



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105861306 A

(43)申请公布日 2016.08.17

(21)申请号 201610313575.8

C12P 5/02(2006.01)

(22)申请日 2016.05.12

C02F 11/04(2006.01)

C12R 1/645(2006.01)

(71)申请人 农业部环境保护科研监测所

地址 300191 天津市南开区复康路31号

(72)发明人 杜连柱 张克强 梁军锋 张蕾

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限公司 12209

代理人 赵瑶瑶

(51) Int.Cl.

C12M 1/38(2006.01)

C12M 1/36(2006.01)

C12M 1/34(2006.01)

C12M 1/107(2006.01)

C12M 1/04(2006.01)

C12M 1/02(2006.01)

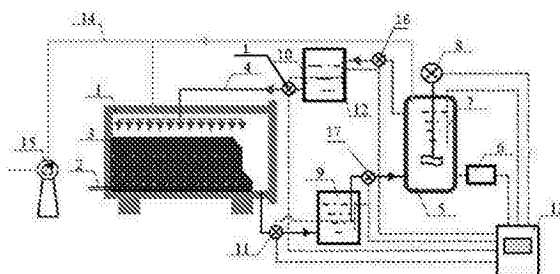
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

固液两阶段厌氧发酵装置及方法

(57)摘要

本发明涉及一种固液两阶段厌氧发酵装置及方法,包括固体产酸发酵反应器、液体产甲烷反应器、产酸发酵液收集罐、沼液收集罐、循环加热装置、沼气计量器、搅拌机、污水泵、液位传感器、温度传感器和自动控制柜。本发明提供的装置中液相发酵装置体积小、升温快、保温好、耗能低;装置占地小、投资少,与传统湿式发酵相比较,可节省投资约20%左右,该装置和方法适用于猪粪、秸秆、蔬菜残体、餐厨垃圾和城市垃圾等有机废弃物的资源化处理利用,节水、无沼液排放、无二次污染等特点,而且底物转化率与容积产气率高。



1. 一种固液两阶段厌氧发酵装置,其特征在于:包括固体产酸发酵反应器、液体产甲烷反应器、产酸发酵液收集罐、沼液收集罐、循环加热装置、沼气计量器、搅拌机、污水泵、液位传感器、温度传感器和自动控制柜;

所述固体产酸发酵反应器包括一卧式干发酵反应仓,在仓体上部安装沼液回流布液装置,在仓体底部安装曝气管道,在仓体的两侧安装酸化液渗滤筛板,仓体底部设酸化液出口,仓体上部的气体出口通过管道连接沼气计量器;

干发酵反应仓的酸化液出口通过一污水泵连接产酸发酵液收集罐进液口,发酵液收集罐出液口连接液体产甲烷反应器进液口,液体产甲烷反应器出液口连接沼液收集罐,沼液收集罐出口与干发酵反应仓顶部沼液布液管相连,液体产甲烷反应器出气口连接沼气计量器;液体产甲烷反应器配备循环加热装置,在液体产甲烷反应器内安装一搅拌机;

在产酸发酵液收集罐和沼液收集罐内分别安装高、低液位传感器,传感器输出信号给自动控制柜,自动控制柜采集液位信号给污水泵;在液体产甲烷反应器内安装一温度传感器,温度传感器输出信号给自动控制柜,自动控制柜采集温度信号给循环加热器。

2. 根据权利要求1所述的固液两阶段厌氧发酵装置,其特征在于:所述固体产酸发酵反应仓有效容积60L,反应器数量为4-6个;液体产甲烷发酵反应器为改进型CSTR反应器,有效容积约100L。

3. 根据权利要求1所述的固液两阶段厌氧发酵装置,其特征在于:所述卧式干发酵反应仓与液体产甲烷发酵反应器按有效容积比为2.4-3:1配比。

4. 根据权利要求1所述的固液两阶段厌氧发酵装置,其特征在于:所述液态产甲烷发酵平均容积产气率为 $1.2\text{L}/(\text{L} \cdot \text{d})$,甲烷平均含量为62.5%,COD的平均去除率达67.6%。

5. 根据权利要求1所述的固液两阶段厌氧发酵装置,其特征在于:所述整个装置的发酵过程除进出料外,通过自动控制系统实现无人操作,固体产酸发酵在常温下运行,液体产甲烷发酵在 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 下运行。

6. 根据权利要求1所述的固液两阶段厌氧发酵装置,其特征在于:在所述混合好的原料中接入在菌种白腐真菌TF1(*Pleurotus sajor-caju*)菌株和白腐真菌JG1(*Pleurotus cornucopiae*)菌株,白腐真菌TF1接入量为2wt%,白腐真菌JG1接入量为5wt%。

7. 一种固液两阶段厌氧发酵方法,其特征在于:步骤为:

(1)将不同有机废弃物和接种物按比例混合,混合好的原料通过活动门进入卧式干发酵反应仓,关闭卧式干发酵反应仓门,定时启动鼓风曝气系统,在好氧微生物作用下对反应器内物料增温,关闭曝气系统开始厌氧发酵,产酸发酵产生的酸化液定时泵入产酸发酵液收集罐。

(2)将产甲烷发酵反应器中的沼液泵入沼液收集罐后回流至固体产酸发酵反应仓,产酸发酵液收集罐中的酸化液经沉淀后泵入产甲烷反应器进行发酵。

(3)发酵的前10-15天,每天控制产酸发酵液至收集罐、然后回流至产酸发酵反应仓的次数在2-3次;

(4)发酵开始后每隔6-10天,按上述方法操作另一套卧式干发酵反应仓;每个干发酵反应仓运行30-35天后结束发酵,关闭反应仓沼气通道和渗滤液阀门,打开通气阀门,以鼓风系统向固体产酸发酵反应仓内曝气,每次10-15分钟,次数依据实际情况确定,2-3天后将反应仓内发酵后的物料排出,重新填料,重复运行。

(5)通过沼液回流至固体产酸发酵反应器的量、回流频率、固体产酸发酵反应装置个数、产甲烷发酵反应器有效容积等参数的控制,高效耦合固体产酸和液体产甲烷两阶段,实现沼液的零排放。

8.根据权利要求7所述的固液两阶段厌氧发酵方法,其特征在于:在所述混合好的原料中接入在菌种白腐真菌TF1(*Pleurotus sajor-caju*)菌株和白腐真菌JG1(*Pleurotus cornucopiae*)菌株,白腐真菌TF1接入量为2wt%,白腐真菌JG1接入量为5wt%。

固液两阶段厌氧发酵装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于沼气发酵领域,涉及一种固液两阶段厌氧发酵装置及方法。

背景技术

[0002] 我国是世界上有机废弃物产生量最大的国家。每年农作物秸秆产量达到7.7亿吨,畜禽粪便排放量约25亿吨,但无害化处理与资源利用率极低,约55.6%的秸秆被直接焚烧或随意丢弃,90%以上的畜禽粪污未经处理直接排放到周围环境中,使“资源”成为“污染源”,遏制秸秆焚烧和治理畜禽废弃物污染迫在眉睫,厌氧发酵产沼气是上述农业有机废弃物处理与资源化利用的有效途径。

[0003] 厌氧发酵处理工艺的分类方法诸多,根据不同的分类方法,厌氧发酵方法被分成不同的发酵工艺。根据发酵阶段所处的反应器的不同进行分类,可以分为两相发酵工艺和单相发酵工艺。按照发酵条件不同(如固含率、发酵温度、原料构成等)可分为三类:按固含率分为湿式、高浓度和干式发酵;按运行温度可以分为高温发酵、中温发酵和常温发酵;按原料构成可分为单一原料发酵和多原料混合发酵。

[0004] 目前应用最广泛的是湿式厌氧发酵,存在以下不足之处:1、水资源浪费严重、沼液产生量大,容易产生二次污染等问题,以猪粪为例,每进1吨发酵料液,将产生约0.74吨沼液,后续处理困难,基本直接排放,污染严重;2、在湿式单项厌氧发酵装置中,产酸发酵和产甲烷发酵在同一反应器内进行,导致产酸发酵和产甲烷不平衡,影响产沼气效率;3、采用湿式厌氧消化技术时,为提高产气效率,往往以产生的沼气为燃料,对庞大的发酵装置进行加热,沼气内耗较大,降低了经济效益;4、农作物秸秆、畜禽粪便等有机废弃物发酵产沼气生产过程中,进出料困难、漂浮和结壳等问题非常严重。

[0005] 干式发酵工艺一般为批式发酵,产气量不稳定,影响后续沼气利用;发酵过程中有机物负荷高,水解产酸和已酸化(产酸发酵)速率和产甲烷速率差异较大,容易产生酸积累,对产甲烷发酵产生抑制;有机物降解率、沼气转化率低。

[0006] 据检索,发现如下与本申请相关的专利文献,具体公开内容如下:

[0007] 1、CN101130747A一种生活垃圾分步甲烷化处理技术,其特征在于包括以下步骤:设置两个串联的厌氧反应器,在第一个厌氧反应器内对垃圾中的有机物质进行水解产酸,形成的产物通过渗滤液作为第二个厌氧反应器的进料,并转化为甲烷,然后将其出水再回灌到填埋场。

[0008] 2、CN104478172A一种两相厌氧管式膜生物反应器:升流复合式产酸反应器与完全混合式产甲烷反应器联接;完全混合式产甲烷反应器通过循环泵与管式膜组件联接;管式膜组件的出水端口分为产水口及循环口,其中循环口与完全混合式产甲烷反应器联接;升流复合式产酸反应器、完全混合式产甲烷反应器和管式膜组件中设置有pH电极和电导率电极,pH电极和电导率电极联接反应器控制系统;完全混合式产甲烷反应器的沼气出口联接有气体计量系统,气体计量系统分为气水分离器和气体流量计,完全混合式产甲烷反应器的产气联接到气水分离器,气水分离器的气体出口联接到气体流量计,气水分离器的液体

出口通过管道联接至完全混合式产甲烷反应器。

[0009] 所述专利与上述专利的区别：

[0010] 1、一种固液两阶段厌氧发酵装置所述的装置不同于CN101130747A所述立式水解产酸反应器，采用卧式反应仓，使干发酵过程进出料更加方便。

[0011] 2、不同于CN101130747A单个固体产酸反应器与液体产甲烷反应器串联的设计，所述专利中采用4-6个固体产酸反应器并联，再与液体产甲烷反应器串联，避免了干发酵批式进料导致产气不稳、影响后续利用的问题。

[0012] 3、不同于CN101130747A的固体产酸反应器，所述专利中的固体产酸反应仓底部设有曝气管，可在发酵前期通入空气进行短期好氧发酵，增加发酵温度，再进行厌氧消化，可在一定程度上加快发酵速度，又可在固体产酸发酵后通过曝气，加快脱水速度，有利于后续肥料化利用。

[0013] 4、CN104478172A中的产酸反应器适用于高、低浓度有机废水处理，而本专利所述的产酸反应器则针对猪粪、秸秆、城市有机垃圾等含固率在20%以上的固体废弃物的沼气发酵，在反应器类型、结构等方面均不同；

[0014] 5、CN104478172A中的完全混合式产甲烷反应器采用冲刷管式膜组件，适合于颗粒物含量低的有机废水处理，所述发明中的产甲烷反应器适合于产酸发酵渗滤液高颗粒物含量。

[0015] 6、不同于CN101130747A和CN104478172A，所述专利包含了自动控制系统，详述了自动控制过程。

[0016] 7、不同于CN101130747A和CN104478172A，所述专利详述了固体产酸发酵和产甲烷发酵耦合的方法，实现了沼液零排放，避免了后续的沼液处理。

发明内容

[0017] 本发明的目的在于克服现有技术的不足之处，提供一种固液两阶段厌氧发酵装置及方法，通过产酸发酵和产甲烷发酵反应的合理匹配实现水解产酸和产甲烷过程的平衡，提高厌氧发酵效率。

[0018] 本发明实现目的的技术方案是：

[0019] 一种固液两阶段厌氧发酵装置，包括固体产酸发酵反应器、液体产甲烷反应器、产酸发酵液收集罐、沼液收集罐、循环加热装置、沼气计量器、搅拌机、污水泵、液位传感器、温度传感器和自动控制柜；

[0020] 所述固体产酸发酵反应器包括一卧式干发酵反应仓，在仓体上部安装沼液回流布液装置，在仓体底部安装曝气管道，在仓体的两侧安装酸化液渗滤筛板，仓体底部设有酸化液出口，仓体上部的气体出口通过管道连接沼气计量器；

[0021] 干发酵反应仓的酸化液出口通过一污水泵连接产酸发酵液收集罐进液口，发酵液收集罐出液口连接液体产甲烷反应器进液口，液体产甲烷反应器出液口连接沼液收集罐，沼液收集罐出口与干发酵反应仓顶部沼液布液管相连，液体产甲烷反应器出气口连接沼气计量器；在液体产甲烷反应器配备一循环加热装置，在液体产甲烷反应器内安装一搅拌机。

[0022] 在产酸发酵液收集罐和沼液收集罐内分别安装高、低液位传感器，传感器输出信号给自动控制柜，自动控制柜采集液位信号给污水泵；在液体产甲烷反应器内安装一温度

传感器,温度传感器输出信号给自动控制柜,自动控制柜采集温度信号给循环加热器。

[0023] 而且,所述固体产酸发酵反应仓有效容积60L,反应器数量为4-6个;液体产甲烷发酵反应器为改进型CSTR反应器,有效容积约100L。

[0024] 而且,所述卧式干发酵反应仓与液体产甲烷发酵反应器按有效容积比为2.4-3:1配比。

[0025] 而且,所述液态产甲烷发酵平均容积产气率为1.2L/(L·d),甲烷平均含量为62.5%,COD的平均去除率达67.6%。

[0026] 而且,所述整个装置的发酵过程除进出料外,通过自动控制系统实现无人操作,固体产酸发酵在常温下运行,液体产甲烷发酵在 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 下运行。

[0027] 一种固液两阶段厌氧发酵方法,步骤为:

[0028] (1)将不同有机废弃物和接种物按比例混合,混合好的原料通过活动门进入卧式干发酵反应仓,关闭卧式干发酵反应仓门,定时启动鼓风曝气系统,在好氧微生物作用下对反应器内物料增温,关闭曝气系统开始厌氧发酵,产酸发酵产生的酸化液定时泵入产酸发酵液收集罐。

[0029] (2)将产甲烷发酵反应器中的沼液泵入沼液收集罐后回流至固体产酸发酵反应仓,产酸发酵液收集罐中的酸化液经沉淀后泵入产甲烷反应器进行发酵。

[0030] (3)发酵的前10-15天,每天控制产酸发酵液至收集罐、然后回流至产酸发酵反应仓的次数在2-3次;

[0031] (4)发酵开始后每隔6-10天,按上述方法操作另一套卧式干发酵反应仓;每个干发酵反应仓运行30-35天后结束发酵,关闭反应仓沼气通道和渗滤液阀门,打开通气阀门,以鼓风系统向固体产酸发酵反应仓内曝气,每次10-15分钟,次数依据实际情况确定,2-3天后将反应仓内发酵后的物料排出,重新填料,重复运行。

[0032] (5)通过沼液回流至固体产酸发酵反应器的量、回流频率、固体产酸发酵反应装置个数、产甲烷发酵反应器有效容积等参数的控制,高效耦合固体产酸和液体产甲烷两阶段,实现沼液的零排放。

[0033] 本发明的优点和积极效果是:

[0034] 1、本发明提供的固液两阶段厌氧发酵装置将产酸和产甲烷两个过程分阶段进行,通过产酸和产甲烷分阶段进行、产甲烷阶段沼液回流至产酸反应器等方法,避免了酸积累导致的抑制现象,有利于厌氧发酵稳定运行,将固体产酸发酵和液体产甲烷发酵两个微生物反应过程分离,为不同微生物创造最佳的代谢条件,提高厌氧消化效率,通过固体产酸发酵反应器与液体产甲烷反应器高效耦合(有效容积和数量间有效配比),实现了产酸发酵和产甲烷发酵平衡,提高了产沼气效率。

[0035] 2、本发明提供的装置在产酸发酵反应器配有好氧曝气装置,在厌氧消化初始阶段通过定时曝气可提高产酸发酵前期的反应温度、缩短发酵时间,在发酵结束后可通过曝气加速脱水干燥。

[0036] 3、本发明提供的装置和方法,通过调整液态产甲烷发酵沼液回流至固体产酸发酵反应器的频率和回流量,以及产酸发酵渗滤液在产酸发酵反应器的定时循环淋洗,促进产酸发酵进行,采用多个固体产酸反应器并联,然后与1个产甲烷反应器串联,克服了传统干发酵产气不稳定问题。

[0037] 4、本发明提供的装置在产生清洁能源沼气的同时,发酵后的沼渣含水率低,可直接作为肥料用于农业生产,避免了后期脱水、干燥等工序。与湿式厌氧消化相比,采用固液两阶段厌氧发酵没有沼液排放,每1吨发酵料液减排0.74吨沼液,节约了后续处理费用。以干清粪为例,采用固液两阶段厌氧发酵,处理每吨粪便节约2.1吨水。

[0038] 5、本发明提供的装置中液相发酵装置体积小、升温快、保温好,耗能低;装置占地小、投资少,与传统湿式发酵相比较,可节省投资约20%左右。

[0039] 6、本发明提供的装置和方法,适用于猪粪、秸秆、蔬菜残体、餐厨垃圾和城市垃圾等有机废弃物的资源化处理利用,通过固体产酸与液体产甲烷两阶段的高效耦合,实现了沼液零排放、无二次污染,而且底物转化率与容积产气率高。

[0040] 7、本发明在固体产酸发酵反应器内接入白腐真菌TF1(*Pleurotus sajor-caju*)菌株和白腐真菌JG1(*Pleurotus cornucopiae*)菌株,上述两个菌株能够分解原料中的木质素,使原料分解更加的充分,给产酸微生物提供更多可供分解的原料,所以能够产生更多的酸,提高产量,根据申请人的测算,加入上述两个菌种后,产酸气量增加5-10%。

附图说明

[0041] 图1为本发明固液两阶段厌氧发酵系统示意图;

[0042] 图2为本发明固液两阶段厌氧发酵效果。

具体实施方式

[0043] 下面通过具体的实施方案叙述本发明方法。除非特别说明,本发明中所用的技术手段均为本领域技术人员所公知的方法。另外,实施方案应理解为说明性的,而非限制本发明的范围,本发明的实质和范围仅由权利要求书所限定。

[0044] 一种固液两阶段厌氧发酵装置,如图1所示,包括固体产酸发酵反应器1(4-6套)、液体产甲烷反应器5、产酸发酵液收集罐9、沼液收集罐10、循环加热装置6、沼气计量器15、搅拌机8、污水泵11、16、17和18、液位传感器12、温度传感器7和自动控制柜13。

[0045] 所述固体产酸发酵反应器包括卧式干发酵反应仓(或者称为箱式厌氧干发酵反应器),在仓体上部安装沼液回流布液装置4,在仓体底部安装曝气管道2,在仓体的两侧安装酸化液渗滤筛板3,仓体上部的气体出口通过沼气管道14连接沼气计量器。发酵反应器底部的酸化液出口通过一污水泵连接产酸发酵液收集罐进液口,发酵液收集罐出液口连接液体产甲烷反应器(CSTR反应器)进液口,液体产甲烷反应器出液口连接沼液收集罐,液体产甲烷反应器出气口连接沼气计量器。为了给液体产甲烷反应器内液体加热,在液体产甲烷反应器上连接一循环加热装置。在液体产甲烷反应器内安装一搅拌机,能够有效提高反应效率。

[0046] 为了实现自动控制,在产酸发酵液收集罐和沼液收集罐内分别安装一液位传感器,传感器输出信号给自动控制柜,自动控制柜采集液位信号给污水泵11、16、17和18,开启和关闭污水泵。在液体产甲烷反应器内安装一温度传感器,温度传感器输出信号给自动控制柜,自动控制柜采集温度信号给循环加热器。

[0047] 自动控制柜还包括用于控制产酸发酵液收集,产甲烷反应器沼液排放、搅拌、沼液回流至产酸反应器、产酸发酵液进入产甲烷反应器等过程的自动控制。上述提及仓式厌氧

干发酵反应器可参见(CN104371915A)中公开的反应器。

[0048] 本发明提供一种固液两阶段厌氧发酵方法,步骤如下:

[0049] (1)将不同有机废弃物和接种物按比例混合,混合好的原料通过活动门进入卧式干发酵反应仓,关闭卧式干发酵反应仓门,定时启动鼓风曝气系统,在好氧微生物作用下对反应器内物料增温,关闭曝气系统开始厌氧发酵,产酸发酵产生的酸化液定时泵入产酸发酵液收集罐,在混合好的原料中接入在菌种白腐真菌TF1(*Pleurotus sajor-caju*)菌株和白腐真菌JG1(*Pleurotus cornucopiae*)菌株(菌株公开专利为2009100695438,公开号CN101606579),白腐真菌TF1接入量为2wt%(菌种干重),白腐真菌JG1接入量为5wt%(菌种干重)。

[0050] (2)将产甲烷发酵反应器中的沼液泵入沼液收集罐后回流至固体产酸发酵反应仓,产酸发酵液收集罐中的酸化液经沉淀后泵入产甲烷反应器进行发酵。

[0051] (3)发酵的前10-15天,每天控制产酸发酵液至收集罐、然后回流至产酸发酵反应仓的次数在2-3次;

[0052] (4)发酵开始后每隔6-10天,按上述方法操作另一套卧式干发酵反应仓;每个干发酵反应仓运行30-35天后结束发酵,关闭反应仓沼气通道和渗滤液阀门,打开通气阀门,以鼓风系统向固体产酸发酵反应仓内曝气,每次10-15分钟,次数依据实际情况确定,2-3天后将反应仓内发酵后的物料排出,重新填料,重复运行。

[0053] (5)通过沼液回流至固体产酸发酵反应器的量、回流频率、固体产酸发酵反应装置个数、产甲烷发酵反应器有效容积等参数的控制,高效耦合固体产酸和液体产甲烷两阶段,实现沼液的零排放。

[0054] 结合上述方法并采用上述装置的具体操作方法为:

[0055] 发酵开始时,将不同有机废弃物和接种物按比例混合,混合好的原料通过活动门进入1套卧式干发酵反应仓,关闭卧式干发酵反应仓门,定时启动鼓风曝气系统,在好氧微生物作用下对反应器内物料增温,关闭曝气系统开始厌氧发酵,产酸发酵产生的酸化液定时(1-2次/天)泵入产酸发酵液收集罐后沉淀,此时产甲烷发酵反应器中的沼液泵入沼液收集罐后回流至固体产酸发酵反应仓(1-2次/天),产酸发酵液收集罐中的酸化液经沉淀后泵入产甲烷反应器进行发酵,如此循环,直至发酵结束。在发酵的前10-15天,为加快产酸发酵,每天控制产酸发酵液至收集罐然后回流至产酸发酵反应仓过程2-3次。发酵开始后每隔6-10天,按上述方法操作另一套卧式干发酵反应仓。对于每个干发酵反应仓,运行35-40天后结束发酵,关闭反应仓沼气通道和渗滤液阀门,打开通气阀门,以鼓风系统向固体产酸发酵反应仓内曝气,每次10-15分钟,次数依据实际情况确定,2-3天后将反应仓内发酵后的物料排出,重新填料,重复运行。

[0056] 发酵过程除进出料外,通过自动控制系统实现无人操作,固体产酸发酵在常温下运行,液体产甲烷发酵在 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 下运行。

[0057] 主要装置:固体产酸发酵反应仓,有效容积60L,反应器数量为4个;液体产甲烷发酵反应器为改进型CSTR反应器,有效容积105L。

[0058] 发酵原料:猪场干清粪和玉米秸秆,猪粪秸秆原料比为2:1,接种物为25%。

[0059] 发酵过程:共有四个固体产酸发酵反应器(卧式干发酵反应仓),填充物料约30kg,采用批次式运行。首先填充运行1#反应器,1#反应器运行10天后填充运行2#反应器,依次至

4#反应器运行,每个反应器距填料40天后出料并填充新鲜物料,如此反复循环。CSTR反应器沼液回流量为25%,回流间隔时间24h。产甲烷发酵采用中温发酵,温度控制在 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$,水力停留时间为4天,间歇搅拌,每小时搅拌10min,搅拌转数60转/min。

[0060] 固体产酸与液体产甲烷耦合过程:四个反应器酸化渗滤液每天在酸化液收集罐内混合沉淀,CSTR反应器沼液泵入沼液暂存罐后回流至固体产酸发酵仓,然后酸化液泵入CSTR反应器进行产沼气发酵,全过程自动控制。

[0061] 结果表明:

[0062] (1)固体产酸消化阶段原料TS、VS平均去除率分别为43.0和47.7%,固体产酸反应器日平均产期量为15.8L,平均甲烷含量为32.3%;

[0063] (2)固体产酸发酵反应器为四组,与液体产甲烷发酵反应器按有效容积比为2.4:1配比,实现固体产酸消化与产甲烷消化的高效耦合,两阶段厌氧发酵具有很好的运行效果,且无沼液排放;

[0064] (3)液态产甲烷发酵平均容积产气率为 $1.2\text{L}/(\text{L}\cdot\text{d})$,甲烷平均含量为62.5%,COD的平均去除率达67.6%。

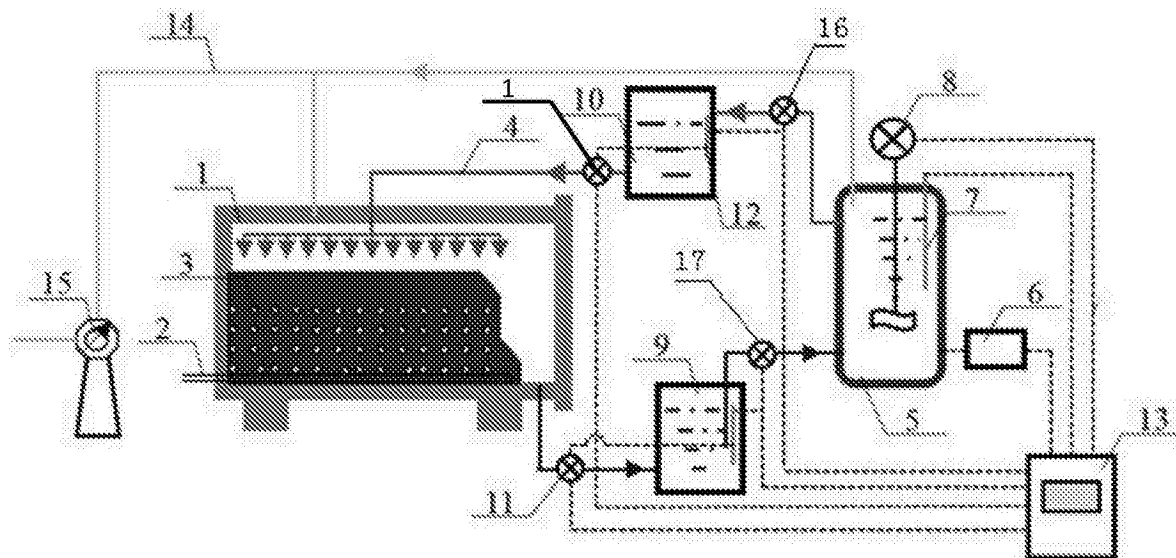


图1

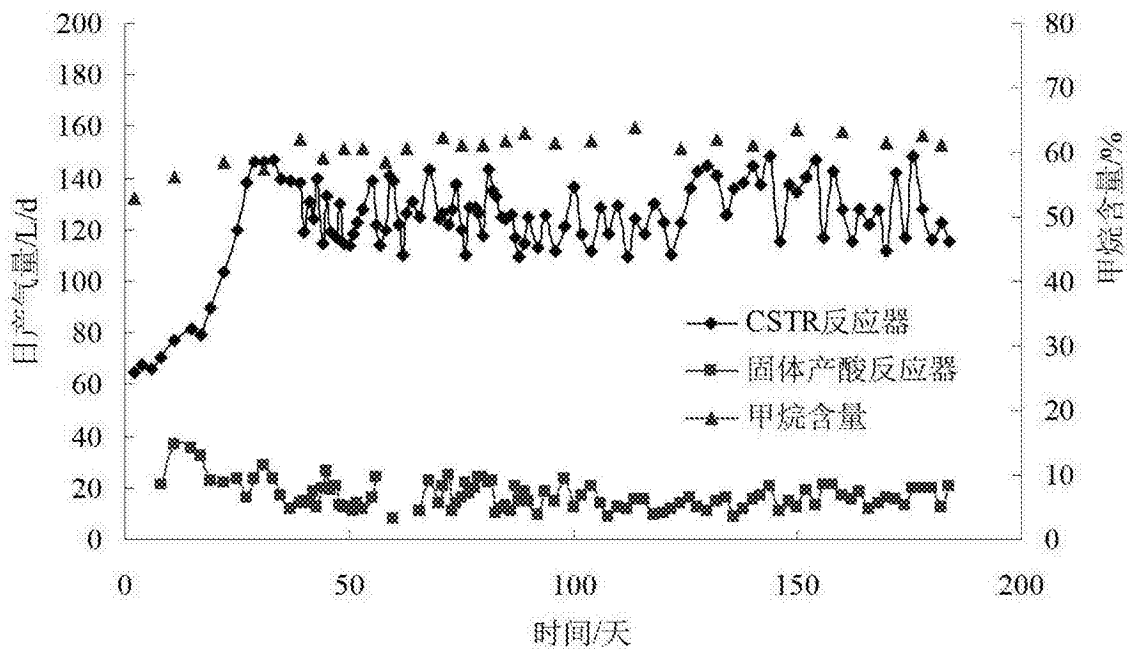


图2