

信息错误造成宗地图失效。生成宗地图之后要进行精度校验和规范检查,核对界址点位置、宗地面积、权属标注等内容,检查图例、比例尺的规范性,对偏差超出允许范围、标注不规范的部分进行修正,保证宗地图能够准确反映宗地的权属、边界、面积等核心信息,满足不动产登记和国土空间管理的应用需求。

## 4 地籍成果质量控制体系与精度评定

### 4.1 界址点精度评定标准与统计方法

界址点精度是地籍成果质量的核心指标,评定标准要严格依照《地籍调查规程》的相关要求,根据测量方法和应用场景,明确不同级别界址点的精度要求。解析界址点按精度分为三级,相对于邻近控制点的点位中误差和允许误差应控制在规定的范围内,明显界址点精度不低于二级,隐蔽界址点精度不低于三级。精度评定统计方法要以实地检测数据为基础,计算界址点坐标的中误差、允许误差和相对误差,用统计分析的方法来判断界址点精度是否满足要求。统计过程中要剔除异常检测数据,保证统计结果的真实性、可靠性,对精度不满足要求的界址点,需要重新采集、解算,直到达到规定标准,保证界址点精度符合地籍成果应用要求。

### 4.2 地籍图数学精度的实地检测方案

地籍图数学精度直接体现地籍图的可靠性,实地检测是评定地籍图数学精度的主要方法,检测方案要科学合理,保证检测结果可以真实地反映地籍图的实际精度。检测方案要明确检测范围、检测点位、检测方法和精度要求,检测点位要随机选取,覆盖不同的地形、不同的宗地类型,保证检测的代表性,检测点位数量要满足统计要求,防止点位过少造成检测结果偏差。检测方法采用实地测量和图上测量对比的方式,测量检测点位的实地坐标和图上坐标,计算两者之间的偏差,对比偏差与允许误差的大小,判断地籍图数学精度是否合格。检测时要详细记录检测数据和偏差情况,出具检测报告,对精度不合格的区域要分析偏差原因,采取针对性的修正措施,重新绘制地籍图并进行二次检测。

### 4.3 属性数据与空间数据的逻辑一致性检查

地籍成果包含属性数据和空间数据,二者逻辑上的一致性在保证地籍数据可用性的基础,逻辑一致性检查要对两类数据的矛盾和冲突进行全面排查,保证数据的统一性和合理性。属性数据检查主要是对宗地权属、用途、面积等信息的准确性、完整性进行核查,排查权属信息错误、用途与实地不符、面积数据异常等问题;空间数据检查主要是对界址

点坐标、界址线走向、宗地边界等空间要素的准确性进行核查,排查空间要素重叠、遗漏、位置偏差等问题。逻辑一致性检查要创建完善的检查规则,依靠数据处理软件自动检查和人工核查相结合的方式,保证检查的全面性、准确性,对检查出来的逻辑矛盾,要联系实地调查和原始数据加以修正,保证属性数据和空间数据一一对应,无矛盾、无冲突。

### 4.4 数据入库前的完整性检查与元数据编制

数据入库是地籍成果应用的前提,入库前的完整性检查和元数据编制要严格遵守数据入库规范,保证入库数据的规范性、完整性、可用性。完整性检查要全面查找地籍数据缺失项,包括界址点坐标、权属信息、拓扑关系、检测报告等,保证所有必要的数据库齐全,无缺失、无遗漏;同时检查数据格式是否符合入库要求,防止因为格式错误造成数据无法入库。元数据编制要详细记载地籍测绘相关的信息,包含测量时间、测量设备、坐标系、平差方法、检测结果等,保证元数据可以全面体现地籍数据产生过程和质量情况,为数据的后续应用、维护和更新提供依据。完整性检查和元数据编制完成后,需要进行最终校验,保证无误后才能完成数据入库,保证入库数据可以满足国土空间管理以及不动产登记的应用需求。

## 5 结语

地籍测绘数据处理与成果质量提升属于一项系统工程,它包含外业采集、数据预处理、核心算法应用、质量控制等诸多环节,每一个环节的技术规范性、科学性都会影响到最终成果的质量。通过规范全站仪和GNSS-RTK外业采集流程,优化倾斜摄影测量三维模型构建和修正方法,可以实现不同坐标系下的数据统一,提高原始数据和预处理数据的精度;合理应用条件平差和间接平差的方法,优化界址点坐标解算和拓扑关系构建流程,可以解决数据处理过程中误差累积和逻辑混乱的问题;建立完善的质量控制体系,规范精度评定标准和检查流程,可以保证地籍成果满足应用要求。

### 参考文献

- [1] 闫宇超. 多源遥感数据融合在复杂地形地籍测绘中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2025(9):091-093.
- [2] 梁芳. 基于长时间序列遥感数据的城市地籍测绘与不动产测绘相关问题探讨[J]. 居业, 2022(8):85-87.
- [3] 李德林, 贾长东. 基础地理信息数据更新中地籍测绘成果的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(12):161-162.
- [4] 汤瑞斌. 不动产登记房产测绘与地籍测绘数据优化分析[J]. 华北自然资源, 2022(2):91-94.

# Optimization of Support at the End of Fully Mechanized Mining Face and Control Mechanism of Surrounding Rock in Thick Coal Seam

Qiang Feng Dongdong Luo

Shaanxi Xihan Xinglong Coal Mine Co., Ltd., Weinan, Shaanxi, 715400, China

## Abstract

This study investigates the end face of fully mechanized mining faces in thick coal seams, integrating field monitoring, numerical simulation, and theoretical analysis to systematically reveal the failure characteristics of surrounding rock and the stress distribution patterns of support systems. A support optimization framework is proposed, characterized by “strong-weak synergy, support-mechanism integration, and dynamic regulation.” Through combined reinforcement with anchor-net cables, zoned stress control of supports, and pressure-relief measures, multi-level coordinated control is achieved. The results demonstrate that the optimized support system effectively reduces stress concentration at the end face, delays the step distance of roof caving, improves stress distribution and load-bearing equilibrium, and ensures roof stability and safe coal recovery. These findings provide theoretical and engineering support for efficient and safe fully mechanized mining in thick coal seams.

## Keywords

thick coal seam; fully mechanized mining; end support; surrounding rock control; stress distribution; synergistic mechanism

# 厚煤层综放开采工作面端头支护优化与围岩控制机理

冯强 罗冬冬

陕西西韩兴隆煤矿有限公司, 中国·陕西 渭南 715400

## 摘要

本文以厚煤层综放工作面端头为研究对象, 结合现场监测、数值模拟与理论分析, 系统揭示端头围岩破坏特征与支护受力规律, 提出“强-弱协同、支-放结合、动态调控”的支护优化体系。通过锚网索联合加固、支架分区受力调控与卸压减载措施, 实现多层次协同控制。研究表明, 优化支护体系能有效降低端头应力集中度, 延缓顶板垮落步距, 改善应力分布与承载均衡, 实现顶板稳定与煤体安全回收, 为厚煤层综放开采的高效安全提供理论依据与工程支撑。

## 关键词

厚煤层; 综放开采; 端头支护; 围岩控制; 应力分布; 协同机理

## 1 引言

厚煤层综放开采是实现高产高效的重要开采方式, 但其特殊的采动环境导致围岩稳定性控制难度显著增加。工作面端头作为顶板破断带与支护过渡带的关键部位, 受采动应力、顶板结构转化及放顶煤影响, 极易发生顶板下沉、片帮、支架失稳及煤壁片落等问题。端头区的破坏不仅影响设备运行与采煤安全, 还可能导致局部冒顶、漏顶及顶煤回收率下降, 严重时造成生产中断。传统支护设计多依赖经验或单一支护参数控制, 未能充分考虑厚煤层大采高条件下顶板分层结构的非线性响应与时效性变化, 难以实现动态稳定控制。

【作者简介】冯强(1987-), 男, 中国陕西韩城人, 本科, 助理工程师, 从事地质工程研究。

## 2 厚煤层综放开采端头围岩受力与破坏特征

### 2.1 端头顶板应力集中与结构演化

随着工作面推进, 端头顶板承受采动应力、支架反力以及上覆岩层重力的多重叠加作用, 形成以梁拱复合受力为特征的结构体系。数值模拟与现场实测表明, 端头上层关键层受采动扰动后产生明显的弯曲下沉, 形成拱状承载结构; 当弯矩超过岩层极限强度时, 发生层间剪切破坏并伴随断裂贯通, 顶板整体稳定性显著下降。顶板应力集中区主要分布在支架顶梁与端头交界位置, 局部集中系数可达原岩应力的1.6~1.8倍。此区域不仅是顶板破坏的起始带, 也是应力传递与能量积聚的核心区。端头顶板在周期来压过程中反复经历加载与卸载, 使岩层结构呈现“应力强化—破坏—重构”的动态演化规律, 是围岩控制的关键难点。

## 2.2 煤壁与帮部围岩的损伤演化规律

放顶煤引发的垮落冲击导致煤壁受力频繁变化, 应力集中与卸载交替发生, 促使裂隙快速扩展。声发射监测结果显示, 端头区域能量释放频率高于工作面中部约 30%, 且能量事件分布密度显著增加, 表明岩体破裂过程更为剧烈。塑性区分析结果显示, 煤壁塑性区范围一般为 2.5~3.0 m, 形态呈“上宽下窄”, 顶部破坏受拉为主, 底部以剪切破坏为主, 易形成楔形失稳块体。随着采动持续, 围岩裂隙贯通性增强, 顶板、煤壁与帮部三者形成耦合变形体系, 进一步降低端头稳定性。这种损伤的累积演化特征决定了端头支护设计需具有动态响应能力与分区约束特性。

## 2.3 顶煤垮落与端头失稳的耦合特征

顶煤垮落过程与端头失稳之间存在显著的动力学耦合关系, 是厚煤层综放开采中顶板控制的核心问题。顶煤垮落造成的瞬态冲击载荷对端头支护体系形成周期性扰动, 其幅度与垮落步距、煤体厚度及顶板结构强度密切相关。随着采高增加, 顶煤块度增大, 垮落延迟现象明显, 导致暴露面积扩大, 顶板结构应力集中加剧。当顶煤垮落不均或垮落滞后时, 会形成偏载效应, 使支架左右受力差异增大, 顶梁局部应力集中, 严重时可引发压架、移架甚至冒顶事故。实测数据表明, 顶煤垮落引起的瞬时冲击压力可超过支架额定工作阻力的 1.3 倍以上, 对支护系统的稳定性构成严重威胁。

## 3 端头支护现状及存在问题分析

### 3.1 传统支护形式的适应性不足

在厚煤层综放开采端头区域, 传统的锚网索联合或单一液压支架支护模式虽能在早期阶段提供一定承载力, 但其对复杂地质条件和采动扰动的适应性较差。随着顶板结构的分层演化与应力重分布, 传统支护系统的受力模式逐渐失衡, 难以形成持续稳定的承载结构。部分矿井为强化支护效果, 采用延伸棚或单体支柱等辅助方式, 但其刚度较低、与综采支架协同性差, 往往无法实现整体受力传递。长期运行中, 锚索常出现拉断、托盘滑移等失效现象, 而支架顶部则容易出现压溃、冒顶等破坏形态, 严重影响放顶煤工序的安全性与连续性。研究表明, 传统支护体系在高应力集中与周期来压阶段承载能力衰减明显, 无法有效抑制顶板下沉与离层扩展, 支护系统的滞后性与刚度不足成为制约端头稳定控制的主要瓶颈。

### 3.2 支护参数设计缺乏动态性

当前厚煤层综放开采端头支护参数设计多以经验公式或静态力学模型为基础, 忽视了顶板岩层在采动扰动作用下的非线性演化特征及时空耦合规律。实际开采过程中, 顶板应力呈现周期性波动与明显的空间梯度变化, 固定参数的支护模式难以实现支护强度与围岩变形的动态匹配, 导致支护刚度与顶板载荷曲线不同步。当初期支护强度设置过大时, 顶板在刚度约束下提前出现脆性破坏; 而在采动后期, 若承载能力不足, 又易引发局部失稳或支架压溃。数值模拟与现

场监测表明, 顶板在周期来压阶段存在明显的应力集中与卸载交替特征, 应力峰值区域不断迁移, 固定参数支护无法有效跟踪应力演化。缺乏动态调节机制的支护体系在能量释放与载荷传递过程中表现出迟滞性与非协调性, 使端头围岩的应力—变形失衡加剧, 成为顶板局部破坏和支架失稳的主要诱因, 制约了厚煤层综放工作面支护的安全性与持久性 [1]。

## 3.3 放顶煤影响下的支护协调难题

厚煤层综放开采的特殊性在于放顶煤作业与端头支护之间存在强烈的耦合关系。放顶煤过程中, 煤体垮落会引起冲击载荷和顶板震动, 显著增加端头区域的动载强度。液压支架在放煤与接顶交替阶段, 其液压系统频繁经历高压与卸压循环, 易出现支撑滞后或压力波动。当顶板运动与支护响应不同步时, 常会形成“悬顶—压架—失稳”的链式破坏过程, 尤其在顶煤垮落不均或采高变化较大的条件下, 支架与锚索受力失衡更为明显。只有通过建立放顶煤—支护系统的动态协调机制, 才能实现煤岩体运动与支护反应的同步化, 确保围岩在复杂扰动条件下的长期稳定 [2]。

## 4 端头支护优化设计与控制机理分析

### 4.1 协同支护体系的结构构建

针对厚煤层综放开采端头区域顶板多层岩性复杂、力学性质差异显著、采动扰动强烈等特征, 构建以“锚网索—支架—辅助支护”为核心的三维协同支护体系, 实现主动加固与被动承载的有机结合。该体系上部通过高强度锚索形成主动承载结构, 锚索长度控制在 4.0 m 以上、预应力保持在 150~180 kN, 布置间距为 1.0 m × 1.2 m, 构成连续稳定的加固拱体, 从而显著提升顶板整体性与抗弯能力。下部液压支架提供柔性托载功能, 通过自适应加载控制系统使支架与岩层均匀接触, 顶梁与顶板间增设高分子缓冲垫层, 以吸能、减震、释压的方式缓解冲击载荷, 防止顶板局部压溃。侧帮区域配合单体支柱或可缩性金属支撑形成辅助防护结构, 进一步增强围岩的侧向约束。

### 4.2 分区控制与受力协调机制

为实现精准控制与高效支护, 提出沿工作面走向实施“分区控制—渐变承载”策略, 将端头划分为高应力集中区、应力过渡区与稳定区三类区域, 分别匹配不同强度与刚度的支护参数。高应力区采用高预应力锚索与高强度液压支架联合布置, 形成主动承载与强制约束结构; 过渡区采用加密锚网与标准支架组合, 以实现承载力与柔性支撑的过渡协调; 稳定区维持常规支护参数, 以确保体系力学连续性。通过分区调节支架初撑力与恒阻控制阀压力, 使顶板受力形成“强约束—缓释放—稳承载”的协调特征。数值模拟与现场监测结果表明, 采用该分区协同支护策略后, 顶板弯曲应力较未分区支护条件下降低 35%, 塑性区深度减小约 40%, 支架阻力分布均匀性指标提升至 0.85 以上, 顶板离层现象显著减轻。该分区控制机制实现了应力的分级传递与能量的多层次释放, 显著提升了支护体系的协调性与整体承载效率, 避