

Key Technology of Anaerobic Fermentation of Straw and Livestock and Poultry Manure

Yongbin Li

CUCDE Environmental Technology Co., Ltd., Beijing, 100120, China

Abstract

Anaerobic fermentation of gas production refers to the process of using the organic matter in the anaerobic environment to transform it into combustible gas through the metabolism of microorganisms. This method can not only convert waste into clean energy, but also reduce the greenhouse effect and achieve the harmless disposal of crops. As a typical organic waste, straw and livestock manure is of great practical significance to carry out the research of crop straw and livestock manure to promote the development of agricultural circular economy in China and realize the efficient recycling and utilization of crop waste. In the process of agricultural modernization in China, it is a major problem to comprehensively deal with crop straw and manure as the main by-products. As an efficient and environmentally friendly energy conversion mode, anaerobic fermentation gas production technology is of great significance for realizing the reduction, recycling and harmless of these two by-products. The paper aims to explore the key technology of straw and livestock manure, in order to provide theoretical support and technical guidance for the comprehensive utilization of agricultural waste.

Keywords

straw; livestock and poultry manure; anaerobic fermentation; gas production technology

秸秆与畜禽粪污厌氧发酵制气关键技术

李永彬

中城院（北京）环境科技股份有限公司，中国·北京 100120

摘 要

厌氧发酵产气是指利用厌氧环境中的有机物，经微生物的新陈代谢将其转化为可燃气体的工艺。该方法既可以将废物转换成洁净的能量，又可以降低温室效应，达到对农作物的无害化处置。秸秆和畜禽粪污作为典型的有机废弃物，开展农作物秸秆及畜禽粪便的厌氧发酵产甲烷研究，对推动中国农业循环经济发展，实现农作物废物的高效回收利用，具有重大的现实意义。在中国农业现代化进程中，以农作物秸秆和粪便为主要副产物，对其进行综合处理是目前面临的一个重大问题。厌氧发酵制气技术作为一种高效、环保的能源转化方式，对于实现这两大副产品的减量化、资源化和无害化具有重要意义。本文旨在探讨秸秆与畜禽粪污厌氧发酵制气的关键技术，以期为农业废弃物的综合利用提供理论支持和技术指导。

关键词

秸秆；畜禽粪污；厌氧发酵；制气技术

1 引言

随着中国农业产业化进程的加快，农村生活垃圾如农作物秸秆和粪便的处置面临严峻挑战。而采用燃烧、直排等常规处置方法，既浪费了大量的资源，又产生了严重的环境问题。但近年来，由于环境保护意识的增强以及科技的发展，人们逐渐将厌氧发酵制气技术视为一种具有潜力的生物质能转化技术。厌氧发酵制气技术是一项将农作物秸秆和粪便等有机废物转化为清洁可再生的生物质气体的高效利用方

法。该工艺的开发与应用，既能减轻对环境的影响，又能促进农村的循环经济，使废物得到有效的回收。因此，开展基于厌氧发酵制气技术的核心工艺研究，对推动我国农业可持续发展、能源转型发展将起到积极的推动作用^[1]。

2 秸秆与畜禽粪污厌氧发酵制气关键技术原理和流程

2.1 技术原理

厌氧发酵制气技术是基于厌氧微生物在无氧条件下分解有机物。以农作物秸秆和粪便为原料，经过水解、酸化、产乙酸、产甲烷等多个过程，形成以甲烷为主要成分的生物燃气。发酵工艺包括前处理、厌氧发酵和后处理三部分，前处理包括原料粉碎、混合和调整等，后处理包括气体提纯、

【作者简介】李永彬（1989-），男，中国广西北流人，硕士，工程师，从事环境工程、生态工程、固废处理与资源化利用研究。

贮存和运输等。

2.2 原料预处理技术

原材料预处理是实现沼气高效利用的一个重要环节。前处理方法主要有物理破碎法、化学处理法、生物预处理法等。通过物理粉碎,使物料的颗粒尺寸减小,表面积增大;化学法是指在物料中加入酸、碱等物质来调控物料的 pH,从而提高物料中的微生物活性;而生物预处理技术是指通过对某些特殊的微生物对难以降解的有机物进行有效降解,从而达到改善其发酵效率的目的。

2.3 厌氧发酵菌种

厌氧发酵菌种是影响发酵效果的重要因素。常用的厌氧微生物有:产甲烷菌和硫酸盐还原菌等。选用适宜的菌株是提高发酵效率和防止系统酸化的关键。同时,菌种的筛选与培养也是研究热点之一,旨在筛选出更高效、更稳定的菌种,提高厌氧发酵性能。

2.4 发酵工艺优化

对发酵过程进行优化,是实现沼气高效利用的重要途径,主要是对发酵温度、pH、C/N 比进行优选。在此基础上,优化工艺条件,强化系统中的微生物活力,加速基质的分解与产甲烷。还可以采用多级发酵或连续发酵等高级技术,使发酵效果更好,更稳定。

2.5 气体收集与处理

沼气的采集和处理是沼气生产工艺的关键。对所生产的沼气进行纯化,除去水分和硫化氢等杂质后,才能达到应用的要求。常见的提纯方法有冷凝法、吸附法。这些清洁的气体可以被用来发电、产热,或者用作生物能源。

2.6 残渣利用与处置

经过厌氧处理后,剩余物中还保留着一些养分,既能充分利用,又能达到无害化处理的目的。秸秆残渣还可以作为肥料、饲料添加剂和土壤改良材料,达到了资源回收的目的。为避免残余物成为生态安全隐患,必须进行无害化处理^[2]。

2.7 能效分析与评估

能效分析与评估对于评价厌氧发酵制气技术的经济性和环保性具有十分重要的意义。通过对整个过程的能量输入与输出进行分析,可以计算出系统的能效比和能源回收率等指标。同时,还可以评估该技术对减少温室气体排放、改善环境质量等方面的贡献,为技术的推广和应用提供决策支持。

3 秸秆与畜禽粪污厌氧发酵制气关键技术使用价值

资源回收:秸秆和畜禽粪污等在农牧生产过程中,会形成较多的有机废物,若不进行有效治理,既会导致资源的浪费,又会引起生态环境的严重污染。采用厌氧发酵产气工艺,可将其转化为高附加值的生物质气体,达到资源回收的目的。

降低对周围环境的污染:秸秆和畜禽粪污若未及时处置,会产生异味,滋生蚊蝇,给周围生态带来不利的后果。厌氧发酵制气技术可以将这些废弃物转化为清洁的生物燃气,减少环境污染。

提供可再生能源:厌氧发酵产生的生物燃气作为一种新的可再生资源,能够取代常规矿物资源,降低对生态系统的危害。此外,厌氧发酵产生的生物燃气还具备高效燃烧和低污染物排放的优势,对优化中国的能源结构和可持续发展具有重要意义。

4 秸秆与畜禽粪污厌氧发酵制气关键技术

4.1 畜禽粪污预处理技术

对畜禽粪便的原材料进行预处理,包括对原材料进行均匀化、去沙。受养殖品种、饲养方式、饲料种类和粪便处理方法等因素的制约,输送到厌氧发酵产气工厂的粪便中固体含量通常相差很大,且含有大量的泥沙。通常采用调整粪便含固率、粉碎和搅拌等方法来达到均质化,而经过均匀化的粪便则需要经过沉淀砂进行处理。当前,我国的沼气工程除砂技术有沉砂渠法、折板沉砂渠法、提升式除砂法、无轴式旋砂法等。考虑到与之相适应的养殖品种、养殖规模、清粪方式、清运方法等方面都有很大的不同,对于特定的项目来说,畜禽粪便的原材料的种类和比例并没有一个固定的模型,因此,在进行特定项目的设计和施工过程中,要按照原材料的特点来选择前处理工艺和设备。

4.2 沼气脱硫技术

厌氧发酵产生的沼气,除了含有甲烷、二氧化碳,还包含硫化氢。硫化氢(H_2S)是一种毒性极高、腐蚀性极高的生物燃料,经厌氧发酵后生成的甲烷硫化氢浓度可达到1500~2000ppm,需要经过脱硫净化后再利用。目前,中国主要采用物理吸附法、化学-物理氧化法、生物法等多种技术。以农作物秸秆和粪便为主要成分的粗沼气中富含硫化氢,硫化氢在大气中容易被氧化生成元素硫。在考虑操作费用、能耗、投资 and 产品质量需求的基础上,建议使用廉价的“槽内生物法+末端活性炭-后端活性炭吸附精脱硫工艺”对甲烷粗气进行深度净化。

4.3 沼气脱碳提纯技术

沼气纯化,简称沼气脱碳,是指将沼气提纯为生物天然气或生物甲烷过程中实现 CO_2 和 CH_4 的分离,以达到高纯度甲烷产出和低甲烷损失的目的。现有的 CO_2/CH_4 分离过程有:高压水洗、变压吸附、膜分离、醇胺法及其组合过程。现在已经研制出了高压水洗法、变压吸附法、膜分离法和醇胺法等净化装置,并用于工业生产,实际使用时,可比较高压水洗法、变压吸附法、膜分离法和醇胺法的过程。可从技术前瞻性、环境友好性,设备运行安全性、成熟性、稳定性、可靠性经济性以及产品脱硫质量需求等方面出发,以秸秆与畜禽粪污混合原料进行发酵制气产生的粗沼气提纯,更加适

合通过膜净化和变压吸附净化两种方法来提纯^[5]。

4.3.1 膜分离工艺

膜分离工艺的基本理论是利用不同的气体在薄膜中的扩散速率来达到对被测气体的选择性渗透。膜材料以中空纤维材料为主,其对CO₂等小分子有很强的透过能力,而对CH₄等大分子却没有穿透能力,因此,在制备沼气的过程中,必须充分利用膜材料对待测物质的高选择性,以实现多种气体分子的高效分离和纯化。近年来,膜分离过程中存在着能耗高、压力损失大、使用寿命短和选择性差等问题。该工艺要求高,需对甲烷气体进行深度脱硫、脱水等过程,且H₂S浓度低于7ppm几乎无水。沼气提纯工艺过程中采用的是一种具有高渗透率的膜,其厚度一般为0.1~0.2 μm,外层有一层保护层,可以有效地避免膜的弯曲^[3]。

4.3.2 洗涤工艺(吸收法)

洗涤过程,也称吸附过程,是一种基于气体在各种介质中的溶解度差异的气体分离方式,其最重要的是考虑到了溶剂的特性以及在这种溶液中的溶解性,随着压力的增大或温度的升高,气体溶解度也随之增大。然而,甲烷气体中的二氧化碳在水体中溶解度要比甲烷高得多。

4.3.3 加压水洗工艺

用于高压洗涤过程的溶剂是水,一般在0.4~1.0MPa(G)的压力下进行。压力水洗技术的主体装置有洗涤塔、闪蒸器、汽提塔等。随着对该体系进行增压,更多的二氧化碳和水被溶于水中,从而打开了洗涤塔中的上部喷洒清洗设备,而甲烷则是从塔中的下方进入的,在空气上升的同时,溶剂水的下降也会在洗涤塔中的填料面上产生气-液两相接触,从而进行物质传递。在此基础上,将气相CO₂、H₂O溶于液相,并在塔顶排放含氧、氮的生物天然气,经工艺优化,纯度效果可达90%~99%。回收后,采用水泵将溶剂水经泵送至塔顶喷洒器,实现了废水的回收。高压下,洗涤塔中的甲烷升温,溶解于溶液中的气体减少,这时,塔顶喷洒同时也起到了冷却甲烷的作用,实现了余热的利用,洗涤塔的一般运行温度在15℃~20℃之间^[4]。

4.3.4 物理洗涤工艺

物理洗涤工艺与加压水洗非常相似,其内部气压一般在0.4~0.8MPa(G),采用以聚乙二醇等为代表的有机溶剂取代水,既可以增加CH₄的产率,又可以起到脱硫的作用,而且所用的洗涤用量比加压水冲洗要小,可以显著地减少洗涤塔的高度。虽然有机溶剂可以有效地改善CH₄的产率,但是其对CO₂、H₂S的吸附能力更大,使得洗涤剂的再生变得更加困难。在减压和通风的同时,洗涤剂也要被加热至

40℃~80℃。为了达到这一目的,有必要给这个系统供给附加的热能,一般情况下,为了达到洗涤剂的回收,一立方甲烷大约要添加0.1℃~0.15℃的热能。

4.3.5 低温工艺

目前,我国的沼气提纯行业中,采用的低温工艺还没有完全商业化。该方法的基本理论是:利用各种组分在高压、低温条件下的液态或固态特性,从而获得相应的相图。CO₂的相变温度分别为-78.5℃、0.1MPa,而甲烷仍然处于气态。由于各成分的相变过程存在差异,需要根据特定物理性质参数对其进行温压联合调控。甲烷中的二氧化碳在较低温度下被液化,然后用传统的蒸馏方法将其分离。将液态二氧化碳从蒸馏罐中萃取出来,其质量分数大于98Vol%;纯化后的气体由塔顶部排出,浓度为99.9%Vol%。本工艺能达到较高的CH₄、CO₂回收率^[5]。

5 结论

厌氧发酵制气技术自问世以来,在多个领域取得了广泛的应用和研究。目前,该技术已经发展成为一种成熟、稳定的能源转化方式,具有产气率高、能源回收率高、环境影响小等优点。这一技术以中国丰富的可再生能源——秸秆和动物粪便为原料,进行厌氧发酵产气体的研究和利用,受到了广泛的关注。目前,在发酵过程中,已有大量的研究工作,主要集中在发酵过程中的菌种筛选与构建、发酵条件优化与调控、产物净化与资源化等关键问题上,并已获得一系列具有创新性的研究结果。随着工艺水平的提高及生产成本的持续下降,厌氧发酵将成为我国畜禽粪便资源化的重要方向。在此基础上,深入研究其在实际生产中的作用,可在提升能量转换效率的同时,促进中国的农业可持续发展,推动生态环保事业的发展。

参考文献

- [1] 杜波.多物料高浓度高温厌氧发酵制沼气技术[Z].安徽省,临泉国能天然气有限公司,2022-06-25.
- [2] 高阳.玉米秸秆厌氧发酵沼气提纯技术的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [3] 董颖涛,李文涛.农业废弃物厌氧发酵产沼气提纯关键技术研究[J].科学技术创新,2020(34):31-32.
- [4] 华振伟.北方高寒地区大型沼气工程保温增温措施及厌氧发酵工艺技术集成创新[Z].内蒙古自治区,内蒙古希望蒙能能源环境科技有限公司,2020-10-23.
- [5] 赵俊.有机固体废弃物厌氧发酵产沼气的脱硫技术实际应用[J].石化技术,2019,26(8):53+64.