



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112375676 B

(45) 授权公告日 2022.04.12

(21) 申请号 202011300516.X

C12P 5/02 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.19

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112375676 A

CN 111138055 A, 2020.05.12

CN 111438159 A, 2020.07.24

CN 106192974 A, 2016.12.07

(43) 申请公布日 2021.02.19

CN 105154475 A, 2015.12.16

JP 2005095770 A, 2005.04.14

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

CN 202179950 U, 2012.04.04

CN 109337809 A, 2019.02.15

(72) 发明人 赵庆良 周慧敏 姜珺秋 王琨
李莉莉 丁晶 魏亮亮 王维业

CN 111808727 A, 2020.10.23

CN 102864073 A, 2013.01.09

(74) 专利代理机构 哈尔滨市文洋专利代理事务
所(普通合伙) 23210

CN 103451236 A, 2013.12.18

CN 103877891 A, 2014.06.25

代理人 王艳萍

CN 103387936 A, 2013.11.13

JP 2000343100 A, 2000.12.12

(51) Int. Cl.

CN 111992084 A, 2020.11.27

US 6103124 A, 2000.08.15

(续)

C12M 1/38 (2006.01)

C12M 1/36 (2006.01)

C12M 1/34 (2006.01)

C12M 1/107 (2006.01)

C12M 1/02 (2006.01)

C12M 1/00 (2006.01)

审查员 解晓芬

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

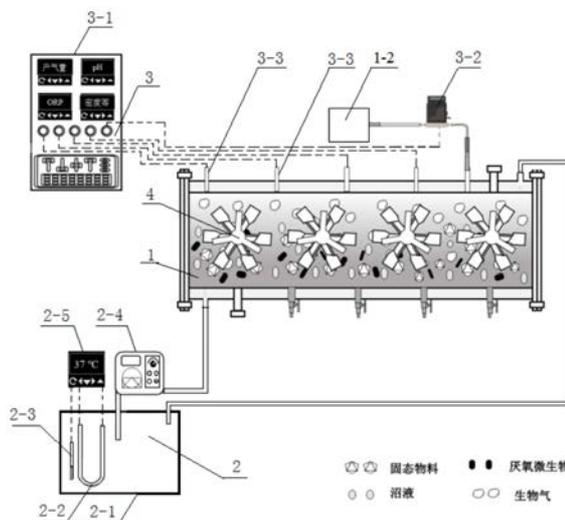
(54) 发明名称

含固城镇厨余垃圾厌氧处理领域。

处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反
应装置和方法

(57) 摘要

处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反
应装置和方法,它涉及厨余垃圾厌氧消化的装置
和方法。它是要解决现有的厨余垃圾厌氧消化装
置和方法对高含固厨余垃圾存在的物料混合不
均匀、产气效率低的技术问题。本发明的装置包
括水平流装置主体、夹套循环水系统、在线检测
系统和至少一套搅拌系统;其中每个搅拌系统的
搅拌轴上安装两个三爪搅拌器和开启涡轮折叶
式搅拌器。方法:一、底物预处理;二、装置启动;
三、有机负荷替换;四、装置运行。高含固厨余
垃圾处理的有机负荷在 $5\sim 12\text{kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 较高
负荷水平下稳定运行,可用于含固率 $\geq 25\%$ 的高



CN 112375676 B

[转续页]

[接上页]

(56) 对比文件

CN 102703514 A, 2012.10.03

周慧敏. 水平流厌氧消化系统处理高含固厨余垃圾的效能与机制.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 工程科技辑》.2020, (第01期), 第B027-2036页.

周慧敏等. 有机负荷和进料频率对高含固厨余垃圾厌氧消化系统性能的影响.《环境科学学报》.2020, 第40卷(第10期), 3639-3650.

党林贵等. 不同组合桨搅拌器搅拌特性的数

值研究.《郑州大学学报(工学版)》.2013, 第34卷(第3期), 第59-62页.

Mingxing Zhao et al.. High-solids fermentation of food wastes for biogas recovery by using horizontal anaerobic reactor.《Journal of Renewable and Sustainable Energy》.2018, 第10卷(第4期), (043106-1)-(043106-9).

刘敏珊等. 45°涡轮桨搅拌槽内搅拌特性数值模拟研究.《郑州大学学报(工学版)》.2008, 第29卷(第1期), 第1-4页.

1. 处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置,其特征在于该装置包括水平流装置主体(1)、夹套循环水系统(2)、在线检测系统(3)和至少1套搅拌系统(4);

其中,水平流装置主体(1)包括筒体(1-1)、集气袋(1-2);

水平流装置主体(1)的筒体(1-1)是圆柱形筒体,筒体(1-1)的轴线水平,筒体的外部设置有夹套(1-1-1),在筒体的一端的顶部设置进料口(1-1-2)、集气孔(1-1-3)、探针孔(1-1-4)和水浴夹套出水口(1-1-5),在筒体的另一端的底部设置出料口(1-1-6)和水浴夹套进水口(1-1-7);

夹套循环水系统(2)包括恒温水浴箱(2-1)、加热装置(2-2)、温度探头(2-3)、蠕动泵(2-4)、温控装置(2-5),恒温水浴箱(2-1)经蠕动泵(2-4)与水浴夹套进水口(1-1-7)连接;水浴夹套出水口(1-1-5)与恒温水浴箱(2-1)连接;加热装置(2-2)和温度探头(2-3)设置在恒温水浴箱(2-1)中,并与温控装置(2-5)连接;

在线检测系统(3)包括控制柜(3-1)、气体流量计(3-2)和探针(3-3),气体流量计(3-2)和探针(3-3)与控制柜(3-1)连接;

集气袋(1-2)经气体流量计(3-2)与集气孔(1-1-3)连接;

搅拌系统(4)由电机(4-1)、扭矩放大器(4-2)、搅拌轴(4-3)和两个三爪搅拌器(4-4)和开启涡轮折叶式搅拌器(4-5)组成;

搅拌轴(4-3)的轴线与筒体(1-1)的轴线在同一水平面上,且互相垂直;

搅拌轴(4-3)的一端通过扭矩放大器(4-2)与电机(4-1)相连接;搅拌轴(4-3)的一端经筒体(1-1)的侧壁伸入到筒体(1-1)中,在筒体(1-1)内的搅拌轴(4-3)上固定两个三爪搅拌器(4-4)和开启涡轮折叶式搅拌器(4-5);开启涡轮折叶式搅拌器(4-5)的对称中心位于搅拌轴(4-3)的轴线与筒体(1-1)的轴线的交点上;两个三爪搅拌器(4-4)分别对称安装在开启涡轮折叶式搅拌器(4-5)两侧;

三爪搅拌器(4-4)的三个爪与搅拌轴的轴线中心均呈 60° 连接;

开启涡轮折叶式搅拌器(4-5)设有6个叶片,每个叶片与搅拌轴的轴线呈 45° 夹角连接,同时每个叶片本身为折叶式,与前端叶片呈 45° 夹角连接。

2. 根据权利要求1所述的水平流厌氧消化反应装置,其特征在于筒体(1-1)的下部还设有采样孔(1-1-8)。

3. 根据权利要求2所述的水平流厌氧消化反应装置,其特征在于采样孔(1-1-8)的数量为1~4个,采用孔的数量大于2个时,各采用孔等间距设置。

4. 根据权利要求1、2或3所述的水平流厌氧消化反应装置,其特征在于探针(3-3)为pH探针、氧化还原电位探针、反应基质密度探针或/和基质含水率传感器。

5. 根据权利要求1、2或3所述的水平流厌氧消化反应装置,其特征在于搅拌系统(4)的套数为2~5套。

6. 利用权利要求1所述的水平流厌氧消化反应装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,其特征在于该方法按以下步骤进行:

一、底物预处理:将厨余垃圾首先破碎至粒径5~10 mm,之后混合均匀,将混合好的厨余垃圾放入高压蒸汽锅中在温度为 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 的条件下湿热预处理1.5~2 h,得到厨余垃圾底物;

二、装置启动:向水平流装置主体的筒体(1-1)中接种占筒体(1-1)有效体积37%~40%的厌氧颗粒污泥;再按初始有机负荷加入以葡萄糖为碳源、以氯化铵为氮源、以磷酸二氢钠为磷源,且C:N:P=(20~25):5:1的营养液,搅拌并混合进行培养,培养过程中产生的气体经集气孔(1-1-3)收集到集气袋(1-2)中;培养期间系统的温度保持 $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、pH保持在6.5~8.5;培养期间每天向反应器中投加Wolf维生素和微量元素培养液;培养期间的初始有机负荷为 $1\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$,按每3~5天提升 $0.3\sim 0.5\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 的幅度加入营养液,提升至有机负荷为 $2.5\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 后不再提升;反应器每天在加入营养液后搅拌一次,每次搅拌15 min;培养期为20~25天,完成启动;

三、有机负荷替换:将有机负荷的来源逐步由营养液替换为厨余垃圾底物,每次替换 $2.5\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 的有机负荷的25%~30%,每次替换后装置需稳定3~5天,直到将有机负荷源完全替换成厨余垃圾底物;此阶段不排放沼渣沼液;

四、装置运行:将有机负荷逐步提升至 $5\sim 12\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$,当每日投入厨余垃圾底物后开启搅拌,搅拌运行10~36 min;每次负荷提升系统需要稳定3~5天,各项指标稳定后,再继续提升负荷,厨余垃圾底物的提升幅度在 $0.5\sim 0.8\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$;未达到反应器有效体积的80%前,反应器处于补料-分批运行状态,即不排放沼渣沼液,达到80%后开始连续进出料,为半连续运行状态,即排放沼渣沼液,维持反应器内的物料在有效体积的80%,完成高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化处理。

7. 根据权利要求6所述的利用处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,其特征在于步骤四中有机负荷提升至 $7\sim 8\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 范围,同时每日进料后搅拌开启时间为15~20 min。

8. 根据权利要求6或7所述的利用处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,其特征在于步骤四中有机负荷提升至 $10\sim 12\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 范围,日总投料量在对应负荷下的情况下,投料次数增加为每天三次,每隔8 h投料一次,搅拌时间分为三部分,每次进料后运行10~12 min。

9. 根据权利要求6或7所述的利用处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,其特征在于步骤四中有机负荷提升至 $9\sim 10\text{ kgVS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 范围,日总投料量在对应负荷下的情况下,投料次数增加为每天两次,每隔12 h投料一次,搅拌时间分为两部分,每次进料后搅拌运行10~12 min。

10. 根据权利要求6或7所述的利用处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,其特征在于步骤三和步骤四中所述的稳定是指当同一负荷下日产气量偏差不超过 $\pm 10\%$ 且产气中甲烷含量在50%以上,则认为系统稳定;或者当系统的pH稳定在6.5~8.5之间,则认为系统稳定;或者当总挥发酸浓度与总碱度的比值小于0.4时,则认为系统稳定;或者当折算为COD的丙酸浓度小于等于总挥发酸浓度50%时,则认为系统稳定。

处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及高含固厨余垃圾厌氧消化的装置和方法,具体涉及一种适用于含固率 $\geq 25\%$ 的城镇厨余垃圾厌氧消化产生物燃气的装置和方法。

背景技术

[0002] 随着人民生活水平的不断提高,餐饮业得到高速发展,随之而来导致厨余垃圾产量的迅速增加,厨余垃圾处理已经成为现代社会生活面临的极大的环境挑战。厨余垃圾指居民家庭、餐饮行业以及食堂等在食品加工和用餐过程中产生的废料,其占我国基本生活垃圾的37%-62%。由于垃圾分类实施效果甚微,厨余垃圾中混合了大量生活垃圾,导致处理难度增加,再加上厨余垃圾庞大的产生量和复杂的组成,使得处理处置更加困难。因此,发展一种资源回收率高、环境友好、经济可行的厨余垃圾处理方式是当前亟需解决的问题。

[0003] 长久以来厨余垃圾的处理方式集中在填埋、堆肥、焚烧、厌氧消化、厌氧发酵等。厌氧处理可在处理废物的同时产生生物燃气,处理后的剩余物还可作为肥料和土壤调节剂农用,实现厨余垃圾的高值转化。但据相关研究,厨余垃圾含固率可达25%以上,部分厨余垃圾含固率甚至高于30%,远高于常规污水、污泥的厌氧处理,而高含固厌氧消化(High Solid Anaerobic Digestion, HSAD)由于物料含水率需求低、节能、成本低等优势成为厨余垃圾处理的优化方案。HSAD通常定义为进料含固率 $\geq 15\%$ 的厌氧消化过程,含固率的增加使得反应体系内部的物质转化过程、搅拌需求、传热情况不同于常见的厌氧消化反应器,因此有必要设计处理高含固厨余垃圾的反应装置以实现厨余垃圾的高值转化。

[0004] HSAD按照物料流动方向的不同,分为垂直流和水平流。而水平流系统,物料由进料口进入,随搅拌过程以及后续物料的推动作用逐渐由进料口运动至出料口,期间完成水解、酸化、乙酸化、甲烷化过程,将物料中的有机物矿化产生生物燃气。现有的水平流系统用于高含固厌氧消化时存在物料混合不均匀,使消化过程的产气效率较低。

发明内容

[0005] 本发明要解决由厨余垃圾含固率高造成的高含固厌氧消化装置物质物料混合不均匀、产气效率低的技术问题,而提供处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置和方法。

[0006] 本发明的处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置,包括水平流装置主体1、夹套循环水系统2、在线检测系统3和搅拌系统4;

[0007] 其中,水平流装置主体包括筒体1-1、集气袋1-2;

[0008] 水平流装置主体1的筒体1-1是圆柱形筒体,筒体1-1的轴线水平,筒体的外部设置有夹套1-1-1,在筒体的一端的顶部设置进料口1-1-2、集气孔1-1-3、探针孔1-1-4和水浴夹套出水口1-1-5,在筒体的另一端的底部设置出料口1-1-6和水浴夹套进水口1-1-7;

[0009] 更进一步地,筒体1-1的下部还设有采样孔1-1-8,采用孔的数量为1~4个,采用孔的数量大于2个时,各采用孔等间距设置;用于取不同位置样品并进行检测分析,以探究装

置内部的物质转化进程;

[0010] 夹套循环水系统2包括恒温水浴箱2-1、加热装置2-2、温度探头2-3、蠕动泵2-4、温控装置2-5,恒温水浴箱2-1经蠕动泵2-4与水浴夹套进水口1-1-7连接;水浴夹套出水口1-1-5与温水浴箱2-1连接;加热装置2-2和温度探头2-3设置在恒温水浴箱2-1中,并与温控装置2-5连接;

[0011] 在线检测系统3包括控制柜3-1、气体流量计3-2和探针3-3,气体流量计3-2和探针3-3与控制柜3-1连接,用以在线检测反应器的反应状态,防止反应器失稳;

[0012] 更进一步地,探针3-3为pH探针、氧化还原电位探针、反应基质密度探针或/和基质含水率传感器;其中pH探针用于在线检测反应器不同位置的pH变化,防止反应器酸化失稳;氧化还原电位探针用于检测氧化还原电位,监测反应器内的厌氧情况;其中反应基质密度探针用于监测不同位置反应基质的密度变化,反应装置内部物质的均质情况;其中基质含水率探针可用来检测不同位置的含水率变化情况,可反应装置内物质均值情况和厌氧消化进行情况;

[0013] 集气袋1-2经气体流量计3-2与集气孔1-1-3连接;

[0014] 搅拌系统4由电机4-1、扭矩放大器4-2、搅拌轴4-3和两个三爪搅拌器4-4和开启涡轮折叶式搅拌器4-5组成;

[0015] 搅拌轴4-3的轴线与筒体1-1的轴线在同一水平面上,且互相垂直;

[0016] 搅拌轴4-3的一端通过扭矩放大器4-2与电机4-1相连接;搅拌轴4-3的一端经筒体1-1的侧壁伸入到筒体1-1中,在筒体1-1内的搅拌轴4-3上固定两个三爪搅拌器4-4和开启涡轮折叶式搅拌器4-5;其中开启涡轮折叶式搅拌器4-5的对称中心位于搅拌轴4-3的轴线与筒体1-1的轴线的交点上;两个三爪搅拌器4-4分别对称安装在开启涡轮折叶式搅拌器4-5两侧;

[0017] 其中三爪搅拌器4-4的三个爪与搅拌轴的轴线中心均呈60°连接;

[0018] 开启涡轮折叶式搅拌器4-5设有6个叶片,每个叶片与搅拌轴的轴线呈45°夹角连接,同时每个叶片本身为折叶式,与前端叶片呈45°夹角连接。该设计使顶端叶片与搅拌轴平行,缓解叶片的轴流效果,增强推动作用;两个三爪搅拌器4-4和开启涡轮折叶式搅拌器4-5的组合式桨片的设计可实现物料均质和推流的双重效果,实现水平流系统均质和传送物料的双重功能。

[0019] 利用上述的高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,按以下步骤进行:

[0020] 一、底物预处理:将厨余垃圾首先破碎至粒径5~10 mm,之后混合均匀,将混合好的厨余垃圾放入高压蒸汽锅中在温度为100~120 °C的条件下湿热预处理1.5~2 h,得到厨余垃圾底物;湿热预处理可加快底物的水解速度,增强底物的水解程度,以实现厌氧系统的快速启动,缩短厌氧消化时间。

[0021] 二、装置启动:向水平流装置主体的筒体1-1中接种占筒体1-1有效体积的37%~40%的厌氧颗粒污泥;再按初始有机负荷加入以葡萄糖为碳源、以氯化铵为氮源、以磷酸二氢钠为磷源,且C:N:P=(20~25):5:1的营养液,搅拌并混合进行培养,培养过程中产生的气体经集气孔1-1-3收集到集气袋1-2中;培养期间系统的温度保持 37 ± 1 °C、pH保持在6.5~8.5;培养期间每天向反应器中投加Wolff维生素和微量元素培养液;培养期间的初始有机负荷为1

$\text{kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,按每3~5天提升 $0.3 \sim 0.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 的幅度加入营养液,提升至有机负荷为 $2.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 后不再提升;反应器每天在加入营养液后搅拌一次,每次搅拌15 min,以实现物料的均质化;培养期为20~25天;

[0022] 三、有机负荷替换:将有机负荷的来源逐步由营养液替换为厨余垃圾底物,每次替换 $2.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 的有机负荷的25%~30%,每次替换后装置需稳定3~5天,直到将有机负荷源完全替换成厨余垃圾底物;此阶段不排放沼渣沼液;替换过程经历12~20天;

[0023] 四、装置运行:将有机负荷逐步提升至 $5 \sim 12 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,当每日投入厨余垃圾底物后开启搅拌,搅拌运行10~36 min;每次负荷提升系统需要稳定3~5天,各项指标稳定后,再继续提升负荷,厨余垃圾底物的提升幅度在 $0.5 \sim 0.8 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$;未达到反应器有效体积的80%前,反应器处于补料-分批运行状态(即不排放沼渣沼液),达到80%后开始连续进出料,为半连续运行状态(即排放沼渣沼液,维持反应器内的物料占有效体积的80%),完成高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化处理。

[0024] 更地一步地,步骤二中所述的Wolf维生素和微量元素培养液中的微量元素、维生素组成如下表1所示。

[0025] 表1 Wolf维生素和微量元素培养液中的微量元素、维生素组成

维生素	浓度(g/L蒸馏水)	微量元素	浓度(g/L蒸馏水)
维生素H	0.002	氨三乙酸	1.500
叶酸	0.002	七水合硫酸镁	3.000
维生素B6	0.01	氯化钙	0.100
盐酸硫胺VB1	0.005	一水合硫酸锰	0.500
核黄素	0.005	氯化钠	1.000
烟酸	0.005	二水合钼酸钠	0.010
D-泛酸钙	0.005	七水合硫酸锌	0.100
维生素B12	0.0001	七水合硫酸亚铁	0.100
对氨基苯甲酸	0.005	五水合硫酸铜	0.010
硫辛酸	0.005	六水合氯化钴	0.100
		硼酸	0.010
		十二水合硫酸铝钾	0.010

[0027] 更进一步地,步骤二中所述的Wolf维生素和微量元素培养液的加入量按每升反应器的体积加入 $0.05 \sim 0.1 \text{ mL}$ 的Wolf维生素和微量元素培养液来计;

[0028] 更进一步地,步骤四中有机负荷提升至 $7 \sim 8 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 范围,同时每日进料后搅拌开启时间为15~20 min。

[0029] 更进一步地,步骤四中有机负荷提升至 $9 \sim 10 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 范围,日总投料量在对应负荷下的情况下,投料次数增加为每天两次,每隔12 h投料一次,搅拌时间分为两部分,每次进料后搅拌运行10~12 min;

[0030] 更进一步地,步骤四中有机负荷提升至 $10 \sim 12 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 范围,日总投料量在对应负荷下的情况下,投料次数增加为每天三次,每隔8 h投料一次,搅拌时间分为三部分,每次进料后运行10~12 min。

[0031] 更进一步地,步骤三和步骤四中所述的稳定是用以下任一项数据来判断系统是否

处于稳定厌氧消化阶段：

[0032] 首先，每日产气中甲烷含量和总产气量：底物的分子组成会影响产气量和甲烷含量，通常情况下产气中甲烷含量在50%以上，当同一负荷下日产气量偏差不超过±10%且产气中甲烷含量在50%以上，则认为系统稳定。

[0033] 其次，pH和总挥发酸与总碱度的比值：厌氧消化系统最常见的问题是酸化失稳，最直接的表示就是pH的显著下降，当系统的pH稳定在6.5~8.5之间，则认为系统稳定。当pH偏酸时，可通过总挥发酸浓度与总碱度的比值确定系统是否有酸化趋势，此值越小说明系统越稳定，此比值可较pH提前3~5天反应系统的酸化情况。当总挥发酸浓度与总碱度的比值小于0.4时，则认为系统稳定。

[0034] 最后，系统中的丙酸浓度：当折算为COD的丙酸浓度超过总挥发酸浓度50%时，系统有酸化趋势，该项指标可较pH指标提前5~10天预警。当折算为COD的丙酸浓度小于等于总挥发酸浓度50%时，则认为系统稳定。

[0035] 系统刚刚检测到酸化趋势时可采用氢氧化钠、碳酸氢钠、碳酸钠等碱性试剂或溶液进行调节，调节程度根据酸化程度和采用的碱的类型酌情处理，使用碳酸氢钠时建议投加浓度不超过 $7.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，以避免带来过高的盐度影响厌氧消化过程的运行。

[0036] 本发明的高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置，采用水平流反应器对高含固厨余垃圾进行厌氧消化处理，改进传统的单圆片搅拌为三联开启涡轮折叶式搅拌桨，使得高含固高粘度的厨余垃圾均质效果更好，更有助于物料的厌氧消化过程，此外本发明中提供的有机负荷运行梯度和相应的改进措施有助于增加易降解有机物含量厨余垃圾厌氧消化系统的稳定性和有机物去除效率。

[0037] 本发明在较高负荷下运行系统产气率和容积产气量高，系统性能更优，辅助以操作方式和搅拌方式的改进系统各项指标都能稳定在一定水平且缓冲能力和抗负荷能力强。

[0038] 本发明的装置和方法可用于含固率 $\geq 25\%$ 的高含固城镇厨余垃圾厌处理领域。

附图说明

[0039] 图1是本发明的高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置示意图；

[0040] 图2是本发明的高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置的水平流装置主体1的正视图；

[0041] 图3是本发明的高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置的搅拌系统4的结构示意图，由图2的A-A向剖视；

[0042] 图4是本发明的搅拌系统4中开启涡轮折叶式搅拌器4-5的结构示意图；

[0043] 图5是本发明的搅拌系统4中三爪搅拌器4-4的结构示意图；

[0044] 图中：

[0045] 1为水平流装置主体，1-1为筒体，1-1-1为夹套，1-1-2为进料口，1-1-3为集气孔，1-1-4为探针孔，1-1-5为水浴夹套出水口，1-1-6为出料口，1-1-7为水浴夹套进水口，1-1-8为采样孔；1-2为集气袋；

[0046] 2为夹套循环水系统，2-1为恒温水浴箱，2-2为加热装置，2-3为温度探头，2-4为蠕动泵，2-5为温控装置；

[0047] 3为在线检测系统，3-1为控制柜，3-2为气体流量计，3-3为探针；

[0048] 4为搅拌系统,4-1为电机,4-2为扭矩放大器,4-3为搅拌轴,4-4为三爪搅拌器,4-5为开启涡轮折叶式搅拌器。

具体实施方式

[0049] 用以下的实施例验证本发明的有益效果:

[0050] 实施例1:本实施例的处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置,由水平流装置主体1、夹套循环水系统2、在线检测系统3和4套搅拌系统4组成;

[0051] 其中,水平流装置主体由筒体1-1和集气袋1-2组成;

[0052] 水平流装置主体1的筒体1-1是圆柱形的有机玻璃圆柱,内径200 mm,全长635 mm,长径比为3.2:1,筒体1-1的轴线水平,筒体1-1的前端和后端分别用有机玻璃法兰盘封口,筒体的外部设置有夹套1-1-1,在筒体的一端的顶部设置进料口1-1-2、集气孔1-1-3、探针孔1-1-4和水浴夹套出水口1-1-5,在筒体的另一端的底部设置出料口1-1-6和水浴夹套进水口1-1-7;筒体1-1的下部还等间距设有4个采样孔1-1-8,用于取不同位置样品并进行检测分析,以探究装置内部的物质转化进程。

[0053] 夹套循环水系统2由恒温水浴箱2-1、加热装置2-2、温度探头2-3、蠕动泵2-4和温控装置2-5组成,其中恒温水浴箱2-1经蠕动泵2-4与水浴夹套进水口1-1-7连接;水浴夹套出水口1-1-5与温水浴箱2-1连接;加热装置2-2和温度探头2-3设置在恒温水浴箱2-1中,并与温控装置2-5连接;水浴夹套出水口1-1-5和水浴夹套进水口1-1-7的孔径5 mm,与物料流动方式呈交叉排列,即物料流动为从右向左,夹套内循环水为从左下到右上,从而实现物料与加热水之间充分的热量交换;

[0054] 在线检测系统3由控制柜3-1、气体流量计3-2和4个pH探针3-3组成,气体流量计3-2和pH探针3-3与控制柜3-1连接,4个pH探针3-3沿筒体1-1的长度方向均匀设置,用于在线检测反应器不同位置的pH变化,防止反应器酸化失稳;

[0055] 集气袋1-2经气体流量计3-2与集气孔1-1-3连接;

[0056] 搅拌系统4由电机4-1、扭矩放大器4-2、搅拌轴4-3和两个三爪搅拌器4-4和开启涡轮折叶式搅拌器4-5组成;

[0057] 搅拌轴4-3的轴线与筒体1-1的轴线在同一水平面上,且互相垂直;

[0058] 搅拌轴4-3的一端通过扭矩放大器4-2与电机4-1相连接;搅拌轴4-3的一端经筒体1-1的侧壁伸入到筒体1-1中,在筒体1-1内的搅拌轴4-3上固定两个三爪搅拌器4-4和开启涡轮折叶式搅拌器4-5;其中开启涡轮折叶式搅拌器4-5的对称中心位于搅拌轴4-3的轴线与筒体1-1的轴线的交点上;两个三爪搅拌器4-4分别对称安装在开启涡轮折叶式搅拌器4-5两侧;

[0059] 其中三爪搅拌器4-4的三个爪与搅拌轴的轴线中心均呈 60° 连接;三爪搅拌器4-4的爪为厚度为2 mm、长为40 mm、宽度为12 mm的叶片;开启涡轮折叶式搅拌器4-5设有6个叶片,每个叶片与搅拌轴的轴线呈 45° 夹角连接,同时每个叶片本身为折叶式,与前端叶片呈 45° 夹角连接;该设计使顶端叶片与搅拌轴平行,缓解叶片的轴流效果,增强推动作用。开启涡轮折叶式搅拌器4-5的总长100 mm,叶片的长40 mm、叶片的宽度20 mm,厚度为2 mm。两个三爪搅拌器4-4和开启涡轮折叶式搅拌器4-5的组合式桨片的设计可实现物料均质和推流的双重效果,4套搅拌系统4均布在筒体1-1中,实现水平流系统均质和传送物料的双重功

能。

[0060] 利用实施例1的处理高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化反应装置进行高含固厨余垃圾厌氧消化的方法,按以下步骤进行:

[0061] 一、底物预处理:将厨余垃圾首先破碎至粒径5~10 mm,之后混合均匀,将混合好的厨余垃圾放入高压蒸汽锅中在温度为120 °C的条件下湿热预处理2 h,得到厨余垃圾底物;湿热预处理可加快底物的水解速度,增强底物的水解程度,以实现厌氧系统的快速启动,缩短厌氧消化时间;

[0062] 二、装置启动:向水平流装置主体的筒体1-1中接种占筒体1-1有效体积的37%的厌氧颗粒污泥;再按初始有机负荷加入以葡萄糖为碳源、以氯化铵为氮源、以磷酸二氢钠为磷源,且C:N:P=20:5:1的营养液,搅拌并混合进行培养,培养过程中产生的气体经集气孔1-1-3收集到集气袋1-2中;培养期间系统的温度保持 37 ± 1 °C、pH保持在6.5~8.5;培养期间每天向反应器中投加1 mL Wolf维生素和微量元素培养液;培养期间的初始有机负荷为 $1 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,按每5天提升 $0.3 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 的幅度加入营养液,提升至有机负荷为 $2.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 后不再提升;反应器每天在加入营养液后搅拌一次,每次搅拌15 min,以实现物料的均质化;培养期为25天;其中Wolf维生素和微量元素培养液的组成如表2所示。

[0063] 表2 Wolf维生素和微量元素培养液的组成

[0064]

维生素	浓度(g/L蒸馏水)	微量元素	浓度(g/L蒸馏水)
维生素H	0.002	氨三乙酸	1.500
叶酸	0.002	七水合硫酸镁	3.000
维生素B6	0.01	氯化钙	0.100
盐酸硫胺VB1	0.005	一水合硫酸锰	0.500
核黄素	0.005	氯化钠	1.000
烟酸	0.005	二水合钼酸钠	0.010
D-泛酸钙	0.005	七水合硫酸锌	0.100
维生素B12	0.0001	七水合硫酸亚铁	0.100
对氨基苯甲酸	0.005	五水合硫酸铜	0.010
硫辛酸	0.005	六水合氯化钴	0.100
		硼酸	0.010
		十二水合硫酸铝钾	0.010

[0065] 三、有机负荷替换:将有机负荷的来源逐步由营养液替换为厨余垃圾底物,每次替换 $2.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 的有机负荷的30%,每次替换后装置需稳定5天,直到将有机负荷源完全替换成厨余垃圾底物;此阶段不排放沼渣沼液;替换过程经历20天;

[0066] 四、装置运行:将有机负荷从 $2.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 逐步提升至 $5.4 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,当每日投入厨余垃圾底物后开启搅拌,搅拌运行12min;每次厨余垃圾提升幅度在 $0.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,每次负荷提升系统需要稳定5天,各项指标稳定后,再继续提升负荷;未达到反应器有效体积的80%前,反应器处于补料-分批运行状态,即不排放沼渣沼液,达到80%后开始连续进出料,为半连续运行状态,即排放沼渣沼液,维持反应器内的物料在有效体积的80%,进入半连续状态后每日连续运行,完成高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化处理。

[0067] 本实施例在 $5.4 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷下,达到稳定的厌氧消化状态后的各项指标

如表2所示。

[0068] 表2在 $5.4 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷下水平流厌氧消化装置的运行参数

稳定性指标		产气指标	
pH	挥发酸和碱度比值	日产气量 (L)	日产甲烷量 (L)
7.44~7.47	0.02~0.05	29.5~31.3	14.8~15.1
SCOD ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	日产气率 ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	日产甲烷率 ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
≈ 1000	≈ 300	0.698~0.746	0.352~0.359
有机物去除率 (%)	甲烷含量 (%)	容积产气率 ($\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	容积产甲烷率 ($\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
89.3~90.0	50.51~50.66	2.944~2.756	1.392~1.419

[0070] 从表2可以看出,高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置在达到 $5.4 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷时的各项参数,pH稳定,挥发酸与碱度的比值小表明系统处于稳定的厌氧消化状态,SCOD和氨氮浓度较低,系统有机物处理能力高,甲烷含量稳定。产气相关指标可以看出系统的产气量和产甲烷量较优,折算为产气率来看,日产气率、日产甲烷率都较常规反应器高,容积产气率和容积产甲烷率更是较常规全混流反应器高,产气、产甲烷性能好。

[0071] 实施例1在 $5.4 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 的负荷基础上,进行负荷提升实验,提高运行负荷至 $8.1 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。达到稳定的厌氧消化状态后的各项指标如表3所示。

[0072] 表3 在 $8.1 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷下水平流厌氧消化装置运行参数

稳定性指标		产气指标	
pH	挥发酸和碱度比值	日产气量 (L)	日产甲烷量 (L)
7.39~7.60	0.04~0.11	50.5~53.0	25.9~26.5
SCOD ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	日产气率 ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	日产甲烷率 ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
≈ 1300	≈ 350	0.802~0.842	0.410~0.420
有机物去除率 (%)	甲烷含量 (%)	容积产气率 ($\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	容积产甲烷率 ($\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
86.2~87.1	51.20~51.95	4.750~4.983	2.433~2.492

[0074] 从表3可以看出,高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置在达到 $8.1 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷时的各项参数,pH和挥发酸与碱度的比值均表明系统处于稳定的厌氧消化状态,SCOD值低,氨氮浓度也远未达到抑制程度,系统有机物处理能力高,甲烷含量稳定。从产气量和产气率等各项产气指标来看,提升负荷后系统的产气和产甲烷能力都有显著的提高,甲烷含量也有提升,各项指标接近 $5.4 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷时的一倍,说明反应器的各项性能显著提高。

[0075] 实施例2:本实施例与实施例1不同的是在步骤四中进一步提升负荷时更换了投料和搅拌策略来优化整个厌氧消化过程,实施例1步骤四的操作作用下面的操作替换:

[0076] 将有机负荷从 $2.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 按 $0.5 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 的提升幅度逐步提升至 $11.0 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,日总投料量在对应负荷下的情况下,投料次数增加为每天三次,每隔8 h投料一次,搅拌时间优化为三部分,每次进料后运行10 min;每次负荷提升后系统需要稳定5天,各项指标稳定后,再继续提升负荷;未达到反应器有效体积的80%前,反应器处于补料-分批运行状态,即不排放沼渣沼液,达到80%后开始连续进出料,为半连续运行状态,即排放沼渣沼液,维持反应器内的物料在有效体积的80%,进入半连续状态后每日连续运行,完成高含固厨余垃圾的水平流厌氧消化处理。其它数及步骤均与实施例1相同。

[0077] 本实施例2进入超高负荷状态后,更换了系统的投料和搅拌策略,在此情况下水平流高含固厨余垃圾厌氧消化装置的性能如表4所示:

[0078] 表4 在 $11.0 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷下水平流厌氧消化装置运行参数

稳定性指标		产气指标	
pH	挥发酸和碱度比值	日产气量 (L)	日产甲烷量 (L)
7.49~7.69	0.05~0.16	63.5~71.6	33.9~40.8
SCOD ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	日产气率 ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	日产甲烷率 ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
≈ 3000	≈ 900	0.743~0.838	0.400~0.477
有机物去除率 (%)	甲烷含量 (%)	容积产气率 ($\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	容积产甲烷率 ($\text{L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
89.8~92.6	53.23~56.98	5.509~6.736	3.181~3.838

[0080] 从表4可以看出,高含固厨余垃圾水平流厌氧消化装置在达到 $11.0 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷时的各项参数,pH和挥发酸与碱度的比值均表明系统处于稳定的厌氧消化状态,SCOD值偏高,说明在大量进料的条件下系统的水解能力提高,氨氮浓度小于900,本发明中使用的颗粒污泥在其他实验中表现出良好的耐氨氮性能(氨氮浓度 $>1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时系统仍可正常产气),因此装置产气过程并未受氨氮浓度影响,装置有机物处理能力高,甲烷含量稳定且较低负荷时提高3%~6%。产气量和产气率等各项产气指标来看,高负荷+优化的进料和搅拌策略下,产气量和产甲烷量显著提高,日产甲烷率与 $8.1 \text{ kgVS} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 负荷下相近,但容积产气率、容积产甲烷率较低负荷下明显提高,说明反应装置的产气性能有了进一步的提高。

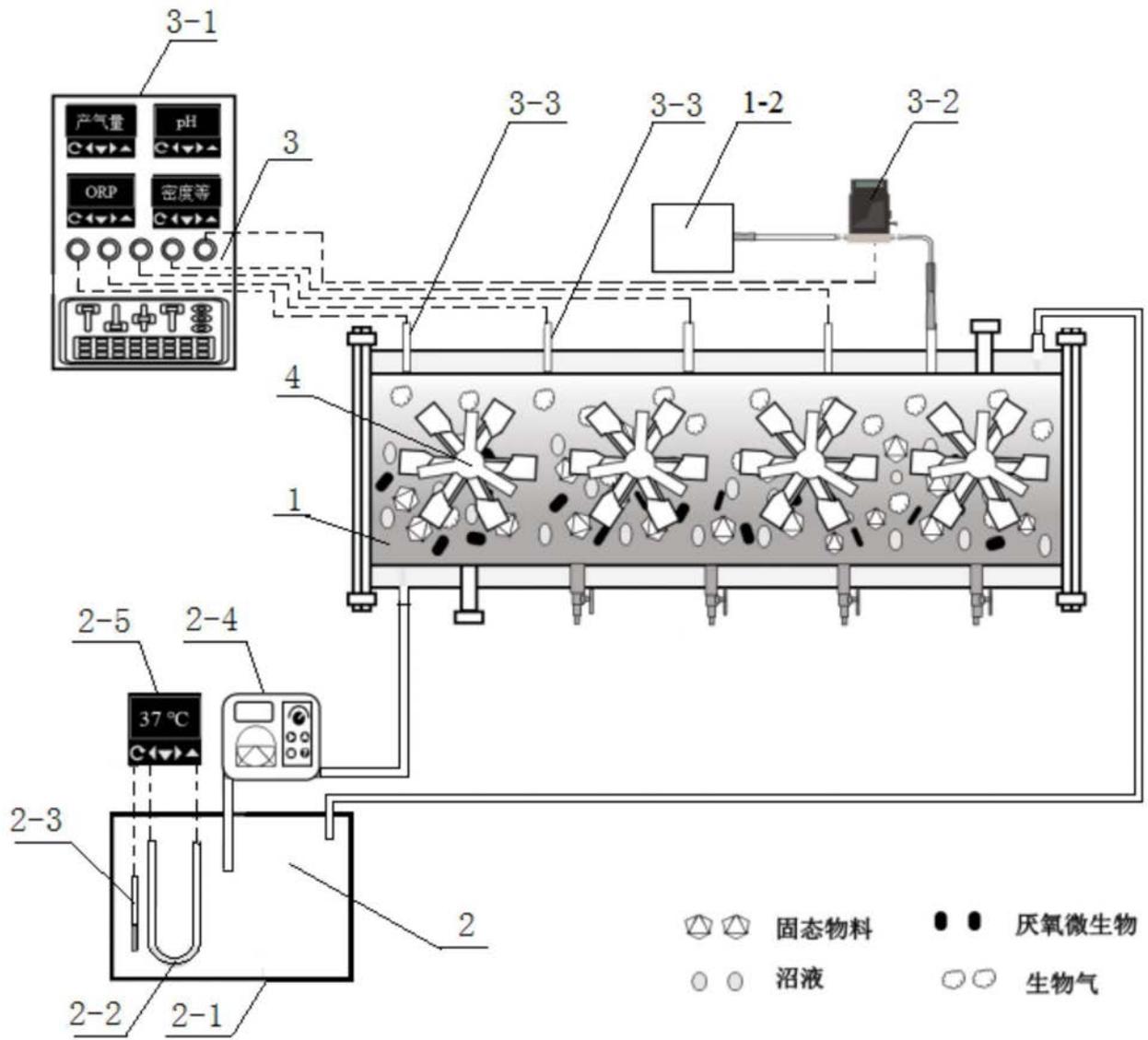


图1

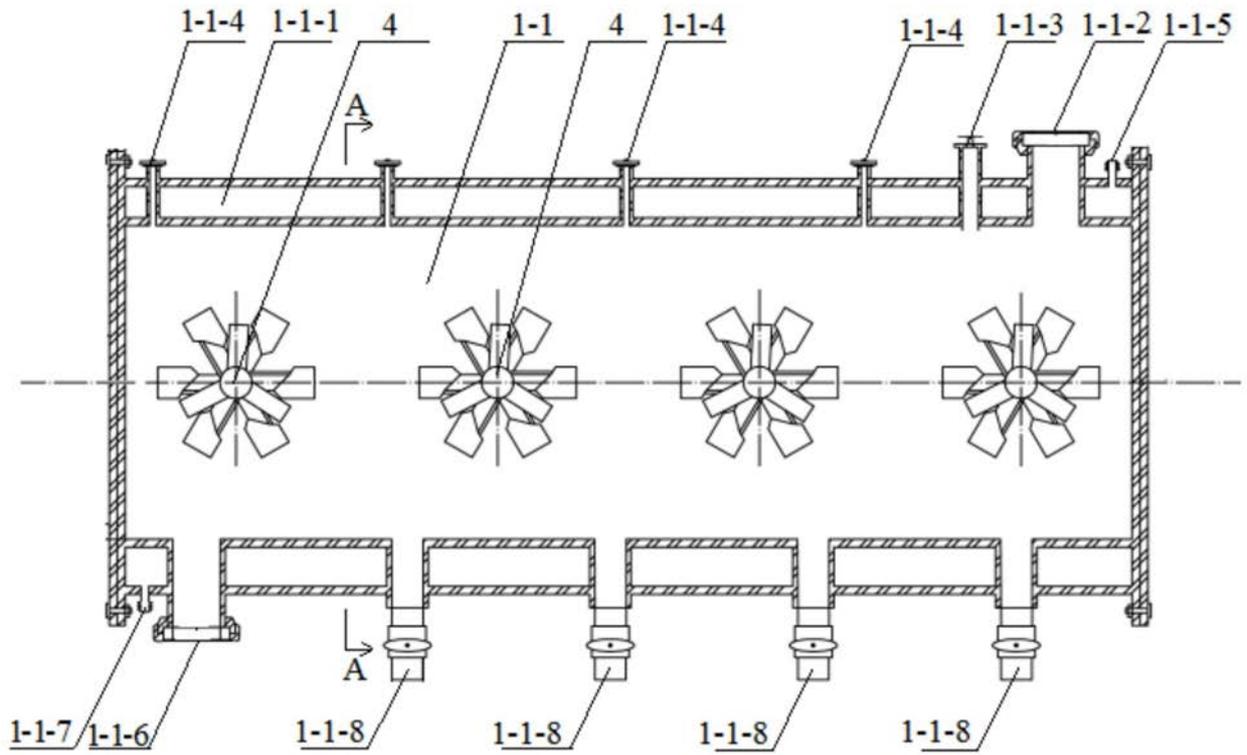


图2

A-A

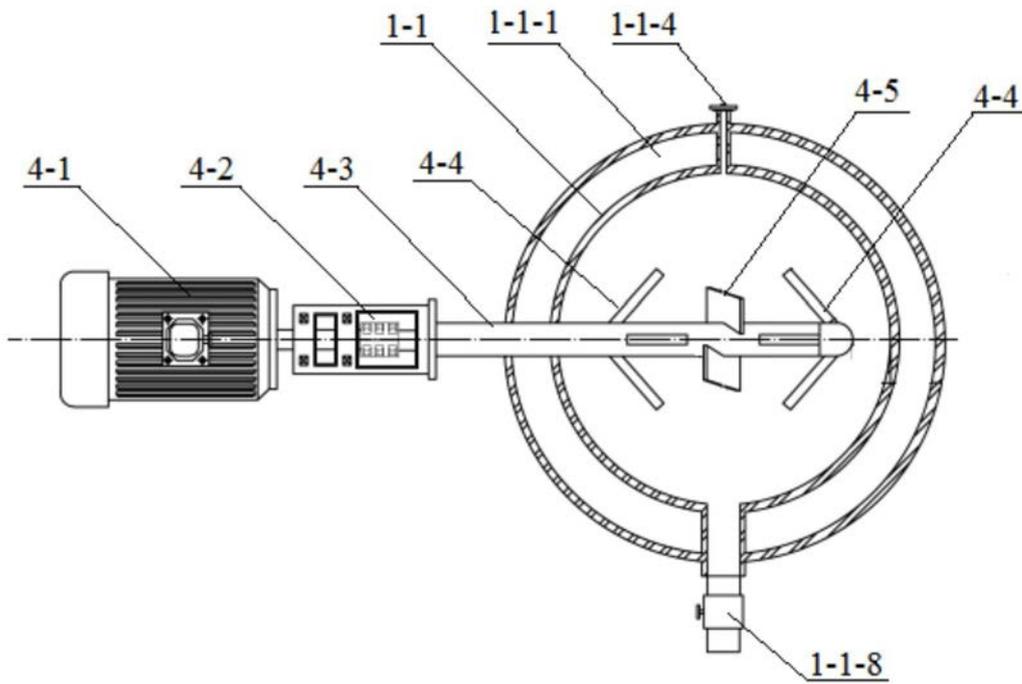


图3

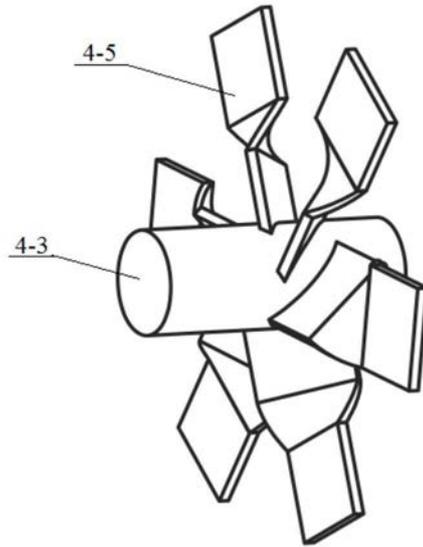


图4

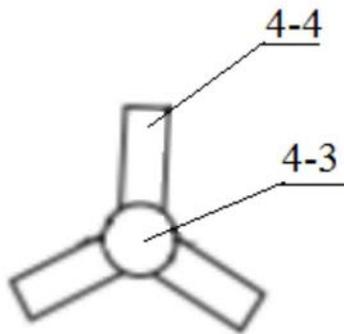


图5