

可燃生活垃圾焚烧动力学参数的热重分析

沈伯雄

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要: 对生活垃圾中可燃的主要成分如塑料类、厨余类、草木类、织物类、纸张类的焚烧动力学过程进行了热重分析, 并用适当的数学模型进行了回归。动力学参数对于设计和计算垃圾焚烧过程具有指导意义。

关键词: 垃圾焚烧; 热重分析; 动力学模型

中图分类号: X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)05 – 1014 – 1016

Thermogravimetric Analysis for Combustible Materials from Municipal Solid Waste

SHEN Bo-xiong

(College of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: The combustible materials from municipal domestic solid waste can be divided into five types: plastic type, kitchen waste type, plant type, textile type and paper type. Five types of materials were prepared by crushing, screening, drying and studied by thermogravimetric analysis (TGA) in the air conditions. The combustion characters of MSW were determined by analyzing the value of DTG. The results showed that when the peak value of DTG appeared in the low temperature and the width of DTG was narrow, the material combusted easily; otherwise, the material combusted difficultly. The order of easy combustion among the five types of MSW was: plant> paper> kitchen waste> textile > plastic. The kinetic models on the combustion characters of these materials were constructed. It was found that the combustion of kitchen waste type, plant type, textile type and paper type could be divided into two phases: the combustion in low temperature and the combustion in high temperature. The first phase in low temperature might attribute to the emission and combustion of volatile, and the second phase might result from the combustion of char. The combustion of plastic type showed only one phase. The mechanism for plastic type combustion was described as follows: the plastic cracked and evaporated into gas phase, and then the gas combusted. The process of cracking and evaporating influenced the changes of the plastic weights. The higher the temperature, the quicker the velocity of cracking and evaporating, and the kinetic process could be modeled into one phase. The kinetic parameters for different materials and different phases were obtained.

Keywords: combustion of MSW; thermogravimetric analysis; kinetic model

垃圾焚烧是垃圾处理中的一种重要技术,垃圾焚烧在国内外垃圾处理中的比例逐年增加。中国的生活垃圾,特别是发达地区或大城市的生活垃圾,可燃成分的比例在逐年增加。垃圾焚烧具有重要的应用背景。

垃圾焚烧主要取决于垃圾本身特性^[1、2]。垃圾的成分十分复杂,不仅受地域影响,还受季节、气候、当地人民的经济状况等的影响^[4、5]。成功的开发垃圾焚烧炉应该以所要处理的垃圾焚烧的动力学为根据^[3]。

进入焚烧炉的垃圾一般含有一定的水分。理想的垃圾焚烧过程如下:第一阶段是水分的蒸发和干燥;第二阶段是挥发部分的析出与燃烧;第三阶段是焦炭的燃烧与燃尽;最后剩下的是不可燃烧的部分。第一阶段水分的蒸发和干燥是物理过程,其完成时间在整个燃烧中占的比例较小,可以根据其含湿量由汽化潜热大体估计。而第二阶段和第三阶段中挥发部分和焦炭的燃烧在整个燃烧中占时间较长,影响整个燃烧过程,该过程是一个复杂的热化学过程,而且不同的垃圾成分在这个过程中表现出不同的动力学特性,研究垃圾主要成分在这个过程中反应的动力学参数具有现实意义。本文采用热重分析(TGA)法研究垃圾焚烧的失重动力学过程,并用适当的数学模型进行描述,

收稿日期: 2004 – 02 – 02

基金项目: 国家自然科学基金(20347002);南开大学校创新基金资助

作者简介: 沈伯雄(1971—),男,南开大学环境学院副教授,从事固体废物处理与尾气净化研究。E – mail: shenbx@nankai.edu.cn

最后求出各种成分燃烧过程的动力学参数。

1 试验准备和试验条件

试验用生活垃圾来自居民区生活垃圾,除去金属和玻璃成分,经分类,再进行干燥、破碎(100 目左右),各分类的垃圾成分分别在热重天平上进行燃烧试验。分类和干燥后可燃烧的垃圾成分为:塑料类、草木类、纸张类、布料类、厨余类。各类垃圾成分的工业分析见表 1。热重分析的条件为:试验样品重量在 10 mg 左右;升温速率为 25 ℃ · min⁻¹;空气流速:20 mL · min⁻¹。

表 1 垃圾的分类及工业分析

Table 1 Classification and proximate analysis for MSW

垃圾分类	各种成分的工业分析			
	水分/%	灰分/%	挥发分/%	固定碳/%
厨余类	1.82	32.63	50.30	15.25
塑料类	0.4	12.21	68.66	18.73
织物类	2.01	25.71	69.02	3.26
草木类	1.95	12.70	69.81	15.54
纸张类	2.11	34.60	60.17	3.12

2 试验结论与分析

几类垃圾的热重分析的 DTG 见图 1。图中的 DTG 表示热失重百分比的一阶微分,其物理意义如下:

$$DTG = \frac{dW/W_0}{d\tau} \approx (-\frac{\Delta W}{\Delta \tau})/W \tag{1}$$

式中:W 表示不同时刻样品的实际质量;W₀ 表示样品初质量;τ 表示时间。那么 DTG 曲线的最大值表示最大失重速率,也即燃烧最激烈的位置。DTG 曲线与 DTG 为 0 的直线构成的封闭面积积分为 1。通过分析 DTG 曲线的峰值和峰宽,可以定性说明了该物质燃烧的相对难易程度。一般来说,如果 DTG 的峰值发生在越低温段,DTG 的峰值越高,峰宽越窄,说明该物质越容易焚烧,反之则不容易焚烧。从图 1 可以看出,草木类和纸张类相对好烧,随后是厨余类、织物类和塑料类。

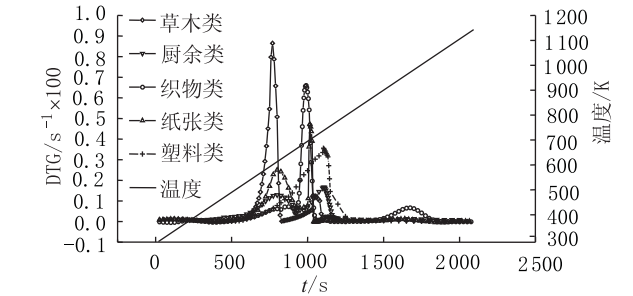


图 1 各类垃圾焚烧中的 DTG

Figure 1 The DTG for different types of MSW

厨余类、草木类、织物类和纸张类表现出十分明显的两阶段燃烧现象,说明这些物质的可燃成分可以分为两个部分,一部分为容易释出和容易焚烧的物质,在低温下即完成燃烧,可能是挥发分的快速释出与燃烧;另外一部分为不大容易释出和焚烧的物质,这些物质需要在更高的温度下才能被焚烧。而塑料类主要表现为一个阶段的焚烧,估计是塑料在高温下先裂解蒸发变为气相,然后是气相的燃烧。而影响重量变化主要是塑料的裂解蒸发过程,该过程随着温度的变化呈现出一个阶段。

3 焚烧动力学的模拟

为了描述焚烧的动力学过程,引入了下面的数学表达式对实验数据进行回归,假设垃圾各成分的燃烧符合 1 级反应级数。

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = \beta \frac{d\alpha}{dT} = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)(1 - \alpha) \tag{2}$$

式中: k₀exp(-E/RT) 为燃烧反应速率, 1 · s⁻¹; k₀ 为频率因子, 1 · s⁻¹; E 为宏观活化能, kJ · mol⁻¹; T 为绝热温度, K; R 为气体通用常数, kJ · mol⁻¹ · K⁻¹; β 为升温速率, K · s⁻¹。

$$\alpha = \frac{W_0 - W}{W_0 - W_1} = \frac{1 - W/W_0}{1 - W_1/W_0} \tag{3}$$

式(3)中: W₁ 为不可燃部分; W₁/W₀ 为表 1 中工业分析的灰分。把(3)式代入(1)式,再对两边求自然对数可以得到表达式(4)。

$$Y = \ln\left(\frac{d\alpha}{d\tau} \times \frac{1}{(1 - \alpha)}\right) = \ln \frac{k_0}{\beta} - \frac{E}{RT} \tag{4}$$

这样,通过 Y 与 1/T 的线性关系可以确定频率因子和活化能 E。由相关系数判断分段和反应级数的合理性。具体的回归情况和动力学参数见图 2~图 6。表 2 概括了动力学回归情况。

4 结论

热重分析较好地描述了垃圾中有机物如塑料类、

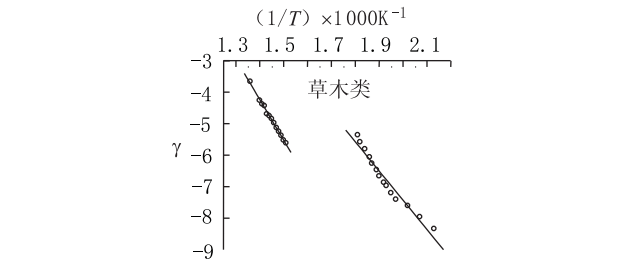


图 2 草木类动力学回归情况

Figure 2 The kinetic parameters for plant type

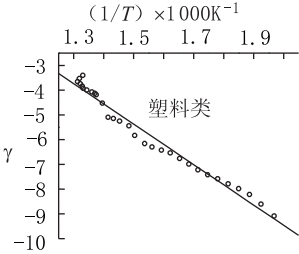


图 3 塑料类动力学回归情况

Figure 3 The kinetic parameters for plastic type

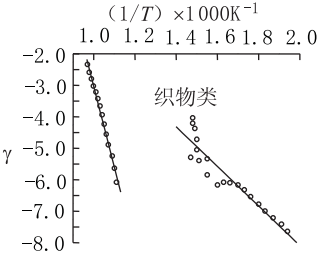


图 4 织物类动力学回归情况

Figure 4 The kinetic parameters for textile type

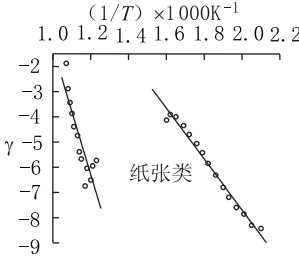


图 5 纸张类动力学回归情况

Figure 5 The kinetic parameters for paper type

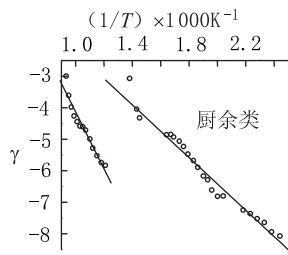


图 6 厨余类动力学回归情况

Figure 6 The kinetic parameters for kitchen waste type

表 2 各类垃圾的动力学参数回归

Table 2 The kinetic parameters for different types of MSW

垃圾类型		频率因子 k_0 / $1 \cdot s^{-1}$	活化能 E / $kJ \cdot mol^{-1}$	相关系数
草木类	第一阶段	28 685.93	77.09	0.99
	第二阶段	417 029.42	107.00	0.99
厨余类	第一阶段	2.92	34.75	0.98
	第二阶段	57.10	75.15	0.97
织物类	第一阶段	37.23	52.29	0.93
	第二阶段	2.88	213.43	0.99
纸张类	第一阶段	112 042.33	83.91	0.99
	第二阶段	1.650 81E9	194.38	0.88
塑料类	共一阶段	408.93	67.932 84	0.98

厨余类、草木类、织物类、纸张类的焚烧动力学过程。试验结果表明了草木类、厨余类、织物类、纸张类较好符合两个阶段的模型,而塑料类较好符合一个阶段的模型。由试验数据得出了各类垃圾各阶段焚烧的动力学参数。

参考文献:

[1] 田文栋,魏小林,黎 军,等. 北京市城市生活垃圾特性分析[J]. 环境科学学报,2000,20(4): 435.
[2] 屈超蜀. 垃圾焚烧过程特性及焚烧炉设计概要[J]. 重庆大学学报,1997,20(5): 52.
[3] 聂永丰,刘富强,王进军. 我国城市垃圾焚烧技术发展方向探讨[J]. 环境科学研究,2000,13(3): 21.
[4] 郑明辉,张 兵. 台湾城市生活垃圾焚烧处理现状[J]. 环境科学研究,2000,13(3): 24.
[5] 吴文伟. 北京市垃圾人均日产量分析与预测[J]. 环境卫生工程,1998,6(4): 141.