

# 化工固态危废焚烧处置设施的性能研究

罗威威, 孙廷岳, 陈飞, 李恭彦

(福建省锅炉压力容器检验研究院, 福建 福州 350008)

**摘要:**以福建省某化工危险废物处理工程为例,研究固态危废焚烧处置设施的技术性能。工程采用高温涡流燃烧+二燃室+水冷除尘器+急冷塔+干式吸附+布袋除尘+喷淋吸附+雾水分离工艺,设计处理量为100 kg/h。研究结果表明:在测试工况下,二燃室温度为 $(1\ 149.6 \pm 13.4)^\circ\text{C}$ ;烟气在炉膛的平均停留时间为 $(5.35 \pm 0.12)\text{s}$ ,燃烧效率为99.97%;萘与 $\text{CCl}_4$ 的焚毁去除率分别为99.996%与99.991%,热灼减率为3.3%;焚烧设施的技术性能达到《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18484—2020)的要求;二噁英的排放值为 $0.007\ 6\ \text{ng TEQ}/\text{m}^3$ ,HF和CO的排放值分别为 $1.21\ \text{mg}/\text{m}^3$ 和 $72.8\ \text{mg}/\text{m}^3$ ,烟气排放达标。

**关键词:** 固态危险废物; 处置设施; 燃烧效率; 焚毁去除率

中图分类号: X705

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2022)05-0068-04

## Performance Study on Incineration Disposal Facility for Solid Hazardous Waste from Chemical Industry

LUO Wei-wei, SUN Ting-yue, CHEN Fei, LI Gong-yan

(Fujian Institute of Boiler and Pressure Vessel Inspection, Fuzhou, Fujian 350008, China)

**Abstract:** Taking a chemical hazardous waste treatment project in Fujian as an example, the technical performances of solid hazardous waste incineration disposal facilities were investigated. High temperature eddy combustion + secondary combustion chamber + water-cooled dust removal + quench tower + dry adsorption + bag filter + spray adsorption + mist separation were adopted in the project, with the designed processing capacity of 100 kg/h. The results showed that under the test conditions, the temperature of the secondary combustion chamber was  $(1\ 149.6 \pm 13.4)^\circ\text{C}$ , the average residence time of flue gas in the furnace was  $(5.35 \pm 0.12)\text{s}$ , the combustion efficiency was 99.97%, the incineration removal rates of naphthalene and carbon tetrachloride were 99.996% and 99.991% respectively, and the thermal reduction rate was 3.3%. The technical performances of the incineration facilities met the requirements of "Standards for pollution control on hazardous waste incineration" (GB 18484—2020). The emissions of Dioxin, hydrogen fluoride and carbon monoxide were  $0.007\ 6\ \text{ng TEQ}/\text{m}^3$ ,  $1.21\ \text{mg}/\text{m}^3$  and  $72.8\ \text{mg}/\text{m}^3$ , respectively. Flue gas met the emission standards.

**Key words:** Solid hazardous waste; Disposal facility; Combustion efficiency; Incineration removal rate

危险废物是指具有毒性、腐蚀性、易燃性、反应性或者感染性一种或几种危险特性的物质,不排除具有危险特性,可能对生态环境或者人体健康造成有害影响的废物<sup>[1-2]</sup>。危险废物的处置目标为减量化、无害化与资源化<sup>[3]</sup>。采用焚烧处置危险废物,不但可以实现减量化与无害化,还可以回收利用余热,是一定热值危险废物的有效处置途径之一<sup>[4-5]</sup>。

新标准《危险废物焚烧污染控制标准》(GB

收稿日期:2021-10-18;修订日期:2022-08-01

基金项目:中央引导地方科技发展专项基金资助项目(2019L3020);国家市场监督管理总局科技计划基金资助项目(2019MK035);福建省锅炉压力容器检验研究院科研基金资助项目(FJGJ2022002)

作者简介:罗威威(1987—),男,福建福鼎人,高级工程师,博士,从事固体废物控制研究。

18484—2020)(以下简称《控制标准》)的颁布实施,对危险废物焚烧设施的技术性能提出了更高的要求<sup>[6]</sup>。危险废物焚烧性能测试是保证焚烧处置设施安全稳定运行的技术关键,也是颁发危险废物经营许可证的技术支撑<sup>[7]</sup>。目前,关于危险废物焚烧的研究主要集中在焚烧系统设计<sup>[8-10]</sup>、余热工程利用<sup>[1,11]</sup>等方面,而详细分析焚烧设施运行性能的报道较少。今以某化工固态危废焚烧处置工程为例,从危险废物特性、焚烧性能与污染物排放方面分析,综合评价焚烧设施性能,以期为同类项目建设与运行提供参考。

## 1 工艺流程与构筑物参数

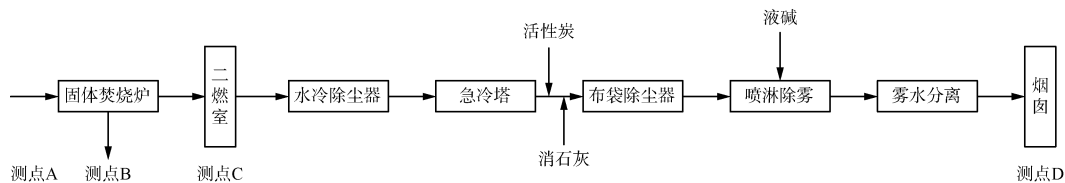


图 1 焚烧系统的工艺流程及测试布点

Fig. 1 Technological process of incineration facility and test point setting

表 1 焚烧炉及烟气处理装置的主要参数

Table 1 Main parameters of incinerator and flue gas treatment facility

主要构筑物	工艺参数
焚烧炉	尺寸为 3.1 m(L) × 1.8 m(W) × 1.8 m(H), 容积为 10 m <sup>3</sup>
二燃室	尺寸为 $\Phi$ 1.6 m × 5.5 m(H), 有效容积为 11 m <sup>3</sup>
水冷除尘器	尺寸为 $\Phi$ 1.5 m × 5.0 m(H), 有效容积为 8.8 m <sup>3</sup>
急冷塔	尺寸为 $\Phi$ 1.5 m × 5.64 m(H), 有效容积为 10 m <sup>3</sup>
布袋除尘器	滤袋材料为 P84 腹膜材料, 总过滤面积为 45 m <sup>2</sup>
喷淋吸附塔	尺寸为 $\Phi$ 1.4 m × 5.5 m(H), 有效容积为 8.4 m <sup>3</sup>
雾水分离器	尺寸为 $\Phi$ 1.0 m × 3.3 m(H), 有效容积为 2.6 m <sup>3</sup>

## 2 性能测试指标及采样点布设

依照《控制标准》的要求,对该系统的焚烧性能及污染物排放指标进行测试,焚烧处置的性能主要包括以下 3 类指标。

(1) 废物特征指标: 检测项目及测试方法见表

焚烧工程处置的固态危废主要为废活性炭与工业干化污泥等,设计处理能力为 100 kg/h,工艺流程见图 1,主要构筑物的工艺参数见表 1。由图 1 可见,固态危废首先进入固体焚烧炉进行一次焚烧,随后烟气进入二燃室进行充分燃烧。焚烧后的高温烟气先进入水冷除尘器进行初步除尘与降温,再进入急冷塔,将烟温降至 200 °C 左右。在急冷塔出口烟道投加活性炭与消石灰,对烟气中的二噁英与酸性气体进行干式吸附。用布袋除尘器进一步去除焚烧产生的颗粒物、消石灰脱酸产物与活性炭反应产生的颗粒物等。除尘后的烟气进入喷淋洗涤塔进一步脱除酸性气体,经雾水分离后通过烟囱排放。

2。由于企业原料与处理废料中不含重金属,故仅配制萘和 CCl<sub>4</sub> 作为主要有机有害组分(POHCs) 焚毁去除率的标准测试废物。

(2) 系统性能指标: 包含 POHCs 焚毁去除率、燃烧效率、烟气停留时间、二燃室温度、焚烧残渣热灼减率等。

(3) 烟气排放指标: 检测项目与测试方法见表 2。

根据《危险废物(含医疗废物)焚烧处置设施性能测试技术规范》(HJ 561—2010)布设测点,见图 1。测点 A 为固体炉进口,主要采集固态危废样品,并测试废物特征指标;测点 B 为固体焚烧炉出渣口,采集焚烧残渣,测试残渣的热灼减率;测点 C 为二燃室内及出口,主要测试项目为二燃室温度及烟气流量;测点 D 位于烟囱排放口,主要测试烟气排放指标。

焚烧系统稳定运行 4 h 后开始测试,测试持续 8 h。测试期间,每隔 15 min 测试二燃室温度、烟气流量、CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>;每隔 1 h 采集 1 组烟气中的萘、CCl<sub>4</sub>、HF、二噁英与颗粒物样品。其中,二噁英样品每次采样时间不少于 2 h,其他污染物

每次采样时间不少于45 min。共采集3组,测试结果取平均值。

表2 性能研究的检测项目及测试方法

Table 2 Detection items and method for performance research

指标类别	检测项目	参考标准
废物特征指标	废物低位热值(LHV)	《煤的发热量测定方法》(GB/T 213—2008)
	含水率(Mar)、灰分(Aar)	《煤的工业分析方法 仪器法》(GB/T 30732—2014)
烟气排放指标	萘	《固体废物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法》(HJ 951—2018)
	CCl <sub>4</sub>	《固体废物 挥发性有机物的测定 顶空/气相色谱-质谱法》(HJ 643—2013)
	硫质量分数	《煤的工业分析方法》(GB/T 212—2008)
	F <sup>-</sup>	《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3—2007)
	CO	《固定污染源废气 一氧化碳的测定 定电位电解法》(HJ 973—2018)
	CO <sub>2</sub>	《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T 16157—1996)
	NO <sub>x</sub>	《固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法》(HJ 693—2014)
	SO <sub>2</sub>	《固定污染源 二氧化硫的测定 定电位电解法》(HJ 57—2017)
	萘	《环境空气和废气 气相和颗粒物中多环芳烃的测定 高效液相色谱法》(HJ 647—2013)
	CCl <sub>4</sub>	《环境空气 挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附气相色谱-质谱法》(HJ 644—2013)
颗粒物	《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》(HJ 836—2017)	
HF	《大气固定污染源 氟化物的测定 离子选择电极法》(HJ/T 67—2001)	
二噁英	《环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法》(HJ 77.2—2008)	

### 3 结果与讨论

#### 3.1 废物特征指标

废物测试结果表明:固态危废的LHV与Mar分别为21.8 MJ/kg与20.31%,这与高波等<sup>[8]</sup>的研究结果相符,即医疗废物有着相近的热值(20.92 MJ/kg)与Mar(21.0%),且均为热值较高,Mar较低,Aar仅为18.81%,有利于焚烧处理;硫质量分数为0.02%,可以预测焚烧过程会产生少量SO<sub>2</sub>;废物中萘、CCl<sub>4</sub>与氟化物的质量比分别为1 140 mg/kg、855 mg/kg与131 mg/kg,且进料量为101.8 kg/h,即萘、CCl<sub>4</sub>与氟化物的进料速率分别为0.116 kg/h、0.087 kg/h与0.013 kg/h。

#### 3.2 焚烧系统性能指标

二燃室温度监测结果表明,二燃室温度为(1 149.6 ± 13.4)℃,符合《控制标准》表1中高于1 100℃的要求,保证了烟气在二燃室可充分燃烧。

烟气停留时间是指烟气在二燃室(≥1 100℃)的持续时间。二燃室内的烟气流量及烟气停留时间见图2。由图2可见,二燃室内烟气量为(7 406.6 ± 173.8) m<sup>3</sup>/h,计算出烟气在二燃室内停留时间为(5.35 ± 0.12) s,符合《控制标准》表1中烟气停留时间≥2 s的限值,确保烟气在二燃室高温段有充足的燃烧时间。

燃烧效率是指气体中CO<sub>2</sub>质量浓度与(CO<sub>2</sub> + CO)质量浓度之和的百分比。测试过程中CO<sub>2</sub>与

CO的质量浓度及燃烧效率见图3。

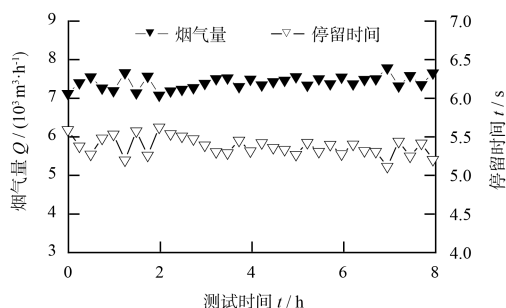
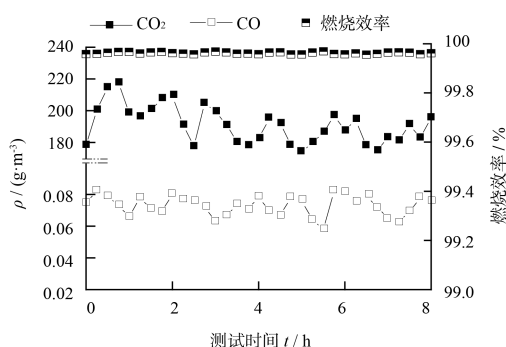


图2 二燃室内的烟气流量与停留时间

Fig. 2 Flow and residence time of flue gas in secondary combustion chamber

图3 CO与CO<sub>2</sub>的质量浓度及焚烧设施的燃烧效率Fig. 3 Mass concentration of CO, CO<sub>2</sub> and combustion efficiency of incineration facility

由图3可见, CO<sub>2</sub>与CO的质量浓度分别为(190 875 ± 11 780) mg/m<sup>3</sup>与(72.8 ± 6.2) mg/m<sup>3</sup>, 计算出燃烧效率为99.97%, 满足《控制标准》中燃烧效率不低于99.90%的要求。

为了计算焚毁去除率, 需要同时测试焚烧系统中萘与CCl<sub>4</sub>的进料速率及排放速率。萘和CCl<sub>4</sub>的排放值分别为2.84 × 10<sup>-3</sup> mg/m<sup>3</sup>和5.59 × 10<sup>-3</sup> mg/m<sup>3</sup>, 排放速率分别为4.10 × 10<sup>-6</sup> kg/h和8.08 × 10<sup>-6</sup> kg/h, 进料速率分别为0.116 kg/h和0.087 kg/h, 计算出焚毁去除率分别为99.996%和99.991%, 均 > 99.99%, 满足《控制标准》限值规定的要求。

热灼减率是焚烧残渣经灼烧后减少的质量与原焚烧残渣质量的百分比。取残渣分析后测得热灼减率为3.3%, 低于《控制标准》规定的5%。

### 3.3 烟气排放指标

危险废物焚烧是二噁英的重要来源, 故需要重点监测化工固态危废焚烧后二噁英排放浓度<sup>[12]</sup>。对焚烧炉排放口的烟气污染物进行监测, 结果见表3。由表3可知, 焚烧系统的污染物排放指标均符合相应的标准限值。氟化氢排放速率为1.66 × 10<sup>-3</sup> kg/h, 且氟化物的进料速率为0.013 kg/h, 计算出氟化物去除率为87.2%, 表明系统对氟化物有较高的去除率。

表3 废气排放口的污染物排放值

Table 3 Pollutant emissions at exhaust outlet

监测项目	排放值	标准限值
颗粒物 ρ/(mg · m <sup>-3</sup> )	42.8	100
SO <sub>2</sub> ρ/(mg · m <sup>-3</sup> )	<3	400
NO <sub>x</sub> ρ/(mg · m <sup>-3</sup> )	43.5	500
CO ρ/(mg · m <sup>-3</sup> )	72.8	100
HF ρ/(mg · m <sup>-3</sup> )	1.21	9
二噁英/(ng TEQ · m <sup>-3</sup> )	0.007 6	0.5

综上, 该化工固态危废焚烧设施运行的性能参数(焚毁去除率、燃烧效率等)均满足《控制标准》要求, 烟气污染物排放符合排放限值。

## 4 结语

采用高温涡流燃烧 + 二燃室 + 水冷除尘器 + 急冷塔 + 干式吸附 + 布袋除尘 + 喷淋吸附 + 雾水分离工艺焚烧处置固态危废, 获得了良好的运行性能, 各项指标均符合《控制标准》中危险废物焚烧炉的技术性能指标要求, 焚烧系统的烟气污染物排放均符合相应的排放限值。该研究结果可为其他化工固态危废焚烧设施的性能研究提供技术方案及测试思路。

### [参考文献]

- [1] 孙科源, 安俊菁, 黄凯, 等. 云南省锌行业重金属类危险废物产排污系数研究[J]. 环境监测管理与技术, 2017, 29(5): 7-11.
- [2] 唐文雅, 竺美, 黄冬梅, 等. 危险废物鉴定中痕量多氯联苯的前处理优化分析[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(3): 15-18.
- [3] 赵曦, 李娟, 陆克定, 等. 危险废物焚烧厂环境污染控制与风险管理水平评价指标体系研究与应用[J]. 环境工程, 2017, 35(4): 149-153.
- [4] 李传华, 朱四六, 钟江平, 等. 生活垃圾焚烧设施应急处置医疗废物可行性分析[J]. 环境卫生工程, 2021, 29(2): 76-81.
- [5] 卢卫凌. 高原地区回转窑焚烧设备炉膛特征参数修正方法[J]. 工业加热, 2021, 50(8): 14-17.
- [6] 曹云霄, 于晓东, 姚芝茂, 等. 《危险废物焚烧污染控制标准(修订)》解读[J]. 环境保护科学, 2021, 47(2): 45-50.
- [7] 陈曦, 祁国恕, 刘舒. 危险废物焚烧处置设施性能测试技术研究[J]. 环境保护科学, 2009, 35(3): 27-30.
- [8] 高波, 张磊, 郭修智, 等. 50 t/d 医疗废物焚烧处理系统设计与工程实践[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(6): 86-91.
- [9] 周苗生, 汤国伟. 危险废物回转窑焚烧系统的工艺设计[J]. 环境污染与防治, 2001(6): 299-301.
- [10] 孟繁莉, 梁恒, 吕尚. 危险废物焚烧处置工程设计经验总结[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(11): 157-160.
- [11] 柳培文. 危险废物焚烧及余热利用工程实例分析[J]. 环境卫生工程, 2016, 24(6): 77-79.
- [12] 胡晓兰. 上海市危险废物焚烧行业二噁英排放特征研究[J]. 环境监测管理与技术, 2014, 26(5): 15-18.

本栏目编辑 吴珊

## 启 事

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据-数字化期刊群、重庆维普中文科技期刊数据库, 凡被录用的稿件将同时在相关数据库产品中进行网络出版或提供信息服务, 其作者著作权使用费与本刊稿酬一并支付。如作者不同意将文章编入数据库, 请在来稿中注明, 本刊将做适当处理。