(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108753609 A
(43)申请公布日 2018.11.06

(21)申请号 201810913137.4

(22)申请日 2018.08.13

(71)申请人 南昌大学
地址 330031 江西省南昌市红谷滩新区学府大道999号

(72)发明人 毛玉婷 刘国平 戴星照 陈葵 廖国朝 黄海琴 钱海燕

(74)专利代理机构 南昌新天下专利商标代理有限公司 36115
代理人 施秀瑾

(51)Int.Cl.
C12M 1/38(2006.01)
C12M 1/36(2006.01)
C12M 1/34(2006.01)
C12M 1/107(2006.01)
C12M 1/02(2006.01)
C12P 5/02(2006.01)

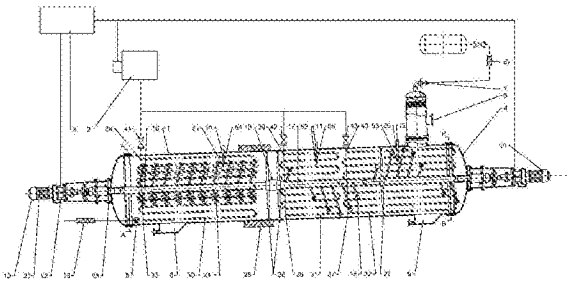
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及其产沼气方法

(57)摘要

一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及其产沼气方法，包括厌氧罐、搅拌装置、分段式温控系统、厌氧发酵传感器组件、自适应控制中心。厌氧罐是一个与水平地面呈5~8°倾角卧式摆放的圆柱形筒体；搅拌装置包括驱动机构、搅拌轴和搅拌桨；在厌氧罐外部缠绕加热盘管，按比例分成三段，通过独立的热水入口、热水供应阀和热水出口加热；厌氧发酵传感器组件包括三个温度传感器、三个pH传感器和一个沼气监测传感器；本发明使得厌氧水解、酸解与甲烷化形成了无分割的区域化反应，实现有序连续发酵反应；通过实时监测，可消纳不同物料，找到物料最优厌氧发酵条件和最短水力停留时间，提高了厌氧发酵罐的有机负载率，缩短了物料的水力停留时间。



CN 108753609 A

1.一体化三相干式厌氧发酵自适应设备，其特征是包括厌氧罐、搅拌装置、分段式温控系统、厌氧发酵传感器组件、自适应控制中心；

所述的厌氧罐是一个与水平地面呈5~8°倾角卧式摆放的圆柱形筒体，两端采用蝶形封头形成密封罐；厌氧罐的低端设置有进料口，高端设置有出料口和出气口，上部开三个检测口；厌氧罐内部安装卧式单轴机械搅拌装置；

所述的搅拌装置包括驱动机构、搅拌轴和搅拌桨；厌氧罐两端碟型封头上分别装有第一驱动机构与第二驱动机构，搅拌轴从低到高以2:3的比例分为第一段轴和第二段轴，中间采用滑动联轴器拼接，第一段轴与第二段轴分别在第一驱动机构与第二驱动机构的作用下同轴不同速搅拌；第一段轴上以120°间隔安装三叶桨，其桨叶为耙式桨，第二段轴上安装单叶桨，其桨叶为特型桨，所述特型桨沿着轴线方向螺旋状排列；耙式桨、特型桨与所述搅拌轴均呈75°夹角，对物料从前往后、从内向外推送；

所述的分段式温控系统，在厌氧罐外部缠绕加热盘管，盘管按照轴向2:1:2的比例分成三段，通过注入热水对厌氧罐加热，每段加热盘管均配置有独立的热水入口、热水供应阀和热水出口；

所述的厌氧发酵传感器组件包括三个温度传感器、三个pH传感器和一个沼气监测传感器，三段加热盘管区域都分别安装一个温度传感器和一个pH传感器，沼气监测传感器安装在沼气出气口外端；

所述的自适应控制中心连接进料泵、分段式温控系统、搅拌第一驱动机构和第二驱动机构，接收各类传感器的实时数据。

2.根据权利要求1所述的一体化三相干式厌氧发酵自适应设备，其特征是所述的第一段轴的搅拌桨叶长度与厌氧罐罐径比$d_1/D=0.9$，第二段轴的搅拌桨叶长度与厌氧罐罐径比$d_2/D=0.95$，两种搅拌桨顶部安装柔性刮板。

3.根据权利要求1所述的一体化三相干式厌氧发酵自适应设备，其特征是所述的第一段轴与第二段轴使用轴支架支撑。

4.权利要求1所述的一体化三相干式厌氧发酵自适应设备的产沼气方法，其特征是按如下步骤：

步骤1：将已预处理的有机固体废弃物通过进料泵从进料口泵入厌氧罐内，将60℃的热水注入分段式温控系统的加热盘管一、加热盘管二、加热盘管三，以10r/min启动第一驱动机构和第二驱动机构；

步骤2：当三处温度传感器一、温度传感器二、温度传感器三都达到35℃时，以约35℃的热水注入加热盘管一、加热盘管二、加热盘管三，对厌氧罐内的物料实施恒温控制，降低第一驱动机构和第二驱动机构的搅拌速率为4r/min；

步骤3：监测沼气产气速率，一旦厌氧消化进入产气高峰期，提升第一驱动机构速率10r/min对物料充分搅拌并将物料向产甲烷区缓慢推送，启动第二驱动机构，以每小时搅拌10min、3r/min的频率实施间歇搅拌；

步骤4：定期对厌氧罐内的物料进行补充，形成挤压式推送，从而实现连续厌氧发酵，提升第一驱动机构速率10r/min，在分段式温控系统的控制下对加热盘管一注入60℃的热水，对新鲜物料进行加温；

步骤5：监测产甲烷区的pH传感器二、pH传感器三和沼气监测传感器的变化值，如果pH<

6，则需提升第二驱动机构的搅拌速率8r/min，在分段式温控系统的控制下对加热盘管二控制温度为35℃，加热盘管三控制温度为42℃；

步骤6：发酵罐满负荷运行。

一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及其产沼气方法

技术领域

[0001] 本发明属于生物质能源利用和沼气技术领域，特别涉及一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及其产沼气方法，适用于处理固含量高、物料复杂的有机废弃物。

背景技术

[0002] 有机废弃物干式厌氧消化处理被公认为是一种安全、高效、环保的废物利用技术。该技术通过营造厌氧微生物的倍增环境，使得有机废弃物在上百种不同厌氧菌的作用下，依此经过水解、酸解、甲烷化过程分解为可被人类再利用的沼气和沼渣沼液。

[0003] 厌氧消化过程中，不同的厌氧菌之间既有互养性，也存在相互干扰、相互抑制的现象。而现有的厌氧消化处理技术只考虑了厌氧菌的互养性，多是单相厌氧发酵装备，即水解、酸解、甲烷化在各处同时发生，其技术难点在于水解和酸解所产生的有机酸过度累积，造成pH<6，而甲烷菌适宜生存的pH环境约为7.5，如若pH值降到5.5时，产甲烷菌将大量死亡，使得厌氧发酵过程中断。这是目前我国干式厌氧发酵无法广泛普及的一大瓶颈。

[0004] 现有的干式厌氧消化处理技术的缺点还包括：1.厌氧微生物的生化反应过程不可控，易形成反应不均衡现象，降低了设备的有机负荷率；2.由于产甲烷菌比其他厌氧菌对环境要求更高，未能对产甲烷菌的倍增环境进行单独考虑，致使沼气生成缓慢，水力停留时间长；3.忽略了厌氧微生物的群富集原理，降低了厌氧菌的活性，易出现厌氧菌之间相互抑制，从而使得整个厌氧消化过程不稳定，抗冲击能力差。

发明内容

[0005] 本发明的目的是依据厌氧微生物适宜的生存环境，通过搅拌、加热、实时监控的手段实现干式厌氧发酵稳定、高效运行，提出一套一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及其产沼气方法。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的。

[0007] 本发明所述的一体化三相干式厌氧发酵自适应设备，包括厌氧罐、搅拌装置、分段式温控系统、厌氧发酵传感器组件、自适应控制中心。

[0008] 本发明所述的厌氧罐是一个与水平地面呈5~8°倾角卧式摆放的圆柱形筒体，两端采用蝶形封头形成密封罐；厌氧罐的低端设置有进料口，高端设置有出料口和出气口，上部开三个检测口；厌氧罐内部安装卧式单轴机械搅拌装置。

[0009] 所述的搅拌装置包括驱动机构、搅拌轴和搅拌桨；厌氧罐两端碟型封头上分别装有第一驱动机构与第二驱动机构，搅拌轴从低到高以2:3的比例分为第一段轴和第二段轴，中间采用滑动联轴器拼接，第一段轴与第二段轴分别在第一驱动机构与第二驱动机构的作用下形成同轴不同速的搅拌效果；第一段轴上以120°间隔安装三叶桨，其桨叶为耙式桨，第二段轴上安装单叶桨，其桨叶为特型桨，所述特型桨沿着轴线方向螺旋状排列；耙式桨、特型桨与所述搅拌轴均呈75°夹角，从而对物料形成从前往后、从内向外的推送效果。

[0010] 所述的第一段轴的搅拌桨叶长度与厌氧罐罐径比$d_1/D=0.9$，第二段轴的搅拌桨叶

长度与厌氧罐罐径比$d_2/D=0.95$，两种搅拌桨顶部安装柔性刮板，不仅可以清洁厌氧罐内壁结垢，还可以提高低速搅拌作用下物料的径向交换。

[0011] 所述的第一段轴与第二段轴使用轴支架支撑，防止搅拌轴偏心下沉。

[0012] 所述的厌氧罐内温度为35-42℃，pH值保持在6.5~7.5之间，所述卧式厌氧罐进料为序批式进料。

[0013] 所述的分段式温控系统，在厌氧罐外部缠绕加热盘管，所述盘管按照轴向2:1:2的比例分成三段，通过注入热水对厌氧罐加热，每段加热盘管均配置有独立的热水入口、热水供应阀和热水出口。

[0014] 所述的厌氧发酵传感器组件包括三个温度传感器，三个pH传感器，一个沼气监测传感器。三段加热盘管区域都分别安装有一个温度传感器和一个pH传感器，三个温度传感器和三个pH传感器分别监测三段加热盘管对厌氧罐内部不同区域物料的加热情况和酸碱度变化。一个沼气监测传感器安装在沼气出气口外端。

[0015] 所述的自适应控制中心连接进料泵、分段式温控系统、搅拌第一驱动机构和第二驱动机构，通过接收各类传感器的实时数据对进料、温度和搅拌进行有效控制。

[0016] 本发明所述的一体化三相干式厌氧发酵自适应设备的产沼气方法，按如下步骤。

[0017] 步骤1：将已预处理的有机固体废弃物(破碎并混合接种了沼液，有机物碳氮比为25~30:1，TS浓度为20%)通过进料泵从进料口泵入厌氧罐内，将60℃的热水注入分段式温控系统的加热盘管一、加热盘管二、加热盘管三，以10r/min启动第一驱动机构和第二驱动机构，从而使得物料迅速升温，促进物料充分混合开始经历水解和酸解反应。

[0018] 步骤2：当三处温度传感器一、温度传感器二、温度传感器三都达到35℃时，以约35℃的热水注入加热盘管一、加热盘管二、加热盘管三，对厌氧罐内的物料实施恒温控制，降低第一驱动机构和第二驱动机构的搅拌速率为4r/min，以利于厌氧反应顺利启动。

[0019] 步骤3：监测沼气产气速率，一旦厌氧消化进入产气高峰期，提升第一驱动机构速率10r/min对物料充分搅拌并将物料向产甲烷区缓慢推送，启动第二驱动机构，以每小时搅拌10min、3r/min的频率实施间歇搅拌；

步骤4：定期对厌氧罐内的物料进行补充(每次进料量相当于厌氧罐体积的1/5)，形成挤压式推送，从而实现连续厌氧发酵，提升第一驱动机构速率10r/min，在分段式温控系统的控制下对加热盘管一注入60℃的热水，对新鲜物料进行加温。

[0020] 步骤5：监测产甲烷区的pH传感器二、pH传感器三和沼气监测传感器的变化值，如果pH<6，则需提升第二驱动机构的搅拌速率8r/min，在分段式温控系统的控制下对加热盘管二控制温度为35℃，加热盘管三控制温度为42℃。

[0021] 步骤6：发酵罐满负荷运行时，由于高粘度的物料流动性差，以及产甲烷区的重力和压力会使得水解区、酸化区和产甲烷区分化愈发明显，厌氧发酵装置的有机负荷率提升，物料的水力停留时间比启动阶段缩短到约15天。

[0022] 本发明的有益效果为：根据厌氧发酵微生物菌群的倍增条件，设计一套一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及产沼气方法。该设备按照厌氧消化过程的水解-酸解-甲烷化的次序，在结构上使得厌氧水解、酸解与甲烷化形成了没有分割的区域化反应，并设计了与之相对应的搅拌和分段式温控系统，为不同阶段的厌氧反应提供最适宜的环境，实现有序连续消化反应，符合厌氧菌(尤其是产甲烷菌)的群富集效应，不仅保持了不同厌氧菌的互

养性，还防止了有机酸过度累积对产甲烷菌的抑制作用。同时，该设备辅以温度、酸度、沼气产气速率的动态监测，能够及时掌握厌氧消化的过程，对进料、搅拌速率和加热采取有效控制和调节，使得各阶段的厌氧消化均衡反应，提高了厌氧发酵罐的有机负载率，缩短了物料的水力停留时间，不仅能及时避免厌氧发酵过程中的突发问题，还适用于消纳各类不同混合物料，找到物料最优厌氧发酵条件和最短水力停留时间。该系统操作灵活，适应广泛，制作工艺并不复杂。

附图说明

[0023] 图1为本发明实施例所提供的厌氧发酵自适应设备示意图。

[0024] 图2为本发明的耙型桨结构示意图。

[0025] 图3为图1-A向耙型桨剖面示意图。

[0026] 图4为本发明的特型桨结构示意图。

[0027] 图5为图1-B向特型桨剖面示意图。

[0028] 其中，1为厌氧罐、2为分段式温控系统、3为自适应控制中心、4为蝶型封头、5为进料口、6为出料口、7为出气口、8为排沙口一、9为排沙口二、10为检测孔一、11为检测孔二、12为检测孔三、13为进料泵、16为第一段轴、17为第二段轴、18为滑动联轴器、19为第一驱动机构、20为第二驱动机构、21为螺杆驱动机、22为减速机、23为轴封、24为耙式桨、25为特型桨、26为轴支架一、27为轴支架二、28为保温棉、30为加热盘管一、31为加热盘管二、32为加热盘管三、35为热水出口一、36为热水出口二、37为热水出口三、38为热水入口一、39为热水入口二、40为热水入口三、41为热水供应阀一、42为热水供应阀二、43为热水供应阀三、51为温度传感器一、52为温度传感器二、53为温度传感器三、54为pH传感器一、55为pH传感器二、56为pH传感器三、57为沼气监测传感器、60为轴向桨叶、61为径向桨叶、62为一字刮板、63为轴套、64为搅拌杆、65为挡板、66为三角刮板。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图及实施例对本发明的结构原理和工作原理作具体的描述。

[0030] 如图1所示，本发明实施例的一体化三相干式厌氧发酵自适应设备，是一种能够实时监测物料厌氧发酵状态，对进料、搅拌和加热进行控制，从而达到水解-酸解-甲烷化分区不分罐的一体化三相厌氧发酵。该设备包括厌氧罐、搅拌装置、分段式温控系统、厌氧发酵传感器组件、自适应控制中心。

[0031] 所述的厌氧罐1是一个与水平地面呈5°倾角卧式摆放的圆柱形筒体，两端采用蝶形封头4形成密封罐；厌氧罐的较低的一端设置有进料口5，较高的一端设置有出料口6和出气口7；所述厌氧罐1下部设置有排沙口一8，排沙口二9，上部开检测孔一10、检测孔二11、检测孔三12，用于放置温度传感器和pH传感器；所述厌氧罐1外部焊接加热盘管一30、加热盘管二31、加热盘管三32，通过注入不同温度的热水对厌氧罐1进行加热，热盘管一30、加热盘管二31、加热盘管三32的外层包裹一层保温棉28；所述厌氧罐1内部安装卧式单轴机械搅拌装置。

[0032] 如图1、2、3、4、5所示，本实施例中，所述搅拌装置包括搅拌轴、搅拌桨、驱动机构。

[0033] 所述的搅拌轴是置于厌氧罐1内的空心轴，轴径不小于150mm，采用10mm的合金钢

管制成;搅拌轴从低到高以2:3的比例分为第一段轴16和第二段轴17,中间采用滑动联轴器18拼接,第一段轴16与第二段轴17分别在第一驱动机构19与第二驱动机构20的作用下形成同轴不同速的搅拌效果;第一段轴16由轴支架一26支撑,第二段轴17由轴支架二27支撑,保护轴不发生偏心下沉,延长搅拌轴的使用寿命。

[0034] 所述的搅拌桨通过轴套63固定在每段搅拌轴上;第一段轴16上以120°间隔安装三片耙式桨24;第二段轴17上沿着轴线方向螺旋状排列安装特型桨25,相邻两根特型桨25之间夹角为30度;耙式桨24、特型桨25与搅拌轴呈75°夹角,从而对物料形成从前往后、从内向外的推送效果。

[0035] 所述的耙式桨24由轴向桨叶60、径向桨叶61、一字刮板62组成,所述径向桨叶61采用螺母固定在轴套63上,所述轴套63固定在第一段轴16上;所述径向桨叶61均匀焊制3根轴向桨叶60,顶部采用螺母安装一字刮板62,所述一字刮板62为四氟聚乙烯材料,具有一定的柔韧性,且防腐蚀。

[0036] 所述的特型桨25由搅拌杆64、挡板65、三角刮板66组成,所述搅拌杆64采用三根钢筋固定于轴套63上,所述轴套63固定在第二段轴17上;搅拌杆64下部装有梯形挡板65,当螺旋推进物料时,可使得轴心物料受到挤压从而向四周扩散,搅拌杆64顶部装三角刮板66,所述三角刮板66为四氟聚乙烯材料。

[0037] 所述的驱动机构由螺杆驱动机21、减速机22、和轴封23三个部分组成,搅拌驱动机构共有两个:第一驱动机构19和第二驱动机构20,分别安装在两个蝶形封头4上,第一驱动机构19带动第一段轴16旋转,第二驱动机构20带动第二段轴17旋转,第一段轴16与第二段轴17形成形成同轴不同速驱动,所述轴封23采用填料密封。

[0038] 如图1所示,分段式温控系统2采用加热盘管按照轴向2:1:2的比例分为加热盘管一30、加热盘管二31、加热盘管三32,每段加热盘管配置有独立的热水入口、热水供应阀和热水出口,热水供应阀安装在热水入口处:加热盘管一30配有热水入口一38、热水供应阀一41、热水出口一35;加热盘管二31配有热水入口二39、热水供应阀二42、热水出口二36;加热盘管三32配有热水入口三40、热水供应阀三43、热水出口三37。

[0039] 厌氧发酵传感器组件包括温度传感器一51、温度传感器二52、温度传感器三53、pH传感器一54、pH传感器二55、pH传感器三56、沼气监测传感器57;温度传感器一51和pH传感器一54通过检测孔一10置入厌氧罐1内,温度传感器二52和pH传感器二55通过检测孔二11置入厌氧罐1内,温度传感器三53和pH传感器三56通过检测孔三12置入罐内;沼气监测传感器57安装于沼气出气口7,上述各类传感器与检测仪通过无线传输方式将数据实时传送至自适应控制中心3。

[0040] 自适应控制中心3与第一驱动机构19、第二驱动机构20、分段式温控系统2、进料泵13连接,对实时收集的pH值、温度、沼气产气率进行分析,调节搅拌速率、加热盘管热水温度和进料量。

[0041] 该实施例的产沼气方法为。

[0042] 所厌氧罐1内的消化温度为35-42℃,pH值保持在6.5~7.5之间,所述厌氧罐1进料为序批式进料。

[0043] 混合有机废弃物经过预处理后,从进料口5通过进料泵13泵入厌氧罐1,在自适应控制中心3的控制下,第一驱动机构19和第二驱动机构20即开始对物料实施搅拌,根据温度

传感器一51、温度传感器二52、温度传感器三53、pH传感器一54、pH传感器二55、pH传感器三56、沼气监测传感器57的实时数据，第一驱动机构19和第二驱动机构20分别控制第一段轴16和第二段轴17的转速，自适应控制中心3控制分段式温控系统2的热水供应量及温度，使物料有序发生水解-酸解-甲烷化的生化反应。

[0044] 按照厌氧菌的聚合效应，物料在倾斜流态以及搅拌桨的推送作用下，形成较明显的分段厌氧生化反应区域，从进料口到出料口依此为水解区、产酸区和产甲烷区，各生化反应区在所述厌氧罐1中占比约为1:1:3。

[0045] 当设备满负荷运行时，每次进料量约为厌氧罐1体积的1/5，水解与酸解由耙式桨24搅拌，甲烷化由特型桨25搅拌，水解与酸解为中温发酵，甲烷化阶段在分段式温控系统2的控制下，前1/3部分为产气高峰期采用中温发酵，后2/3部分为产气稳定期采用高温发酵，从而保证甲烷化阶段与水解-酸解阶段的耗时能够保持同步。

[0046] 一体化三相干式厌氧发酵自适应设备及其产沼气步骤。

[0047] 步骤1：将已预处理的有机固体废弃物(破碎并混合接种了沼液，有机物碳氮比为25~30:1，TS浓度为20%)通过进料泵13从进料口5泵入厌氧罐1内，将60℃的热水注入分段式温控系统2的加热盘管一30、加热盘管二31、加热盘管三32，以10r/min启动第一驱动机构19和第二驱动机构20，从而使得物料迅速升温，促进物料充分混合开始经历水解和酸解反应。

[0048] 步骤2：当三处温度传感器一51、温度传感器二52、温度传感器三53都达到35℃时，以约35℃的热水注入加热盘管一30、加热盘管二31、加热盘管三32，对厌氧罐1内的物料实施恒温控制，降低第一驱动机构19和第二驱动机构20的搅拌速率为4r/min，以利于厌氧反应顺利启动。

[0049] 步骤3：监测沼气产气速率，一旦厌氧消化进入产气高峰期，提升第一驱动机构19速率10r/min对物料充分搅拌并将物料向产甲烷区缓慢推送，启动第二驱动机构20，以每小时搅拌10min、3r/min的频率实施间歇搅拌。

[0050] 步骤4：定期对厌氧罐1内的物料进行补充(每次进料量相当于厌氧罐1体积的1/5)，形成挤压式推送，从而实现连续厌氧发酵，提升第一驱动机构19速率10r/min，在分段式温控系统2的控制下对加热盘管一30注入60℃的热水，对新鲜物料进行加温。

[0051] 步骤5：监测产甲烷区的pH传感器二55、pH传感器三56和沼气监测传感器57的变化值，如果pH<6，则需提升第二驱动机构20的搅拌速率8r/min，在分段式温控系统2的控制下对加热盘管二31控制温度为35℃，加热盘管三32控制温度为42℃。

[0052] 步骤6：发酵罐满负荷运行时，由于高粘度的物料流动性差，以及产甲烷区的重力和压力会使得水解区、酸化区和产甲烷区分化愈发明显，厌氧发酵装置的有机负荷率提升，物料的水力停留时间比启动阶段缩短到约15天。

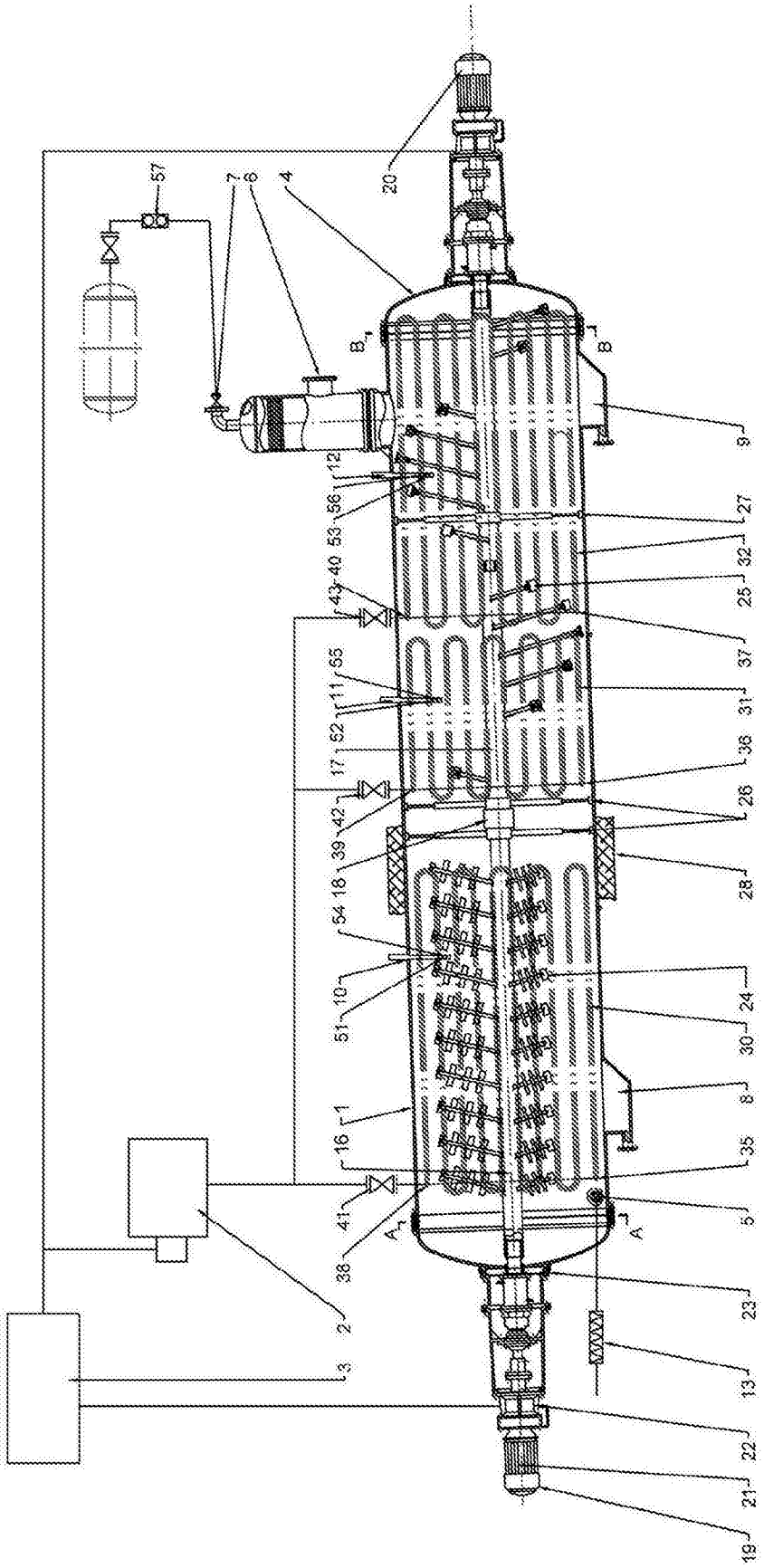

57
7
6
4
20
B
B
9
12
56
53
27
40
32
43
25
37
55
11
31
62
17
36
42
26
39
28
54
18
10
24
51
30
8
1
16
35
41
5
A
A
38
23
2
13
3
22
21
18

图1

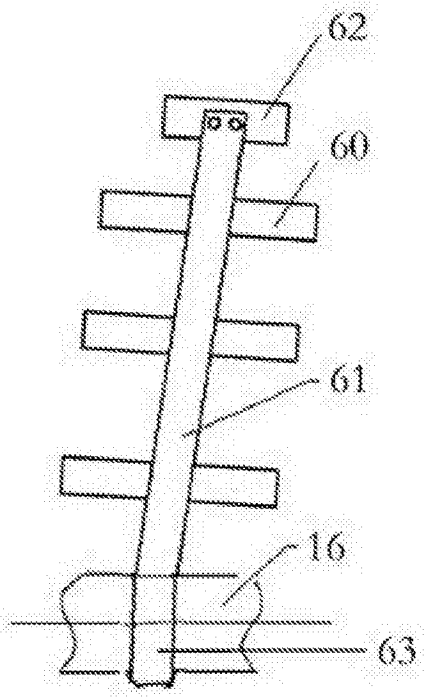


图2

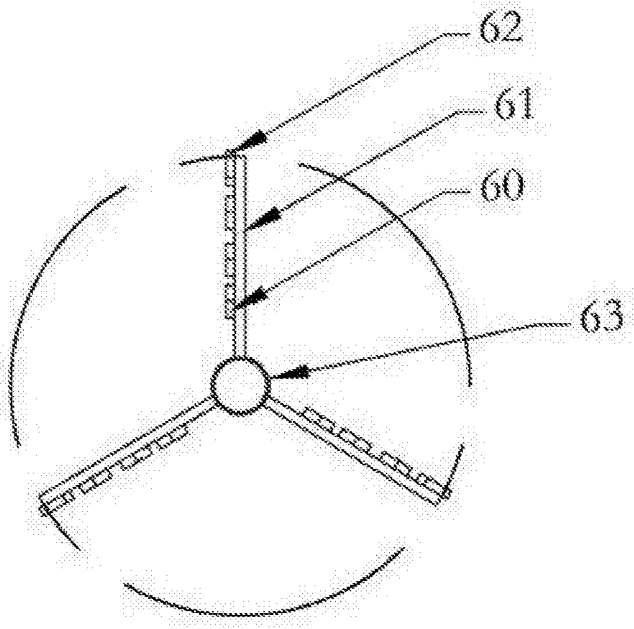


图3

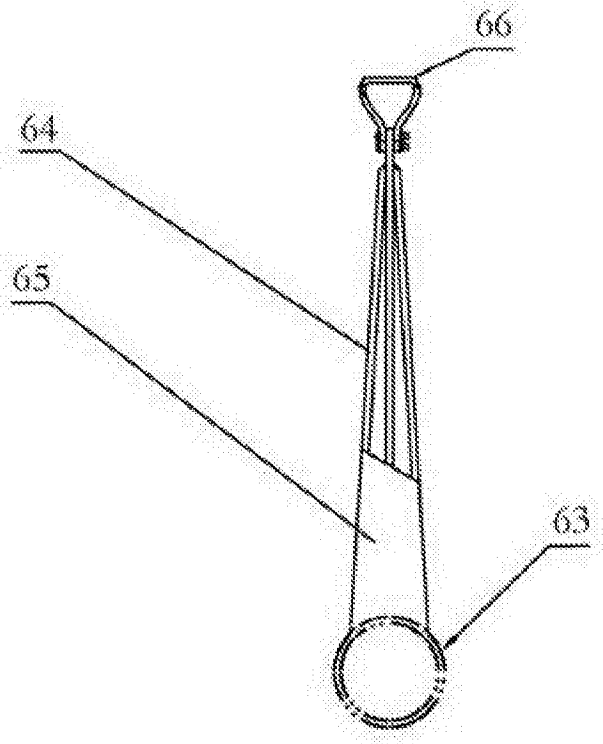


图4

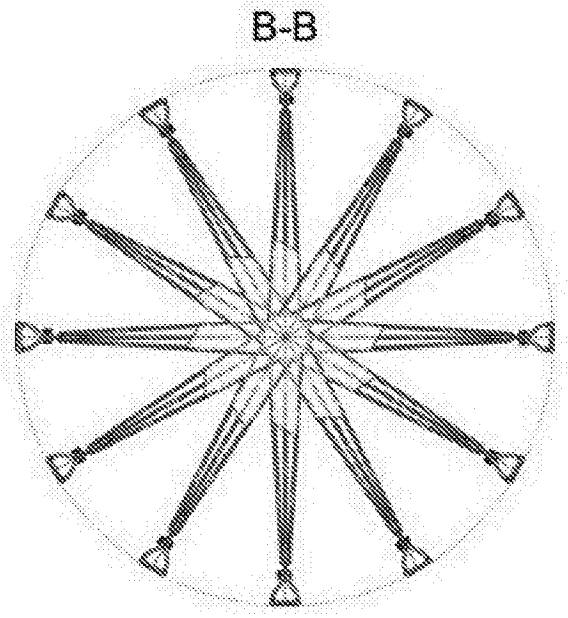


图5