

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

京津冀与长三角区域大气 NO₂ 污染特征 王英, 李令军, 刘阳 (3685)

2008~2011年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 杨俊益, 辛金元, 吉东生, 朱彬 (3693)

沧州市大气污染特征观测研究 王永宏, 胡波, 王跃思, 刘伟, 张武 (3705)

华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源 李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 王英锋, 李杏茹 (3712)

广州市交通主干道空气中苯系物的测量 叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 凌六一, 郑尼娜, 刘文彬, 黄祖照 (3718)

基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究 黄成, 刘娟, 陈长虹, 张健, 刘登国, 朱景瑜, 黄伟明, 巢渊 (3725)

柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性 胡志远, 程亮, 谭丕强, 楼狄明 (3733)

九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征 余小青, 杨军, 刘乐冕, 田原, 余正, 王昌付 (3739)

南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价 舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 吴艳鹏, 李爱华 (3748)

天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏 (3753)

北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究 李立青, 吕书丛, 朱仁肖, 刘泽权, 单保庆 (3760)

云阳宗海湖的分布与来源 张玉玺, 向小平, 张英, 陈玺, 刘景涛, 王金翠, 张媛静, 孙继朝 (3768)

南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究 孙傅, 沙婧, 刘彦华 (3778)

三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究 张永生, 郑丙辉, 姜霞, 郑浩, 钟娜, 陈春宵 (3787)

江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究 单保庆, 李楠, 唐文忠 (3797)

人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果 汪仲琼, 张荣斌, 陈庆华, 魏宏斌, 王为东 (3804)

潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响 魏泽军, 谢建平, 黄玉明 (3812)

人工湿地处理含盐生活污水的特性研究 高峰, 杨朝晖, 李晨, 金卫红, 邓一兵 (3820)

催化湿式氧化法降解水中的 β -萘酚 刘杰, 于超英, 赵培庆, 陈革新 (3826)

ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究 孙倩, 周海燕, 曹梦华, 吴琳娜, 王琳玲, 陈静, 陆晓华 (3833)

微波改性 MWNTs/TiO₂ 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究 施周, 张茜, 张伟, 徐舜开, 张骅 (3840)

腐殖酸对生物炭去除水中 Cr(VI) 的影响机制研究 丁文川, 田秀美, 王定勇, 曾晓岚, 徐茜, 陈健康, 艾小雨 (3847)

臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究 邢晓琼, 黄程兰, 刘敏, 陈滢 (3854)

复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究 徐少娟, 孙培德, 郑雄柳, 董毅 (3859)

进水比例对水解反应器出水水质的影响研究 梁康强, 熊娅, 戚茂荣, 林秀军, 朱民, 宋英豪 (3868)

厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场渗滤液水质水量变化规律的研究 韩智勇, 刘丹, 李启彬, 陈馨 (3873)

我国城市污水处理回用调查研究 郭宇杰, 王学超, 周振民 (3881)

快雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征 姜鲁, 王继华, 李建忠, 辛佳, 李森, 刘翔 (3885)

黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探 马昕昕, 许明祥, 杨凯 (3893)

半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应 卫伟, 温智, 陈利顶, 陈瑾, 吴东平 (3901)

广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素 孔祥胜, 祁士华, 蒋忠诚, 黄保健 (3905)

酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究 王楠, 易筱筠, 党志, 刘云 (3916)

淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究 付腾飞, 贾永刚, 郭磊, 刘晓磊 (3922)

空气注射修复苯污染地下水模拟研究 樊艳玲, 姜林, 张丹, 钟茂生, 贾晓洋 (3927)

不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性 张帅帅, 刘堰, 刘树深, 朱祥伟 (3935)

上海世博园后滩湿地糙足类群落特征及其对环境因子的响应 陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 王聪, 张饮江 (3941)

耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究 吴涛, 谢文军, 依艳丽, 李小彬, 王君, 胡相明 (3949)

高效降酚菌株 *Ochrobactrum* sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究 陈晓华, 魏刚, 刘思远, 孙江曼, 王芳芳, 李昊源, 刘宇军 (3956)

四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究 钱艳园, 刘莉莉, 于晓娟, 丁丛, 王志平, 施玉衡, 李晨君 (3962)

长期施用有机和无机肥对黑土 *nirS* 型反硝化菌种群结构和丰度的影响 尹昌, 范分良, 李兆君, 宋阿琳, 朱平, 彭畅, 梁永超 (3967)

三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究 何龙, 邱兆富, 吕树光, 逯志昌, 王治立, 隋倩, 林匡飞, 刘勇弟 (3976)

多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因子研究 肖文丹, 杨肖娥, 李廷强 (3983)

硫化物对垃圾焚烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响 刘敬勇, 孙水裕 (3990)

关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究 纪莎莎, 李晓东, 徐旭, 陈彤 (3999)

第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文

稻田气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 排放在线测定研究 龚巍巍, 栾胜基 (4006)

一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制 文晓刚, 刘锐, 蔡强, 万梅, 汤灵容, 陈吕军 (4012)

基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究 孙少艾, 李洋, 周轶, 王海蛟, 孙英 (4018)

涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别 丁晓雯, 沈珍瑶 (4025)

人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析 曹雪莹, 种云霄, 余光伟, 仲海涛 (4033)

基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌 林怡雯, 李丹, 吴舒旭, 何苗, 杨天 (4040)

消毒副产物生成的温度影响和动力学模型 张小璐, 杨宏伟, 王小任, 付静, 解跃峰 (4046)

一种厌氧微定量研究新方法 张仲良, 吴静, 蒋剑凯, 姜洁, 李怀志 (4052)

梧桐树叶作为反硝化碳源的研究 熊剑锋, 徐华, 阎宁, 张永明 (4057)

降解嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究 崔长征, 冯天才, 于亚琦, 董斐, 杨昕梅, 冯耀宇, 刘勇弟, 林汉平 (4062)

《环境科学》征订启事 (3711) 《环境科学》征稿简则 (3767) 信息 (3998, 4039, 4045, 4056) 专辑征稿通知 (4051)

一种厌氧微观定量研究新方法

张仲良¹, 吴静^{1*}, 蒋剑凯², 姜洁¹, 李怀志²

(1. 清华大学环境学院环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. Laboratory of Reactions and Process Engineering, Nancy-Université, CNRS, 1, rue Grandville, BP 20451, 54001 Nancy cedex, France)

摘要: 厌氧消化由于低成本和能源回收等优点越来越引起广泛关注. 为克服现有方法研究动态厌氧过程的不足, 基于微反应器和定量图像分析技术开发出一种新型的污泥层面的微观定量方法. 试验首次展示了静态下颗粒污泥产气的动态过程和特点. 试验结果重复性好. 静态产气可分为 3 个阶段, 分别是高速线性增加阶段、减速增加阶段和低速线性增加阶段. 初始有机负荷较高时, 高速线性增加阶段比较长, 产气速率也比较高. 结果表明, 微反应器中进行厌氧产甲烷过程是可行的, 该方法可靠, 能够在微观层面直观地展示厌氧反应的动态过程, 研究结果有利于增进对厌氧过程理解.

关键词: 厌氧消化; 微反应器; 定量图像分析; 微观; 定量方法; 颗粒污泥

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)11-4052-05

A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale

ZHANG Zhong-liang¹, WU Jing¹, JIANG Jian-kai², JIANG Jie¹, LI Huai-zhi²

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Laboratory of Reactions and Process Engineering, Nancy-Université, CNRS, 1, rue Grandville, BP 20451, 54001 Nancy cedex, France)

Abstract: Anaerobic digestion is attracting more and more interests because of its advantages such as low cost and recovery of clean energy etc. In order to overcome the drawbacks of the existed methods to study the dynamic anaerobic process, a novel microscopical quantitative approach at the granule level was developed combining both the microdevice and the quantitative image analysis techniques. This experiment displayed the process and characteristics of the gas production at static state for the first time and the results indicated that the method was of satisfactory repeatability. The gas production process at static state could be divided into three stages including rapid linear increasing stage, decelerated increasing stage and slow linear increasing stage. The rapid linear increasing stage was long and the biogas rate was high under high initial organic loading rate. The results showed that it was feasible to make the anaerobic process to be carried out in the microdevice; furthermore this novel method was reliable and could clearly display the dynamic process of the anaerobic reaction at the micro scale. The results are helpful to understand the anaerobic process.

Key words: anaerobic digestion; microdevice; quantitative image analysis; micro scale; quantitative approach; granule

世界能源需求增长迅速, 其中 88% 依靠化石燃料^[1]. 化石燃料的燃烧会导致温室效应、酸雨和能源耗竭等多种全球性问题^[2,3]. 于是, 人们开始广泛研究新能源和可再生能源^[4]. 甲烷作为一种清洁能源可以通过能源作物、有机废物和有机废水等的厌氧消化获得^[3]. 而每年我国都有海量的有机废物和废水产生, 因此具有巨大的产甲烷潜力. 由于厌氧产甲烷是多种微生物协同作用的结果, 影响甲烷产率的因素众多, 甲烷产率(甲烷/COD_{去除}, m³·kg⁻¹)差异显著, 一般为 0.06~0.35^[5~11]. 有很多学者在反应器层面进行厌氧过程的研究, 涉及基质^[12,13]、pH^[14,15]、温度^[16]、有机负荷^[17,18]和水力停留时间^[16~18]等参数对厌氧过程的影响, 也有人在微生物层面利用分子生物学手段进行了探索^[19,20]. 然而, 这 2 种方法都有不足, 例如前者把反应器看成黑箱,

不能深入研究反应机制, 尤其是在研究流态和传质方面比较困难, 不能掌握实际状况, 无法排除死区^[21]和沟流^[22]等负面影响. 微反应器是 20 世纪 90 年代新兴的化工方向, 它具有直观、无放大效应、可以实现流态精确控制等优点^[23], 尤其便于观测. 本课题组基于微反应器和图像分析技术开发了一种厌氧微观定量研究的新方法, 使得在污泥层面上研究流态精确控制的动态的厌氧过程成为可能. 污泥层面的研究结果有利于加深对厌氧过程的理解, 以指导大型反应器运行.

产甲烷过程要求严格的厌氧环境, 这对微反应

收稿日期: 2012-01-03; 修订日期: 2012-03-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(50978147, 51061130555); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA064702)

作者简介: 张仲良(1985~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为厌氧生物处理, E-mail: zhangzl2012@126.com

* 通讯联系人, E-mail: wu_jing@tsinghua.edu.cn

器是一个较大的挑战. 本试验的目的在于探索微反应器中完成厌氧产甲烷过程的可行性以及配套的关键测试方法, 因此采用了静态试验的方式.

1 材料与方法

1.1 微反应器

本试验在恒温箱内采用自制的微反应器进行中温 35℃ 厌氧产甲烷反应. 微反应器外部长为 50.0 mm、宽 25.0 mm、高 7.0 mm, 内部反应区长为 41.0 mm、宽 14.0 mm、高 1.0 mm. 反应器一侧开有小口, 可容污泥与溶液进入. 反应器材料为透明的有机玻璃.

1.2 试验进水

试验采用葡萄糖配水. 配水按 $m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$ 的比例加入葡萄糖、尿素和磷酸二氢钾, 酵母膏少许, 同时按表 1 加入微量元素^[24]. 加入碳酸氢钠调节 pH 值在 6.5~7.8 之间.

表 1 葡萄糖配水中的微量元素投加量

Table 1 Dosage of trace elements in the solution

元素	投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	元素	投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Mg	9.756	Cu	0.014
Ca	2.721	Mo	0.004
Fe	0.563	Al	0.010
Zn	0.024	Ni	0.035
Mn	0.139	Co	0.050

1.3 接种污泥

试验颗粒污泥取自秦皇岛某淀粉厂处理淀粉废水的厌氧反应器. 试验前, 采用密闭的采样瓶中中温 35℃ 培养. 定期更换培养液.

1.4 微反应器中静态试验的过程

(1) 在采样瓶中加入配好的葡萄糖配水, 密闭, 混合.

(2) 在厌氧操作箱 (Bugbox, Ruskinn, UK) 中进行以下操作: 从采样瓶中倒出适量的培养液, 过滤. 滤液待用. 挑选出一颗完整的颗粒污泥, 用滤液冲洗后转移到微反应器中, 并加满滤液, 密封微反应器.

(3) 将微反应器放入 35℃ 的恒温箱内的显微镜 (麦克奥迪, Motic BA300, 中国) 下, 观察产气情况, 并通过数码相机 (麦克奥迪, Moticom 3000, 300 万像素, 中国) 进行连续拍照. 拍摄间隔为 5 min. 放大倍数为 6 倍.

1.5 沼气产量的测量方法

数码相机可以连续记录显微镜下颗粒污泥产生

气泡的情况. 在显微镜下观察到的气泡为圆环, 如图 1 所示, 将内圆半径记为内半径 r , 外圆半径记为外半径 R .

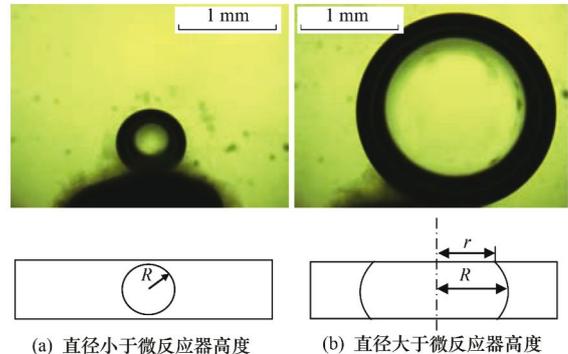


图 1 不同尺寸的气泡图像

Fig. 1 Bubbles of different sizes

当气泡直径小于微反应器高度时, 气泡近似为球形 [图 1(a)], 气泡体积按公式 (1) 计算:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (1)$$

式中, V 为气泡体积, R 为外半径.

当气泡直径大于微反应器高度时, 气泡近似为圆鼓形 [图 1(b)], 体积按公式 (2) 计算:

$$V = \frac{\pi h}{3}(R^2 + Rr + r^2) \quad (2)$$

式中, h 为微反应器内部净高度, r 为内半径.

R 和 r 的测量采用图像处理软件为图形分析软件 Motic Images Advanced 3.2 (麦克奥迪, 中国) 进行.

1.6 分析项目及测试方法

采用 COD 速测仪 (YL-1A, 河北承德华通环保仪器) 测定 COD^[25]. 颗粒污泥的质量用微天平 (XP6, Mettler Toledo, Switzerland) 测量.

2 结果与讨论

2.1 颗粒污泥的产气现象

静态微反应器中完成厌氧产气是可行的. 利用显微镜和数码相机首次记录了静态微反应器中单个颗粒污泥的产气现象, 如图 2 所示. 图 2 表明, 在颗粒污泥厌氧产气过程中, 气泡出现在颗粒污泥附近, 并随着时间的延长而逐渐增大. 在大部分情况下, 颗粒污泥同一时间只产生一个气泡. 有的时候, 也出现同时有 2~3 个气泡的情况, 但概率仅 20%~30%. 同时出现多个气泡的时候, 各个气泡体积增大的速率有所不同. 一般地, 离颗粒污泥越近的增大越快.

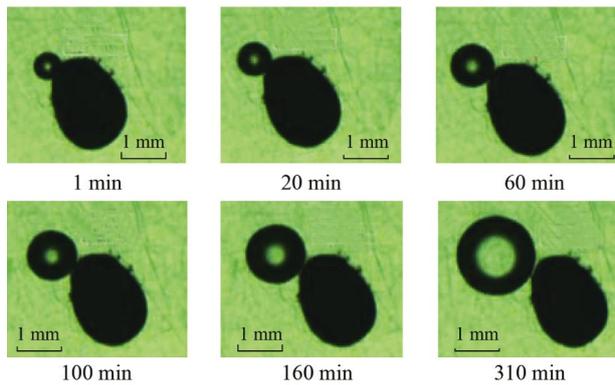


图 2 颗粒污泥的产气过程

Fig. 2 Biogas bubble produced in a granule

气泡产生的位置也有规律. 通过对同一颗颗粒污泥多次产气的观察表明, 同一颗粒污泥产气的位置相对于污泥自身是基本固定的, 如图 3 所示.

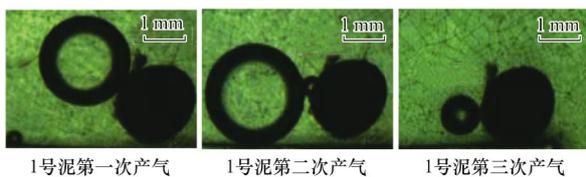


图 3 同一颗污泥多次产气

Fig. 3 Bubbles produced by same granule at various times

2.2 试验的重复性

作为一个新方法, 试验结果的重复性和稳定性是很重要的, 为此进行了重复性检验的试验, 结果如图 4 所示. 其为同一颗颗粒污泥在初始 COD 均为 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时连续 2 次产气的曲线, 可以看出 2 条曲线一致, 说明同一颗颗粒污泥在相同条件下产气的重复性很好, 表明这个新方法获得的结果是可靠的.

2.3 产气规律

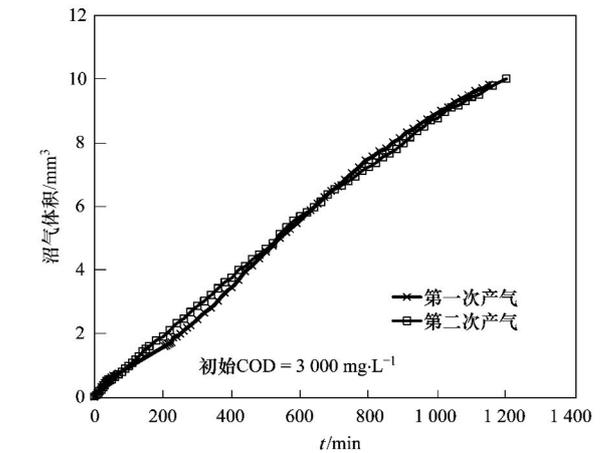
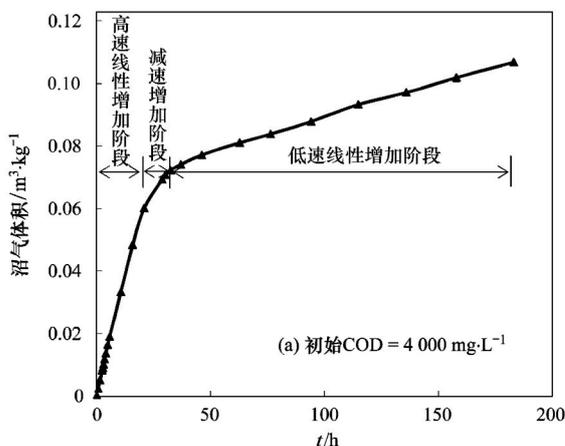


图 4 方法重复性检验

Fig. 4 Repeatability test of the method

静态试验下, 颗粒污泥的产气如图 5 所示. 在初始 COD 浓度分别为 $2\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时获得的产气曲线. 图 5 表明, 在产气的初期, 颗粒污泥的累积产气量随时间快速线性增加, 然后产气量的增加速率逐渐减缓, 最终仍然稳定地线性增加. 据此将静态产气过程划分成高速线性增加阶段、减速增加阶段和低速线性增加阶段.

图 5 反映出静态条件下, 产气速率由大变小的过程, 在初期和稳定后, 均以固定的产气速率产气. 有机负荷显示出对反应有明显影响. 两个线性增加阶段的拟合公式如下所示.

初始 $\text{COD} = 4\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,
高速线性增加阶段 ($0 \sim 20.9\text{ h}$):

$$V_{\text{normalized}} = 0.0029t + 0.0013, \quad R^2 = 0.9975 \quad (3)$$

低速线性增加阶段 ($32.5 \sim 183.0\text{ h}$):

$$V_{\text{normalized}} = 0.0002t + 0.0662, \quad R^2 = 0.9964 \quad (4)$$

初始 $\text{COD} = 2\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,

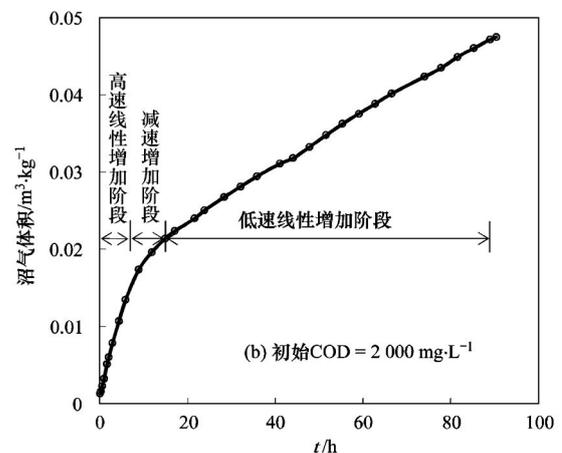


图 5 不同初始 COD 浓度的颗粒污泥产气曲线

Fig. 5 Biogas accumulation curves under different initial COD

高速线性增加阶段(0 ~ 5.8 h):

$$V_{\text{normalized}} = 0.0021t + 0.0014, \quad R^2 = 0.9957 \quad (5)$$

低速线性增加阶段(14.8 ~ 90.4 h):

$$V_{\text{normalized}} = 0.0003t + 0.0168, \quad R^2 = 0.9988 \quad (6)$$

式中, $V_{\text{normalized}}$ 为单位产气量, $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; t 为产气时间, h. 式(3) ~ (6)表明,对于同一初始 COD 的产气情况,高速和低速线性增加阶段的产气速率相差一个数量级.在相同时间下,初始 COD 为 $4000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 获得的累积产气量要大于 $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的情况,高速线性产气速率数值比较大,且保持的时间也比较长.

静态下颗粒污泥的产气速率逐渐减小的原因主要是试验初期,颗粒污泥周围营养物质充分,故反应开始时产气速率较大;经过一段时间反应之后,随着污泥周围营养物质被大量消耗,产气速率开始下降,最终传质成为反应速控步,产气速率减小,并趋于某一稳定值.

3 结论

本研究建立起一种新的厌氧微观定量研究方法.结果表明,在微反应器中实现厌氧产甲烷过程是可行的,结果的重复性较好.试验首次展示了静态下颗粒污泥产气的过程.产气有3个阶段,第一阶段是高速线性增加阶段,第二个阶段是减速增加阶段,第三个阶段是低速线性增加阶段.初始有机负荷较高时,高速线性增加阶段比较长,产气速率比较高.这些结果都表明,这个方法可以研究颗粒污泥的厌氧过程.下一步将采用这个方法来进行动态连续厌氧试验,进行有机负荷和水力状态对产气速率的影响等反应器运行机制的研究.

参考文献:

- [1] Weiland P. Biogas production: current state and perspectives [J]. *Applied Microbiology Biotechnology*, 2010, **85**(4): 849-860.
- [2] Jingura R M, Matengaifa R. Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, **13**(5): 1116-1120.
- [3] Chynoweth D P, Owens J M, Legrand R. Renewable methane from anaerobic digestion of biomass [J]. *Renewable Energy*, 2001, **22**(1-3): 1-8.
- [4] Taleghani G, Kia A S. Technical-economical analysis of the Saveh biogas power plant [J]. *Renewable Energy* 2005, **30**(3): 441-446.
- [5] 王凯军, Van der Last A R M, Lettinga G. 水解与颗粒污泥膨胀床串联工艺处理城市污水 [J]. *中国给水排水*, 1999, **15**(8): 19-23.
- [6] 董欣扬. 上流式厌氧污泥床处理城市生活污水的研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [7] Ince O. Potential energy production from anaerobic digestion of dairy wastewater [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 1998, **33**(6): 1219-1228.
- [8] Chakradhar B, Kaul S N, Nageswar G D. Bio-energy recovery from pulp processing wastewater [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances and Environmental engineering*, 1995, **30**(5): 971-979.
- [9] Ince B K, Ince O, Anderson G K, *et al.* Assessment of biogas use as an energy source from anaerobic digestion of brewery wastewater [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2001, **126**(3-4): 239-251.
- [10] Moletta R. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion [J]. *Water Science and Technology*, 2005, **51**(1): 137-144.
- [11] Tapas N, Kaul S N. Anaerobic pre-treatment of herbal based pharmaceutical wastewater using fixed-film reactor with recourse to energy recovery [J]. *Water Research*, 2001, **35**(2): 351-362.
- [12] Labatut R A, Angenent L T, Scott N R. Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates [J]. *Bioresource Technology*, 2011, **102**(3): 2255-2264.
- [13] Kirtane R D, Suryawanshi P C, Patil M R, *et al.* Optimization of organic loading rate for different fruit wastes during biomethanization [J]. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2009, **68**(3): 252-255.
- [14] Burgstaler J, Blumenthal J, Wiedow D, *et al.* Options to regulate the pH in acidified biogas digesters and effects on the biogas production [J]. *Landbauforschung Völkenrode*, 2010, **60**(4): 213-220.
- [15] Gao W J J, Lin H J, Leung K T, *et al.* Influence of elevated pH shocks on the performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor [J]. *Process Biochemistry*, 2010, **45**(8): 1279-1287.
- [16] Kim J K, Oh B R, Chun Y N, *et al.* Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food Waste [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2006, **102**(4): 328-332.
- [17] Menardo S, Gioelli F, Balsari P. The methane yield of digestate: Effect of organic loading rate, hydraulic retention time, and plant feeding [J]. *Bioresource Technology*, 2011, **102**(3): 2348-2351.
- [18] Demirer G N, Chen S. Effect of retention time and organic loading rate on anaerobic acidification and biogasification of dairy manure [J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2004, **79**(12): 1381-1387.
- [19] Pender S, Toomey M, Carton M, *et al.* Long-term effects of operating temperature and sulphate addition on the methanogenic

- community structure of anaerobic hybrid reactors [J]. *Water Research*, 2004, **38**(3): 619-630.
- [20] Jain S R, Mattiasson B. Acclimatization of methanogenic consortia for low pH biomethanation process [J]. *Biotechnology Letters*, 1998, **20**(8): 771-775.
- [21] Ren T T, Yang M, Ni B J, *et al.* Hydrodynamics of upflow anaerobic sludge blanket reactors [J]. *Environmental and Energy Engineering*, 2009, **55**(2): 516-528.
- [22] Ahnert M, Kuehn V, Krebs P. Temperature as an alternative tracer for the determination of the mixing characteristics in wastewater treatment plants [J]. *Water Research*, 2010, **44**(6): 1765-1776.
- [23] 埃尔费尔德·W, 黑塞尔·V, 勒韦·H. 微反应器——现代化学中的新技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [24] Florencio L, Field J A, Lettinga G. Substrate competition between methanogens and acetogens during the degradation of methanol in UASB reactors [J]. *Water Research*, 1995, **29**(3): 915-922.
- [25] 承德华通环保仪器厂. 污水 COD 速测仪使用说明书 [R]. 1991. 4-5.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjcx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前本刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjcx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO ₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations	··· WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)
Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011	····· YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3693)
Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou	····· WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3705)
Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China	····· LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3712)
BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou	····· YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, <i>et al.</i> (3718)
Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information	····· HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (3725)
Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends	····· HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (3733)
Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary	····· YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, <i>et al.</i> (3739)
Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi	····· SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (3748)
Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed	····· LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)
Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing	····· LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, <i>et al.</i> (3760)
Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China	····· ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3768)
Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China	····· SUN Fu, SHA Jing, SHI Jun, LIU Yan-hua (3778)
Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir	····· ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3787)
Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants	····· SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)
Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems	····· WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, <i>et al.</i> (3804)
Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphorus in Wastewater	····· WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)
Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland	····· GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, <i>et al.</i> (3820)
Degradation of β -Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation	····· LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, <i>et al.</i> (3826)
Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System	····· SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, <i>et al.</i> (3833)
Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO ₂ Composite	····· SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3840)
Mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid	····· DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3847)
Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process	····· XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, <i>et al.</i> (3854)
Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment	····· XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, <i>et al.</i> (3859)
Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor	····· LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, <i>et al.</i> (3868)
Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	····· HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, <i>et al.</i> (3873)
National Survey of Urban Sewage Reuse in China	····· GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)
Sorption and Desorption of 17 α -Ethinyl Estradiol and 4-n-Nonylphenol in Soil	····· JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, <i>et al.</i> (3885)
Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China	····· MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)
Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area	····· WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (3901)
Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China	····· KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, <i>et al.</i> (3905)
Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions	····· WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3916)
Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process	····· FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (3922)
Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging	····· FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3927)
Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints	····· ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, <i>et al.</i> (3935)
Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai	····· CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, <i>et al.</i> (3941)
Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria	····· WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, <i>et al.</i> (3949)
Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10	····· CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, <i>et al.</i> (3956)
Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation	····· QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3962)
Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of <i>nirS</i> -type Denitrifiers in Black Soil	····· YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, <i>et al.</i> (3967)
Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types	····· HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, <i>et al.</i> (3976)
Degradation of Carbazim in Paddy Soil and the Influencing Factors	····· XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)
Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature	····· LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)
Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Inert Atmosphere	····· JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU Xu, <i>et al.</i> (3999)
Hourly Measurement on Aerosol NH ₃ and Gas NO _x Emission in the Rice Field	····· GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)
Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloroalkane and Chloroalkene	····· WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, <i>et al.</i> (4012)
Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling	····· SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (4018)
Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujiang Watershed	····· DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)
Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland	····· CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, <i>et al.</i> (4033)
Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR	····· LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, <i>et al.</i> (4040)
Formation of Disinfection By-products; Temperature Effect and Kinetic Modeling	····· ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (4046)
A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale	····· ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, <i>et al.</i> (4052)
Leaves of <i>Platanus orientalis</i> as the Carbon Source for Denitrification	····· XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, <i>et al.</i> (4057)
Isolation, Characterization of an Anthracene Degrading Bacterium <i>Martellella</i> sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene	····· CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, <i>et al.</i> (4062)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年11月15日 33卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 11 Nov. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊