

文章编号: 0253 - 9993(2000)02 - 0186 - 04

# 煤与生活垃圾流化床混烧试验研究

蒋旭光, 杨家林, 严建华, 池涌, 李晓东, 黄国权, 倪明江, 岑可法

(浙江大学 热能工程研究所, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 重点介绍煤与城市生活垃圾在 1 MW 大型流化床焚烧试验台上的试验结果, 讨论与城市生活垃圾焚烧炉相关的污染物质  $Cl_2$ ,  $HCl$  的采样和分析方法, 以及 1 MW 大型流化床焚烧试验台上焚烧城市生活垃圾产生的  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$  等污染物的排放结果。

**关键词:** 煤; 城市生活垃圾; 流化床; 混烧

**中图分类号:** TQ051.1<sup>+</sup>3; TK224.1<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A

据统计, 1995 年我国城市排放垃圾大约为 1 亿 t, 年增长率为 6%~7%。目前, 全国有 2/3 的城市已形成了垃圾包围城市的严重局面。我国的垃圾无害化处理率仅为 2%~5%, 城市垃圾的处理问题已成为摆在我们面前的紧迫课题<sup>[1]</sup>。1991 年, 日本有 70% 的城市生活垃圾用焚烧法处理。据 1997 年统计, 日本已有 151 座垃圾流化床焚烧炉发电厂在运行。

采用流化床燃烧技术处理城市生活垃圾, 是一种简单、有效、可行的废物处理方法, 它一方面大大减少了城市生活垃圾的体积和数量, 并使之无害化, 另一方面还回收了城市生活垃圾本身的一部分热量。然而这种方法本身是否尽善尽美, 即利用流化床焚烧技术处理城市生活垃圾是否还会产生二次污染, 便成了大多数人关心的问题。另外, 城市生活垃圾与煤在流化床内混烧和普通的燃煤流化床相比又有很大的差别。因此, 在大型流化床中进行城市生活垃圾与煤的混烧试验, 不失为探索其可行性的最有效方法。

采用流化床焚烧法处理城市生活垃圾的特点主要表现在: 燃料在床内停留时间长, 可使生活垃圾在炉内达到充分燃烬; 流化床一般运行温度范围在 800~950℃, 属低温燃烧, 可以实现燃烧脱硫, 并可通过分段送风减少  $NO_x$  的生成量。

本文重点介绍煤与城市生活垃圾在 1 MW 大型流化床焚烧试验台上的试验结果, 讨论与城市生活垃圾焚烧炉相关的污染物质  $Cl_2$ ,  $HCl$  的采样和分析方法, 以及 1 MW 大型流化床焚烧试验台上焚烧城市生活垃圾产生的  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$  等污染物的排放结果。

## 1 试验设备及方法

试验在浙江大学热能工程研究所 1 MW 流化床试验台上进行试验, 试验台如图 1 所示<sup>[2]</sup>。

燃烧后的含尘烟气经省煤器冷却后经过尾部布袋除尘器, 由引风机送入烟囱。试验期间煤量和城市生活垃圾用经过校准的磅秤称重, 并对原煤进行取样分

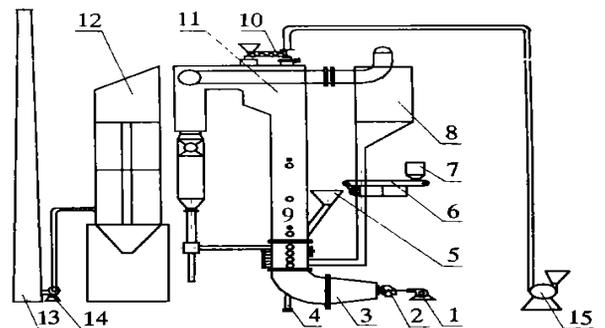


图 1 1 MW 大型流化床试验台

Fig. 1 1 MW fluidized bed test rig

- 1——送风机; 2——燃烧器; 3——点火室; 4——排渣管;
- 5——给料斗; 6——皮带; 7——煤斗; 8——方型分离器;
- 9——炉膛; 10——绞笼; 11——撞击式分离器;
- 12——布袋除尘器; 13——烟囱; 14——引风机; 15——泵送装置

收稿日期: 1999-12-06

基金项目: 本研究得到浙江大学曹光彪高科技发展基金的资助 (18)

析, 其成分分析结果如表 1 所示, 原煤的筛分特性见表 2. 垃圾直接取自杭州市居民生活小区, 其热值及成分参考杭州市及其他中、小城镇垃圾统计数值, 并且以浙江大学对垃圾中各种成分的元素分析数据为基础计算确定. 流化床密相区底部、中部、上部和悬浮段各点及分离器前、后均装有测温热电偶, 床层内风帽顶部还装有压力测定管以监视料层压降的变化. 燃烧烟气分析采用德国进口的 MS12000 多功能烟气分析仪联合分析测定.

表 1 原煤和垃圾分析数据

Table 1 The analysis data of coal and municipal solid waste (MSW)

项目	$w(C_{ar})$	$w(H_{ar})$	$w(O_{ar})$	$w(N_{ar})$	$w(S_{ar})$	$A_{ad}$	$M_{ad}$	$V_{ad}$	$M_{ar}$	$Q_{net,ar}/MJ \cdot kg^{-1}$
城市生活垃圾	15.00	2.00	15.85	1.00	0.15	26.00	—	—	40.00	4.182
淮南烟煤	52.54	2.87	5.10	0.98	2.42	28.97	2.10	21.71	7.12	20.467

表 2 原煤的筛分特性

Table 2 The size distribution of coal

粒径/mm	0~0.08	0.08~0.304	0.304~0.8	0.8~2	2~3.2	3.2~12
含量/%	3.49	15.99	16	20.18	16.88	27.46

## 2 $Cl_2$ , HCl 的采样和分析

### 2.1 烟气采样系统

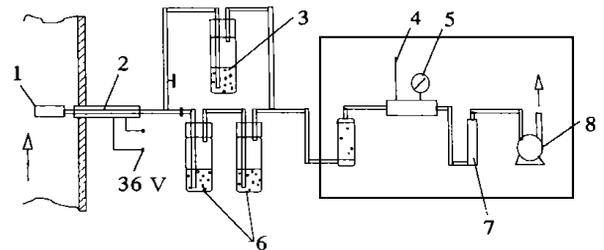
气体采样系统和装置随分析方法、使用仪器而定, 本研究中对于  $Cl_2$  和 HCl 的采样按照国家规定的污染源气体采样分析方法. 对于  $Cl_2$  和 HCl 的采样采用如图 2 所示的吸收瓶采样系统.

### 2.2 氯气 ( $Cl_2$ ) 的分析方法

采用碘量法, 最低检出浓度为  $35 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

### 2.3 氯化氢 (HCl) 的分析方法

采用硝酸银容量法, 最低检测浓度为  $40 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

图 2  $Cl_2$  和 HCl 吸收瓶采样系统Fig. 2 Sampling system of  $Cl_2$  and HCl gas

- 1—滤料; 2—加热采样管; 3—旁路吸收瓶;  
4—温度计; 5—压力计; 6—吸收瓶;  
7—流量计; 8—抽气泵

## 3 煤与城市生活垃圾 1 MW 流化床试验台上的焚烧试验

为了给城市生活垃圾与煤的流化床焚烧的商业应用提供依据, 在 1 MW 大型流化床试验台上对城市生活垃圾与煤进行了混合焚烧试验, 并测定了各污染物的排放值.

### 3.1 试验结果与分析

根据试验期间每隔 5 min 的运行参数记录以及飞灰取样分析, 城市生活垃圾和煤混烧时主要运行参数及测试结果见表 3, 污染物排放测定结果见表 4.

煤与垃圾混烧时燃烧效率相对较低, 主要原因是试验台的悬浮段受热面较多, 导致温度水平较低, 加上试验台的悬浮段高度有限, 燃烬不太充分. 这一点从 CO 的排放数值较高也可看出来. 预计在工业性焚烧炉中, 由于设计时炉膛出口温度较高, 飞灰在炉内的燃烧完全得多, 其燃烧效率还有较大的改进余地.

典型工况下机械不完全燃烧损失  $q_4$  与床层温度的变化关系如图 3 所示. 可以看出, 随着床温的增加,  $q_4$  损失显著减少. 因此从保证燃烧效率角度考虑, 建议运行床温以不低于 800 为宜.

某一工况下的燃烧效率与过量空气系数的关系如图 4 所示, 燃烧效率随着过量空气系数的增加而升高. 说明垃圾与煤混烧时需要比单独烧煤更高的过量空气系数, 才能使垃圾在炉内充分燃烬.

表 3 城市生活垃圾和煤混烧时主要运行参数及测试结果

Table 3 The main operation parameters and test results for cofiring of MSW and coal

名 称	工况 1	工况 2	名 称	工况 1	工况 2
投煤量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	61	71	尾部过量空气系数	2.15	1.89
投垃圾量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	0	71.4	床层温度 (上) /	883	884
煤 垃圾	1 0	1 1	床层温度 (中) /	958	950
煤热值/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	20.467	20.467	床层温度 (下) /	957	955
垃圾热值/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	4.186	4.186	悬浮段温度 (1) /	668	746
燃料平均热值/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	20.467	12.323	悬浮段温度 (2) /	460	605
飞灰含量/ %	17.06	22.18	悬浮段温度 (3) /	365	518
固体不完全燃烧热损失/ %	9.52	16.54	排烟温度/	122	213
气体不完全燃烧热损失/ %	0.38	0.65	燃烧效率/ %	90.1	82.81

表 4 城市生活垃圾和煤混烧时污染物排放 (折算至 6% O<sub>2</sub>)Table 4 The emission data for cofiring of MSW and coal (converted by 6% O<sub>2</sub>) $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 

工况号	垃圾 煤 (质量比)	排 放 值				
		NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	Cl <sub>2</sub>	HCl
1	0 1	524	4 210	1 751	-	-
2	1 1	507	3 185	2 164	< 35	58

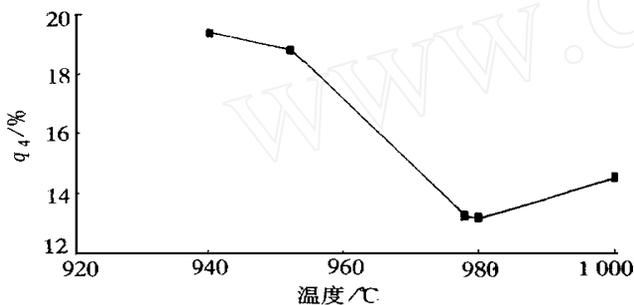
图 3 燃烧损失  $q_4$  与床温的关系

Fig. 3 The relation of combustion carbon loss vs bed temperature

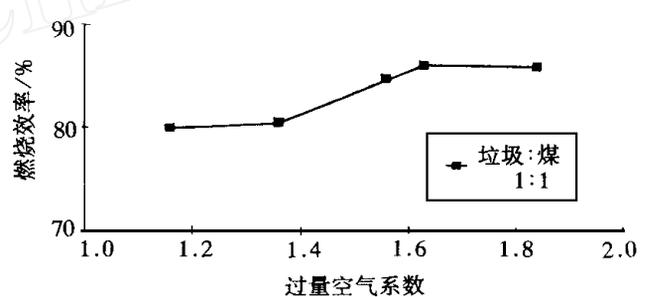


图 4 燃烧效率与过量空气系数的关系

Fig. 4 The relation of combustion efficiency vs excess air ratio

### 3.2 污染物排放

本试验中,城市生活垃圾与煤混烧试验中 NO<sub>x</sub> 排放值为 507 mg/m<sup>3</sup>,比单独燃煤时的 524 mg/m<sup>3</sup> 稍低. SO<sub>2</sub> 排放为 3 185 mg/m<sup>3</sup>,需采取进一步的脱硫措施. 总体结论是 NO<sub>x</sub> 排放不高,而 SO<sub>2</sub> 排放值高于 GB13223 - 1996 标准中规定的 SO<sub>2</sub> 排放标准 1 200 mg/m<sup>3</sup> (420 × 10<sup>-6</sup>, 标准煤),因此在锅炉改造设计时建议考虑进一步采取脱硫措施.

氯气的排放浓度不到 43 mg/m<sup>3</sup>, HCl 测值为 58 mg/m<sup>3</sup>,但由于我国没有制定锅炉烟气中 Cl<sub>2</sub> 和 HCl 的排放标准,如以加拿大 CCME 标准允许 HCl 的排放浓度为 81 mg/m<sup>3</sup>[3]作为参考,按上述试验结果其 HCl 排放浓度低于发达国家的标准,因而采用流化床方式焚烧城市生活垃圾时 Cl<sub>2</sub> 和 HCl 的排放均较低.

目前,上述试验结果已应用于一台 150 t/d 垃圾与煤混烧流化床示范工程中,并于 1998 年 8 月成功投入运行.

## 4 结 论

(1) 采用城市生活垃圾与煤流化床混烧试验是成功的。较高的床温和过量的空气系数有利于提高燃烧效率。

(2) 采用流化床方式焚烧城市生活垃圾时  $\text{Cl}_2$  和  $\text{HCl}$  的排放均较低，且  $\text{NO}_x$  的排放也不会超标。而  $\text{SO}_2$  的排放超过国家标准，主要与所加入煤的含硫量较高有关。

(3) 1 MW 大型流化床焚烧试验表明，采用煤与垃圾在流化床中混烧是可行的，其结果可供焚烧炉的放大设计作参考。

### 参考文献：

- [1] 朱永安. 城市生活垃圾处理方法评述及综合处理方法的设想 [J]. 环境工程, 1997, 15 (1): 23
- [2] 蒋旭光. 高水分污泥流化床焚烧的试验、理论及应用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 1996
- [3] Anthony E.J. The technical, environmental and economic feasibility of recovering energy from paper mill residual fiber [C]. Proc. of 12th Inter. Conf. on FBC, ASME, 1993. 239

### 作者简介：

蒋旭光 (1965 - ), 男, 浙江缙云人, 高级工程师. 1986 年毕业于浙江大学热物理系电厂热能动力工程专业. 1996 年 12 月获工程热物理专业博士学位. 现主要从事洗煤泥、洗煤泥煤矸石混烧、污泥以及城市生活垃圾等废弃物流化床焚烧技术研究工作. 获国家发明二等奖和国家教委科技进步二等奖各 1 次. 在国内外杂志及学术会议上发表论文 60 余篇.

## Co-firing test research for coal and municipal solid waste on fluidized bed

JIANG Xu-guang, YANG Jia-lin, YAN Jian-hua, CHI Yong, LI Xiao-dong,  
HUANG Guo-quan, NI Ming-jiang, CEN Ke-fa

(Institute for Thermal Power Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract :** The test results of co-firing for coal and municipal solid waste on 1 MW fluidized bed test rig are reported. The methods of sampling and analysis of  $\text{Cl}_2$  and  $\text{HCl}$  gas from the incineration of MSW are introduced. The result of special emission gas  $\text{Cl}_2$  and  $\text{HCl}$  and normal emission gas  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  from the co-firing for coal and MSW on 1 MW fluidized bed test rig are also given and analyzed.

**Key words :** coal ; municipal solid waste ; fluidized bed ; co-firing