

The Analysis and Outlook on Biomass Pyrolysis and Cofiring of Coal and Biomass Technology in China

Sijia Zhou¹, Qingcheng Wang²

¹ Thermal Energy and power Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai, China

² Thermal Energy and power Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai, China

Email: 295210705@qq.com, qingchengwang@hotmail.com

Abstract: Biomass application is the major factors in pyrolysis and combustion fields in China. The basic theories of biomass, the actual using conditions, the knowledge of biomass pyrolysis and cofiring of coal and biomass technology, including its problems are introduced in the paper. At the same time, some new biomass technology are researched and exploited, and some new technology ideas are also raised in the paper, there may be benefit to the development of biomass field in China.

Keywords: biomass; pyrolysis; Spouted Circulating Fluidized Bed Equipments; Vacuum Pyrolysis; Cofiring of Coal and Biomass

我国生物质热解与混燃新技术分析及展望

周思佳¹, 王清成²

¹ 上海应用技术学院, 上海, 中国, 200235

² 上海应用技术学院, 上海, 中国, 200235

295210705@qq.com, qingchengwang@hotmail.com

摘要: 在中国, 生物质主要应用在热解与混燃领域。以下, 简要介绍了生物质的基本理论、使用现状、生物质热解及与煤混燃技术的知识、存在的问题以及对当下几种应用新技术进行了一定的研究与拓展, 并提出了作者的一些技术设想, 以期对领域发展有所帮助。

关键词: 生物质、热解、喷动循环流化床、真空热解、混燃、新技术

1 引言

能源在国民经济中具有特别重要的战略地位, 在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。由于世界能源消耗剧增, 生态环境不断恶化, 人类社会和环境的发展受到严重威胁, 这一现状使得可再生清洁能源的开发利用越来越得到重视。

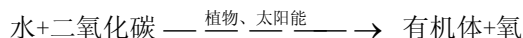
我国目前能源供需矛盾尖锐, 目前主要体现在能源利用率低、一次消费以化石燃料为主、能源结构不合理等等。而我国是农业大国, 有着丰富的生物质资源, 蕴藏量巨大, 因此, 开发和利用好生物质能, 对缓解我国能源、解决环境以及生态问题具有很高的价值, 同时也为能源的科技发展提出了重大的挑战。

周思佳, 男, 22岁, 学士; 王清成, 男, 38岁, 副教授, 博士, 研究方向: 工业节能、生物质利用和大气污染物控制。

2 生物质及其利用现状

2.1 生物质概述

生物质是指由光合作用而产生的有机体。光合作用将太阳能转化为化学能并存储在生物质中。光合作用是生命活动中的关键过程。光合作用简单的过程可表示为:



世界上生物质资源庞大、种类繁多, 一般我们将生物质分为以下几类: 农作物类、林作物类、水生藻类、光合成微生物类、其他类。

我国是农业大国, 每年生产的生物质总量达 60 亿吨干物质, 相当于年能耗的 2.5 倍, 单农作物秸秆就有 6 亿吨, 约折合为标准煤 2.15 亿吨。另外, 大中型畜牧厂排放的粪便和污水也达百万吨, 因此, 探索

生物质燃料的利用技术势在必行, 具有广阔的前景, 对于大力发展工业、电力等科技行业, 提倡可持续发展的中国来说, 具有十分重要的意义。

2.2 我国生物质发展现状

近年来, 我国能源形势严峻, 石油对外依存不断攀升, 而我国却有丰富的生物质资源。根据数据显示, 2006 年底, 全国累计生物质能发电装机容量已达 220 万千瓦, 完成生物质气化及垃圾发电 3 万千瓦, 在建的还有 9 万千瓦, 已建农村户用沼气池 1870 万口。之后又出台了相应的发展生物质能的配套措施及法律, 如《可再生能源法》, 明确了可再生能源包括生物质能在现代能源中的地位, 并在政策上给予支持, 以实现可持续发展的能源战略。

3. 生物质的热解及其现状

3.1 生物质热解技术

一般来说, 生物质热解是指生物质在无空气等氧化气氛情形下发生的不完全热降解, 以生成炭、可凝液体和气体产物的过程, 是一种不可缺少的热化学转换过程。

根据反应温度和加热速率的不同, 生物质热解工艺可分为慢速、常规和快速热解。慢速热解主要生成木炭; 中温及中等反应速率的热解可制成相同比例的气体、液体和固体产品; 快速热解使生物质中的有机高聚物分子在隔绝空气的条件下迅速断裂为短链分子, 从而最大限度的获得液体产品。可见, 生物质热解产物形式多样, 生成的可燃物质可满足不同领域, 不同工程、工艺和设备的要求。

3.2 生物质热解的现状

生物质热裂解有明显的优点: 1) 生物质热解产物为燃气、焦油或半焦, 可以根据不同的需要加以利用。2) 热解不需要催化剂, 产物包括了可燃气体、液体和固体。3) 无论在热解过程还是热解产物的燃烧, 都可有效的较低污染的排放, 简化污染控制。4) 生物质中的硫、重金属等有害成分大部分被固定在碳黑中, 可以从回收金属元素, 用于化工或冶金行业, 进一步减少环境污染。

但是, 我国生物质热解技术方面的研究进展较慢, 主要是因为研究以单项技术为主, 缺乏系统性, 且未考虑技术的综合运用及其与其他新能源的联合应用, 欧美等国相比于我国, 则更注重技术的开发, 特别是

在高效反应器研发、工艺参数优化、液化产物精制以及生物燃油对发动机性能的影响等方面, 我国与其存在明显差距。

4 生物质热解反应器概述

4.1 生物质反应器分类

(1) 机械接触式反应器: 通过一灼热的反应器表面直接或间接的与生物质接触, 从而将热量传递到生物质而使其高速升温达到快速热解, 主要的热量传递方式是热传导。比如: 烧蚀热解反应器等。

(2) 间接式反应器: 是由一高温表面或热源提供生物质热解的所需热量, 主要的热量传递方式为热辐射。

(3) 混合式反应器: 借助热气流或气固多相流对生物质进行快速加热, 其主导热量方式为对流换热。常见的循环流化床就是归于此类。

5. 生物质热解新技术研究

5.1 喷动循环流化床的生物质热解

5.1.1 典型循环流化床的原理

对于生物质来说, 流化床是理想的热解设备, 因为它适用于大多数通常不易燃烧、热值小, 处理能耗高的物质。其可有效地提高热解效率, 减少污染。循环流化床快速热解设备的工作原理是使热裂解副产品炭用于提供反应所需热量, 利用反应器底部的常规沸腾床内物料燃烧获得的热量加热砂子, 加热的砂子随着高温燃烧生产的气体向上穿过循环流化床进入反应器与生物质混合并传递给生物质热量。生物质获得热量后发生热裂解反应, 生成炭和挥发分。挥发分导出循环流化床, 产物炭和气体带出的砂子通过旋风分离器又回到燃烧室。

5.1.2 典型喷动床的原理

喷动床是一种特殊条件下的流化床。其内装有较为粗大的颗粒, 流体经由位于圆锥形底部中心处的一个小孔(喷嘴)垂直向上射入, 形成一个随流体流速的增高而逐渐上延伸的射流区。当流体喷射速度足够高时, 该射流区将穿透床层而在颗粒床层内产生一个迅速穿过床层中心向上运动的稀相气固流栓。当这些被流体射流夹带而高速向上运动的粒子穿过环绕四周缓慢向下移动的颗粒床层而升至高过床层表面的某一高度时, 由于流体速度的骤然减低, 颗粒会像喷泉一样因重力回落到环隙区表面而形成喷泉区。这些回落的颗

粒沿环隙区缓慢向下移动至床层下部,然后又渗入喷射区被重新夹带上来而形成颗粒的极有规律的内循环。

5.1.3 喷动循环流化床的研究

顾名思义,喷动循环流化床具有“喷动”和“流化”的双重特性。其中“循环”是指快速热解过程中所产生的不可冷凝气体用作循环流化介质,这实现了三者的有机结合。该设备基本消除了环隙区底部“死区”的出现及易黏结颗粒的团聚,解决了传统流化床内分层和节涌的问题,也无喷动床内环形区气固接触不良和高床层时喷动不稳定的缺点,且操作弹性大,易于调节,与生物质在流化床内的热解相比,喷动循环流化床作为生物质快速热解反应器的液体产率有明显提高。

5.1.4 一些技术设想

(1) 如果在物料与砂子充分混合之后,在开始快速传热的同时就使物料发生热解反应,相信会对热解的效率更好一些,至于未完全热解的物料,可在随后进入喷动流化床内再不断循环,直至完全热解。这样,既节约了加热的经济成本,使热解设备的结构更加紧凑,同时,也使物料充分热解,提高产率;使设备运行更加稳定,易于自动控制。

(2) 流化床在热解过程中易造成磨损及送灰器阻塞,笔者认为,对于磨损,使用耐磨损材料及增加保护层是最简单有效的办法,另外,加强管理,定期检查,更换相关设备零件是必需的。至于送灰器的阻塞,一是由于流化风和回料风量不够,可能会造成炉内的循环物料不足的情况,应提高其供风量及空气流速,二是送灰器内循环灰结焦造成的堵塞,而若减少管道的弯曲角度及弯曲角的数量;缩短管道的长度,防止温度减低引起的焦油流动性变差现象,可有效防止结焦。另外,笔者还认为,可以适当减少燃烧后的灰渣类物质在炉内的多次循环,在出口处用重力分选实施分离,尽可能用沙粒取而代之,防止其过度的循环,使一些物质在高温下变性,产生不利于工艺的杂质。排出的高温灰渣可用于预热冷空气,提高过程的热效率。最后,对于仍可能结焦的物质,可以在沙粒中添加一些可以清除结焦类物质的固体催化剂,如白云石等碳酸盐类矿物、以镍为代表的金属物质等,与沙粒掺混,后在循环过程中,一定气氛下会与焦油有机反应,最后使其变为小分子物质排出,起到了催化裂解的作用,效率一般在90%以上,减低了送灰器的堵塞可

能,同时也不会干扰反应过程的进行,有效地减少了停机维护及焦油清理的损失。

(3) 排出的高温烟气及灰渣可用来加热水,使其蒸发,通过蒸汽发生器进入汽轮机做功,最后使发电机发电供厂内使用或出售。另外,蒸汽也可冬天供暖,实现热电联产,充分利用所有热量。

5.2 生物质真空热解技术

5.2.1 技术原理及其特点

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,从而得到以液体燃料为主的技术。

真空热解液化技术的特点:体系内压力低;热解蒸汽停留时间短。

真空条件有利于热解反应的进行。体系压力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。

生物质真空热解的反应器包括多层真空热解磨反应器和熔盐加热真空热解反应等等。

5.2.2 一些技术设想

(1) 虽然生物质快速热解生成的大部分产品为液体燃料,但仍有一部分气体产物的存在,虽然产量不大,但是作为生物质工厂来说,这部分能量来源仍是十分可观的。利用这一点,相信可以节约不少的成本。例如,通过燃烧该热解后的生物质气体可用于生物质热解的热量来源;用于循环流化床热解技术环节中沙子加热的热量来源;加热水后产生蒸汽,用于厂内供暖及发电;另外,这部分气体的余热同样可用来加热进入燃烧室的空气,达到节能环保的要求。

(2) 另外笔者认为,若产生的生物质热解气体数量客观的话,可仿照炼铁行业高炉炉顶煤气的余压发电技术,利用气体压力驱动汽轮机膨胀做功,带动发电机发电的能量回收机组,回收原来在减压阀门中白白浪费的能量用于发电。这种方式不会消耗燃料,也不产生环境污染,经济效益明显增加。产生的电可并入厂内用电系统,节约支出。

6. 生物质与煤混燃技术研究

6.1 技术介绍

生物质与煤混燃也是当前热解研究的一个重要的方向。生物质与煤共燃可以降低硫氧化物、氮氧化物

及烟尘的含量,同时由于其混燃可在一般燃煤锅炉中进行,不必要进行大的改动,因此其投资成本低,抗风险能力强,不会对机组的安全稳定运行造成影响,是生物质最经济的利用方式。该技术分为以下两种方式:生物质与煤直接混燃、生物质与煤间接混燃。但无论是生物质与煤的直接混燃还是间接混燃,都具有以下的潜在效益:

(1) 降低温室气体排放:生物质被视为一种碳中性的燃料,用生物质燃料代替化石燃料就会减少温室气体的排放。

(2) 降低当地空气污染:除了二氧化碳,用生物质燃料代替化石燃料就会减少二氧化硫、氮氧化物及粉尘的排放。

(3) 确保能源安全:生物质混燃实际上是开发了一种本土能源资源。与核燃料不同,不存在安全问题。不需要特别的设备和防护措施。

(4) 开发生物质市场有益于改善农业结构、增加工作岗位、改善基础构成等

6.2 生物质与煤直接混燃

即煤与生物质使用同一加料设备及燃烧器。生物质与煤在给煤机的上游混合后送入磨煤机,按混燃要求的速度分配至所有的粉煤燃烧器。但因多数生物质含有大量纤维素并且容积密度非常小,会影响原有磨煤系统的效率,容易产生加料系统堵塞问题。此外,生物质和煤混燃时还应注意其混合流动特性,二者的混合流动特性取决于生物质的形态。

6.3 生物质与煤间接混燃

先把生物质转化为清洁的燃料形态,然后引入燃煤锅炉中燃烧。

一般分为:生物质气与煤混燃和生物质焦炭与煤混燃两种方式。前者是将气化作为生物质燃料的一种前期处理形式,气化后的气化产物通过热烟气管道进入燃烧室,锅炉运行时可能存在一些风险。后者是将生物质先热解,转化为高产率(60%~80%)的生物质焦炭,然后再将生物质焦炭与煤共燃。由此可见,无论哪种间接混燃的方法,都需对生物质有一个预处理的过程,这一前期的过程使投资成本可能高于直接混燃,而同时热解效率却也高于了直接混燃。所以,选择运用哪一种方法,必须综合考虑到当地的生物质情况,例如生物质种类,数量、热值等及企业的实际工况、生产能力和经济能力,不可盲目选择。

6.4 生物质与煤直接混燃的实验研究

在循环流化床燃煤中掺入生物质的比例对燃烧效

率有着非常明显的影响。曾有人对煤与不同质量百分比的稻草混合配对不同混燃工况下,进行了实验研究。结果发现,随着稻草质量百分比的增加,炉膛平均温度呈上升趋势,特别是在给料口的上方区域。这说明,掺入的稻草在降低着火温度的同时也提高了燃烧效率。同时,稻草较煤具有更高的反应活性,所以稻草很快即燃尽。

6.5 生物质与煤混燃技术对环境的影响

由于大部分生物质含硫量极少或不含硫(如木质燃料的S含量约为0.01%~0.04%,谷壳为0.05%,花生壳为0.02%),因此混燃能够有效降低 SO_2 的排放量。另外,因为生物质燃料中含有高含量挥发分,燃烧初期的氧气主要供生物质挥发分燃烧,从而使生物质和煤混燃的过程中形成贫氧区,限制了煤中燃料的N元素向氮氧化物的转化和 SO_2 的形成;同时生物质本身具有一定的木质素和腐植酸,它们具有巨大的比表面积,同时对 SO_2 有较强的吸附能力,延缓了 SO_2 的析出速度。加之生物质本身N含量远低于煤;物质秸秆又属于纤维结构,当挥发分析出后形成大量多孔性焦炭,促进了 NO_x 与焦碳的还原反应。可见,生物质与煤的混燃技术在环保方面的成绩是卓越的。

6.6 一些技术设想

(1) 在生物质热解的领域,笔者注意到,生产工艺上,始终是以煤、石油等常规能源来进行加热的,这除了是因为常规能源价格便宜,成本低廉外,更主要的是技术成熟,设备现成。但是常规能源随着人们使用状况的日益加剧,终将有用完的一天,因此,将眼光放远,注重可持续发展,才是更值得关注的话题。而我们知道太阳是个巨大、久远、无尽的能源,尽管辐射到达地球大气层的能量仅为其总辐射量的 22×10^8 分之一,但已高达 1.73×10^{14} kw,换句话说,太阳每秒钟照射到地球上的能量相当于 500×10^4 t煤,能否将太阳能的运用与生物质相结合呢?

(2) 我们知道,很多生物质是由能源作物或秸秆而来,内含大量水分。如果不进行预处理直接燃烧,可能会使热效率大大降低,同时,降低了炉内的温度,破坏了燃烧室内的温度分布,使水分白白地在里面加热后带着大量的热排出,造成极大的浪费。而太阳能干燥房的主要原理是:先用集热器对太阳辐射能进行收集,转化为热能,随后加热流入的空气,使其具有一定的温度。之后将加热好的热空气通入一个封闭的

温室中,将待干燥物中的水分带走,达到干燥的目的。这恰恰解决了干燥的问题,同时,其处理能力强,效率较高,也不会浪费常规能源及考虑污染排放问题和热量回收问题。

(3) 另外,根据太阳热量大而多的特点,近年来,经过不断的实验和研究,太阳炉终于问世。与一般工业用的电炉、电弧炉不同,它是运用聚光系统将太阳辐射集中在一个小面积上而获得的高温设备。由于太阳炉无杂质,可以获得 3500℃ 左右的高温,因此,可广泛用于冶金和材料科学领域,而这一温度,对于生物质的气化和热解是绰绰有余的,但也许是成本高于煤炭、石油的原因,在生物质领域至今仍未有与其他新能源结合利用的先例。综上所述,积极开发太阳能热解生物质能技术,致力于降低其成本,不但能缓解目前紧张的能源危机,对于地球环境,亦是有限大的帮助作用,可行性是很大的,不妨一试。

7. 结束语

能源短缺是 21 世纪人类将面临的重大问题,人类不得不开发出新的可再生能源来替代日益枯竭的化石能源。此外,低品位的燃料也已经不适应于人类文明发展的需求。生物质能源作为一种新型能源,具有常规能源无可比拟的众多优点,作为“绿色煤炭”的生物质应是人类能源研究的主要方向。然而,目前生物质快速热解技术还存在一些问题,如成本高、需要专用的燃料处理设备等。因此,这是一项长期的工作,需要解决可能会遇到的问题。政府应对生物质能在内的新能源给予更大力度的支持,并为其寻求更广泛的应用领域与更成熟的研发利用技术,使新能源技术在中国早日实现产业化应用。

References (参考文献)

- [1] Fang He, Weiming Yi. Plants of Using of Biomass Pyrolysis Produce Bio-oil In The Foreign Country[J], *Journal of Shandong Institute of Eng*, 1999,9(13).
何芳、易维明等. 国外利用生物质热解生产生物油的装置. 山东工程学院学报, 1999, 9(13)
- [2] Yang Suwen, Qiu Keqiang. Biomass Vacuum Pyrolysis Liquefaction System for Bio-oil[J], *Agricultural Machinery*, 2009,4(40).
杨素文、丘克强. 基于生物质真空热解液化技术的生物油制备. 农业机械学报, 2009, 4(40)
- [3] REN Xueyong, CHANG Jianmin. Review of Study on Character and Development of Spouted Circulating Fluidized Bed Equipments for Biomass Fast Pyrolysis[J], *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2009,10(29)
任学勇、常建民等. 喷动循环流化床生物质快速热解设备的特性分析与发展研究综述. 林产化学与工业, 2009, 10(29)
- [4] Mi Tie, Chen Hanping. Experimental studies on biomass pyrolysis in the bench-scale fluidized bed reactor[J], *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science Edition)*, 2005,9(33)
米铁、陈汉平等. 生物质的流化床热解实验研究. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 9(33)
- [5] Li Xiaojuan, Chang Jianmin. Prospect and Technical Status of Fast Pyrolysis of Biomass[J], *FORESTRY MACHINERY & WOODWORKING EQUIPMENT*, 2009,1(37)
李晓娟、常建民等. 生物质快速热解技术现状及展望. 林业机械与木工设备, 2009, 1(37)
- [6] Liu Kang, Jia Qingzhu. Development on Biomass Pyrolysis Technology[J], *CHEMICAL INDUSTRY AND ENGINEERING*, 2008,9(25).
刘康、贾青竹等. 生物质热解技术研究进展. 化学工业与工程, 2008, 9(25).
- [7] Yang Suwen, Qiu Keqiang. Present research of vacuum pyrolytic liquefaction technology for biomass[J], *Modern Chemical Industry*, 2008,1(28).
杨素文、丘克强. 生物质真空热解液化技术研究现状. 现代化工, 2008, 1(28)
- [8] Dai Xianwen, Wu Chuangzhi. Solid biomass pyrolysis and Liquefaction in the bench-scale fluidized bed[J], *ACTA ENERGIAE SOLARIS SINICA*, 2001,4(22).
戴先文、吴创之等. 循环流化床反应器固体生物质的热解液化. 太阳能学报, 2001, 4(22)
- [9] Nan Zhandong, Huangfenghong. The Technology of Biomass Fast Pyrolysis in the Spout-fluidized Bed with a Draft Tube[J], *Biomass Chemical Engineering*, 2007,9(41)
南占东、黄凤洪等. 导向喷动流化床生物质快速热解技术. 生物质化学工程, 2007, 9(41)
- [10] Hao Zhuoyue, Wang Yanjia. The feasibility analysis of the straw-load hybrid burning technology in coal-fired power plant in China[J], *Water & Electricity & Machinery*, 2009,28(12).
郝倬跃、王彦佳. 燃煤电站混燃秸秆技术在中国的可行性探讨. 水利电力机械, 2009, 28(12)
- [11] Ma Zhigang, WU Shuzhi. Technical Analysis on Cofiring of Coal and Biomass[J], *Power system engineering*, 2009,11(25)
马志刚、吴树志等. 生物质与煤混合燃烧的技术评述. 电站系统工程, 2009, 11(25)
- [12] Ni Hao, Wang Jun. The Technology of Biomass and Coal direct Combustion[J], *Energy Research and Information*, 2009,25(3)
倪昊、汪军等. 生物质与煤直接共燃技术. 能源研究与信息, 2009, 25(3)
- [13] Zhang Jianan, Liu Dehua. The Technology of Biomass Utilization[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
张建安、刘德华. 生物质利用技术. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [14] Huang Suyi. The Introduction of Energy[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
黄素逸. 能源概论. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [15] Zuo ran. The Introduction of Renewable Energy. Beijing: China Machine Press, 2008.
左然. 可再生能源概论. 北京: 机械工业出版社, 2008.