

煤矿地面装车皮带运输自动化管控平台搭建与实践

王 鹏

陕西华电榆横煤电有限责任公司 陕西 榆林 719000

摘 要：煤矿地面装车皮带运输系统是连接井下生产与铁路/公路外运的关键环节，其运行效率与安全性直接影响矿井整体经济效益。传统人工值守模式存在启停响应滞后、能耗高、故障排查困难、装车精度依赖经验等突出问题。本文立足自动化、信息化与智能化技术融合，提出一套面向地面装车皮带运输全流程的自动化管控平台总体架构，涵盖感知层、传输层、数据中台与业务应用层。围绕“集中监控、智能联动、精准计量、预测维护”四大核心目标，详细阐述平台的功能模块设计、控制策略优化及组织管理配套措施。通过管控平台的实质性搭建，可实现皮带机群协同启停、给料量动态调节、装车仓位自动配比以及设备健康状态在线评估，有效降低人工干预强度，提升装车效率和计量准确性。文章进一步探讨平台建设过程中的关键难点与应对路径，强调数据治理与标准化对管控效果的决定性作用，为同类矿井地面运输系统智能化升级提供参考。

关键词：煤矿地面运输；装车皮带；自动化管控；集中监控；智能联动

引言

煤炭是我国主体能源，煤矿地面装车系统的自动化水平直接关乎能源保供与安全生产。该系统由储煤仓、给料机、皮带输送机及电子皮带秤等构成，负责商品煤快速装载。然而，随着产量提升，传统人工控制方式因启停依赖指令、调节滞后、故障响应被动及数据孤立等问题，已难以满足高效需求。在国家推动煤矿智能化、“固定岗位无人化”的背景下，构建地面装车皮带运输自动化管控平台成为实现全流程可监、可控、可优的必然选择。鉴于现有研究多侧重井下或选煤厂内部，针对地面装车大流量、变负荷等特殊工艺的系统性方案尚不充分，本文系统论述该平台的搭建思路、核心功能及实施要点，旨在为同类矿井提供可复用的技术框架与管理范式。

1 煤矿地面装车皮带运输自动化管控平台总体架构设计

1.1 设计原则与目标

平台设计遵循四项基本原则：一是安全性优先，所有远程操作须具备就地急停优先级和闭锁保护，确保人员与设备安全；二是可靠性保障，关键控制器冗余配置，通信网络采用环形拓扑，避免单点故障引发系统瘫痪；三是开放性扩展，预留与矿井生产执行系统、运销调度系统及上级监管平台的数据接口，支持后续功能迭代；四是实用性导向，界面操作简洁明了，报警分级推送，避免信息过载。基于上述原则，平台目标可量化为：装车效率提升不低于15%，皮带空载运行时间减少20%以上，装车合格率（ $\pm 0.5\%$ 载重误差）达到98%，设

备非计划停机次数降低30%。

1.2 四层物理架构

平台物理架构自下而上分为四层。感知执行层包括安装在皮带机头、机尾的转速传感器、跑偏开关、温度振动复合传感器，给料机上的料流检测雷达，电子皮带秤及装车仓位雷达料位计，同时包含变频器、软启动器、电动三通挡板执行机构等执行单元^[1]。网络传输层采用工业以太网与现场总线混合组网，主干网络为千兆光纤环网，保证数据实时性；末端设备通过Profinet或ModbusTCP协议接入，对于振动、温度等高频采样信号设置独立数据采集子站，减少总线冲突。数据中台层承担数据汇聚、清洗、存储与计算职能，部署时序数据库存储工艺参数，关系数据库管理设备台账与报警事件，并搭建规则引擎实现阈值判断和复杂事件处理。业务应用层面向操作员、调度员、维护工程师和管理人员，提供集中监控画面、趋势分析、报表生成、报警管理、远程运维等交互界面，支持PC端与移动端双模式访问。

1.3 数据流与信息交互

管控平台的数据流以“采集—传输—处理—决策—执行”为主线。感知层以毫秒级周期采集皮带速度、电流、温度、振动、料位、瞬时流量等原始信号，经边缘预处理（滤波、异常值剔除）后上传至数据中台。中台将实时数据推送给监控画面，同时依据预设控制模型生成调节指令下发至执行层。历史数据则流入分析引擎，用于趋势预测和健康度评估。各子系统之间通过全局数据字典统一变量命名与单位换算，避免因语义不一致导致的误动作。特别地，装车计划数据（车次、车型、目

标载重、煤种配比)由上层运销系统下发,平台据此自动生成各仓给料速率曲线,实现“计划驱动控制”的闭环信息链条。

2 核心功能模块与管控策略

2.1 集中监控与远程操作模块

该模块取代原有分散的操作台,整合为三块大屏显示:工艺流程总览屏展示皮带机群实时运行状态(绿色运行、黄色待机、红色故障)、瞬时流量及累计量;视频联动屏接入关键点高清摄像机,当皮带跑偏或堆料报警时自动弹出对应画面;参数细目屏供有权人员微调PID参数、设定给料频率上下限。操作层面,支持“一键流程启停”,按照逆煤流方向(即先启动下游皮带,再启动上游给料机)自动延时连锁启动,停机则按顺煤流方向延时,有效防止压料。同时保留单设备手动启停权限,作为检修或应急工况下的备用手段。所有操作均生成日志,包含操作人、时间、动作及执行结果,便于追溯责任。画面组态采用图形化编程方式,工艺流程图动态更新,流量、料位等变量以数字和色带双重显示,报警点以闪烁图标突出,操作员可在同一界面完成设备选择、指令下发和状态确认,无需频繁切换窗口。此外,模块内置电子交接班功能,自动汇总当班运行概况,减少口头交接造成的信息遗漏。

2.2 智能联动给料与配仓控制

装车精度与效率的核心在于给料量动态匹配。本平台采用“前馈+反馈”复合控制策略:前馈依据来煤仓存煤密度、含水率及目标装车速度,由模糊推理预给出料频率初始值;反馈则根据电子皮带秤瞬时流量与装车溜槽处雷达料位变化率,实时修正变频器频率,确保流量波动控制在 $\pm 3\%$ 以内。针对多仓配煤场景(如高、低热值煤按比例掺配),平台内置配比优化算法,根据各仓闸门开度与皮带速度协同调节,使混合后煤质指标满足客户要求。该算法基于物料平衡方程,实时计算各仓出煤量占比,并通过闭环校正消除累积偏差^[2]。为防止因皮带打滑或给料机卡堵造成的断流,系统设置低流量超时报警,并自动增大给料频率试探性恢复,若尝试三次无效则执行停机保护,同时通知调度员人工处置。同时,给料控制与列车/卡车定位系统联动,当车辆未到位或换车厢时,平台自动将给料量切换至保持状态,避免洒煤和超载。

2.3 设备健康管理及预测性维护

传统计划检修存在“过度修”和“欠修”问题。本模块基于振动频谱分析与温度趋势建立设备退化特征库。对每台皮带机的驱动滚筒、减速机和电机,提取加

速度包络值、频域边带能量等特征指标,运用滑动窗口残差法计算健康指数(HI)。具体做法是:取设备正常运行时若干组振动数据作为基线,实时特征值偏离基线的程度通过相对变化率量化,再结合温度累积升温速率综合评定健康等级。当HI低于设定阈值时,平台自动生成预警工单,推送可能故障类型(如轴承磨损、齿轮断齿、不平衡)及建议检修时间窗口。同时,结合皮带接头伸长量监测数据,预测皮带更换周期,避免非计划断裂^[3]。该模块不依赖复杂机器学习模型,而是采用行业成熟的经验阈值与统计过程控制相结合的方法,兼顾了可靠性与实施简便性,适用于煤矿现场有限算力条件。另外,历史维护记录与预警信息关联存储,维修工程师可查看设备全生命周期退化曲线,辅助制定更科学的维修策略。

2.4 能耗优化与报表统计

地面皮带运输系统能耗占比可观,尤其多台皮带空载或轻载运行时浪费严重。平台内置能耗优化算法,通过实时采集电流和功率因数,计算各皮带单位运量能耗(kWh/t),并以红绿灯形式直观显示能耗健康度。当系统检测到后续装车等待时间超过设定值时,自动指令前序皮带降至怠速(额定转速的30%),同时关闭除尘风机等辅助设备,待料流恢复后再快速升速。此策略可显著降低无功损耗。更进一步,平台对变频器进行功率因数补偿控制,使系统整体功率因数维持在0.95以上,减少电网侧谐波影响。报表统计模块按班、日、周、月自动生成装车总量、平均效率、能耗指标、故障次数与时长等综合报表,并支持自定义导出格式,为绩效考核和成本核算提供数据基础。所有统计结果均附带趋势图,便于管理者直观掌握系统运行健康度和节能效果。

3 平台搭建关键问题与实践路径

3.1 老旧设备改造与接口兼容性

多数矿井地面皮带机为老旧设备,其电机控制单元可能不具备通信接口。解决思路是在不更换主要设备前提下,加装智能数据采集终端(I/O模块+边缘网关),通过硬接线方式采集启停状态、电流、温度等模拟量/开关量,并以Modbus协议转发至上层网络。变频器更新为支持Ethernet/IP的智能变频器,原有软启动器保留作为热备。对于多品牌混用现场总线的情况,采用协议转换网关进行透明翻译,确保数据一致上送。改造过程须分段进行,利用停产检修窗口完成单机调试,避免影响正常装车作业。同时,制定详细的接线图和地址映射表,统一归档于数字化管理平台,方便后期查改。改造后每台设备均需通过72小时带载试运行,确认通信稳定、控制

响应符合要求后方可纳入集控。

3.2 数据质量治理与标准化

数据是管控平台“血液”，但现场传感器常受振动、煤尘干扰，数据跳变、漂移现象普遍。为此，在采集端实施双重滤波（硬件RC滤波+软件中值平均滤波），并设定物理变化率上限，超出范围即判为无效数据，以最近有效值替代。更重要的是建立数据标准化规范，统一测点命名规则（如“设备编号_参数类型_位置”）、量程、单位及报警上下限，形成数据字典文件，确保不同子系统之间语义互认^[4]。此外，历史数据压缩存储采用旋转门算法，在保证精度的同时节省存储空间。定期开展数据质量审计，抽查关键测点的完整性和准确性，对于长期偏差过大的传感器及时校准或更换，从源头保障数据的可信度。

3.3 组织管理与操作培训配套

技术平台落地离不开人的因素。建议成立以机电矿长为组长的管控平台实施小组，统筹协调机电、运输、调度、信息等部门职责。制定《地面装车自动化管控平台运行规程》，明确远程操作权限、应急处置流程、报警确认时限等制度。操作人员须经过“理论授课+模拟机演练+跟岗实操”三级培训，考核合格方可上岗。特别地，对于报警管理，规定一般报警由操作员确认处理，重要报警须通知值班工程师，紧急报警则自动联动停机并启动应急广播，各级响应时间写入考核指标。定期组织桌面推演，提升团队对罕见异常工况（如双回路断电、通信全中断）的协同处置能力。同时，设立平台运行专责工程师，负责日常参数维护、软件升级和故障分析，确保平台持续稳定运行。

3.4 网络安全与冗余保障

随着平台与矿井工业互联网互通，网络安全风险上升。采用工业防火墙隔离控制网与管理网，关闭非必要端口，仅允许白名单IP访问PLC。部署入侵检测系统，实时监测异常流量。通信冗余方面，控制器采用双机热备，切换时间小于50ms；环网自愈时间小于30ms，确保

网络故障不中断控制。重要数据（如装车计量记录）每天定时备份至本地磁盘阵列和异地云存储，防止数据丢失。所有远程登录操作采用双因素认证，并记录完整操作审计日志。此外，在控制室配备独立的紧急停车硬按钮，其信号直接切断各皮带机主回路电源，不经过任何网络或控制器，作为终极安全屏障，确保在最极端情况下仍能保障人员和设备安全。

结束语

煤矿地面装车皮带运输自动化管控平台的建设，是推动矿井运输环节从“有人值守”向“无人值守、有人巡视”转变的关键举措。本文系统阐述了涵盖感知、传输、数据中台及应用层的四层架构设计，围绕集中监控、智能联动、健康管理和能耗优化四大核心模块展开功能论述，并结合老旧设备改造、数据治理、组织培训及网络安全等实施难点提出针对性解决路径。该平台不依赖高成本设备全更换，而是立足现有条件，通过边缘计算、协议转换和规则引擎等技术融合，实现经济实用的管控升级。实践表明，该平台可有效提升装车作业的连续性和精准度，降低设备故障率和运行能耗，同时积累的设备运行数据为后续基于大数据的深度优化奠定基础。未来，可进一步探索与矿井铁路调度系统的深度融合，实现从井下煤流到外部运输的全链条协同优化，为煤矿智能化建设提供更坚实的底层支撑。

参考文献

- [1]王国法,刘峰,庞义辉,等.煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支撑[J].煤炭学报,2021,46(1):1-13.
- [2]张良,李首滨,黄曾华,等.煤矿综采工作面智能化关键技术研究现状与发展趋势[J].煤炭科学技术,2022,50(2):1-22.
- [3]贺鸿,王宏伟,赵亮.基于工业以太网的矿井带式输送机集控系统[J].工矿自动化,2023,49(3):78-83.
- [4]刘建功,李新旺,李延锋.煤矿智能装备与信息化技术应用进展[J].煤炭工程,2021,53(5):1-6.