

本刊特稿

猪粪及稻草厌氧消化产沼气中试研究

朱琦¹, 王鑫宇^{1,2}, 夏兴良¹, 韦文慧¹, 陈国宁¹, 朱红祥^{1,3}

(1. 广西博世科环保科技股份有限公司, 广西南宁 530007; 2. 广西师范学院环境与生命科学学院, 广西南宁 530001; 3. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 对猪粪和稻草进行全混厌氧消化中试研究。实验结果表明: 物料经过两级全混厌氧消化系统处理25 d, 原料产气率达到400 m³/t VS以上, 物料固含量为10%~15%, 稳定运行阶段日产气量达到436.87 m³/d, 出料沼液SCOD值低于2 000 mg/L, 氨氮低于550 mg/L, 有机质去除率达到45%以上, 固含量下降40%~50%, 反应器有机负荷为5 kg VS/(m³·d)~12 kg VS/(m³·d)。

关键词: 厌氧消化; 猪粪; 稻草; 中试

中图分类号: X712

文献标识码: A

文章编号: 2095-0802-(2018)01-0002-02

Pilot Test Study on the Biogas Production from Pig Manure and Straw by Anaerobic Digestion

ZHU Qi¹, WANG Xinyu^{1,2}, XIA Xingliang¹, WEI Wenhui¹, CHEN Guoning¹, ZHU Hongxiang^{1,3}

(1. Guangxi Bossco Environment Protecting Technology Co., Ltd., Nanning 530007, Guangxi, China; 2. School of Environment and Life Sciences, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, Guangxi, China; 3. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: Pilot scale test of complete mixing anaerobic digestion was performed on manures and straw. The outcomes showed that gas production rate reached 400 m³/t VS and above, the solid content of raw materials is between 10%~15%, every steady gas production rate was 436.87 m³/d, the SCOD of outcome materials is below 2 000 mg/L, ammonia nitrogen is less than 550 mg/L, removal rate of organic matter is more than 45%, solid content decreases to 40%~50%, and the mechanic load is 5 kg VS/(m³·d)~12 kg VS/(m³·d) under the conditions of 25 days.

Key words: anaerobic digestion; pig manure; straw; pilot test

DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2018.01.002

0 引言

随着厌氧技术的迅猛发展, 全混厌氧反应器在固体废弃物处理中的应用越来越广。全混厌氧处理技术就是固体废弃物在厌氧环境下, 产甲烷菌在其中生长繁殖, 利用微生物的代谢作用降解有机物。在这个过程中, 废水中的有机物作为微生物的营养性物质被利用, 最终分解为CH₄和CO₂等物质。此过程只需要消耗一定量的电能, 而产生的沼气可用于发电或车载燃气。

1 材料与方法

1.1 实验原料

中试原料猪粪取自陆川A养殖场, 稻草取自陆川农田, 接种污泥取自广西B企业的厌氧消化系统, 中试设计参数见表1。

表1 中试系统设计参数

参数名称	处理量 t/d	进料固含量 %	一级厌氧 HRT d	二级厌氧 HRT d	消化温度 ℃
设计值	5	10~15	15	10	35

注 HRT 指水力停留时间

收稿日期: 2017-12-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD24B03-04); 中国博士后科学基金资助项目(2017M613266XB)

第一作者简介: 朱琦, 1982年生, 女, 广西钦州人, 2004年毕业于广西大学轻化工程专业, 工程师。

1.2 分析方法

SCOD(溶解性化学需氧量)采用重铬酸钾法测定(GB 11914—89 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法), pH采用pHS-3B精密pH计测定, SS(固体悬浮物)采用重量法测定, 沼气体量采用防腐气体流量计测定, VS(挥发性固体物)的测定: 取污泥样经3 500 r/min离心20 min后, 将固体部分转移到坩埚内, 放在103℃~105℃烘箱内烘至恒重, 然后放在600℃的马弗炉中灼烧至恒重, 2次恒重值之差即为VS, g/L。

1.3 全渣厌氧消化反应器

采用自主研制设计加工的高效全混厌氧反应器(见图1)进行中试, 反应器为圆筒塔式结构, 底面直径5 m, 高径比1.6, 总体积150 m³, 有效反应区体积125 m³。

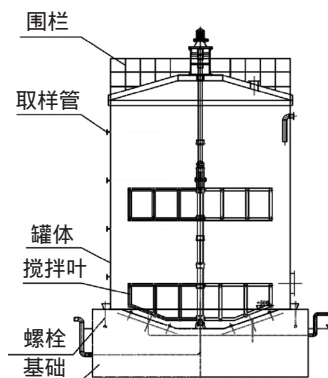


图1 全渣厌氧消化反应器简图

2 中试运行情况

根据厌氧消化小试试验获得的工艺条件参数，进行中试工艺设计及试验。试验设计 5 t/d 猪粪和稻草 (VS 比为 1:3 左右) 厌氧消化日处理规模。

2.1 工艺流程

试验工艺流程见图 2。

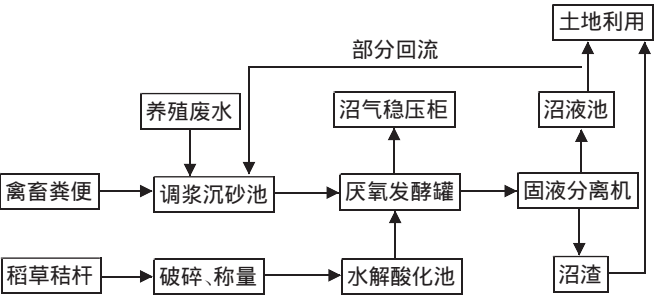


图 2 中试工艺流程

禽畜粪便（以猪粪为主），经过调浆沉砂池除去粪污中的大颗粒砂子杂质。调浆沉砂池的中心设有搅拌器，加入养殖废水稀释到一定浓度后在搅拌机的搅拌作用下，比重较大的砂粒沉积在池体底部排除，控制调浆除砂池固含量浓度在 10%左右，泵送至厌氧发酵罐。

稻草秸秆破碎至 10 mm 左右，称量后输送至水解酸化池，采用专属的复合纤维素水解酶对其进行酸化水解，物料中结构性物料逐渐消失液化，水解酸化池的物料浓度保持在含固率 10%左右，经过水解酸化的物料泵送至厌氧发酵罐。

稻草与猪粪在厌氧发酵罐内，混合发酵后，沼气通过沼气稳压柜收集储存。剩下发酵产物经过固液分离机分离为沼液和沼渣，部分沼液回流调浆沉砂池，余下沼液和沼渣进行土地利用。

2.2 中试调试运行

中试试验调试步骤及过程主要分为：启动阶段、负荷提升阶段、稳定阶段三个阶段的运行调试。

2.2.1 启动阶段

启动前向一级厌氧罐内投加厌氧污泥作为接种污泥，体积约占罐体积的 1/3，二级厌氧消化罐不接种。启动期间每天定时向一级厌氧反应器内加入一定体积混合发酵物料，并取样 400 mL 进行分析检测。运行第 15 天时，进料前，先排出一级厌氧罐与进料量相同体积的物料进入二级厌氧罐。启动阶段厌氧消化罐整体运行参数见表 2。

启动阶段重点是通过低负荷运行 (5.27 kg VS/(m³·d)) 使接种污泥逐步适应混合发酵物料的处理。随着设备逐渐运行稳定，沼气量逐日增长，从 164.02 m³/d 逐渐增加至 463.35 m³/d。启动阶段 25 d 内的原料产气率为 404.66 m³/t VS，期间 pH 值、SCOD 和 VFA（挥发性脂肪酸）基本保持稳定，表明在该负荷下厌氧微生物始终保持高效代谢^[1-2]，并未累积 VFA 与 SCOD 等中间产物。

表 2 启动阶段厌氧消化罐整体运行参数

统计项目	日产气量 m ³ /d	物料进料量 t/d	有机负荷 kg VS/(m ³ ·d)	pH	进料 SCOD mg/L
平均值	250.46	2.92	5.27	7.8	15 984
最大值	283.35	3.00	5.75	7.9	18 994
最小值	104.02	2.90	5.36	7.6	8 734
合计	6 261.49	73.00	—	—	—
原料气产率 m ³ /t VS	404.66				

注 SCOD 指溶解性化学需氧量

2.2.2 负荷提升阶段

经过 25 d 驯化启动，厌氧消化进入负荷提升阶段，有机负荷进行逐步提高。实验通过进料体积相同，调配不同进料固含量来使有机负荷提升，即增加进料量。负荷提升阶段厌氧消化罐整体运行参数见表 3。

表 3 负荷提升阶段厌氧消化罐整体运行参数

统计项目	日产气量 m ³ /d	物料进料量 t/d	有机负荷 kg VS/(m ³ ·d)	pH	进料 SCOD mg/L	出料 SCOD mg/L
平均值	363.19	4.00	10.12	7.7	16 777	1 581
最大值	449.21	5.00	12.00	7.9	28 598	1 935
最小值	283.35	3.00	5.75	7.6	11 876	1 037
合计	10 895.69	120.00	—	—	—	—
原料气产率 m ³ /t VS	428.36					

随着有机负荷的提升，原料产气率依然维持在 400 m³/t VS 以上水平，且略有提高到 428.36 m³/t VS，未受操作条件的改变而产生明显影响。在负荷提升过程中消化液平均 pH 值保持在 7.5 以上，表明两级厌氧消化系统工艺下微生物能迅速适应有机负荷的提升，厌氧罐中消化出料 VFA 和 SCOD 浓度未出现明显波动。

2.2.3 稳定阶段

经过启动阶段和负荷提升阶段，两级厌氧工艺系统及厌氧罐运行均实现稳定运行，系统进入稳定运行阶段。持续维持进料有机负荷为 12 kg VS/(m³·d) 左右进行运行一段时间，考察厌氧消化罐的运行规律。稳定阶段厌氧消化罐运行整体参数见表 4。

表 4 稳定阶段厌氧消化罐整体运行参数

统计项目	日产气量 m ³ /d	物料进料量 t/d	有机负荷 kg VS/(m ³ ·d)	pH	出料 SCOD mg/L	出料 SCOD mg/L
平均值	436.87	5.00	12.00	7.8	17 096	1 585
最大值	461.08	5.00	12.00	7.9	27 510	1 815
最小值	401.26	5.00	12.00	7.6	11 743	1 050
合计	4 368.71	50.00	—	—	—	—
原料气产率 m ³ /t VS	412.21					

经过该有机负荷下稳定运行一段时间，原料产气率为 412.21 m³/t VS 较负荷提升阶段有所降低，这可能

(下转 83 页)

成玛纳斯河流域水环境恶化的因素中,人口增长与社会经济发展等社会因子的影响和气象因素影响较大,在进行分析时,可以运用水量平衡法或多元线性统计降尺度方法等进行大气变化对玛纳斯河流域供需水量的量化关系分析。通常气候模型分辨率较低,难以精准预测小面积流域,而且水文资料中含有大量时间序列数据,所以可以采用统计学法,以准确分析气候变化给玛纳斯河流域的影响^[4]。

3.4 气候变化对玛纳斯河流域水质的影响

气候变化给玛纳斯河流域水质的影响主要是通过水源污染物形成与转移等方式对玛纳斯河流域水文水资源造成直接或者间接影响。水资源恶化主要是因为周边人类活动与污染物排放等的影响,而在产生影响的过程中,气候变化能够改变水温与水文生态系统,进而给水质造成影响。在进行水文模拟分析时,可以借助模拟技术,利用分布式水文模型与概念性水文模型等。利用经验统计模型,利用同时期气候变化与流域水文资源变化等观测资料分析影响因素,构建关系公式,进而推定影响因素,分析气候变化对玛纳斯河流域径流的影响趋势,此方法具有局限性,需要结合实际情况来选择。利用概念性水文模型,基于水文现象的

物理过程,能够反映气候状况。利用水分模型,基于河流的物理指标,包括地形与土壤等,将径流划分成不用的水文模拟单元,接着对各模拟单元赋予参数值,经过参数分析,进行影响程度分析^[5]。

4 结语

新疆玛纳斯河流域的生态环境较为脆弱,河流径流来源主要靠高山冰川融水和雨水补给。气候变化会影响河流的水文循环,给河流区域的生态系统造成极大的影响,基于径流水文周期波动特点,枯水期会使生态环境处于持续恶化状态,需要及时做好相应的处理。

参考文献:

- [1] 张强,孙鹏,白云岗,等.塔河流域枯水流量概率特征及成因与影响研究[J].地理科学,2013,33(4):465-472.
- [2] 努尔夏西·曼斯尔,玛哈沙提·哈孜哈力.气候变化对新疆玛纳斯河流域水文水资源影响[J].水利科技与经济,2013(8):27-28.
- [3] 刘亚敏,张生,刘亚峰.新疆气候变化对水资源影响分析研究[J].河北工程大学学报(社会科学版),2011(1):29-32.
- [4] 时京林,丁文学,王兵.玛纳斯河流域地表径流过程时空分异特征研究[J].水利科技与经济,2014(3):107-110.
- [5] 王剑庚,冯学智,肖鹏峰,等.玛纳斯河流域山区雪粒径HJ-1卫星反演[J].南京大学学报(自然科学),2015(5):987-995.

(责任编辑:季鑫)

(上接3页)

是由于较高有机负荷下,有机物料厌氧消化的有机物去除率有所降低^[3-5]。虽然原料产气率有所降低,但还是保持在400 m³/t VS以上,且保持系统的稳定运行,SCOD和pH均未出现异动。

2.3 两级厌氧消化工艺系统稳定性

通过对厌氧消化整个系统运行参数及数据统计,消化液SCOD未超过2 000 mg/L,证明消化处理过程中并未累积产生大量难降解的可溶性有机物质^[6]。从图3可看出,中试期间,消化液pH值在弱碱性范围内波动,平均碱度100.18 mmol/L,表明系统对进料和罐内有机物水解产生的有机酸具有较强的缓冲能力^[7],有利于消化罐在各种外界条件影响下保持稳定,抗冲击负荷强。

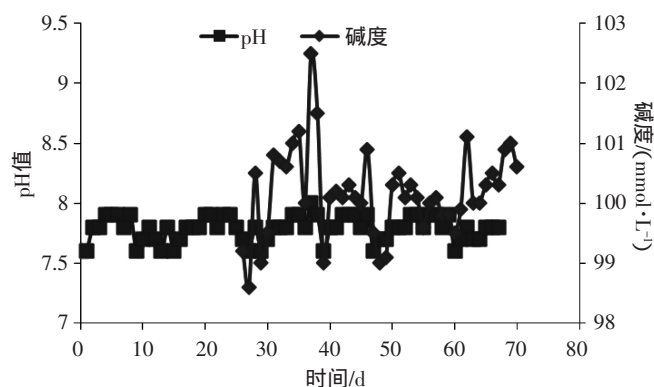


图3 系统pH值与碱度

3 结语

物料经过该两级全混厌氧消化系统处理,消化时

间一级厌氧15 d,二级厌氧10 d,合计处理25 d,处理物料固含量10%~15%,原料产气率达到400 m³/t VS以上,稳定运行阶段日产气量达到436.87 m³/d,消化后出料沼液SCOD值低于2 000 mg/L,氨氮低于550 mg/L,有机质去除率达到45%以上,固含量下降40%~50%,反应器有机负荷为5 kg VS/(m³·d)~12 kg VS/(m³·d),各参数均达到设计参数要求,中试设备运行良好,全混厌氧反应器系统抗冲击负荷强,产气稳定。

参考文献:

- [1] 楚莉莉,李铁冰,冯永忠,等.粪麦秆不同比例混合厌氧发酵特性试验[J].农业机械学报,2011,42(4):100-104.
- [2] 魏荣荣,成官文,罗介均,等.不同温度猪粪厌氧发酵甲烷产量和产能实验[J].农机化研究,2010,32(4):170-174.
- [3] 盛迎雪,曹秀芹,张达飞,等.猪粪干式厌氧消化中试试验研究[J].中国沼气,2016,34(5):41-46.
- [4] 郭广亮,苏小红,范超,等.混合畜禽粪便配比率对高温厌氧共发酵的影响[J].黑龙江科学,2016,7(18):16-19.
- [5] Chae K.J, Am Jang Y, Yim S.K et al. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(1):1-6.
- [6] 周莎,黎雪,翟宁宁,等.麦秆酸预处理与猪粪混合发酵提高产气量的效应研究[J].环境科学学报,2015,35(8):2526-2533.
- [7] Ma H, Liu W W, Chen X et al. Enhanced enzymatic saccharification of rice straw by microwave pretreatment[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(3):1279-1284.

(责任编辑:刘倩倩)