

生活垃圾焚烧发电烟气超低排放改造工程应用

邬守密

遵义红城泰达环保有限公司 贵州 遵义 563000

摘要:为适配日趋严苛的垃圾焚烧烟气超低排放标准,破解传统工艺污染物减排不足的问题,本文梳理焚烧烟气核心污染物特性与限值标准,介绍SNCR+SCR协同脱硝、干湿法联合脱酸等核心技术及集成工艺体系。结合多地工程实例,分析改造方案、施工管控与减排成效,剖析工艺运维、工况适配等现存问题,提出参数优化、智能管控等改进对策,展望低温催化、智慧低碳的行业发展新方向。

关键词:生活垃圾;焚烧发电;烟气超低排放;改造工程应用

引言:生活垃圾焚烧发电是固废无害化、资源化处置的重要方式,但焚烧烟气中的颗粒物、 NO_x 、 SO_2 、二噁英等污染物易造成环境影响。随着国内多地出台烟气超低排放新规,原有传统净化工艺已无法满足严苛的环保要求,企业环保合规压力与邻避效应问题凸显。基于此,本文依托实际改造工程,系统探究超低排放改造技术体系、应用成效与优化路径,为同类焚烧项目环保升级提供参考。

1 生活垃圾焚烧烟气污染物与超低排放改造技术体系

1.1 焚烧烟气主要污染物及排放限值标准

(1)焚烧烟气主要包含颗粒物、 SO_2 、 NO_x 、HCl、重金属及二噁英等污染物。 NO_x 生成以燃料型为主,占比高达75%~95%;二噁英主要在200~400℃温度区间通过低温异相催化合成反应生成。(2)现行国标(GB18485-2014)1小时均值分别为颗粒物30mg/m³、 SO_2 100mg/m³、 NO_x 300mg/m³。浙江等地超低排放标准已将限值大幅收紧至颗粒物≤10mg/m³、 SO_2 ≤30mg/m³、 NO_x ≤80mg/m³、HCl≤10mg/m³、氨≤8mg/m³。达到超低排放的焚烧厂每月至少95%以上运行时段须满足上述要求。北京2026年征求意见稿更将 NO_x 降至60mg/m³[1]。(3)常规排放与超低排放的核心差异在于 NO_x 限值从300mg/m³降至80mg/m³,降幅达73%; SO_2 从100mg/m³降至30mg/m³,降幅70%;颗粒物从30mg/m³降至10mg/m³,降幅67%。改造硬性要求包括增设高效脱硝(SCR)和深度脱酸(湿法)设施。

1.2 主流超低排放改造核心工艺技术

(1)SNCR+SCR协同脱硝:SNCR利用850~1100℃炉膛温度喷入还原剂,脱硝效率40%~60%;SCR在低温催化剂(166~170℃)作用下深度脱硝,效率可达80%~95%。二者协同可将 NO_x 稳定控制在70mg/m³以下。(2)干法+湿法协同脱酸:湿法对HCl脱除效率达

99%以上、 SO_2 达95%以上;干法对HCl去除效率约80%、 SO_2 约75%。高效布袋除尘采用PTFE覆膜滤料,颗粒物排放可控制在5~10mg/m³。(3)活性炭喷射配合布袋除尘对二噁英去除率可达99%左右;同时严格控制烟气在200~400℃的停留时间以抑制二噁英再生成。

1.3 多污染物协同治理集成工艺体系

(1)典型工艺流程为“SNCR炉内脱硝→半干法脱酸→活性炭喷射→布袋除尘→湿法脱酸→SCR脱硝→GGH”。该一体化工艺对 SO_2 、HCl、 NO_x 、颗粒物、二噁英实现梯级协同脱除。(2)GGH利用高温净烟气余热加热湿法脱酸后的低温烟气,既提升烟囱抬升力、实现烟气脱白,又节约能耗。某3×750t/d项目采用该集成工艺后,年减少 SO_2 排放153.6t、HCl19.2t、烟尘19.2t、二噁英0.192g-TEQ。(3)集成工艺相较于单一改造技术,可实现多污染物一次性协同脱除,避免设备重复投资;适应70%~115%负荷波动;3条线可节约投资约1200万元,年减少电耗约530万kWh。

2 生活垃圾焚烧发电烟气超低排放改造工程实例应用与效果分析

2.1 改造工程概况

(1)以光大环保能源(常州)垃圾焚烧项目为例,该企业是国内距居民区最近的焚烧厂(最近仅320米)。原烟气工艺为“SNCR脱硝+半干法脱酸+干法脱酸+活性炭喷射+布袋除尘”,排放达欧盟2010标准。铜川海创环境能源2024年处理垃圾17.43万吨,改造前 SO_2 日均排放限值80mg/m³, NO_x 限值250mg/m³。(2)原有系统主要问题:地方超低排放标准出台(如浙江 NO_x ≤80mg/m³),原 NO_x 排放约250mg/m³, SO_2 约80mg/m³,分别超出30mg/m³和80mg/m³限值。缺少SCR深度脱硝和湿法脱酸单元,无法满足 NO_x 降幅73%、 SO_2 降幅70%的硬性要求。改造必要性:地方标准强制执行、环保合规压力,以及破解

邻避效应需求。(3)改造总体目标:主要排放指标远优于国标和欧盟,实现超低排放。技术选型依据:结合焚烧规模、场地及排放目标,光大常州选用“SNCR脱硝+半干法脱酸+干法脱酸+活性炭吸附+布袋除尘+SCR脱硝+湿法脱酸+烟气脱白”;铜川海创选用“PNCR+SNCR+高效干法脱酸+旋转喷雾半干法反应塔+干粉喷射+活性炭吸附+布袋除尘器+沼气直燃加热一次风技术”。

2.2 工程改造实施方案

(1)系统改造总体布局:在原有烟气净化系统基础上,增设SCR脱硝反应塔及配套系统、湿法脱酸洗涤塔、GGH烟气换热器及烟气脱白装置。设备升级方面,更换高效布袋除尘器滤料(采用PTFE覆膜滤料),更新优化DCS控制系统。新增设备配置包括SCR催化剂层(通常2+1层布置)、湿法洗涤循环系统、碱液制备及投加系统等。(2)各单元改造施工工艺:SCR反应塔安装须严格控制基础沉降及塔体垂直度;湿法脱酸塔内部防腐涂层施工须确保厚度均匀、无针孔;布袋除尘器更换须逐仓室进行,避免全停造成烟气短路。安装调试关键控制点包括:SCR催化剂活性检测、氨喷射均匀性调试、湿法塔液气比优化(通常控制在5~15L/m³)、GGH换热效率验证等。铜川海创项目经连续168小时试运行,烟气污染物排放均满足地标要求^[2]。(3)改造施工安全管控:动火作业严格执行审批制度,涉氨区域配备氨气泄漏检测报警仪及应急喷淋装置。新旧系统切换采用分段停炉或临时旁路方案,确保切换期间烟气达标排放;光大常州项目改造期间通过合理安排检修窗口、分线作业等方式保障了周边居民区空气质量不受影响。

2.3 改造后烟气排放效果监测分析

(1)监测方案设置:烟气排放口安装CEMS在线监测系统,实时监测SO₂、NO_x、颗粒物、HCl、CO、O₂等指标,数据实时上传至环保监控平台。二噁英每年至少检测2次,采用同位素稀释高分辨气相色谱-质谱法(HRGC-HRMS);重金属采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)检测^[3]。(2)核心指标排放数据对比:光大常州项目改造后,氮氧化物排放浓度稳定在50mg/m³以下,二氧化硫稳定在5mg/m³以下;铜川海创改造后SO₂由80mg/m³降至40mg/m³以下(减排50%以上),NO_x由250mg/m³降至120mg/m³以下(减排52%以上)。龙泉试点项目改造后NO_x低至80mg/m³,不到国标300mg/m³的三分之一。(3)超低排放达标稳定性:各项目经168小时连续试运行及长期在线监测验证,排放指标稳定满足地方超低排放标准要求。工况波动适应性方面,集成工艺可适应70%~115%负荷波动,确保变工况条件下排放稳

定达标。

2.4 工程改造技术经济分析

(1)改造工程投资成本:光大常州项目总投资1.4亿元人民币;遂昌县300t/d焚烧线超低排放改造中标价2540万元。按单线500t/d处理量计,改造成本约200~300万元(采用特定工艺方案)。以湿法脱硫为核心的超低排放技术路线初投资约1.37万元/t,日运行成本约16.46元/t。烟气净化设备投资占项目整体投资约18.3%,运行成本占整体运行成本达55%^[4]。(2)环保效益:遂昌项目预计年减排SO₂28.5吨、NO_x150.6吨、颗粒物9吨、HCl33.9吨;铜川海创实现SO₂减排50%以上、NO_x减排52%以上。社会效益方面,光大常州项目建成国内首个无围墙、全开放、超低排放的“邻利工厂”和“城市客厅”,破解了“邻避”效应。资源化效益:沼气直燃加热一次风技术可间接提高发电功率约108kW,年增收约26万元。(3)投资性价比:单线500t/d从国标升级到超低排放,预期5~10个月可收回投资。常州市政府将垃圾处理补贴费上调12元/吨(调整后为92元/吨),同时延长特许经营期25.5年。该集成工艺路线在多项中成功验证,具备良好的行业推广价值,尤其适用于距居民区较近、环保要求严格的焚烧发电项目。

3 生活垃圾焚烧发电烟气超低排放改造工程现存问题与优化对策及展望

3.1 超低排放改造工程运行现存共性问题

(1)工艺运行痛点方面,催化剂中毒与氨逃逸问题突出。垃圾焚烧烟气中碱金属、重金属及SO₂易使催化剂中毒失活,使用寿命缩短,废弃催化剂处理费用高昂。过量喷氨导致氨逃逸超标,同时SO₂/SO₃转化率提高会促进硫酸氢铵生成,加剧催化剂堵塞。脱酸环节深度脱酸导致飞灰量增加,湿法工艺产生大量脱硫废水和石膏。(2)设备运维问题方面,布袋磨损与结露腐蚀并存。烟气低温导致结露腐蚀和粉尘吸潮,损坏箱体和滤袋;气流分布不均引起滤袋磨损。能耗方面,传统SCR需将烟气加热至180~230℃,加热能耗占SCR年运营成本的55%以上,运行成本占焚烧厂总运行成本达55%。(3)工况适配问题方面,我国固废含水率高、热值动态波动,导致燃烧不完全、烟气排放不稳定,热值波动直接影响烟气温度、流量及污染物浓度,变工况条件下治理难度显著增加。

3.2 全系统运行优化改进对策

(1)工艺参数优化方面,精准调控焚烧3T+E参数是源头控制关键。脱酸环节采用串级PLC控制策略,实时监测酸性气体浓度并动态反馈调节药剂喷射量。脱硝环

节采用精准智能喷氨系统,将氨逃逸严格控制在3ppm以内。(2)设备运维优化方面,建立定期检修维护体系,通过监测压降、出口颗粒物浓度发现滤袋问题并及时更换。设备顶部和灰斗处加强保温和加热处理防止酸结露。针对催化剂中毒,可采用在线加热再生方式(再生温度350~400℃,周期6000h/次),或选用添加MoO₃、SiO₂的抗中毒催化剂。(3)智能管控优化方面,搭建烟气在线监测与智能调控系统,以“前馈预测+反馈修正+多变量协同”为控制逻辑。构建焚烧运行数据知识库,开发二噁英预测预警系统,以0.04/0.02ngTEQ/Nm³为警戒阈值,综合准确率可达84%^[5]。

3.3 超低排放技术发展展望

(1)新型净化材料方面,超低温脱硝催化剂是重要突破方向。远达环保40孔超低温催化剂在160℃时脱硝效率达90.2%,氨逃逸小于2.28mg/m³,能耗降低约50%。陶瓷一体化系统以催化剂滤管为核心,在210~220℃、过滤风速0.60m/min时,除尘效率99.87%、脱硝94.28%、脱二噁英95.68%。(2)智慧化低碳化方面,人工智能系统以每秒3次频率调整燃烧参数,使每吨垃圾多发电20度。未来趋势是从“达标排放”迈向“近零排放”,碳排放监测将纳入烟气治理数字化平台。(3)融合发展方面,焚烧热能通过管道供热,每年32万吉焦热量可满足100万

平方米生活区域用热需求。超低排放改造将同步实现全厂废水“零排放”、炉渣100%无害化处置,行业向“清洁、高效、兼容、和谐”方向持续迈进。

结束语

本文系统探究了垃圾焚烧发电烟气超低排放集成改造技术,工程实践证实多污染物协同治理工艺可大幅降低污染物排放,兼具环保、经济与社会效益。当前改造运维仍存在催化剂中毒、能耗偏高、工况适配性不足等问题。未来需依托新型净化材料与智能低碳技术,优化系统运行模式,推动烟气治理从达标排放向近零排放升级,助力行业绿色可持续发展。

参考文献

- [1]刘武.生活垃圾焚烧电厂烟气超低排放改造工艺优化及工程应用[J].环境工程学报,2024,18(07):182-190.
- [2]张磊.垃圾焚烧烟气多污染物协同超低排放改造技术实践[J].中国环境科学,2025,45(02):890-897.
- [3]王浩.老旧生活垃圾焚烧电厂烟气超低排放提标改造工程设计[J].电力环境保护,2023,39(04):45-51.
- [4]赵鑫.活性炭喷射优化在垃圾焚烧烟气超低排放中的工程应用[J].环境工程,2024,52(09):112-117.
- [5]陈宇峰.垃圾焚烧烟气脱硝脱硫协同改造及超低排放运行特性[J].热能动力工程,2025,40(05):134-140.