

# 垃圾焚烧厂烟气净化系统运行优化与排放控制研究

蒋红云<sup>1</sup> 张伟<sup>2</sup>

1.浙江禾美环保技术有限公司 浙江 杭州 311100

2.杭州三赢人才集团有限公司 浙江 杭州 310013

**【摘要】**：垃圾焚烧作为垃圾无害化、减量化处理的主流方式，其烟气含有的酸性气体、颗粒物、重金属及二噁英等污染物，对生态环境和人体健康构成潜在威胁。本文分析半干法、湿法两种主流烟气净化工艺的运行特性，结合绍兴新民热电、上海江桥等实际项目案例，对比二者污染物控制效果与适用性；探讨脱酸、活性炭吸附与除尘、脱硝系统的运行优化关键技术；提出酸性气体、颗粒物与重金属、二噁英类污染物的精准排放控制策略。研究表明，半干法适配中小型常规项目，湿法适用于大型高标准项目，通过精细化优化与全流程管控，可实现烟气污染物排放持续优于国标，为垃圾焚烧厂烟气净化系统高效稳定运行提供技术参考。

**【关键词】**：垃圾焚烧；烟气净化；半干法；湿法；污染物控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.052

## 引言

随着城市化进程加快，垃圾产量逐年攀升，垃圾焚烧因其处理效率高、占地面积小、减量化效果显著，成为我国城市垃圾处理的核心方式。但垃圾焚烧过程中会产生含 HCl、SO<sub>2</sub> 等酸性气体、颗粒物、重金属及二噁英等有毒有害烟气污染物，若处理不当，将严重污染大气环境、危害人体健康。当前，国内垃圾焚烧厂烟气净化工艺呈现多元化发展，半干法与湿法应用最为广泛，但二者在运行特性、净化效果与经济性上存在显著差异。基于此，本文结合实际工程案例，分析主流工艺特性，研究运行优化技术与精准排放控制策略，为垃圾焚烧厂烟气净化系统优化升级、实现达标排放提供理论与实践支撑。

## 1 垃圾焚烧厂烟气净化主流工艺与运行特性分析

### 1.1 半干法烟气净化工艺运行特点

半干法烟气净化工艺以降温塔、活性炭喷射、半干法脱酸反应器与袋式除尘器为核心，是国内应用最广泛的主流路线，典型代表为菲达 MHGT 工艺。该工艺在绍兴新民热电 400t/d 垃圾焚烧项目中稳定运行，依托消石灰浆液雾化与烟气中和反应，无废水产生，流程简洁、成本适中，适配垃圾热值波动<sup>[1]</sup>。反应器通过精准控温与雾化粒径，缩短二噁英生成温区停留时间，协同活性炭吸附二噁英与重金属，最终由袋式除尘器捕集产物。天津合佳奥绿思 45t/d 医疗垃圾焚烧项目增设急冷环节，进一步抑制二噁英生成，排放达标验证其危废场景可靠性。运行中需调控反应温度、钙硫比与雾化效果，可维持脱硫效率 89%以上、HCl 脱除效率 90%以上，适配国内主流排放限值。

### 1.2 湿法烟气净化工艺运行特点

湿法烟气净化工艺采用降温塔、活性炭喷射、袋式除尘器、湿式洗涤塔与再加热装置组合，以碱性吸收液循环洗涤实现酸

性气体深度脱除，净化效果可达欧盟 2000 标准，适用于高标准大型垃圾焚烧项目。上海江桥垃圾焚烧厂扩能工程率先采用该工艺，通过布袋前干法预脱酸与布袋后湿法深度净化协同增效，HCl 总去除率超 99%、SO<sub>2</sub> 去除率超 95%，可同步去除细颗粒与残余重金属。

### 1.3 不同工艺污染物控制效果对比

半干法与湿法工艺的污染物控制效果差异显著。半干法经绍兴新民热电、天津合佳奥绿思等项目验证，烟尘排放 ≤ 16mg/m<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub> < 45mg/m<sup>3</sup>、HCl < 20mg/m<sup>3</sup>、二噁英低至 0.00023ng TEQ/m<sup>3</sup>，全面优于 GB 18485-2001 标准，满足国内常规管控需求。湿法以上海江桥项目为代表，烟尘 ≤ 10mg/m<sup>3</sup>，HCl、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等指标契合欧盟 2000 标准，重金属排放优于国标一个数量级，深度控制能力突出。经济性上，半干法无废水、流程简、成本低，适配中小型项目；湿法净化极致但成本高、废水处理压力大，更适合大型标杆项目与超低排放场景，二者共同构成国内烟气净化技术体系。

## 2 烟气净化系统运行优化关键技术

### 2.1 脱酸系统运行参数优化

脱酸系统优化核心是结合半干法与湿法反应机制差异，实现吸收剂高效利用与脱酸效率最大化<sup>[2]</sup>。半干法以绍兴新民热电 MHGT 工艺为范本，调控急冷塔降温速率，压缩烟气在二噁英生成温区的停留时间，将反应器出口温度稳定在 150-180℃，优化浆液浓度 12%-15%、雾化粒径 30-50 μm、钙硫比 1.2-1.5，兼顾效率与成本。湿法以上海江桥项目为参考，优化洗涤塔喷淋层数、液气比与 pH 值 (9-11)，采用多级喷淋提升气液接触面积，动态调节循环浆液浓度，减少药剂浪费，使 HCl、SO<sub>2</sub> 脱除效率分别提升 8%、23%以上，满足欧盟严苛标准。

## 2.2 活性炭吸附与除尘系统协同优化

活性炭吸附与袋式除尘协同优化是控制二噁英、重金属与颗粒物的核心，依托天津合佳奥绿思与绍兴新民热电项目形成调控体系。活性炭喷射环节根据烟气污染物浓度，在反应器后、除尘器前均匀喷射，吸附二噁英与汞、铅、镉等重金属，避免气态逸散。除尘系统优化滤料选型，采用耐高温抗腐蚀复合滤料，智能调整清灰周期与脉冲压力，避免破坏滤袋反应层，保障二次脱酸与颗粒物捕集，使烟尘排放 $\leq 15\text{mg/m}^3$ 。

## 2.3 脱硝系统运行调控优化

脱硝系统采用炉内低氮燃烧与末端脱硝协同模式，适配不同工艺特性。半干法配套深度空气分级、三级分级燃烧技术，优化炉内配风，控制主燃区过量空气系数，将原始 $\text{NO}_x$ 稳定在 $300\text{-}350\text{mg/m}^3$ ，满足国标；添加富氧型活性吸收剂实现脱硫脱硝一体化，脱硝效率约65%，可应对锅炉出口 $1000\text{mg/m}^3$ 的高 $\text{NO}_x$ 工况。湿法以上海江桥项目为代表，采用低氮燃烧+SNCR联合技术，在炉膛 $850\text{-}950^\circ\text{C}$ 喷射还原剂，结合炉内优化，使 $\text{NO}_x$ 排放 $\leq 200\text{mg/m}^3$ ，契合欧盟标准，同时控制还原剂用量，降低氨逃逸与设备腐蚀风险，实现效率、成本与安全的平衡（见图1）。

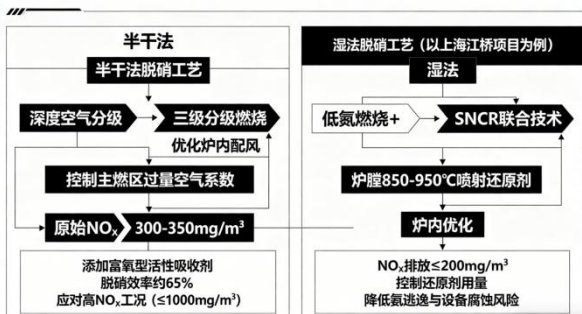


图1 脱硝系统运行调控优化

## 3 烟气污染物精准排放控制策略

### 3.1 酸性气体（HCl、SO<sub>2</sub>、HF）排放控制

酸性气体精准控制采用分级脱除、参数闭环调控策略，结合工艺特性定制方案。半干法以消石灰为核心吸收剂，通过急冷降温、雾化反应、循环利用协同脱除HCl、SO<sub>2</sub>、HF，绍兴新民热电项目优化反应温度与钙硫比，使HCl降至

$13.8\text{mg/m}^3$ 、HF降至 $2.0\text{mg/m}^3$ 、SO<sub>2</sub>降至 $43.1\text{mg/m}^3$ ，远低于国标。天津合佳奥绿思项目增设前置急冷与干法预脱酸，强化去除效果，HCl控制在 $18\text{mg/m}^3$ ，脱硫效率92%，适配危废高酸性烟气。

### 3.2 颗粒物与重金属排放控制

颗粒物与重金属采用吸附-捕集-深度过滤全链条控制，依托袋式除尘器实现协同达标[3]。颗粒物控制优化滤料选型、清灰制度与运行压差，半干法经绍兴新民热电、天津合佳奥绿思项目验证，烟尘分别低至 $16.7\text{mg/m}^3$ 、 $15.13\text{mg/m}^3$ ，林格曼黑度 $<1$ 级，满足国标；湿法通过袋式除尘+湿式洗涤塔双重过滤，洗涤塔细颗粒去除率超60%，烟尘 $\leq 10\text{mg/m}^3$ ，达欧盟标准。重金属控制采用活性炭吸附与除尘协同，喷射活性炭吸附汞、铅、镉后，由袋式除尘器捕集，绍兴新民热电项目铅 $< 1.0\text{mg/m}^3$ 、镉 $< 0.04\text{mg/m}^3$ 、汞 $< 0.05\text{mg/m}^3$ ，天津合佳奥绿思项目达标，可避免重金属扩散污染。

### 3.3 二噁英类污染物排放控制

二噁英控制遵循炉内破坏、急冷抑制、末端吸附全流程策略，双重保障达标。炉内控制焚烧温度 $\geq 850^\circ\text{C}$ 、烟气停留时间 $\geq 2\text{s}$ ，合理匹配过量空气系数，破坏二噁英前驱体，从源头减量。半干法重点优化急冷环节，天津合佳奥绿思项目将烟气快速降温至 $200^\circ\text{C}$ 以下，缩短二噁英再生温区停留时间，配合活性炭吸附与袋式除尘，二噁英降至 $0.13\text{ng TEQ/m}^3$ ；绍兴新民热电项目取消冗余急冷塔，依托反应器控温，二噁英低至 $0.00023\text{ng TEQ/m}^3$ ，达欧盟标准。湿法通过急冷、活性炭吸附、湿式洗涤三重保障，上海江桥项目二噁英 $< 0.1\text{ng TEQ/m}^3$ ，全流程精细化调控确保排放持续优于国标与欧盟标准。

## 4 结语

垃圾焚烧厂烟气净化是保障焚烧处理环保达标的核心环节，半干法与湿法工艺凭借各自优势，共同构成国内烟气净化技术体系，分别适配不同规模、不同排放要求的项目场景。通过脱酸、活性炭吸附与除尘、脱硝系统的精细化参数优化，可实现吸收剂高效利用、污染物协同去除，显著提升净化效率并降低运行成本。针对各类污染物实施全流程精准管控，能有效抑制二噁英生成、减少重金属逸散，确保烟气排放持续优于国标甚至欧盟标准。

## 参考文献:

- [1] 吴勇俊.水冷综合温控技术在垃圾焚烧炉后烟气净化系统中的应用[J].工业锅炉,2025,(05):27-32+37.
- [2] 吴子伟.垃圾焚烧电厂烟气净化技术研究[J].能源新观察,2025,(09):115-116.
- [3] 翟通.垃圾焚烧发电烟气净化设备升级改造[J].现代制造技术与装备,2025,61(09):91-93.