

# 深部厚煤层综放工作面复合破碎顶板精准控制技术研究与实践

张小飞

中煤华晋集团韩咀煤业有限公司

DOI : 10. 32629/j pm. v7i 5. 8881

**[摘要]** 针对深部厚煤层综放工作面软弱复合顶板控制难度大、片帮漏顶频发、巷道变形严重等难题，以韩咀煤矿 32205 综放工作面为工程背景，提出以“支架初撑力达标、跟机拉架及时、伸缩梁有效伸出、护帮板全面打设、超前支架动态支护”为核心的“五到位”顶板精准控制技术体系。通过全回采周期现场监测，结果表明：周期来压步距稳定在 10~20m，巷道帮鼓量控制在 400mm 以内，片帮漏顶事故显著减少。该技术体系为类似条件顶板安全管理提供了有效技术路径。

**[关键词]** 深部厚煤层；综放工作面；复合破碎顶板；顶板控制；五到位管理

## Research and Practice on Precision Control Technology for Composite Roof in Comprehensive Mining Faces of Deep Thick Coal seams

Zhang Xiaofei

Hanju Coal Industry Co., Ltd., Zhongmei Huajin Group

**[Abstract]** Addressing challenges such as difficulties in controlling weak composite roofs, frequent roof collapses and outbursts, and severe roadway deformation in comprehensive mining faces of deep thick coal seams, this study, using the 32205 comprehensive mining face at Hanju Coal Mine as a case study, proposes a "Five Key Elements" precision control technology system centered on achieving: adequate initial support force from bracing systems, timely installation of follow-up supports, effective deployment of telescopic beams, comprehensive installation of side support plates, and dynamic support by advanced bracing. Field monitoring throughout the entire mining cycle demonstrated that the cycle pressure step distance remained stable at 10 - 20 m, roadway wall bulging was controlled within 400 mm, and incidents of roof collapses and outbursts were significantly reduced. This technical system provides an effective approach for roof safety management under similar conditions.

**[Key words]** Deep thick coal seam; Comprehensive caving face; Composite crushing roof; Roof control; Five-in-one management

### 1 引言

煤矿顶板事故是井下主要灾害类型之一。据统计，2018—2022 年全国共发生顶板事故 157 起，占煤矿安全事故总数的 24.1%<sup>[1]</sup>。随着开采深度加大，围岩应力状态显著变化，尤其在厚煤层综放开采条件下，顶板结构复杂、矿压显现剧烈<sup>[2-5]</sup>。现

有研究在顶板控制方面取得了重要进展<sup>[6-9]</sup>，但仍存在监测预警滞后、支护设计缺乏针对性、现场管理粗放等不足。为此，本文以 32205 综放工作面为工程背景，提出“五到位”顶板精准控制技术体系，通过现场实践验证其效果。

### 2 工程概况

### 2.1 工作面地质条件

32205 综放工作面主采 2#煤层, 厚度 6.39~7.82m, 平均 6.88m, 倾角 0°~13°。直接顶为深灰色泥岩, 厚 1.83~3m, 平均 2.43m, 岩性软弱、节理发育, 属典型破碎顶板; 老顶为 K8 中细砂岩, 厚 2.73~8.4m; 直接底为泥岩 (3.29m), 遇水易软化。工作面埋深 480m, 属深部开采。主要难点: 复合破碎顶板控制难度大; 煤壁片帮严重 (深度>1m); 沿空留巷段变形剧烈; 地质构造发育; 深部高应力区矿压显现强烈。图 1 为初次来压期间支架下沉量曲线 (略), 显示中部及机尾段下沉量较大。

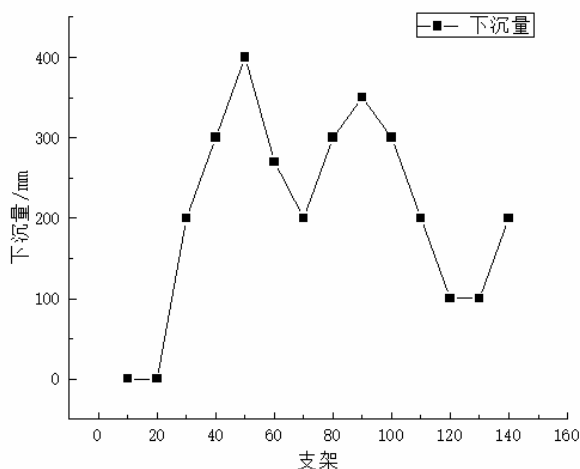


图 1 初次来压顶板下沉量曲线

## 3 顶板精准控制技术体系：“五到位”管理法

针对上述顶板控制难点, 结合 32205 工作面实际条件, 提出并实施了以“五到位”为核心的顶板精准控制技术体系。该体系强调全过程、全要素、动态化的顶板管理理念, 具体内容如下。

### 3.1 支架初撑力达标

支架初撑力是控制顶板早期下沉的关键参数。32205 工作面采用工作阻力 12000kN 的液压支架, 设计要求初撑力不低于 252bar。但在实际生产中, 部分支架因升柱时间不足、液压系统泄漏等原因存在初撑力不达标问题。为此采取以下措施:

(1) 引入智能监测系统, 实时采集支架初撑力数据, 对低于设计值的支架自动报警并补液;

(2) 加强支架液压系统日常检修, 重点排查立柱、控制阀组、管路泄漏点;

(3) 制定标准化操作流程, 明确升柱时间与压力控制要求;

(4) 建立初撑力考核机制, 将合格率纳入班组绩效。

实施后, 工作面支架循环末阻力在 252~499bar 区间的占比达 97.5%, 其中 400~449bar 占比最高 (22.6%), 低于设计初撑力的占比仅为 0.1%。

### 3.2 跟机拉架及时

跟机拉架的及时性是防止顶板空顶过久、降低顶板下沉量

的核心措施。若拉架滞后, 顶板暴露时间延长, 易引发破碎顶板局部冒落。具体措施包括:

(1) 优化采煤工艺, 合理设定拉架步距与时机, 确保采煤机割煤后支架及时跟进;

(2) 在过构造段、顶板破碎区制定专项拉架方案, 必要时采用“超前拉架”策略;

(3) 安装视频监控系统, 实时监督拉架操作, 确保每架到位;

(4) 加强现场管理, 对拉架不到位行为及时纠正。

特别是在工作面来水期间, 顶板泥岩遇水软化, 漏矸严重, 通过及时拉架护顶, 有效遏制了顶板进一步恶化, 保障了工作面连续推进。

### 3.3 伸缩梁有效伸出

伸伸缩梁的及时伸出可有效增加支护面积, 减少顶板暴露区域, 防止片帮与漏矸。控制措施如下:

(1) 根据煤壁稳定性动态调整伸缩梁伸出长度, 片帮严重区域要求全行程伸出;

(2) 建立伸缩梁使用检查制度, 每班检查伸缩梁动作是否灵活、密封是否完好;

(3) 定期对伸缩梁进行润滑与维护, 防止卡阻、漏液。

实施后, 工作面片帮深度多控制在 1m 以内, 片帮频率显著下降, 顶板暴露面积减少约 30%。

### 3.4 护帮板全面打设

护帮板能够有效约束煤壁侧向变形, 减少片帮深度, 是防止顶板事故的重要辅助手段。具体措施:

(1) 根据煤壁稳定性确定护帮板打设角度与力度, 片帮严重区域要求护帮板紧贴煤壁;

(2) 制定护帮板使用标准, 明确每架必须打设到位;

(3) 每班检查护帮板工作状态, 发现松动或损坏及时处理。

在过断层期间, 虽然片帮深度达 0.7~2.3m, 但通过护帮板的规范使用, 有效遏制了片帮扩展, 未引发大规模漏顶、冒顶事故。

### 3.5 超前支架动态支护

超前支架是控制沿空留巷段顶板变形、保障安全出口畅通的关键设备。32205 工作面采用 ZFDC51200/23/40 型超强支架进行超前支护。控制措施:

(1) 根据巷道变形监测数据动态调整超前支架位置与支护密度;

(2) 结合工作面推进速度, 每推进 5m 调整一次超前支架布局;

(3) 建立巷道变形监测机制, 重点监测顶板离层、两帮移近量、底板鼓起量;

(4) 定期检查支架完好性, 确保液压系统无泄漏、支架接顶良好。

实施后, 超前影响区域帮鼓量最大为 380mm, 顶板稳定, 底板平整, 巷道围岩变形得到有效控制。

表1 “五到位”管理法实施要点与效果

管理要点	实施措施	控制指标	实施效果
支架初撑力达标	智能监测、加强检修、规范操作	初撑力 $\geq 252\text{bar}$	合格率 99.9%
跟机拉架及时	优化工艺、专项方案、视频监控	空顶时间 $\leq 2\text{min}$	顶板完整性良好
伸缩梁有效伸出	动态调整、建立制度	片帮深度 $\leq 1\text{m}$	片帮控制有效
护帮板全面打设	规范操作、定期检查	煤壁稳定性提高	漏顶事故减少
超前支架动态支护	参数优化、实时监测	帮鼓量 $\leq 400\text{mm}$	巷道稳定性好

#### 4 实施效果分析

##### 4.1 矿压显现特征变化

通过“五到位”技术体系的系统实施，32205 工作面矿压显现特征得到明显改善。根据 23 个月的矿压监测数据，工作面周期来压步距稳定在 10~20m 之间，来压持续长度可控，最大压力值在 400~600bar 范围内，未出现冲击来压或大面积顶板垮落事件。

##### 4.2 巷道变形控制效果

沿空留巷段是顶板控制的重点区域。监测数据显示，两顺槽顶板较为稳定，帮鼓量最大不超过 400mm，均在可控范围内。特别是辅运顺槽帮鼓量从最大 380mm 逐步减小，表明超前支架动态支护效果显著，巷道断面满足安全通行与设备运输要求。

##### 4.3 片帮漏顶事故统计

实施“五到位”管理法后，工作面片帮、漏顶事故频率明显下降。初采期间，片帮深度达 0.8~1.5m，随着管理措施的加强，后期片帮深度普遍控制在 1m 以下，漏顶事故由初期的月均 2~3 起下降至后期几乎为零，顶板事故隐患大幅降低。

##### 4.4 末采期间顶板控制效果

在末采 200m 范围内，工作面顶板控制良好，贯通时未发生大面积垮落。通过在主回撤通道施工大直径卸压孔和注浆加固（马丽散）等措施，有效降低了贯通期间的应力集中程度，减少了片帮与顶板下沉。

表2 末采 100m 范围内垛架压力变化

剩余回采距离 (m)	垛架压力范围 (MPa)	压力变化特征
100.0	30~46	初始状态
74.3	31.6~33.4	小幅增加
50.0	32.5~41.5	明显增加
26.5	32~41.7	平稳变化
19.0	35.6~42	显著增加
贯通	41~46	趋于稳定

#### 5 结论与建议

(1) 针对深部厚煤层综放工作面软弱复合顶板控制难题，提出的以“支架初撑力达标、跟机拉架及时、伸缩梁有效伸出、护帮板全面打设、超前支架动态支护”为核心的“五到位”精准控制技术体系，在 32205 工作面 23 个月的回采实践中取得了显著效果。支架初撑力合格率达 99.9%，巷道帮鼓量控制在 400mm 以内，周期来压步距稳定在 10~20m 之间，片帮漏顶事

故显著减少。

(2) 该技术体系具有较强的推广价值，可在类似深部厚煤层、复合破碎顶板、沿空留巷条件下推广应用。建议结合具体地质条件进行参数优化，并加强数字化、智能化监测手段的应用，如支架压力在线监测、巷道变形自动采集、顶板离层预警系统等，实现顶板管理的实时化、精细化与智能化。

(3) 未来应进一步完善顶板管理制度与考核机制，加强技术人员与操作人员的培训，持续开展顶板控制理论研究，推动从“经验管理”向“数据驱动管理”转变，为深部煤炭资源安全高效开采提供技术支撑。

#### [参考文献]

- [1]赵丽娟, 李迎, 吕文陵, 等. 基于灰色关联分析法的煤矿顶板事故研究及防治[J]. 矿业安全与环保, 2024, 51(06): 54-62.
- [2]康红普, 张镇, 黄志增. 我国煤矿顶板灾害的特点及防控技术[J]. 煤矿安全, 2020, 51(10): 24-33+38.
- [3]蔡美峰. 深部开采围岩稳定性与岩层控制关键理论和技术[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2020, 2(03): 5-13.
- [4]徐刚, 张震, 张春会, 等. 我国煤矿开采工作面顶板灾害及防治技术研究现状[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2024, 6(05): 16-41.
- [5]谢和平. 深部岩体力学与开采理论研究进展[J]. 煤炭学报, 2019, 44(05): 1283-1305.
- [6]杨娟. 大采高综采工作面末采阶段来压规律与顶板控制技术[J]. 煤炭工程, 2015, 47(10): 54-57.
- [7]杨永亮. 多煤层同时开采矿压显现规律与控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(S2): 71-75.
- [8]宋选民, 朱德福, 王仲伦, 等. 我国煤矿综放开采 40 年: 理论与技术装备研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(03): 1-29.

[9]陈堃, 谭吉玉, 丁元春. 煤矿顶板事故的知识发现及灾害链网络分析[J]. 煤矿安全, 2024, 55(08): 249-256.

作者简介: 张小飞, 1984 年 03 月 02 日, 汉族, 山西长治人, 研究方向: 煤矿开采技术。