



# Based on the analysis of key intelligent technologies of coal mining machine

Xinqiang Li Longfei Zhao

Kuqa Kexing Coal Industry Co., Ltd., Kuqa, Xinjiang, 842000, China

## Abstract

The core of enhancing the efficiency and safety of coal mining lies in the intelligentization of coal mining machines. This paper delves into the key technologies and bottlenecks in this area. Analysis reveals that the current progress in the intelligentization of coal mining machines is constrained by several critical issues, including insufficient accuracy in environmental perception, inadequate reliability in autonomous decision-making, insufficient integration of remote monitoring systems, and difficulties in multi-system coordination. To overcome these challenges, the study proposes a series of key technological approaches: integrating high-precision sensors with machine vision for enhanced environmental perception, applying AI decision-making and model prediction for adaptive control, building an integrated remote monitoring platform, and developing intelligent operation and maintenance based on digital twins. These measures are crucial for achieving truly intelligent operation of coal mining machines.

## Keywords

coal mining machine; intelligent; key technology; perception control

# 基于煤矿采煤机智能化关键技术分析

李鑫强 赵龙飞

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆 库车 842000

## 摘要

煤矿开采效率与安全提升的核心方向在于采煤机的智能化, 本文针对此对其关键技术体系与瓶颈展开深入探讨。经分析可发现, 当下采煤机智能化进程受到诸多关键问题的限制, 像环境感知方面精度存在不足、自主决策环节可靠性不够高、远程监控的集成度有所欠缺以及多系统协同存在困难等情况。为了突破这些制约因素, 研究提出一系列关键技术路径, 即融合高精度传感与机器视觉来实现环境感知、应用AI决策与模型预测达成自适应控制、构建集成化远程监控平台以及发展基于数字孪生的智能运维等。对于促使采煤机达成真正智能化运行这一目标具备重要的实践意义。

## 关键词

煤矿采煤机; 智能化; 关键技术; 感知控制

## 1 引言

在现代煤矿生产的情境下, 对于安全高效开采有着更高要求被提出, 而采煤装备朝着智能化方向进行转型这一情况成为必然趋势。作为核心开采设备的采煤机, 整个工作面的自动化程度以及安全效益会直接受到其智能化水平的影响。本文旨在剖析当前技术发展现状、识别制约采煤机智能化深度应用的核心瓶颈以及探讨切实可行的技术升级方案, 以采煤机智能化的内涵与体系框架作为聚焦点, 针对其在精准感知、智能决策、远程监控以及系统协同等环节所面临的技术挑战展开系统梳理, 提出具有针对性的技术发展思路与相关措施, 为采煤机智能化水平能够得到实质性提升提供理论依据<sup>[1-3]</sup>。

## 2 煤矿采煤机智能化的内涵

采煤机是实现煤矿生产机械化和现代化的重要设备之一, 一般由截割部、装载部、行走部(牵引部)、电动机、操作控制系统和辅助装置等部分组成(如图1所示)。技术体系框架构建于多维度深度融合的创新架构之上, 其核心支撑在于环境智能感知与装备状态实时监测功能模块, 该模块采用激光扫描装置、多光谱传感器组以及高灵敏度振动监测单元形成立体化覆盖, 精确捕捉煤层地质构造变化、截割机构运行载荷分布以及关键传动部件健康指标。动态高精度导航定位系统利用光纤惯导结合顶底板起伏特征匹配技术实现采煤机滚筒位置的厘米级闭环控制, 为自主截割轨迹规划提供基础坐标参照。自主决策与精准控制系统深度融合模糊控制逻辑与深度学习模型, 依据瞬时工况自适应调整牵引速度与截割电机功率输出, 形成针对复杂煤岩界面的柔顺切削模式。远程集控与智能诊断平台集成设备运行参数流与采场

【作者简介】李鑫强(1997-), 男, 中国山西朔州人, 本科, 助理工程师, 从事煤矿机电运输工程研究。

视频信息流,借助时序数据分析算法对电机温升、轴承磨损等潜在失效模式进行早期预警,有效压缩异常状态响应时间窗口。



图1 采煤机示意图

### 3 煤矿采煤机智能化面临的关键技术问题

#### 3.1 采煤机精准感知与工况识别技术不足

采煤机在复杂多变的井下环境中作业时,其精准感知能力面临严峻考验,煤岩识别技术在实际应用中常因粉尘弥漫、光照不足以及煤层结构非均质性导致识别边界模糊、特征提取困难,难以实时准确区分煤岩界面。姿态定位环节则受限于采场强烈振动、设备自身运动干扰及信号传输衰减,定位精度往往无法满足高精度自动截割的严苛需求。加上设备运行状态监测与故障诊断技术对关键部件早期微弱异常信号捕捉能力不足,复杂的机电液耦合系统产生的海量数据伴随显著噪声,使得基于数据的诊断模型难以精准分离故障特征,及时预警潜在失效风险。

#### 3.2 智能决策与自适应控制技术可靠性待提升

地质条件动态演变与煤岩分布高度非均匀性导致截割路径规划复杂化,现有算法难以精准预判复杂煤岩界面空间延伸趋势,影响滚筒最优截割轨迹实时生成精度。牵引速度智能调节环节则面临环境感知信号扰动与设备动态响应滞后的双重制约,多源传感数据在煤层倾角突变或矸石包裹等工况下的可信度波动使得牵引控制单元难以建立连续稳定的功率匹配模型。设备运动姿态精确解算依赖惯性导航与煤壁激光扫描信息的强耦合处理,但是井下复杂电磁环境造成空间基准信号漂移现象,削弱滚筒位置闭环控制的稳健性<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 远程监控与可视化操作技术集成度不高

采煤机远程监控系统在实际运行中经常面临信息传递不够流畅的问题,井下复杂电磁环境与狭长巷道结构导致数据传输带宽受限且延时波动明显,影响实时工况信息的完整性与时效性。现有监控平台往往将设备状态参数、视频图像以及三维场景模型分散在不同子系统界面显示,多源信息缺乏有效整合,操作人员需要在多个屏幕或窗口间频繁切换才能获取综合判断依据,这种割裂状态显著增加了认知负荷。面向远程操作的可视化界面交互设计对井下复杂开采环境

的视觉还原度不足,虚拟控制指令与实际设备响应之间存在感知差异,操作起来并不顺手,难以建立与现场高度一致的沉浸式操控体验。

#### 3.4 多系统协同与信息融合技术瓶颈

液压支架位置姿态监测数据与运输系统负载波动信息的有效融合存在实质障碍,各子系统通信协议差异导致数据源异构性突出,阻碍联动控制指令的统一性与时效性。采煤机截割参数需求与液压支架推进步距在复杂煤岩界面下难以实时匹配,输送带运行状态反馈延迟加剧整机协同调节的不可控波动。设备运行状态深度数据关联模型受限于井下多噪声环境干扰,使得多源传感信号失真风险频繁发生,影响采煤机牵引速度与支架护壁支护动作的协同性评估精度。现有信息传输框架对运输系统过载预警信号处理的响应滞后进一步压缩了联动操作的鲁棒性缓冲区间,降低整体作业协调效率。

### 4 煤矿采煤机智能化的关键技术措施

#### 4.1 高精度环境感知与状态监测技术应用

在煤矿采煤机智能化推进过程中,高精度环境感知与状态监测技术构成了核心支撑环节,其中多源传感器系统承载着振动、温度、压力等物理量的实时监测任务,这些传感器被精密部署于截割部、行走机构以及关键轴承位置,不间断采集设备运行时的细微变化信号。机器视觉装置则依靠高分辨率工业相机与稳定光源协同工作,该装置同时执行煤岩界面的动态捕捉与设备表面状态的图像记录任务,其内置算法对获取的视觉数据进行灰度分析、边缘检测及特征匹配处理,有效识别煤壁轮廓、截齿损耗形态以及机身周边障碍物的空间分布。数据融合平台成为整合传感器信息流与视觉信息流的关键节点,这个平台运用特定的滤波算法和时空配准技术消除来自不同感知源的冗余与冲突数据,继而完成多维度特征提取并构建设备运行态势的综合模型,最终生成关于设备健康状态与工作面环境的精确评估报告,为采煤机自主决策和远程干预提供即时可靠的数据根基。

#### 4.2 智能决策算法与自适应控制技术应用

采煤机智能决策算法系统引入深度神经网络结构处理动态煤岩识别信息,开发多层卷积特征提取机制辨识复杂地质界面空间分布特征,据此构建滚筒高度自适应调整策略;模糊推理系统融合液压支架压力反馈与红外热成像数据,实时判断顶板支护状态变化趋势并生成截割载荷分配方案,系统特征提取机制主动补偿地质勘测信息滞后造成的模型误差。模型预测控制技术应用滚动时域优化原理规划采煤机运行轨迹,建立基于刚柔耦合动力学特性的速度前馈补偿模块,预测控制框架内置卡尔曼滤波装置对惯性导航数据漂移误差实施在线校正,强化斜坡煤层条件下滚筒定位稳定性。自适应转矩分配单元结合牵引电机温度监测数据动态调节各传动部输出比例,融合多目标优化函数平衡截割阻力与行