

美国纤维素乙醇产业化发展概况

赵向东

(山东科技大学理学院, 青岛 266510)

摘要: 纤维素乙醇是目前最有希望大规模替代石油的可再生燃料。美国政府近年来十分重视纤维素乙醇的研发及产业化, 采取立法、与企业联合研发及开展产业化示范项目等多种手段加速纤维素乙醇的研发和产业化进程。本文介绍了美国纤维素乙醇研发的目标、技术进度时间表及几个产业化示范项目的技术特色。

关键词: 美国; 纤维素乙醇; 产业化; 再生燃料; 替代

中图分类号: TKTQ352 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2009.09.005

一、前言

传统化石能因其储量有限、日渐枯竭, 价格逐渐走高。曾一度接近每桶150美元, 难怪有人预测, 我们已经步入高油价时代。地缘政治局势的动荡, 更加剧了能源供应的不确定性, 使能源安全问题日益凸显。同时, 传统能源的污染和温室气体排放问题与气候变化紧密相关, 已经成为全球所共同关注的热点。

为解决能源安全和温室气体排放这两大直接关系到国计民生的问题, 各国都在积极向清洁、可再生能源领域寻求出路。美国, 作为车轮上的国家, 最迫切需要解决的问题就是为汽车提供替代燃料, 减少对进口石油的依赖。

从技术上来讲, 虽然有氢燃料电池汽车、电动汽车等多种选择, 但生物燃料, 特别是生物乙醇无疑是近期最有希望大规模替代石油、解决燃眉之急的可再生能源。

2005年, 美国颁布《能源政策法》, 要求到2012年, 美国的替代性燃料用量要达到75亿加仑。而实际上, 2007年的生物乙醇产量就已经基本达到了这个指标。正是看到了这一迅猛增长的态势, 2007年布什总统又在“10年20%计划”中提出到

2017年, 生物乙醇用量要达到350亿加仑, 替代15%的汽油。正是在这些政策激励下, 加上国际石油价格日渐走高, 美国生物乙醇产业迅猛崛起。从近年来美国乙醇产能的迅猛增长(见图1)不难看出, 2008年已经达到了年产130亿加仑以上的能力, 比2007年几乎翻了一番, 更是2000年的近7倍, 照这样的趋势发展下去, 布什总统的目标可以说指日可待。

但遗憾的是, 目前, 美国生产的生物乙醇几乎全部是用粮食作物(主要是玉米)为原料。乙

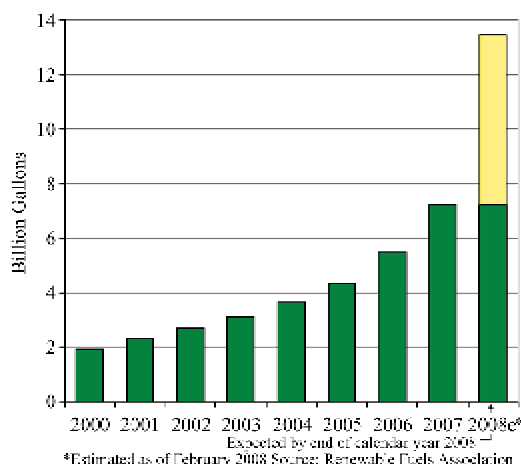


图1

作者简介: 赵向东 (1967-), 男, 山东科技大学理学院副院长, 教授; 研究方向: 机电动力系统, 美国能源科技政策。

收稿日期: 2008年10月16日

醇工厂的迅猛扩建，使得玉米价格也不断飞涨，直接关系到世界粮食安全问题。同时，也使得玉米乙醇的利润空间受挤压，估计未来乙醇厂扩建的增速会稍稍放缓。2007年底通过的《能源自立与安全法》就规定，到2022年，生物燃料的用量要达到360亿加仑，但其中粮食乙醇不得超过150亿加仑。并且要求从2010年开始，纤维素乙醇的用量要占到1亿加仑，到2022年，要达到160亿加仑。此举使得发展纤维素乙醇充满希望，纤维素乙醇生产技术成为近年来研发及商业化生产示范的重点。

二、美国纤维素乙醇技术研发及产业化示范

能源部主管生物质能产业化的是能效和可再生资源办公室下属的生物质项目办公室。该部门通过与其它政府部门（主要是农业部）、大学，特别是企业建立合作伙伴，共同推进先进生物能源技术的示范及产业化。近年来，能源部对生物质能项目的投入不断增加，2007年，能源部纤维素乙醇的研发和商业化方面预算翻了一番。

（一）生物质能项目简介

能源部生物质能项目主要包含三个方面：

1. 核心技术研发：

- 生物质原料核心研发：主要是生物质的收获、存储和运输；

- 转化工艺核心技术研发：即将生物质转化成液体燃料及其它生物产品。其主要方向：一是生物化学转化，即将生物质转化为糖，再把糖发酵变成燃料及其它化学生物产品；二是热化学转化，即先将生物质气化或高温分解，然后再制成液体燃料。

2. 技术示范及应用：

- 集成生物炼油厂：将生物燃料生产的全过程进行集成示范，目的是验证小试后的技术进行规模较大的商业化应用的可行性；

3. 基础设施及终端用户的准备：

- 促进生物燃料配送设施的建设和使用生物燃料的汽车的生产，在公众中宣传推广生物燃料。

4. 市场转型

- 大规模生物燃料的供应必将会导致经济各

部门的迅速变化，期间也会产生生物质能市场化的障碍。应设法消减这些可能出现的问题。能源部的手段主要有三：一是与利益相关者良好沟通；二是建立战略合作伙伴；三是使用政府手段，如立法和规定等。

该项目办公室2008年3月发布了最新的《生物质多年研发、示范项目计划》，按照不同的生物质原料提出了7种生物炼化技术路线：玉米干磨法，玉米湿磨法，油籽作物、农业废弃物、林业废弃物、能源作物（含木本及草本）、垃圾等处理工艺。其中纤维素乙醇被作为近期最有希望大规模生产的生物燃料，能源部将着力推进此类技术开发，最终建设以生产纤维素乙醇为主的集成生物炼化厂。

类似于传统的石油炼化厂，集成化的生物炼化厂都是生物质能产业化的标志性成果，生物炼化厂可将可再生的生物质原料转化成生物燃料、电力和化学制品等。

（二）纤维素乙醇产业化目标

纤维素乙醇产业化的总体目标是通过技术进步使纤维素乙醇的成本到2012年与玉米乙醇相比具有竞争力，降到1.33美元每加仑，到2017年每加仑降到1.2美元（按能源部可再生能源实验室模型预测，价格以2007年美元折算，下同）。

具体目标如下：

1. 原料供应：

- 到2012年，生物质原料成本（含收集、存储、预处理、运输等）折合乙醇成本为每加仑0.37美元；供应量达到每年1.3亿千吨；

- 到2017年，上述指标每加仑为0.33美元和每年2.5亿千吨。

2. 转化工艺：

- 到2012年，生物质原料转化为纤维素乙醇的工艺成本每加仑为0.82美元；

- 2017年，该指标每加仑为0.60美元。

3. 纤维素乙醇工厂建设：

- 到2012年，有3个工厂成功运行；

4. 基础设施建设：

- 与环保署和运输部合作，制定E15和E20标准；

- 加强基础设施建设，达到240亿加仑生物燃

料的配送能力。

(三) 纤维素乙醇技术进展时间表

1. 2010年：小试规模

成功完成基准规模的工作，在此基础上，以玉米秸为原料，在考虑整体工艺集成的前提下，选择下一步单元运行的设计、配置方案，经评估后做出正式决定；

2. 2011年：单元中试

完成单个工艺单元运行的中试工作；主要工艺包括：玉米秸原料烘干，玉米秸秆的稀酸水解，酶水解及共发酵，木质素燃烧供热供电等。

3. 2012年：集成中试

完成生物质（玉米秸）的预处理、酶水解、乙醇生产等工艺的集成中试；在集成中试所得到的数据基础上，建立纤维素乙醇的生产成本模型。

上述各阶段必须达到预订指标要求。

(四) 目前存在的主要困难

- 缺乏基础设施，乙醇加油站，使用乙醇燃料的汽车，储存、运输等；

- 生物炼油厂建造成本太高。建造一个商业化规模（年产1000万加仑以上）的纤维素乙醇厂建造成本约20亿美元；

- 技术不成熟，各类技术都还在不断开发实验中，目前还没有经过商业化规模验证的技术；

- 生物炼油厂投入成本高，风险大。对于尚未经过验证的技术，很难筹集到建厂资金，这是目前纤维素乙醇技术应用面临的最大挑战。在此阶段，政府的资助是至关重要的；

- 原料供应的不确定性。大规模商业化生产必须保证原料供应的相对稳定性。现有的原料收集、储存、运输体系远不能满足大规模生产的需要。这是一个先有鸡还是先有蛋的问题。只有当生物炼油厂建立之后，从需求方拉动原料供应，才能建立相应的原料供应体系。但是目前原料供应的不确定性又加大对生物炼油厂投资的风险；

- 缺乏相应的工业标准和规定。包括原料收集、预处理、基础设施等各个方面；

- 生物质原料的生产对环境、食物、农业等的不利影响，以及对能源供应、温室气体减排等的益处做全面系统的分析。目前，公众对此没有全面、广泛的认识。

(五) 纤维素乙醇产业化示范项目

2007年2月，能源部宣布将在未来4年内出资3.85亿美元，与企业合作，建造6个商业化（年产1000万加仑以上）生物乙醇示范厂，以验证现有技术产业化的可行性。6家示范厂及投入情况如下：

- Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas, 7600万美元，年产1140万加仑乙醇，原料为玉米秸、麦秆等；日消耗量为700吨。

- ALICO, Inc. of LaBelle, Florida, 3300万美元，年产乙醇1390万加仑，还能日产8.8吨氢、50吨氨。日消耗770吨生物质原料，主要为木质、及植物废弃物等。

- BlueFire Ethanol, Inc. of Irvine, California, 4000万美元，年产1900万加仑乙醇，日消耗700吨木质、及植物废弃物等。

- Broin Companies of Sioux Falls, South Dakota, 8000万美元，年产1250万加仑乙醇，其中25%为纤维素乙醇，生物质原料为玉米纤维、玉米穗、秸秆等；合作伙伴还包括：杜邦、诺维信、可再生能源国家实验室等。

- Iogen Biorefinery Partners, LLC, 8000万美元，年产1800万加仑乙醇，日耗700吨农业废弃物，如稻草、玉米秸秆等。

- Range Fuels (formerly Kergy Inc.), 7600万美元，年产4000万加仑乙醇，日消耗生物质1200吨，主要是木质废弃物。

但是2008年6月，Alco宣布“因为存在的风险超过了预期收益”而不再建造纤维素乙醇厂；Iogen也将“暂停”与能源部的合作。只有RangeFuel公司的工厂于2007年破土动工。

考虑到开展大规模商业化纤维素乙醇生产面临的巨大风险，能源部于2008年出资2.4亿美元（4年），分3批选择了9家公司，开展小规模示范（1/10商业化规模，年产100万加仑以上）。

三、美国纤维素乙醇工厂示例

美国环境和能源研究所（一个由国会议员组成的致力于环境和能源问题可持续研究的组织）对美国各类规模的纤维素乙醇厂进行了统计，数据如下（截止到2008年7月）：

表1 美国各类规模纤维素乙醇厂统计数据

	商业化规模	小规模示范	中试规模
已建成	0	2	3
在建	1	3	5
计划	21	14	6
总计	22	19	14

直到目前,美国还没有商业化规模的纤维素乙醇厂,大部分还处在计划阶段。而且大多数计划阶段的纤维素乙醇厂也是选在已有玉米乙醇厂的旁边,如果不成功,可转成玉米乙醇厂。可见,厂家对纤维素乙醇商业化生产心中还是没底。

(一) Range Fuels公司的纤维素乙醇厂(商业化规模)

Range Fuels公司由风险投资公司Khosla Ventures投资成立,公司总部位于科罗拉多的Broomfield。

2007年11月,该公司在佐治亚州的Soperton破土兴建美国第一家商业化规模的纤维素乙醇生产厂。美国能源部为此投入7600万美元,资助其进行商业化示范生产。截止到2008年4月,公司自筹资金也达到了1亿美元。预计2009年建成投入使用,初期年产量为2000万加仑,最终产能将达到每年1亿加仑。

其使用的原料比较灵活,考虑到当地的林业资源,主要是用木材废料,成本每吨约20~30美元,多年来价格一直维持稳定。也可以使用柳枝

稷、玉米秸秆、芒草等各类非粮食生物质,这样做是为了保证生物质原料的稳定供应。

Range Fuels公司所采用的专有技术属于热化学方法,整个过程不需要外供能量,主要优势是可将全部生物质原料转化为燃料级乙醇,几乎没有生产垃圾,排放很少的温室气体,乙醇产量高。

整个过程包括两步:

- 原料气化:通过高温高压蒸汽使原料气化,然后经重整后变成合成气;这期间,合理的温度、压力和蒸汽的搭配可减少焦油的产出;

- 合成气生产乙醇:经清洁处理后,合成气通过催化剂变成混合酒精,然后在对这些混合酒精进行分离处理,以最大限度地产出燃料级乙醇,同时可产出甲醇、丙醇、丁醇等。

这些技术已经进行过7年的小规模实验,对20多种不同大小、不同湿度的非食物生物质原料进行过8000多小时的测试。整个设计注重效率,选址位于原料高产地区,减少了原料的预处理和运输,模块化设计使得工厂容易扩大生产规模。

该公司副总裁在谈到面临的困难时表示:

- 技术未经过大规模验证。新技术虽然经过实验,但从未大规模商业化应用,存在一定风险;

- 建造成本太高。即使是建造小规模的商业化示范工厂,投入成本也将是数亿美元;

- 投入回报周期长,资金难筹,很多投资者

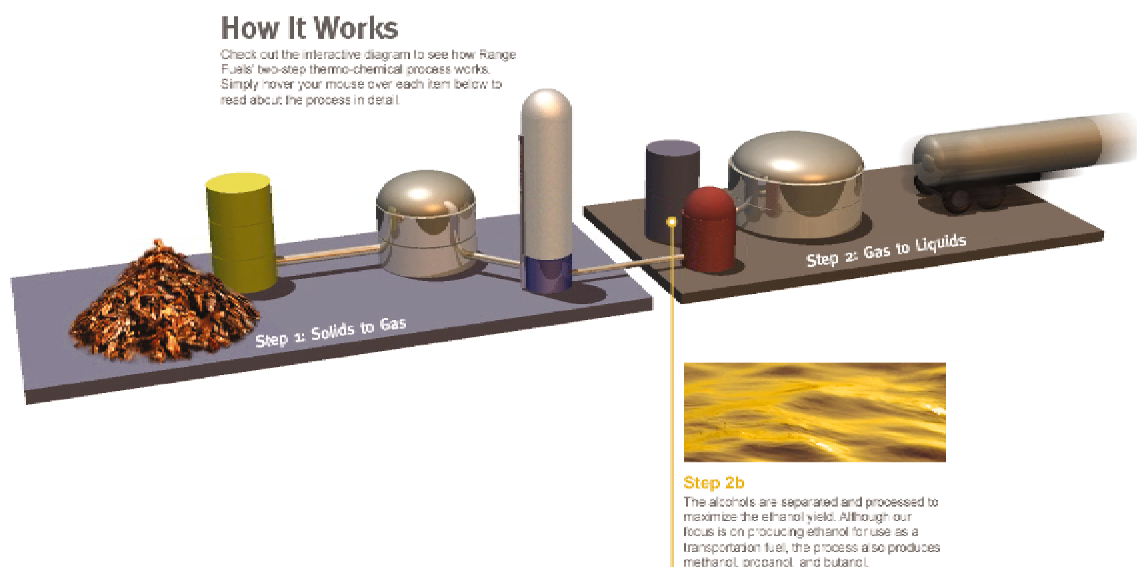


图2

更愿意投入到技术成熟、回报迅速的产业。

(二) Verenium公司纤维素乙醇小规模示范厂

2008年5月29日, Verenium公司位于路易斯安娜州Jennings的工厂开始试车, 总投入为9100万美元, 生物质原料为甘蔗渣等, 采用生物化学工艺, 计划年产纤维素乙醇140万加仑, 期望成本为每加仑2美元左右。

(三) AE Biofuels公司纤维素乙醇厂

2008年8月11日, AE Biofuels在蒙大拿州Butte建造的示范性纤维素乙醇厂开始运行。

该公司专有的“室温酶”技术, 可省去传统淀粉乙醇工艺中对原材料的加热和冷却过程, 从而能显著降低能量和水的消耗。该技术的特点是将纤维素乙醇和传统的淀粉乙醇的工艺集成到一个生产系统, 原料既可以是柳枝稷、谷类植物

秆、玉米秸秆、甘蔗渣等纤维质, 也可以是玉米、小麦、大麦、甘蔗等淀粉质材料, 并可将二者混用。该技术还能使现有玉米乙醇厂用非食物原料生产纤维素乙醇。■

参考文献:

- [1] 《美国先进能源计划》, 美国白宫, 2006.
- [2] 《2007年度能源展望》, 美国能源部能源信息署, 2007.
- [3] 《能源政策法》, 美国国会, 2005.
- [4] 《能源自立与安全法》, 美国国会, 2007.
- [5] 《生物质多年研发、示范项目计划》, 美国能源部, 2008.
- [6] 纤维素乙醇产业化示范项目, 能源部新闻, 2007.2.
- [7] 美国环境和能源研究所网站, http://www.eesi.org/biomass_pubs.

Development Situation of Cellulosic Ethanol Industrialization in the United States

ZHAO Xiangdong

(College of Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510)

Abstract: Cellulosic ethanol is the most prosperous alternative fuel to replace gasoline in the near future. Efforts have been made by U.S. government to stimulate the R&D and small scale industrialization of cellulosic ethanol through legislation and government-industry partnership. This paper gives an introduction to the objectives and the technology development timetable of cellulosic ethanol R&D program in the U.S. Department of Energy, and showcases technical features of a few pilot and demonstration biorefinery projects.

Key words: U.S.; cellulosic ethanol; industrialization; alternative fuel; replace