

文章编号:1000-582X(2003)08-0106-04

# 医疗垃圾与煤在循环流化床中的混烧试验

蒲 舸,张 力,辛明道,冉景煜

(重庆大学 动力工程学院,重庆 400044)

**摘 要:**医疗垃圾带有大量病菌,对其进行无害化处理尤为重要,对重庆某医院的医疗垃圾多次采样,并进行工业分析。针对医疗垃圾的特点,在循环流化床装置上进行了医疗垃圾与煤的混烧试验。研究了医疗垃圾与煤在不同混烧比时,炉膛温度变化情况,NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>排放特性,以及灰渣的热灼减率。试验结果表明,用循环流化床焚烧医疗垃圾是可行的。

**关键词:**医疗垃圾;循环流化床;混烧

**中图分类号:**X784

**文献标识码:**A

医疗垃圾是指医院及其它医疗机构中产生的废弃物。它携带大量的病毒、细菌,具有很大的危害性,若处置不当,会对水体、大气、土壤产生严重污染,进而造成疾病的传播,威胁人们的身体健康及社会公共卫生安全,因而对其进行无害化处理就显得尤为重要。由于医疗垃圾带有大量的病菌,如果单独采用卫生填埋,就不能从根本上达到“无害化”处理要求。采用焚烧处理方法,不仅可以弥补卫生填埋的不足,而且能达到“无害化、减量化、资源化”的要求<sup>[1]</sup>。目前对医疗垃圾的处理,国内外均采用焚烧的方法。

对医疗垃圾进行焚烧处理,选择一种合适的焚烧炉是关键。CFBC(循环流化床焚烧炉)具有对燃料的适应性特别好,燃烧效率高,负荷变化范围大,调节特性好,脱硫效率高,NO<sub>x</sub>排放量低等优点<sup>[2]</sup>,在城市生活垃圾的焚烧方面得到了广泛的应用。而医疗垃圾与生活垃圾的特性有诸多不同,因此很有必要进行试验研究。为此,建立了50 kg/h的循环流化床试验台,对医疗垃圾与煤混烧时的炉膛温度、烟气中有害物质的排放浓度和灰渣的热灼减率等燃烧特性进行了试验研究。

## 1 燃料特性分析

### 1.1 医疗垃圾特性分析

在重庆某医院实地调查中,对换药室、注射室和住

院部的垃圾进行了多次取样,结果发现,医院垃圾的主要成分中有机物占71%,无机物占29%,且无机物中的绝大部分为医疗废弃玻璃残渣。与生活垃圾有重要不同之处在于,医疗垃圾容易实现分类投放(将玻璃与非玻璃分开),因此,医疗垃圾中的不可燃成分将大大减少,燃烧更容易。由于垃圾容易实现分类处理,此次试验只对医疗垃圾中的有机物进行工业分析,结果如表1所示。

表1 医疗垃圾工业分析

垃圾编号	水分 /%	灰分 /%	挥发分 /%	固态碳 /%	热值 /(kJ/kg)
垃圾1	30.8	0.991	56.5	11.5	12 605.53
垃圾2	31.0	8.207	56.4	4.31	11 447.03
垃圾3	35.6	2.415	55.1	6.8	13 456.47
垃圾4	26.1	4.300	56.9	12.6	13 643.23
垃圾5	29.6	1.547	56.9	11.8	14 724.37
平均	30.6	3.492	56.3	9.45	13 258.93

从医疗垃圾工业分析可以看出:医疗垃圾热值较高,达到10 000 kJ/kg以上;医疗垃圾的水分含量较高,约30%;医疗垃圾挥发分含量高,约56%,而固定碳含量较低。

从以上数据可以看出医疗垃圾容易着火并燃尽,但医疗垃圾燃烧时间短,含水量高,热值可能出现较大波动,如果加料不及时容易造成燃烧工况的剧烈波动。为了保证燃烧工况的稳定,焚烧炉有必要加入辅助燃

• 收稿日期:2003-04-21

基金项目:重庆市科委攻关项目(2000-1333)

作者简介:蒲舸(1969-),男,四川南充人,重庆大学博士研究生,主要从事燃烧与环保方向研究。

料<sup>[3]</sup>。试验以煤作为辅助燃料。

## 1.2 煤的特性分析

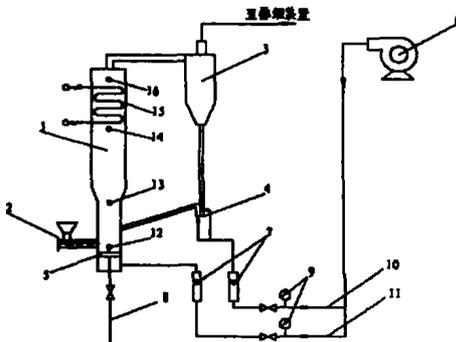
此次试验的辅助燃料采用重庆产烟煤,其元素分析成分见表2。

表2 煤元素分析成分

项目 名称	C/%	H/%	S/%	O/%	N/%	A/%	W/%	$Q_{d,w}/$ (kJ/kg)
烟煤	66.39	4.7	0.97	7.84	1.17	16.63	2.63	23 360

## 2 试验装置及方法

试验中的循环流化床焚烧炉设计每小时焚烧50 kg 医疗垃圾,沸腾段截面积为150 mm × 230 mm,高度为700 mm,悬浮段截面积为200 mm × 280 mm,高度为1 200 mm,如图1所示。冷空气通过布风板进入床层、流化床料并提供燃烧所需的主要氧气,炉膛内部为微正压,采用二次风输送返料,旋风分离器出口烟气由烟囱排空。燃料由螺旋给料机送入床层,布风板的风帽采用均匀分布;炉膛上部装有冷却水盘管,试验时,有少量冷却水流过。沿炉高和烟道布置热电偶及压力测点。



1 - 炉膛;2 - 螺旋给料机;3 - 分离器;4 - L型阀;5 - 布风板;6 - 送风机;7 - 转子流量计;8 - 落渣管;9 - 压力表;10 - 回料风管;11 - 一次风管;12 - 床层温度测点;13 - 密相区温度测点;14 - 稀相区温度测点;15 - 冷却水盘管;16 - 排烟温度测点

图1 医疗垃圾循环流化床装置示意图

试验启动时,点燃液化石油气预热炉膛及床料,当床温升至500 ℃时,少量加入实验用烟煤,送入少量一次风,随着床温继续升高,加大一次风量,逐渐使床料达到完全流化状态。床温达到800 ℃后切断燃液化石油气。开始烧纯煤,当流化床本体高温区基本达到热稳定条件后,按实验工况要求的速率依次加入医疗垃圾与煤按一定比例配制的混合燃料(垃圾/煤的混烧比  $R$  分别取1,2,3,4),最后加入纯医疗垃圾。每种混烧比的燃料稳定燃烧45 min。试验时,炉膛出口氧浓度为5%~9%。

在试验过程中,使用沿炉高和烟道布置的K型热电偶以及与之配套的巡检仪测定炉膛各断面温度;使用Lancom Series II 便携式烟气分析仪测定尾部烟气成分,将测得的气体浓度转化为氧浓度为11%条件下的气体浓度以进行比较;对不同混烧比的落渣管排渣分别取样,用马弗炉及分析天平测定热灼减率。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 炉内温度场的试验分析

试验时,对不同混烧比的炉膛温度进行了测定,结果见表3。在表3中,混烧比例  $R$  为零表示燃料是纯粹的煤,  $+\infty$  表示燃料是纯垃圾。

表3 炉内温度与混烧比例  $R$  的关系 ℃

$R$	床层温度	密相区温度	稀相区温度	排烟温度
0	1020	790	550	350
1	954	760	537	340
2	940	750	590	340
3	935	770	612	350
4	923	750	650	380
$+\infty$	910	730	690	390

在试验中发现,垃圾比例越高,床层温度越低,密相区和排烟温度变化不大,而稀相区温度反而有所升高。这是因为,虽然医疗垃圾的热值较烟煤低,但是其挥发分含量比烟煤要高得多,刚刚入炉很快就分解,再加上医疗垃圾的密度远远小于煤,在混烧比较大时,稀相区存在较强的燃烧,所以稀相区的温度还高于烧纯煤时的温度,但是医疗垃圾的燃尽速度快,所以床料温度随着  $R$  的增加而降低。

由于医疗垃圾的热值较高,即使燃料采用纯粹医疗垃圾时,床温也可达到900 ℃以上。但是医疗垃圾,水分含量高,热值波动大,单独把医疗垃圾作为燃料,如果加料不及时,会导致炉膛温度下降,对炉内工况产生不利影响。因此,在焚烧医疗垃圾时掺烧一定比例的煤,可以达到稳定燃烧的目的。

### 3.2 烟气中有害成分 $\text{NO}_x$ 和 $\text{SO}_x$ 的试验分析

#### 3.2.1 $\text{NO}_x$ 的试验分析

氮氧化物( $\text{NO}_x$ )一般指  $\text{NO}$  和  $\text{NO}_2$ ,这其中几乎都是  $\text{NO}$ ,文中的  $\text{NO}_x$  可近似地考虑为  $\text{NO}$ 。 $\text{NO}_x$  按其氮的来源又可以分为燃料型、热力型和快速型。热力型  $\text{NO}_x$  是在高温下反应生成的,循环流化床炉内温度一般较低,因此,在医疗垃圾循环流化床焚烧试验中,氮氧化物主要还是以燃料型为主<sup>[4]</sup>。

如图2给出了纯烧垃圾与纯烧煤时, $\text{NO}$  的排放浓度与温度的关系。

由图可见,温度增加, $\text{NO}$  的排放浓度迅速增加并逐渐趋于平缓。这是由于,床温增加时,一方面使中间产物  $\text{HCN}$  转化为  $\text{NO}$  增多,另一方面由于温度升高,

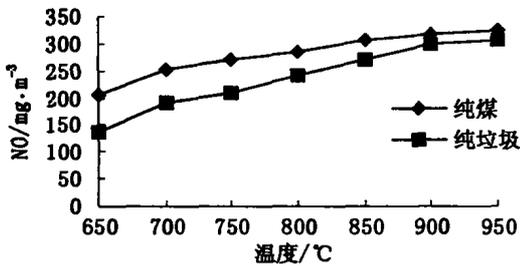


图2 NO 排放浓度与床层温度的关系

反应速率加快,焦炭燃尽率提高,使得焦炭 N 向 NO 的转化率提高<sup>[5]</sup>。

图3 给出料床层温度为 850 °C 时 NO 的排放浓度与混烧比 R 的关系。从图中可以看出,随着混烧比的增加,NO 的排放浓度逐步降低,这主要是由于煤的含氮量高于医疗垃圾的氮含量所造成的。另一方面,由于医疗垃圾中挥发分释放迅速,在颗粒周围可能产生火焰,形成还原性环境,使还原反应得到加强,主要生成 N<sub>2</sub>,也造成随着混烧比的增加,NO 的排放浓度逐步降低<sup>[6]</sup>。

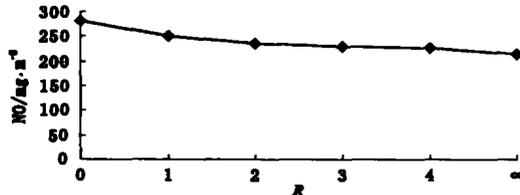


图3 NO 排放浓度与混烧比的关系

在医疗垃圾循环流化床焚烧试验中,由于医疗垃圾的含氮量不是很大,仅为一般烟煤的一半不到,且循环流化床炉内温度较低,因此在正常燃烧工况下是可以满足清洁排放要求的。

3.2.2 SO<sub>x</sub> 的试验分析

烟气中的 SO<sub>x</sub> 包括 SO<sub>2</sub> 和 SO<sub>3</sub>,在通常燃烧条件下 SO<sub>3</sub> 生成量很少,SO<sub>2</sub> 占绝大多数。图4 给出了混烧比 R 为 2 及混烧比 R 为 4 时 SO<sub>2</sub> 的排放浓度与床层温度的关系。

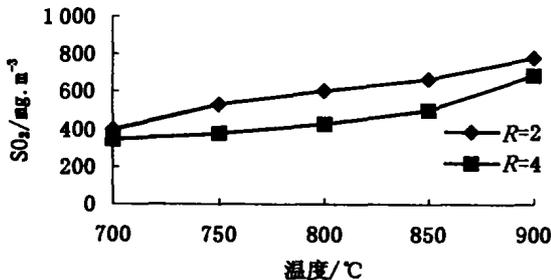


图4 SO<sub>2</sub> 排放浓度与床层温度的关系

从图中可以看出,SO<sub>2</sub> 的析出率随着床温的升高而增加。另外,随着混烧比 R 的增加,SO<sub>2</sub> 的排放浓度降低,这主要是由于煤的含硫量高于医疗垃圾含硫量

造成的。由于循环流化床具有炉内脱硫效率高的优点,在必要时可添加石灰石进行炉内脱硫。

3.3 灰渣热灼减率试验

在进行医疗垃圾这类危险固体废物焚烧处理时,焚烧灰渣的热灼减率是一个非常重要的指标。表4 是对不同混烧比的灰渣分别取样后进行热灼减率测试后所得结果。

表4 灰渣热灼减率 %

混烧比 R	1	2	3	4	纯垃圾
热灼减率	4.59	4.62	5.87	4.20	4.52

从测试结果可以看出,除了混烧比 R 为 3 时灰渣的热灼减率超过了国家关于危险固体废物焚烧灰渣的热灼减率不大于 5% 的要求,其余混烧比时都达到了国家的有关标准,这说明医疗垃圾在循环流化床中的燃尽率是较高的。

4 结论

1) 由于医疗垃圾热值较高,烧纯垃圾炉膛温度就能达到 910 °C 左右,即使在垃圾含水量大热值较低时,只要添加少量辅助燃料,炉膛温度也能达到要求;

2) 烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放浓度随床层温度升高而增加,随混烧比 R 增加而降低,由于采用了循环流化床焚烧炉,NO<sub>x</sub> 的浓度较低,低于国家关于危险固体废物焚烧烟气的排放标准。烟气中 SO<sub>x</sub> 的排放浓度同样随床层温度升高而增加,随混烧比 R 增加而降低,SO<sub>x</sub> 的浓度较高,必要时可进行炉内加钙脱硫;

3) 焚烧灰渣的热灼减率达到了国家关于危险固体废物焚烧灰渣热灼减率小于 5% 的要求。

参考文献:

[1] CLIVE BRERETON. Municipal solid waste - incineration, air pollution control and ash Management [J]. Resources, Conservation and Recycling, 1996(16): 227 - 264.

[2] 张力,崔严鹏. 循环流化床燃烧机理研究[J]. 电站系统工程, 1999, 15(6): 38 - 40.

[3] PATUMSAWAD S, CLIFFE K R. Experimental study on fluidized bed combustion of high moisture municipal solid waste [J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43(11): 2 329 - 2 340.

[4] 董长青,金保升,兰计香,等. 城市生活垃圾与煤流化床混烧过程中氮氧化物排放研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(2): 183 - 187.

[5] RICHIE D P. Add - on control techniques for nitrogen oxide emission during municipal waste combustion [J]. Journal of Hazardous Materials, 1996(47): 195 - 204.

[6] LIU HAO, GIBBS B M. Modelling of NO and N<sub>2</sub>O emissions from biomass - fired circulating fluidized bed combustors [J]. Fuel, 2002, 81(3): 271 - 280.

(下转第 113 页)

## Boiling Two - phase Flow Patterns and Boiling Heat Transfer in Three - Dimensional Microfin Tube for R134a

ZHOU Jie<sup>1</sup>, XIN Ming-dao<sup>2</sup>

(1. Faculty of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;  
2. Institute of Engineering Thermophysics, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The heat transfer characteristics are strongly dependent on the flow pattern in the tube - boiling. Therefore, it is very important to know which flow pattern is expected to exist at certain flow conditions in a tube - boiling and to develop heat transfer correlations consistent with the prevailing heat transfer mechanism in each flow pattern. The boiling heat transfer for R134a is investigated experimentally in a three - dimensional (3 - D) microfin tube. In the range of experimental conditions, six distinguishable flow patterns (bubble flow, plug flow, stratified flow, wavy flow, slug flow and annular flow) are recorded by a video camera. The obtained results are constructed in the Taitel - Dukle flow pattern map. The findings show the annular flow region of 3 - D microfin tube is different from that of smooth tube. The regime transition criterion  $X_{tt}$  decreases from 1.6 to 0.42 between intermittent flow and annular flow, and the regime transition criterion  $Fr$  have lightly increase between wave flow and annular flow. Based on the experimental data, the empirical correlations are obtained in different flow pattern and the calculated data of these correlations agree well with the experimental data.

**Keywords:** R134a; microfin tube; boiling; flow pattern; heat transfer correlations

(编辑 陈移峰)

(上接第108页)

## Co - Combustion Experimental Study of Medical Solid Waste and Coal in a CFBC

PU Ge, ZHANG Li, XING Ming-dao, RAN Jing-yu

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** It is very important to disposing medical solid waste harmlessly, because there are large numbers of bacteria and virus in it. The samples of medical solid waste of a hospital in chongqing were collected and their industry analyse were done. According to the characteristics of medical solid waste, the co - combustion test of medical solid waste and coal are performed in CFBC. The studies about bed temperature, emission characteristics of  $NO_x$  and  $SO_x$ , heating reducing ratio are done when the mixing ratios are different. Experimental research showed that incineration medical solid waste in CFBC is feasible.

**Key words:** medical solid waste; circulating fluidized bed combustor; co - combustion

(编辑 陈移峰)