

# 厚煤层大采高综采工作面顶板运动规律研究

亢贵龙

山西宁武大运华盛庄旺煤业有限公司 山西 忻州 036700

**【摘要】**：厚煤层资源在国内的整体煤炭产能结构中占据着重要地位，大采高综采工艺依靠其速效开采逐步替代分层开采技术的作用，在现场回采过程中顶板失稳诱发的片帮、漏顶、支架过载等问题一直是阻碍工作面连续推进的瓶颈。基于井下矿压实时监测数据、巷道围岩变形实测记录整理工作面顶板随采动变化特征，梳理不同开采跨度、煤层赋存情况下顶板破断、垮落、来压的时序变化特点，区分直接顶与基本顶差异性运动表现，明确开采参数调整对顶板运动形态产生的真正影响。通过实测数据可以更加直观的反映出大采高工作面顶板与常规采高工作面受力演化逻辑，从现场围岩形变细节上总结大采高工作面顶板阶段性运动规律，有助于优化大采高工作面支护选型和回采推进节奏，减少顶板突然来压带来的安全隐患，为同类型厚煤层大采高工作面现场开采管控提供实测数据支持。

**【关键词】**：厚煤层；大采高综采；顶板运动；矿压监测；围岩破断

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.044

## 引言

煤炭井下开采向着集约化、大采高方向不断推进，原生厚煤层赋存环境内的煤层厚度普遍超出 3.5m 以上，传统分层开采工序繁琐、巷道掘进工程量偏多，资源回采损耗难以控制，当落地大采高综采成套设备后单个工作面中的原煤产出效率有明显提升。随着煤层厚度增加，同时会改变上覆岩层受力传递路径，随着开采空间高度的抬升，顶板悬空面积扩大，岩层内部原始应力平衡状态被打破的速度更快，且相对于中小采高工作面而言，其顶板裂隙发育范围也有大幅度延展。各地矿井投产大采高工作面后频繁遭遇异常矿压显现，基本顶大面积瞬间垮落冲击液压支架，顶板局部破碎区域持续漏矸干扰工作面正常割煤作业，常规的顶板管控经验已无法适用于厚煤层大采高的采动环境变化。现场持续开展井下矿压动态监测工作，连续收集了支架工作阻力、巷道顶底板移近量、顶板深部位移等实测参数，利用现场实测得到的原始数据来细化顶板各个开采阶段的运动细节，摒弃片面依靠岩体力学理论推演规律的研究模式，立足井下真实开采环境归纳顶板运动演变特征，结果可直接对接现场支护方案优化与回采工艺调整工作。

## 1 厚煤层大采高工作面地质与开采基础条件

### 1.1 工作面煤层与顶底板岩层赋存特征

工作面开采煤层整体厚度区间维持在 4.2~5.8m，煤层内部夹杂着多层厚度不等的泥岩夹矸，对于这些夹矸分布位置没有固定规律，局部区域夹矸厚度超过 0.4m 将弱化煤层整体完整性，采动扰动导致夹矸最先开裂并向顶板传递应力。煤层直接顶以砂质泥岩、粉砂岩互层结构为主，岩层单层厚度起伏变化较大，致密程度低的泥岩层受水浸和采动影响容易快速泥化崩落，粉砂岩岩层胶结程度偏高，短时间悬空状态下可以保持完整的岩层结构；基本顶岩层主要为中粗粒砂岩，岩层整体完整性较强，层理发育数量偏少，岩层内部原生裂隙集中分布在

构造破碎带周边，完整区域岩体抗弯折破坏能力突出；底板岩层以泥质粉砂岩为主，遇水膨胀特点明显，工作面底板积水会逐渐渗入岩层缝隙，弱化了底板承载能力后连同支架底座一块地陷下去，间接改变了顶板竖向受力传递效果。井田内部小型断层零散分布在工作面开采边界附近，断层破碎带周边岩体裂隙贯通性大幅提升，当开采扰动抵达破碎带位置时，顶板垮落进程会出现突然变化。

### 1.2 工作面现场开采设备与工艺布置状态

工作面选用大阻力液压支架与大功率采煤机、刮板输送机形成成套综采装备，支架额定工作阻力按照现场前期地质勘探数据进行选型，支架支护高度覆盖煤层全厚开采范围，留有少量顶板浮煤控制采高浮动区间。采煤机单次割煤深度固定不变，工作面按照走向长壁一次采全高的工艺进行回采，割煤结束后紧跟移架作业，移架滞后采煤机的距离根据现场顶板破碎程度调整。在工作面两端布置端头支护设备管控巷道衔接位置顶板，在巷道掘进阶段预留断面尺寸兼顾设备通过和顶板支护空间，巷道顶板锚网索支护参数根据前期局部试采矿压进行确定；工作面通风系统采用全负压通风，风流流经工作面时带走井下瓦斯和采动产生粉尘，气流温度改变会直接影响浅部顶板岩层含水率，而含水率的浮动又会缓慢影响岩层物理力学参数，无形中对于顶板日常细微形变节奏造成影响，开采作业保持连续推进，非检修时刻均匀割煤，开采速度小幅波动是诱发顶板来压时间偏移的主要现场因素。

## 2 大采高工作面顶板分阶段现场运动实测分析

### 2.1 工作面初采阶段顶板破断与初始垮落运动特征

工作面从切眼位置开始向前推进，在这个阶段，上覆岩层长期处于原始应力平衡状态下，开采形成的悬空空间逐步打破了岩层内部应力分布格局，直接顶最先出现表层细微的开裂，裂隙也随着顶板裸露的表面向着岩层深部缓慢延伸；切眼支护

拆除完成之后,悬空顶板不断扩张,悬空顶板裂隙发育程度伴随工作面推进距离同时加深。零散小块矸石率先从顶板破碎位置掉落,掉落矸石堆积在支架前端位置不会形成大范围垮塌;直接顶初次垮落不会一次性整体冒落,垮落区域是沿着工作面倾斜方向分段进行,相邻垮落段中间留存完整顶板岩梁,残留岩梁依然承担着上部岩层传递的荷载,岩梁内部应力继续累积后会加快裂隙延展速度;实测支架的工作阻力数据呈现阶梯式上升变化;实测阻力峰值出现节点和直接顶分段垮落时间保持同步,垮落矸石充填采空区缩短了顶板悬空跨度,悬空尺寸减小直接放缓剩余顶板裂隙发育速率。基本顶在直接顶垮落矸石没有充分充填采空区的前提下也是悬空状态,岩层形变以缓慢下沉为主,下沉量每天变化幅度控制在毫米级别,肉眼很难直观看到基本顶的动态形变。

## 2.2 工作面正常回采阶段顶板周期性来压运动规律

工作面推进距离跨过初次来压步距后,开始正常回采。顶板运动转变为周期性的破断垮落模式,每一轮周期来压出现前顶板下沉速率增快,支架立柱压缩量同时增大明显,支架压力表读数在短时间内速度加大;周期来压步距不会保持恒定不变,煤层夹矸富集区域对应的工作面段来压步距出现缩短变化,基本顶砂岩完整性优良区域来压步距反向增大,步距波动区间根据现场岩层实测参数把控。来压发生瞬间,基本顶岩梁弯折断裂,断裂产生冲击荷载瞬间作用在工作面液压支架上,采空区内部大块顶板矸石伴随垮落产生撞击声响,垮落矸石堆积高低决定了本轮来压结束速度,矸石充分填满采空区之后顶板受力条件快速趋于稳定;两轮周期来压的间隔时段,顶板运动逐渐平缓,顶板仅有微弱连续下沉,支架的工作阻力回落至日常工作区间,浅部顶板零星掉矸不影响工作面割煤生产;工作面推进速度临时提升将会减小周期来压间隔时间,过快开采速率让顶板没有足够多时间完成应力缓慢释放,多轮应力叠加容易导致超强来压,通过现场观测记录多次印证开采速率和来压强度联动变化关系。

## 2.3 工作面未采阶段顶板整体失稳运动演变趋势

工作面距离停采线剩余百米范围进入到末采管控阶段,井下逐渐缩减每日开采推进量,开采节奏放缓让上覆岩层的应力有充足时间重新排布开来,顶板整体下沉量处于不断累加的状态。此外,在停采线周边提前展开了补强支护作业,加密锚杆锚索布置密度同时增设临时抬棚,改变局部顶板受力结构,原本连贯发育的顶板裂隙在支护构件约束下存在延展受阻现象;与之相适应的是,工作面剩余开采宽度继续收窄,采空区矸石压实程度也在提升,基本顶大范围垮落空间被逐步压缩,垮落形式从大面积整体垮塌转为局部零星掉落。在临近停采最后十几米时工作面割煤停止,顶板失去采动扰动后形变速度慢慢降低,深部岩层残留应力缓慢向周边巷道转移,巷道内顶板变形量小幅攀升但并不会出现冒顶事故。通过对末采阶段挖掘得到

的顶板位移数据,能够反过来佐证前期开采参数对顶板运动产生的长久影响。将各类实测数值汇总起来完善全开采周期内顶板运动变化链条。

## 3 影响厚煤层大采高工作面顶板运动的现场关键因素

### 3.1 煤层赋存条件带来的顶板运动差异化影响

煤层自身厚度的变化会直接影响开采空间竖向高度,采高加大后顶板悬空高度也随之抬升,岩层自重产生的向下荷载会增大,同等岩性条件下采高偏大区域顶板破断时机更早,垮落矸石单块体积也会出现增大变化。煤层内部夹矸分布状态对顶板应力传导路径形成干扰,夹矸形成的软弱夹层为裂隙发育最先通道,裂隙顺着夹层贯通后上部顶板会加快分层脱落速度,工作面夹矸集中区段顶板破碎程度常年高于其余开采段;工作面内部煤层倾角有小幅起伏,倾角偏大地段垮落矸石在重力作用下会顺着采空区倾斜面滚落,矸石无法均匀堆积充填采空区,顶板悬空跨度长期偏大,周期来压强度随之增加;井田地下水顺着岩层裂隙渗入顶板内部,泥质岩层遇水容易软化降低自身抗拉强度,浅部顶板在采动应力作用下越容易碎裂掉卫,地下水富集区域日常零星垮矸频次明显增多。

### 3.2 现场开采参数调整对顶板运动的实时扰动

工作面移架滞后距根据现场顶板破碎情况灵活更改,滞后距离过大会造成顶板长时间裸露,裸露的顶板裂隙快速贯通而产生超前漏顶,移架跟进及时可以借助支架顶梁约束顶板形变,延缓裂隙向深部岩层拓展。采煤机割煤速度临时调整会导致采动应力释放节奏发生一定程度的变化,采煤机在割煤速度快速时连续扰动顶板原有应力平衡,应力来不及逐层释放便集中爆发出突发来压,低速割煤能够让顶板分步释放应力,矿压显现强度维持在可控范围内;采空区不进行强制放顶作业时依靠岩层自然垮落充填空隙,自然垮落无法填满的悬空区域会持续传导荷载,基本顶来压较剧烈,局部区域使用爆破放顶后矸石充填效果改善,后期周期来压强度明显回落。工作面支护设备选型和实际工况匹配度决定了顶板约束效果。支架初撑力达标可以快速压实顶板浮矸,减少顶板前期开裂幅度,初撑力不足会让顶板缓慢下沉开裂,后续来压阶段顶板破坏范围扩张。

## 4 基于顶板运动规律的现场顶板管控优化措施

### 4.1 工作面动态支护参数优化方案

依托全周期实测得到的顶板运动数据调整液压支架使用标准,在初采阶段直接顶尚未大规模垮落前适当提高支架初撑力,借助支架支撑力限制顶板前期裂隙发育范围;在周期来压来临之前提前排查支架液压管路故障,保证来压瞬间支架能够发挥额定承载性能。夹矸富集、顶板破碎区段缩小支架护帮板收回时机,使其紧贴煤壁阻挡煤层片帮连带顶板崩落,完整砂

岩顶板区段可以适度放宽护帮使用管控标准；巷道衔接端头位置结合末采顶板缓慢形变特征增设锚索补强，锚索张拉预紧力参照顶板实测下沉数据精准设定，预紧力数值应充分考虑岩层的形变荷载变化避免影响支护构件的失效。日常检修阶段梳理整理支架工作阻力台账，对照台账记录的来压节点微调后续工作面局部支护密度，让支护布置始终匹配于顶板阶段性的运动变化特点。

#### 4.2 回采工艺与开采推进管控细则优化

按照顶板周期来压实测步距排布工作面月度开采计划，来压预判时段降低工作面单日推进速度，给顶板留出应力自然释放的空间，避免超强来压冲击工作面生产系统；初采阶段控制切眼支护拆除分段进度，配合工作面小幅推进，防止一次性大范围拆架诱发直接顶整体性突发垮落；末采前期逐渐压缩每天割煤进尺，具体进尺递减幅度结合顶板实时下沉监测数据确定，同时逐步加密停采线周边支护构件，从开采节奏和支护两个层面管控顶板最终失稳范围。针对地下水富集的工作面区段提前做好顶板疏水，疏水完成后岩层含水率回落，顶板泥化破碎情况得到缓解，也可以间接调整顶板日常运动状态，降低细

碎矸石掉落对开采造成的影响。

## 5 结论

利用全开采周期实测数据对厚煤层大采高工作面顶板从初采开裂、周期垮落到末采缓沉的整个运动过程进行了梳理，可以发现直接顶和基本顶在不同开采阶段呈现出截然不同的破断垮落形态，即处于初采阶段的直接顶分段垮落、处于稳定运转中的基本顶慢速下沉，而处于正常回采时期的顶板则是依托周期来压规律性地产生破断，最后由于末采空间收缩，将使得顶板逐步放缓。煤层厚度、夹矸分布、地下水等原生赋存条件和现场采高、推进速度、支护参数等人为开采变量将共同左右顶板运动强度与来压步距，两者叠加作用导致了工作面不同区段差异化矿压显现。借助实测归纳的顶板运动规律对支护参数与回采工艺优化举措进行细化处理，当该优化方案落地后，工作面上存在的顶板异常漏顶、支架超负荷受压问题的出现频次明显下降，保证了现场原煤连续开采的稳定性。在后续的现场开采中，仍继续扩充不同地质条件下大采高工作面监测数据库，并基于新增实测数据不断细化顶板运动细节，有效提升厚煤层大采高顶板管控配套技术体系。

## 参考文献：

- [1] 魏帅.厚煤层单元密实充填分层开采技术与装备研究[J].煤矿机械,2026,47(6):100-104.
- [2] 李振中.大倾角煤层综采工作面放煤工艺优化研究与应用[J].现代矿业,2026,42(4):55-60.
- [3] 宋晓燕,李姿霖.厚煤层大采高条件下导水裂隙带高度预测模型研究[J].华北科技学院学报,2026,23(3):8-16.
- [4] 张军飞,张海荣.特厚煤层大采高综放开采技术研究与应用[J].内蒙古煤炭经济,2026,(6):115-117.
- [5] 蔡国瑞.厚煤层切顶卸压无煤柱综采工艺在采矿工程中的应用[J].矿业装备,2025,(10):28-30.