



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107287247 A

(43)申请公布日 2017. 10. 24

(21)申请号 201710598596.3

(22)申请日 2017.07.21

(71)申请人 河海大学

地址 211100 江苏省南京市江宁区佛城西路8号

(72)发明人 孙杏 胡凯 陈卫 贾硕秋

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

代理人 董建林 严晓彪

(51)Int.Cl.

C12P 3/00(2006.01)

C02F 11/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页

### (54)发明名称

升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法

### (57)摘要

本发明公开了升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法,包括以下步骤:以其他厌氧反应器的厌氧污泥为接种污泥,以污水厂剩余污泥为底物,启动UASB反应器;以污水厂剩余污泥为接种物,利用双室MFC富集阳极产电菌;将富集产电菌的阳极转移至MEC,作为MEC反应器的阳极;将剩余污泥饲入启动好的UASB反应器,使其与反应区内各层颗粒污泥中的发酵微生物充分接触,进行厌氧发酵产酸反应;将上述发酵产酸后的剩余污泥转移到微生物电解池(MEC)中进行常温产氢。本发明通过联用两种技术,实现了剩余污泥稳定与资源化,解决厌氧消化技术能源回收效率低、有机质利用率低的问题。

1. 升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1、以其他厌氧反应器的厌氧污泥为接种污泥, 以污水厂剩余污泥为底物, 启动UASB反应器;

S2、以污水厂剩余污泥为接种物, 利用双室MFC富集阳极产电菌; 将富集产电菌的阳极转移至MEC, 作为MEC反应器的阳极;

S3、将剩余污泥饲入启动好的UASB反应器, 使其与反应区内各层颗粒污泥中的发酵微生物充分接触, 进行厌氧发酵产酸反应;

S4、将上述发酵产酸后的剩余污泥转移到微生物电解池 (MEC) 中进行常温产氢。

2. 根据权利要求1所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤S1中的启动UASB反应器的过程为:

以葡萄糖、氮、磷及微量元素配制的营养液为基质, 以其他厌氧反应器中的厌氧污泥为接种污泥; 在基质中逐渐增加剩余污泥的比重, 直到基质全部变为剩余污泥, 完成对颗粒污泥中厌氧微生物的驯化。

3. 根据权利要求1所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤S2中的利用双室MFC富集阳极产电菌的过程为:

A1、将浓度为3.1~6.4g/L的接种物与溶液A混合得到溶液B;

A2、将溶液B加入双室MFC阳极室, 将溶液C加入双室MFC阴极室; 在20~25℃室温下启动MFC, 当MFC电压值趋于稳定时, 更换溶液B和溶液C, 完成一个操作周期;

A3、重复上述步骤完成3个操作周期, 完成阳极产电菌的富集。

4. 根据权利要求1所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤S3中UASB反应器的运行参数为: 反应温度为35℃、pH值为5、有机负荷2~5kgCOD/m<sup>3</sup>·d、HRT为26h、SRT为8d、ORP-300~-200mV、进料C/N为160~250。

5. 根据权利要求1所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤S4中微生物电解池常温产氢的过程为:

B1、单室MEC反应器中依次加入: 混合液D、微量元素溶液E和维生素溶液F;

B2、在MEC两极间串联电阻, 施加0.8V的外加电压, 在此电压基础上, 添加50mmol/L的外源海藻糖优化MEC, 利用发酵产酸后的剩余污泥为底物常温运行, 完成常温产氢。

6. 根据权利要求1所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤S2中阳极均为石墨纤维刷, 阴极为碳布; 使用前, 石墨纤维刷和碳布依次在丙酮、乙醇和纯水中超声清洗10min, 然后在450℃下高温处理30min。

7. 根据权利要求3所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤A1中接种物与溶液A的体积比为1:2。

8. 根据权利要求3所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤A1中溶液A的成分为每升去离子水中包含: NaAc 1.5g、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2.4145g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O 7.3539g、NH<sub>4</sub>Cl 0.31g、KCl 0.13g;

溶液C的成分为每升去离子水中包含: KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2.4145g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O 7.3539g、NH<sub>4</sub>Cl 0.31g、KCl 0.13g。

9. 根据权利要求5所述的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法, 其特征在于, 所述步骤B1中微量元素溶液E成分为每升去离子水中包含: 三乙酸 1.5g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3.0g、 $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.5g、NaCl 1.0g、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.1g、 $\text{CoCl}_2$  0.1g、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.1g、 $\text{ZnSO}_4$  0.1g、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.01g、 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$  0.01g、 $\text{H}_3\text{BO}_3$  0.01g、 $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0.025g、 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.024g;

维生素溶液F成分为每升去离子水中包含: 生物素2mg、叶酸2mg、维生素B6 10mg、维生素B1 5mg、维生素B2 5mg、烟酸5mg、泛酸钙5mg、维生素B12 0.1mg、4-氨基苯甲酸5mg、硫辛酸5mg。

## 升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用剩余污泥产氢的方法,具体涉及一种升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法。

### 背景技术

[0002] 剩余污泥是污水处理的副产物,含水率约为98%–99%,包含泥沙、纤维、胶体、有机物、微生物和金属元素等。污泥中的有机物,不仅浓度高、不易降解,且含有较多的病原微生物,会对水体和土壤造成污染。因此,剩余污泥的稳定是污泥处理的主要目标。

[0003] 目前常用的剩余污泥稳定方法是厌氧消化,但是厌氧消化有启动时间长、反应速度慢、占地面积大等缺点。氢气因热值高、碳中性等优点是一种清洁能源,利用剩余污泥产氢气或者甲烷,对实现剩余污泥稳定与资源化具有重要意义。但是,厌氧发酵只在中温或高温的环境条件下才产生较好的效果,在实际运行和维护过程中,维持中温或高温增加产氢成本。

[0004] 为改善污泥厌氧消化性能,突破热力学壁垒,提高产氢效率,降低产氢成本,就需要对传统的污泥厌氧消化工艺进行改进。

### 发明内容

[0005] 为解决现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法。

[0006] 为了实现上述目标,本发明采用如下的技术方案:

[0007] 升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法,包括以下步骤:

[0008] S1、以其他厌氧反应器的厌氧污泥为接种污泥,以污水厂剩余污泥为底物,启动UASB反应器;

[0009] S2、以污水厂剩余污泥为接种物,利用双室MFC富集阳极产电菌;将富集产电菌的阳极转移至MEC,作为MEC反应器的阳极;

[0010] S3、将剩余污泥饲入启动好的UASB反应器的反应区,使剩余污泥与反应区内各层颗粒污泥中的发酵微生物充分接触,进行厌氧发酵产酸反应;

[0011] S4、将上述发酵产酸后的剩余污泥转移到微生物电解池(MEC)中进行常温产氢。

[0012] 上述步骤S1中的启动UASB反应器的过程为:

[0013] 以葡萄糖、氮、磷及微量元素配制的营养液为基质,以其他厌氧反应器中的厌氧污泥为接种污泥;在基质中逐渐增加剩余污泥的比重,直到基质全部变为剩余污泥,完成对颗粒污泥中厌氧微生物的驯化。

[0014] 上述步骤S2中的利用双室MFC富集阳极产电菌的过程为:

[0015] A1、将浓度为3.1–6.4g/L的接种物与溶液A混合得到溶液B;

[0016] A2、将溶液B加入双室MFC阳极室,将溶液C加入双室MFC阴极室;在20~25℃室温下启动MFC,当MFC电压值趋于稳定时,更换溶液B和溶液C,完成一个操作周期;

[0017] A3、重复上述步骤完成3个操作周期,完成阳极产电菌的富集。

[0018] 上述步骤S3中UASB反应器的运行参数为:反应温度为35℃、pH值为5、有机负荷2~5kgCOD/m<sup>3</sup>·d、HRT为26h、SRT为8d、ORP-300~-200mV、进料C/N为160~250。

[0019] 温度对厌氧微生物的生长和代谢速率有较大的影响,一般来说产酸细菌的最佳工作温度为35℃,当温度低于25℃时,产酸速率比较低,20℃以下产酸速率将降低50%以上;水解发酵细菌及产氢产乙酸菌对pH的适应范围大致为5~6.5。pH值还能够影响发酵产酸的类型,在正常厌氧条件下(ORP在-150~-400mV)范围内,

[0020] pH值在4.0~4.5主要为乙醇型发酵;

[0021] pH值在4.5~5.0主要为丁酸型发酵,也可伴随乙醇型发酵;

[0022] pH值在5.0左右时为混合型发酵;

[0023] pH值在5.5左右为丙酸型发酵;

[0024] pH值在6.0以上主要为丁酸型发酵;

[0025] HRT在30h左右时,UASB反应器中VFAs、SCOD比产率都达到最大值,继续增加HRT,VFAs和SCOD产率因VSS的减少而下降;

[0026] 当SRT<8d时,反应器主要表现为酸化特征,当SRT>8d时反应器则表现出产甲烷特征;

[0027] ORP在一定程度上影响发酵类型和产酸细菌的活性,一般认为-200~-300mV是产酸细菌的最佳ORP范围,

[0028] 当ORP在-400~-200mV时,以乙醇型和丁酸型发酵为主,

[0029] 当ORP在-250~+100mV条件下,厌氧发酵则主要表现为丙酸型;

[0030] 当C/N提高到156~256时,VFAs、H<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的增长速率迅速提高,同时通过控制初始C/N能够实现不同的发酵产酸类型,

[0031] 当初始C/N在12~44时形成的是乙酸型发酵类型,

[0032] 当初始C/N在56~69之间时,可实现丙酸型发酵类型,

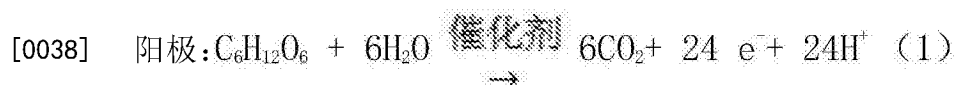
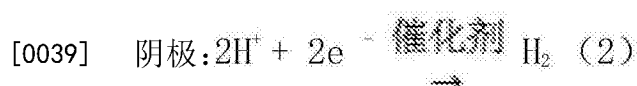
[0033] 而当C/N在156~256之间时,则形成丁酸型发酵;

[0034] 上述步骤S4中微生物电解池常温产氢的过程为:

[0035] B1、单室MEC反应器中依次加入:混合液D、微量元素溶液E和维生素溶液 F;

[0036] B2、在MEC两极间串联电阻,施加0.8V的外加电压,在此电压基础上,添加50mmol/L的外源海藻糖优化MEC,利用发酵产酸后的剩余污泥(污泥消化液)为底物完成常温产氢。

[0037] MEC阳极微生物将剩余污泥中溶出的底物氧化,产生氢离子和电子,所产生的电子通过介体或者微生物自身的呼吸链传递到MEC的阳极,并由外电路经导线传至MEC的阴极,氢离子则通过质子交换膜或者直接传递到阴极。在较低电压的电源作用下阴极室中的氢离子接受电子,生成氢气在阳极室。以葡萄糖为例,反应方程式如下:



[0040] 总反应:  $C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \xrightarrow{\text{催化剂}} 6CO_2 + 12H_2$  (3)

[0041] 溶液E和F的作用是提供微生物生长所需的微量元素。

[0042] 进一步的,上述步骤S2中阳极均为石墨纤维刷电极,阴极为不防水的碳布电极;使用前,石墨纤维刷电极和碳布电极依次在丙酮、乙醇和纯水中超声清洗10min,然后在450℃下高温处理30min。

[0043] 进一步的,上述步骤A1中接种物与溶液A的体积比为1:2。

[0044] 进一步的,述步骤A1中溶液A的成分为每升去离子水中包含:NaAc 1.5g、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2.4145g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> • 3H<sub>2</sub>O 7.3539g、NH<sub>4</sub>Cl 0.31g、KCl 0.13g;

[0045] 溶液C的成分为每升去离子水中包含:KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2.4145g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> • 3H<sub>2</sub>O 7.3539g、NH<sub>4</sub>Cl 0.31g、KCl 0.13g。

[0046] 进一步的,述步骤B1中微量元素溶液E成分为每升去离子水中包含:三乙酸1.5g、MgSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O 3.0g、MnSO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O 0.5g、NaCl 1.0g、FeSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O 0.1g、CoCl<sub>2</sub> 0.1g、CaCl<sub>2</sub> • 2H<sub>2</sub>O 0.1g、ZnSO<sub>4</sub> 0.1g、CuSO<sub>4</sub> • 5H<sub>2</sub>O 0.01g、AlK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0.01g、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.01g、Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> 0.025g、NiCl • 6H<sub>2</sub>O 0.024g;

[0047] 维生素溶液F成分为每升去离子水中包含:生物素2mg、叶酸2mg、维生素B<sub>6</sub> 10mg、维生素B<sub>1</sub> 5mg、维生素B<sub>2</sub> 5mg、烟酸5mg、泛酸钙5mg、维生素B<sub>12</sub> 0.1mg、4-氨基苯甲酸5mg、硫辛酸5mg。

[0048] 本发明的有益之处在于:

[0049] 本方法提出了一种升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法,将剩余污泥厌氧消化控制在发酵产酸阶段,使发酵产酸的最终产物,如VFAs、醇类、多糖、氨基酸等作为MEC的底物实现常温产氢。

[0050] MEC能在常温下利用剩余污泥中的各种有机质产氢,并且MEC可利用的底物范围非常广,从VFAs、多糖和蛋白质到纤维素都可以作为MEC的碳源。

[0051] 与现有技术相比,本发明提供的升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法,通过将MEC置于厌氧消化反应器的后端,使二者形成一个可阶梯利用剩余污泥中各种有机物的强化产氢体系;

[0052] 通过污泥有机物的梯级利用,实现剩余污泥产氢的效率最大化。污泥中的有机物或者难以被MEC直接利用,或者因为污泥水解速率较慢使得MEC降解污泥的效率不高。

[0053] 为此,本发明方案采用厌氧发酵产酸与微生物电解池联用技术,在此技术条件下,剩余污泥厌氧发酵产酸产生的小分子有机酸(乙酸、丁酸等挥发性脂肪酸)易于被微生物电解池利用,且产酸发酵后的剩余污泥仍可以继续被微生物电解池利用。因此,两种技术的联用,不仅使得污泥有机物的降解率增加,而且使得微生物电解池的产氢效率得到了提高;

[0054] 在450℃高温条件下处理石墨纤维刷电极和碳布电极30min,增加了电极表面的粗糙度和表面积,有利于阳极产电菌的附着和阴极催化剂的涂覆。

[0055] 本方法成功实现了城镇污水厂剩余污泥稳定化、减量化和资源化,具有很强的实用性和广泛的适用性。

## 具体实施方式

[0056] 以下结合具体实施例对本发明作具体的介绍。

[0057] 一种升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的方法,包括如下步骤:

[0058] 步骤一、以其他厌氧反应器的厌氧污泥为接种污泥,启动UASB反应器;

[0059] 启动过程为:首先,以葡萄糖、氮、磷及微量元素配制的营养液为基质,以其他厌氧反应器中的厌氧污泥为接种物;在培养基质中逐渐增加剩余污泥的比重,直到基质全部变为剩余污泥,完成对颗粒污泥中厌氧微生物的驯化。

[0060] 步骤二、利用双室MFC富集阳极产电菌;

[0061] 富集过程为:将浓度为3.1~6.4g/L的剩余污泥(接种物)与溶液A按1:2的体积比混合得到溶液B,溶液B加入双室MFC阳极室,将溶液C加入双室MFC阴极室;在20~25℃室温下启动MFC,当MFC电压值趋于稳定时,更换溶液B和溶液C,从而完成一个操作周期。

[0062] MFC的MFC电压值稳定3次,即3个操作周期,则完成阳极产电菌的富集。

[0063] 将此阳极转移至MEC,作为MEC反应器的阳极。

[0064] 此处,剩余污泥作为接种物,用于定向筛选并富集产电菌;溶液A提供富集培养阶段的底物;溶液C是缓冲溶液。产电菌在厌氧环境下利用有机物维持生长,并氧化有机物将产生的电子传递到电极上,以电极为最终电子受体。在阳极上形成生物膜,并通过膜的导电性将电子传递到阳极上。该生物膜微生物多样性丰富,微生物相复杂,有多种微生物富集生长在膜上。然而,MFC阳极生物膜表面占优势的细菌未必都是产电细菌,其中相对较多的是些发酵细菌、产酸细菌等,它们起到初步降解水中有机物的作用,为产电细菌产电提供合适的基质。

[0065] 步骤三、以剩余污泥为底物,运行UASB反应器;

[0066] 运行参数为:反应器温度35℃、反应器pH=5、有机负荷2~5kgCOD/m<sup>3</sup>·d、HRT为26h、SRT为8d、ORP为-300~-200mV、进料C/N为160~250。

[0067] 将剩余污泥控制在发酵产酸阶段,将剩余污泥从步骤一启动好的UASB反应器底部的进口进入反应区,使底物与反应区内各层颗粒污泥中的发酵微生物充分接触,进行厌氧反应。

[0068] 将剩余污泥的厌氧消化控制为丁酸型发酵,且发酵产物以丁酸、丙酸、乙醇为主,这些发酵产物以及发酵后的剩余污泥都可以作为MEC反应器的底物,被产电菌利用。

[0069] 步骤四、将发酵产酸后的产物转移到微生物电解池中进行常温产氢;

[0070] 产氢过程为:MEC反应器的阳极为步骤二的MFC阳极,MEC反应器的阴极为载铂碳布;单室MEC反应器中依次加入混合液D、微量元素溶液E和维生素溶液F;在MEC两极间串联电阻,施加0.8V的外加电压。

[0071] MEC阳极微生物将剩余污泥中溶出的底物氧化,产生氢离子和电子,所产生的电子通过介体或者微生物自身的呼吸链传递到MEC的阳极,并由外电路经导线传至MEC的阴极,氢离子则通过质子交换膜或者直接传递到阴极。在较低电压的电源作用下阴极室中的氢离子接受电子,生成氢气在阳极室。

[0072] 以葡萄糖为例,反应方程式如下:

[0073] 阳极:
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} 6\text{CO}_2 + 24\text{e}^- + 24\text{H}^+ \quad (1)$$

[0074] 阴极:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{H}_2$  (2)

[0075] 总反应:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{催化剂}} 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2$  (3)

[0076] 溶液E和F的作用是提供微生物生长所需的微量元素。

[0077] 其中,步骤二和步骤四的阳极均为石墨纤维刷,阴极为碳布;使用前,石墨纤维刷和碳布依次在丙酮、乙醇和纯水中超声清洗10min,然后在450℃下高温处理30min。

[0078] 溶液A成分为每升去离子水中包含:NaAc 1.5g、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2.4145g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  7.3539g、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  0.31g、KCl 0.13g;溶液C成分为每升去离子水中包含: $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2.4145g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  7.3539g、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  0.31g、KCl 0.13g;

[0079] 微量元素溶液E成分为每升去离子水中包含:三乙酸1.5g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3.0g、 $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.5g、NaCl 1.0g、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.1g、 $\text{CoCl}_2$  0.1g、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.1g、 $\text{ZnSO}_4$  0.1g、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.01g、 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$  0.01g、 $\text{H}_3\text{BO}_3$  0.01g、 $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0.025g、 $\text{NiCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.024g;

[0080] 维生素溶液F成分为每升去离子水中包含:生物素2mg、叶酸2mg、维生素B<sub>6</sub> 10mg、维生素B<sub>1</sub> 5mg、维生素B<sub>2</sub> 5mg、烟酸5mg、泛酸钙5mg、维生素B<sub>12</sub> 0.1mg、4-氨基苯甲酸5mg、硫辛酸5mg。

[0081] 实施例:

[0082] 升流式厌氧污泥床与微生物电解池串联阶梯利用剩余污泥产氢的实施例如下:

[0083] 某污水处理厂剩余污泥的SS 7.51g/L,VSS 5.16g/L,TCOD 8774mg/L,SCOD 46mg/L,蛋白质3mg/L,总糖4mg/L,核酸4mg/L,氨氮81mg/L。

[0084] 在UASB中,恒温35℃,控制反应器pH为5,有机负荷为2~5kgCOD/m<sup>3</sup>·d,HRT为26h,SRT为8d,ORP为-300~-200mV,C/N为160~250。

[0085] 发酵产酸后的剩余污泥中蛋白质的利用率为54.93%,总糖的利用率为39.11%,总VFAs达到最大值时的时间3d,最大量为1383.05mgCOD/L,其产酸率为197.55mgCOD/gVSS。

[0086] 在MEC两极间串联电阻,施加0.8V的外加电压,在此电压基础上将温度控制在4~9℃,并且添加50mmol/L的外源海藻糖,优化MEC利用发酵产酸后的剩余污泥为底物常温运行效能完成产氢,SCOD去除效率为40.45%,氢气产率为0.084gH<sub>2</sub>/gSCOD,库仑效率56.46%,氢气体积75.37mL,产氢速率0.45m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>reactor/d,能量效率211.01%。

[0087] 有机物利用顺序为乙酸>蛋白质>丙酸>丁酸>戊酸>多糖。

[0088] 因此,将MEC置于厌氧消化反应器的后端,使二者形成一个可阶梯利用各种有机物的强化产氢体系,对于发酵产物的进一步利用与发酵产物的进一步转化有着积极的意义。

[0089] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和优点。本行业的技术人员应该了解,上述实施例不以任何形式限制本发明,凡采用等同替换或等效变换的方式所获得的技术方案,均落在本发明的保护范围内。