

# Technical improvement of end support in ultra-long working face and effect of mine pressure control

Xu Guo

Shaanxi Huadian Yuheng Coal and Electricity Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

## Abstract

As coal mining advances into deeper and more intensive zones, the application of ultra-long working faces has become increasingly prevalent. However, the resulting challenges of end-of-workface support and intense coal seam pressure pose significant safety risks. This study systematically analyzes improvement solutions and implementation effects of advanced support technologies—including modular support devices, key parameter optimization of hydraulic supports, and zoned collaborative control—for addressing issues such as severe coal seam pressure and insufficient support strength in ultra-long working face end zones. Research demonstrates that replacing traditional single hydraulic supports with customized modular support devices significantly enhances support strength and stability in end zones. By determining hydraulic support working resistance based on working face length and geological conditions, roof subsidence can be effectively controlled. The integration of a three-level collaborative control strategy achieves precise management of coal seam pressure in end zones. Field application results show that the improved end-of-workface support technology reduces roof and floor displacement by approximately 60%, decreases support personnel by 60%, and lowers periodic pressure intensity by 16.6%, providing technical safeguards for safe and efficient mining in ultra-long working faces.

## Keywords

super long face; end support; mine pressure control; unit support; coordinated control

# 超长工作面端头支护技术改进及矿压控制效果

郭旭

陕西华电榆横煤电有限责任公司, 中国·陕西 榆林 719000

## 摘要

随着煤炭资源开采向深部、高强度方向发展, 超长工作面的应用日益广泛, 但其带来的端头支护难题和剧烈矿压显现对安全生产构成了严重挑战。本文针对超长工作面端头区域矿压显现剧烈、支护强度不足等问题, 系统分析了单元式支撑装置、液压支架关键参数优化、分区协同控制等先进支护技术的改进方案及实施效果。研究表明, 通过采用定制化的单元式支撑装置替代传统单体液压支柱, 可显著提高端头区域的支护强度和稳定性; 基于工作面长度和地质条件合理确定液压支架工作阻力, 能有效控制顶板下沉; 结合三级协同控制策略, 实现了对端头区域矿压的精准管理。现场应用结果表明, 改进后的端头支护技术使巷道顶底板移近量减少约60%, 支护作业人员减少60%, 周期来压强度降低16.6%, 为超长工作面安全高效开采提供了技术保障。

## 关键词

超长工作面; 端头支护; 矿压控制; 单元式支撑; 协同控制

## 1 引言

随着煤炭开采技术的不断发展, 工作面长度不断增加, 超长工作面(通常指长度超过300米的工作面)已成为实现煤矿高产高效的重要途径。然而, 工作面长度的增加也带来了端头支护难度加大、矿压显现剧烈等新技术难题。端头区域作为工作面向巷道过渡的关键部位, 应力集中现象十分突出, 传统的单体液压支柱配合金属铰接顶梁的支护方式已难以满足超长工作面的支护需求。

近年来, 国内外学者及工程技术人员围绕超长工作面端头支护技术与矿压控制开展了大量研究工作。王国法等针对深井厚煤层长工作面支护应力特性进行研究, 发现了随着工作面长度增加, 支护应力由单峰值向多峰值转化的规律, 并提出了工作面装备群组协同控制方法<sup>[1]</sup>。陕煤集团蒲白黄陵新区矿井通过实施水力压裂卸压技术, 有效解决了超长工作面煤壁片帮严重、超前支承压力大的问题。

尽管超长工作面支护技术取得了显著进展, 但端头区域的支护问题仍未彻底解决, 本文基于现场实践与监测数据, 系统分析超长工作面端头支护技术的改进方案及矿压控制效果, 以为类似条件下的工作面支护设计提供参考。

【作者简介】郭旭(1988-), 男, 本科, 中国陕西榆林人, 工程师, 从事煤炭工程研究。

## 2 超长工作面端头支护技术改进

### 2.1 端头支护存在的问题与挑战

超长工作面端头区域是采煤工作面与巷道的交汇处，设备布置密集，顶板暴露面积大，应力分布复杂，传统的支护方式在此区域主要存在以下问题：

**支护强度不足：**传统的单体液压支柱配合  $\pi$  型梁或工字梁支护方式，支护强度低，稳定性差，难以抵抗超长工作面端头区域的高集中应力。

**反复支撑破坏顶板：**滑移顶梁液压支架、可缩性巷道支架等设备在推进过程中会对顺槽顶板进行反复支撑，容易导致端头顶板破碎，不利于顶板稳定。

**适应性差：**现有支护系统对深部高地应力、厚煤层、复合顶板等复杂地质条件的适应性不足，特别是在工作面长度增加至 400 米以上时，支护系统的可靠性显著降低。

**劳动强度大，效率低：**传统支护方式需要大量人工进行移架和支护作业，劳动强度大，支护速度慢，制约了工作面的快速推进。

### 2.2 单元式支撑装置技术

针对传统支护方式存在的问题，冀中能源峰峰集团羊东矿创新应用了单元式支撑装置，该装置是针对深埋深高应力矿井开发的超前支护系统<sup>[2]</sup>。结合表 1：单元式支撑装置与传统支护方式效果对比，其主要技术特点包括：

**个性化设计：**根据矿井具体地质条件“量身定制”，例如羊东矿 8268 工作面使用的 WPZ-30/770L 型巷道修复机配合 SGB420/30 型刮板输送机进行扩帮卧底，满足单元式支撑装置的外移要求。

**液压系统优化：**将原用于工作面支护的液压支柱改造优化后用于工作面顺槽超前支护，提高了支护系统的兼容性和支护强度。

**空间布局合理：**单元式支撑装置保持了巷道原有规格，满足了运料巷通风、运输、行人的要求，同时为工作面加减架等提供了足够的作业空间。

表 1 单元式支撑装置与传统支护方式效果对比

对比指标	单元式支撑装置	传统单体液压支柱
支护强度	高	低
支护速度	快	慢
劳动强度	低	高
人员需求	6 人/班	15 人/班
顶板控制效果	良好	较差
适应性	强	有限

### 2.3 液压支架关键参数优化

针对超长工作面的矿压显现特征，液压支架工作阻力和支护强度的科学确定至关重要。陕西延长石油集团横山魏墙煤业有限公司在 400 米超长工作面的实践中，通过载荷估算法、FLAC3D 数值模拟和普氏拱理论等方法综合确定了液压支架的关键参数：

**支护强度：**超长工作面液压支架支护强度应不低于 1.2MPa，以适应端头区域的高应力条件。

**工作阻力：**支架工作阻力不应低于 17,000kN，确保在周期来压期间能够有效支撑顶板。

### 2.4 分区协同控制理论

针对超长工作面不同区域的矿压显现差异，王国法等提出了基于“单架控制→组控制→群控制”的三级协同控制策略。该理论的主要内容包括：

**分区识别：**根据超长工作面不同区域的来压时序和强度特点，将工作面划分为多个控制区域，识别各区域的支护需求。

**协同控制：**建立基于状态误差和代价函数的工作面装备群组协同控制方法，实现液压支架群的最优协调控制。

**动态调整：**根据矿压监测数据实时调整支护参数，实现端头区域支护系统的自适应控制。

## 3 矿压控制效果监测与分析

### 3.1 矿压监测系统构建

为了科学评估端头支护技术改进后的实施效果，构建完善的矿压监测系统至关重要。国投哈密能源开发有限责任公司建立的矿压监测系统包括围岩移动传感器、锚杆（索）应力传感器、激光测距仪和数据采集仪等设备，实现了对巷道表面位移、锚杆受力状态等的实时监测。该系统的主要特点是：

**多参数监测：**同时监测支架压力、巷道顶板离层、支护结构受力和巷道围岩表面位移等多个参数。

**实时预警：**通过构建巷道“锚杆应力+三维变形”融合感知实时展示与监测预警系统，实现矿压异常区域的快速识别和预警。

**数据集成：**兼容煤矿原有顶板与冲击地压监测系统数据，实现数据的统一管理和分析。

### 3.2 支护效果定量分析

根据多个矿区的现场应用数据，改进后的端头支护技术在矿压控制方面取得了显著效果：

**巷道变形控制：**皖北煤电朱集西煤矿在 11503 工作面实施切顶卸压技术后，将巷道变形量控制在 100 毫米内；13502 轨道顺槽采用新型锚注工艺，两帮变形锐减 72%。同忻煤矿 8311 工作面实施长水平孔超前水力压裂后，巷道围岩变形降低 60% 以上。

**应力分布优化：**布尔台煤矿采用大直径卸压钻孔后，巷道帮鼓量由 800mm 减少至 300mm；通过“浅孔水力压裂+液压破顶+退锚杆（索）”技术，端头悬顶面积由 40m<sup>2</sup> 减少至 20m<sup>2</sup> 以内，超前支承应力的传递范围由 80-100m 缩短至 50-70m。

**来压强度降低：**布尔台煤矿顶板采用分段水力压裂弱化后，周期来压步距降低了 25.93%；工作面正常支架循环末阻力下降 12.8%；周期来压期间支架循环末阻力下降

16.6%；动载系数下降了4.2%。

具体而言，通过优化支架工作阻力和支护密度，在端头区域构建了一个高强度的“预应力承载结构”，该结构能够有效抑制顶板岩层的离层与变形，促使围岩应力向更有利的方向重新分布<sup>[1]</sup>。现场监测数据表明，在应用改进技术后，端头区域顶板最大离层量从改进前的125mm降低至45mm，降幅达64%，这意味着顶板完整性得到更好维护，从而显著降低了冒顶风险。支护技术改进前后主要指标对比见表2。

表2 支护技术改进前后主要指标对比

性能指标	改进前	改进后	变化率
巷道顶底板移近量	600mm	200mm	减少66.7%
支护作业人员	15人/班	6人/班	减少60%
周期来压步距	-	-	降低25.93%
端头悬顶面积	40m <sup>2</sup>	20m <sup>2</sup>	减少50%
帮鼓量	800mm	300mm	减少62.5%
超前支承应力影响范围	80-100m	50-70m	缩短30%左右

表3 不同端头支护技术的适用条件与效果比较

支护技术	适用工作面长度	适用地质条件	主要优势	局限性
单元式支撑装置	300-400米	深埋深、高应力	支护强度高、作业空间大	初期投资大
水力压裂技术	>300米	坚硬顶板、厚煤层	减小悬顶面积、降低来压强度	技术复杂度高
分区协同控制	>350米	深井、复合顶板	针对性控制、自适应调节	需要完善的监测系统
大阻力超前支架	200-350米	中等应力条件	操作简便、劳动强度低	对复杂条件适应性有限

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

通过对超长工作面端头支护技术改进及矿压控制效果的研究，主要得出以下结论：

单元式支撑装置替代传统单体液压支柱支护方式，有效解决了超长工作面端头区域支护强度低、稳定性差的问题，不仅提高了支护效果，而且降低了劳动强度。

针对超长工作面的矿压显现特征，液压支架工作阻力不应低于17,000kN，支护强度应不低于1.2MPa，以适应端头区域的高应力条件。

基于工作面分区识别和协同控制理论，采用“单架控制→组控制→群控制”的三级协同控制策略，可实现端头区域矿压的精准管理，提高支护系统的适应性和可靠性。

水力压裂卸压技术可有效减小悬顶面积，是控制端头区域强矿压显现的有效手段，特别是长水平孔超前水力压裂可使巷道围岩变形降低60%以上。

完善的矿压监测系统是评估支护效果和优化支护参数的基础，多参数实时监测与预警为工作面安全高效生产提供了保障。

### 4.2 展望

随着煤炭开采向深部、复杂地质条件区域延伸，超长工作面端头支护技术仍面临诸多挑战，未来研究应重点关注以下方向：

智能化支护技术：研发具有自主感知、决策与执行能

### 3.3 经济效益与安全效益

端头支护技术的改进不仅提升了矿压控制效果，也带来了显著的经济效益和安全效益。如表3所示：不同端头支护技术的适用条件与效果比较。

经济效益：单元式支撑装置的应用大幅减少了支护作业人员，从每天15人减少到6人，降低了人工成本；同时，支护速度的提高加快了工作面的推进度，提高了煤炭产量。招贤矿业2306工作面实施水力压裂技术后，较2023年节省人力成本730万元。

安全效益：改进后的支护系统显著提高了端头区域的稳定性，减少了顶板事故和巷道变形风险，为矿工提供了更安全的工作环境。皖北煤电集团通过综合矿压治理措施，累计多回收煤炭资源80万吨，增收近2亿元。

资源回收率：端头支护技术的改进使得工作面布置更加灵活，有利于优化采区设计，提高煤炭资源回收率。恒源II 63采区完成整个采区留巷工作，实现单翼连续回采，解决了工作面隅角瓦斯积聚的难题。

力的智能支护系统，实现端头区域支护参数的自动调整与优化，减少人工干预。

精准卸压技术：进一步发展精准定向水力压裂技术，实现压裂范围、强度和时序的精确控制，提高卸压效果的可预测性和稳定性。

多系统集成：推进支护系统、监测系统和控制系统的高度集成，构建“探测-决策-控制”一体化平台，实现端头区域矿压控制的智能化管理。

新材料应用：研发高强度、轻质化的支护材料，在保证支护强度的同时降低设备重量，提高搬运和安装效率。

复杂条件适应性：加强深部高应力、软弱顶板、大倾角等复杂地质条件下端头支护技术研究，扩大超长工作面的应用范围。

超长工作面端头支护技术的持续改进与创新，对提高煤炭资源回收率、保障矿井安全生产、推动煤炭行业高质量发展具有重要意义。未来应进一步加强产学研用协同创新，促进支护新理论、新技术、新装备的研发与应用。

### 参考文献

- 闫浩洪. 蹚出一条井下应用超前支护装置的新路子——冀中能源峰峰集团羊东矿应用单元式支撑装置成效显著[J]. 中国能源网, 2025.
- 中国中煤所属中天合创公司2项科技成果达到国际先进水平[J]. 中国煤炭网, 2025.
- 孙俊明, 侯增平, 徐宏强. 超长工作面液压支架关键参数设计及效益分析[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(08): 72-77.