

中温脱硝除尘滤料催化剂负载牢度提升技术

王道龙

浙江华基环保科技有限公司 浙江 台州 317200

【摘要】：工业炉窑中温烟气治理对于滤料的除尘和脱硝协同性能有更高的要求，催化剂负载牢度直接决定着滤料的使用寿命以及脱硝稳定性。本文以 PPS/PTFE 针刺毡为过滤基材，用非标矿物合成 $Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 中温脱硝催化剂，用 PTFE 乳液共混浸渍和纯 PTFE 乳液后处理的复合工艺来解决催化剂附着不牢、易脱落的问题。研究表明，该种负载技术可以使 NO_x 转化率提高到 97.4%，催化剂的负载稳定性以及运行性能得到了改善，滤料满足中温工况高效除尘、稳定脱硝的要求。该产品已经通过了 2025 年浙江省省级工业新产品评价，可以给玻璃窑炉、钢铁焦化等行业烟气超低排放提供可靠的支撑。

【关键词】：中温脱硝除尘滤料；催化剂负载；牢度提高；PPS/PTFE 针刺毡

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.088

1 引言

2019 年生态环境部发布《工业炉窑大气污染综合治理方案》，提出工业炉窑全部达到达标排放标准，并且逐步实现超低排放，钢铁、焦化、玻璃等行业的烟气多污染物协同治理成为行业发展的主要方向。工业炉窑烟气大多处在中温范围内，并且会带入粉尘、硫氧化物和氮氧化物，传统的分置式脱硫、脱硝、除尘设备存在着占地面积大、流程长、运行费用高、系统匹配度低等缺点。中温低尘 SCR 脱硝除尘一体化技术把催化功能和过滤功能整合到滤料里，可以直接装入改造过的布袋除尘器完成同步除尘脱硝，具有设备简化、阻力适中、运维方便等特点。目前一体化滤料普遍存在着催化剂负载量少、附着牢固性差、长期运行易脱落失活等缺陷，直接制约了滤料的使用寿命和脱硝稳定性。提高催化剂在纤维表面的结合强度和负载均匀性，是中温脱硝除尘滤料研发的主要技术方向。本文针对催化剂负载牢度提高展开系统研究，创建契合中温工况的滤料体系，改良复合负载工艺，给一体化滤料工业化应用赋予技术支撑。

2 中温脱硝除尘滤料体系构建

2.1 过滤基材选型

滤料基材要达到中温耐温性、化学稳定性和过滤效率，还要具备合适的催化剂负载。本项目使用 PTFE 机织布作为基布，用 PTFE 和 PPS 短纤维经梳理成网、针刺加固制成复合针刺毡，PPS 纤维耐温性好、耐酸碱腐蚀性高，适合中温烟气长时间运行；PTFE 纤维化学稳定性好，表面能低，不易粘灰、易清灰；针刺毡具有良好的三维孔隙结构，可以给催化剂提供足够的负载空间，又不会影响气流的流通。该基材具有过滤性能、力学强度和催化剂负载适应性，可以满足工业炉窑连续稳定的运行要求。

2.2 中温脱硝催化剂选型

中温工况下要求催化剂在目标温区有较高的活性，且具有低成本、易规模化等特点。本项目用非标矿物原料直接制备出

$Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 纳米催化剂，与传统湿法制备纯物质催化剂相比，具有短流程、低成本、适合规模化生产的优点，在中温下 NO_x 的转化率可以达到 97.4%，满足一体化脱硝的要求。

表 1 中温脱硝除尘滤料基材与催化剂核心性能

| 性能类别 | 具体指标 | 测试结果 |
|-------|------------|------------|
| 基材耐温性 | 长期使用温度 | 180 - 260℃ |
| 过滤性能 | 粉尘过滤效率 | ≥99.9% |
| 催化剂活性 | NO_x 转化率 | 97.4% |
| 基材结构 | 三维孔隙率 | ≥70% |

3 催化剂负载牢度提升关键技术

3.1 传统负载工艺的缺陷

3.1.1 界面结合力不足，催化剂易脱落

PPS/PTFE 针刺毡纤维表面有较强的疏水性，表面能低，传统的催化剂浆液大多为水性体系，两者之间润湿性差，使催化剂颗粒和纤维表面只能产生微弱的物理吸附，不能形成稳定的化学结合或者机械锚固。在滤料使用过程中，布袋除尘器脉冲清灰会带来周期性的气流冲击，烟气中粉尘颗粒也会对滤料表面造成摩擦冲刷，长时间的作用下，催化剂颗粒容易从纤维表面脱落，造成脱硝效率迅速降低，脱落下来的催化剂颗粒还会堵塞滤料孔隙，加大过滤阻力，影响除尘效果。

3.1.2 负载均匀性差，脱硝效率波动大

传统直接浸渍工艺中催化剂浆液分散性差，针刺毡内部三维孔隙结构复杂，浆液渗过过程中容易造成分布不均，滤料表面和内部催化剂负载量差别较大。部分区域催化剂负载过多会造成孔隙堵塞，影响气流通过，部分区域催化剂负载不足无法达到 NO_x 高效转化的效果，导致脱硝效率不稳定，不能满足工业炉窑超低排放的要求。另外催化剂浆液中颗粒容易团聚，从而加重了负载不均的现象，使滤料的脱硝效果变差。

3.1.3 长期运行稳定性差, 滤料寿命缩短

由于催化剂和纤维之间的界面结合不好, 负载不均匀, 在中温烟气工况下, 催化剂的流失速度加快。随着运行时间的增加, 滤料表面的有效催化剂含量不断下降, 脱硝效率慢慢变差, 当脱硝效率达不到标准的时候, 滤料就要提前更换, 大大缩短了滤料的使用寿命。脱落下来的催化剂颗粒会进入烟气处理系统, 会对后续设备造成磨损或者堵塞, 增大设备的运维成本, 降低整个烟气治理系统的运行稳定性。

3.2 复合负载工艺原理

本项目使用 PTFE 乳液共混脱硝催化剂浸渍+纯 PTFE 乳液后处理的两步法负载工艺, 从界面结合和物理包覆两个途径提高牢度。共混浸渍将 $Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 催化剂与 PTFE 乳液充分分散, 形成稳定浆液。浸渍时浆液渗透到针刺毡纤维间隙中, PTFE 乳液做为界面改性剂提高催化剂和纤维表面的润湿性、结合力。烘干固化控制烘干温度与时间, 使水分快速挥发, 催化剂在纤维表面初步固着。纯 PTFE 后处理浸渍, 对负载完成后的滤料再次进行纯 PTFE 乳液浸渍和定型, 使纤维表面形成连续致密的保护膜, 把催化剂颗粒锚定在纤维表面, 大大提高了抗脱落性。该工艺可以实现催化剂高负载量和高结合牢度的统一, 保证长期运行下脱硝效率的稳定性。

3.3 工艺控制要点

3.3.1 共混体系配比控制

催化剂和 PTFE 乳液的配比属于关键参数, 既要保证浆液的分散稳定, 也要控制好催化剂的负载量。经过多次试验优化, 确定 $Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 催化剂与 PTFE 乳液的质量比控制在 1:1.2-1:1.5 之间。当催化剂比例过高时, 浆液分散性变差, 催化剂颗粒容易团聚, 造成负载不均, 而且和纤维的结合力变弱; 当 PTFE 乳液比例过高时, 虽然可以提高结合力, 但是会占据过多的负载空间, 导致催化剂负载量不够, 影响脱硝效率。同时在共混时要加入适量的分散剂, 搅拌速度控制在 300~500r/min, 搅拌时间不小于 30min, 使催化剂颗粒均匀分散到 PTFE 乳液中, 得到稳定的悬浮浆液。

3.3.2 浸渍工艺参数控制

浸渍压力及时间对浆液在针刺毡内部渗透深度和负载均匀性有影响, 应按针刺毡厚度、孔隙率而定。通过试验可知, 浸渍压力控制在 0.15-0.20MPa, 浸渍时间控制在 15-20min 时, 浆液可以充分渗透到针刺毡内部, 使催化剂在纤维表面和孔隙中均匀分布, 没有内外层负载不均的现象。浸渍压力过低, 浆液渗透不充分, 只能在滤料表面负载催化剂, 内部负载量不足; 浸渍压力过高, 容易造成滤料结构破坏, 孔隙堵塞, 影响过滤性能; 浸渍时间过短, 浆液不能完全渗透, 负载不均匀; 浸渍时间过长, 会增加生产成本, 而且会造成催化剂过度团聚。

3.3.3 烘干固化参数控制

烘干固化环节的主要作用就是迅速除去水分, 使催化剂在纤维表面初步附着, 防止局部过热造成乳液破乳、催化剂团聚。烘干过程使用分段升温的方式, 第一段升温到 80-100℃, 保温 20-30min, 快速挥发浆液中自由水份; 第二段升温到 120-140℃, 保温 15-20min, 促使 PTFE 乳液交联固化, 使催化剂颗粒与纤维表面初步结合。烘干速率控制在 5~8℃/min 之间, 防止升温过快造成滤料内部水分迅速蒸发产生气泡, 破坏滤料结构, 也防止催化剂颗粒由于局部过热而发生团聚, 影响催化活性和负载牢度。

3.3.4 后处理工艺参数控制

纯 PTFE 乳液后处理的核心就是形成连续致密的保护膜, 把催化剂颗粒固定在纤维表面, 防止堵塞滤料孔隙。后处理用纯 PTFE 乳液浓度控制在 10%到 15%之间, 浓度过高会使得保护膜过厚, 堵塞滤料孔隙, 增加过滤阻力; 浓度过低不能形成完整的保护膜, 催化剂抗脱落性能提高不明显。浸渍时间为 10~15min, 使乳液均匀地附着在纤维表面和催化剂颗粒上, 在 150~160℃下定型 30min, 使 PTFE 乳液充分固化, 形成稳定的保护膜, 提高催化剂和纤维的结合力, 提高负载牢度。

4 制备工艺流程与性能检测

4.1 完整制备工艺流程

项目形成标准化连续化工艺流程, 开松→梳理→纤维混合→分级铺网→撒粉→烧毛→针刺→乳液浸渍→定型各工序的协同控制可以保证滤料厚度均匀、孔隙结构稳定、催化剂分布一致, 为后面负载牢度和使用性能的提高打下基础。

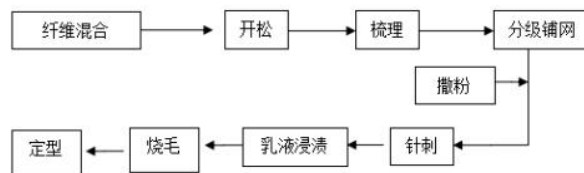


图 1 工艺施工流程

4.2 性能指标与对比

以负载牢度、脱硝效率、运行稳定性为评价指标, 比较传统直接浸渍工艺和本项目复合负载工艺, 结果见表 2。

表 2 不同负载工艺性能对比

| 检测指标 | 传统直接浸渍工艺 | 复合负载工艺 | 提升效果 |
|---------------------|----------|--------|--------|
| 催化剂脱落率 | 较高 | 显著降低 | 牢度提升明显 |
| NO _x 转化率 | 85%左右 | 97.4% | 活性提升 |
| 长期运行稳定性 | 易衰减 | 稳定保持 | 寿命延长 |

| | | | |
|------|----|----|-------|
| 过滤阻力 | 适中 | 可控 | 不影响除尘 |
|------|----|----|-------|

4.3 性能符合性

产品经检测满足企业标准和工业炉窑烟气治理要求，可以直接用于改造后的布袋除尘器，同时达到除尘和脱硝的效果，清灰效率高，喷吹频率低，系统运行更稳定。

5 技术优势与工程应用

5.1 核心技术优势

5.1.1 高年度稳定负载优势

本项目使用 PTFE 乳液共混脱硝催化剂浸渍和纯 PTFE 乳液后处理的两种复合负载工艺，从界面结合和物理包覆两个方面提高催化剂和滤料基材的结合强度，有效地解决了传统负载工艺中催化剂容易脱落的问题。利用 PTFE 乳液的界面改性作用，提高催化剂和 PPS/PTFE 针刺毡纤维的润湿性和结合力，然后用纯 PTFE 乳液后处理形成连续致密的保护膜，使催化剂颗粒牢固地固定在纤维表面，大大提高了催化剂的负载牢度。经过试验可知，该工艺制备的滤料，在长期脉冲清灰、烟气冲刷的作用下，催化剂的脱落率大大降低，保证滤料的长期稳定运行。

5.1.2 中温高催化活性优势

根据中温烟气工况的需求，用非标矿物原料直接合成 $Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 纳米催化剂，与传统湿法合成纯物质催化剂相比，该催化剂具有短流程、低成本、适合规模化生产的优点，在中温区间（180~260℃）表现出良好的催化活性， NO_x 转化率达到 97.4% 以上，可以满足工业炉窑烟气超低排放的脱硝效率要求。同时，该催化剂和 PTFE 乳液的相容性好，负载后催化活性保持稳定，不会因为负载工艺造成活性下降。

5.1.3 一体化协同高效优势

本技术把脱硝催化功能和除尘过滤功能集成到一个滤料上，不需要再加装脱硝设备，可以直接装入改造后的布袋除尘器里，实现烟气除尘和脱硝同时进行。一体化设计可以减少烟气治理系统的流程、减小设备的占地面积，也可以减少设备的投资和后期运维成本。同时改进后的除尘器具有分室反吹和脉冲清灰两种收尘器的特点，清灰效果好、喷吹频率低，使系统运行更加稳定、经济。

参考文献：

- [1] 冯丽军.脱硫脱硝除尘设备在烧结烟气超低排放改造中的应用[J].山西冶金,2026,49(02):181-183+241.
- [2] 程世宇,罗志强.工业锅炉烟气脱硫脱硝除尘协同处理工艺应用研究[J].石化技术,2026,33(02):451-452.
- [3] 唐磊.低能耗脱硫脱硝除尘一体化装置集成设计与性能评估[J].中国机械,2026,(01):27-30.
- [4] 丁志远,陈林.高效除尘除雾技术在催化裂化烟气脱硫脱硝装置的应用[J].炼油技术与工程,2025,55(12):6-9.
- [5] 蒋峰.高效除尘脱硫脱硝一体机处理工艺在环保领域的应用[J].大众标准化,2025,(06):149-151.

5.1.4 规模化经济优势

在催化剂的制备上，采用非标矿物原料直接合成 $Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 催化剂，大大降低原料成本，而且合成过程简单，适合于工业化大规模生产；在负载工艺上，所用 PTFE 乳液共混浸渍和后处理工艺，可以适应现有的非织造生产线，不需要大规模的设备改造，只需要调整工艺参数就可以实现规模化生产，有效地降低了生产成本，提高了产品的市场竞争力。

5.2 工程应用场景

5.2.1 主要应用行业

该种中温脱硝除尘滤料适用于中温烟气工况，在玻璃窑炉、钢铁焦化、工业炉窑等行业的应用较多。玻璃窑炉生产过程中产生的烟气处于中温区，含氮氧化物、 SO_2 和粉尘量较大，是本产品的主要应用领域；钢铁焦化行业的烟气多污染物协同治理需求急迫，本产品可以达到除尘和脱硝的双重效果，给行业超低排放改造提供有力支持；另外，各类中小型工业炉窑的烟气治理，也可以用本产品来完成环保设施的升级改造。

5.2.2 适用工况特点

本产品适合于长期工作温度为 180-260℃ 的中温烟气环境，能承受烟气中的 SO_2 、粉尘等污染物的腐蚀，可以满足不同的烟气量处理要求。不论是已有的环保设施升级换代，还是新建烟气治理系统，都可以直接采用该滤料，不需要对原有的设备做大的改动，适应性好。滤料有较好的清灰性，可以防止粉尘粘附造成过滤阻力增大，适合长期连续稳定工作。

6 结论

以 PPS/PTFE 针刺毡为基材、 $Mn_{1.5}Fe_{1.5}O_4$ 为活性组分的中温脱硝除尘滤料，适应工业炉窑中温烟气工况，除尘和脱硝协同效果好。PTFE 乳液共混浸渍结合纯 PTFE 乳液后处理的复合负载工艺，可以明显提高催化剂的附着牢度和负载均匀性， NO_x 转化率达到 97.4%，解决了滤料长期运行中催化剂脱落失活的问题。该技术成熟可靠，已经实现了产品化和工程应用，可以促进工业炉窑烟气多污染物一体化治理技术的升级，助力行业达到超低排放的目标。之后可以继续改进催化剂的配方和负载工艺，扩大温区适应范围，提高抗硫、抗水、抗中毒的能力，适合于更加复杂的工业烟气环境。