

生活垃圾焚烧处理中的低温氧化脱硝技术应用研究

祝世琦

山东中慧环境科技有限公司 山东菏泽

【摘要】随着人民生活水平的不断提高，生活垃圾产量也越来越多，目前垃圾焚烧是生活垃圾的主要处理办法之一。在环境保护政策的推动下，垃圾焚烧产生的氮氧化物成为大气污染治理的重点，氮氧化物是大气污染物的重要组成部分，严重危害到人们的健康状况。

【关键词】生活垃圾；焚烧处理；低温氧化脱硝技术

【收稿日期】2022 年 11 月 10 日 **【出刊日期】**2022 年 12 月 26 日 **【DOI】**10.12208/j.aes.20220075

Application of low-temperature oxidation and denitrification technology in domestic waste incineration

Shiqi Zhu

Shandong Zhonghui Environmental Technology Co., LTD.; Heze, Shandong Province

【Abstract】With the continuous improvement of people's living standards, the output of household garbage is also more and more. At present, garbage incineration is one of the main treatment methods of household garbage. Under the promotion of environmental protection policies, nitrogen oxides produced by waste incineration have become the focus of air pollution control. Nitrogen oxides are an important part of air pollutants, which seriously harm people's health.

【Keywords】 household garbage; Incineration treatment; Low temperature oxidation denitrification technology

目前我国城市主要采用三种方式处理垃圾：焚烧、填埋和堆肥。其中，生活垃圾焚烧主要是利用燃烧产生的热能进行焚烧，对其中所含的有机无机物质进行充分燃烧和氧化分解。但对生活垃圾进行焚烧会产生大量粉尘、灰尘、酸性气体等污染物，会对环境造成一定的污染。而如果选择其他方式处理生活垃圾，由于其通常具有含水量较高，热值较低的特点，且由于垃圾产量迅速增加，将会造成土地资源浪费和环境污染问题。

1 生活垃圾焚烧处理中的氧化脱硝技术应用现状

自我国加入世贸组织以来，中国垃圾焚烧产业发展迅速，截至 2020 年底，我国已有 463 个垃圾焚烧发电项目。随着垃圾焚烧项目的增加，垃圾焚烧中的二次污染问题慢慢引起人们的注意，尤其是氮

氧化物二次污染问题比较紧要。NO_x 不光是酸雨的来源，还会严重危害人的肺，并造成光化学烟雾。为了控制氮氧化物使其不造成环境污染，有必要从燃烧烟气中脱去它，这个过程被称为脱硝。

目前成熟的脱硝工艺有很多种，每样工艺都有不同的特点。例如选择性催化还原法（SCR 脱硝）适用于大型燃煤锅炉，而选择性非催化还原法（SNCR 脱硝）是 CFB 锅炉的首选方法，相对更经济。此外，有很多机组既不适用于前两种方法，不过还有臭氧氧化脱氮法可供选择^[1]。下面就以上三种工艺的特点进行对比，见表 1。本文主要讨论臭氧脱硝方法。臭氧氧化脱硝方法具有以下优点：

(1)产品运转稳定可靠，无需每次检修时防腐，保养费用低；

(2) 脱硫效率达 95%以上, 可实现高硫烟气的自行设置, 采用低温臭氧脱硝工艺, 能精确达到绝对浓度控制在 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下, 脱硝的除去率可 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$;

表 1 三种工艺的特点进行对比

项目	臭氧脱硝	SNCR 脱硝	SCR 脱硝
基本原理	利用臭氧将一氧化氮氧化, 使其变得可溶, 并在下游洗涤塔被碱性浆液吸收脱除	使用氨作为还原剂, 氮氧化物在 850 摄氏度至 950 摄氏度范围内还原成氮和水	
主要设备投入	制氧设备以及配套供电设备	包括氨水站、雾化喷枪和计量模块	包括氨水站、氨水蒸发系统及 SCR 反应器
还原剂/氧化剂	O_3	氨水、尿素	液氨、氨水、尿素
脱硝效率	$\geq 95\%$	CFB 炉 60%, 其他炉型效率较低	$\geq 80\%$
反应温度	≤ 190 摄氏度, 温度越低效果越好	850 摄氏度至 950 摄氏度	300 摄氏度至 420 摄氏度
催化剂	无	无	成分主要为 TiO_2 , V_2O_5 至 WO_3 的全尺寸催化剂
还原剂/氧化剂喷射位置	洗涤塔入口	CFB 炉旋风筒入口	多选择于省煤器与 SCR 反应器之间烟道
SO_2/SO_3 氧化	极少量的 SO_2/SO_3 氧化	不导致 SO_2/SO_3 氧化	相对较多的 SO_2/SO_3 氧化, 氧化率控制在 1% 以下
氨逃逸	无	$\leq 10\text{PPM}$	$\leq 3\text{PPM}$
改造内容	1. 新建臭氧设备间及液氧站; 2. 安装臭氧反应器	1. 新建脱硝剂制储站; 2. 锅炉开孔安装喷枪	1. 新建脱硝剂制储站; 2. 改造新建部分锅炉烟道; 3. 建立脱硝反应器 4. 为防止空气预热器腐蚀, 更换低温空气预热器
对锅炉空预器的影响	无	低温时 NH_3 与 SO_3 反应生成 NH_4HSO_4 , 造成空预器阻塞	
对燃料的要求	无	无	灰分磨损催化剂, 金属氧化物钝化催化剂;
对系统压力损失的影响	无	无	系统压力损失 800pa 至 100pa
对锅炉运行经济性影响	无	热效率损失小, 但氨逸出量大, 对设备的影响较大	锅炉热效率损失小, 引起电阻增大, 引风机功率增大
使用寿命	臭氧设备可保十年之内避免出现大的使用问题	主要影响锅炉使用寿命	催化剂使用寿命在 2 至 3 年, 定期更换
建设投资	较大	较小	大
运行费用	较高, 主要费用生产臭氧	较小	较高, 主要为脱硝剂费用、催化剂折旧、引风机耗电
应用业绩	较多	多	多
改造难度	容易, 不影响锅炉正常运行	较容易, 需短暂停炉开孔及安装喷枪	困难, 需要停炉改造
施工周期	短	短	较长
场地要求	臭氧发生器和液氧站可分别设置在其它开放空间内, 场地要求低	除吸收剂存储区外, 不用额外空间	需要占用锅炉尾部和除尘器之间的区域, 要求高

(3) 脱硫和脱硝共用一个吸收塔,可减少设备的投资和建设空间;

(4) 除尘后脱硫、脱硝过程,不影响系统运行,避免了内部堵塞,同时又不影响运行寿命,有利于整套系统的稳定工作;

(5) 脱硫、脱硝液实现固液分离后,固态物质可被利用,液体物质能够制备化肥,通过脱硫脱硝液的回收和处理,达到零排放、资源化的目的。

臭氧氧化脱硝的流程可以简要叙述如下:锅炉除尘器所送出的烟气在 150 摄氏度左右,臭氧混合器将高浓度的臭氧均匀喷入到烟气混合装置中与 NO_x 反应,生成易溶于水的高阶氮氧化物,随后进入洗涤装置进行洗涤脱除。洗涤后废水通过浆液排出泵送至脱酸塔中随石灰浆液一同蒸发结晶并收除,实现废水零排放。

在生活垃圾焚烧中采用臭氧脱硝方法的技术优势如下:

生活垃圾焚烧炉的燃料组成复杂,臭氧氧化能比其他污染物更协同地去除多种污染物。该方法具有以下几个重要的技术优势:

(1) 与燃烧过程无关,可以是各种类烟气,只要低于 200 摄氏度的烟气条件和必需的反应时间即可。

(2) 适用于低温烟气处理,对燃烧和设备运行没有影响。

(3) 可实现 SO_2 、二噁英等多样污染物的协同脱除,一塔多脱。

(4) 可以达到 90% 以上的脱硝率,而且不会引起有如氨泄漏的现象造成二次污染。

(5) 可实现脱硝废水零排放。

(6) 辅助部件的安装均为附加设备,对锅炉运行影响不大,便于今后对系统进行升级改造,以满足超低排放要求。

2 低温臭氧氧化脱硝技术原理

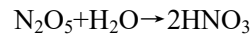
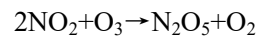
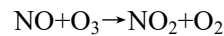
要了解臭氧脱硝的技术原理,就需要先了解一下臭氧^[2]。臭氧——氧气的一种极不稳定的同素异构体,具有强氧化性,在低温下可以发生氧化反应。它可以去除 SO_2 、氮氧化物等化学成分,还可以净化、消毒、漂白和除臭。臭氧是一种没有二次污染的氧化剂,它在分解化学物质后被还原为氧气,臭

氧能有效防止氮氧化物污染。

臭氧发生装置能根据需氧量在场地定量出产臭氧,然后通过臭氧格栅喷入烟气中,与不溶性氮氧化物反应生成可溶性氮氧化物。臭氧发生器还可以在生产过程中及时反映详细数据,这样有利于控制烟气中氮氧化物的排放,同时节约能源。

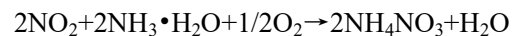
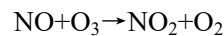
这其中的 NO ,经臭氧处理后被送至脱硫塔中,在脱硫塔中,二氧化氮、五氧化二氮及其它氮氧化物与碱液接触很快,生成硝酸盐等物质,同脱硫反应产物一起送至脱硫处理设备中。臭氧与氮氧化物反应迅速,所以给了操作一定自由度,通过控制时间和臭氧量,能够控制内部化合物氧化反应,降低臭氧的利用,提高了工作效率。

当供给大量臭氧时, NO_x 将被氧化成为五氧化二氮,然后生成硝酸或者硝酸盐,其基本反应式如下:



无论是五氧化二氮还是硝酸都易溶于水,五氧化二氮与水反应后即生成硝酸,它可以和水任何比例混合,因此在有水存在的情况下,五氧化二氮生成硝酸是不可逆的。

为了在实际项目中保证经济上的利益,项目实施中通常采用将 NO_x 氧化成 NO_2 ,继而在脱硫塔中进行酸碱中和反应,生成亚硝酸盐。例如采用湿式氨法的脱硫工艺,化学反应式如下:



而且实际上,没有必要完全去除雾霾中的所有氮氧化物,可以根据雾霾中氮氧化物的浓度和环保要求定量添加臭氧。这有助于满足环保要求,同时确保运营经济。

该方法所采用的脱硝系统可极大程度地抑制 NO_x 排放,满足减排要求。并且不会将二氧化硫转化为三氧化硫,而且垃圾焚烧所产生的烟气中含有的颗粒和硫化物对臭氧消耗和脱氮也不起作用,该系统不仅能高效除去氮氧化物的废气,也可有效的清除二氧化硫、粉尘等^[3]。

3 臭氧氧化脱硝系统的构成

臭氧氧化脱硝系统主要包括臭氧制备和储存系统、臭氧格栅、仪器采集和检测控制系统、脱硝洗涤反应系统和辅助安全系统等。

3.1 臭氧制备储存系统

随着臭氧在工业中的大量应用, 现有的臭氧制备、储运技术相当可靠。一般用臭氧发生器现场制备臭氧, 它安全可靠, 能保证长期稳定运行。

臭氧发生器产品在结构上主要结构包括发生器、放电管、电化学储能电路以及提供高频高压的电源, 内部是含有连接到电源的电极的玻璃管。此时当大量的电流通过等离子体放电管时, 表面电解质会产生强烈的电晕, 当氧气从其表面经过时, 氧分子释放出氧原子, 氧原子与可利用的氧分子结合, 产生臭氧。臭氧不会逸出至外界, 完全消耗在脱去氮氧化物过程中, 因此不会影响环境。

3.2 臭氧格栅(臭氧分配扩散反应系统)

生产臭氧通过均匀分布的分布器连续不间断地输送到臭氧分配扩散反应系统, 进入连续不断的氮氧化物烟气反应系统, 臭氧格栅可以实现对臭氧均匀分布, 也保证了能够充分混合, 使反应速度加快。

整个脱硝系统的关键是确保臭氧在均匀分布器中均匀分布, 并与垃圾焚烧产生的烟气中的氮氧化物反应充分反应。为了保证反应系统的脱氮效率, 需要提前对系统进行计算流体力学模拟, 并根据数值模拟结果和工程应用实际情况对系统结构设计做出调整, 优化系统的性能^[4-5]。工程中常用的流场模拟软件有 ANSYS 等, 一般要模拟工程在不同工况下的运行状况。

设计臭氧格栅时要注意, 臭氧反应很快, 可以近似认为, 当喷射后遇到 NO 时, 反应立即发生。因此, 对于臭氧脱硝系统的设计, 我们希望对其进行尽可能精细的设计, 从而使其尽可能均匀地进行注射。

3.3 仪表采集检测控制系统

仪表采集检测控制系统采用 PLC 控制, 人机界面操作, 对生活垃圾焚烧产生的烟气中的各项内容进行在线检测分析, 根据烟气中的流量和氮氧化物的浓度采样抽样发生系统的生成量。

3.4 脱硝洗涤反应系统

脱硝洗涤系统一般采用湿碱脱硫吸收装置, 含 NO_x 的废气被氧化后可直接进入湿法脱硫装置, 洗

涤塔吸收高价的氮氧化物。这种直接吸收工艺反应效率高, 无污染且大量的反应部分生成的盐可再被循环系统利用。

3.5 辅助安全系统

作为一种有毒气体, 允许的臭氧浓度为 0.1ppm。在 0.3 毫克/立方米的浓度下, 它会刺激人体感官, 例如眼睛、呼吸系统等; 当浓度在 3 毫克/立方米至 30 毫克/立方米之间时, 可能出现头痛和呼吸器官部分瘫痪等症状; 15 至 60 毫克/立方米的浓度则会危害人体健康。臭氧被人类自 19 世纪发现后已经广泛使用, 因为它的气味是如此强烈和容易被发现, 所以截止到现在, 还没有人死于臭氧中毒。

4 低温氧化脱硝工作要求

技术员是该岗位第一安全负责人, 负责值班安全生产工作, 保证脱硝系统正确运行。对于技术员应严谨执行安全作业程序, 在设备运行过程中, 一定要定期检查各主要部件、仪表、声音和油位, 及时报告并处理问题。技术员应经常进行巡视, 经常认真检查, 经常深入细致地分析, 经常动态地调整, 及时填写自动化操作相关的记录。在岗位上严格岗位轮换, 认真视察部门工作情况; 熟悉本岗位的消防装备, 并积极参与本岗位的隐患防范。遇到危险情况后, 技术员应采取防范措施, 防止事故发生后, 事故再扩大, 对班长和科室值班负责人进行记录。技术员要认真接受工作上组织的安全培训和安全活动, 提升安全技能, 定期进行应急培训, 提高自身的应急能力。

4 结语

本文主要对低温氧化脱硝法在生活垃圾焚烧中的应用进行了较为详细地讨论, 对比了三种常见的脱硝工艺的特点, 选择了臭氧脱硝法进行重点说明, 介绍了该技术的基本原理以及该系统的主要组成部分。总之, 低温臭氧氧化法脱硝具有十分巨大的研究潜力, 有着在低温下脱硝的独特的工艺优势, 具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 胡宏兴, 林崇军, 路锦程. 垃圾焚烧炉脱硝工艺应用研究[J]. 节能, 2020(011):039.
- [2] 侯长江, 田京雷, 王倩. 臭氧氧化脱硝技术在烧结烟气中的

应用[J].河北冶金,2019:71-74.

- [3] 纪瑞军,徐文青,王健,等.臭氧氧化脱硝技术研究进展[J].化工学报,2018:24-34.
- [4] 张毅扬, 阮大年, 胡发立,等. 干法脱硝技术在生活垃圾焚烧电厂中的应用[J]. 清洗世界, 2021, 37(10):4.
- [5] 王献民. 生活垃圾焚烧炉脱硝技术探讨[J]. 环境与发展, 2020, 32(9):2.

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS