

“环保 + 能源”的生物天然气 循环经济发展研究

刘代城 万 毅 张晓萌

(三峡电能有限公司, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 三峡电能紧密结合自身主营业务, 积极探索将环保与能源有机结合的路径, 其中以治理水污染源头为主的有机废弃物处理, 既能对废弃物进行资源化利用产生生物天然气, 还可以实现生态链闭环, 打造循环经济模式, 本文结合现阶段长江经济带发展的形势, 提出了发展生物天然气循环经济的对策建议。

关键词: 环保 + 能源; 生物天然气; 循环经济

中图分类号: F426; F323.3 **文献标志码:** A **DOI:** 10.19679/j.cnki.cjjsjj.2019.0420

生物质能源属于可再生能源的一种, 其资源化利用形式包括直燃、气化、发酵等, 目前农林废弃物直燃、气化发电, 垃圾焚烧、填埋发电等, 技术已经相对成熟, 其中长江经济带的湖北、湖南、安徽、江西、江苏、浙江等地已经有大量应用案例, 农村秸秆焚烧和城市垃圾处理得到相对有效的控制。但是, 对于农业有机废弃物, 尤其是规模化养殖企业畜禽粪污, 目前对其进行资源化综合利用仍处于发展初期。

据《第一次全国污染源普查公报》显示(注: 第一次公报发布时间为2010年2月, 根据《全国污染源普查条例》规定, 每10年开展一次全国污染源普查工作), 畜禽养殖业粪便产生量2.43亿t/年, 尿液产生量1.63亿t/年, 其主要水污染物排放量中, 化学需氧量1 268.26万t、总氮102.48万t、总磷16.04万t、铜2 397.23t、锌4 756.94t, 分别占农

业主要水污染物排放总量比例为96%、38%、56%、98%、94%, 这些既是农业面源污染的主要来源, 也是水系污染的源头之一。

生物天然气的综合利用项目意义重大, 其着眼于环保, 落脚于能源, 并且有较好的经济性, 既是生态闭环的环保项目, 又是生物质可再生能源项目, 属于“环保”与“能源”的有机结合。因此规范畜禽粪污处理, 加快推进畜禽粪污资源化利用, 对于减少环境污染, 推进生态文明建设, 贯彻绿色发展理念具有十分重要、迫切的意义。

1 生物天然气行业概况

1.1 生物天然气的含义及主要优势

生物天然气是指以有机废弃物(例如: 禽畜粪污、农林秸秆、餐厨等有机垃圾)为原料, 经厌氧发酵

收稿日期: 2019-05-15

作者简介: 刘代城, 男, 工程师, 主要从事配售电及综合能源方面的研究。E-mail: liu_daicheng@cypc.com.cn

和净化提纯后与常规天然气成分、热值等基本一致的绿色低碳清洁环保可再生燃气。可再生燃气也称为生物天然气，能够驱动燃气发电机组发电，并可充分利用发电机组的余热用于厌氧发酵罐加热以及工业用蒸汽等，其综合热效率达80%左右。生物天然气具有清洁、低碳、可替代以及原料丰富等优势，属于较好的可再生能源。

1.2 生物天然气发展现状及存在问题

生物天然气俗称沼气。根据《生物质能发展“十三五”规划》，截至2015年底，中国沼气理论年产量约190亿 m^3 ，其中户用沼气理论年产量约140亿 m^3 ，规模化沼气工程约10万处，年产气量约50亿 m^3 。全国户用沼气达到4 193.3万户，受益人口达2亿人。

然而，生物天然气与传统沼气有较大区别。传统沼气项目主要为农村户用型，运行不稳定，产气量低，极少进行提纯及综合利用。生物天然气项目则是随着种植专业化、养殖规模化以及有机废弃物处理集约化发展而构建的区域综合能源中心，其运行稳定可靠，产气量高，产品种类丰富。

近年来，我国规模化沼气工程能源利用以发电为主，据国家统计局数据显示，2011—2017年我国沼气发电市场规模实现了跨越式增长（如图1）。2011年的市场规模仅为7.89亿元左右，2014年，

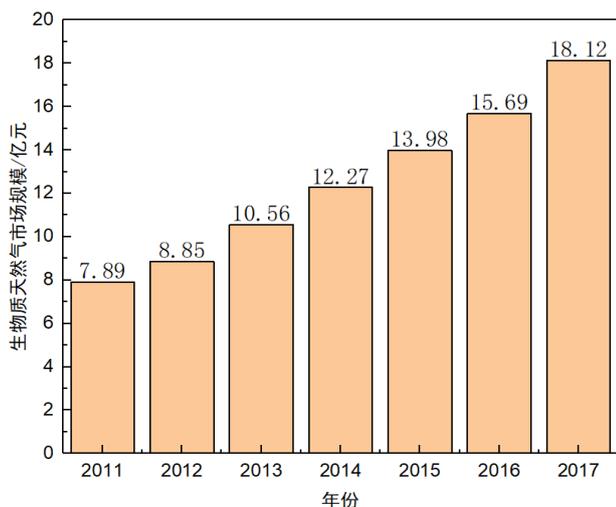


图1 2011—2017年全国沼气发电市场规模

随着国家连续出台了多项沼气发电发展规划以及补贴政策，带动行业主体数量实现扩幅的同时，市场规模也实现了快速的增长，2014年行业市场达到了近12.3亿元，2017年行业市场规模增长至18.12亿元，沼气发电市场2011~2017年年均复合增长率为14.9%。

从2014年开始，我国农业部和发改委推动大型沼气转型升级工作，尝试推进一批大型沼气和生物天然气工程开发建设。2015—2017年，国家连续三年以投资补贴方式支持规模化生物天然气工程建设，相关支持工程数量累计达到63个。截至2017年底，建成项目较少，仅有5个项目实现商业化运营，年产气量约5 760万 m^3 。

从资源和发展潜力来看，生物天然气仍处于发展初期，还存在分布式商业化开发利用经验不足，专业化市场化程度低，技术水平有待提高，标准体系不健全，政策不完善等问题。毫无疑问，我国生物天然气市场发展潜力巨大，但与欧盟国家对比，我国生物天然气产业仍处于发展起步阶段。随着环保的巨大压力以及技术的不断成熟，目前正是切入生物天然气市场的好时机。

1.3 生物天然气发展趋势及政策支持

据测算，全国每年产生农作物秸秆10.4亿t，可收集资源量约9亿t，尚有1.8亿t的秸秆未得到有效利用，多数被田间就地焚烧；规模化畜禽养殖场每年产生畜禽粪污20.5亿t，仍有56%未得到有效利用；存在大量城乡生活垃圾、生活污水、农产品加工剩余物和工业有机废水废渣，据统计，全国每年可用于沼气生产的农业废弃物资源总量约14.04亿t，可产生生物天然气736亿 m^3 ，相当于2017年我国进口天然气总量的80%左右。

2018年12月，生物天然气被列入国家能源发展战略。当前，我国面临天然气“气荒”，进一步提高了人们关于能源多元化发展的意识。国内天然气供给能力与工业和居民需求存在巨大差距。而我国

生物质能不仅资源丰富,还具备了清洁、替代用户侧的特点,恰恰弥补了天然气的缺点。

近年来,我国不断推动生物质能源的发展,相关政策持续出台,从税收政策、补贴政策、发展规划等各方面鼓励对生物质能源进行综合利用,生物质能源也逐步从最初的农村沼气发展到生物质发电、以及生物天然气。

1.4 发展生物天然气的意义

生物天然气的综合利用项目意义重大,其着眼于环保,落脚于能源,并且有较好的经济性,既是生态闭环的环保项目,又是生物质可再生能源项目,属于“环保”与“能源”的有机结合。

(1) 符合长江大保护的要求

2018年4月24日,习近平总书记深入长江考察,再次强调长江经济带要落实“共抓大保护、不搞大开发,走生态优先、绿色发展之路”。现阶段,诸多生物天然气项目均分布在重庆、安徽等地,正处于长江经济带,相关项目能有效处理畜禽粪便、城市生活垃圾、工业有机废弃物等大量污染物,是典型的生态环保项目,完全符合长江大保护的要求。

(2) 助力脱贫攻坚战

2019年4月15日,习近平总书记深入石柱土家族自治县的学校、农村,实地了解脱贫攻坚工作情况。生物天然气项目打造农业循环经济,通过有机肥置换或购买等方式,集中收储处理农村秸秆,带动地方就业,为农村脱贫攻坚贡献力量。

(3) 符合建设美丽乡村的要求

生物天然气项目多数是以畜禽粪污资源化利用的项目,是治理农业生态环境,改善农村生活环境的需要方式和有效手段,是促进畜禽废弃物变废为宝,减少农业面源污染、建设美丽乡村的关键措施。

(4) 符合国家可再生能源发展战略

生物质生物天然气项目一般可以按照分布式发电、提供区域冷热综合利用等方式,提供冷热电需求,属于典型的分布式综合能源利用,与国家能源战略

高度契合。

2 生物天然气循环经济的商业模式

2.1 技术路线

(1) 工艺路线

生物天然气产业链较长,主要分为三个环节,分别为有机废弃物收集处理环节、生物天然气利用环节、沼渣沼液消纳环节。废弃物收集主要有畜禽粪污、秸秆、生活垃圾、农业有机废弃物等,既可以由政府或第三方企业收集,也可以由能源中心自行收集。有机废弃物经过厌氧发酵产生生物天然气、沼渣、沼液三种产品。生物天然气可用于发电、生产蒸汽、提纯天然气等,沼渣可用于生产固态有机肥,沼液可作为液态有机肥用于还田,从而实现生态循环,其生产工艺路线如图2。

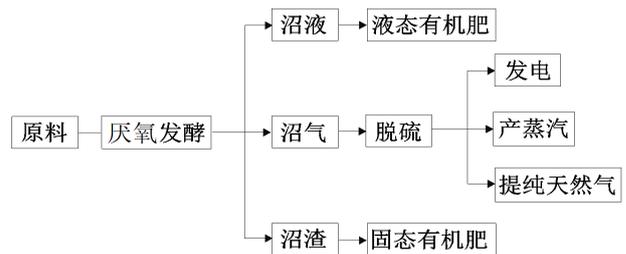


图2 生物天然气生产工艺路线

(2) 厌氧发酵技术

生物天然气项目核心技术为厌氧发酵产气的过程。发酵一般分为三个阶段,第一阶段把不溶解的有机化合物和聚合物,转化为可溶解的有机物;第二阶段再将可溶解的有机物发酵为有机酸;第三阶段由有机酸发酵产生甲烷。

目前发酵系统有两种主流形式。一种是罐体式厌氧发酵,采用完全混合厌氧发酵,粪污进入进料斗后,经匀浆池混合加热,进入厌氧发酵罐,通过机械搅拌,与菌种充分混合后,发酵产生生物天然气。该发酵系统由欧洲引进,其工艺形式在国内供应已经有多处应用案例。

另外一种为半埋式厌氧发酵,其采用二级涡

流混合型平推流消化系统,采用气泡搅拌,利用平推流模式,二级线性涡流技术,保证进入的所有原料得到充分的发酵。该发酵系统在美国应用案例居多。两种发酵技术的主要区别(如表1)。

表1 两种厌氧发酵技术主要区别

技术 区别	欧洲技术路线	美国技术路线
发酵系统	罐体式厌氧发酵	半埋地式厌氧发酵
发酵温度	中温发酵	中温发酵
装置类型	完全混合式厌氧消化器	二级涡流混合型平推流消化系统
搅拌模式	机械搅拌	气泡搅拌

经过几十年的技术积累,目前,国内外生物天然气厌氧发酵技术已经非常成熟,以欧洲和美国为主要代表,尽管发酵系统工艺形式存在差异,但是发酵原理相同,目前运营较好的项目容积产气率约1.5(又称池容产气率,为单位体积单位时间的产气量, $m^3/(m^3 \times d)$)。

根据已投产项目实际投资运营情况,两种主要发酵工艺对于同等规模项目的投资强度、产气量等并无明显差别,因此在具体项目的实施过程中,可因地制宜采用合适的发酵工艺。

(3) 生物天然气利用技术

生物天然气利用方面,主要有几种方式。一是通过内燃发电机发电,这是国内目前主要的利用方式。发电设备分国产及进口两种,技术都非常成熟。国产设备以胜动、济柴为代表,进口设备以卡特彼勒、曼海姆、颜巴赫为代表。国产及进口发电机效率差距较大,目前国产发电机电效率一般在30%左右, $1m^3$ 生物天然气发电量约 $1.4kW \cdot h$;进口发电机电效率在40%左右, $1m^3$ 生物天然气发电量超 $2kW \cdot h$ 。二是通过燃气锅炉生产工业蒸汽,在现代牧业应用案例较多。国产设备已经非常成熟,热值转换率普遍在90%以上。三是提纯为高品质天然气,主要有吸收法、变压吸附法、低温冷凝法和膜分离

等方法,生物天然气甲烷含量55%~65%,一般 $1.5 \sim 1.8 m^3$ 生物天然气可提纯 $1 m^3$ 高品质天然气。在国内也有中广核河北衡水、三河天龙河北廊坊等多个项目在应用,运营状况良好,技术成熟。

(4) 有机肥利用技术

厌氧发酵完成产生沼渣和沼液两种产品,都是良好的有机肥生产原材料,目前沼渣、沼液生产有机肥技术已经非常成熟,生物天然气工程都有相关有机肥配套工程;有机肥的推广利用目前正在培育阶段,人们对循环经济的了解和重视正在逐步增强。沼渣含有较全面的养分和丰富的有机物质,经过适当处理即可使用。其中有一部分被转化为腐殖质,是一种缓、速兼备又具有改良土壤功效的优质肥料。沼渣通过烘干或者好氧堆肥,在春秋季节可作为底肥施用,每亩施用量为 $1000 \sim 2000kg$ 。

沼液中不仅含有丰富的氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰等中微量元素,而且还含有大量的腐殖酸、氨基酸、核酸等有机有益成分,是一种非常良好的叶面肥资源和饲料添加剂,可以应用于农作物生长、提高品质、农作物抗病防虫、农业养殖等。

2.2 商业模式

生物天然气与传统分散的农村沼气产业相比,开辟了有机废弃物处理的新思路,跳出单纯的沼气项目的局限,与环境保护、能源供应、有机农业等紧密结合,延长到有机废弃物综合整治、沼渣沼液有机肥生产、生物天然气城镇供能等全产业链,实现生物天然气生态循环(如图3)。

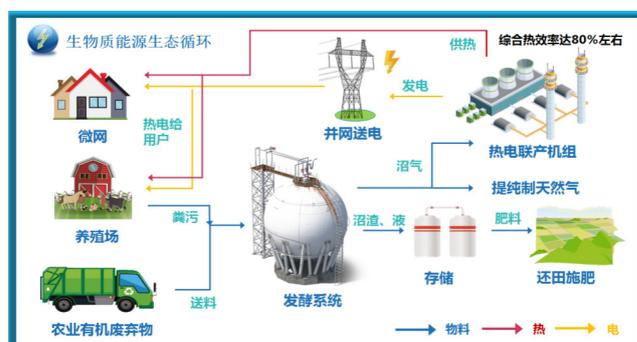


图3 生物质能源生态循环

从产业链上看,生物天然气综合能源主要有三处营利点,一是收取前端废弃物处理费用(具体收取的处理费用各项目不同);二是产生的生物天然气可用于发电、生产工业蒸汽或者提纯为天然气(各地区上网电价、蒸汽价格以及天然气价格不同);三是产生的沼渣可以作为有机肥的原料(具体出售价格各项目不同)。

2.3 竞争格局分析

目前,全国生物天然气仍然以户用型沼气居多,而且工艺落后、产气量效率低、运行不稳定。真正意义的生物天然气工程受环保政策、技术进步以及资本实力影响,近两年刚刚起步,而且主要由中小民营企业参与,大型央企及地方国有企业鲜有涉足,行业内目前比较有影响的企业包括北京盈和瑞、杭州能源、青岛天人环境等,生物天然气行业仍处于一片蓝海,竞争格局尚未形成。

2.4 经济性分析

生物天然气项目主要由厌氧发酵系统、生物天然气利用系统、有机肥生产系统等组成,单体项目投资相对稳定;收入来源主要分为有机废弃物的处理环节、生物天然气利用环节、有机肥销售等三个环节,各环节收入相对可控;同时,此类项目可与综合能源等业务协同发展,实现产业整体布局的最大价值。通过对现代牧业安徽蚌埠及合肥牧场、河北衡水富源牧业等国内运营较好的生物天然气项目现场调研,项目运营收入稳定可靠、成本较低,经测算,全投资内部收益率均在10%以上,具有较好的经济可行性。

3 三峡电能在生物天然气行业的探索实践

三峡电能在进入生物天然气行业初期,以投资并购为主积累技术、管理、运营经验。目前,三峡电能正在实施的生物天然气项目分布于重庆、四川、河南等地,其中重庆项目包括建设CSTR厌氧发酵罐5座(共20000 m³)、原料收运系统、生物

天然气净化及利用系统,有机肥生产系统等。项目设计日处理综合有机废弃物600t,其中包括餐厨垃圾100t、城市污泥100t,果蔬和尾菜、秸秆及畜禽粪污等废弃物400t,日产生物天然气约27000 m³、日产液态有机肥约100t,固态有机肥约50t,毛油约5t,生物天然气发电机组装机规模1.6MW,年上网电量约1200万kW·h,目前,项目已经建设完毕投入运行。

同时,三峡电能与合作伙伴在重庆、云南、湖北、安徽等地,获取并储备了超15个项目资源,既有规模化养殖企业粪污处理项目,也有其它农业有机物综合处理项目;既有投资并购项目,也有储备待建项目。15个储备项目设计日产生物天然气量超36万m³,年产气量超1.4亿m³;建成后,预计年处理畜禽粪污超360万t,处理其它有机废弃物超127万t,社会效益及经济效益显著。

4 生物天然气技术在长江经济带发展中的建议

(1) 提高有机废弃物资源化意识,明确资源化发展路线

在保证目前有机体废弃物无害化处理成果的前提下,逐步将相关部门工作重点转移到有机废弃物的资源化利用上,逐步提高有机废弃物资源化利用比重;制定有机废弃物资源化发展路线,可根据各地实际情况配套生活垃圾分类配套设施,人性化设置有机固体废弃物收集设备,因地制宜将餐厨垃圾、城市生活污水、生活有机垃圾、农村秸秆、畜禽粪污等有机废弃物集中处理,打造区域综合有机废弃物处理中心,构建区域能源中心。利用多媒体网络、电视、报纸等开展多层次、多形式、多途径的宣传活动,营造良好的社会舆论氛围。同时,明确各部门间的分工与协作,使相关工作清晰化、明朗化,工作开展有据可循,便于工作的顺利开展;对规划实施情况进行动态监测,及时发现规划实施存在的问题,开展规划实施中期评估和末期评估。

(2) 完善生物天然气优惠政策, 积极拓展下游产品市场

鼓励清洁能源集团及社会资本投资生物天然气项目, 鼓励生物天然气采用就近消纳的能源综合利用的方式, 鼓励企业参与生物天然气全产业链发展。建立生物天然气优先利用、生物天然气发电优先利用机制, 完善生物天然气产气、有机肥等终端产品补贴政策; 在实施绿色生态导向的农业政策中, 引导支持农村居民、新型农村经营主体等使用农业废弃物资源化生产的有机肥; 增加对下游产品安全性检查, 提高社会对下游产品的接受度。

(3) 加大技术研发投入力度, 加强国际合作与交流

加大对技术的资金和人力投入, 完善并突破现有技术瓶颈, 提高甲烷产气量, 增强下游产品利用的多元化和高效益化; 发挥产学研互动作用, 加大技术研发力度, 针对产业模式形成自主知识产权; 在互惠互利的基础上, 加强同发达国家企业的合作, 学习和借鉴他们的先进技术和管理经验, 有目的有选择地引进消化吸收国外先进技术、工艺及关键设备, 因地制宜, 加快产业技术开发步伐, 提升产业技术水平。

(4) 建立健全法律法规, 强化行业项目监管
针对“有机废弃物厌氧发酵生态循环模式”应用上下游系统, 建立行业标准, 规范生物天然气生产和处理技术; 建立相应的法律、法规及若干指导意见, 将沼渣沼液的处理和使用纳入法律规定范围; 加强对产业模式从管建设到运营全过程的监管力度, 加强生物天然气工程质量安全检查, 规范市场行为; 建立健全项目环境监管体系。

5 总结

目前, 在国内有, 以凯迪生态为龙头的农林生物质发电, 以光大绿色环保为龙头的垃圾焚烧发电, 生物质发电已经发展为非常成熟的产业, 而生物天然气综合能源利用现阶段仍处于发展初期。可以长江大保护为切入点, 主要在长江经济带开展生物天然气综合能源利用, 开拓这一片新的蓝海。可以想象, 在环保形势日趋严格, 农业有机废弃物处理形势日趋紧迫的多重压力下, 谁先进入生物天然气行业, 并且拥有较强的资本实力, 谁将会主导这个细分行业的发展, 甚至打造一个新兴行业的上市公司, 实现长江大保护的高质量、可持续发展。

Research on the Development of “Environmental Protection + Energy” Biogas Recycling Economy

Liu Daicheng Wan Yi Zhang Xiaomeng

(Three Gorges Electric Power Co., Ltd., Yichang 443002, China)

Abstract: Three Gorges Electric Power also closely integrates its main business, and actively explores the path of organic combination of environmental protection and energy. Among them, organic waste treatment, mainly at the source of water pollution treatment, can not only use waste resources to generate bio-natural gas, but also realize the closed loop of the ecological chain and create a circular economy. The model, combined with the current situation of the development of the Yangtze River economic belt, puts forward countermeasures and suggestions for the development of a biological natural gas recycling economy.

Keywords: environmental protection + energy; biological natural gas; circular economy