

# 生活垃圾中掺烧医疗废物对烟气指标的影响研究

周纯洁 易玉龙 杨盛凯

(长沙汇洋环保技术股份有限公司, 湖南长沙 410001)

**[摘要]** 本文以某市生活垃圾和高温蒸煮处理后医疗废物为研究对象,通过对比分析两者的理化性质、焚烧技术指标、焚烧烟气排放标准限值,并进行生活垃圾和医疗废物比例1:50的掺烧试验,探讨生活垃圾中掺烧医疗废物的可行性及其影响。分析结果表明,生活垃圾和医疗废物组分、焚烧技术标准要求存在一定差异,主要是因为生活垃圾和医疗废物两者的组分含量不同,但两者在烟气净化处理系统、炉渣的处置和热能利用等方面的要求基本相同;掺烧后烟气排放中 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、HCl和二噁英的含量有所增加,但仍控制在国标范围内;掺烧对烟气中CO及颗粒物含量无明显影响;掺烧后烟气净系统耗材石灰和尿素的使用量增加上述结果验证了生活垃圾中掺烧医疗废物的可行性。

**[关键词]** 医疗废物;生活垃圾;掺烧;烟气指标

**[中图分类号]** X799.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2024)04-0085-05

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2024.04.015

## 0 前言

作为固体废物中的两大类,生活垃圾和医疗废物从产生、收集、运输到处置各个环节的管理要求都有很大的差别,但在实际处置中又存在许多交集。《国家危险废物名录》规定:经高温蒸汽处理、化学消毒或微波消毒等技术处理后的部分医疗废物可以进入生活垃圾填埋场填埋或进入生活垃圾焚烧厂焚烧,对其运输和处置过程实施豁免管理。近几年,我国医疗废物产生量急剧增加<sup>[1]</sup>,许多地区处置能力不足,当地政府为保障医院的正常运转,确保医疗废物得到及时安全处置,将生活垃圾焚烧处理厂纳入应急保障体系协同处置未经消毒的医疗废物<sup>[2-3]</sup>,如长沙市在医疗废物日产量达100 t以上时,将超出处理能力部分交由生活垃圾焚烧发电厂进行应急焚

烧处置。将按规范消毒处理后的医疗废物送入生活垃圾焚烧厂进行掺烧,不仅可以满足医疗废物减量化和资源化的要求,也能解决生活垃圾焚烧行业面临的入厂生活垃圾不足、处理能力过剩的问题<sup>[4]</sup>。

尽管在政策层面已不存在经消毒处理的部分医疗废物进入生活垃圾焚烧厂掺烧的壁垒,但掺烧医疗废物对生活垃圾焚烧工艺参数、烟气指标的影响使得该项技术的应用受到制约,仍有部分地区经消毒技术处理后的医疗废物无法进入附近的生活垃圾焚烧厂,而是采用安全填埋的方式进行最终处置。因此,研究掺烧医疗废物对生活垃圾焚烧工艺参数、烟气指标的影响非常具有现实意义。

本文以某市生活垃圾和经高温蒸煮及破碎后的医疗废物为研究对象,分析两者的理化性质、焚烧炉技术指标、焚烧烟气排放的标准限值、掺烧后烟气排放数据及烟气净化耗材消耗量等数据,为研究生活垃圾掺烧医疗废物的合理性和可行性提供试验研究依据。

## 1 医疗废物和生活垃圾的焚烧对比

### 1.1 生活垃圾和医疗废物的组成分析

对某市经高温蒸煮及破碎处理后的医疗废物取样,采样方法依照《生活垃圾采样和分析方法》(CJ/T 313—2009)进行,进行组分、元素、热值及三成分分析,并与当地生活垃圾处置项目环评报告中相关数据进行对比,结果见表1~表3。

**[收稿日期]** 2024-03-28

**[作者简介]** 周纯洁(1992—),女,湖南南县人,硕士,工程师,主要从事危险废物治理行业安全环保管理工作。

**[引用格式]** 周纯洁,易玉龙,杨盛凯.生活垃圾中掺烧医疗废物对烟气指标的影响研究[J].绿色矿冶,2024,40(4):85-89.

ZHOU Chunjie, YI Yulong, YANG Shengkai. Study on the influence of co-combustion of medical waste in domestic waste on flue gas index [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024, 40(4): 85-89.

表1 某市生活垃圾和医疗废物组分分析

组分	玻璃	金属	纸	橡塑类	纺织类	木竹	混合类	灰土类	厨余	白塑料
医疗废物	1.85	0.22	5.55	37.87	15.02	0.98	38.52	0.00	0.00	0.00
生活垃圾	8.10	0.83	14.55	24.19	7.57	10.87	0.00	15.94	15.48	2.47

注:破碎后的医疗废物,混合类主要是小于1 cm的塑胶类、木竹类、玻璃类小颗粒。

表2 某市生活垃圾和医疗废物的元素分析 %

元素	碳	氢	氮	硫	氧	氯
生活垃圾	14.91	2.19	0.38	0.15	8.92	0.12
医疗废物	38.02	5.55	0.58	0.05	9.94	0.56

表3 热值及三成分分析

成分	低位热值/ (kJ·kg <sup>-1</sup> )	挥发 分/%	固定 碳/%	灰分/ %	水分/ %
医疗废物	16 845.0	51.71	2.44	5.77	40.10
生活垃圾	5 055.3	24.43	2.24	23.09	50.25

由表1可知,生活垃圾和经高温蒸煮处理后医疗废物两者的组分含量接近国内同水平城市均值,组分区别不大,但焚烧容易导致具有污染性的橡塑类、不能燃烧的灰土类等组分含量存在差异。表2数据表明,医疗废物中碳、氮和氯元素的含量较高,可能导致医疗废物焚烧时产生较多的NO<sub>x</sub>和酸性气体。由表3可知,医疗废物热值高,灰分含量很低,水分含量也较生活垃圾更少,故掺烧医疗废物进行焚烧发电具有提高垃圾热值、增大发电量和降低炉渣量等优点,但其热值显著高于生活垃圾的特点,可能导致其焚烧过程中炉膛的温度大于设计炉温,影响炉内耐火砖及燃烧室前拱的结构。

## 1.2 焚烧技术性能指标比对

根据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)和《医疗废物处理处置污染控制标准》(GB 39707—2020),生活垃圾和医疗废物焚烧的技术指标大部分相同,但医疗废物焚烧炉对热灼减率和燃烧效率要求更加严格,烟气含氧量要求范围更大(表4)。医疗废物组分中易燃性物质更多,达到生活垃圾焚烧炉的技术性能指标时可能还未充分燃烧,故

部分指标存在差异有利于提高医疗废物焚烧炉的热效率。另外,参照《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T 177—200),发现生活垃圾和医疗废物两者烟气净化处理系统、炉渣的处置和热能利用等方面的要求基本相同,故生活垃圾焚烧的主体设施和污染防治设施基本适用于医疗废物的焚烧。

表4 焚烧炉的技术性能指标

指标	焚烧炉	烟气停	热灼	燃烧	烟气
	高温段	留时间/ s	减率/ %	效率/ %	含氧 量/%
医疗废物焚烧炉	≥850	≥2.0	<5	≥99.9%	6~15
生活垃圾焚烧炉	≥850	≥2.0	≤5	—	6~10

## 1.3 烟气污染物排放浓度限值比对

《生活垃圾焚烧污染控制标准》和《医疗废物处理处置污染控制标准》中烟气污染物的排放浓度限值对比见表5。由表5可知,颗粒物、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HCl、汞及其化合物、CO等烟气指标排放限值均一致,存在差异的指标为HF、二噁英类。国家标准虽未对生活垃圾焚烧炉的HF排放限值作出规定,但部分地方如深圳、海南标准均将HF列入生活垃圾焚烧炉废气排放的监管指标,1 h和24 h均值分别为2 mg/m<sup>3</sup>和1 mg/m<sup>3</sup>。由于医疗废物的塑料制品含量高,其Cl和F的含量高,可能以HCl和HF的形式释放,而不完全燃烧产物中的脂肪族或烯烃、炔烃类化合物等组分通过氯化生成氯苯,进而转化为二噁英<sup>[5]</sup>,故医疗废物焚烧二噁英和HF的排放浓度限值更高。此外,医疗废物焚烧炉对重金属及其化合物管控更详细,其浓度限值要求均与生活垃圾焚烧有差异,这与生活垃圾和医疗废物的成分差异有关。

表5 焚烧炉烟气污染物排放浓度限值

mg/m<sup>3</sup>,二噁英为ng TEQ/Nm<sup>3</sup>

限值	颗粒物		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		HCl		CO		HF		二噁 英类	汞及其 化合物
	1 h	24 h	1 h	24 h	1 h	24 h	1 h	24 h	1 h	24 h	1 h	24 h		
	均值	均值	均值	均值	均值	均值	均值	均值	均值	均值	均值	均值		
医疗废物焚烧炉	30	20	300	250	100	80	60	50	100	80	4.0	2.0	0.5	0.05
生活垃圾焚烧炉	30	20	300	250	100	80	60	50	100	80	—	—	0.1	0.05

## 2 掺烧试验

### 2.1 掺烧过程

生活垃圾焚烧发电项目贮坑中垃圾周转期一般为一周,为模拟实际焚烧工况,试验时间定为7 d,以排除生活垃圾组分差异造成的特异性影响。根据每台焚烧炉的日处置量和医疗废物的日产生量计算最大掺烧比例,将经高温蒸煮及破碎处理后的医疗废物倒入料贮坑堆放至一侧,通过操控带自动称重的垃圾抓斗,按照掺烧比1:50抓取残渣和生活垃圾混合料投入焚烧炉进料口进行掺烧。

### 2.2 指标观察方法

观察掺烧前后相关指标差异。常规烟气排放数据采用在线监测均值,包括 $\text{SO}_2$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、颗粒物等,由于 $\text{HF}$ 性质和产生条件与 $\text{HCl}$ 类似,本次试验不再对其进行监测。以试验前一个月焚烧炉相关指标的月均值为基准线,“未掺烧”指当日医废残渣第一抓1 h前与最后一抓3 h后的时间段内污染物的均值,“掺烧”指医废残渣第一抓到最后一抓后3 h之间污染物的均值。二噁英和重金属及其化合物排放数据来源于手工检测,按检测次数对比记录。烟气处理耗材包括活性炭、尿素、石灰等。

## 3 结果分析

### 3.1 生活垃圾中掺烧医疗废物对烟气指标的影响

#### 3.1.1 对 $\text{SO}_2$ 排放的影响

掺烧前后 $\text{SO}_2$ 浓度变化如图1所示。由图1可知,试验前一个月焚烧炉 $\text{SO}_2$ 排放月均值为 $15.28 \text{ mg/m}^3$ ,试验中未掺烧时 $\text{SO}_2$ 排放均值为 $16.00 \text{ mg/m}^3$ ,掺烧时 $\text{SO}_2$ 排放均值为 $17.19 \text{ mg/m}^3$ ,说明掺烧对烟气 $\text{SO}_2$ 含量有明显的影响。掺烧医疗废物后烟气中 $\text{SO}_2$ 含量整体升高,但仍低于国家标

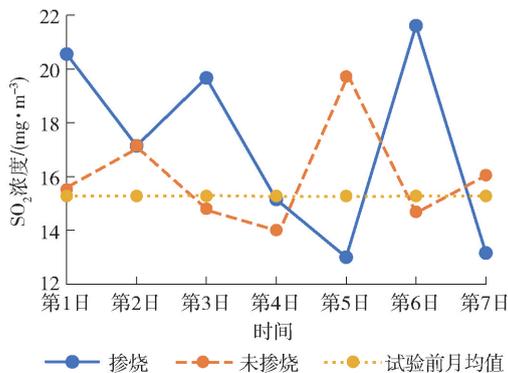


图1 掺烧前后 $\text{SO}_2$ 浓度变化

准24 h限值 $80 \text{ mg/m}^3$ 。掺烧前后 $\text{SO}_2$ 排放量较试验前月均值都存在升高的情况,这可能与生活垃圾组分变化有关。

#### 3.1.2 对 $\text{NO}_x$ 排放的影响

掺烧前后 $\text{NO}_x$ 浓度变化如图2所示。由图2可知,试验前一个月焚烧炉 $\text{NO}_x$ 排放月均值为 $181.54 \text{ mg/m}^3$ ,试验中未掺烧时 $\text{NO}_x$ 排放均值为 $181.52 \text{ mg/m}^3$ ,掺烧时 $\text{NO}_x$ 排放均值为 $191.56 \text{ mg/m}^3$ ,说明掺烧对烟气中 $\text{NO}_x$ 含量有明显的影响。掺烧医疗废物后烟气中 $\text{NO}_x$ 含量整体升高,但仍低于国家标准24 h限值 $250 \text{ mg/m}^3$ 。该结果与组成分析中医疗废物N元素含量较高的结论一致。

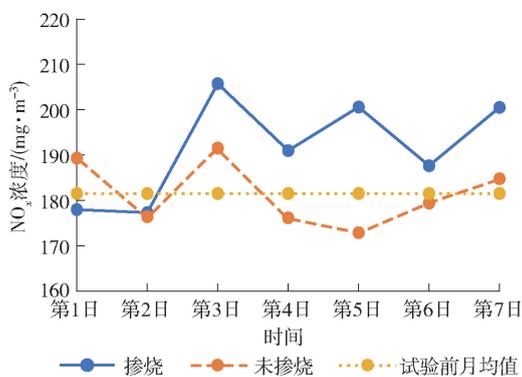


图2 掺烧前后 $\text{NO}_x$ 浓度变化

#### 3.1.3 对 $\text{HCl}$ 排放的影响

掺烧前后 $\text{HCl}$ 浓度变化如图3所示。由图3可知,试验前一个月焚烧炉 $\text{HCl}$ 排放月均值为 $5.61 \text{ mg/m}^3$ ,试验中未掺烧时 $\text{HCl}$ 排放均值为 $6.47 \text{ mg/m}^3$ ,掺烧时 $\text{HCl}$ 排放均值为 $7.68 \text{ mg/m}^3$ ,说明掺烧对烟气中 $\text{HCl}$ 含量有明显的影响。掺烧医疗废物后烟气中 $\text{HCl}$ 含量整体升高,但仍低于国家标准24 h限值 $50 \text{ mg/m}^3$ 。该结果与组成分析中医疗废物Cl元素含量较高的结论一致。

#### 3.1.4 对 $\text{CO}$ 排放的影响

掺烧前后 $\text{CO}$ 浓度变化如图4所示。由图4可知,试验前一个月焚烧炉 $\text{CO}$ 排放月均值为 $2.06 \text{ mg/m}^3$ ,试验中未掺烧时 $\text{CO}$ 排放均值为 $1.74 \text{ mg/m}^3$ ,掺烧时 $\text{CO}$ 排放均值为 $1.70 \text{ mg/m}^3$ ,说明掺烧对烟气中 $\text{CO}$ 含量无明显的影响。掺烧医疗废物前后烟气中 $\text{CO}$ 含量均低于国家标准24 h限值 $80 \text{ mg/m}^3$ 。

#### 3.1.5 对颗粒物排放的影响

掺烧前后颗粒物浓度变化如图5所示。由图5可知,试验前一个月焚烧炉颗粒物排放月均值为

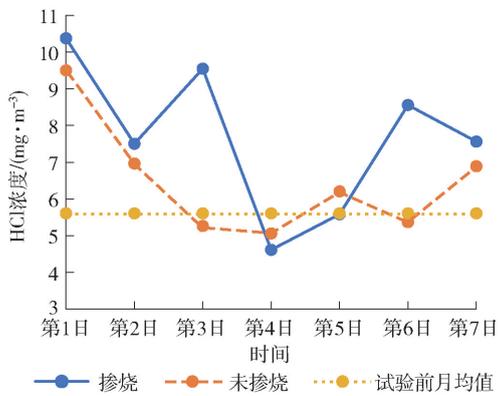


图3 焚烧前后 HCl 浓度变化

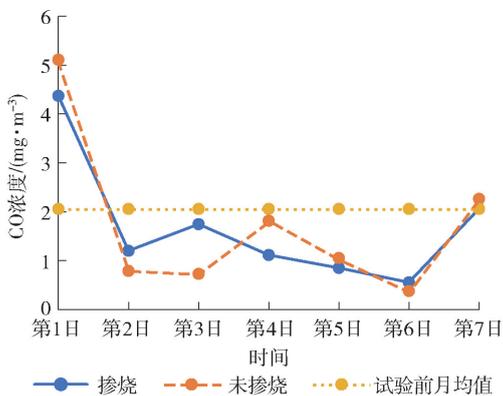


图4 焚烧前后 CO 浓度变化

1.47 mg/m<sup>3</sup>, 试验中未焚烧时颗粒物排放均值为 1.44 mg/m<sup>3</sup>, 焚烧时颗粒物排放均值为 1.49 mg/m<sup>3</sup>, 说明焚烧对烟气中颗粒物含量影响不大。焚烧医疗废物后烟气中颗粒物含量升高较少, 低于国家标准 24 h 限值 20 mg/m<sup>3</sup>。

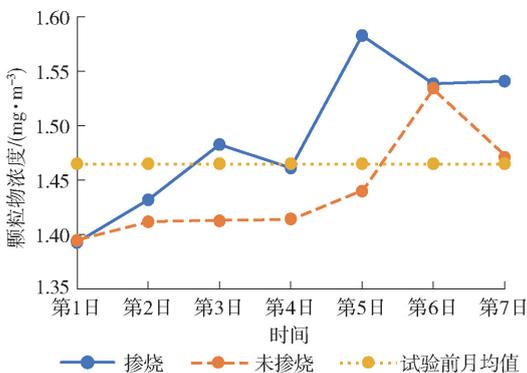


图5 焚烧前后颗粒物浓度变化

### 3.1.6 对二噁英排放的影响

焚烧前后二噁英浓度变化如图 6 所示。由图 6 可知, 试验前 9 次焚烧炉排放烟气的二噁英检测数据均值为 0.005 95 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>, 焚烧医疗废物试验

期间委托第三方对焚烧时排放的烟气中的二噁英进行检测, 9 次检测均值为 0.026 42 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>。焚烧医疗废物后烟气中二噁英含量升高, 但仍低于国家标准限值 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>。结果与烟气污染物排放浓度限值比对的分析结论一致。

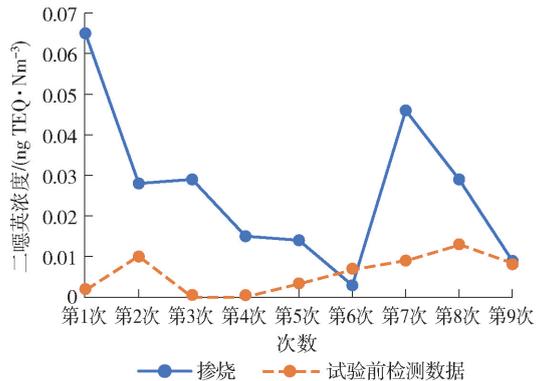


图6 焚烧前后二噁英浓度变化

### 3.1.7 烟气中重金属及其化合物手工测试结果分析

焚烧医疗废物试验期间, 委托第三方对焚烧时排放的烟气中重金属及其化合物含量进行检测, 并通过归类计算得到生活垃圾焚烧排放烟气中需控制的污染物项目汞及其化合物, 镉、铊及其化合物, 锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物的检测值, 结果见表 6。由表 6 可知, 焚烧后重金属及其化合物的浓度均低于生活垃圾焚烧炉国家标准限值。

表6 焚烧时烟气中重金属及其化合物手工测试结果

检测项目	第一次	第二次	第三次	排放限值
汞及其化合物	$7 \times 10^{-6}$	ND	$8 \times 10^{-6}$	0.05
镉、铊及其化合物 (以 Cd + Tl 计)	$8 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-6}$	$8 \times 10^{-6}$	0.1
锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、 镍及其化合物(以 Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni 计)	0.005 2	0.003 5	0.044 3	1.0

### 3.2 对烟气净化系统耗材的影响

生活垃圾焚烧过程中, 烟气净化系统处理酸性气体、NO<sub>x</sub>、颗粒物等污染物需要消耗石灰、尿素、活性炭等物料。如表 7 可见, 焚烧医疗废物后, 活性炭消耗量变化不大, 而石灰浆的消耗量增加 7.07%, 尿素消耗量增加 5.60%, 这与烟气中酸性气体 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl 含量升高有关, 说明焚烧医疗废物增加了

部分气体的产生量。

表7 掺烧前后烟气净化系统耗材消耗情况对比

指标	石灰浆 投加量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	尿素溶 液流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	活性炭 喷射量/ ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )
掺烧期间均值	4.09	1.32	15.78
未掺烧期间均值	3.82	1.25	15.69

## 4 结论

文中对比分析了生活垃圾和医疗废物的组成、焚烧技术性能指标和烟气污染物排放浓度限值等参数,结果显示两者存在一定差异,但差异原因主要是生活垃圾和医疗废物两者的组分含量不同,其危害程度、工艺流程、烟气净化、炉渣处置和热能利用等方面均基本相同。进行生活垃圾和医疗废物比例1:50的掺烧试验,结果显示,生活垃圾中掺烧医疗废物会提高排放烟气中 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{HCl}$ 和二噁英的

含量,但各项指标均在国标要求范围内;掺烧对烟气中 $\text{CO}$ 及颗粒物含量无明显影响;掺烧医疗废物后,烟气净系统耗材石灰和尿素的使用量增加,活性炭消耗无明显影响。试验过程中,各项参数均在可控范围内波动,烟气排放稳定。上述结果验证了生活垃圾中掺烧医疗废物的可行性。

### [参考文献]

- [1] 杨盛凯,周纯洁,王斯冉,等.我国医疗废物资源化可行性探讨[J].有色冶金节能,2021,37(1):13-16.
- [2] 马津麟.生活垃圾焚烧厂协同处置医疗废弃物的技术研究[J].科技与创新,2023(2):89-91.
- [3] 冯楠,赵发敏,刘杰.关于生活垃圾焚烧装置应急处理医疗废物的探讨[J].有色设备,2022,36(4):72-76,86.
- [4] 周奇,徐亚,王菲,等.生活垃圾焚烧设施应急处置医疗废物现状与风险防控[J].环境卫生工程,2020,28(2):23-26,29.
- [5] 彭艳春,曹喆,赵眉飞,等.废弃物焚烧二噁英的排放量预测分析[J].广州化工,2023,51(8):141-144.

## Study on the Influence of Co-combustion of Medical Waste in Domestic Waste on Flue Gas Index

ZHOU Chunjie, YI Yulong, YANG Shengkai

(Changsha Huiyang Environmental Protection Tech Co., Ltd., Changsha 410001, China)

**Abstract:** In this paper, domestic waste and medical waste after high-temperature cooking treatment in a city were taken as the research objects. By comparing and analyzing the physical and chemical properties, incineration technical indicators, incineration flue gas emission standard limits of the two, and conducting a mixed combustion test of domestic waste and medical waste at a ratio of 1:50, the feasibility and impact of co-firing medical waste in domestic waste were discussed. The analysis results show that there are some differences in the components and incineration technical standards of domestic waste and medical waste, mainly because the components of domestic waste and medical waste are different, but the requirements of the two in flue gas purification treatment system, slag disposal and thermal energy utilization are basically the same. The contents of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$  and dioxins in flue gas emissions increased after co-combustion, but they were still controlled within the national standard. Co-firing has no obvious effect on the content of  $\text{CO}$  and particulate matter in flue gas. The consumption of lime and urea in the flue gas purification system increased after co-firing. The above results verify the feasibility of co-combustion medical waste in domestic waste.

**Key words:** medical waste; domestic waste; blending burning; flue gas index