

# 生物质能利用技术的研究进展

郭海霞<sup>1</sup>, 左月明<sup>1</sup>, 张 虎<sup>2</sup>

(1. 山西农业大学工学院, 山西 太谷 030801; 2. 吉林农业大学工程技术学院, 长春 130118)

**摘 要:** 生物质能是可再生能源的组成部分。生物质能的开发利用为能源和生态问题的解决提供了一条新的思路。为此, 对近年来国内外生物质能利用技术的研究进展进行了综述; 分析了目前我国生物质能源开发技术存在的主要问题; 提出我国生物质能源研究开发的发展前景和建议。

**关键词:** 生物质能; 利用技术; 研究进展

中图分类号: S216

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2011)06-0178-08

## 0 引言

由于常规能源资源储量有限, 且不可再生, 在当今化石能源渐趋枯竭、环境压力日益沉重、需求和油价持续上涨以及世界能源资源争夺战愈演愈烈的情况下, 世界能源结构转变为以可再生能源为主。如何合理开发包括生物质能源在内的、洁净可再生的能源已成为 21 世纪人类面临的新课题<sup>[1-2]</sup>。

生物质是植物通过光合作用生成的有机物, 包括植物、动物及微生物以及由这些生命体排泄和代谢的所有有机物质。生物质能是指直接或间接通过植物的光合作用, 将太阳能以化学能的形式贮存在生物质体内的一种能量形式, 能够作为能源而被利用的生物质能统称为生物质能。生物质能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及动物粪便等<sup>[3]</sup>。生物质能是在煤炭、石油和天然气之后居于世界能源消费总量第 4 位的能源, 在整个能源系统中占有重要地位。生物质能具有特点: 一是可再生, 只要太阳辐射存在, 绿色植物的光合作用就不会停止, 生物质能就永不枯竭。二是储量丰富, 据统计, 地球上每年通过绿色植物光合作用所生成的生物质能总量约 2 200 亿 t 相当于  $3 \times 10^8$  kJ 的能量, 约为现在全球年耗能总量的 10 倍。我国每年生产的生物质中农作物秸秆约为 7 亿 t 薪柴 1.58 亿 t 粪便 4.43 亿 t 垃圾 1.43 亿 t 农业

加工残余物 0.86 亿 t, 目前, 实际使用量为 2.2 亿 t, 还有很大的开发潜力<sup>[4]</sup>。三是可替代性, 正在开发的可再生能源中, 生物质能源在化学分子构成、能源利用形态上均与化石能源非常相似, 它在不必要对已有工业技术作任何改进的前提下即可替代常规能源, 对常规能源有最大的替代能力<sup>[5]</sup>。四是低污染性, 生物质转化过程中排放的二氧化碳量等于生长过程中吸收的量。可见, 生物质是一种二氧化碳零排放的可再生资源。同时, 生物质的挥发组分高, 炭活性高, 硫、氮和灰分含量少, 在利用转化过程中的硫化物、氮化物和粉尘排放很低或较少。因此, 生物质作为能源资源比石油、煤炭和天然气等燃料在生态环境保护方面具有很大的优越性。

综上所述, 开发生物质能有助于减轻温室效应和维持生态良性循环, 是解决能源和环境问题的有效途径之一, 具有广阔的前景。

## 1 国内外生物质能利用现状

### 1.1 国外生物质能利用现状

1992 年, 世界环境与发展大会后, 欧美国家开始大力发展生物质能。欧盟规划 2010 年可再生能源比例达 12%, 每年可替代 2 000 万 t 石油, 其中成本较低的生物质能约占 80%。许多国家都制定了相应的开发研究计划, 如日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、美国的能源农场和巴西的酒精能源计划, 纷纷投入大量的人力和资金从事生物质能的研究开发<sup>[6]</sup>。以美国、瑞典和奥地利等国为例, 生物质转化为高品位能源利用已具有相当可观的规模, 分别占该国一次能源消耗量的 4%、16% 和 10%<sup>[7]</sup>。

巴西是目前世界上唯一不供应纯汽油的国家, 生物能源在国家能源消费结构中的比重很大。20 世纪

收稿日期: 2010-08-12

基金项目: 山西省高校产业化项目 (20090014); 山西农业大学青年基金资助项目 (2009003)

作者简介: 郭海霞 (1977-), 女, 山西平遥人, 讲师, 硕士, (E-mail) ghx0354@163.com。

通讯作者: 左月明 (1954-), 男, 山西忻州人, 教授, 博士生导师, (E-mail) zyueming88@yahoo.cn。

70年代中期起,巴西开始利用甘蔗生产燃料乙醇。1996-1997年度生产燃料乙醇 137亿 L,有 400万辆汽车采用纯乙醇,大大减少了进口石油的外汇支出<sup>[8]</sup>。经过 30a的努力,巴西已建成完整的燃料乙醇产业链。巴西从 2008年 1月 1日起开始推行生物柴油计划。政府从 2009年 7月 1日起,将生物柴油在普通柴油中的比例从 3%提高到 4%,2010年达 5%。

美国在生物质利用方面处于世界领先地位。据报道,美国有 350多座生物质发电站,生物质能发电的总装机容量已超过 10 000MW,单机容量达 10~25MW;预测到 2010年,生物质发电装机容量将达到 13 000MW。20世纪 70年代研究开发的颗粒成型燃料在美国、加拿大和日本等国得到推广应用,并研究开发了专门使用颗粒成型燃料的炉灶,用于家庭或暖房取暖,在北美有 50万户以上家庭使用这种专用取暖炉。美国的颗粒成型燃料年产量达 80万 t;美国在 20世纪 70年代末制定了“乙醇发展计划”,开始大力推广车用乙醇汽油。并加快木柴发电和燃料乙醇的启用,利用农作物及其废物制造乙醇作为汽车燃料。计划到 2010年,生物质可提供约 5 300万 t乙醇<sup>[6]</sup>。

生物质能是加拿大仅次于水电的最重要可再生能源,它为加拿大提供了 6%的初级能源。到 2020年,加拿大可再生能源(不含水电),特别是生物质能,将增长 56%,达到  $9.83 \times 10^{14}$  kJ/a。加拿大用木质原料生产的乙醇产量为 17万 t。比利时每年用甘蔗为原料,制取乙醇量达 3.2万 t以上。意大利已拥有 9家生物柴油的生产厂<sup>[8]</sup>。

如今,国外的生物质能技术和装置多已达到商业化应用程度,实现了规模化产业经营。

## 1.2 国内生物质能利用现状

在我国,生物质能源不仅能缓解能源紧张和减轻环境压力,其特殊的意义还在有助于解决“三农”问题。我国的生物质能源十分丰富,农林等有机废弃物年产出实物量为 20.29亿 t;具有广阔的开发前景。生物质能占农村总能耗的近 70%,占全国总能耗的近 1/4。据预测,2050年我国生物质能开发利用量将达到 275M t标准煤,占一次能源供应量的 8%。

我国的生物质能开发主要是沼气、秸秆热裂解制气、秸秆固化成型、燃料乙醇和生物柴油等 5大领域。其中,沼气比较成熟已进入大面积推广阶段;燃料酒精已加入汽油在 10个省份推广使用。2010年,我国生物质固体成型燃料年利用量达到 100万 t到 2020年可达到 5 000万 t;生物质成型燃料已进入工程化试验阶段。预计,2010年我国生物柴油年生产量将达

到 100万 t到 2020年达到 900万 t

## 2 生物质能利用技术及发展趋势

生物质作为能源使用已有几千年<sup>[9]</sup>。至今,世界上仍有 15亿以上的人口以生物质作为生活能源,但生物质的利用不再是简单地燃烧,而是基于现代技术的高效利用。生物质能转化利用途径主要包括燃烧、热化学法、生物化学法和物理化学法等,可转化为二次能源,即热量或电力、固体燃料(木炭或成型燃料)、液体燃料(生物柴油、生物原油、甲醇、乙醇和植物油等)和气体燃料(氢气、生物质燃气和沼气等)<sup>[10]</sup>。目前,在生物质能源利用上主要集中在直接燃烧、生物质气化、生物质液化和生物质固化技术的研究开发。

### 2.1 生物质燃烧技术

生物质因具有低污染性特点,特别适合燃烧转化利用,是一种优质燃料。生物质燃烧所产生的能源可应用于炊事、室内取暖、工业过程、区域供热和发电及热电联产等领域。工业过程和区域供暖主要采用机械燃烧方式,适用于大规模生物质利用,效率较高,配以汽轮机、蒸汽机、燃气轮机或斯特林发动机等设备,可用于发电及热电联产<sup>[10]</sup>。

在国外,以高效直燃发电为代表的生物质发电技术已经比较成熟。丹麦已建立了 15家大型生物质直燃发电厂,年消耗农林废弃物约 150万 t提供丹麦全国 5%的电力供应。目前,以生物质为燃料的小型热电联产(装机多为 10~20MW)已成为瑞典和德国的重要发电与供热方式<sup>[11]</sup>。芬兰从 1970年就开始开发流化床锅炉技术,现在这项技术已经成熟,并成为生物质燃烧供热发电工艺的基本技术。美国的生物质直接燃烧发电占可再生能源发电量的 70%。奥地利成功推行建立燃烧木质能源的区域供电计划,目前已有八九十个容量为 1 000~2 000kW的区域供热站,年供热  $10 \times 10^9$  MJ。瑞典和丹麦正在实行利用生物质进行热电联产的计划,使生物质能在提供高品位电能的同时满足供热的要求<sup>[12]</sup>。

秸秆燃烧发电在中国正成为现实,中国首台秸秆混燃发电机组已于 2005年底在华电国际枣庄市十里泉发电厂投运。该机组每年可燃用 10.5万 t秸秆,相当于 7.56万 t标准煤。另外,河南许昌、安徽合肥、吉林辽源、吉林德惠和北京延庆等地也在建设秸秆发电厂。由内蒙古普拉特交通能源有限公司投资 4.2亿元建设的包头垃圾环保发电厂,占地 8.85hm<sup>2</sup>,按照日处理城市原始垃圾 1 200~1 500t设计,建 3条垃圾焚烧处理线(另备用 1条处理线),3台 12MW 凝汽式汽

轮发电机组,并预留供热能力,可实现年售电 2.1 亿 kW·h 预计 2011年 9月投入使用。

生物质直接燃烧发电的技术问题主要是锅炉的设计制造、生物质原料的收集与运输和原料预处理设备研制。

## 2.2 生物质气化技术

生物质气化技术是一种热化学处理技术。气化是以氧气(空气、富氧或纯氧)、水蒸气或氢气等作为气化剂,在高温条件下通过气化炉将生物质中可燃部分转化为小分子可燃气(主要为一氧化碳、氢气和甲烷等)的热化学反应。在生物质气化过程中,所用的气化剂不同,得到的气体燃料也不同。典型的气化工艺有干馏工艺、快速热解工艺和气化工艺。其中,前两种工艺适用于木材或木屑的热解,后一种工艺适用于农作物(如玉米、棉花等)秸秆的气化<sup>[13]</sup>。气化可将生物质转换为高品质的气态燃料,直接应用于锅炉燃料或发电,或作为合成气进行间接液化以生产甲醇、二甲醚等液体燃料、化工产品或提炼得到氢气<sup>[10]</sup>。

### 2.2.1 生物质气化设备

1883年诞生的最早的气化发生器是以木炭为原料,气化后的燃气驱动内燃机,推动早期的汽车或农业排灌机械的发展。1938年,建成了世界上第 1台气化炉—上吸式气化炉。1942年,美国建成了第套石油催化裂化流化床反应器。1973年的石油危机后,各国加强了对气化技术及其设备的研发,主要设备有固定床气化器和流化床气化器。1987年,在奥地利 POLS 纸浆厂建成具有工业规模的循环流化床气化装置。1996年,鲁骑公司在德国柏林 Rudersdorf 公司建成当时世界上最大规模的循环流化床气化反应器<sup>[14-18]</sup>。瑞典已生产出 2.5k~2.5MW 的下吸式生物质气化炉,其科研机构正致力于循环流化床和加压气化发电系统的研究<sup>[19]</sup>。

国外生物质气化装置一般规模较大,自动化程度较高,工艺较复杂,以发电和供热为主,如加拿大摩尔公司(Moore Canada Ltd)设计和发展的固定床湿式上行式气化装置、加拿大通用燃料气化装置有限公司(Omnifuel Gasification System Limited)设计制造的流化床气化装置、美国标准固体燃料公司(Standard Solid Fuels Inc)设计制造的炭化气化木煤气发生系统以及德国茵贝尔特能源公司(Inbert Energietechnik GmbH)设计制造的下行式气化炉—内燃机发电机组系统等等,气化效率可达 60%~90%。近年来,美国在生物质热解气化技术方面有所突破,研制出了生物质综合气化装置—燃汽轮机发电系统成套设备,为大规模发

电提供了样板<sup>[20]</sup>。

我国在生物质能方面最早研究的是汪家鼎关于流化床褐煤低温干馏技术,20世纪 80年代以后生物质气化技术又得到了较快的发展<sup>[19]</sup>,到 2005年底,全国已建成秸秆气化集中供气站 639处,供气 15 000万 m<sup>3</sup>,用户 22 000户。我国自行研制的集中供气和户用气化炉已形成了多个系列的炉型,如中国农业机械化科学研究院研制的 ND 系列生物质气化炉;江苏吴江县生产的稻壳气化炉,利用碾米厂的下脚料驱动发电机组,功率达到 160kW,已达到使用阶段;中科院广州能源所对上吸式生物质气化炉的气化原理和物料反应性能做了大量试验,并研制出 GSQ 型气化炉;大连市环境科学设计研究院研制的 LZ 系列生物质干馏热解气化装置,建成了可供 1 000 户农民生活用燃气的生物质热解加工厂;云南省研制的 QL-50 和 60 型户用生物质气化炉已通过技术鉴定,并在农村进行试验示范;中国林业科学院林产化学工业研究所研究开发了集中供热、供气的上吸式气化炉,先后在黑龙江省和福建省得到工业化应用,其气化效率达 70% 以上<sup>[21]</sup>;江苏省研究开发的内循环流化床气化系统产生接近中热值的煤气,供乡镇居民使用;山东省能源研究所研究开发的下吸式气化炉在农村居民集中居住地得到较好的推广应用,并已形成产业化规模<sup>[19]</sup>。

我国气化炉主要集中在固定床生物质气化炉,而流化床生物质气化炉比固定床生物质气化炉具有更大的经济性,应该成为我国今后生物质气化设备研究的主要方向。

### 2.2.2 沼气

沼气是指有机物质(如作物秸秆、杂草、人畜粪便、垃圾、污泥及城市生活污水和工业有机废水等)在厌氧条件下,通过功能不同的各类微生物的分解代谢,最终产生以甲烷(CH<sub>4</sub>)为主要成分的气体。此外,还有少量其它气体,如水蒸气、硫化氢、一氧化碳和氮气等。沼气发酵过程一般可分为 3 个阶段:水解液化阶段、酸化阶段和产甲烷阶段。沼气发酵包括小型户用沼气池技术和大中型厌氧消化技术。

瑞典在沼气开发与利用方面独具特色,利用动物加工副产品、动物粪便、食物废弃物生产沼气,还专门培育了用于生产沼气的麦类植物,沼气中含甲烷 64% 以上。瑞典由麦类植物生产沼气,除沼气被用做运输燃料外,所产生的沼肥又被用于种植。瑞典 Lund 大学开发了“二步法”秸秆类生物质制沼气技术,并已进行中间试验,还开发了低温高产沼气技术,可在 10°C 条件下产气<sup>[22]</sup>。瑞典还用沼气替代天然气。美国纽

约州康奈尔大学 (Cornell University) 的植物学科学家发明了一种分离沼气中有毒物质硫化氢的新办法, 去除硫化氢后的沼气更加环保。

我国有“世界沼气之乡”的美称。2004 - 2009年, 中央已经投资了 190 亿元, 建了 3 050 万户小沼气和 39 500 个沼气工程, 生产沼气约 122 亿  $\text{m}^3$  /a, 生产沼肥约 3 85 亿 t/a, 形成了成熟的沼气技术和科学的建设模式<sup>[23]</sup>。

填埋垃圾制取沼气也是处理城市生活垃圾、有效利用生物质能的主要方法。杭州天子岭垃圾填埋场是我国第一座大型按卫生填埋要求设计, 并采用合理填埋规划和工艺的城市生活垃圾无害化处理工程, 1991 年 6 月正式运行。山东省科学院能源研究所对秸秆在发酵过程中的物料特性和微生物菌群对秸秆的作用原理为研究出发点, 开发了简单、快速、高效的秸秆预处理技术和专门适用于秸秆的高效厌氧发酵反应器, 秸秆的消化率和产气率得到很大提高, 克服了秸秆沼气发酵进出料难的技术难题, 实现了进出料的机械化与自动化。

沼气可用于发电, 目前成熟的国产沼气发电机组的功率主要集中在 24~ 600kW 这个区段。从沼气工程的产气量来看, 有不少沼气工程适宜配建 500kW 以上的沼气发电机组。

推进沼气综合利用, 不仅要高质利用沼气, 还要利用好沼渣沼液, 形成综合性的技术开发, 这将有助于种植业、加工业、养殖业、服务业和仓储业的发展。

### 2.2.3 生物质气化发电

生物质气化发电技术是生物质通过热化学转化为气体燃料, 将净化后的气体燃料直接送入锅炉、内燃发电机或燃气机的燃烧室中燃烧发电。

农林生物质发电产业主要集中在发达国家, 印度、巴西和东南亚等发展中国家也积极研发, 或者引进技术建设相关发电项目。目前, 欧洲和美国在利用生物质气化方面处于世界领先地位。美国建立的 Battelle 生物质气化发电示范工程代表生物质能利用的世界先进水平, 可生产中热值气体。美国纽约的斯塔藤垃圾处理站投资 2 000 万 \$, 采用湿法处理垃圾, 回收沼气, 用于发电, 同时生产肥料。印度 Anna 大学新能源和可再生能源中心最近开发研究用流化床气化农林剩余物和稻壳、木屑、甘蔗渣等, 建立了一个中试规模的流化床系统, 气体用于柴油发电机发电。芬兰是世界上利用林业废料和造纸废弃物等生物质发电最成功的国家之一, 其技术与设备为国际领先水平。芬兰最大的能源公司—福斯特威勒公司是具有

世界先进水平的燃烧生物质循环流化床锅炉的制造公司, 该公司生产的发电设备主要利用木材加工业、造纸业的废弃物为燃料, 最大发电量为 30 万 kW, 废弃物的最高含水量可达 60%, 排烟温度为 140℃, 热效率达 88%<sup>[17]</sup>。

我国生物质气化发电技术研究始于 20 世纪 60 年代, 具有代表性的是壳式气化发电系统。其 160kW 和 200kW 生物质发电设备已得到小规模应用<sup>[21]</sup>。

生物质气化中对气化气体的净化、废水处理及产生大量焦油的合理处理都是生物质气化技术急需解决的瓶颈问题, 因此将焦油裂解技术和工艺成为研究的重点。利用我国现有技术, 研究开发经济上可行、效率较高的生物质气化发电技术将成为生物质高效利用的一个主要课题。

在我国农村都是以户为生产单位, 虽然我国生物质资源丰富, 但资源比较分散, 在原料收集和转化过程中的投入较高, 使原料总成本居高不下, 这给气化技术的规模化应用造成了障碍。为了就地取材, 节约成本, 还应积极发展农村户用小型气化设备的研制。

### 2.3 生物质液化技术

生物质能是唯一能转化为液体燃料的可再生能源。生物质液化技术是把固体状态的生物质经过一系列化学加工过程, 使其转化成液体燃料 (主要是指汽油、柴油、液化石油气等液体烃类产品, 有时也包括甲醇和乙醇等醇类燃料) 的清洁利用技术。根据化学加工过程技术路线的不同, 液化可分为直接液化和间接液化<sup>[10]</sup>。目前, 生物质液体燃料主要包括燃料乙醇、生物柴油和二甲醚等。

#### 2.3.1 燃料乙醇

燃料乙醇是目前世界上生产规模最大的生物能源。燃料乙醇技术是利用酵母等乙醇发酵微生物, 在无氧的环境下通过特定酶系分解代谢可发酵糖生成乙醇<sup>[21]</sup>。乙醇以一定的比例掺入汽油可作为汽车燃料, 替代部分汽油, 使排放的尾气更清洁<sup>[24]</sup>。按原料来源可分为糖质原料、淀粉原料和纤维素原料<sup>[25]</sup>。

将糖或淀粉发酵生产燃料乙醇是传统的成熟工艺, 利用纤维素原料生产乙醇是今后发酵法生产乙醇的重点发展方向之一。目前, 美国国家可再生能源实验室 (NREL) 进行同时糖化和共发酵工艺 (SSCF) 的研究, 把葡萄糖和木糖的发酵液放在一起用于发酵的微生物。与单纯用葡萄糖发酵菌和单纯利用五碳糖发酵菌相比, 乙醇的产量分别提高 30% ~ 38% 和 10% ~ 30%。NREL 还建立了一套日处理生物质 1t 规模的中试装置, 积极开发基于木质纤维素类原料燃料乙醇生

产技术, 并进行综合技术分析。美国马斯科马 (Mascoma) 公司开发的统合生物处理技术是利用纤维类生物质为原料、低成本生产生物燃料的加工工艺。公司利用工程化微生物 (包括令纤维素发酵) 转化的耐热菌, 而不是成本高昂的纤维素酶, 一步实现纤维素至乙醇的转化。美国爱荷华州立大学 (Iowa State University) 的研究人员正在开发利用热化学催化技术, 从植物生物质中高效提取乙醇的综合体系。英国英力士公司 (NEOS) 已经掌握了将生活垃圾转变为燃料的技术工艺, 并计划到 2011 年底大规模采用这项工艺生产燃料。在生产过程中, 加热垃圾产生气体, 气体和某些细菌反应产生乙醇, 乙醇经过净化变为燃料。

酶在化学或生物化学中由于成本高, 是纤维素或生物质转化为乙醇的一大障碍。美国南达科达州立大学研究人员于 2010 年 7 月 19 日宣布, 开发了使酶重复利用于生产纤维素乙醇过程的方法。结果表明, 将酶使用 5 次取得成功, 但活性从 100% 降低到 40%, 仍可保持酶原来活性的 40%。

由于木质素、半纤维素对纤维素的保护作用以及纤维素自身的晶体结构, 使得催化剂很难与纤维素接触, 直接影响其糖化水解以及发酵的过程。A. Wojcica 和 A. Pekarovicova 报道了超声波处理法对酶水解和发酵的影响。超声波能碎解木质素大分子, 影响纤维的化学性能和物理结构。Kitchaiya 等研究了微波处理木质纤维对酶水解的影响。在常压下, 240W 的微波处理稻草或蔗渣浸入甘油中 10min 后, 反应温度 200℃ 时, 还原糖浓度提高两倍<sup>[26]</sup>。

据有关部门统计, 在 2004-2006 年两年内, 国内以生物燃料乙醇或非粮生物液体燃料等名目提出的意向建设生产能力已超过千万吨。中国成为继巴西、美国之后的全球第三大生物燃料乙醇生产国和消费国。我国现在已经开始在交通燃料中使用燃料乙醇。以非粮原料生产燃料乙醇的技术已初步具备商业化发展条件。目前, 中粮集团在河北、广西、内蒙古等 3 地已有共计 80 万吨乙醇项目进入前期准备阶段, 这些项目将避免直接以玉米或小麦等粮食为原料, 为我国非粮乙醇奠定良好的基础。华东理工大学承担的“纤维素废弃物制取乙醇技术”课题已打通了纤维素原料酸水解制取乙醇的工艺路线, 在国内首次建成了由纤维素废弃物年产酒精 600t 的示范工程, 累计运行超过 1000h 通过生物和热转化方法有机的结合, 开发了水解残渣快速裂解液化、活性炭的制备以及纤维素酶水解等工艺技术。该系统将成为我国自主开发纤维素原料生产燃料乙醇技术的中试研究实验平台, 为工业

示范放大提供技术基础。农业部规划设计研究院承担的“甜高粱茎秆制取乙醇技术”课题, 发展了甜高粱茎秆固体发酵工艺。甜高粱茎秆制取乙醇技术成果的推广应用, 不仅形成具有中国特色的燃料乙醇发展模式, 还开辟了具有战略性的能源农业和生物质能源产业, 对我国实现可持续发展具有重要意义。据记者初步统计, 已涉足乙醇汽油业务的上市公司有丰原生化、S 吉生化、华资实业、广东甘化、敦煌种业、荣华实业和华冠科技等<sup>[27-28]</sup>。

我国发展燃料乙醇应坚持“非粮”原则, 纤维素生产乙醇在技术上已有相应进步, 是未来生物质能源技术与产业化利用的发展方向。

### 2.3.2 生物柴油

生物柴油是以各种油脂 (包括植物油、动物油脂和废餐饮油等) 为原料, 经过转酯化加工处理后生产出的一种液体燃料, 生物柴油可作为柴油的替代品。目前, 工业上生产生物柴油的方法主要是酯交换法, 包括酸或碱催化法、生物酶催化法、工程微藻法和超临界法等。

近几年来, 国内外较多研究采用脂肪酶催化酯交换反应生产生物柴油, 即用动植物油和低碳醇通过脂肪酶进行转酯化反应, 制备相应的脂肪酸酯。加拿大 BIOX 公司将 David Bookcock 公司开发的技术 (美国专利 6642399 和 6712867) 推向工业化。该工艺使转化速度和效率提高, 而且采用酸催化步骤使含游离脂肪高达 30% 的任意原料转化为生物柴油。日本大阪市立工业研究所成功开发使用固定化脂酶连续生产生物柴油, 分段添加甲醇进行反应, 反应温度为 30℃, 植物油转化率达 95%, 得到的产品可直接用作生物柴油。芬兰纳斯特 (Neste) 石油公司投资 1 亿欧元在芬兰帕尔伏炼油厂建设加氢法生物柴油装置, 通过加氢裂化方法生产生物柴油。

美国是世界上最早研究生物柴油的国家之一。目前, 美国生物柴油主要以大豆为生产原料, 同时也在积极探索其它途径, 如“工程微藻法”等生产生物柴油。2007 年, 美国启动了微藻能源计划, 被称为“微型曼哈顿计划”。2008 年 10 月, 英国碳基金公司启动了目前世界上最大的藻类生物燃料项目, 投入 2600 万英镑用于发展相关技术和基础设施, 该项目预计到 2020 年实现商业化<sup>[29]</sup>。

积极发展燃料乙醇和生物柴油一直是我国石油替代能源战略中的重要内容之一。我国系统的生物柴油研究始于中国科学院“八五”重点科研项目“燃料油植物的研究与应用技术”, 完成了对金沙江流域燃料

油植物资源的调查及栽培技术研究,建立了 30hm<sup>2</sup>小桐子栽培示范片。从 20 世纪 90 年代开始,长沙市新技术研究所与湖南省林业科学院对能源植物和生物柴油进行了长达 10a 的合作,并完成了“植物油能源利用技术”研究。陕西省汉中春光生物能源开发公司的春光项目,由中国日用化学工业研究院设计完成,项目选用“预酯化酯交换制取脂肪酸甲酯”,由中科院自动化研究所为其提供生物柴油生产线自动控制工艺及其装置<sup>[30]</sup>。国风塑业大股东国风集团正在建设 60 万 t/a 生物柴油项目。清华大学完成了生物酶转化可再生油脂原料制备生物柴油,该生物柴油的关键技术指标符合美国及德国生物柴油标准,并符合我国 0 号优等柴油标准,这种环境友好的生物酶法生物柴油技术将有望实现产业化。中石化开发了基于超临界生物柴油生产技术,即将工业化。2009 年,武汉理工大学成功开发出以菊芋为原料生产碳 7-碳 15 烷烃类柴油的全新生物柴油加工路线,目前正寻求资金开展中试和示范生产系统建设。专家认为,该原料路线符合我国制定的生物燃料发展原则,其产业化将为生物柴油行业带来重大变革<sup>[31]</sup>。

生物柴油作为一种优质的液体燃料,是我国生物质能产业的一个发展方向,但中国的生物柴油产业在初期没打好基础,形成“南方麻风树、北方黄连木”的局面,在未来数年内,微藻有望代替麻风树和黄连木,成为生物柴油的主要原料。解决原料来源及其相配套的技术问题是生物柴油产业发展的关键。

### 2.3.3 二甲醚

二甲醚(DME)是一种最简单的脂肪醚,又称木醚、甲醚,是一种理想的清洁燃料。未来 DME 应用的最大潜在市场是作为柴油代用燃料,也可以替代液化石油气。二甲醚的工业生产技术主要有甲醇脱水工艺和合成气直接合成工艺。目前,工业上主要是甲醇脱水技术生产二甲醚<sup>[24]</sup>。合成气一步合成二甲醚的工业化,仍在开发之中。

新奥集团股份有限公司年产 60 万 t 甲醇 /40 万 t 二甲醚项目在内蒙古鄂尔多斯市建成投产,装置运行平稳,生产负荷达 70% 以上。该项目采用水煤浆加压气化技术、耐硫变换及低温甲醇洗净化技术、低压甲醇合成技术和新奥节能型二甲醇合成技术,以国内设备为主,建成国内最大的单系列煤基二甲醚装置。

2009 年,山西华园高科技开发中心和美国和声事业有限公司共同投资的山西华园 90 万 t 煤层气经甲醇制二甲醚项目在山西寿阳县开工建设,该项目总投资 53 亿元,是目前亚洲最大的煤层气开发项目。

华东理工大学、浙江大学、中国科学院山西煤化所和广州能源研究所等单位开展了相关的实验室研究,利用可再生的生物质转化为清洁的燃料二甲醚。

### 2.3.4 燃料甲醇

国外从 20 世纪 80 年代开始研究生物质气化合甲醇燃料。20 世纪 90 年代,生物质气化合甲醇系统的研究得到了广泛的发展,如美国的 Hynol Process 项目、NREL 的生物质甲醇项目、瑞典的 BAL-Fuels Project 和 Bio-Meet-Project 以及日本 MHI 的生物质气化合甲醇系统等<sup>[32]</sup>。日本筑波大学材料学院的研究人员开发出一种新型催化剂,可有效地将生物质低温气化,用所得到的无焦油气体作为合成气来生产甲醇、二甲醚或液体燃料。美国国家可再生能源实验室建成了合成甲醇小型示范装置,研究生物质气化间接合成液体燃料的机理和可行性。

我国朱灵峰等<sup>[33]</sup>对玉米秸秆燃气进行合成气优化实验,在 5MPa 压力下,采用等温积分反应器和国产 C<sub>301</sub> 生铜基催化剂,对合成气进行催化合成甲醇。

目前,人们对生物质间接液化制备发动机燃料试验及工艺的研究还不多,但由于其清洁环保的特点,已经引起人们的重视。

燃料乙醇和生物柴油等能源产品都要依托能源作物的大面积种植,这会造成能源作物与粮食作物争地、争政策和争资源的局面。如何保持能源作物与粮食作物的平衡,既保证国家粮食安全,又促进能源农业发展是一个难点。我国政府提出发展生物质燃料要按照“不与人争粮,不与粮争地”的原则进行。木本油料植物为原料生产生物柴油将是今后生物能源发展的方向。我国可以充分利用 11608 万 hm<sup>2</sup> 边际性土地来种植甜高粱、木薯、甘薯和旱生灌木等能源植物,以非粮食作物为原料生产燃料乙醇等,具有极大的能源开发潜力。

生物质液体燃料需要大力发展,其进程与规模涉及到资源的获得、技术的进步和成本的下降一系列重大问题。应大力支持用纤维素、半纤维素做原料的燃料乙醇技术发展。生物质转化为液体燃料时还需要消耗等量甚至更多的化石能源,所以除了通过改进原有工艺减少能耗外,还应积极探索新的工艺路线。低能耗转化技术将成为新的研究热点。

### 2.4 生物质固化技术

生物质固化技术是将生物质中的木质素在加热条件下软化或液化使其具有相当的粘着强度,然后通过机械的方式给生物质施加适当的压力,将分散的生物质转化为具有一定形状和密度的燃料。制成的商品

性燃料,体积小、能量密度相对高,便于运输、销售及燃用。生物质直接燃烧和固化成型技术的研究开发,主要着重于专用燃烧设备的设计和成型物的应用。

国外生物质压缩成型燃料的开发工作始于 20 世纪 40 年代。1948 年,日本申报了利用木屑为原料生产棒状成型燃料的第 1 个专利。50 年代初期生产出了商品化的棒状成型机。60 年代成立了木质成型燃料行业协会。70 年代初,美国又研究开发了内压滚筒式粒状成型机。亚洲除日本外,泰国、印度,和菲律宾等国从 80 年代开始开展了生物质致密成型机设备及成型工艺方面的研究<sup>[34]</sup>。70 年代末,瑞典 Stockholm Energy 公司首先将 3 座 100MW 燃油锅炉改为使用生物质颗粒燃料。Kraft 热电厂在世界上首先开发热、电、颗粒燃料联产技术并投入商业化生产,能效高达 86%。现已成功开发的成型技术按成型物形状分主要有 3 大类:以日本为代表开发的螺旋挤压生产棒状成型物技术、欧洲各国开发的活塞式挤压制得圆柱块状成型技术以及美国开发研究的内压滚筒颗粒状成型技术和设备<sup>[12]</sup>。

我国从 20 世纪 80 年代起开始致力于生物质致密成型技术的研究。中国林业科学研究院林产化学工业研究所在“七五”期间承担了生物质致密成型机及生物质成型理论的研究课题,在 1990 年研究开发成功棒状成型燃料成型制造工艺设备系统,在 1998 年率先研究开发成功颗粒成型燃料热成型制造工艺设备系统。上海申德机械有限公司在消化引进欧洲成熟生物质固化成型技术基础上,自主研发创新,在国内率先成功研制生物质固化成型成套设备。辽宁省能源研究所对生物质压缩成型的原理、主要因素、工艺及生物质压缩成型机械等方面展开了研究<sup>[35-36]</sup>;浙江大学对切碎棉秆进行了高密度压缩成型试验,研究了压力、温度和切碎棉秆粒度大小对成型块松弛密度的影响<sup>[37]</sup>。山东临沂生物质型煤示范厂是目前国内惟一的具有工业规模的生物质型煤生产厂,设计年产量为 3 万 t,实际年产量为 1 万 t。辽宁省能源研究所、西北农业大学、中国林科院林产化工研究所、陕西武功轻工机械厂和江苏东海县粮食机械厂等十余家单位研究和开发生物质成型燃料技术与设备。生物质型煤具有优良的燃烧性能和环保节能效应,但在中国尚处于实验室研究和工业试生产阶段,尚未形成规模产业,技术经济因素阻碍了工业化发展应用。

目前,固化技术仍存在的主要问题:一是对设备的要求较高,成型燃料的密度是决定成型炭质量的重要指标,它与成型机的性能特别是螺杆的性能有极大

关系;二是成型炭燃烧过程中产生大量的可燃性气体,其中含有很大一部分焦油对人体和环境会造成污染;三是得率较低。这些都是该领域研究工作者亟待解决的问题。

### 3 总结

目前,各国研究者对气化设备的研究主要集中在大型设备上,而对农户热衷的户用秸秆气化炉的研制工作甚少报道。今后应对这类维护简单、易于推广和适宜就地取材的小型气化设备加以重视,进行改造设计,使生物质能在我国农村得到有效利用,为节能减排和新农村建设服务。并在借鉴国外研究经验的基础上,结合我国生物质资源分布特点,开发适合我国农村的户用气化炉设备。

随着我国生物质能源产业化的技术发展与市场条件完善,严格按照不与民争粮不与粮争地的原则,通过在技术上的突破,商业环境的改善,将秸秆、禽畜粪便和有机废水等生物质转化为高品位能源,使生物质能形成大规模的产业化和商业化。

### 参考文献:

- [1] 闫有柱. 世纪绿色可再生能源—生物质 [J]. 贵州化工, 2003, 28(5): 1.
- [2] 王小孟, 谭江林, 陈金珠. 我国生物质能源开发利用的现状 [J]. 江西林业科技, 2006(5): 45-57.
- [3] 陈益华, 李志红, 沈彤. 我国生物质能利用的现状 & 发展对策 [J]. 农机化研究, 2006(1): 25.
- [4] 王振平. 开发生物质能 保护生态环境 [J]. 济南教育学院学报, 2004(6): 55-57.
- [5] 陈晨. 生物质能产业: 国家政策意在推动而非限制 [N]. 科学时报, 2007-12-19(3).
- [6] 蒋剑春. 生物质能源应用研究现状与发展前景 [J]. 林产化学与工业, 2002, 22(2): 76-77.
- [7] 蒋剑春. 林业生物质热化学转化利用研究现状 [J]. 生物质化学工程, 2006(S1): 24-31.
- [8] 赵军, 许庆利, 孔海平, 等. 生物质能源产业化及研究现状 [J]. 浙江化工, 2006, 37(3): 13-14.
- [9] Umar K M irza, Nasir Ahmad, Tariq Majeed. An overview of biomass energy utilization in Pakistan [J]. Renewable And Energy Reviews 2008, 12(7): 1989.
- [10] 管数园. 生物质能转化利用技术 [EB/OL]. (2010-03-05). <http://hb.jn.28.com/qingdahui/feng/6601.html>
- [11] 蒋剑春, 应浩, 孙云娟. 德国、瑞典林业生物质能源产业发展现状 [J]. 生物质化学工程, 2006, 40(5): 31-36.
- [12] 周洁. 生物质能技术展望 [N]. 中国经济导报, 2006-07-25(B02).

- [ 13] 邱钟明, 陈砾. 生物质气化技术研究现状及发展前景 [ J]. 可再生能源, 2002( 4): 16- 19.
- [ 14] FAN L- S. Gas- liquid- solid fluidization engineering [ M ]. New York Butterworths, 1989.
- [ 15] KUN ID, LEVERSPIEL O. Fluidization engineering [ M ]. New York Butterworth Heineman, 1991.
- [ 16] FRANCO C, PINTO F, GULYURTLU J et al The study of reactions influencing the biomass steam gasification process [ J]. Fuel 2003, 82( 7): 835- 842.
- [ 17] JAVIER G, JOSE C, MARIA P, et al Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed effect of the type of gasifying agent on the product distribution [ J]. Biomass and Bioenergy, 1999 17( 5): 389- 403.
- [ 18] RAPAGNA S. Steam gasification of biomass in a fluidized bed of olive particles [ J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19( 3): 187- 197.
- [ 19] 邓先伦, 高一苇, 许玉, 等. 生物质气化与设备的研究进展 [ J]. 生物质化学工程, 2007, 41( 6): 38- 40.
- [ 20] 陈晓光, 朱斌. 生物质气化技术是农林固体废物资源化的有效途径 [ J]. 四川职业技术学院学报, 2006, 16( 3): 111- 113.
- [ 21] 曹稳根, 段红钧. 我国生物质能资源及其利用技术现状 [ J]. 安徽农业科学, 2008, 36( 14): 6001- 6003.
- [ 22] 佚名. 生物质能源基础及技术发展 [ EB/OL]. ( 2010- 05- 12). [http://www.newenergy.org.cn/html/0105/5121032478\\_3.html](http://www.newenergy.org.cn/html/0105/5121032478_3.html)
- [ 23] 陈雪琴. 生物质能或圈定三大开发重点 [ N]. 中国改革报, 2009- 11- 17( 5).
- [ 24] 汤楚宙, 苏爱华, 谢方平, 等. 湖南省可再生能源开发利用及发展对策 [ J]. 湖南农业大学学报( 自然科学版), 2005, 31( 6): 698- 702.
- [ 25] 严陆光, 夏训诚, 周凤起, 等. 我国大规模可再生能源基地与技术的发展研究 [ J]. 电工电能新技术, 2007, 26( 1): 13- 26.
- [ 26] 张应桂, 周勇. 生物质能转化技术利用现状与环境评价 [ J]. 化学工程师, 2007( 11): 33- 36.
- [ 27] 春生. 生物质能产业有望迎来新一轮大发展 [ N]. 中国证券报, 2007- 09- 14( B05).
- [ 28] “十五” 863 计划能源技术领域后续能源技术主题专家组. 中国可再生能源技术开发与发展方向 [ J]. 中国科技产业, 2006( 2): 64- 68.
- [ 29] 高永钰. 微藻将成为生物柴油的主要原料 [ EB/OL]. ( 2010- 07- 07). <http://www.newenergy.org.cn/html/0107/761033613.html>
- [ 30] 赵蕾. 泔水油变身生物柴油 [ EB/OL]. ( 2010- 06- 17). <http://www.newenergy.org.cn/html/0106/6171033033.html>
- [ 31] 佚名. 菊芋制生物柴油: 迎来生物柴油行业重大变革 [ EB/OL]. ( 2010- 05- 15). <http://www.newenergy.org.cn/html/0095/5150927262.html>
- [ 32] 阴秀丽, 常杰, 汪俊锋, 等. 由生物质气化方法制取甲醇燃料 [ J]. 煤炭转化, 2003, 26( 4): 26- 30.
- [ 33] 朱灵峰, 张佰良, 梁庚白, 等. 秸秆类生物质催化合成甲醛的实验研究 [ J]. 可再生能源, 2004( 4): 12- 15.
- [ 34] 刘石彩, 蒋剑春. 生物质能源转化技术与应用 ( ㊟) — 生物质压缩成型燃料生产技术和设备 [ J]. 生物质化学工程, 2007, 41( 4): 59- 63.
- [ 35] 何元斌. 生物质压缩成型燃料及成型技术 ( 一) [ J]. 农村能源, 1995( 5): 35- 36.
- [ 36] 何元斌. 生物质压缩成型燃料及成型技术 ( 二) [ J]. 农村能源, 1995( 6): 34- 35.
- [ 37] 盛奎川, 钱湘群, 吴杰. 切碎棉杆高密度压缩成型的试验研究 [ J]. 浙江大学学报( 农业与生命科学版), 2003( 2): 31- 35.

## Progress in Biomass Energy Utilization

Guo Haixia<sup>1</sup>, Zuo Yueming<sup>1</sup>, Zhang Hu<sup>2</sup>

( 1. College of Engineering Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China 2. College of Engineering & Technology, Jilin Agriculture University Changchun 130118, China )

**Abstract** Biomass energy is an important part of renewable energy. Utilization and development of biomass energy provided a path for solving the problems of energy and environment. The author summarized the progress of research and development of technology of domestic and abroad in recent years, and analyzed the main problems of our country in this field. It points out the direction for further study of biomass energy utilization.

**Key words** biomass energy utilization; research progress