

## 试验研究

# 乡镇生活垃圾热解尾气中 CO 排放浓度关键影响因素的研究

林宏飞, 陆立海, 李三破, 谭恒, 潘振, 王爱

(广西博世科环保科技股份有限公司, 广西南宁 530007)

**摘要:**为了解乡镇生活垃圾热解处理尾气中 CO 排放浓度的关键影响因素, 通过单因素实验分析了二燃室温度、垃圾含水率、炉排转动频率、过量空气系数对 CO 排放浓度的影响, 并采用正交实验进行优化。结果表明: 在二燃室温度 880 °C, 垃圾含水率 42 %, 炉排转动频率 1.6 r/h, 过量空气系数 2.75 的条件下, 尾气中 CO 的浓度值低于 27 mg/m<sup>3</sup>, 达到《生活垃圾焚烧污染物控制标准》(GB18485-2014) 要求。

**关键词:**垃圾热解; CO; 二燃室温度; 垃圾含水率; 炉排转动频率; 过量空气系数

中图分类号: X701 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2019)02-0029-04

## RESEARCH ON THE KEY INFLUENCING FACTORS OF CO EMISSION CONCENTRATION IN PYROLYSIS EXHAUST OF RURAL DOMESTIC WASTE

LIN Hong-fei, LU Li-hai, LI San-po, TAN Heng, PAN Zhen, WANG Ai

(Guangxi Bossco Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanning 530007, China)

**Abstract:** In order to obtain the key factors influencing CO emission concentration in pyrolysis exhaust of rural domestic waste, the effects of second combustion chamber temperature, moisture content of waste, rotation frequency of the grate and excess air coefficient on CO emission concentrations were analyzed by a single factor experiment. An orthogonal experiment was carried out to optimize the operation conditions. The results showed that under a certain conditions (second combustion chamber temperature = 880° C, moisture content of waste = 42 %, rotation frequency of the grate = 1.6 r/h, excess air coefficient = 2.75), the CO concentration in the pyrolysis exhaust was below 27mg/m<sup>3</sup>, which satisfied the requirements of Standard for pollution control on the municipal solid waste incineration (GB18485-2014).

**Key words:** Waste pyrolysis; CO; Secondary combustion chamber temperature; Moisture content of waste; Rotation frequency of the grate; Excess air coefficient.

随着我国乡镇人民生活水平的不断提高及人口数量的不断增加, 乡镇生活垃圾量也在逐年增加<sup>[1]</sup>; 人们环保意识增强, 环保政策逐年趋严, 乡镇生活垃圾无害化处理成为当前急需解决的环保问

题。生活垃圾处理技术主要有焚烧、填埋及堆肥三种方式。其中填埋处理<sup>[2]</sup>是生活垃圾最常见的一种处理方式, 但填埋容易造成土地资源浪费及地下水污染等问题, 简易填埋甚至还会造成附近土壤的二次污染, 疾病传播等。生活垃圾焚烧可分为直接焚烧和热解气化焚烧两种方式, 热解气化具有废气量较少、投资建设费用低、垃圾减量化程度高, 并能有效抑制二噁英的生成, 减少焚烧造成的

收稿日期: 2018-11-26

基金项目: 广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA18118013)

第一作者简介: 林宏飞(1973-), 男, 陕西咸阳人, 教授级高级工程师。

二次污染等优点,已成为近几年常见的垃圾处理方式,在广西、云南等乡镇已广泛应用。生活垃圾焚烧处理尾气排放是环保关注的重点,而尾气中 CO 是污染物排放控制的重要指标。

当前广西、云南等地部分乡镇建设生活垃圾处理中心采用热解处理工艺,由于部分乡镇垃圾处理中心设计工艺过于简单且管理不规范,导致尾气中 CO 排放浓度难以达标,因此有必要对生活垃圾热解处理尾气中 CO 排放浓度的关键影响因素进行优化研究。江爱朋<sup>[3]</sup>通过研究垃圾单一组分热解气化中过量空气系数及含水率对尾气中 CO 排放浓度的影响,结果表明:过量空气系数小、含水率低会导致 CO 浓度偏高;王文刚等<sup>[4]</sup>认为通过改变二次风量及炉内温度可以控制 CO 排放浓度;任超峰等<sup>[5]</sup>研究了反应温度、反应时间等对 CO 排放浓度的影响,研究结果表明当反应温度大于 850 ℃、烟气在炉膛停留时间超过 2 s 时,CO 排放浓度较低。现有文献对生活垃圾热解处理尾气中 CO 排放浓度的影响因素进行了简单定性研究,但缺乏较深入的定量研究,因此深入研究生活垃圾热解处理尾气中 CO 排放浓度的关键影响因素,对提升生活垃圾热解处理尾气中 CO 尾气排放控制技术具有重要意义。

本文以广西某地的生活垃圾热解处理中心为研究对象,通过单因素实验及正交实验进一步深入研究了二燃室温度、垃圾含水率、炉排转动频率及过量空气系数对 CO 排放浓度的影响,从而得到控制 CO 排放浓度的最佳组合工艺参数。

## 1 实验方法

实验地点位于广西某乡镇生活垃圾热解处理中心,垃圾成分主要为塑料、纺织物、水果腐烂物、废纸、泥土等。

主要实验设备有:热解炉、二燃室、换热器、布袋除尘器、活性炭吸附器、石灰喷射系统及循环水冷却塔等。

### 1.1 垃圾处理工艺路线

垃圾处理工艺路线如图 1 所示。

### 1.2 实验分析与检测方法

CO 浓度值采用青岛崂山应用技术研究生产的崂应 3012H 新 08 代烟气检测仪进行检测,参考的排放标准为 GB18485-2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》。含水率采用重量法测定,具体计

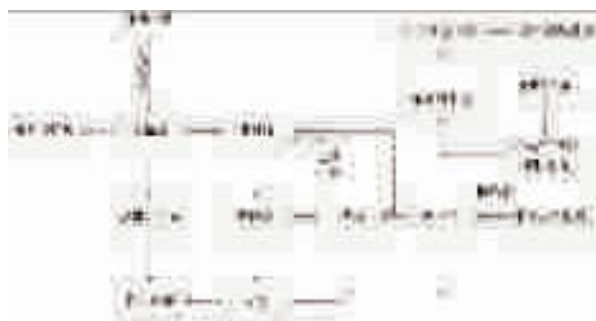


图 1 垃圾处理工艺路线

算公式可参照 GB213-87 CJ/T 221。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 单因素变量实验

研究单一变量对热解尾气中 CO 浓度的影响,控制其他变量保持不变;本文选取二燃室温度 850 ℃、垃圾含水率 50%、炉排转动频率 1.5 r/h、空气过量系数 3.0 为基础条件;分别设置二燃室温度(500 ℃、600 ℃、700 ℃、800 ℃、900 ℃)、含水率(30%、40%、45%、50%、60%)、炉排转动频率(0.5、1.0、1.5、2、2.5)、过量空气系数(1.15、1.95、2.75、3.55、4.35)进行单因素影响实验。控制其他三个变量因素不变,研究其中单一变量因素对热解尾气中 CO 排放浓度的影响。

#### 2.1.1 二燃室温度对 CO 浓度的影响

控制垃圾含水率为 50%,炉排转动频率为 1.5 r/h,空气过量系数为 3.0,研究二燃室温度对 CO 浓度的影响,采用青岛崂应 3012H 新 08 代烟气检测仪对 CO 浓度进行检测。

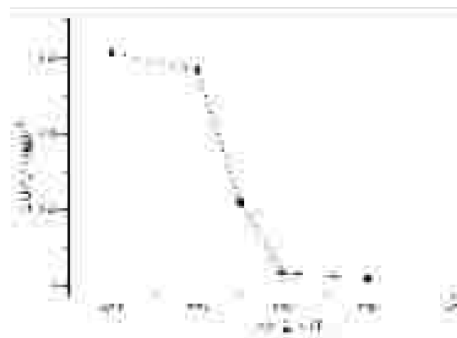


图 2 二燃室温度与 CO 浓度对应关系

从图 2 可以看出,当二燃室温度低于 700 ℃ 时,CO 排放浓度远远高于国标规定的 100 mg/m<sup>3</sup>;二燃室温度上升至 700 ℃ 以后,CO 浓度开始迅速下降,在 900 ℃ 时甚至超出了设备的检测下限。

CO 的燃点为 700 ℃<sup>[6]</sup>, 热解炉内垃圾热解气化时会产生大量热解气(主要成分是 CO), 二燃室温度低于 700 ℃时, 产生的 CO 未能被氧化为 CO<sub>2</sub> 而直接排放, 且低温时 CO 属于惰性气体, 尾气处理工段难以对其有效去除, 造成 CO 浓度严重超标。二燃室温度高于 700 ℃时, 热解气中的 CO 与氧气反应生成二氧化碳, 尾气中 CO 含量迅速降低。二燃室温度越高, CO 反应越彻底, 尾气中浓度越低。但当二燃室温度高于 900 ℃时, 氮氧化物的生成可能性就会增大<sup>[7]</sup>; 二噁英在二燃室内的分解温度在 850 ℃以上<sup>[8]</sup>。综合考虑以上因素, 二燃室温度宜控制在 850 ℃~900 ℃; 选取 870 ℃、880 ℃、890 ℃作为正交实验的三个水平。

### 2.1.2 垃圾含水率对 CO 浓度的影响

控制二燃室温度为 850 ℃, 炉排转动频率为 1.5 r/h, 空气过量系数为 3.0, 研究含水率对 CO 浓度的影响, 采用青岛崂应 3012H 新 08 代烟气检测仪对 CO 浓度进行检测。

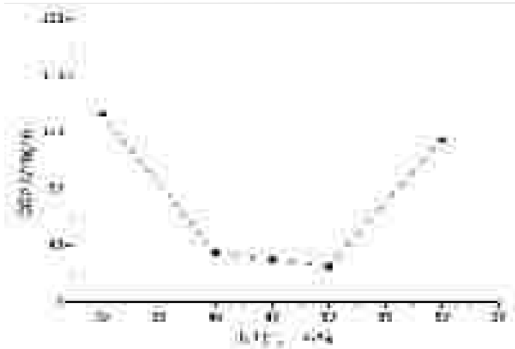


图 3 垃圾含水率与 CO 浓度对应关系

由图 3 可以看出, CO 浓度随着含水率升高而降低, 垃圾中的水分有利于一氧化碳转化成二氧化碳。垃圾在进入热解炉之后, 表面的水分开始蒸发, 水分子首先被高温分解为氢气及吸附态的氧原子<sup>[9]</sup>, 当 CO 分子撞击到氧原子吸附层时被氧化为二氧化碳并离开吸附层, 反应方程式为  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ; 含水率越高, 则会有更多的水分子加入到高温分解过程中, 为更多的 CO 转化二氧化碳提供了条件。乡镇生活垃圾中挥发分占 70%~80%, 若垃圾含水率过低, 垃圾受热时会瞬间热解产生大量热解气, CO 浓度超过二燃室处理上限, 导致部分 CO 未反应而直接排入大气中, 造成 CO 浓度超标。

乡镇生活垃圾含水率一般为 40%~60%, 进行热解处理时, 需要进行烘干处理; 高含水率垃圾

有利于 CO 的转化, 但含水率过高会降低垃圾热值, 且含水率超过 60% 时垃圾无法自持燃烧; 垃圾热解需控制含水率在 50% 以下, 进一步降低含水率虽然有利于热解, 但烘干所消耗的能量也随之增加, 且含水率低于 40% 后, 尾气中的 CO 开始急剧上升, 因此垃圾含水率宜控制在 40%~50%; 选取 42%、45%、48% 作为正交实验的三个水平。

### 2.1.3 炉排转动频率对 CO 浓度的影响

控制二燃室温度为 850 ℃, 垃圾含水率为 50%, 空气过量系数为 3.0, 研究炉排转动频率对 CO 浓度的影响, 采用青岛崂应 3012H 新 08 代烟气检测仪对 CO 浓度进行检测。

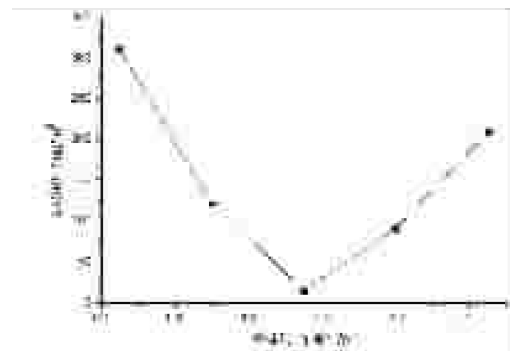


图 4 炉排转动频率与 CO 浓度对应

由图 4 可看出, 炉排转动频率为 1.5 r/h 时, CO 排放浓度出现最低值, 炉排转动过慢或过快都会造成尾气中 CO 含量升高。其原因主要是: 炉排转动频率过慢, 热解炉内产生的灰渣未能及时排出, 灰渣层增厚, 空气进入炉内阻力变大, 进入热解炉的氧气减少, 燃烧程度减缓, 热解炉温度也随之降低, 当温度低于 CO 燃点时, CO 无法转化 CO<sub>2</sub>, 尾气中 CO 浓度升高; 炉排转动频率过快时, 排渣过快, 灰渣层变薄甚至没有, 热解后的固定碳还未充分燃烧就被排出, 热量损失大, 热解层热解所需的热量得不到保证, 热解效率减缓, 产生的热解气减少, 二燃室温度也随之降低, 当温度低于 CO 燃点时, 尾气中 CO 浓度升高。因此炉排转动频率宜为 1.5 r/h 左右; 选取 1.4 r/h、1.5 r/h、1.6 r/h 作为正交实验的三个水平因素。

### 2.1.4 过量空气系数对 CO 浓度的影响

控制二燃室温度为 850 ℃, 垃圾含水率为 50%, 炉排转动频率为 1.5 r/h, 研究过量空气系数对 CO 浓度的影响。采用青岛崂应 3012H 新 08 代烟气检测仪对 CO 浓度进行检测。

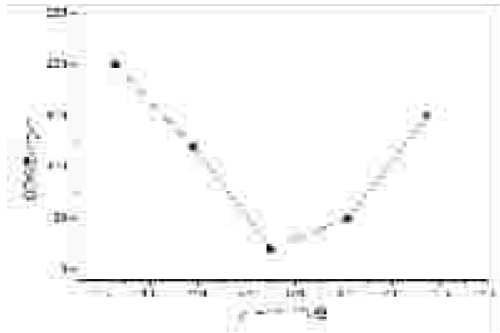


图5 过量空气系数与 CO 浓度对应关系

由图 5 可看出, 过量空气系数在 1.15~2.75 时, 过量空气系数越大, CO 浓度则越小; 过量空气系数在 2.75~4.35 时, 过量空气系数越大, CO 浓度也随着增大。这是因为过量空气系数较小时, 氧气无法在短时间内扩散到挥发分周围<sup>[9]</sup>, 此时挥发分是在氧气不足的情况下燃烧, 挥发分中的炭易生成 CO; 当过量空气系数增大时, 氧气和析出的挥发分就容易充分混合燃烧, CO 生成量会降低; 但过量空气系数过大就会造成大量的冷空气进入, 过多的冷空气会降低二燃室温度, 不利于热解气的燃烧。因此过量空气系数宜控制在 2.75 左右; 选取 2.73、2.75、2.77 作为正交实验的三个水平因素。

## 2.2 正交实验

根据上述单因素实验结果: 二燃室温度、垃圾含水率、炉排转动频率及过量空气系数均影响热解尾气中 CO 浓度。为更好确定四个单一变量因素的综合影响, 从各变量影响结果中优化选取三组数值进行三水平四因素  $L_9(3^4)$  的正交实验, 正交实验因素水平表如表 1 所示, 正交实验结果如表 2 所示。

表 1 正交试验因素水平

水平	A: 二燃室温度(°C)	B: 垃圾含水率(%)	C: 炉排转动频率(r/h)	D: 过量空气系数
1	870	42	1.4	2.73
2	880	45	1.5	2.75
3	890	48	1.6	2.77

表 2  $L_9(3^4)$  正交实验结果

序号	A	B	C	D	CO 排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
1	1	1	1	1	22
2	1	2	2	2	21
3	1	3	3	3	23
4	2	1	2	3	26
5	2	2	3	1	22
6	2	3	1	2	27
7	3	1	3	2	24
8	3	2	1	3	19
9	3	3	2	1	21
k1	22.000	24.000	22.667	21.667	
k2	25.000	22.667	22.667	24.000	
k3	21.333	23.667	23.000	22.667	
R	5.000	3.333	0.333	2.333	

由表 2 分析可知, 将各因素对应的水平均值 k 值进行比较, k 值越大, 则说明该因素在该水平条件下 CO 排放浓度越低<sup>[9]</sup>。通过对各因素水平的均值考察, 我们得出最佳组合为 A2B1C3D2, 即当二燃室温度为 880 °C、垃圾含水率为 42 %、炉排转动频率为 1.6 r/h、过量空气系数为 2.75 时, CO 排放浓度最低。通过对各考察因素的极差比较可得出, 各单一因素变量对 CO 排放浓度的主次影响顺序分别为 A>B>D>C, 即二燃室温度>垃圾含水率>过量空气系数>炉排转动频率。

## 3 结论

通过对乡镇生活垃圾热解尾气中 CO 排放浓度的关键影响因素进行研究, 结合单一因素实验及正交实验进一步优化, 可以得出以下结论:

二燃室温度、垃圾含水率、炉排转动频率及过量空气系数均影响热解尾气中 CO 浓度, 其中影响主次顺序为: 二燃室温度>垃圾含水率>过量空气系数>炉排转动频率。

结合实际运行情况, 通过正交实验研究表明, 该套生活垃圾热解处理系统最佳工艺组合参数为: 二燃室温度 880 °C, 垃圾含水率 42 %, 炉排转动频率 1.6 r/h, 过量空气系数 2.75。尾气中 CO 的浓度值低于 27 mg/m<sup>3</sup>, 其浓度远低于生活垃圾焚烧污染物控制标准《GB18485-2014》。

## 参考文献

- [1] 冯军. 广西农村生活垃圾处理研究进展[J]. 福建质量管理, 2016(02):72-73.
- [2] 刘文剑, 沈贤锋, 杨鹤松, 等. 乡镇生活垃圾焚烧炉的实验研究与优化设计[J]. 化工装备技术, 2013, 34(02):48-51+66.
- [3] 江爱朋. 城市生活垃圾典型组分的燃烧特性和排放特性研究[D]. 浙江大学, 2002.
- [4] 王文刚, 付晓慧, 王学珍. 生活垃圾焚烧烟气污染物控制工艺选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S1):87-91.
- [5] 任超峰, 方朝军, 王武忠. 生活垃圾循环流化床锅炉 CO 减排浅析[J]. 工业锅炉, 2018(04):37-40.
- [6] 张祎, 刘有智, 袁志国. 密闭空间 CO 净化技术探讨[J]. 天然气化工(C1 化学与化工), 2014, 39(02):85-89.
- [7] 蔡明招, 梁焯琼, 陈烈强, 等. 城市有机垃圾焚烧烟气中氮氧化物生成特性的研究[J]. 四川环境, 2000(04):23-25.
- [8] 张永照. 城市垃圾焚烧技术和二噁英排放控制[J]. 工业锅炉, 2004(05):1-7.
- [9] 杨文卿, 孔飞, 林继辉, 等. 污泥/猪粪添加 PAAS 混合好氧堆肥的正交优化试验研究[J]. 环境科技, 2016, 29(02):32-37.