间的合理配置, 是维持急倾斜综采系统协调运行的关键环节。

(3) 设备布置对作业连续性的影响: 急倾斜工作面设备布置呈高低端落差明显的立体结构, 采煤机、支架与输送设备在倾向方向形成连续作业链条。设备中心线若出现偏移, 将导致截割断面不规则、支护范

围不完整及运输受阻等连锁反应。高端区域因空间受限, 电缆拖移与管路悬挂布置需兼顾防滑与防拉伸要求; 低端区域则承受煤流集中与设备堆积压力, 运行通道容易受阻。设备间距设置与巷道断面尺寸密切相关, 空间布置不合理将增加移架阻力与检修难度, 影响循环作业节拍。控制系统线路与液压管路在倾斜环境中承受附加张力, 布置方式需保持合理弯曲半径与固定节点稳定, 才能保障系统持续运行。

4 装备配套优化路径与参数调整

(1) 支架结构与抗滑性能优化: 急倾斜煤层条件下, 液压支架在倾向重力分量作用下易产生沿底板滑移与倾覆趋势, 结构优化需围绕抗滑稳定与受力均衡展开。支架底座可采用加宽设计并设置高强度防滑齿或嵌入式摩擦块, 以提高与底板之间的接触摩擦系数, 增强抗剪承载能力。立柱布置形式宜优化为前后错位或增设辅助立柱结构, 使承载轴线更贴近顶板主应力传递方向, 减小偏心力矩。顶梁结构可采用加强筋与高强度板材组合, 提高抗弯刚度与抗扭能力, 在顶板来压不均匀条件下保持稳定支撑状态。推移机构应强化导向约束性能, 控制移架过程中支架姿态变化幅度, 避免出现连续性位移。液压系统压力控制参数需与煤层倾角及顶板岩性相匹配, 合理设定初撑力与工作阻力区间, 使支架在高载荷与剪切力耦合环境下保持整体稳定。

(2) 采煤机牵引与调姿参数优化: 采煤机在急倾斜工作面运行时, 牵引系统除承担截割阻力外, 还需克服沿倾向分解的重力分量, 牵引力与制动力的匹配成为关键。牵引电机功率配置应结合倾角等级与煤体硬度进行校核, 确保在高负荷状态下仍具备稳定输出能力。链轮与牵引链条选型需提高抗拉强度与耐磨性能, 以适应受力波动环境。调姿控制方面, 可通过优化滚筒升降液压缸行程与响应速度, 保持截割高度与煤层厚度变化的实时匹配, 减少截割偏斜^[4]。机身底托结构宜加强导向滑靴摩擦面设计, 增强与刮板输送机的附着能力。控制系统中可引入姿态传感与负载反馈模块, 对牵引速度、截割深度及滚筒转速进行动态调节, 使运行状态维持在合理区间。参数优化过程需综合考虑电气系统、液压系统与机械结构之间的协调关系。

(3) 运输系统布置与防滑措施完善: 急倾斜煤层中煤流在自重作用下向低端集中, 刮板输送机承受的物料冲击载荷与偏载现象明显增强, 系统布置需强化抗滑与稳链能力。输送机机头与机尾张紧装置应提高调节精度, 保证链条张力分布均衡, 避免局部过载导

致跳链或断链。机身槽体结构可采用高强度耐磨材料，并优化中部槽连接方式，增强整体刚度与抗弯性能。沿倾向方向可设置防滑锚固装置或限位支撑结构，限制输送机整体位移。煤流控制方面，通过调整装煤口高度与导流板角度，使煤炭均匀分布于刮板槽内，降低冲击集中度。运输系统与支架推移机构之间的连接点需保持同轴度与稳定性，防止推移过程中产生结构错位。电机功率、链速与输送能力之间的参数匹配，应围绕工作面产量需求与倾角条件进行系统校核，使运输环节在复杂地质环境中维持连续运转状态。

5 工艺—装备一体化配置模式构建

(1) 系统匹配原则与优化目标：急倾斜煤层综采系统的构建需立足于地质条件、倾角等级与顶底板结构特征，形成工艺方案与装备性能相互嵌合的配置原则。系统匹配应以受力传递连续性与运行节拍一致性为核心，确保采煤机截割能力、液压支架支护强度及运输系统承载能力处于协调区间。倾角增大背景下，设备防滑性能、结构刚度与控制精度成为配置重点，选型过程中需校核设备额定参数与实际工况之间的偏差范围。优化目标围绕安全系数提升、设备故障率降低及作业循环稳定展开，通过控制支护阻力梯度、牵引功率储备系数与输送能力冗余度，使系统各单元在高倾角条件下保持力学平衡与功能协同。配置方案还需兼顾空间布置合理性与维护便利性，避免因结构冲突或布局失衡引发运行干扰。

(2) 工艺参数与装备性能协调机制：工艺参数设定直接影响装备运行状态，在急倾斜煤层条件下，截割速度、移架步距与输送链速之间需建立动态协调关系。截割深度调整应与支架初撑力变化趋势保持一致，防止顶板受扰动范围扩大。移架节拍需结合采煤机牵

引速度进行同步控制，使支护覆盖长度与暴露时间保持在合理区间^[5]。装备性能方面，液压系统压力曲线、电机负载率及牵引链张紧度应纳入统一调控平台，实现实时反馈调节。通过构建电液控制联动机制，可实现采煤机与支架动作顺序的程序化管理，减少人工干预带来的时序偏差。参数协调过程中还需关注设备热负荷、振动幅值与结构应力变化，确保运行状态处于可控范围，形成工艺设计与装备性能之间的闭环调节回路。

(3) 整体运行稳定性提升路径：急倾斜综采系统稳定运行依赖于结构稳固、控制精确与负载均衡三方面的综合作用。运行路径优化可从力学平衡调控入手，通过增强支架抗倾覆能力与输送设备锚固强度，降低沿倾向位移风险。控制层面引入姿态监测与载荷识别模块，对采煤机俯仰角度、支架受力状态及链条张力进行实时采集，实现异常状态预警。生产组织方面，合理安排高低端作业节奏，缩小受力差异区间，使设备运行周期保持相对均衡。维护策略可结合关键部件磨损规律实施预防性检修，减少突发停机对系统连续性的影响。通过结构强化、参数协同与运行监测的综合实施，急倾斜煤层综采系统在复杂地质条件下维持稳定作业状态。

6 结语

急倾斜煤层综采作业对工艺适配程度与装备协同水平提出更高要求。针对大倾角条件下受力结构复杂、设备运行失衡等问题，从支架结构强化、采煤机参数调控及运输系统稳固等方面构建系统化配置思路，形成工艺与装备相互嵌合的运行模式。通过强化参数协调与结构优化，提升整体作业连续性与稳定性，为急倾斜煤层安全高效开采提供可靠技术支撑。

参考文献：

[1] 钟俞先,蒲海峰,杨琴.急倾斜煤层走向长壁工作面松软煤层及软弱底板的防治工艺探讨[J].煤矿机械,2025,46(04):129-131.

[2] 李腾.急倾斜煤层综采工作面弓型柔性掩护支架沿空留巷技术研究与应[D].重庆大学,2024.

[3] 管政.急倾斜中厚煤层综采工艺优化[J].自动化应用,2023,64(16):23-24+27.

[4] 张利兵.急倾斜煤层开切眼一次成巷技术的实践[J].山东煤炭科技,2022,40(04):56-57+61+64.

[5] 张元.急倾斜特厚煤层水平分段综采工艺的研究[J].山西冶金,2021,44(06):264-265.