

问题探讨

垃圾焚烧烟气深度处理工艺及案例分析

钱兵,李军,冯冬燕

(中国天楹股份有限公司,江苏南通 226600)

摘要:目前,国内垃圾焚烧烟气排放标准越来越严格,这对垃圾焚烧烟气处理技术提出更高的要求,因此找到高效的烟气处理工艺是解决问题关键所在。详细介绍了生活垃圾焚烧烟气脱酸技术、脱硝技术,列出各技术的优缺点。并以海安县生活垃圾焚烧发电厂项目为例,采用“SNCR+半干法+干法(碳酸氢钠)+活性炭喷射+袋式除尘+SCR”烟气深度处理技术,对工艺进行详细叙述。通过最终的烟气净化系统性能参数看出,该套烟气深度处理工艺的排放要求满足欧盟 2000 标准,是一种高效的处理工艺。

关键词:垃圾焚烧;烟气深度处理;烟气脱酸;烟气脱硝

中图分类号:X701

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2016)05-0038-03

MSW INCINERATION FLUE GAS TREATMENT PROCESS DEPTH AND CASE STUDY

QIAN Bing, LI Jun, FENG Dong-Yan

(Tianying Inc., Nantong Jiangsu 226600, China)

Abstract: At present, the domestic waste incineration flue gas emission standards are becoming increasingly stringent, this waste incineration flue gas treatment technology and higher requirements, so finding an efficient flue gas treatment processes is the key to solve problems. In this paper the advantages and disadvantages of solid waste incineration flue gas acid technology, and denitration technology introduced in detail, listing various technologies. And a garbage incineration power plant project life, for example, use "SNCR + semidry + dry (sodium bicarbonate) + activated carbon injection + dust bag + SCR" flue gas treatment technology, and processes described in detail. By flue gas purification system performance parameters see that the set depth flue gas treatment processes to meet the EU 2000 standards, it is a highly effective treatment process.

Key words: Waste incineration; flue depth of treatment; flue gas acid; flue gas denitrification

生活垃圾焚烧过程产生的烟气中,含有大量的污染物,如 HCl、SO_x、NO_x、CO、重金属(Pb、Hg)和二恶英等。为了避免上述有害物质进入人类的生存环境,就必须对烟气进行深度净化处理并达标排放。目前,垃圾焚烧烟气排放标准越来越严格,因此找到高效的烟气处理工艺是解决问题关键所在。

目前,国内垃圾焚烧发电厂烟气处理工艺比

较单一,从运行情况来看,这些工艺满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014),但大多数无法满足欧盟 2000 标准。

1 烟气脱酸、脱硝工艺介绍

1.1 烟气脱酸工艺介绍

烟气脱酸工艺主要有干法、半干法、湿法三大类,以下是详细介绍。

1.1.1 干法处理工艺

干法处理工艺将石灰粉通过喷射系统喷入反

应塔出口管道内,在除尘器滤袋附近与酸性气体接触反应,生成固态化合物,再由除尘器将其与飞灰一起捕集下来。飞灰属于危险废物,经排灰收集系统收集后需要进行稳定化处理。干法与袋式除尘器的基本组合工艺为垃圾焚烧厂典型的烟气净化工艺之一。

1.1.2 半干法处理工艺

半干法工艺是将一定浓度的石灰浆液喷入反应塔与酸性气体反应,并通过喷水量控制反应温度。在吸收、中和反应过程中将水分蒸发,较大颗粒的飞灰沉降到反应塔底部排出,细微颗粒飞灰经除尘器捕集后,进行稳定化处理。采用雾化石灰浆作反应剂,化学反应效果明显优于干法,其中石灰干粉的用量一般为理论用量的2倍,净化效率达95%~99%。但对重金属、二恶英等有机物的吸附能力仍然有限,因此需要在系统中加入活性炭以增强对重金属和二恶英等污染物的捕集能

力。目前,烟气净化工艺普遍采用半干法与袋式除尘器,并配置活性炭喷入装置的组合方法。

1.1.3 湿法处理工艺

湿法净化工艺通常是先采用静电除尘器除尘,再进骤冷器将烟气温度降至60~70℃后,进入温式洗涤塔,进行碱液洗涤去除烟气中的酸性污染物。以避免气体酸性腐蚀作用,净化气体一般需加热到160~180℃,再由引风机经烟囱排入大气。洗涤液通常为石灰浆液或氢氧化钠溶液,若采用石灰溶液,则石灰的用量为理论用量的1.2倍,对HCl的去除率可达99%以上。从洗涤塔排出的废水需经处理后排放,同时产生的污泥也需妥善处置^[1]。

1.1.4 脱酸工艺技术比较

干法、半干法及湿法烟气脱酸工艺特性综合比较参见表1。

从表1可看出,湿法脱除效率较高,但是投资

表1 脱酸工艺特性综合比较

种类	去除率		药剂消耗	电耗	水耗	反应物量		投资	运行维护费
	脱酸系统	配合粉尘				固态	液态		
干法	50%	90%	150%	80%	100%	120%	0	80%	86%
半干法	90%	96%~99%	100%	100%	100%	100%	0	100%	100%
湿法		99%	70%	150%	150%	0	100%	125%	150%

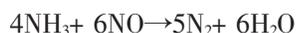
成本和运行成本比较高。半干法相对湿法工艺而言,占地面积小,投资少,没有污水排放。

1.2 烟气脱硝工艺介绍

烟气脱硝主流技术常有SNCR(选择性非催化还原法)和SCR(选择性催化还原法)两种。

1.2.1 SNCR(选择性非催化还原法)

选择性非催化还原(SNCR)技术是向烟气中喷氨或尿素等含有NH₃基的还原剂,在高温(900℃~1000℃)和没有催化剂的情况下,通过烟道气流中产生的氨自由基与NO_x反应,把NO_x还原成N₂和H₂O。总反应方程式如下:

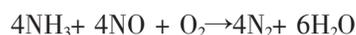


SNCR还原NO的化学反应效率取决于烟气温度,高温下停留时间,含氮化合物即还原剂注入的类型和数量,混合效率以及NO_x的含量等^[2]。一般来说,SNCR脱硝效率可达80%。

1.2.2 SCR(选择性催化还原法)

SCR技术是还原剂(NH₃、尿素等)在催化剂作用下,选择性地与NO_x反应生成N₂和H₂O,而不是被O₂所氧化,故称为“选择性”。以NH₃为还

原剂的主要反应式为:



在SCR技术的应用过程中,催化剂的制备生产是其中最重要的部分之一,其催化性能直接影响到SCR系统的整体脱硝效果。对SCR脱硝系统而言,催化剂的选取是关键。考虑到经济性和运行维护等因素,要求催化剂具有活性高,抗硫性、抗水性好,寿命长,经济性好和不产生二次污染等特点。

1.2.3 SNCR和SCR联合脱硝技术

SNCR/SCR联合脱硝工艺是将SNCR工艺中还原剂喷入炉膛的技术同SCR工艺中利用逸出氨进行催化反应的技术结合起来,从而进一步脱除NO_x的一种新型工艺。与单一的SCR工艺和SNCR工艺相比,联合技术具有系统脱硝效率高;设备相对简单,占地面积小;催化剂用量少;脱硝系统阻力小等优点。该联合工艺NO_x的脱除率达90%以上,氨的逸出量由5×10⁻⁶~25×10⁻⁶降到5×10⁻⁶以下^[4]。

1.2.4 脱硝技术比较

SNCR、SCR 及 SNCR 和 SCR 联合脱硝技术综合比较见表 2。

表 2 脱硝工艺特性综合比较

脱硝工艺	SNCR	SCR	SNCR+SCR
催化剂	使用	不使用	使用
温度范围	300℃左右	900~1200℃	-
投资	低	高	高
NH ₃ /NO _x 比例控制	无严格要求	摩尔比为 1	-
NH ₃ 残留	<4mg/m ³	<4mg/m ³	<4mg/m ³
脱除效率	30%~80%	>90%	>90%

从上表可看出,SCR 脱硝与 SNCR 脱硝各有优势及不足。SCR 要求严格控制 NH₃/NO_x 比率,脱硝率能达到 90 %以上。SCR 工艺操作的关键是避免存在灰尘、SO₂、重金属等杂质,以减轻催化剂中毒,延长催化剂使用寿命。SNCR 工艺投资小,但氨液消耗量大,适用温度较高,NO_x 脱除率低。两种脱硝技术要避免投入过多的 NH₃,防止由于残留的 NH₃ 与 SO₃、H₂O、HCl 等反应,生成(NH₄)HSO₄、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl,产生固体颗粒,形成白烟,影响治理效果。

2 组合工艺介绍

2.1 工艺流程说明

结合以上各工艺特点,设计一套对烟气深度脱除的组合工艺,该工艺中采用“半干法+干法”脱酸工艺及“SNCR+低温 SCR”脱酸工艺。该烟气深度处理工艺的处理下,其烟气排放标准满足欧盟 2000 标准,是一种高效的处理工艺。

2.1.1 “半干法+干法”脱酸工艺

余热锅炉出口的烟气温度为 180~220 ℃,通过烟道进入旋转喷雾脱酸塔的上部,烟气在进入旋转喷雾反应塔后,与高速旋转喷雾器喷入的 Ca(OH)₂ 浆液进行充分混合,烟气中的 SO_x、HCl 等酸性气体与 Ca(OH)₂ 进行中和反应后被去除,同时,烟气温度被进一步降低到 155 ℃左右,经过处理的烟气经旋转喷雾脱酸塔的下部通过连接烟道进入袋式除尘器。从脱酸塔出来后,烟气冷却至约 155 ℃后进入袋式除尘器。在袋式除尘器和脱酸塔之间的烟道上设有碳酸氢钠喷射装置和活性炭喷射装置,喷射出来的碳酸氢钠粉末与烟气中的酸性气体发生中和反应,确保任何时刻酸性气体排放达标。

在半干法的基础上增加干法工艺,进一步去

除酸性气体,且干法选用碳酸氢钠作为吸附剂,较石灰具有更高的酸性气体去除效果。

2.1.2 “SNCR+低温 SCR”脱硝工艺

SNCR 脱氮工艺采用(NH₂)₂CO(尿素)溶液作为还原剂,将其喷入焚烧炉内。NO_x 在高温下被还原为 N₂ 和 H₂O。尿素经过尿素溶液配制间,配制浓度约 40 %的尿素溶液,通过溶液输送泵送至混合器。在混合器内尿素溶液进一步被水稀释成 5 %的稀溶液。稀释后的溶液被压缩空气雾化,并经喷嘴喷入炉膛内,与烟气中的 NO_x 反应。

SCR 脱氮工艺采用低温 SCR 技术,其中催化剂层采用低温催化剂,载体物质为 TiO₂,活性物质为 Mn、Fe 等金属氧化物。反应温度在 150°左右时,NO_x 去除率可达 80 %以上。反应区间在布袋除尘器之后,可避免先飞灰中的 K、Na、Ca、As 等微量元素对催化剂的污染或中毒,缓解 SO₂ 引起的催化剂失活和催化剂寿命减少。因此在烟气进入 SCR 反应器前,无需对烟气加热,从而大大降低了能源的消耗,降低成本。最终可确保排放烟气中的 NO_x 浓度满足欧盟 2 000 的排放要求。

3 案例分析

以海安县生活垃圾焚烧发电厂项目为例:一期工程于 2012 年正式投入运营,日处理垃圾 500 t,二期工程于 2014 年底正式投入运营,日处理垃圾 300 t,一、二期工程日处理垃圾共 800 t,烟气处理采用“SNCR+半干法+干法(碳酸氢钠)+活性炭喷射+袋式除尘+SCR”的处理工艺。

3.1 工艺流程

烟气深度处理系统包括:炉内喷尿素系统、反应塔系统、活性炭喷射系统、碳酸氢钠喷射系统、袋式除尘系统、SCR 脱硝系统等,并配有自动控制及在线检测装置。净化后的烟气经 80 m 高烟囱排入大气,烟气处理系统工艺流程见图 1:

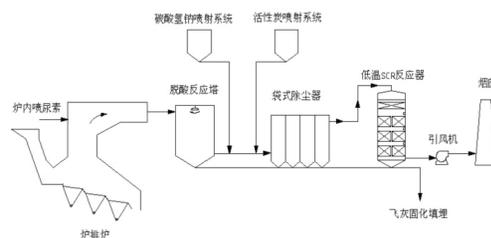


图 1 烟气深度处理工艺流程

3.2 应用及效果

(下转第 23 页)

材料在高温时流量对膜通量的影响很大。膜组件的运行温度应在 70 ℃和流量 300 l/h,其产水通量较大。如果并联 10 个热容腔运行,每昼夜(10 h)产水为可达 142 kg。本组件与太阳能热水系统相连,实现太阳能膜蒸馏,在自然循环状态下,水箱温度保温效果良好,能够满足膜蒸馏运行的温度条件。

参考文献

- [1] Koschikowski J, Wiegand M, Rommel M, et al. Experimental investigations on solar driven stand-alone membrane distillation systems for remote areas. 2009, 248
- [2] Lawson K W, Lloyd D R. Membrane distillation [J]. Membr Sci. 1997. 124: 1~25
- [3] Gostoli C and Sarti G C. Separation of liquid mixtures by membrane distillation. J. of Membrane Sci. 1989, 41: 211~224

- [4] 刘茉娥等. 膜分离技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 322~324
- [5] Kurokawa, H., Ebara, O. and Takahashi, S. Vapor permeate characteristics of membrane distillation, Separation Sci. and Tech., 1990, 25: 1349~1359.
- [6] 田瑞, 李嵩, 杨晓宏, 等. 高通量空气隙膜蒸馏系统的实验研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(11): 2056 - 2059.
- [7] Kazuo Murase, Yusuke Yamagishi, Yusuke Iwashita, et al. Development of a tube-type solar still equipped with heat accumulation for irrigation [J]. Energy, 2008, 33: 1711~1718
- [8] 闫建民. 膜蒸馏传递机理及膜组件优化研究[D]. 北京化工大学. 2000: 1~20
- [9] 马淑娟, 杨晓宏, 田瑞, 膜材料影响并接式膜组件渗透性能试验研究 [J]. 水处理技术力工程院, 2011, 37(8): 81~85
- [10] 杨晓宏, 田瑞, 高虹等. 旋转入流膜蒸馏组件数值模拟研究[J]. 工程热物理学报, 2013, 34(2): 344~347

(上接第 40 页)

表 3 为海安县生活垃圾焚烧发电厂烟气净化系统技术性能参数, 以上排放标准均满足欧盟 2000 要求^[4]。

表 3 生活垃圾焚烧发电厂烟气净化系统性能参数

项目	初始质量浓度 (mg/m ³)	GB18485-2014 (mg/m ³)	欧盟 2000 (mg/m ³)	出口质量浓度 (mg/m ³)
烟尘	4000	20	10	8.5
HCl	1500	50	10	8
SO _x	500	80	50	45
NO _x	300	250	200	175
HF	10	-	1	0.85
Pb + Cr + Cu + Mn	50	-	0.5	0.42
Hg	≤0.5	0.05	0.05	0.035
Cd	≤0.5	0.1	0.05	0.035
二恶英	1 ng-TEQ/Nm ³	0.1 ng-TEQ/Nm ³	0.1 ng-TEQ/Nm ³	<0.1

4 结论

海安县生活垃圾焚烧发电厂结合烟气脱酸和烟气脱氮技术的优点设计出一套烟气深度处理工艺, 从最终的烟气净化系统性能参数可看出, 该烟气深度处理工艺的排放要求满足欧盟 2000 标准, 是一种高效的处理工艺。

参考文献

- [1] 白良成. 生活垃圾焚烧处理工程技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009;
- [2] 朱江涛, 王晓辉, 等. SNCR 脱硝技术在大型煤粉炉中应用探讨 [J]. 能源研究与信息, 2006;
- [3] 王天泽, 楚英豪, 等. 烟气脱硝技术应用现状与研究进展[J]. 四川环境, 2012
- [4] 何志刚. 江苏省南通市海安县垃圾焚烧发电厂运行记录;