

## 聚焦碳排放

## 垃圾焚烧烟气超低排放全流程工艺选择

袁伯若 程 虎

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 生活垃圾焚烧过程中会产生大量含有污染物的焚烧烟气。针对未来垃圾焚烧烟气污染物超低排放的要求,本文将深度脱硫技术和脱硝技术进行工艺组合,介绍了SCR脱硝联合湿法脱酸消白全工艺流程、配套声波测温系统的高效SNCR脱硝联合湿法脱酸全工艺流程以及PNCR脱硝联合湿法脱酸全工艺流程的流程、原理、优缺点等,最后给出3种推荐全流程技术路线。

[关键词] 垃圾焚烧发电; 烟气净化; 超低排放; 脱硫; 脱硝; SCR; SNCR; PNCR; 全流程

[中图分类号] X799.3 [文献标志码] A [文章编号] 1008-5122(2021)05-0001-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.001

## Whole Process Selection of Ultra-low Off-gas Emission of Waste Incineration

YUAN Bo-ruo, CHENG Hu

**Abstract:** In the process of domestic waste incineration, a large number of off-gas containing pollutants is produced. Aiming at the requirements of ultra-low emission of waste incineration off-gas pollutants in the future, this paper combined the deep desulfurization technology and the deep denitrification technology, introduced process, principles, advantages and disadvantages of the whole process of SCR denitrification combined with wet deacidification and eliminating white mist, the whole process of efficient SNCR denitrification combined with wet deacidification with acoustic temperature measurement system and the whole process of PNCR denitrification combined with wet deacidification. By comparing the above off-gas cleaning process solutions, three recommended technical routes of the whole process were given.

**Key words:** waste incineration power generation; off-gas cleaning; ultra-low emission; desulfurization; denitrification; SCR; SNCR; PNCR; whole process

## 0 前言

垃圾焚烧发电将生活垃圾在高温下燃烧,使生

活垃圾中的可燃废物转变为二氧化碳和水等,产生的余热用于发电,产生的废气、飞灰进行无害化处理。生活垃圾焚烧发电具有“无害化、减量化、资源化”的优点。生活垃圾焚烧炉在焚烧垃圾后会排放大量含有污染物的烟气。近年来,随着生产水平与环保要求的逐步提高,部分省份要求严格管控生活垃圾焚烧发电行业污染物的排放,要求在现有国家排放标准基础上进一步提标,引导行业绿色、健康、可持续发展。例如,河北省制定了地方标准《生活垃

[收稿日期] 2021-03-11

[作者简介] 袁伯若(1987—),男,湖北黄石人,硕士,中级工程师,主要从事垃圾发电烟气净化工程设计。

[引文格式] 袁伯若,程虎.垃圾焚烧烟气超低排放全流程工艺选择[J].有色冶金节能,2021,37(5):1-4,12.

圾焚烧大气污染控制标准》(DB 13/5325—2021),该标准规定排放烟气中颗粒物小于 8 mg/Nm<sup>3</sup>,二氧化硫小于 20 mg/Nm<sup>3</sup>,氮氧化物小于 120 mg/Nm<sup>3</sup>。

### 1 常规烟气净化工艺

现有成熟常规烟气净化工艺<sup>[1]</sup>为“SNCR(尿素或氨水)+旋转喷雾半干法(消石灰)+干法(碳酸氢钠或消石灰)+活性炭粉喷射+布袋除尘”。垃圾焚烧烟气经该工艺处理后,可以达到《生活垃圾焚烧污染物控制标准》(GB 18485—2014)的排放要求,但无法满足未来超低排放<sup>[2]</sup>标准下二氧化硫、氮氧化物的排放要求;同时经常规工艺处理后的烟气中有白烟,易造成视觉污染,引起周围民众恐慌。

现有深度脱硫技术有湿法脱硫技术,深度脱硝技术有 SCR 脱硝、配套声波测温系统的高效 SNCR 脱硝以及 PNCR 脱硝技术,但上述技术方案均基于

对脱硫或脱硝的单独考虑。因此,需要针对超低排放的全流程烟气净化需求进行工艺组合与路线选择。

### 2 几种可行工艺路线介绍

#### 2.1 SCR 脱硝联合湿法脱硫消白的全工艺流程

##### 2.1.1 工艺介绍

为了进一步脱硫脱硝<sup>[3]</sup>,可采用传统 SNCR 工艺联合 SCR 脱硝<sup>[4]</sup>与湿法脱硫的全工艺流程。按 SCR 系统布置位置的不同,该工艺可分为 SCR 前置与 SCR 后置两种。

SCR 前置流程如图 1 所示:SNCR(选择性非催化还原脱硝)+半干法脱酸(旋转雾化器)+活性炭喷射吸附+袋式除尘器+SGH(蒸汽/烟气加热器)+SCR(选择性催化还原脱硝、低温型)+湿法脱酸+GGH(烟气/烟气换热器)+SGH(蒸汽/烟气加热器,可选设备,用于烟气消白)。

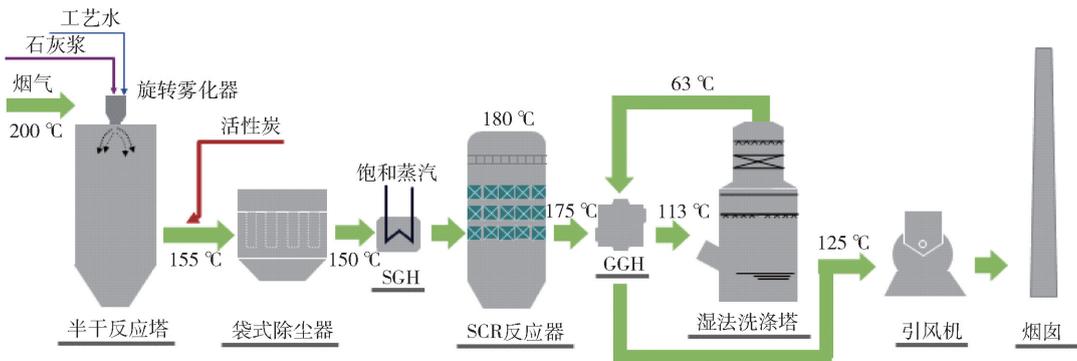


图 1 SCR 前置全流程

SCR 后置流程如图 2 所示:SNCR(选择性非催化还原脱硝)+半干法脱酸(旋转雾化器)+活性炭喷射吸附+袋式除尘器+GGH(低温烟气/烟气换

热器)+湿法脱酸+GGH(高温烟气/烟气换热器)+SGH(蒸汽/烟气加热器)+SCR(选择性催化还原脱硝、低温型)。

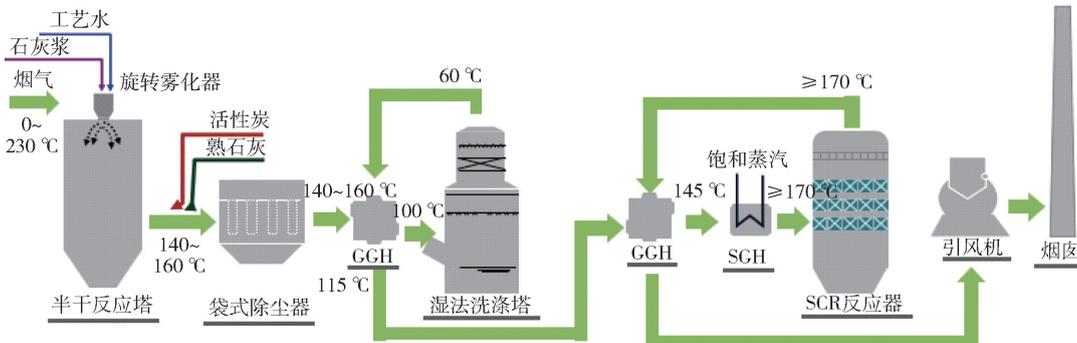


图 2 SCR 后置全流程

无论 SCR 前置还是后置,催化剂均采用低温型 SCR 催化剂。如果将 SCR 前置于湿法系统且采用中温型 SCR 催化剂,可提高脱硝系统的运行可靠

性,但会增加系统的蒸汽消耗量和运行费用。据核算,对于 1 条处理规模为 500 t/d 的焚烧线,与采用中温型催化剂的系统相比,使用低温型催化剂的

SCR系统每年可节省运行费用约151万元。从环保角度考虑,低温型SCR催化剂脱除 $\text{NO}_x$ 和二噁英的效率均较高。如果前端采用湿式洗涤塔脱酸工艺,低温型催化剂运行寿命更长。根据日本JFE工程公司统计,采用湿法工艺+低温SCR,催化剂的使用寿命长达12年。相较而言,中温型催化剂运行寿命一般为3年,两者差距明显。

### 2.1.2 工艺对比和应用

SCR前置和后置两种方案的全流程设备配置对比见表1,技术经济对比见表2。

上述两种工艺流程在国内均有应用案例,例如青岛黄岛区静脉产业园垃圾焚烧发电项目一期采用SCR前置全流程,雄安新区垃圾综合处理设施一期工程采用SCR后置全流程工艺。这两种方案的烟气排放指标均优于国标《生活垃圾焚烧污染控制标准》

(GB 18485—2014)和欧盟标准(2010/75/EU),并满足未来行业超低排放标准的要求,同时可以解决烟气脱白问题。从实际运行情况来看,SCR前置工艺存在催化剂中毒和反应区堵塞的现象,催化剂需要半年左右再生一次,系统维护工作量较SCR后置工艺大,同时存在除尘器滤袋破损导致SCR催化剂层堵塞的严重风险。从目前国内新上项目的实施情况来看,深圳、广州、上海、海南等地新建的垃圾焚烧烟气净化全流程均采用“湿法+SCR”的SCR后置流程,行业内对SCR后置工艺运行可靠性的认可度更高。

另外,含湿法脱酸的全工艺流程可取消常规流程中的辅助干法脱酸系统,采用半干法+湿法脱酸即可实现包括旋转雾化器检修期间在内的所有工况烟气达标排放要求。因此,增设湿法脱酸后,原有干法脱酸系统可以取消。

表1 SCR前置与后置全流程设备配置对比

比较区域	对比项	SCR前置(低温催化)	SCR后置(低温催化)
SCR系统	GGH	无	有,ND钢换热管
	SGH	有,烟气加热至30℃	有,烟气加热至38℃
	SCR反应器	设催化剂再生系统	不设催化剂再生系统
	催化剂用量及寿命	多,寿命短	少,寿命长
湿法系统	GGH	有,PTFE换热管及内衬	有,PTFE换热管及内衬
	SGH	有(如需漂白),烟气加热至140℃	无
	湿法塔	相同	

表2 SCR前置与后置全流程技术经济对比

对比项	SCR前置(低温催化)	SCR后置(低温催化)
设备投资	略少,相差不大	略多,相差不大
运行阻力及引风机电耗	阻力7500 Pa,电耗相对小	阻力9200 Pa,电耗相对大
蒸汽使用量(同等排烟温度)	多	少
蒸汽使用量(环境温度高)	少	多
系统整体可靠性	差	优

## 2.2 配套声波测温系统的高效SNCR脱硝联合湿法脱酸的全工艺流程

声波测温系统是采用声波法对炉膛二维温度场进行连续在线监测的系统,它有别于温度场模拟技术和其他测温技术,是全自动燃烧或热加工过程中一种连续、准确、实时、非接触的气体温度测量技术。它采用基于层析算法的多路径温度测量系统,可以得到完整的炉内二维空间温度场分布构象。

配套声波测温系统的高效SNCR脱硝技术是通过改进SNCR系统反应区域温度的实时在线监测系

统(采用声波测温系统),使喷枪处于合适的反应温度窗口,从而提高脱硝的效率,降低还原剂用量,并有效地控制氨逃逸。

为实现SNCR脱硝系统喷氨量的更优控制,使控制目标与环保考核目标相一致,根据垃圾焚烧炉炉膛温度场温度信息,利用过程数据与 $\text{NO}_x$ 生成量的耦合关系,建立动态模型。在锅炉负荷波动的情况下,于垃圾焚烧炉出口处判断氮氧化物的浓度生成量,从而有效控制非催化还原法脱硝装置的喷氨量,并根据实测 $\text{NO}_x$ 数据,不断修正并给出当前时刻

的最优控制量。同时根据垃圾焚烧炉负荷情况、给料量、烟气流量校核温度场,提高控制响应时间和精度。

基于准确快速的炉膛内部二维温度场分布监测和合理的算法控制逻辑,SNCR 控制系统可实现对每支喷枪的独立精细控制,达到更高的脱硝效率,并实现将  $\text{NO}_x$  稳定控制在  $90 \text{ mg}/\text{Nm}^3$  以内;在保证高脱硝效率前提下,还原剂耗量减少  $20\% \sim 40\%$ ;  $\text{NH}_3$  逃逸量小于  $8 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。

配套声波测温系统的高效 SNCR 脱硝联合湿法脱酸的全工艺流程为:高效 SNCR(炉内脱硝,配套声波测温系统) + 半干法脱酸 + 活性炭喷射吸附 + 袋式除尘器 + 湿法脱酸 + GGH(烟气/烟气换热器) + SGH(蒸汽/烟气加热器,可选设备,用于烟气消白)。外排进入烟囱的烟气温度及湿式洗涤塔出口烟气温度应最终根据项目所在地实际大气环境及消白要求确定,调节范围分别为  $120 \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$  和  $45 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2.3 PNCR 脱硝联合湿法脱酸的全工艺流程

PNCR 脱硝联合湿法脱酸<sup>[5]</sup> 工艺流程如图 3 所

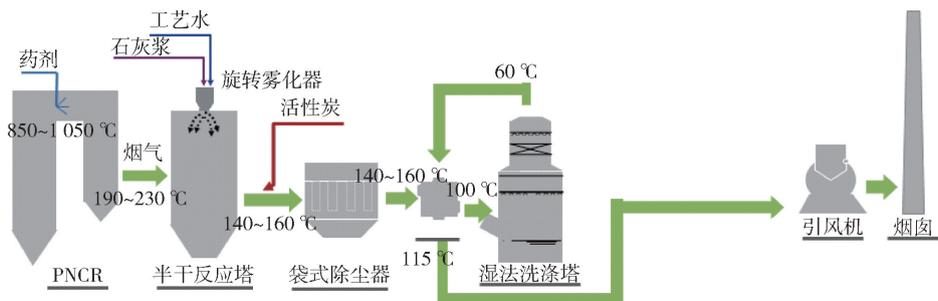


图3 基于PNCR脱硝技术的全工艺流程

## 3 推荐技术路线

通过分析上述烟气净化全流程工艺方案,并结合超低排放发展趋势,推荐采用以下3条技术路线,以实现烟气脱白与氮氧化物、硫化物的进一步减排。

1) 技术路线一:配套声波测温系统的高效SNCR脱硝 + 湿法脱硫技术的全工艺流程,系统运行阻力约为  $6800 \text{ Pa}$ ,引风机全压为  $9000 \text{ Pa}$ 。该技术路线既适用于提标改造项目,也适用于新扩建项目,尤其对于改建项目,投资成本优势明显。

2) 技术路线二:PNCR脱硝 + 湿法脱硫的全工艺流程,系统运行阻力约为  $6800 \text{ Pa}$ ,引风机全压为  $9000 \text{ Pa}$ 。该技术路线既适用于提标改造项目,也适用于新扩建项目,尤其对于改建项目,投资成本优势明显。

上述两种技术路线均兼具SCR和SNCR两者

示:PNCR(炉内脱硝) + 半干法脱酸 + 活性炭喷射吸附 + 袋式除尘器 + 湿法脱酸 + GGH(烟气/烟气换热器) + SGH(蒸汽/烟气加热器,可选设备,用于烟气消白)。

该工艺采用气力输送装置将高分子脱硝剂(活性氮粉末)直接送入锅炉,使氨基和高分子化学键断裂释放出大量含氨基能团( $\text{NH}_2-$ ),然后氨基与烟气中 $\text{NO}_x$ 反应,从而达到脱硝的目的。所用的高分子脱硝剂是以聚丙烯盐为载体,把氨基成分聚合在聚合物材料上形成的粉末状材质。PNCR脱硝联合湿法脱酸技术的脱硝率大于  $80\%$ ,烟气排放可满足河北省地方标准,且在一定程度上可取代SNCR + SCR联合脱硝系统,形成新的脱硝工艺路线。

相对于传统SCR系统的昂贵造价及高运行成本,该脱硝工艺系统简单,烟气阻力小,造价与运行成本均较低,建设周期短,运行中不需要使用昂贵的催化剂,具有应用优越性。

的优点,既具有SCR技术的高脱硝率,又具有SNCR技术建设投资费用和运行费用低的优势,并适用于占地受限的项目,具有广阔的应用发展前景。特别是技术路线一,在运行成本上有着其他技术路线无法比拟的优势,且自动化程度高,结合人工智能技术,贴近现代智慧工厂的发展趋势。

3) 技术路线三:湿法脱硫 + SCR后置全工艺流程,系统运行阻力约为  $9200 \text{ Pa}$ ,引风机全压为  $12000 \text{ Pa}$ ,引风机电耗较大。该技术路线采用的SNCR联合SCR脱硝工艺为现行主流成熟脱硝技术,项目运行无风险,且湿式洗涤塔的设置位置,综合考虑了催化剂使用寿命和系统运行可靠性两个方面。

## 4 结束语

综上所述,尽管传统常规烟气净化处理工艺成

(下转第12页)