

三种废弃木质材料能源化利用技术的分析

高雪景, 司 慧, 常建民, 郭晓慧, 任学勇

(北京林业大学木质材料科学与工程研究所, 北京 100083)

摘要: 介绍废弃木质材料的分类与资源现状,从工艺及产物特性、技术经济性等方面,对快速热裂解液化、气化、压缩成型等能源化利用技术进行分析,探讨各种技术的优势、不足及发展前景,其中快速热裂解液化技术发展前景明朗,值得推广。建议根据废弃木质材料的种类和实际生产情况,合理选择技术种类。

关键词: 废弃木质材料; 生物质能源; 能源化技术; 工艺分析

中图分类号: TS69 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2011)06-0028-04

Analysis of Three Energy Conversion Technologies for Wood Wastes

GAO Xue-jing, SI Hui, CHANG Jian-min, GUO Xiao-hui, REN Xue-yong

(Institute of Wood-based Material Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper describes the classification and resources of wood wastes. To convert the wood waste to energy, the authors described the major advantages and disadvantages of three commonly-used bio-conversion techniques; fast pyrolysis, gasification, and pelletization. It is noted that a conversion technique should be adopted based on the characteristics and supply of wood wastes. The authors believed that the fast pyrolysis technology would have more potential in China.

Key words: wood waste; bio-energy; energy regeneration technology; technological analysis

废弃木质材料是指林木采伐、树木修剪、木质材料和木制品加工过程中产生的剩余物,以及经使用后废弃的木质材料、木制品、人造板等,均是可再利用的资源^[1]。废弃木质材料按来源可以分为:森林采伐剩余物、原木造材剩余物、木材加工剩余物、建筑和装修木质废料、家居和日常生活木质废料、包装木质废料等^[2]。近年来,我国城市基本建设的快速发展,促进了对木质材料的强力需求,同时也不可避免地产生了大量废弃木质材料。利用先进的能源化高新技术,将废弃木质材料作为能源加以开发利用,对于增加能源供应、节约资源的意义重大。

在一些经济发达的国家,废弃木材已作为优质的生物燃料加以利用。如德国,每年产生的废旧木材约

800万t,废物循环公司将其回收加工后,作为工业燃料销售给发电厂用于锅炉发电;哥斯达黎加借助联合国粮食和农业组织(FAO)的一个试点项目,将木材加工产生的大量木材剩余物,转变为固体成型燃料^[3-4]。

据统计,我国目前每年产生的采伐、造材剩余物约1.1亿t,由于技术等原因,仅20%用于能源用途,约2200万t;木材加工剩余物约3000万t,有30%可作能源利用,约1000万t^[5];每年产生的生活垃圾约1.5亿t,其中废弃木质材料约占4%,即600万t^[6]。多年来,国内也有一些企业尝试废弃木质材料的回收利用,但大多集中在加工成木塑复合材料、模压制品等板材制备方面^[7-8],关于废弃木质材料用于高效、清洁能源化的报道鲜见。

为此,笔者查阅大量资料,对国际上现有成熟的废弃木质材料能源化利用技术进行对比分析,以期为我国废弃木质材料的增值利用提供参考,促进我国经济发展和环境保护。

收稿日期: 2011-05-24; 修改日期: 2011-10-08

基金项目: 北京市哲学社会科学规划项目(10BeJG345, 09AeJG308); 北京市重点学科(北京市园林绿化废弃物快速热解高效利用技术研究)。

作者简介: 高雪景(1988—),女,北京林业大学硕士研究生。

通讯作者: 常建民,男,北京林业大学教授,博士生导师。

1 能源化利用技术的工艺分析

对废弃木质材料的能源化利用,目前国际上较常用的技术分为三类:物理转化技术(压缩成型),化学转化技术(包括直接燃烧、化学液化、气化、快速热裂解液化等),生物转化技术(包括酶法水解和微生物发酵等)。其中,快速热裂解液化、气化和压缩成型,是目前研究进展较快、应用较广、代表性较强的三种能源化利用技术。

1.1 工艺特性

1) 快速热裂解液化技术:是在无氧或有限供氧的条件下,采用中等反应温度(450~600 °C)、高升温速率(103~105 °C/s)和极短气体停留时间(小于 2 s),将木材的大分子热裂解为小分子的过程^[9]。

快速热裂解液化技术具有原料适应性强、产物可以完全利用、无污染物排放以及应用范围广等特点,可利用原料包括:林木采伐、树木修剪的剩余物、木材加工及建筑业中的废弃木质材料,及农林生产中的一些副产物,如果壳、果核等^[10]。与传统热解工艺比较,该技术反应时间短、热解速度快、温度控制精准、升温速率快、气相停留时间短,但其工艺条件较难控制,影响了生物油的产率。

近年来,加拿大、荷兰、英国、美国、瑞士和意大利等国,已研发出十几种热解设备及相应的技术,一些快速热裂解设备已达到商业化生产阶段,如加拿大 DynaMotive Energy Systems Corporation 公司已建立的 100 t/d 和 200 t/d 生物油工厂,所得大部分生物油用于燃烧发电。国内的浙江大学、上海交通大学、北京林业大学、吉林农业大学、中国科学院广州能源研究所等单位,也对快速热裂解液化技术进行了研究,目前基本上处于实验室小试和中试阶段。

2) 气化技术:是在一定的热力学条件下,以空气、水蒸气或氢气等作为气化剂(或称气化介质),通过热化学反应,使废弃木质材料中较高分子质量的有机化合物降解,变成较低分子质量的 CO、H₂、CH₄ 等可燃气体的过程^[11]。

气化技术的原料适应性强,理论上所有木质废弃材料均可以作为气化生产的原料。但是,木质废弃材料本身性质和成分的复杂性,会对气化的效率、强度,以及最终产品的产率、热值、碳转化率等有一定影响,因此,还需根据实际应用要求、设备和工艺等,确定所适用的原料^[10]。

气化是废弃木质材料等生物质制气的一种主要方式^[12],能量转化效率高(70%~75%),气体组对比

较稳定,气体燃烧过程中产生的 NO_x、SO₂ 较低,但洗气、冷凝等过程的污水排放,是目前气化技术的一个关键问题。

近年来,在瑞典、美国、意大利、德国等国家,应用固定床、流化床或气化炉气化废弃木质材料,产生可燃气体并用于发电,起到补充能源的作用。我国在气化技术和设备的开发上取得了一定的成效,目前在全国已经建成几百个生物质气化集中供气工程,其连续运行的实践表明,生物质气化技术在处理农林废弃物、减轻环境污染、实现低质能源的高质利用等方面,已经开始发挥积极的作用,正逐步成为农村能源的主要途径,但目前的技术水平与发达国家还存在着一定的差距。

3) 压缩成型技术:是将松散、细碎、无定形的废弃木质材料,在一定机械加压作用下(加热或不加热),压缩成密度较大的棒状、粒状、块状等成型燃料的过程^[13]。

该技术加工简单,产品成本较低、便于储存和运输,燃料密度大,热值与中质煤相当,燃烧充分、黑烟少、灰分低,热效率高,燃烧后无 CO₂ 排放, NO_x、SO₂ 及烟尘排放量很低^[14]。但是,压缩成型技术对原料的水分要求较高,在燃料制作的过程中耗电量较大。

欧美国家开发的壁炉、蓄热式炉、颗粒燃料炉等专用炉具,已形成了产业化,为压缩颗粒成型燃料提供了良好的市场^[13]。国内对于压缩成型技术的研究已开展 20 多年,目前已有厂家开始批量生产和市场化销售固体成型燃料,如 2006 年北京大兴区礼贤镇建立的农业部生物质固体成型燃料示范点,初步探索了生物质原料的收集、储存、运输一体化模式和运作经验,为生物质固体成型燃料产业化推广,提供了宝贵经验和有益探索。

三种技术的工艺特性比较,列于表 1。

表 1 三种废弃木质材料能源化利用技术的工艺特性比较^[12,14]

Tab. 1 Comparison of technological characteristics among three commonly-used bio-conversion techniques

项目	快速热裂解液化	气化	压缩成型
典型设备	流化床	固定床	螺旋挤压式成型机
温度/°C	450~600	400~600	150~250
压力	常压	常压	加压
原料尺寸/mm	<3	5~100	与产品尺寸相关
原料含水率/%	10	<25	15~25
主产物形态	液态	气态	固态
技术成熟程度	★★	★★★	★★★★
利用现状	中试阶段	试点示范	试点示范

由表 1 可见,在利用水平和方式上,三种废弃木质材料的能源化利用技术存在很大差异。气化技术对原料的要求较低、适应范围广;而快速热裂解液化技术对原料的要求较高,原料粒径和含水率均需控制在合适的范围内,对原料的加工处理、反应条件的控制、反应产物的分离和处理等要求更高。在技术成熟度上,快速热裂解液化技术尚处于试点试验阶段,存在不稳定因素;气化技术、压缩成型技术经过推广应用阶段,已经进入产业化初期,但从目前的应用状况来看,这两种技术还有许多方面有待于完善。

1.2 产物特性

1) 快速热裂解液化技术的产物有液体、固体和气体三种,其中液体产物为生物油(又称热解油),固体产物为热解炭,气体产物为不凝结气体。生物油可作为燃料或化工原料,热解炭可用作冶金工业的表面助熔剂、掺炭剂和活性炭,不凝结气体则可作为循环流化气继续使用。热裂解液化产物以生物油为主,产油率最高可达 80%^[14]。北京林业大学最新研制的自热式热裂解液化设备,热裂解 1 t 废弃木质原料,可生产约 6 000 kg 生物油、2 000 kg 热解炭、2 000 kg 生物燃气。

2) 气化技术产生的可燃气体,通常用于工业发电、热电联产、液体燃料合成、采暖和农作物产品烘干等^[12]。

3) 压缩成型技术生产的产品,可作为炊事、取暖、工业锅炉、电厂的燃料。

三种技术的产物特性比较列于表 2。快速热裂解液化技术的产物最为丰富,除主要产物生物油外,其副产物热解炭和不凝结气体也有较高的利用价值,但与气化技术、压缩成型技术相比,主产物生物油的利用更为复杂,还需要深入研究。三种能源化利用技术能够大力提高原料能流密度,提升能量品质,但目前仍然存在一些技术难题亟待解决。

表 2 三种废弃木质材料能源化利用技术的产物特性比较^[12,14]

Tab. 2 Product comparison among three bio-conversion techniques

项目	快速热裂解液化	气化	压缩成型
优点	产物可全部利用,应用范围广	可燃气体输送方便,燃烧充分,便于控制	便于储存和运输,燃烧性能好,热值高(15~17 MJ)
缺点	生物油具有高含氧量及低氢炭比,稳定性较差	不能灵活使用热值不同的废弃木质物原料	成型燃料在燃烧过程中有结焦现象

2 能源化利用技术的经济性分析

笔者根据 2010 年对北京市 12 个郊区及周边地区实地调研的数据,对三种能源化利用技术的经济性进行了分析。

2.1 快速热裂解液化技术

以邳州热解中试基地的喷动循环流化床快速热裂解液化生产生物油技术为例,建设一座废弃木质材料年处理规模 4 000 t 的热裂解液化工厂,以一年连续生产 300 d,热裂解液化设备的处理能力为 550 kg/h 计,相关投资构成、运行成本及收益情况为:

1) 投资成本:约 250 万元人民币,包括设备 190 万元,厂房建设及水电安装 30 万元,安装调试以及试生产 10 万元,流动资金 20 万元。

2) 运行成本:约 466 万元/年,包括原料成本费 120 万元、人工费 50 万元、水电费 8 万元、能耗费 190 万元、设备折旧费 42 万元、日常维护费 6 万元、其他费用(上述总量的 10%)42 万元。

3) 收益情况:按热解油产率 60%,保守估计热解生物油出厂价 3 000 元/t 计算,则年收入可达 720 万元。扣除相关费用,年利润为 254 万元。因此,企业运行 1 年,即可回收投资。

在生物油替代苯酚制备酚醛树脂胶黏剂项目中,假设制胶企业独立核算经济效益,按照生物油成本市场价格 3 000 元/t,工业苯酚价格 14 000 元/t,生物油全油替代苯酚的比例为 40%,苯酚在酚醛树脂胶中的含量按 27% 计算,则生产 1 t 生物油-酚醛树脂胶可以节约成本为:(14 000-3 000)×40%×27%=1 188 元。对于年产 1 万 t 胶的企业,每年将新增利润 1 千多万元;若生物质快速热裂解液化生产生物油项目,与生物油替代苯酚制备酚醛树脂胶粘剂项目合作投产,经济效益将更佳。

2.2 气化技术

氧化法气化技术对原材料的要求较低^[15],建立一个年处理废弃木质材料 4 000 t 的气化站,每 kg 原料可产气 2 m³,每天每户需气量 5~6 m³,大约可以为 4 400 户居民供气。

1) 投资成本:约 782 万元,包括管网和入户设备费 764 万元,安装调试以及试生产 8 万元,流动资金 10 万元。

2) 运行成本:每年约 136 万元,主要由原料成本 120 万元,人工费 10 万元、水电费 3 万元、日常维护费 1 万元构成。由于目前的气站大多是政府投资,因此不计折旧费用。

3) 收益情况:燃气的价格为0.3元/m³,年收入总计为240万元。扣除相关费用,年利润为104万元,企业需约8年才可回收投资成本。

2.3 压缩成型技术

以一条年处理4 000 t废弃木质材料的颗粒燃料生产线为例,其经济效益分析如下^[16]:

1) 投资成本:约125万元人民币,包括生产线购置费70万元,厂房建设及水电安装25万元,安装调试以及试生产10万元,流动资金15万元。

2) 运行成本约216万元/年,包括原料成本费120万元、人工费16万元、水电费10万元、粉碎、成型制造费24万元、易损易耗件12万元、设备折旧费6万元、产品包装费15万元、日常维护费3万元、其他费用10万元。

3) 按成型燃料的市场销售价格800元/t计算,年收入约320万元。则企业运行1年可回收投资。

3种技术的主要经济指标比较见表3。

表3 三种废弃木质材料能源化利用技术的经济性分析

Tab.3 Economic analysis for three bio-conversion techniques

项目	技术种类		
	快速热裂解液化	气化	压缩成型
投资成本/万元	250	782	125
年运行成本/万元	466	136	216
年收入/万元	720	240	320
年利润/万元	254	104	104
投资回收期/年	1年	8年	1年

综上分析可知,废弃木质材料压缩成型技术的投入费用较低,1年多便可收回全部投资。与气化技术、压缩成型技术相比,快速热裂解液化技术的运行费用较高,规模较大,但其达产运行后,不计生物油生产过程中相关副产品的收益,每年净利润就可达200多万元,1年内亦可收回全部投资。而且,快速热裂解液化技术的副产物固体炭,可以制备高性能活性炭,其价格在6 000元/t左右;不可冷凝气体也可用作燃料,冲抵一部分能源动力费用。如果将这两种副产品的收益计算在内,则项目经济效益会更显著。

3 结语

我国能源、资源消费量大,经济增长、环境保护、能源安全等方面面临多重压力,因此,废弃木质材料等生物质的能源化利用是今后发展新能源、实现循环经济的必然选择。现有的废弃木质材料能源化利用技术各有利弊,应针对废弃木质材料的种类选用。

尽管废弃木质材料的快速热裂解液化技术仍待完善,但其具有产物组分构成及用途丰富、能源转换效率高、收益大等特点,具有很大的发展潜力和应用前景。但是,还需借助相关高等院校、科研院所的研发能力强的优势,对快速热裂解液化技术的进料不够连续稳定、冷凝效率低和气固分离不彻底等问题,展开深入系统研究,从反应器结构、过程控制、生物油品质、存储和原料适应性等方面,不断改进技术成熟度。同时,相关部门可通过优惠政策、高新技术立项、差额优惠贷款等途径,吸收社会资金,加大对快速热裂解液化技术的投入,加快废弃木质材料能源化利用的市场化运行,促进我国废弃木质材料能源化利用技术的规模化应用。

参考文献:

- [1] 赵昭霞,孟水平.城市废弃木质材料的循环利用技术[J].中国资源综合利用,2005,11(11):38.
- [2] GB/T 22529-2008,废弃木质材料回收利用管理规范[S].
- [3] 陆仁书,花军.木材节约的重要途径:城市废弃木材利用[J].木材工业,2006,20(2):69-71.
- [4] 周冠武.哥斯达黎加将木材剩余物转变为绿色能源[J].国际木业,2007,37(11):51.
- [5] 田宜水.中国第二代生物燃料资源发展潜力分析[J].中国能源,2010,32(7):17-20.
- [6] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴(2010)[M/OL].
http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2010/indexch.htm,2010.
- [7] 刘曼红,周玉申,马延军.城市废弃木材的回收利用及其处理工艺[J].广东林业科技,2010,26(2):55-58.
- [8] 程瑞香,王炼.我国废旧木材的回收利用途径[J].林产工业,2006,33(4):9.
- [9] AV Bridgwater. Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,1999,51(1-2):3-22.
- [10] 刘一星.木质废弃物再生循环利用技术[M].北京:化学工业出版社,2005:6.
- [11] 董玉平,邓波,景元琢,等.中国生物质气化技术的研究和发展现状[J].山东大学学报(工学版),2007,37(2):1-7.
- [12] 马隆龙,吴创之,孙立.生物质气化技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [13] 田宜水,赵立欣,孟海波,等.中国生物质固体成型燃料标准体系的研究[J].可再生能源,2010,28(1):1-5.
- [14] 常建民.林木生物质资源与能源化利用技术[M].北京:科学出版社,2010:2.
- [15] 王爱玲,周中仁,佟瑞平,等.京郊2种生物质气化工程的比较及经济性分析[J].安徽农业科学,2009,37(26):12864-12865.
- [16] 李世密,寇巍,张晓健.生物质成型燃料生产应用技术及经济效益分析[J].环境保护与循环经济,2009,29(7):47-49.

(责任编辑 向琴)