

# 积极培育生物燃料产业 减少对石油的过度依赖

曹湘洪

(中国石化集团公司,北京 100728)

[摘要] 分析了我国石油消费的增长趋势、我国和世界的石油供应潜力以及我国减排 CO<sub>2</sub> 面临的巨大压力,提出发展生物燃料是减少经济社会发展对石油的过度依赖和减排 CO<sub>2</sub> 的重要战略举措。指出发展生物燃料和生物基材料是生物质利用的最佳途径,综述了世界及我国生物燃料的发展现状,提出了培育我国生物燃料产业的对策。

[关键词] 生物燃料;生物基材料;生物质;二氧化碳减排;石油

[中图分类号] TK6 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)02-0004-09

## 1 前言

石油是极其宝贵的化石能源,石油的发现、开发和利用为世界现代化增添了强劲的动力。但是地下的石油资源是有限的,当人类毫无节制地开发和消费石油时,它正在悄悄地接近其产量的顶峰而走向后石油时代,同时还不断地向大气中排放 CO<sub>2</sub>,加剧地球变暖的程度,破坏着人类的生存环境。生物质吸收阳光通过光合作用将 CO<sub>2</sub> 转化成碳水化合物,可以反复再生。把生物质中的氧脱除后,其和石油有极为相似的分子结构,研究开发利用生物燃料是实现石油替代的重要途径,是构筑可持续能源系统的一项现实的措施。

## 2 发展生物燃料是减少对石油的过度依赖和减少 CO<sub>2</sub> 排放的重要战略举措

### 2.1 我国石油的进口依存度在不断升高

随着我国经济的快速发展,石油消费持续增长,表 1 列出了 2003—2009 年我国成品油消费的增长情况。而国内石油增产能力有限,进口依存度呈现不断升高的态势(见表 2)。2009 年和 2003 年相比,6 年间进口依存度上升了 15.3%,进口量增加 1.13 亿 t,每年增加石油进口 1 884 万 t。

表 1 2003—2009 年我国汽油、煤油、柴油消费增长情况

Table 1 Consumption growth of gasoline, kerosene and diesel oil of China in 2003—2009

年份	GDP 增长率/%	汽油、煤油、柴油	
		消费量/万 t	增长率/%
2003	10.0	13 192	8.18
2004	10.1	15 706	19.05
2005	10.4	16 444	4.7
2006	11.1	17 442	5.95
2007	13.0	18 603	6.78
2008	9.1	20 494	10.16
2009	8.7	20 677	0.89

表 2 2003—2009 年我国石油供需状况

Table 2 Petroleum situation of supply and demand of China in 2003—2009

年份	产量/亿 t	净进口(原油+成品油)/亿 t	进口依存度
			/%
2003	1.698 8	1.058 8	38.3
2004	1.750 4	1.503 8	46.7
2005	1.814 6	1.436 1	44.4
2006	1.837 6	1.693 5	48.1
2007	1.859 7	1.834 8	49.5
2008	1.894 6	2.005 3	52.8
2009	1.885	2.188 9	53.6

中国科学院可持续发展战略研究组预测到 2030 年我国石油消费需求在基准情景下可达 11.10

[收稿日期] 2010-12-15

[作者简介] 曹湘洪(1945—),男,江苏江阴市人,中国工程院院士,长期从事石油化工生产技术与企业管理工作;

E-mail: zhaoxl@sinopec.com

亿 t, 低碳情境下可能达到 6.749 5 亿 t<sup>[1]</sup>。国际能源署 (International Energy Agency, IEA) 美国能源信息署 (Energy Information Administration, EIA) 预测 2030 年我国石油需求在 8 亿 t 左右。

从长远看, 国内的石油产量面临着增长乏力的困境。据预测, 我国常规石油可开采资源量为 212 亿 t, 到目前探明率为 39%, 勘探上还处在中等成熟阶段。我国未来 20~25 年平均每年可新增探明储量 1.8 亿~2.0 亿 t, 但探明储量的品位在不断下降, 低渗、超低渗、超稠油所占比重加大<sup>[2]</sup>。已开发油田总体上已进入高含水、高采出程度阶段, 2007 年全国油田可采储量采出程度已达 73.2%, 综合含水达 86%。其中含水高于 80% 的老油田可采储量占总产量的 73.1%, 可采储量已采出 60% 的老油田, 其可采储量占总产量的 86.5%。主力老油田已进入开发后期, 产量递减趋势难以逆转。以 2002 年产量 1.67 亿 t 作基数, 预测到 2020 年, 这些产量将递减到 5 700 万 t<sup>[3]</sup>。尽管我国石油产量多年来一直保持稳中趋升的态势, 但增产难度越来越大, 正在接近产量的高峰。我国国内石油增产潜力有限, 需求不断增长, 只能从国际市场争取获得更多的石油。

## 2.2 世界石油产量正在接近峰值

美国地质调查局 (United States Geological Survey, USGS) 预测世界常规石油可采储量为 4 138 亿 t, 到目前已采出了 1 344 亿 t, 约占可采储量的 1/3。1956 年美国著名地质学家 M. K. Hubbert 提出了“石油峰值”问题, 他认为全球石油产量在一定时期达到最大值, 以后会逐年下降, 直至枯竭, 具有“钟形曲线”特征。如图 1 所示, 他预测 1970 年左右美国的石油产量将会达到峰值, 实际上美国也正是在 1971 年石油产量达到峰值<sup>[4]</sup>。

50 多年过去了, “石油峰值”被广泛接受, 世界石油峰值到来的时间与石油地质理论创新、勘探开发技术进步、国际市场石油价格、石油消费行为、产油国石油开发政策、石油消费国能源政策等多种因素有关, 各种因素之间又相互影响, 很难准确预测峰值到来的时间, 因此关于世界石油产量何时到达高峰存在着争论。

从世界石油勘探发现的形势看 (见图 2), 过去 100 多年中, 大多数石油储量是在 1956—1965 年这 10 年间发现的<sup>[5]</sup>。20 世纪 60 年代以后新发现的油田储量逐年下降, 而世界的石油消费却在快速增长 (见图 3)。从 1980 年开始, 每年的消耗量大于当年

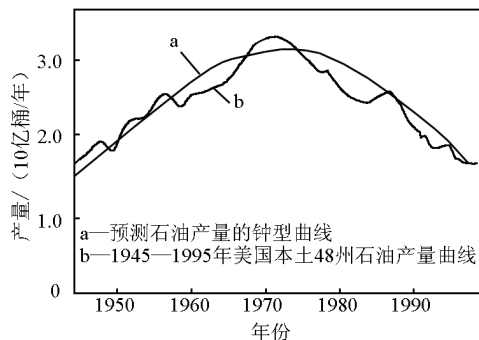


图 1 Hubbert 预测的美国石油产量高峰与实际产量曲线<sup>[4]</sup>

Fig. 1 Petroleum curves of ceiling yield and actual output of America predicted by Hubbert<sup>[4]</sup>

探明可采储量, 20 世纪 90 年代以来, 累计新增探明储量仅为消费量的 30%。

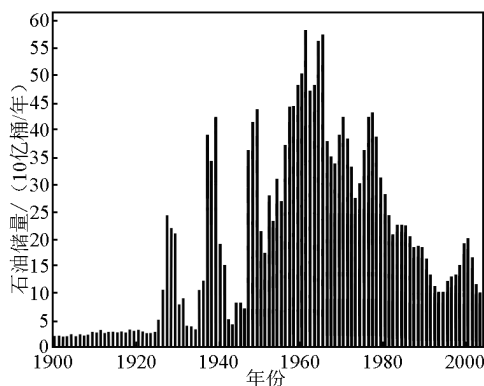


图 2 1900—2004 年世界每年新发现的石油储量  
Fig. 2 Oil reserves newly discovered every year in the world in 1900—2004

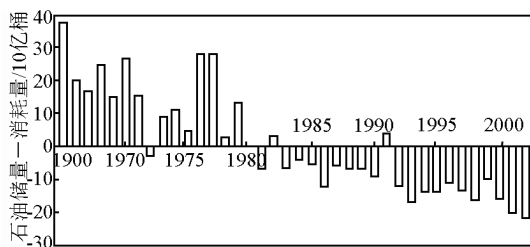


图 3 全球每年新发现的石油储量与消耗量之差  
Fig. 3 The difference value of oil reserves newly discovered in the world minus consumption

着眼未来, 石油勘探开发的难度越来越大。近几年较大规模的新的石油发现大都在海上, 而且大部分在深海。尤其是 2010 年 4 月 British Petroleum 公司在墨西哥湾因油井爆炸引发的石油污染事件又

会对世界海上石油勘探开发造成明显不利影响,海上石油产量难以较快的速度增长。

从已发现油田的开发和生产形势看,全球 90% 的油田进入成熟期,一大批油田产量经历高峰后正在不断下降。现有油田产量每年的递减速度为 6.7% ~ 8.6%,新投产的油田必须在弥补老油田产量下降的同时,增产更多的石油才能保持世界石油产量上升。估算到 2030 年要保持目前的石油产量,需要增加 4 500 万桶/d 的生产能力,相当于目前 4 个沙特阿拉伯的石油产能<sup>[6]</sup>。表 3 列出了国际机构对我国 2030 年石油需求的预测。

表 3 国际机构对我国 2030 年石油需求的预测

Table 3 Oil demand of China in 2030 predicted by some international agencies

机构	估算情形	石油/亿 t
EIA	基准	8.08
IEA	基准	8.02
	高增长	8.94
	低增长	7.15
	高油价	6.95
	低油价	9.25

注:数据根据 IEA 2008 年和 EIA 2008 年的资料汇编而得

根据世界石油勘探和已发现油田的开发现状分析,有人预测世界石油峰值已经到来,如图 4 所示,世界油气峰值研究会 (Association for the Study of Peak Oil and Gas, ASPO) 主席 Kjell A Leklet 预测 2010 年可能是石油产量峰值年<sup>[7]</sup>。有人预测石油峰值将在 2015—2020 年到来,当然也有人乐观地预测石油峰值 2030 年左右到来,即使峰值在 2030 年左右出现,从现在起也仅仅 20 年左右。美军联合部队司令部在 2010 年 2 月发布的《联合作战环境》报告中说:“石油产能过剩的状况或将于 2012 年终结,到 2015 年日均石油缺口将达到 1 000 万桶/d。”<sup>[8]</sup>石油资源越来越宝贵,拥有石油资源的产油国的石油政策已经并且会继续调整,进入世界市场的石油数量会逐步减少。因此从国际市场获得更多的石油资源将越来越困难。

### 2.3 减排 CO<sub>2</sub>, 防止气候变暖是我国应该承担的责任

尽管对全球气候变暖、极端天气增加的原因存在一些不同的看法,但减少 CO<sub>2</sub> 排放、防止气候变暖已成为全球的共识。化石能源的大量消费是造成大气中 CO<sub>2</sub> 浓度上升的根本原因,应对气候变化要

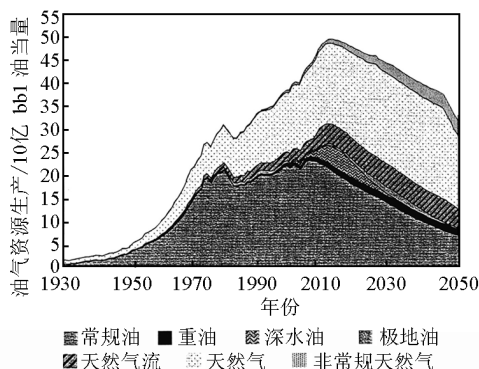


图 4 ASPO 对未来全球油气资源生产预测(至 2050 年)

Fig. 4 Prediction of global oil and gas resources in future made by ASPO( to 2050)

求减少化石能源的消费。我国 CO<sub>2</sub> 排放量已位居世界第一,更有责任加大 CO<sub>2</sub> 减排力度。在 2009 年的哥本哈根会议上,我国政府承诺到 2020 年单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放要比 2005 年减少 40% ~ 45%,要实现这个目标必须做出艰苦的努力。

### 2.4 我国有丰富的生物质资源

生物学家认为地球上每年生长的生物能源总量达 1 400 亿 ~ 1 800 亿 t(干重),被人类利用的只有 60 亿 t,仅占总量的 3.5%。有关专家测算我国到 2030 年,生物质资源量为 10.47 亿 tce,其中来自林业的为 3.74 亿 t,来自农业的为 6.73 亿 t。可收集的作物秸秆量为 6.87 亿 t,可用于能源的为 3.44 亿 t,可收集的林业剩余物为 1.97 亿 t,合计 2.7 亿 tce。另外,坚持“不与粮争地”的原则,根据国家统计局的统计数据,可用于种植能源作物的低质土地为 15 亿亩(注:1 亩 ≈ 667 m<sup>2</sup>),按 20% 利用率,每年可生产 10 亿 t 生物质,相当于 5 亿 tce。

### 2.5 利用生物质生产生物燃料,既可弥补石油资源的不足,又能减排 CO<sub>2</sub>

生物质生产车用燃料国内外已有成功的实践。但是有人提出发展生物燃料并不能减排 CO<sub>2</sub>,但多数研究认为生物质生产生物燃料,全生命周期内能量的产出大于能量的投入,有显著的减排 CO<sub>2</sub> 的效果。美国加利福尼亚州 Berkeley 大学的 Alexander 等人建立了生物燃料分析元模型 (biofuel analysis meta-model, BAMMD),在统一基准下,计算了 6 种乙醇生产过程的净能量。表 4 列出了学者们用模型计算得到的一次能源强度(生产单位兆焦的乙醇的化石能源用量)和温室效应气体 (greenhouse gas,

GHG) 排放量数据(kg CO<sub>2</sub> 当量/MJ 乙醇)。

美国工程院组织课题组专门研究了纤维素乙醇的 CO<sub>2</sub> 减排效果,每天耗用 3 950 t 生物质(干基)可生产 4 410 桶液体燃料,分别用纤维素乙醇工艺、费托合成法 BTL (biomass-to-liquid, 生物质基分解

油)工艺将作物秸秆转化成液体燃料,每桶当量汽油可分别减排 CO<sub>2</sub> 0.1 t 和 0.13 t<sup>[9]</sup>。中粮集团有限公司(COFCO)对所属的用玉米和木薯生产燃料乙醇的工厂进行了能量投入产出分析,结果如表 5 所示。

表 4 汽油和燃料乙醇的能量强度及温室气体排放量

Table 4 Energy intensity and greenhouse gas emission of gasoline and fuel ethanol

项 目	每兆焦产品能 源强度 <sup>②</sup> /MJ	每兆焦产品能源强度中化石能源耗用量/MJ				每兆焦产品 CO <sub>2</sub> 净排 放量/kg CO <sub>2</sub> 当量	
		石油	天然气	煤炭	其他		
石油汽油	1.191	1.1	0.03	0.05	0.011	94	—
目前工艺 <sup>①</sup>	0.77	0.77	0.04	0.28	0.41	0.04	77
乙醇	强化 CO <sub>2</sub> <sup>①</sup>	0.94	0.18	0.05	0.66	0.05	91
纤维素	0.10	0.10	0.08	0.02	-0.02 <sup>③</sup>	0.02	11

注:①目前工艺为现在用玉米生产乙醇的工业数据,强化 CO<sub>2</sub> 为远离玉米产地、以褐煤为燃料的乙醇工厂;

②能源强度为已扣除副产品的每兆焦乙醇(或汽油)产品的化石能源消耗量(MJ);

③生产过程副产的电力外供使煤炭消费量为负值

表 5 中粮集团有限公司燃料乙醇工厂能量投入产出比

Table 5 Output ratio of energy input in fuel ethanol factory of COFCO

装置	标煤消耗/ (kg·t <sup>-1</sup> 乙醇)	能量投入 产出比
肇东三期	605	1:1.51
肇东三期(不干燥 DDGS)	523	1:1.75
木薯燃料乙醇	396	1:2.26
木薯燃料乙醇*	340	1:2.67

注:\* 表示对生产过程进一步技术改进后的结果;DDGS(distillers dried grains with solubles)为干酒糟高蛋白

生物质生产运输燃料的能量产出与投入比随着生物质增产技术和运输燃料生产技术的进步会越来越高,减排 CO<sub>2</sub> 的效果也会越来越好。美国农业部报告指出,由于 10 多年来玉米生产率的提高、化肥和农药使用量降低及其生产能耗的降低、乙醇工艺技术改进使转化效率提高、能耗降低等原因,乙醇生产的能效比 10 年前大大提高。玉米乙醇的净能量值(net energy value, NEV)(包括副产品收益)已降至 7.46 MJ/kg 乙醇。以玉米为原料的燃料乙醇生产全过程(包括玉米耕种、玉米收获、乙醇生产和燃料乙醇分配)的总能耗对乙醇高热值(29.66 MJ/kg)的比值目前已达 1:1.34。

### 3 生产运输燃料、生物基材料是生物质的最佳利用方式

#### 3.1 生物质能是唯一可再生含碳能源

目前人类使用的能源绝大部分是含碳化石能源,石油、煤炭、天然气、生物质这 4 种含碳能源只有生物质能源是可再生的。开发利用生物质能源,应该重视生物质能源是唯一可再生含碳能源的特性。利用含碳能源本质上是利用它们含有的碳氢元素,作为工业与民用燃料,对碳氢元素的含量比例没有要求。而运输燃料和石化原料有明显的分子结构,对碳氢元素的含量有严格的要求,如汽油、航空煤油、柴油的氢碳质量比分别为 0.157 4、0.160、0.161 4,乙烯、丙烯、对二甲苯、丁二烯的氢碳质量比分别为 0.166 8、0.166 8、0.158 8、0.125 0。

利用含碳能源生产运输燃料和石化产品的过程是调整含碳能源分子结构和碳氢比的过程。含碳能源与二次能源产品分子结构、碳氢元素比越接近,加工过程越简单,碳氢元素利用越合理,投资运行费用越低。

#### 3.2 生产运输燃料和生物基质材料是生物质的最佳利用方式

生物质分子结构如表 6 所示,主要含有 C、H、O 元素,其氢碳质量比低于石油,但比煤炭高得多,将生物质中的氧脱除后,其氢碳质量比和重质石油相近,因此生物质生产运输燃料、石化产品比较合理。

表6 几种生物质植物的主要元素组成

Table 6 The major element composition of several kinds of biomass plants

成分	C/%	H/%	O/%	N/%	S/%	氢碳质量比
杉木	56.2	5.9	36.7	0.0	0.0	0.104
松木	52.3	5.8	38.8	0.2	0.0	0.111
红木	53.5	5.9	40.3	0.1	0.0	0.110
桦木	51.6	6.3	41.6	0.0	0.0	0.122
玉米芯	46.3	5.6	47.53	0.57	—	0.120
玉米秸	49.95	5.97	43.12	0.83	0.13	0.120
麦秸	49.04	6.16	43.41	1.05	0.34	0.126
高粱秸	48.63	6.08	44.92	0.36	0.01	0.125
稻草	48.87	5.84	44.38	0.74	0.17	0.120
稻壳	46.20	6.10	45.00	2.58	0.14	0.132

### 3.3 未来世界最紧缺的是运输燃料

随着世界经济的发展和交通工具的现代化,运输燃料需求将持续上升。世界知名咨询公司 Nexant 对 2025 年全球石油产品需求进行了预测研究,结果如表 7 所示。2025 年和 2005 年相比,汽油需求每天增加 710 万桶,柴油需求每天增加 1 060 万桶,航煤需求每天增加 280 万桶,三项合计每天增加 2 050 万桶。满足未来世界对运输燃料的需求是人类面临的巨大挑战。

表7 全球石油产品需求预测(单位:百万 t/d)

Table 7 Demand forecast of global oil products (unit: million t/d)

品种	2005 年	2015 年	2025 年	2005—2025 年 增长率/%
液化气	7.0	8.9	11.0	2.3
石脑油	6.0	8.8	13.0	4.0
汽油	21.1	24.7	28.2	1.5
航空煤油	6.6	8.0	9.4	1.8
柴油	23.0	27.9	33.6	1.9
重油燃料	10.5	10.9	11.5	0.4
合计	74.1	89.2	106.7	1.8

聚乳酸用生物质制造,是 21 世纪最具发展前景的生物可降解材料,有可能大规模替代以石油为原料的高分子材料,但其耐热性能较差。通过研究开发,目前已找到了改善其热性能的方法,另外其生产成本还偏高,但是可以预见随着技术进步,聚乳酸等生物基材料的市场需求会迅速增长,部分替代石油基合成材料<sup>[10]</sup>。综上所述,运输燃料和生物基材料是生物质能源利用的最佳方式。

### 3.4 生物质发电不应该是生物质能源利用的发展方向

电既可以从化石能源获得,也可以从除生物质以外的其他可再生能源获得。中长期可再生能源规划提出,2020 年可再生能源发电装机容量达到 2.9 亿 kW,占发电总装机容量的 30%,其中生物质发电达到 2 000 万 kW。目前作物秸秆、林业加工废弃物等生物质生产运输燃料技术尚未成熟,可以考虑用来发电,但不是发展方向,秸秆发电应有所控制。

## 4 世界生物燃料的发展态势

### 4.1 世界生物质生产运输燃料已经成为重要的可持续能源战略措施之一,呈现快速发展态势

2009 年全球燃料乙醇产量已达 5 895 万 t,是汽油消费量的 5.4%。《生物燃料》2009 年 7 月 28 日报道了 Pike 研究院 2009 年 7 月 27 日发布的预测报告:2022 年世界生物燃料市场将从现在的 1 000 亿美元提高到 2 800 亿美元以上,2009—2022 年世界生物燃料年增长率将达到 15%。美国 2009 年燃料乙醇产量为 3 156 万 t,是 2005 年 1 200 万 t 的 2.63 倍。美国 2007 年通过的《能源自主与安全法》扩大了《能源政策法 2005》中的可再生燃料标准,提出了到 2022 年替代 20% 汽油的目标,并决定加大政府拨款,支持纤维素乙醇等先进生物燃料的研究开发与生产<sup>[11]</sup>。欧盟 2009 年燃料乙醇产量为 313 万 t,是 2005 年 68 万 t 的 4.6 倍,计划 2020 年运输燃料中生物燃料的比例要达到 10%。巴西 2009 年燃料乙醇产量 1 980 万 t,是 2005 年 1 296 万 t 的 1.53 倍,替代了国内 56% 的汽油,巴西已有 700 多万辆灵活燃料汽车。印度工业生物燃料委员会通过由总理签署的法规,要求到 2017 年柴油和汽油中都添加 20% 的生物燃料,法规还要求组建两个新的生物燃料委员会并由政府监管,政府还将提供财政支持。

## 4.2 生产运输燃料是生物质利用技术开发的重点,各种新工艺新技术相继从实验室走向中试或工业示范

1) 建立在糖平台的纤维素乙醇生产技术不断进步,日趋成熟。加拿大 Iogen 公司在世界上率先建成 26 万 gal/a (1 gal = 3.785 L) 的纤维素乙醇装置,2004 年完成了技术验证。Genencor 公司和 Novozymes 公司从事生产纤维素乙醇关键技术纤维素酶等的技术开发,纤维素酶加工成本已大幅度下降。美国加利福尼亚州 Irvine 的 BlurFire 公司正在建设 400 万 gal/a 的纤维素乙醇工厂,计划 2010 年秋季投产,工厂采用了浓硫酸作催化剂,把纤维素、半纤维素转化成 C6 和 C5 混合糖,糖通过酵母连续发酵转化为乙醇的工艺,1 t (干基) 混合纤维素废料生产 78 ~ 85 gal 乙醇。英国 TMO 可再生能源公司 2009 年 9 月宣布开发成功一种纤维素乙醇工艺,可以加工 25 种不同的原料,TMO 工艺采用诺维信公司供应的一种酶,将预处理后的原料转化成复杂的糖类,再用 TM242 细菌在发酵罐中将 C5、C6 糖转化成乙醇。Coskata 公司 2009 年 10 月 9 日宣布投资 2 500 万美元在美国宾夕法尼亚州 Madison 建设纤维素乙醇的验证装置,该装置采用三步法工艺,先将生物质转化成合成气,再采用自己专有的微生物对合成气进行细菌发酵进而转化成乙醇。

2) 建立在热平台的生物燃料生产技术开发取得重大进展。德国 Choren 公司 2009 年 7 月初宣布建设在 Freiberg 的用木屑作原料的 1.5 万 t/a 的 BTL 装置 2010 年将投入商业化生产,Choren 公司还计划在德国 Schwedt 建设 20 万 t/a 的 BTL 装置。德国鲁奇公司 2009 年 2 月中旬宣布正在建设中型装置以验证其三阶段 bioliq 工艺,用于从生物质生产液体燃料。bioliq 工艺的第一步:生物质在 500 °C 快速热裂解为 bioliq 合成油;第二步:bioliq 合成油在高于 1 400 °C 的气化器中转化成合成气;第三步:合成气净化后送合成单元转化成燃料。美国 UOP 公司与 Ensgn 组建生物质制合成油的合资企业,采用 Ensgn 公司的快速热加工 (RTP) 技术转化森林和农业残余物生产合成油。美国 Virent 能源公司用自己开发的 BioForming 技术建成的 1 万 gal/a 的生物汽油工厂,2010 年 3 月开工生产,每天生产 130 gal 汽油。BioForming 技术以玉米、小麦秸秆和甘蔗渣等为原料,将水相重整工艺和石油炼制中常规的催化加工技术结合,直接生产汽油产品。美国明尼苏达

大学研究人员开发了生物质在微波作用下快速热裂解生成裂解油,热裂解油加氢生产喷气燃料和柴油的技术,其目标是利用微波热裂解技术建设分散热解与集中加氢结合的生物燃料工厂,生物质微波裂解技术已在移动式第二代中试上验证。美国 Syntec 公司 2010 年 1 月 8 日宣布与北达科他州大学能源与环境中心进行合作开发,采用生物质气化生成合成气,合成气在催化剂作用下生成丁醇,同时副产甲醇、乙醇、正丙醇。

3) 培育生物油藻制生物燃料成为技术开发的热点。美国国防部 2009 年 9 月宣布,选择 Solazyme 公司为美国海军开发海藻燃料,Solazyme 将在 2010 年为配伍性测试提供超过 2 万 gal 的 Soladiesel F-76 可再生军用馏分燃料。美国北达科他大学的能源与环境研究中心 (EERC) 接受科学应用国际公司 (SAIC) 的转包合同,将从海藻生产 100 % 喷气燃料,美国国防部防卫先进研究项目 (DARPA) 对这一工作提供了资助。林德公司和 Algenol 公司宣布联合进行微藻制生物燃料的开发工作。陶氏化学将与 Algenol 生物燃料公司合作,计划建设一套中试规模的生物炼厂,利用藻类和 CO<sub>2</sub> 生产乙醇。Algenol 有用混合藻类、CO<sub>2</sub>、盐水和阳光在光生物反应器中生产乙醇的技术。陶氏公司将为光生物反应器开发先进的材料和专用薄膜,并从邻近的制造装备提供 CO<sub>2</sub>。美国 Greencar Congress 2009 年 4 月 15 日报道美国能源部 Ames 实验室和爱荷华州立大学开发成功一种独特的方法,采用海绵状、大孔硅纳米颗粒从海藻中获取生物燃料,该技术可安全地从海藻中收获油类,池塘中繁殖的“作物”仍可保持生产状态,海藻有机体不会被杀死。

## 4.3 国际知名石油公司积极参与生物燃料技术开发

壳牌石油公司是 Iogen 公司纤维素乙醇、CHOREN 公司木屑气化生产柴油、Virent 能源公司生物质生产生物汽油的 BioForming 技术示范工厂的投资合作伙伴。BP 石油公司计划 10 年内投资 5 亿美元与美国伯克利大学、伊利诺伊大学、劳伦斯国家实验室等合作开发生物丁醇技术。Exxon 公司投资 6 亿美元与合作伙伴共同开发生物油藻生产运输燃料技术。芬兰国营 Neste 石油公司用废木柴生产生物柴油的工业示范装置 2009 年 6 月在芬兰 VarKaus 建成投产,该装置使用 Foster Wheeler 公司的循环流化床技术由废木材生产合成气,再用合成气生产合

成油。道达尔公司 2009 年 10 月 9 日宣布,将在称之为 Biofuel 的第二代生物柴油中型装置中提供 30% 约 3 000 万欧元以上的资金。

## 5 我国生物燃料产业发展现状与问题

### 5.1 燃料乙醇产业迅速起步,快速发展,增速趋缓

21 世纪初乙醇汽油 E10 经过试点后很快在 10 个省(自治区)推广。到目前为止,乙醇汽油消费量约占全国汽油消费量 20%;燃料乙醇产量迅速增长,2009 年增长到了 173.2 万 t,是 2005 年的 1.68 倍,年均增长 13.9%;非粮生物质燃料乙醇形成了规模生产能力;中粮集团广西生物能源有限公司以木薯为原料的燃料乙醇 2009 年产量已达 16.3 万 t,为当年燃料乙醇总产量的 9.4%。

但是近 2 年国内燃料乙醇增速明显放缓。国家为了粮食安全,禁止发展用粮食生产燃料乙醇,而发展纤维素乙醇技术还不成熟,燃料乙醇产量的增长速度已从 2005—2008 年的年均增速 16.2% 下降到 2009 年的 7.24%,目前呈现发展停滞的态势。

### 5.2 生物柴油始终受资源困扰,发展缓慢

生物柴油发展从民营企业起步,从 21 世纪初起,先后有海南正和生物能源公司、四川古杉油脂化工公司、福建卓越新能源发展公司利用餐厨废油、皂化油下脚料作原料生产生物柴油。经过努力我国已开发形成了多种生物柴油生产技术,大部分经中试验证,如酸或碱催化醇解工艺、负载化脂肪酶催化醇解工艺。有的已成功工业化,如近临界醇解工艺可加工多种原料,流程简单、操作方便、原料利用率高、生产能耗低、生产过程无“三废”排放,已建成 6 万 t/a 的生产装置。但是生物柴油的发展由于缺少原料支持,已建成的工业化装置往往不能满负荷长周期运转,产品尚未进入汽车燃料系统。

### 5.3 生物燃料技术开发取得明显进展,水平有待提高

华东理工大学利用自己的技术建成了 600 t/a 的验证工厂,以废木屑为原料,稀酸水解得到了 C6 糖后发酵生产乙醇。中国科学院过程工程研究所 在 秸 秆 预 处 理、 纤 维 素 固 态 酶 解 发 酵 等 纤 维 素 乙 醇 关 键 技 术 研 究 上 取 得 了 突 破, 山 东 泽 生 生 物 燃 料 科 技 公 司 建 成 了 3 000 t/a 的 验 证 装 置, 生 产 出 了 产 品。吉林省轻工业设计研究院与丹麦瑞速国家实验室合作研究开发秸秆湿氧化预处理生产乙醇技术,在只利用 C6 糖情况下,7.88 t 玉米秸秆可生产 1 t 乙醇。

中粮集团生化能源公司与诺维信公司等合作,在黑龙江肇东建成了以秸秆为原料的 500 t/a 乙醇中试装置,生产出了合格产品。河南天冠集团与国内多所高校联合研究开发纤维素乙醇生产技术,经过 300 t/a 中试试验后,建成了 5 000 t/a 生产装置并开始试运转,每吨乙醇需要使用 6.5~7.0 t 秸秆。清华大学中美生物燃料联合研究中心李十中等开发了先进固体发酵(ASSF)生产甜高粱秆乙醇技术,经 127 m<sup>3</sup> 的旋转床大型发酵罐验证,消耗 19.54 t 甜高粱秆(含糖量 8.4%)可生产 722 kg 燃料乙醇,发酵的酒糟是优质的饲料。根据 ASSF 试验结果测算,可以形成 2 000 hm<sup>2</sup>—1 万 t 乙醇—6 000 头牛—280 万 Nm<sup>3</sup>(Nm<sup>3</sup> 为标立方米,指 0℃、一个标准大气压下的气体体积)沼气—6 万 t 有机肥的产业链。在开发生物燃料技术的同时,在高产生物能源作物的技术开发上也取得了一定的进展。如有耐旱、抗盐碱等多重抗逆性的甜高粱,在我国不同地域种植都取得高产,新疆地区产量最高可达 90 t/hm<sup>2</sup>,糖锤度超过 17%。分析我国生物燃料技术开发的进展可知,与国外相比,仍存在明显差距。纤维素乙醇技术水平低,难以支持产业发展,缺乏大规模连续化、低能耗、低水耗的预处理技术,纤维素酶生产效率低、成本高,半纤维素水解产物 C5 糖发酵制乙醇技术尚未突破,低能量密度高度分散的农作物秸秆收集缺少高效率配套装备,储存过程防霉变缺少技术措施。生物油藻培育及生产燃料技术研究开发起步晚,处在实验室研究阶段。利用资源丰富的农林废弃物生产生物燃料的技术研究基本上集中在糖平台转化,热化学转化重视不够,虽有研究,但水平也较低。

## 6 积极培育我国生物质生产运输燃料产业的对策思考

### 6.1 扎实做好生物质生产运输燃料技术开发

a. 要克服浮躁,加大投入,组织好生物燃料生产技术开发。技术不成熟,缺乏经济性时,不能急于规划建设工业化装置。b. 生物质生产运输燃料技术开发中,要注意生物反应和化学反应,生物工程和化学工程,生物加工和石油、煤炭加工,工艺技术开发和装备研制开发的有机结合,善于集成创新。c. 利用秸秆、林业废弃物生产运输燃料技术是研究开发的重点。d. 利用秸秆、林业废弃物生产生物燃料技术开发,既要重视糖平台转化技术,还要重视热

化学转化平台技术。糖平台转化技术既要重视高效低成本纤维素水解酶和五碳糖发酵生成乙醇的菌种的研发,还要重视预处理设备与工艺技术开发。e. 热化学转化技术重点要突破适用于各种秸秆和林业废弃物的通用性较强的生物质气化技术,生物质与煤共气化时,生物质中含有的钾等可能对煤气化有催化作用,煤中的灰分可能有利于解决生物质单独气化时气化炉存在的问题,生物质与煤的共气化技术值得作为研究开发重点课题。f. 要积极进行生物质快速热裂解制油、裂解油加氢生产生物燃料技术的探索研究。

## 6.2 重视高产生物能源作物培育种植技术的研发

生物质是发展生物燃料产业的基础,生物燃料产业发展的规模取决于可获取的生物质资源的数量,生物燃料经济性与生物质资源的成本密切相关。而我国人口多,生物燃料产业顺利发展又必须坚持不与民争粮、不与粮争地的原则。现代生物技术可以为增产用于运输燃料生产的生物质提供强大的技术支持,必须重视采用现代生物技术培养高产能源作物的研究开发。

一要重视生物油藻的技术开发,生物油藻可以在咸水里生长,还能在污水里培育,生长速度快,单位面积生物油藻产油量可以是传统油料作物产油量的30~100倍,甚至更高。我国拥有较高水平的养藻技术,但油藻技术研究近年刚开始起步,应高效组织,加大投入,加快步伐。二要充分利用转基因技术,研究开发降低能源投入、增产能源生物质的技术。转基因生物质用于生产生物燃料,不必担心转基因生物引发的安全性风险。三要研究开发适合在不适宜种粮的低质土地上种植能源作物,形成适合不同地理和水土条件、不同气候环境、不同低质土地种植的能源作物系列。

## 6.3 研究适合国情的生物燃料产业发展模式

生物质能量密度低,生物质生产具有明显的周期性,生物质是典型的碳水化合物,储存过程极易发生霉变和腐烂。我国农业人口多,土地承包经营,单个农户种植面积小,集约程度低,农业机械化程度低。因此发展生物燃料产业,不能照搬规模经济学的概念,生物燃料生产要采用“适度规模,就近转化,统筹规划,模块建设,分散粗加工与集中深加工灵活结合”的思路。具体实施中,要根据生物质生产、储运、工艺过程、产品类别、周边条件进行模式设计。

还要注意引导和推动石油加工企业参与或从事生物质生产运输燃料业务。

## 6.4 将生物燃料工程列入国家重大科技专项工程

生物燃料的研究开发涉及生物能源作物的培育技术、生物燃料生产技术、生物燃料生产装备技术等研究开发,其中有大量的科学和技术问题。在实验室获取生物燃料的样品较容易,但要实现大规模连续化高效生产,而且和传统的石油燃料相比,要具有经济性绝非易事。应将生物燃料技术的研究开发列入国家重大专项。这一重大专项应以生物燃料产业化为主线,同时要包括利用边际性土地的能源作物增产技术、农作物秸秆和林业废弃物收集技术与装备。为了保证项目的顺利实施,应由中国科学技术部和国家能源局联合组织科技攻关,中国科学院及有科研能力的国有大型企业应该是科技攻关的主体。

## 7 结语

1) 发展生物燃料是我国经济社会发展减少对石油的过度依赖和减排二氧化碳的重要战略举措。

2) 生产运输燃料、生物基材料是生物质的最佳利用方式,生物质发电不是生物质能源利用的发展方向。

3) 全球生物质生产运输燃料已经并将继续呈现快速发展的态势,纤维素乙醇和BTL是当今世界生物质生产运输燃料技术研究开发的重点。

4) 我国生物质生产运输燃料技术和高产能源作物培育技术研究虽然取得了明显进展,但与先进国家比存在明显差距,技术水平有待提高。

5) 积极培育我国生物燃料产业,一要坚持糖平台和热化学平台技术研究并重,同时积极探索生物质热裂解制油,扎实做好生物质生产运输燃料技术开发工作。二要高度重视以油藻为代表的高产生物能源作物的培育技术的研究开发。三要研究适合国情的生物燃料产业发展模式。建议将生物燃料工程列入国家重大科技专项工程。

## 参考文献

- [1] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009中国可持续发展成果报告——探索中国特色的低碳道路[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 翟光明,王世洪. 中国油气资源可持续发展的潜力与挑战[J]. 中国工程科学,2010,12(5):4-10.
- [3] 韩大匡. 中国油气田开发现状、面临的挑战和技术发展方向[J]. 中国工程科学,2010,12(5):51-57.



- [4] Hubbert M K. Nuclear energy and fossil fuels[C]//American Petroleum Institution Drilling & Production Practice Proceeding Spring Meeting. San Antonio, Texas, 1956: 7-25.
- [5] Peter Tertzakian. A Thousand Barrels A Second[M]. New York: McGraw Hill, 2006.
- [6] Lionel Babal. Peak oil for dummies[EB/OL]. [2009-08-09]. <http://seekingalpha.com/article/154901-peak-oil-for-dummies>
- [7] Kjell A Leklett. Peak oil and the evolving strategies of oil importing and exporting countries[EB/OL]. [2007-12-01]. <http://www.peakoil.net/publications/other-reports-and-articles>.
- [8] United States Joint Forces Command. The joint operation environment[Z]. 2010.
- [9] National Research Council Academies. Liquid Transportation Fuels from Coal and Biomass[M]. Washington D C: The National Academies Press, 2009.
- [10] 甄光明. 乳酸及聚乳酸的工业发展及应用[C]//2009 工业生物技术发展报告. 北京: 科学出版社, 2009.
- [11] 刘润生. 美国先进生物燃料技术政策及态势分析[J]. 中国生物工程杂志, 2010, 30(1): 117-123.

## Develop bio-fuel actively to minimize dependence on petroleum

Cao Xianghong

(China Petrochemical Corporation, Beijing 100728, China)

[**Abstract**] This paper makes an analysis of the rising trend of China's petroleum consumption, the oil supply potential of China and the entire world, as well as great pressure China is facing in emission reduction, putting forward an idea that development of bio-fuel is one of the important strategic measures in reducing the excessive reliance of economic development and social progress on petroleum and reducing CO<sub>2</sub> emission. It then makes a brief discussion on the idea that developing bio-fuel and bio-based material is the best way to utilize the biomass, which is followed by a comprehensive narration of the status quo of bio-fuel development in China and the entire world and a presentation of countermeasures for developing bio-fuel industry in China.

[**Key words**] bio-fuel; bio-based material; biomass; CO<sub>2</sub> emission reduction; petroleum