



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103966078 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 02

(21) 申请号 201410191452. 2

CN 102219299 A, 2011. 10. 19, 全文 .

(22) 申请日 2014. 05. 08

CN 102790231 A, 2012. 11. 21, 全文 .

CN 1937297 A, 2007. 03. 28, 全文 .

(73) 专利权人 中国科学院成都生物研究所

地址 610041 四川省成都市武侯区成都市人
民南路四段九号中国科学院成都生物
研究所

审查员 吴漾

(72) 发明人 李大平 何晓红

(51) Int. Cl.

C12M 1/107(2006. 01)

C12P 3/00(2006. 01)

C12P 5/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202888321 U, 2013. 04. 17, 说明书第
8-23 段, 说明书附图 1.

CN 101958424 A, 2011. 01. 26, 说明书第
5-19 段, 说明书附图 1.

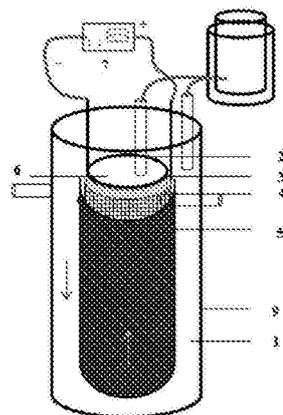
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置和方法, 装置包括厌氧氧化反应器、阴极、隔膜、阳极集流网、阳极、电源、外电路及气体储存罐; 阴极制作成闭合的结构, 阴极上部封闭, 下部开放; 阴极外侧包裹隔膜、阳极集流网和阳极, 阴极形成的内腔作为阴极室, 阴极和反应器形成的外腔作为阳极室, 阴极室下部和阳极室互通; 或者阴极内侧分别紧贴隔膜、阳极集流网和阳极, 形成的内腔作为阳极室, 阴极和反应器形成的外腔作为阴极室, 阳极室下部和阴极室互通; 阳极室接进水口, 阴极室接出水口; 阳极室和阴极室上部分别和气体储存罐相连接。



1. 一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置,其特征在于:所述装置包括厌氧氧化反应器(9)、阴极(2)、隔膜(3)、阳极集流网(4)、阳极(5)、外加电源(7)、外电路及气体储存罐(8);

阴极制作成闭合的结构,阴极上部封闭,下部开放;

阴极外侧包裹隔膜、阳极集流网和阳极,阴极形成的内腔作为阴极室(6),阴极和反应器形成的外腔作为阳极室(1),阴极室(6)下部和阳极室(1)互通;或者阴极内侧分别紧贴隔膜、阳极集流网和阳极,形成的内腔作为阳极室(1),阴极和反应器形成的外腔作为阴极室(6),阳极室(1)下部和阴极室(6)互通;

阳极室接进水口,阴极室接出水口;

阳极室和阴极室上部分别和气体储存罐相连接;

所述闭合阴极(2)、隔膜(3)、集流网(4)与阳极(5)构成的组合结构嵌入厌氧氧化反应器(9)内;

隔膜(3)采用无纺布、石棉纤维、离子交换膜或合成纤维材料制作;闭合阴极采用不锈钢、铁、铝、铜、铅或金属合金导电材料制作;金属或金属合金导电材料采用板、管、网管或丝网材料制作;阴极室(6)内填充不锈钢、铁、铜、镍或铅的金属丝、网,或者活性炭颗粒、无定型碳纤维填料构建三维阴极。

2. 根据权利要求1所述装置,其特征在于:阳极室(1)内填充不锈钢金属丝或网、活性炭颗粒、无定型碳纤维填料构建三维阳极。

3. 根据权利要求1所述装置,其特征在于:外加电源(7)可采用稳压电源或恒电位仪。

4. 一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的方法,其特征在于:利用权利要求1-3任一项所述的嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置,

首先在阳极和阴极附着相应的微生物菌群;

然后废水通过进水口进入厌氧氧化反应器的阳极室;

随后打开外加电源;

阳极材料上附着的微生物菌群对废弃物、废水进行厌氧氧化代谢,氧化产生的电子通过阳极集流网、外电路传入到反应器的阴极室,阳极室内同时进行发酵代谢并合成部分甲烷,阳极室内经氧化后的含大量质子的废水经底部通道进入阴极室内,部分质子也可经隔膜渗透到阴极室内;

传递到阴极的电子将阴极室内的质子还原为氢气,或经阴极表面附着的产甲烷微生物菌群的作用,直接得到电子,并将 CO_2 还原为甲烷;

最后,经处理后的废弃物、废水经阴极室上部排水孔排出,阳极室和阴极室产生的氢气和甲烷从上部排气孔排入储存罐。

5. 根据权利要求4所述方法,其特征在于:采用稳压电源外加电势时,阳极与阴极间的电势在100mv-2000mv之间。

6. 根据权利要求4所述方法,其特征在于:采用恒电位仪外加电势时,若通过控制阳极电势进行阴极产氢和甲烷,控制阳极电势在-400mv—+1200mv(VS. Ag/AgCl)之间;若控制阴极电势进行产氢和甲烷,控制阴极电势在-400mv—-1200mv(VS. Ag/AgCl)之间。

7. 根据权利要求4所述方法,其特征在于:在整个厌氧氧化过程中废水pH值控制在4到9之间。

一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于废弃物、废水资源化能源化利用技术领域,具体涉及一种嵌入式生物电解产氢和甲烷装置,及其利用废弃物、废水厌氧氧化产生的能量产生氢气和甲烷的方法。

技术背景

[0002] 工农业生产以及人民生活过程中,都会排放大量的含各种有机、无机还原性污染物的废弃物和废水。这些废弃物与废水中都蕴藏大量的以还原态物质形式的还原能,如来自自然界的纤维素、糖类、脂类、蛋白质、以及工业加工过程的石油、制药、化工、食品加工等排放的各类有机污染物、还包括氨氮、硫化物等无机污染物。

[0003] 这些废弃物、废水中的还原能,仅有部分生物质废弃物以及高浓度有机废水通过发酵产甲烷等生物质能源的形式回收其中的还原能。但生物发酵产生的甲烷与 CO_2 的混合气体—沼气,由于能量密度低,热值一般在 $21000\text{--}28000\text{KJ}/\text{m}^3$,只能应用于民用的炊事、取暖、照明以及发电等部分领域。甲烷作为微生物发酵的主要产物,在发酵过程中由于微生物自身的能量需求与平衡,有机碳源中的部分碳以 CO_2 的形式释放出来。传统的生物发酵依据有机碳源的不同,其产生的沼气甲烷体积分数在 $50\text{--}70\%$ 之间, CO_2 体积分数在 $30\text{--}50\%$ 之间。现有沼气提纯工艺包括加压水洗、变压吸附、化学吸收等,工艺不仅需增加额外的设备、而且费用较高(成本达 $0.18\text{--}0.7$ 美元/ m^3 甲烷),提纯过程中还有 $2\text{--}10\%$ 的甲烷逸散到空气中造成能量损失,并加重温室效应(IEA Bioenergy, 2009 :1-19)。

[0004] 除了甲烷发酵获取还原能的成熟技术外,绝大多数废弃物、废水主要通过终端处理手段,即通过好氧氧化为二氧化碳、水或无毒的氧化态物质。这些处理方法需要鼓风机曝气、生物转盘等提供大量氧气作为电子受体,氧化废水中的还原性物质,供氧费用占到废水生物处理成本的一大半。

[0005] 生物电化学系统可以通过微生物催化,分解废弃物、废水将电子传递给电极后,通过产电、产氢、有机物合成等方式回收其中的还原能。近年来,生物电化学系统已经成为国际生物能源领域研究的热点。目前,在产电微生物、胞外电子传递、电池结构、电极材料等研究领域已获得重大进展,有机碳的电子回收率高达 96.8% (AEM, 2003, 69, 1548 - 1555)。生物电解池已经大量被研究者用来进行电辅助生物产氢研究,在阴极材料研究方面,在外加电势 0.6V 条件下,不锈钢阴极产氢可以达到 $1.7\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ (电流密度 $188\text{A}/\text{m}^2$) (Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 2179 - 2183)。在传统双室 MEC 产氢基础上,单室无膜 MEC 产氢研究也取得大的进展,在外加电势 0.8V 条件下,单室无膜 MEC 产氢速率达到 $3.12\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ (电流密度达到 $292\text{A}/\text{m}^2$),电子回收率已达到 98% (Environ. Sci. Technol. 2008, 42, 3401 - 3406)。利用钛/钎合金的网板电极用于剩余活性污泥生物电解,在 1.4 和 1.8V 的外加电势下,氢和甲烷的产率比未加电势的厌氧发酵分别高出 $1.7\text{--}5.2$ 倍、 $11.4\text{--}13.6$ 倍 (International Journal of Hydrogen Energy, 2013, 38, 1342-1347)。目前,有关生物电解产氢的研究大多是在数毫升—数百毫升的规模上进行的。

[0006] 利用生物阴极的生物电化学系统还原二氧化碳来生产甲烷的研究已有报道

(W02009/155587A2)。该方法使用生物阴极作为催化剂,无需氢气及有机物的添加便可以合成甲烷。在生物阴极混合菌能够通过电极与微生物间的直接和间接电子传递同时合成甲烷、乙酸 (AEM, 2013, 78, 8412-8420, International Journal of Hydrogen Energy, 2013, 38-3497-3502)。至今,这些生物电合成的研究目前还停留在实验室水平。主要原因在于生物电合成系统基于传统的双室生物电解池的基本结构,尽管近年来在电池结构优化、离子交换膜、载铂电极催化等领域取得大的进展,但由于受制于材料成本、反应器结构强度、膜的气体渗透缺陷、能量转化效率等瓶颈。无论是 MFC 还是以 MEC 为基础的生物电合成系统难于放大和规模化应用。

发明内容

[0007] 为了解决现有废弃物、废水蕴藏的还原能没法获取、以及传统生物发酵沼气甲烷含量低、难于利用,废弃物、废水终端处理过程需要耗费大量能源的问题,以及现有生物电化学系统由于结构、材料限制难于放大等问题,本发明提供了一种嵌入式生物电解产氢、甲烷和沼气原位提纯装置及方法,通过该装置可将废弃物、废水的厌氧氧化与氢气、甲烷能源的生物合成偶联,并能够嵌入到现有废弃物、废水生物处理系统中,通过系统控制实现废弃物、废水的资源化与能源化利用。

[0008] 为达到上述发明目的,本发明采取了如下技术方案:

[0009] 一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置,包括厌氧氧化反应器 (9)、阴极 (2)、隔膜 (3)、阳极集流网 (4)、阳极 (5)、电源 (7)、外电路及气体储存罐 (8);

[0010] 阴极制作成闭合的结构,阴极上部封闭,下部开放;

[0011] 阴极外侧包裹隔膜、阳极集流网和阳极,阴极形成的内腔作为阴极室 (6),阴极和反应器形成的外腔作为阳极室 (1),阴极室 (6) 下部和阳极室 (1) 互通;或者阴极内侧分别紧贴隔膜、阳极集流网和阳极,形成的内腔作为阳极室 (1),阴极和反应器形成的外腔作为阴极室 (6),阳极室 (1) 下部和阴极室 (6) 互通;

[0012] 阳极室接进水口,阴极室接出水口;

[0013] 阳极室和阴极室上部分别和气体储存罐相连接;

[0014] 所述闭合阴极 (2)、隔膜 (3)、集流网 (4) 与阳极 (5) 构成的组合结构嵌入厌氧氧化反应器内。厌氧氧化反应器采用传统的生物处理构筑物或直接利用现有废水处理池。

[0015] 进一步,本发明所述装置,可以设置循环泵、搅拌设施,以避免废水的短路现象。

[0016] 进一步,根据厌氧反应器的体积以及废弃物、废水的处理负荷,一个废弃物和废水处理池 (罐) 中可嵌入一个到数百个由闭合阴极 (2)、隔膜 (3)、集流网 (4) 与阳极 (5) 构成的组合结构。

[0017] 进一步,本发明所述装置,既可是圆柱形结构也可是矩形结构或任意构型。

[0018] 进一步,所述隔膜 (3) 采用但不限于无纺布、石棉纤维、离子交换膜、合成纤维等材料制作。

[0019] 进一步,其闭合阴极 (2) 采用但不限于导电的不锈钢、铁、铝、铜、铅等金属或金属合金等导电材料制作。金属或金属合金导电材料采用但不限于板、管、网管或丝网等材料制作。

[0020] 进一步,其阴极室 (6) 内也可填充但不限于不锈钢、铁、铜、镍、铅等金属丝、网、活

性炭颗粒、无定型碳纤维等填料构建三维阴极。

[0021] 进一步,其位于隔膜(3)与阳极(5)之间的阳极集流网(4)采用但不限于不锈钢、钛、合金等金属导电丝网材料。

[0022] 进一步,其阳极(5)也可不利用集流网(4),直接与外电路连接。

[0023] 进一步,其阳极(5)采用但不限于碳毡、碳纸、碳布、无定型碳纤维、活性炭等碳素材料。

[0024] 进一步,其阳极室(1)内也可填充但不限于不锈钢等金属丝、网、活性炭颗粒、无定型碳纤维等电化学活性填料构建三维阳极。

[0025] 进一步,其外加电源(7)采用稳压电源或恒电位仪。

[0026] 本发明同时提供了一种利用所述嵌入式生物电解产氢和甲烷并进行沼气提纯的方法,主要利用生物电化学途径,通过外加电势,把废弃物、废水厌氧氧化,并将其中的还原能用于氢气、甲烷的合成,并通过补充的电能将 CO_2 还原为甲烷,提高沼气中甲烷的含量,达到提纯沼气的目的。

[0027] 首先在阳极和阴极附着相应的微生物菌群;

[0028] 然后废水通过进水口进入厌氧氧化反应器的阳极室;

[0029] 随后打开外加电源;

[0030] 阳极材料上附着的微生物菌群对废弃物、废水进行厌氧氧化代谢,氧化产生的电子通过阳极集流网、外电路传入到反应器的阴极室,阳极室内同时进行发酵代谢并合成部分甲烷,阳极室内经氧化后的含大量质子的废水经底部通道进入阴极室内,部分质子也可经隔膜渗透到阴极室内;

[0031] 传递到阴极的电子将阴极室内的质子还原为氢气,或经阴极表面附着的产甲烷微生物菌群的作用,直接得到电子,并将 CO_2 还原为甲烷;

[0032] 最后,经处理后的废弃物、废水经阴极室上部排水孔排出,阳极室和阴极室产生的氢气和甲烷从上部排气孔排入储存罐。

[0033] 本发明所述一种嵌入式生物电解产氢、甲烷和沼气原位提纯方法,根据废弃物、废水来源不同,厌氧反应器中附着的厌氧氧化的微生物菌群也不同,微生物菌群包括但不限于异养微生物菌群、自养微生物菌群等。

[0034] 本发明所述的异养微生物菌群包括但不限于 *Pseudomonas*, *klebsiella*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Bacillus brevis*, *Aeromonas*, *Comamonas*, *Geobacter*, *Shewanella* 等的一种或以上种类的任意组合。

[0035] 本发明所述的自养微生物菌群包括但不限于氨氧化菌群 *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrobacter*, *Nitrospira* 中的细菌等;自养硫杆菌群如硫杆菌属的 *Thiobacillusferrooxidans*, *Thiobacillusthiooxidans*, *Thiobacillusdenitrificans* 等;以及一些兼性自养的微生物菌群如 *Pseudomonas*, *Sulfolobus* 等中的一种或以上种类的任意组合。

[0036] 本发明所述合成甲烷的微生物菌群包括但不限于 *Methanobacterium*, *Methanocorpusculum*, *Methanococcus*, *Geobacter*, *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera*, *Methanomicrobium*, *Methanoculleus*, *Methanosarcina* 和 *Methanococcooides* 等中的一种或以上种类的任意组合。

[0037] 本发明所述嵌入式生物电解产氢、甲烷和沼气原位提纯方法,其还原能还来源于污染物或还原性物质的电化学催化氧化反应。通过电化学催化氧化的污染物包括但不限于含硫化物、氨氮的废水、含硫化氢、CO、二氧化硫的废气等还原性污染物质。

[0038] 进一步,根据污染物的来源和特征,外加电源可采用稳压电源或恒电位仪。采用稳压电源外加电势时,阳极与阴极间的电势在 100mv-2000mv 之间;采用恒电位仪外加电势时,若通过控制阳极电势进行阴极产氢和甲烷,控制阳极电势在 -400mv—+1200mv (VS. Ag/AgCl) 之间;采用恒电位仪外加电势时,若控制阴极电势进行产氢和甲烷,控制阴极电势在 -400mv—-1200mv (VS. Ag/AgCl) 之间。

[0039] 进一步,稳压电源或恒电位仪可为一个嵌入式生物电解产氢和甲烷装置外加电势,也可通过并联连接方式为两个或者更多个嵌入式生物电解产氢和甲烷装置外加电势。

[0040] 进一步,在整个厌氧氧化过程中废水 pH 值控制在 4 到 9 之间。

[0041] 与传统废水处理以及生物燃料电池、生物电解池相比,本发明具有如下优点:

[0042] (1) 本发明通过将生物电解反应器嵌入到现有废弃物、废水处理池系统内,即可将其中的还原能通过厌氧氧化与电子传递等方式用于合成氢气和甲烷,避免了还原能被氧气消耗。

[0043] (2) 本发明提供的嵌入式生物电解反应器,可有效解决中低浓度污染废水的还原能提取难题,在获取氢气、甲烷的同时,实现了废水的终端处理。

[0044] (3) 本发明提供的嵌入式生物电解反应器,与传统废弃物、高浓度有机废水生物发酵产沼气工艺及设施结合应用,可通过电能的输入,有效提高传统发酵沼气的纯度,降低 CO₂的含量,并实现了电能转化为化学能储存。

[0045] (4) 本发明提供的嵌入式生物电解反应器,通过对废弃物、废水的生物电解合成甲烷,避免了单独利用电能电解水合成有机化学品造成的阳极腐蚀难题。

[0046] (5) 本发明的嵌入式反应器可与现有废弃物、废水处理系统结合应用,与传统的双室生物电解池相比,在规模化放大和应用方面更加灵活。

[0047] (6) 与现有的单室生物电解产氢技术相比,本发明嵌入式生物电解反应器阴阳极室各为相对独立的环境,避免了反应器内因短路等造成氢气的再氧化而造成能量损失。

[0048] (7) 本发明嵌入式生物电解反应器阴阳极室底部联通,通过废弃物、废水在反应器内的流动,可避免传统双室生物电解池因离子交换膜的选择性透过特性带来的阴阳极室离子不平衡难题。

[0049] (8) 本发明嵌入式生物电解反应器阴极室采用金属管、网等金属导电材料作为阴极,并透过隔膜与阳极紧紧贴合在一起,较现有生物产氢电解池具有更小的极距,隔膜可采用价廉的无纺布、石棉纤维等,可大幅降低因使用离子交换膜带来的材料费用。金属管、网等阴极作为主体的反应器,其结构更利于放大。

[0050] 本发明可广泛应用于各类工业废水、生活废水以及剩余污泥以及其他农业、工业废弃物处理领域。

附图说明:

[0051] 图 1:闭合阴极作为阴极室的嵌入式生物电解产氢和甲烷装置结构示意图

[0052] 图 2:闭合阴极作为阳极室的嵌入式生物电解产氢和甲烷装置结构示意图

[0053] 其中：(1) 阳极室；(2) 阴极；(3) 隔膜；(4) 阳极集流网；(5) 阳极；(6) 阴极室；(7) 外加电源；(8) 气体储罐；(9) 厌氧氧化反应器。

具体实施方式

[0054] 下面结合实施例对本发明作进一步描述，但不限于下列实施例。

[0055] 实施例 1：嵌入式生物电解产氢和甲烷装置的构建

[0056] 装置由一个用于废弃物、废水厌氧氧化的反应器 (9)，不锈钢管制作的闭合阴极 (2)、隔膜 (3)、阳极集流网 (4)、阳极 (5)、电源 (7)、外电路及气体储存罐 (8) 构成。其中隔膜 (3) 采用无纺布，阳极集流网 (4) 采用不锈钢网，阳极 (5) 采用碳毡，电源 (7) 采用稳压电源。闭合阴极 (2)、隔膜 (3)、阳极集流网 (4) 与阳极 (5) 紧密贴合在一起，组合成一个相对独立的生物电解结构，嵌入到厌氧氧化反应器 (9) 中，阴极室 (6) 与厌氧氧化反应器 (9) 下部相通。

[0057] 根据嵌入式生物电解产氢、甲烷装置内废弃物与废水的流向，装置可分为两种：一种是由闭合阴极 (2)、隔膜 (3)、集流网 (4) 与阳极 (5) 构成的组合结构嵌入厌氧氧化反应器内，阴极外侧包裹隔膜、阳极集流网和阳极，形成的内腔作为阴极室 (6)，外腔作为阳极室 (1) (见附图 1)，废弃物与废水经进水口流入厌氧氧化反应器内的阳极室，向下流动，并经厌氧氧化后从结构下端开口流入内侧的阴极室，在阴极室内向上流动，并通过阴极室的出口直接排出装置。另一种是闭合阴极内侧分别紧贴隔膜、阳极集流网和阳极，形成的内腔作为阳极室 (1)，外腔作为阴极室 (6) (见图 2)，废弃物和废水经装置进水口直接进入内侧的阳极室，并向下流动，经厌氧氧化后通过下端开口流入到外侧的阴极室，在阴极室内向上流动，并经阴极室的出口直接排出装置。废弃物、废水中的还原能经厌氧氧化和生物电解，产生的氢气和甲烷通过气体排出口进入到气体储罐储存。

[0058] 实施例 2：嵌入式生物电解产氢和甲烷以及沼气提纯

[0059] (1) 装置的构建

[0060] 本实施例构建的嵌入式生物电解装置如附图 1 所示，主要包括一个由 PVC 塑料制作的废水厌氧氧化反应器 (9)，反应器 (9) 上部设进水口，由不锈钢管制作的阴极 (2)，隔膜 (3) 和阳极 (5) 组成的生物电解装置，嵌入到厌氧氧化反应器 (9) 中，闭合阴极构建的阴极室上部设置出水口，阴极室和阳极室顶部分别设置管道连接到气体储存罐 (8)。其中废水厌氧氧化反应器为圆柱形，高 230mm、外径 110mm、壁厚 4mm，总容积为 1800mL。由不锈钢管制作的阴极高 200mm、外径 50mm、壁厚 1mm。不锈钢管阴极外侧包裹 3 层无纺布，无纺布外侧包裹 200mm×160mm 的碳毡作为阳极。阴极、隔膜与阳极组合为一个独立的生物电解装置嵌入到厌氧氧化反应器 (9) 内，随后厌氧氧化反应器采用 PVC 塑料帽以及密封胶密封，厌氧氧化反应器内，不锈钢管内侧为阴极区，有效容积约 300mL，碳毡外侧为阳极区，有效容积为 1000mL。采用钛丝连接不锈钢管 (阴极) 和碳毡 (阳极)，采用稳压电源外加电势。在废水厌氧氧化过程中，通过蠕动泵对阴极室与阳极室内的废水进行循环。

[0061] (2) 人工配制废水组分

[0062]

组分	数量
NH ₄ Cl	0.25g
KCl	0.1g

NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	3.04g
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	10.92g
矿质元素溶液	10mL
维生素溶液	10mL
CH ₃ COONa	7g
蒸馏水	1L

[0063] 其中矿质元素溶液如下配制：

[0064]

组分	数量
氨基三乙酸	2.0g
MnSO ₄ ·H ₂ O	1.0g
Fe(SO ₄) ₂ (NH ₄) ₂ ·6H ₂ O	0.8g
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.2g
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.2mg
CuCl ₂ ·2H ₂ O	10mg
NiCl ₂ ·6H ₂ O	30mg
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	10mg
Na ₂ SeO ₄	20mg
Na ₂ WO ₄	20mg
蒸馏水	1L

[0065] 其中维生素溶液如下配制：

[0066]

组分	数量
维生素 H	2.0mg
维生素 B	2.0mg

[0067]

维生素 B ₆	10mg
维生素 B ₁	5.0mg
维生素 B ₂	5.0mg
烟酸	5.0mg
泛酸盐	5.0mg
维生素 B ₁₂	0.1mg
对氨基苯甲酸	5.0mg
硫辛酸	5.0mg
蒸馏水	1L

[0068] (3) 装置的启动

[0069] 将人工配制废水 1200mL 加入到厌氧氧化反应器中,加入 100mL 的城市污水处理厂厌氧污泥混合液作为接种物,通过稳压电源外加 0.4V 的电势,同时外电路链接 10Ω 的电阻,并利用数据采集器记录电阻两端电势的变化,同时设置不外加电势的对照,室温环境条件下运行。在启动过程中,定时采集废水样品,分析其中 COD 以及相关产物浓度的变化,当处理 COD 降解负荷达到 0.5g/L·d 以上,而收集的气体产物检测出氢气、甲烷浓度显著增高时,表明装置启动成功。

[0070] (4) 装置的运行

[0071] 将 1300mL 上述配制有机废水加入到厌氧氧化反应器中,按照启动过程中的条件和参数运行。定时采集水样和培养液分析 COD 降解情况,视 COD 降解情况定时更换新鲜废水。稳定运行 5 个批后,检测其中 1 个批次的废水 COD 降解以及氢气、甲烷的合成结果为:经 3 天的运行,厌氧氧化反应器进水 COD 浓度 7400mg/L,出水 COD 浓度降到 600mg/L,收集

发酵气体约 3.5L,其中甲烷含量占 65%,氢气约在运行 24h 浓度达到高峰,在气体组分中约占 20%,随着运行时间的延长以及气体产率的增加,氢气含量显著下降,在积累的气体中约占 1%。而未加电势的对照,经 3 天的运行,初始进水 COD 浓度 7400mg/L,经厌氧氧化后出水 COD 浓度降到 3000mg/L,收集发酵气体约 2.8L,其中甲烷含量占 40%,没有检测到氢气。上述结果表明,相对于不外加电势的对照,通过稳压电源外加 0.4V 的电势,经过 3 天的运行,COD 降解率从 54%增加到 92%,气体产量从 2.8L 增加到 3.5L,而气体中的甲烷含量从 40%增加到 65%。

[0072] 本发明的一种嵌入式生物电解产氢和甲烷的装置和方法已经通过具体的实例进行了描述,本领域技术人员可借鉴本发明内容,适当改变原料、工艺条件等环节来实现相应的其它目的,其相关改变都没有脱离本发明的内容,所有类似的替换和改动对于本领域技术人员来说是显而易见的,都被视为包括在本发明的范围之内。

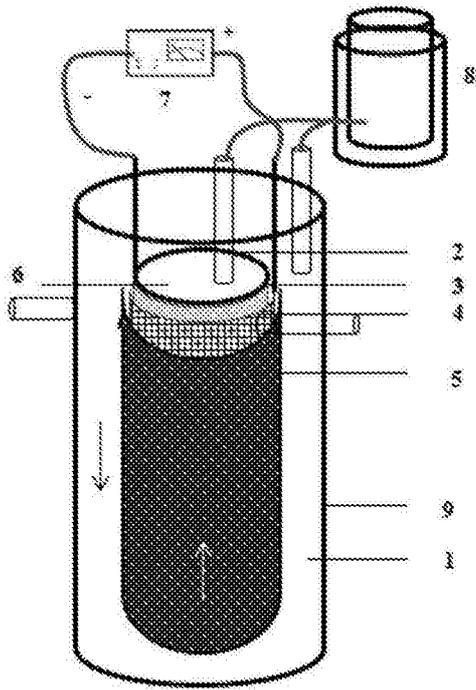


图 1

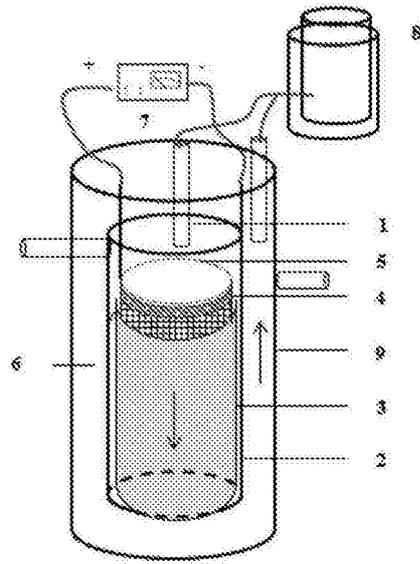


图 2