

数字化转型背景下电厂输煤燃料运行优化研究

徐淑敏

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331100

摘要:立足双碳目标与电力行业数字化转型大势,本文以电厂输煤燃料系统为研究对象,梳理输煤运行、智能运维等基础理论与核心技术,剖析当前数据孤岛、设备运维滞后、煤场管控粗放、体系建设不完善等问题,深挖顶层规划、软硬件、管理制度及人才层面成因。从数据平台搭建、设备智能运维、煤场配煤管控、人才管理四维提出优化策略,助力电厂降低输煤能耗与燃料损耗,提升机组运行稳定性,推动燃料系统数字化、精细化低碳转型。

关键词:数字化转型背景;电厂输煤燃料;运行优化

引言:能源数字化改革与双碳战略倒逼煤电行业提质降本,输煤燃料系统作为电厂辅助核心系统,运行效率直接关乎厂用电耗、发电成本与机组安全生产。现阶段多数电厂输煤运行仍沿用粗放管控模式,数字化改造浅层化,各类运行痛点凸显。基于此,本文结合物联网、数字孪生等数字化技术,聚焦输煤全流程运行痛点开展优化研究,贴合电厂生产实际制定落地优化方案,补齐输煤板块转型短板,赋能火电企业长效绿色发展。

1 相关基础理论与电厂输煤燃料运行概况

1.1 核心概念与基础理论界定

(1) 数字化转型核心内涵及电力行业数字化转型特征。数字化转型是以数据为关键要素、以价值创造为核心,推动业务模式、组织流程与技术体系全面重构的变革过程。电力行业数字化转型具有资产密集、实时性高、安全约束强等特征,表现为从设备自动化向数据驱动决策演进,强调源网荷储协同与全要素感知。(2) 电厂输煤燃料系统组成、运行流程与核心运行指标。输煤燃料系统由卸煤装置、储煤场、带式输送机、碎煤机、配煤设备及自动采样装置等组成。运行流程包括:来煤接卸→堆取料作业→输送转运→破碎筛分→按需配煤→上仓供给锅炉。核心运行指标有:卸煤效率(t/h)、储煤损耗率、输煤电耗($kW \cdot h/t$)、配煤合格率、设备可用率及断煤/堵煤次数^[1]。(3) 燃料运行优化理论、精细化管控理论与智能运维理论。燃料运行优化理论侧重最小化能耗与损耗,通过流程仿真与参数寻优实现输煤成本最优。精细化管控理论强调对煤质、煤量、煤流的全要素精确控制,建立标准作业与闭环考核机制。智能运维理论依托状态监测与故障预测,实施基于可靠性的维修策略,降低非计划停运。

1.2 电厂输煤燃料系统运行职能与价值分析

(1) 输煤系统卸煤、储煤、输煤、配煤全流程运

行职能。卸煤职能确保来煤快速接卸并完成初步检验;储煤职能执行分区堆存、定期翻烧与防自燃管理;输煤职能实现按需定量输送,保障连续供煤;配煤职能根据锅炉负荷与煤质约束,动态混合不同煤种以满足燃烧要求。(2) 燃料运行对电厂能耗、发电成本、机组稳运的影响机制。输煤电耗直接影响厂用电率,储煤损耗和配煤偏差增加燃料成本;煤质波动或断煤会引发燃烧不稳、结焦甚至非停,降低机组安全性与负荷响应能力。优化燃料运行可降低综合供电煤耗 $1 \sim 3 g/(kW \cdot h)$ 。(3) 双碳目标下输煤燃料数字化优化的行业价值。通过数字化手段实现煤流精准计量、智能掺配与低损耗存储,减少无效碳排放;支撑机组高效低排运行,助力电厂碳资产管理与绿色调度,是煤电低碳转型的关键抓手。

1.3 输煤燃料系统数字化转型核心技术支撑

(1) 物联网感知、大数据数据采集技术应用原理。物联网感知层部署料位计、皮带秤、振动温度传感器等,实时采集煤流状态与设备工况;大数据技术汇聚多源异构数据,经清洗、融合后构建运行特征库,为优化决策提供数据基座。(2) DCS集散控制、智能煤场建模、AI故障诊断技术。DCS实现输煤流程集中监控与连锁控制;智能煤场通过三维激光扫描建立动态库存模型,支撑堆取料自动调度;AI故障诊断利用神经网络识别皮带跑偏、轴承过热等早期故障,准确率超90%。

(3) 数字孪生、燃料智能掺配数字化适配技术。数字孪生构建输煤系统虚拟镜像,支持仿真推演与预案测试;智能掺配整合煤质预测与多目标优化算法,动态给出掺配比例,适应锅炉负荷与环保约束变化,实现掺配成本最低。

2 数字化转型下电厂输煤燃料运行现状及问题成因分析

2.1 传统模式下电厂输煤燃料运行现状

(1) 燃料人工管控、粗放式堆存与人工输煤调度现状。多数电厂仍依赖人工巡检、手持终端录入煤场信息,堆取料作业凭经验操作,导致堆存无序、煤种混叠。输煤调度通过电话或对讲机指令下达,响应滞后且缺乏全局协调。(2) 输煤设备运维、燃料损耗、厂用电消耗实际运行现状。设备运维以定期检修和事后维修为主,故障停机频发。储煤因风化、自燃及雨水冲刷造成约0.5%~1%的损耗。输煤皮带空载或轻载运行时间长,厂用电消耗占全厂用电10%~15%,节能空间较大。(3) 现有电厂输煤数字化改造落地整体实施现状。部分电厂在输煤环节部署了皮带秤、料位计等基础感知设备,但多停留在数据采集与分散显示层面。真正实现智能掺配、三维动态盘煤和预测性维护的电厂不足30%,数字化改造深度不够。

2.2 数字化转型背景下输煤燃料运行现存核心问题

(1) 数据孤岛突出,燃料全流程数据采集与互通性不足。卸煤、储煤、输煤、配煤各环节数据分散在DCS、MIS、燃料管理系统中,接口不统一,无法形成贯通到锅炉的煤流数据链,导致决策依赖人工拼接报表。(2) 输煤设备运维滞后,智能预警与数字化管控能力薄弱。设备状态监测依赖定期点检,振动、温度等关键参数缺乏连续分析与趋势预警。故障发生后才能响应,未建立基于大数据模型的健康管理与预测性维护机制。(3) 煤场管控粗放,燃料掺配、库存损耗管控效率偏低。煤场仍采用人工或半自动盘煤,库存数据偏差超5%。掺配时依赖经验比例,缺乏在线煤质反馈与动态优化,导致入炉煤热值波动大,同时库存煤周转慢、堆放时间长,损耗增加。(4) 数字化运维体系不完善,人员适配与流程适配度差。现有运维规程未嵌入数字化 workflow,操作人员不习惯使用新系统,常出现“线上采数、线下填表”并存现象。岗位职责与数字化工具的权限配置、决策流程不匹配,系统使用率低。

2.3 输煤燃料运行数字化优化滞后的深层成因

(1) 顶层规划缺失,输煤板块数字化转型统筹布局不足。电厂数字化投入多偏向锅炉、汽机等主系统,输煤作为辅助系统缺乏专项规划。各子系统独立招标建设,未形成统一的数据架构与通信协议标准。(2) 软硬件设施老旧,数字化感知与控制系统硬件短板。大量输煤设备使用老旧PLC或继电器控制,不具备数据上传接口。皮带秤精度漂移、料位计易堵灰,传感器可靠性不足,制约数据采集质量^[2]。(3) 管理制度、运维流程未贴合数字化模式迭代更新。考核仍以人工记录、故障次数等传统指标为主,未纳入数据完整性、预警准确率等

数字化指标。运维流程未按照“感知→分析→决策→执行”闭环重构,导致系统功能闲置。(4) 复合型技术人才匮乏,数字化运维管理能力不足。既懂输煤工艺又熟悉物联网、数据分析的复合型人才短缺。现有运维人员年龄偏大,对新系统接受度低,而外部技术团队缺乏对电厂工况的深入理解,转型内驱力不足。

3 数字化转型下电厂输煤燃料运行优化实施策略

3.1 输煤燃料全流程数字化管控体系搭建优化

(1) 打通数据链路,破除输煤、储煤、配煤环节数据孤岛。统一数据接口标准与通信协议(如OPCUA、MQTT),将卸煤、堆取料、输送、破碎、配煤、上仓各环节的PLC、DCS、电子皮带秤、在线煤质分析仪等数据汇聚至统一数据中台。建立从矿点、入厂到入炉的全生命周期煤流数据链,实现一码追溯,消除人工重复录入与跨系统拼接^[3]。(2) 构建燃料大数据平台,实现煤质、库存、能耗数据实时监测。搭建燃料大数据平台,集成来煤信息、实时煤流数据、设备状态、库存三维模型及能耗参数。平台具备数据清洗、融合存储与可视化看板功能,可实时展示各煤场分区库存量、煤种热值、硫分、挥发分以及输煤单耗、累计电量等指标,支持历史趋势分析与异常报警。(3) 搭建一体化数字化调度平台,优化输煤作业调度流程。基于大数据平台与生产计划,建设一体化调度平台,集成皮带输送能力、煤仓料位、锅炉负荷需求及配煤指令,自动生成最优输煤路径与启停时序。调度指令直接下发至DCS或PLC执行,减少人工干预,实现按需供煤与避峰就谷运行,提升响应速度与输送效率。

3.2 输煤核心设备数字化智能运维优化方案

(1) 加装物联网感知设备,实现皮带机、破碎机状态实时监测。在皮带机关键部位(驱动滚筒、电机、减速机、托辊)加装振动、温度、电流、转速传感器;在破碎机安装轴承温度、转子振动、润滑油位传感器。同时部署皮带跑偏、打滑、纵向撕裂检测装置及料流监测雷达,构建全覆盖的物联网感知网络,实时采集设备健康数据。(2) 搭建AI故障预测模型,落实设备预判式数字化运维。利用历史故障数据与实时状态数据,训练基于随机森林、LSTM等算法的故障预测模型,对皮带断裂、轴承过热、破碎机堵塞等典型故障进行早期预警。设定动态阈值与剩余寿命预测,自动生成维修工单,推动从“计划性检修+事后维修”向“预测性维护”转变,减少非计划停机^[4]。(3) 依托数字化参数调控,降低输煤系统厂用电能耗损耗。基于实时煤流量与设备负载,采用变频调速与智能联动控制:皮带机根据物料量自动

调节带速,避免轻载高速;破碎机根据料量调整电机频率;多段皮带实现逆序启动与顺序停车。系统自动统计输煤单耗并与目标值对标,通过参数自优化使输煤电耗降低8%~12%。

3.3 智能煤场与燃料配掺数字化运行优化

(1) 三维数字孪生煤场搭建,实现煤炭精细化分区堆存管理。采用三维激光扫描与无人机盘煤技术,建立煤场高精度数字孪生模型,实时映射煤堆形状、体积、煤种分布与存取状态。系统依据煤质、进场时间、硫分等自动规划堆存区域,并推送最优取煤路径,实现“先进先出、分区分类”精细化管理,盘煤误差控制在3%以内。(2) 基于煤质大数据算法,优化智能燃料掺配运行模式。集成来煤化验数据、在线煤质分析仪及锅炉燃烧反馈,构建掺配优化算法模型(如多目标粒子群算法)。模型以入炉煤热值、硫分、挥发分满足锅炉约束为前提,以掺配成本最低或碳排放最小为目标,动态计算各煤种掺配比例,并自动控制给煤机流量,实现闭路实时调节,配煤合格率提升至95%以上^[5]。(3) 数字化风控管控,降低煤炭自燃、风化、堆放损耗。在煤场部署红外热成像、可燃气体及氧气浓度传感器,结合气象数据建立自燃风险预警模型。当堆芯温度超过阈值时自动触发翻堆或注氮指令。同时利用防风抑尘网联动喷淋系统,减少风力扬尘损耗。通过精细化堆存与定期盘库,使储煤损耗率从0.5%~1%降至0.3%以下。

3.4 配套管理与人才体系数字化配套优化

(1) 重构数字化输煤运行岗位职责与标准化作业流程。重新定义运行值班员、设备点检员、调度员在数字化环境下的岗位职责,明确数据监控、预警处置、系统标定等新任务。编制数字化作业指导书,将“数据驱动决策”嵌入日常操作流程,如预警确认—在线分析—远程干预—闭环反馈的标准步骤,替代原有经验式操作。(2) 完善数字化运维考核、设备维保配套管理制度。

建立基于数据的量化考核体系,纳入数据完整性率($\geq 98\%$)、预警准确率($\geq 85\%$)、故障响应时间、输煤单耗下降率等指标。修订设备维保制度,将定期保养与预测性维护建议相结合,明确传感器校准、模型再训练等数字化设备的维护周期与责任归属。(3) 搭建专项人才培养体系,培育燃料数字化运维复合型人才。制定“燃料数字化人才梯队建设方案”,联合高校或设备厂商开展物联网、数据分析、AI建模等专项培训。推行“内部导师+实战演练”模式,要求运维人员掌握数字化平台操作与基础故障诊断。同时设立数字化创新激励,鼓励一线员工参与流程改进,逐步打造懂工艺、会数据、能创新的复合型运维团队。

结束语

本次研究立足数字化转型需求,完成电厂输煤燃料运行问题梳理与优化方案构建,可有效破解传统输煤管控弊端,降低输煤电耗、煤炭库存损耗,提升配煤质量与设备运维效率。研究兼顾技术改造与制度、人才配套升级,贴合电厂实际运营场景。后续可结合机组负荷动态变化迭代算法模型,完善数字孪生仿真体系,进一步优化调度逻辑,为同类型火电输煤系统数字化改造提供可参考实践思路。

参考文献

- [1]张霄.数字化转型下火电厂燃料智能化管控与运行优化路径[J].建筑技术与创新,2025,2(6):72-75.
- [2]段军伟.火电厂输煤系统数字化改造与节能运行优化技术应用[J].电工技术,2024,21(15):132-134.
- [3]董传彬.数字化技术在燃煤发电厂输煤燃料运维管理中的应用[J].电力系统装备,2022,35(9):208-210.
- [4]刘鑫.双碳目标下火电厂输煤系统数字化转型及降本增效实践[J].煤炭工程,2023,55(8):187-191.
- [5]钟国炼,蒋国安.人工智能赋能电厂燃料系统数字化改造与运行调控优化[J].洁净煤技术,2025,31(3):216-222.