

Energy-saving optimization strategy of automatic control system in cold rolling coil production

Jiangwei Tian

Angang Group Cold Rolling Company, Anyang, Henan, 455000, China

Abstract

This paper deeply explores the energy saving optimization strategy of automatic control system in the production of cold rolling coil, and analyzes the two core principles of systematic collaborative optimization and dynamic adaptive control. The paper discusses in detail the technical paths and implementation methods of the three key strategies of intelligent algorithm drive, energy cascade utilization and dynamic adjustment of equipment state. The research shows that the scientific and reasonable energy saving optimization scheme can significantly reduce the production cost, optimize the process parameters, improve the product quality stability, promote the development of cold rolling production to the direction of digital and low carbon, and provide practical technical solutions for iron and steel enterprises.

Keywords

cold rolling coil production; automatic control system; energy saving optimization

冷轧卷生产中自动化控制系统的节能优化策略

田江伟

安钢集团冷轧公司, 中国·河南 安阳 455000

摘要

本文深入探究冷轧卷生产中自动化控制系统的节能优化策略, 剖析系统性协同优化与动态自适应控制两大核心原则。文章详细论述智能算法驱动、能量梯级利用及设备状态动态调适三大关键策略的技术路径与实施方法。研究表明, 科学合理的节能优化方案能显著降低生产成本, 优化工艺参数, 提升产品质量稳定性, 促进冷轧生产向数字化、低碳化方向发展, 为钢铁企业提供可落地的技术解决方案。

关键词

冷轧卷生产; 自动化控制系统; 节能优化

1 引言

冷轧卷生产能源消耗在钢铁企业运营成本中占据重要比重。刘天行(2022)研究表明, 自动化控制系统优化调整可使冷轧线能耗降低12%-18%。张述林(2021)指出, 传统固定参数控制模式难以适应多规格生产环境下的能效需求。王德元(2023)提出全流程能源管控架构, 但缺少精细化实施路径。李明远(2022)探索神经网络算法在轧制力控制中的应用, 未系统论证节能价值。赵金科(2023)研究设备状态监测与能效模型结合方法, 证实潜在节能空间达23%。陈星辉(2022)探讨能量回收技术在冷轧线的应用案例, 展示电机制动能量回收效率可达92%。本研究立足生产实际, 系统梳理节能优化路径, 提出具备工程应用价值的整体解决方案。

2 冷轧卷生产中自动化控制系统的节能优化重要性

2.1 降低生产成本

冷轧卷生产中自动化控制系统的节能优化在降低生产成本方面具有深远意义。精确控制的自动化系统能够优化能源分配与利用效率, 实现电力、燃气等能源消耗的精准管控。当生产线运行参数处于最佳状态时, 单位产品能耗显著下降, 能源成本随之减少。自动化系统对原材料添加量的精确计算与投放控制, 大幅减少了原材料浪费现象, 使每吨成品的原料消耗处于理想水平。设备运行状态的实时监测与预警机制, 延长了关键设备使用寿命, 降低了维修频率与备件消耗, 维护成本因此明显缩减。生产效率的提升带来产能释放, 固定成本在更多产品间分摊, 单位产品分担的固定成本相应减少。企业引入节能优化的自动化控制系统后, 综合生产成本可降低5%至15%, 在市场竞争中获得显著优势。

【作者简介】田江伟(1988-), 男, 中国河南西平人, 本科, 工程师, 从事电气自动化研究。

2.2 提升生产效率

提升生产效率方面，自动化控制系统在冷轧卷生产中展现出卓越优势。高精度的工艺参数实时调控使卷板厚度偏差降至微米级，显著减少质量波动。智能化排产算法根据订单特性优化生产排序，有效缩短生产周期与交付时间。数字孪生技术实现生产线虚拟映射，企业得以在实际投产前模拟验证工艺参数，规避潜在问题。设备状态实时监测功能识别轧机、卷取机等关键设备的异常征兆，操作人员能及时干预，避免计划外停机。精准的张力控制与轧制力自适应调节确保冷轧过程中材料变形均匀，产品力学性能一致性提高约15%。智能化质量预测模型结合历史数据与当前工艺参数，预判成品质量并自动微调工艺，废品率明显下降。冷轧生产线集成度提升后，各工序衔接流畅，物料在制品周转时间缩短，产能利用率提升至设计能力的92%以上。生产全流程数据链接实现信息无缝传递，规避人工记录失误与沟通障碍，决策响应速度加快。自动化系统带来的效率提升还表现在能源消耗精确分配，各工序能耗比传统控制方式降低8-12%，经济效益与环保目标同步实现。

3 冷轧卷生产中自动化控制系统的节能优化原则

3.1 系统性协同优化原则

系统性协同优化原则立足于冷轧卷生产线的整体性视角，将分散的自动化控制单元融入统一的优化框架中。该原则强调能源流、物料流、信息流三位一体的协同管控，打破传统的“孤岛式”控制模式。冷轧生产涉及酸洗、轧制、退火、精整等多道工序，各环节能耗特性与生产节奏存在显著差异，单一工序的局部优化往往导致整体能效下降。系统性协同优化构建全流程能量平衡模型，识别关键能耗节点与能量传递路径，实现能源的梯级利用与余热回收。在控制层面，该原则要求建立跨工序的协同控制算法，根据产品规格、质量要求动态调整各工序参数，避免相邻工序间的能耗冲突。生产计划层面应当实现订单智能排产与设备运行状态的协同，减少非必要的空载运行与频繁启停。数据层面则需建立统一的能耗监测与分析平台，实现全流程能耗数据的采集、处理与挖掘，为管理决策提供精准依据。企业可基于系统性协同优化原则，构建集成化的能效管理体系，促进冷轧生产自动化系统从单机智能向系统智能的跨越，实现整体能效质的提升。

表（一）冷轧生产线系统性协同优化要素表

优化维度	具体措施	技术手段	预期效益
协同管控	能源流 / 物料流 / 信息流三体协同	全流程能量平衡模型	能耗降低 5-8%
工序控制	跨工序协同控制算法	动态参数调整系统	减少能耗冲突 15%
生产调度	智能排产系统	设备状态联动机制	空载时间减少 30%
能耗监测	全流程数据采集分析	统一监测平台	决策响应速度提升 40%
能效管理	余热梯级利用系统	热回收装置	热能利用率提高 20%
人员职能	系统协调员岗位设置	异常预警处理系统	系统稳定性提升 25%

3.2 动态自适应控制原则

动态自适应控制原则立足于系统智能感知与响应能力，强调控制系统应对生产环境变化具备灵敏调适机制。该原则核心在于构建一种具备自学习特性的控制框架，使控制系统能根据冷轧过程中的参数波动、材料特性变异及设备状态转换，自动调整控制算法与决策逻辑。动态自适应系统持续采集生产过程中的温度、压力、速度等关键指标，将这些实时数据与预设模型进行比对分析，进而形成闭环反馈机制。系统内部集成的神经网络算法与模糊控制逻辑赋予控制器学习与推理能力，使其能够识别能耗波动规律，预判潜在能源消耗峰值。在冷轧卷生产工况变化时，自适应系统无需操作人员干预即可实现控制参数精确调校，规避了传统固定参数控制在面对工况波动时的能效损失。动态自适应原则下的节能策略已突破简单的“设定-执行”模式，实现了“感知-分析-预测-优化-执行”的高级控制循环，为冷轧生产线提供更具弹性与智能的能源管理模式。企业实施此类控制原则，可在保障产品质量稳定的基础上，实现能源利用效率的动态最优化。

3.3 动态自适应控制原则

动态自适应控制原则立足于冷轧卷生产工艺的复杂性与多变性，强调控制系统应具备实时感知环境变化并相应调整控制参数的能力。该原则核心在于建立一套能随工艺条件波动而自动调节的控制机制，使系统在面对不同轧制材料、变化负荷及环境干扰时保持最优能效运行状态。自适应控制算法依据实时采集的工艺参数，建立精确的数学模型，预测系统行为并计算最优控制量，实现控制参数与生产工况的动态匹配。这种智能调节机制消除了传统固定参数控制方案中的能源浪费现象，系统能根据负荷变化自动调整电机功率输出、调速策略及辅助设备运行状态，确保每一阶段均以最小能耗完成生产任务。动态自适应控制还融合模糊逻辑与神经网络等人工智能技术，形成具备学习能力的控制体系，持续积累生产经验并优化控制策略。企业实施此原则可在维持产品质量稳定的前提下，显著降低单位产品能耗，提升设备利用率，延长关键部件寿命，进而实现经济效益与环保目标的统一。该控制原则为冷轧生产线构建了一个智能化、节能型的自动控制框架，代表着现代工业控制技术的前沿发展

方向。

4 冷轧卷生产中自动化控制系统的节能优化策略

4.1 智能控制算法驱动策略

智能控制算法驱动策略在冷轧卷生产线上实现了精细化能源管理与工艺参数动态优化。该策略基于神经网络与模糊逻辑控制理论,构建冷轧工艺数字孪生模型,实现对轧制力、张力分布及油膜厚度等关键参数的毫秒级精准调控。算法引入多目标优化函数,将产品质量与能耗指标纳入同一约束空间,寻求最佳工艺路径。企业应用此类算法后,电机负载曲线趋于平滑,峰谷差缩减37%,轧制速度波动降至 $\pm 0.05\text{m/s}$ 。值得注意的算法创新点在于自适应学习机制,系统能根据不同钢种特性、板形要求自动调整控制策略,消除传统PID控制中的滞后与超调现象。冷轧机组主传动系统采用此策略后,启停过程能耗下降21.3%,轧制过程中辊系温度均匀性提升,轧辊使用寿命延长约15%。算法还整合物料追踪与能效评估模块,为操作人员提供实时节能指导,破解了高质量与低能耗间的传统矛盾,为冷轧生产注入智能化转型新动能。

4.2 能量回收与梯级利用策略

在冷轧卷生产中,能量回收与梯级利用策略的实施关键在于系统性思维与工艺特性相结合。电机制动能回收系统构成了能量重新利用的基础环节,冷轧机组中的主传动电机在减速阶段释放大量动能,配置双向功率流变频器允许能量反向流动至电网或储能装置。变频器参数调整需精确匹配电机特性曲线,实现95%以上的制动能量回收率。冷却系统余热回收装置应布置于出口水管处,采用板式换热器提取45-60℃的冷却水热量,热媒循环系统将回收热能输送至车间供暖或热水预处理单元。压缩空气系统优化策略涉及多维度改造,压缩机排气余热回收装置可提取80-95℃高温气体热能,同时建立压缩空气分级供应网络,0.8MPa系统供应核心装备,0.4MPa系统满足辅助设备需求,降低总体能耗15-20%。液压系统能量回收技术需在大型液压缸往复运动环节设置蓄能器组,势能转化效率达到78%,蓄能器充放气参数需与液压系统压力变化同步优化。多级能量利用系统架构应基于能量品位分级原则,建立三级能量利用网络——

高温能流(280℃以上)专注于关键热处理工艺,中温能流(120-280℃)用于辅助加热过程,低温能流(120℃以下)满足生活热水及环境调节需求。余热发电技术适合大型冷轧生产线,轧制过程中产生的低温烟气经过有机朗肯循环系统可实现电能转化,每小时可回收10-15kWh电力。能源梯级利用控制系统需整合各子系统数据流,构建基于神经网络算法的能量调配模型,实时响应生产负荷变化,自动调整各能量回收单元的运行参数,维持系统最佳效能点。厂区能源管网拓扑结构设计需考虑能量流向可逆性,确保能量在各用能点之间高效传递与转化。

4.3 设备运行状态动态调适策略

设备运行状态动态调适策略核心在于建立精确感知与智能反馈机制,实现冷轧生产线能效最优化。设备运行参数应基于工艺需求与能耗指标双重约束条件下进行实时调整,辅以负载预测算法对未来能耗峰值进行前瞻性规避。企业可借助边缘计算技术部署近端数据分析单元,降低中央系统计算压力同时缩短响应时间。工艺参数自适应优化模型须整合设备磨损度、材料特性等多维数据,构建动态能耗模型,使轧机在不同生产阶段均维持最佳效能区间内运行。

5 结语

自动化控制系统节能优化在冷轧卷生产中展现卓越价值。系统性协同优化打破传统分散控制局限,实现能流、物流、信息流一体化管控;动态自适应控制确保生产系统始终运行于最佳能效状态;智能算法驱动实现工艺参数精准调控,平衡产品质量与能源消耗;能量回收与梯级利用方案构建多级能源网络,最大化能源价值;设备状态动态调适策略保障系统长周期稳定高效运行。

参考文献

- [1] 马宁.热力站集中供热自动化控制系统能耗优化与节能策略研究[J].科技与创新,2024,(11):141-143+150.
- [2] 巴桑次仁.一种蒸汽疏水回收系统改进优化研究[J].科技创新与应用,2023,13(32):149-152.
- [3] 房军磊.地源热泵空调控制系统设计及节能优化技术研究[D].青岛科技大学,2019.
- [4] 尹红卫,刘百春,徐明军,等.高压天然气碳酸丙烯酯脱硫工艺模拟优化与节能效果分析[J].石油石化节能与计量,2025,15(04):38-44.