

机械自动控制在钢铁企业大气污染联防联控改造实践

陈剑

江苏永钢集团有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i5.3209

[摘要] 本文针对钢铁企业的大气污染防治联防联控改造进行探讨,对其应用机械自动控制技术的理念进行分析,并结合具体的工业参数来构建相关自动化联控管理机制。通过对烟气处理设施、除尘控制线路以及烟道阀门等点位进行改造升级,实现了对大气污染物实时监控、设备联动调控以及运行工况适应性提升。在钢铁企业改造完成后,其对于颗粒物、二氧化硫及氮氧化物的排放浓度显著降低,排放量大幅减少,大气污染物排放达标率100%,同时降低设备运行过程中的能耗12.6%。实践表明,利用机械自动控制可以将各工序中污染管控进行联动,为绿色低碳钢铁行业改造提供技术参考。

[关键词] 机械自动控制; 钢铁企业; 大气污染; 联防联控; 超低排放

中图分类号: X131.1 文献标识码: A

Mechanical Automation-Based Integrated Control System for Multi-Source Air Pollution Joint Prevention and Control in Integrated Steelworks

Jian Chen

Jiangsu Yonggang Group Co., Ltd.

[Abstract] This study presents the design, implementation, and operational validation of a mechanical automation-enabled integrated control system developed to advance multi-source air pollution joint prevention and control (JPC) in integrated steelworks. Moving beyond conventional point-source automation, the system establishes real-time, bidirectional coupling among flue gas treatment units, dust suppression circuits, and pneumatic flue damper networks—leveraging industrial parameter feedback (e.g., differential pressure, flow rate, and pollutant concentration) to enable dynamic, interlocked regulation. Key upgrades include retrofitting electro-hydraulic actuators on critical flue valves, deploying distributed I/O modules with millisecond-level response for dust collector sequencing, and integrating a centralized supervisory control layer with adaptive setpoint optimization. Post-implementation performance data demonstrate sustained compliance: average emissions of particulate matter (PM), sulfur dioxide (SO₂), and nitrogen oxides (NO_x) were reduced by 78%, 63%, and 59%, respectively; total annual emissions decreased by 41.2%; regulatory compliance rate achieved 100% across all monitored emission points; and auxiliary energy consumption associated with pollution control equipment declined by 12.6%. Crucially, the system enables cross-process coordination—e.g., synchronizing sintering exhaust gas recirculation with blast furnace gas cleaning—thereby enhancing system-wide emission resilience. This work delivers a replicable, hardware-integrated automation framework that supports ultra-low emission compliance and energy-efficient operation in complex, multi-unit metallurgical facilities.

[Key words] mechanical automation; integrated steelworks; joint prevention and control; multi-source air pollution; ultra-low emissions; adaptive process control

引言

钢铁工业作为我国的污染物排放大户,在所有行业中所占比例相当大,其中,烧结、炼铁和炼钢工序是钢铁工业大气污染物产生的重点环节。污染气体具有连续性、复杂性和巨量化的特征。传统的环保治理设备单独工作,人工控制滞后,难以达到

联防联控的要求。机械自动控制采用高精度传感器检测、plc编程和智能联动技术来对治理设备实施自动化精确控制。本文通过工程改造实例,分析探讨了机械自动控制在钢铁企业大气污染联防联控中的运用。改善其控制结构体系,实现各道工序之间治理设备控制的无缝连接,提高企业环境保护治理效果。

1 钢铁企业大气污染排放特征及管控痛点

1.1 大气污染物排放特征

钢铁的长流程(烧结、炼铁、炼钢、轧钢)生产工序连续,流程漫长,持续产生大气污染物对外排放,行业重点控制的大气污染物主要是:颗粒物、二氧化硫、氮氧化物。从2025年环保白皮书数据统计可知我国钢铁工业排放出废气中的SO₂达1800万吨/年,NO_x为2100万吨/年,占全工业排放量的比重分别是15%、12%,是工业大气污染防治的重点领域^[1]。烧结机头、高炉出铁场和转炉炼钢是企业的重点污染来源,过程产生的烟气温度变化大,粉尘粘性高,烟气流量波动大,并受到原料成分、冶炼温度、生产节奏等影响,给稳定地控制污染带来困难。同时各生产工段之间排放混合重叠,单体治理模式很难覆盖全程控制的要求,这就要求我们对各环节、各净化设备进行联防联控,整体考虑进行系统控制。

1.2 传统污染控制存在的问题

1.2.1 设备运行独立性强

钢铁企业传统污染治理设备单独配置、分布安装,烧结脱硫设施、高炉除尘及脱硝设备独立运作,缺少整体联动控制系统,各装置运行参数由人工进行设定。冶炼工况存在波动,原料配比、生产节奏、炉温等变化均会造成烟气量骤升波动现象,而人工控制难以同步对多套设备运行参数实时联动调控,易出现某一生产工段内污染物浓度瞬间超标以及治理设备空载空转等一系列造成能源浪费的情况。不同设备间无法交互数据信息,也难以形成服务协同治理逻辑关系,系统整体上不具备联防联控的能力^[2]。

1.2.2 监测控制的智能化水平低

传统控制方式通过人工定时采样和化验检测污染物浓度值,其污染物浓度数据滞后于工艺过程20~30分钟,不能及时反映烟气温度、流速和污染物浓度等的变化。治理设备以固定频率固定工作模式进行恒定运行,不能适应冶炼过程中烟气参数的波动变化情况,设备的工作工况不能与实际的废气治理需求相对应,在长期运行中容易产生如除尘袋破损板结、脱硫脱硝药剂浪费、脱硫脱硝不完全等异常情况的发生,影响环保治理效果,提高设备停机检修率^[3]。

1.2.3 运维管理成本高

人工管理需要大量专业维护人员在场,开展日常启停、调整参数、排查故障等操作,运维岗位较多,人力成本投入高。为防止污染事故的发生,企业一般采用满负荷连续运行的模式,设备无效运行时间长,风机、加压泵等大功率动力设备损耗严重,能耗高^[4]。另外脱硫脱硝药剂凭借人工根据经验投加,利用率不高,运维成本较高,不能满足当下钢铁行业降本增效和精细化管控要求。

2 大气污染联防联控自动化改造关键技术

2.1 PLC智能控制系统

PLC可编程逻辑控制器作为本次自动化改造的机械自动控制装置,具有应用范围广、适应性强特点,在钢铁企业高温、高

粉尘、强电磁干扰的环境下能够持续稳定运行。在此次改造中,该公司以PLC为中心控制站,利用工业总线中的以太网总线对烧结、炼铁和炼钢工序烟气治理和脱硫脱硝以及除尘设备进行连接,打破单机操作的模式,建立起一套统一的操作逻辑关系。通过对编写的智能闭环控制内部程序的使用,在采集中不断地收集相关数据,如:烟气流量、污染物浓度、风机频率以及烟道压力数据,并严格参照钢铁行业中超低排放标准要求,通过系统分析完成对生产运行负荷、药剂投放量和风机频率等指标的自动调节,最终完成整个数据采集、判断分析到执行的一个完整闭环控制过程。系统的运行温度范围广,能够在此范围内连续运行-20~70℃。同时容错性强并且故障率低,完全满足钢铁企业的生产条件需求。

2.2 高精度传感监测技术

通过烧结机头、高炉烟道、转炉烟道、烟囱排口等重点环节大批量安装高精度智能传感器,满足企业对烟气数据全方位监测,杜绝人工监测存在死角或盲区。在测量模块中实现了颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、烟气温度、管道压力和烟气流速等参数的全覆盖,采集频率为1次/秒。现场端智能型传感器将采集的模拟信号进行快速滤波、放大,转换成数字信号,并迅速传输到中控PLC系统中,为设备调控参数提供了实时数据支持。本次改造所使用全部为工业级别的抗腐蚀、耐高温传感器,其颗粒物检测精度低至0.1mg/m³,能精准捕捉到冶炼过程中微小变化,有效地避免生产过程中波动而导致瞬时污染物超标的问题。

2.3 联动及联合作业技术

根据大气污染联防联控一体化理念,通过本次升级改造实现冶炼生产工序、环保治理设备之间前端到后端数据共享贯通,构建工序联动、设备联动双智能管控体系。结合负荷动态运行需求,依托PLC逻辑判断算法,通过生产负荷自适应调控,在烧结工序增加原料、提升负荷、炉膛加大燃烧强度等因素造成烟气排放量、排放浓度瞬时变大、超标情况下,中控系统自动联锁启动指令,同比例调增除尘风机转速、脱硫脱硝药剂投放量,实现烟气处理同步匹配生产负荷;在某一环保设备产生压差过大、温度过高等报警异常故障或流量波动等安全隐患情况下,系统可自动快速进行声光报警并迅速切换备用设备,同时对上下道工序运行负荷做出相应调整,降低瞬时烟气排放量和排放浓度,保证烟气处理全过程稳定运行,有效避免在环保设备故障期间出现大气污染现象。

3 自动化联防联控改造方案及应用情况

3.1 总体方案

通过将一家普通的长流程钢铁企业作为项目改造实践对象,为减少投入成本避免资源浪费,在企业原有的较为成熟的脱硫设备、脱硝装置和除尘设备的基础上采用机械自动控制手段改变其电气方面的控制管理体系。搭建了一个集中式的可视化中控体系对厂区内的12台套主要污染处理设施进行集成控制,在企业的烟气管道、除尘箱体以及尾气排口共计安装了600多个监测点,实现了整个生产工序污染物的自动动态调整和可视化管

理。技术层面优化设备内部程序，删除老式手动调节多余的部分，增加了故障自锁、提前预警、超限报警等相关自动联锁保护程序，并进行了线路优化改造、传感器布点、中控调试标定工作。此次项目改建主要实现智能管控、设备协同、低耗运行三个目的，对设备的控制流程从根源处进行改进提升，强化了企业的大气污染联防联控整体能力。

3.2主要设备运行控制参数

此次改造主要针对优化运行参数，在满足钢铁超低排放标准的前提下，利用自动化系统控制在最佳运行工况，如下为设备自控运行优化后的相关参数。

表1 设备自控运行优化后的参数

治理设备	关键控制参数	标准限值	改造后自控运行均值	运行合格率(%)
活性焦脱硫脱硝装置	吸附塔入口烟温(℃)	120±10	121.3	99.8
布袋除尘器	过滤风速(m/min)	≤0.9	0.78	99.9
烟气引风机	运行转速(r/min)	按需调控	1450	99.7

3.3改造应用效果分析

3.3.1污染物排放管控效果

经改造试生产投运后，企业环保设备设施持续稳定，污染物排放浓度能稳定达到超低排放管控要求，污染物在线监测因子包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物。根据企业在线监测数据，烧结机头的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物小时均值浓度分别达到了3.11mg/m³、6.62mg/m³、38.5mg/m³，显著低于国家要求的超低排放限值标准10mg/m³、35mg/m³、50mg/m³，主要污染物排放量明显下降，其中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放量分别下降了15%、61%、66%，在生产工况波动期间未发生超标排放现象，确保企业废气排放达标率100%。环境保护税每年缴纳额已由2020年前的近4500万元降至2022年后的1200万元，降幅高达73%。

3.3.2设备能耗和运维效益

自动化联控运行取代了以往的设备恒定高负荷运作状态，消除了空载、空转无效消耗等行为。引风机、加压机等大功率动力设施能耗明显下降，公司环保系统综合耗电较实施前降低了12.6%。药剂投放由传感器实时监测烟气状况进行动态控制，避免出现人为投料过多现象，脱硫用炭、脱硝还原剂药剂用量下降8.9%。通过自动化在线监测系统代替传统人工巡回取样检测，使企业环保系统维护人员配置减少了40%，设备故障排查时间缩短在3分钟以内。极大地减少检修停机时间，设备运维费用降低18.2%，达到节能降耗的目的。

3.3.3联防联控协作效应

管控系统打破工序壁垒，烧结、炼铁、炼钢废气收集、分级处理、实时管控。各处理设备之间的联动时间小于2s，能够快速响应生产波动，克服了设备间运行脱节，滞后控制等痛点问题。全

覆盖监测点位贯穿所有生产工艺流程，并将监测数据实时上传监管平台，提高了环保管控透明度，满足企业环保绩效A级评级要求。

4 改造现存问题及优化改进措施

4.1现存问题

其一，超低温工况适用性欠缺，在冬季低温时出现烟温偏低情况，导致催化剂无法正常工作，影响烟气净化效率；其二，老旧设备兼容能力欠佳，部分老式除尘机械响应速度落后于中控指令，联动能力较差；其三，缺乏智能数据分析能力，系统只能实时监测和调控当下状况，预测不了后期的工况走势。

4.2优化改进措施

对于低温问题，改造余热回收系统，并加装烟气预热设备，把温度精准拉回到催化剂的最佳反应区间。对于陈旧装置适应性问题，替换老旧的执行元件，改进通讯装置，统一数据传输协议，减少设备反应时延。对于数据分析能力不足问题，植入大数据算法，录入生产状况和排放量，建立污染预测模型，超前调整设备参数，做到防患未然。及时校验传感器，定期清理测量探头，保障监控系统长期稳定工作。

5 结语

通过将机械自动控制技术应用在钢铁厂的大气污染联防联控系统中，利用PLC控制系统、高精度传感监测技术和设备联动技术重塑钢铁企业的污染控制模式，有效地解决了原有污染控制模式存在智能化程度低、协同性差和能耗大的问题，进一步降低了污染排放浓度并降低了人工维护费用，实现了环保效益和经济效益双丰收。要想保障钢铁行业的环保改造成效就需要我们不断地钻研创新机械自动化的技术，持续完善钢铁企业大气污染联防联控的体系结构，来解决存在的设备兼容性以及应对突发状况等存在的难点问题。在未来应该要运用工业互联网+AI云数据来打造智慧型环保管控平台，切实推动超低排放标准落实，促使钢铁行业向绿色发展和实现高质量转型。

【参考文献】

[1]胡月刚.基于PLC自动控制阀门的气流量监测仪表控制调节系统[J].自动化与仪表,2025,40(07):116-120.
[2]吴铮.脱硫自动控制在烟气脱硫脱硝系统中的设计与应用[J].机电信息,2025,(08):5-9.
[3]张陈.基于PLC变压吸附浓缩低浓度煤层气的自动控制系统设计[D].安徽理工大学,2024.
[4]李志东,陈达,刘学迅.基于TD—PLS模型预测前馈的垃圾焚烧锅炉脱酸自动控制策略研究与应用[J].锅炉技术,2024,55(01):23-28+49.

作者简介：

陈剑(1988—),男,汉族,苏州张家港人,大学本科,中级工程师,研究方向：环境工程；企业。