

浅析生物质快速热裂解反应器

李滨, 韩磊, 王述洋 (东北林业大学机电工程学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的] 研究生物质快速热裂解反应器。[方法] 根据文献资料对现行几种主流热裂解反应器做了详细的介绍, 并对新兴的斜板槽式反应器做了简要介绍。[结果] 反应器是生物质快速热裂解液化技术的核心, 不同的反应器类型决定了不同的工艺类型和工艺参数, 目前热裂解反应器普遍还存在一些问题, 实现工业化高效节能生产还不容易; 斜板槽反应器作为一种新的尝试, 其有一定的优势, 但也存在着许多问题, 需要进一步改进。[结论] 该研究为生物质能代替常规能源提供理论依据。

关键词 生物质; 快速热裂解; 热裂解反应器; 斜板槽反应器

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)07-02106-03

Analysis on Biomass Fast Pyrolysis Reactor

LI Bin et al (Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] The research aimed to study the biomass fast pyrolysis reactor. [Method] According to the literatures, several mainstream pyrolysis reactors are introduced in detail, and the inclined plate tank reactor is introduced briefly. [Result] The reactor is the core of biomass fast pyrolysis liquefaction technology, different reactor types determine different types of technology and different process parameters. The pyrolysis reactor is also exist some problems, realizing the industrialization of high efficiency and energy saving production is not easy. Inclined plate tank reactor as a new attempt, which have some advantages, but there are many questions that need further improvement. [Conclusion] The study provides the theoretical basis for the biomass to replace conventional energy.

Key words Biomass; Fast pyrolysis; Pyrolysis reactor; Inclined plate tank reactor

人口和收入增长是能源需求的 2 个最强大的推动因素, 随着世界人口的不断增长以及中低收入经济体的快速增长, 未来 20 年将会带来更高的能源生产和能源消费^[1]。然而, 据有关专家测算, 按目前能源消耗速度, 煤炭储量还可供开采 200 年, 天然气储量可供开采 60 年, 石油储量更少仅可供开采 40 年。同时, 无限制的使用化石能源引发了一系列的环境问题, 温室效应、酸雨、空气质量严重污染、生态平衡的破坏等。面对能源危机以及环境的种种问题, 能源转型是必然趋势。生物质资源在地球上储量丰富, 但利用率却很低, 其大多数被当作燃料燃烧, 不仅浪费了能源, 且污染了环境。通过现代技术将生物质转化为热值高的生物油是近年来出现的一项新技术。生物油在近年来的生物化学领域频频出现, 它不仅能够作为锅炉燃烧、柴油机及涡轮机的代用燃料, 还可以进一步提炼生产具有高附加值的化工产品^[2]。笔者根据文献资料对现行几种主流热裂解反应器作了详细的介绍, 并对新兴的斜板槽式反应器做了简要介绍。

1 生物质热裂解液化技术

生物质热裂解液化制取生物油技术是能源领域的一项前沿技术。它是指在无氧或缺氧的条件下, 通过直接加热生物质, 使其产生裂解反应, 且在产生的可凝气体二次裂解前进行快速冷却, 以期得到高产率液态生物油的技术。生物质热裂解通常可以分为慢速热解、常规热解和快速热解等类型。不同的反应条件热解所生成的产物也不同。慢速热解反应条件是极低的升温速率, 热解温度在 400 °C 以下, 经长时间停留, 其主要产物为炭, 因此慢速热解也称炭化; 常规热解升温速率较低(一般 10 ~ 100 °C/min), 热解温度在 500 °C 左右, 经较短停留时间(0.5 ~ 5.0 s), 其主要产物为等比例的焦炭、

生物油以及不可凝气体; 快速热解的反应条件为热解温度在 500 ~ 600 °C, 加热速率达到 10⁴ ~ 10⁵ °C/s 以及超短的气相停留时间(一般为 < 2 s)(表 1)^[3]。

表 1 生物质热解主要工艺类型

工艺类型	升温速率	热解温度/°C	停留时间
慢速热解	极低	400 以下	长时间
常规热解	较低(10 ~ 100 °C/min)	500 左右	0.5 ~ 5.0 s
快速热解	超高(10 ⁴ ~ 10 ⁵ °C/s)	500 ~ 600	< 2 s

2 生物质快速热裂解反应器的介绍

热裂解反应器是热裂解液化技术的核心装备, 不同的反应器类型决定了不同的工艺类型和工艺参数。自 1973 年世界首次石油危机以来, 世界发达国家开始重视利用废弃生物质制取生物油工艺和技术的研究。从 20 世纪 70 年代以来, 生物质热裂解液化技术的研究主要集中在加拿大、美国、芬兰、意大利、瑞典、英国等十几个国家, 且已经形成了较为完备的技术装备和工艺系统。现行主流热裂解反应器为旋转锥、流化床、循环流化床、烧蚀反应器等。

2.1 旋转锥反应器 1989 年荷兰的 BTG 集团研发的闪速旋转锥反应器, 到 1995 年取得初步成功, 并在 2000 年研制出处理能力为 200 kg/h 的改进型旋转锥反应器。沈阳农业大学在 1995 年从荷兰引进一套处理能力为 50 kg/h 的旋转锥反应器。这也是我国在生物质快速热裂解技术方面研究的开端。东北林业大学在国家“863 计划”、“948 项目”的资助下, 完成设计了三锥齿缘式锥形反应器热解系统, 加工生物质能力分别为 50 和 200 kg/h 两套热解装置^[4]。

旋转锥反应器主要是由固定的内锥、旋转的外锥、加热元件以及外壳组成。其工作原理为预热过热载体与生物质颗粒以一定比例加入到旋转锥底, 在旋转锥的带动下, 生物质颗粒和热载体沿高速旋转的锥壁螺旋上升, 并充分混合, 在无氧或少氧的条件下快速热解, 产生的热解气体被立即导

入冷凝器,冷却成生物油(图1)。其缺点是能耗较大,且运行和维修比较复杂。

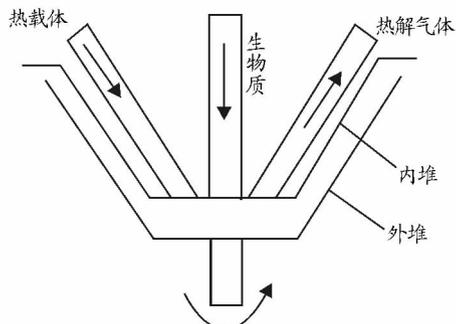


图1 转锥式反应器工作原理^[4]

2.2 流化床 20世纪80年代初,加拿大 Waterloo 大学研发出第一套常压生物质流化床热裂解反应工艺^[5]。其后,美国、欧洲许多国家也相继开始研究流化床。流化床反应器的热解过程为干燥过的生物质颗粒通过载气夹带进入流化床反应器,反应器内以细砂为流化介质,生物质裂解所需的热量部分通过预热过的流化气提供,部分通过反应器外部的热源提供;裂解产物被流化气带出反应器,在后续的旋风分离器中被分割开来,气体进入冷凝装置,炭粉进入收集箱(图2)。

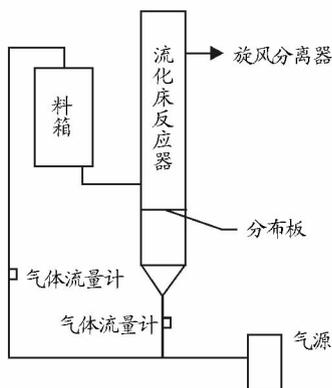


图2 流化床裂解流程

我国对于流化床的研究主要有浙江大学、上海交通大学、中国科技大学等。2004年中国科技大学成功研制出处理能力为15 kg/h的电热式热解液化小试装置,并2006年又研制出处理能力为150 kg/h的自热式热解液化中试装置,其加工木粉产油率高达60%以上,秸秆产油率高达50%以上^[6]。

2.3 循环流化床 循环流化床是在流化床的基础上发展过来的,它们的流化原理基本相似,其工艺流程是预热过的载气通入循环流化床,同时携带石英砂进行循环;生物质物料通过进料器进入反应器,在循环流化床内迅速热解,产生的热解气被立刻带出反应器;石英砂和残炭通过旋风分离器进入燃烧室进行加热,炭将在这里作为燃料充分燃烧,石英砂加热后作为热载体被运回反应器循环利用;同时,从旋风分离器分离出来的气体通入二级冷凝装置,产生的液体为生物油,不凝气将和载气一同进入循环(图3)。该装置规模小,气相停留时间较短,防止裂解气二次裂解,能够获得较高产率的生物油。但此装置较为复杂,热载体循环使用增大了系统的操作复杂程度,

不凝气不断地积累需要及时放出。目前,由中国科学院广州能源研究所研制的循环流化床装置,其生物质原料为木粉,进料速率为5 kg/h,产油率约为63%左右^[7]。

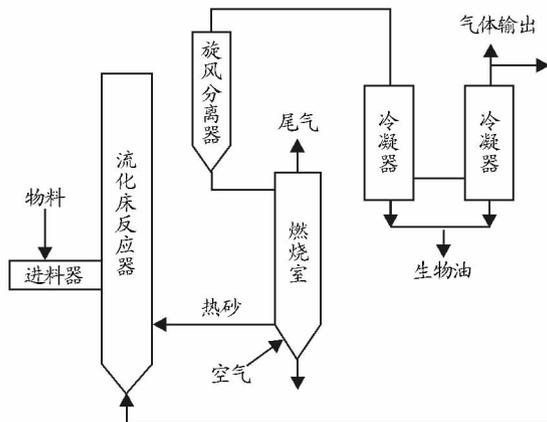


图3 循环流化床工艺流程

2.4 烧蚀反应器 烧蚀反应器是由美国太阳能研究所研究开发,其工艺流程如图4所示,生物质颗粒通过螺旋进料器进入反应器,再沿反应器切线方向被高流速的载气推动,物料与反应器内壁接触,内壁温度在500~600℃,生物质颗粒迅速热解,热解气被导入旋风分离器分离进入后续冷凝装置。未完全裂解的物料颗粒继续沿反应器切线方向分离,与新物料混合后再次进入反应器。这样就大大降低了物料的损失。但由于该反应器受制于其与物料的接触面积,生产效率低,同时其结构和运行过程均比较复杂,加工成本高,因此不利于大规模生产。

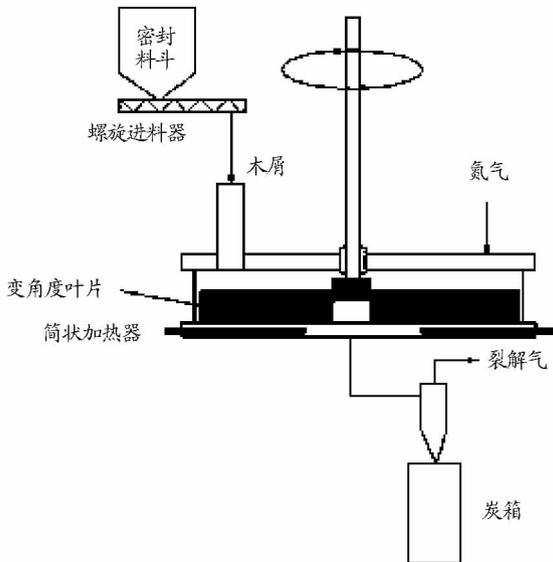


图4 烧蚀反应器工艺流程

3 斜板槽热裂解反应器

3.1 工作原理 斜板槽反应器是由东北林业大学生物质能工程中心自主研发的一项生物质快速热解装置。该装置已完成了实验室阶段的研究,进入中试阶段,生物质处理能力能够达300 kg/h,液体转化率达60%左右。该反应器属于固定床反应器,其工作原理是将生物质颗粒与热载体混合,在

重力的作用下沿槽体自由流动,同时实现动能的交换和热量的传递。

3.2 工作过程 经粉碎、干燥过的生物质颗粒通过螺旋进料器进入反应器,同时加入适当比例预热的热载体。生物质颗粒与热载体在重力的作用下沿斜板槽混合流动,且快速热解产生热解气和焦炭。焦炭和热载体通过反应器下方的出口进入收集箱,运到加热炉继续加热以便循环使用。热解气则通过气体出口进入下一级的分离装置,分离装置由惯性除尘器 and 旋风分离器组成,其目的是为了除去混入气体中的固体颗粒。接着,从分离装置出来的热解气通入下级冷凝装置,得到生物油和不可凝气体。

3.3 优缺点 该反应器的优点是结构简单、工作可靠、控制方便,同时可以通过并联斜板槽体的数量来满足不同产量的要求。其缺点是生物质颗粒和热载体混合不够充分,需要进一步的改进。

4 结语

通过对几种主流反应器的介绍,得出目前各种热裂解反应器均还存在一定的缺陷,要实现高效、节能的工业化生产还

不容易。斜板槽反应器作为一种新的尝试,其有一定的优势,但也存在着许多问题,需要进一步改进。在常规能源日渐枯竭的今天,充分利用生物质能来代替常规能源是必然趋势。对热裂解反应器的研究将会推动生物质快速热裂解液化制取生物油技术的发展,对生物质能的利用具有重要意义。

参考文献

- [1] BP 2030 世界能源展望[R]. 英国伦敦,2011.
- [2] 栾敬德,刘荣厚,武丽娟,等. 生物质快速热裂解制取生物油的研究[J]. 农机化研究,2006(12):206-210.
- [3] ATEES F,PUTUN A,PUTUN A E. Fast pyrolysis of sesame stalk; Yields and structural analysis of bio-oil[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2004,71(2):779-790.
- [4] 董治国,王述洋,李滨. 转锥式生物质热裂解液化装置的实验研究[J]. 林业机械与木工设备,2004,4(32):17-19.
- [5] SCHOLZE B,HANSER C,MEIER D. Characterization of the water-insoluble fraction from fast pyrolysis liquids (pyrolytic lignin) (II). GPC, carbonyl groups, and ^{13}C NMR[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2001,58/59:387-400.
- [6] 许庆利,薛瀚深,李洪宇. 生物质制备生物油裂解反应器研究进展[J]. 江苏化工,2008,36(6):15-18.
- [7] 戴先文,吴创之,周肇秋,等. 循环流化床反应器固体生物质的热裂解液化[J]. 太阳能学报,2001,22(2):124-130.

(上接第2076页)

低温频数开始稳定下降,突变发生在1987年,从1989年至今极端低温频数下降趋势明显,通过95%显著性检验;而寒冬低温开始回暖,突变发生在1984年,从1987年至今回暖趋势明显,通过了95%显著性检验。

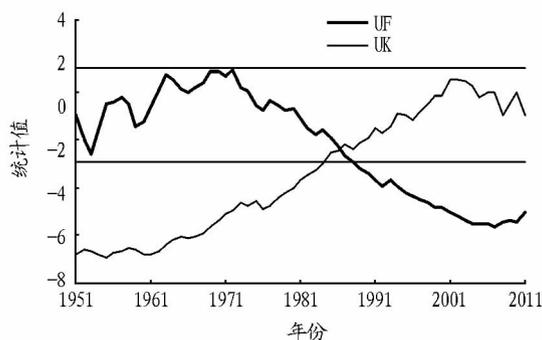


图6 1951~2010年武汉寒冬极端低温频数变化趋势的M-K统计检验

3 结论

(1) 武汉6、7月份1年一遇指标达50 mm以上暴雨,4~5年一遇100 mm以上大暴雨;5~9月汛期1年一遇指标达92 mm,30年一遇指标超过了250 mm特大暴雨量级。汛期极端降水频数从80年代前期开始出现增长趋势,特别是2005~2008年,增长趋势明显,突变发生在1978年前后。

(2) 武汉盛夏极端高温1年一遇指标达37.9℃,极端低温1年一遇指标达30.1℃。近10年是极端高温的一个频发时期,平均强度呈线性增长趋势,上升幅度为0.058℃/10a。极端低温频数自80年代末增涨迅速,平均强度也呈线性增长趋势,上升0.086℃/10a,频数突变发生在1991年,强度突变发生在1993年。

(3) 武汉冬季极端低温1年一遇指标为-7.5℃,50年

一遇指标达-18.3℃。寒冬极端低温集中发生在20世纪50~70年代,80年代开始温度逐渐回暖,极端低温强度高幅度为0.323℃/10a;强度突变发生在1984年,频数突变发生在1987年。

参考文献

- [1] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等. 近40年中国平均气候与极值气候变化的概述[J]. 地球科学进展,2007,22(7):673-684.
- [2] SOLOMON S,QIN D,MANNING M,et al. IPCC,2007a;Summary for policymakers. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:1-18.
- [3] 江志红,丁裕国,陈威霖. 21世纪中国极端降水事件预估[J]. 气候变化研究进展,2007,3(4):202-207.
- [4] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报,2003,58(S1):1-10.
- [5] 杨金虎,江志红,王鹏祥,等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究,2008,13(1):75-83.
- [6] 智协飞,张玲,潘嘉露. 我国南方冬季气候变暖前后极端降水事件分析[J]. 热带气象学报,2011,27(2):166-172.
- [7] PAETH H,HENSE A. Mean versus extreme climate in the Mediterranean region and its sensitivity to future global warming conditions[J]. Meteor Zeitschrift,2005,14(3):329-347.
- [8] JAGGER T H,ELSNER J B. Climatology models for extreme hurricane winds near the united States[J]. Journal of Climate,2006,19(13):3220-3236.
- [9] 程炳岩,丁裕国,张金铃,等. 广义帕雷托分布在重庆暴雨强降水研究中的应用[J]. 高原气象,2008,27(5):1004-1009.
- [10] 江志红,刘冬,刘渝,等. 导线覆冰极值的概率分布模拟及其应用试验[J]. 大气科学学报,2010,33(4):385-394.
- [11] HOSKING J R,WALLIS J R. Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution[J]. Technometrics,1987,29:339-349.
- [12] HOSKING J R M. L-moments; Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics[J]. Journal of Royal Statistical Society,1990,B52:105-124.
- [13] BRABSON B B,PALUTIKOF J P. Tests of the Generalized Pareto Distribution for predicting extreme wind speeds[J]. Journal of Applied Meteorology,2000,39(9):1627-1640.
- [14] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999:69-70.
- [15] 衣育红,王绍武. 80年代全球气候突然变暖[J]. 科学通报,1992(6):528-531.