

Application research of vortex gas purifier for treating high concentration NO_x

Chui Wang¹ Min Xiao¹ Longsheng Lai¹ Zhikun Bai² Yun Lei¹

1. Sinopec Catalyst Co., Ltd. Changling Branch, Yueyang, Hunan, 414012, China

2. Sinopec Catalyst (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

High concentration NO_x treatment is a key issue that needs to be addressed in the production process of catalyst products. Currently, research in related areas at home and abroad is relatively lagging behind, especially in the field of process innovation, which is not deep and systematic enough. The current exhaust treatment mainly uses a two-stage spray of alkali and urea mixed solution, but due to limitations such as small gas-liquid contact area and short time, the efficiency of spray absorption is not high, and yellow smoke is easily present in the exhaust, posing a risk of environmental protection exceeding the standard. This article takes the process of high-temperature calcination of RISO-C superacid isomerization catalyst carrier and other products in a shuttle kiln of a certain enterprise as an example. In response to the problem of exhaust gas treatment in current process operation, a vortex gas purifier test method is adopted to explore a new way of treating high concentration NO_x. This provides a reference for production technology improvement and plays a necessary role in promoting the innovation of catalyst production process in China.

Keywords

Vortex gas purifier; Spray absorption; High concentration NO_x

涡流气体净化器处理高浓度 NO_x 的应用研究

王垂¹ 肖敏¹ 赖龙生¹ 白志坤² 雷云¹

1. 中国石化催化剂有限公司长岭分公司, 中国·湖南 岳阳 414012

2. 中石化催化剂(天津)有限公司, 中国·天津 300000

摘 要

高浓度NO_x处理是催化剂产品生产工艺需要解决的重点问题,当前国内外相关方面的研究都较为滞后,尤其是在工艺革新方面的研究,还不够深入和系统。当前尾气处理主要是采用碱和尿素混合溶液进行两级喷淋,但受气液接触面积小、时间短等因素的限制,喷淋吸收的效率不高,尾气中极易出现黄烟,发生环保超标风险。本文以某企业梭式窑高温焙烧RISO-C超强酸异构化催化剂载体等产品工艺为例,针对当前工艺运行中尾气处理问题,采用涡流气体净化器试验方式,探索处理高浓度NO_x新型方式,以此为生产技术改进提供参考,为推动我国催化剂生产工艺革新起到应有促进作用。

关键词

涡流气体净化器; 喷淋吸收; 高浓度NO_x

1 引言

NO_x是工业生产中大气污染源的重要组成部分,对自然环境和人体健康都会产生显著影响。催化剂生产工艺中,部分产品载体成型过程中会加入硝酸作为胶黏剂,在高温焙烧时会由于受热在尾气中含有高浓度NO_x。针对传统运行方式中存在的问题,某企业采用引进涡流气体净化器方式处理尾气,取得良好应用成效,技术应用具有较高推广价值。

2 研究现状及应用背景

2.1 研究现状

当前国外催化剂产品生产中,多是关注工程化推进和绿色工艺革新等方面,通过结构化载体开发提升催化效果;通过超酸精准合成实现对产品的分子级精准控制,减少副产物;通过废物资源化工艺,实现“以废治废”目标。我国相关方面的研究,则是集中于催化技术革新,催化剂壳体结构优化、生产成本控制等方面^[1]。但是从整体上而言,关于生产过程中能耗控制、尾气处理等方面的研究相对还较为滞后。在化工产业绿色低碳循环高质量发展导向下,必须要通过工艺革新和新型设备应用,创新尾气处理方式,进行减少高浓度NO_x带来的影响,提升企业生产经营效益。

【作者简介】王垂(1987-),男,中国湖南溆浦人,本科,工程师,从事催化剂研发及制备领域研究。

2.2 应用背景

针对当前催化剂生产中尾气中高浓度 NO_x 含量过高，处理难度较大等实际问题，某企业采取引进涡流气体净化器方式进行处理。该设备利用涡流室内发达的相接触表面，通过剧烈搅拌和旋转气液层的高分散性，提升净化器吸收尾气中粉尘和酸性气体效果，净化效率可以提升至 90% 以上^[2]。为确保涡流气体净化器安全稳定运行，在完成前期安装作业后，必须要进行试运行试验，检验处理效果并调整运行工艺和参数，以有效解决传统生产工艺中存在的问题，在提升装置生产效率，降低运行能耗基础上，有效解决尾气排放带来的环境污染问题。

3 实验设计与分析

3.1 实验前准备

3.1.1 涡流气体净化器安装

涡流气体净化器运送至作业现场后，需先进行现场配电、管线连接、阀门及附件安装等作业，并与厂家充分讨论，确定初步试运行方案。本次实验中，从生产实际情况出发，将网带窑尾气和制带尾气断开，重点分析涡流气体净化器对梭式窑尾气的处理效果。基本流程为梭式窑尾气与冷空气混合均匀，先进入涡流气体净化器处理，再经过还原尾气喷淋系统碱吸收处理，以确保进入烟囱的尾气达到排放标准。改造后的尾气处理流程简图如图 1 所示。

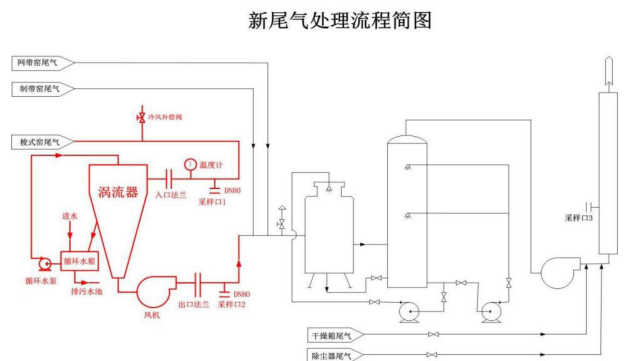


图 1 加装涡流气体净化器后尾气处理流程简图

3.1.2 涡流气体净化器单机试运

在正式实验前，先进行单机试运行，检查设备是否运行正常，调节好冷风补偿阀开度，测定气体流量。在试运行中需注意逐台启动循环泵、风机、涡流气体净化器等设备，依照设计标准设定运行压力、流量等参数^[3]。开机前需检查设备润滑情况、地脚螺栓紧固情况等；清理现场物件并做好加水。小型设备运行时间不少于 30min，大型设备运行时间不少于 60min，由专人做好设备运行状况、振动、声音、压力、密封、电流等情况检查，全面准确记录相关参数。

3.1.3 梭式窑进料及升温控制

梭式窑尾气处理流程完善后，即可进料升温。本实验共有 4 台梭式窑，采用每次 2 台同时满负荷运行方式进行试

验，每台焙烧物料约 250kg。在检查热偶位置无误，窑门全部关闭，设备供电正常后，开始升温。

3.1.4 涡流气体净化器考察方案

本实验主要包括如下考察内容：（1）涡流气体净化器对尾气中 NO_x 的处理效率，从采样口 1 和采样口 2 进行气体检测。（2）若经涡流气体净化器处理后的尾气 NO_x 不能达标，则考察再经过两级碱喷淋吸收后的处理效率，从采样口 1 和采样口 3 进行气体检测，并观察烟囱外排尾气的颜色。（3）若涡流气体净化器（或涡流气体净化器+两级碱喷淋）能达到预期效果，则考察药剂和碱液的更换周期，核算新尾气处理装置的运行成本。在实验过程中，依照设计的梭式窑尾气采样检测登记表，定时做好相关参数和浓度数据采集。

3.2 实验与分析

3.2.1 第一次实验及结果分析

第一次实验配制喷淋吸收液，在涡流器水箱中加入 50kg 片碱和 330L 净水，液碱浓度约 15%，PH=14，原喷淋塔为 10% 液碱+100kg 尿素混合溶液。2 台梭式窑满负荷运行（焙烧物料 500kg），尾气流量 2500 m³/h。检测点设置为涡流器入口（采样口 1）、涡流器出口（采样口 2）、总排口（采样口 3）。梭式窑焙烧尾气处理参数如表 1 所示。

表 1 梭式窑焙烧尾气处理参数、

项目	参数	备注
焙烧物料重量（kg）	500	
液碱浓度（%）	15	加入片碱 50kg,PH=14
尾气流量（m ³ /h）	2500	风机频率 35
循环水流量（m ³ /h）	8.8	
尾气入口温度（℃）	47-50	

通过对实验结果分析，发现涡流器入口/出口 NO_x 浓度基本无变化（474 → 448 mg/m³），表明气液接触反应未发生。分析该问题产生原因主要为：（1）缺乏高效氧化剂，NO 难以转化为可被碱液吸收的 NO₂；（2）尾气流量过高（2500 m³/h），停留时间过短（仅 0.04–0.09s），气液混合不充分。

3.2.2 第二次实验及结果分析

第二次实验在第一阶段实验基础上，采取两种优化措施：（1）喷淋吸收液中加入了黄烟去除剂，涡流器水箱药剂占比 29.4%，喷淋塔 47.2%；（2）通过调节尾气流量，增加尾气在涡流气体净化器及喷淋塔中的停留时间，保证气液充分接触反应，从而提高喷淋吸收效率。实验结果显示：（1）NO_x 总去除率 > 90%，总排口浓度 < 100 mg/m³；（2）烟囱无可见黄烟。分析效率提升原因，主要是黄烟去除剂强化 NO 氧化为 NO₂，大幅提升碱液吸收效率；降低流量后，停留时间增加（涡流器 0.09s → 0.13s），气液接触更充分。以此可以看出，尾气在涡流器中的停留时间虽仅为喷淋塔的 1%，但去除率有明显提升，证明其具有高效混合能力。

3.2.3 第三次实验及结果分析

第三次实验在第二阶段实验基础上继续改进，通过添

加多涡流反应器；将风机由立式改为卧式两种改造方式，增加气体在涡流器中的停留时间，有效提升涡流器对 NO_x 的处理效率，同时还能够有效防止叶轮蜗壳漏液至风机上，烧坏电机。改造后的涡流气体净化器形式如图2所示。

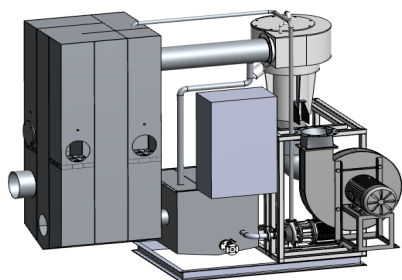


图2 涡流气体净化器改造示意图

通过数据分析可以看出，改造后的格栅涡流器能够延长烟气停留时间，促进 NO 转化，脱除效率有明显提升。但是改造后的格栅涡流器阻力增加，会导致风量下降 30% 左右，由此使得污染物浓度上升，需采取措施进行预处理，降低进入涡流气体净化器的污染物浓度。同时由于梭式窑补风不足，还导致入口 NO 浓度异常升高，在 $> 700 \text{ mg/m}^3$ 时，总脱除效率下降。

3.3 实验结论

从上述实验过程和结果可以看出，涡流气体净化器结合专用药剂可高效处理高浓度 NO_x 。通过添加黄烟去除剂，将 NO_x 总去除率提升至 90% 以上，总排口浓度 $< 100 \text{ mg/m}^3$ ，满足排放标准。改造后烟囱无可见黄/白烟，水汽夹带显著降低。但在实际运行中，入口 NO 浓度需 $< 700 \text{ mg/m}^3$ ，如超出此边界条件，总效率会由于 NO 氧化不足而下降。在 4 台窑满负荷运行状态下，需采取措施进行预处理，降低进入涡流气体净化器的污染物浓度，否则出口浓度临界超标。

4 存在问题及改进建议

4.1 存在问题

从试运行结果分析可以看出，涡流气体净化器的改造，对提升高浓度 NO_x 处理效果有显著促进作用，但在实际运行中，仍存在如下方面问题：（1）风阻过大，在增加格栅涡流器增加后，系统阻力上升，风机频率调节无效，风量下降 30%，导致入口污染物浓度被动升高。（2）入口 NO 浓度失控，梭式窑补风不足致入口 NO 浓度异常升高（超 700 mg/m^3 ），超出设备处理极限，效率下降 25% 以上。（3）

检测盲区， NO_x 浓度 $> 1300 \text{ mg/m}^3$ 时检测数据失真，影响入口浓度精准控制。

4.2 改进建议

针对试运行阶段出现的问题，本研究中提出，在正式投运前，需做好如下方面优化改进，以确保改造效果完全发挥出来。一是通过补风系统优化，重点解决风阻和浓度问题，通过在梭式窑尾气出口强制补氧，促进 NO 向 NO_2 氧化，降低入口浓度，确保排放时浓度控制在 100 mg/m^3 以下。二是对设备进行适应性改造，通过更换高压头风机方式，匹配格栅涡流器阻力特性，实现设计风量可调。对格栅涡流器结构进行优化，采用蜂窝状导流板替代实心格栅，将阻力降低 30% 以上。三是结合自动监控技术进行改造，通过安装在线浓度仪方式，实现对入口 NO_x 浓度的实时监测，在超出 700 mg/m^3 时自动触发预处理系统^[4]。对检测设备进行校准，将检测范围限定在 1300 mg/m^3 以下，在超限时可以采用化学吸收法等方法进行检测。四是在后续运行管理中，需做好喷淋液氨氮含量的连续监测，测定药剂失效阈值，在 $> 150 \text{ mg/L}$ 时及时更换，以确保处理效果达到设计要求。在条件具备情形下，可以测试尿素替代黄烟去除剂的可行性及经济性，通过对比分析，选择更为合适的药剂方案。

5 结语

从上述实验可以看出，针对催化剂传统生产工艺运行中存在的问题，通过添加涡流净化器和专属药剂，并进行针对性改造，能够有效除去尾气中的黄烟，当入口 NO 浓度 $< 700 \text{ mg/m}^3$ 时，现有设备可实现 NO_x 达标排放。在后续生产运行中，根据本实验中出现问题，进一步采取必要的处理措施，能够有效降低 NO 浓度，确保总出口达标排放。本研究中所提出的改造工艺，对处理高浓度 NO_x 具有显著应用成效，具有较高推广价值。

参考文献

- [1] 杨衡. 改性钒基催化剂选择催化还原高浓度 NO_2 性能研究[D]. 中国矿业大学, 2024.
- [2] 侯建勇, 严厚华. 含高浓度污染物的球团烟气净化技术进展与选择[J]. 河南冶金, 2021, 29 (01): 6-10+48.
- [3] 马坚. 催化剂中高浓度 NO_x 废气的分级治理[J]. 精细石油化工进展, 2020, 21 (01): 49-52.
- [4] 许永, 宋文涛. 氮氧化物 (NO_x) 治理技术研究[J]. 矿冶, 2017, 26 (01): 79-82.