

生物天然气工艺技术研究与应用

王利军

(中国电建集团山东电力建设有限公司, 山东 济南, 250000)

摘要:我国经济的健康可持续发展,面临着化石能源的战略风险和环境污染的双重压力,作为世界上最大的农业国家,我国的生物质资源十分丰富,利用农作物秸秆、畜禽粪便等有机物作为原料,通过厌氧发酵产生含甲烷浓度为50%~65%的沼气,再经过净化提纯工艺后,产生含甲烷浓度90%以上的生物天然气。生物天然气作为可再生能源,具有绿色、低碳、清洁、可再生等优点,充分实现了生物质资源的无害化、减量化和资源化原则。通过实际沼气及生物天然气工程设计、建设、运营经验的总结分析,对全工艺流程进行深入对比研究,提出技术先进、安全可靠、经济合理的工艺技术路线,为有效地开展生物天然气工程建设提供了技术支持。

关键词:生物天然气, 工艺流程, 技术路线

中图分类号: X71 文献标志码: A 文章编号: 1674-0912(2019)11-0038-04

传统意义上的沼气工程在我国已经过数十年的发展,在政策法规、行业标准、技术装备以及管理体系上积累了丰富的经验,但同时也存在着沼气发电低值化、综合利用率低、沼渣沼液利用接受度低等问题。相比沼气工程,生物天然气的本质区别是规模化、工业化和商业化,是一种新型的全产业链运作模式,因此深入研究厌氧发酵工艺、沼气提纯工艺、有机肥生产装备,对于生物天然气工程的顺利实施、投产达标以及行业快速健康发展具有重要意义。

国家能源局《可再生能源发展“十三五”规划》提出,加快生物天然气示范和产业化发展。选择有机废弃物资源丰富的种植养殖大县,以县为单位建立产业体系,开展生物天然气示范县建设,推进生物天然气技术进步和工程建设现代化。建立原料收集保障和沼液沼渣有机肥利用体系,建立生物天然气输配体系,形成并入常规天然气管网、车辆加气、发电等多元化消费模式。到2020年,生物天然气年产量达到80亿 m^3 ,建设160个生物天然气示范县。

近年来,国家大力推进生物天然气产业化示范项目建设,要求设计日产气1万 m^3 生物天然气或2万 m^3 沼气以上,容积产气率超过1.2,设计年发酵设备运行小时数超过7000h。建设示范化项目首先是为了突破厌氧发酵、搅拌和提纯技术,提升工程设计、建设和运营水平,其次是为了探索出一条集投资、建设、运营和

服务的新型商业模式,同时能够在传统沼气行业基础上,建立健全生物天然气政策体系和管理体系。

基于实际建设的生物天然气工程来看,目前单位投资在7500~12000万元/万 $m^3 \cdot d$,距离2026年要求单位投资达到4500万元/万 $m^3 \cdot d$ 的目标还相差甚远,因此需要从系统全流程进行深入研究分析,从参数计算、设备选型、系统配置等方面逐一比选优化,结合运营经验反馈,解决项目建设成本高、运营维护费用高、容积产气率低、提纯分离效率低等问题,为提升项目竞争力和经济性提供理论依据。

1 项目研究

1.1 工艺技术介绍

生物天然气生产工艺流程主要分为原料预处理系统、厌氧发酵系统、沼气净化及提纯系统、固液分离系统、有机肥生产系统、沼液存储系统、其他配套系统等,生物天然气生产工艺流程图如图1所示。

1.2 沼气产量测算

目前生物天然气工程常用的原料主要有玉米秸秆(黄贮/青贮)、猪粪、牛粪等,原料在实验室经过检验分析后,测定出含固率和有机质含量等基础数据,用于计算沼气产量。以某地区原料数据为例,计算如表1所示。

作者简介:王利军(1987-),男,山西太原人,工学学士,工程师,研究方向:火力发电、燃气蒸汽联合循环、垃圾、生物质、余热发电技术。

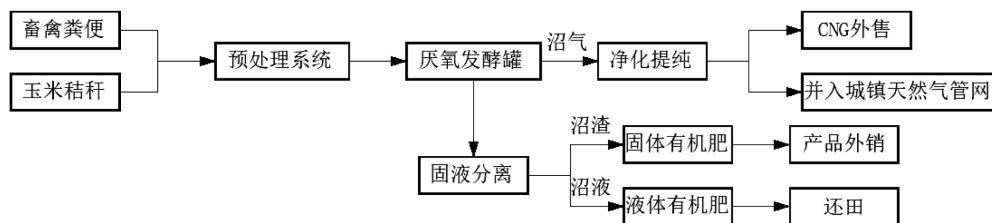


图1 生物天然气生产工艺流程图

表1 沼气产量测算表

物料种类	物料量 /t·d ⁻¹	物料含固率(TS) /%	物料有机质(VS/TS) /%	进罐有机物质量 /t·d ⁻¹	VS产气率 /L·kgVS ⁻¹	沼气产量 /Nm ³ ·d ⁻¹
牛粪	100	30	85	25.5	380	9 690
猪粪	160	30	85	40.8	380	15 504
玉米秸秆	120	35	95	39.9	420	16 758
合计	380			106.2		41 952

结合测算数据,本工程设计沼气规模为42 000 Nm³/d。

1.3 原料预处理系统

1.3.1 秸秆预处理技术分析

秸秆与畜禽粪便物理特性不同,秸秆的有机成分以纤维素和半纤维素为主,在厌氧发酵过程中,木质纤

维素很难被厌氧微生物直接降解,导致产气率低、易结块等问题。采用合理的预处理技术,可以低成本并有效地改变秸秆的物理结构,提高厌氧发酵效率。主要技术包括物理、化学和生物方法,分析比较如表2所示。

表2 秸秆预处理技术分析表

处理方法	方法描述	优点	缺点
物理 破碎研磨法	减小颗粒,破坏纤维结构,增大比表面积	处理效果好,简单高效,技术成熟	处理能耗较高
化学 酸处理	用稀硫酸、稀盐酸、丙酸与原料混合	处理效果好,适用范围广	对环境造成二次污染
化学 碱处理	通过生化反应去除木质素,破坏晶体结构	处理成本低,有效提高发酵产气率	对环境造成二次污染
生物 堆沤预处理	用沼液对秸秆进行堆沤	可将沼液部分回收利用	处理周期长,不适合大规模处理

综合对比分析,由于物理研磨法技术、设备成熟可靠,而且处理后能充分提高发酵效率,因此在实际工程运用时推荐采用物理法。

1.3.2 进料方式对比分析

经过预处理的原料可以由螺旋输送机或皮带送至厌氧发酵罐,但是受输送机或皮带角度限制,输送高度有限,无法满足大型发酵罐需求,因此,近年来出现匀浆池+泵进料和混合匀浆泵进料两种方式。匀浆

池+泵进料方式,是在发酵罐前设置匀浆池,由搅拌机搅拌均匀后通过泵送至厌氧发酵罐。混合匀浆泵进料方式是采用特殊的混合输送泵将原料送入厌氧发酵罐内,混合输送泵有两个进料口,同时接收秸秆和畜禽粪便浆液,并在泵体内进行混合和输送过程,该泵通常采用进口设备(表3)。结合实际运行项目,目前对进料系统稳定性要求高,因此采用混合匀浆泵进料方式比较可靠,能有效避免输送泵堵塞等问题。

表3 进料方式对比分析表

进料方法	特性	优点	缺点
匀浆池+泵	需要建设混凝土池或罐体,满足1~2天用量,适用于容易搅拌均匀的物料	具有良好的缓冲能力,设备磨损小	固体物理易堵塞泵,匀浆池需定期清理
混合匀浆泵	在泵体内完成混料和输送,适用于含水率较低的物理	设备占地面积小,不浪费水资源	设备投资高,易磨损

1.4 厌氧发酵系统

1.4.1 厌氧发酵罐形式分析

厌氧发酵罐是生物天然气工程核心设备之一,目

前国内产品通常采用钢制焊接罐体,国外产品采用预制混凝土拼接罐体,通过实际投产项目运行效果来看,钢制焊接罐体存在产气率较低、容易堵塞、施工周

期长等问题,因此预制混凝土拼接罐体具有明显优势,预制混凝土板模具根据工程设计容量,通常在设备厂加工好,运输到现场,进行现场混凝土浇筑,拼装容积大,建设周期短,施工难度低。相比钢制罐体,混凝土罐体最大的优点在于防腐蚀性能好,设备寿命长,系统运行稳定可靠。同时,罐体顶部常常装有双膜储气柜,形成发酵和储气一体化装置,既能解决冬季储气装置水封防冻的问题,又能节约单独设置储气装置的费用和占地面积。

1.4.2 厌氧发酵工艺对比

首先需要确定厌氧发酵基本工艺,当前生物天然气工程常用的基本工艺有两种:完全混合厌氧反应发酵工艺(CSTR)和高浓度升流式厌氧污泥床发酵工艺(USR)。

CSTR 采用带有搅拌桨的罐式反应器,通过搅拌

使物料与菌种充分混合均匀,在罐体内设置加热盘管,罐体外做好保温,维持物料反应温度,具有较高的产气率。USR 工艺采用上流式污泥床原理,罐内不设置机械搅拌,产气率偏低,通常只有 0.4~1.2。

CSTR 发酵工艺有以下特点。

(1)机械搅拌促使物料与微生物充分混合反应,且适用于高浓度物料;

(2)采用产气储气一体化技术,相比传统分体式工艺节省占地面积 10%~20%,降低造价 10%~15%;

(3)发酵罐顶储气囊通入适量氧气,可去除沼气中大部分的 H_2S ,预脱硫降低了后续沼气净化装置的处理,降低设备投资。

其次需要确定厌氧发酵温度工艺,根据厌氧菌的生活形态,一般分为中温发酵和高温发酵两种,分析比较见表 4。

表 4 厌氧发酵温度对比分析表

温度类型	温度范围	优点	缺点
中温	35~38 °C	能耗低,运行稳定	发酵时间较长,杀菌率较低
高温	50~60 °C	发酵时间短,杀菌率达 90%	运行能耗高、成本高,沼气的浓度较高

通过对比分析,中温发酵虽然杀菌效果差,但是在后续有机肥生产工序里可以通过二次杀菌,实现无害化处理目标,综合项目整体经济效益,通常选用能耗较低的中温发酵工艺,项目启动初期,利用小型热水锅炉作为热源,机组正常启动后利用 CHP 发电机组及换热器,将 CHP 机组余热转换为二次需要的温度,为发酵罐供热,通常供回水温度为 60/40 °C,以确保罐内 35~

38 °C 的发酵温度。

1.4.3 厌氧发酵罐搅拌方式对比

搅拌设备对厌氧发酵效率、系统稳定性及项目收益至关重要,工程中常见的搅拌方式有顶置搅拌、侧搅拌和射流搅拌,但是实际运行效果存在较大差距,分析对比见表 5。

表 5 搅拌方式对比分析表

搅拌类型	原理	优点	缺点
顶置可升降搅拌	采用可调节高度的潜水搅拌器,一般设置 3 台普通搅拌器,1 台快速搅拌器	搅拌无死角,确保发酵罐内物料、热能均匀分布	通常为进口设备,一次投资较高
侧搅拌	在厌氧发酵罐侧壁安装,侧向搅拌	设备技术含量较低,国产设备亦可满足需求	搅拌面积小,大型罐体需多层布置,能耗高,叶片和轴检修困难
射流搅拌	通过多台泵从罐内抽出浆液再循环打入罐内,形成扰动	罐内无搅拌设备,便于检修	不适合高浓度物料,搅拌效果受泵运行工况制约

罐内浮渣和积砂问题是影响厌氧发酵效率的因素,因此需要选用搅拌效率高、不易形成浮渣的设备,通过实际运行效果来看,顶置可升降式搅拌机适合大型发酵罐,且搅拌效果好。

1.5 沼气净化提纯系统

1.5.1 沼气净化工艺分析

沼气净化主要是进行脱硫处理,将 H_2S 从沼气中分离。目前常见的工艺有干法脱硫、湿法脱硫和生物脱硫,工艺原理及投资、运行费用比较见表 6。

表6 沼气脱硫工艺对比分析表

脱硫方式	原理	处理成本 /元·(kgH ₂ S) ⁻¹	适用范围
干法脱硫	采用活性氧化铁为吸附介质,通过氧化吸收脱除 H ₂ S	3~3.5	用于大型工程沼气精脱硫处理
湿法脱硫	采用碱性溶液作为吸收剂,吸收剂进入脱硫塔与沼气中的 H ₂ S 反应	15~20	用于对气体净化要求很高的工程
生物脱硫	采用发酵罐内脱硫方式,通过氧气发生器向发酵罐内充入氧气,利用氧化硫杆菌等多种脱硫菌把大部分 H ₂ S 去除	1~2	用于大型工程沼气粗脱硫处理

综合以上对比分析可知,由于湿法脱硫成本高,实际工程可采用罐内生物粗脱硫+干法脱硫工艺,既能保证脱硫效率,又能大幅降低沼气净化成本。

1.5.2 沼气提纯工艺分析

沼气提纯主要是对沼气进行脱碳处理,将沼气中

的 CO₂ 脱除,可以提高甲烷体积分数和沼气热值。经过有效提纯后的沼气中甲烷体积分数可达 95% 以上。目前主流的沼气提纯技术主要有变压吸附法 (PSA)、膜分离法、物理吸收法、化学吸收法和低温分离法,各方法工艺原理及运行效果对比见表 7。

表7 沼气提纯工艺对比分析表

提纯方式	原理	优点	缺点
变压吸附法	在 800 kPa 压力下,由活性炭对 CO ₂ 进行吸附,随后沼气在低压状态下脱附	能耗低,提纯效率 95%~98%	系统复杂,控制难度大,甲烷损失率高
膜分离法	利用薄膜材料对不同气体的渗透率实现气体分离,在 2 MPa 压力下,CO ₂ 可迅速透过气体膜	工艺简单,能耗低,提纯效率 95%	操作压力高,运行费用较高
物理吸收法	利用高压水洗,CO ₂ 和 CH ₄ 在水中溶解度不同,进行物理分离	提纯效率高达 97%	消耗大量净化水,产生废水需要处理
化学吸收法	利用吸收液与 CO ₂ 进行化学反应	提纯效率高达 99%	投资高,药剂有毒性
低温分离法	利用制冷系统将混合气降温,CO ₂ 凝固点比甲烷高,先被冷凝下来,从而分离	提纯效率高达 98%	技术刚起步,有待完善提升,能耗高,需要低温高压环境

经过对比分析,工程实施中可采用工艺技术成熟、占地面积小、甲烷损失率低的膜法分离技术或变压吸附法,能对沼气进行有效脱碳,达到生物天然气标准,可以直接并入城镇天然气门站,也可经过压缩作为 CNG 进行外销,保证项目收益。

1.6 有机肥加工系统

物料经过厌氧发酵产生沼渣、沼液,利用固液分离机进行分离,沼渣作为固体有机肥原料,沼液作为液体有机肥原料。

固体有机肥生产先经过堆肥发酵,杀灭有害微生物和寄生虫,再经过造粒生产,以便运输销售。液体有机肥生产经过自动熬合、搅拌、过滤和罐装工序,形成浓度高、易储存的产品进行外销或还田。

2 结论与建议

生物天然气项目在我国目前处于起步阶段,大多数设计、建设标准规范仍然是参考现有的沼气工程规范,具有很大的局限性和滞后性,因此需要在大量工程实践基础上,不断总结、完善工艺路线,研究出适合生物天然气工程的先进技术和方法,完善原料、产品、

装备、工程质量等一系列认证体系和标准规范,促进这一新型产业健康快速发展。

德国在沼气及生物天然气技术应用领域,一直处于世界领先水平,我国需要多方借鉴一些先进的发展理念。首先应该完善政策支持,中国地大物博,需要地方政府积极响应中央号召,因地制宜制定产业激励政策,例如天然气销售补贴、减少碳排放量补贴、低利息贷款建设资金支持等。其次,需要消化吸收国外先进技术的基础上,针对国内原料情况,加大国产设备研发力度,特别是发酵罐、净化提纯、沼气发电机组的设备国产化。最后,要形成完整的产业链,从原料收储运,到天然气销售、固体及液体有机肥销售,打通产业链,促进项目多方位经济增收。

参考文献

- [1] 冉毅,蔡萍,黄家鹤,等.国内外沼气提纯生物天然气技术研究与应用[J].中国沼气,2016,34(5):61-66.
- [2] 白红春,孙清,葛慧,等.我国生物天然气产业发展现状[J].中国沼气,2017,35(6):33-36.
- [3] 阎铭,占永红.我国生物天然气市场前景及产业技术路线探析[J].武汉理工大学学报,2017,39(5):556-561.

全球旧衣物贸易现状分析

郭燕

(北京服装学院 商学院, 北京 100029)

摘要:以联合国贸易数据库(Comtrade)旧衣物(HS630900)全球贸易统计数据为基础,分析全球旧衣物贸易规模、主要进出口国、贸易壁垒现状。由于全球已有41个国家实施限制旧衣物进口政策,未来旧衣物如何再利用成为各国急需解决的问题。

关键词:旧衣物;进出口贸易;限制措施

中图分类号:X791 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-0912(2019)11-0042-03

在全球废旧纺织品回收再利用行业,旧衣物通常被称为二手服装,其出口贸易是再利用的重要途径。按照中国海关税则号列HS6309.0000下的货品名称为“旧衣物”。随着许多国家开始限制旧衣物进口,特别是非洲国家纷纷出台禁令,对全球旧衣物出口产生了直接影响。

1 全球旧衣物贸易规模

在过去的10年间,全球旧衣物贸易快速增长。联合国数据显示(HS税号630900),旧衣物贸易规模从2006年的18亿美元,到2016年增加到37亿美元,增

长了106%,年复合增长率为7.6%,而2006—2016年同期的全球新服装贸易(HS61-62章)复合增长率为3.4%。从旧衣物贸易量看,自20世纪90年代以来,贸易量增长了10倍,年旧衣物贸易量超过280万t。

2018年全球旧衣物出口额为38.43亿美元,进口额为28.49亿美元,全球旧衣物进口量达335.1万t(表1)。

表1 全球旧衣物进出口额 亿美元

全球贸易	2015年	2016年	2017年	2018年
出口额	40.50	38.33	42.45	38.43
进口额	27.98	28.79	31.90	28.49

数据来源:联合国Comtrade。

Research and application of biological natural gas technology

WANG Lijun

(SEPCO Electric Power Construction Corp, Jinan 250000, China)

Abstract: The healthy and sustainable development of China's economy is faced with the strategic risk of fossil energy and environmental pollution, China's biomass resources are very rich as the world's largest agricultural country, Using crop straw, animals manure and other organic materials as raw materials, Using crop straw, livestock and poultry manure and other organic materials as raw materials, through anaerobic fermentation to produce biogas with methane concentration about 50%~65%, and then after purification process, produce biological natural gas with methane concentration more than 90%. As a renewable energy source, biological natural gas has the advantages of green, low-carbon, clean and renewable, which fully realizes the principle of harmless, reducing and recycling of biomass resources. This paper makes an in-depth comparative study of the whole process through the summary and analysis of actual biogas and biological gas engineering design, construction, operation experience, puts forward advanced technology, safe and reliable, economic and reasonable technology route, provides technical support for the effective development of biological gas engineering construction.

Keywords: Biological natural gas; Process; Technology route

(收稿日期 2019-09-23)

基金项目:科技创新服务能力建设-科技成果转化-提升计划项目“京津冀协同发展的旧衣物回收及资源利用体系研究”(PXM2016_014216_000022),2017年北京市社会科学基金项目北京市教育委员会社科计划重点项目“北京居民服装绿色消费理念培养及教育途径研究”(SZ20171001209)

作者简介:郭燕(1960-),女,北京人,硕士,教授,研究方向:国际服装商务、服装碳足迹和废旧纺织品回收。