

MSW I-10 型城市生活垃圾焚烧炉扩大化试验研究

吕国强, 王华, 卿山, 胡建杭

(昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 针对城市生活垃圾处理问题, 开发研制 MSW I-10 型城市生活垃圾焚烧炉系列装置. 通过实际焚烧试验研究发现, 系统在整个运行过程平稳连续, 炉膛温度可达 950~1150℃, 气相旋风燃烧室温度达到 1050~1200℃, 运行负荷为 80.14%; 烟气中烟尘、CO、NO_x、HCl、Cd、Pb 的排放浓度符合国家排放标准, 基本实现了城市生活垃圾的无害化处理. 该装置具有一定的推广价值.

关键词: 城市生活垃圾; 排放标准; 垃圾焚烧炉

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2005)04-0083-05

On Industrialized Experiment of MSW I-10 Urban Solid Waste Incinerator

LV Guo-qiang WANG Hua QING Shan HU Jian-hang

(Faculty of Electric Power Engineering Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract To counter problems in the disposal of urban solid waste, the MSW I-10 incineration system is developed taking Kunming as an example. It is found through the experiment that the system runs smoothly and continuously in the incineration process, that the temperature of hearth is 950~1150℃, and in cyclone furnace it is 1050~1200℃ and that the running load is 80.14%. The concentration of soot, CO, NO_x, HCl, Cd, Pb discharged in flue gases measured is up to the state's emission standard. The system is proved to basically realize harmless disposal of urban solid waste and to have much referential value.

Key words urban solid waste; emission standard; waste incinerator

0 引言

城市生活垃圾引起的环境问题已受到全世界的普遍关注, 对其有效合理处理是环境保护领域里的一个重要环节. 未经处理或处理不当的城市生活垃圾会侵占耕地、污染水源、破坏自然景观, 甚至危及到人们生命财产安全. 目前城市生活垃圾处理主要有填埋、堆肥和焚烧三种较成熟的方法. 焚烧法处理垃圾能彻底杀菌灭毒, 并可回收其中的热能, 是实现减量化最快捷有效的方法, 现已成为国内外处理垃圾的主要方式. 燃烧工况的合理组织和二次污染的控制是焚烧法处理垃圾的关键所在. 由于对城市生活垃圾的不当处理, 焚烧过程常常伴随着严重的二次污染. 焚烧垃圾产生的二次污染包括焚烧过程产生的飞灰、以 Dioxins 为代表的有毒有机物、重金属、HCl、SO_x、NO_x、HF、CO 等有害气体和固体灰渣. 其中一些如 HCl 重金属污染物以及 Dioxins 等污染物, 毒性大, 形态复杂, 对人身安全和环境会造成极大危害, 因此对其形成和控制机理进行深入的探索和研究十分必要.

本文是在 MSW I-10 城市生活垃圾焚烧炉上进行的扩大化试验研究. MSW I-10 城市生活垃圾焚烧炉是由昆明理工大学环境调和型能源研究所自行研制的具有自主知识产权的垃圾焚烧炉. 该炉能高效、彻底的处理垃圾, 最大限度的实现垃圾的无害化和减容减量化. 它适宜于发热量低、未经严格分检的生活垃圾.

收稿日期: 2004-10-14 基金项目: 云南省自然科学基金 (200E003R) 与云南省科技攻关项目 (2001GG1G) 资助.

第一作者简介: 吕国强 (1973~), 男, 硕士, 主要研究方向: 固体废弃物的无害化处理. E-mail: Lvguoqiang_01@sina.com

1 试验设备

图1为MSWI-10焚烧炉及其附属设备示意图。试验设备包括MSWI-10焚烧炉、除尘器、急冷塔、烟囱、鼓风机、引风机、高压水泵、自动进料系统、辅助燃油供应系统、配电柜和控制柜等。

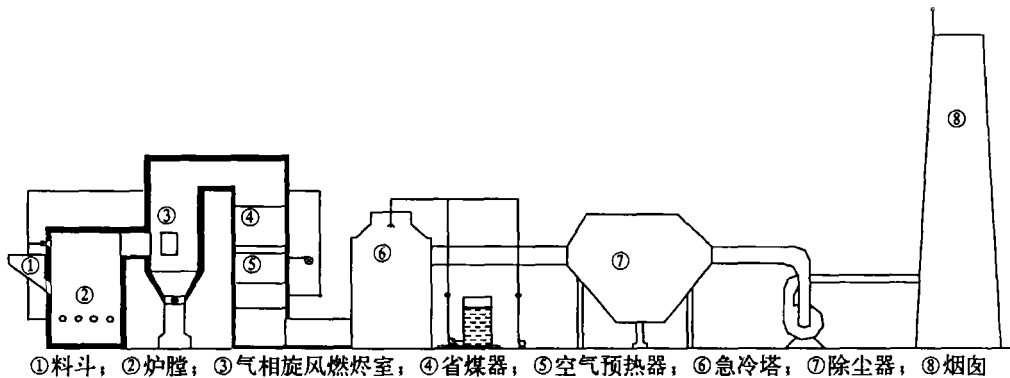


图1 MSWI-10型城市生活垃圾焚烧炉及其附属设备连接图
Fig.1 MSWI-10 incinerator system

2 昆明市城市生活垃圾的组成

试验所用垃圾由昆明市环卫部门采集,垃圾的采集地点有居民小区、高校、商业区、公园、宾馆等垃圾中转站,其中居民小区垃圾占主要部分。表1是昆明市城市生活垃圾的组成。

昆明市城市生活垃圾含水率最低为35%,最高可达60%,平均在45%~48%。试验垃圾的平均容重为360~400 kg/m³,低位热值为4620~6670 kJ/kg。垃圾中以有机物与无机物为主,其中的纸和塑料含量较少,导致垃圾热值偏低,这给焚烧带来一定的困难。随着昆明市经济的发展,垃圾的热值会逐渐增加。试验前需人工分选出大块石头、砖块、陶瓷碎片等建筑垃圾。

表1 昆明市城市生活垃圾的组成(平均值)(质量分数%)

Tab 1 Components of MSW in Kunming (mean value) (%)

有机物	无机物	纸类	塑料	布类	玻璃	金属	其它
48	30	7	5	2	3	2	3

为保证整个焚烧过程能连续稳定进行,本试验以云南鑫宝油品有限公司生产的轻质燃料油为辅助燃料。该轻质燃料油产品规格为:低位热值 $Q_{dc}^y = 9720 \sim 10040$ kcal/kg,比重(20℃) $\gamma = 0.97 \sim 0.98$ t/m³,闪点(开口、闪点)25℃,冷凝点-5℃,20℃时运动黏度7.0~8.0 mm²/s。

3 试验条件及过程

根据设计参数,焚烧炉额定焚烧量为500 kg/h,实际处理垃圾量407 kg/h,生产负荷80.14%。进料方式采用螺旋进料器连续进料。在进料的同时,加入一定量的干脱硫剂石灰石CaCO₃。试验启动时先点燃油气混合物,开启急冷塔的风冷水冷系统,在950℃温度前缓慢空炉升温4 h预热炉体。而后启动螺旋进料器开始连续均匀进料,实验开始进入试验工况。为保证炉膛的热稳定性,需向燃烧室补充辅助燃料,出渣采用间歇出渣方式大约每隔3 h出渣一次,一次出渣3~5 min,出渣时暂停投垃圾。稳定运行2 h后,开始进行烟气采样。烟气的采样分析委托云南省环境检测中心站完成,该中心站对样品来源及样品检测数据负责。底灰样品等试验完毕系统冷却后采集,送样检测。

4 燃烧工况的影响因素及控制

昆明地区的生活垃圾具有热值偏低,水分含量高的特点,焚烧前没有严格分选,因此合理控制物料的分布、炉膛温度、风量的分布、炉膛的负压、床层的压力等工艺参数是实现MSWI-10型焚烧炉稳定、连续、

清洁焚烧的关键因素.

4.1 物料量的分布

焚烧炉正常燃烧时焚烧温度是靠垃圾燃烧放出的热量和补充以辅助燃料维持的. 垃圾加入的多少直接影响到燃烧的稳定性. 为了稳定燃烧, 给料量需要保持均匀和连续. 垃圾入炉前必须搅拌均匀, 以保证燃烧后有一致的燃烬率. 当然垃圾的进料量也要随焚烧炉负荷的变化做必要的调整.

4.2 焚烧温度

稳定均匀的燃烧温度是确保减少垃圾焚烧系统大气污染物排放量的一个重要因素^[1]. 表 2 是燃烧系统温度检测点采集的数据. 本次试验通过补充辅助燃料, 使炉膛的温度控制在 950~1150℃. 引起焚烧系统温度波动的主要因素是垃圾品质的变化, 其中最重要的是垃圾中含水率的变化, 垃圾中含水率越高, 由于垃圾中的水分在焚烧炉内会因汽化而吸收大量的热, 导致焚烧炉炉膛温度的快速下降. 辅助燃料的消耗相对较多. 必要时垃圾在入炉前要进行晾晒处理以减少垃圾所含的表面水. 垃圾中的水分不但会影响焚烧温度, 而且会与酸性气体结合对设备造成严重的腐蚀, 因此垃圾在焚烧前应尽量自然风干其中的水分, 避雨堆存. 垃圾的热值越高则焚烧温度越高, 这时可节约辅助燃料. 急冷塔采用水冷和风冷相结合, 能在 2 s 内将烟气温度从 850℃左右迅速冷却至 300℃以下, 基本上消除烟气在冷却排放过程中二恶英类剧毒物质的再次生成的温度条件^[2].

4.3 风量的分布

通过合理配风实现垃圾在炉膛内高效彻底的燃烧, 一二次风量的科学分布是合理组织

炉膛燃烧工况的关键. 炉膛中的 O₂ 浓度、垃圾与氧的混合程度严重影响着垃圾的燃烧速度和烧烬率. 过量空气量过大会增大辅助燃料量消耗, 同时会增大鼓风量、引风量以及尾气处理规模. 反之, 过量空气量太小, 则燃烧不完全, 甚至产生黑烟, 有害物质分解不彻底, 从而会引起严重的二次污染. 一般保证焚烧炉出口烟气中氧含量在 6%~12%. 垃圾在焚烧炉炉膛内受热其中的水分及挥发分剧烈析出, 可燃物迅速氧化燃烧, 释放出大量热量, 耗氧量多, 因此分配在一次空气量相应要大. 由于一次风流量大、压头高、速度快, 可以将入炉的垃圾快速干燥、强烈扰动混合, 并将部分可燃物吹携到炉膛气相旋风燃烧室进行二次燃烧. MSW I-10 焚烧炉一次风量占总风量的 2/3, 一次风压头控制在 6000 Pa, 流量控制在 2400 m³/h.

为使垃圾及其燃烧产物全部迅速分解, 必须加强空气与垃圾、空气与烟气的充分接触混合, 扩大接触面积, 使有害物在高温下快速氧化分解, 设置二次风的作用就是加强扰动作用的, 即增强湍流度. 二次风从炉膛上部吹入, 用以搅拌炉内烟气, 加强炉膛的扰动, 使氧和不完全燃烧产物充分混合进行二次燃烧, 同时延长悬浮的未燃颗粒及未燃气体在炉膛中的行程和时间, 降低烟气中带出物的不完全燃烧损失. 二次风占总风量的 1/3, 二次风压头控制在 3500 Pa, 风量控制在 600 m³/h.

4.4 床层压力

床层压力是炉渣高度的反映. 由于炉膛内炉渣不断的积聚, 达到一定高度必须排渣, 否则会对空气分布等产生不利的影 响, 从而影 响整个燃烧工况. 床层压力起到了监控熔渣高低的作用. MSW I-10 焚烧炉采用机械排渣, 当床层压力达到一定程度要打开排渣口排渣. 排渣间隔大约为 3 h, 一次出渣 3~5 m³, 出渣时暂停投垃圾.

5 试验结果及讨论

5.1 垃圾底灰的物化性质

焚烧后的灰渣体积是焚烧前垃圾体积的 1/5, 重量是原来的 26%~31%, 灰渣的相对密度在 2.22~3.05 kg/m³. 灰渣呈黑褐色, 其烧失量在 2.24%~4.05% 之间, 表明焚烧基本完全. 图 2 是垃圾底灰的 XRD 分析, 从中可以看出焚烧后的灰渣中主要含有 O, Si, Ca, Al, Fe, Na, Mg, S 等元素. 灰渣的物相主要为 SiO₂, CaFeSi₂O₆, CaMg(SiO₃)₂, NaAlSi₃O₈, CaSO₄ 等, 其化学性质比较稳定. 灰渣的组成是影响其灰熔点的

表 2 焚烧系统测点温度

Tab 2 Temperature in incinerator

温度分布	炉 膛	气相旋风燃烬室	急冷塔进口	急冷塔出口	排烟温度
温度 /℃	950~1150	1050~1200	780~850	200~300	180~250

主要因素,灰熔点对灰渣的结渣性有一定的关系.灰渣的结渣性强不利于焚烧炉固态排渣,试验时控制炉膛温度在 1 150℃以下,使其低于灰渣的软化熔融温度 (ST).石灰石按一定比例与垃圾一起混合加入进行燃烧固硫也起到了积极的效果.

5. 2 烟气的检测分析

垃圾焚烧过程中二次污染物的产生,尤其是大气污染物 (NO_x、SO₂、CO、碳氢化合物、二恶英呋喃类 PCDD/Fs 等) 的产生与焚烧温度、燃烧的稳定性有直接关系^[1].因此,控制焚烧系统的温度分布至关重要,本试验装置有一套完善的温度自动控制系统,能将炉膛的温度控制在 950~ 1 150℃,这有利于减少焚烧过程中二次污染物的形成.二次风可使烟气中夹带的未燃烬物质再次燃烧,气相旋风燃

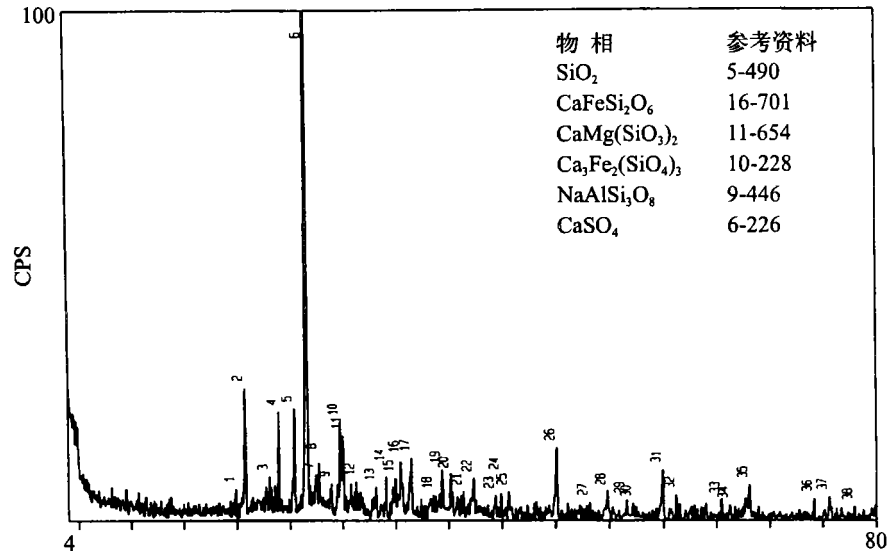


图2 垃圾灰渣XRD分析
Fig.2 XRD pattern of MSW slag

烬室温度可达 1 050~ 1 200℃,高温有利于烟气中可燃物的快速燃烬和 PCDD/Fs 的再次分解.急冷塔的快速冷却,基本上消除烟气在冷却排放过程中二恶英类剧毒物质的再次生成.烟气经过烟道尾部除尘设备,烟尘等有害物质基本符合国家排放标准.表 3 为云南省环境检测中心站的检测报告 (云环监字 (2004)第 059号).

表 3 检测分析方法、仪器及检测结果报告单

Tab3 Analysis method s, equipment s and Results

污染物名称	检测方法	检测和分析设备	检测结果 /mg·m ⁻³ (排放浓度)				国家标准 /mg·m ⁻³
			1	2	3	4	
烟尘	重量法 GB/T 1542- 1995	TH- 880V 型烟尘烟气采样仪 FA 2004 电子天平	91.92	72.25	40.94	49.42	80
			平均值: 63.63				
SO ₂	定电位电解法 《空气和废气检测分析方法》	KM 9106 综合烟气分析仪	189	189	167	189	260
			平均值: 183				
CO	定电位电解法 《空气和废气检测分析方法》	KM 9106 综合烟气分析仪	< 1	< 1	< 1	< 1	150
			平均值: < 1				
NO _x	定电位电解法 《空气和废气检测分析方法》	KM 9106 综合烟气分析仪	121	126	107	107	400
			平均值: 115				
HCl	GB13580 5- 92	TH- 600B 型烟气采样仪 TH- 980C 离子色谱仪	2.60	2.97	2.22	2.04	75
			平均值: 2.46				
Hg	GB7468- 87	TH- 600B 型烟气采样仪 Hydra A 测汞仪	0.18	0.68	0.70	0.99	0.2
			平均值: 0.64				
Cd	GB/T 7475- 1987	TH- 880V 型烟尘烟气采样仪 SolaarM 6	0.09	0.06	0.02	0.03	0.1
			平均值: 0.05				
Pb	GB/T 7475- 1987	TH- 880V 型烟尘烟气采样仪 SolaarM 6	0.07	0.19	0.15	0.04	.6
			平均值: 0.11				

格林曼黑度为: 1 0级

从检测的结果来看,烟气中烟尘、CO、SO₂、NO_x、HCl、Cd、Pb 的排放浓度都符合国家排放标准.但汞的排放浓度在 4 个检测点有 3 个出现超标,其原因为:垃圾中有荧光灯管等电子垃圾,这类垃圾虽然数量

不多,但汞含量较高;另外,垃圾中废纸张、杂草树枝树叶、厨余垃圾、橡胶、塑料、皮革、纤维制品中都含有汞,这些垃圾中汞含量虽然相对较低但数量庞大,也是汞源的重要贡献因子。重金属汞具有分压低,极易挥发的特性,有资料表明,在焚烧过程中,垃圾中 80% 以上的汞就会挥发进入烟气,大约只有不到 20% 的汞分布在渣相中,挥发的汞大部分以单质汞的形式存在,另外还有 $HgCl_2$ 、 HgO 等存在形式。试验中烟气出焚烧炉后,经急冷塔湿式洗气,再通过除尘设备除尘,再经引风机通过烟囱排放,这个过程基本上可以将烟气中 $HgCl_2$ 等含汞物质脱出,然而元素态的 Hg 以我们目前的实验手段可能不易被凝结去除。

5.3 实验改进对策^[3,4]

针对 2004 年 4 月 1 日实验中出现的烟气中汞含量较高的现象,为了降低烟气中汞的排放浓度,我们实施了改进方案:在急冷塔湿式洗气后除尘器前安装吸附剂滤床加强对汞金属的吸附,拟选用的吸附剂有活性炭、海泡石等。目前这项研究工作正在进行当中。

6 结论

通过在自行研制的 MSW I-10 型城市生活垃圾焚烧炉上进行的工业扩大化试验表明,通过补充辅助燃料,对于不进行严格分拣的昆明地区的生活垃圾焚烧炉能以 80~140% 的生产负荷连续平稳运行。经过一些净化措施烟气 SO_x 、 HCl 等酸性污染物远远低于国家排放标准,烟气中烟尘、 CO 、 NO_x 、 HCl 、 Cd 、 Pb 的排放浓度都符合国家排放标准,但 Hg 的排放浓度出现超标,其迁移和分布、排放特性及脱除规律有待我们进一步去研究。

参考文献:

- [1] 田文栋,魏小林. 城市固体废弃物的焚烧实验 [J]. 中国环境科学, 2001, 21(1): 49~53
- [2] 王华. 二恶英零排放城市生活垃圾焚烧技术 [M]. 北京:冶金工业出版社, 2001. 83
- [3] 赵有才. 环境工程化学 [M]. 北京:化学工业出版社, 2003. 499~500
- [4] 葛俊,徐旭,张若冰,等. 垃圾焚烧重金属污染物控制现状 [J]. 环境科学研究, 2001, 14(3): 63~64

(上接第 82 页)

- [3] Murr LE, Li Y, Trillb EA, et al. Fundamental issues and industrial applications of friction-stir welding [J]. Materials Technology, 2000, 15(1): 37~48
- [4] Jata KV. Friction stir welding of high strength aluminum alloys [J]. Materials Science Forum, 2000, 331(II): 1701~1712
- [5] Daves CJ, Thomas WM. Friction stir process welds aluminum alloys [J]. Welding Journal, 1996, 75(3): 41~45
- [6] Nicholas ED, Thomas WM. Review of friction processes for aerospace applications [J]. International Journal of Materials & Product Technology, 1998, 13(1-2): 45~55
- [7] Sutton MA, Yang B (杨邦成), Reynolds AP, et al. Microstructural studies of friction stir welds in 2024-T3 aluminum [J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 323(1-2): 160~166
- [8] Sutton MA, Ma F, Deng F. Development and Application of a CTOD-Based Mixed Mode Fracture Criterion [J]. International Journal for Solids and Structures, 2000, 37(1): 3591~3618
- [9] Sutton MA, Boone ML, Ma F, et al. A combined modeling-experimental study of the crack opening displacement criterion for characterization of stable crack growth under mixed mode I/II loading in thin sheet materials [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2000, 66(3): 171~185
- [10] Sutton MA, McNeill SR, Helm JD, et al. Advances in Two-dimensional and Three-dimensional Computer Vision [J]. Photonics Springer-Verlag Topics in Applied Physics, 1999, 77(2): 323~372