

王 玮, 肖成龙, 李大涛, 等. 2006 中国火葬场二噁英类污染物排放及减排技术研究[J]. 环境科学学报, 26(8): 1246-1251

Wang W, Xiao C L, Li D T *et al*. 2006. Preliminary study on the emissions and pollution control of PCDDs/Fs from crematories in China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 26(8): 1246-1251

# 中国火葬场二噁英类污染物排放及减排技术研究

王 玮\*, 肖成龙, 李大涛, 姜思朋, 胡道庆

民政部一零一研究所, 北京 101601

收稿日期: 2005-11-08 修回日期: 2006-05-22 录用日期: 2006-06-08

**摘要:** 对中国某火葬场 9 具遗体进行了二噁英类污染物排放测试, 测试结果表明, 烟气中二噁英类物质总浓度为  $89 \sim 350 \text{ ng m}^{-3}$ ; 毒性当量浓度为  $1.5 \sim 5.4 \text{ ng m}^{-3}$ ; PCDFs 的总浓度高于 PCDDs 的总浓度; 以此估算中国 2004 年火化遗体过程中二噁英类污染物的年排放量为  $11.2 \sim 46.9 \text{ g a}^{-1}$ 。通过实验分别研究了布袋除尘器、布袋除尘器加不同厚度的活性炭纤维毡组合对火化遗体烟气中二噁英类污染物的去除效果。结果表明, 布袋除尘器去除火化烟气中二噁英类污染物的效率为 57.4%; 布袋除尘器分别与厚度为 5、15mm 的活性炭纤维毡组合去除火化烟气中二噁英类污染物的效率分别为 64.0% 和 89.2%。

**关键词:** 火葬场; 二噁英; 排放

文章编号: 0253-2468(2006)08-1246-06 中图分类号: X701.2 文献标识码: A

## Preliminary study on the emissions and pollution control of PCDDs/Fs from crematories in China

WANG Wei\*, XIAO Chenglong LI Daoqing JIANG Sipeng HU Daoqing

101 Institution of the Ministry of Civil Affairs, Beijing 101601

Received 8 November 2005 received in revised form 22 May 2006 accepted 8 June 2006

**Abstract** Three flue gas samples covering 9 corpses were collected from a crematory in China and measured for the concentrations of PCDDs and PCDFs. Results show that the concentration of PCDDs/Fs in the flue gas samples ranges from 89 to 350  $\text{ng m}^{-3}$  with the toxic equivalent concentration varying from 1.5 to 5.4  $\text{ng m}^{-3}$ . PCDFs level is higher than that of PCDDs in these samples. Total amount of PCDDs/Fs emitting to air from cremation in China was estimated to be 11.2~46.9  $\text{g a}^{-1}$  in 2004. The removal efficiency of dioxins in the flue gas from the process of cremation by using bag house heat exchanger + bag house + activated carbon fiber of different thickness (5mm and 15mm) were studied through experiments. And the results showed that the removal efficiency of the above three units were respectively 57.4%, 64.0%, 89.2%.

**Keywords** crematory; dioxins; emissions

### 1 引言 (Introduction)

中国作为世界年死亡人口最多的国家, 据民政部的统计资料显示, 2004 年全国火化遗体量为  $437 \times 10^4$  具, 火化率为 52.5%。火化过程中不仅产生烟尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳等无机污染物, 同时也伴随着其它有机污染物的产生, 如剧毒致癌物——二噁英类物质的生成。火化过程中产生的二噁英类污染物不容忽视, 在中国实施 POPs 公约的能力建设及国家实施计划的制定项目 (GF/CPR/04/002) 中, 已经将火葬场作为 A 类重点源编

入清单中。

目前, 中国大多数火葬场火化遗体所使用的火化机以轻柴油为燃料, 采用二次燃烧或三次燃烧的方法, 即传统的过量空气焚烧技术, 大部分火化机没有配备相应的后处理设备。世界上有关火化机 PCDDs/Fs 排放的研究甚少 (Hutzinger *et al*, 1993; Federal States Pollution Control Committee, 1994; Eguchi *et al*, 1996; Takeda *et al*, 1998)。为了解中国火化遗体所产生的二噁英类污染状况, 在某火葬场对 9 具遗体的火化过程进行了二噁英类物质的排放测试, 并通过现场实验, 设计了“热交换器中布袋

基金项目: 国家高技术应用部门发展项目 (No. 2001-12-03)

Supported by the development Research Project of National high technique application section

作者简介: 王 玮 (1967-), 男, 高级工程师, E-mail: wangwei67626@126.com; \* 通讯作者 (责任作者)

Biography: WANG Wei (1967-), male, senior engineer, E-mail: wangwei67626@126.com; \* Corresponding author

除尘器加活性炭纤维毡”装置对火化烟气中的二噁英类物质进行减排, 为有效控制火化过程中产生的二噁英类污染物提供参考。

## 2 实验部分 (Experiments)

### 2.1 减排原理

火化是一次性地将遗体 and 随葬品送入炉膛进行高温燃烧, 直至所有可燃组分完全燃尽的过程。由于每具遗体成分都存在着差异, 且随葬品具有复杂性、多样性和不均匀性, 遗体火化过程是一种不连续间歇式的过程。控制燃烧工况最有效的方法就是所谓的“3T+E”理论, 即保证火化机炉膛温度 (temperature) 在  $850^{\circ}\text{C}$  以上 (最好是  $900^{\circ}\text{C}$  以上), 使有机物类完全分解; 保证火化烟气在炉中有足够的停留时间 (time), 使可燃物完全燃烧; 优化火化机的炉体设计, 合理配风, 提高烟气的湍流度 (turbulence), 以改善传热、传质效果; 保证足够的炉膛空气供给量 (excess air)。火化烟气经二次燃烧室高温燃烧后, 二噁英类物质已经基本被消除。烟气从二次燃烧室出口进入净化设备时, 采用急冷技术, 将烟气温度迅速冷却至  $130^{\circ}\text{C}$  以下, 快速越过易产生二噁英类物质的温度区, 抑制其再次合成。

火化烟气中的二噁英类主要以 2 种状态存在: 气相悬浮和固相吸附在尘粒上, 在两相的分布比例与烟气产生条件有很大关系。尽可能减少二噁英类在气相中的比例, 同时提高烟尘的去除效率是控制烟气二噁英类排放浓度的重要手段 (Chang *et al.*, 2002)。火化烟气中气相悬浮和固相吸附在尘粒上的二噁英类所占比例取决于火化机的燃烧工况、烟气冷却速率, 以及火化烟尘表面是否存在促使二噁英类合成的金属催化剂等。所以, 有研究表明, 将活性炭吸附置于布袋除尘器后, 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, 提高活性炭纤维的利用效率和降低运行费用 (金宜英等, 2004), 因此, 本研究采用活性炭纤维与布袋除尘器的组合工艺以减少二噁英类物质的排放。

装置工艺流程图见图 1。为了测定烟气净化装置对火化烟气中二噁英类物质去除效率的影响, 在热交换器后设置了布袋除尘器和活性炭纤维毡吸附装置。

为了比较不同厚度的活性炭纤维毡去除二噁英类物质的效果, 在活性炭纤维毡吸附装置内分别放

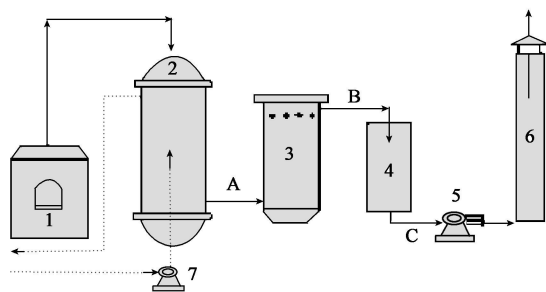


图 1 去除二噁英类装置工艺流程图 (1 燃油式火化机, 2 热交换器, 3 布袋除尘器, 4 活性炭吸附, 5 风机, 6 烟囱, 7 泵; 烟气: →; 循环水: ···→)

Fig 1 Flow diagram of the removal dioxins device (1 diesel oil cremator, 2 heat exchanger, 3 bag house, 4 activated carbon fiber, 5 flue gas fan, 6 chimney, 7 pump; flue gas →; circulating water ···→)

入了 DJC15mm 和 DJC5mm 活性炭纤维毡。为测定不同组合的烟气净化装置对火化烟气二噁英类减排效果, 在烟气净化装置上设置了 A、B、C 3 个采样点, 具体位置见图 1。由于火化过程的特殊性, 即无法满足每具遗体之间的连续火化, 故现场采取 4、3、2 具不同火化量的 3 组方式进行采样富集。布袋除尘器对二噁英的去除效率  $\eta_1$  按照式 (1) 计算, 布袋除尘器与活性炭纤维组合装置对二噁英去除效率  $\eta_2$  按照式 (2) 计算。

$$\eta_1 = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{\varphi_A} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta_2 = \frac{\varphi_A - \varphi_C}{\varphi_A} \times 100\% \quad (2)$$

式中,  $\varphi_A$  为 A 点的二噁英毒性当量浓度,  $\varphi_B$  为 B 点的二噁英毒性当量浓度,  $\varphi_C$  为 C 点的二噁英毒性当量浓度。在对二噁英类的毒性进行评价时, 国际上常把不同组份折算成相当于 2,3,7,8-TCDD 的量来表示, 称为毒性当量 (toxic equivalent quantity, TEQ) (徐旭等, 2003)。

### 2.2 采样方法

利用过滤和吸附的原理, 将火化烟气中的二噁英类物质定量地收集在滤筒和吸附树脂上 (国家环境保护总局《空气和废气监测分析方法》编委会, 2003)。以遗体入炉后二次燃烧器点火时刻和火化完成后主燃器关闭时刻作为现场采样的起止点。根据烟气参数计算等速采样条件, 2 套采样仪器 (WJ-60 全自动电脑烟尘采样仪, 青岛崂山电子仪器总厂) 分别在 A、B (I、II 组) 或 A、C (II 组) 采样点上同时进行全程采样。现场有关参数测试记录见表 1。

表 1 现场采样参数记录

Table 1 Parameter of cremation and sampling condition

组别	遗体编号	性别 F/M	年龄 岁	体重 kg	主炉膛温度 /°C	再燃室温度 /°C	测点温度 /°C	随葬品 类型	火化时间 /min	烟气流量 ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	含氧量	采样体积 $m^3$
I	1#	F	80	35	960	730	108	纸棺	45	2513	16.5%	3.36
	2#	F	70	40	990	745	101	衣、褥	43	2319		
	3#	F	94	40	960	728	90	纸棺	41	2503		
	4#	M	87	45	780	532	88	纸棺	44	2496		
II	5#	M	49	65	730	415	103	无	42	25	16.8%	1.38
	6#	M	74	60	770	486	97	衣、褥	43	2114		
	7#	F	81	45	720	530	103	纸棺	43	2522		
III	8#	M	78	55	730	400	94	衣、褥	56	2464	17.2%	1.53
	9#	M	79	50	870	491	89	衣、褥	40	2508		

### 2.3 二噁英测试方法

将采样器的各个部件仔细清洗,所有清洗液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 $D$ 种 $^{13}C$ 或 $^{37}C$ 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50 $\mu$ L。仪器分析采用MS-700D高分辨GC/MS,色谱柱为60m SP-233和60m DB-17,分别用于分析 $T_4CDD$ 、 $F_5 \sim H_6CDD$ 、 $F_5$ 和 $H_7CDD$ 、 $F_5 \sim O_8CDD$ 、 $F_5$ 不分流进样方式,进样量1 $\mu$ L;质谱分辨率10000~12000,SM扫描(锁定质量方式)(金宜英等,2003)。

### 3 结果 (Results)

#### 3.1 二噁英排放测试结果

烟气中二噁英类的测试浓度和毒性当量浓度分别见表2和表3。二噁英类的总浓度为89~350 $ng \cdot m^{-3}$ ,毒性当量浓度为1.5~5.4 $ng \cdot m^{-3}$ 。由表2可以得出PCDFs的总浓度高于PCDDs的总浓度, $T_4CDF$ 浓度最高。从绘制的3组异构体TEQ图(图2)可以清晰地看出二噁英类17种异构体的毒性当量浓度中,2,3,4,7,8- $P_5CDF$ 的值最高。在火化烟气二噁英类不同化合物中以总五氯代苯并呋喃毒性当量浓度最高,依次是总六氯代苯并呋喃、2,3,7,8- $T_4CDF$ 、2,3,7,8- $T_4CDD$ 等; $O_8CDD$ 、 $O_8CDF$ 毒性当量浓度最小且值相等。

表 2 火化烟气二噁英类测试浓度

Table 2 Concentrations of PCDDs/PCDFs in emission gas of cremations

 $ng \cdot m^{-3}$ 

二噁英类	I 组		II 组		III 组	
	实测浓度 ( $C_s$ )	换算浓度 ( $C$ ) *	实测浓度 ( $C_s$ )	换算浓度 ( $C$ ) *	实测浓度 ( $C_s$ )	换算浓度 ( $C$ ) *
PCDDs 2,3,7,8- $T_4CDD$	0.24	0.53	N. D.	0	0.20	0.52
$T_4CDDs$	9.60	21.0	2.00	4.80	6.80	18.00
1,2,3,7,8- $P_5CDD$	0.30	0.66	0.14	0.34	0.39	1.00
$P_5CDDs$	3.90	8.60	1.20	2.80	4.60	12.00
1,2,3,4,7,8- $H_6CDD$	0.006	0.13	N. D.	0	0.065	0.17
1,2,3,6,7,8- $H_6CDD$	0.12	0.26	N. D.	0	0.065	0.17
1,2,3,7,8,9- $H_6CDD$	0.12	0.26	0.14	0.34	0.065	0.17
$H_6CDDs$	1.20	2.60	0.87	2.10	0.85	2.2
1,2,3,4,6,7,8- $H_7CDD$	0.36	0.79	0.43	1.0	0.13	0.34
$H_7CDDs$	0.71	1.60	0.72	1.70	0.33	0.86
$O_8CDD$	0.24	0.53	0.43	1.00	0.065	0.17
PCDDs总量	16.0	35.00	5.20	12.00	13.00	33.00

续表

二噁英类	I 组		II 组		III 组	
	实测浓度 ( $C_s$ )	换算浓度 ( $C$ ) *	实测浓度 ( $C_s$ )	换算浓度 ( $C$ ) *	实测浓度 ( $C_s$ )	换算浓度 ( $C$ ) *
PCDFs 2 3 7 8 - T <sub>4</sub> CDF	2.00	4.40	0.58	1.40	2.60	6.70
T <sub>4</sub> CDF	64.0	140.0	17.00	40.00	71.00	190.00
1 2 3 7 8 - P <sub>5</sub> CDF	1.50	3.30	0.43	1.00	2.20	5.90
2 3 4 7 8 - P <sub>5</sub> CDF	1.50	3.40	0.58	1.40	2.20	5.70
P <sub>5</sub> CDFs	33.00	72.00	9.10	22.00	44.00	120.00
1 2 3 4 7 8 - H <sub>6</sub> CDF	0.60	1.30	0.43	1.00	0.59	1.60
1 2 3 6 7 8 - H <sub>6</sub> CDF	0.65	1.50	0.43	1.00	0.65	1.70
1 2 3 7 8 9 - H <sub>6</sub> CDF	0.060	0.13	N. D.	0	0.065	0.17
2 3 4 6 7 8 - H <sub>6</sub> CDF	0.60	1.30	0.43	1.00	0.46	1.20
H <sub>6</sub> CDFs	5.50	12.00	3.30	7.90	4.90	13.00
1 2 3 4 6 7 8 - H <sub>7</sub> CDF	1.40	3.00	1.90	4.50	0.59	1.60
1 2 3 4 7 8 9 - H <sub>7</sub> CDF	0.18	0.40	0.14	0.34	0.065	0.17
H <sub>7</sub> CDFs	2.10	4.60	2.60	6.20	0.92	2.40
O <sub>8</sub> CDF	0.24	0.53	0.43	1.0	0.065	0.17
PCDFs总量	100.00	230.00	32.00	77.00	120.00	320.00
二噁英类总量 (PCDDs+PCDFs)	120	270	37	89	130	350

\*: 换算浓度为氧体积分数 11%时的二噁英类浓度.

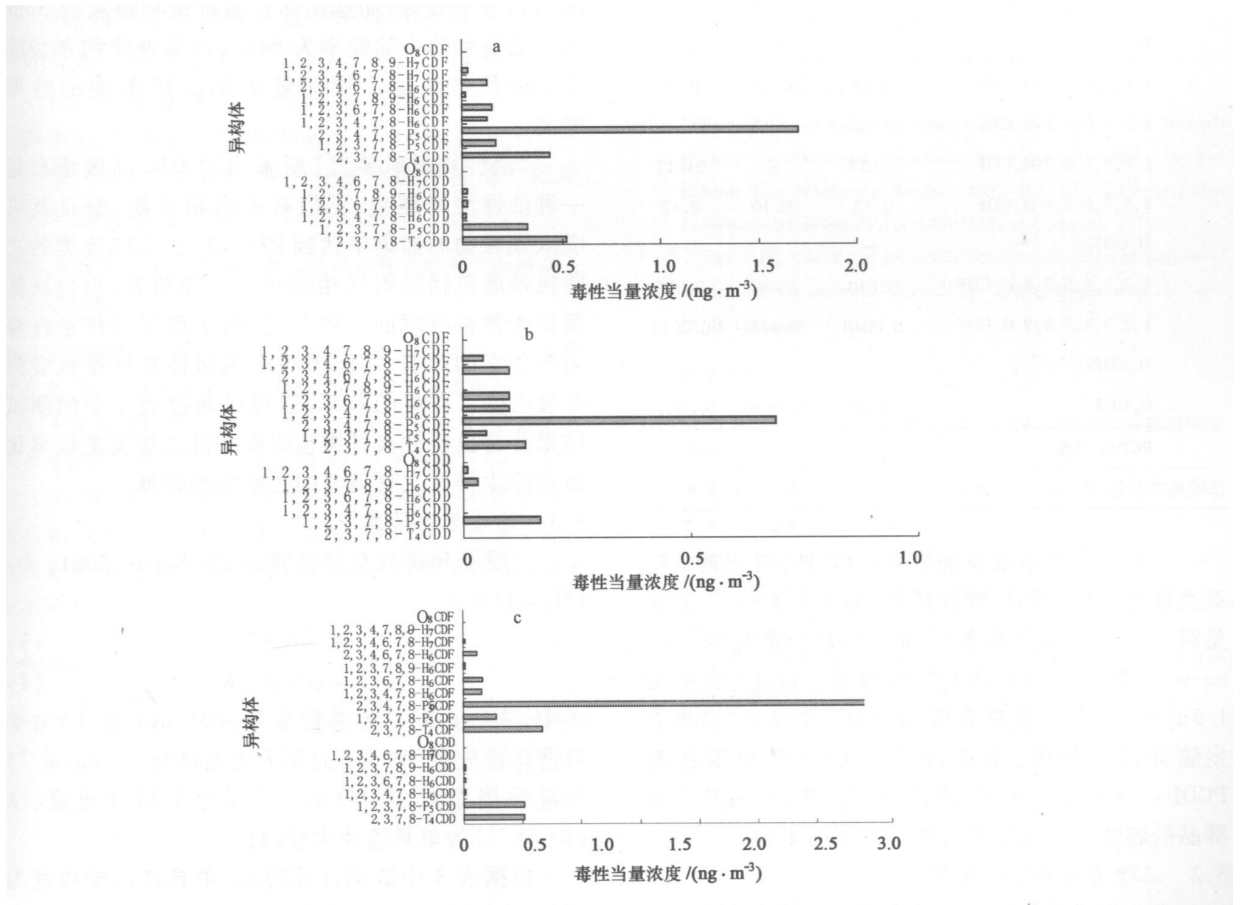


图 2 二噁英类异构体浓度分布 ( a I 组, b II 组, c III 组 )

Fig 2 Distribution of PCDDs/Fs Isomer pattern ( a I group, b II group, c III group )

表 3 火化烟气二噁英类毒性当量浓度

Table 3 Toxic equivalent Concentrations (TEQ) of PCDDs/PCDFs in emission gas of cremations Unit: ng m<sup>-3</sup>

二噁英类	I 组	II 组	III组
PCDDs 2 3 7 8-T <sub>4</sub> CDD	0.53	0	0.52
T <sub>4</sub> CDDs	—	—	—
1 2 3 7 8-P <sub>5</sub> CDD	0.33	0.17	0.52
P <sub>5</sub> CDDs	—	—	—
1 2 3 4 7 8-H <sub>6</sub> CDD	0.013	0	0.017
1 2 3 6 7 8-H <sub>6</sub> CDD	0.026	0	0.017
1 2 3 7 8 9-H <sub>6</sub> CDD	0.026	0.034	0.017
H <sub>6</sub> CDDs	—	—	—
1 2 3 4 6 7 8-H <sub>7</sub> CDD	0.0079	0.010	0.0034
H <sub>7</sub> CDDs	—	—	—
O <sub>8</sub> CDD	0.00053	0.0010	0.00017
PCDDs总量	0.93	0.22	1.1
PCDFs 2 3 7 8-T <sub>4</sub> CDF	0.44	0.14	0.67
T <sub>4</sub> CDF	—	—	—
1 2 3 7 8-P <sub>5</sub> CDF	0.17	0.052	0.29
2 3 4 7 8-P <sub>5</sub> CDF	1.7	0.69	2.8
P <sub>5</sub> CDFs	—	—	—
1 2 3 4 7 8-H <sub>6</sub> CDF	0.13	0.10	0.16
1 2 3 6 7 8-H <sub>6</sub> CDF	0.15	0.10	0.17
1 2 3 7 8 9-H <sub>6</sub> CDF	0.013	0	0.017
2 3 4 6 7 8-H <sub>6</sub> CDF	0.13	0.10	0.12
H <sub>6</sub> CDFs	—	—	—
1 2 3 4 6 7 8-H <sub>7</sub> CDF	0.030	0.045	0.016
1 2 3 4 7 8 9-H <sub>7</sub> CDF	0.0040	0.0034	0.0017
H <sub>7</sub> CDFs	—	—	—
O <sub>8</sub> CDF	0.00053	0.0010	0.00017
PCDFs总量	2.8	1.2	4.3
二噁英类总量 (PCDDs+PCDFs)	3.7	1.5	5.4

火化遗体数量最少的第 III 组 (2 具) 得出的二噁英类毒性当量 (TEQ) 浓度最高, 为 5.4 ng m<sup>-3</sup>, 其次是第 I 组 (4 具) 毒性当量 (TEQ) 浓度为 3.7 ng m<sup>-3</sup>, 第 II 组 (3 具) 毒性当量 (TEQ) 浓度为 1.5 ng m<sup>-3</sup>. 由于数据有限, 影响因素较多, 很难判定随葬品的种类、质量、棺材、主再燃室温度对 PCDDs/Fs 的贡献率. 但棺材、寿衣、被、褥和其它随葬品的燃烧对二噁英类浓度有一定的影响.

3.2 二噁英类物质的减排效率

表 4 为减排装置对二噁英类物质的去除效率. 由表 4 可知, 布袋除尘器在去除火化过程中产生烟

尘的同时, 对二噁英类污染物有一定的去除作用, 效率为 57.4%. 这是因为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烟尘颗粒上的二噁英类污染物, 对气相悬浮的二噁英类则效果不理想. 因此, 对于燃油式火化机火化遗体时, 仅采用布袋除尘器作为主要的火化烟气处理设备是很难有效地控制火化烟气中的二噁英类污染物, 不能完全达到减排二噁英类的目的要求.

表 4 减排装置对二噁英类的去除效率 (O<sub>2</sub>=11%)

Table 4 Removal efficiency of dioxins for the discharge reduction device (O<sub>2</sub>=11%)

布袋除尘器 η <sub>1</sub>	布袋除尘器加活性炭纤维毡 η <sub>2</sub>	
	DJC5mm	DJC15mm
57.4%	64.0%	89.2%

对选用不同厚度的活性炭纤维毡作对比试验. 选用活性炭纤维毡厚度为 15mm 时的去除效率为 89.2%, 比按布袋除尘器和活性炭滤布吸附的理论去除二噁英类的效率 (77%) 要高 (陈泽峰等, 2004), 效果良好; 而选用活性炭纤维毡厚度为 5mm 的二噁英类的去除效率为 64%, 比单独使用布袋除尘器或活性炭滤布吸附器去除二噁英类的效率略高.

“活性炭吸附装置”所采用的 DJC 高级滤布是一种活性炭纤维毡, 不但具有吸附功能, 而且其可吸入颗粒物的捕集率达到 97% 以上, 二噁英类的去除机理既包括吸附气相悬浮的二噁英类, 也包括截留烟尘颗粒吸附的二噁英类. 由于现场采样条件等诸多因素的影响, 未能单独测试活性炭纤维毡吸附装置去除二噁英的效率, 但可以通过表 4 中的测试结果分析出活性炭纤维毡吸附去除二噁英类效率比布袋除尘器对二噁英类的去除效率较低.

3.3 排放量的估算

二噁英年排放总量估算公式 (Nobuo, 2001) 为: (O<sub>2</sub> = 11%)

$$M = G \times N \quad (3)$$

$$G = \varphi \times Q \times K \quad (4)$$

式中, M (ng a<sup>-1</sup>) 为总排放量, G (ng 具<sup>-1</sup>) 为单具遗体排放量, N (具) 为年火化遗体数, φ (ng m<sup>-3</sup>) 为毒性当量浓度, Q (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) 为干烟气流量, K (h 具<sup>-1</sup>) 为单具遗体火化时间.

根据表 3 中数据计算得出: 单具遗体排放量为 2566 ~ 10740 ng, 平均结果为 6608 ng, 计算结果比日本有关报道略低 (Nobuo, 2000); 估算 2004 年我国

火化遗体产生二噁英类排放总量结果为 11.2 ~ 46.9g a<sup>-1</sup>. 本文未做额外排放量的估算. 由于中国年死亡人口的数量远远高于其它国家, 因此, 尽管火葬场在一些工业发达国家属于非主要释放源, 但在中国则有可能成为重要的二噁英类污染源之一.

#### 4 结论 (Conclusions)

1) 通过对 9具不同性别、体重和火化随葬品的遗体火化所排放二噁英类污染物的测试得出, 火化烟气中二噁英类毒性当量平均浓度为 3.5ng m<sup>-3</sup>.

2) 火化烟气中 PCDFs 的总浓度高于 PCDDs 的总浓度, T<sub>4</sub>CDFs 浓度最高.

3) 采用“热交换器加布袋除尘器加活性炭吸附装置”技术可有效地解决火化过程中二噁英类排放物质对环境所造成的污染问题, 去除效率达 89.2%, 净化后二噁英类的排放浓度为 0.4 ng m<sup>-3</sup>.

4) 布袋除尘器在去除火化烟气中烟尘的同时, 可以去除部分吸附在烟尘颗粒上的二噁英类污染物, 去除效率为 57.4%; 活性炭纤维毡吸附装置能有效去除火化烟气中气相悬浮二噁英类污染物.

5) 单具遗体二噁英类排放当量为 2566 ~ 10740ng 平均结果为 6608ng

6) 估算中国 2004年火化遗体所产生的二噁英类污染物排放总量为 11.2 ~ 46.9g a<sup>-1</sup>.

致谢: 对国家环境分析测试中心区域环境室的领导和测试人员表示感谢!

责任作者简介: 王玮, 高级工程师, 研究方向为殡葬行业污染源监测、治理. 先后参加、主持完成了国家和省部级科研课题 6 项, 获民政部科学技术进步奖二、三等奖各一项; 获民政部民政理论研究成果奖二等奖一项; 参加、主持编写 GB 13801-92, GB 19053-2003, GB 19054-2003 国家标准 3 项, 已全部颁布实施; 发表论文数篇. 目前主持科技部科学仪器设备升级改造专项和科技部科研院所社会公益研究专项两项科研项目的研究工作.

#### References

Chang M B, Jung J L, Chang Sh H. 2002. Characterization of dioxins

emissions from two municipal solid waste incinerations in Taiwan [ J ]. Atmospheric Environment, 36: 279-286

Chen Z F, Wang J G. 2004. A Study on controlling in flue gases of small-sized waste incinerators [ J ]. Scientific and Technological Development ( 10 ): 28-32 ( in Chinese )

Eguchi S, Takeda N, Sakai S. 1996. PCDDs/PCDFs emission from a crematory [ J ]. Organohalogen Compounds, 27: 127-132

Federal States Pollution Control Committee. 1994. Determination of requirements to limit emissions of dioxin and furan [ C ]. The Working Group of Subcommittee Air Technology of the Federal Government, Germany, 127-129

Hutzinger O, Fiedler H. 1993. From source to exposure: some open question [ J ]. Chemosphere, 27( 1-3 ): 121-129

Jin Y Y, Tian H H, Nie Y F, et al. 2003. Removal efficiency of dioxins in flue gas from MSW incineration by using bag house and activated carbon filter/adsorbent [ J ]. Environmental Science, 24( 2 ): 143-146 ( in Chinese )

Nobuo Takeda, Masaki Takaoka, Takeshi Fujiwara, et al. 2001. Measures to prevent emission of PCDDs/DFs and co-planar PCBs from crematories in Japan [ J ]. Chemosphere, 43: 763-771

Nobuo Takeda, Masaki Takaoka, Takeshi Fujiwara, et al. 2000. PCDDs/DFs emissions from crematories in Japan [ J ]. Chemosphere, 40: 575-586

Takeda N, Takaoka M, Fujiwara T, et al. 1998. Research on PCDDs/DFs emission from crematories in Japan [ J ]. Organohalogen Compounds, 36: 167-170

The Edit Committee of Air and Exhaust Gas Monitoring Analyze Methods of State Environmental Protection Administration. 2003. Air and Exhaust Gas Monitoring Analyze Methods [ M ]. Beijing: China Environmental Science Press, 649-658 ( in Chinese )

Xu X, Yan J H, Chi Y, et al. 2003. Physical chemical properties of dioxins and the analytical method [ J ]. Energy Engineering, 6: 24-28 ( in Chinese )

#### 中文参考文献

陈泽峰, 汪建国. 2004. 小型废物焚烧炉烟气中二噁英类的控制研究 [ J ]. 科技纵横, ( 10 ): 28-32

金宜英, 田洪海, 等. 2003. 布袋除尘器和活性炭滤布对烟气中二噁英类的去除效果 [ J ]. 环境科学, 24( 2 ): 143-146

国家环境保护总局《空气和废气监测分析方法》编委会. 2003. 空气和废气监测分析方法 [ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 649-658

徐旭, 严建华, 池涌, 等. 2003. 二噁英的理化特征及其分析方法 [ J ]. 能源与环境, 6: 24-28