

当前中国生物质能源发展的若干战略思考

石元春, 程序*, 朱万斌

中国农业大学农学院, 生物质工程研究中心, 北京 100193

摘要 国际能源署《2018 可再生能源年度报告》首次指称生物能源是“被忽视的巨人”, 预测在未来 5 年内, 以供热/暖和车用生物燃料为主的生物能源将引领全球范围可再生能源的发展。结合中国生物质能源近年发展实践, 对生物质能源的再定位、发展生物天然气的战略意义、开发生物质“二代原料”、以多联产提高竞争力, 以及建设国家生物质油气田等战略提出思考。

关键词 生物质能源; 可再生能源; 能源产品

2018 年 10 月, 国际能源署(IEA)发布的《2018 可再生能源年度报告》^[1]首次指称生物能源是“被忽视的巨人”(overlooked giant of the renewable energy field), 并且预测未来 5 年内, 生物能源将在全球范围内引领可再生能源的发展。

1 生物质能源的再定位

生物能源何以是“被忽视的巨人”?

《2018 可再生能源年度报告》指出:“2017 年, 全球可再生能源的一半来自现代生物能源; 现代生物能源提供的数量, 是风能加太阳能之和的 4 倍。”2016 年全球能源消费量中, 可再生能源占比 20.1%; 可再生能源中, 现代生物能源约占比 5.1%

(生物质发电、生物质取暖供热和车用生物能源的占比分别为 0.5%、3.7% 和 0.9%)。预测未来 5 年, 可再生能源增量的 40% 将来自现代生物能源。“巨人”之称当之无愧。

生物能源何以“被忽视”和即将跃进为可再生能源之主导?

《2018 可再生能源年度报告》指出, 生物能源在能源分析体系中一直有个“盲区”(blind spot), 即对减排温室气体、车用燃料减排污染物、减少石化工业对原油的消费等能源进化转型的意义未受到应有的重视。简而言之: 生物能源具有清洁能源、保护环境和振兴农村三重功能, 而保护环境与振兴农村功能一直被忽视。

生物质能源始于玉米/甘蔗乙醇。在中国, 因

收稿日期: 2019-05-23; 修回日期: 2019-10-11

作者简介: 石元春, 中国科学院院士、中国工程院院士, 研究方向为土壤地理、生物质能源, 电子信箱: shiyc@cau.edu.cn; 程序(通信作者), 教授, 研究方向为生物质能源、可持续农业与农村发展, 电子信箱: chengxu@cau.edu.cn

引用格式: 石元春, 程序, 朱万斌. 当前中国生物质能源发展的若干战略思考[J]. 科技导报, 2019, 37(20): 6-11; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.20.001

原料触及“粮食安全”而在公众中产生误解,又有原料分散、产业化规模小和“不成气候”等偏见,政策重视程度和支持力度一直不大。

中国大幅度“压煤”的最大难点是高度分散和难以清洁燃烧的、年消费约5亿t散煤的60多万个中小燃煤锅炉以及农村取暖用煤。进入21世纪,中国工业化提速,煤炭消费和汽车生产量骤增,导致2013年的雾霾大爆发,国务院紧急发布《大气污染防治行动计划》。在大规模“压煤”和降低机动车尾气污染中,生物质能源的环保功能凸显。自国务院2013年8月颁发《行动计划》后的15个月里,国家能源主管部门推动生物质成型燃料供热和生物质发电连续颁发8个文件。执行实践说明,最佳选择不是“煤改气”或“煤改电”,而是烟气排放能达到甚至超过化石天然气标准的生物质成型燃料(配专用锅炉)供热。此外,为减少机动车尾气污染物的排放,燃料乙醇、生物天然气以及其他减排添加剂都将成为重要选项。

正如国际能源署2016年的资料所指出,2014年全球一次能源消费量(360 EJ)中,可再生能源贡献占到18.3%,其中3/4是生物质能源(含传统燃料),而生物质能源消费总量中,供热约占90%。资料还指出:“现代生物质能源取暖/供热和交通运输所用新一代生物燃料,是当前的薄弱环节,市场潜力很大。”

电力是最重要的能源形态,中国主要是煤电,是碳排放的最大“贡献者”,而替代煤炭发电的主力将是生物质。

为实现21世纪末全球温升不超过1.5℃的目标,联合国政府间气候变化专门委员会2018年10月发布的《IPCC全球升温1.5℃特别报告》^[2]指出,唯一有效的方案是推行生物能源,碳负排放(negative emission)和碳捕获封存(CCS)。

中国《“十三五”控制温室气体排放工作方案》规定,大型发电集团单位供电CO₂排放强度须控制在550 g/kW·h内,但难度很大。清华大学热能工程系毛健雄指出,用全煤发电,即便应用全球技术最先进的超超临界机组,CO₂排放强度仍为763 g/kW·h,远高于国家规定的上限^[3]。他提出,尽可能

采用燃煤耦合生物质混烧发电和高效煤电+生物质混烧+碳捕获封存=CO₂接近零排放。

倪维斗院士也在2018年11月27日的国际会议上指出:“煤炭仍然是中国的主要能源,中国火电容量已超过10亿kW,世界第一,火电占比超过60%。‘去煤化’现在对中国是不现实的,关闭全部燃煤电厂也是不可能的。”但是中国电力必须走从“减煤”向最终“去煤”的方向发展。他也提出煤与生物质耦合混烧发电并逐步提高生物质混烧比,争取一部分有条件的现有大型高效燃煤电厂,特别是循环流化床(CFB)电厂,转换成100%生物质燃烧^[4]。

在新形势下,生物质能源的生态环境功能越来越突出。“既是能源,胜似能源”,是对它的再认识和再定位。

2 发展生物天然气的战略意义

2016年9月3日,中国向联合国递交了《巴黎协定》批准文书,做出了低碳承诺。要求CO₂排放于2030年达到峰值;单位国内生产总值CO₂排放2030年比2005年下降60%~65%,以及非化石能源2020年占一次能源消费比例达到15%,2030年达到20%。实现这些承诺,任务十分艰巨。

占碳总排放量50%的发电部门,即便全面推广当前最先进的工艺和设备,碳排放水平仍然与中国的减排承诺指标相差很远;其他如工业、交通运输业和建筑业等碳减排难度更大;靠植树来集碳汇是远远不够的,还须由大气中大量“吸出”(sucking)^[5]。

沼气-生物天然气(产沼气后做提纯,将甲烷含量提高到90%以上,达到与化石天然气一样的品质)是典型的碳负排放燃料(表1^[6]、图1^[7]),又有突出的防治农业面源污染和振兴农村功能,沼渣还可以作为有机肥料还田。2013年,笔者曾致信李克强总理,建议大力发展沼气-生物天然气。

2016年,习近平总书记在中央财经领导小组第十四次会议讲话中指出:“加快推进畜禽养殖废弃物处理和资源化,关系6亿多农村居民生产生活

表1 主要化石燃料与生物天然气碳排放强度对比
Table 1 Comparison of emission intensity of fossil fuels and biomethane

品种	碳排放强度/(g(CO _{2-eq})·MJ ⁻¹)
泥炭	106
煤	91~94
原油	73
天然气	51
生物天然气	-254.9

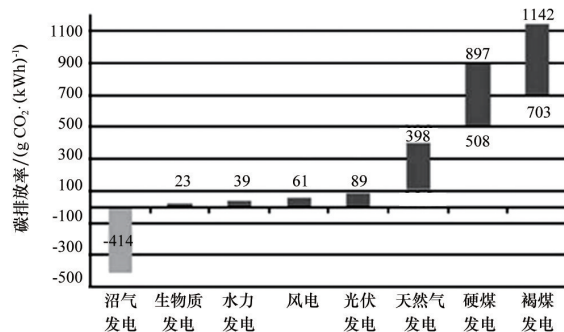


图1 沼气与其他能源温室气体排放率对比

Fig. 1 Comparison of GHGs emission of biogas and other energy

环境,关系农村能源革命,关系能不能不断改善土地力、治理好农业面源污染,是一件利国利民利长远的大好事。要坚持政府支持、企业主体、市场化运作的方针,以沼气和生物天然气为主要处理方向,以就地就近用于农村能源和农用有机肥为主要使用方向,力争在“十三五”时期,基本解决大规模畜禽养殖场粪污处理和资源化问题。”习近平总书记将清洁能源、保护环境和乡村振兴融入沼气-生物天然气一体。国际气候变化界的共识,也是要大力推行生物能源和碳负排放(BECCS)。

沼气-生物天然气产业在中国起步时间不长,主要是由企业经营的沼气生产与提纯一体化模式,乡村只是提供原料。鉴于中国集约化规模养殖与农户养殖(专业户、养殖小区)将长期并存,为了推进乡村工业的发展,分布式生产模式具有重要意义。即提倡在中小规模养殖户/厂基础上分散、就地生产沼气,与集中提纯相结合的分布式(decentralization)生产模式。为了便于分散沼气的运输,需要解决的技术瓶颈是大幅提高沼气的能量密度

与安全性。

沼气-生物天然气集清洁能源、负碳排放、防治农业面源污染、有机废弃物资源化利用、生产有机肥以及发展乡村工业于一身,是一种具有重要战略意义的新能源。

3 开发生物质能源的“二代原料”

生物质体的组分主要是淀粉、纤维素/半纤维素和木质素,3者占比约为3:3:4。20世纪70年代,生物质能源的开发始于燃料乙醇,即对玉米籽实中淀粉组分进行酒精发酵,方法易却诟病多。随之研发以纤维素/半纤维素代替淀粉生产燃料乙醇,但至今攻关未果。生物质组分中占比最多的是木质素与纤维素,集中于作物秸秆和林木草丛,原料易得而量大,但受技术所限,目前只能通过高温燃烧转化为热与电,不能生产其他能态和高品位能源产品。

热化学转化技术的突破,打破了这个僵局。中国武汉凯迪集团公司经过8年的研发,于2013年1月建成了国内首条用热化学转化技术的年产1万t的生物质气化合成燃油(BTL)生产线,运行至今,处于世界同领域前列。

所谓生物质热化学转化,一是指生物质原料所含的纤维素、半纤维素和木质素,在一定的温度(300~1200℃)和催化条件下发生化学变化,改变物理、化学特性,而转化形成新的生物质能源的过程。能够通过非直燃方式转化,成为成分相对均一的液体和气体中间体,能量密度数十倍提高,从而便于经济运输,克服了生物质能源利用的最大障碍;二是可以利用几乎所有的有机物质作原料。中间体经进一步大规模地合成或精炼,可商业化地生产多种高品位和高附加值的生物能源/材料。技术的突破带来原料资源的突破,木质纤维类生物质被国际能源界称为生物能源的“二代原料”(second generation feedstock)^[8]。以木质纤维类为主要成分的林木生物质将是生物质资源的“主力”^[9]。

当前,最具活力和有明确商业化前景,并在几个发达国家已初步实现商业化的生物质热化学转

化技术有4类^[10]:1) 生物质多种方式热解(purolysis)得到生物粗油(bio-oil),经粗加工如脱硫后,直接替代锅炉用石油基燃料油;2) 热解生物粗油以及造纸黑液制取得塔尔油,经多种加氢提质方法(catalytic hydroprocessing)如催化加氢脱氧、加氢裂解;以及与石油炼制的中间产物混合精炼等,制取生物柴油和石脑油;3) 生物质气化后,合成气(syngas)经费托合成(F-T synthesis)后,制取生物合成柴油,航空煤油等;4) 生物质气化后,合成气经甲烷化合成(methanization)后,制取生物天然气。

中国拥有丰富的,不适于农作而能种植能源林灌草类的边际性土地,约1.44亿hm²,可以产出大量“二代原料”。基于1 km×1 km 格栅,900多万个数据,计算和绘制出净初级生产力(NPP)及相关图幅,以全国11类边际性土地地类中条件较好的4类作为种植能源灌草的原料产地。又以已经实现初步商业化的生物质气化-费托合成企业的实践,即每4.0~4.5 t干物质重的木质纤维类生物质可转化出1 t生物合成柴油测算。一般人工干预条件(对边际土地种植稍加管理)下的年生物量产出为6.3亿t,可合成生物燃油约1亿t。较好人工干预条件下的年生物量产出为8.7亿t,可合成生物燃油约1.78亿t。

中国的刺槐(*Acacia*)、芒草(*Miscanthus*)、沙柳(*Salix mongolica*)、柠条(*Caragana korshinskii*)和能源柳等对中国边际性土地皆有很好的适应性和生物量产出,还有国内外多种速生高产的能源植物有待于开发。种植能源植物还有利于保护水土和改善当地生态环境。

4 以多联产提高能源产品竞争力

在当下油价低迷以及政策、技术和商业模式尚不成熟的情况下,仅靠能源产品,企业的赢利空间很窄,以至亏损,多联产则是提高综合效益和竞争力的重要途径。当前中国生物天然气生产中,利用沼渣生产有机肥料等副产品,其营业收入多高于能源产品。生物质能源转化生产过程中,尚可生产多种高附加值的其他化工产品。

如几百年也难降解的石化基塑料导致全球性的“白色污染”,解决的主要途径是可生产出全生物降解的塑料。当前生产全生物降解塑料的原料是淀粉和糖类,成本高而缺乏竞争力。最近,美国一家公司取得了通过微生物转化途径,从污水处理厂产生的沼气直接制成聚羟基烷酸酯(PHA)的专利技术^[11]。产品成本与竞争力可与常规石油基塑料相抗衡。

又如利用热化学法生物合成燃油,在费托反应过程中产生的非柴油/汽油/煤油类产物 α -烯烃,可以生产中国紧缺的1-己烯、1-辛烯等烯烃,以及聚- α 烯烃合成油(PAO)等多种高附加值产品。常规PAO具有良好的粘温性能和低温流动性,是配制高档、专用润滑油的基础油,如使用费托反应副产物 α 烯烃,则可大幅度降低成本^[12]。

此外,政策性争取也有很大空间。发达国家早已普遍实行废弃物/污染物的处理中,废弃物/污染物的制造者要向生物能源企业缴纳相当数目的“入门费”(gate fee)。而在中国,情况却颠倒过来,废弃物/污染物的接受—转化者反而向制造者付出原料费,造成生物能源企业经营成本普遍过高。这种局面只有通过全社会环保意识的增强、对废弃物、垃圾处理的观念更新,以及政府有关部门出台相应的政策及规定才能得到解决。

5 建设国家生物质油气田

不论是常规能源还是新型能源,中国能源的“短板”都是燃油与燃气。2018年,中国石油和天然气的进口依存度分别达到70%和45%;预测2030年前后将分别超过80%^[13]和50%^[14]。这是中国能源安全的极大隐患。

中国拥有丰富的,能生长能源林草的边际性土地;中国又是农业大国,拥有丰富的作物秸秆和畜禽粪便等有机废弃物资源,依此建设绿色的国家生物质油气田,既可弥补能源“短板”,又有不可替代的改善生态环境与振兴乡村经济的多重功能。

“生物天然气田”是指以畜禽粪便与作物秸秆为主,辅以城镇有机废弃物和垃圾为原料,在畜禽

和粮食作物的集中地生产沼气(甲烷含量 50%~70%)、继而提纯为与常规天然气完全同质的生物天然气(甲烷含量>90%)。每个日产数万至数十万立方米的生物天然气厂,可似为一口“气井”,由数百个生物气井群构成“气田”。按畜禽和粮食生产集中的区域,有中原、两湖、川渝、东北、苏皖和冀东 6 大“生物天然气田”,合计年产约 1 千亿 m^3 生物天然气(图 2)。

“生物质油田”主要是指开发边际性土地种植

能源林灌草类,转化生产生物合成燃油。每个年产 20~80 万 t 生物合成燃油厂,可视为一口“油井”,每个“生物油田”由约百个“生物油井”组成。按边际土地集中化程度,有西南、长城沿线、东北、东南和新疆五大生物合成“油田”,合计年产约 1 亿 t 生物合成燃油(图 3)。

用 20~30 年或更长些时间,建设起中国年产千亿立方米和亿吨级的“生物油气田”将是一项利国利民的战略之举。

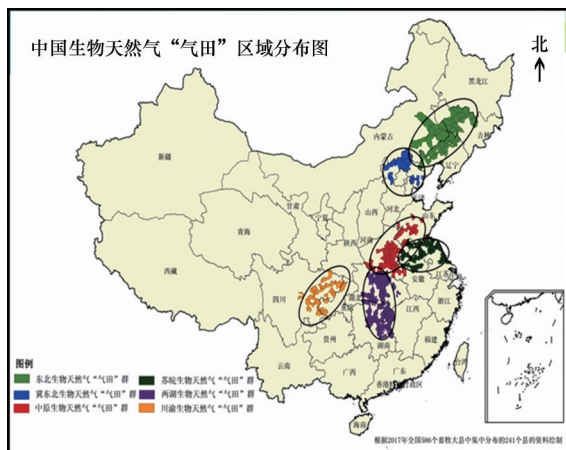


图2 中国生物天然气“气田”分布

Fig. 2 Distribution of China's bio-natural gas fields

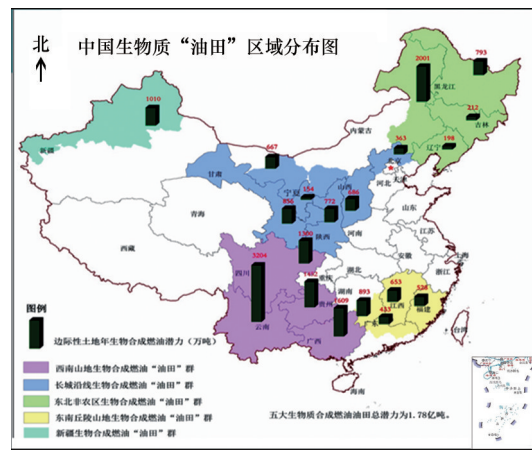


图3 中国生物质“油田”分布

Fig. 3 Distribution of China's bio-oil fields

6 结论

由于大气污染防治、农业面源污染防治,以及天然气缺口急剧扩大,生物能源,特别是成型燃料供热、生物天然气与生物质发电受到前所未有的重视,产业正面临高速发展期。国家发改委能源研究所与国际能源署联合发表的《中国可再生能源展望 2018》预测,到 2030 年,中国生物质能源产业市场将达 2.5 万亿元以上的规模;生物天然气市场达每年 500 亿 m^3 规模,占国内天然气年消费总量的 10%,产值 1.5 万亿元。国际能源署《中国可再生能源产业发展报告 2018》也预言未来 5 年,中国将引领全球可再生能源的发展,2023 年超过欧盟,成为可再生能源使用量全球最大的国家。形势大好,更需要冷静和科学的战略性思考。我们愿以生物质

能源的再定位、大力发展生物天然气、开发“二代原料”、发展多联产以及建设国家生物质油气田就教于方家。

参考文献 (References)

- [1] International Energy Agency. Renewables 2018, market analysis and forecast from 2018 to 2030 on renewable energy and technologies, 2018[EB/OL]. (2019-05-11). <http://www.iea.org/renewables2018/>.
- [2] Global warming of 1.5°C, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways[EB/OL]. (2018-12-16). https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary_for_policymakers_of_ipcc_special_report_on_global_warming_of_1_5c_approved_by_governments/.

- [3] 毛健雄, 毛健全. 当前中国燃煤火电机组降低 CO₂ 排放的途径[J]. 电力建设, 2011, 32(11): 5-10.
- [4] 倪维斗. 《巴黎协定》与煤电低碳转型之路, 煤炭和生物质耦合发电——煤炭和生物质转换发电[R]. 长春: 长春生物能源国际会议, 2018.
- [5] Chris M. Countries just adopted a historic climate change accord. Here's what happens next[N]. Washington D C: The Washington Post, 2018.
- [6] Ecofy. Potential for biomethane production with carbon dioxide capture and storage[EB/OL]. (2012-04-30). <https://www.ecofys.com>.
- [7] Cuellar A D, Webber M E. Cow power: The energy and emissions benefits of converting manure to biogas[J]. Environmental Research Letters, 2008, 3(3): 034002.
- [8] Simon A. The future of second biomass[EB/OL]. (2012-12-17). <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-future-of-second-generation-biomass>.
- [9] World Bioenergy Association. Global bioenergy statistics 2017 [EB/OL]. (2018-12-23). www.worldbioenergy.org.
- [10] 程序. 对中国液体生物能源产业化的反思[J]. 中外能源, 2016, 21(8): 23-30.
- [11] Marianna Limas. Methane to Bioplastics: The mango materials story[EB/OL]. (2017-09-08). <https://synbiobeta.com/from-methane-to-bioplastics-the-mango-materials-story/>.
- [12] 高端化: “十三五”聚烯烃产业升级重点方向[EB/OL]. (2017-06-23). www.sohu.com/a/151427446_478771.
- [13] Ruhl C. BP Global Energy Outlook 2030[J]. Voprosy Ekonomiki, 2013, 5.
- [14] 中国天然气进口的现状与未来[N]. 北京: 经济日报, 2017.

Strategic thinking about China's bioenergy development

SHI Yuanchun, CHENG Xu*, ZHU Wanbin

Center of Biomass Engineering, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract According to the International Energy Agency's Report, the Renewable Energy 2018, it is indicated in the first time that the bioenergy is an overlooked giant in the renewable energy field, and it is predicted that in the incoming 5 years, the bioenergy application in the transport and heat areas will lead the global renewable energies. This paper reviews the development of China's bioenergy in recent years, makes some suggestions about the re-orientation, the strategic significance, the way to explore the second generation feedstock of the bioenergy and to raise the challenge level of the bioenergy industry, as well as the strategy of constructing state's bio-oilfield and bionatural gas field.

Keywords bioenergy; renewable energy; energy product ●



(责任编辑 徐丽娇)