

走机构功率消耗关系；嵌入式智能诊断系统采集截齿振动频谱特征并应用小波包分析分解异常磨损频段能量，预判关键部件剩余寿命周期，驱动系统模型依据载荷波动自动修改变频器输出脉宽调制参数<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 远程监控与可视化操作平台建设

远程监控与可视化操作平台建设过程中，可靠的数据传输网络率先构建起井上井下信息交互的物理通道，该网络依托工业以太网与 5G 混合架构形成双冗余通信链路，其物理层采用铠装光缆与防爆无线基站协同部署模式，有效克服井下巷道弯曲、设备移动带来的信号衰减问题；传输协议层则专门定制了适用于采煤机工况数据的压缩算法与加密模块，在保证关键参数毫秒级响应的同时满足煤矿安全规程对数据完整性的严苛要求。三维虚拟现实系统基于采煤工作面的激光扫描点云与地质建模数据展开构建，该系统运用 Unity3D 引擎动态集成采煤机实时位姿、液压支架状态以及煤层赋存条件等多元信息流，操作者佩戴轻量化 VR 头盔即可获得 1 : 1 还原的沉浸式工作面全景视图，其手势识别模块更允许技术人员在虚拟环境中直接调整滚筒截割轨迹或模拟紧急制动操作。远程监控中心作为整个平台的中枢节点，其环形拼接大屏同步呈现着采煤机运行参数曲线、设备健康诊断报告以及三维场景动态推演画面，后台部署的智能告警引擎持续比对预设阈值与实时数据流，当识别到行走部油温异常或煤岩识别置信度下降时，系统自动触发分级预警机制并将故障定位坐标投射至三维模型对应部位，为地面调度人员提供直观的决策支持依据。

#### 4.4 基于数字孪生的采煤机智能运维技术

基于数字孪生的采煤机智能运维平台创建物理设备与虚拟模型的深度交互机制，运维平台利用激光扫描与惯性测量单元重构整机三维空间关系实时更新孪生体姿态，多通道传感数据流同步融合温度场分布、振动烈度频谱构建关键部件的数字映射。虚拟模型加载设备历史维修台账与材质参数库，对传动系统应力集中区域执行有限元强度校核运算，其故障推演核心嵌入高斯过程回归算法追踪轴承游隙演变规

律并生成异常磨损发展曲线。实时诊断功能模块匹配实际截割阻力谱与李生数据库标准工况谱的差异性特征，当截齿扭矩波动方差超过预设阈值时自动定位煤岩界面对应坐标，重构煤壁硬度分布热力图辅助决策。寿命预测子系统解析减速箱油液金属颗粒浓度变化趋势及关联齿轮表面退化特征，结合运行载荷谱峰值分布比例计算剩余可工作时长并量化可靠度指标，设备维护计划模块依据各子系统磨损预测值动态修正巡检优先级参数。振动频谱能量密度分析功能捕捉滚筒行星机构啮合频率的谐波成分漂移现象，早期识别行星架裂纹扩展风险并优化备件调配周期。

### 5 结语

实现采煤机全面智能化的基础在于对有效解决精准环境感知、可靠智能决策、高效远程交互及深度系统融合等技术瓶颈的达成，行业应着重开展的工作包括对提升传感器融合精度与机器视觉的复杂环境适应性的推进，对深化 AI 决策算法在多变工况下的鲁棒性与实时性的落实，对优化远程监控平台的数据传输效率与三维可视化交互体验的施行，并依托数字孪生技术来完成涵盖预测性维护的智能运维体系的构建。通过持续推进这些关键技术的研发与应用集成这一举措，采煤机自主作业能力将得到显著提升，对煤矿智能化建设整体目标的达成起到支撑作用。

#### 参考文献

- [1] 孙建成,邢常华,孟海涛. 煤矿采煤机智能化关键技术的探讨 [J]. 冶金管理, 2025(02): 78-80.
- [2] 陈德坤. 煤矿采煤机智能化关键技术探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(09): 22-24.
- [3] 张建勇. 基于煤矿采煤机智能化关键技术分析 [J]. 能源与节能, 2023(08): 130-132.
- [4] 殷召亮,宋正兴,王士民. 煤矿采煤机智能化关键技术探微 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(07): 21-23.
- [5] 韦跃辉. 基于煤矿采煤机智能化关键技术分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(20): 36-38.

# Analysis on the application of automation technology in coal mine electromechanical transportation system

Longfei Zhao Xinqiang Li

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

## Abstract

The traditional production model is being profoundly transformed by the application of automation technology in coal mine electromechanical transportation systems. This paper analyzes the current status of automation in key subsystems, including main hoisting, belt conveyors, auxiliary transportation, and power supply. It highlights significant advancements in state perception, intelligent control, and remote monitoring, while also identifying key constraints such as uneven intelligence levels among subsystems and insufficient data integration. The study proposes systematic strategies to address these issues, including deepening AI-driven intelligent upgrades of critical equipment, building an IoT-based comprehensive data platform, enhancing predictive maintenance mechanisms, and improving safety redundancy design. These strategies aim to break through current technological bottlenecks and achieve the goal of ensuring the intrinsic safety and efficient operation of coal mine electromechanical transportation systems.

## Keywords

coal mine; mechanical and electrical transportation system; automation technology; application analysis

# 煤矿机电运输系统中自动化技术的应用分析

赵龙飞 李鑫强

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆 库车 842000

## 摘要

传统生产模式正被煤矿机电运输系统自动化技术应用深刻改变,就主提升、带式输送机、辅助运输以及供电等核心子系统自动化的现状,本文展开了系统分析,其在状态感知、智能控制与远程监控方面所取得的显著进步被揭示,同时像子系统智能化程度不均衡、数据整合不足等关键制约因素也得以呈现。研究针对存在问题提出了系统性策略,即深化由AI驱动的关键设备智能升级、构建基于物联网的综合数据平台、强化预测性维护机制以及完善安全冗余设计,以此为突破当下技术应用瓶颈、达成煤矿机电运输本质安全与高效运行的目标提供可行的路径。

## 关键词

煤矿; 机电运输系统; 自动化技术; 应用分析

## 1 引言

煤矿机电运输系统作为井下生产的核心环节,矿井整体生产效能和人员安全皆与该系统能否安全高效运行直接关联。在对煤矿机电运输这一复杂系统进行优化升级方面,自动化技术依靠其能够对状态实时感知、实现智能决策控制以及展开远程集中监控的能力,带来了全新的可能性。当前相关研究与实践虽已经取得了一定成效,然而在子系统协同水平的提高、数据深度利用的加强以及故障预测精度的提高等方面依旧存在提升空间。本文着重围绕自动化技术在煤矿主提升、带式输送以及辅助运输等处于核心位置的环节当中应用的深度以及广度来展开,针对技术融合过程中所出现的

关键瓶颈加以剖析,目的在于对系统性能提升策略进行探索,为构建适应深部开采以及复杂地质条件的智能运输体系给予理论支撑。

## 2 煤矿机电运输系统构成与自动化技术基础

### 2.1 煤矿机电运输系统主要组成与功能

煤矿机电运输系统构成矿山生产的大动脉(如图1所示),主提升系统承担着井筒与地面间煤炭垂直输送的关键任务,其大型绞车和容器在深井作业中发挥核心效能。带式输送机系统作为水平巷道煤炭运输的主力,依靠高强度胶带与滚筒驱动装置实现长距离连续化运转,可伸缩设计适应了采掘工作面的动态延伸需求。辅助运输系统涵盖单轨吊、无轨胶轮车及架空乘人装置等多元设备,解决人员出入、物料配给及设备转移等井巷移动需求。供电系统则为上述设备提供高可靠性电力保障,井下中央变电所与移动变电站组成的

【作者简介】赵龙飞(1995-),男,中国河南鹿邑人,本科,助理工程师,从事煤矿机电运输研究。

网状结构具备防爆性能与智能监测能力，维持着全系统能源稳定供应。

2.2 自动化技术的内涵

自动化( Automation )是指机器设备、系统或过程( 生产、管理过程 )在没有人或较少人的直接参与下, 按照人的要求, 经过自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制, 实现预期的目标的过程。在煤矿机电运输系统自动化技术领域, 状态感知构成了整个体系的基石, 部署于关键节点的各类传感器持续捕捉设备运行中的振动、温度、声音以及牵引力等多维物理量变化, 将复杂的机械运动转化为可被解析的实时数据流。智能控制层面依赖于对这些海量感知信息的深度解析与

快速响应, 控制器依据预设算法模型动态调整皮带机转速、运输机车运行轨迹或提升机加减速曲线, 使运输过程严格贴合工况需求并达到能耗优化状态。远程监控技术则打破了传统煤矿井下作业的空间阻隔, 在地面集控中心的操作界面上可以清晰同步观察输送带张力波动、驱动装置电压电流及各类保护开关状态, 让管理人员如同亲临现场般掌握整个运输网络的动态。故障诊断则立足于状态感知收集的设备运转规律与历史数据库对比, 当辨识出电机轴承温度异常陡升或传动链条振动频谱出现离散峰值的偏离特征时, 系统能够自主匹配预设知识库中的故障模式组合, 精准定位潜在隐患点并即时发出预警信号。

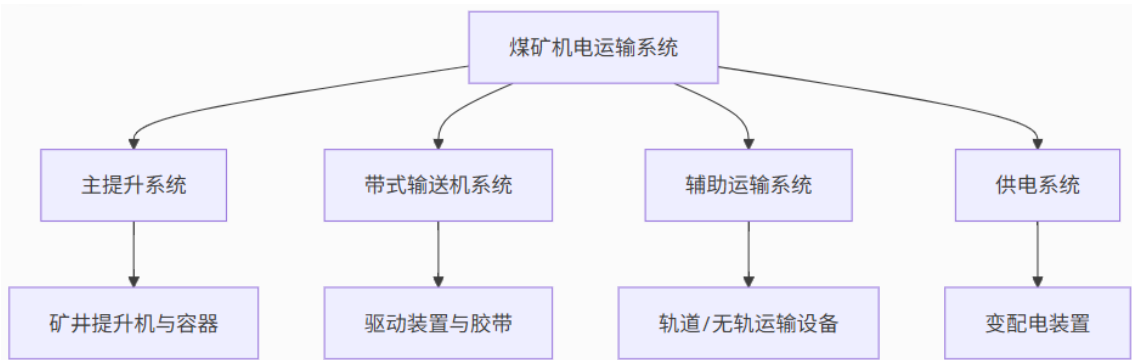


图 1 煤矿机电运输系统核心组成简图

3 自动化技术在煤矿机电运输系统中的应用现状

3.1 带式输送机自动化应用

当前带式输送机自动化应用呈现多维度技术融合态势, 集中控制系统已普遍完成地面调度室与井下操作站的远程联动, 依托工业以太网架构实现对多部输送机的启停序列管理与故障闭锁。调速节能技术依据煤流密度动态调节带速, 变频驱动装置在空载或低负荷工况自动降低运行频率, 该模式产生显著经济效益的同时缓解机械部件磨损。打滑监测装置通过编码器实时比对滚筒与胶带线速度差异, 跑偏传感器在输送带边缘偏移量超过阈值时触发声光报警, 堆煤保护则利用行程开关或超声波探头预防转载点堵塞事故。智能巡检机器人搭载红外热像仪与气体分析模块, 在固定巡检周期内替代人工完成巷道环境检测任务, 其复杂地形通过能力仍存在持续优化的技术空间<sup>[1-3]</sup>。

3.2 主提升系统自动化应用

煤矿主提升系统自动化进程稳步推进, 自动装卸载环节的精准定位与物料识别逻辑已普遍整合至控制核心, 矿车或箕斗到位后触发预设程序序列完成物料流转, 大幅降低人工介入强度与定位偏差风险。速度保护机制融合高速 PLC 扫描与变频驱动技术动态响应功能, 实时比对预设速度曲线与实际运行参数, 若检测到超速趋势或提升容器临近井口减速区域则自主触发逐级制动策略。提升容器位置监测依靠高分辨率旋转编码器连续采集数据, 配合井筒磁开关校正点双

重验证, 三维定位坐标同步映射在监控大屏并记录历史运行轨迹。故障诊断能力依赖多年积累的振动频谱数据库与专家系统规则支撑, 对于减速箱轴承早期磨损迹象产生的冲击脉冲信号, 系统能够结合温度漂移曲线关联分析区分正常负载波动与潜在机械损伤。

3.3 辅助运输系统自动化应用

电机车无人驾驶采用精确定位与毫米波雷达融合感知技术, 在预设运输巷道内实现自动循迹运行, 遥控操作模式则针对设备临时调运需求提供灵活控制手段。单轨吊智能控制系统集成载重监测与坡度补偿算法, 液压伺服装置依据负荷变化自动调节牵引力输出, 齿轨车驱动单元通过激光扫描轨道状态实时优化扭矩分配。信集闭系统升级涉及原有模拟信号制式向全数字化的过渡, 井下机车位置信息与道岔状态的融合处理要求更高采样频率, 异构设备的数据交互协议标准化成为提升联动可靠性的关键环节, 巷道电磁环境对无线传输稳定性的干扰需要更复杂的滤波补偿机制。

4 深化自动化技术应用提升煤矿机电运输效能的策略

4.1 推进关键子系统智能化升级

提升机智能运行控制方案构建于强化学习算法框架之上, 控制单元动态解析井深传感器反馈与载荷波动参数生成最优加速度曲线, 例如在变坡段自适应调整变频驱动输出频率维持恒张力状态同时避开设备共振区间, 多轴协同预