

危险废物回转式流化冷渣多段焚烧系统 焚烧特性研究

蒋旭光¹ 费振伟¹ 陆胜勇¹ 李春雨¹ 安春国¹ 池涌¹ 严建华¹
俞恺² 潘金华² 施政²

(1. 浙江大学能源清洁利用国家重点实验室, 杭州 310027;

2. 湖州市工业和医疗废物处置中心有限公司, 湖州 313000)

摘要 危险废物的处理和处置是摆在我国各级市政府面前的紧迫任务。然而我国已经运行的危险废物焚烧装置普遍存在回转窑挂壁结渣、热灼减率偏高和污染排放超标等问题,作者通过将回转窑和流化床特点相结合的方法提出了一种新型危险废物回转式流化冷渣多段焚烧处置装置。该装置采用回转窑(一燃室)、二燃室和流化床结合的热解-流化焚烧工艺,特别是采用控制窑头温度避免了回转窑挂壁结渣;采用流化冷渣装置延长未燃尽渣的焚烧时间,解决了热灼减率偏高问题;水冷式烟气急冷装置可以将烟气温度从1100℃降到200℃,防止了二恶英的尾部低温再生成。该系统运行稳定可靠,可以处理医疗垃圾和大多数的固态和液态危险废物,实现了烟气污染物尤其是二恶英排放达到国家标准的目标。同时对该系统运行时窑头温度分布、二燃室炉膛出口氧量变化、回转窑和炉膛升温特性、燃烧室外壁温度分布等几方面运行数据都进行了详细的介绍,为危险废物焚烧炉的运行提供了宝贵的经验数据。

关键词 危险废物 回转式流化冷渣 升温曲线 热解 污染物排放

中图分类号 X705 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2010)04-0909-06

Incineration characteristics of multi-incineration system of rotary fluidizing and ash-cooling for hazardous wastes

Jiang Xuguang¹ Fei Zhenwei¹ Lu Shengyong¹ Li Chunyu¹ An Chunguo¹ Chi Yong¹ Yan Jianhua¹
Yu Kai² Pan Jinhua² Shi Zheng²

(1. State Key laboratory of Clean Energy Utilization, Institute for Thermal Power Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Industrial and Hospital Waste Disposal Center Co. Ltd., Huzhou 313000, China)

Abstract The treatment and disposal of hazardous wastes are currently the urgent task of many cities in our country. Now there are many problems such as slagging in rotary kiln inside wall, high loss-on-ignition and high pollution emission existing in most of conventional hazardous waste incinerators. A multi-incineration system of rotary fluidizing and ash-cooling for hazardous waste was developed by the combination of rotary kiln and fluidized bed. The incineration system includes primary chamber (rotary kiln), fluidized bed and secondary chamber. The problem of slagging in rotary kiln inside wall can be solved by the controlling of temperature at the rotary kiln inlet, the residence time of the incombustible slag can be prolonged by using the fluidizing and the ash-cooling device, so the problem of high value of the loss-on-ignition can be solved. The flue gas temperature can be lowered directly from 1100℃ to 200℃ by the flue gas quenching facility, thus the low-temperature regeneration of dioxin are prevented. Medical waste and majority of solid and liquid hazardous wastes can be disposed by the stable system. The levels of flue gas pollutants emitted from the stack especially dioxin meet national emission limits set by the Chinese EPA. The operation data of temperature distribution at the rotary kiln inlet, oxygen content at the outlet of secondary chamber with time, temperature changing with time of rotary kiln and furnace temperature distribution at the outlet of chamber are described, valuable experience data for the operation of hazardous waste incinerator can be referred for commercial incineration plants.

Key words hazardous waste; rotary fluidizing and ash-cooling; temperature curve; pyrolysis; pollutant emission

危险废物是指列入《国家危险废物名录》或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的废物。危险废物具有毒害性、爆炸性、易燃性、腐蚀性、化学反应性等一种或几种以上的危害特性,并以其危害的长期性和潜伏性,对人

基金项目: 国家(863)计划重点项目(2007AA061302;2007AA06Z336);
浙江省重大科技专项(2007C13084);浙江省科技计划项目
(2008C23090);教育部新世纪优秀人才支持计划;浙江省自然
科学基金杰出青年团队项目(R107532)

收稿日期: 2009-04-08; **修订日期:** 2009-06-25

作者简介: 蒋旭光(1965~),男,博士,教授,博士生导师,主要从事医
疗废物及危险废物焚烧研究。E-mail:jiangxg@zju.edu.cn

体和环境构成很大威胁。目前国内外已有多种危险废物的处置技术,如高温焚烧(回转窑焚烧炉、热解焚烧炉、炉排炉以及等离子体焚烧炉等)、卫生填埋、化学消毒、电磁波灭菌等。这些处置技术除高温焚烧外都或多或少存在一些不足,如卫生填埋存在较大后患,有害物质容易泄漏造成环境二次污染等;化学消毒不能处理挥发性有机化合物、化学药剂等,消毒效果难以保证,且产生的有毒废液容易造成二次污染;电磁波灭菌不适于病理方面的废物处理^[1]。而焚烧法因其在处理危险废弃物时能同时实现减量化、无害化以及资源化,被认为是最有效的处理危险废物的方法,也是我国危险废物集中处理中心主要采用的方法^[2]。焚烧法处理危险废物在欧美等发达国家已经得到广泛的应用^[3]。Duan等^[4]介绍了历年来中国危险废物的组成、分布、发展趋势、目前处理情况和主要的处理方式,也认为焚烧法是主要的处理方法。

国内外采用的废弃物焚烧炉主要有以下几种类型:回转窑焚烧炉、炉排焚烧炉、炉床焚烧炉、流化床焚烧炉以及多层炉^[2]。朱江等^[2]对各种焚烧炉型进行了比较,并指出回转窑焚烧炉具有比其他类型焚烧炉更广泛的物料适应性,能同时处理固体、液体以及气体形态的危险废物。李爱民等^[5]对改善城市垃圾焚烧特性进行了探讨,并提出了生物质垃圾源分类和生物干燥技术等两种有效措施。关小红等^[6]着重对低污染的危险废物焚烧技术进行了研究,认为尾气处理应与通过控制焚烧条件减少尾气中污染物的原始浓度相结合,以减少后续处理设备的投资。李剑等^[7]对医疗废物中有机质的热解过程进行了研究,并进一步提出其热解动力学模型。由于焚烧处理具有方法简单、易于操作、处理周期短、处理效率高、减容率高等特点,被公认为是一种比较理想的处理方法^[8]。

本文提出了一种新型危险废物回转式流化冷渣多段焚烧处理的系统,采用回转窑(一燃室)、二燃室和流化床结合的热解-流化焚烧工艺处理危险废物,开发出了一套安全、高效、环保、节能减排的危险废物回转式流化冷渣多段焚烧技术,克服了现行单一焚烧炉普遍存在的回转窑挂壁结渣、热灼减率偏高和污染排放超标等几方面问题,完全可以满足处理我国危险废物的工业应用要求。

1 焚烧系统的工艺流程和特点

整个新型危险废物回转式流化冷渣多段焚烧处

理工程包含废物预处理系统、焚烧系统、烟气处理系统和辅助公用系统4大部分。废物预处理系统包括废物的预处理和进料系统;焚烧系统包括一燃室(回转窑)和二燃室、流化床和出灰渣及焚烧控制系统;烟气处理系统包括急冷塔,半干法酸性气体吸收和布袋除尘器等。

本系统的工艺流程见图1。具体工艺流程介绍如下:废物经菜单配制后,采用抓吊将废物送到料斗,然后进入回转窑,液体废物经喷雾送入回转窑。焚烧系统的回转窑是废物的一燃室,废物在500℃左右温度条件下停留20~40 min进行热解气化,回转窑连续旋转,物料不停翻动、加热、干燥、气化和部分燃烧,窑头温度控制在500℃左右,保持物料的热解状态。窑尾燃烧温度约为800~900℃,残渣自窑尾落入流化床,在流化旋转冷渣部分完成炉渣的进一步焚烧和冷却,再经过旋转破碎后由出渣机连续排出。流化床在整个系统中起到重要的作用,引入流化风延长炉渣的焚烧时间,从而提高炉渣的燃尽程度,同时又促使残渣进一步被冷却,减轻对排渣装置的损害。可燃气体组分进入流化旋转冷渣系统上方的悬浮段二燃室,流化旋转冷渣系统的二燃室设计工作温度850~1100℃,气态可燃物在高温条件下停留时间超过3 s,从而实现将有害有机物破坏率达到99.99%的水平,保证其达到完全燃烧的要求。经过流化旋转冷渣系统燃烧后排出的灰渣热灼减率小于5%。水冷式烟气急冷装置可以将烟气从1100℃降到200℃,防止了二恶英的尾部低温再生;然后烟气进入半干法(增湿活化)烟气净化装置以及布袋除尘器,在这里喷入氢氧化钙和水控制酸性气体的排放,喷入活性炭可以吸附二恶英等有机污染物的排放,确保烟气排放达到《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)。最后的烟气经引风机、烟囱排入大气。

回转窑和二燃室的接口处设有三层二次风共12个风口。二燃室的顶部连接紧急排放门和急冷塔,二燃室下端接流化冷渣装置。三层二次风从两侧面进入以进一步强化燃烧。同时对危险废物回转窑产生的热解气体进一步焚烧,同时除去臭味,烟气在二燃室的停留时间超过3 s,使二恶英的破坏率达到99.99%,达到充分燃尽的处理目的。

流化冷渣装置包括流化冷渣装置本体、密封环、耐磨铁砖、旋转布风板、排渣斗、齿轮传动装置、减速机、电机、进风口、排渣斗。流化冷渣装置本体上端

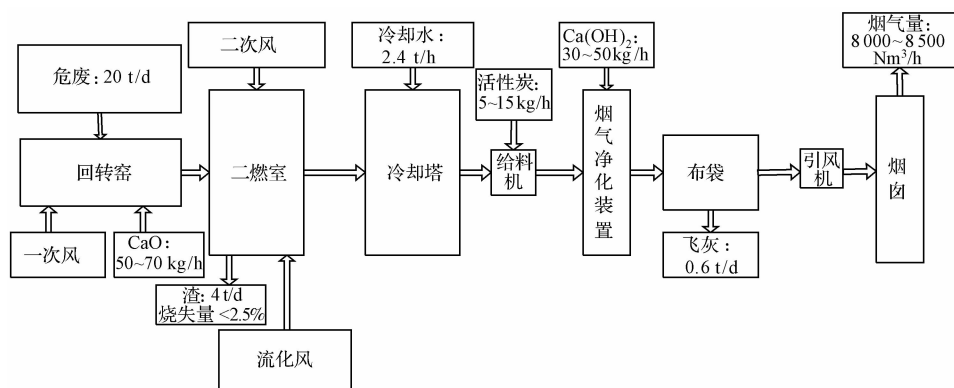


图1 危险废物回转式流化冷渣多段焚烧技术工艺流程图

Fig.1 Schematic diagram of multi-incineration technology of rotary fluidizing and ash-cooling for hazardous wastes

设有密封环,流化冷渣装置本体内壁设有耐磨铁砖,流化冷渣器装置本体内设有旋转布风板,流化冷渣装置本体下端设有排渣斗,排渣斗和旋转布风板中间设有进风口。冷渣装置为圆柱形结构,从回转窑掉落的炉渣在这里进一步进行燃烬,炉渣经过流化冷渣装置的配风作用下进一步燃烧,大大延长了炉渣的停留时间。在流化冷渣装置的转动下,炉渣得到进一步破碎,燃尽后的炉渣则可从排渣口排出,从而降低灰渣的热灼减率。

在本焚烧装置的运行过程中,温度的控制尤为重要。起炉阶段,一燃室(回转窑)升温速率要求平缓,避免热应力过大破坏窑体及其部件;稳定运行阶段,通过给料量、回转窑转速以及一、二次风的控制对回转窑体温度和二燃室燃烧温度、出口氧量进行控制并达到稳定运行的目的。为了有效避免回转窑的炉渣挂壁,将回转窑前端温度控制在 500°C 左右;二燃室顶部燃烧温度控制在 1100°C 以上,这样才能达到危险物的有效焚烧和对二恶英的分解破坏的目的。

本项目投运后,由湖州市工业和医疗废物处置中心有限公司委托浙江省环境监测中心,对危险废物回转式流化冷渣多段焚烧工程排放的废气、固体废弃物的排放情况以及废气处理设施的处理效率等进行了环境保护监测。烟尘与烟气参数采用重量法分析。 CO 采用非分散红外吸收法, NO_x 、 SO_2 采用定电位电解法, HCl 采用硫氰酸汞分光光度法, HF 采用离子选择电极法, Hg 采用冷原子荧光法, Sn 采用石墨炉原子吸收法, Cr 、 Ni 、 Cu 、 As 、 Cd 、 Pb 、 Sb 采用ICP-MS(电感耦合等离子体质谱法), Mn 采用火焰

原子吸收分光光度法;二恶英由固定源二恶英采样仪(韩国HNJ ENGINEERING,INC)收集,采用气相色谱-质谱法分析。实验室研究部分,采用红外热象仪(FLIR Thermal S65,FLTR)对燃烧室外壁温度进行测量;采用真空泵和气体采样枪,对回转窑头部不同位置的热解气利用气囊收集。对热解气的分析采用气相色谱(GC Trace-2000,美国GC公司)进行分析。运行时的氧量则采用氧量分析仪(m278221,中西远大科技)进行检测;烟尘采用自动烟尘(气)测试仪(3012H,青岛崂山应用技术研究所)采集。

2 运行部分

2.1 物料分析

焚烧过的物料包括医疗垃圾(主要)和工业危险废弃物。医疗垃圾主要包括塑料及橡胶、织物、纸类、棉竹、玻璃、金属及其他等组成成分,分别占到总质量的45.88%、21.33%、8.96%、5.18%、11.16%、0.74%和6.76%。单个医疗垃圾组分的工业、元素分析和热值见表1^[9];工业危险废弃物主要包括氨纶废物、废树脂、电镀污泥、水处理厂污泥、废漆渣、废化学试剂、农药生产废渣、废旧油墨、蒸馏残渣等,危险废物的工业、元素分析和热值见表2。

2.2 主要运行参数

达到稳定运行的主要工况参数主要包括:设计处理量 20.0 t/d ;石灰投料量 $30\sim 50\text{ kg/h}$;活性炭给量 $5\sim 15\text{ kg/h}$;布袋进口烟温 160°C ;二燃室温度 $850\sim 1100^{\circ}\text{C}$;灰斗温度 140°C ;急冷塔出口温度: 175°C ;冷却室进口温度: 815°C ;窑头温度 500°C 左右;窑尾温度 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$;引风机进口温度 135°C ;

表 1 各组分医疗垃圾的工业分析、元素分析和热值

Table 1 Industrial analysis、elemental analysis and calorific values of medical wastes

样品名称	工业分析				元素分析					$Q_{b,ad}$ (J/g)
	$M_{ad}(\%)$	$A_{ad}(\%)$	$V_{ad}(\%)$	$FC_{ad}(\%)$	$C_{ad}(\%)$	$H_{ad}(\%)$	$N_{ad}(\%)$	$S_{t,ad}(\%)$	$O_{ad}(\%)$	
注射器	0	0.16	99.84	—	84.3	14.44	0.18	0.03	0	45 769
乳胶手套	0.27	1.85	97.65	0.23	84.8	10.5	0.4	0.61	1.57	43 279
棉花	6.46	0.19	89.99	3.36	41.93	8.4	0.18	0.03	42.81	15 824
口罩	7.01	3.85	82.43	6.71	45.71	5.96	0.16	0.13	37.18	18 137
猪肉	26.34	—	—	—	80.4	12.08	2.86	0	0	39 307
纱布	7.62	0.17	83.96	8.25	42.36	5.33	0.16	0.03	44.33	16 089
竹棒	9.77	1.77	72.69	15.77	44.9	5.23	0.25	0.05	38.02	17 473
输液器	0.08	0.25	99.67	—	85.21	13.7	0.18	0.09	0.49	45 823

表 2 工业危险废物的工业分析、元素分析和热值

Table 2 Ultimate and proximate analysis and heating values of hazardous wastes

名 称	工业分析				元素分析						$Q_{b,ad}$ (J/g)
	$M_{ad}(\%)$	$A_{ad}(\%)$	$V_{ad}(\%)$	$FC_{ad}(\%)$	$C_{ad}(\%)$	$H_{ad}(\%)$	$N_{ad}(\%)$	$S_{t,ad}(\%)$	$O_{ad}(\%)$	$Cl(\%)$	
黏合剂残渣	0.91	—	99.09	—	58.62	4.95	—	0.03	−0.16	0.16	29 291
制革污泥	1.49	45.6	45.14	7.77	25.38	1.69	1.11	0.49	23.50	0.74	8 478
电镀污泥	4.11	66.49	30.16	—	5	0.54	0.88	1.69	21.24	0.055	—
农药生产残渣	3.7	7.85	67.31	21.14	36.27	3.76	4.89	7.86	35.66	0.012	14 953
喷漆渣	0.97	46.92	50.57	1.54	31.63	3.38	0.38	0.14	16.39	0.19	12 576
喷漆工艺废渣	0.62	53.13	46.49	—	21.69	3.22	0.16	2.45	18.70	0.033	8 948
脲醛树脂	2.35	0.42	96.11	1.12	31.74	4.12	36.1	0.1	25.17	0.0015	16 459
氨纶肥料	1.71	0.28	97.24	0.77	61.92	5.23	3.84	0.04	26.97	0.01	34 484
罗海精细化工污泥	4.7	22.47	36.86	35.97	35.1	4.22	0.56	0.11	29.99	2.85	19 358
酸洗含锌污泥	6.01	68.8	24.7	0.49	9.86	2.11	0.27	1.41	9.27	2.27	—
防锈剂	1.32	5.01	88.86	4.81	63.35	8.2	3.57	0.05	16.82	1.68	29 106
木材粘合剂(树脂)	10.46	11.32	56.29	21.93	46.51	5.14	0.08	0.2	26.26	0.026	18 273

引风机变频开度 67.5% ;送风门开度 5.0% ;回转窑转速 0.28 r/min。下面分别从几个方面介绍新型危险废物回转式流化冷渣多段焚烧处理工程的焚烧特性。

2.3 回转窑和炉膛升温特性

为了更详细了解焚烧系统的特性,我们记录了回转窑和炉膛的升温曲线,如图 2 所示,可见起炉阶段,回转窑窑头的升温时间(至 500℃,平均温度)大约为 30 h,而二燃室的升温稳定时间(至 1 100℃,平均温度)比回转窑要快。即回转窑的升温速率近似为 15℃/h,而二燃室的升温速率达 40℃/h。

2.4 窑头热解气体成分分析

为详细了解回转窑热解气体的成分,我们对窑头不同位置(0.1 m 和 1.1 m)气体进行了采样分析,如图 3 所示。可见回转窑头 CO₂、CO 和 H₂ 气体的体积比差别不大,而在 1.1 m 处的烃类气体的体积比则明显高于 0.1 m 处的烃类气体体积比。也即物料进入窑内后,随着离开窑入口的位置越远,其析出的热解气中的烃类气体越多。回转窑连续旋转,物料不停翻动、加热、干燥、气化和燃烧。在干燥和热解段,随着物料的向后移动,其热解气会明显的增加,随后在窑尾发生部分燃烧,提供物料热解所需热量,其余热解气进入二燃室继续燃烧。

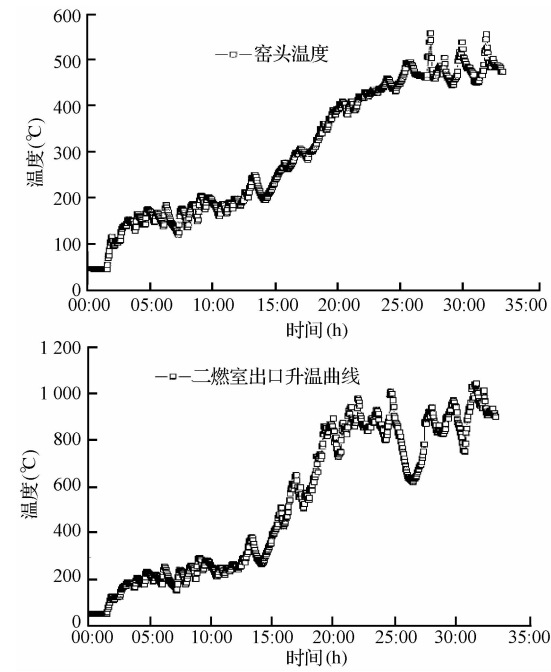


图 2 回转窑窑头、二燃室出口升温曲线
Fig. 2 Temperature curve of rotary kiln inlet and secondary chamber outlet

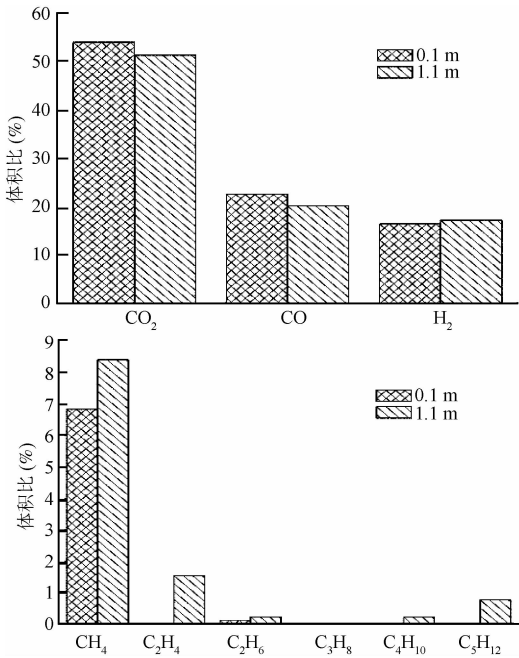


图 3 窑头 0.1 m/1.1 m 处永久性
气体体积比、烃类气体体积比
Fig. 3 Volume ratio of permanent gases and hydrocarbon
gases at 0.1 m/1.1 m of rotary kiln

2.5 窑头温度分布、二燃室炉膛出口氧量

为了进一步了解回转窑的运行参数,记录了炉膛出口氧量、窑头温度和窑尾温度分布随时间的变化曲线,由图 4 所示。由于采用了物料配比的方式,为了实现稳定的焚烧温度,物料热值的范围最好控制在 8 ~ 14 MJ/kg 左右。所以炉膛的出口氧量稳定在 8.40% 左右,窑头温度分布区间为 480 ~ 490 °C,窑尾温度分布区间约为 800 ~ 900 °C,说明系统运行达到了非常稳定的要求。

2.6 燃烧室外壁温度分布

为了更好地监视回转窑和二燃室的炉墙状况,采用先进的红外热像仪测量了一燃室和二燃室外壁温度分布,如图 5 所示,主要作用是观察燃烧室运行的安全性,为计算窑内壁的温度提供更准确的数据。另外,若回转窑或二燃室外壁存在局部温度异常现象,可以及时发现局部耐火材料脱落现象,应及时进行处理,从而提高了整个系统运行的安全性。

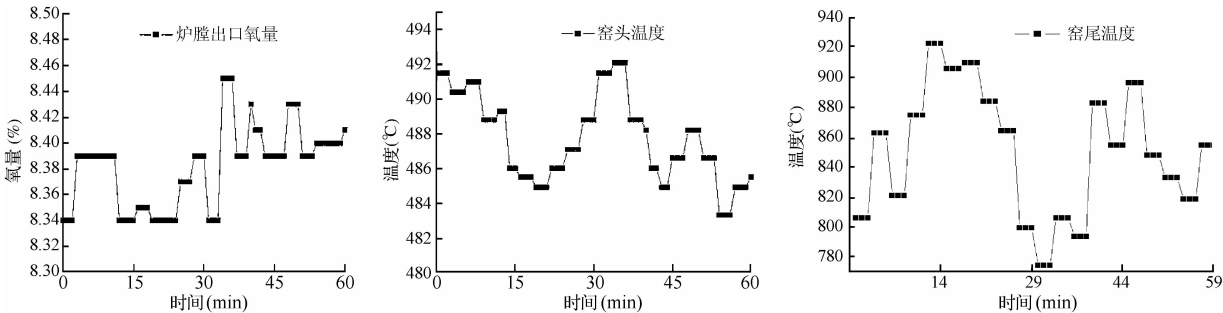


图 4 炉膛出口氧量、窑头温度和窑尾温度分布
Fig. 4 Oxygen content at the outlet of secondary chamber、temperature distribution
at the inlet of rotary kiln and temperature distribution at the end of rotary kiln

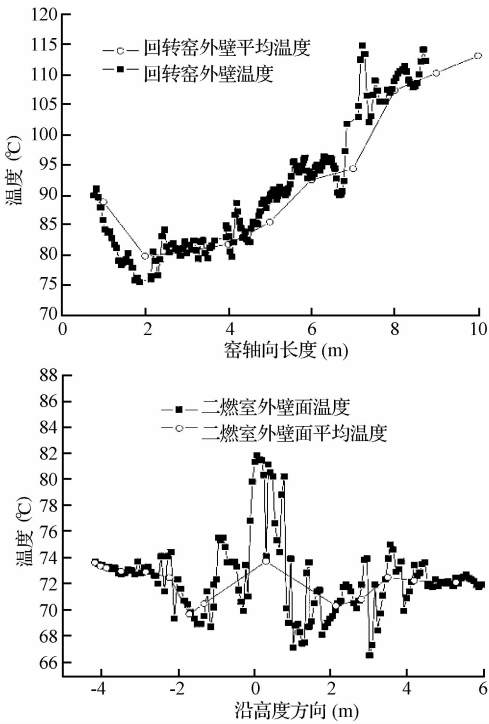


图 5 危险废物焚烧装置回转窑和二燃室外壁温度
Fig.5 Temperature distribution at the outer of chamber

2.7 主要污染物排放监测结果

本项目经浙江省环境监测中心测得的污染物排放监测结果见表 3,结果表明,烟尘、二氧化硫、一氧化碳、氯化氢、氮氧化物、镉及其化合物、铅及其化合物、汞及其化合物、铬、锡、锑、铜、锰、砷、镍及其化合物、二恶英的排放浓度均低于 GB18484-2001《危险废物焚烧污染控制标准》中规定的各污染物排放浓

表 3 回转窑焚烧系统主要污染物排放监测结果

Table 3 Results of main pollutants of this incineration system (mg/m³)

序号	监测项目	回转窑焚烧炉	国家标准限值
1	烟尘	36.9	80
2	二氧化硫(SO ₂)	<1	300
3	氯化氢(HCl)	32.7	70
4	氟化氢(HF)	0.47	7
5	氮氧化物(NO _x)	381	500
6	一氧化碳(CO)	17.6	80
7	汞(Hg)	6.73 × 10 ⁻³	0.1
8	镉(Cd)	7.03 × 10 ⁻³	0.1
9	铅(Pb)	0.069	1
10	As + Ni	0.764	1
11	Cr + Sn + Sb + Cu + Mn	0.807	4
12	二恶英(I-TEQng/m ³)	0.204	0.5

度限值,各项指标符合国家排放标准的要求。通过本系统的运行,测得的灰渣热灼减率平均为 1.5%,远低于国家标准规定的 5% 的要求。说明了流化旋转冷渣部分对炉渣的进一步焚烧效果。

3 结 论

(1)降低灰渣热灼减率主要是通过延长炉渣在流化床的停留时间来实现,而同时采用流化床结合冷渣设备,可以降低排除炉渣的温度,对排渣设备的安全运行起到重要作用。

(2)为了达到稳定焚烧的目的需要严格控制物料的配比和供给,对于热值较高的危险废物最好与热值较低的危险废物进行混烧,物料热值的范围最好控制在 8 ~ 14 MJ/kg 左右。

(3)采用危险废物回转式流化冷渣多段焚烧技术开发的示范工程排放的废气中常规污染物和二恶英排放浓度均低于 GB18484-2001《危险废物焚烧污染控制标准》中各污染物排放浓度限值。

参 考 文 献

[1] 刘朝阳. 回转窑式医疗废弃物焚烧处置系统开发与应用. 工业锅炉, **2007**, (2): 8 ~ 12

[2] 朱江, 蒋旭光, 刘刚, 等. 回转窑处理危险废弃物技术探讨. 环境工程, **2004**, 22(5): 57 ~ 61

[3] Hartenstein H. U., Horvay M. Overview of municipal waste incineration industry in west Europe (based on the German experience). Journal of Hazardous Materials, **1996**, 47(1 ~ 3): 19 ~ 30

[4] Duan H. B., Huang Q. F., Wang Q., et al. Hazardous waste generation and management in China: A review. Journal of Hazardous Materials, **2008**, 158(2 ~ 3): 221 ~ 227

[5] 李爱民, 李东风, 徐晓霞. 城市垃圾预处理改善焚烧特性的探讨. 环境工程学报, **2008**, 2(6): 830 ~ 834

[6] 关小红, 周恭明. 低污染的危险废物焚烧技术研究. 环境污染治理技术与设备, **2001**, 2(5): 67 ~ 70

[7] 李剑, 蒋旭光, 沈道江, 等. 医疗废物中有机质的热解动力学研究. 环境污染治理技术与设备, **2005**, 6(7): 25 ~ 28

[8] 孟祥和, 赵传军, 白金玉, 等. 我国医疗废弃物处理现状及焚烧处理工程实例. 中国环保产业, **2003**, (8): 26 ~ 27

[9] 孙振鹏, 李晓东, 沈道江, 等. 医疗垃圾典型组分热解和气化的实验研究. 电站系统工程, **2005**, 21(5): 13 ~ 18