

用于生物质裂解液化的 闪速裂解实验装置设计

李超,周扬民,罗思义,许丽丽,仪垂杰
(青岛理工大学机械工程学院,山东青岛266033)

摘要:在总结传统裂解生物质方法的基础上,提出了一种利用高炉渣余热裂解生物质的新方法。设计了一种新式的生物质闪速裂解实验装置,给出其工作流程、余热回收装置工作原理、新式烧蚀反应器工作原理。经能耗计算,该装置单位时间内消耗 5.256×10^7 J的能量可得到含有 2.625×10^8 J能量的产品。

关键词:高炉渣余热;生物质;裂解;生物质油

中图分类号:TH69

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2011)11-0078-04

Design of experimental facility for biomass flash pyrolysis and liquefaction

LI Chao, ZHOU Yang-min, LUO Si-yi, XU Li-li, YI Chui-jie

(School of mechanical engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: In this paper, on the basis of traditional ways, a novel way of pyrolysis of biomass using the waste heat of blast furnace slag is proposed. At the same time, a novel experimental facility are designed. The working process and the operating principle of waste heat utilization device and novel ablative pyrolysis reactor are presented. Through calculation, 5.256×10^7 J energy is consumed in an hour, but a kind of product that contains energy of 2.625×10^8 J is produced.

Key words: twaste heat of blast furnace slag; biomass; pyrolysis; bio-oil

随着石化资源的日渐枯竭,世界各国纷纷加紧了对可再生资源的开发与研究,其中,生物质资源的开发与利用具有较好的前景,是目前关注的焦点。研究表明,在传统的生物质热解方法中,每生产1 kg生物质油(热值约 2.1×10^7 J/kg,相当0.9 kg标准煤),需消耗约 2.52×10^6 J的热量(相当于0.1 kg标准煤)^[1],如采用常规能源如矿物质燃料、电能等,则增加了生物质能源的生产成本,同时造成新的污染。实际上,生物质能源生产过程中耗能过大,生产成本高,是制约生物质能工业化生产和应用的主要瓶颈。与传统方法相比较,本文的机械模型中采用高炉渣余热作为“免费”的高品质热源恰好解决了生物质裂解成本过高的问题。

生物质是指地球上广泛分布的有生命的有机物质,是未来替代石油的重要新能源。生物质裂解液化指生物质在隔绝氧气或有少量氧气的条件下,采用高加热速率、短产物停留时间及 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 的裂解温度,使生物质中的有机高聚物分子迅速断裂为短链分子,最终生成焦炭、生物质油和不可凝气体的过程^[2]。3种产物的比例取决于热解工艺的类型和

反应条件,一般地,低温低速热解温度不超过 500°C ,产物以炭为主;高温快速热解温度为 $700 \sim 1100^\circ\text{C}$,产物以不易冷凝的燃气为主;中温闪速热解温度一般控制在 $500 \sim 600^\circ\text{C}$,产物以可冷凝气体为主,冷凝后得到生物质燃油^[3]。

1 国内外典型的生物质热解方法

1.1 国内生物质裂解液化现状

与国外相比,国内对生物质裂解液化技术的研究仍处于起步阶段。近年来,国内许多大学在生物质裂解方面展开了一些相关研究工作,例如,东北林业大学、山东理工大学、沈阳农业大学等。在20世纪90年代中期,沈阳农业大学根据荷兰研制的旋转锥热解液化实验装置复制了1套相似的旋转锥装置,加工能力为50 kg/h,实验原料是松木粉末。但迄今为止,我国自行研制的,可以实现将生物质快速裂解、液化的装置及推广应用的研究,尚未见报道^[3]。

1.2 国外典型的生物质裂解试验台

裂解试验台要将生物质裂解产生生物质油必须

收稿日期:2011-03-04

基金项目:国家自然科学基金项目(50934010)

作者简介:李超(1986-),男,硕士生,研究方向为生物质闪速裂解液化,iloveulichao@163.com;仪垂杰(1958-),男,博士,教授,研究方向为高温异质离散运动颗粒间的传热传质机理,0532-85071299, chuijieyi@vip.163.com。

满足 2 个条件:一是可以将温度加热到 500 ~ 600℃;二是可以将生物质热接触时间控制在 0.5 ~ 2 s。对热解装置的设计要满足的 2 个重要原则是:一是产油率越高越好;二是热解装置的规模应该足够大,这样可以减少向工业化规模扩大的步骤。如果以产油率高于 50%,生产率大于 10 kg/h 为标准考虑问题的话,国外的实验装置可以归纳为以下几种类型^[4-6]:

(1) GIT 携带床反应器

携带床反应器是由乔治亚理工学院 GIT (the Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, U. S. A) 开发的(如图 1)。其工作原理为,空气与丙烷按化学当量比输送到反应管的下部燃烧区燃烧,产生的热烟气把预先粉碎好的生物质颗粒(2 ~ 3 mm)带入到反应器中,在反应器中发生热解得到热裂解蒸汽,经过冷凝后得到液体产物。

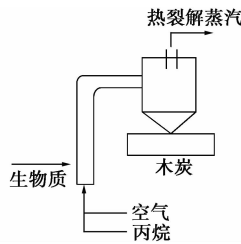


图 1 携带床反应器

(2) Ensyn 循环流化床

Easyn (Ensyn in Ottawa, Canada) 研发的循环流化床垂直反应管如图 2,优点是可以采用沙子为热载体,因为砂热值高,并且与生物质换热能力强,而使该设备体积小;该装置另一优点是可以控制较短的气相停留时间,防止热解蒸汽在高温下发生二次裂解,从而提高了产油率。当该装置向工业化规模放大时,特别要注意热载体与生物质充分混合的问题。

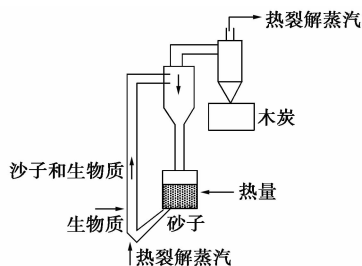


图 2 循环流化床垂直反应管

(3) SERI 烧蚀反应器

烧蚀反应器技术由美国太阳能研究所 SERI (Solar Energy Research Institute, Golden, Co, U. S. A)

开发(如图 3)。其工作原理为,生物质颗粒沿反应器的切线方向,被 400 m/s 的氮气或者热蒸汽引入反应器,在反应器内由于离心作用物料与反应器内壁接触,内壁的温度在 500 ~ 600℃,热解生成的生物油迅速蒸发,经过旋风分离器以及冷凝器之后得到生物油。

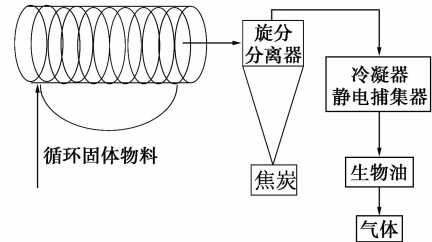


图 3 烧蚀反应器图

(4) Twente 旋转锥反应器

旋转锥反应器技术由荷兰屯特大学 (University of Twente, Netherland) 开发(如图 4)。其工作原理为,生物质颗粒和热载体同时从反应器上部喂入反应器,在反应器底部由于反应器的旋转作用使 2 者充分混合,在旋转锥的离心作用下,生物质颗粒和热载体沿反应器内部螺旋曲线上升,并迅速裂解出热解气,经出气管进入旋风分离器过滤,再经冷凝后得生物油^[3]。

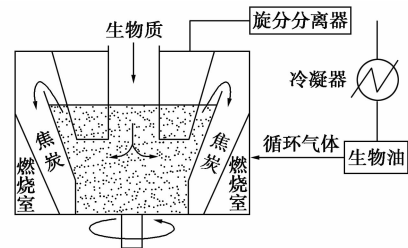


图 4 旋转锥反应器

1.3 传统生物质裂解方法存在的问题

(1) 目前几种典型的生物质热解装置都需要消耗大量的能源来加热反应器或者加热热载体,这无疑增加了生物质裂解的成本。

(2) 生物质与热载体进行直接接触式传热,由于 2 者比重相差太大,不仅造成传热不充分,浪费大量的热量,而且生物质油附着在热载体表面,影响其后续的使用。

2 新式生物质裂解工艺

在参考大量文献的基础上,青岛理工大学能源与环境研究中心生物质课题组总结发现,成功地裂解生物质,该热解试验系统必须满足以下 3 个条件。

(1) 生物质热解时温度要控制在 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，在此温度条件下生物质热解会产生尽可能多的可冷凝气体。

(2) 生物质热解之前必须将其粉碎到一定程度的颗粒 ($< 2 \text{ mm}$)，使生物质颗粒的相对表面积增大，从而增加受热面积，温度迅速提高；若粒度太大，则升温速度慢，生物质不能完全热解。

(3) 生物质热解产生的气体要在 2 s 内排出进行冷凝，以防止热解气在高温下发生二次热解而产生不可冷凝气体。

2.1 新工艺的工作流程

新工艺的工作流程见图5。余热回收装置中的离心粒化器将熔融状态的高炉渣粒化成颗粒状，在

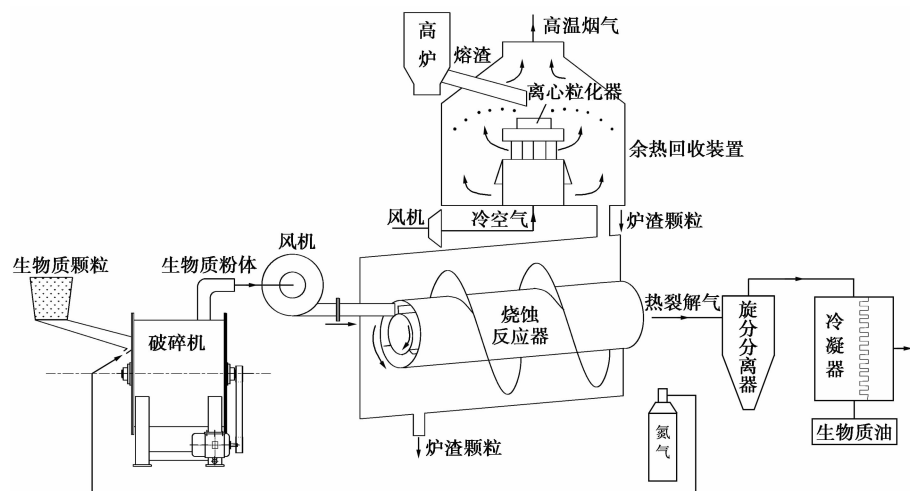


图5 利用高炉渣粒化高温颗粒裂解生物质实验系统

2.2 余热回收装置工作原理

熔融状态的高炉渣由上而落到粒化器上，熔融状态的高炉渣在高速旋转的粒化器摩擦力的作用下，进行圆周运动，同时在离心力的作用下熔融的高炉渣逐渐向粒化器的边缘运动，离心力和线速度快速增加，到达粒化器边缘后液态炉渣成片状被抛射出去，片状的高炉渣在空气中下落的过程中，在表面张力的作用下收缩成球状或者椭球状颗粒，并同时与冷空气进行热交换，将温度下降到 600°C 左右，在余热回收装置底部有高炉渣颗粒收集装置将高炉渣收集。

2.3 新式烧蚀反应器工作原理

反应器水平放置在一个密闭的空间中(如图5)，并且留有高炉渣颗粒的入口和出口。该反应器由内外2层构成，外层由表面带有螺旋状叶轮的滚筒构成，内层由1根带有均匀分布3个矩形叶轮的轴构成。在喂料前，高炉渣颗粒由入口落入反应器，

冷空气的作用下，高炉渣下落过程中温度下降到 600°C 左右，能够满足生物质裂解过程所需要的温度，青岛理工大学能源与环境装备中心实验室已经成功地将熔融状态的高炉渣粒化成颗粒，为生物质裂解提供“免费”的热源。在喂料前，高炉渣先由落料口落下，将反应器加热到 600°C 左右，接下来，该实验室研制的物料破碎机可将生物质破碎成粉末状，粒径在 0.25 mm 左右，由喂料风机将生物质粉末沿轴线方向吹入烧蚀反应器进行裂解，产生的裂解蒸汽在轴向风力的作用下离开烧蚀反应器，沿切线方向进入旋风分离器，将裂解蒸汽中生物质裂解后的炭粉过滤掉，之后进入冷凝器冷凝得到最后的产品生物油，不能冷凝的气体作为循环气再次进入反应器。

加热反应器，外层滚筒在电机带动下旋转，使传热更加充分，同时将冷却的高炉渣排出反应器，继而会有新的热载体落下，使反应器的温度维持在 600°C 左右；生物质粉末在风机的风力作用下沿轴线方向吹入反应器，反应器内轴的转动，由叶轮产生巨大的离心力，生物质粉末在离心力的作用下与反应器内壁接触，裂解产生裂解蒸汽，在风机轴向风力的作用下，裂解蒸汽沿轴向快速离开反应器，进入旋风分离器。

2.4 试验系统的能耗计算

本实验系统中的耗能装置有带动粒化器旋转的电机 M_1 ，功率 P_1 为 2.2 kW ，将冷空气出入余热回收装置的风机 M_2 的功率 P_2 为 1.1 kW ，带动烧蚀反应器中心轴旋转的电机 M_3 功率 P_3 为 2.2 kW ，带动烧蚀反应器外壳转动的电机 M_4 功率 P_4 为 0.5 kW ，带动破碎机的电机 M_5 功率 P_5 为 7.5 kW ，将生物质带入反应器提供风力的风机 M_6 功率 P_6 为 1.1 kW 。

1 kg 生物质油的热值约 2.1×10^7 J/kg, 相当于 0.9 kg 标准煤; 试验中破碎机满负荷工作时的加工能力为 50 kg/h, 按照传统烧蚀反应器产油率 50%, 25 kg/h 的进料速率计算, 可得到生物质油 12.5 kg/h。

实验中消耗的电能 W :

$$W = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) \times t = 14.6 \text{ kWh} = 5.256 \times 10^7 \text{ J}$$

生物质油的热值 W_1 为:

$$W_1 = 12.5 \times 2.1 \times 10^7 = 2.625 \times 10^8 \text{ J}$$

实验中, 消耗 5.256×10^7 J 的能量却得到含有 2.625×10^8 J 能量的产品。

此外, 试验系统还可以得到有利用价值的副产品, 例如, 粒化高炉渣得到的高温空气可以用来发电, 高炉渣排出后经过再次粉碎可以用作建筑材料等等。

3 总结与展望

本文新式生物质裂解工艺的主要优点有:

(1) 装置结构上紧凑、灵巧, 与传统的生物质热解装置相比较, 最大的优点在于充分利用了高炉渣这一“免费”的热源, 降低了生物质裂解的成本。

(2) 实现了热载体与生物质颗粒的非接触式传热, 既充分利用了热载体高炉渣的热量, 又避免了生物质裂解后的炭粉和生物质油附着在高炉渣表面, 影响高炉渣的后续使用。

(3) 在传统的烧蚀反应器中, 一直存在产生的生物质油含氧量高的问题, 该系统利用氮气作循环气,

避免了氧气的进入。

利用高炉渣余热裂解生物质制取生物质油的技术研究, 其存在和发展的重要意义不仅仅局限在能提供高品质的液体燃料, 而是因为该工艺将工业废热利用、可再生资源高品位利用、生态环境的低污染以及绿色能源的持续供应等有机地结合在一起, 实现了资源、能源和环境的高效统一, 因此该技术具有广泛的应用前景。基于我国生物质资源丰富, 石油资源匮乏的国情, 我国应该加大投入力度, 研究符合我国国情、具有独立知识产权的热解液化技术, 加强对各种热解机理的研究和新型热解工艺以及高效反应器的开发, 同时, 进一步加强生物油精制升级的研究, 提高生物油的质量, 对生物油进行分类使用, 使之应用范围更广, 增加市场竞争力。

参考文献

- [1] 吴创之, 马隆龙. 生物质能现代化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 路冉冉, 商辉, 李军. 生物质热解液化制备生物油技术研究进展[J]. 生物质化学工程, 2010, 5(3): 54-58.
- [3] 乔国朝. ZRK-200 型转锥式生物质闪速热解反应器的设计与研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [4] 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.
- [5] Veringa H J. Advanced techniques for generation of energy from biomass and waste[J]. Energy research Center of the Netherlands, 2005, 15(6): 4-5.
- [6] Demirbas A. Mechanisms of liquefaction and Pyrolysis reactions of biomass[J]. Energy Conversion & Management, 2000, 41(2): 633-646. ■

《河北化工》2012 年征订启事

《河北化工》由河北省化学工业研究院主办, 1978 年创刊, 国内外公开发刊, 国内统一刊号: CN 13—1058/TQ, 国际标准刊号: ISSN 1003—5095, 为全国石油和化工行业优秀期刊, 河北省优秀科技期刊; 被中国核心期刊(遴选)数据库、中文科技期刊数据库、中国知网 CNKI 系列期刊数据库、万方数据库收录。

该刊以前瞻性、工业性、信息性为特色, 全面报道化工领域, 特别是医药化工、煤化工、盐化工、煤用化学品等领域的科研开发、技术应用、技术创新、技术改造成果和经验, 探讨热点、焦点话题。对具有国家、省级的自然科学基金资助项目、科技攻关项目、获奖项目相关论文优先报道。主要栏目: 热点关注、医药化工、煤化工、煤用化学品、农

药、化学助剂与催化剂、化工防腐、环保与安全等。读者对象: 化工企业、高等院校、科研院所、经销单位从事生产、管理、科研、工程设计与施工、教学、供销及一切与化工事业相关的人士。

该刊为月刊, 国际标准大 16 开, 正文 80 页, 每月 20 日出版, 每册 15 元, 全年 180 元。欢迎订阅。订阅办法(选—): A 邮局订阅, 邮发代号: 18—333; B 直接汇款至编辑部订阅, 银行或邮局汇款均可。地址: 石家庄市建华南大街 18 号, 邮编: 050031, 收款人: 《河北化工》编辑部。电话: 0311—85065667, 传真: 0311—85065572, 联系人: 杨曦, 牛冬静, 杨超。收款单位: 河北省化学工业研究院, 开户行: 河北银行建华支行, 账号: 653012022000000246。