

生物质真空热解液化技术研究现状

杨素文, 丘克强

(中南大学化学化工学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 对生物质真空热解液化技术特点、工艺路线、研究现状及多层真空热解磨反应器和熔盐加热真空热解反应器热解装置进行了介绍, 指出该技术工业化过程中需要解决的问题是深入研究生物质的真空热解反应机理、催化真空热解反应机理以及生物质的真空热解动力学特性等。

关键词: 生物质; 能源; 液化; 真空热解

中图分类号: TK6

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2008)01-0022-05

Present research of vacuum pyrolytic liquefaction technology for biomass

YANG Su-wen, QIU Ke-qiang

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The characteristics, process routes, research status of vacuum pyrolysis of biomass liquefaction technology, and the pyrolysis equipment including multiple hearth reactor and molten salts heating reactor are introduced. It is pointed out that deep into the pyrolytic mechanism of biomass under vacuum conditions with and without catalysts, and the pyrolytic dynamic properties of biomass are the problems to be solved.

Key words: biomass; energy sources; liquefaction; vacuum pyrolysis

生物质能是蕴藏在生物质中的能量, 是绿色植物通过光合作用将太阳能转化为化学能而储存在生物质内部的能量, 是一种可再生的清洁能源, 具有资源丰富、硫氮含量低、灰分小、清洁安全等优点。目前, 生物质能的消耗已占世界总能源消耗的 14%, 在发展中国家这一比例达 40%^[1]。生物质来源十分广泛, 通常包括木材及森林工业废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市和工业有机废弃物、动物粪便等。将生物质转化为液态油, 不仅能够弥补化石燃料的不足, 有助于保护生态环境, 还能进一步开发出许多重要的化工原料。本文介绍了生物质真空热解液化技术的研究现状。

1 技术简介

真空热解液化技术, 是指在一定的真空度下将生物质迅速加热到 500~600℃, 将热解蒸汽迅速凝结成液体, 尽可能地减少二次裂解, 从而得到以液体产物为主的技术。液态产物生物油可直接作为燃料使用, 也可通过精制提炼后作为化石燃料的替代品, 进一步处理后的生物油还是重要的化工原料。生物质经真空热解液化技术后同时可得到部分固体焦和少量气体燃料。其工艺路线如图 1 所示。

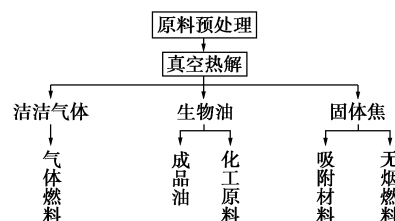


图 1 真空热解工艺路线图

真空热解液化技术的特点是: 体系内压力低, 热解蒸汽停留时间短。生物质的热解是一个固相转变成气相、体积增大的过程, 真空条件有利于热解反应的进行。真空热解过程中体系压力的降低相应地降低了热解产物的沸点, 因而有利于热解产物分子的蒸发, 同时缩短了热解产物在反应区的停留时间, 可以降低二次裂解生成气体的概率, 有利于液体产物的生成。采用真空热解技术的目的在于通过真空, 即压力的降低来达到较低温度下使生物质中的聚合有机物快速热解为需要的挥发性组分, 进而冷凝为具有高热值的热解燃料油。如甘蔗渣中制取液态生物油的主要组分半纤维素、纤维素在常压热解条件下的热解温度为^[2]: 半纤维素在 305℃ 达到最大分解速率, 主要分解发生在 305℃ 左右; 纤维素在 350℃ 达到最大分解速率, 主要分解发生在 350℃ 左

收稿日期: 2007-11-14

作者简介: 杨素文(1971-), 女, 博士生; 丘克强(1956-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为真空分离理论与工程, 高纯材料和功能纳米粉体材料制备理论与技术, 二次资源绿色循环化学与技术, 通讯联系人, 0731-8877364, yangsuwen05@163.com。

右。而甘蔗渣在真空热解条件下热解温度为^[3]:半纤维素主要分解发生在 200 ~ 250℃,纤维素主要分解发生在 280 ~ 320℃。真空条件下热解温度相对较低。较低的加热的速率下进行的真空热裂解也能取得较高的生物油产量^[4]。

加拿大拉瓦尔大学(Laval University)的 Roy 等分别采用常规热解、快速热解和真空热解对软木质树皮进行了热裂解。结果发现,真空热解过程生物油的产率与闪速热解过程生物油的产率接近,两者产率较高,常规热解过程生物油产率最低。如表 1 所示。

表 1 软木质树皮的热解产物及产率

工艺	产率(质量分数)/%		
	液体	木炭	气体
常规热解	40	38	22
快速热解	58	22	20
真空热解	56	28	16

另有研究发现,生物质真空热解液化后,其副产物焦炭的性能比常规热解及快速热解后焦炭的性能优越。印度尼西亚 Ismajji 等^[5]采用柚木屑的真空热解固体产物制备活性炭,发现在同样的活化条件下,真空热解固体产物制备的活性炭在表面积、孔隙量上明显优于常压热解固体产物制备的活性炭,其 Brunauer-Emmett-Teller 表面积和孔隙量分别为 1 150 m²/g 和 0.43 cm³/g。

2 真空热解装置

小型实验室装置可根据不同的实验要求来设

(上接第 21 页)

- [26] Ebdon J R, Huckerby T N, Hunter T C. Free-radical aqueous slurry polymerizations of acrylonitrile:1. End-groups and other minor structures in polyacrylonitriles initiated by ammonium persulfate/sodium metabisulfite[J]. *Polymer*, 1994, 35: 250 - 256.
- [27] Ebdon J R, Huckerby T N, Hunter T C. Free-radical aqueous slurry polymerizations of acrylonitrile:2. End-groups and other minor structures in polyacrylonitriles initiated by potassium persulfate/sodium metabisulfite[J]. *Polymer*, 1994, 35: 4659 - 4664.
- [28] Bajaj P, Sen K, Bahrami S H. Solution polymerization of acrylonitrile with vinyl acids in dimethylformamide[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, 59: 1539 - 1550.
- [29] 贾墨, 杨明远, 毛萍君, 等. 用水相沉淀聚合制备高分子量 PAN[J]. *山西化纤*, 1998(1): 1 - 5.
- [30] 吴林波, 曹墨, 李宝芳, 等. 高单体进料浓度下丙烯腈连续水相

沉淀共聚的研究 I 转化率和分子量及其分布[J]. *化学反应工程与工艺*, 1999, 15(4): 364 - 372.

2.1 多层真空热解磨反应器

Roy 等^[6]开发的多层真空热解磨反应器由 6 层重叠放置的直径为 0.7 m 的热反应床构成, 主体高 2 m。生物质由顶部加入, 由于重力和每层刮板的作用而逐渐下落。如果反应充分, 在最底层只残留一些炭, 很容易清除。顶层床的温度是 200℃, 温度逐渐上升到底层床的 400℃。热解蒸汽从每一层及时抽出, 整个反应器气压力维持在 1 kPa 左右, 降低了热解蒸汽的停留时间, 大大减少了二次裂解。利用该装置进行生物质的真空热解液化, 产油率较高。例如当木屑加入量为 30 kg/h 时, 液体产率为 65%^[7]。

2.2 熔盐加热真空热解反应器^[8-10]

该装置是由 Pyrovac 研究所与 Roy 课题组协作开发的一种新的真空热解液化工艺^[11], 其工艺流程为: 较冷物料在一定真空度下进入到反应器后, 落在有搅拌功能的加热盘上, 加热盘下方是内有炽热熔盐流动的管道, 热解气从反应器上方的出口导出, 送入冷凝装置得到生物油。该工艺的优点是以熔盐为传热介质, 并佐以电子感应调温, 容易实现严格中温控制条件下的热解。2000 年, 由处理能力为 50 kg/h 的实验室规模扩大到了处理能力为 3 500 kg/h 的示范工厂^[12]。

Roy 课题组在真空热解装置的技术改进、扩大、数据库的建立等方面做了大量研究工作, 主要包括真空热解反应器传热性能的改进^[13], 真空热解反应器

- 沉淀共聚的研究 I 转化率和分子量及其分布[J]. *化学反应工程与工艺*, 1999, 15(4): 364 - 372.
- [31] 吴林波, 李宝芳, 曹墨, 等. 高单体进料浓度下丙烯腈连续水相沉淀共聚的研究 II 聚合物颗粒形态[J]. *化学反应工程与工艺*, 1999, 15(4): 373 - 381.
- [32] Cui Chuansheng, Wang Chengguo, Zhao Yaqi. Monomer reactivity ratios for acrylonitrile-ammonium itaconate during aqueous-deposited copolymerization initiated by ammonium persulfate[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, 100: 4645 - 4648.
- [33] Cui Chuansheng, Wang Chengguo, Jia Wenjie, et al. Viscosity study of dilute poly(acrylonitrile-ammonium itaconate) solutions[J]. *Journal of Polymer Research*, 2006, 13: 293 - 296.
- [34] 赵亚奇, 王成国. 过硫酸铵引发丙烯腈/衣康酸铵的共聚合工艺研究[J]. *合成技术及应用*, 2007, 22(1): 12 - 15.
- [35] 董纪震, 赵耀明, 陈雪英, 等. *合成纤维生产工艺学: 下册*[M]. 2 版, 北京: 中国纺织出版社, 1994. ■

的模拟、按比例放大以及示范研究^[14],真空热解反应器内影响物料粒子流动性质的改进^[15],生物质真空热解连续过程工艺数据库的建立^[16],生物质真空热解反应器按比例放大的初步技术数据的研究^[17]等。

3 研究现状

20 世纪 80 年代初,加拿大 Roy 研究小组率先将真空技术应用于生物质热解液化制取生物油。在这方面他们做了大量的研究工作,主要有真空热解设备的研发与改进、农林废弃物的真空热解、农业废弃物与石油残渣的真空共热解、热解过程研究、热解产物的性能研究、热解产物的精制等。近年来,国外在生物质真空热解液化技术方面的研究仍不少,都同时开展了对真空热解产物的进一步研究,包括生物油的成分分析、性能研究、应用研究以及重要化工原料的提取等。

Roy 研究小组的 Boucher 等^[18]在压力为 14 kPa、热解温度为 500℃ 条件下对针叶树皮(软木质)进行真空热解,对生物油的碱金属含量、黏度、固体残余物含量、热值、表面张力、水分含量和密度等进行了研究,发现软木质树皮经真空热解所得生物油性能优良,是一种很有价值的气体涡轮机燃料;Na + K + Ca 含量低(21 μg/g),甲醇不溶物质量分数相对较低(0.34%),黏度低(90℃ 时为 5.2×10^{-3} Pa·s),热值高(32 MJ/kg),固体残余物含量低(质量分数 0.34%)。该课题组^[19]对该生物油的热稳定性和老化性质做了研究,同时对掺入水相组分和甲醇后生物油的稳定性也做了进一步研究。结果发现:当生物油被加热至 40、50℃ 时性质变化不明显,当加热至 80℃ 时维持一定时间后,生物油的性质有显著的改变:黏度、固体物含量、平均分子质量及相分离速度增加;生物油中水相的存在有利于降低生物油的密度,减少碱金属及钙的含量,但水相的存在会降低生物油的热值及生物油的热稳定性,因此作为优质燃料,生物油中水相组分要降低到最小;少量甲醇的加入会使生物油的热值相对降低,同时也能降低生物油的密度和黏度,提高生物油的热稳定性,甲醇的掺入能明显降低生物油黏度增加的速率,能延缓混合物的相分离进程。

Roy 研究小组的 Murwanashyaka 等^[3]采用 2 种不同的方法对桦木生物质进行真空热解:①真空(0.7 kPa)、冷限温度为 -72℃ 条件下,一次连续升温(25℃ 连续升温至 550℃)进行热解;②真空(0.7

kPa)、冷限温度为 -72℃ 条件下,分阶段升温(25 ~ 200、200 ~ 275、275 ~ 350、350 ~ 450、450 ~ 550℃),分阶段收集热解产物油。他们分析了通过不同的热解方法后热解产物生物油中苯酚的产量,结果发现,2 种热解方法对产物气、液、固的整体收率影响不大,3 种产物产率接近,分别为热解生物油(包含水相产物)质量分数 62.39%,木炭质量分数 23.25%,不凝气体质量分数 14.36%;分段升温真空热解有利于苯酚的产出,苯酚的产率由前者的 2.51% 升高到后者的 4.43%;苯酚产出的最佳热解温度区为 275 ~ 350℃。该研究为热解过程中优先获取某一化工原料提供了依据。

Roy 研究小组的 Murwanashyaka 等^[20]采用含 54% 的边材料和 46% 树皮的桦木试样,在压力不到 3 kPa、加热速率为 10℃/min、热解终温为 500℃ 时保持 30 min 等条件下对其进行真空热解,获得 53.9% (质量分数,下同)的液态热解油(其中含 45.9% 的无水热解油和 8% 的反应生成水)、22.1% 的木炭、24.0% 的不凝气体。他们通过蒸汽蒸馏等方法对所得液态生物油做了进一步精制提取分离,使生物油中苯酚的回收率达到 88.2%。将提取产物做进一步蒸馏,可获得纯度为 92.3% 的 2,6-二甲氧基苯酚。

2003 年,印度 Das 等^[21]采用真空填充床热解反应器对腰果壳进行真空热解制生物油的实验,主要目的是研究热解温度对产物(气、液、固 3 种产物)分布及产率的影响。具体操作为:先将原料置于 105℃ 下干燥除去游离水分,继续加热,收集加热至 150℃ 的所有渗出油 CO1;将去掉 CO1 后的原料置于真空填充床热解反应器中,压力维持在 5 kPa,连续升温,分别在不同温度段(400、500、550、600℃)对其进行热解。研究发现:热解温度在 500℃ 时,主要产物为生物油,其产率最高(42%);所得生物油的性质与石油燃料的性质相当接近,热值接近 40 MJ/kg,灰分含量低(质量分数 0.01%),油含水量低(质量分数 3.0% ~ 3.5%)。

印度是最大的腰果生产、加工、出口国,由腰果壳制得的生物油热值很高(40 MJ/kg),与柴油的石油燃料热值接近,且与柴油混溶性很好。为了进一步弄清该生物油的理化性质,Das 等^[22]以腰果壳为原料,首先将腰果壳加热至 175℃ 萃取,收集黑棕色生物油 CO1,再将萃取后的腰果壳于 500℃、95.76 kPa 条件下进行真空热解,收集燃料油成分 CO2。通过傅里叶红外、液相色谱、氢谱、碳谱、气质联用等

测试技术对 CO1 和 CO2 的组分及结构进行了分析,详细研究了生物油 CO1 和 CO2 的理化性能。研究发现,CO1 和 CO2 主要组分为一个强极性苯酚环连接类似柴油的 C_{6~15}线性烷基链,长烷基链结构与柴油类似,所以与燃料石油和柴油的混溶性很好;组分碳氢比较高,因而 CO1 和 CO2 的热值很高(接近 40 MJ/kg);强极性苯酚环的存在导致该生物油具有抗氧化性能,因此 CO1 和 CO2 稳定性高;同时将 CO1 和 CO2 与甘蔗渣所得生物油在室温下分别放置 365 天进行黏度变化试验,发现前两者黏度没什么变化,后者的黏度明显增加,后者湿度(11%~12%)大于前两者(3%~4%)也是一个重要原因;尽管 CO1 和 CO2 的 pH 较低,但因为油中水分含量少,因而对铜和不锈钢等的腐蚀性小。腰果壳所得生物油的性能优于其他农作物废弃物所得的生物油,是一种性能优良的燃料。

Roy 研究小组的 Garcia-Perez 等^[23]通过实验室规模和小型试验厂规模,在压力为 8 kPa、升温速率为 12℃/min、热解温度为 500℃等条件下,对粒径小于 450 μm 的甘蔗渣进行了真空热解。对真空热解产物的产率和产品性能进行了详细研究。研究发现,甘蔗渣真空热解所得生物油是一种具有优质潜能的液态燃料:灰分质量分数较低(0.05%)、黏度较低(90℃时为 4.0×10^{-3} Pa·s)、热值较高(22.4 MJ/kg)、甲醇不溶物质量分数较低(0.4%)、具有其他生物油类似的热敏性质等;实验室规模所得不含水相的生物油产率(34.2%)高于小型实验厂规模(30.1%),焦炭产率(19.4%)低于小型实验厂规模(25.7%)。

印度 Das 等^[24]同样采用甘蔗渣作原料,实验方法是:先采用水、5 mol/L HCl 水溶液或不同浓度的 HF 水溶液对甘蔗渣进行去灰预处理,再将预处理后的甘蔗渣置于填充床反应器内,在压力为 5 kPa、加热终温为 500℃等条件下进行真空热解。结果发现,去灰预处理能明显改变气、液、固产物的分布比例,有效提高生物油的产率,如经 HF 水溶液预处理后生物油产率相对于处理前提高约 69%;能减少灰分在高温热解过程中对木质素的催化分解,减少焦炭和水的生成,从而减少生物油中水的含量,如采用 HF 水溶液预处理后,生物油的含水质量分数由 12.0%降低至 7.4%。酸预处理能很好地去除灰分,但环境问题严重,对产物影响也较大,经酸预处理后的热解产物油中极性物质、酸性物质增多,降低了生物油与柴油等石油燃料的混溶性,导致了较高的黏

度增加速率。黏度增加实验发现,原料经 HF 溶液处理 1 h 后的产物油黏度增加最大,未经处理的产物油黏度增加其次,经 1 h 水处理的产物油黏度增加最小。以上 3 种预处理办法中水预处理环境污染少,生物油产率相对于处理前提高约 55.4%,同时水浸出液有利于通过发酵工艺制备液体燃料乙醇;预处理对生物油的热值影响不大。研究还发现,预处理后的甘蔗渣经真空热解后得到的焦炭具有相当高的吸附容量。

Roy 研究小组的 Garcia-Perez 等^[25]采用软木质树皮(SWBR)和富含纤维的硬木质(HWRF)2 种生物质原料进行真空热解,旨在研究不同组成的生物质经真空热解后所得生物油的组成和性质与原料组成之间的关系。经元素分析、组分分析和热重分析得出 SWBR 富含木质素(44.8%,质量分数,下同)和提取物(14.8%),其中提取物含量是 HWRF 的 2 倍,HWRF 富含纤维素(40.1%)和半纤维素(27.8%)。结果发现,原料组成对生物油的组成有一定的影响。两者经热解所得生物油都分 2 层,SWBR 生物油 16% 的上层油和 HWRF 生物油 1.3% 的上层油的形成主要是由于原料中提取物的转化;两者底层油都含有少量由提取物转化来的化合物,两者底层油的宏观特性与文献报道的去除提取物后木料生物质所得生物油类似;SWBR 底层油比 HWRF 底层油灰分含量高、金属含量高、黏度高、残碳含量高,其上层油残碳含量低、热值较高,呈现较好的燃料特性,HWRF 上层油主要为蜡状物,不宜用作生物燃料,其底层油呈现很好的燃料特性,是非常好的生物质燃料油;两者所得生物油中脂肪酸差别不大,但 SWBR 所得生物油中树脂酸是 HWRF 所得生物油中的 4 倍,2 种生物油中的脂肪酸和树脂酸的含量要比甘蔗渣经热解所得生物油中的含量高得多;硬木质有利于液态生物燃料的生产。

目前,国内在生物质真空热解方面的研究还未见报道。

4 结语

生物质能利用前景十分广阔,但能否真正实际应用还取决于生物质的各种转化利用技术能否有所突破。目前我国生物质能的利用主要还是以直接燃烧为主,因此,迫切需要开发提高生物质的转化技术,以提高生物质的利用效率。

生物质真空热解液化制生物原油技术可以有效地利用生物质能源,经国外学者的广泛研究,部分技

术已经进入工业化示范阶段。需要解决的问题是深入研究生物质的真空热解反应机理、催化真空热解反应机理以及生物质的真空热解动力学特性等。以期研制开发出经济性合理的应用工艺和设备,使得生物质成为具有竞争力的能源之一。对生物油的进一步分离、提纯、精制,以得到高品质的、廉价的化工原料,对充分利用生物质资源同样具有重要意义。

参考文献

- [1] 钟浩, 谢建, 杨宗涛, 等. 生物质热解气化技术的研究现状及其发展[J]. 云南师范大学学报, 2001, 21(1): 41 - 45.
- [2] Zandersons J, Gravitis J, Kokorevics A, *et al.* Studies of the Brazilian sugarcane bagasse carbonization process and products properties[J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 17: 209 - 219.
- [3] Murwanashyaka J N, Pakdel H, Roy C. Step-wise and one-step vacuum pyrolysis of birch-derived biomass to monitor the evolution of phenols[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2001, 60: 219 - 231.
- [4] 廖艳芳, 王树荣, 谭洪, 等. 生物质热裂解制取液体燃料技术的发展[J]. 能源工程, 2002(2): 1 - 5.
- [5] Ismadji S, Sudaryanto Y, Hartono S B, *et al.* Activated carbon from char obtained from vacuum pyrolysis of teak sawdust: Pore structure development and characterization[J]. Bioresource Technology, 2005, 96: 1364 - 1369.
- [6] Pakdel H, Roy C. Production and characterization of carboxylic acids from wood: I. Low molecular weight carboxylic acids[J]. Biomass, 1987, 13(3): 155 - 171.
- [7] 何芳, 易维明, 柏雪源. 国外利用生物质热解生产生物油的装置[J]. 山东工程学院学报, 1999, 13(3): 61 - 64.
- [8] Roy C, Morin D, Dube F. The biomass pyrolysis process[C]//Kaltschmitt M, Bridgwater A V. Proc Int Conf Gasification and Pyrolysis of Biomass. Newbury: CPL Press, 1997: 307 - 315.
- [9] Roy C. Pyrovac Institute launches a new reactor enhancing heat transfer efficiency[J]. PyNE Pyrolysis Network for Europe, 1997(3): 5.
- [10] Roy C, Morin D, Dube F, *et al.* Electricity production from biomass using the integrated Pyrolysis™ combined cycle process: Making a business from biomass in energy, environment, chemicals, fibers, and materials[C]//Overend R P, Chornet E. Proc Third Biomass Conf of the Americas, Vols 1 and 2, New York: Elsevier Science, 1997: 835 - 843.
- [11] Garcia-perez M. Co-pyrolysis under vacuum of bagasse and petroleum residue for the production of bio-fuels[D]. Quebec: Universite Laval, 2000.
- [12] Roy C, Blanchette D, de Caumia B, *et al.* Industrial scale demonstration of the Pyrolysis™ process for the conversion of biomass to bio-fuels and chemicals[C]//First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 2000.
- [13] Roy C, Yang J, Blanchette D, *et al.* Development of a novel vacuum pyrolysis reactor with improved heat transfer potential[C]//Bridgwater A V, Boocock D G B. Proceedings of developments in thermochemical biomass conversion. London: Blackie Academic and Professional, 1996: 15 - 19.
- [14] Yang J, Blanchette D, de Caumia B, *et al.* Modelling, scale up and demonstration of vacuum pyrolysis reactor[C]//Proc of Progress in Thermochemical Biomass Conversion, Tyrol, 2000.
- [15] Roy C, Blanchette D, de Caumia B. Horizontal moving and stirred bed reactor: CA, 2196841[P]. 1998 - 01 - 30.
- [16] Roy C, de Caumia B, Plante P, *et al.* Production of liquids from biomass by vacuum pyrolysis: Development of data base for continuous process[C]//Proc of Energy from Biomass and Wastes VIII, Lake Buena Vista, Florida, 1983: 1147 - 1170.
- [17] Lemieux R, Roy C, Caumia D B, *et al.* Preliminary engineering data for scale up of a biomass vacuum pyrolysis reactor[J]. ACS preprints (Div of Fuel Chem), 1987, 32: 12 - 20.
- [18] Boucher M E, Chaala A, Roy C. Bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark as a liquid fuel for gas turbines: I. Properties of bio-oil and its blends with methanol and a pyrolytic aqueous phase[J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19: 337 - 350.
- [19] Boucher M E, Chaala A, Pakdel H, *et al.* Bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark as a liquid fuel for gas turbines: II. Stability and ageing of bio-oil and its blends with methanol and a pyrolytic aqueous phase[J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19: 351 - 361.
- [20] Murwanashyaka J N, Pakdel H, Roy C. Separation of syringol from birch wood-derived vacuum pyrolysis oil[J]. Separation and Purification Technology, 2001, 24: 155 - 165.
- [21] Das P, Ganesh A. Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shell: A near fuel[J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 25: 113 - 117.
- [22] Das P, Sreelatha T, Ganesh A. Bio oil from pyrolysis of cashew nut-shell-characterisation and related properties[J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 27: 265 - 275.
- [23] Garcia-perez M, Chaala A, Roy C. Vacuum pyrolysis of sugarcane bagasse[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2002, 65(2): 111 - 136.
- [24] Das P, Ganesh A, Wangikar P. Influence of pretreatment for deashing of sugarcane bagasse on pyrolysis products[J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 27: 445 - 457.
- [25] Garcia-Perez M, Chaala A, Pakdel H, *et al.* Vacuum pyrolysis of softwood and hardwood biomass comparison between product yields and bio-oil properties[J]. J Anal Appl Pyrolysis, 2007, 78: 104 - 116. ■

上海化工机械三厂更名通知

原上海化工机械三厂粉碎装备分厂(即上海化工装备有限公司化工机械三厂)自 2008 年元月 1 日起更名为“上海细创粉体装备有限公司”原已签订的有效合同、协议、质量保证承诺以及各项应收款、应付款等将由“上海细创粉体装备有限公司”继续承接执行。所有联系方式及渠道均不变。

上海细创粉体装备有限公司