

冶金自动化控制技术特点与应用

王有栋

宝信软件(安徽)股份有限公司 安徽 马鞍山 243000

摘要: 冶金自动化控制技术以高度集成化、智能化与自适应控制为核心,融合PLC、DCS、工业机器人及AI算法,实现全流程实时监测与精准调控。其特点包括实时性高、控制精度高、节能环保导向及安全可靠,通过5G+边缘计算、大数据分析等技术优化生产效率与能耗。应用涵盖炼铁、炼钢、连铸轧制等环节,如高炉配料、转炉终点控制、连铸液位调节等,显著提升产品质量与资源利用率,推动冶金行业向智能化、绿色化转型。

关键词: 冶金自动化控制; 技术特点; 应用

引言: 冶金工业作为国民经济的重要支柱,其生产流程的复杂性、能源消耗的密集性以及环保要求的严苛性,对自动化控制技术提出了极高挑战。在工业互联网与智能技术快速发展的背景下,冶金自动化控制技术通过集成PLC、DCS、AI算法及5G通信等手段,实现了从单机设备控制到全流程智能协同的升级。本文围绕其高度集成、智能自适应、实时高精度等技术特点,结合典型应用场景,探讨其对提升生产效率、降低能耗及推动绿色转型的关键作用。

1 冶金自动化控制技术的核心特点

1.1 高度集成化

(1) 硬件系统集成以PLC、DCS、工业机器人协同为核心,形成全流程控制矩阵。如普锐特冶金技术为宝钢镀锡板生产线打造的集成方案,将高端PLC与347套电机传动、251台齿轮电机及入口出口段机器人深度整合,实现450米/分高速生产的精准控制。辽宁移动为鞍钢部署的5G云化PLC系统,通过多节点级联机制实现跨厂区设备协同,打破传统硬件控制局限。(2) 软件系统集成实现MES、ERP、SCADA数据贯通,构建全流程数字化体系。通过ETL工具整合生产实时数据与管理数据,SCADA采集的温度、压力等参数经预处理后同步至MES系统,支撑生产调度优化,再联动ERP实现成本动态核算,形成“数据采集-分析-决策-执行”闭环。

1.2 智能化与自适应控制

(1) 人工智能算法深度渗透生产环节,专家系统优化工艺参数,神经网络提升质量预判精度,模糊控制适配复杂工况波动。在转炉炼钢中,AI算法构建“氧枪位置-供氧强度-电耗”模型,自动生成优化曲线,降低吨钢电耗12kWh。(2) 基于大数据的动态优化与故障预测成效显著,通过多源数据整合与特征选择,建立设备能效衰减模型与故障预警机制。空压机经数据对比可量化

气阀泄漏影响,高炉系统通过振动频谱分析实现提前维护,减少非计划停机^[1]。

1.3 实时性与高精度控制

(1) 高速数据采集与处理技术突破瓶颈,5G+边缘计算架构实现本地数据快速处理,鞍钢采用双频5G网络,数据传输延迟压缩至200ms以内,采样频率达100ms/次,支撑20万点/秒数据吞吐量。(2) 闭环控制系统具备毫秒级响应能力,在烧结工序中,通过调节主抽风机频率与环冷机转速,使料层透气性指数稳定在最优区间,吨矿电耗下降5.2kWh,同时提升产品质量稳定性。

1.4 节能环保导向

(1) 能源管理系统(EMS)与余热回收技术深度融合,2000余个智能传感器实时监控多类能源介质参数,加热炉热效率经动态评估模型优化后从82%提升至87%,年节电480万kWh,中间包余热回收量增加15%。(2) 低碳排放工艺的自动化控制策略落地见效,焦炉通过优化加热制度降低吨焦碳排放18kg,绿电消纳模块提升绿电使用比例至28%,年减少标准煤燃烧4.2万吨,系统自动生成合规碳排放报告支撑碳交易。

1.5 安全性与可靠性

(1) 冗余设计保障生产连续性,双机热备与故障容错技术广泛应用,鞍钢5G专网采用主备链路实现无感知切换,避免单一节点故障影响。关键设备采用双系统备份,数据存储通过混合架构实现10年以上安全留存。(2) 工业安全协议筑牢防护屏障,OPCUA标准实现跨系统安全通信,功能安全标准规范控制逻辑设计,加密技术保障传感器数据传输与存储安全,防止敏感信息泄露^[2]。

2 冶金自动化控制技术的应用

2.1 炼铁环节

(1) 高炉炼铁的自动化配料与炉况监测构建全流程精准控制体系。自动化配料系统通过激光粒度分析仪实

时检测铁矿石、焦炭等原料粒度分布,结合成分分析仪数据,依据高炉热平衡模型动态调整配比,实现原料混合均匀度偏差控制在极小范围。炉况监测依托多维度传感器网络,在炉身、炉腰等关键部位布置温度、压力、振动传感器,实时采集炉内煤气流速、料面下降速度等参数,经数据融合算法分析生成炉况诊断报告,精准识别管道行程、悬料等异常工况,为操作调整提供量化依据。(2)智能喷煤控制与节能优化聚焦高效低耗目标。系统基于高炉热状态模型与煤质分析数据,动态调节喷煤量、喷吹速度及富氧率,通过模糊控制算法适配煤种变化与炉况波动,确保煤粉在炉内充分燃烧。节能优化模块整合喷煤单耗、焦比、热风温度等数据,建立多目标优化模型,在保障炉况稳定的前提下,通过调整喷吹参数降低吨铁能耗,同时减少焦炭消耗,实现资源高效利用与节能降耗的双重效益。

2.2 炼钢环节

(1)转炉炼钢的终点控制与氧枪自动调节实现冶炼精准把控。终点控制系统通过副枪连续检测熔池温度、碳含量及磷含量,结合烟气分析数据构建动态预测模型,实时计算冶炼剩余时间与所需氧量,自动生成氧枪操作曲线。氧枪自动调节系统依据模型指令,通过伺服电机控制氧枪升降速度与位置,精准调节供氧强度与枪位高度,在冶炼后期动态修正参数,确保终点温度与成分偏差控制在工艺要求范围内,减少补吹次数^[3]。(2)电弧炉的能量管理与电极控制优化能源利用效率。能量管理系统实时监测电网电压、电流及电弧功率,结合钢水温度与熔化进度,建立负荷预测模型,动态分配有功功率与无功功率,平衡电弧炉与电网间的能量交互,避免功率波动对电网造成冲击。电极控制系统采用自适应PID算法,通过红外测温仪与电流传感器反馈信号,实时调节电极升降高度,精准控制电弧长度与电流密度,确保电极在不同熔池状态下稳定放电,提升电能转化率,缩短熔化时间。

2.3 连铸与轧制环节

(1)连铸机的拉速与液位精准控制保障铸坯质量稳定。拉速控制系统基于结晶器温度场分布、铸坯凝固速度及二冷区冷却强度数据,建立拉速-凝固模型,通过变频电机动态调节拉矫机速度,实现拉速平滑调整,避免因速度突变导致的铸坯内部裂纹。结晶器液位控制采用同位素液位计实时检测钢水液位,结合塞棒或滑动水口的流量特性,通过模糊自适应控制算法调节开口度,将液位波动幅度控制在毫米级,防止漏钢与夹渣缺陷。(2)轧制过程的厚度与板形闭环控制追求高精度成形效

果。厚度控制系统在轧机入口与出口布置激光测厚仪,实时采集带钢厚度数据,结合轧制力、辊缝位置等参数建立厚度偏差模型,通过液压压下系统毫秒级调节辊缝,补偿因原料厚度波动、轧辊磨损导致的厚度偏差。板形控制整合激光平坦度检测仪与张力传感器数据,构建轧机刚度矩阵与板形缺陷特征库,采用多变量解耦控制算法联动液压弯辊、轧辊倾斜及分段冷却系统,动态补偿热凸度与轧制力分布不均,抑制边浪、中浪等缺陷,确保板形精度符合高端产品要求。

2.4 能源与环保系统

(1)烧结烟气脱硫脱硝的自动化控制实现污染物精准治理。系统通过烟气连续监测设备实时采集SO₂、NO_x浓度、烟气流量及温度湿度参数,依据污染物浓度变化与环保排放标准,动态调节脱硫剂喷射量、脱硝还原剂流量及反应塔内温度。脱硫环节采用闭环控制策略,通过pH计反馈信号调整吸收液浓度;脱硝环节基于烟气成分数据优化催化剂运行参数,确保脱硫效率与脱硝效率稳定达标,同时减少药剂消耗与二次污染。(2)冶金副产气体回收与利用的智能调度提升能源利用率。系统实时监测高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气的产量、压力、热值及各用户用气量,建立气体平衡模型。通过智能调度算法动态分配气体资源,在保障加热炉、发电站等关键用户稳定供气的前提下,优化余气存储与放散策略。当气体产量波动时,自动调节缓冲柜压力与发电机组负荷,实现副产气体高效回收与梯级利用,降低化石能源消耗^[4]。

2.5 辅助生产系统

(1)无人天车与智能物流系统构建高效运输网络。无人天车搭载激光导航与视觉识别系统,通过调度中心下发的作业指令,自动完成原料装卸、钢坯转运、成品入库等操作,实现定位精度与停车精度的精准控制。智能物流系统整合仓储管理、运输调度与生产计划数据,建立全局优化调度模型,实时监控物料位置与运输状态,动态调整运输路径与作业顺序,减少物料积压与运输空耗,提升物流周转效率。(2)设备预测性维护与远程运维平台保障产线连续运行。预测性维护系统通过振动传感器、油液分析仪等设备采集关键设备运行数据,运用机器学习算法提取设备劣化特征,建立故障预警模型,提前识别轴承磨损、电机绝缘老化等潜在故障,生成维护计划与备件需求清单。远程运维平台依托工业互联网实现设备数据远程传输与可视化监控,技术人员可通过平台远程诊断设备故障、调整控制参数,提供在线技术支持,缩短故障处理时间,降低设备停机损失。

3 冶金自动化控制技术挑战与发展趋势

3.1 当前面临的主要挑战

(1) 复杂工况下的模型适应性不足问题突出。冶金生产中原料成分波动、炉内高温高压等动态干扰频发, 现有控制模型多基于理想工况构建, 难以快速适配极端场景。如高炉炼铁时, 当铁矿石品位波动超15%, 传统神经网络模型的炉温预测偏差会扩大至 $\pm 50^{\circ}\text{C}$, 导致焦比升高20kg/t。转炉吹炼中, 非标准废钢加入量突变常使终点控制模型失效, 需人工干预调整。(2) 异构系统间的数据互通存在多重障碍。冶金企业普遍存在新老系统并存现象, PLC、DCS等设备与MES、ERP系统分属不同厂商, 数据格式、通信协议差异显著, 形成“信息孤岛”。某钢厂统计显示, 其生产数据分散于12类数据库中, 语义不一致导致数据整合耗时占数据分析总时长的65%。虽可通过ETL工具转换, 但实时性下降30%, 难以支撑动态控制需求。(3) 网络安全与数据隐私风险日益严峻。工业互联网普及使控制系统暴露面扩大, OPCUA等协议的通用化增加了攻击入口。2024年某钢厂遭恶意攻击, 导致烧结烟气处理系统停机4小时, 直接损失超千万元。同时, 工艺参数、能耗数据等敏感信息在传输中易泄露, 而冶金企业数据加密覆盖率不足40%, 合规性面临考验。

3.2 未来发展趋势

(1) 数字孪生与虚拟调试技术加速落地。兴澄特钢构建全流程数字孪生体系, 通过100余项垂直模型模拟“冶炼—轧制”全环节, 虚拟调试使新产线投产周期缩短40%。宁夏鼎辉科技借助数字孪生远程监控熔铸工序, 自动化程度提升至95%, 废品率下降15%, 为复杂工艺优化提供“数字镜像”支撑。(2) 基于工业互联网的云边协同控制成为主流。扬州特材采用“云—边—端”架构, 边缘端实时处理设备传感数据, 云端进行全局优化决策, 实现球团产线可视化管控与资源优化。该模式

使数据传输延迟降至50ms以内, 比传统集中式控制效率提升35%, 适配大规模数据处理需求。(3) 绿色冶金与碳足迹追踪系统全面推广。兴澄特钢建成能碳双控数字平台, 实时追踪各工序碳排放数据。宁夏鼎辉科技通过数字供应链系统协同处置固废, 带动区域减碳6352吨。这类系统可自动核算碳排放量并生成优化方案, 助力企业达成“双碳”目标。(4) 人工智能与自动化控制深度融合。兴澄特钢以“AI+工业机理”开发质量管控模型, 大冶特钢用AI实现质量精准追溯。AI算法已能动态优化转炉氧枪参数、电弧炉供电曲线, 使冶炼效率提升10%以上, 未来将实现从单工序控制到全流程自主决策的跨越。

结束语

冶金自动化控制技术以数字化、智能化为引擎, 正深刻重塑行业生态。其高度集成化架构打破了设备与系统间的壁垒, 智能化算法赋予生产自适应优化能力, 实时性与高精度控制保障了质量与能效的双重提升, 而节能环保与安全可靠的设计则契合了可持续发展需求。未来, 随着数字孪生、云边协同及AI技术的深度融合, 冶金自动化将迈向全流程自主决策的新阶段, 助力行业实现效率跃升、绿色转型与竞争力重构, 为全球工业智能化发展提供关键支撑。

参考文献

- [1] 郝雅哲. 钢铁冶金电气自动化控制技术的研究分析[J]. 冶金信息导刊, 2024, 61(2): 50-53.
- [2] 熊波. 钢铁冶金电气自动化控制技术研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(1): 285-286.
- [3] 渠忠伟. 钢板深加工线电气自动化控制系统优化研究[J]. 冶金与材料, 2024, 44(01): 166-168.
- [4] 周建萍. 基于有色冶金电气自动化控制技术特点与应用分析研究[J]. 有色设备, 2023, 37(06): 36-37.