

模拟医疗废物在 TG-DTA-FTIR 上的热失重特性研究

王玉如¹, 白广彬², 白庆中¹

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 中国矿业大学(北京)化学与环境学院, 北京 100083)

摘要:在热重-差热分析仪上对模拟医疗废物分别在氮气和空气气氛中不同升温速率下加热的热失重行为进行了研究, 并对升温速率和不同气氛对其热失重行为的影响进行了探讨. 结果表明, 随升温速率的提高, 模拟医疗废物在 2 种气氛下热失重时挥发分初析出温度(T_s)向高温方向偏移、失重速率峰值(DTG_{max})显著增大; 在氮气气氛下, 物料热失重时有 2 个失重峰, 前后 2 个峰的失重率分别为 31% 和 59% 左右, 在空气气氛下, 有 3 个失重峰, 前 2 个峰失重率分别在 44% ~ 59% 和 31% ~ 46% 之间. 同时, 结合同步傅立叶变换红外光谱仪对各个条件下的气体产物进行了定性分析, 并对其中的 CO 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 进行了定量分析. 实验发现, 模拟医疗废物在 2 种气氛下热失重主要阶段的产物种类相似, 都检测到了 CO_2 、 CO 、烷烃类、醛类、羧酸、醇类和烯烃的特征吸收峰. 并且, 结果显示升温速率和气氛条件对 CO 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 的生成量都有影响. 在热失重的主要阶段, 水分含量随加热时间变化曲线上显示 1 个向下的峰, 说明载气中原有水分参与了反应.

关键词:医疗废物; 热重分析; 傅立叶变换红外光谱; 热解特性

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)07-1637-07

Study on Thermogravimetric Characteristics of Simulated Medical Waste by Using TG-DTA-FTIR Analysis

WANG Yu-ru¹, BAI Guang-bin², BAI Qing-zhong¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Thermogravimetric behavior of simulated medical waste was studied in the atmosphere of nitrogen and air at different heating rates by thermogravimetric analysis and differential thermal analysis (TG-DTA), and the influence on the thermogravimetric behavior of simulated medical waste by the atmosphere and heating rate was also discussed. The results indicate that the initial separating temperature of the volatile organic matter (T_s) moves toward higher temperature and the peak value of the weight loss velocity (DTG_{max}) has a remarkable increase with the increasing heating rate when simulated medical waste is heated at these two atmospheres. There are two weight loss peaks when the experimental material is pyrolyzed at the atmosphere of nitrogen and the corresponding weight loss rate is about 31% and 59%. There are three weight loss peaks at the atmosphere of air and the corresponding anterior two weight loss rate is about 44% ~ 59% and 31% ~ 46%. At the same time, qualitative analysis of evolved gases under different conditions was analyzed by the coupled simultaneous fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). In addition, quantitative analysis of CO , CO_2 , H_2O and CH_4 was conducted. Experimental results show that the main thermogravimetric stages of simulated medical waste in the atmosphere of nitrogen and air have the similar products, and the typical absorbed peaks of CO_2 , CO , alkanes, aldehydes, carbonyl acids, alcohols and alkenes were detected. And result shows that the heating rate and atmosphere have an effect on the yield of CO , CO_2 , H_2O and CH_4 . In the main stages of the process, the curves of water content changing along with the heating time show downward peaks, which count for the participation of water during the reaction.

Key words: medical waste; thermogravimetric analysis; FTIR; pyrolysis characteristics

医疗废物携带大量的病毒、细菌和致病微生物, 具有空间传染、急性传染和潜伏性传染等危险特性, 是一类特殊的危险废物. 医疗废物的热处理由于能有效地对医疗废物进行无害化、减量化和资源化, 使其已成为目前我国医疗废物处理的主要方法^[1]. 因此对医疗废物的热解燃烧特性的研究有着重要意义.

热分析是在程序控制温度下自动连续跟踪物质的物理性质与温度关系的一类技术. 热分析-傅立叶变换红外光谱仪联用技术可以直接准确地测定样品在受热过程中所发生的各种物理-化学变化以及在

各个失重过程中所生成的分解或降解产物的化学成分^[2~4]. 随着热分析仪器功能的完善, 在热分析仪上研究医疗废物的热解燃烧特性已成为一种公认的研究手段. 卿山等^[5]用纸屑、塑料、棉纱、橡胶、组织作为医疗废物组分试样的代表物, 在热重差热分析仪上研究了各组分试样的燃烧行为. 孙振鹏等^[6]在热重分析仪上对医疗废物中的 5 种组分进行了实验, 得出了各组分的失重温度区间在 N_2 和空气 2 种气

收稿日期: 2006-08-04; 修订日期: 2006-09-19

作者简介: 王玉如(1981 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为医疗废物的热处理技术, E-mail: wangyr04@mails.tsinghua.edu.cn

氛下有所不同.李剑等^[7]在空气气氛下,对医疗废物中 6 种有代表性的有机质进行了非等温热解实验并建立了各物料的多步反应模型.邓娜等^[8]在热重分析仪上对医疗废物的 14 种组分进行了热解实验并建立了“整体两步四反应”热解动力学模型.

但是上述研究都是基于对纯种物料特性的研究,与实际医疗废物组成复杂的现状距离较远.因此,本研究选用能代表医疗废物可燃组分的 7 种物质,按一定比例混合组成模拟医疗废物(simulated medical waste, SMW),在热重差热分析仪-傅立叶变换红外光谱仪上对 SMW 进行了热解和热解燃烧特性的实验,探讨了反应气氛、升温速率等因素对 SMW 热失重行为的影响规律,对 SMW 的热解和热解燃烧 2 种不同的热处理过程进行了分析,并作了一定的机理分析,以期为优化反应操作参数及反应器设计提供理论依据.

表 1 医疗废物典型可燃组分的组成

Table 1 Physical component of typical combustible components in medical waste							
成分	医用脱脂棉类	纱布类	木质类	纸类	塑料类	橡胶类	化纤类
质量分数/%	15.29	11.0	1.22	10.93	42.45	3.01	16.1

表 2 各有机组分的工业分析及元素分析

Table 2 Proximate and ultimate analysis of each organic component										
分析项目/样品	工业分析/%				元素分析/%					热值
	M _{ad}	A _{ad}	V _{ad}	FC _{ad}	C	H	N	S	O	Q _{gr,ad} /kJ•kg ⁻¹
医用脱脂棉	1.36	0.35	91.25	7.04	48.18	5.76	0.16	0.03	44.16	16 496.87
医用脱脂纱布	1.42	0.10	94.20	4.28	43.61	6.31	0.12	—	48.44	16 468.23
医用棉签棒	2.29	0.50	86.99	10.67	43.14	6.14	0.09	0.03	47.81	18 317.38
面巾纸	2.65	0.04	92.83	4.48	43.12	5.90	0.13	0.06	48.10	16 408.48
聚丙烯	0.05	0.02	99.92	0.01	85.35	12.50	0.23	—	1.85	46 215.86
医用乳胶手套	0.17	4.08	95.75	— ¹⁾	82.78	9.93	0.41	0.46	2.17	42 243.96
医用一次性口罩	0.22	1.91	94.67	3.20	84.78	12.85	0.24	—	—	43 865.79

1)表示没有监测到该成分

1.2 实验仪器及操作方法

热重红外联用仪系统是由德国 NETZSCH 公司的 STA 409C 型热重差热分析仪和美国 Nicolet 公司的 NEXUS670 型傅立叶变换红外光谱仪组成.实验过程中同时记录热重-微商热重曲线(TG-DTG)、差热曲线(DTA)和红外光谱图.

试验条件:样品质量 25.00 mg ± 0.02 mg; 升温范围 50 ~ 850℃,并在终温保持 10 min; 程序升温速率选取 20 K/min、30 K/min和 40 K/min; 分别在空气和氮气气氛下进行热解燃烧和热解实验,气体吹扫速度 50 mL/min.

1 材料与方法

1.1 实验物料

实验选取医用脱脂棉、医用脱脂纱布、医用棉签棒、面巾纸、聚丙烯、医用乳胶手套和医用一次性口罩等 7 类典型医疗废物组分进行试验.其中面巾纸、医用纱布、医用脱脂棉、医用棉签棒和医用一次性口罩破碎至 0.1 mm 以下,聚丙烯和医用乳胶手套则剪成 2 mm 左右的小块.将实验样品于 50℃下恒温干燥 2 h 制成样品的空气干燥基.通过对北京市的几家有代表性医院医疗废物组成情况的调查,得出医疗废物典型可燃组分的组成如表 1 所示.实验时对样品按表 1 所示比例配成 SMW.为了保证实验样品的代表性和重复性,配样时,对每种组分采用四分法取样并且精确称量到 0.01 mg.表 2 是各典型组分的工业分析、元素分析和热值分析数据.

2 结果与分析

2.1 SMW 的热解和燃烧特性分析

2.1.1 SMW 在氮气气氛下热解过程

图 1 为 SMW 在氮气气氛下不同升温速率下热解的 TG-DTG 曲线.图 1 显示不同升温速率对 SMW 的热解影响很小.SMW 的热失重可分为 4 个阶段:初温到 240℃左右,SMW 的失重过程进行得非常缓慢,失重曲线几乎为一个平台,此过程主要为物料中吸附水蒸发及少量小分子物质的逸出;240 ~ 375℃左右,该阶段物料发生剧烈失重,热重曲线迅速下

降,相应地在 DTG 曲线上出现第 1 个失重峰,此时主要是组分中的医用脱脂棉、医用脱脂纱布、医用棉签棒和面巾纸的热解过程^[9],在此阶段物料中的大分子量物质开始分解,挥发分开始析出,主要为各类饱和烃、不饱和烃以及 CH₄、CO 和 CO₂ 等,此阶段 SMW 的失重率为 33% 左右;375 ~ 520℃ 左右,该阶段也是热解的主要阶段,在 DTG 曲线上显示 1 个很大的失重峰,在低温段较难热解的成分,主要是聚丙烯、医

用乳胶手套和医用一次性口罩在此段剧烈热解,挥发分大量析出,SMW 的失重率在此阶段为 59% 左右;温度高于 520℃,热分解已经基本完成,这在 TG 曲线上呈现另一个平台,从 520 ~ 700℃ SMW 的失重率为 1.2% 左右,而之后物料的质量几乎没有变化,剩余物质基本为残炭和灰分.整个热解过程中,物料的失重率为 93.60% 左右,这与各组分在工业分析中挥发分含量高的结果吻合.

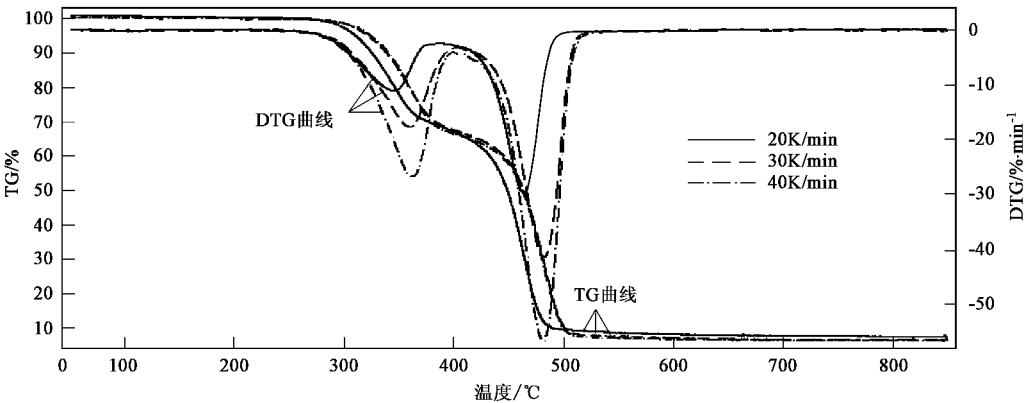


图 1 SMW 在氮气气氛中的 TG-DTG 曲线

Fig.1 TG-DTG curves of SMW in the atmosphere of nitrogen

2.1.2 SMW 在空气气氛下热解燃烧过程

物料在空气气氛下加热时,在低温段首先发生热解反应释放出可燃气体及小分子物质,在达到某些组分的着火点时才开始燃烧,故 SMW 在空气气氛下的热失重过程为热解燃烧过程.图 2、图 3 分别为 SMW 在空气气氛中不同升温速率下的 TG-DTG 和 TG-DTA 曲线.由图 2 可以看到,SMW 在空气气氛中的热解燃烧也分为 4 个阶段:初温到 230℃ 左右为物料中吸附水的蒸发阶段,同时也有少量小分子物质逸出,该段 TG 和 DTG 曲线都近似表现为一个平台,物料失重缓慢;230 ~ 373℃ 左右,物料迅速热解失重,DTG 曲线上呈现出 1 个很大的失重峰,此段物料

热解挥发出的可燃物质开始燃烧,相应地在 DTA 曲线上看到放热峰的出现,此过程中 3 个升温速率下 SMW 的失重率在 44% ~ 59% 之间;373 ~ 460℃ 左右物料中剩余物质继续热解、燃烧,在 DTG 曲线上显示第 2 个失重峰,该段物料在 3 个升温速率下的失重率在 31% ~ 46% 之间;之后到 590℃ 左右,在 DTG 曲线上可以看到 1 个很小的失重峰,也是整个过程中的第 3 个失重峰,此阶段主要是残炭燃烧及燃尽阶段,期间放出大量的热量,在 DTA 曲线上出现放热最高峰,而其峰值对应的温度与 DTG 曲线上的第 3 个峰值对应的温度基本吻合.

2.1.3 升温速率对 SMW 热解和热解燃烧特性的影响

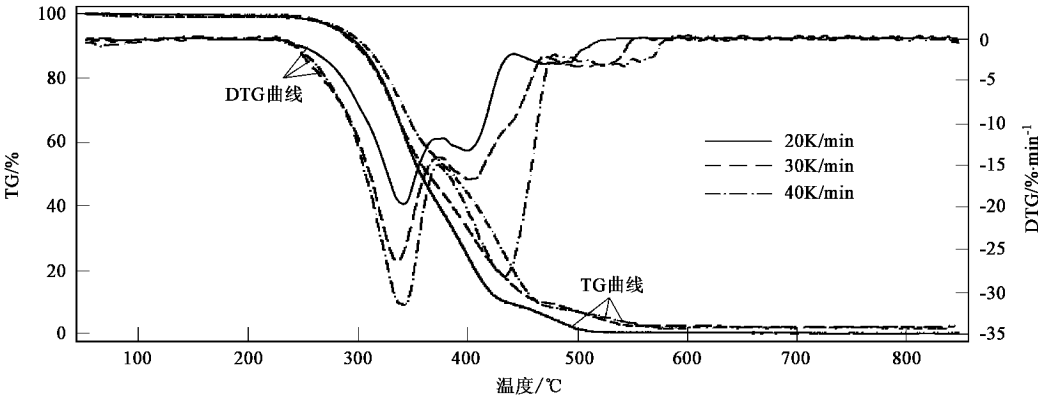


图 2 SMW 在空气气氛中的 TG-DTG 曲线

Fig.2 TG-DTG curves of SMW in the atmosphere of air

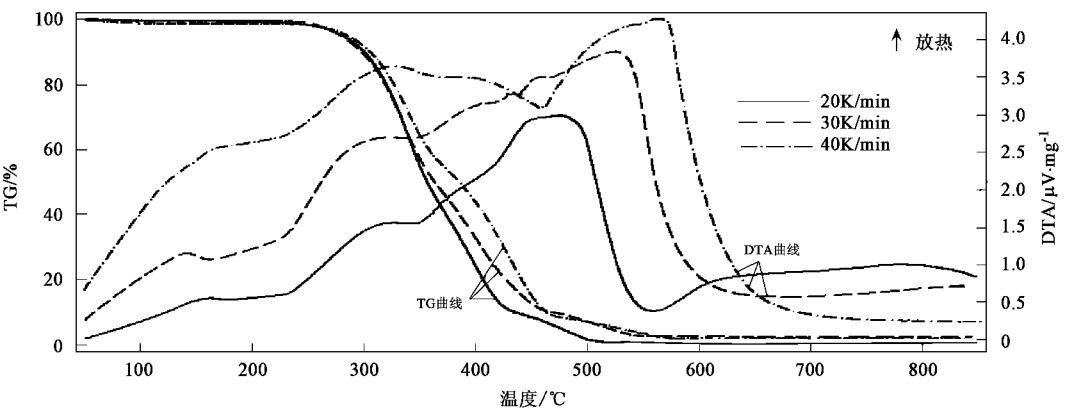


图 3 SMW 在空气气氛中的 TG-DTA 曲线

Fig.3 TG-DTA curves of SMW in the atmosphere of air

实验在 2 种气氛中考察了不同升温速率对 SMW 热解和热解燃烧过程的影响.由图 1、图 2 可知,同种气氛下不同升温速率的 TG-DTG 曲线基本类似,不同升温速率对 SMW 的热解和热解燃烧的影响主要表现在挥发分初析出温度、失重峰值的位置、失重速率和总失重率等几方面.表 3、表 4 分别是

SMW 在不同气氛下的热解和热解燃烧特性参数.其中, T_s 为挥发分初析出温度,定义为在 DTG 曲线上首次出现失重率 $dm/dt = 0.1 \text{ mg/min}$ 时所对应的温度^[10]; $DTG_{\max n}$ 是失重速率峰值, $T_{\max n}$ 是出现失重速率峰值对应的温度点,下标中的 n 表示第 n 个峰.

表 3 SMW 在氮气气氛下的热解特性参数

Table 3 Pyrolysis characteristic parameters of SMW in the atmosphere of nitrogen

升温速率/ $K \cdot \min^{-1}$	$T_s/^\circ\text{C}$	$T_{\max 1}/^\circ\text{C}$	$DTG_{\max 1}/\text{mg} \cdot \min^{-1}$	$T_{\max 2}/^\circ\text{C}$	$DTG_{\max 2}/\text{mg} \cdot \min^{-1}$	总失重率 ¹⁾ /%
20	239	353.6	3.2	464.9	7.8	93.98
30	246	360.1	4.4	482.2	10.4	93.89
40	256	362.6	6.7	481.5	14.2	93.41

1) 为了排除两端干扰,此处的失重率是指 120 ~ 750°C 温度段的失重率,下同

表 4 SMW 在空气气氛下的热解燃烧特性参数

Table 4 Pyrolysis characteristic parameters of SMW in the atmosphere of air

升温速率/ $K \cdot \min^{-1}$	$T_s/^\circ\text{C}$	$T_{\max 1}/^\circ\text{C}$	$DTG_{\max 1}/\text{mg} \cdot \min^{-1}$	$T_{\max 2}/^\circ\text{C}$	$DTG_{\max 2}/\text{mg} \cdot \min^{-1}$	$T_{\max 3}/^\circ\text{C}$	$DTG_{\max 3}/\text{mg} \cdot \min^{-1}$	总失重率/%
20	229	340.2	4.9	399.3	3.3	483.2	0.8	99.02
30	234	335.6	6.6	401.2	4.2	509.2	0.8	97.03
40	227	341.9	7.9	433.9	7.0	543.3	0.8	96.75

从表 3、表 4 得知,随着升温速率的提高, T_s 、 $T_{\max n}$ 除个别点外都向高温方向移动,相应地 $DTG_{\max n}$ 值显著增大.升温速率从 20 K/min 提高到 40 K/min 时,在氮气气氛下, $DTG_{\max 1}$ 从 $3.2 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$ 增大到 $6.7 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$, $DTG_{\max 2}$ 从 $7.8 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$ 增大到 $14.2 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$;在空气气氛下, $DTG_{\max 1}$ 从 $4.9 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$ 增大到 $7.9 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$, $DTG_{\max 2}$ 从 $3.3 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$ 增大到 $7.0 \text{ mg} \cdot \min^{-1}$.可见,高升温速率有效促进了整个反应的快速进行.同时,升温速率对热失重的程度也有影响,在 2 种气氛下随着升温速率的升高,总失重率都有所降低,这是因为升温速率越快,物料热解进行

的时间越短造成的,相反,所需加热时间长,物料热解或热解燃烧充分,残渣剩余量小.

2.1.4 不同气氛对 SMW 的热失重过程的影响

由图 1、图 2 可知,不同气氛对 SMW 的热失重过程有很大的影响.最显著的区别在于: SMW 在空气气氛下的 DTG 曲线上有 3 个逐渐变小失重峰,而在氮气气氛下在 DTG 曲线上则只有前后一小一大 2 个失重峰.在空气气氛下,第 1 个失重峰面积最大,失重速率峰值最高,热解燃烧反应激烈,该段的失重率高达 53.85%.第 2 个失重峰稍小.第 3 个失重峰最小,是残炭的燃烧阶段; SMW 在氮气气氛下则第 1

个失重峰较小,第2个失重峰较大,SMW 在第2段失重率为 59.11%。

图4为 SMW 在2种气氛中以 30 K/min 的升温速率下的 TG-DTG 曲线.由图4得到,SMW 在空气气氛下热解燃烧的 T_s 为 234.0℃, T_{max} 为 335.6℃,与在氮气中热解的 $T_s = 246.0℃$, $T_{max} = 360.1℃$ 相比都要低.以 20 K/min 和 40 K/min 的升温速率进行

加热时,也有相同的现象.这说明 SMW 在空气下的热失重有助于降低热失重时需要的温度.这是由于在不同气氛下热失重反应机理不同所造成的。

同时,从表3、表4中的总失重率可知,SMW 在空气气氛下的热解燃烧比其在氮气气氛下的热解进行得彻底,这是因为在空气气氛下,增加了残炭的燃烧阶段,故使残余固体量变得更小。

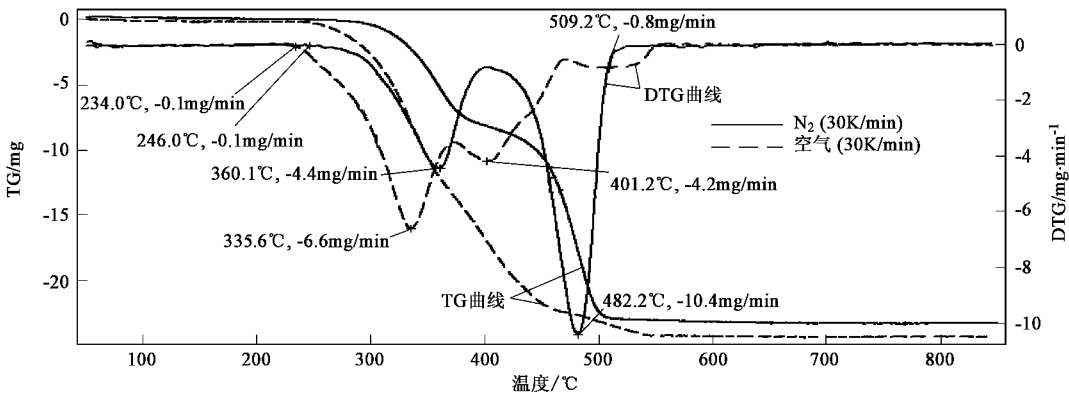


图4 SMW 在氮气、空气气氛中以 30 K/min 的升温速率下的 TG-DTG 曲线
Fig.4 TG-DTG curves of SMW in the atmosphere of nitrogen and air at the heating rate of 30 K/min

2.2 SMW 热解和热解燃烧产物的红外谱图分析

2.2.1 SMW 在氮气气氛下热解产物的红外谱图

通过对 SMW 在氮气气氛下热解产物红外谱图的分析,发现热解的第1个阶段在波数为 3 756 cm^{-1} 、3 650 cm^{-1} 、1 595 cm^{-1} 和 2 350 ~ 2 330 cm^{-1} 、667 cm^{-1} 处有吸收峰,前3处正好为 H_2O 的特征吸收峰,后2处是 CO_2 的特征吸收峰.可见,此阶段主要是物料中吸附的水份及少量 CO_2 的逸出过程。

图5为 SMW 以 30 K/min 的升温速率进行热解时不同时刻产物的 FTIR 谱图.SMW 在氮气气氛中热失重第2个阶段的热解产物在谱图中表现出了相似的吸收特性.以图5中 10.865 min 的谱图为代表,图中除表现出 CO 、 CO_2 、 H_2O 的特征吸收峰以外,在 2 962 cm^{-1} 、2 872 cm^{-1} 和 1 450 cm^{-1} 、1 381 cm^{-1} 观察到了吸收峰,它们分别是直链烷烃的碳甲基不对称伸缩振动 $\nu_{as}\text{CH}_3$ 、对称伸缩振动 $\nu_s\text{CH}_3$ 和不对称弯曲振动 $\delta_{as}\text{CH}_3$ 、对称弯曲振动 $\delta_s\text{CH}_3$. 同时在 2 940 ~ 2 920 cm^{-1} 、2 863 ~ 2 843 cm^{-1} 和 750 ~ 720 cm^{-1} 也显示出了亚甲基— CH_2 —的不对称伸缩振动峰、对称伸缩振动峰和碳固架振动^[11];在 1 820 ~ 1 640 cm^{-1} 处较强的吸收峰、在 3 670 ~ 3 500 cm^{-1} 处较弱的吸收峰分别对应 $\text{C}=\text{O}$ 键和 $\text{O}-\text{H}$ 键的伸缩振动,分析得出热解产物中可能含有醛类、羧酸和醇类等物

质.说明 SMW 在热解的第1次迅速失重的过程中主要热解产物为 CO_2 、 CO 和包含 CH_4 在内的烷烃类及少量的醛类、羧酸和醇类等。

图5中 13.446 min 和 15.891 min 的谱图为 SMW 热解出现第2次剧烈失重时热解产物的 FTIR 谱图,可以看出随着物料温度的升高,热分解产物的 FTIR 谱图发生了变化.此时热解产物的谱图上除了含有 CO_2 、 CO 、烷烃类、醛类、羧酸和醇类等的特征吸收峰外,在 3 095 ~ 3 3 075 cm^{-1} 、3 040 ~ 3 010 cm^{-1} 、1 856 ~ 16 400 cm^{-1} 及 995 ~ 985 cm^{-1} 、915 ~ 905 cm^{-1} 、895 ~ 885 cm^{-1} 等范围也出现了不同强度的吸收峰,它们分别对应着烯烃的2个碳氢伸缩振动

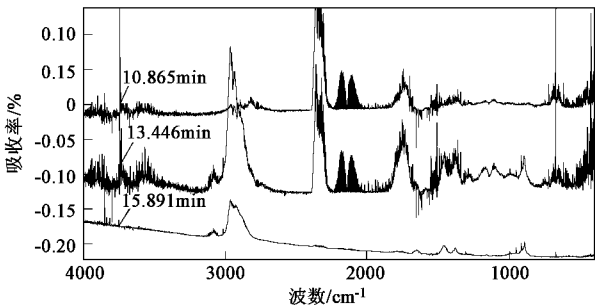


图5 SMW 以 30 K/min 的升温速率进行热解的产物的 FTIR 谱图
Fig.5 FTIR spectrograms of evolved gases of SMW pyrolyzed at the heating rate of 30 K/min

$\nu=\text{CH}_2$ 、 $\nu=\text{CH}$ 和面外弯曲振动 $\delta=\text{CH}_2$ 、 $\delta=\text{CH}$ ，这说明 SMW 在该段的热解产物中出现了烯烃化合物. 同时在谱图上可以看到在这个阶段烷烃类、醛类、羧酸和醇类等的特征吸收峰开始加强，相对来说 CO_2 和 CO 的特征吸收有所减弱.

2.2.2 SMW 在空气气氛下热解燃烧产物的红外光谱图

图 6 为 SMW 以 30 K/min 的升温速率进行热解燃烧的不同时刻产物的 FTIR 谱图. 从图 6 中可以看出, SMW 在空气气氛下的热解燃烧与其在氮气气氛下的热解有相似之处. 7.10 ~ 11.3 min 为 SMW 在空气气氛下热解燃烧的第 1 个剧烈失重阶段, 从图 6 中 10.050 min 时的谱图可以分析出, 该段主要出现了 CO_2 、 CO 、烷烃类、醛类、羧酸、醇类及 H_2O 的特征吸收峰, 此外, 在谱图上还显示出了微弱的烯烃化合物的特征吸收峰.

图 6 中 12.223 min 和 12.766 min 的谱图代表了 SMW 热解燃烧的第 2 个剧烈失重阶段产物的吸收谱图. 分析谱图得知, 此阶段与第 1 个剧烈失重阶段的产物种类相同, 不同之处在于该段的烯烃化合物的特征吸收峰有所加强.

图 6 中 15.754 min 的谱图为 SMW 在空气气氛

下热解燃烧第 3 个剧烈失重阶段的特征吸收谱图. 分析可知这个阶段的产物主要为 CO_2 、 CO 及少量的饱和烃、醛类、羧酸、醇类等. 这也印证了该段主要为残炭的燃尽阶段的结论.

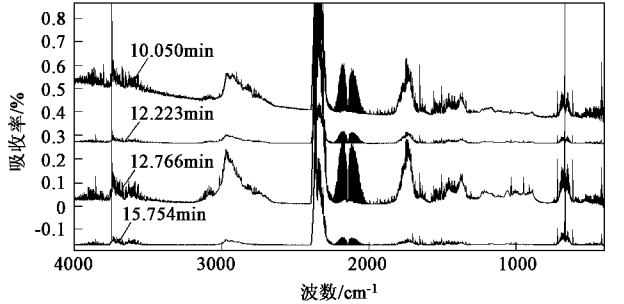


图 6 SMW 以 30 K/min 的升温速率进行热解燃烧的产物的 FTIR 谱图

Fig.6 FTIR spectrograms of evolved gas of SMW combusting at the heating rate of 30 K/min

2.3 对 SMW 热解和热解燃烧产物的分析

利用傅立叶变换红外光谱仪对 SMW 热解和热解燃烧产物进行定性分析的同时, 还对产物中的 CO 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 4 种组分进行了定量分析. 表 5 为这 4 种物质在各个条件下的产量.

表 5 CO 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 在不同条件下的产量/mg

Table 5 Yield of CO , CO_2 , H_2O and CH_4 under different conditions/mg

加热速率/ $\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$	氮气气氛下的各种气体产量				空气气氛下的各种气体产量			
	CO	CO_2	$\text{H}_2\text{O}^{1)}$	CH_4	CO	CO_2	$\text{H}_2\text{O}^{1)}$	CH_4
20	0.042 1	0.099 4	- 0.324 7	0.032 2	0.441 2	2.410 1	- 1.107 0	0.026 8
30	0.055 0	0.110 9	- 0.219 7	0.048 9	0.512 4	1.819 0	- 0.985 5	0.041 2
40	0.049 6	0.112 6	- 0.257 9	0.052 9	0.674 7	1.548 6	- 0.839 3	0.054 6

1) 水分负值, 是将载气中的水分含量作为本底值进行计算得到的

从表 5 可以看出, 升温速率对 SMW 热失重过程中释放气体的量有一定的影响. 在氮气气氛下 CO_2 和 CH_4 的产生量、在空气气氛下 CO 和 CH_4 的产生量都随着升温速率的增大而增大. SMW 在空气气氛下热解燃烧时 CO_2 的产生量随着升温速率的增大而减少. 图 7 为 SMW 在空气气氛中热解燃烧时 CO_2 含量随时间变化的曲线.

不同气氛对 SMW 热失重产物的量有很大的影响, 从表 5 中可以看出, SMW 在空气气氛下热解燃烧时 CO 和 CO_2 的产量远高于其在氮气气氛下热解时的产量, 可见在空气气氛下的热解燃烧由于氧气的参与使得物料发生了氧化反应而使产物中 CO 和

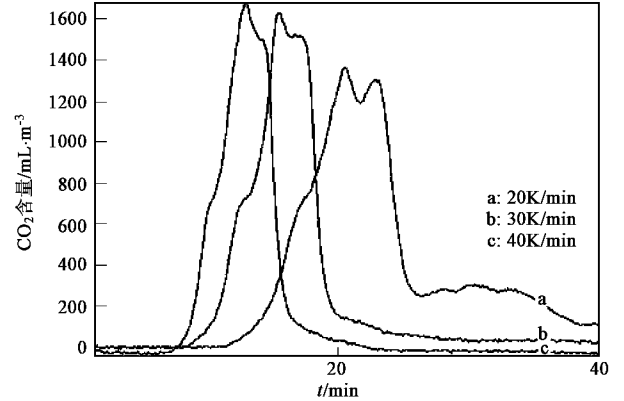


图 7 CO_2 含量变化曲线

Fig.7 Changing curves of CO_2 content

CO₂ 的量明显增多.

一般用 CO₂/CO 来表示物料完全燃烧与否的程度,比值越大,物料燃烧越充分.升温速率从 20 K/min 升高到 40 K/min 时,SMW 在空气气氛下热解燃烧时的 CO₂/CO 从 5.26 下降到 2.30,可见提高升温速率不利于物料的完全燃烧.

表 5 中的数据显示,SMW 在 2 种气氛下热失重所测得 H₂O 的含量相对于载气中的本底值来说都是减少的,图 8 给出了 SMW 空气气氛下热解燃烧时水分含量随时间的变化曲线,可以看到水分含量随加热时间变化的曲线上显示出了 1 个向下的峰,这说明载气中的水分参与了反应.

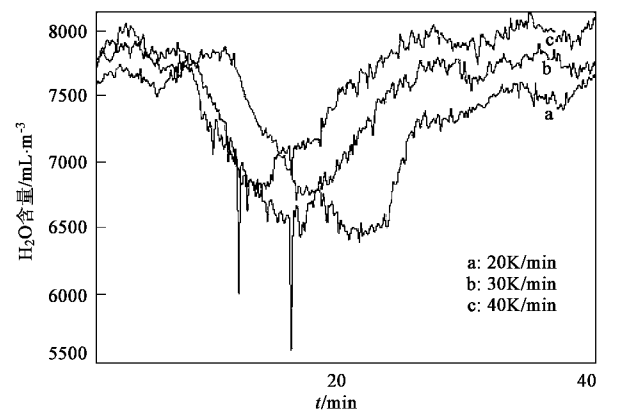


图 8 H₂O 含量变化曲线
Fig.8 Changing curves of H₂O content

3 结论

(1) SMW 在氮气气氛下的热失重过程为 4 个阶段:稳定加热及少量吸附水和小分子物质的逸出阶段;医用脱脂棉、医用脱脂纱布、医用棉签棒和面巾纸的热解过程;聚丙烯、医用乳胶手套和医用一次性口罩的热解过程;少量残留物料继续热解阶段.热失重的 2 个主要阶段在 DTG 曲线上显示为前后一小一大 2 个失重峰.SMW 在空气气氛下的热失重也为 4 个阶段:加热阶段;先后 2 个剧烈的热解燃烧阶段;残炭燃烧阶段.其 DTG 曲线上有 3 个失重峰.

(2) 随着升温速率的提高,SMW 在 2 种气氛下热失重时 T_s 和 T_{max} 都向高温方向偏移;同时,升温速率越大,热失重过程进行得越剧烈,失重速率越

大.另外,升温速率对热失重的程度也有一定影响,在 2 种气氛下随着升温速率的升高,SMW 的总失重率都有所降低.

(3) SMW 在氮气气氛和空气气氛下热失重产物的种类非常相似,在热失重主要阶段的红外吸收光谱中都检测到了 CO₂、CO、包含 CH₄ 在内的烷烃类、醛类、羧酸、醇类和烯烃等的特征吸收峰,但是具体到每个阶段其产物有一些不同之处.

(4) 对各个条件下产物中的 CO、CO₂、H₂O 和 CH₄ 进行了定量分析,结果显示升温速率和气氛条件对这 4 种物质的产生量都有影响;气氛条件对 SMW 热失重产物的产生量影响较大:在空气气氛下,由于氧气的参与发生氧化反应,使产物中 CO 和 CO₂ 的产生量明显增多.同时,发现水分含量随加热时间变化的曲线上显示出了 1 个向下的峰,这说明载气中原有的水分参与了反应.

参考文献:

[1] 盛宏至.医疗废物高温热处理技术[J].中国环保产业,2004,(A02):64~69.

[2] 田建军,姜恒,苏婷婷.基于 TGA-FTIR 联用技术的 EVA 热解研究[J].分析测试学报,2003,22(5):100~101.

[3] Jong W de, Pirone A, Wojtowicz M A. Pyrolysis of *Miscanthus giganteus* and wood pellets: TG-FTIR analysis and reaction kinetics[J].Fuel, 2003,82(9):1139~1147.

[4] Fang M X, Shen Y X, Li Y X, et al. Kinetic study on pyrolysis and combustion of wood under different oxygen concentrations by using TG-FTIR analysis[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2006,77:22~27.

[5] 卿山,王华,吴桢芬,等.医疗废物在热分析仪中的燃烧特性研究[J].武汉理工大学学报,2005,27(12):34~37.

[6] 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[J].电站系统工程,2005,21(5):13~18.

[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[J].环境污染治理技术与设备,2005,6(7):25~28.

[8] 邓娜,张于峰,牛宝联,等.医疗废物典型组分的热重分析及新的动力学模型[J].环境科学学报,2005,25(11):1485~1490.

[9] 李剑,蒋旭光,沈道江,等.医疗废物中典型有机质的热重分析[J].电站系统工程,2004,20(4):16~18.

[10] 刘亮,李录平,柏湘杨,等.混煤热解特性及燃烧过程的实验研究[J].动力工程,2006,26(1):130~134.

[11] 谢晶曦,常俊标,王绪明,等.红外光谱在有机化学和药物化学中的应用[M].北京:科学出版社,2001.12.