

生活垃圾的微波裂解特性

徐青^{1,2*}, 凌长明¹, 李军¹

(1. 广东海洋大学工程学院, 湛江 524088; 2. 华南理工大学电力学院, 广州 510641)

摘要: 为了研究生活垃圾的微波裂解特性, 采用微波设备对城市生活垃圾 (MSW) 进行裂解处理。研究了温度对裂解产物、产气规律和气体组分的影响规律。结果表明: 垃圾在微波炉内裂解时升温速率很快, 微波裂解加快了垃圾完成裂解的时间。在该研究范围内当裂解温度由 400℃ 升高到 600℃ 时, 固体产物的质量由 55% 减少到 26%, 液体产物的产生量由 21.52% 增加到 27.83%, 裂解气的质量回收率由 12% 升高到 35%。利用气质联用设备对所得产物进行分析, 裂解气主要含有 H₂、CO、CO₂、CH₄ 和 C_nH_m 等气体成分, 随温度升高, 甲烷含量逐渐增大, C_nH_m 含量 500℃ 最高, H₂ 在温度低于 450℃ 时析出量很低, 550℃ 之后 H₂ 体积分数迅速增加。该研究结果可为垃圾的资源化利用提供参考。

关键词: 特性, 温度, 生活垃圾, 微波裂解

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.z1.033

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-Supp.1-0192-05

徐青, 凌长明, 李军. 生活垃圾微波裂解特性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 1): 192-196.

Xu Qing, Ling Changming, Li Jun. Property of microwave pyrolysis of municipal solid waste[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(Supp.1): 192-196. (in Chinese with English abstract)

0 引言

生活垃圾是人类生活的必然产物, 随着中国经济高速发展、城市化进程不断加快、人民生活水平的不断提高, 城市生活垃圾 (municipal solid waste, MSW) 产量也以平均每年 8%~10% 的速度递增。城市生活垃圾带来了占用土地、环境污染等一系列问题, 尤其是二次污染问题日益严重。如何合理有效的处理城市生活垃圾越来越受到人们的关注。采用资源化技术处理城市固体废弃物是目前的主要研究方向, 垃圾的焚烧、热解和气化等热处理法具有减容、减量和能源化利用等优点。在生活垃圾热解方面, 国内外学者已经开展大量的基础性研究^[1-6], 大多数都是通过固定床、管式炉等反应器研究温度区间、加热方式和反应气氛等对垃圾热解产物的影响规律。城市生活垃圾焚烧处理虽然逐渐得到推崇, 但其缺点也日益凸显, 如二噁英排放量长期不达标; 添加大量的助燃物质煤或重油, 大幅提高了处理成本; 尾气中的飘浮物和重金属较多; 投资比较大, 资金回收周期长。

微波辐射加热克服了普通垃圾裂解技术物料裂解不均匀、设备积炭严重、系统运行不稳定、产物控制困难等缺点, 并可连续低温裂解, 实现了垃圾的无害化处理和资源化利用。微波加热能直接穿透进入物料内部, 对物料内外均衡加热, 从而缩短了加热时间, 而且可以减少挥发分的二次裂解。另外, 微波是一种体加热方式, 不存在常规加热的传热限制, 可以达到节能及改变热解

产物分布的效果。微波用于生物质裂解制取生物燃料已经引起国内外学者的关注, 研究者应用微波对生物质裂解进行了相关研究^[7-9]。赵希强等^[10]对秸秆料包微波加热过程的温度分布进行了数值模拟。Masakatsu 等^[11]对微波加热的木块的快速裂解进行了研究, 微波加热后增加了裂解油的产量。阮榕生^[12]等对微波裂解海藻制取生物燃油的技术进行试验研究。Dominguez 等^[13]对污泥沉淀物微波裂解得到的油相进行了分析研究。马春元等^[14]进行了整包秸秆的微波热解试验, 并对秸秆微波热解的产物和能耗进行了考察。但目前微波技术在生活垃圾处理方面的研究较少。颜杰^[15]对聚氯乙烯 (polyvinyl chloride, PVC) 粉末与垃圾微波裂解产物混合物进行了热分析动力学研究, 垃圾微波裂解产物有很明显的催化促进 PVC 裂解的作用。杨启才等^[16]对垃圾微波裂解技术进行了经济性分析, 并以 500 t/d 的工业化垃圾处理厂为例计算了投资回收期为 4~5 a。

利用微波技术处理生活垃圾具有快速高效、能耗少、资源回收利用率高、反应物产率增加、可显著降低垃圾对环境所造成的危害等优点, 技术可行性和经济性高, 因而具有广泛的应用前景。该研究首次对微波技术处理生活垃圾的热动力学进行分析。

1 试验

1.1 试验原料

城市生活垃圾的成分差别很大, 即使是同一地区的不同垃圾场也会有差别。该试验根据广州市城市生活垃圾的物理成分, 采用其去除金属、玻璃、灰、水等不可热解成分后的有机成分, 按比例混合配制成人工合成垃圾作为试验物料。试验采用织物、木屑、废纸、塑料、厨余、橡胶 6 种可燃组分按质量分数比 3.5%、8.7%、

收稿日期: 2011-07-22 修订日期: 2012-05-10

基金项目: 广州市重大科技专项资助项目 (X2DLB2080500)

作者简介: 徐青 (1980-), 男, 山东威海人, 博士生, 讲师, 研究方向为清洁能源利用。湛江 广东海洋大学工程学院, 524088。

Email: xuqing-zj@163.com

21.5%、19.9%、45.3%和 1.1%配置成人工混合垃圾。为便于混合和减少粒径对传热、传质的影响, 试验前将垃

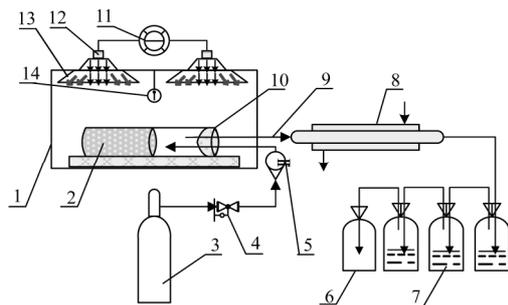
圾各组分粒径破碎为小于 5 mm。试验原料的工业分析和元素分析见表 1。

表 1 物料的工业分析和元素分析
Table 1 Elemental and industrial analysis of materials

工业成分质量分数 %				元素质量分数 %				热值(MJ·kg ⁻¹)	
水分	灰分	挥发分	固定碳	碳	氢	氮	氧	硫	
18.08	2.76	67.78	11.38	35.12	6.38	0.84	21.63	0.15	14.12

1.2 试验装置

研究采用自制 1.5 kW 垃圾微波裂解炉, 微波工作频率为 (2450±50) MHz。设计的微波裂解装置由微波发生器、测温系统、产物冷凝和收集系统等组成, 反应器为耐高温的单口平底石英瓶。由热电偶测量反应加热炉内物料的温度, 并通过数据采集系统输入计算机。物料质量随温度变化的数据采用 VB 编写采集程序, 通过串行接口 RS-232 把电子天平与电脑连接起来, 试验过程中电子天平会定时把所测的数据传输给计算机从而完成数据采集, 设备工艺流程见图 1。微波从微波裂解炉上部向下单面辐射, 在炉内设有热电偶测温点, 用以测量温度和监控物料反应状态, 由于物料间甚至颗粒内部会存在较大温度梯度, 在反应器内准确测量物料温度是极其困难的。所测温度可近似反映物料温度变化趋势。



1. 微波炉腔体 2. 垃圾 3. 氮气瓶 4. 减压阀 5. 流量计 6. 集气瓶 7. 水冷及油类产物收集 8. 冷凝器 9. 导出管 10. 石英管 11. 电源 12. 磁电管 13. 导播器 14. 测温仪

图 1 微波裂解试验装置示意图

Fig.1 Diagram of the microwave assisted pyrolysis system

1.3 试验方法

试验将垃圾原料计量 100 g 装入石英反应器并放入微波炉中, 搭好连接管并检查系统的密封性, 试验通入氮气以保证裂解, 按开始按钮在氮气保护下加热裂解进行反应直至结束。反应完成后, 从微波炉中取出反应瓶并加盖, 待自然冷却至室温后称质量, 此时的质量减去装料前的反应器的质量即得到固体焦炭的质量。同时收集冷却系统中的液体产物并称质量。连接管及冷却管上有少量的大分子量的黑色物用乙醇蒸汽进行清洗。具体过程是在另一个反应器中装入一定量的乙醇, 采用类似裂解的步骤, 微波加热后管壁残留物溶解于乙醇, 并很快冷却至收集管中, 转移至磨口烧瓶中, 利用旋转蒸发器在 80℃ 下蒸出乙醇, 即得被称为重油的液态产物, 烧瓶前后的质量差为重油的质量。气体产物的质量通过守恒法得到。试验结果在同样的工况下重复 3 次, 取其平

均值。试验开始前先以 0.3 L/min (20℃, 1×10⁵ Pa) 的流量连续向炉内通氮气 20 min 以吹扫、置换裂解装置中的空气。试验过程中持续通入氮气。试验前开启反应装置的冷凝水循环系统。试验过程中利用热电偶实现对温度的连续测量。物料质量的变化通过负载石英反应器的天平(天平放在经过钻孔处理的微波炉外面, 与石英反应器通过支柱相连)进行测量, 天平与电脑连接以测定微波炉内连续的质量损失规律。主要检测仪器有上海精密科学仪器有限公司 GC112A 型气相色谱仪和日本岛津 MS-QP2010 气相色谱质谱联用仪, 通过定量分析产物成分, 结合各组分的密度、能量值以及热解气体总体积计算气体产物的质量和能量。

2 结果与分析

2.1 微波炉内物料温度变化

由于微波的加热特点和加热机制与传统的加热方式的不同, 使得垃圾物料能够快速升温, 实现较低温度裂解。图 2 是垃圾在微波中的温度变化。

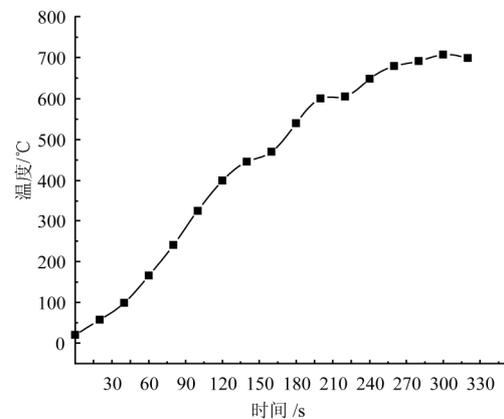


图 2 温度随时间变化关系

Fig.2 Temperature changes over time

由图 2 可以看出垃圾在微波炉内裂解时初始升温速率很快, 此时垃圾中的水分子吸收微波, 物料分解较少, 以垃圾物料升温过程为主, 垃圾裂解反应生成的裂解气在未裂解的垃圾空隙中穿行, 造成炉内气流的扰动, 加速热量传递, 从而实现物料、温度的均匀分布; 在 350℃ 时升温速率开始变慢, 微波能量消耗除了使物料升温以外, 还需提供裂解所需能量, 所以升温速率降低, 说明垃圾物料裂解是吸热过程, 裂解速度加快, 需要提供更多的微波辐射能。550~700℃ 升温过程缓慢, 说明裂解反应过程平稳, 此过程是炭化阶段。700℃ 以后垃圾中的

挥发物质已经大量脱离出来，可降温出料。

图 3 中城市生活垃圾微波裂解初始过程中时有少量的质量损失，主要是物料中水分的析出和部分垃圾分解产生的少量 CO、CO₂ 气体。虽然生活垃圾组分复杂，各组分的热解、气化行为差别较大，但在裂解时间超过 100 s 以后，各组分均相继开始析出挥发分，此时的曲线有一个明显的质量损失阶段，对应曲线上的斜率增大。生活垃圾各组分含有的挥发分在 6 min 左右基本完全析出，400 s 之后，剩余质量占生活垃圾样品总质量的 20%，可见微波裂解相对于传统的管式炉裂解加快了垃圾完成裂解的时间。

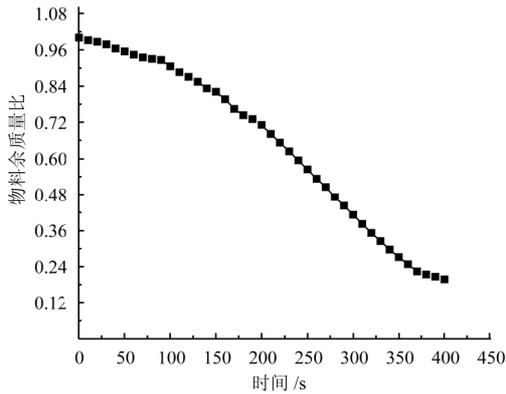


图 3 城市生活垃圾微波裂解质量损失曲线
Fig.3 Weight loss curve of MSW microwave pyrolysis

裂解焦油主要由脂肪烃化合物、芳香族化合物、有机酸、醇、氯化氢等组成，化学成分非常复杂。焦油馏分在 550℃ 经气相色谱-质谱联用分析（图 4），发现其主要含脂肪烃化合物、芳香族化合物，脂肪烃化合物主要为 C₆~C₂₇ 的烯烃和烷烃，芳香族化合物主要是苯及苯的同系物，其中苯、对二甲苯、苯乙烯、苯酚等均有一定含量，其他化合物为少量酸性物质和胺类物质，含量较低。城市生活垃圾中塑料、植物蜡、木质素和灰分含量变化都会使裂解焦油的产率、组成、热值和黏度发生变化，裂解焦油经检测，燃烧热值为 48.5 MJ/kg，可以在民用和工业用。

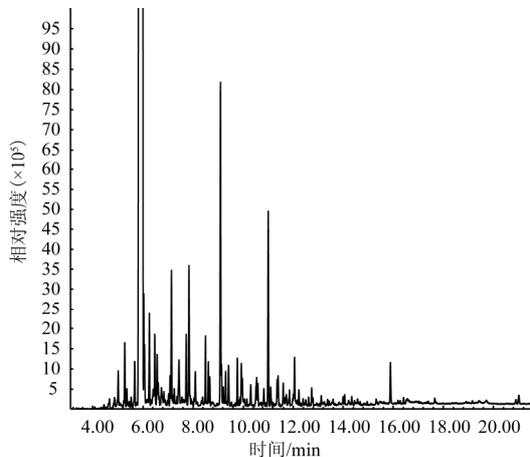


图 4 裂解焦油气相色谱-质谱分析谱图
Fig.4 Pyrolysis tar by gas chromatography - mass spectrometry

由图 5 可见，在 400℃ 时，固体产物的质量占 55%，此时液体产物的质量高于气体产物。物料在较低温度下热解反应不完全，只有少部分挥发分析出，而且达到此温度的时间也较短，同时由于垃圾中某些成分热解生成了大量炭黑，较低温度下部分焦油因炭黑的吸附作用沉积于其表面。随着温度的升高，固体产物量逐渐减少，液体和气体产物量逐渐增加，600℃ 时固体产物量为 26%，较之 400℃ 时质量减少了 30%，原因在于挥发分析出量增多，并且沉积焦油也不断解析，大部分挥发分进入气相和液相。当热解温度由 400℃ 升高到 600℃ 时，液体产物的产生量由 21.52% 增加到 27.83%，相对液体产物而言，气体产物主要为小分子挥发分，热解气的质量回收率由 12% 升高到 35%。固液气三态产物中液态产物的质量在 400℃ 时居中，在 500℃ 时占的比例最小，600℃ 时液态产物的质量又居中。

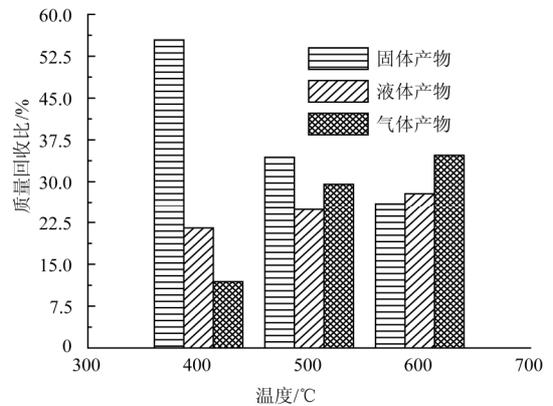


图 5 温度对热解产物质量分布的影响
Fig.5 Effects of the pyrolysis temperature on the mass of the products

从图 6 可以看出，在氮气环境下，城市生活垃圾热分解导致瞬时产气量随温度升高而增加，在 350~450℃ 时产气量随温度升高的趋势较缓，在 450~550℃ 时产气量随温度升高增加较快并于 550℃ 达到最大值，在 550~700℃ 阶段，生活垃圾中挥发分的热分解析出稍微减少，使得生活垃圾产气量随温度升高而略微减少。随着温度的升高，产气量随着生活垃圾中固定碳的耗尽和焦油产量的减少而下降。

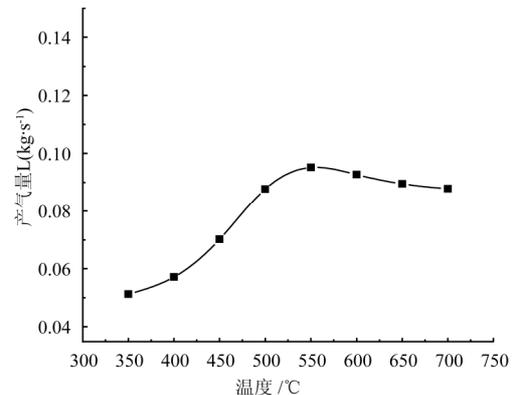


图 6 产气量随温度的变化
Fig.6 Gas production with temperature changes

图 7 所示为氮气环境条件下, 城市生活垃圾裂解过程中气体产物组成比例的变化。从图中可以看出, 裂解气成分随裂解温度的升高呈现出不同的变化趋势: 甲烷随着温度升高, 其含量呈逐渐上升趋势。碳氢化合物包括丙烷、乙烷和乙烯等。随着温度的升高, 其含量先逐渐增加, 在 500℃左右出现一个峰值, 说明该温度是垃圾裂解产生 C_mH_n 的最佳温度, 在 500~650℃含量急剧下降, 温度越高, 大分子断裂成小分子越多, C_mH_n 含量降低越快。在 350~600℃, 生活垃圾受热开始大量析出挥发分, 生活垃圾中含有的羧基、碳基等裂解生成大量的 CO 和 CO_2 气体, 2 种气体的体积分数随温度升高迅速增加; 在 600℃之后由于挥发分含量逐渐减少, 其裂解产生的 CO 和 CO_2 的体积分数也随之降低; 同时过程中还存在着碳还原反应, 使得部分的 CO_2 被还原为 CO。在温度低于 450℃时, H_2 析出量很低, 随着反应温度的增加, 脱氢反应加剧, 越来越多的大分子碳氢化合物分解释放出 H_2 。同时焦油发生的二次裂解反应以及焦油与 CO_2 或水蒸汽发生的反应也大量生成 H_2 , 高温下 CH_4 裂解也可能造成 H_2 体积分数增加, 使得 550℃之后 H_2 体积分数随温度升高而迅速增加。

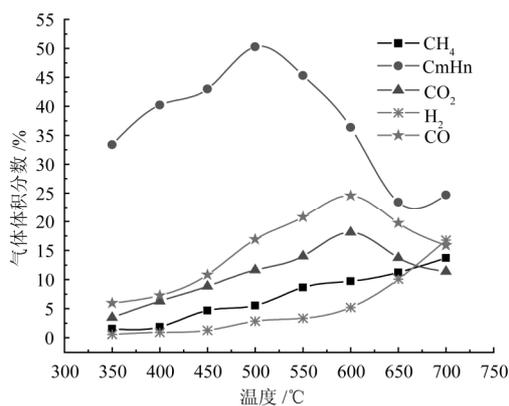


图 7 裂解气体体积分数随温度的变化

Fig.7 Content of pyrolysis gas with temperature changes

在此工艺条件下, 垃圾微波裂解耗电为 0.56~0.72 kW·h/kg。另外比较了不同微波功率对裂解的影响, 发现微波功率越大, 加热速度越快, 越有利于提高生物油产量, 但物料温度也会越高。在垃圾质量一定的情况下, 随着微波功率的增大, 单位质量垃圾的电耗增大, 即微波功率一定的情况下, 随着物料质量的增大, 单位质量垃圾的电耗是降低的。但是微波功率减小会导致热解时间延长, 单位时间内物料处理量减小, 所以应合理选择微波功率和物料处理量。

3 结论与讨论

该研究利用城市生活垃圾为原料, 利用微波进行裂解, 获得气态、固态和液态生物油 3 种产物, 并对所得到的产物进行了成分分析, 主要得到以下结论:

1) 垃圾在微波炉内裂解时升温速率很快, 温度达到 350℃后裂解速度加快, 升温速率变慢, 说明垃圾物料裂

解是吸热过程。550~700℃升温过程缓慢, 说明裂解反应过程平稳。

2) 微波裂解加快了垃圾完成裂解的时间。垃圾微波裂解焦油主要为 $C_6\sim C_{27}$ 的烯烃及烷烃和苯及苯的同系物, 裂解焦油热值达到民用和工业用标准。

3) 随着温度的升高, 固体产物量逐渐减少, 液体和气体产物量逐渐增加。当热解温度由 400℃升高到 600℃时, 固体产物的质量由 55%减少到 26%, 液体产物产生量由 21.52%增加到 27.83%, 热解气的质量回收率由 12%升高到 35%。

4) 瞬时产气量在 350~450℃时随温度升高的趋势较缓, 在 450~550℃时随温度升高增加较快; 并于 550℃达到最大值, 然后逐渐减少。

5) 裂解气主要含有 H_2 、CO、 CO_2 、 CH_4 和 C_nH_m 等气体成分, 随温度升高, 甲烷含量逐渐增大, C_nH_m 含量先逐渐增加, 在 500℃出现峰值后含量急剧下降。CO 和 CO_2 气体在 350~600℃大量析出, H_2 在温度低于 450℃时析出量很低, 550℃之后 H_2 体积分数随温度升高而迅速增加。

垃圾微波裂解及资源化利用技术可行性和经济性高, 具有很好的应用前景。可结合垃圾裂解的催化剂, 开展进一步的研究, 为生活垃圾资源化利用过程的实现提供快捷而经济的手段。

[参 考 文 献]

- [1] 解强, 沈吉敏, 张宪生, 等. 模化城市生活垃圾衍生燃料制备及热解特性的研究[J]. 燃料化学学报, 2003, 31(5): 471-475.
Xie Qiang, Shen Jimin, Zhang Xiansheng, et al. Preparation of an artificial refuse-derived fuel for imitation of municipal solid waste and pyrolysis property[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2003, 31(5): 471-475. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张于峰, 邓娜, 张书廷, 等. 城市生活垃圾筛上物的热解研究及实验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2005, 8(6): 556-560.
Zhang Yufeng, Deng Na, Zhang Shuting, et al. Pyrolysis on screen residue of municipal household waste[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2005, 38(6): 556-560. (in Chinese with English abstract)
- [3] Jangsawang W, Fungtammasan B, Kerdsuwan S. Effects of operating parameters on the combustion of medical waste in a controlled air incinerator[J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(20): 3137-3149.
- [4] 赵颖, 刘建国, 李润东, 等. 城市生活垃圾可燃组分挥发分析出动力学预测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(6): 842-846.
Zhao Ying, Liu Jianguo, Li Rundong, et al. De-volatilization kinetics of the combustible components in municipal solid waste[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2007, 47(6): 842-846. (in Chinese with English abstract)

- [5] 梁小平, 潘红, 王雨, 等. 城市生活垃圾典型组分的热解动力学分析[J]. 环境工程学报, 2009, 3(6): 1118—1122. Liang Xiaoping, Pan Hong, Wang Yu, et al. Pyrolytic kinetic analysis of typical components for municipal solid wastes[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2009, 3(6): 1118—1122. (in Chinese with English abstract)
- [6] 任强强, 赵长遂, 吴新, 等. 秸秆/城市生活垃圾混合热解过程中硫及氯的析出特性[J]. 工程热物理学报, 2009, 30(8): 1431—1433. Ren Qiangqiang, Zhao Changsui, Wu Xin, et al. Formation behavior of sulfur and chlorine during co-pyrolysis of stalk with municipal solid waste[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2009, 30(8): 1431—1433. (in Chinese with English abstract)
- [7] Dominguez A, Menéndez J A, Inguanzo M. Investigations into the characteristics of oils produced from microwave pyrolysis of sewage sludge[J]. Fuel Processing Technology, 2005, 86(9): 1007—1020.
- [8] Wan Yiqin, Paul Chen, Bo Zhang. Microwave-assisted pyrolysis of biomass: Catalysts to improve product selectivity[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 2009, 86(1): 161—167.
- [9] Du Zhenyi, Yecong Li, Xiaoquan Wang. Microwave-assisted pyrolysis of microalgae for biofuel production[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(7): 4890—4896.
- [10] 赵希强, 王敏, 张建, 等. 秸秆料包微波加热过程的温度分布模拟[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 308—312. Zhao Xiqiang, Wang Min, Zhang Jian, et al. Temperature distribution simulation of microwave heating process of straw bale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 308—312. (in Chinese with English abstract)
- [11] Masakatsu Miura, Harumi Kaga, Akihiko Sakurai, et al. Rapid pyrolysis of wood block by microwave heating[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004, 71(1): 187—199.
- [12] 万益琴, 王应宽, 林向阳, 等. 微波裂解海藻快速制取生物燃油的试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 295—300. Wan Yiqin, Wang Yingkuan, Lin Xiangyang, et al. Experimental investigation on microwave assisted pyrolysis of algae for rapid bio-oil production[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 295—300. (in Chinese with English abstract)
- [13] Dominguez A. Gas chromatographic-mass spectrometric study of the oil fractions produced by microwave-assisted pyrolysis of different sewage sludges[J]. Journal of Chromatography A, 2003, 1012: 193—206.
- [14] 赵希强, 宋占龙, 刘洪贞, 等. 农作物秸秆微波热解特性试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 210—214. Zhao Xiqiang, Song Zhanlong, Liu Hongzhen, et al. Experiment on microwave pyrolysis of crop straw bale [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(10): 210—214. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张浩, 颜杰, 李新跃, 等. PVC混合垃圾微波裂解产物热解动力学研究[J]. 广州化工, 2011, 39(6): 977—99. Zhang Hao, Yan Jie, Li Xinyue, et al. The study on pyrolysis thermodynamics of PVC mixed waste product by microwave pyrolysis[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2011, 39(6): 977—99. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨启才, 臧广辉. 垃圾微波裂解及资源化利用技术[J]. 中国环保产业, 2010, 10: 46—49. Yang Qicai, Zang Guanghui. Microwave pyrolysis and resource utilization technology of mixed garbage[J]. China Environmental Protection Industry, 2010, 10: 46—49. (in Chinese with English abstract)

Property of microwave pyrolysis of municipal solid waste

Xu Qing^{1,2}, Ling Changming¹, Li Jun¹

(1. Engineering College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China; 2. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: To understand the property of microwave pyrolysis of municipal solid waste, microwave pyrolyzer made by our lab was introduced in this study. The effects of microwave pyrolysis temperature on pyrolysis products, regulation of gas yield and the composition of the gas were investigated. The results showed that the temperature of municipal solid waste under microwave pyrolysis was quickly increased. Microwave pyrolysis of municipal solid waste exhibited short pyrolysis time. The solid component was decreased from 55% to 26%, the liquid component was increased from 21.52% to 27.83%, the pyrolytic gas component was increased from 12% to 35% with microwave pyrolysis temperature increased from 400°C to 600°C. The gaseous products were composed of hydrogen, carbon monoxide, methane, carbon dioxide and hydrocarbon, et al. Methane content was increased with the increasing of temperature. The content of hydrocarbon reached at the top in 500°C. Hydrogen content was low in 450°C, and quickly improved with the temperature above 550°C. Those results obtained from microwave pyrolysis provide foundational data for the new utilization of municipal solid waste resources.

Key words: property, temperature, solid waste, microwave pyrolysis