

柳钢转炉三次除尘系统改造实践

Practice of Third Dust Removal System of Converter in Liusteel

供稿|钟威, 钟楚阳, 胡艳君, 廖勇, 蓝恩洪 / ZHONG Wei, ZHONG Chuyang, HU Yanjun, LIAO Yong, LAN Enhong

内容导读

柳钢转炉三次除尘系统改造项目为柳钢超低排放改造重点建设工程,是柳钢转型升级、高质量发展、打造绿色柳钢、助力打赢蓝天保卫战的重要举措。该项目应用了预荷电除尘技术、远程自动控制技术、清灰系统智能脉冲在线清灰技术等众多智能化治理技术,提升了环境治理技术和装备的智能化水平,为提高净化效率和设备稳定性、降低人工和设备维护成本提供了基础保障。本文对此次改造情况、技术应用和实施效果进行了介绍。

为践行习近平新时代中国特色社会主义思想、贯彻落实五部委联合下发的《关于推进实施钢铁行业超低排放改造的意见》及广西壮族自治区生态环境厅超低排放改造要求,柳钢在完成转炉一次烟气除尘、二次烟气除尘系统配套建设的基础上,于2020年开展了三次除尘系统改造建设,针对生产过程中兑铁水、加废钢、吹炼及转炉炉子高跨屋顶、连铸大包回转台、钢包热修等工序中产生的各类烟气进行统一收集净化,确保厂房屋外无烟气外逸泄漏,实现转炉生产全过程的超低排放目标。该项目总投资9600万元,于2020年5月开工建设,2021年11月全部投运。该项目应用了预荷电除尘、智能脉冲在线清灰、智能故障处理、远程监控、在线监测、在线故障分析等先进工艺和技术,净化后外排烟气颗粒物浓度低于 10 mg/m^3 。项目的投用,有效解决了转炉3个区冶炼生产过程中粉尘污染问题,提前实现超低排放。

系统改造范围

据柳州钢铁股份有限公司《关于2020年项目实施计划公告》,此次改造范围包括转炉一区建设1套三次除尘系统,总风量 $1.80\times 10^6\text{ m}^3/\text{h}$,转炉二区建设1套三次除尘系统,总风量 $1.55\times 10^6\text{ m}^3/\text{h}$,转炉三区建设1套三次除尘系统,总风量 $1.55\times 10^6\text{ m}^3/\text{h}$,系统包含除尘管道、阀门、捕集罩、除尘风机、除尘器、烟囱及配套土建、电气、控制设备;改造还包括转炉加料跨、转炉高跨、连铸跨厂房屋面加固及管道布设,钢包热修、中包倾翻、连铸回转台各除尘点优化工程。

系统设计

指导思想:坚持因地制宜,合理规划布局,功能界线清晰,上下工序紧凑顺畅;既要使规划的红线范围得到有效利用,同时还要考虑节省投资费用,减少非功能性费用。

充分考虑生产工艺特点与生产节奏,做好生产组织协同,优化设计智能联锁与智能联动,既要保证外溢烟气得到有效收集与净化,又不能影响正常生产运行,尽力为生产岗位创造良好的工作环境。

坚持工艺先进、技术成熟、运行可靠原则,优先采用技术先进,高效、节能、可靠的烟气净化设备,系统设计合理,管道布局科学,优先采用自动化程度高、装备水平智能化集成高、质量好、性能稳定、运行可靠的设备,降低运维成本,实现超低排放。

除尘系统收集的粉尘经收集、储存、运输后得到有效利用,不对环境产生二次污染。炉前、炉后二次除尘系统无法捕集的三次烟气经过加料跨屋顶捕集罩、转炉跨屋顶捕集罩进入除尘管道,经除尘管道进入除尘器进行净化处理,净化后的气体通过风机和消声器,经排烟气囱排入大气^[1]。外排烟气中颗粒物排放质量浓度 $<10\text{ mg/m}^3$;除尘器捕集下来的粉尘通过刮板机输送并储存于储灰仓内,定期用卸灰车或吸排罐车运出。

工艺流程:除尘罩→支管→电动阀门→除尘总管→除尘器→风机→消声器→烟囱。

主要技术指标

- 1) 外排废气颗粒物质量浓度: $<10\text{ mg/m}^3$ (钢铁企业超低排放指标中炼钢工序颗粒物限值为 10 mg/m^3);
- 2) 除尘器运行阻力: $<900\text{ Pa}$;
- 3) 本体漏风率: $<2\%$;
- 4) 厂房顶无可见的烟气外溢。

除尘点位布设及风量分配

点位布设

转炉3个区分布于柳钢中部、西部、北部,面广点散,经过测算,3个区除尘点位共40个,其中一区除尘点16个(包括加料跨3个、高低跨3个、钢包热修3个、连铸大包5个、中包翻包2个)、二区除尘点14个(包括加料跨3个、高低跨3个、钢包热修3个、连铸大包5个)、三区除尘点10个(包括加料跨2个、高低跨2个、钢包热修2个、连铸大包2个、中包翻包2个)。具体点位分布示意图见图1。

风量分配

加料跨除尘点主要收集转炉兑铁水和加废钢时外逸产生的烟气,为主要收集点,每个点按 $45\times 10^4\sim 55\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ 设计(因二区炉子最早投用,密封性不好、二次除尘捕集差,外溢烟气量大,按上限设计);炉子高低跨、钢包热修连铸大包等主要收集转炉炉子高跨屋顶烟气、钢包热修和边铸大包烟气,属于非连续性零散烟气,每个点按 $10\times 10^4\sim 15\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ 设计;中间翻包阵发性烟气,瞬间烟气量较大,每个点按 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ 设计(注:二区无中包翻包作业)。具体数据见表1。

系统关键技术

预荷电除尘技术

本项目选用3台直通式预荷电袋滤除尘器,每个区配置一台,采用双通道设计。预荷电袋式除尘器是一种新型、高效除尘器,属中钢天澄自主研发的核心技术——PM2.5预荷电微细粒子控制技术及装备,在高压电场的作用下,前级预荷电系统释放电荷,使气体中的粉尘颗粒充分荷电,在电场作用下完成粉尘颗粒的运动与吸附^[2]。与传统净化技术相比,预荷电技术使烟气中的颗粒物带上电荷,提高颗粒物运行方向的一致性,大量细微颗粒在电荷作用下聚集成团并逐渐长大,在同样的过滤风速和过滤孔径下能有效地被滤袋拦截捕集。使用该技术的除尘设施,具有除尘效率高、系统阻力低、节能效果显著、运行成本低等特点。

远程自动控制技术

选用西门子CPU(中央处理器),S7-1500系列产品,采用PLC(可编程控制器)+上位机一级PLC控制,控制方式包括机旁控制、远程手动控制和远程自动控制3种方式,机旁手动控制和PLC控制完全分开,互不影响。系统具有监视、指示、报警、联锁及控制功能^[3]。

各除尘系统主风机均设有风机前后轴承温度及振动检测系统、风机配振动在线监控系统,实现电动机轴承温度、定子绕组温度及风机冷却系统油位、油压、油温检测,并与电动机连锁,当轴承温度或振动达到上限或冷却系统油位、油压达到下限

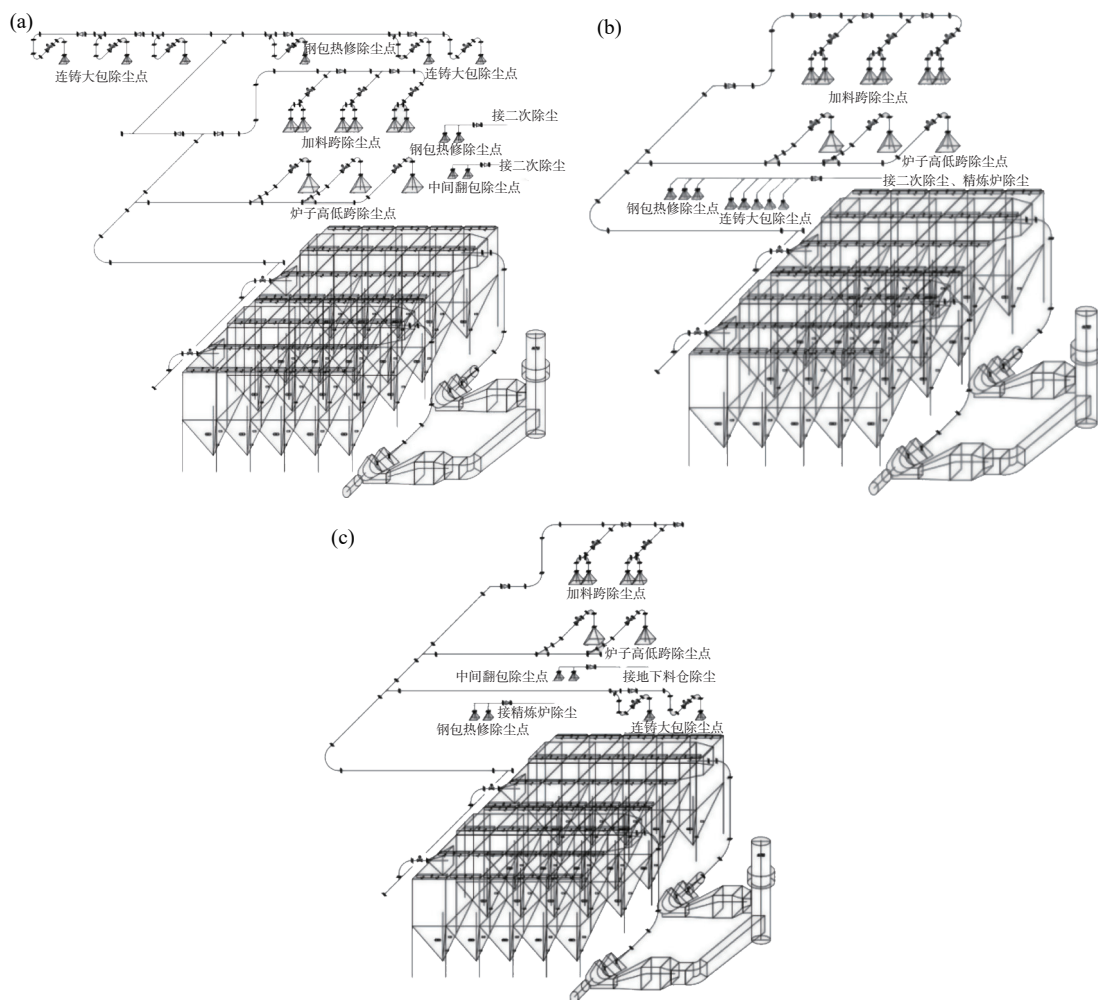


图 1 点位分布图: (a) 一区; (b) 二区; (c) 三区

时,电动机停机,以保证风机机组安全运行。

各除尘点位分别设置电动蝶阀，各电动蝶阀可在除尘点所在现场操作室和除尘值班室远程监控和操作，根据生产工艺需求进行风量切换，除尘阀的开关与除尘点生产状态或设备运行状态联锁，各点阀门开启状态与风机变频器控制连锁调节风机转速（如在转炉冶炼或出钢时低频运行），以实现节能。

每个脉冲阀动作、输灰拉链机运行、反吹的气压、灰斗卸灰阀的动作以及除尘器混风阀、烟气压力实现远程监控和操作。除尘器灰斗料位上限、贮灰仓料位上限及贮气罐压缩空气出口压力测量结果实现实时显示和报警提醒。

PM2.5 超细面层梯度滤料技术

系统选用 PM2.5 超细纤维面层梯度滤料超细滤料（单位面积质量 $\geq 550 \text{ g/m}^2$ ），该滤料是为适应超

低排放标准要求而开发的一种新型滤料^[4],采用多层压膜工艺制作,纤维面层采用多种不同粗细纤维度规格的涤纶纤维组成;基布采用高强低伸型涤纶长丝基布。此滤袋结构由迎尘面纤维层 0.08 和 0.13 mg/m 的 2 种超细涤纶纤维按照一定比例混合组成,底面纤维层由规格型号 0.15 和 0.20 mg/m 的 2 种涤纶纤维按照一定比例组成,制成针刺毡后再经多功能乳液浸渍热定型整理,最后压光成毡。该滤料采用纤维度/密度分组组合的梯度结构,迎尘面层质地密实,而洁净纤维层为较之疏松的非对称差异化结构。滤料孔径更加细小,过滤精度大幅提升,在智能清灰系统中能使滤袋上始终保留一定厚度的粉饼,并形成一次粉尘层,使过滤精度与透气量达到了一个较好的平衡,滤袋的阻力变小内外压差变小,有效提升了烟气中颗粒物的捕集效率、降低了系统运行阻

表1 转炉3个区除尘点风量分配

区域	除尘点位置	除尘点数	同时工作点数	风量分配/(10 ⁴ m ³ /h)	备注
一区	加料跨	3	2	45×2=90	每个点按45×10 ⁴ m ³ /h设计, 同时工作点2个
	炉子高低跨	3	3	15×3=45	每个点按15×10 ⁴ m ³ /h设计
	钢包热修	3	1	15×1=15	每个点按15×10 ⁴ m ³ /h设计, 另2个除尘点就近接入二次除尘系统
	连铸大包	5	3	10×3=30	每个点按10×10 ⁴ m ³ /h设计
	中包翻包	2	2		每个点按20×10 ⁴ m ³ /h设计, 就近接入二次除尘系统
二区	加料跨	3	2	55×2=110	每个点按55×10 ⁴ m ³ /h设计, 同时工作点2个
	炉子高低跨	3	3	15×3=45	每个点按15×10 ⁴ m ³ /h设计
	钢包热修	3	1		每个点按15×10 ⁴ m ³ /h设计, 就近接入二次除尘和精炼除尘系统
	连铸大包	5	3		每个点按10×10 ⁴ m ³ /h设计, 就近接入精炼除尘系统
三区	加料跨	2	2	45×2=90	每个点按45×10 ⁴ m ³ /h设计
	炉子高低跨	2	2	15×2=30	每个点按15×10 ⁴ m ³ /h设计
	钢包热修	2	1	15×1=15	每个点按15×10 ⁴ m ³ /h设计, 另1个除尘点就近接入精炼除尘系统
	连铸大包	2	2	10×2=20	每个点按10×10 ⁴ m ³ /h设计
	中包翻包	2	2		每个点按20×10 ⁴ m ³ /h设计, 就近接入地下料仓除尘系统

力。与常规滤料相比, 过滤孔径更小, 过滤精度提高、净化效果更好, 大量细微颗粒被滤袋有效拦截捕集, 净化后外排烟气中颗粒物质量浓度达到 10 mg/m³ 以下, PM2.5 微细粒子捕集能力提高 15% 以上; 而结合预荷电技术的使用, 吸附在滤袋壁上的荷电颗粒物又会形成一层天然的过滤层, 不但提高了烟气净化效率, 同时也降低了滤袋滤孔堵塞的概率, 滤袋透风量进一步增大、系统阻力进一步降低 (阻力下降近 50%), 滤袋磨损更小, 使用寿命更长, 一般能达到 3 a 以上。

清灰系统智能脉冲在线清灰技术

除尘系统运行状况是否稳定、高效, 其中清灰系统是关键。本项目清灰控制系统采用在线清灰方式, 使用世界先进的智能脉冲阀体系^[5], 每个阀内传感模块实时感知自身工作状态, 通过现场数据采集、无线传输、远程数据解析、结果反馈, 达到故障智能预警、诊断等功能。具有清灰效率高、远程终端反馈、手机 App 监控、在线故障分析、智能故障处理等优势。可以实现带压差控制清灰、带定时控制清灰、带手动控制清灰、带单阀控制清灰; 能根据各仓室负荷自动选择所需的清灰强度、频次, 实现顺序喷吹、组合喷吹、随机喷吹、自动喷吹、单箱体重复清灰等功能; 控制系统可自动检测线路问题, 及时实现线路短路及开路的检测及保护功

能, 当发生故障时, 能自动对该阀门故障点进行报警并对该故障阀门自动跳转/剔除, 保证其他阀门继续正常运行; 对阀门膜片破损、线圈短路、阀门漏气等问题实施自动报警及跳转/剔除功能; 具有漏(破)袋辅助检测功能等。配合智能故障处理技术, 实现远程自动控制。

相对普通电磁脉冲阀, 智能电磁脉冲阀具有以下几个显著优点^[6]:

- (1) 及时查询: 随时随地可通过电脑或手机 App 查看电磁脉冲阀运行状况;
- (2) 实时监控: 全天候 24 h 连续监测, 能及时发现存在的故障和隐患, 并预警;
- (3) 精准定位: 可在手机上查看每个阀的工作状态, 故障点精确定位, 便于维修;
- (4) 智能分析: 对反馈的数据进行智能分析, 并给出故障原因及解决方案。

智能故障处理技术

本系统应用多项智能技术, 能快速便捷发现问题、处置问题。系统各关键点位、设备均配置了智能检测设备及检测仪表, 如风机、电动执行机构现场端子箱配备远传接口; 风机入口调节阀的调节及所有测点均纳入到除尘器 PLC; 每个灰斗均配仓壁振打器、空气炮清堵装置, 除灰尘储灰仓设置有高、低料位计等。该系统也能实现除尘器进出口压

力、压差，反吹气源压力，输灰卸灰风机转速、电流、振动、轴承温度等数据的记录和保存，其相关设备的异常报警、故障停机也得到记录。

颗粒物排放连续监测系统技术

除尘器进、出口分别安装了颗粒物排放连续监测系统，对净化后外排烟气中的颗粒物排放浓度、排放量进行连续监测，监测数据与管理平台、生产监控系统深度融合，实现监测数据与生产作业的互联互通共享、实现生产与排放的协同一致。

变频调速节能技术

风机采用变频调速，变频器与各电动阀门连锁控制，根据生产工艺需求自动或远程进行风量切换、除尘阀的开关以及除尘点生产状态或设备运行状态连锁，各点阀门开启状态与风机变频器控制连

锁调节风机转速（如在转炉冶炼或出钢时低频运行），可实现系统节能，年节约用电成本约 480 万元（系统采用变频调速节能技术可年节电 800 万 kW·h，按 0.6 元/kW·h 计）。

实施效果跟踪

该项目实施前，转炉烟气净化仅配备了一次除尘和二次除尘，冶炼过程常有阵发性烟气外溢造成厂房顶冒烟污染，严重破坏厂区整体环境。

而三次除尘系统建成投用，使转炉工序配备完整的烟气净化系统，烟气捕集净化实现全过程全覆盖全达标。自 2021 年 11 月投运至今，设备运行稳定、系统净化高效，在线监测结果显示，净化后外排废气颗粒物浓度满足超低排放标准要求。监测结果汇总见表 2 和表 3。

表 2 转炉三次除尘系统监测结果

日期	外排废弃颗粒物质量浓度/(mg/m ³)			本体漏风率/%			除尘器运行阻力/Pa			厂房顶可见烟气外溢情况		
	一区	二区	三区	一区	二区	三区	一区	二区	三区	一区	二区	三区
2021-12	8	6	7				812	852	839			
2022-01	7	6	7				836	830	633			
2022-02	8	6	6				908	776	567			
2022-03	8	7	7		1.5		896	746	801		无	
2022-04	8	6	6				834	845	611			
2022-05	9	7	7				825	703	607			
标准		<10			<2			<900			无	
达成情况	达成	达成	达成	达成	达成	达成	达成	达成	达成	达成	达成	达成

注：1.数据来源为颗粒物排放连续监测系统及PLC控制系统，取月均值；2.2022年2月一区除尘器运行阻力超过设计标准，主要原因是除尘系统有2个抽风点阀门联动出问题未能及时打开导致系统阻力增高，修复后恢复正常。

表 3 转炉三次除尘系统投用前后颗粒物无组织排放监测对比

项目	时间	颗粒物平均质量浓度/(mg/m ³)		
		一区	二区	三区
投用前	2021年1—10月	7	11	6
投用后	2022年1—5月	3	5	4

结束语

该项目投用后，外排废气中颗粒物质量浓度达到 10 mg/m³ 以下，生产过程间歇性外溢烟气得到有效收集和净化，各系统运行稳定、高效，设备运行阻力低，节能效果显著，每年节省用电成本约 480 万元。该项目作为柳钢超低排放改造重点建设工程，是柳钢转型升级、高质量发展、打造绿色柳

钢、助力打赢蓝天保卫战的重要举措。该改造工程任务量之大、工期时间要求之紧、不停产交叉作业难度之高、施工环境及气象条件之复杂，在柳钢历次环保改造项目中堪称之最。而预荷电除尘技术、远程自动控制技术、清灰系统智能脉冲在线清灰技术、智能故障处理技术等众多智能化治理技术的应用，进一步提升了环境治理技术和装备的智能化水平，为提高净化效率、提高设备稳定性、降低人工成本、降低设备维护成本提供了基础保障。

参考文献

- [1] 李玮, 韩章. 150 t LF 炉烟尘治理问题的探讨. 冶金丛刊, 2015(2): 1

- [2] 王胜平, 陈鹏. 电除尘器和布袋除尘器的综合比较. 科技创新与应用, 2013(23): 54
- [3] 申春武, 杨春, 周芸. 球团烟气氨法脱硫控制系统及仪表检测. 金属世界, 2016(5): 61
- [4] 杨东, 朱朋飞, 刘江峰, 等. 新型超细梯度结构滤料的性能研究及应用. 化纤与纺织技术, 2015, 44(4): 17
- [5] 王宏伟, 李宝岐. 筛焦除尘系统脉冲控制的改造. 金属世界, 2013(3): 65
- [6] 陆亚萍. 智能电磁脉冲阀替代人工巡检袋式除尘系统. 中国环保

产业, 2019(3): 46

作者简介: 钟威 (1970—), 男, 高级工程师, 1993年毕业于湖北黄石高等专科学校环境监测与管理专业, 主要研究方向: 环境治理、环境管理体系、环境风险与应急处置。通信地址: 广西柳州市北雀路117号柳州钢铁股份有限公司科技中心, 邮政编码: 545001; E-mail: 13633082985@139.com。