

脱硫脱硝除尘环保设备安装中机电制造系统集成技术难点与突破路径

石迪明

浙江菲达环保科技股份有限公司 浙江省 311800

DOI:10.12238/ems.v7i6.13825

[摘要] 在双碳目标驱动下,燃煤机组超低排放改造对环保设备集成提出更高要求。脱硫脱硝除尘系统集成涉及多学科技术交叉,需突破设备兼容性、动态控制、材料可靠性及智能运维四大核心瓶颈。通过三维协同设计实现设备布局优化,采用动态自适应控制策略应对烟气参数波动,开发纳米涂层与3D打印等先进制造工艺提升设备耐久性,构建工业互联网平台实现全生命周期管理。某660MW机组改造案例显示,集成创新使系统能耗降低18%,设备故障率下降65%,为环保工程提质增效提供技术范式。

[关键词] 除尘环保设备安装;机电制造;系统集成;动态自适应

引言:

随着大气污染防治行动计划深化推进,燃煤电厂、钢铁冶金等高排放行业面临严苛的环保标准。传统单系统独立设计模式已难以适应多污染物协同治理需求,突出表现为设备接口不兼容导致的安装周期延长(平均超期20%)、动态工况下控制响应滞后(调节时间>120秒)、关键部件寿命不足(催化剂更换周期<2年)等问题。本研究聚焦环保设备安装的系统集成环节,通过技术路径创新与工程实践验证,探索提升设备运行可靠性与经济性的有效途径。

一、系统集成的关键技术难点

(一) 设备兼容性与空间约束矛盾

在环保设备系统集成中,设备兼容性与空间约束矛盾是制约工程效率的核心问题。当前市场多品牌竞争格局下,不同厂商的脱硝喷枪、脱硫喷嘴等关键部件接口参数差异显著,如某项目进口SCR催化剂模块与国产反应器存在1.5mm安装公差,需定制转接法兰。尽管行业推行IEC61784标准并要求供应商提供数字化接口模型(DTM文件),但仍有30%设备存在协议转换延迟,需开发专用网关实现数据适配。在老旧机组改造中,空间限制尤为突出,某200MW机组脱硝改造时,通过“侧喷+分级喷氨”技术将喷氨格栅由水平改为45°倾斜安装,在有限空间内实现催化剂层数由2层增至3层,脱硝效率提升至88%,同时优化烟道导流板确保氨氮摩尔比偏差<10%。新建项目中,多系统并行安装的干涉风险同样严峻,某EPC项目采用“逆向施工法”结合BIM4D系统提前发现23处碰撞点,但设备到货延迟仍导致3处关键路径延误,最终通过模块化预制技术(如30吨除雾器整体吊装)使现场安装时间缩短40%。这些实践表明,标准化接口管理、空间优化技术与施工组织创新是解决矛盾的关键路径。

(二) 动态工况下的协同控制挑战

在动态工况下实现多系统协同控制是环保设备高效运行的关键挑战。燃煤机组负荷突变时,烟气温度可在15分钟内从420℃骤降至300℃,导致脱硝催化剂活性下降超50%。某智慧电厂采用“前馈+反馈”复合控制策略,通过烟气流量预测模型提前10分钟调节喷氨量,并在催化剂层间设置温度补偿测点,使NO_x排放波动从±30mg/m³收窄至±10mg/m³,但在<30%超低负荷时仍需燃油助燃,导致氨逃逸率短暂升至5ppm以上。脱硝催化剂与除尘器的协同调控存在阈值效应:当催化剂失活导致脱硝效率降至80%时,某项目通过活性衰减预测模型自动将清灰周期从8小时缩短至4小时,使除尘器压差峰值降低250Pa,但压缩空气能耗增加12%。为突破传统DCS系统响应滞后问题,某项目开发基于MPC的协同控制

器,将23个控制变量纳入统一优化框架,调节时间从120秒压缩至45秒,但需配置0.1级精度NO_x分析仪(成本增加30万元)。这些实践表明,动态控制需在算法复杂度、设备成本与运行稳定性间寻求平衡,未来需结合数字孪生技术构建更精准的预测模型。

(三) 材料与工艺的可靠性瓶颈

在环保设备长期运行中,材料与工艺可靠性面临多重挑战。在高温高湿腐蚀性环境下,脱硫塔入口烟道(160℃,含20%水蒸气)的露点腐蚀问题尤为突出。某工程通过对比镍基合金C-276内衬(寿命10年/800元/m²)、玻璃鳞片树脂涂层(寿命5年/200元/m²)和陶瓷贴片(寿命8年/500元/m²)三种方案,最终采用“耐酸钢+玻璃鳞片”复合结构,在保证经济性的前提下将年腐蚀率控制在0.1mm以下。高频振动部件的疲劳失效问题同样显著,某除尘器振打系统经模态分析发现振打杆固有频率(78Hz)与激振频率(80Hz)接近引发共振,通过采用“变幅杆+阻尼器”组合设计将振打力幅值由500N优化至350N,并增加聚氨酯缓冲垫,使疲劳寿命从6个月延长至2年,同时需同步优化振打时序避免相邻极板同步振动。针对复杂流场下的磨损问题,某项目在弯头部位采用“导流板+耐磨衬板”组合防护:设置半径0.8D的导流叶片使颗粒冲击角度从90°降至45°,结合超音速火焰喷涂(HVOF)制备的0.3mm厚WC-Co涂层(硬度1200HV),经3年运行监测显示磨损量仅0.15mm,防护效果提升80%。这些实践表明,材料选型需综合考虑环境参数、防护成本与使用寿命,工艺优化则需结合流场分析与材料改性技术,方能实现设备长期稳定运行。

三、技术突破路径与创新解决方案

(一) 三维协同集成设计方法

在环保设备安装中,采用基于BIM的三维协同设计体系可显著提升集成效率。通过TrimbleTX8三维激光扫描仪(如图1)对现场进行毫米级精度建模(点云密度达1000点/cm²),结合AutodeskRevit建立包含设备参数、管线走向、结构强度的全要素数字模型。某660MW机组改造项目中,利用Navisworks进行4D施工模拟,提前发现脱硝反应器与原有钢架的12处空间冲突,通过调整支撑结构布局减少现场返工量30%。模块化预制技术方面,将脱硫塔喷淋层划分为12个标准模块,在工厂完成管道焊接与压力测试(试验压力1.6MPa),现场吊装时间缩短至原工艺的1/4。虚拟仿真系统采用ANSYSFluent进行流场模拟,优化除尘器进口烟道导流板角度(由30°调整为22°),使烟气流速均方根偏差从18%降至9%,为工程实施提供量化依据。



图 1 三维激光扫描仪

（二）动态自适应控制策略

针对烟气参数波动问题,开发基于 LSTM 神经网络的预测控制模型。某项目通过采集 2000 组历史数据（涵盖负荷 10%-100%工况），构建 NO_x 浓度预测模型（R²=0.92），提前 15 分钟预判参数变化趋势。模糊 PID 复合控制技术在脱硫系统中的应用显示，将 pH 值控制精度从±0.3 提升至±0.1，同时减少浆液循环泵启停频率 40%。多目标优化架构采用递阶控制策略，上层优化模块以环保指标（NO_x≤50mg/m³、SO₂

≤35mg/m³）为约束，下层控制器动态调整喷氨量、液气比等操作变量。某钢铁项目实测数据表明，该策略使系统综合能耗降低 12%，氨逃逸率稳定控制在 2.5ppm 以下。

（三）先进材料与制造工艺创新

纳米涂层技术在抗腐蚀领域取得突破，某项目采用超音速等离子喷涂（SPS）制备 Al₂O₃-TiO₂ 复合涂层（厚度 200 μm，结合强度 70MPa），使脱硫塔内壁腐蚀速率从 0.3mm/a 降至 0.05mm/a。3D 打印技术用于制造复杂流道部件，如将脱硝喷枪内部螺旋导流结构由 5 个零件集成打印，流阻降低 25%，使用寿命延长 1 倍。碳纤维复合材料应用于除尘器极板轻量化改造，某项目将 1.2m×4m 的钢制极板替换为碳纤维增强环氧树脂（CFRP）材料，重量减少 60%，同时抗弯强度提升 40%，有效解决高频振动导致的焊缝开裂问题。

（四）数字化运维支撑体系

工业互联网平台采用华为云 IoT 架构，集成 500+台设备数据，通过边缘计算网关实现 SO₂ 浓度异常波动（阈值±10%）的 0.5 秒级响应。数字孪生系统基于 Unity3D 引擎构建，实时映射设备运行状态，某电厂应用中成功预测催化剂层局部堵塞（预警准确率 95%），避免非停事故 2 次/年。区块链技术用于设备全生命周期管理，将 12 类关键部件（如喷氨格栅、搅拌机）的制造数据（材质证书、探伤报告）、运维记录（检修时间、备件更换）上链存证，实现缺陷追溯响应时间从 72 小时缩短至 4 小时。某 EPC 项目通过该系统使设备质保纠纷率下降 65%。



图 2 华为云 IoT 架构方案

四、结束语

环保设备机电系统集成技术的突破，对实现“双碳”目标具有重要支撑作用。通过 BIM 数字化设计缩短安装周期 30%，动态自适应控制使污染物排放波动降低 60%，纳米涂层技术将设备寿命延长 1 倍以上，工业互联网平台减少运维成本 40%。未来需进一步深化 AI 与数字孪生技术应用，开发基于碳捕集的多能互补系统，推动环保设备向智能化、低碳化方向升级。

【参考文献】

[1]宋新玲. 脱硫脱硝环保工程中机电设备安装质量管理

研究[J].Mechanical&ElectronicControlEngineering , 2023, 5 (7) .DOI: 10.37155/2717-5197-0507-27.

[2]李发强, 侯为梅, 来凤明. 脱硫脱硝环保工程中机电设备安装质量管理研究[J]. 户外装备, 2023: 338.DOI: 10.12277/j. issn. 1673-9434. 2020. 12. 323.

[3]张良. 机电工程施工中的节能环保技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024 (002): 000.

[4]宋文建. 基于脱硫脱硝环保工程中机电设备安装质量管理研究[J]. 2023 (16): 145-147