在烧结烟气湿法脱硫后应用中低温脱硝技术

周小纳,贺 帅,田晓棠

(包钢集团节能环保科技产业有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要:文章研究了中低温脱硝技术在烧结烟气湿法脱硫后的应用,以某钢铁厂湿法脱硫后烟气为对象开展中试试验。选用 20 孔改性钒基蜂窝式催化剂,在 230 ~ 240 ℃时,出口 NOx 均值达到 35 mg/m^3,满足超低排放要求。稳定运行 3 个月后,催化剂活性没有呈现下降趋势,系统压差稳定,无堵塞情况。经估算,与中高温 SCR 相比,可降低高炉煤气消耗量约 30%,验证了其可行性。

关键词:烧结烟气;湿法脱硫;SCR 脱硝;中低温催化剂

中图分类号:TF704.3 **文献标识码**:B **文章编号**:1009 - 5438(2025)06 - 0015 - 04

Application of Medium and Low Temperature Denitration Technology after Wet Desulfurization of Ore Sintering Flue Gas

Zhou Xiaona, *He Shuai*, *Tian Xiaotang*

(*Baotou Steel Group Energy Saving and Environmental Protection Technology Industry Co., Ltd.*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region*, *China*)

Abstract: In this paper, the application of medium and low temperature denitration technology after wet desulfurization of ore sintering flue gas is studied with the pilot test by taking the flue gas after wet desulfurization in an iron and steel plant as the object of study. The 20 - hole modified vanadium - based honeycomb - type catalyst is selected, average value of NOx at outlet at 230 ~ 240 ℃ is 35 mg/m^3, which could meet the requirements of ultra low emissions. After 3 months of stable operations, there is no downtrend for catalyst activity, pressure differential of system is stable and there is no blockage. Compared with the medium and high temperature selective catalytic reduction (SCR) by estimation, the consumption of blast furnace gas could be reduced by about 30%, which verifies its feasibility.

Key words: ore sintering flue gas; wet desulfurization; SCR denitration; medium and low temperature catalyst

烧结工序是钢铁冶炼过程中的重要环节,烧结烟气具有成分复杂、污染物浓度高、波动性大、处理难度大的特点。烧结烟气治理应用最为广泛的工艺路线为“半干法脱硫 + 选择性催化还原(SCR)脱硝工艺”,半干法脱硫能有效地去除二氧化硫,同时去除烟气中的三氧化硫,且设备投资和运行成本相对适中,SCR(选择性催化还原)脱硝技术脱硝效率高,可将氮氧化物还原为无害的氮气和水[1]。对于含二氧化硫浓度较高的烟气(SO_2 浓度大于 3 500 mg/m^3),湿法脱硫工艺是较好的选择。“湿法脱硫 + 中高温 SCR 脱硝技术”可以实现较高的脱硫脱硝效果,但存在设备腐蚀严重、运行成本较高等问题。因此在

收稿日期:2025 - 07 - 15

作者简介:周小纳(1987 -),女,内蒙古包头市人,工程师,现从事节能环保相关工作。

烧结烟气湿法脱硫后应用中低温脱硝技术具有重要意义。

本文以湿法脱硫后烧结烟气为研究对象，开展“湿法脱硫+中低温SCR脱硝”协同脱硫脱硝技术在烧结烟气治理中的应用研究[2]，探讨中低温脱硝技术在烧结烟气湿法脱硫后应用的可行性。

1 湿法脱硫后的烧结烟气特点

1.1 含水率高

湿法脱硫后烟气含水率15%～20%，若再加热不充分，易在SCR反应器内结露，导致催化剂受潮粉化，影响催化剂使用寿命。烟气中残留的烟尘在水分的作用下，更易黏附、沉积在催化剂表面及孔道内，导致催化剂孔道堵塞，活性降低，影响SCR系统正常运行。

1.2 温度低

原烧结烟气温度通常为120～180 ℃，经过湿法脱硫后，因水分蒸发吸热，温度会降至50～60 ℃，属于低温烟气，远低于SCR脱硝催化剂的活性温度。

1.3 成分变化

烧结烟气经湿法脱硫后，SO_2浓度大幅下降，残留部分SO_2（不大于35 mg/m^3），在SCR催化剂（尤其是钒基催化剂）的催化作用下，SO_2会被氧化为SO_3，SO_3会与未完全反应的NH_3及烟气中的水蒸气结合形成NH_4HSO_4。当温度在150～200 ℃时，NH_4HSO_4处于熔融状态，黏性最强，在堵塞下游设备的同时会引起催化剂中毒。

综上所述，中低温脱硝技术直接应用在湿法脱硫后的烧结烟气治理存在一定风险。为避免烟气中残留烟尘对催化剂造成的堵塞风险，可在SCR脱硝系统前端增加湿式电除尘器精细除尘，将粉尘降至3 mg/m^{3}以下。同时优化催化剂结构，增大孔径，增强催化剂的抗堵能力。采用“组合除雾器+烟气冷凝器+烟道除雾器”三级除湿技术，将烟气中含水量降至15%以下，并选用抗硫，抗水性较好的中低温催化剂，有效避免烟气含水率高带来的风险。

2 试验内容

2.1 试验背景

某钢铁厂现有500 m^{2}烧结机一台，烟气量约1 700 000 m^3/h，入口SO_2浓度为4 000～6 000 mg/m^3，NOx浓度为300～500 mg/m^3，烟气治理采用“湿法脱硫（石灰石－石膏法）+中高温（280～320 ℃）SCR脱硝”工艺。出口SO_2浓度不大于35 mg/m^3，NOx浓度不大于50 mg/m^3，颗粒物不大于10 mg/m^3，满足超低排放要求。由于湿法脱硫后烟气温度为50～60 ℃，需要经过补热，将烟气温度提高到300～320 ℃，进行喷氨脱硝，因此该项目每月用于提升烟气温度所消耗的高炉煤气量约1 738万m^3，运行成本约220万元。为降低SCR脱硝系统的运行成本，开展中低温脱硝技术在烧结烟气湿法脱硫后的应用试验[3]。该钢厂脱硫脱硝工艺流程图见图1。

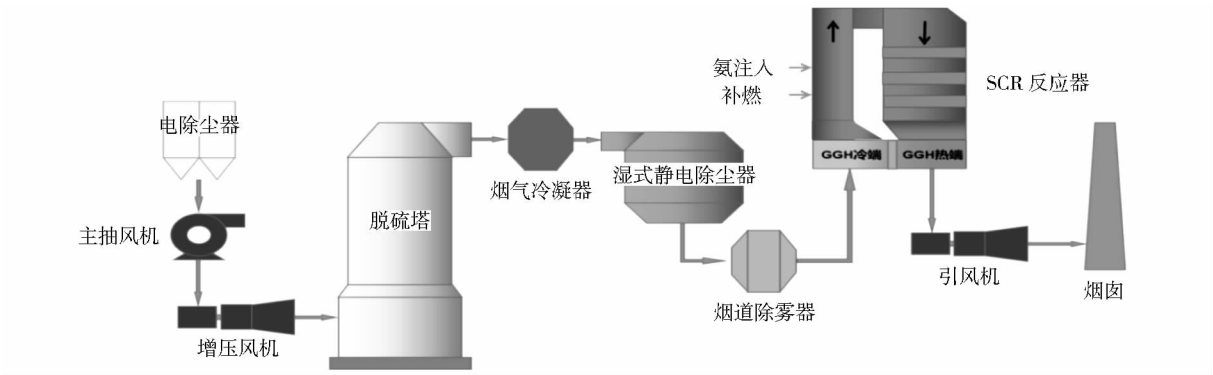


图1 烧结烟气脱硫脱硝工艺流程图

2.2 试验方法

为验证中低温脱硝技术在烧结烟气湿法脱硫后的应用是否可行，在上述钢厂脱硫脱硝工程现场，在烟道除雾器出口至烟气换热器低温侧入口间的烟道上抽取约5 000 m^3/h（标干值）的烟气加热后送入中低温SCR脱硝反应系统内，观测记录烟气中氮氧化物浓度变化。抽取的湿法脱硫后烟气参数如表1所示。

表 1　湿法脱硫后烟气参数

烟气量 /($Nm^3 \cdot h^{-1}$)	温度 /℃	NOx 浓度 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	SO_2 浓度 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	粉尘浓度 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	含水率 /%
4 648	56	207	26	2.7	14.8

2.3　试验系统

中低温烟气脱硝试验装置包括:烟气管道、喷氨系统、脱硝反应器(含加热装置)、引风机、电气仪控系统。试验系统流程如图 2 所示。

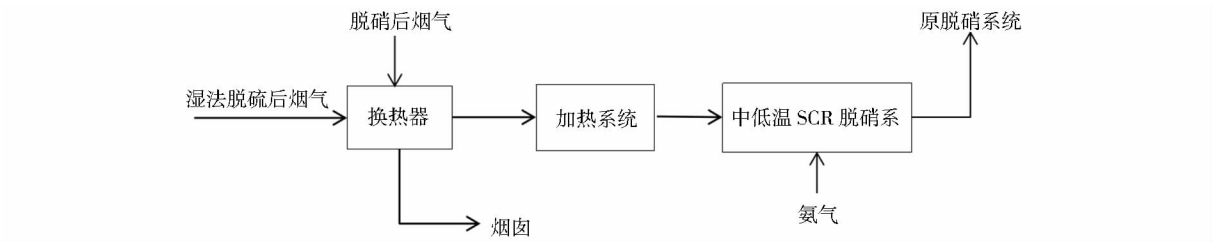


图 2　试验系统流程图

试验系统进气为湿法脱硫后烧结烟气,烟气量为 4 000 ~ 5 000 m^3/h,以实际烟气流量为准。在本试验中,选用 20 孔改性钒基蜂窝式催化剂,催化剂单体规格为 150 mm × 150 mm × 1 000 mm,布置一层共 1.62 m^3,体积空速为(2 400 ~ 3 200)/h。氨逃逸控制到小于 3 ppm,氨氮摩尔比为 0.85∶1。试验分两个阶段开展,第一阶段测试温度对催化剂活性影响,第二阶段稳定性测试,考察催化剂抗中毒能力。

2.4　试验结果与分析

2.4.1　温度对催化性能的影响

催化剂活性的评价指标用 NOx 的转化率 X 来表示,活性评价的温度范围为 210 ~ 250 ℃,以 10 ℃为温度间隔记录脱硝转化率 X, NOx 的转化率 X 用式(1) 计算:

$$X = \frac{N_{in} - N_{out}}{N_{in}} \quad (1)$$

式中:N_{out} 为反应器出口 NOx 浓度,mg/Nm^3;N_{in} 为反应器进气 NOx 浓度,mg/Nm^3。

表 2　不同温度下 NOx 的转化率　%

温度 /℃	时长 /h	烟气量 /($Nm^3 \cdot h^{-1}$)	空速 /h^{-1}	入口 NOx 浓度 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	出口 NOx 浓度 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	NOx 的转化率 /%
213	12	4 159	2 567	207	36	82.60
221	12	4 583	2 829	242	40	83.50
232	12	4 726	2 917	232	37	84.05
240	12	4 431	2 735	253	36	85.77
253	12	4 672	2 883	248	32	87.09

从表 2 中数据可知,当运行温度大于 210 ℃时,NOx 的转化率大于 82%,出口 NOx 浓度小于 50 mg/Nm^3,满足超低排放要求。

从图 3 可知,在 210 ~ 250 ℃范围内,NOx 的转化率随着温度上升而增大;在 220 ~ 240 ℃时,NOx 的转化率大于 83.5%,出口 NOx 浓度不大于 40 mg/Nm^3。

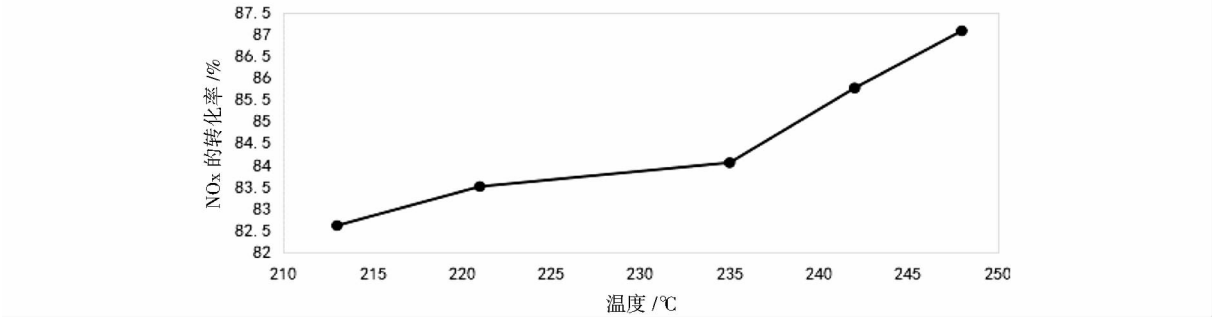


图3 NOx的转化率趋势图

2.4.2 中低温SCR脱硝稳定性测试

将温度控制到230~240 ℃,运行2 160小时(3个月),记录反应器进出口NOx浓度、压力变化值及燃气用量。考察催化剂的抗中毒能力,同时与中高温SCR运行数据进行对比,结果见表3。

表3 中低温SCR脱硝稳定性测试结果与中高温SCR脱硝对比

项目	温度/℃	烟气量/($Nm^3 \cdot h^{-1}$)	入口NOx浓度/($mg \cdot Nm^{-3}$)	出口NOx浓度/($mg \cdot Nm^{-3}$)	高炉煤气消耗量/万m^3	系统压差/pa
	234	4 436	232	36	4.01	580
中低温(均值)	228	4 642	196	32	4.09	570
	231	4 721	218	38	4.21	580
中高温(均值)	289	1 355 700	219	29	1 726	430

从表3中数据可知,在稳定性试验过程中,入口NOx浓度均值为215 mg/Nm^3,反应器出口NOx浓度均值为35 mg/Nm^3,满足超低排放限制要求。反应器前后压力差在整个试验过程中变化较小,取出测试块,查看催化剂外观,无堵孔、表层剥落等情况。

3 结论

(1)试验期间,反应器出口NOx浓度均值为35 mg/Nm^3,满足超低排放要求(NOx浓度不大于50 mg/Nm^3),试验证明中低温脱硝技术在烧结烟气湿法脱硫后的应用可行。经计算,与中高温SCR脱硝技术对比,中低温SCR脱硝技术可节约高炉煤气用量约30%。

(2)湿法脱硫后烧结烟气具有温度低、含水量大的特点,可通过精细除尘、组合除雾等方法降低烟气中的含尘量与含水量,减少催化剂活性下降的风险。同时,选用具有良好抗硫抗水性能的中低温催化剂,可以有效地避免催化剂中毒、堵塞等问题。在工程应用过程中,建议定期将SCR运行温度升至280 ℃解析,可有效避免硫酸氢铵带来的危害。

参考文献

[1] 王新东,侯长江,田京雷.钢铁行业烟气多污染物协同控制技术应用实践[J].过程工程学报.2020,20(9):997-1007.

[2] 庄俊鹏.烧结烟气脱硫脱硝处理技术探讨[J].冶金管理,2021(7):47-48.

[3] 张亚志.烧结烟气SCR脱硝工艺浅析[J].冶金动力.2020(8):87-89.