

电气自动化技术在冶金电气工程中的应用

李 辉

山西乾通公路工程机械有限公司 山西 太原 030000

摘 要：冶金生产流程连续化程度高、设备长期处于高负荷运行状态，传统电气管控模式难以适配冶金电气工程复杂的现场工况，也无法满足当下精细化的生产标准。本文结合冶金电气系统的分层架构特点与闭环运行逻辑，探讨电气自动化技术在设备启停调控、生产线联动控制、智能运维管理以及系统优化升级等场景中的实际应用方式。自动化技术深度融入冶金电气体系，可以稳步提升生产管控精度与运维规范化程度，改善设备运行状态与能源利用效率，为冶金电气体系的智能化升级提供可靠的技术支撑。

关键词：电气自动化技术；冶金电气工程；智能控制；设备运维；系统优化

引言：电气工程是冶金工业规模化、连续化生产的核心保障，直接决定生产流程的稳定状态与工艺执行的精准程度。传统电气管控模式依赖人工操作与经验判断，普遍存在调控精度有限、运维效率偏低、工况适配性不足等问题，难以满足现代冶金行业降本降耗、规范运维的发展需求。电气自动化技术能够适应冶金现场高温、高负荷的特殊工况，全面覆盖电气控制、运维管理、能耗优化等关键生产环节，现已成为推动冶金电气体系提质增效、转型升级的重要技术手段。

1 冶金电气工程自动化基础体系构成

1.1 冶金电气工程系统组成架构

冶金电气工程系统采用分层模块化设计，各层级功能独立又相互协同，能够适应冶金车间恶劣、复杂的作业环境。底层为现场设备执行层，包含动力电机、变频装置、配电开关、智能传感器及各类执行器件，直接对接熔炼、轧制、输送等生产设备，负责接收控制指令，完成物料输送、温度调节、设备启停运转等基础作业。中间层为信号传输与基础控制层，以 PLC 控制柜、工业以太网总线、信号采集模块为核心，负责采集现场各类运行信号，完成模拟信号与数字信号的转换、整理与传输，承担指令中转与基础运算处理工作。顶层为智能监控管理层，由工控主机、监控终端与数据存储设备组成，可实现 24 小时不间断数据汇总、工况监测与记录留存，支持人工远程干预调控^[1]。分层布局让电气系统权责清晰、信号传输稳定，可抵御-20℃至 60℃区间的温度波动与复杂电磁干扰，为整条生产线稳定作业筑牢硬件基础。

1.2 电气自动化核心技术类型适配冶金场景

通用电气自动化技术无法直接适配冶金行业严苛的生产工况，经过场景化改良后的专用技术，能够针对性解决冶金生产中的各类管控难题。过程控制技术是冶金生产的核心支撑，可精准调控炉膛温度、冶炼压力、物料流速、设备转速等关键工艺参数，减少人工操作带来的参数波动，保障冶炼工艺全程稳定。变频调速技术广泛应用于风机、水泵、输送设备等辅助装置，可根据实时生产负荷调整设备运行频率与输出功率，改善恒定转速运行造成的能源浪费，减缓机械部件磨损速度。电气保护与故障诊断技术针对高温、高负荷工况下的电路隐患研发，可快速识别过载、过热、绝缘性能衰减等异常状态，及时启动防护机制阻断故障扩散。数据采集分析技术全程收录生产与设备运行数据，为工艺改良、设备维保方案编制提供详实的数据参考。多项专用技术相互配合、互补赋能，形成适配冶金复杂工况的完整技术体系，弥补了通用电气技术在工业现场落地的适配短板。

1.3 冶金电气自动化系统运行原理

冶金电气自动化系统依托闭环控制逻辑实现全流程自主运行，整体运行流程连贯顺畅，无需人工高频介入操作。布置在生产现场各类传感器持续采集设备运行状态与工艺运行参数，将各类物理信号转化为系统可识别的数字信号，统一上传至核心控制单元。控制单元依托预设的冶金生产工艺标准与控制逻辑，对采集数据进行对比研判，确认当前生产工况是否符合规范要求。系统结合数据分析结果自主生成调控指令，下发至底层执行设备，完成参数修正、设备启停、负荷调整等一系列操作。闭环运行模式大幅减少人为干预，让设备调节、工艺纠偏、工况维稳等工作自主完成，有效降低人工操

作偏差对冶炼质量与生产节奏造成的负面影响。

2 电气自动化技术在冶金电气控制环节的应用

2.1 冶金生产设备电气启停自动化控制

冶金生产线涵盖熔炼、输送、冷却、除尘、轧制等多项配套工序，各类设备的启停操作有着严格的时序规范与负荷标准。人工操控难以精准把控细微时间节点，随意启停设备会对电路系统造成冲击，加速电气元件老化，严重时还会引发设备卡顿、故障停机等问题。自动化启停控制依托成熟的工业控制程序，覆盖车间所有核心生产与辅助设备^[2]。系统结合生产任务进度与工序逻辑，独立完成单台设备或成套机组的启停管控。开机阶段优先启动辅助设备，待现场工况达标后再运行主体生产设备，保障生产环境符合作业标准。停机阶段按照由内至外、由主到辅的反向层级逐步关停设备，规避带负荷断电引发的机械冲击与电路故障。

2.2 冶金电气设备运行状态自动化调控

冶金生产过程的工艺工况始终处于动态波动状态，炉膛温度、原料进料量、车间风压、冷却水流速等参数不断变化，设备运行负荷需要实时调整才能匹配工艺需求。固定不变的设备运行参数无法适应动态生产场景，容易出现工艺稳定性差、能源浪费、成品质量参差不齐等问题。自动化调控体系依托高精度传感设备，持续采集电气设备的运行电流、工作负荷、运转转速、设备温度等核心指标。控制系统内置完善的工艺阈值标准，实时对比分析工况数据，结合生产变化自主完成参数修正。加热设备可根据炉膛温度动态调节供电功率，维持冶炼温度恒定。输送设备可依据原料存量调整运转速度，保证物料输送均匀有序。通风、冷却等辅助设备可根据现场环境变化灵活切换运行档位。

2.3 冶金连续生产流程电气联动自动化控制

冶金生产属于典型的长流程连续作业模式，上下游工序衔接紧密，各区域电气设备相互关联、相互制约。单台设备运行状态出现异常，都会打乱前后工序的衔接节奏，引发物料堆积、工序断层、生产停滞等问题。电气联动自动化控制打通生产线各区域的信号传输壁垒，搭建全域一体化的电气管控体系。各工序设备依托整体生产节奏灵活调整运行状态，实现上下游工序的高效衔接。当生产现场出现进料不稳、物料堵塞、设备降速等异常情况时，联动系统可以快速捕捉工况变化，及时调整上下游设备运行参数，缓解局部异常带来的整体生产波动。

3 电气自动化技术在冶金电气运维中的应用

3.1 冶金电气设备运行数据自动化采集

精准的工况数据是冶金电气设备运维、工艺优化的核心依据，传统人工采集模式存在明显短板。传统人工采集模式下，设备数据采集覆盖率仅 65% 左右，数据滞后 10~15 分钟，瞬时参数波动遗漏率达 22%，且人工记录工作量大、效率低下，难以真实反馈设备实时运行状态，易造成运维研判偏差^[3]。自动化数据采集系统依托现场智能传感器、信号终端与工业总线，全面覆盖电机、配电柜、变频器等各类电气设备，实现 100% 全覆盖采集、1 秒级数据更新，无效及遗漏数据占比降至 3% 以下，可减少 80% 人工记录工作量。系统全天候采集电压、电流、设备温度、绝缘参数、负载率等核心指标，通过智能程序筛选剔除干扰数据，自动分类归档并生成可视化数据台账。该技术彻底解决了传统采集滞后、失真、低效的问题，可精准反馈设备运行趋势，为隐患排查、维保方案制定、工艺优化提供全面、可追溯的数据支撑，大幅提升冶金电气运维的精细化水平。

3.2 冶金电气系统故障自动化识别与预警

冶金电气设备长期高负荷、高温作业，故障多呈渐进式发展，早期隐患隐蔽性强，传统人工巡检预警能力薄弱。传统模式下，设备早期故障识别率不足 30%，年均非计划停机时长 72~96 小时，单次故障排查平均耗时 4.2 小时，突发短路、元件烧毁、过载等故障频发，造成严重的产能损失与维修成本浪费。自动化故障识别与预警系统依托大数据分析模型与行业阈值标准，实时研判设备运行数据，可精准甄别线路老化、绝缘衰减、元件过热等隐性隐患，有效区分工艺正常波动与设备实质性故障。系统配套分级预警机制，通过弹窗、声光提示等方式及时推送隐患信息，将早期隐患识别率提升至 98% 以上，设备故障率同比下降 63.7%，单次排查时长压缩至 1.1 小时，年均非计划停机时间减少 280 小时以上。该模式将传统被动抢修转变为前置化隐患治理，显著提升电气系统运行安全性与生产线连续作业能力。

3.3 冶金电气设备日常运维自动化管控

冶金厂区电气设备数量多、分布广、工况差异大，传统人工运维依靠经验制定维保计划，标准化、精细化程度不足。传统运维模式下，设备巡检漏检率达 18%，维保方案贴合度不足 70%，设备综合运行利用率仅 85% 左右，常出现巡检遗漏、维保滞后、过度检修等问题，不仅浪费维保资源，还易诱发设备故障。自动化运维管控平台可统筹整合全厂电气设备数据，结合设备运行时长、实时负荷、作业环境、历史故障记录等多维数据

据,智能生成差异化、精准化的巡检与维保方案。应用该系统后,设备漏检率降至2%以下,维保贴合度提升至95%以上,设备运行利用率超93%,年度维保费用降低40%左右。系统全程记录运维作业全流程信息,搭建设备全生命周期运维档案,实现运维工作可查、可溯。针对高负荷核心设备自动升级维保标准、加密巡检频次,有效弥补人工运维漏洞,推动冶金电气设备运维走向标准化、精细化、智能化^[4]。

4 电气自动化技术在冶金电气优化升级中的应用

4.1 冶金电气系统能耗自动化优化调节

冶金工业属于高耗能产业,各类电气设备长期不间断运行,传统人工固定参数运行模式能耗浪费严重,改造前设备全程工频、满负荷运行,吨钢综合电耗52.6kWh/t,加热炉温度波动超50℃,无效能耗占比18%。引入自动化能耗优化技术后,系统依托实时工况数据动态调控设备功率与运行频率,对风机、水泵实施变频智能调速,依据现场工况自动切换运行档位;通过闭环温控模型调节加热设备供电功率,将炉温波动控制在±5℃,温控精度较改造前提升90%。实测数据显示,改造后吨钢综合电耗降至46.1kWh/t,综合能耗降低12.4%,无效能耗占比压缩至6%以内,年产百万吨生产线年均节电650万kWh。此外,系统具备智能自主学习功能,可依据不同生产工况持续优化调控参数,动态适配生产负荷,稳固节能降耗成果,有效降低企业用电成本,助力生产线实现高效低碳运营。

4.2 冶金电气设备适配生产工况的自动化适配升级

冶金生产工况随原料、产品规格与产能动态变化,传统固定参数控制模式适配性薄弱,改造前人工参数调整滞后3~5分钟,工艺工况匹配度仅78%,成品合格率92.3%,单月工况适配引发的产能损耗达1.2%。依托电气自动化适配升级技术,通过加装智能传感与自动化调控模块,可0.5秒快速响应工况变化,自主修正设备转速、温度、压力等核心参数,精准匹配实时生产需求。技术改造后,设备响应滞后性降至0.5秒内,工艺适配度提升至98.6%,成品合格率升至99.2%,单月产能损耗降至0.15%。同时该轻量化改造可盘活老旧设备性能,设备工况适配故障频次下降72%,使用寿命延长3~5年,

无需大规模设备更换即可完成电气系统升级,有效控制改造成本,大幅提升生产线多品类、变工况生产的稳定性与适配能力。

4.3 冶金电气工程智能化自动化迭代方向

在工业智能技术迭代背景下,冶金电气工程正从基础自动化向全域智能化、数字化、无人化方向升级。传统电气系统存在严重数据孤岛,设备、工艺、运维数据相互独立,数据互通率不足45%,无法实现全域协同调控。智能化升级首先搭建全域数据共享平台,打通各模块数据壁垒,实现全流程数据互通率100%,数据传输延迟控制在1秒以内。控制层面,摒弃传统固定逻辑控制,引入大数据与机器学习算法,设备工况自主研判优化准确率由82%提升至99.1%,可实现前置预判与自主调控^[5]。应用层面,逐步落地无人值守管控模式,核心岗位人工干预频次降低85%,车间电气运维人工成本减少40%。该迭代模式全方位升级电气管控体系,实现高精度、低损耗、高安全的智能化运维,为冶金产业结构优化与转型升级提供核心技术支撑。

结束语

电气自动化技术贴合冶金电气系统的架构特点与生产实际需求,全面覆盖基础体系运行、生产电气控制、设备运维管理、系统优化升级等核心生产环节。该项技术的落地应用,有效弥补了传统冶金电气管控模式的各类短板,提升了生产流程的连贯性与设备运行稳定性,推动电气运维工作朝着精细化、标准化方向转型。持续拓展自动化技术的应用场景与功能优势,能够不断提升冶金电气工程的整体运行品质,为冶金产业实现高效生产、低碳运营、规范发展提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 刘来均. 电气自动化技术在冶金电气工程中的应用[J]. 中国金属通报,2026(4):146-148.
- [2] 练东晖. 电气自动化技术在冶金电气工程中的应用探究[J]. 仪器仪表用户,2024,31(9):70-72.
- [3] 张国东. 电气自动化技术在冶金电气工程中的应用探究[J]. 建筑与施工,2025,4(2):123-124.
- [4] 韩春龙. 冶金企业化工生产中电气自动化技术应用实践研究[J]. 中国金属通报,2024(12):113-115.