

DOI: 10.13376/j.cbls/2014064

文章编号: 1004-0374(2014)05-0432-08

生物质能源四十年

石元春

(中国农业大学资源环境学院, 北京 100083)

摘要: 为应对 1973 年全球石油危机而发展起来的现代生物质能源已渐趋成熟, 在对化石能源的替代中发挥着越来越突出的作用。回顾了生物质能源 40 年的发展历程, 对液体生物燃料、生物天然气和固体生物燃料与发电作了专门叙述。就生物质能源与中国, 以及中国发展生物质能源方略发表了自己的见解。

关键词: 生物质; 能源; 中国

中图分类号: TK6 **文献标志码:** A

Four decades of bioenergy

SHI Yuan-Chun

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The modern bioenergy industry, which was born in responding for world petroleum crisis at 1973, has been going to mature, and has been playing more outstanding roles in replacing fossil energy. This paper reviewed the historic process of bioenergy in the past 40 years. It highlighted the situation of liquid and solid biofuels, bio-natural gas and biopower. Also, the author presented his few viewpoints about the relations between bioenergy and China, and the strategies for tapping China's bioenergy.

Key words: biomass; energy; China

自钻木取火, 生物质作为人类社会传统能源已有二百多万年, 而现代生物质能源则是应 1973 年第一次全球石油危机而生的。40 年的发展使它由幼稚走向成熟, 从中有许多东西值得我们回顾与思考。

1 应时势而生的生物质能源

生物质的能量密度低, 但原料多样和易得, 产品多样和转化技术较成熟, 故第一次世界石油危机中, 巴西用甘蔗和美国用玉米生产酒精(乙醇)替代汽油, 丹麦等北欧国家用林业剩余物燃烧发电, 开创了现代生物质能源产业之先河。发展初期, 这种缺乏竞争力的小规模生产, 随着石油市场形势变化而起落, 进展缓慢。

1992 年, 联合国世界环境与发展大会提出《里约宣言》、《联合国气候变化框架公约》和后来的《京都议定书》, 将减排温室气体和对化石能源替代提升到人类社会“可持续发展”高度, 加之化石能源资源渐趋枯竭的种种信息, 使可再生能源对化石能

源的替代成为世界发展之大势。

1993 年, 巴西颁布“乙醇振兴计划”, 在全国强制使用 E20 和 E25 乙醇汽油^[1]。1999 年, 美国发布“开发和推进生物基产品和生物能源总统令”^[2], 提出生物质能源和生物基产品到 2010 年增加 3 倍和到 2020 年增加 10 倍, 并减排二氧化碳 1 亿 t。由此, 掀起了生物质能源发展的二次浪潮。

2001 年, 中国启动了陈化粮乙醇计划, 2006 年产量达 152 万 t, 居世界第三^[3]。2002 年, 日本内阁会议通过了《日本生物质综合战略》, 提出由“石化日本”向“生物质日本”的战略转变和制定了“摆脱石油”的时间表^[4]。2004 年, 印度开始石油/农业领域的“无声的革命”, 制订的《生物燃料法令》规定到 2011 年全国使用的汽油中燃料乙醇比例必须达到 10%^[5]。2007 年, 欧盟通过立法提出 2020

收稿日期: 2013-06-29

通信作者: E-mail: shiyc@cau.edu.cn

年可再生能源在能源消费总量中占到 20%，交通部门燃料消费中生物质能源占到 10% 的目标^[6]。

生物质能源发展的二次浪潮中出现了“国家能源自主”趋向。伊拉克战争和伊朗崛起促使美国于 2007 年通过了《能源自主与安全法案》^[7]，布什在 2006 年的国情咨文中说：“美国要保持领先地位就必须有足够的能源。但是，美国在使用石油上，像吸毒一样的‘上瘾’，而这些石油是从世界上不稳定地区进口的。最好的办法就是依靠美国人的才智和技术进步，打破对石油的过分依赖，使美国对中东石油的依赖成为过去”。

2011 年，奥巴马总统发布《确保未来能源安全的蓝图》训令中将通过发展生物燃料以减少进口石油放在首位，以生产更多的本土生物燃油和提高燃油效率，在未来 10 年内使美国的石油进口规模（指每天 1 100 万桶）减少三分之一^[8]，并宣称：“美国不能把长久繁荣与安全建立在将会枯竭的能源基础上”。

积 10 余年之努力，美国石油进口依存度已由 20 世纪末的 75% 下降到 53.5%，初步完成了石油由“立足国外”到“基于本土”的能源战略转变。

俄乌“斗气”也促使能源依赖进口的欧洲不断强化“能源自主”意识。瑞典能源消费结构中的石油份额由 1970 年的 77% 下降到 2008 年的 32%；生物质能的工业用途分别是天然气和煤炭的 12.3 倍和 4.5 倍。总理佩尔松 2006 年宣布：“生物能源已能满足目前瑞典 25% 的能源需求，2020 年瑞典将成为世界上第一个不依赖石油的国家。”^[9]

2 一种农工联合型的能源-环保产业

40 年的发展实践加深了人们对生物质能源产业的认识。

生物质能源不是基于开采的化石能源矿藏，而是基于土地上生长出的生物质。加工转化的不是碳氢化合物而是碳水化合物，不是传统的化石能源产业，而是一种农工联合型的新型产业。

克林顿在总统令中指出：“目前生物基产品和生物能源技术有潜力将可再生农林业资源转换成能满足人类需要的电能、燃料、化学物质、药物及其他物质的主要来源。这些领域的技术进步能在美国乡村给农民、林业者、牧场主和商人带来大量新的、鼓舞人心的商业和雇佣机会；为农林业废弃物建立新的市场；给未被充分利用的土地带来经济机会；减少我国对进口石油的依赖和温室气体的排放，改

善空气和水的质量。”^[2]在签署总统令的记者招待会上还宣布，每年可为农民新增 200 亿美元收入。

奥巴马上任不久即下达总统令，要求农业部大力加快生物燃料产业的投资和生产，在美国建立永久的生物燃料基地，这是为美国加快发展农村经济提供的唯一机会^[10]。

德国农业部长 Renate Kuenast 2004 年说：“到 2010 年，德国可再生能源在总能源消费量的比例将提高两倍，2050 年要占到 50% 左右，一个最快最廉价的办法就是生物燃料，并以此提高农民和乡村的收入。”^[10]

巴西建成了 10 个大型甘蔗乙醇生产基地，以及基于甘蔗生产的甘蔗种植—乙醇加工—专用汽车 FFVs—国内市场—国际贸易的一套完善产业体系^[1]。计划从 2008 年到 2020 年，甘蔗播种面积由 780 万 hm^2 增加到 1 390 万 hm^2 ，产量由 4.87 亿 t 增加到 10.38 亿 t，乙醇产量由 1 749 万 t 增加到 5 191 万 t，联产生物质发电由 1 800 MW 增加到 14 400 MW^[11]。

传统农林业生产只利用了植物的籽实和木材，而占生物量一半有余的作物秸秆、林业剩余物和畜禽粪便等废弃物未被利用，生物质能源产业则开创了一个生物量可全部利用的“能源农林业”，连工业和城市排放的有机废水废渣和污水污泥等环境污染物也能使之无害化和资源化地成为可资利用的原料。

生物质能源生产过程本身也是资源循环利用和无害化过程，如将淀粉和六碳糖转化乙醇后的纤维素和半纤维素糟渣用作饲料，并以畜禽粪便生产沼气，所余沼渣沼液再加工为优质有机肥料还田，重新进入农作物生命物质的再循环。生物质能源是以太阳辐射能和植物光合作用为原动力的一种高效率、高品质和绿色的物质循环系统和能量循环系统。

随着生物质能源发展规模的扩大，美欧兴起利用边际性土地种植专用能源作物，既可扩大原料来源，又是一项良好的生态与环境建设。“如设计正确，生物能源作物系统可以带来重大的环境和社会效益。选对生物质作物和生产方法能导致喜人的碳与能源平衡，以及温室气体排放的净减。”^[12]天然高多样性草地 (LIHD) 可较单一种植能源作物的生物量增加 238%，并表现为负碳排放^[13]。

生物质能源有很强的产业带动性。巴西甘蔗生产已成功带动农业、糖、乙醇、电力、机械制造、化工、汽车、交通、市政建设等 13 种行业。每 100 万 t 甘蔗可生产 6.34 t 乙醇，带动相关产业创造产

值 1.73 亿美元、经济增加值 8 550 万美元和提供 5 681 个就业岗位^[10]。2012 年, 美国生产玉米乙醇 4 000 万 t, 提供就业岗位 38.326 万个, 创造 GDP 434 亿美元和税收 85 亿美元, 减少石油进口量的 12%(4.65 亿桶) 和节省进口石油款 472 亿美元^[14]。

生物质能源具有其他清洁能源所不具备的农业性、环保性、循环性和可再生性, 使它成为生态文明和绿色社会的一颗新星, 一种资源循环型的新型能源-环保产业。

3 能源世纪转型的引领者

21 世纪是全球能源替代与转型世纪, 生物质能源一直是引领者。

2005 年, 美国能源部给国会提交的一份报告说: “生物质已开始对美国能源做出贡献, 2003 年提供了 1 亿 t 标煤能量, 占美国能源消费总量的 3%, 超过水电而成为可再生能源的最大来源。”^[15]EIA《能源展望 2010》预测, 2008 年至 2035 年间美国石油消费量的增长部分将全部由液体生物燃料提供, 燃料乙醇的消费量可占到石油消费量的 17%, 以及使原油进口依存度由 70% 以上降低到 45%; 另外, 发电量的增量中可再生能源占 41%, 其中生物质发电占 49.3%, 风电占 37%, 光伏发电占 4.2%^[16]。

近两年, 美国和有关国际组织进一步强化了生物质能源在可再生能源中的主导地位。

2012 年, 美国环保署 (EPA) 通过一项计划, 将美国汽油中乙醇调合比由目前的 10% 提高到 15%^[17]。2013 年 3 月 14 日美国能源部发布的《未来运输能源》报告指出, 目前, 美国运输能耗占总石油消耗的 71%, 总碳排放的 33%, 到 2050 年将通过减少运输量、提高车辆燃油经济性等措施减少石油消耗, 并最终依靠生物燃料及其他新能源汽车减少 80% 石油消耗和温室气体排放^[18]。

2012 年, 全球生物燃料产量 9 420 万 t, 销售额 952 亿美元, 风电销售额为 738 亿美元, 光伏发电 797 亿美元。《清洁能源发展趋势 2013》报告预测, 2022 年生物燃料销售额将达 1 777 亿美元, 风电和光伏发电分别为 1 247 亿美元和 1237 亿美元^[19]。

2013 年 4 月 17 日, 国际能源组织 IEA 发布报告《清洁能源进展报告 2013》, 指出最近 20 年来吨油当量排放的 CO₂ 仅减少了 0.02 t, IEA 建议为实现 2020 年控制大气温升 2 °C 的目标, 需提高生物燃料产量 1 倍以上, 先进生物燃料要达到 6 倍于现在的产量^[20]。

2013 年 6 月 7 日, 世界经合组织 (OECD) 和联合国粮农组织 (FAO) 在北京发布的《2013-2022 年农业展望》报告预测, 未来十年生物质能产量将翻番, 到 2022 年世界乙醇产量年均增幅为 4%, 总产量达 1 680 亿 L, 生物柴油为 4.8%, 总产 410 亿 L。燃料乙醇, 将占美国生物燃料的 48%, 生物柴油, 将占欧盟生物燃料的 45%^[20]。

生物质能源的这种主体地位明确而稳定, 可惜中国政府与媒体未有相应认识, 以至误判误导。

4 液体生物燃料的发展与换代

液体生物燃料替代是化石燃料替代的主战场。燃料乙醇 1975 年在巴西和美国以 40 万 t 起步, 2011 年两国乙醇产量达 5 900 万 t, 占世界总量的 88%^[21]。

1 代乙醇主要是以糖 (如甘蔗) 和淀粉 (如玉米) 为底物发酵生产, 随着生产规模的扩大而对玉米价格和市场冲击增大, 原料成本提高。人们开始将目光转移到基于植物组分中量大易得, 与食物和农田无争, 以及减排效果更好的木质纤维素原料, 及所生产的 2 代乙醇。

2007 年, 美国《能源自主与安全法案》中将玉米和大豆等食物基原料称“常规生物燃料”, 将非食物基及纤维素基生物燃料称“先进生物燃料”, 三者的温室气体减排指标分别为 20%、50% 和 60% 以上。2022 年的生物燃料发展目标是 1.08 亿 t, 其中常规生物燃料自 2009 年的 2 700 万 t 增加至 2015 年的 4 500 万 t 后不再增加, 而先进生物燃料则由 2009 年的 180 万 t 持续增长到 2022 年的 6 300 万 t^[7]。

木质纤维素是由葡萄糖单体相连接, 形成相互平行排列而不分支的长链分子, 是上千个这种纤维素分子由氢键相互连接起来的一种生物大分子, 抗微生物水解和稳定性强。目前自然界中高效乙醇发酵菌株几乎都无法利用其中的木糖, 以基因工程技术获得的微生物菌株的五六碳糖的共代谢效率仍然较低^[22]。为维持高糖化效率而需投入大量纤维素酶和大幅增加生产成本, 至 2011 年各国尚未实现纤维素乙醇的商业化生产^[21], 其技术难度比预想的要大。

2011 年, 美国能源部可再生能源实验室 NREL 发表了纤维素乙醇的 6 种不同预处理工艺的生产成本均在 2.74~4.07 美元/gal 之间, 与预期的 1.1 美元/gal 差别较大^[23]。2012 年 3 月, 美国环保署 EPA 不得不将美国预计的 2012 年纤维素乙醇生产目标由 150 万 t 下调到 2.6 万 t^[24]。看来, 美国的

2022年可再生燃料标准(RFS)目标较难实现,缺乏高效共代谢五六碳糖的微生物菌株和高效低成本的预处理方法是主要原因。

中石油、中粮、天冠、丰原集团等中国公司亦组织纤维素乙醇攻关多年,但实现商业化生产尚需时日。清华大学的以甜高粱为原料生产乙醇的ASSF固体发酵技术于2011年在直径3.6 m,长55 m的固体发酵罐连续发酵试验取得了成功。发酵时间30 h,可发酵糖转化率超过92%,实际乙醇收率达到理论值的94.48%,过程简捷能耗低,经济性和环保性好。

考虑到甜高粱耐旱涝盐碱与瘠薄,生长期短,每公顷产鲜茎45~70 t,汁液丰富,含糖量17%~21%,在全国大部分地区可以种植,以及我国有丰富边际性土地资源等因素,李十中教授与笔者曾多次提出在我国发展1.5代的甜高粱乙醇的建议^[25]。所谓1.5代是因为甜高粱利用的不是籽粒而是茎秆中的糖,占用的不是主要农田而是边际性土地。

近年,美国、印度、南非、菲律宾等国也开始重视甜高粱乙醇研发工作。美国2010年已将高粱列入生物燃料原料和给予政策性补贴^[26];孟山都等公司正积极研发能源用甜高粱新品种;菲律宾用30 hm²甜高粱茎秆生产了15 231 L乙醇^[27]。相信甜高粱乙醇会有一个较大发展。

生物柴油的良好环保性和燃烧性能使它成为欧盟国家发展的重点,巴西在发展甘蔗乙醇的同时也大力发展了生物柴油。2010年,世界生物柴油产量1 615万t,欧洲、巴西和美国分别为957万t、183万t和97万t。欧洲主要原料是油菜籽油脂,美国是大豆油脂,马来西亚是棕榈油脂,澳大利亚是动物脂肪,日本是厨余垃圾油脂,动植物油脂原料的来源不足和价格高限制了生物柴油的发展。

为了利用非动植物油脂生物质原料,通过FT合成技术(fischer-tropsch)和TDP热解技术(thermal depolymerization)制备生物燃油已经过10多年研发,但尚未实现规模商业化生产。中国科技大学等的生物油研发有出色工作,武汉阳光凯迪公司最近取得不俗进展。近年,航空生物柴油的重大市场需求亦将推进生物柴油的发展。

尚处实验室阶段的,以藻类为原料的三代生物燃料正在不断取得进展。寻求更为丰富和廉价生物质原料利用技术的突破,为生物燃料产业带来了诱人的美好前景。

5 生物天然气异军突起

在1973年的全球石油危机中,德国以屠宰和肉品加工厂废弃物为原料建起了世界第一座工业化沼气工厂,随之美国依托大型养殖场生产沼气供热发电,瑞典将净化压缩的沼气驱动汽车,而与石油危机无关的中国也于此时发展起了农村户用沼气。由于原料与规模所限,早期工业化沼气多为自用,发展缓慢。

沼气含甲烷约60%,净化提纯后可同质于天然气,故称生物天然气或生物甲烷。在生物质能源发展的二次浪潮中,生物天然气的商业化在欧洲异军突起。德国自1999年到2009年的10年间,沼气工厂由850个增加到4 780个,装机容量由49 MW发展到1 600 MW,超过了水电。2007年,瑞典的沼气驱动汽车1.5万辆,加气站网遍及全国;瑞士首都伯尔尼的公交车大部分使用的也是生物天然气。

生物天然气具有诸多优点。一是厌氧发酵是生物质能源转化方式中能量和物质转化效率最高的,且原料广泛而受地域限制小;二是最为环保与清洁,化石天然气全生命周期(LCA)的温室气体净排放量是398 g,而用厩粪制取的生物天然气是负414 g^[28];三是车用生物燃料是雾霾克星,可较柴油和汽油汽车减排90%的尾气颗粒物和CO₂^[28];四是可共用化石天然气管道和配送系统。

斯德哥尔摩城区由于公交车全部使用生物乙醇和生物天然气,2009年,450辆乙醇公交车和101辆生物天然气公交车减排了10 t颗粒物、100 t NO_x和4万t CO₂^[29],空气质量可经常保持在PM_{2.5}颗粒10 mg/m³左右水平^[30]。

近10年发展中,沼气由早先的环保功能发展成为替代化石天然气的一种商业化生产的优质清洁能源。其规模一般是由数个容积各约1 000 m³的单体厌氧发酵罐与后发酵罐组成的模块,再由若干模块与一定面积的农地、畜禽养殖舍、贮料罐、CHP发电厂或沼气纯化车间、有机肥加工厂等构成一体。

近10年发展中,由畜禽粪便和有机废弃物的传统原料发展到利用边际性土地,甚至部分农田种植专用的一年生或多年生能源作物。由传统发酵罐发展到密封性好、内壁敷设加热管和连续搅拌装置的钢质厌氧反应罐,以及厌氧反应罐与小规模贮气囊一体化池型。欧洲出现了一批专业承建大型沼气的公司,提供沼气提纯设备和发电机组的公司,

提供技术咨询、工程设计和建造承包的公司等社会化服务系统。

截至2010年, 欧盟各国已有近8 000家大型沼气厂, 主要是近10年建的, 产能规模一般是0.5~25 MW。2007年欧盟产生生物天然气177亿 m^3 , 2009年为200亿 m^3 ^[31]。

我国天然气需求缺口和对外依存度迅速增大, 而以本土生产和更加环保的生物天然气的替代可减少对进口化石天然气的依赖。程序教授提出, 我国具有年产2 330亿 m^3 生物天然气的可实现潜力, 是2012年化石天然气进口量的3.8倍, 其基本建设一次性投资是进口化石天然气的37%和“川气东送”工程的40%, 经济效应亦佳^[32]。

正当生物天然气在欧洲发展如火如荼的时候, 中国政府专注于发展农村户用沼气, 靠一些民营企业在艰难中探索生物天然气的工业化生产。山东民和牧业、北京德清源蛋鸡厂、河南天冠集团、上海白龙港污水处理厂、广西安宁淀粉厂等以畜禽粪便、工业和城市排放的有机污水污泥为原料, 可日产沼气2万~9万 m^3 , 可发电或车用。北京德清源的大型养殖场沼气生产与利用技术与美国签订了17亿美元的转让合同。几个更大规模的生物天然气工程正在孕育建设中。

中国发展生物天然气不存在资源与技术障碍, 主要是缺少国家引导和政策扶持。

6 生物质供热发电方兴未艾

较之液化与气化, 生物质成型固化或燃烧供热发电则是能源利用的另一途径。通过成型固化能较好地克服生物质原料分散、能量密度低、运输和交易成本高的缺点, 其容重与热值可近于中质煤炭。这种经初加工的成型原料可直接用作固体燃料, 也可作为转化为其他能源或生物基产品的原料, 利于产业化和商品化。

20世纪70年代初, 北欧的丹麦和瑞典, 以及美国开始以生物质替代化石能源供热与发电。2004年, 美国有300多家生物质与煤炭混燃的发电厂, 装机容量9 800 MW, 发电370亿 kWh ^[10]。2003年, 瑞典全国生物能源集中供热38.5 TWh, 占消费总量的68.5%; 生物质燃料的工业用途为51.2 TWh, 远高于石油(22.4 TWh)和煤炭(16.6 TWh)。成型燃料集中供热中, 每产生1 kWh 热量的费用是燃烧轻油供热的42%和重油供热的58%, 以家庭为单位的小型锅炉供热每产生1 kWh 热量的费用是电热的

62%和燃油供热的57%^[9]。

在欧洲, 固体成型燃料产业已形成从原料收集、加工、终端用户设备、配送服务等完整的生产和商业服务系统。2010年有生产厂847家, 生产能力714.2万t(PIR.2009)^[33]。成型燃料和生物质供热发电技术成熟, 当前主要是向热电联产或热电醇联产方向发展, 瑞典生物质发电的多联产已将热利用效率提高到97%。

中国近年生物质能源发展以生物质发电为先驱, 到2010年底, 装机容量550万 kW , 主要是农林生物质、垃圾和蔗渣发电^[34]。当前的问题主要是做好原料市场、发展多联产和加大政策支持力度。

我国生物质原料多样和分散, 每年有亿吨计作物秸秆被露地焚烧以及大量林业剩余物可供加工为成型燃料; 50多万台高度分散于城乡的中小型燃煤锅炉是排放温室气体和生成雾霾颗粒的大户和治理难点, 唯灵活的成型燃料可为其他燃料之所难为。再则, 成型燃料也是减少农村生活用能对化石燃料的依赖和日益扩大的城镇冬季供热需求的一种重要能源选择。

按中国国情, 成型燃料应有一个大的发展和形成一个大的市场。但“十一五”的100万t指标因指导不力和缺乏政策支持仅完成了1/3, 希望“十二五”的1 000万t指标^[34]能够实现。

7 生物质能源与中国

据《BP世界能源统计报告·2011》)称^[35], 作为工业文明支柱的世界石油、天然气和煤炭, 到2010年底分别只够开采46.2年、58.6年和118年。化石能源的开采难度将越来越大, 成本与价格会越来越高, 加以是温室气体排放的主要来源, 故寻求清洁和可再生能源对化石能源的替代已是世界大势。21世纪是能源替代与转型的世纪。

能为国之本, 特别是中美这样的大国, 能源战略是国之大战略。

自尼克松提出“能源自主”以后的几任美国总统, 越来越强调国家能源自主与安全, 2007年正式通过了《能源自主与安全法案》。经10多年努力, 美国石油进口由75%左右减少到2011年的53.5%; 能源消费结构中的化石能源降到80%, 以生物质能源为主的可再生能源上升到9.1%, 此一降一升趋势正在扩大。

化石能源资源贫乏的中国(煤炭、石油和天然气2010年末的储采比分别为9.9年、29年和35年^[36])

却走着相反的道路。近10年,化石能源年消费总量、煤炭和石油消费量三翻番,天然气翻了两番;石油进口依存度由40%上升到58%;化石能源在能源消费结构中稳居93%和煤炭在70%上下,可再生能源徘徊不前;二氧化碳排放量占全球总量的1/4,这种态势仍在迅速扩大。这种态势使中国能源安全度越来越低,与世界能源格局的矛盾越来越大。我们寄希望于新一届政府能改变目前这种“竭泽而渔”和“受制于人”的能源政策,积极推行可再生能源对化石能源的替代,逐渐走上能源独立自主之路。

可再生的水能、风能、太阳能和生物质能皆源于太阳辐射能,可各显其长,各处一方地共襄替代化石能源之盛举。我国清洁能源资源(不含太阳能)的年产能为21.48亿t标煤,其构成中生物质能、水能、风能和核能的份额分别是54.5%、17.2%、15.5%和2.7%^[36],我国是生物质能源资源丰富的国家。水能、风能和太阳能资源富集于西部北方,能源产品是电与热,而生物质能源资源富集于东部南方,原料多样易得,能源产品多态多种,我国清洁能源的这种资源特征决定了生物质能源在能源替代转型中的战略主体地位,这也是世界发展之大势。

当前推进的农业现代化非单一初级农产品生产的传统农业,而是基于生物性生产和向工业和服务业延伸的现代产业。生物质产业是现代农业中的一个新兴增长点,尚可为农村劳动力向二三产业转移和城镇化提供大量就业岗位。

当前推进的新型“城镇化”的大量新兴城镇多接近于农村,其能源战略支撑不可能立于加剧化石能源消费与污染,而要着眼于可再生清洁能源的开发。现实和首选的是就地取材地发展生物质能源产业,与发展现代农业协同共进。

中国雾霾问题源于燃煤与汽车的过快发展,以火电之电力发展电动汽车,如同“饮鸩止渴”和“掩耳盗铃”。能减少火电和大量分散燃煤中小锅炉的首选是生物质能源;减少城市汽车排放污染的首选也是燃料乙醇和生物天然气^[38,29]。

生物质能源理应成为中国改善能源结构和能源转型的希望之星,美欧等已成功地这样做了。中国政府却一门心思放在化石能源的进口和风能太阳能上,反而边缘化生物质能源。

任何一个新兴产业的发展需要政府的远见与扶持,生物质能源产业也是这样,且符合世界发展大势和不存在资源和技术障碍。美欧能做到的,中国为什么做不到,非不能也,是不为也。令人欣慰的

是2012年底,国家能源局发布了《生物质能发展“十二五”规划》,这是个相当不错的规划,但愿能够成功实施。

8 中国发展生物质能源方略

(1) 在全球能源替代与转型、国家能源自主与安全、转变经济增长方式与改善能源消费结构、减排与治理雾霾、发展现代农业与农民增收、环境保护与循环经济、城镇化建设与增加就业岗位等重大国家战略与事务中,发展生物质能源产业都能发挥重要作用,早抓早主动,晚抓国受损。

(2) 能源替代的首要对象是交通运输化石燃料,其消费量大,需求增长快,又是致霾要犯,而替代之主力是液体与气体生物燃料。中近期燃料乙醇的替代战略为停产1代,快上1.5代,积极准备2代和储备3代,1.5代与2代相辅不悖。当前在突破生物柴油原料制约瓶颈中应注意小规模油脂原料和厨余油脂的分布式自产自销模式,以及对生物油制备技术的突破。

(3) 天然气的良好环保性能使它成为我国需求和对外依存度增长最快的化石能源品种。为了减少对化石天然气的依赖,宜大力发展本土的、环保性更佳和更经济的生物天然气,将过时的“农村能源观”换成“商品能源观”。根据我国生物天然气原料资源丰富多样的特点,可制订和实施一项建设若干个年产百亿立方米的分布式生物天然气田计划^[32]。

(4) 近年国际上利用木质纤维素生产高品位生物燃油(气)取得重要技术突破并开始商业化推进,这将大大拓展生物质原料的来源。在新一轮浪潮中,我国武汉凯迪等处于领先行列,希望引起政府注意,加快调研与扶持。

(5) 大力发展成型燃料,加快对中小锅炉燃煤的替代,是减排二氧化碳与缓解城市雾霾的重要措施。小城镇供热取暖、替代农村生活用能,以及防治露地焚烧秸秆都需要成型燃料,要主动培育我国成型燃料市场。

(6) 物质与能量的循环利用是生物质能源产业的一大特点与优势,产业化开发中要用好“多联产”这个法宝。特别是在当前技术、市场和政策环境还不成熟,成本居高的情况下,形式多样的“多联产”是取得生物质能源综合效益的一条成功之道。

(7) 虽有《生物质能发展“十二五”规划》,如政府的正确引导和政策/资金支持不到位,仍是一场空,希望《规划》实施中注意决策科学化和透明度。

生物质能源产业涉及农业、能源、生物化工、生态环保、制造装备、交通运输、城镇建设等领域和行业,而目前政府主管部门职能分立,协调不易,甚至相互掣肘,建议在国务院下设一得力的生物质产业发展办公室。

(8) 加大国家对生物质能源和生物基产品的产业化技术研发及生物技术应用研究的投入力度,特别是对2代和3代液体生物燃料。建议在部分高校成立生物质工程与技术的院系和专业,积极培养人才。

(9) 能源世纪替代与转型需要10年、20年、30年和更长时间。笔者曾多次提出及早建设我国的绿色油田、绿色气田和绿色煤田^[25],这是需要时间的百年大计。人无远虑必有近忧,望政府深谋远虑而勿临渴掘井。

“一万年太久,只争朝夕。”

[参 考 文 献]

- [1] Sauer IL. 生物燃料在巴西的发展: 销售与物流[M]//生物燃料在巴西的发展: 现状和前景. 2008: 35-59
- [2] Executive order of developing and promoting biobased products and bioenergy[R]. The White House, Office of the Press Secretary, 1999
- [3] 熊必琳. 中国生物燃料乙醇发展现状与“十一五”规划. 中国生物燃料乙醇产业化发展战略研讨会讲演文集[C]. 中国工程院, 2007
- [4] 小宫山宏, 迫田章义, 松村幸彦. 日本生物质综合战略[M]. 李大寅译. 北京: 中国环境科学出版社, 2005
- [5] Acharya K. ENERGY-INDIA: Biofuelling Confusion[R]. Zaheerabad, Andhra Pradesh, 2009 (IPS/IFEJ)
- [6] Commission of the European Communities. Renewable energy road map: Renewable energy in the 21st century: building a more sustainable future[R]. Brussels: 2007
- [7] United States of America. The energy independence and security Act[G]. 2007
- [8] <http://www.reuters.com/article/GCA-GreenBusiness/idUSTRE566668Q20090707>[EB/OL]
- [9] 中国工程院. 瑞典、丹麦、德国和意大利生物质能开发和利用考察报告[R]. (<http://www.newenergy.com.cn> 2006-8-17)
- [10] 石元春. 决胜生物质[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011
- [11] Marcia Azanha Ferraz Dias de Moraes. 对巴西乙醇工业的思考[M]//生物燃料在巴西的发展: 现状和前景. 2008
- [12] Hazell PBR, Pachauri RK. Promises and challenges environmental effects of bioenergy[M]. Washington, D.C: International Food Policy Research Institute, 2006
- [13] Tilman D, Hill J, Lehman C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, 2006, 314(5805): 1598
- [14] Urbanchuk JM. Contribution of the ethanol industry to the economy of the United States[EB/OL], 2013. <http://www.ethanolrfa.org/pages/ethanol-facts-economy#sthash.adlwy2q1.dpuf>
- [15] Robert D, Perlack Lynn L, Wright Anthony F, et al. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply[R/OL]. 2005. <http://www.eere.energy.gov/biomass/publications.html>
- [16] EIA. Annual Energy Outlook 2010[R/OL]. www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html?featureclicked=1&
- [17] EPA. EPA announces E15 partial waiver decision and fuel pump labeling proposal[EB/OL]. 2012. <http://www.epa.gov/otaq/regs/fuels/additive/e15/420f10054.htm>.
- [18] The US Department of Energy. Transportation energy future[EB/OL]. <http://www.eere.energy.gov/analysis/transportationenergyfutures>
- [19] Ron Pernick, etc. Clean Energy Trends 2013[EB/OL]. March, 2013, Clean Edge, Inc., <http://www.cleantech.com>
- [20] International Energy Agency. Tracking Clean Energy Progress 2013[EB/OL]
- [21] <http://www.iea.org/etp/tracking>
- [22] 李惠钰. 未来十年全球生物质能源产量将翻番[N]. 中国科学报, 2013-06-12(8)
- [23] RFA. Accelerating industry innovation: 2012 ethanol outlook. 2012[EB/OL]. http://www.ethanolrfa.com/d4ad995ffb7ae8fbfe_1vm62ypzd.pdf
- [24] Cai Z, Zhang B, Li Y. Engineering *Saccharomyces cerevisiae* for efficient anaerobic xylose fermentation: reflections and perspectives. *Biotechnol J*, 2012, 7(1): 34-46
- [25] Tao L, Aden A, Elander RT, et al. Process and technoeconomic analysis of leading pretreatment technologies for lignocellulosic ethanol production using switchgrass. *Bioresour Technol*, 2011, 102(24): 11105-14
- [26] Schnoor JL. Cellulosic biofuels disappoint. *Environ Sci Technol*, 2011, 45(17): 7099
- [27] 石元春. 生物质能源主导论[N]. 科学时报, 2010-12-09(1)
- [28] USDA Biofuels strategic production report 2010. A regional roadmap to meeting the biofuels goals of the renewable fuels standard by 2022[R/OL]. www.usda.gov/.../USDA_Biofuels_Report_6232010.pdf
- [29] GOMEZ C. Negros hits breakthrough with ethanol from sorghum IT'S A FIRST IN SOUTHEAST 2012[EB/OL]. <http://www.visayandailystar.com/2012/May/28/topstory1.htm>
- [30] 程序, 崔宗均, 朱万斌. 治霾和减排呼唤生物天然气[N]. 科技日报, 2013-04-08
- [31] Towards a sustainable public transport system: Supporting economic growth in a Low Carbon World[M/OL]. 2007. www.thepep.org/.../Towards.A.Sustainable.Transport.System.p
- [32] Department of Public Health and Environment, World Health Organization. Urban outdoor air pollution database[R]. Geneva, Switzerland: 2011.
- [33] AEBIOM. A biogas road map for Europe[EB/OL]. 2009. <http://kecubung.webfactional.com/ebook/a-biogas-road>

- map-for-europe.pdf
- [34] 程序, 朱万斌. 创建若干个 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 级生物天然气"气田"的可行性分析. 中外能源, 2012, 17(7): 24-8
- [35] 洪浩. 中国生物质成型燃料产业发展模式探究. 北京: 中国农业出版社, 2011
- [36] 英国石油公司. BP世界能源统计报告. 2011[EB/OL]. 2011. http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/china/...pdfs/BPEnergy2011.pdf
- [37] 中国国家能源局. 生物质能发展"十二五"规划[EB/OL]. 2012-12. http://www.nea.gov.cn/131398352_11n.pdf
- [38] 中国工程院重大咨询项目: 中国可再生能源发展战略研究丛书: 生物质能卷[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008
- [39] 石元春. 舍鸩酒而饮琼浆: 也谈中国雾霾及应对[N]. 科技日报, 2013-02-28(4)