



# 我国生物质液体燃料 发展现状与前景分析

中国科学院广州能源研究所 ■ 袁振宏 吕鹏梅

## 一 前言

随着社会的进步,人类对石油的依赖越来越强烈,石油供应与消费的平衡关系制约着各国乃至全世界的经济发展。历史表明,每次石油危机的出现,都引起了各国对未来能源供应不足的担心,从而寻求各种替代能源,以避免国家经济遭受打击。

利用生物质生产液体燃料直接替代汽油、柴油等石油燃料,早已引起世界各国政府和科学家的关注,许多国家都制定和实施了相应的开发研究计划。巴西的甘蔗制乙醇计划,作为汽车燃料,减少了石油进口的外汇支出;美国以玉米为原料已生产50亿升燃料乙醇,相当于汽油消耗量的1%;世界生物柴油产量已达到350万吨,预计到2010年可达3000万吨以上。未来如果能充分和高效地利用我国的生物质能资源,至少能提供2亿吨液体燃料,在保障国家能源安全方面起到至关重要的作用。

## 二 我国生物质液体燃料产业发展现状

生物质液体燃料主要包括:燃料乙醇、生物柴油、裂解油、合成油(汽油、柴油、二甲醚、甲醇)等,其中以玉米等原料生产的燃料乙醇已经在我国开始应用,产业在逐步形成和发展;以废油脂为原料生产的生物柴油也已进入产业示范阶段,《生物柴油质量标准》的颁布将有效地促进我国生物柴油产业的发展。

### 1 燃料乙醇

生物质制备燃料乙醇的传统制作过程是水解/发酵法,生物质在催化剂的存在下发生水解反应,转化成五碳糖或六碳糖,然后糖类经发酵转化成乙醇,通过蒸馏和精馏精制为燃料乙醇。在我国推广应用的燃料乙醇主要以玉米等粮食原料生产。

2001年根据国务院领导有关指示精神,国家计

委会同国家经贸委、中石化、中石油等部门启动了车用乙醇汽油项目,并依据《国民经济和社会发展第十个五年规划纲要》,组织编制了《车用乙醇汽油“十五”发展专项规划》。生产燃料乙醇的项目列入国家“十五”示范工程重大项目,包括20万南阳天冠集团公司吨燃料乙醇改造项目、10万吨黑龙江华润金玉实业有限公司肇东燃料乙醇改造项目和60万吨吉林燃料乙醇新建项目。

从2004年10月起,黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽5省和湖北、山东、河北、江苏的部分地区,强制封闭使用车用乙醇汽油,到年这些地方除军队特需和国家特种储备外实现了车用乙醇汽油替代其他汽油。此外,由国家或省市等各级部门列为其它计划的燃料乙醇项目也将相继启动或进行可行性论证。

安徽蚌埠市丰原集团正式动工兴建被列入国家经贸委重点工程的5万吨燃料乙醇联产酵母试验项目,联产8800多吨的系列酵母产品和4.5万吨的玉米蛋白饲料。广东50万吨燃料乙醇项目由中科院广州能源研究所、广东华灵集团有限公司等单位共同研究开发,以广东丰富的木薯和甘蔗资源为原料,首期投资6.86亿元,建成年产20万吨燃料乙醇生产厂。目前正酝酿燃料乙醇建设项目的省市还有四川、广西、云南、山东、内蒙、福建、辽宁、河北、新疆、陕西、宁夏和江苏等。这些新建或拟建中的燃料乙醇项目均根据本地区原料特点,以成熟的工艺技术,分别选用淀粉类作物和甘蔗为原料生产燃料乙醇。

### 2 生物柴油

生物柴油是以大豆和油菜籽等油料作物,棕榈油、黄连木等油料林木果实,工程微藻等油料水生植物以及动物油脂、废餐饮油等为原料制成的液体燃料,是优质的石油、柴油代用品。生物柴油是典

型“绿色能源”，大力发展生物柴油对经济可持续发展、推进能源替代、减轻环境压力、控制城市大气污染具有重要的战略意义。

我国对生物柴油的研究还处于工业化示范阶段，生产总规模为4~5万吨，尚未达到完全工业化利用的水平。国内有多家科研院所、大专院校在能源油料植物和生物燃料油技术领域做了大量的前期基础研究。近年来，有一批企业如海南正和公司、福建卓越能源公司、四川古杉油脂公司等相继建成并投产了1~2万吨/年生产规模的生物柴油示范工程，主要原料为城市地沟油，动、植物废弃油等废油脂。

生物柴油生产工艺主要有化学法和酶催化两种工艺，工业应用的主要是化学法，化学法工艺简单，但对原料有选择，不适用于酸值特别高的废油脂。第二条工艺路线是脂肪酶催化工艺，酶法对原料没有选择性，设备简单，能耗低。但脂肪酶价格较高，反应成本较高。北京化工大学在脂肪酶、生物柴油分离提取设备研究方面已获得突破，成功地将脂肪酶成本降到100元/公斤左右，目前已完成年产200吨的中试系统研究，正在建设年产2万吨工业示范工程。

随着生物柴油产业在中国的兴起，一些新的生产工艺也在不断开发，并达到了国际先进水平，如中国科学院广州能源研究所与韩国能源所联合开发的固定床和活塞流联用的年产200吨连续反应系统及固体酸碱催化剂，可以实现多种原料的生物柴油连续转化工艺，具有较高的技术先进性。超临界法制备生物柴油也是目前关注的重要生物柴油生产工艺，超临界方法不需要催化剂，但设备要求高。

在国家对生物柴油的巨大需求和政策扶持的激励下，国内已有一大批企业开始投资生物柴油产业，发展势头迅猛。2004年我国生物柴油年生产能力只有4万吨，到2006年已达15万吨，到今年底至少达到30万吨的规模。现在已有一批2~5万吨规模的生物柴油生产线在筹建中，有些企业还在策划10~50万吨规模的生物柴油生产项目。

### 三 生物质液体燃料新技术的开发现状

我国人口众多，粮食问题是我国在本世纪所面临的一个严峻课题，所以我国不可能象西方国家那

样以粮食为原料来生产液体燃料，必须利用农林废弃物和新的生物质资源来生产液体燃料。我国政府对生物质液体燃料极为重视，一直将开发生物质液体燃料新技术列为国家重点科技攻关内容。二十年来，重点开展了利用纤维素废弃物制取乙醇燃料技术、热裂解液化制取燃料油和合成燃料等技术的研究与探索，为开发生物质液体燃料新技术奠定了基础。

#### 1 木质纤维素原料制取燃料乙醇

我国政府一直重视燃料乙醇的研究与开发，特别是利用非粮食原料生产燃料乙醇技术的战略储备性研究与开发，一直被科技部列为生物质能技术研究领域的重点课题。

华东理工大学在“十五”期间建成了以纤维素废弃物为原料生产燃料乙醇的示范工程，达到年产乙醇600吨的规模，将稀酸水解工艺扩大到示范工程，完成了对水解、发酵、精馏和有关配套设备的设计、制造、安装和调试，并进行了连续化生产。通过生化和热化学转化方法的有机结合，以及生物质水解和水解残渣综合利用方法提高了原料的利用率，以生产液体燃料和副产化工产品的方法提高经济性。

为解决燃料乙醇的原料问题，从上世纪80年代初我国开始研究和开发高产能源作物“甜高粱”，到2001年，甜高粱育种已进入实质性推广阶段。甜高粱适应性好，在我国10℃以上、年度有效积温2000℃以上的地区都可以种植，且比玉米和高粱等作物抗旱、抗涝和耐盐碱。甜高粱籽粒可作为粮食或饲料，不影响正常的粮食生产，同时，每亩地甜高粱茎秆原料可转化250~300公斤乙醇。与玉米原料相比，具有产量高、成本低的特点。废渣可制成食草动物的饲料，也可制浆造纸。综合开发甜高粱利用，生物质能转化率可达90%以上。

甜高粱育种和燃料乙醇生产技术连续在国家“八五”、和“九五”期间列为重点科技攻关课题，农业部规划设计研究院利用液态固定化酵母快速发酵工艺和固体发酵工艺，在“十五”期间建成年产5000吨甜高粱茎秆乙醇的产业化示范工程。该技术工艺稳定、成酒率高、成本低，没有任何污物和无水排放，一次性投资少，可为农村剩余劳力提供更多就业机会，还适用于新建甜高粱茎秆生产燃料乙醇生产厂和对旧酒精厂的改造。在黑龙江省、内蒙古自

治区、新疆维吾尔自治区、辽宁省和山东省等地，已建立了甜高粱种植和甜高粱茎秆制取燃料基地。

## 2 生物质裂解液化

直接液化可分为快速热解液化、催化液化、加氢液化和超临界液化等。生物质的快速热解是将生物生物质的快速热解是将生物质在隔绝空气、常压、超高加热速率(103~104℃/s)、超短反应时间(低于1s)和适中热解温度(500℃)的条件下迅速断链为短链分子，使结炭和产气率降低到最低限度，从而最大限度地获得燃料油。

1995年沈阳农业大学在联合国粮农组织(FAO)的协助下，与荷兰Twente大学合作，从荷兰引进了一套生物质喂入率为50kg/h的旋转锥反应器生物质闪速热裂解装置。该装置以松木屑为原料热解生产的生物质油为一棕黑色单相流体，不透明，流动性好，有浓烈的刺激性气味，在室温下储存二年观察没有发生相分离，在低温零下20℃以下仍具有较好的流动性。

山东理工大学建立了年产400吨以上粗生物油的热裂解中间试验装置。建造了以生物质为燃料的流化床燃烧加热热载体陶瓷球的加热系统；建造了“Z”字型下降管式快速热解反应器，并获得了发明专利；解决了包括冷激技术、热载体循环利用技术、热载体与残炭分离技术；进行了生物油/柴油乳化燃料用于拖拉机燃料的初步试验；对生物粗油进行了初步分析。采用流化床燃烧生物质作为裂解热源，生物粗油(液体产物)收率达到41%。

东北林业大学研制完成“三锥式齿缘型生物质多重闪速热解液化反应器”和基于这种反应器的ZKR-200型生物质多重闪速热解液化生产生物燃油的新装置。该装置由三锥式齿缘型双水内冷主反应器、气-液对喷式二级冷凝装置、热载体加热-输送系统及电气控制系统等构成。其主要性能参数有：加工能力4.32t/d；生物燃油得率≥70%；转化时间3~4s；单机产油≥3.02t/d。

中国科技大学现已研制出时处理20kg物料物的自热式生物质热解液化试验装置，并采用木屑、稻壳、玉米秆和棉花秆等多种原料进行了成功试验，木屑产油率≥60%、秸秆产油率≥50%、生物油热值均为16~17MJ/kg。

中国科学院理化所研究开发了组分选控和催化

转化新工艺，直接利用生物质制备汽柴油；中科院大连化学物理研究所尝试采用微生物的方法直接把水解液中的五碳糖和六碳糖转化油脂燃料；沈阳农业大学利用荷兰制造的旋转锥式液化装置成功地进行了松木屑热解液化实验；山东工学院成功研究了生物质移动床热解液化系统；华东理工大学进行了生物质高压催化液化及超临界液化的实验研究。

以上的工艺技术都有各自的特点，具有较强的创新性，也有广泛的应用前景。但由于生物质直接液化机理复杂，目前对反应工艺的控制条件还不清楚，所以产品不稳定，工艺技术未定型，具体的应用条件和规模利用前景需进一步研究和论证。加强直接液化技术的完善和规模化利用研究，以取得突破性进展，是目前的迫切问题。

## 3 间接液化

间接液化是指先将生物质气化、气相产物经净化与组分调整成为合成气(CO+H<sub>2</sub>)后，再经催化合成得到可作为化石燃料替代品的过程。产品包括合成汽油、煤油、柴油及含氧化合物如甲醇和DME等。生物质的间接液化与直接液化相比具有产品纯度高，几乎不含S、N等杂质的优点，但生物质间接液化与其它间接液化，如煤的气化合成及天然气合成有很多不同的地方，其关键是解决生物质气化过程焦油杂质较多、生物质燃气中CO<sub>2</sub>含量较高等问题，所以工艺过程较为复杂。目前人们对生物质间接液化制备发动机燃料的试验及工艺研究还不多，由于该技术具有广泛的应用前景，已经引起人们的重视。

目前国内生物质间接液化的研究较少，但对煤基合成气生产柴油及DME有多年的研究与开发经验，并建成了一些中试装置。生物质合成气制备液体燃料可以借鉴这些技术与经验。山西煤化所对费托合成进行了长期研究，完成了钴基催化剂的工业单管实验，已经处于工业示范和工业化前期。浙江大学催化研究所在碳一催化转化基础研究和催化工业化过程研究上积累了丰富的经验。采用固定床催化反应器，在自行研制的Cu基催化剂上，采用半水煤气为原料开展了合成DME的研究，CO的单程转化率最高达到83%，DME/DME+MeOH的选择性约为95%，并建立了日产5吨的工业化示范装置。

在中国科学院知识创新项目的支持下，广州能

源研究所和山东能源研究所联合建立了一套从生物质催化气化、焦油裂解、组分调整与净化到液体燃料合成的年产100吨生物质合成液体燃料二甲醚中试系统,可为生物质间接液化技术的工业示范和产业化发展提供重要的科学数据和技术经济评估报告。

#### 四 生物质液体燃料发展前景

生物质能属于清洁、资源丰富的可再生能源,通过各种转化技术可以生产各种形式现代能源,尤其是液体燃料,在燃料特性和应用方式上,与化石燃料有许多共通点,易于纳入现有的燃料体系。而且生物质能源的应用不会增加大气中CO<sub>2</sub>的积累,可大幅度降低硫化物和氮氧化物的排放量。我国政府对生物质能源,包括生物质液体燃料,一直给予高度的重视,制定了一系列法律、法规,支持生物质能源的发展,尤其是2006年出台的《可再生能源法》,更在法律上明确了生物质能源在未来能源结构中的地位,为生物质能源的发展提供了法律保障。

燃料乙醇是符合国家产业政策的“朝阳产业”,具备很好的推广应用前景。乙醇不含硫及灰份,可以直接代替汽油、柴油等石油燃料,作为民用燃烧或内燃机燃料,最易工业化,与现今工业应用及交通设施接轨,是最具发展潜力的石油替代燃料。我国目前的燃料乙醇的生产能力为102万吨,若全国推广使用车用乙醇汽油,总需求燃料乙醇500万吨以上,缺口很大。

利用废油、非食用植物油加工生产生物柴油并推广应用具有显著的能源、环境、经济和社会效益。长远来看,对于我国这样一个人口众多、土地资源有限的国家来说,绝不能依赖于食用谷物和油脂原料,必须开发木质纤维素类资源,才能可持续地支撑生物质液体燃料产业的发展,满足国家未来对液体燃料的需求。所以,利用木质纤维素燃料乙醇生产技术、生物质热解液化技术、生物质合成燃料技术等新技术将在我国生物质液体燃料产业的发展中发挥重要的作用。

#### 五 几个关键问题的分析

##### 1 生物质能资源发展的土地潜力

生物质能资源生产的土地潜力分析主要考虑能源农业和能源林业两类用地需求。首先,我国人口

众多,人均耕地占有面积少,发展生物质能源必须避免与农作物生产争地的问题。大规模、集约化生物质生产的重点地区应在新疆、内蒙、青海、黑龙江等地区;分布式生物质资源生产则可在内地广泛开展,只要开发可利用土地的15%,即3000万公顷,就可以生产近1亿吨生物质液体燃料。此外通过发展粮能兼收的能源作物,可实现土地的高效利用,增产增收。如我国现有高粱地439万公顷,可通过推广种植甜高粱,既能收获粮,又收获甜秆,可以用于生产燃料乙醇,不跟粮食争地,实际上增加了生物质能资源的生产用地。

##### 2 生物质液体燃料生产成本与汽、柴油的比较

生物质液体燃料的生产规模都较小,未能体现规模化的经济效益。即便如此,从目前的发展状况来看,石油价格上涨的趋势还将持续下去,已为生物质液体燃料发展提供了良好的机遇与市场环境。

采用能源作物为燃料乙醇的生产原料,其生产成本基本可以达到与汽柴油相当的水平,生产成本分别为:木薯燃料乙醇4380元/吨、甜高粱燃料乙醇3880元/吨,甘蔗燃料乙醇3800元/吨。此外,种植甜高粱还能生产粮食,可获得额外效益。利用纤维素原料生产燃料乙醇是未来扩展生产原料的有效途径,但是目前的工艺和技术尚不成熟,采用木屑生产燃料乙醇的中试生产成本要达到5000元/吨左右。

生物柴油生产成本主要取决于原料,我国主要采用废弃食用油和野生植物油为原料,地沟油的生物柴油生产成本约3560元/吨,野生植物油的生物柴油生产成本也可达到4500元/吨以下,与石化柴油相比具有一定的竞争力。随着技术的进步生产成本将会进一步降低,同时随着石油价格的上涨及国家矿物燃油税的征收,在国家政策的支持下,生物质液体燃料对石油燃料的经济竞争力必定会得到大幅度的提高。

##### 3 生物质液体燃料开发对水土流失的影响

开发生物质能源有利于环境保护、生态恢复、控制水土流失。产业化开发生物质液体燃料主要基于能源植物大规模发展上,能源植物具有抗逆性强的特点,即抗旱、耐贫瘠、耐盐碱,能够广泛适应于荒山荒地生长。能源作物主要通过能源基地式的集约化生产,在耕种、施肥、田间管理等(转10页)

从66元冲至79元,可见市场仍然配合了新能源概念。

### 三 太阳能的隐忧

但是,英利新能源当天跌破发行价,实际上反映了投资者对中国太阳能产业“两头在外”的隐忧。

我国太阳能发电产业的发展严重受制于原料多晶硅的供应,我国电子行业和光伏行业每年需要的多晶硅为3000~5000吨,然而我国自己生产的多晶硅只能满足其中的10%左右,另外的90%要依靠进口来解决。由于各厂家在国际市场上抢购多晶硅,使得多晶硅的价格几倍于正常价格,造成国际市场多晶硅价格飞涨。据下游企业估算,硅片约占太阳能电池企业生产成本的70%,它极大地制约了我国太阳能光伏产业和电子产业的健康发展。

相比之下,天威保变有一个优势:随着其参股的新光硅业多晶硅项目投产,其产业链变得相对完整,承受原料涨价的能力更强。然而,随着国内硅原料产能的陆续释放,2008年以后价格可能趋于稳定,供需走向平衡。

另外,光伏市场主要在国外,国外市场一旦有风吹草动,都会对国内光伏产业产生极大影响。西

南证券人士认为,天威英利公司光伏产业的销售收入仍可快速增长,但毛利率可能下滑。近期,德国对太阳电池的需求明显放缓,欧洲太阳电池价格下降明显。2006年第二和第三季度,中国的太阳电池达到了历史最高价(4~5美元/W);而第四季度则有明显下跌迹象,跌幅为5~10%。今年预计还将下跌5~10%。

西南证券的分析师陈毅聪认为,近期在美上市的中国内地光伏企业较多,股价表现多半不好,有破发现象。并且天威英利2007年第一季度及2006年8月7日至12月31日的销售净利润率很差,其中主要是毛利率下降、管理及一般费用增长的原因。

还有观点认为,无锡尚德二期建设比天威英利早一年,无锡尚德上市完成3期生产线建设时,天威英利刚刚完成2期建设。光伏产业的特点在于一家厂商率先达到临界规模后,迅速把自己的产品和工艺变成行业标准;这个行业标准反过来进一步强化企业的客户基础和行业地位,最终形成一家通吃的行业格局。作为内地太阳能产业的两只领头羊之一,天威英利在与无锡尚德的第一场较量中已先失一局。✎

(接8页)方面进行优化,科学种植、可以实现对水土流失的有效控制。至于能源林,大部分林木都是多年生,根系发达,其科学种植也有利于水土保持。此外,种植能源植物对改造荒山荒地、盐碱地,甚至治理沙漠都是有利的。

#### 4 生物质液体燃料开发对农民增收的作用

农民是发展生物质能源的主要受益者。从单位土地的效益看,农民种植粮食作物的收入大概是600元/亩左右;种植经济作物约800元/亩;种植水果可以达到1000~1200元/亩;如果生产生物质液体燃料的原料,如甜高粱,可以达到960~1100元/亩。比粮食和经济作物要高200~500元/亩。另外,开发生物质液体燃料是建立在利用荒山荒地来种植能源植物的基础上,开发荒山荒地新增了耕地面积,为农民提供了更多可用的土地,使农民获得更多的增收潜力。如果我国要生产1亿吨液体燃料,就需要新增3500万公顷的土地,农民每年可以增收将近3500亿元。

### 六 结论

开发生物质液体燃料在合理布局下,对促进生态环境和社会经济健康发展具有强劲的推动作用。燃料乙醇和生物柴油在我国目前已经开始推广应用,进入产业化发展的生物质液体燃料,前景广阔;我国在纤维素燃料乙醇、裂解液化、合成燃料和能源植物等新技术的开发方面已取得长足进步,进入了工业中试研究阶段。今后关键要解决工业生产经济性、运作模式和转化效率等问题。

生物质液体燃料开发是一项国家系统工程,涉及土地、技术、经济、社会和环境等复杂问题,相互交织,相互制约,也相互促进。我国人多地少,土地资源是发展生物质液体燃料产业的首要制约因素,其次是对环境和生态的影响。应经过科学地研究分析,制定出合理的区域规划。生物质液体燃料开发需因地制宜,根据具体的资源条件、原料收集方式和环境状况等,确定工程规模和技术路线,生产相应的生物质液体燃料,以最大限度获得能源、经济、环境、生态和社会效益。✎