

# 轧钢加热炉超低排放改造实践

孙海龙, 施永强, 杨宗桥, 郭瑞兵

(内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁厂, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:** 文章以轧钢厂常规步进式加热炉超低排放改造为实例, 通过对比当前冶金行业常用的活性炭脱硫技术、SDS 钠基脱硫技术、钙基固定床脱硫技术和高活性钙粉干法脱硫技术, 选取适合轧钢厂常规步进式加热炉的脱硫、脱硝技术, 提出加热炉烟气处理采用低氮燃烧 + 钙基固定床脱硫的组合工艺。现场实施后烟气氮氧化物、二氧化硫及颗粒物均满足超低排放要求, 此组合工艺可为同行业企业提供借鉴。

**关键词:** 加热炉; 超低排放; 低氮燃烧; 固定床脱硫

中图分类号: TG307

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)01-0087-04

## Practices on Ultra-low Emission Transformation of Steel Rolling Heating Furnace

Sun Hai-long, Shi Yong-qiang, Yang Zong-qiao, Guo Rui-bing

(Rail and Beam Rolling Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this paper, the combined process of low-nitrogen combustion + calcium-based desulfuration with fixed bed is proposed for flue gas treatment of heating furnace through comparing current common desulfuration technology with active carbon, SDS sodium-based desulfuration technology, calcium-based desulfuration technology with fixed bed and dry desulfuration technology with highly active calcium powder in metallurgical industry as well as selecting the desulfuration and denitrification technologies suitable for conventional walking beam reheating furnace of steel rolling mill by taking the ultra-low emission transformation for conventional walking beam reheating furnace of steel rolling mill as an example. After on-site implementation, the nitrogen oxides, sulfur dioxide and particulate matter in flue gas could all meet the ultra-low emission requirements so that the combined process could provide reference for enterprises in the same industry.

**Key words:** heating furnace; ultra-low emission; low-nitrogen combustion; desulfuration with fixed bed

随着国民环保意识的提高, 消费者对绿色产品的需求越来越大, 钢铁产业需要加强环保投入, 向绿色钢铁产业推进, 以满足市场需求。因此, 超低排放改造是这个大环境下的政策要求, 也是钢铁企业

生存的必然选择。

### 1 现状分析

根据环大气[2019]35号《关于推进实施钢铁行

业超低排放的意见》以及《超低排放改造专项规划》要求,加热炉排放污染源颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度小时均值原则上分别不高于  $10 \text{ mg/m}^3$ 、 $50 \text{ mg/m}^3$ 、 $200 \text{ mg/m}^3$ ,达到超低排放的钢铁企业每月至少 95% 以上时段小时均值排放浓度满足上述要求。

某钢厂加热炉为常规步进式加热炉,加热炉燃烧方式采用炉顶平焰烧嘴配套炉墙调焰烧嘴的形式,三段供热,采用空气预热和余热锅炉回收蒸气的

运行方式。燃料为高焦混合煤气,标况下热值为  $10\,046 \text{ kJ/m}^3$ ,该加热炉烟气流量为  $123\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ ,排烟温度为  $240 \sim 320 \text{ }^\circ\text{C}$ ,冷装设计产量为  $200 \text{ t/h}$ 。

目前该加热炉设备老化,加热炉烟气中氮氧化物、二氧化硫及颗粒物都超出排放要求,而且原设计没有脱硫、脱硝工艺,因此现行情况下该加热炉不具备调整烟气中氮氧化物、二氧化硫及颗粒物的功能,导致氮氧化物、二氧化硫及颗粒物长时间处于超标状态。该加热炉环保检测数据见表 1。

表 1 加热炉环保指标在线检测数据

污染物	超低排放指标/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	平均值/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	最大值/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	超标率/%
颗粒物	10	12.6	29	13.40
SO <sub>2</sub>	50	153	288	99.86
NO <sub>x</sub>	200	211	436	61.76

由表 1 可知,该加热炉氮氧化物超标率为 61.76%,二氧化硫超标率为 99.86%,颗粒物超标率为 13.40%。目前该加热炉排放的烟气不满足超低排放要求,需研究适合该加热炉烟气处理的工艺,降低加热炉烟气中氮氧化物、二氧化硫及颗粒物的排放浓度,以满足环大气[2019]35 号文件中超低排放要求。

## 2 加热炉超低排放处理工艺选择

### 2.1 氮氧化物的脱除工艺选择

鉴于氮氧化物的产生机理,目前国内脱硝技术主要有低氮燃烧技术、选择性催化还原技术(SCR)和选择性非催化还原脱硝技术(SNCR),三项技术对比见表 2。

表 2 脱硝工艺技术对比

脱硝方法	性质	适用温度/ $^\circ\text{C}$	氮氧化物脱除率/%	特点	投资
SCR	烟气治理	150 ~ 450	> 90	需增加脱硝设备、换热器、氨水设备、催化剂	一次投资高,后期需人工定期运维
SNCR	烟气治理	850 ~ 1 100	> 50	需增加脱硝设备、换热器	一次投资高,后期需人工定期运维
低氮燃烧技术	源头治理	对温度无要求	> 90	更换低氮环保烧嘴,不需要新增设备	投资小,无需增加运维

经过研究分析,对比表 2 中三种脱硝技术优缺点,确定加热炉脱硝工艺优先选择低氮燃烧技术。具体措施是采用 ULF 型长火焰低氮调焰烧嘴,该烧嘴属于低氮环保型烧嘴中的一种,采用二级燃烧方式,充分利用空气分级、炉内卷吸烟气流的稀释作用,降低火焰中心温度,可以有效抑制氮氧化物的生成<sup>[1]</sup>。该项技术技术成熟,脱硝效率高,能完全达到超低排放指标要求,且适合现场实际环境条件,投资费用低,不新增用地,更重要的是该项技术是从源

头治理氮氧化物的产生。

### 2.2 脱硫工艺选择

#### 2.2.1 烟气中硫的来源

烟气中二氧化硫主要来自于高炉煤气中含硫物质的燃烧,煤气中无机硫浓度通常小于  $20 \text{ mg/m}^3$ ,有机硫浓度较高,为  $80 \sim 300 \text{ mg/m}^3$ ,有机硫占煤气总硫含量的 70% 以上,是造成高炉煤气燃烧烟气中的二氧化硫浓度超标的主要原因。

鉴于煤气硫化物脱除效率低,投资高,后期运维

复杂,而燃烧后的烟气脱硫技术成熟,脱硫效率高,投资和运行费用适中,因此目前的加热炉脱硫选择末端治理的烟气脱硫技术。

### 2.2.2 烟气脱硫技术

目前成熟的烟气脱硫技术有十几种,主要分为湿法、半干法和干法等,目前国内加热炉脱硫均不采用湿法或半干法脱硫技术,而是从干法脱硫技术中

选取。轧钢加热炉烟气量小,现场用地紧张,考虑选择活性炭脱硫技术、SDS 钠基脱硫技术、钙基固定床脱硫技术和高活性钙粉干法脱硫技术。

加热炉脱硫工艺的选择主要是从脱硫效率、操作难度、基建成本、运行成本、脱硫产物处理难度等方面考虑。各项烟气脱硫技术优缺点对比见表 3。

表 3 脱硫技术优缺点对比

项目	活性炭脱硫	SDS 钠基脱硫	钙基固定床脱硫	高活性钙粉干法脱硫
建设成本	较高,系统及设备复杂	较低	较高,主要是装填量大、单价高	最低
运行成本	较高	最低	较高	较低
复杂程度	最复杂,适用于烟气温度 $\leq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,否则易超温烧塔,热解析、 $\text{SO}_2$ 回收单元复杂	系统相对简单,运转设备较多	系统最简单,一次装填量大,无运转设备	系统简单
二次污染	无	形成钠基固废,难处理	一般固废,钙基废料容易处理	一般固废,钙基废料容易处理
温度条件	对温度敏感,要求降温至 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,且 CO 高,有自燃的风险	对低温敏感,要求 $\geq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。	无温度限制	无温度限制
劳动定员	少量定员	少量定员,每天加料	简单,无人值守,换料周期约 6 个月	简单,无人值守,7~15 天加一次料
能耗	电耗高,煤气消耗高	电耗高,消耗压缩空气	电耗低	粉体输送耗电、压缩空气
操作难易	最难,生产控制要求高,易超温烧塔,涉及化工操作	系统复杂,有磨机维修、布袋更换等	容易,定期更换脱硫剂,无维护	定期加粉体,布袋更换困难
优点	脱硫效率高,适应性强, $\text{SO}_2$ 资源可回收,无三废	脱硫效率高, $\text{SO}_2$ 、粉尘零排放,调节性好	无人值守,副产品易处置	脱硫效率较高,钙基固废易于处置
缺点	投资和运行成本高,操作要求高,适用于高硫含量、大烟气量	需增加定员,钠基脱硫副产品不易处置	装填量大、单价高,运行成本最高,低温烟气易析水板结	脱硫剂利用率偏低,消耗量最高

由表 3 可见,钙基固定床干法脱硫技术脱硫效率高,脱硫产物为非危废产物,易处理;脱硫剂对烟气温度要求低,不需要增加控制烟气温度的设备;设备投运后不需要增加专职操作人员;无特种设备,系统简单,能耗低,设备占地小。因此本次加热炉改造选用钙基固定床干法脱硫工艺。

由表 1 可知,该加热炉改造前颗粒物排放值较低,略超限值,本次选用的固定床脱硫工艺中,粒状脱硫剂具有除尘功能。在颗粒层厚度一定、流速一定的条件下,固定床中粒状脱硫剂的除尘效率可达到 90% 以上<sup>[2]</sup>。因此,钙基固定床干法脱硫工艺具

有一定的脱除颗粒物的效果,烟气经钙基固定床处理后,颗粒物应能满足超低排放的要求。

综上分析,该加热炉超低排放改造选用低氮燃烧+钙基固定床脱硫的方案降低烟气中氮氧化物、二氧化硫和颗粒物浓度。

## 3 超低排放改造后运行效果

该加热炉超低排放改造实施后,在连续生产一个月、生产负荷达到 90% 的条件下,与该加热炉超低排放改造前同工况下的各项排放指标对比情况见表 4。

表4 加热炉改造前、后排放指标对比

mg/m<sup>3</sup>

时间	改造前 NO <sub>x</sub>	改造后 NO <sub>x</sub>	改造前 SO <sub>2</sub>	改造后 SO <sub>2</sub>	改造前颗粒物	改造后颗粒物
1日	155	45	76	2	12	2
2日	228	46	70	1	8	1
3日	168	50	87	1	10	1
4日	192	47	85	3	13	3
5日	265	57	69	2	18	2
6日	199	49	71	2	9	2
7日	215	62	67	1	7	1
8日	223	49	67	1	19	1
9日	219	78	72	1	26	1
10日	237	107	109	1	16	1
11日	218	64	88	2	11	2
12日	286	49	54	3	10	3
13日	315	49	58	3	8	3
14日	337	49	48	4	8	4
15日	330	51	53	3	6	3
16日	287	63	57	2	22	2
17日	371	52	47	4	29	4
18日	238	53	55	3	16	3
19日	101	49	96	3	16	3
20日	208	61	50	2	13	2
21日	152	57	77	3	13	3
22日	122	55	99	5	16	5
23日	79	62	179	4	18	4
24日	142	77	110	3	14	3
25日	143	60	88	3	15	3
26日	129	53	85	3	13	3
27日	79	46	90	3	11	3
28日	68	51	106	4	10	4
29日	105	50	88	3	13	3
30日	196	45	69	5	11	5

由表4可知,加热炉超低排放改造后各项排放指标明显降低,氮氧化物排放平均值由改造前的200 mg/m<sup>3</sup>降低到56 mg/m<sup>3</sup>;二氧化硫排放平均值由改造前的79 mg/m<sup>3</sup>降低到2.7 mg/m<sup>3</sup>;颗粒物排放平均值由改造前的13.7 mg/m<sup>3</sup>降低到2.7 mg/m<sup>3</sup>,完全符合超低排放要求。

## 4 结论

(1)通过对比目前常用的脱硫、脱硝技术,结合常规步进式加热炉结构特点,脱硝选用低氮燃烧技术,脱硫和脱除颗粒物选用钙基固定床脱硫技术,采用低氮燃烧+钙基固定床脱硫的方案降低烟气中氮氧化物、二氧化硫和颗粒物排放浓度。超低排放改造后系统运行稳定,排放达标,可为钢铁企业同类加

热炉改造提供借鉴。

(2)该加热炉超低排放改造后,氮氧化物排放数据为45~107 mg/m<sup>3</sup>之间,硫化物排放数据为1~5 mg/m<sup>3</sup>之间,颗粒物排放数据为1~5 mg/m<sup>3</sup>之间,满足超低排放要求。

## 参 考 文 献

- [1] 陈迪安,江波,刘学民,等.一种多流股分级燃烧长火焰超低NO<sub>x</sub>调焰烧嘴:20221150599.3 [P].2022-05-14.
- [2] 杨全,黄学敏,舒麒麟.固定床中粒状脱硫剂除尘效率的研究[J].环境污染与防治,2011,33(9):11-14,37.