

# 煤矿智能无人采煤工作面开采技术探讨

关淑珍

乡宁县煤炭工业技工学校, 中国·山西 临汾 042100

**摘要:** 随着科技的不断进步, 煤矿开采技术正朝着智能化、无人化的方向快速发展。煤矿智能无人采煤工作面作为新一代采煤技术的代表, 具有开采范围大、工作效率高、智能化程度高等显著特点。本文旨在深入探讨煤矿智能无人采煤工作面的特点、常见灾害种类以及开采过程中的关键技术, 为煤矿安全生产和高效开采提供理论支持和实践指导。

**关键词:** 煤矿智能; 无人采煤工作面; 开采技术

## Discussion on Intelligent Unmanned Coal Mining Face Mining Technology

Guan Shuzhen

Xiangning County Coal Industry Technical School, China Shanxi Linfen 042100

**Abstract:** With the continuous advancement of technology, coal mining technology is rapidly developing towards intelligence and automation. The intelligent unmanned coal mining face, as a representative of the new generation of mining technology, features a large mining range, high work efficiency, and a high degree of intelligence. This paper aims to explore in depth the characteristics of the intelligent unmanned coal mining face, common types of hazards, and key technologies in the mining process, providing theoretical support and practical guidance for safe and efficient coal production.

**Keywords:** Intelligent coal mining; Unmanned mining face; Mining technology

## 0 引言

煤矿开采作为能源产业的重要组成部分, 其技术革新对于提高生产效率、保障安全生产以及促进可持续发展具有重要意义。近年来, 随着人工智能、物联网、大数据等技术的飞速发展, 煤矿开采技术正经历着前所未有的变革, 煤矿智能无人采煤工作面应运而生, 成为引领行业发展的新趋势。本文将从煤矿智能无人采煤工作面的特点出发, 分析其面临的常见灾害种类, 并深入探讨开采过程中的关键技术, 以期为煤矿行业的智能化转型提供有益参考。

## 1 煤矿智能无人采煤工作面的特点

### 1.1 开采范围大

煤矿智能无人采煤工作面通过先进的自动化控制和远程操作技术, 突破了传统人工开采在空间和时间上的限制。其配备的长距离、大功率采煤设备能够实现对大面积煤层的连续开采, 结合精准的地质勘探数据和智能规划系统, 可有效覆盖更广阔的开采区域。同时, 由于减少了人工干预, 工作面的布置更加灵活, 能够适应复杂的煤层赋存条件, 进一步拓展了开采边界, 实现了从点到面、从局部到整体的规模化开采, 大幅提升了煤炭资源的采出率和利用效率。

### 1.2 工作效率高

智能无人采煤工作面集成了高效的自动化生产系统, 采煤机、刮板输送机、液压支架等设备实现了协同联动和精准控制。通过智能算法优化采煤流程, 减少了设备空转、人工操作失误等导致的时间浪费, 显著提高了开机率和有效作业时间。此外, 远程监控和故障诊断系统能够及时发现并处理设备异常, 降低了停机维修时间。与传统人工开采相比, 智能无人工作面可实现 24 小时不间断作业, 单产水平大幅提升, 人力成本显著降低, 从而实现了生产效率和经济效益的双重提高。

### 1.3 智能化程度高

该工作面以物联网、大数据、人工智能等技术为核心支撑, 具备高度的自主感知、自主决策和自主控制能力。各类传感器实时采集井下环境参数、设备运行状态、煤层地质条件等海量数据, 通过高速通信网络传输至地面控制中心。智能决策系统对数据进行深度分析和挖掘, 实现对采煤过程的动态优化和精准调控, 如自动截割、自动移架、自动喷雾降尘等。同时, 地面操作人员可通过三维可视化界面进行远程监视和干预, 实现了“井下少人化、地面无人化”的作业模式, 智能化技术贯穿于开采的全过程, 使

采煤作业从传统的经验驱动转变为数据驱动和智能驱动。

## 2 采煤工作面常见灾害种类

### 2.1 顶板灾害

顶板灾害是采煤工作面最常见的灾害之一，主要包括顶板冒落、片帮、冲击地压等。在采煤过程中，煤层上方的顶板失去支撑，其稳定性受到破坏。若顶板管理不当，容易发生局部冒落甚至大面积垮塌，不仅会损坏设备、影响生产，还可能造成人员伤亡。冲击地压则是由于煤岩体在高应力状态下突然释放能量而产生的剧烈动力现象，会对工作面巷道和设备造成严重破坏，对安全生产构成极大威胁。顶板灾害的发生与煤层赋存条件、开采方法、支护强度等因素密切相关。

### 2.2 瓦斯及粉尘灾害

瓦斯灾害主要表现为瓦斯爆炸和瓦斯突出。煤矿井下瓦斯浓度达到一定范围时，遇到火源极易发生爆炸，产生高温、高压和有毒有害气体，后果极其严重。瓦斯突出则是在短时间内从煤岩体中突然涌出大量瓦斯和煤岩，可能导致人员窒息、瓦斯爆炸等次生灾害。粉尘灾害包括煤尘爆炸和粉尘危害，煤尘在空气中达到一定浓度并遇到火源会发生爆炸，同时长期吸入粉尘会导致矿工患尘肺病等职业病。瓦斯和粉尘的存在严重威胁着井下作业人员的生命安全和身体健康。

### 2.3 矿井灾害

矿井灾害涵盖范围较广，主要包括水灾、火灾、机电设备事故等。水灾是由于井下涌水或地表水、地下水溃入工作面而引发的，可能导致淹井事故，造成重大财产损失和人员伤亡。火灾包括外因火灾（如电气设备故障、明火等引起）和内因火灾（如煤炭自燃），火灾不仅会烧毁设备和资源，还会产生大量有毒烟雾，危及人员安全。机电设备事故则包括设备故障、漏电、短路等，可能导致设备损坏、生产中断，甚至引发触电、火灾等二次灾害。这些矿井灾害具有突发性强、危害程度大的特点，对煤矿安全生产构成严重挑战。

## 3 煤矿智能无人采煤工作面开采关键技术

### 3.1 可视化综采技术

可视化综采技术是智能无人采煤的基础，通过构建工作面全景化、实时化的视觉监控系统，实现对采煤机、刮板输送机、液压支架等关键设备及作业环境的动态可视化。该技术集成高清摄像、红外成像、激光扫描等多源视觉传感器，结合三维建模与虚拟仿真技术，将井下复杂环境转化为直观的数字图像或三维模型，并通过高速通信

网络传输至地面控制中心。操作人员可基于可视化界面远程实时监控设备运行状态、煤流运输情况及顶板变化，替代传统井下人工巡视，减少人员暴露风险。同时，可视化数据为后续智能感知、决策控制提供直观的场景信息，支撑远程干预与自动化作业的精准执行，是实现“井下无人、地面远程操控”的关键前提。

### 3.2 智能感知技术

#### 3.2.1 煤岩界面感知

煤岩界面感知技术旨在精准识别煤层与岩层的边界位置，为采煤机自动调高、减少截割矸石提供依据。该技术主要采用 $\gamma$ 射线探测、红外光谱分析、振动信号识别、雷达探测等方法： $\gamma$ 射线传感器通过检测煤岩中天然放射性元素（如铀、钍）的差异，区分煤与矸石；红外光谱技术利用煤岩对特定波长红外光的吸收特性差异实现识别；采煤机截割部振动传感器则通过分析截割煤岩时的振动频率、振幅变化反推煤岩硬度与界面位置；地质雷达则通过电磁波反射特性探测前方煤岩结构。结合机器学习算法（如神经网络、支持向量机）对多源感知数据进行融合处理，可有效消除单一传感器的误差，提高煤岩识别精度（通常要求误差 $\leq 100\text{mm}$ ），减少无效截割与设备磨损，提升采煤效率与资源回收率。

#### 3.2.2 设备状态感知

设备状态感知技术通过实时监测采煤机、液压支架、刮板输送机等核心设备的运行参数与健康状况，实现故障预警与寿命预测。该技术集成振动、温度、压力、电流、位移等传感器，采集设备关键部件（如采煤机截割电机、液压支架油缸、输送机减速器）的振动频谱、温度变化、油压波动、电流负荷等数据。通过边缘计算或云端大数据分析，结合故障模式识别算法（如故障树分析、贝叶斯网络），识别设备异常状态（如轴承磨损、齿轮断齿、油缸泄漏），并提前发出预警（预警准确率 $\geq 90\%$ ）。例如，通过分析采煤机截割电机的电流波形畸变，可判断电机是否过载或匝间短路；通过监测液压支架立柱压力变化，可评估支架对顶板的支护强度。设备状态感知技术能够替代传统定期检修模式，实现“预测性维护”，减少非计划停机时间，保障设备连续稳定运行。

#### 3.2.3 环境参数感知

环境参数感知技术聚焦工作面温湿度、瓦斯浓度、粉尘浓度、顶板压力等安全相关参数的实时监测，确保作业环境符合安全标准。该技术部署瓦斯传感器（基于催化燃烧或红外原理）、粉尘传感器（激光散射法）、温湿度传

传感器、应力传感器等，实时采集数据并通过无线或有线网络传输至监控系统。当瓦斯浓度超过阈值（如 $\geq 0.8\%$ ）、粉尘浓度超标（如 $\geq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ）或顶板压力异常时，系统自动触发报警，并联动控制通风设备、喷雾降尘装置或液压支架调整，实现风险的快速响应。例如，瓦斯浓度超标时，自动切断工作面电源并启动局部通风机；粉尘浓度过高时，控制支架喷雾系统自动开启。环境参数感知是保障无人工作面安全的核心，通过24小时不间断监测，构建“监测—报警—处置”的闭环安全防控体系。

### 3.3 智能定位技术

智能定位技术用于精确获取采煤机、液压支架、人员（若有）等移动目标在工作面的实时位置与姿态，支撑设备协同作业与路径规划。由于井下GPS信号失效，该技术主要采用惯性导航、UWB（超宽带）定位、视觉SLAM（同步定位与地图构建）、激光雷达定位等融合方案：惯性导航通过加速度计与陀螺仪实时计算设备运动轨迹，但存在累积误差；UWB定位通过部署锚节点与标签，利用电磁波飞行时间差实现厘米级定位（精度 $\leq 30\text{cm}$ ）；视觉SLAM与激光雷达则通过感知环境特征点（如支架编号、巷道标志物）修正位置偏差。智能定位技术需满足动态响应快（更新频率 $\geq 10\text{Hz}$ ）、抗干扰能力强（不受粉尘、电磁干扰影响）的要求，确保采煤机按规划路径截割、液压支架与采煤机协同推进（如跟机移架滞后距离误差 $\leq 500\text{mm}$ ），是实现设备自动化协同作业的空间基准。

### 3.4 智能决策控制技术

#### 3.4.1 数据处理分析

数据处理分析是智能决策的基础，需对多源、异构、高噪声的感知数据进行清洗、融合与深度挖掘。工作面传感器产生的数据具有海量性（如每秒GB级）、实时性（延迟要求 $\leq 100\text{ms}$ ）、不确定性（受井下环境干扰）等特点，需通过边缘计算节点进行预处理（如滤波去噪、异常值剔除），再传输至云端平台进行融合分析。采用数据融合算法（如卡尔曼滤波、D-S证据理论）整合煤岩界面、设备状态、环境参数等多维度数据，消除信息冗余与冲突；通过大数据分析机器学习模型（如时间序列预测、关联规则挖掘）提取数据特征，例如基于历史振动数据预测设备剩余寿命，基于瓦斯浓度变化趋势预测积聚风险。

数据处理分析需构建标准化数据模型与高效计算架构，确保数据的可靠性与分析结果的时效性，为智能决策提供高质量的数据输入。

#### 3.4.2 智能决策

智能决策技术基于数据处理分析结果，结合采煤工艺规则与优化目标（如最高产、最低能耗、最优安全），自动生成设备控制策略。该技术集成专家系统、强化学习、优化算法等智能方法：专家系统将采煤领域知识（如“当瓦斯浓度 $\geq 1\%$ 时停机”“采煤机截割速度与煤质硬度负相关”）转化为规则库，实现常规场景的快速决策；强化学习通过与环境交互（如模拟不同截割参数下的采煤效率），自主优化控制策略（如动态调整采煤机牵引速度、截割高度）；优化算法（如遗传算法、粒子群优化）则用于求解多目标问题（如在保证安全的前提下最大化日产量）。决策结果以控制指令形式通过工业总线或无线通信下发至井下执行层（如采煤机控制器、液压支架电液控制系统），驱动设备自动完成截割、移架、推溜、运输等作业。例如，基于煤岩界面感知结果，决策系统自动生成采煤机调高曲线，控制截割滚筒精准跟踪煤层；基于设备状态预警，自动调整负载分配（如降低故障电机功率），避免故障扩大。

## 4 结语

综上所述，煤矿智能无人采煤工作面开采技术作为煤炭行业的重要发展方向，不仅极大地提升了开采效率与安全性，还标志着煤炭开采向智能化、无人化迈出了坚实的一步。随着科技的不断进步，未来煤矿智能无人采煤技术将更加成熟，为煤炭产业的可持续发展注入新的活力。

### 参考文献：

- [1] 刘亚荣. 刍议煤矿采煤技术的发展与采煤自动化技术[J]. 西部探矿工程, 2024,36(07):119-121+124.
- [2] 邵国荣. 煤矿无人工作面开采技术探究[J]. 能源与节能, 2023,(03):161-163.
- [3] 胡海峰. 煤矿智能无人采煤工作面开采关键技术[J]. 当代化工研究, 2023,(03):104-106.
- [4] 刘愿. 煤矿井下智能无人采煤工作面开采关键技术分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021,41(18):187-188.
- [5] 刘子港. 探析煤矿智能无人采煤工作面开采关键技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021,41(17):187-188.

作者简介：关淑珍（1984.07-），女，汉族，山西乡宁，本科，研究方向：煤炭开采与智能化。