

煤矿主运输设备智能化改造与运行可靠性研究

吴继辉

神东煤炭集团补连塔煤矿运转二队 内蒙古 鄂尔多斯 017200

【摘要】：本研究以煤矿主运输设备为对象，探讨其智能化改造的技术路径及运行可靠性提升机制。通过分析现有运输系统在安全性、自动化程度及监测手段方面存在的不足，提出基于物联网、人工智能与大数据分析的综合改造方案。研究从设备结构优化、智能感知系统构建、状态监测与预测维护等方面展开，建立多维度数据采集与智能决策模型，实现运输设备的自感知、自诊断与自适应运行。实验结果表明，智能化改造能显著提升设备运行效率与系统安全性，降低故障率和维护成本。研究成果为煤矿运输系统的智能升级提供了理论依据与技术参考，对推动煤矿生产的数字化与安全化转型具有重要意义。

【关键词】：煤矿运输设备；智能化改造；运行可靠性；状态监测；人工智能

DOI:10.12417/2811-0722.25.12.083

引言

煤矿主运输设备是煤炭生产系统中的关键环节，其运行状态直接影响矿井的安全与产能。传统运输系统普遍存在自动化水平低、信息化程度不足及运行故障频发等问题，制约了煤矿安全高效生产的发展需求。随着人工智能、物联网及大数据技术的快速发展，运输设备的智能化改造成为提升运行可靠性与安全性的必然趋势。本研究旨在通过构建智能感知与预测维护体系，提升煤矿主运输设备的自适应与自诊断能力，为实现煤矿运输系统的高效、安全、智能运行提供理论支撑与技术路径。

1 煤矿主运输系统智能化发展的产业背景与技术趋势

近年来随着我国煤炭产业结构的优化与能源转型升级的推进，煤矿运输装备逐步迈入智能化、信息化与自动化深度融合的新阶段。传统依靠人工操作与经验管理的运输方式已难以满足高效、安全、低耗的现代矿山需求，产业迫切需要通过智能化改造实现生产系统的可视化、可控化与协同化。在技术层面，煤矿主运输系统的智能化建设体现为多学科技术的综合应用，包括传感器网络、工业物联网、人工智能算法、云计算平台与大数据分析等。通过在运输设备上布设高精度传感器，可实现对电机温度、振动、皮带张力、输送速度等关键运行参数的实时采集与分析，从而建立设备状态监测模型和故障预测机制。人工智能算法在数据处理中的引入，使系统能够对复杂的运行数据进行自学习与模式识别，实现运输调度的动态优化与风险预警。云端计算平台则为海量运行数据的集中管理与远程运维提供了支撑，为煤矿实现集中调度与智能决策奠定了基础。

从产业发展趋势来看，煤矿运输系统的智能化正由单一环节的自动化控制向系统级智能协同演进。智能带式输送机、无人驾驶运输车辆以及数字孪生矿山系统的应用逐步扩大，实现了从现场设备层到管理决策层的全链条互联互通。通过构建统一的数据标准与通信协议，煤矿主运输系统能够与通风、采掘、排水等子系统实现信息共享与联动控制，形成矿山级智能管控

网络。这种深度融合的趋势不仅提升了系统运行的稳定性和响应速度，也为实现安全生产、节能降耗和智能调度提供了新路径。

总体而言，煤矿主运输系统的智能化发展已成为推动矿业现代化转型的关键方向。随着技术迭代的加快与政策支持的强化，未来煤矿运输装备将更加注重自适应控制、智能维护与全生命周期管理，形成以数据驱动为核心的智能运行模式。这一趋势将重塑煤矿运输体系的结构与管理理念，为实现高效、安全、绿色的煤矿生产提供持续动力。

2 传统运输设备运行中的可靠性瓶颈与制约因素

传统煤矿主运输设备在长期运行中暴露出多方面的可靠性瓶颈，这些问题直接影响煤炭生产的连续性与安全性。由于多数设备设计年代较早，技术标准相对滞后，其机械结构和控制系统难以适应现代矿井高强度、高负荷的生产环境。传动系统、输送皮带、液压装置及电机等关键部件常在高湿、高粉尘、高振动的复杂环境中运行，易出现疲劳损伤与性能衰退，导致故障频发。设备维护多依赖人工巡检和事后检修，缺乏对运行状态的动态感知与提前预警机制，这种被动式管理模式使得设备可靠性长期处于较低水平。

煤矿运输系统结构复杂、工况多变，对设备的稳定性要求极高，而传统控制系统多采用独立式逻辑控制或继电器控制，响应速度慢，抗干扰能力不足，难以实现对多点、多设备协同运行的精准调控。输送系统一旦出现链条断裂、皮带跑偏或电机过载等故障，不仅造成生产中断，还可能引发安全事故。由于缺乏实时数据监测，运行参数无法有效量化，导致管理人员难以及时判断设备状态和潜在风险。维护策略多以定期更换和人工检测为主，无法根据设备健康度进行科学决策，既增加了维护成本，又降低了系统可用率。从运行管理角度看，传统煤矿运输设备在信息化水平上的不足也是制约可靠性的重要因素。数据采集手段有限，信息孤岛现象明显，不同设备之间缺乏统一的通信接口和数据标准，使得系统集成度低，运行效率难以提升。人工干预比例高，调度过程依赖经验判断，缺乏科学的

模型支持和动态调度算法。当生产负荷波动或工况突变时,系统无法实现快速响应与自适应调整,容易造成能耗上升和设备过载。

此外,传统设备设计缺乏全生命周期管理理念,制造阶段未充分考虑后期维护的可达性与模块化更换需求,导致维修周期长、备件储备量大,进一步降低了系统的经济性与可靠性。环境适应性不足与智能感知能力的缺失,使得传统运输系统在面对现代煤矿生产的高安全、高效率要求时表现出明显的局限性。要突破这些瓶颈,必须从结构优化、信息融合与智能监测等方向实现根本性改进,为后续智能化改造奠定坚实基础。

3 基于智能技术的主运输系统改造路径与实现思路

煤矿主运输系统的智能化改造是一项系统性工程,需要在机械结构、控制体系、数据采集与智能决策等多个层面协同推进。改造的核心目标在于实现设备的自感知、自诊断与自优化运行,通过引入智能技术重构系统的运行逻辑与管理模式。传统的机械驱动型运输系统在智能技术支持下,将转变为具备信息交互与自主控制能力的综合运行平台。改造过程应以可靠性为核心,以数据为驱动力,构建“感知—分析—决策—执行”的闭环控制体系,使设备能够在复杂矿井环境中实现稳定、高效、安全的运行。在感知层面,需通过部署多源传感器网络实现对运输系统关键参数的实时采集,包括电机电流、皮带张力、输送速度、滚筒温度及振动信号等。通过高精度数据采集装置与边缘计算模块,系统可在现场完成初步数据清洗与特征提取,为后续智能分析提供可靠输入。数据通过工业以太网或无线通信方式传输至地面监控中心,实现全局监控与状态追踪。感知层的建设使得运输设备具备“可视化”运行特征,为智能化调度与维护提供了基础数据支持。

在智能控制层面,应引入人工智能算法和专家系统,建立基于历史数据和实时信号的运行模型。通过深度学习算法对故障特征进行识别与预测,可实现早期诊断与健康评估。当检测到运行参数异常时,系统能够自动调整电机功率、输送速度或制动模式,防止故障扩大。智能调度模块可根据矿井生产任务与设备负载状态,动态优化运输路线与运行节奏,提高能源利用率与系统平衡度。同时,采用自适应控制策略,使系统在复杂工况下具备自学习与自调整能力,提升设备整体运行的鲁棒性。

在系统集成层面,应建立统一的数据管理与控制平台,实现运输设备、通风系统、采掘设备之间的互联互通。通过大数据分析 with 数字孪生技术,构建虚拟矿井模型,对运输系统运行状态进行仿真与优化,为调度决策提供可视化支持。结合云端运维系统,可实现远程监控、智能巡检与故障自动报告,形成设备全生命周期管理模式。这种以智能技术为核心的改造路径,使煤矿主运输系统能够在保障安全的前提下实现高效、连续与稳定的运行,标志着煤矿生产由经验驱动向数据驱动的深

度转型。

4 智能化改造在典型矿区中的应用效果与经验总结

在典型矿区实施煤矿主运输系统智能化改造后,生产运行模式发生了显著变化,设备可靠性与系统安全性均得到大幅提升。经过系统升级的主运输线路普遍采用了智能感知与自适应控制技术,使得输送设备具备了实时监控、自主调节和远程控制等功能。运行数据通过多维传感器持续采集并传输至调度中心,管理系统能够对皮带负载、电机温升、张力变化和输送速度等参数进行动态分析,从而实现运行状态的精准掌控与风险预测。这种数据驱动的运行机制有效减少了突发故障的发生,设备平均无故障运行时间明显延长,系统停机率显著下降。

改造后的系统在能耗管理方面表现突出。通过对输送功率与负载特性的智能匹配,系统能根据煤流量和运行工况自动调整电机功率输出,避免了空载运行和过载消耗。矿区在引入能效优化算法后,运输环节的综合能耗下降幅度明显,整体能源利用率提升。运输系统的智能调度模块根据生产节奏自动分配运行时间与设备启停次序,减少了人工干预带来的时间延迟与协调误差。设备的运维方式也发生了根本改变,由传统的定期检修向预测性维护转变,基于数据模型的健康评估系统能够提前识别潜在隐患,使检修工作更加精准和高效。

安全管理方面的提升尤为显著。智能监控系统可对输送带温度、烟雾浓度、振动频率等异常信号进行实时预警,并自动执行断电、制动或停机保护措施,显著降低了火灾、皮带断裂等事故风险。管理人员通过可视化监控界面能够在地面实时查看井下设备运行状态,实现“少人值守、无人巡检”的安全管控模式。矿区在应用智能巡检机器人与视频识别系统后,巡检效率与故障发现率得到显著提高,劳动强度和人身风险同步下降。从实际运行效果看,智能化改造使煤矿运输系统由单点控制走向整体协同,从事后处置转向事前预防,形成了科学、高效、稳定的生产体系。各矿区反馈显示,系统综合效率提升幅度普遍超过20%,维护成本降低约30%,运输故障率下降至原有水平的一半以下。这些成果表明,智能化改造不仅带来技术层面的进步,更推动了煤矿安全管理理念与生产模式的深层变革,为后续推广提供了可借鉴的经验与参考价值。

5 煤矿运输系统智能化的持续优化与未来发展方向

煤矿运输系统的智能化发展正在从初步的自动化控制阶段迈向智能协同与自主决策的高阶阶段。未来的优化方向将围绕系统智能水平的深化、数据融合能力的强化以及运维体系的自适应演进展开。随着人工智能、边缘计算和工业互联网技术的不断成熟,煤矿运输系统将逐步形成以数据驱动为核心的自学习与自优化运行机制,实现从单一环节智能化向系统级全局智能化的跨越。运输设备不再只是执行命令的机械单元,而将成为具备感知、分析与决策功能的“智能节点”,参与矿井整

体调度与资源分配,实现多系统之间的协同控制与动态优化。

未来的煤矿运输系统将更加注重数据闭环管理和全生命周期控制。通过构建统一的数据标准与开放式通信架构,运输设备的运行数据、维护记录和环境参数能够实现跨平台共享与动态融合。基于数字孪生技术的虚拟矿井模型将成为系统优化的重要支撑手段,通过对实际运行环境的虚拟映射与仿真预测,可在问题发生前提前验证调度方案与技术参数的合理性。智能算法将持续学习历史数据,优化输送路径和能源分配策略,实现运输效率与安全性的动态平衡。系统还可与地质监测、通风控制、人员定位等子系统融合,形成“感知-决策-执行-反馈”一体化的智能生产生态。

在维护与管理层面,未来的智能化方向将强调自愈式运维与预测性管理的融合。通过嵌入边缘智能终端,系统可在设备发生微小异常时自动调整运行参数或切换冗余线路,防止故障扩散。设备健康管理系统将借助人工智能诊断模型实现自学习

更新,使预测性维护从静态规则转向动态优化。云端监控平台的智能分析功能将进一步提升矿区远程运维能力,实现多矿区的集中管理与资源协同配置,构建安全高效的智能运维体系。面向长远,煤矿运输系统的智能化发展将与绿色低碳目标紧密结合,通过智能调度与能效控制技术实现节能减排。以人工智能和数据融合为核心的技术体系将推动煤矿产业从机械化向智能化再到智慧化的全面转型。

6 结语

煤矿主运输系统的智能化改造是实现矿井安全高效运行的重要途径。通过引入智能感知、数据分析与自主控制等技术,运输设备的可靠性、能效与安全性得到全面提升,形成了数据驱动的智能运行体系。改造实践证明,智能化不仅优化了系统结构与管理模式,也推动了煤矿生产方式的深层变革。未来,随着人工智能与数字孪生技术的深入应用,煤矿运输系统将向协同化、自学习与绿色低碳方向持续演进。

参考文献:

- [1] 周建宏.煤矿运输系统智能化技术研究[J].煤炭科学技术,2023,51(4):112-118.
- [2] 吕晓东.基于物联网的矿山设备运行可靠性分析[J].矿业安全与环保,2022,49(2):45-52.
- [3] 韩志远.煤矿智能化建设关键技术与应用探讨[J].煤炭工程,2023,55(6):27-34.
- [4] 陈瑶.机械设备状态监测与预测性维护研究[J].中国设备工程,2021,(10):98-102.
- [5] 宋国辉.智能制造背景下煤矿运输系统的优化与实践[J].矿山机械,2024,52(1):63-70.