

呼之欲出的中国生物天然气战略性新兴产业

程 序 崔宗均 朱万斌

中国农业大学生物质工程中心

程序等. 呼之欲出的中国生物天然气战略性新兴产业. 天然气工业, 2013, 33(9): 141-148.

摘 要 生物天然气能源具有低成本、绿色、清洁、环保、可持续性等优势, 是替代汽油、天然气、石油液化气和煤炭等最好的生物质可再生能源。鉴于欧盟国家近年来成功开发车用生物天然气的经验, 为推动我国生物天然气产业的发展, 分析了当前我国在这个领域存在的 5 大问题(中国传统沼气产业的转型升级、新型城镇化难题、温室气体减排、治霾问题、提高能源自给)。结果表明: 生物天然气车用时比汽油、柴油及常规天然气能更有效地减少汽车尾气 CO₂ 和致霾物的排放, 在当前我国面临石油和天然气对外依存度急剧上升, 迅速增加的机动车已成为大中城市雾霾天气的“罪魁祸首”, 农民苦于找不到能长久居“卖方市场”产品的大背景下, 应尽快开发我国的生物天然气产业。进一步介绍了欧盟各国成功开发、应用生物天然气能源的经验和做法, 剖析了中国沼气行业当前陷入重重困境的根源。结论认为: 国家能源主管部门应抓住难得的机遇, 做出规划, 制定扶持政策; 沼气企业和技术人员要更新观念, 推进传统沼气工程的转型和技术升级, 以建成生物天然气战略性新兴产业。

关键词 沼气转型 车用 生物天然气 霾治理 碳减排 多功能 战略性新兴产业 欧盟国家 中国

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.09.025

The upcoming bio-natural gas in China: A strategic emerging industry

Cheng Xu, Cui Zongjun, Zhu Wanbin

(Biomass Engineering Center of China Agricultural University, Beijing 100011, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 9, pp. 141-148, 9/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Because of such advantages as low cost, environmentally friendliness, sustainability, etc., bio-natural gas has become the best biomass renewable energy source substituting for gasoline, natural gas, LPG, coal, etc. Through an overview of EU countries' successful practices over the past few years in developing bio-natural gas vehicles, this paper aims to find the existing problems in this domain as well as the solutions to promote the bio-natural gas industry in China. The problems include transformation and upgrading of traditional sewage gas sector, bottlenecking issues in new-type urbanization, greenhouse gas emission, haze treatment, improvement of energy independence. Compared to gasoline, diesel, and conventional natural gases, bio-natural gas is a best alternative fuel for vehicles to reduce CO₂ and haze-creating particulate matter emissions. At present, it has become a dilemma for China to highly depend upon the foreign-trade oil and gas and to face such weather phenomenon as the haze and mist in big- and medium-sized cities resulting from a sharp rise in automobiles. Besides, farmers are struggling but always fail to find such an agricultural product in a sellers' market. Under this situation, it is high time that China stimulate the development of bio-natural gas industry. Furthermore, various methods applied in the development and utilization of bio-natural gas with great success in EU nations were introduced in detail and reasons for the bio-gas sector meeting with many difficulties in China were also analyzed. On this basis, some suggestions were presented as follows: a. the state energy competent authorities should grasp such scarce opportunity to scheme out projects and formulate supporting policies; b. a new concept should be rooted in those bio-gas companies and technicians to promote the transformation and upgrading of traditional bio-gas engineering, thereby to turn the bio-natural gas sector into a strategic emerging industry.

Key words: transformation of bio-gas, vehicle-use, bio-natural gas, haze treatment, carbon emission reduction, multiple functions, strategic emerging industry, EU nations, China

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(编号:2011BAD15B01)。

作者简介:程序, 1944 年生, 教授, 博士生导师; 从事农学和生物质工程研究工作。地址: (100193) 北京市海淀区圆明园西路 2 号。电话: (010) 62731002。E-mail: chengxu@cau.edu.cn

“生物天然气”指的是通过厌氧发酵或气化后精炼/合成的方式,将各种有机生物物质转变成的以甲烷成分为主的生物燃气。前者即通常说的沼气发酵,是成熟的技术;后者(合成生物天然气)尚未进入商业化开发。沼气的甲烷含量介于 50%~65%,经提纯和净化后可提升至超过 97%,与常规化石天然气无异,国际上特称作“生物天然气”(Bio-natural gas)或“生物甲烷”(Bio-methane)。最近的十几年,欧盟国家已形成大规模商业化生产和销售生物天然气的新产业,年总产量超过 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。而在我国,生物天然气产业尚待加快起步。

1 多方面存在的问题呼唤建成生物天然气产业

1.1 中国的传统沼气急待转型以摆脱面临的严重困境

沼气的利用在我国已有几十年的历史,农户沼气池数居全球第一。但农户沼气当前面临农村的新形势,局限性越来越大,财政补贴的成效很差;而沼气(非指农户沼气)离形成产业则还十分遥远。类似农户沼气、为处理畜禽粪便服务的大、中型沼气试点工程,由于原料等制约导致产气率低,粗放的沼气利用价值又很低,有环境效益而经济效益很差,始终不能普及。在绝大多数情况下,只是某种靠“吃政府补贴”的公益事业(指为畜禽养殖场处理粪污水以环境达标排放)。表现为以下 4 点:

1) 产气量很低(2009 年产气量为 $7.65 \times 10^8 \text{ m}^3$,而欧盟国家已达 $160 \times 10^8 \text{ m}^3$)。

2) 规模小(多为容积几十至上百立方米的厌氧发酵罐,欧盟国家则多为几千立方米)。

3) 因技术和经济的原因沼气工程只是勉强运行,相当一批甚至关/停。

4) 平均的容积产气率仅为 $0.3 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 左右,远远低于欧盟国家 $2.0 \sim 3.0 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的水平。

总之,现有的沼气工程根本无法规模化、经济地产出沼气,以至于大、中型沼气工程在中国推行了十几年,至今仍未走出“示范”的阶段。2013 年,在国内沼气行业较有影响的某董事长无奈地说:“2012 年,中国沼气产业走入低谷,大中型沼气工程相当一部分停产……”^[2]。对于大、中型沼气工程而言,生物天然气产业的开发意味着对传统沼气技术全面的(从指导思想到技术路线、装备、产品形态及运作机制)变革或转型,以迎头赶上国际第二代生物燃气发展的潮流。

1.2 新型城镇化面临大难题

近年来,国内一些地方开展了“城镇化”的实验。

但综观所有的这些试点和探索实验,迄今一个最大的问题仍然是“城镇化需要的巨额资金投入从何而来?”。事实一再证明:靠省、市、县各级的财政性补贴,只能是杯水车薪。这个问题说到底,在于城镇化的产业支撑缺少门路,产业高度趋同性严重。

近年来全国农村产业的发展遇到一个共同的障碍,即产业层次低和高度同质化,且产品的市场过于有限。除极少数有特殊条件的情况,不可能为广大的农民或农村社区建设城镇的各种基础设施提供足够的资金,容纳大量的农村富余劳力。而作为唯一与农业、农村有密切关系的战略性产业生物能源特别是生物天然气产业,则是新型城镇化理想的支柱型产业。

大量的实践证明,为城镇化找到具备长久“卖方市场”特质的农村新产业,是解决城镇化产业支撑问题的关键,也是最难的事。对照李克强总理在江苏省江阴市新桥镇调研考察时,对新型城镇化(既不离土也不离乡的农村就地城镇化)提出的两个根本性条件——就业支撑和服务保障,笔者认为生物天然气能够当之无愧地担当起这两个重任。

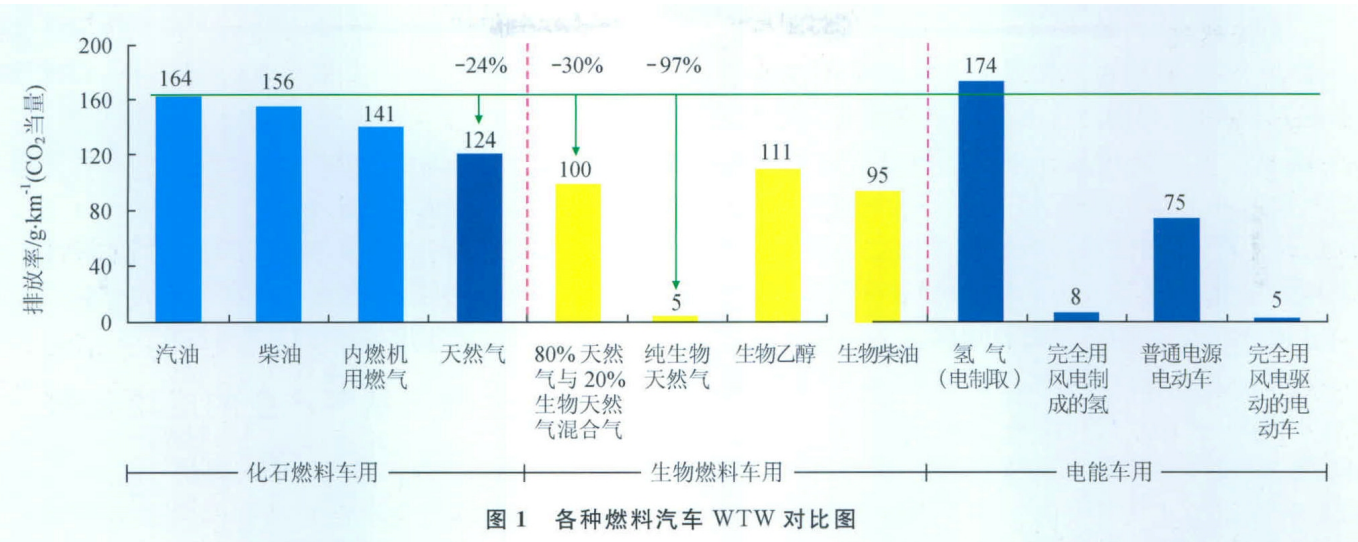
生物能源/生物天然气是战略性新兴产业,经济效益潜力大,市场巨大;生物天然气能直接向城镇化农民提供与大中城市居民均等的新型商品能源的服务。

1.3 减排温室气体乏术

近年我国 CO_2 年排量已过亿吨,已居世界第一,而且还在急速增加,但减排手段却十分有限。一般认为森林是一大“碳汇”,决策层也多次强调种树对碳减排的作用。初步测算,我国的“生物能源碳汇”有约 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 的 CO_2 ,是目前“森林碳汇”的 2 倍。包括 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 可用作车用燃料的生物天然气,可替代约 $4\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 车用汽、柴油,年减排 $1 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8 \text{ t}$ 的 CO_2 。

在减排温室气体方面,生物天然气与包括天然气在内的常规石化燃料以及其他生物能源相比,具有极显著的优越性。以生命周期(LCA)分析法计算,每产生 1 MJ 作功能量所排放的 CO_2 ,汽/柴油为 80 g,沼气(用厩粪制成)为一 60 g。国际可再生能源中心的 Bassam 在其生物能源专著中指出,在所有的生物燃料中,生物天然气具有最低的 CO_2 足迹^[3]。

甲烷的温室气体当量是 CO_2 的 25 倍。畜禽粪便和有机废液如果随意露天贮积,其自然厌氧发酵产生的大量沼气就会直接进入大气,造成比 CO_2 严重得多的温室气体效应。图 1 显示^[4],生物天然气车用时的 WTW(即“从采井到车轮”全生命周期)碳排放量不但远低于汽、柴油,而且比号称洁净能源的天然气还低,



甚至还低于电动车用风电。如果将当前我国畜禽养殖场、工业有机废水和城市污水所含的生物能都开发利用起来,则理论上可相应减少约全国(2010年)CO₂年排放总量的8%。

1.4 治霾问题严重

1.4.1 治霾难为“无米之炊”

机动车尾气排放的PM_{2.5},是大城市PM_{2.5}排放总量的最主要来源。汽油车尾气的成霾有机污染物——非甲烷碳氢类物和CO的排放量,要比天然气多5~10倍(表1)。而柴油车比汽油车的排放量更大。因此欧盟国家首选天然气取代驱动大型公交车和重型卡车的柴油。

表 1 汽车燃用汽油、压缩天然气(CNG)、液化石油气(LPG)排放污染物对比表

污染物	汽油	CNG	LPG
非甲烷烃(HC)	1	0.1	0.5~0.7
CO	1	0.2~0.8	0.8~1.0
NO _x	1	0.2~1.0	10.0

欧盟国家使用生物天然气替代重型柴油车(公交车,重卡),获得了极为显著的尾气成霾物的减排效果。与重型柴油车相比,生物天然气汽车的PM、SO₂和NO_x分别减排99%、90%和70%。中国农业大学生物质工程中心在广西车用天然气项目的尾气测定试验证实,与同型用汽油的汽车相比,生物天然气汽车SO₂、HC和烟尘等成霾污染物的排放量大幅下降(表2)。

使用天然气虽然对治霾有显著的作用,然而我国天然气供需缺口大,价格不断提高,供气不稳定。2012年,天然气的年进口量已增至407×10⁸ m³,对外依存度已达26.2%。按照天然气“十二五”规划的目标,预

表 2 生物天然气汽车与汽油车尾气中成霾污染物的比较表

污染物	生物天然气汽车尾气	汽油车尾气
碳烟尘/(g·m ⁻³)	0.01~0.015	0.01~0.02
CO	0.01%	1%~5%
HC	(10~23)×10 ⁻⁶	(400~1 500)×10 ⁻⁶
NO _x	(500~1 000)×10 ⁻⁶	(1 500~3 000)×10 ⁻⁶
SO ₂	微量	(200~1000)×10 ⁻⁶

注:广西武鸣县安宁淀粉厂送检结果,2011年,由玉林柴油机厂国家柴油发动机检测中心检测

计2015年消费量将达到2 695×10⁸ m³,年需进口900×10⁸~1 000×10⁸ m³,对外依存度将迅速增至37%。

如广州市环保局曾提出,到2016年PM_{2.5}年均浓度要下降7%。为此所有的电力企业须实行“煤改气”。但这一意见遭到电企强烈反对而无法实行。因为天然气供气不稳定,而且价格高(燃煤发电为0.53元/(kW·h),天然气发电为1元/(kW·h),电企“亏不起”[6]。

2009年11月,我国首次出现大范围的天然气“气荒”。当月22日,国家发展和改革委员会发出关于压缩生产、运输用气以保障生活用气的紧急通知。嗣后,几乎每年冬季都要发生类似的情况。

1.4.2 北京市的治霾与天然气/生物天然气

北京市是国内大中型城市中车用天然气发展较晚的城市。特别是天然气(气、油双燃料)出租车,很多内地城市十几年前已开始推广,但北京市直到2013年5月才有第一批201辆气、油双燃料出租车上路。至于其他几百万辆公、私用小轿车,还未使用天然气燃料。目前,北京市已有3 086辆大型公交车以天然气替代柴油,占全部公交车数的15%,但柴油卡车(北京市载

重车总量近 20×10^4 辆)还无一辆采用天然气作燃料。

近 20 年来,北京市天然气用量激增,供需缺口越来越大,政府支出的燃气补贴也越来越多。据有关数据,北京市为解决 PM2.5 等问题付出了巨大代价,天然气政府补助每年将近 40 亿元,2013 年将增加到 100 亿元。可见,在政治压力和以多地之力保障天然气供应的前提下,北京发电和取暖的“煤改气”,实施多年尚且依然艰难重重,遑论其他地区。

2012 年北京市的天然气用量增至 $84.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1996 年以来,使用量的年均增长率一直保持在 34%,而同期全国的年均增长率只是 9.4%。预计到 2015 年和 2020 年,北京市天然气的年消费量将分别达到 $180 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $306 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。仅靠陕京天然气输送一线和二线,北京市的年供气能力只能低于 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,当出现冬季用气高峰时,往往不得不采取限供甚至停供企业、商贸用气措施以保民用。目前北京市的对策,一是加快陕京天然气输送三、四乃至五线的建设;二是投资到华北集中产煤区如内蒙古鄂尔多斯和山西大同等地投资开发煤制天然气。已获国家发改委批准的内蒙古托克托县煤制天然气项目,投资 300 亿元,计划年产 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但这样的煤制气项目,一是每年要消耗约 $2\,500 \times 10^4 \text{ t}$ 原煤和几千万吨对当地十分宝贵和短缺的水资源;二是要铺设数百公里专用输气管;三是投资额巨大。而煤资源在数十年至多上百年内会枯竭。

如果大力开发生物天然气,仅以 4 类有统计数据传统沼气资源(畜禽粪便、农作物残余即秸秆和玉米穗轴/花生壳、生活污水剩余活性污泥、餐厨垃圾)计,北京市每年可有约 $35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 生物天然气的产出。如果再在不久的将来开发沼气专用能源作物,则总潜力不会少于每年 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。开发成本估计只有煤制天然气的 1/3,而且原料资源永不会枯竭。

1.5 可开发、可替代车用/民用燃料的能源品种太少

车用/民用燃料(油)是我国最为短缺的能源,每年要进口超过 $2 \times 10^8 \text{ t}$ 原油,数百亿立方米天然气,急需寻找可再生的替代能源。风能和太阳能属于间歇性产能,根本上就决定了难以并网成为可靠的能源;即便是今后并网和超远距输电的技术难题会改进,仍无法储存,更不能替代当今我国最缺的车用燃油。太阳能内需太少也是个致命弱点。

当前,页岩气在我国被“炒”得过热,实际上距离可行开发还十分遥远,而且经济性和环保性也很成问题。据测算,开发页岩气, $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 预计要投资 400~600 亿元,且不确定性(风险)非常大;开发煤制天然

气, $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 要投资 625 亿元;开发生物天然气则是完全成熟的技术,开发年产 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的投资约为 250 亿元^[7]。

生物天然气的一大优势,是可以完全替代车用汽油、柴油,乃至替代车用化石天然气;并能充分利用现成的天然气储、运、加气的基础设施,从而大幅节省开发应用的投资,而且国内外市场广阔。大量应用车用生物天然气在若干欧盟国家已成为现实。

2 国际生物天然气产业的成功范例

2.1 欧盟国家生物天然气产业的现状

21 世纪初,欧盟制定了到 2020 年要使可再生能源在一次能源消费总量中占 20%的战略目标;这 20%的约一半,要靠生物能源特别是沼气实现。

瑞典、芬兰等国在 20 世纪六、七十年前就有沼气用于汽车的尝试。21 世纪以来,由于瑞典、德国、奥地利等国先后制定了有关增加“绿色电能”比例和减少 CO₂ 排放的强制性法律条款,该国可再生能源特别是制造生物乙醇和生物柴油的资源不足,再加上也想减少对进口化石能源的过度依赖,从而刺激了对用国产原料生产沼气的积极性。到 2006 年后,其成效已开始显露^[8]。

瑞典自 1996 年起开始用生活污水剩余污泥生产生物天然气。2011 年生物天然气产量达 $1\,473 \text{ GW} \cdot \text{h}$ (折合 $1.47 \times 10^8 \text{ m}^3$),全国的车用生物天然气加气站已超过 200 个。首都斯德哥尔摩市居住着占全瑞典 20%的人口,市区的 800 辆公交车,98%为清洁能源车:生物天然气,生物乙醇,电/油混合及低碳排放($< 120 \text{ g/km}$)柴油;目标是到 2015 年实现 100%清洁能源车。全市 800 辆公交车中,生物天然气、生物乙醇燃料车和电动车分别占 50.7%,24.9%和 2.5%。瑞典东南部的 Kristianstad 市是瑞典最大的沼气生产地之一,有 3 个沼气制造企业,年产沼气近 $1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。其中的一半经高压水洗法净化/提纯后再压缩,成为压缩生物天然气(CBG),供周边 24 辆大型公交车和 250 辆小轿车用。AGA 公司和 Fordonsgas 公司在哥德堡市—斯德哥尔摩市 500 km 长的高速公路沿途,建造了 12 座液化生物天然气(LBG)加气站,共有 7 500 辆车使用生物天然气。

德国政府 2000 年制定、其后又 2 次修订完善的《可再生能源法》(以优惠并网电价为核心,简称 EEG),对推动德国沼气产业近年来的突飞猛进起到了决定性的作用(图 2)。

典型的德国沼气厂多直接建在农田上,就近供应



图2 德国大型沼气厂的发展历程图

的切碎整株玉米(青贮,供全年使用)是最主要的原料。混合共发酵的原料有厩粪、屠宰厂废弃物、餐厨垃圾和生活污水污泥等。一般发电和供热产能为 $0.5\sim 1$ MW。沼气工程能源作物原料的运输半径一般小于等 5 km ,最大不超过 10 km 。以 Aiterhofen 沼气厂为例。2009 年投产,年产 $9\,000\times 10^4\text{ m}^3$ 生物天然气,每年消耗以沼气专用能源作物为主的原料 $8\times 10^4\text{ t}$ 。沼气净化、提纯采用变压吸附(PSA)工艺。

因 EEG 对并网电的补贴十分优惠,沼气在德国一度主要用于热电联产。但后来发现热电的实际用处很少。而政策规定,不同时供热就得不到补贴电价,因而开始发展沼气提纯后并网或车用。2009 年德国已有使用生物天然气的汽车 9×10^4 辆。2011 年已有 83 家沼气提纯厂(提纯能力大多为 $300\sim 700\text{ m}^3/\text{h}$),生物天然气产量已达 $4.6\times 10^8\text{ m}^3$ 。2012 年底,德国提纯能力超过 $700\text{ m}^3/\text{h}$ 的沼气提纯厂已增至 110 家。按照德国政府制定的 2020 年生物天然气年产量达 $60\times 10^8\text{ m}^3$ 的目标,今后 8 年内将新建沼气提纯厂 12 000 家。另一个更长期的目标是,到 2030 年德国天然气总消费量的 $870\times 10^8\text{ m}^3$ 中,生物天然气能提供 $100\times 10^8\text{ m}^3$,占到 11.5% ^[9]。

瑞士近年来在生物天然气的利用上正急起直追领先国瑞典。利用处理生活污水产生的剩余活性污泥生产沼气,既解决二次污染问题,又可取得可观的 CO_2 减排效应。瑞士首都——伯尔尼市(30 万居民)的城市污水处理厂在这方面作出了良好的示范。该厂处于下风下水处,远离城区。即便如此,每年处理 $3\,450\times 10^4\text{ t}$ 城市污水产生的 $8\,700\text{ t}$ 活性污泥,仍曾造成严重的二次污染问题。20 世纪 80 年代起,用活性污泥生产生物天然气,直接并入天然气管网后以混合气形式供该市上千辆车使用。2008 年,第一批 45 辆从奔

驰公司和沃尔沃公司定制的大型公交车用上了混合天然气,到 2010 年增至 100 辆。目前瑞士全国已有超过 1.5×10^4 辆使用生物天然气的汽车。

法国北部的里尔市是诺尔—加莱大区的首府,人口 100 万。该地 Sequedin 等 3 个市从 1994 年起,分别用城市生活污水处理产生的剩余活性污泥、有机生活垃圾和工业有机废水生产沼气,净化提纯后的生物天然气与常规天然气混合加压,通过管道输送到大型公交车停车场,总计有 400 辆公交车(占总数的 $1/2$)使用生物天然气。其中,Sequedin 市用生活污水剩余污泥生产沼气并提纯,年产生生物天然气 $400\times 10^4\text{ m}^3$,供 100 辆公交车长年使用。

意大利的罗马市人口 270 万,伦巴第大区(人口最密集地区,首府米兰市 130 万)人口 1000 万。两地都从减少机动车空气污染的角度,引入和发展天然气乃至生物天然气车辆。其中,伦巴第大区是全国工业、旅游最发达的地区,共有 750×10^4 辆机动车。米兰是欧洲国家人均拥有汽车最多的城市,人均达 0.8 辆。为了改善大气质量和达到欧盟关于到 2020 年交通运输燃料须有 10% 是可再生燃料的法律规定,2006 年起,该地区陆续建起约 100 家沼气工厂。主要采用畜禽粪便与加工业有机废弃物原料共发酵产气(该地区集中生产全国 40% 的牛奶);其次是生活垃圾填埋产沼气(甲烷含量为 40% 左右)。现已有 330 座液化生物天然气(LBG)加气站。2009 年,该地区共给生物天然气生产销售 3 000 万欧元的补贴,每个买符合欧 IV 标准生物天然气汽车的市民可获 3 000 欧元的补贴。

如今,沼气—生物天然气已成为一大产业。年产规模(折合生物甲烷)约为 $200\times 10^8\text{ m}^3$ 。截至 2010 年,欧盟各国已共有 9 000 家大、中型沼气厂,绝大部分是 2000 年后新建起来的。最小的产能规模是 0.5

MW,最大的为 25 MW。生物天然气按原料来源分,32.7%来自填埋垃圾,12%来自城市污水活性污泥,最主要的部分(55.3%)来自农业领域,包括能源作物和其他有机废弃物。

2.2 生物天然气产业在欧盟成功的根本原因

首先是欧盟国家领导人对减排温室气体和提高能源自给率具有强烈的政治意愿和责任感,不少国家如瑞典、芬兰和德国,先后作出了到 2020—2030 年间“告别石油”及“CO₂ 零排放”的郑重承诺。沼气作车用燃料与化石燃料相比具有碳“负排放”的独特优势,必然得到政府的青睐,给以更多政策性的支持和扶持。

强烈的政治意愿转化为相应的法律和强有力的激励政策。2009 年欧盟颁布了到 2020 年,各成员国一次能源消费总量中须有不少于 20% 的份额来自可再生能源;交通运输用能源中来自生物能源(主要是车用生物天然气)的份额不得低于 10%。生物天然气成为各国达到法律要求的有力手段^[10]。

欧盟国家对生物能源的政策性支持手段多样。包括对使用化石能源开征能源税和 CO₂ 税;生物能源生产企业的免税和改用生物能源的退税;新上生物能源项目的投资补贴(一般为 30%);对生物能源项目的专项补贴(如建车用生物天然气加气站);固定的并网优惠电/气价,以及允许“绿电”证书和碳减排配额的自由买卖等。

2.3 生物天然气产业完成了对传统沼气的彻底变革

在技术/工艺和设备的变革方面,发酵罐罐体由传统的混凝土,变成制作标准化和构件化、密闭性能好以及可附设罐内加温管道的不锈钢罐;取消了造价昂贵的储气装置,改为发酵罐顶置低压干式柔性气囊的一体式储气装置;适应发酵原料浓度提高、物料滞留期缩短和高容积产气率的要求,出现了连续搅拌发酵(CSTR)工艺和相应的高干物浓度混合料的破碎、搅拌和输送专用设备;常温发酵变成中温或高温发酵,从而完全摆脱了气温对沼气发酵的制约;青贮物料单独发酵或与畜禽粪便混合发酵时的部分沼液回流工艺;以及两相发酵工艺、干发酵工艺等。

而在原料保证上的创新方面,除了充分利用各类有机废弃物外,创新性地开发了单位土地面积生物质产量很高、能够确保周年供应的能源作物及物料青贮储备技术。“沼气专用能源作物”指对玉米、甜菜、苏丹草和黑麦草等作物专门培育品种,育种目标是单位面积最大的生物学产量(茎、叶、穗)乃至最高的可发酵干物产量,而不再追求传统的籽粒产量;收获的生物质经青贮(如整株玉米青贮)后,可以在简易储存条件下长期不腐烂变质,随时取用。

3 中国沼气行业摆脱困境的出路

3.1 沼气行业当前陷入重重困境的根源

3.1.1 主观原因

对于国内大型养殖场配套的沼气工程只有环保和社会效益而无(或很少)经济效益的局面,沼气业界(成员局限于农业部门,缺乏广泛的代表性)未足够重视,致使几个主要技术瓶颈长期得不到突破。对国外特别是欧盟国家近十几年来产业沼气的迅速发展信息不敏感,甚至反应迟钝;甚至有人还把借鉴它们的经验发展中国产业沼气的建议斥之为“一厢情愿”,也是一个重要的主观原因。

3.1.2 客观原因

国家能源主管部门和沼气主管部门则一直将沼气定位为“农村能源”,归入完全非商品性的能源范畴,并缺乏相应发展战略的研究,即把规模化沼气发展起来,最终成为一类新兴的生物能源产业。其次,对示范性沼气工程极有限的补贴,是补了工程建设而不是沼气产出,因而“重建轻管”现象普遍,补贴的实际效果较差,浪费较大^[11]。

3.1.3 技术方面的制约

欧盟国家制沼气的原料从一开始就与中国不同。前者主要是用生活污水好氧处理产生的剩余活性污泥,而后者则是人畜粪便(着重沼渣液作有机肥实现养分的循环利用)。这种根本性的区别,导致了两者在沼气的产出规模、沼气发酵工艺、沼气生产设备等方面的差别(差距)不断扩大。迄今为止,中国沼气业界仍有不少人仍认为,沼气原料就是粪便,没有其他。事实上,粪便作沼气原料虽然确有 N、P、K 和微量元素养分含量丰富有利于微生物繁殖,以及对原料酸度的冲击缓冲力强等优点。但用单一原料粪便来产沼气,局限性非常大,关键是不可能有很高的沼气产出率。

中国的大、中型沼气工程大多与养殖场配套。很稀的粪尿液几乎是唯一的原料。不仅产气少(VFS 含量少,发酵温度上不去也保不住),而且埋下日后产生巨量的沼渣、液无法处理、影响正常运行的祸根。

其次,为了实现粪尿液污水“达标排放”目标,除了通过厌氧沼气发酵降解生化需氧量外,还须想方设法继续降低生化需氧量和在脱氮、磷上面下大工夫。为此在沼气工程的厌氧段之后,不得不附加一系列的设施,例如序批式好氧沟(SBR),大面积的曝气池,人工湿地等,大大增加了建造和运行成本。

3.1.4 产品的利用方式经济效益太差

沼气是一种除甲烷外含杂气、杂质很多的混合气

体。如果不净化和提纯到甲烷含量超过90%,那么就既不能压缩,更不能液化。因此不可能经济地远距离运输和储存,只能就地利用。粗制沼气或进锅炉代替一部分煤,或脱硫后用专门的发电机(价格贵)发电,或用简易管子通入农户作燃料。但所有这些利用方式都不可能有多少经济效益,也制约着产业沼气的可持续发展。

3.2 出路

中国沼气行业摆脱困境的出路在于:摆脱“农村能源”的束缚,发展高品位能源商品、市场化运作的生物天然气产业。

3.2.1 我国已有一批成功的生物天然气开发利用案例

大连市夏家河污泥处理厂采用德国厌氧发酵工业制气技术,将全市数家污水处理厂产生的剩余活性污泥集中沼气发酵,产出沼气净化、提纯到城市煤气(甲烷含量低于天然气)的质量标准,进入城市煤气管网。日处理污泥600 t,日产沼气 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

河南安阳市贞元集团的车用生物天然气工程,每年处理 $18 \times 10^4 \text{ t}$ 污泥、粪便和餐厨垃圾等废弃物,生产出 $400 \times 10^4 \text{ m}^3$ 生物天然气,2010年11月举行竣工典礼,日产净化/提纯沼气 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

广西武鸣县安宁淀粉/酒精厂用鲜木薯和木薯片生产变性淀粉和酒精。以往废水有机污染问题极其严重,2005年以后,安宁厂与华南理工大学、广西必佳微生物工程公司及中国农业大学生物质工程中心等合作,采用高浓度有机废液快速、高效厌氧发酵技术,从废液中提取大量沼气,进而净化提纯生产车用生物天然气。2011年3月3日,举行了安宁厂生物天然气向南宁新奥新能源公司车用加气站试供气的投产仪式,是国内首个日产超过 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 生物天然气的案例。

广西武鸣县蛟龙酒精能源有限公司(广西最大的酒精厂,综合产能居华南地区酒精行业前列。原料为木薯、木薯片和甘蔗糖蜜)可日产 $13.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 生物燃气的全套设备于2012年上半年投产。

河南省南阳市天冠酒精厂用酒精废液制取沼气,日产 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,是目前国内沼气产能最大的企业。除以脱硫粗沼气形式供应毗邻的南阳市区居民生活用之外,一部分沼气经提纯后,成为压缩车用生物天然气(CBNG)。

3.2.2 原料资源有保证

我国传统的5类沼气的资源量大体测算值如下:①畜禽粪便,年可收集量为 $1.520 \times 10^8 \text{ t}$ (折合COD $1.300 \times 10^4 \text{ t/a}$);②生活污水,剩余活性污泥($4\,000 \sim 5\,000$) $\times 10^4 \text{ t/a}$;③工业有机污水,约为 500

$\times 10^8 \text{ t/a}$;④有机废弃物和生活垃圾,其中仅餐厨废弃物就每年超过 $3\,000 \times 10^4 \text{ t}$;⑤农作物秸秆、加工残余物,年可利用于制沼气的量约为 $1 \times 10^8 \text{ t}$ (迄今每年仍在田间焚烧掉的秸秆量为 $1.5 \times 10^8 \text{ t}$)。参考D. Thrn(2012)对沼气各类原料的分类和测算方法,即以畜禽粪便、工业有机污水和农作物秸秆/加工残余物3大类有机废弃物计算,按沼气的平均甲烷含量65%和生物天然气甲烷含量97%折算,可年产出 $2\,330 \times 10^8 \text{ m}^3$ 沼气,或产出生物天然气 $1\,560 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

据Holm-Neilsen(2009)等的精细估算^[11],欧盟28国4类原料的年沼气产量潜力为(生物甲烷):①用耕地面积的5%种植能源作物,产 $252\,758 \times 10^8 \text{ m}^3$;②生活污水污泥, $68 \times 10^8 \text{ m}^3$;③畜禽粪便, $205 \times 10^8 \text{ m}^3$;④不包括填埋垃圾的有机废弃物, $453 \times 10^8 \text{ m}^3$,合计为每年 $1\,500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国的人口是欧盟的2.7倍,畜禽饲养量约为其2倍多,各种农产品加工的总规模远大于欧盟,边际土地的面积更大得多。因此,拥有每年 $3\,000 \times 10^8 \sim 4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 可开发的生物天然气的资源潜力毫无问题。

从长远看,如果能用一部分边际土地种植沼气能源作物,由于全国宜能荒地(即可种能源作物的边际土地)总面积有近 $1\,400 \times 10^8 \text{ m}^2$ 之多,而且相对集中,有利于开发。因此生物天然气的年资源潜力可以增加超过 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[12]。

3.2.3 以生物天然气产业带动农户沼气转型升级

生物天然气开发与农村(户)沼气完全可以做到并行不悖,部分产品可就近供应给进入中小城镇的农民,有助于实现城乡优质商品能源的均等化服务;还能带动农户沼气摆脱当前面临的种种困难,如原料越来越缺乏,技术服务难以跟上等,走上集中产、供气的升级和健康之路。

3.2.4 国家能源主管部门应出台强有力的扶持政策

为了鼓励一大批企业进入产业沼气领域,有必要借鉴欧盟国家的经验,沼气发电并网已有补贴,但要引导沼气企业主要生产生物天然气。目前急需出台的激励政策,首先是扩大补贴规模,并彻底改变补沼气工程基建而不补产品的做法;对直接上市供车用天然气或并网的, 1 m^3 (比照发电量的补贴)至少补0.5元。其次,则是落实作为废弃物利用性质的沼气企业的税负减、免政策。

3.2.5 加紧对生物天然气的研究

鉴于发达国家的生物天然气已是一个成熟的体系。在我国发展生物天然气最需要的创新应是由于国情特点带来的原料及其相关转化技术的创新。原料的

保障对任何一种生物能源产业都是非常重要的,但对我国生物天然气而言则是根本性的。因为发展产业沼气首先要充分利用种类繁多的有机废弃物;其后,还要开发沼气专用能源作物。因此,现阶段研究的“重中之重”是多种原料的开发和相应的共发酵技术,高效产气工艺和特定设备的研制。而从长远看,利用边际土地乃至部分耕地种植和利用适合国情(不能影响粮食生产)的沼气专用能源作物将会日益重要,需要提前安排基础性研究。

4 结束语

不论从技术成熟度,环境保护,节约水资源的角度看,开发生物天然气(“另类非常规天然气”)远远优于开发页岩气等非常规天然气,尤其是经济可行性要好得多。以获每年 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的供气能力需基本建设一次性投入的资金匡算,输送从中亚进口天然气为 470 亿元(只供 30 a),加上购气费(300 美元/ 10^3 m^3),则共计要 670 亿元;“川气东送”要花 627 亿元(资源量只保证开采 30 a);页岩气要花 400~600 亿元,且不确定性非常大;而煤制天然气,则要花 700~800 亿元。而开发出年产 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生物天然气,投资额约为 250 亿元。

但国家能源局 2012 年正式发布的《生物质能发展“十二五”规划》中,对“规模化沼气”(生物天然气的基础)的规划,却未体现出生物天然气的潜势。相应的指标是,到 2015 年,大中型沼气工程(包括畜禽养殖场粪便、工业有机废水和污水处理厂污泥)50 000 处,产沼气 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。实际上,2010 年畜禽养殖场的沼气产量统计数已是 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。即便是稍早于生物质能规划出台的《可再生能源“十二五”规划》,对 2015 年规模化沼气的产量指标很保守,也还定的是 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$;而到了《生物质能发展“十二五”规划》,却大幅度倒退到只有 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

这样的状况迫切需要改变,国家能源主管部门应抓住难得的机遇,做出规划,制定扶持政策;沼气企业和技术人员要更新观念,推进传统的沼气工程转型和技术升级,以建成生物天然气战略性新兴产业。

参 考 文 献

- [1] 程序,崔宗均,朱万斌. 论另类非常规天然气——生物天然气的开发[J]. 天然气工业,2013,33(1):137-144.
CHENG Xu, CUI Zongjun, ZHU Wanbin. On the tapping on bio-natural gas, a special unconventional natural gas [J]. Natural gas industry, 2013, 33(1): 137-144.

- [2] 曹曼. 中国沼气产业急需正能量[J]. 天人之际, 2013, 11-12: 1-2.
CAO Man. China's biogas urgently needs positive support [J]. Journal of Tianren Group, 2013(11-12): 1-2.
- [3] BASSAM N E. Handbook of bioenergy crops: A complete reference to species, development and applications [M]. London: Earthscan Publications Ltd., 2007.
- [4] German Energy Agency (DENA). The role of natural gas and biomethane in the fuel mix of the future in Germany [EB/OL]. <http://www.xebecinc.com/pdf/studie-the-role-of-natural-gas-and-biomethane-in-the-fuel-mix-of-the-future-in-Germany.pdf>.
- [5] 黄锦成, 沈捷. 车用内燃机排放与污染控制[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
HUANG Jincheng, SHEN Jie. Vehicle engine exhaust and pollution control [M]. Beijing: Science Publishing, 2012.
- [6] 杜娟. 环保局建议电企“煤改气”电企反对呼“亏不起”[N]. 广州日报, 2012-04-19(2).
Environment Protection Bureau's suggestion of shifting coal to gas was rejected by power plants for the higher costs [N]. Guangzhou Daily, April 19, 2012.
- [7] 程序, 朱万斌. 创建若干 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 级生物天然气“气田”可行性分析[J]. 中外能源, 2012, 17(7): 24-28.
CHENG Xu, ZHU Wanbin. Feasibility study into building $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ biogas fields [J]. Sino-Global Energy, 2012, 17(7): 24-28.
- [8] 程序, 朱万斌, 崔宗均. 欧盟沼气产业的新资源——能源作物[J]. 可再生能源, 2011, 29(5): 133-136.
CHENG Xu, ZHU Wanbin, CUI Zongjun. Research achievements on dedicated energy crops for biogas in the EU countries [J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29(5): 133-136.
- [9] German Biomass Research Center (DBFZ). DBFZ Annual report 2012. Biomethane plant portfolio [EB/OL]. <http://www.dbfz.de/web/en/publications/annual-report.html>.
- [10] German Biomass Research Center (DBFZ). Focus on biomethane [EB/OL]. <http://www.energetische-biomasse-nutzung.de>.
- [11] 程序, 梁近光, 郑恒受, 等. 中国大中型沼气转型的战略思考和初步实践[J]. 中国沼气, 2010, 28(6): 32-35.
CHENG Xu, LIANG Jinguang, ZHENG Hengshou, et al. Strategic transition of China's biogas engineering and initial practices [J]. China Biogas, 2010, 28(6): 32-35.
- [12] 程序, 朱万斌. 欧盟国家新兴的生物天然气产业[J]. 中外能源, 2011, 16(6): 22-29.
CHENG Xu, ZHU Wanbin. Emerging bio-natural gas industry in EU countries [J]. Sino-Global Energy, 2011, 16(6): 22-29.

(收稿日期 2013-07-09 编辑 罗冬梅)