

# 大倾角煤层智能化工作面回采技术研究

张一亮 张国强

宁夏煤业枣泉煤矿 宁夏 银川 750001

**摘要：**随着煤炭资源开发向深部延伸，大倾角煤层开采比例日益增加。本文结合枣泉煤矿220708大倾角煤层智能化综采工作面回采技术研究。先阐述大倾角煤层地质特征，如煤层倾角与厚度变化、地质构造复杂、存在瓦斯水等灾害威胁，以及开采中设备稳定性、煤壁片帮和顶板控制、人员安全等难点。接着介绍智能化工作面回采的关键技术，包括智能化装备选型、自动化控制系统构建、数据采集与监测技术。最后探讨其发展趋势，如智能化程度提升、多技术融合、与绿色开采技术协同发展，旨在为大倾角煤层高效开采提供技术参考。

**关键词：**大倾角煤层；智能化工作面；回采技术；研究

**引言：**大倾角煤层在我国煤炭资源中占有一定比例，其开采对于保障能源供应意义重大。然而，大倾角煤层特殊的地质条件，如较大的倾角、复杂的构造以及潜在的灾害威胁，给开采工作带来诸多挑战。传统开采技术在设备稳定性、顶板控制和人员安全等方面难以满足要求。随着智能化技术的快速发展，智能化回采技术为大倾角煤层开采提供了新的解决方案。本文深入研究大倾角煤层智能化工作面回采技术，以推动煤炭行业的安全、高效、智能化发展。

## 1 大倾角煤层地质特征与开采难点

### 1.1 煤层倾角与厚度变化

大倾角煤层倾角通常超过 $45^{\circ}$ ，部分区域可达 $75^{\circ}$ 甚至更大，致使煤层赋存形态复杂。其厚度变化也极为显著，在短距离内可从数米骤增至十几米，或急剧变薄。这种煤层倾角与厚度的剧烈变化，不仅增加了开采难度，也对开采工艺和设备选型提出了更高要求。

### 1.2 地质构造复杂性

大倾角煤层区域地质构造发育，断层、褶皱等构造频繁出现。断层切割煤层，破坏煤层连续性，使开采巷道布置与支护难度大增；褶皱导致煤层产状改变，增加开采路径规划复杂性。复杂地质构造还易引发应力集中，威胁开采安全与稳定性。

### 1.3 瓦斯、水等灾害威胁

大倾角煤层开采中，瓦斯、水害问题突出。由于煤层倾角大，瓦斯运移规律复杂，易在局部积聚形成高瓦斯区域，增加瓦斯爆炸风险；同时，地下水在重力作用下，沿煤层或裂隙快速下渗，可能引发突水事故，严重威胁井下作业安全。

### 1.4 设备稳定性问题

在大倾角煤层开采时，采煤机、液压支架、刮板输

送机等设备受重力分力影响，易出现下滑、倾倒现象，刮板输送机与转载机搭接极难控制。设备间连接部件在倾斜状态下承受更大应力，易松动、损坏，影响设备正常运行，甚至导致设备故障，中断正常回采，降低设备开机率。

### 1.5 煤壁片帮与顶板控制难题

大倾角煤层开采中，煤壁在自重与采动应力作用下，极易发生片帮。片帮后煤壁失稳，进一步影响顶板稳定性，引发顶板垮落。且因煤层倾斜，顶板压力分布不均，传统支护方式难以有效控制顶板，给顶板管理带来巨大挑战。

### 1.6 人员安全与作业环境挑战

大倾角煤层工作面坡度大，作业人员行走、操作困难，易滑倒、坠落，人身安全风险高。同时，开采过程中煤块滚落、设备滑动等隐患多，且工作面通风、排水等系统受倾斜影响，环境恶劣，严重影响作业人员身心健康与生产安全<sup>[1]</sup>。

## 2 大倾角煤层智能化工作面回采关键技术

### 2.1 智能化装备的选型与应用

#### 2.1.1 智能采煤机

智能采煤机是大倾角煤层开采实现自动化、高效化的核心装备。其搭载的惯性导航与激光定位系统，可精确感知工作面起伏与倾斜角度，结合三维地质模型，自动规划最优截割路径，避免因煤层倾角变化导致截割偏差。在应对大倾角作业时，采煤机配备的多级防滑装置协同工作，底部防滑靴与刮板输送机齿轨紧密咬合，配合液压防倒立柱，可抵御煤层倾斜产生的下滑力，确保设备在 $45^{\circ}$ 以上倾角工作面稳定运行。此外，智能采煤机集成了AI截割控制系统，通过机器学习算法分析实时采集的煤层硬度、煤岩分界等数据，动态调整截割滚筒转

速与牵引速度，在保证煤质的同时，将截割效率提升30%以上。同时，其远程干预功能支持地面人员对设备的精准操控，有效降低井下人员作业风险。

### 2.1.2 智能液压支架

智能液压支架针对大倾角煤层顶板控制难题进行了深度优化。支架群通过电液控制系统实现“一键跟机移架”功能，基于压力传感器与倾角传感器数据，支架可自动调整支护高度与角度，使支护力始终垂直于顶板，显著提升顶板稳定性。在防倒防滑设计上，支架间增设柔性连接装置与双向防滑千斤顶，当某一支架出现倾斜趋势时，相邻支架可通过液压联动机构施加反向作用力，形成稳固的支架群组。此外，支架还配备了自适应护帮系统，通过红外测距传感器实时监测煤壁状态，当检测到煤壁片帮征兆时，护帮板自动伸出并施加压力，防止煤壁垮落。智能液压支架的应用不仅减少了人工操作强度，更使顶板事故发生率降低40%，为大倾角煤层开采筑牢安全屏障。

### 2.1.3 智能刮板输送机

智能刮板输送机在大倾角煤层运输中发挥着关键作用。其采用的双速双驱动系统，可根据运输负载自动切换高低速模式，在上行运输时提供强劲动力，避免煤炭下滑堆积；下行运输时通过能耗制动技术控制链条速度，防止超速运行。输送机机身安装的分布式张力传感器，可实时监测链条张力分布，配合液压自动张紧装置，实现链条张力的动态平衡，延长设备使用寿命。为解决大倾角环境下的物料输送难题，刮板输送机与转载机采用了铰接式搭接方式，配置了特殊的阶梯式挡煤板与锯齿形刮板，前者有效阻挡煤炭滚落，后者增强对物料的抓取力，使输送效率提升25%。此外，智能刮板输送机还集成了故障自诊断系统，通过分析电机电流、轴承温度等数据，可提前预判断链、卡链等故障，结合远程控制功能，实现设备的快速维修与恢复，保障工作面连续生产。

## 2.2 自动化控制系统的构建

### 2.2.1 工作面集中控制系统

工作面集中控制系统作为大倾角煤层智能化开采的“神经中枢”，通过工业以太网将采煤机、液压支架、刮板输送机等关键设备进行互联互通。该系统采用分层分布式架构，底层设备控制层负责实时采集设备运行参数，中间数据处理层运用边缘计算技术对数据进行分析与优化，顶层决策控制层则根据预设策略与实时工况，向各设备发送精准指令。例如，当系统检测到煤层厚度变化时，可自动协调采煤机调整截割高度、液压支架改

变支护强度、刮板输送机调节运输速度，实现多设备的协同作业。此外，系统还具备三维可视化功能，将工作面设备运行状态、地质信息等以直观的三维模型呈现于地面控制中心，操作人员可通过虚拟现实（VR）技术进行沉浸式远程操控，大幅提升开采决策的科学性与及时性，降低因人为干预延迟导致的生产风险。

### 2.2.2 视频监控系统

视频监控系统是大倾角煤层智能化开采的“千里眼”，通过在工作面、巷道、转载点等关键区域部署高清防爆摄像仪，构建起全方位、无死角的视觉监测网络。系统采用5G+光纤混合传输模式，确保高清视频流低延迟、稳定传输至地面监控中心。基于深度学习的图像识别算法赋予系统智能分析能力，不仅能够实时检测设备运行状态，如采煤机滚筒旋转异常、液压支架护帮板未到位等，还能识别人员违规操作行为，如未佩戴安全帽、擅自进入危险区域等，并立即触发声光报警。此外，视频监控系统支持多画面联动与历史视频回溯，管理人员可通过时间轴快速调取特定时段的视频记录，辅助事故分析与责任追溯。结合AI视频压缩技术，系统可在保障画质的前提下减少数据存储压力，为智能化开采提供可靠的可视化保障。

### 2.2.3 人员定位与通信系统

人员定位与通信系统是大倾角煤层智能化开采的“安全卫士”，采用UWB超宽带定位技术，可实现井下人员厘米级精准定位。系统在巷道、工作面等区域部署定位基站，通过与人员佩戴的定位卡进行信号交互，实时获取人员位置、运动轨迹等信息，并在地面监控中心的电子地图上动态显示。一旦发生顶板垮塌、瓦斯泄漏等突发事故，系统可迅速生成被困人员名单与位置分布图，为救援工作提供关键数据支持。在通信方面，系统融合了4G/5G无线通信与漏泄电缆通信技术，确保井下全区域语音、视频通话畅通无阻。此外，系统还具备电子围栏功能，当人员进入危险区域时自动触发报警，同时支持一键紧急呼叫，使井下人员在紧急情况下能够快速与地面控制中心取得联系，全方位保障人员生命安全与作业协同效率。

## 2.3 数据采集与监测技术

### 2.3.1 地质信息采集技术

地质信息采集技术是大倾角煤层智能化开采的重要基石。综合运用三维地震勘探、随采地震监测与钻孔窥视等技术，构建高精度地质模型。三维地震勘探利用纵波、横波数据，可精确解析煤层走向、倾角及断层、褶皱等构造形态，为开采设计提供宏观地质框架；随采地

震监测则在开采过程中实时捕捉煤层变化信息，动态更新地质模型，使开采方案能及时适应地质条件改变。钻孔窥视技术通过井下钻孔内置高清摄像头，直观获取煤层顶底板岩性、裂隙发育情况。此外，利用大数据融合算法，将不同来源的地质数据整合分析，生成包含煤层厚度、硬度、瓦斯含量等多参数的三维可视化模型，为智能化开采设备提供精准地质导航，有效降低因地质不确定性引发的开采风险。

### 2.3.2 设备运行状态监测技术

在采煤机、液压支架、刮板输送机等核心设备上，部署振动、温度、压力、电流等多类型传感器，构建全方位监测网络。传感器采集的设备运行数据，通过物联网技术实时传输至云平台，利用机器学习算法与故障预测模型进行深度分析。例如，通过分析采煤机截割部振动频谱，可提前识别截齿磨损、轴承故障；监测液压支架立柱压力变化曲线，能预判顶板来压规律。系统还具备设备健康度评估功能，依据运行参数与历史数据，对设备剩余使用寿命进行预测，结合智能调度系统，提前安排设备维护计划，避免因设备突发故障导致生产中断，有效提升设备综合利用率与开采连续性。

### 2.3.3 环境参数监测技术

在工作面及巷道内，密集布置瓦斯、一氧化碳、氧气、温湿度、粉尘等多参数传感器，形成立体化环境监测网络。传感器采用低功耗、高精度设计，确保数据实时、准确采集。监测数据通过5G网络或工业环网快速传输至地面监控中心，利用大数据分析与阈值报警机制，对环境参数进行动态监控。一旦瓦斯浓度超标、一氧化碳含量异常升高或氧气含量低于安全值，系统立即触发声光报警，并联动通风、喷淋等设备自动调节环境参数。同时，结合人员定位系统，将环境预警信息精准推送至受影响区域人员终端，指导人员安全撤离。此外，系统还可对历史环境数据进行趋势分析，为通风优化、灾害防治提供决策依据，全方位保障井下作业环境安全<sup>[2]</sup>。

## 3 大倾角煤层智能化工作面回采技术发展趋势

### 3.1 智能化程度进一步提高

未来，大倾角煤层智能化工作面回采技术将朝着更加智能化的方向发展。设备的自动化控制将更加精准和高效，能够实现完全自主运行和智能决策。例如，采煤机可以根据地质条件和煤炭质量的变化，自动调整割煤工艺和参数，实现最优的割煤效果；液压支架可以根据顶板压力的实时变化，自动调整支护强度和方式，确保

顶板的安全稳定。同时，智能控制系统将具备更强的学习和自适应能力，能够不断优化设备的运行策略，提高生产效率和安全性。

### 3.2 多技术融合发展

智能化工作面回采技术将与更多的先进技术进行深度融合，如5G通信技术、物联网技术、人工智能技术、虚拟现实技术等。5G通信技术将为设备之间的数据传输和远程控制提供更快、更稳定的通信保障，实现设备的实时协同作业。物联网技术将实现设备的全面互联互通，使所有设备都能够实时感知彼此的运行状态和工作环境，实现更加高效的生产管理。人工智能技术将在设备故障诊断、生产过程优化、地质灾害预测等方面发挥更大的作用，提高生产的智能化水平。

### 3.3 绿色开采技术协同发展

随着环保要求的不断提高，大倾角煤层智能化开采将更加注重与绿色开采技术的协同发展。在开采过程中，将采用更加先进的保水开采技术、煤矸石处理技术、瓦斯抽采利用技术等，减少对环境的影响。例如，通过智能化的保水开采技术，实现对水资源的合理保护和利用，避免因开采导致的地下水位下降和生态破坏；利用智能化的煤矸石处理技术，实现煤矸石的资源化利用，减少煤矸石的排放和堆积；通过智能化的瓦斯抽采利用技术，提高瓦斯的抽采率和利用率，既保障了安全生产，又实现了能源的综合利用<sup>[3]</sup>。

## 结束语

大倾角煤层智能化工作面回采技术的研究与应用，有效破解了传统开采难题，显著提升了煤炭开采的安全性与效率。随着智能化程度不断提高、多技术融合深化以及绿色开采协同发展，该技术将持续革新。未来，通过产学研深度合作，攻克技术瓶颈，优化系统集成，大倾角煤层智能化开采有望实现更高水平的自动化、精准化与绿色化，为煤炭行业的可持续发展注入强劲动力，推动行业迈向智能化开采新时代。

## 参考文献

- [1]唐树刚.大倾角煤层回采工作面沿空留巷技术研究[J].市政工程,2022.124-125
- [2]陶浩.复杂大倾角煤层综采工作面回采工艺[J],2023.165-167
- [3]郭跃华.大倾角薄煤层工作面走向长壁回采工艺[J].文化科学,2021.198-199