

## 生活垃圾焚烧发电烟气净化工艺的研究及应用

生活垃圾焚烧发电是解决生活垃圾减量化、资源化、无害化的重要途径。2000年，原国家环境保护总局、科学技术部、原建设部在联合发布的《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》中指出：垃圾焚烧应严格按照《生活垃圾焚烧污染控制标准》等有关标准要求，对烟气、污水、炉渣、飞灰、臭气和噪声等进行控制和处理，防止对环境的污染。应采用先进和可靠的技术及设备，严格控制垃圾焚烧烟气排放。我国的生活垃圾以混合收集为主，垃圾含水量高，餐厨和餐饮等有机废物比重大，垃圾焚烧产生的烟气湿度大，有毒、有害成分复杂，存在二噁英等有害物质，烟气需要进一步净化处理。本文以某生活垃圾焚烧发电厂为例，介绍了该厂采用的烟气净化治理工艺，为垃圾焚烧发电烟气净化提供参考。

### 1 垃圾焚烧烟气污染物成分及排放标准

生活垃圾焚烧发电产生的烟气成分极其复杂，主要有酸性气体(HCl、HF、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>)、二噁英类(多氯二苯并二噁英、多氯二苯并呋喃)、重金属(Cr、Cd、Hg、Pb、Ni、Se、Cu、Zn、Mn等)、颗粒物四大类。垃圾中某些特定成分的燃烧是烟气中酸性气体的主要来源，如含氯塑料燃烧后产生HCl，垃圾中的含氮化合物分解转换后与N<sub>2</sub>高温氧化生成NO<sub>x</sub>，含硫化合物燃烧氧化生成SO<sub>x</sub>等。

烟气中的二噁英类，一部分来自原生垃圾中的微量二噁英，另一部分是燃烧过程中生成的二噁英。废旧电池、灯管、电子产品、油漆、油墨等燃烧后是金属类污染物的主要来源。

垃圾燃烧过程中产生的颗粒物包括烟尘、未反应的石灰粉及吸附了二噁英和重金属的活性炭粉等。与燃煤电厂排放的烟气相比，垃圾焚烧产生的烟气具有烟气量较小、HCl浓度高、SO<sub>2</sub>浓度较低、含水量较高等特性。

国家标准《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2014)对生活垃圾焚烧排放烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、重金属及其化合物、二噁英类污染物排放控制提出最新要求。我国《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2014)及《欧盟工业排放指令》(2010/75/EC)的垃圾焚烧烟气排放限值见下表。由下表可知，欧盟2010比国标GB18485—2014更为严格。

#### 生活垃圾焚烧排放烟气中污染物限值

项目	国标 (GB 18485—2014)		欧盟2010/75/EC	
	24h均值	1h均值	日均值	0.5h100%
颗粒物 (烟尘)	20	30	10	30
HCl/ (mg/m <sup>3</sup> )	50	60	10	60
HF/ (mg/m <sup>3</sup> )	—	—	1	4
SO <sub>2</sub> / (mg/m <sup>3</sup> )	80	100	50	200
NO <sub>x</sub> / (mg/m <sup>3</sup> )	250	300	200	400
CO/ (mg/m <sup>3</sup> )	80	100	50	100
TOC/ (mg/m <sup>3</sup> )	—	—	10	20
测定均值				
汞及其化合物/ (mg/m <sup>3</sup> )	0.05		0.05	
镉、铊及其化合物/ (mg/m <sup>3</sup> )	0.1		0.05	
锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物/ (mg/m <sup>3</sup> )	1.0		0.5	
二噁英类/ (ngTEQ/m <sup>3</sup> )	0.1		0.1	

## 2技术分析

根据垃圾焚烧烟气污染物的成分，烟气净化系统工艺主要分为脱酸(HCl、HF、SO<sub>x</sub>)处理，脱硝(NO<sub>x</sub>)处理，颗粒物、二噁英、重金属的去除。

### 2.1脱酸处理

垃圾焚烧过程中产生的酸性气体主要有HCl、HF、SO<sub>x</sub>。烟气脱酸净化方法有干法、半干法、湿法三种。干法净化是指反应产物为固态，可直接进行最终处理的净化方法。烟气吸收剂主要使用Ca(OH)<sub>2</sub>粉末，吸收剂通过管道喷射，省去了石灰浆制备工艺。

干法净化可通过增加固态吸收剂在烟气中的停留时间，增大吸收剂的表面积，提高对污染物的去除效率。干法脱酸设备简单，投资较低，无需配套废水处理系统，但需配套飞灰处理系统，消石灰粉消耗高，运行费用高，脱酸效率相对较低。

半干法是利用烟气中的热量蒸发石灰浆液中的水分，石灰与烟气中的SO<sub>x</sub>反应，最终产物为干粉状。吸收剂采用CaO含量较高的石灰，脱硫效率可达90%。烟气中其他酸性气体的脱除率高达95%以上。烟气停留时间、反应塔出口的温度差、吸收剂的粒度、粒雾在塔内的分布效果等都会影响酸性气体的去除效率。

半干法的脱酸效果优于干法，反应产物以干态固体排出，避免了湿式洗涤器净化过程中的污水处理问题。设备结构简单、维护方便，运转成本低廉，且无需对反应产物进行二次处理。湿法是利用碱性物质作为吸收剂，使酸性气态污染物高效净化。脱硫过程的反应温度低于露点，脱硫后的烟气需要再加热后才能排出。

湿法具有反应速度快、效率高、脱硫剂利用率高等特点，常用于大型燃煤电厂的烟气脱硫。湿法脱硫需对液态反应产物做进一步处理，存在废水问题，设备占地面积大，初投资和运行费用较高。湿法脱硫国内外少有用于垃圾焚烧发

电。

## 2.2脱硝处理

垃圾焚烧烟气中的脱硝处理主要采用选择性非催化还原工艺(SNCR)和选择性催化还原工艺(SCR)。选择性催化还原工艺(SCR)是指在催化剂的作用下，通过注射氨或尿素等还原剂，选择性地将NO<sub>x</sub>还原成N<sub>2</sub>。SCR的脱硝效率较高，但80%~90%烟气进入反应器之前需要预热。

配套设施复杂，投资成本与运行成本较高。催化剂需要按危险废物进行特殊处理。选择性非催化还原工艺(SNCR)无需催化剂，在750~900的温度区间，可直接通过炉内注射还原剂，将NO<sub>x</sub>还原成N<sub>2</sub>。与SCR相比，SNCR的脱硝效率较低，为30%~50%，但设备简单，投资少，费用仅为SCR的1/3。

工艺在焚烧炉炉膛内利用余温即可完成，无需消耗更多能量，排放满足标准要求。但存在氨过量，氨逃逸造成二次污染的问题。

## 2.3颗粒物处理

垃圾焚烧烟气颗粒物净化处理常采用静电除尘和袋式除尘。静电除尘器分高压电晕放电、粉尘荷电、粉尘收集、清灰四步。静电除尘器适应高温、酸性环境，设备运行和维护费用较低，但对比电阻高的颗粒物和细微颗粒物的去除效率较差。

袋式除尘器的工作原理包括过滤和清灰两部分，利用物理作用，烟气中的颗粒物被拦截并附在滤袋上，清灰装置对滤袋表面的粉尘进行清理。布袋除尘器的除尘效率高，对烟气适应性强，操作管理简单，能协同去除烟气中的二噁英类和重金属。但滤袋寿命短，需定期更换，运行和维护费用较高。

## 2.4二噁英类处理

二噁英类是多氯代二苯并-对-二噁英(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)的统称。《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2014)要求炉膛内焚烧温度 850℃，炉膛内烟气停留时间 2s，可有效抑制垃圾焚烧过程中二噁英类生成。根据“3T+E”控制工艺，燃烧过程中足够大的湍流程度、控制过量空气量均可有效控制燃烧过程中二噁英类的生成。

烟气温度下降，生成的二噁英类会以固态形式附在飞灰颗粒物表面。处理颗粒物时需协同处理二噁英类。对于气态二噁英类，可在除尘器前通过喷活性炭粉的方式吸附，吸附后，按颗粒物处理。

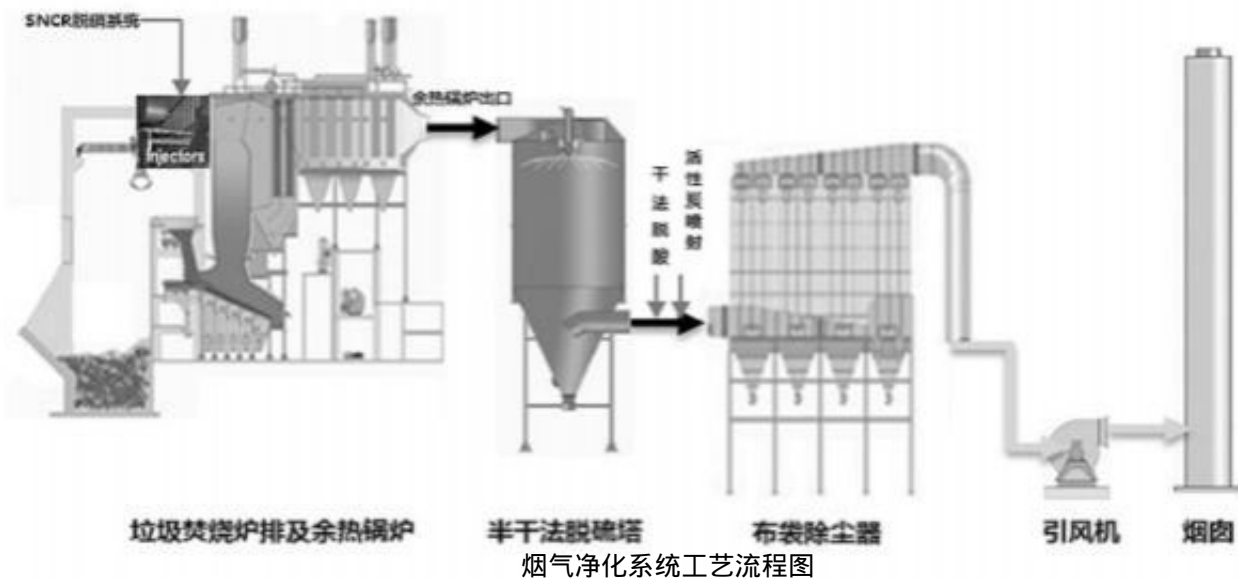
## 2.5重金属处理

垃圾焚烧烟气中的重金属主要以气态或吸附态形式存在。当烟气温度降低时，部分气化温度较低的重金属会凝结成小颗粒或金属氧化物或氯化物。剩余的气态重金属可通过喷入活性炭的方式吸附。重金属由气态全部转换为重金属颗粒，最终由除尘器将重金属去除。

## 3工艺选择

某城市生活垃圾焚烧发电一期项目，建设两条500t/d的生活垃圾焚烧线。垃圾称重后卸入垃圾坑，经发酵后进入焚烧炉燃烧。高温烟气经余热锅炉回收热能产生蒸气发电。炉渣装车外运进行综合利用，不能利用部分进行填埋。

飞灰经特殊处理后进行填埋。垃圾渗滤液入渗滤液收集和处理系统，处理达标后回用。根据该项目的特点及《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》，针对烟气中的酸性气体、二噁英类、重金属、颗粒物等，烟气净化采用炉内SNCR脱硝+半干式脱酸+干法脱酸+活性炭喷射装置+布袋除尘组合工艺。烟气净化系统工艺流程如下图所示。



垃圾焚烧烟气净化工艺中，NO<sub>x</sub>的去除在锅炉部位进行。烟气净化系统布置在每台余热锅炉之后，依次是反应塔、布袋除尘器、引风机和烟囱。反应塔和布袋除尘器布置在室内，引风机布置在室外。SNCR脱硝用于脱除烟气中的NO<sub>x</sub>，脱除率为45%~55%。半干法脱酸脱除烟气中HCl、HF、SO<sub>x</sub>等气体。干法脱酸是对半干法脱酸的补充。

活性炭喷射装置用于吸附烟气中的重金属和二噁英。布袋除尘器在捕捉粉尘的同时，还可以对附着粉尘进一步脱酸、吸附重金属和二噁英。净化达标后的烟气经引风机和烟囱排入大气。

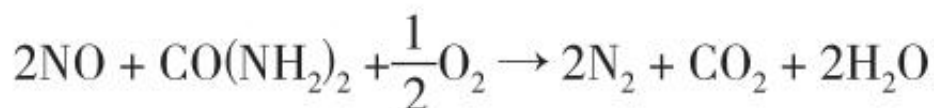
### 3.1 半干法+干法补充脱酸

半干法结合了干法和湿法的优点，比干法消耗更少的石灰量，比湿法耗水更少，且无废水产生。每条烟气净化线配置1座脱酸塔。焚烧炉焚烧产生的烟气进入脱酸塔进行脱酸处理。石灰浆液通过塔顶的旋转雾化喷头进行雾化。石灰浆液雾滴粒径为30~50 μm，绝大部分酸性气体通过与雾滴充分接触而去除。

雾滴吸收烟气中的热量后蒸发水分得以干燥，形成固体反应物从塔底排出。当焚烧炉启、停炉，半干法脱酸系统无法正常投运，启动干法脱酸消石灰粉喷射系统，确保烟气排放达标。消石灰粉喷射系统还可用于布袋除尘器第一次投运或更换新布袋后的预喷涂，防止布袋腐蚀。

### 3.2 SNCR脱硝系统

脱硝采用SNCR脱硝工艺，采用尿素为还原剂，脱硝还原剂稀尿素溶液经压缩空气雾化后在炉膛850~1100℃区域加入。脱硝反应式为：



脱硝效率满足排放标准，且不需添加催化剂。该工艺在焚烧炉内利用余温完成，不需消耗更多能量，且设备投资较少，运行维护方便。

### 3.3 活性炭喷射脱除二噁英类和重金属

通过活性炭给料机，活性炭通过输送管道到达反应塔的烟道，由于活性炭比表面积大，在烟道内与烟气混合均匀，且接触时间足够长，二噁英类和重金属污染物被吸附在活性炭上，随烟气进入袋式除尘器的滤袋表面，与滤袋表面充分接触，去除烟气中的二噁英和重金属。

### 3.4 袋式除尘器

该项目选用袋式除尘器收集烟气中的颗粒物，协同处理二噁英类和重金属。利用颗粒物绕过滤布纤维时与纤维碰撞而拦截。滤袋外表面的固体颗粒物被截留聚结成块，在重力作用下粗颗粒沉降至料斗，剩余的细灰渣含有石灰和活性炭粉，在滤袋上可与飞灰中的污染物继续反应，进而提高脱酸和脱除二噁英的效率。

#### 4运行情况

某城市生活垃圾焚烧发电项目于2016年底竣工并投入试生产，工程的生产设备与环保设施运行正常。2016年11月、12月和2017年7月分别对该项目的烟气进行了现场监测。监测表明，垃圾焚烧排放烟气中污染物排放结果均优于《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2014)对污染物限值要求，达到欧盟2010标准。

#### 5结语

分析了垃圾焚烧烟气中污染物主要成分及排放标准，介绍了烟气净化中去除酸性气体、氮氧化物、颗粒物、二噁英类、重金属的技术方法。某城市生活垃圾焚烧发电项目采用烟气净化炉内SNCR脱硝+半干式脱酸+干法脱酸+活性炭喷射装置+布袋除尘组合工艺，监测结果表明，垃圾焚烧烟气污染物满足排放标准，为生活垃圾焚烧发电烟气净化工艺设计提供了参考。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/141317.html>