

国外生物液体燃料发展和示范工程综述及其启示

陈伦刚, 赵 聪, 张 浅, 李 茜, 李宇萍*,

张兴华, 王晨光, 张 琦, 马隆龙

(广东省新能源和可再生能源研究开发与应用重点实验室, 中科院可再生能源重点实验室,
中国科学院广州能源研究所, 广州 510640)

摘 要: 概述了国内外利用农林废弃木质纤维素、能源作物和生活垃圾等生物质制备生物液体燃料的发展现状和工程进展动态, 着重讨论了美国、巴西、欧洲、加拿大等国促进生物液体燃料发展的政策和法规, 介绍了各国在纤维素乙醇、油脂加氢、气化-费托合成液态烃等生物液体燃料制备技术的大型运行及在建工程装置, 分析了中国该领域的基础, 分析了生物液体燃料发展中存在的主要障碍, 如原料成本及供给不确定, 高生产成本及政策不确定性。提出继续研发高效的生物液体燃料技术路线、加大中试和示范工厂建设和投入、开展生物液体燃料生产企业与航空公司及与传统能源化工公司的合作等促进其未来发展的建议与方向。同时应立足国情, 加强国家层面的生物液体燃料使用目标, 完善政策保障, 建立反映各类能源环境成本的能源价格和税收制度, 为生物液体燃料能源产业发展建立公平的竞争环境。

关键词: 生物燃料; 纤维素; 乙醇; 油脂加氢; 费托合成; 工程启示

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.13.002

中图分类号: TK6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-13-0008-08

陈伦刚, 赵 聪, 张 浅, 李 茜, 李宇萍, 张兴华, 王晨光, 张 琦, 马隆龙. 国外生物液体燃料发展和示范工程综述及其启示 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(13): 8-15. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.13.002

http://www.tcsae.org

Chen Lungang, Zhao Cong, Zhang Qian, Li Xi, Li Yuping, Zhang Xinghua, Wang Chengguang, Zhang Qi, Ma Longlong. Progress of liquid biofuel development and demonstration facilities in foreign countries and its inspiration for China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(13): 8-15. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.13.002

http://www.tcsae.org

0 引 言

生物质能是唯一可转换为液体燃料的可再生能源, 交通运输的快速发展需要安全、清洁的燃料, 因此可再生生物液体燃料尤为重要^[1-2]。2013 年世界燃料乙醇产量约为 7 086 万 t, 约占交通运输燃料 4%, 但几乎全部以淀粉类谷物或甘蔗为原料^[3]。美国、巴西、欧盟、中国和加拿大分别占世界生物燃料总量的 57%、27%、5.9%、3% 和 2.1%。美国玉米燃料乙醇和巴西甘蔗燃料乙醇已规模化应用, 生物柴油的大规模推广则需要扩大油料原料来源^[4]。而利用来源丰富的非粮类农林原料、城市生活垃圾、能源作物及有机废弃物为原料则是制备生物液体燃料产业未来发展的关键^[5-7]。

目前关于生物液体燃料发展尚有争议, 主要对于转化过程是否“真正可持续”及是否“与粮争地”的不同观点^[8]。其中 2011 年国际能源署提出了先进生物液体

燃料概念, 其应为“转化技术处于研发、中试或示范阶段, 一般为第二代或第三代生物液体燃料”^[9-10]。而欧盟将其定义为: (1) 原料来自农林废弃木质纤维素类、非粮食物作物如能源草和微藻、或工业废弃物; (2) 技术具有低 CO₂ 排放或显著温室气体排放降低特性和低土地使用风险^[11]。

总体来说, 包括了油脂(植物油、动物油、微藻油、废弃油脂)加氢技术(hydrotreated vegetable oils/fats HVO)、纤维素乙醇技术、生物质液体燃料技术(biomoass to liquids, BTL)等^[12-13]。当前中国生物燃料行业正处于中试、示范及商业化规模转化的关键阶段, 面临规模小、收率低、成本高的困境^[14-16]。本文将对美国、巴西、欧盟、加拿大等国在该领域的目标引导、政策/法规激励和资金支持等方面举措开展讨论, 介绍各国这方面典型生物液体燃料工厂和在建工程^[17-18]。通过借鉴这些国家的发展经验, 结合中国国情, 提出针对性的系统工程方法, 为中国生物液体燃料行业提供决策支持^[19-20]。

1 生物液体燃料制备途径

近三十年来生物液体燃料技术迅速发展, 开发的非谷物和甘蔗为原料的主要制备途径见图 1^[21-22]。包括纤维素解聚-糖发酵的纤维素乙醇技术、油脂加氢脱氧-加氢异构制备液态烃技术(hydrotreated vegetable oils/fats,

收稿日期: 2017-06-13 修订日期: 2017-06-28

基金项目: 广东省科技计划资助项目(2015A010106011 和 2016A050502037); 国家自然科学基金(51536009 和 51561145010)

作者简介: 陈伦刚, 男, 副研究员, 主要从事生物质热化学利用领域的研究。

广州 中国科学院广州能源研究所, 510640. Email: chenlg1981@ms.giec.ac.cn

※通信作者: 李宇萍, 女, 副研究员, 主要从事农林废弃物资源化利用领域的研究。广州 中国科学院广州能源研究所, 510640。

Email: liyp@ms.giec.ac.cn

HVO)、生物质热化学气化-费托合成液态烃技术、生物质裂解-生物油催化改质技术^[23-24]。也包括了微藻生物燃料和糖基及解聚中间体转化合成等^[25-26]。主要利用热化学、生物化学或混合过程对原料解聚,以生物油、合成气、糖平台、乙醇等为平台物种^[27-28]。产品主要有纤维素乙醇、合成汽油/煤油/柴油、合成甲醇等,可与石化产品以一定比例掺加^[29-30]。特别是油脂加氢和气化-费托合成制备的长链液态烃可直接作为发动机燃料使用^[31]。

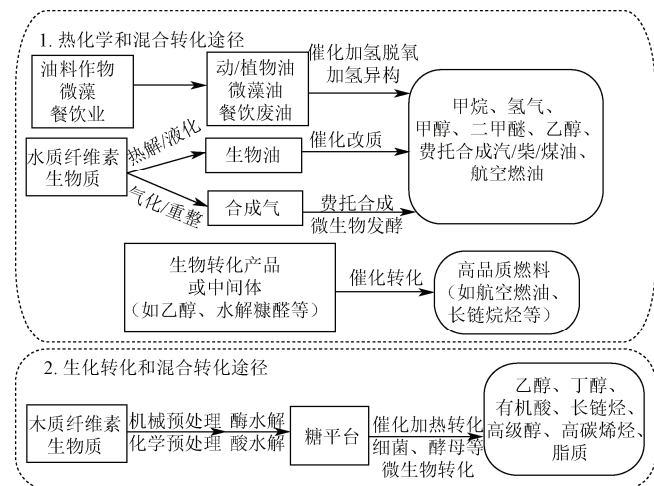


图 1 生物液体燃料制备技术途径

Fig.1 Technical pathways for liquid biofuel production

2 国外生物液体燃料发展状况

世界范围内有 100 多个不同规模的工厂或项目,上述路线生产生物液体燃料^[32]。但除纤维素乙醇和 HVO 有大规模运行工厂外,大多数技术处于中试或示范阶段^[33]。截止 2016 年底商业化运行的纤维素乙醇和 HVO 工厂分别有 12 个和 14 个,产能在 0.08 亿 L 以上^[34]。主要分布在美国、欧洲、巴西、加拿大、中国。下面就各国生物燃料政策、生物液体燃料发展及相关工程开展讨论^[20]。

2.1 美国

2007 年美国《能源独立及安全法案》提出 2022 年要达到 1 363 亿 L 生物燃料,其中纤维素等第二代生物液体燃料为 795 亿 L^[35-36]。因此美国政府和企业从生物质原料供应、转化技术、先进燃料示范项目(小试、中试、示范工厂、商业化工厂)及交叉领域等层面开展了研究和资金投入^[37]。要求供应商提供掺加一定比例生物乙醇或生物柴油的燃料,对生物燃料企业提供资金、贷款和税收等一系列刺激措施促进其发展。

能源部资助了一系列生物液体燃料计划及中试和示范项目,包括能源政策法案(2005)、“10 年降低 20% 汽油计划”(2007 年)、复苏与再投资法案(2009)、“生物液体燃料发展”项目(2011 年)、创新型生物炼化中试工程(2013 年)、Defense Production Act(2014 年)、生物燃料中试、示范工程(2016 年)等^[38]。特别通过复苏与再投资法案投入 4.84 亿美元,建设了 19 个生物液体燃料工程,包括 1 个商业化工程、4 个示范工程、12 个中试工程、2 个试验工程。目前美国生物液体燃料工程有

98 个,正在运行、建设和计划的主要生物液体燃料商业化工程如下^[39]:

1) 酸/酶水解-发酵制备纤维素乙醇项目:纤维乙醇是美国联邦可再生能源标准鼓励发展的技术之一,运行的项目主要有 Dupont、Poet-DSM、Quad County Corn、Flint Hills、Pacific Ethanol 公司的项目,年产能分别为 0.94、0.76、0.08、0.11 和 0.06 亿 L。但其产量和供应量不及产能 5%,使得美国环保署将纤维素乙醇目标产量从 2013 年的 38 亿 L 降低为 2014 年的 3.1 百万 L。除了 Dupont 公司项目外,其他工程均在玉米乙醇或玉米厂基础上改建。在建的主要有 Flint Hills 3 个项目、Redfield Energy、Kansas Ethanol、Siouxland Energy、MAAPW、Fiberight,产能在 0.04~0.23 亿 L 之间,预计在 2018—2019 年投产。计划项目主要有 Beta Renewable 和 ZeaChem,分别以能源作物和木材为原料,年产能预计为 0.76 和 0.83 亿 L。

2) 油脂加氢项目:运行的项目主要有 AltAir Fuels、Renewable Energy Group、Diamond Green Diesel,年产能分别为 1.59、2.83、6.1 亿 L,但受原料制约及油价低迷影响,开工率不足 4%。计划项目 Emerald Biofuels 和 SG Preston 的年产能为 3.33 和 4.54 亿 L。

3) 热化学气化-合成气合成醇醚及液态烃项目:Enkern 计划利用生活垃圾,在 Pontotoc 建设年产 0.38 亿 L 乙醇项目,但该项目无进一步消息。计划项目 Fulcrum Bioenergy 和 Red Rock Biofuels 的年产能分别为 0.38 和 0.45 亿 L,目前正在建设中。

商业工厂大多由几个公司合作,如 Butamax Advanced Biofuels LLC 由 BP 和 Dupont 共同投资,利用各自公司优势技术,形成优化集成工艺,政府则在工程贷款或税收方面给予一定支持或减免^[40]。

除上述大型生物液体燃料工程外,美国还有为数不少的中试或示范工程,其前期建设一般由政府投入或部分投入。如 American Process、ICM、Algenol Biotech 等 20 余个运行中的纤维素乙醇中试或示范工程。以微藻为原料,制备醇类示范工程主要有:Joule、Algenol Biotech、Proterro^[41]。合成气催化合成醇醚燃料的中试工程有 Lanza Tech 和 West Biofuels。热化学气化-费托合成先进液体烃类燃料的中试工程也有 20 多个,如 Cool Planet Energy Systems, Versa Renewable 等。热化学和生化技术结合制备化工品的中试项目有 Mercurius 和 Myriant Lake Providence Inc,产品分别为琥珀酸和乙酰丙酸乙酯^[42]。

近年来由于油价下跌和生物液体燃料技术难题未能攻关等因素,一些工程中途搁浅或停止运行。Kior Inc 在 2014 年宣布破产,在 Jennings 的 BP Biofuels 工程于 2015 年关闭。计划的商业化纤维素乙醇工程 Bluefire Renewable、Mascoma、Abengoa 等尚未开工。Ineos New Planet BioEnergy 气化-合成气发酵制备乙醇项目(产能 0.30 亿 L),2016 年停工^[34]。因此 2016 年美国纤维素乙醇产能仅为 3.21 亿 L,产量更低,约为 0.08 亿 L,远远低于环保署 2015 年目标的 4.54 亿 L^[43]。生物质制备液态烃燃料产量更低,2014 年、2015 年和 2016 年分别仅为 1.9 万 L、1.0

百万 L 和 2.0 百万 L。

2.2 巴西

巴西为世界第二大生物燃料生产国家,近 45%能源和 18%液体燃料来源于农作物^[44]。从 20 世纪 70 年代开始的 Proalcool 计划促进了甘蔗及生物乙醇发展。巴西计划在 2025 年和 2030 年分别减少 37%和 43%碳排放,因此目前强制使用添加 27%乙醇的汽油。全巴西有 3 百多个甘蔗乙醇厂,而规模较大的纤维素乙醇厂则仅有 3 个。

Granbio 建立了巴西第 1 个商业规模的纤维素乙醇工厂 Bioflex1,产能为 0.82 亿 L。采用 PROESA 前处理工艺(意大利 BetaRenewables, M&G Group),酶来自丹麦 Novozymes 公司,酵母来自荷兰 DSM 公司^[39]。Raizen Energia Participacoes S/A 公司以甘蔗乙醇工厂废弃物甘蔗渣原料,利用 Iogen Energy 纤维素乙醇技术,产能为 0.4 亿 L 纤维素乙醇。Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) 纤维素乙醇产能为 0.03 亿 L。但这 3 个工厂开工率仅为 5%,2016 年纤维素乙醇产量约为 0.06 亿 L^[43]。

其他的如蔗渣乙醇、生物塑料及生物化学品工厂基本处于试验及示范阶段。如 Copesul 计划在甘蔗乙醇基础上,生产甲基叔丁基醚,作为汽油添加剂。Dow 计划与巴西 Crystalsev 合作,在巴西兴建绿色塑料工厂,将由 Crystalsev 提供 7 亿 L 乙醇,生产 35 万 t 树脂。Rhodia 公司计划利用甘蔗乙醇,制备绿色溶剂乙酸乙酯和乙酸丁酯^[42]。

2.3 欧洲

2009 年欧盟可再生能源指令提出到 2020 年,可再生能源使用份额要达到 20%,其中 10%来自交通运输燃料,降低温室气体排放 20%,能量效率提高 20%^[45]。且第一代生物燃料用量不超过 7%,先进燃料应占 0.5%^[46]。为此,欧盟规定的生物燃料使用强制比例为 5.75%。部分成员国提出了更为严格的生物液体燃料使用比例。如意大利提出 2018 年和 2022 年,生物液体燃料份额至少为 0.6%和 1.0%^[43]。法国 2014 年起要求的燃料乙醇添加比例为 7%,其中纤维素乙醇和废弃物生物燃料比例为 0.25%和 0.35%。

欧盟对生物液体燃料研发及示范工程主要是采用资金支持的方法,主要有欧盟第七框架计划(7FP)、欧洲生物能源工业创新(European Industrial Bioenergy Initiative, EIBI)、NER300 和地平线 2020 等项目。智能能源项目(Intelligent Energy Program)则对生物液体燃料发展提供政策支持,如银行贷款优惠^[47]。7FP 支持了 7 个纤维素乙醇中试示范项目。NER300 通过两次项目筛选,对 7 个先进液体燃料工程提供 5.85 亿欧元资助,采用热化学路线的工程有 UPM 和 Woodspirit(甲醇),采用生化转化路线的工程有 BEST、W2B、CEG、MET, Ajos BTL 采用了催化加氢方法^[48]。欧盟典型生物液体燃料项目如下:

1) 纤维素乙醇项目:运行的大型工厂有 Beta Renewable(意大利,0.5 亿 L/a),2013 年产量约为产能的一半。Chempolis Biorefining(芬兰)、ChemCell Ethanol

(挪威)、Ethanolix GOT(瑞典)和 Futurol(法国)的产能分别 0.06、0.2、0.05 和 0.033 亿 L/a,但具体产量没有报道。Beta Renewable 在斯洛伐克的在建项目产能为 0.68 亿 L/a,2017 年开工。

2) 油脂加氢项目(HVO):Neste oil 公司开发的 NexBTL 技术,分别在新加坡、荷兰鹿特丹、芬兰建立了油脂加氢工程,产能合计达 25.6 亿 L。2014 年该公司生产了将近 1.3 百万 t 可再生柴油。工厂正逐步减少棕榈油使用量,计划 2017 使荷兰工厂完全以废弃油脂为原料。西班牙 Cepsa 公司和 Repsol 公司的 HVO 运行项目,产能分别为 0.91 亿 L 和 0.53 亿 L,产量约为产能一半。法国 Total 集团计划将位于 La Mede 炼化厂改造为生物 HVO 工厂,预计 2017 年底开工,产能为 0.90 亿 L。

3) 热化学气化-合成项目:目前开工的主要为小型试验项目^[42],如法国的 BioTfuel 以木质纤维素为原料,产出生物航油 60 t/a。由 Avril、Axens、CEA、IFPEN、ThyssenKrupp and Total 合作的 BioTfuel 示范工程,预计 2017 年开工,生物航油产能为 20 万 t/a。荷兰 BioMCN 利用沼气转化制备甲醇,产能为 20 万 t/a,但目前只利用了少部分产能。英国航空 Green Sky 项目,计划将城市固体废弃物转化为 0.6 亿 L 航空燃油,但由于缺乏政府支持及受油价影响,2016 年延缓开工。

2.4 加拿大

加拿大联邦可再生能源政策规定,交通燃料中至少包括 5%燃料乙醇或 2%可再生柴油^[49]。Manitoba 省汽油中乙醇添加比例为 8.5%,British Columbia 要求在 2020 年降低 10%传统化石能源使用量。按照上述要求,加拿大至少需要 20 亿 L 生物燃料。2016 年燃料乙醇总量为 17.5 亿 L,但其中大部分以玉米、谷物为原料生产的或进口。

而纤维素乙醇、费托合成烃类燃料的工程基本处于小试或中试阶段。IGPC 乙醇公司位于 Alymer 的在建纤维素乙醇项目产能为 0.12 亿 L,将利用玉米厂的玉米纤维素,预计 2018 年开工。Iogen 的纤维素示范工厂,在 2007-2012 年间的运行中,共生产了 2 百万 L 纤维素乙醇。Woodland Biofuel 纤维素乙醇中试工程,产能为 75 万 L/a,目前无生产信息。Enerkem Inc 公司采用农林废弃物气化、合成甲醇及乙醇技术,试验、示范和商业化工程分别生产 375 t/a、4 000 t/a 和 3 万 t/a 液体燃料。该公司在 Edmonton 的商业化工程可消耗 100 000 t 城市固体生活垃圾。与 Greenfield Ethanol Inc 的合资公司在 Varennes 的建设项目,也将采用类似路线,乙醇产能 3 万 t/a,还无开工消息。位于 Quebec 的 Synthesis Tembec Chemical Quebec 也利用气化-催化合成技术制备乙醇,年约生产 1.3 万 t 乙醇。Ensyn 的 Cote Nord 在建项目,利用热解-生物油精制技术,年产能为 3.6 万 t 汽油,在 2017 年开工建设^[42]。

3 国内生物燃料发展现状

中国从九五期间将生物质能列入科技发展计划^[50]。

2006 年《可再生能源法》、2007 年《可再生能源中长期发展规划纲要》、2014 年《国家能源发展战略行动计划（2014—2020 年）》、2014 年《国家应对气候变化规划（2014—2020）》和 2016 年《可再生能源十三五规划》等针对燃料乙醇、生物柴油等制定了产业目标，其中《十三五规划》中提出燃料乙醇年利用量达到 400 万 t^[51]。

在乙醇汽油使用方面，中国尚无全国性的强制要求。主要在黑龙江、辽宁、吉林、河南和安徽等 11 个省及江苏、山东、湖北和河北的 40 多个市推广 10%乙醇汽油。

出于粮食安全考虑，中国严格控制燃料乙醇生产厂家，对粮食乙醇生产补贴从 2009 年的 2 000 元/t 到 2016 年逐渐取消。2015 年开始对粮食乙醇征收附加税和 5%消费税。因此，未来国内生物燃料的增长途径主要依赖于纤维素类生物液体燃料。据业界估计，纤维素及非谷物乙醇产量在 2020 年应达 300 万 t。

目前国内有 11 个运行或计划建设的大型项目进行燃料乙醇生产，大部分以陈化粮、木薯、甜高粱为原料，仅有约 8%来自纤维素。纤维素乙醇示范工程有山东龙力，产能为 0.76 亿 L/a，河南天冠集团的 2 条生产线，年产能分别为 0.38 和 0.12 亿 L，其中一个产能 1.9 亿 L/a 的项目正在建设中。在建的美洁国祯绿色炼化有限公司和中粮肇东纤维素乙醇项目的计划年产能为 1.13 和 0.64 亿 L。2015 年国家开始鼓励企业联合研发，吸引了生物液体燃料国际公司如 Novozymes、DuPont 和 LanzaTech 投资或与中国企业合作。但大部分纤维素乙醇工厂开工不足，特别近两年油价低廉，更加抑制了生产企业的积极性。

由于油料作物及餐饮废油原料难题，国内 HVO 工程也处于示范阶段。中石化以棕榈油和餐饮废油为原料，建设了 2 万 t/a 油脂加氢示范工程，产品目前供应试飞需求。国航、中石油也计划与波音和 UOP 公司合作，推进中国 HVO 发展。

4 生物液体燃料发展主要障碍

尽管生物液体燃料在可持续发展、能源安全和低碳排放等方面具有巨大社会环境优势，但面临的原料成本和可及程度、高生产成本、政策不确定性等重重障碍使得其难以进入交通燃料市场^[52-53]。

4.1 原料成本高及供给不确定

与第一代生物液体燃料原料如玉米、甘蔗不同，木质纤维素类生物质资源丰富，自身价值低，但其低密度和高水分含量使得收、储、运等成本高^[33]。对纤维素乙醇工厂，到厂原料价格可达生产成本的 35%~50%。农林废弃物供给还涉及到环境、社会等问题^[54]。收集受土地可持续发展、土壤肥力等因素限制，如占可利用生物质量 75%的玉米秸秆，在收割后需要保留 30%在田里。对以林业原料为主的生物燃料工厂，争议主要在于土地使用性质改变和对气化变化影响。HVO 路线制备生物液体燃料需要餐饮废油、动/植物油、微藻油等油脂为原料，其供给有限，预计到 2020 年，供给量仅为 4.1 百万 t/a^[55]。

因此总体来讲，虽然生物液体燃料原料特别是木质纤维素资源量大，但现实利用量有限，原料成本高。这些因素使得生物燃料工厂原料的稳定供应难以保障。

4.2 高生产成本

由于木质纤维素原料的复杂三维大分子结构及需要分离木质素组分，使得生物液体燃料制备过程更为困难。技术的相对不成熟和不确定使得大规模生物液体燃料生产工厂面临技术、工程和经济性挑战。生物液体燃料生产成本与生产工艺、产能规模、运行收率等有关。2016 年美国可再生能源实验室报道纤维素乙醇成本为 0.57 美元/L（2.3 亿 L/a 规模工厂），先进航空燃油价格范围为 0.53~2.64 美元/L^[28]。而在当前油价低于 50 美元/桶时，生物液体燃料价格与常规汽油产品相比，完全没有价格优势^[53]，这也严重抑制了生物液体燃料发展的积极性。

4.3 政策的不确定性

美国稳定及持续的燃料乙醇政策措施使其产量快速增加，到 2015 年，达到 568 亿 L。但由于生物液体燃料政策的不确定性，如美国环境保护署对纤维素乙醇强制使用量要求上的波动，使其仍在为达到商业化运行的目标而奋斗。同时土地安全、社会经济和生物液体燃料使用的争议及生物液体燃料掺混限制也抑制了行业的发展^[56]。

目前比较广泛的燃料乙醇添加比例为 10%，如果发动机等基础设施可接受高掺混比例及消费者对更高掺混比例接受度较好，将极大刺激生物液体燃料生产^[57]。

近 2 年由于油价下跌，世界各国对纤维素生物液体燃料生产没有提供足够的法律和政策激励，对其发展和商业化进程也没有提供稳定的培育方向。这些生物液体燃料产业政策的不明确性，也使得木质纤维素原料的需求量不定，进而使得原料供应有限，导致的恶性循环也使得生物液体燃料市场举步维艰^[58]。

5 经验与借鉴

2014 年中国交通运输消耗的汽油、煤油、柴油等燃料约为 1.8 亿 t，如果其中 10%用生物液体燃料替代，则其需求是约为 1 800 万 t 先进液体燃料^[59]。而中国仅农作物秸秆一项就年产量约为 9.4 亿 t，如其中 40%被利用，可替代石油约 4 000 万 t，完全可满足生物液体燃料年需求^[19]。

国内生物液体燃料生产尚不具备规模，一些核心难题尚待攻关，距离规模化、产业化还有距离。特别是国内分散的家庭承包土地经营模式，使得年生物质利用量超过 10 万 t 的项目，原料收、储、运效率低。此外，全国尚无统一的强制先进生物液体燃料掺加标准，随着国内纤维素乙醇政府补贴及税收政策优惠取消，该行业发展困难。因此在借鉴上述生物液体燃料发达国家基础上，应开展以下工作：

1) 继续研发高效的生物液体燃料技术路线^[60]。如水相糖衍生物催化加氢、生物油催化炼化、乙醇-乙烯-烯烃

齐聚、木质素解聚-合成芳香烃/环烷烃等技术及新型平台化合物^[61-62]。对具有长期发展潜力的技术进一步提高物质和能量效率,提高技术自身的成熟度和竞争力^[63]。对副产品加以利用,如制备生物质石墨基墨烯^[64]、精细化学品如琥珀酸等提高系统的整体收益和降低生产风险。针对技术路线中的原料供给、技术、工艺转化效率、碳排放等建立相关的评估方法或指数^[65-67]。结合环境、技术、经济等因素开展多目标分析的系统工程方法对生物液体燃料工程开展分析,优选竞争力强、具有近期、或中远期发展前景的技术^[68-69]。

2) 国家加大生物液体燃料中试和示范工厂建设和投入。对于处于研发阶段的技术,项目资金支持有助于其研究发展,促进其从研究层面向市场推广。政府对生物液体燃料中试工程的支持,会有效降低转化路线的技术和资金风险,并可有效评估技术路线的可行性,搭建扩大规模的桥梁^[37-38]。一旦技术被证实可行,贷款支持则有利于技术孵化,同时从社会如石油公司、投资公司筹措资金将成为可能。

3) 开展生物液体燃料生产企业与航空公司及与传统能源化工公司的合作,特别是在石化厂合作,有利于直接利用现有设备如加氢、催化裂化装置,降低生物液体燃料项目投资及产品成本。与航空公司的合作将有助于获得安全认可及政策支持。

4) 在液体燃料政策制定上更多考虑社会环境因素,以突出生物液体燃料产品的优势如硫、氮含量低,强调其环境附加效益^[70]。通过全生命周期分析方法,体现生物液体燃料比石油产品的对比优势,从政策制定上激励上突出生物液体燃料的社会、环境竞争力,从而有力推进其发展。

6 结 论

通过上述国外生物液体燃料发展的目标设定、政策激励和工程状态讨论,可以看出 HVO 技术可利用已有的化工设备、转化步骤简单,相对成熟,但油脂类原料是制约其发展的关键。中国可通过筛选、培育固油微生物及在非耕地面积上种植油料作物,保障其远期发展。而利用来源丰富的农林废弃物、城市生活垃圾发展纤维素乙醇和生物汽油/柴油燃料则是生物液体燃料产业发展的保障。可对基本成熟的气化合成液体燃料技术建立 1 万 t/a 的中试示范装置,扶持和发展 10 万 t/a 的纤维素乙醇商业化运行工厂。

同时立足国情,完善政策保障,加强国家层面的生物液体燃料使用目标,进一步明确木质纤维素资源开发利用的战略趋向和发展目标。在国际油价降低、生物燃料缺乏竞争力时加强技术攻关和储备,降低先进生物液体燃料价格,逐步降低其对政策扶持的依赖程度,加大科技研发与试点示范项目投入。建立全国碳排放市场,建立反映各类能源环境成本的能源价格和税收制度,为先进能源产业发展建立公平的市场竞争环境。开放市场及国家补贴范围,吸引更多社会和国外技术、资金投入。

[参 考 文 献]

- [1] Chu S, Majumdar A. Opportunities and challenges for a sustainable energy future[J]. *Nature*, 2012, 488(7411): 294—303.
- [2] Naik S N, Goud V V, Rout P K, et al. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2010, 14(2): 578—597.
- [3] Cheng J J, Timilsina G R. Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review[J]. *Renew Energ*, 2011, 36(12): 3541—3549.
- [4] Guo M X, Song W P, Buhain J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2015, 42: 712—725.
- [5] Stephen J D, Mabee W E, Saddler J N. Lignocellulosic ethanol production from woody biomass: The impact of facility siting on competitiveness[J]. *Energ Policy*, 2013, 59: 329—340.
- [6] Wang K G, Ou L W, Brown T, et al. Beyond ethanol: A techno-economic analysis of an integrated corn biorefinery for the production of hydrocarbon fuels and chemicals[J]. *Biofuel Bioprod Bior*, 2015, 9(2): 190—200.
- [7] 何玉凤, 钱文珍, 王建凤, 等. 废弃生物质材料的高附加值再利用途径综述[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(15): 1—8.
He Yufeng, Qian Wenzhen, Wang Jianfeng, et al. High value-added reutilization approach for waste biomass materials[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(15): 1—8. (in Chinese with English Abstract)
- [8] Aro E M. From first generation biofuels to advanced solar biofuels[J]. *Ambio*, 2016, 45: 24—31.
- [9] Balan V, Chiamonti D, Kumar S. Review of US and EU initiatives toward development, demonstration, and commercialization of lignocellulosic biofuels[J]. *Biofuel Bioprod Bior*, 2013, 7(6): 732—759.
- [10] International Renewable Energy Agency. Innovation outlook advanced liquid biofuels [EB/OL].[2017-06-10] <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=2741>
- [11] Oak Ridge National Laboratory DOE. 2016 Billion-ton report-Advancing domestic resources for a thriving bioeconomy [EB/OL]. [2017-06-10] <https://energy.gov/eere/bioenergy/2016-billion-ton-report>.
- [12] Brown T R, Brown R C. Techno-economics of advanced biofuels pathways[J]. *RSC Adv*, 2013, 17 (3): 5758—5764.
- [13] Papoutsakis E T. Reassessing the progress in the production of advanced biofuels in the current competitive environment and beyond: What are the successes and where progress eludes us and why[J]. *Ind Eng Chem Res*, 2015, 54(42): 10170—10182.
- [14] 张利雄, 闵恩泽. 从近期美国在生物质炼油化工厂建设的投入思考其在我国的发展[J]. *石油学报(石油加工)*, 2011, 27(2): 155—161.
Zhang Lixiong, Min Enze. Some thoughts on development of biorefineries in China through US government's investment in construction of biorefineries in recent years[J]. *Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section)*, 2011, 27(2): 155—161. (in Chinese with English abstract)

- [15] Pearlson M, Wollersheim C, Hileman J. A techno-economic review of hydroprocessed renewable esters and fatty acids for jet fuel production[J]. *Biofuel Bioprod Bior*, 2013, 7(1): 89–96.
- [16] Kelloway A, Daoutidis P. Process synthesis of biorefineries: optimization of biomass conversion to fuels and chemicals[J]. *Ind Eng Chem Res*, 2014, 53(13): 5261–5273.
- [17] Demirbas M F, Balat M. Recent advances on the production and utilization trends of bio-fuels: A global perspective[J]. *Energ Convers Manage*, 2006, 47(15/16): 2371–2381.
- [18] Fiorese G, Catenacci M, Verdolini E, et al. Advanced biofuels: Future perspectives from an expert elicitation survey[J]. *Energ Policy*, 2013, 56: 293–311.
- [19] 王红彦, 王飞, 孙仁华, 等. 国外农作物秸秆利用政策法规综述及其经验启示[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(16): 216–222.
- Wang Hongyan, Wang Fei, Sun Renhua, et al. Policies and regulations of crop straw utilization of foreign countries and its experience and inspiration for China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of CASE)*, 2016, 32(16): 216–222. (in Chinese with English abstract)
- [20] Klessmann C, Held A, Rathmann M, et al. Status and perspectives of renewable energy policy and deployment in the European Union-What is needed to reach the 2020 targets?[J]. *Energ Policy*, 2011, 39(12): 7637–7657.
- [21] 李宇萍, 章青, 王铁军, 等. 第二代生物航空燃油的关键技术和进展动态[J]. *林产化学与工业*, 2014, 34(5): 162–168.
- Li Yuping, Zhang Qing, Wang Tiejun, et al. Progress in synthesis technologies and development activities of 2nd generation biojet fuel[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2014, 34(5): 162–168. (in Chinese with English abstract)
- [22] Sims R E H, Mabee W, Saddler J N, et al. An overview of second generation biofuel technologies[J]. *Bioresource Technol*, 2010, 101(6): 1570–1580.
- [23] 姬登祥, 高明辉, 于凤文, 等. 熔融 $ZnCl_2$ -KCl 作用下生物质热裂解制生物燃料[J]. *太阳能学报*, 2015, 36(3): 647–651.
- Ji Dengxiang, Gao Minghui, Yu Fengwen, et al. Production of biofuel from biomass pyrolysis in molten $ZnCl_2$ -KCl[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2015, 36(3): 647–651. (in Chinese with English abstract)
- [24] 左华亮, 刘琪英, 王铁军, 等. 负载的 Ni 催化剂上植物油脂加氢脱氧制备第二代生物柴油[J]. *燃料化学学报*, 2012, 40(9): 1067–1073.
- Zuo Hualiang, Liu Qiying, Wang Tiejun, et al. Catalytic hydrodeoxygenation of vegetable oil over Ni catalysts to produce second-generation biodiesel[J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2012, 40(9): 1067–1073. (in Chinese with English abstract)
- [25] Wang W, Tao L. Bio-jet fuel conversion technologies[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2016, 53: 801–822.
- [26] Skeer J, Boshell F, Ayuso M. Technology innovation outlook for advanced liquid biofuels in transport[J]. *ACS Energy Lett*, 2016, 1(4): 724–725.
- [27] 张琦, 马隆龙, 张兴华. 生物质转化为高品位烃类燃料研究进展[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(1): 170–179.
- Zhang Qi, Ma Longlong, Zhang Xinghua. Progress in production of high-quality hydrocarbon fuels from biomass[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2015, 46(1): 170–179. (in Chinese with English abstract)
- [28] Cheng W W, Tao Ling, Jennifer M, et al. Review of biojet fuel conversion technologies [R]. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2016.
- [29] 赵丽丽, 常世彦, 许洁, 等. 中国生物液体燃料技术经济分析及预测[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2015, 55(9): 1023–1035.
- Zhao Lili, Chang Shiyan, Xu Jie, et al. Technical-economic analyses and prediction of liquid biofuels in China[J]. *Journal of Tsinghua University: Natural Science Edition*, 2015, 55(9): 1023–1035. (in Chinese with English abstract)
- [30] 袁正求, 龙金星, 张兴华, 等. 木质纤维素催化转化制备能源平台化合物[J]. *化学进展*, 2016, 28(1): 103–110.
- Yuan Zhengqiu, Long Jinxing, Zhang Xinghua, et al. Catalytic conversion of lignocellulose into energy platform chemicals[J]. *Progress in Chemistry*, 2016, 28(1): 103–110. (in Chinese with English abstract)
- [31] 张家仁, 邓甜音, 刘海超. 油脂和木质纤维素催化转化制备生物液体燃料[J]. *化学进展*, 2013, 25(2/3): 192–208.
- Zhang Jiaren, Deng Tianyin, Liu Haichao. Catalytic production of liquid biofuels from triglyceride feedstocks and lignocellulose[J]. *Progress in chemistry*, 2013, 25(2/3): 192–208. (in Chinese with English abstract)
- [32] Bacovsky D, Ludwiczek N, Ognissanto M, et al. Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012-A report to IEA bioenergy task 39 [EB/OL]. [2017-06-10] <http://task39.ieabioenergy.com/2013/12/report-on-the-status-of-advanced-biofuels-demonstration-facilities-in-2012/>.
- [33] Orts W J, McMahan C M. Biorefinery developments for advanced biofuels from a sustainable array of biomass feedstocks: Survey of recent biomass conversion research from agricultural research service[J]. *Bioenerg Res*, 2016, 9(2): 430–446.
- [34] Warner E, Schwab A, Bacovsky D. 2016 Survey of non-starch alcohol and renewable hydrocarbon biofuels producers [EB/OL]. [2017-06-10] www.nrel.gov/docs/fy17osti/67539.pdf.
- [35] Chen M, Smith P M, Wolcott M P. U.S. Biofuels industry: A critical review of the opportunities and challenges[J]. *Bioproducts business*, 2016, 1(4): 42–59.
- [36] Bioenergy technologies office. Multi-year program plan [EB/OL]. [2017-06-10] <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/downloads/bioenergy-technologies-office-multi-year-program-plan-march-2016>.
- [37] Unkefer C J, Sayre R T, Magnuson J K, et al. Review of the algal biology program within the National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts[J]. *Algal Res*, 2017, 22: 187–215.
- [38] Department of Energy. Bioenergy Technologies Office Funding Opportunities [EB/OL]. [2017-06-10] <https://energy.gov/eere/bioenergy/bioenergy-technologies-office-funding-opportunities>.

- [39] Brown T R, Brown R C. A review of cellulosic biofuel commercial-scale projects in the United States[J]. *Biofuel Bioprod Bior*, 2013, 7(3): 235—245.
- [40] Butamax. Butamax-A joint venture between BP and Dupont [EB/OL]. [2017-06-10] <http://www.butamax.com/biofuel-company.aspx>.
- [41] Solecki M, Anna Scodel, Epstein B. Advanced biofuel market report 2013: Capacity through 2016[EB/OL]. [2017-06-10] members.e2.org/ext/doc/E2AdvancedBiofuelMarketReport2013.pdf
- [42] International Energy Agency. Commercializing liquid biofuels from biomass-Database on facilities for the production of advanced liquid and gaseous biofuels for transport[EB/OL]. [2017-06-10] <http://demoplants.bioenergy2020.eu/>.
- [43] Nguyen Q, Bowyer J, Howe J, et al. Global production of second generation biofuels: Trends and influences [EB/OL]. [2017-06-10] www.dovetailinc.org/report_pdfs/2017/dovetailbiofuels0117.pdf
- [44] Barros S. Brazil biofuels-annual report-2016[EB/OL]. [2017-06-10]. <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-biofuels-annual-1>.
- [45] Lieberz S. Biofuel Mandates in the EU by Member State in 2017 [EB/OL]. [2017-06-10] <https://www.fas.usda.gov/data/eu-28-biofuel-mandates-eu-member-state-1>.
- [46] Flach B, Lieberz S, Rondon M, et al. EU-28 Biofuel annual-2016 [EB/OL]. [2017-06-10] <https://www.fas.usda.gov/data/eu-28-eu-biofuels-annual-0>.
- [47] Arup URS Consortium. Advanced biofuel demonstration competition feasibility study [EB/OL]. [2017-06-10] <https://www.gov.uk/government/publications/advanced-biofuels-demonstration-competition-feasibility-study>.
- [48] European Commission. Finance for installations of innovative renewable energy technology and CCS in the EU [EB/OL]. [2017-06-10] <http://www.ner300.com/>.
- [49] Dessureault D. Canada biofuels annual [EB/OL]. [2017-06-10] <https://www.fas.usda.gov/data/canada-biofuels-annual-2>.
- [50] Zhao Jun. Development of China's biofuel industry and policy making in comparison with international practices[J]. *Science Bulletin: English Edition*, 2015, 60(11): 1049—1054.
- [51] Fang X, Shen Y, Zhao J, et al. Status and prospect of lignocellulosic bioethanol production in China[J]. *Bioresource Technol*, 2010, 101(13): 4814—4819.
- [52] Withers J, Quesada H, Smith R L. Bioeconomy survey results regarding barriers to the united states advanced biofuel industry[J]. *Bioresources*, 2017, 12(2): 2846—2863.
- [53] U.S. Department of Energy. Alternative aviation fuels: overview of challenges, opportunities, and next steps[R]. Washington DC: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2017.
- [54] Searle S Y, Malins C J. Waste and residue availability for advanced biofuel production in EU Member States[J]. *Biomass Bioenerg*, 2016, 89: 2—10.
- [55] Milbrandt A, Kinchin C, McCormick R. The feasibility of producing and using biomass-based diesel and jet fuel in the United States[R]. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2013.
- [56] Ribeiro L A, da Silva P P, Ribeiro L, et al. Modelling the impacts of policies on advanced biofuel feedstocks diffusion[J]. *J Clean Prod*, 2017, 142: 2471—2479.
- [57] 吴永明. 基于 CGE 模型的我国燃料乙醇产业财政政策研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
Wu Yongming. Research on Fiscal Policy Support for fuel Ethanol Industry in China Using CGE Model[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [58] Schillo R S, Isabelle D A, Shakiba A. Linking advanced biofuels policies with stakeholder interests: A method building on quality function deployment[J]. *Energy Policy*, 2017, 100: 126—137.
- [59] 中国统计局. 中国统计年鉴-按行业分能源消耗量 (2014 年) [EB/OL]. [2017-06-10] <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/indexch.htm>.
- [60] 张冀翔, 王东, 蒋宝辉, 等. 厨余垃圾水热液化制取生物燃料[J]. *化工学报*, 2016, 67(4): 1475—1482.
Zhang Jixiang, Wang Dong, Jiang Baohui, et al. Hydrothermal liquefaction of kitchen waste for bio-oil production[J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*, 2016, 67(4): 1475—1482. (in Chinese with English abstract)
- [61] 杨珍, 傅尧, 郭庆祥. 生物质平台分子 γ -戊内酯的研究进展[J]. *有机化学*, 2015, 35(2): 273—283.
Yang Zhen, Fu Yao, Guo Qingxiang. Recent Progress in the studies of biomass platform molecule γ -valerolactone[J]. *Chinese Journal of Organic Chemistry*, 2015, 35(2): 273—283. (in Chinese with English abstract)
- [62] 毕培燕. 木质素定向合成航空煤油环烷烃和芳烃组分研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
Bi Peiyan. Directional Synthesis of Jet and Diesel Fuel Range Cycloparaffins and Aromatics Using Lignin[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [63] Grossmann I E, Martin M. Energy and water optimization in biofuel plants[J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2010, 18(6): 914—922.
- [64] 张志礼, 杨仁党. 生物质基石墨烯复合材料的综述[J]. *化工学报*, 2016, 67(S2): 1—13.
Zhang Zhili, Yang Rendang. Preparation and application of biomass-based graphene composites[J]. *CIESC Journal*, 2016, 67(S2): 1—13. (in Chinese with English abstract)
- [65] 刘长奇, 黄亚继, 刘培刚, 等. 生物质快速热解制车用燃料过程的能值分析[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2014, 44(6): 1200—1205.
Liu Changqi, Huang Yaji, Liu Peigang, et al. Emergy analysis of biomass fast pyrolysis for production of vehicle fuel[J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2014, 44(6): 1200—1205. (in Chinese with English abstract)
- [66] 孟海波, 赵立欣, 高新星, 等. 生物液体燃料可持续发展评价系统[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 218—223.
Meng Haibo, Zhao Lixin, Gao Xinxing, et al. Bio-liquid fuel sustainable assessment system in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(12): 218—223. (in Chinese with English abstract)
- [67] 王效华. 江苏省生物质能资源调查与评估方案设计[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(4): 204—207.
Wang Xiaohua. Plan design for investigation and assessment

- of biomass energy resources in Jiangsu province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(4): 204—207. (in Chinese with English abstract)
- [68] 郭金凤, 王树荣, 尹倩倩, 等. 生物质经甲醇法和费托法制取汽油的生命周期评价[J]. 太阳能学报, 2015, 36(9): 2052—2058.
Guo Jinfeng, Wang Shurong, Yin Qianqian, et al. Life cycle assessment comparison of biomass to gasoline through MTG and STG methods[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2015, 36(9): 2052—2058. (in Chinese with English abstract)
- [69] 沈强, 姚炎明, 何勇. 基于灰色多层次综合评判模型的生物质能开发方案优选[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 179—185.
Shen Qiang, Yao Yanming, He Yong. Optimum method for biomass energy development projects based on gray multi-hierarchical comprehensive appraisal[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(17): 179—185. (in Chinese with English abstract)
- [70] Liu Zhezheng, Qiu Tong, Chen Bingchen. A LCA based biofuel supply chain analysis framework[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2014, 22(6): 669—681. (in English)

Progress of liquid biofuel development and demonstration facilities in foreign countries and its inspiration for China

Chen Lungang, Zhao Cong, Zhang Qian, Li Xi, Li Yuping^{*},

Zhang Xinghua, Wang Chengguang, Zhang Qi, Ma Longlong

(Guangdong Key Laboratory of New and Renewable Energy Research and Development, Key Laboratory of Renewable Energy, Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Biofuels derived from renewable biomass has been the focus of bio-based economy. Especially the development of new processes and facilities from lignocellulosic waste for advanced biofuel production represents an important field for academic research and industrial innovation within bioenergy development. The technical pathways for advanced biofuel production include the processes of cellulosic ethanol through lignocellulose hydrolysis-sugar fermentation, two-step hydrogenation (hydrodeoxygenation and hydroisomerization) of oils and fats (HVO), biomass gasification-Fischer Tropsch synthesis, biomass pyrolysis-upgrading of bio-oil and hydrotreating of algae oil via thermochemical, biochemical and hybrid conversions. Bio-oil, syngas, and sugars are used as platform chemicals. The progress of advanced biofuel development and the project activities in foreign countries were reviewed, which used lignocellulosic biomass, energy crops, municipal solid waste and organic waste as feedstock. The policies and regulations of advanced biofuels in America, Brazil, European Union and Canada, were described and compared. The current status of commercial and demonstration-scale facilities for advanced biofuel production was also discussed, mainly following the conversion processes of lignocellulosic ethanol, hydrotreated oils/fats (HVO) and biomass gasification-Fischer Tropsch synthesis. Although advanced biofuels have advantages for sustainable development, energy security and low carbon emission, the overall production and develop pathways cannot have cost parity with fossil-based fuels. The key barriers associated with its high cost include the unreliable feedstock availability, high production cost and uncertainty of policies. Biomass feedstock, especially lignocellulosic biomass, has huge annual amount worldwide, yet the significant hurdles for collecting, transportation and storage of biomass are needed to overcome in the scale-up of advanced biofuel production. And the limited lignocellulosic feedstock supply is also the result of uncertainties associated with its demand in the current market. Technical risk associated with scaling-up facilities is another restraining factor for investors due to the complexity of lignocellulosic feedstock and its conversion technologies, compared with starch-based corn ethanol. Financial support for pilot and demonstration plants can provide a valuable opportunity to validate technology from lab scale to commercial scale. Thus it would significantly reduce the technical and financial risks for new technology deployment. Cheap crude oil price in recent years is another reason, which resulted in the lack of policy irritation intention from government. As a consequence, the inconsistent developments of advanced biofuels cause its slowdown, and then form a vicious circle for limited feedstock supplements. The assessment of advanced biofuel in China was also discussed and its future development prospect was proposed. Due to the concern of food security in China, the only solution of biofuel production is using waste biomass via advanced technologies. HVO process is relatively easy and mature due to the utilization of bolt-on technologies by introduction of the advanced biofuel refineries into the existing petroleum refinery. Expanding the sources of oil feedstock by screening oil-fixing microorganisms, planting oil plant on marginal land will guarantee its long-term development in China. Cellulosic ethanol, bio-gasoline and biodiesel from lignocellulosic feedstock are essential guarantee for its perspective production. It is necessary to financially support cellulosic ethanol facilities of 100 000 t/a and gasification-Fischer Tropsch facilities of 10 000 t/a to demonstrate advanced biofuel production. And consistent policy measures are needed to provide investors with certainty about the future growth of advanced biofuel production in China, such as national mandatory addition of biofuel in transportation fuel, and adequate investment on demonstration project.

Keywords: biofuels; cellulose; ethanol; hydrogenation of vegetable oil/fats; Fischer Tropsch synthesis; project inspiration