

矿山采掘机械自动化和智能化技术应用分析

贾伟璐 华 勇

内蒙古山金昶泰矿业有限责任公司 内蒙古 巴彦淖尔 015000

摘要: 矿山采掘行业转型升级离不开技术革新,自动化与智能化技术是关键驱动力。本文围绕矿山采掘机械自动化与智能化技术展开研究,界定了两类技术的内涵与核心特征,前者以“流程自动化”为核心,后者侧重“自适应与自优化”。系统分析了自动化关键技术(设备精准控制与驱动、多维度状态感知与信号处理、设备间协同与通信互联)及智能化核心技术(多源数据融合与智能决策、数字孪生建模与动态交互、自主协同控制与动态调度),并结合井下铲运机械、凿岩与掘进、运输机械三类核心设备,阐述技术具体应用场景。研究表明,自动化与智能化技术可实现采掘设备自主运行与协同作业,为矿山行业高效、安全发展提供技术支撑。

关键词: 矿山采掘机械;自动化技术;智能化技术;具体应用

引言:当前矿山行业面临人工成本攀升、作业安全风险高、生产效率待提升等问题,传统采掘模式已难以满足行业发展需求。自动化与智能化技术作为推动矿山转型升级的关键手段,可减少人工干预、优化作业流程。但行业内对两类技术的核心体系及实际应用路径仍缺乏系统梳理。基于此,本文从技术内涵入手,剖析自动化与智能化关键技术体系,结合矿山核心采掘机械应用场景展开分析。

1 矿山采掘机械自动化与智能化技术的内涵及特征

矿山采掘机械自动化技术,是以传感器、PLC(可编程逻辑控制器)、变频驱动等为核心,通过预设程序实现采掘设备如凿岩台车、智能铲运机等自主运行与精准控制,减少人工直接操作干预的技术体系。其核心特征体现在“流程自动化”,例如凿岩台车可依据矿脉走向自动调节钻孔角度,金属非金属矿山带式输送机根据矿料负荷自动调整运行速度,实现采掘作业的连续化、标准化,降低人为操作误差。

而智能化技术是在自动化基础上的进阶发展,融合人工智能(AI)、大数据分析、物联网(IoT)、数字孪生等技术,赋予采掘机械“感知-决策-执行”的自主能力。其核心特征表现为“自适应与自优化”,比如智能铲运机可通过多传感器实时采集矿岩松散度、作业区域温度、设备运行参数等数据,借助AI算法动态优化铲装路径,应对复杂矿脉条件变化;数字孪生技术则能构建金属非金属矿山采掘场景的虚拟模型,实现设备运行状态的实时映射与故障提前预警,让技术从“被动执行”转向“主动预判”^[1]。

2 矿山采掘机械自动化关键技术

2.1 设备精准控制与驱动技术

矿山采掘机械自动化的核心支撑之一是设备精准控制与驱动技术,该技术涵盖以下方面:(1)编程逻辑控制(PLC)系统。PLC系统可根据采掘作业的预设参数,对机械的动作序列、运行速度及启停状态进行逻辑化调控,通过内置的控制算法实现指令的快速解析与执行,确保机械动作的连贯性与准确性。(2)变频调速技术。通过调整供电频率改变电机转速,使采掘机械在不同作业工况下能匹配适宜的运行速度,避免因速度固定导致的能源浪费或设备过载。(3)电液比例控制技术则针对液压驱动类采掘机械,通过将电信号转化为液压信号,精准控制液压元件的动作幅度与力度,实现机械执行机构(如液压支架的升降、推移)的平稳且精确的运行,满足不同采掘场景下的动作控制需求。

2.2 多维度状态感知与信号处理技术

多维度状态感知与信号处理技术主要包括以下技术:(1)传感器技术。根据采掘机械的运行需求,配置位移传感器、压力传感器、温度传感器、振动传感器等,这些传感器可实时捕捉机械关键部件的位置变化、受力情况、温度波动及振动频率等状态信息,为后续控制提供数据支撑。(2)信号采集与转换技术。通过专用的数据采集模块,将传感器输出的模拟信号或数字信号进行集中采集,并转化为控制系统可识别的标准信号格式,确保信号传输的稳定性与兼容性。(3)数据预处理技术。则对采集到的原始数据进行滤波、降噪、异常值剔除处理,减少环境干扰(如粉尘、电磁干扰)对数据准确性的影响,保证传输至控制系统的数据具有可靠性,为自动化控制决策提供有效依据。

2.3 设备间协同与通信互联技术

设备间协同与通信互联技术包含现场总线通信技

术、工业以太网技术及协同控制协议。(1)现场总线通信技术采用专用的总线协议,构建采掘机械与控制单元、各机械之间的短距离数据传输网络,实现设备间的实时数据交互,支持多台机械动作的同步协调,避免因信息延迟导致的作业冲突。(2)工业以太网技术则针对大型矿山采掘场景,搭建覆盖整个采掘区域的高速通信网络,实现远距离、大容量的数据传输,满足多设备、多系统间的信息共享需求,同时支持与矿山地面监控中心的连接,实现对井下采掘机械运行状态的远程实时监控。(3)协同控制协议则是规范设备间数据交互格式与控制指令逻辑的规则体系,明确不同类型采掘机械在协同作业中的指令优先级、数据传输时序,确保多设备在自动化运行过程中能按照统一标准实现动作配合,保障整个采掘流程的顺畅性^[2]。

3 矿山采掘机械智能化核心技术

3.1 多源数据融合与智能决策技术

多源数据融合与智能决策技术主要由数据融合算法、机器学习模型及实时决策引擎构成。(1)数据融合算法可对采掘机械搭载的多类型传感器采集的异构数据进行整合处理,通过数据对齐、冗余消除与互补校验,生成全面且一致的设备运行与作业环境数据集,解决单一传感器数据片面或受干扰的问题。(2)机器学习模型基于历史作业数据与故障案例数据进行训练,构建设备状态评估、煤层条件识别、故障风险预判等专项模型,能够从实时数据中挖掘潜在规律与异常特征。(3)实时决策引擎则依据融合后的数据集与机器学习模型输出,结合采掘作业规则,自动生成设备运行参数调整、作业路径优化等决策指令,支撑机械自主应对复杂作业场景。

3.2 数字孪生建模与动态交互技术

数字孪生建模与动态交互技术涵盖三维精细建模、实时数据映射及虚拟仿真分析三大模块。(1)三维精细建模通过激光扫描、参数化建模等技术,构建与实体采掘机械及作业环境完全匹配的虚拟模型,不仅还原机械的几何结构、零部件装配关系,还融入设备的物理属性与作业环境参数。(2)实时数据映射借助物联网通信技术,将实体机械的运行参数、传感器感知数据与虚拟模型进行实时同步,实现虚拟模型对实体机械运行状态的动态复刻。(3)虚拟仿真分析则基于虚拟模型,模拟不同作业工况下机械的运行过程,开展设备性能测试、故障模拟推演与作业方案预演,为实体机械的运行优化与风险防控提供虚拟验证支持。

3.3 自主协同控制与动态调度技术

自主协同控制与动态调度技术包含分布式控制架

构、协同任务分配算法及动态调度机制。(1)分布式控制架构采用“中央监控-本地自主”的双层控制模式,中央层负责全局作业任务规划与设备状态监控,本地层则赋予单台机械自主决策能力,可根据局部作业环境变化快速响应,减少对中央层指令的依赖。(2)协同任务分配算法依据各机械的性能参数、当前运行状态及作业区域需求,将全局采掘任务分解为单台机械的子任务,实现任务的合理分配与负载均衡。(3)动态调度机制则实时监测作业过程中机械故障、环境突变等突发情况,自动调整任务分配方案与机械运行路径,协调多台机械规避冲突、补位作业,确保整体采掘流程的连续性与稳定性^[3]。

4 自动化智能化技术在矿山采掘机械中的具体应用

4.1 在井下铲运机械中的具体应用

金属非金属矿山井下铲运机作为出矿核心设备,其自动化智能化技术聚焦智能铲装与安全作业。(1)智能铲装控制方面,铲运机搭载3D视觉传感器与矿岩识别AI模型,作业时实时扫描铲斗前方矿堆,精准识别矿岩分布与松散度,结合铲斗重量传感器数据,自动计算最佳铲装角度与铲斗切入深度,控制动臂与铲斗动作完成高效铲装,避免传统人工操作中铲装不足或过载问题,在复杂矿脉出矿场景中,铲装效率提升20%以上。(2)自主导航与路径规划环节,铲运机集成激光雷达与惯性导航系统,通过井下定位基站校正位置偏差,结合预设电子地图自动规划从采场到溜井的运输路径,行驶过程中实时检测巷道内的人员、设备等障碍物,自动触发减速、避让动作,无需人工驾驶即可完成出矿运输闭环。

(3)状态智能监测层面,铲运机关键部件如发动机、液压系统安装温度、压力、振动传感器,数据实时传输至云端平台,通过算法分析设备健康状态,当液压系统压力异常或发动机温度过高时,提前发出故障预警,同时根据作业强度自动调整液压系统参数,延长设备使用寿命。(4)多设备协同作业方面,井下铲运机通过5G通信模块接入矿山智能调度系统,与掘进机、溜井控制系统实现数据互通。当掘进机完成采场开拓后,调度系统自动向铲运机下发作业指令,铲运机根据溜井实时存矿量调整出矿频率,避免溜井过载或空等;同时多台铲运机作业时,系统通过动态路径规划避免交叉拥堵,提升采场整体出矿效率。

4.2 在凿岩与掘进机械中的具体应用

凿岩与掘进机械是矿山井下开拓、采准作业的核心设备,其自动化智能化技术应用集中以下方面:(1)精准定位方面,掘进机搭载惯性导航系统(INS)与激光定位系统,结合井下已布设的定位基站,实时获取掘

进机在巷道中的三维坐标与姿态信息,数据传输至控制系统后,与预设的巷道设计轴线进行对比,自动计算偏差值,为掘进方向调整提供依据;凿岩台车则通过全站仪定位与台车自身的位移传感器,实现钻臂在三维空间内的精准定位,确保钻孔位置、角度与深度符合设计要求。(2)自动凿岩/掘进环节,凿岩台车在完成钻臂定位后,控制系统根据钻孔设计参数(深度、孔径),自动控制钻杆的推进速度、旋转速度与冲击力,实现钻孔过程的全自动运行,无需人工干预;掘进机则通过PLC控制系统与电液比例阀,实现截割头的升降、左右摆动及掘进机的行走速度控制,同时结合截割头负载传感器反馈的数据,自动调整截割参数,避免截割电机过载。(3)作业参数自适应调整层面,凿岩台车配备岩石硬度传感器,在钻孔过程中实时检测岩石硬度变化,控制系统根据硬度数据自动调整冲击力与推进力,确保在硬岩条件下钻孔效率,同时避免钻杆过度磨损;掘进机则通过截割扭矩传感器与振动传感器,分析截割岩石的特性,动态优化截割头转速与行走速度,当遇到硬岩夹层时,自动降低行走速度、增大截割扭矩,提升截割效率与设备安全性。

4.3 在矿山运输机械中的具体应用

矿山运输机械涵盖井下刮板输送机、带式输送机及地面/井下无人矿车,其自动化智能化技术应用围绕以下方面展开。(1)连续输送机械的自动化控制中,PLC控制系统与变频驱动技术结合,根据煤流传感器采集的物料流量数据,自动调整输送机的运行速度,当流量较大时提高速度,流量较小时降低速度,实现“按需输送”;输送机关键部位配置温度、振动传感器,实时监测部件运行状态,当温度过高或振动异常时,系统自动发出预警,若故障风险加剧,则控制输送机停机,避免设备损坏。(2)带式输送机还集成智能张紧系统,通过张力传感器实时检测输送带的张力变化,控制系统根据

张力数据自动调整张紧装置的张紧力,确保输送带张力始终处于合理范围,避免因张力不足导致输送带打滑,或张力过大造成输送带损伤;部分长距离带式输送机配备跑偏检测与自动纠偏装置,跑偏传感器检测到输送带跑偏后,系统自动控制纠偏滚筒动作,调整输送带位置,防止输送带边缘磨损或撕裂。(3)无人矿车的智能化应用中,车辆搭载多传感器融合定位系统,实现对行驶路线的精准识别与定位,结合预设的电子地图,自动规划行驶路径;车辆控制系统通过AI算法处理传感器采集的环境数据,识别行驶过程中的障碍物,自动采取减速、避让或停车措施,保障行驶安全。智能调度层面,无人矿车通过5G通信技术接入矿山调度云平台,平台实时获取所有矿车的位置、负载、电量(或油量)等信息,根据采矿作业面的出矿需求与卸矿点的接收能力,自动分配运输任务,优化矿车行驶路线,避免矿车拥堵,提高运输效率^[4]。

结束语:本文系统梳理了矿山采掘机械自动化与智能化技术的内涵、关键技术及应用场景,明确了自动化技术为基础支撑、智能化技术为进阶方向的发展逻辑,且两类技术在铲运机械、掘进、运输机械中已形成具体应用路径。未来可进一步探索技术与极端矿山环境的适配方案,加强多设备跨系统协同机制研究,推动矿山采掘机械自动化与智能化技术向更高效、更可靠的方向发展。

参考文献

- [1]方辉.试论智能化技术在矿山电气自动化中的应用分析[J].世界有色金属,2025(9):25-27.
- [2]范贤林.矿山采掘机械自动化和智能化技术应用分析[J].模具制造,2025,25(2):187-189.
- [3]董彬.智能化技术在矿山电气自动化控制中的应用[J].世界有色金属,2025(5):28-30.
- [4]姜楠.矿山智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].中国金属通报,2024(15):98-100.