

布袋除尘器和活性炭滤布对烟气中二噁英类的去除效果

金宜英¹, 聂永丰¹, 田洪海², 全浩², 殷惠民², 海颖² (1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084, E-mail: jinyy@mail.tsinghua.edu.cn; 2. 国家环境分析测试中心, 北京 100029)

摘要: 通过实验研究了布袋除尘器、活性炭滤布吸附器以及二者的组合对小型垃圾焚烧炉烟气中二噁英类的去除效果。在炉膛温度 850℃~900℃ 的条件下, 3 种方法对烟气中二噁英类的去除率分别为 39.7%、61.9%、93.4%。采用布袋除尘器+活性炭滤布吸附器能够在降低运行费用的同时使二噁英类的排放符合国家标准。

关键词: 二噁英类; 布袋除尘器; 活性炭滤布吸附器; 去除效率

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)02-04-0143

Removal Efficiency of Dioxins in Flue Gas from MSW Incineration by Using Bag House and Activated Carbon Filter/ Adsorbtor

Jin Yiyi¹, Nie Yongfeng¹, Tian Honghai², Quan Hao², Yin Huiming², Hai Ying² (1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: jinyy@mail.tsinghua.edu.cn; 2. National Research Center for Environmental Analysis and Measurement, Beijing 100029, China)

Abstract: This paper study the removal efficiency of dioxins in the flue gas from small-scale MSW incinerator, by using bag house, activated carbon filter/adsorbtor, and the combined unit of the bag house and activated carbon filter/adsorbtor. The removal efficiencies of the above three units respectively were 39.7%, 61.9%, 93.4% at 850~900℃. It was shown that the combined unit of the bag house and activated carbon filter/adsorbtor could reduce the operation cost, as well as meet the national criterion.

Keywords: dioxins; bag house; carbon filter/adsorbtor; removal efficiency

垃圾焚烧是环境二噁英类的主要污染源之一。由于二噁英类在烟气中主要以 2 种状态存在: 气相悬浮和固相吸附在飞灰颗粒上, 所以尽可能减少气相二噁英类比例并提高飞灰的去除效率是控制烟气二噁英类排放的重要手段^[1]。目前, 主要烟气除尘设备当中, 旋风除尘器一般除尘效率不超过 85%, 常作为预除尘器使用^[2], 静电除尘器虽然效率高达 99%, 但是最佳捕集温度(300℃~400℃)正是重新形成二噁英类的温度范围, 对控制二噁英类排放极为不利。布袋除尘器不但对细小飞灰有很高的除尘效率, 而且运行温度(150℃~170℃)也有利于避免二噁英类的再合成, 所以国家标准中推荐采用布袋除尘器^[3]。为了满足日益严格的二噁英类排放标准要求, 垃圾焚烧烟气净化系统必须能够减少气相二噁英类排放, 实践中常用活性炭颗粒或粉末吸附气相二噁英类, 再以布袋除尘器收集。这种方法虽然具有较好的二噁英

类去除效果, 但活性炭消耗量较大, 运行费用高^[4]。为此, 本文设计了布袋除尘器+活性炭滤布吸附方法研究烟气二噁英类的去除效率。

1 基本原理

焚烧烟气中气相悬浮和固相吸附在飞灰颗粒上的二噁英类所占比例取决于焚烧炉燃烧工况、烟气冷却速率, 以及焚烧飞灰表面是否存在促使二噁英类合成的金属催化剂等。根据国外研究报道, 烟气在 200℃ 进入布袋除尘器前气相悬浮和吸附在飞灰颗粒上的二噁英类一般情况下大约各占 50%^[5]。只有去除吸附在飞灰颗粒上的二噁英类和气相悬浮的二噁英类, 才能有效控制焚烧尾气中二噁英类的排放浓度。

直接将活性炭颗粒或者粉末注射到布袋除

尘器前的方法可以改善焚烧尾气净化系统对二噁英类的去除效率,但是由于增加了集灰层的厚度和运行间歇期,所提高的二噁英类的去除效率不高.

将活性炭吸附器置于布袋除尘器后,在布袋除尘器去除飞灰和吸附于飞灰颗粒上的二噁英类后,再通过活性炭吸附去除气相悬浮的二噁英类,不但有利于提高整个系统的二噁英类去除效率,同时可以减少吸附器的集灰量和运行间歇期,提高活性炭的利用效率和降低运行费用.

2 实验部分

2.1 实验方案



图 1 烟气净化系统流程图和采样点

Fig.1 Flow diagram and sampling points of the air pollution control device

2.2 采样

为测定上述不同烟气净化系统的二噁英类去除效率和研究除尘、吸附和除尘/吸附对于焚烧烟气中二噁英类的去除效率的贡献和影响,分别在布袋除尘器、活性炭纤维布吸附器和布袋除尘器+活性炭滤布吸附器的进、出口设置了6个采样点(1、1', 2、2', 3、3').监测时由于使用相同成份的垃圾,而且燃烧稳定,因此当焚烧温度在850℃~900℃时进口处进行一次采样,其它取相同值.

采样方法采用国家环境分析测试中心废气二噁英类监测标准方法^[6],利用过滤和吸附的原理,将烟气中的二噁英类定量地收集在滤筒和吸附树脂上.在采样前,玻璃纤维滤筒在马弗炉中600℃条件下加热6h,XAD-2树脂在真空干燥器中50℃条件下加热8h.根据烟气参数计算等速采样条件,在焚烧炉达到稳定燃烧状态后1h开始采样,每次采样量保持在约3m³.

2.3 分析

采样器的各个部件仔细清洗,所有清洗液

实验用焚烧烟气为南方某企业生产的日处理5t垃圾的卧式焚烧炉排出的烟气.实验时该焚烧炉处理的垃圾为混合垃圾,焚烧炉炉膛燃烧温度一般控制在850℃~900℃.从焚烧炉排出的烟气经高效旋风除尘器预处理后,通过热交换器将烟气温度快速降到180℃~200℃,再进入焚烧烟气净化系统.

焚烧烟气净化系统采用了基于布袋除尘器和活性炭滤布吸附器的3种不同组合,(如图1所示I、II、III).布袋除尘器采用美国杜邦公司生产的“T84+玻璃纤维”复合材料制成;活性炭滤布吸附器是采用5~20μm的纤维状炭质制成的布状吸附装置.

合并后用二氯甲烷萃取,滤筒、树脂等固相部分进行16h的索氏提取.萃取液和提取液经过浓缩后合并,进行溶剂转换(甲苯→正己烷).定容,向50%的分取溶液中加入17种¹³C或³⁷Cl标记的2,3,7,8-位有氯取代的二噁英类化合物作为净化内标,经过硫酸处理、多层硅胶柱和活性炭柱净化,最后得到含有分析对象二噁英类的样品溶液50μL.仪器分析采用JMS-700D高分辨GC/MS,色谱柱为60m SP-2331和60m DB-17,分别用于分析T₄CDD/Fs~H₆CDD/Fs和H₇CDD/Fs~O₈CDD/Fs;不分流进样方式,进样量1μL;质谱分辨率10000~12000;SIM扫描(锁定质量方式).

3 结果与讨论

3.1 布袋除尘器去除二噁英类效率

布袋除尘器进、出口处气体中二噁英类毒性当量和相应的二噁英类去除效率见表1.虽然布袋除尘器对焚烧烟气中所含飞灰的除尘效率很高,一般可达98%以上^[7],在去除飞灰的同时也对二噁英类有一定的去除作用,但效率

较低,不到 40%。这是由于布袋除尘器去除烟气中二噁英类的主要机理是去除吸附在飞灰上的二噁英类,对气态悬浮的二噁英类则效果很差。按照设备的除尘效率和除二噁英类效率估算,在实验系统中吸附在飞灰颗粒上的二噁英类大约占 40%,而气态悬浮的二噁英类占 60%。因此,对于小型焚烧炉,仅使用布袋除尘器作为主要的焚烧尾气处理设备是很难有效地控制焚烧烟气中的二噁英类,不可能完全达到二噁英类的国家排放标准要求。

表 1 布袋除尘器对二噁英类的去除效率

Table 1 Removal efficiency of dioxins for bag house

二噁英类毒性当量/ ng TEQ·m ⁻³		去除率/ %
采样点 1	采样点 1'	
6.3	3.8	39.7

3.2 活性炭滤布吸附器去除二噁英类效率

所采用的这种吸附设备中的活性炭滤布是一种活性炭纤维布,不但具有吸附功能,而且其截留颗粒物的能力也很强,故其对二噁英类的去除机理既包括吸附气相悬浮的二噁英类,也包括截留飞灰颗粒吸附的二噁英类。表 2 列出了焚烧烟气净化系统中仅采用活性炭滤布的吸附设备时在入口和出口处排放的二噁英类毒性当量,以及对二噁英类的去除效率。采用活性炭滤布的吸附设备对二噁英类的去除效率达到了 61.9%,不但比单独采用布袋除尘器时所能得到的对二噁英类的去除效率高,而且也大于尾气中气相悬浮二噁英类所占的比例。这说明:①在焚烧尾气处理系统中仅使用活性炭滤布吸附器同时起到布袋除尘器和吸附器的作用;②采用活性炭吸附去除焚烧尾气中的气相悬浮二噁英类对于控制垃圾焚烧二噁英类的排放是非常重要的。但是由于现场实验中没有测量其对飞灰的去除效率,很难定量估算在单独使用这种设备时究竟是那种去除机理在起主要作用。不过从所排出尾气的黑度看,单独使用这种设备时对烟气中的焚烧飞灰也有很高的去除效率,靠其过滤作用截留飞灰上吸附的二噁英类对其总的二噁英类去除效率会有较大贡献,并没有

充分发挥活性炭吸附去除烟气中气相悬浮二噁英类的功能,因此其对二噁英类的去除效率还难以满足要求。实际上,处理后尾气中二噁英类的浓度还远大于国家规定的二噁英类排放限值。

表 2 活性炭滤布对二噁英类的去除效率

Table 2 Removal efficiency of dioxins for activated carbon filter/ adsorbor

二噁英类毒性当量/ ng TEQ·m ⁻³		去除率/ %
采样点 2	采样点 2'	
6.3	2.4	61.9

3.3 布袋除尘器 + 活性炭滤布吸附器的去除效率

焚烧炉炉膛温度对焚烧过程中二噁英类的产生和烟气中二噁英类的浓度有密切关系。根据垃圾焚烧炉运行的长期观测,当炉膛温度控制在 850℃~900℃时,二噁英类的产生量将被控制到较小,而在低于此温度时焚烧烟气中产生的二噁英类量较大^[8]。为研究布袋除尘器 + 活性炭滤布吸附器在不同二噁英类进气浓度条件下的除二噁英类的效率,以及焚烧炉焚烧工况变化对烟气处理系统除二噁英类效率的影响,测定了焚烧炉燃烧室温度在 700℃~750℃和 850℃~900℃时布袋除尘器 + 活性炭滤布系统前后的二噁英类浓度,其结果列于表 3 中。实验表明:

(1)布袋除尘器 + 活性炭滤布对焚烧尾气中二噁英类的去除效率在 90%以上,不但比单独使用布袋除尘器或活性炭滤布吸附器时对二噁英类的去除效率高得多,而且比按布袋除尘器和活性炭滤布吸附器串联使用的理论去除效率(77%)要高。这可能是由于单独使用活性炭纤维布时,活性炭层上由于累积大量的飞灰,影响了活性炭的吸附效率,导致了其对二噁英类的去除效率降低。所以当联合使用“布袋除尘 + 活性炭吸附”时,在布袋除尘器去除了大量的飞灰后,进入活性炭滤布吸附器烟气中的飞灰浓度很低,使活性炭层能够充分发挥其吸附作用,吸附去除烟气中的气相悬浮二噁英类。

(2)就控制焚烧烟气中二噁英类的排放来说,采用布袋除尘+活性炭吸附的技术方案较好.但是目前国外采用的布袋除尘器后设置固定床和流动床活性炭吸附器,由于活性炭的消耗量大,运行费用也仍然很高.而采用在布袋除尘器后设置新型的活性炭纤维布吸附器,经处理后烟气中的二噁英类也能满足国家的排放标准 $1 \text{ ng TEQ}/\text{m}^3$.并且可以减少活性炭的消耗量,有望同时具有投资、运行费用低和对二噁英类保持良好的去除效率的优点.

(3)采用布袋除尘+活性炭吸附的技术方案能够很好地解决烟气中二噁英类的排放问题,即使焚烧温度在 $700^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$ 时,低于国家规定的焚烧温度,经处理后焚烧烟气中的二噁英类也能满足国家的排放标准 $1 \text{ ng TEQ}/\text{m}^3$.目前我国沿海发达地区乡镇企业产生可燃工业废物数量较多但产生源比较分散,集中处理运输成本较高,因而多采用小型焚烧炉来处理这些废物.但是小型焚烧炉二燃室的燃烧工况不易稳定,经济有效控制这些焚烧炉产生烟气的二噁英类是一难题.实验表明这些小型焚烧炉如果采用布袋除尘器+活性炭滤布吸附器这种除焚烧飞灰和二噁英类技术,也能够很好地控制二噁英类排放,解决焚烧所引起的二噁英类污染环境.

表3 温度对布袋除尘器+活性炭滤布
去除二噁英类的影响/ $\text{ng TEQ}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 3 Effect of temperature on removal of dioxins
for the combined unit of the bag house and activated
carbon filter/adsorbent/ $\text{ng TEQ}\cdot\text{m}^{-3}$

炉膛温度/ $^\circ\text{C}$	700 ~ 750	850 ~ 900
3 二噁英类毒性当量	6.9	6.3
3' 二噁英类毒性当量	0.69	0.41
去除率/%	90.0	93.4

4 小结

(1)在实验条件下小型垃圾焚烧炉烟气中二噁英类浓度大于 $6 \text{ ng TEQ}/\text{m}^3$,其中气相悬浮和固相吸附在飞灰颗粒上的二噁英类所占比例分别为40%和60%.因此,只有去除吸附在飞灰颗粒上的二噁英类和气相悬浮的二噁英

类,才能有效控制焚烧尾气中二噁英类的排放浓度.

(2)采用布袋除尘器在去除焚烧烟气中飞灰的同时,可以去除绝大部分吸附在飞灰颗粒上的二噁英类,但由于不能有效去除焚烧烟气中的气相悬浮二噁英类,二噁英类的总去除效率较低,仅为39.7%,处理后尾气中的二噁英类浓度难以达到国家规定的排放限值.

(3)采用活性炭滤布吸附器的除二噁英类效率达61.9%,比布袋除尘器的除二噁英类效率和烟气中气相悬浮二噁英类所占比例高.但是由于单独使用同时起过滤和吸附作用,处理后尾气中的二噁英类浓度还难以达到国家规定的排放限值.

(4)采用布袋除尘器+活性炭滤布吸附器能够有效的去除烟气中吸附在飞灰上的二噁英类和气相悬浮二噁英类,去除效率高达90%以上,且对小型焚烧炉燃烧工况变化适应性较强,处理后尾气中的二噁英类浓度符合我国的排放标准.与在布袋除尘器前直接加入活性炭颗粒或者粉末的工艺相比,具有二噁英类去除效率高、价格便宜、运行费用低的特点.

参考文献:

- 1 Moo Bee Chang, Jung Jeng Lin, Shur Hao Chang. Characterization of dioxin emissions from two municipal solid waste incinerations in Taiwan. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**:279 ~ 286.
- 2 张益,赵由才. 生活垃圾焚烧技术. 北京: 化学工业出版社, 2000. 237 ~ 254.
- 3 国家环境保护总局. 生活垃圾焚烧污染控制标准. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- 4 Buekens A, Huang H. Comparative evaluation of techniques for controlling the formation and emission of chlorinated dioxins/furans in municipal waste incineration. *Journal of Hazardous Materials*, 1998, **62**:1 ~ 33.
- 5 Hartmut Matzing et al. Adsorption of PCDD/F on MWI fly ash. *Chemosphere*, 2001, **42**:803 ~ 809.
- 6 国家环境分析测试中心. 废气二噁英类监测标准操作手册. 北京: 中日友好环境保护中心, 2001.
- 7 Moo Bee Chang, Jung Jeng Lin. Memory effect on the dioxin emissions from municipal waste incinerator in Taiwan. *Chemosphere*, 2001, **45**:1151 ~ 1157.
- 8 Kurt B Carlsson et al. Dioxin removal in "energy from waste plants" comparison of air pollution control methods. *Chemosphere*, 1989, **18** (9/10):1731 ~ 1736.