

煤矿机电系统中皮带运输设备的自动化改造与应用研究

吕江龙

(河南天安十三矿煤业有限公司, 河南 许昌 461700)

摘要 煤矿机电系统中的皮带运输设备承担着原煤、矸石和物料输送的主力任务, 其运行效率直接关系到企业生产效率与安全风险水平。在智能矿山建设加快推进的背景下, 运输系统的自动化升级成为煤矿技术改造的关键环节。依托 PLC 集中控制系统、多点传感网络与变频驱动技术, 可有效构建皮带运输设备的智能控制体系, 实现运行状态的实时监测、异常工况的预警联动以及能耗的动态优化。自动化改造不仅限于技术替换, 更在于推动煤矿运输系统向智能、高效、集成的方向转型。

关键词 煤矿机电系统; 皮带运输设备; 自动化改造; PLC 控制; 智能监测

中图分类号: TD63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.011

0 引言

煤矿运输系统是机电一体化环节中的核心部分, 其中皮带机作为连续作业设备, 在井下煤炭产出、转运和装车环节中发挥着基础支撑作用。矿井运行环境复杂, 设备启停频繁, 运输链长且点多线广, 人工操作不稳定因素叠加, 增加了生产组织的困难程度。伴随智能化建设目标逐步落地, 皮带运输系统被纳入重点改造范围, 其自动化、集中化和智能化水平成为衡量煤矿现代化程度的重要指标。运输系统的升级不仅关系到生产效率, 还影响作业安全、人员配置和运维方式, 具有显著的现实意义与改造价值。

1 煤矿机电系统中皮带运输设备自动化改造的现实动因

1.1 传统控制模式存在的典型障碍

传统皮带机控制模式呈现三个显著障碍。其一, 运行信息不可实时获取, 设备状态依赖人工巡检判断, 跑偏、打滑、堆煤等异常无法被及时识别, 形成潜在安全隐患。其二, 启停控制分散在多个点位, 操作流程冗长且协调性不足, 在多段皮带联运条件下更容易出现指令不同步的情况, 运输链连续性受到影响。其三, 运维模式缺乏数据支撑, 检修更多依托经验决策, 导致故障预判能力较弱, 轻微机械异常会发展为整体停机事件, 此类限制直接降低了运输系统的稳定性, 对安全生产和产能组织造成不利影响。

1.2 政策推动与技术演进形成的升级动力

随着智能矿山建设进入实质推进阶段, 政策端对运输系统的升级提出更明确的要求。《煤矿智能化标准体系建设指南》对采掘、运输、通风等环节的智能化水平提出具体指标, 其中明确指出运输系统应实现“集中控制、实时监测、联动保护”的建设目标。此类标准体系不仅限于推动控制系统改造, 更在于打通信息采集、数据传输与智能响应的整体链路。在技术层面, PLC 集中控制、智能传感网络、边缘计算平台与远程通信技术日趋成熟, 为复杂运输系统构建智能调度平台奠定基础。煤矿对效率、安全与降本的多重需求叠加, 使皮带运输设备的自动化升级成为机电系统改造中的关键环节^[1]。

2 皮带运输设备自动化改造的系统技术路径构建

2.1 集中控制系统的集成优化路径

在煤矿日常运营的过程中, 利用更多的自动化技术, 可以进一步提高煤炭的生产能力和生产质量^[2]。在煤矿运输系统的自动化改造中, 集中控制是所有技术环节的基础模块, 其核心任务在于将各段皮带机、清扫装置、张紧装置以及沿线监测点纳入统一调度体系。系统以 PLC 为主站控制器, 构建分层结构, 使现场分站负责就地执行, 主站负责调度协调。井下各分站之间依托工业以太网或环网光纤构成骨干通信链路, 确保高湿、多粉尘条件下仍能维持稳定传输。运行指

作者简介: 吕江龙 (1988-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 机电运输。

令、传感数据、故障信息可在毫秒级完成交互,使调度人员能够在地面平台实时观察运输链的运行状态。集中控制界面通常采用图形化布局方式,将每一条皮带的运行方向、速度、电流变化、传感器状态以动态图标标注,调度人员可在界面上执行启停指令或调整逻辑参数。系统还可设置启停顺序表,在启动前自动执行各环节的状态确认,避免因局部积煤、托辊卡滞或张紧不足影响整线运行。部分煤矿还在集中控制中加入联动逻辑,如溜煤眼料位升高时自动减速皮带机,或在下一段皮带未准备就绪时禁止上游皮带启动,以减少煤流冲击。在运行安全方面,集中控制平台一般与故障保护模块深度融合,系统一旦检测到跑偏、打滑或电机过载,可自动切断对应皮带的驱动回路,并将报警信号推送至主控室大屏。为增强系统可靠性,可以采用双PLC架构或主备冗余模式,使核心控制逻辑在故障条件下仍能保持稳定运行。系统还可设置操作权限分级,将井下就地操作与主站调度进行区分,避免误操作造成运输链停摆。集中控制的作用不仅限于实现统一指挥,又在于构建可扩展的控制框架,使皮带运输系统具备与通风、排水、提升等其他机电环节协同的能力。可以将皮带机运行曲线与采煤工作面产量信息进行关联,使运输速度与来煤节奏保持一致,减少堆煤现象^[3]。此类集成模式使运输链从传统的机械运行单元转变为能够参与生产节奏调度的系统单元,为煤矿智能化运行奠定基础。

2.2 多点智能传感与运行状态监测网络

自动化改造的核心在于增强系统感知能力,而分布式传感网络正是构建智能运行体系的基础单元。在皮带运输系统中,需根据线路结构和工况分布,在关键部位布设多类传感器节点,常用参数包括跑偏、打滑、温度、速度、电流、张紧力、煤流量、物料料位等,这些数据构成了设备运行状态的动态映射。传感器安装位置通常设在驱动端、改向滚筒、头尾部张紧装置、中部托辊集中段及易积煤区域,确保信号采集具备覆盖性和代表性^[4]。为保证数据质量,应选用具备工业防护等级的耐煤尘型传感器,通信方式以RS485、CAN总线或工业以太网为主,在重要节点可配置无线冗余链路提升稳定性。各类数据由就地采集终端进行初步处理后上传至集中控制平台,在控制界面上形成实时可视化信息。调度人员可依托传感图层掌握皮带张力、物料分布、滚筒温升等细节,增强远程监控判断的准确性。系统还可设定参数阈值,在出现连续异常数据时主动触发声光报警,或联动执行急停指令,防止故障扩散。部分煤矿可以构建以传感数据为基础的状态

预警模型,依托历史运行数据训练出不同工况下的特征曲线,建立正常状态识别区间。当实际参数出现偏离时,系统会对偏移幅度、持续时间和变化趋势进行综合判定,判断是否构成早期故障信号,此类结构不仅限于实时监控,又在于实现趋势判断与主动识别,使运维从反应式向预测性过渡,增强运输系统的安全保障能力。

2.3 电机变频调速与能效自适应控制

煤矿皮带运输设备常年处于长时间运行状态,不同班次、不同采煤强度下所对应的物料输送量存在显著差异。在自动化改造过程中,应在皮带驱动系统中引入变频控制装置,使其根据负载变化实时调整运行速度,形成按需调节、动态响应的能效控制机制。变频调速系统一般由变频器、速度反馈装置、控制模块及人机交互界面构成。在运行过程中,煤流量传感器采集的物料密度数据可作为控制参数输入,结合皮带张力与速度变化趋势,控制逻辑自动计算出最适转速。系统可设定速度上限与下限区间,在运输高峰阶段维持稳定高效输出,在煤流不足或间歇段适度降速运行,从而使电机工作点始终处于高效区间。调速过程中的升降速斜率由程序控制,避免冲击或急变带来的机械冲击。部分煤矿引入了AI边缘运算模块,将变频调速与运行历史数据融合,建立预测模型以提前判断各时段负荷波动趋势。系统根据预估结果提前调整运行策略,减少频繁启停或速度突变,增强设备运行的柔性 with 稳定性。此外,在变频调速系统中叠加软启停机制,可降低启动电流,缓解电机与减速器的冲击磨损^[5]。

2.4 联动保护与故障预警机制设计

自动化改造中应嵌入联动保护与预警模块,实现设备状态识别与应急响应闭环。系统可在关键节点预设控制逻辑,当检测到跑偏、打滑、物料堆积、过载等信号时,根据响应等级自动触发局部停机、联动断电或全线保护。此类逻辑链路由PLC内部中断机制或外部紧急控制回路完成,不依赖人工判断。运行保护机制应与传感器数据形成联动,避免误报与漏报并存的现象。在非突发异常中,系统会首先以变频降速或阶段性报警提示形式介入,让运维人员留有应对缓冲。若异常信号连续并出现趋势加重,系统将切换为强制停机模式,确保设备与人员安全。不同等级的联动策略可按风险等级设置执行权限,使系统既具备灵活性,又不失刚性边界。为增强识别精度,部分煤矿已接入图像识别模块,对皮带撕裂、托辊脱落、积煤堆料等典型外观异常进行视觉判断。图像信号通过边缘计算节点本地识别后,将识别结果作为外部触发量纳入控

制系统,实现多源识别、联合判断。系统界面中还可集成故障追溯功能,记录异常发生时的运行参数、时序指令与干预动作,为后期运维分析与策略优化提供数据依据。联动保护的核心价值不仅限于故障处理,更在于构建安全防线,使设备运行具备预警能力与自恢复条件,增强系统的抗扰性与稳态恢复能力。

3 基于典型煤矿的皮带运输自动化改造实践应用分析

3.1 运输系统改造背景与原有运行状态

某地年产 300 万吨的井工煤矿,在智能化建设初期,运输系统仍采用分段操作与人工值守的运行方式。主运输皮带线总长近 2 400 米,由 4 组主驱动构成,控制台分别设置于井下不同点位,启停需人工手动确认。运输过程中,指令下达存在时差,设备运行无法形成协调逻辑,煤流断点时有发生。调度室仅能依托通话装置获得状态信息,缺乏实时参数支撑,远程监测与集中控制能力几乎为空白。井下设备受潮湿、粉尘等环境影响频繁故障,尤其在夜班或雨季运行阶段,跑偏、打滑、托辊温升等异常未能及时识别,极易形成局部堆煤或胶带损伤。运维模式以定时巡检为主,设备状态全凭经验判断,检修记录无数字留痕,工作重复、响应迟缓成为常态。为响应集团推进机电系统智能化管理的战略部署,该矿将皮带运输系统列入首批自动化改造工程试点。

3.2 集中控制系统与智能监测模块的集成建设

改造工程由矿机电中心牵头实施,改造路径以“构建集中控制—布设传感节点—引入智能调速”为三大环节。在井下沿线架设工业环网光纤,控制信号与运行数据统一接入地面调度平台。四组皮带驱动单元分别配置 PLC 控制模块,实现统一启停逻辑,并设定启停顺序、自检确认与异常响应程序。调度端配置可视化操作界面,运行状态、参数曲线、故障报警可在一屏展示,调度员可直接远程干预。监测系统布设 34 组传感节点,分布于驱动滚筒、改向托辊、头尾部落料点等部位,传感类型涵盖速度、张力、电流、温升、煤流量、打滑与跑偏状态。图像识别模块部署于关键断面,实现胶带撕裂、托辊脱落、积煤溢出等非参数信号的边缘识别,识别结果与 PLC 信号融合,形成多元协同判断机制。变频器根据负载状态动态调整电机转速,降低无效能耗,并缓解启停时的扭矩冲击。系统设置故障响应逻辑,当跑偏持续 10 秒未恢复,则自动停机并发出报警;若传感器检测温升异常且煤流无明显变化,则执行变频降速,待煤流平稳后恢复正常

工况。各段皮带启动前,系统会自动执行空载确认与信号确认,减少因张紧力不足或设备未联锁而引发的误启动。

3.3 运行效果与管理机制的协同优化成效

改造完成后,皮带运输系统稳定性明显增强。系统上线首季度,运输中断事件同比下降 64%,单次处理时长从平均 12 分钟缩短至不足 4 分钟。电机运行负载更加平稳,功耗下降 15% 以上,电能利用率进一步优化。在运行效率方面,因启停顺序被统一调度控制,班均运输量较改造前增长 10.4%,系统故障造成的物料堆积事件几乎消除。在运维机制方面,人工巡检强度显著压降。原本需 3 人现场值守的运行模式,改为 1 人轮岗+调度远控模式。系统每天自动生成运行日志、异常分析与维护建议,代替人工登记。托辊、清扫器与张紧装置的更换周期从“计划换”转为“状态换”,半年内托辊更换数量减少约 35%。调度平台集成的历史回溯功能支持异常数据再分析,为后续扩展 AI 预测模型提供数据积累基础。该项目作为集团内部运输系统智能化改造样板,被纳入设备运维改革试点范畴,并逐步推广至回风巷皮带与采区辅运系统。

4 结束语

煤矿机电系统的自动化改造是行业发展的关键方向,皮带运输设备在此类改造中承担着连贯生产与保障安全的核心作用。依托集中控制、智能感知与自适应调速等技术,使运输环节具备更强的协同能力与运行稳定性。自动化体系的建构不仅限于设备层面的技术增强,还在于重塑管理逻辑,使运行、维护与调度形成数据驱动的联动结构。未来的运输装备将在预测性维护、智能调度与全流程数字监管的支持下形成更具韧性的运行结构,为行业高质量发展积累更深的技术支撑。

参考文献:

- [1] 曾义.自动化技术在煤矿机电设备中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(05):142-144.
- [2] 吴涛,张勇.煤矿机电运输系统中的自动化技术运用[J].化工管理,2023(12):73-76.
- [3] 任富强,李刚,康宇全.煤矿机电运输系统中的自动化技术分析[J].新型工业化,2022,12(08):76-79.
- [4] 李云.自动化控制在煤矿井下皮带运输系统中的应用[J].能源与节能,2021(10):196-197,200.
- [5] 陈国华,马志鹏.探究煤矿机电运输系统自动化技术及其发展[J].冶金管理,2020(11):74-75.