

氧化铝高温焙烧窑烟气 SCR 脱硝系统优化改造

贾章椿 毛 鹏

(中铝山东工程技术有限公司, 山东 淄博 255052)

[摘 要] 针对山东某公司氧化铝高温焙烧窑烟气 SCR 脱硝系统存在的烘炉工况下烟气温度低、催化剂活性较低、喷氨格栅设置和催化剂吹灰系统设置不合理等问题,采取增设烟气提温燃烧器、采用低温催化剂、优化改造喷氨格栅和喷氨系统、重新布置催化剂吹灰系统等措施进行改造。改造后,烟气 NO_x 排放浓度由 $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 降低至 $35 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 以下,喷氨系统运行稳定,产生良好的经济效益和社会效益。

[关键词] 氧化铝; 焙烧窑; 连续性非催化还原; 脱硝系统; 催化剂; 烟道燃烧器; 吹灰系统; 喷氨温度

[中图分类号] TF821 [文献标志码] B [文章编号] 1008-5122(2021)05-0056-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.012

Optimization and Reconstruction of SCR Denitrification System of Alumina High Temperature Roasting Kiln Off-gas

JIA Zhang-chun, MAO Peng

Abstract: Aiming at the problems such as low off-gas temperature, low catalyst activity, unreasonable setting of ammonia injection grid and unreasonable setting of catalyst powder blowing system of the SCR denitration system for the alumina high temperature roasting kiln off-gas under pre-heating condition for a certain company in Shandong, the reconstruction was carried out by taking measures such as adding temperature-raising burner for pre-heating process, using low-temperature catalyst, optimizing and modifying ammonia injection grid and ammonia injection system, rearranging catalyst powder blowing system, etc. After the reconstruction, the off-gas NO_x emission concentration was reduced from $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ to below $35 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, and the ammonia injection system operated stably, which have harvested good economic and social benefits.

Key words: alumina; roasting kiln; continuous non-catalytic reduction; catalyst; flue burner; powder blowing system; ammonia injection temperature

0 前言

生态环境部发布的《关于加强重污染天气应对夯实应急减排措施的指导意见》要求氧化铝行业环保 A 级企业 NO_x 的排放指标不高于 $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$,《区域性大气污染物综合排放标准(山东省)》(DB 37/

2376—2019)(以下简称《规范》)要求重点控制区 NO_x 排放指标不高于 $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。相较之下,环保 A 级企业的指标要求更为严格。

氧化铝工业窑炉形式多样,生产工况复杂多变,烟气成分差别大。比如,耐材焙烧、硝酸盐煅烧等所使用的窑炉产生的烟气中 NO_x 浓度高,超低排放难度相当大。

山东某公司现有 2 台高温焙烧窑,均以天然气为燃料,窑后配有金属滤袋除尘器和 SCR 脱硝系统。SCR 脱硝系统存在尿素热解系统稀释风余量不足,脱硝催化剂活性较低等问题,无法实现环保 A

[收稿日期] 2021-04-28

[作者简介] 贾章椿(1989—),男,甘肃庆阳人,本科,工程师,主要从事热力、采暖通风工程设计工作。

[引文格式] 贾章椿,毛鹏.氧化铝高温焙烧窑烟气 SCR 脱硝系统优化改造[J].有色冶金节能,2021,37(5):56-59.

级企业 NO_x 超低排放的要求。项目改造前,烟气量为 $15\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$,烟气温度为 $200\text{ }^\circ\text{C}$,烟气 NO_x 浓度为 $3\,000\text{ mg}/\text{Nm}^3$,浓度50%的尿素溶液消耗量为 $60.5\text{ kg}/\text{h}$, NO_x 排放浓度低于 $100\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。本文结合实际项目分析存在问题,并通过喷氨格栅、尿素热解系统和吹灰系统等进行优化改造,使排放烟气 NO_x 浓度低于 $50\text{ mg}/\text{Nm}^3$,SCR脱硝效率大于98.15%,实现了超低排放。

1 SCR脱硝系统存在问题

1.1 烘炉工况的烟气温度低

烘炉工况烟气温度不高,导致脱硝反应器入口

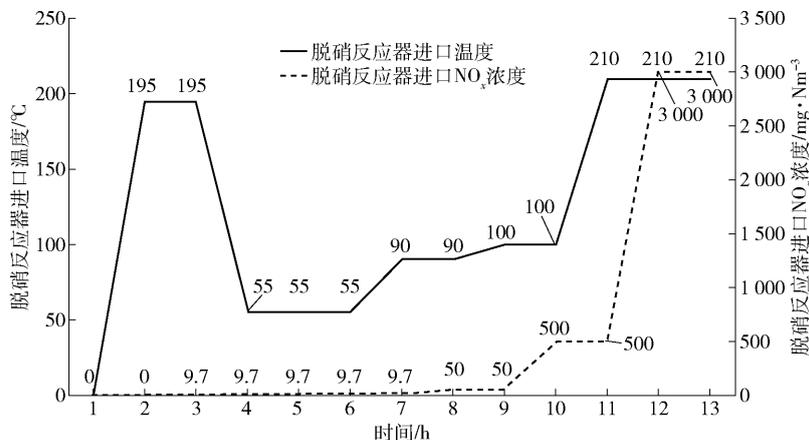


图1 烘炉工况下烟气温度与 NO_x 浓度关系

同时SCR脱硝反应器未设人孔门或观察孔,停炉时,检修人员无法进入SCR脱硝反应器内部检查催化剂,无法如实掌握催化剂的积灰情况。

1.3 喷氨格栅设置不合理

SCR脱硝反应器入口的喷氨位置距离第一层催化剂只有 2 m ,距离太短;喷氨格栅开孔直径为 $\Phi 6\text{ mm}$,开孔太小容易堵塞;氨气在烟道内顺着气流喷雾,混合不均匀,影响脱硝效率。原设计50%浓度的尿素溶液消耗量为 $60.5\text{ kg}/\text{h}$,稀释风机风量选型余量不足,电加热器功率选型太小,尿素热解温度在 $550\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。尿素热解系统操作稍有不当,尿素溶液就会分解不完全,造成烟气颗粒物排放超标,同时尿素残余颗粒物会堵塞喷氨格栅开孔,影响脱硝系统正常运行。

为了证实尿素分解后的残余颗粒物会造成烟气颗粒物浓度超标,根据 $10\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ 烟气量计算得出的尿素分解率与尿素残余颗粒物浓度关系如图3所示。

的烟气温度太低,无法满足脱硝催化剂最低使用温度($180\text{ }^\circ\text{C}$)的要求;同时烟气量波动范围大,烘炉工况烟气量甚至小于 $10\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$,导致喷氨系统调节难度大。

根据实测数据,烘炉工况下烟气温度与烟气 NO_x 浓度的关系图1所示。由图1所知,当 NO_x 浓度达到 $50\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 时,脱硝反应器进口烟气温度为 $90\text{ }^\circ\text{C}$,不满足催化剂的最低使用温度。

1.2 催化剂活性较低

该项目试车之初,脱硝催化剂已投运,至今已过去2年时间,催化剂活性较低,而且由于该项目催化剂吹灰系统设计不合理,催化剂积灰严重影响活性;

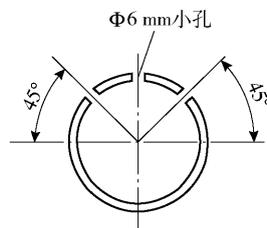


图2 喷氨格栅开孔示意图

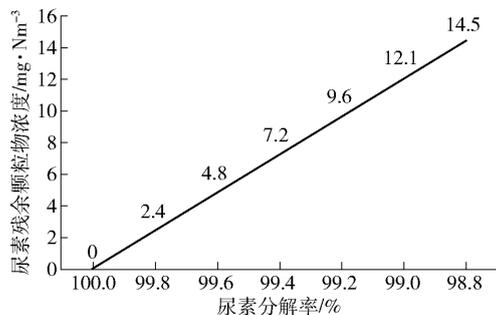


图3 尿素分解率与尿素残余颗粒物浓度关系图

根据图3可知,尿素分解率为99.6%时,残余

颗粒物浓度为 4.8 mg/Nm^3 , 加上烟气除尘后原有粉尘浓度 6 mg/Nm^3 , 已不能满足《规范》中颗粒物浓度 $\leq 10 \text{ mg/Nm}^3$ 的排放要求。工业窑炉烟气量小, 烟气 NO_x 浓度高, 尿素热解系统调节难度非常大。

1.4 催化剂吹灰系统设置不合理

SCR 脱硝反应器设置在金属滤袋除尘器之后, 烟气颗粒物浓度 $\leq 6 \text{ mg/Nm}^3$, 脱硝烟气中的氧化铝粉尘粒径很小, 容易堵塞脱硝催化剂表面^[1]。SCR 脱硝反应器的烟气自下而上流动, 催化剂的烟气流进侧积灰较多, 但原设计催化剂吹灰器设在催化剂烟气流出口侧, 导致催化剂的吹灰效果不理想, 长时间运行后积灰严重, 催化剂活性降低, 系统阻力增大, 影响脱硝系统正常运行。

2 主要改造内容

2.1 增设烟气提温设施

针对烘炉工况烟气温度不高的情况, 在 SCR 脱硝反应器进口烟道直接设置特种均化低氮管道燃烧器。此燃烧器的核心部件为英国进口, 加装后, 烟道阻力增加了 $150 \sim 300 \text{ Pa}$ 。烘炉过程中, 特种均化低氮管道燃烧器瞬时将烟气温度自 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 加热至 $200 \text{ }^\circ\text{C}$, 满足催化剂脱硝最低使用温度 $180 \text{ }^\circ\text{C}$ 的要求。燃烧器安装过程中, 需要停炉拆除 SCR 脱硝反应器原来 $\Phi 800 \text{ mm}$ 的进口烟道, 将其改造为 $\Phi 1500 \text{ mm}$ 的均化燃烧室。燃烧器运行过程中, 烟道负压不能低于 2 kPa 。燃烧器进口烟道和 SCR 脱硝反应器的出口烟道均设置烟气自动监控系统 (CEMS) 进行氧气体量检测; 燃烧器自带火检, 控制系统通过烟气温度联锁开停, 燃烧阀组周边设置可燃气体检测报警系统。

改造后, 烟道燃烧器在烟道内部直接燃烧, 烟气提温速度快, 而且燃烧器安装灵活, 操作简单, 不需要补热时可抽出烟道。烟道燃烧器原理如图 4 所示。

2.2 更换催化剂

在 SCR 技术中, 催化剂是核心部分。催化剂一般由基材、载体和活性成分三部分组成^[2]。基材是催化剂形状的骨架, 主要由钢或陶瓷构成; 载体用于承载活性金属, 现在很多蜂窝状催化剂则把载体材料本身作为基材制成蜂窝状; 活性成分一般有 V_2O_5 、 WO_3 、 MoO_3 等。目前, 工业催化剂主要是以 TiO_2 为载体的 V_2O_5 基催化剂, 通常包括 $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5-\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ 及 $\text{V}_2\text{O}_5-\text{MoO}_3/\text{TiO}_2$ 等类型。催化剂按温度窗口不同分为低温型

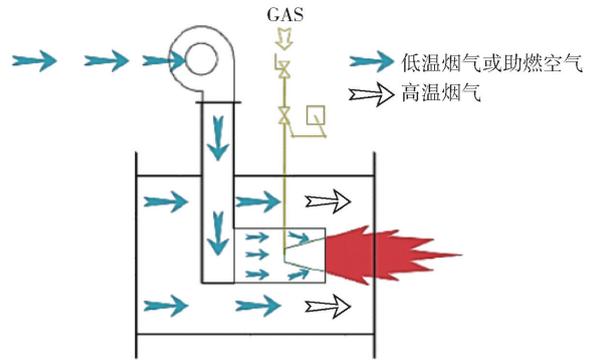


图 4 烟道燃烧器原理示意图

($140 \sim 280 \text{ }^\circ\text{C}$)、中温型 ($350 \sim 420 \text{ }^\circ\text{C}$) 和高温型 ($450 \sim 650 \text{ }^\circ\text{C}$)。

脱硝催化剂选择要考虑的主要因素有: 温度窗口、比表面积、空速和使用寿命等。该项目脱硝系统烟气温度在 $180 \sim 240 \text{ }^\circ\text{C}$, 因此应选择低温型催化剂。

原脱硝系统采用 25 孔蜂窝催化剂, 因催化剂积灰和低温运行导致活性较低, 不能满足该项目的改造要求, 所以更换原有的 4 层催化剂, 启用备用层催化剂, 增加催化剂体积, 以解决 NO_x 浓度高的问题。在催化剂底部支撑梁增加角钢, 并在钢梁表面铺设陶瓷纤维纸, 催化剂模块安装以后, 对内部进行严密性检查。改造后, 系统阻力增加 450 Pa (包括烟道燃烧器阻力 300 Pa)。经过核算, 现有引风机全压富裕 800 Pa , 满足改造要求。

2.3 优化喷氨格栅和喷氨系统

因为改造项目现场空间有限, 原喷氨格栅位置最多可向下移 2 m 。因此, 重新制作喷氨格栅, 将喷氨格栅开孔直径优化为 $\Phi 12 \text{ mm}$ ^[3], 并在 SCR 反应器进口处增设烟气混合器。改造后, 烟气混合距离增加了, 能够保证氨气与烟气混合均匀, 提高脱硝效率。

采用 SCR 脱硝工艺后, 烟气中的 NH_3 、 SO_3 及所生成的 NH_4HSO_4 浓度决定了脱硝系统的最低连续喷氨温度^[4]。该项目采用低温型催化剂, 烟气中 SO_2 浓度 $\leq 30 \text{ mg/Nm}^3$, 要求最低喷氨温度 $\geq 180 \text{ }^\circ\text{C}$ 。高温焙烧原料含有少量 H_2S 气体, 焙烧时释放 SO_2 气体。经过长时间的运行检测, 烟气中 SO_2 浓度低于 25 mg/Nm^3 。为了保证脱硝系统稳定运行, 最低连续喷氨温度控制在 $180 \text{ }^\circ\text{C}$, 正常工况下的烟气温度完全能够满足, 烘炉工况的喷氨温度可由新增烟道燃烧器保证, 但喷氨系统仍存在稀释风量不足和热解温度低等问题亟待解决。

为此,更换稀释风机,将其风量由 $693 \text{ m}^3/\text{h}$ 加大至 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$;更换烟气电加热器,将其功率由 75 kW 增加到 125 kW ,在满足最大稀释风量条件下将稀释风温度升高至 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上。尿素热解温度控制在 $550 \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$,尿素分解率基本达到最高值。在此温度范围内,尿素浓度越低,分解率越高^[5]。运行过程中,尿素流量调节范围较小时,可适当降低尿素溶液浓度,增加尿素流量,以达到精确控制的目标。

改造后,稀释风量充足,热解温度达标,喷氨系统正常调节不会造成颗粒物超标和喷氨格栅堵塞。

2.4 重新布置催化剂吹灰系统

将催化剂吹灰系统顺应SCR脱硝反应器烟气流向布置在积灰较多的催化剂烟气流进侧,以提高吹灰效果,降少系统运行阻力,保证催化剂活性。

2.5 脱硝反应器本体增设检修人孔门和检测孔

在SCR脱硝反应器增设人孔门,在末层催化剂顶部反应器箱体四面增设手动检测孔。增设人孔门的目的是方便检修人员进入SCR反应器内部检查催化剂积灰情况;增设手动检测孔的目的是方便手动检测SCR脱硝反应后烟气的 NO_x 浓度、温度和流量等参数,为判断脱硝反应器内部气流状况提供依据。

3 效益分析

3.1 经济效益分析

该项目实施后,2台高温焙烧窑年减少排污费0.54万元,烘炉燃烧器年增加燃料费9.5万元,设备折旧费年增加12.4万元,维修费年增加3.7万元。但环保设施稳定运行,产能提高,年利润增加150万元。综上分析,该项目实施后,年节约成本124.98万元,经济效益明显,为企业降本增效奠定

基础。

3.2 社会效益分析

该项目实施后,烟囱在线检测显示 NO_x 最高排放浓度低于 $35 \text{ mg}/\text{Nm}^3$,达到环保A级企业 NO_x 低于 $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 的排放指标,年减少 NO_x 排放量为 10920 kg ,既响应了国家和当地政府减少大气污染物排放的政策,也改善了企业及周边区域的空气质量。

4 结束语

某公司高温焙烧窑SCR脱硝系统存在烘炉工况下烟气温度低、催化剂活性较低、喷氨格栅设置和催化剂吹灰系统设置不合理等问题,通过增设烟气提温设施、采用低温催化剂、优化喷氨格栅、重新布置催化剂吹灰系统、增设人孔门和检测孔等措施进行改造。项目改造后,烟气 NO_x 排放浓度由 $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 降低至 $35 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 以下,喷氨系统运行稳定,实现改造目标。

[参考文献]

- [1] 王春霞. 载体 TiO_2 对脱硝催化剂性能的影响和催化剂失活与再生研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [2] 袁国钧,李涛. 燃煤电厂SCR脱硝催化剂的原理与分类[J]. 城市建设理论研究(电子版),2015(4):1619.
- [3] 黄晶晶,冯杨杰. SCR烟气脱硝中喷氨格栅的优化设计[J]. 化学工程与装备,2019(2):270-273.
- [4] 姚宣,郑鹏,郑伟. SCR脱硝系统最低连续喷氨温度的研究[J]. 中国电力,2016,49(1):146-150.
- [5] 吕洪坤,杨卫娟,周俊虎,等. 尿素溶液高温热分解特性的实验研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(17):35-40.