

生活垃圾焚烧厂烟囱腐蚀分析

陈 昆

中城院（北京）环境科技股份有限公司 北京 100120

【摘 要】：本文针对某城市生活垃圾焚烧厂 2×600t/d 焚烧线配套烟囱，重点研究烟囱的腐蚀情况，采用现场测试、介质分析和结构排查相结合的方法，对烟囱腐蚀现状、腐蚀机理和影响因素进行系统研究，揭示酸性冷凝液腐蚀、热应力和飞灰冲刷协同作用下的腐蚀规律。在此基础上，提出材料升级、结构优化、过程调控、智能监控的综合技术体系，并经工程应用验证其有效性。

【关键词】：生活垃圾焚烧厂；烟囱腐蚀；酸性冷凝液；防腐技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.065

引言

生活垃圾焚烧发电是我国城市化进程中最主要的减量化、无害化和资源化方式，烟囱是焚烧厂烟气排放的核心设备，其运行状况对环境保护和生产安全具有重要意义。随着入炉垃圾中工业垃圾等成分比例的不断变化，HCl、SO_x 等酸性气体浓度大幅升高，加之湿烟气排放引起的酸露点升高，导致烟囱内管腐蚀损伤严重，因防腐涂层破损而被迫停机检修，不仅增加运营成本，也带来环保风险。因此，对此类工程烟囱的腐蚀现状进行系统分析，并提出针对性的治理技术，对保障其稳定运行和降低环境风险具有重要意义。

1 项目概况

某项目设计日处理生活垃圾 1200t/d，配置 2×600t/d 机械炉排焚烧炉及 2×15MW 汽轮发电机组。烟气净化采用“SNCR 脱硝+半干法脱硫+活性炭喷射+布袋除尘”组合工艺，设计脱硫效率≥95%，脱硝效率≥80%，颗粒物排放浓度≤10mg/m³，满足 GB18485-2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》要求。烟囱采用套筒式结构，外筒为 C40 钢筋混凝土筒体，承担结构承重与抗风荷载；内筒采用 Q345B 低合金钢板制作，原设计内壁采用“环氧富锌底漆+玻璃鳞片中间漆+氟碳面漆”三重防腐体系，干膜总厚度 500 μm。设计烟温 130~150℃，受燃烧负荷波动影响，实际运行烟温为 110~160℃，烟气湿度≥85%；实测烟气中 HCl 浓度 80~150mg/m³，SO_x 浓度 50~100mg/m³，氯离子含量显著高于常规火电机组烟气，腐蚀环境更为严苛^[1]。

2 生活垃圾焚烧厂烟囱腐蚀现状

2.1 腐蚀部位

本项目采用超声测厚和现场采样分析等方法，对烟囱内筒进行全面检测：一是钢内筒中下部，该区域处于酸露点区间，易形成酸性冷凝液，腐蚀以均匀减薄为主，局部出现点蚀坑，实测最大腐蚀深度 1.2mm；二是焊缝及接管部位，因焊接热影响区组织不均、涂层易存在针孔、微裂纹等缺陷，腐蚀易沿焊

缝扩展，共检测出 8 处焊缝腐蚀裂纹，最大裂纹长度 50mm、深度 0.8mm；三是内筒顶部及出口区域，受烟气湍动、冲刷及冷凝液汇集影响，防腐层大面积剥落，剥落面积约 35%，基体裸露后快速发生腐蚀^[2]。

2.2 腐蚀性媒介

通过对该工程烟囱冷凝液及烟气成分的检测和分析，发现腐蚀介质强酸性和高氯离子含量是引起腐蚀的主要原因。测定结果表明，冷凝液的 pH 值在 1.5~2.8 之间，呈强酸性，盐酸的浓度在 350~520mg/L，SO₄²⁻ 的浓度在 180~250mg/L，氯离子的含量在 280~420mg/L，大大高于传统的工业烟气冷凝液。烟气中除 HCl 和 SO₂ 外，还含有少量氢氟酸、Cl₂ 等强腐蚀性气体，其中 HCl 含量最高可达 0.015%，与《高参数垃圾电站锅炉温度对腐蚀的影响及其防护技术》中提出的“Cl⁻ 体积含量≥0.35%时，腐蚀速率大幅度提高”这一临界值相符。

2.3 腐蚀影响因素

本工程烟囱的腐蚀是介质特性、结构设计和运行条件等多因素综合作用的产物，从介质特性上看，入炉垃圾中含氯成分增加，导致 HCl 浓度超过设计值 40%；氯离子“活化氧化”破坏金属氧化膜完整性，加速腐蚀过程。从检测上看，原有内管防腐涂层所用的普通氟碳涂料在高氯离子环境下耐腐蚀能力较差，焊缝部位的涂层施工质量难以控制，容易形成腐蚀薄弱点。从运行工况上看，由于燃烧负荷波动，烟气温度(110-160℃)变化频繁，形成交变热应力，导致涂层与基体发生剥离，停机后快速启停加剧结构损伤^[3]。

3 生活垃圾焚烧厂烟囱腐蚀治理技术

3.1 防腐材料的改进和应用

本项目针对高氯盐和强酸性腐蚀环境，采取硼硅酸盐泡沫玻璃砖内衬+特殊防腐涂层的复合防护方案，并严格按照技术要求进行选材，硼硅酸盐泡沫玻璃砖致密，孔隙率大于 95%，能有效阻隔酸液的渗入，耐酸腐蚀性能经检验达到“强酸浸泡

96小时不变”要求，与钢内筒膨胀系数匹配。同时，抗热冲击性能优良，内筒内壁采用环氧富锌底漆+玻璃鳞片中间漆作为底层，采用特殊的耐高温胶泥粘贴400mm厚的硼硅酸盐泡沫玻璃砖，玻璃砖的接缝处用氟橡胶密封，外层进行高温防腐处理。

3.2 优化结构和工艺技术

在结构优化方面，根据规范要求，增加钢内筒的壁厚，中、下部腐蚀严重的部位，可局部更换钛-钢复合板，复合板性能符合规范要求。在工艺改进方面，通过对烟气净化系统的操作参数进行优化，使烟气温度稳定在150~155℃之间，比酸露点温度高10~20℃，以降低凝结水的产生；增加烟气再热器，降低燃烧负荷，保证烟气温度在130℃以上；通过前端垃圾分类管控，减少含氯包装物入炉，使烟气中盐酸浓度降至80mg/m³以下。

3.3 施工质量控制体系

本项目建立全流程质量管理体系，基础处理采用高温高压水射流清洗+机械打磨处理，去除旧涂层、积尘和腐蚀产物，达到Sa2.5级，并对裂缝和孔洞进行高温修补，保证基面平整度不超过3mm/m。施工期间，采用智能提升平台搭载防腐喷涂机器人进行作业，采用三维激光扫描规划施工路线，保证涂层厚度均匀；各层材料铺设完毕后，用手提式电火花检漏仪检查针孔，并用超声测厚仪对涂层厚度进行监测，发现缺陷及时修复。参照GB50726《工业设备及管道防腐蚀工程施工规范》的要求，对施工环境严格控制在15~35℃，湿度不超过75%。在竣工验收阶段，将委托第三方机构对涂料的附着力、耐酸性、耐高温性和外观质量等进行全面的检测，检测结果都要满足设计要求，并采用工业内窥镜全面检测烟囱的内部结构，保证不出现漏涂、开裂等缺陷。

3.4 智能化监控和运行管理

本项目在烟囱内管中下部及焊缝等关键部位分别嵌入温度、腐蚀速率和应力等传感器，实时采集烟囱内壁的温度、腐蚀速率、应力等参数，并将其上传到中央控制平台，设定腐蚀速率超限阈值，实现异常状态的及时报警。根据《火力发电厂湿烟气烟囱运行状态评估技术导则》要求，采用超声厚度测量、内窥式检测等方法对烟囱运行状态进行全面评价，建立每2年一次的周期评价体系^[4]。

4 治理效果验证及数据对比

4.1 治理前后腐蚀指标对比

通过对该项目烟囱治理前后的腐蚀指标检测，治理效果显著，具体数据对比见表1。由表1可知，治理后冷凝液酸性显著减弱，氯离子含量大幅降低，腐蚀速率从0.35mm/a降至

0.03mm/a，远低于行业允许的0.1mm/a标准，涂层完好率达99.5%，彻底解决原有的腐蚀渗漏问题^[5]。

表1 该项目烟囱腐蚀治理前后关键指标对比

指标名称	最大腐蚀深度 (mm)	涂层完好率 (%)	腐蚀速率 (mm/a)
治理前 (2024年检测)	1.2	65	0.35
治理后 (2025年检测)	0.05	99.5	0.03
改善幅度	降低 96%	提升 53%	降低 91%
检测标准	超声波测厚法	内窥镜视觉检测	腐蚀探头监测法

4.2 不同防腐方案性能对比

为验证该项目采用的复合防护方案优越性，选取行业常用的三种防腐方案进行性能对比，结果见表2。由表2可知，该项目采用的复合防护方案在耐酸性、抗热震性及耐磨性能上均优于其他方案，设计寿命最长，且全生命周期成本最低，较常规涂层方案每年节省运维成本9.9万元，体现显著的技术经济优势^[6]。

表2 不同防腐方案性能对比

防腐方案	耐酸性 (pH=1 浸泡 96h)	抗热震性 (110-160℃ 循环 50次)	耐磨性能 (落砂法损耗量 g/m ²)
常规涂层 (环氧富锌+氟碳)	起泡、剥落	涂层开裂	0.32
钛板内衬	无异常	无异常	0.15
硼硅酸盐泡沫玻璃砖+特种涂层 (该项目采用)	无异常	无异常	0.08
玻璃钢内衬	局部发白	分层剥离	0.21

5 结语

综上所述，生活垃圾焚烧厂烟囱腐蚀治理需坚持“源头控制、过程防护、末端监测”的全链条思路。本文研究项目形成的治理技术体系与工程经验，可为同类生活垃圾焚烧厂烟囱防腐提供可靠参考，对保障焚烧厂稳定运行、降低环保风险具有重要意义，未来可进一步开展新型防腐材料研发与数字化

监测技术应用,推动烟囱防腐技术向长效化、智能化方向发展。

参考文献:

- [1] 王海军,红星,班志峰,等.轻质玻璃陶瓷防腐材料处理窑尾烟囱腐蚀问题的实践[J].新世纪水泥导报,2024,30(06):58-60.
- [2] 张肖,范存新.考虑腐蚀效应的钢筋混凝土烟囱风致易损性分析[J].广东土木与建筑,2024,31(03):87-91+96.
- [3] 许俊,成丽波,邓涛,等.电站烟囱腐蚀的智能化检测与分析方法研究[J].中国测试,2023,49(04):45-51.
- [4] 顾洪波,陈飞,马骏骧.国标《烟囱工程技术标准》“烟囱的防腐”解读及修编思路[J].武汉大学学报(工学版),2022,55(S2):211-216.
- [5] 马颖飞.火电厂钢筋混凝土烟囱腐蚀位置红外技术研究[J].山西建筑,2022,48(02):60-62+89.
- [6] 朱文中,王晓霞,车方,等.燃煤电厂湿烟囱防腐技术研究[J].化工管理,2021,(32):142-143+175.