

# 开发产业沼气 实现生物天然气对天然气的替代

## ——有机废弃物厌氧处理从“环保主导” 向“能源-环保双赢”的转型

程 序<sup>1</sup>, 郑恒受<sup>2</sup>, 梁近光<sup>3</sup>, 朱万斌<sup>1</sup>, 崔宗均<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学生物质工程中心, 北京 100193; 2. 广西农业职业技术学院, 南宁 530007;

3. 广西必佳微生物工程公司, 南宁 530003)

**[摘要]** 论述了我国沼气技术和工程升级换代的必要性和可行路线, 沼气资源在中国的多样性, 分析了若干探索性的案例。研究发现全国生物天然气生产潜力超过1 000 亿 m<sup>3</sup>/a, 将成为我国部分地替代供应日趋紧缺的天然气的的重要途径。

**[关键词]** 产业沼气; 技术升级换代; 生物天然气

**[中图分类号]** TK6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)02-0029-06

## 1 前言

中国是世界上最早发现和应用沼气的少数几个国家之一, 很早就有了沼气产业化的雏形。起初, 沼气是作为昂贵的进口煤油(“洋油”)的替代品问世的。20 世纪 20 年代, 罗国瑞先生发明了中国第一个水压浮罩式沼气池——后被命名为“中国国瑞沼气发生器”(China Guorui gas vessel)。它可以满足 6 口之家每天照明和炊事用能的全部需求。1930 年, “国立国瑞照明公司”(又名“中华国瑞瓦斯总行”)在上海建立, 并获得了沼气发酵照明的专利和实业部的许可证。当时的沼气工程池容积一般为 6 m<sup>3</sup>, 主要的建材是水泥。从 20 世纪 70 年代起, 农民用沼气在部分区域得到推广, 成为农村生活能源的一种补充。进入 21 世纪, 我国农户沼气池数量飞速增长, 2010 年总数已逾 4 000 万个。但令人遗憾的是, 迄今不但在国际上我们应有的(农户沼气)“全球领先”形象未树起来, 在产业沼气领域, 更已落后

于欧洲国家十几年, 甚至于还比不上印度。其中的原因值得深入分析, 以利于推进在我国潜力巨大、正蓄势待发的气态生物能源——产业沼气。

## 2 中国已有的大中型沼气工程的现状和问题

### 2.1 大中型沼气工程的现状

由于农户沼气的原料是人畜粪便, 废弃物能被有效地厌氧分解。20 世纪 90 年代后, 随着“菜篮子工程”规模化养殖场的大量建设, 大、中型沼气工程自然地成为畜禽粪污的主要处理手段, 主要与规模化养殖场配套。但因受“环保主导”模式以及工艺技术的严重约束, 即着眼于将畜禽粪污经生化处理后能使 BOD(生化需氧量)、COD(化学需氧量)、氨氮和总磷等指标降至达标排放的水平, 因而使工艺和设计复杂化, 建造和运行成本高; 加上单纯以粪污作原料产沼气性质不理想, 总体的沼气产率很低, 不能满足规模化开发利用的要求。大、中型沼气工程的技术经济指标普遍低下, 不具备经济上的可持续

**[收稿日期]** 2010-12-09

**[基金项目]** “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD75B07); 农业部“948”项目(2006-Z24)

**[作者简介]** 程 序(1944-), 男, 江苏无锡市人, 中国农业大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为可持续农业与生物质能;

E-mail: chengxu@cau.edu.cn

性。因此,尽管在过去的20余年内,全国累计已建两万多座大、中型沼气工程,但是始终不能大量推广和正常运转。造成沼气资源极大浪费和畜禽粪便成为国家最主要农业面污染源<sup>[1]</sup>并存的尴尬局面:2007年,全国年出栏千头以上商品猪的规模化猪场达40 910个,年存栏5万只以上的规模化蛋鸡场达1 006个,年存栏200头以上的规模化奶牛场达3 443个,年出栏500头以上商品牛的规模化肉牛场达1 931个,总计近6.5万个。至于中型养殖场和养殖小区的数量更超过百万个。可以收集的畜禽粪便量,每年不低于10亿t。与此同时,畜禽粪便导致的面源污染问题日益严重。一些地方政府甚至不得不牺牲农民的经济收益而颁布“禁猪令”。

## 2.2 主要技术问题

我国大、中型沼气工程从其诞生之日起,目标一直是要把养殖场的粪污废水治理到符合环保部门规定的排放标准。其中最重要的指标是生化需氧量(BOD、COD)、氨氮含量和总磷含量。为了实现治污和废水达标排放,除了首先通过厌氧沼气发酵大幅度降解生化需氧量外,还须想方设法继续降低生化需氧量和在脱氮、脱磷上下大功夫。为此,在畜禽养殖场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)、曝气池、人工湿地等,先天性地造成造价和运行成本双过高。其次,大多数工程的厌氧发酵池(罐)从结构上说,基本上只是产气率很低的户用水压式沼气池的放大。而且大多数规模化猪场采用水冲粪工艺,导致进入厌氧发酵罐的料液TS浓度过低,不仅影响升温 and 热效率,而且沼气的产出量也不可能多;更成问题的是致使沼液量过大,不得不进行旨在“达标排放”的后段处理,而且对沼渣/液的利用也形成了先天的巨大障碍。

国家发展和改革委员会能源局2009年公布了“工业化规模化沼气开发”项目执行情况<sup>[2]</sup>。该项目是联合国开发计划署(UNDP)和全球环境基金(GEF)1997年以来在华支持的。虽然通过项目引进了不少国外主要是欧洲的先进技术,但总体看,各个具体的工程沼气发生效率仍不高。平均容积产气率只有 $0.4 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,距离较理想的 $2 \sim 4 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 或更高的水平相差很远。报告指出,“工业规模的沼气(年)产量中,只有12亿 $\text{m}^3$ 作为能源被利用”;因此“目前大部分沼气工程还是以处理废物为主,没有进行能源生产”。

在只有高投入,没有或很少收入的前提下,养殖场不可能有应用大、中型沼气工程的积极性。因此,必须从根本上颠覆长期以来大、中型沼气工程单纯为处理污水/厩粪服务的“环保型”沼气的格局;还要改变沼气“土法上马,因陋就简”的传统粗放模式和在人们心目中“小打小闹,成不了大气候”的形象。使之成为具有现代化内涵的一种新型的能源-环保产业。

## 3 欧盟国家的沼气早已越过“环保主导”阶段,进入产业化

欧盟国家的沼气发酵工程在经历了短暂的主要为处理畜禽粪便服务的过程后,很快发展到产业化。这是因为早在20世纪70年代,瑞典等国的学者就已发现,对城市生活污水的好氧处理会产生大量污泥。如不做进一步处理,将成为二次污染源。而通过对污泥的厌氧发酵,则可在大幅消化污泥的同时获得数量可观的沼气。经过净化和提纯,能作为天然气的替代品。

### 3.1 欧盟国家的生物天然气——净化提纯沼气

20世纪90年代中期以后,沼气在欧盟国家的利用开始登上一个全新的台阶——实现商品化<sup>[3]</sup>。大规模生产的沼气不但替代煤发电和供热(热电联产,CHP),而且净化和提纯后的“生物天然气”还替代天然气作为车用燃料和民用燃气。2008年在瑞典,60%的车用燃气来源于生物天然气。全国有1.7万辆生物天然气汽车,38座商业运作的沼气提纯厂。德国2010年已有5 000座大型沼气工厂,以往沼气主要用于热电联产,2009年发电产能达1 597 MW,超过水电而仅次于风电(德国是全球第一风电大国)。预计到2020年,沼气发电产能将占总发电产能的10%(据Allianz Group, 2007)。近年来,又开始转向经净化和提纯成为生物天然气(甲烷含量从60%左右提高到97%,称为Biomethane, Bio-CBG, Bio-CNG),之后直接注入天然气管网或用压缩罐送至汽车加气站。根据德国能源署(Dena)的资料<sup>[4]</sup>,2010年已建成和在建的沼气提纯入管网工程有28处。每小时加工量从 $200 \text{ m}^3$ 到 $5 000 \text{ m}^3$ 不等。德国沼气协会估计,到2020年,生物天然气将提供全国消费量的20%。

在欧盟国家,沼气净化和提纯已经是成熟的技术。在主要的技术中,高压水洗法是使用率最高的一种,市场占有率达56%;其次为变压吸附法

(PSA),占27%,再其次为化学吸附法,占8.7%。

### 3.2 欧盟国家发展生物天然气的动力和政策性支持

出现以上态势的背景,首先是欧盟的《生物燃料指令》,规定到2010年底,生物燃油在交通运输燃油总消费量中的比例必须不少于5.75%,以及出台对替代燃油的补贴政策。各国对沼气平均补贴水平不一。以沼气发电每千瓦时计,德国最高,达0.18欧元,最低的法国亦有0.06欧元。其次是相应国家的政府希望扩大清洁能源,包括由可再生能源生产的所谓“绿色电能”的使用,从而大幅度地减少温室气体的排放量;再次是为了减少对从俄罗斯进口天然气的过分依赖,提高能源的自给水平。

以瑞典为例,政府支持产业沼气的政策措施包括:

- 1)对建设沼气工程的企业/农场给予工程投资30%的补贴;
- 2)对沼气纯化后替代燃料免征石化燃油使用税;
- 3)减征沼气企业的增值税;
- 4)免征车辆拥堵税。

此外,由于沼气纯化后无论是供车用还是直接进入天然气管网,主要用户是城市居民。因此瑞典特别注重城市管理当局对发展产业沼气的引导和支持作用。

联合国工业发展组织的《生物能源战略》<sup>[5]</sup>指出,近年来,沼气早已摆脱了仅仅是对废弃物,包括粪便、厩粪和生活有机垃圾作厌氧发酵处理的形象,而成为一个新能源产业。至少在欧洲已是如此。它已经可以从现代能源作物如(整株)玉米、小麦,以至加入到能源作物轮作体系中的古老作物种(如牧草)中直接提取出来,而且其净能产出效率完全可与堪称最佳的能源作物甘蔗和油棕媲美。同第二代生物燃油相比,沼气提供的是近于闭合的植物营养物质循环,能循环利用植物内部几乎所有的营养物质,因而化肥需要量大幅减少。

在欧盟制定的到2020年可再生能源必须占总能源消费量20%的强制性目标中,至少25%的份额将依靠沼气<sup>[6]</sup>。

### 3.3 沼气的综合效益

与其他形态的生物能源比,沼气的单位土地面积能量产出率最高。以在瑞典南部每公顷土地生产的生物量转化为燃料可驱动轿车行驶的里程计,沼

气为67 600 km;而生物乙醇和生物柴油分别只有22 400 km和23 300 km<sup>[7]</sup>。后者能量转换率低的关键在于,用木质纤维类生物质制生物乙醇时,物料的预处理需要消耗大量能源;其次是稀乙醇液的多次蒸馏也要消耗大量能源。而沼气是由生物质经厌氧转化得到,在所有生物能源的能量转化方式中,厌氧发酵的生物化学转化效率最高。相比之下,乙醇转化过程中,有相当一部分生物质(主要是五碳糖)不能被利用。

在减排温室气体方面,产业沼气与常规石化燃料,包括其他生物能源相比,都有极显著的优越性。以生命周期(LCA)分析法计算,每产生1 MJ的作功能量所排放的CO<sub>2</sub>,汽/柴油为80 g,沼气为-60 g。国际可再生能源中心的N. Bassam在其生物能源专著中指出,在所有的生物燃料中,生物天然气具有最高的全生命周期效率,最低的CO<sub>2</sub>足迹,单位土地面积生物能量产出最多,使用的原料范围最宽<sup>[8]</sup>。甲烷的温室气体当量是CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>严重得多的温室气体效应。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全国CO<sub>2</sub>年排放总量约8%。

生物天然气生产具有很好的经济可行性。在欧盟国家,与常规石化燃油比,生物天然气免征CO<sub>2</sub>税(每千米排放CO<sub>2</sub>超出120 g上限,每多1 g征收2欧元)和免征能源税(汽油和柴油则每升分别征收0.65欧元及0.47欧元)。在我国,虽然尚未出台对生物天然气的补贴政策,但由于原料来自废弃物和下脚料,即便加上净化和提纯的费用,总成本也不高。根据几个示范项目的初步实践,比起若干城市的车用燃气价和华南地区的液化气价,生物天然气有每立方米约2元的净利润空间。

需要强调的是,任何时候都不要忘记,在中国发展生物能源包括产业沼气,最首要的出发点是振兴农村经济,增加农民就业和收入。以农作物秸秆为例,如果秸秆能通过用先进技术和工艺制成沼气利用,种粮农民每亩(注:1亩≈667 m<sup>2</sup>)可多收入300元左右,相当于甚至超过种粮的亩纯收入;而用边际土地和退耕还林、草的土地种植沼气专用能源作物,每亩至少可额外收入500~800元。

农村农业废弃物/能源作物规模化制沼气,符合

生物质应用的“就地初加工—集中精制—相对集中供能”的理想模式。可彻底打掉固体生物质能利用上的拦路虎——原料来源高度分散、运输困难和成本高,并且可振兴农村中小企业。

## 4 中国沼气技术路线变革和技术的升级换代

### 4.1 技术路线变革和技术升级的必要性

对照欧盟国家开发生物天然气产业的成功经验,我国大、中型畜禽场沼气工程的工艺和技术存在很大差距。突出表现为容积产气率不理想和运行不稳定。因而不能稳定地和大量地产出沼气,也就谈不上发展沼气产业。

造成原料、工艺和技术上差距的主要原因是:

1) 单一粪污原料的 C/N 值过低(15~20),干物浓度(TS)也过低(一般只有6%左右)。虽有利于微生物的繁殖和活动,但很不利于大量地产出沼气。

2) 物料的水解、酸化、产 $H_2$ 和产 $CH_4$ 等对环境条件要求不同的过程混在一个反应罐内,互相牵制。

3) 在反应罐内不能形成质量好、能比较稳固保持的厌氧颗粒污泥。

4) 反应罐内物料的搅拌不足甚至没有。

5) 反应罐内运行温度无保证。一般低于中温发酵(37℃)的要求;更达不到高效的高温发酵所需的温度(50℃)。

6) 缺乏标准化的过程控制,操作完全凭经验,不能及时发现运行问题,也不能适应物料物理、化学性质多变的特点。

### 4.2 技术路线变革和技术升级的内容

多年的正、反面经验教训已经证明,大量产沼气并取得显著经济效益须成为大、中型沼气工程的首要目标;必须在高效提取有机废水/废弃物中的生物能源过程中,自然而然地同时完成有机残留物(体现为生化需氧量指标 COD/BOD)的降解。至于沼渣、液,则应在减量技术的支持下,加工成优质的有机复合肥料,而彻底取消了传统的脱氮、磷环节,避免沼渣、液无法实际利用的尴尬。此外,采取沼气随产、随加工(净化,提纯)随输出(并入天然气管网或用 CNG 车拉至天然气用户处),以取消造价昂贵的大型储气罐,从而从多方面大幅度降低建造和运行成本。为达到能源与环保的“双赢”,还必须针对上述技术差距,对大、中型沼气工程厌氧发酵技术和工艺作彻底的改革,使其实现升级换代。

实现这一转折的关键,在于技术路线的根本性变革。即改变原料组成,设法加大物料浓度;通过特殊设计,使相当一部分发酵液回流,不但可用于对原料的接种,同时可大幅减少沼液的产生;将剩余的沼渣和少量沼液直接加工成为颗粒状有机-无机复合肥,作优质商品肥出售。加上使用保(中)温甚至高温发酵和连续搅拌工艺,确保大量产出沼气。

## 5 我国技术人员对产业沼气的探索

### 5.1 近年来沼气产业化的一些成功案例

近年来,国内在利用城市污水处理产生的好氧污泥、填埋垃圾规模化产沼气方面,已有零星的案例。如青岛市引进法国技术处理生活污水并利用所产沼气发电的项目。又如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污泥集中沼气发酵,产出沼气净化、提纯到城市煤气的质量标准,进入城市煤气管网(日处理污泥 600 t,日产沼气煤气 1.1 万  $m^3$ )。它们基本上是使用从欧盟国家引进的技术。但沼气产业化主要还是集中在利用养殖场的粪污规模化地生产沼气。

国内首家肉种鸡养殖企业上市公司“山东民和牧业”,有 150 万只种鸡和年 370 万只肉鸡的生产量。沼气工程利用沼气发酵系统日处理 300 t 鸡粪及 500 t 废水。日产沼气 2.8 万  $m^3$ ,发电厂装机容量 3 MW,日发电 7 万  $kW \cdot h$ ,年收入 2 000 万元。通过交易认证减排量(CERs)获得了碳交易资金支持,成为国内首家获准 CDM 的农业企业。核准的年  $CO_2$  减排量 6.9 万 t,年收入 700 万元。鉴于生物天然气更好的经济效益,该企业正在筹备沼气的净化提纯。

北京德青源蛋鸡场以鸡粪为原料建起沼气发电厂。厌氧反应罐容积  $4 \times 3\ 000\ m^3$ ,日处理鸡粪 212 t,日产沼气 1.9 万  $m^3$ ,日发电 3.84 万  $kW \cdot h$ ,这些工程或多或少地都引进了欧盟国家沼气技术和设备。

最新的进展之一,是利用高浓度有机废液和利用纯秸秆生产沼气,具有中国自己的特色。如河北省耿忠生物质能公司自行研发的完全使用青(黄)贮玉米秸秆的沼气工程。容积产气率达到  $1\ m^3/(m^3 \cdot d)$ 。

### 5.2 沼气对天然气的直接替代

由于受粗沼气不能液化或压缩的局限,以往国

内规模产沼气的企业几乎均采取沼气就地利用方式,或直接通入燃煤锅炉混燃替代一部分煤,或使用专用发电机发电。但这些方式的能效都很不理想,且需要配套昂贵的专用设备,经济效益也差。目前,通过对沼气净化和纯化,使其达到车用或管道天然气的质量,已成为国内生物燃气研发新的热点。

### 5.3 中国产业沼气的“富矿”——高浓度有机废液

在沼气原料上,中国有发达国家所没有的农产品加工规模和有机废弃物/废液的资源量。高浓度有机废液的产沼气潜力最高。虽然技术难度很大,但已取得突破。反过来,一些重要的原则也有利于指导大、中型沼气工程技术的升级换代。

在目前国内占绝大多数的用厩粪为单一原料的沼气工程中,干物浓度(TS)过低一直是容积产出率[一般只有 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ]的致命性制约因子。例如,猪、牛粪的干物含量均低于10%,而用水冲法清粪的猪场,其注入沼气发酵装置的干物浓度更只有1%~3%,沼气产出量远远达不到规模化的要求。另外,干物含量高的原料,如青贮能源作物或秸秆,虽然发酵物料的干物浓度可高达12%以上,有助于提高容积产出率,但由于流动性差,大多只能采取物料发酵罐内滞留期长达数十天的干式发酵工艺,影响工程的效率。高浓度有机废液则兼具两者的优点。一方面,由于是液态,能够适用于高效的水流式厌氧发酵工艺,物料在发酵罐内滞留期只有1~2天;另一方面,由于其很高的化学需氧量(COD)浓度意味着非常高的有机干物浓度,从而为实现很高的容积产出率提供了基础条件。因此,理论上说,无论从资源量上还是可发酵产气性上,它将与专用能源作物一起,成为我国产业沼气两大极为重要的原料。

### 5.4 糖蜜/木薯制乙醇高浓度有机废液沼气利用的关键

总体上说,高浓度有机废液的处理难度很大,必须有专门的技术和设施。20世纪70年代,荷兰瓦赫宁根农业大学的G. Lettinga发明了上流式厌氧污泥床(UASB)技术,嗣后在全球得到广泛应用。90年代该技术被引入我国。也有不少试图用以处理糖蜜/木薯制乙醇产生的高浓度有机废液的案例。但实践表明,该工艺无法适应高酸度、难降解有机物多、硫化物含量高和COD浓度过高(20 000~100 000 mg/L)的有机废液的特点。高浓度有机废液特别是糖蜜乙醇废液和木薯乙醇废液的有效处

理,一直被国内外业界公认是个难题。UASB的设计,是针对低浓度有机废液的,不能适用是很自然的事。

UASB-TLP技术是日本爱博公司开发的一种针对高浓度有机废液的高效处理技术。其主要优点是发酵罐内分别形成层流、涡流和脉动流三个区,能使厌氧污泥颗粒与高浓度有机废水高效率地接触反应,从而大大提高了厌氧装置的有机负荷和反应效率<sup>[9]</sup>。在其基础上,我们针对糖蜜乙醇废液和木薯乙醇废液的特点,进行了菌群筛选与优化、颗粒污泥最佳培养条件的选择和控制在,并改进了厌氧罐体内部结构,获得了成功。在中试(800 m<sup>3</sup>厌氧罐)规模下,COD负荷达到 $25 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。这项成果使高浓度有机废液的处理效率,比国内普遍使用的UASB技术提高近10倍,而造价只有约三分之一。近年先后在广东农垦三和酒精厂及广西武鸣县安宁淀粉厂等5家企业得到应用。其中,两家企业的沼气日产量均达到30 000 m<sup>3</sup>。目前正在建设产业沼气商品化利用示范项目。

## 6 我国产业沼气的资源量估算

### 6.1 传统原料产沼气的资源量

我国发展产业沼气的潜力非常大。仅畜禽养殖场废水、工业有机废水和城市污水三项合计的COD年排放量超过1亿t。到2020年将增至年排放约2亿t。如果将其所含的生物能都开发利用起来,则每年至少可产生830亿m<sup>3</sup>沼气;加上垃圾填埋气,年产沼气量共计为1 500亿m<sup>3</sup>沼气,折合860亿m<sup>3</sup>甲烷。可替代近900亿m<sup>3</sup>的天然气,比2008年我国天然气的实际消费量还多出近100亿m<sup>3</sup>。这里还未计入两大类新兴沼气资源:每年几亿吨的农作物秸秆和大有希望的可在边际土地上大量种植的沼气专用能源作物。

### 6.2 新兴的沼气原料

欧盟国家近年来研发沼气专用能源作物作沼气原料,是因为传统的沼气原料不够用。而能源作物的土地-能量生产率比用于生产燃料乙醇和生物柴油高好几倍。例如,在地处寒温带的瑞典,采用整株玉米和整株能源甜菜青贮后制沼气,单位土地年产生的能量几乎与巴西的甘蔗(制乙醇)相仿(每公顷农地年产的乙醇或沼气可驱动汽车行驶4万~4.5万km)。整株玉米、甜菜和若干牧草(如藜草、冬黑麦和芒)均是理想的对象。能源作物制沼气潜

力很大,将成为产业沼气的一类主要原料。德国沼气产出总量中已有 20% 来自沼气专用能源作物。

欧盟国家沼气专用能源作物的使用方式是全株青贮后再作发酵原料。这一点对我们有很大的启发。尽管因地少人多的国情,中国不可能大量种植整株青贮利用的沼气专用能源作物,然而目前粮食作物特别是玉米秸秆的利用方式和效率却是可以彻底改变和大幅度提高的。

对玉米收获前后的秸秆成分的分析发现,对于秸秆厌氧发酵性能至关重要的 4 项指标,在秸秆变干后都发生了非常不利于沼气发酵和其他生物能转化方式的变化。例如,木质素含量几乎提高了 1 倍,使木质素大量与纤维素和半纤维素结晶,严重阻碍了后两者在生化转化过程中的降解。因此,培育果穗成熟时茎秆仍然青绿的专用玉米品种,并采取在收获时同时收获/青贮茎秆的技术路线,将可以大大拓宽沼气的原料来源,与粮食安全没有任何矛盾。

沼气发酵技术可以利用几乎任何形态的生物物质。我国虽然人多地少,但“地少”主要是耕地少,而草地面积和林地面积却分别是耕地的 3 倍和 2 倍。其上生长的各种生物物质都是广义的“能源作物”,特别是在亚热带分布广,温度高且雨量大,生物产量之巨难以想象。包括降水量只有 400 mm 的半干旱地区。我国上亿公顷的退耕还林/草地及退化草原,如果实施“营养体农业”(即着眼于收获最大可能的生物量而非谷物籽粒),则可充分利用充足的光照、雨热同期及多年生草、灌木耐旱力极强的特性,生产出大量可作为沼气原料的生物物质<sup>[10]</sup>。

## 7 结语

2009 年,中国一次能源消费 30.5 亿 tce。其中天然气仅占 3.85% (国际平均水平为 25%);而有关部门的目标是力争到 2020 年,天然气在一次能源消费结构提高到 10%~12%。2010 年中国的天然气实际需求约为 1 100 亿~1 200 亿 m<sup>3</sup>,缺口为 200 亿 m<sup>3</sup>。近年来我国天然气用量高速增长,不时出现“气荒”。“十二五”能源计划将温室气体减排的希望,主要寄托于大幅度增加对作为洁净能源的天然气的使用量上。未来天然气的消费量如此增加,预

测到 2020 年,虽然天然气产量可达 1 700 亿 m<sup>3</sup>,但由于消费量的增加更迅猛,天然气的缺口届时将大幅度扩大,将达到每年 1 000 亿 m<sup>3</sup> 左右,进口依存度窜升。生物天然气弥补天然气供需缺口的潜力(每年 1 000 亿~2 000 亿 m<sup>3</sup>)和作用将会越来越突出。

产业沼气在中国的发展有着强大的需求和市场。原料的资源量充足,发酵技术和配套设备方面已经有了成功的案例。经过技术升级和换代,今后建设和投产的大型沼气工程数量将能以数十万计。从物流条件上说,提纯沼气可直接应用现成的天然气基础设施,比绝大多数须从头建设物流系统的可再生能源都有优势。对产业沼气案例的经济核算表明,项目投资性能良好。总之,产业沼气在中国前途广阔,作为现时最有希望的一种生物能源,可以大有作为。

## 参考文献

- [1] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [2] 王仲颖, 高虎, 秦世平, 等. 中国工业化规模化沼气开发战略[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [3] 程序, 梁近光, 郑恒受, 等. 中国“产业沼气”的开发及应用前景[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 1-6.
- [4] DENA. Biomethane injection projects in Germany. <http://www.biogaspartner.de/index.php?id=10074>. 2010.11.12
- [5] United Nations Industrial Development Organization. Bioenergy Strategy[M]. UNIDO, 2007.
- [6] Martina Poeschl, Shane Ward, Philip Owende. Prospects for expanded utilization of biogas in Germany[J]. Renewable and Sustainable Energy Review, 2010, 14(7): 1782-1797.
- [7] Pal Borjesson, Bo Mattiasson. Biogas as a resource - efficient vehicle fuel[J]. Trends in Biotechnology, 2007, 26(1): 1-13.
- [8] Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops, A Complete Reference to Species, Development and Application[M]. London: Earthscan, 2007.
- [9] 程序, 梁近光, 冯孙正, 等. 高浓度有机废液 COD 处理获取产业化沼气的技术开发进展[J]. 中外能源, 2009(7): 30-33.
- [10] 程序, 朱万斌, 谢光辉. 论农业生物能源和能源作物[J]. 自然资源学报, 2009, 24(5): 842-848.

(下转 56 页)