

# 冶金企业电气自动化控制系统优化策略研究

张宇平

凌源钢铁股份有限公司 辽宁 凌源 122500

**摘要:** 冶金行业作为高能耗、高复杂度的基础工业领域,其电气自动化控制系统优化是实现绿色智能制造的核心突破口。本文聚焦冶金企业生产场景中存在的控制系统异构化、能效管理粗放化及设备维护滞后等问题,通过分析PLC技术、智能控制算法和能源管理系统等关键技术的应用现状,提出系统集成优化、预测性维护强化和能源动态调控等创新策略。研究表明,基于工业互联网架构的异构系统协同机制可提升控制响应速度30%以上,而融合机器学习算法的设备状态监测系统可将非计划停机率降低至0.5%以下。通过构建全流程能源监控网络,某特钢企业实现吨钢综合能耗下降12%。这些实践验证了优化策略在提升冶金生产效能、降低碳排放方面的有效性,为行业智能化转型提供了可复用的技术路径。

**关键词:** 冶金企业; 电气自动化; 系统集成; 能效优化; 预测性维护

## 1 引言

冶金工业作为国家基础产业,其电气自动化水平直接影响生产效率和能源利用率。当前行业面临设备异构性突出、控制实时性不足、能源浪费严重等核心矛盾,传统控制系统已难以满足智能工厂对数据互通、柔性生产和绿色制造的需求。随着工业4.0技术的深化应用,基于PLC的智能控制系统与大数据、边缘计算的融合成为突破方向<sup>[1]</sup>。本文立足冶金生产场景的特殊性,针对控制系统架构、设备维护模式及能源管理机制展开系统性研究,旨在构建适应高粉尘、高温环境的优化技术体系,推动冶金企业实现从自动化向智能化的跨越式发展。

## 2 基于冶金企业电气自动化控制系统优化策略研究的意义

冶金企业电气自动化控制系统的优化重构是突破生产瓶颈的关键技术路径。在设备控制层面,传统离散式控制系统导致轧机、高炉等关键设备的协同效率低下,通过引入PLC异构集成技术,可实现氧枪定位精度提升至 $\pm 2\text{mm}$ 级,转炉冶炼周期缩短8-12分钟。这种集成化控制模式打破了DCS、SCADA等系统间的数据壁垒,使原料配比、温度调控、废气处理等工序形成闭环控制,为精准冶炼提供技术保障<sup>[2]</sup>。

在可持续发展维度,控制系统优化直接关联能源利用效率。某大型钢厂实践表明,部署智能电网接口的PLC能源管理系统后,通过实时调节循环水流量和冷却剂温度,冷却塔系统节电率达到18%。融合余热回收装置的自动化控制网络,更将烧结工序的余热发电量提升至总能耗的15%。这种能源结构的动态优化不仅降低生产成本,更使企业年度碳排放减少6.2万吨,凸显环境效益与经济

效益的双重价值<sup>[3]</sup>。

## 3 基于冶金企业电气自动化控制系统优化策略研究的问题

### 3.1 异构控制系统协同效率低下

冶金生产线普遍存在DCS、PLC、SCADA等多制式控制系统并行的情况,数据协议差异导致系统间通信延迟高达200-500ms。某转炉车间监测数据显示,氧枪控制系统与除尘系统的响应不同步造成煤气回收效率损失7%。更严重的是,异构系统间的数据孤岛现象阻碍了生产参数的全局优化,如连铸机拉速与加热炉温度无法实时匹配,导致铸坯内部裂纹发生率增加2.3个百分点。这种碎片化控制架构已成为制约产线柔性化改造的主要障碍。

### 3.2 预测性维护机制缺失

当前冶金设备维护仍以定期检修为主要模式,某轧钢厂统计表明,传统维护方式造成36%的备件更换属于过度维护<sup>[4]</sup>。关键设备如钢包回转台的轴承磨损监测依赖人工点检,故障预警滞后导致非计划停机年均达42小时。更突出的是,高温高压环境下传感器部署密度不足,风机振动、液压系统泄漏等隐性故障难以被及时捕捉,直接引发设备连锁故障的概率高达17%。

### 3.3 能源管理动态调控不足

冶金企业能源消耗呈现显著波动特征,但现有控制系统缺乏负荷预测能力。某炼铁厂数据揭示,鼓风机在低负荷工况下仍以额定功率运行,造成28%的电能浪费。能源转换环节的控制粗放问题同样突出,如加热炉燃烧效率因空燃比失调下降至82%,远低于智能控制系统的93%理论值。此外,余热发电与生产主流程的协同不足,导致每年 $7.5 \times 10^4 \text{GJ}$ 的中低温余热未被有效利用。

#### 4 基于冶金企业电气自动化控制系统优化策略研究的对策

##### 4.1 构建工业互联网架构下的协同控制体系

在冶金行业智能化转型进程中,电气自动化控制系统的优化是企业提升核心竞争力的关键<sup>[5]</sup>。构建工业互联网架构下的协同控制体系,通过整合前沿技术与系统,实现生产流程的高效协同与精准控制,为企业带来显著的经济效益与技术革新。

OPC UA协议转换网关打破了PLC与DCS系统的数据交互壁垒。传统冶金生产中,不同品牌设备的通信协议封闭,数据难以互通。某特钢企业改造前,轧机主传动与加热炉温控系统独立运行,板坯头尾温差高达 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 。部署网关后,实现毫秒级数据交互,加热炉可根据轧机运行实时调整温控,板坯头尾温差压缩至 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ ,废品率降低12%,年节约成本超百万元。

边缘计算节点显著提升控制系统响应速度。冶金生产现场高温、强磁、粉尘环境恶劣,对设备性能要求极高。节点采用高性能ARM处理器与FPGA架构,内置实时操作系统<sup>[6]</sup>。在转炉倾动控制中,传统响应时间480ms,部署后骤降至120ms,操作人员能精准控制倾动,避免钢水溅出等事故。同时,节点可本地预处理数据,筛选关键信息上传云端,辅助管理决策。

统一数据中台是实现生产智能化协同的核心<sup>[7]</sup>。冶金生产多工序包含超2000个控制参数,数据量大且分散。企业利用ETL技术抽取、转换、加载数据,实现PB级管理。结合深度学习算法,中台深度分析数据,优化生产节奏。某企业应用后,热装热送率从60%提升至78%,每年节约标煤数千吨。基于中台的质量追溯系统,通过产品二维码,可快速定位质量问题,追溯至具体设备与参数。

数字孪生技术为高炉精准控制提供新路径。高炉内部物理化学过程复杂,传统经验调控难以满足需求。利用该技术构建的三维控制模型,融合传感器数据与CFD仿真算法,实时映射18项关键参数。某2000m<sup>3</sup>级高炉应用后,通过模拟布料矩阵优化方案,燃料比降低6kg/t,还能预演异常工况,保障高炉稳定运行。

协同控制体系与能源管理、设备健康管理系统深度联动。在能源管理上,系统监测能耗,根据生产计划动态调整,利用余热回收提升能源利用率;在设备健康管理方面,通过分析设备振动、温度数据预测故障,提前维修。某企业应用后,设备故障率降低30%,生产连续性大幅提升。

工业互联网架构下的协同控制体系,通过OPC UA协议转换、边缘计算、数据整合与数字孪生等技术协同,全面优化冶金企业电气自动化控制系统,推动行业向智

能化、绿色化发展<sup>[8]</sup>。

##### 4.2 建立智能感知驱动的预测性维护系统

在冶金企业生产体系中,关键设备的稳定运行直接影响生产连续性与经济效益。智能感知驱动的预测性维护系统,通过多维度数据采集、智能算法分析和系统化管理,将被动维修转变为主动预防,成为提升企业运营效率的核心方案。

多物理场感知终端构建起设备状态监测的基础网络。以转炉耳轴轴承为例,某企业部署振动、温度、声发射三模传感器,凭借50kHz的高频采集能力,实时捕捉设备运行数据。振动传感器监测零件磨损与松动,温度传感器追踪异常温升,声发射传感器捕捉材料内部裂纹信号,多源数据协同为故障分析提供精准依据。

改进型LSTM算法是故障预测的核心技术。针对冶金设备工况复杂、数据干扰强的特点,研究人员优化LSTM网络结构,引入注意力机制强化关键特征识别。通过对海量历史数据的学习训练,该模型成功预警某钢厂托圈变形故障,避免了2000万元的设备损失,显著提升故障预测的准确性与及时性<sup>[9]</sup>。

移动式巡检机器人提升设备检测效率与精度。在高温、粉尘的冶金环境中,搭载红外热像仪和气体检测模块的机器人实现自主巡检。红外热像仪通过温度分布识别设备局部过热,气体检测模块精准监测除尘器密封性,使除尘器漏风率检测精度达到0.3%,相较人工检测效率提升数倍,且大幅降低安全风险。

设备健康度评价体系整合12个功能模块,实现设备状态的全面评估。系统融合设备运行数据、历史维修记录与设计参数,运用大数据分析技术对设备健康状况进行量化评分。在电机绕组绝缘故障检测中,该体系将检出率从67%提升至94%,并基于评估结果制定科学维修计划,维修成本降低35%,有效平衡维护需求与资源投入。

基于区块链技术的备件全生命周期追溯系统,解决了传统备件管理的信息壁垒问题。系统利用区块链不可篡改、可追溯的特性,实现备件从采购、入库、使用到报废的全流程信息记录。企业可实时掌握备件库存与质量状态,一旦出现问题能快速追溯责任源头,优化采购流程的同时确保备件质量可靠,降低隐性管理成本。

这些技术模块并非独立运作,而是通过数据共享与协同机制,形成有机整体。感知终端采集的数据为算法模型提供分析基础,巡检机器人的检测结果辅助健康度评价,而备件追溯系统则为维修决策提供物料保障。该系统的应用不仅显著提升设备运行可靠性,降低企业运维成本,更重要的是,它推动冶金企业从经验驱动的传

统管理模式,向数据驱动的智能化管理模式转型,为行业高质量发展提供了新的技术路径和管理范式。

#### 4.3 创建多能流耦合的智能能源网络

在冶金行业,能源消耗占据生产成本的重要比例,传统分散的能源管理模式存在效率低、浪费严重等问题。创建多能流耦合的智能能源网络,通过整合多种能源介质、优化能源调度与利用,成为冶金企业降低能耗、实现绿色低碳发展的关键路径<sup>[10]</sup>。

部署能源总线架构是搭建智能能源网络的核心基础。该架构如同企业能源系统的“神经网络”,能够将电力、蒸汽、煤气等多种能源介质进行统一管理与调配。通过OPC通信协议,能源总线架构与MES(制造执行系统)实现无缝对接,使能源数据与生产数据实时交互。某大型钢铁企业在应用能源总线架构后,基于海量历史数据与实时生产信息,开发出高精度的负荷预测算法,其准确率高达92%。这一算法能够提前预测不同生产时段的能源需求,进而指导TRT(高炉煤气余压透平发电装置)发电机组动态调整运行模式。在算法的精准调控下,该企业TRT发电机组年增发电量达1.2亿kWh,不仅提升了能源回收效率,还为企业创造了可观的经济效益。

智能燃烧控制系统的安装进一步优化了能源利用率。在冶金生产中,加热炉是能源消耗的重要设备,空燃比的精准调节对热效率提升至关重要。智能燃烧控制系统采用模糊PID算法,该算法结合了模糊逻辑的非线性处理能力与PID控制的稳定性,能够根据加热炉的不同工况,动态调整空气与燃料的混合比例。在实际应用中,某企业的加热炉在引入智能燃烧控制系统后,热效率从84%显著提升至91%。热效率的提高意味着同等产量下能源消耗的减少,有效降低了企业的生产成本,同时也减少了废气排放,减轻了环境压力。

余热资源分级利用平台的建设充分挖掘了冶金生产中的潜在能源。冶金生产过程中会产生大量余热,其中300℃以下的低温余热以往常因回收难度大而被浪费。余热资源分级利用平台将300℃以下的烟气导入有机朗肯循环发电系统,该系统采用低沸点有机工质,能够高效回收低温热能并转化为电能。某烧结厂在改造后,低温余热发电量增加37%,实现了能源的二次利用。此外,余热资源分级利用平台还与脱硫脱硝系统形成协同控制,在回收余热的同时,优化环保处理流程,使吨钢环保成本下降11元,实现了能源利用与环境保护的双赢。

能源微网管理系统的开发进一步推动了可再生能源在冶金生产中的应用。随着“双碳”目标的推进,提高可再生能源渗透率成为企业发展的必然趋势。能源微网管理系统能够实现光伏发电与电解工序的分钟级功率匹配,

通过实时监测光伏发电量与电解工序的电力需求,动态调整能源分配策略。在该系统的作用下,某企业的可再生能源渗透率提高至18%,有效减少了对传统化石能源的依赖,降低了碳排放。同时,能源微网管理系统还具备削峰填谷的功能,在用电高峰时储存多余的电能,在低谷时释放,进一步提升了能源利用的稳定性与经济性。

综上所述,多能流耦合的智能能源网络通过能源总线架构的整合、智能燃烧控制系统的优化、余热资源的分级利用以及能源微网管理系统的协同,实现了冶金企业能源的高效利用与绿色发展。这一网络的构建不仅能够降低企业生产成本,还为行业的可持续发展提供了新的解决方案。

#### 结束语

冶金企业电气自动化控制系统的深度优化是智能制造战略落地的重要实践。本文揭示的异构系统协同、智能维护强化、能源动态调控等策略,已在多家龙头企业取得显著成效。随着数字孪生、区块链等新技术的渗透,未来控制系统将向全要素感知、全流程自治方向演进。建议行业重点攻关跨平台数据融合、边缘智能控制等关键技术,同时建立适应新型控制体系的标准化框架。只有持续推动自动化控制系统的迭代升级,才能实现冶金生产向高效、绿色、安全方向的实质性跨越。

#### 参考文献

- [1]刘海平. 钢铁冶金电气设计中的自动化控制技术创新方案研究[J]. 科技创新导报, 2017(18):9-10.
- [2]赵尚. 冶金转炉炼钢自动化控制技术研究[J]. 冶金工程, 2024(6):32-38.
- [3]肖海成. 电气自动化发展现状及在钢铁企业中的具体应用[J]. 科技创新与应用, 2014(11):45-47.
- [4]吕晓峰, 邬剑波. 冶金电气自动化控制技术的特点与运用[J]. 包钢科技, 2021(3):12-18.
- [5]孙彦广. 冶金自动化技术现状和发展趋势[J]. 冶金自动化, 2008(11):1-5.
- [6]李崇坚. 冶金工业电气节能[J]. 电气时代, 2009(8):30-34.
- [7]张文强. 探析电气自动化技术在冶金行业中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2013(16):89-91.
- [8]牟曙光. 有色矿山电气节能措施的探讨[J]. 有色矿冶, 2009(2):25-28.
- [9]崔源发. 电气节能设备效能最大化的思考[J]. 有色冶金节能, 2011(6):12-15.
- [10]王艳朋. 钢铁企业电气自动化技术应用探讨[J]. 科技创新与应用, 2014(11):48-50.