

城市污泥厌氧产沼气潜力的实验研究*

陈智远^{1,2}, 姚建刚¹, 丁国际²

(1.杭州能源环境工程有限公司,浙江 杭州 310020;2.上海大学 环境与化学工程学院,上海 200444)

摘要: 探讨了城市污泥恒温 38 °C 厌氧湿发酵和高浓度发酵的产气潜力.研究表明:城市好氧泥在恒温 38 °C 进行湿发酵(浓度 10.49%)和高浓度发酵(浓度 15.52%),好氧泥的 TS 产沼气潜力分别为 155.67 mL/g 和 163.70 mL/g,好氧泥的 VS 产沼气潜力分别为 248.49 mL/g 和 261.31 mL/g,所产沼气的组分甲烷浓度分别为 55.52% 和 57.93%,沼气品质相差不大,厌氧消化主要集中在前 15 天,累计产气占总产气量的比例分别为 66.15% 和 61.17%,在前 30 天,累计产气占总产气量的比例分别为 90.94% 和 85.68%.

关键词: 城市污泥;处置方法;厌氧消化;产气率

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9793(2018)06-0005-05

1 引言

据不完全统计^[1],我国每年的污水排放量已达 5.11×10^4 亿吨,污泥是污水处理过程中产生的固体废物,数量约占处理水量的 0.3%~0.5% (以含水率为 97% 计),湿污泥产量每年达 153.3 亿吨~255.3 亿吨,且其产量在不断增加.城市污泥中含有污水中大部分污染物质^[2-3],其处置处理一直以来都是棘手问题^[4],国内外城市污泥的处理处置方法很多,主要可分为:卫生填埋、堆肥化与农用资源化、资源化(厌氧消化与焚烧)、材料化利用(制砖、制生化纤维板、制陶粒等)四个方向^[5-7].

卫生填埋是比较成熟的污泥处置技术,具有投资少,容量大,见效快的优点,但存在需要占用

大量土地,有毒有害物质可能随着雨水渗入地下,易对土壤、地下水及周边环境造成二次污染;欧盟 2006 年起实施了固体废弃物土地填埋法令,美国的填埋场正在逐步关闭^[8].污泥堆肥与农用资源化是一种简单可行的污泥处置与利用技术,但自然堆肥时间长,面积大,效率低,化肥的经济价值小,常含有定量的总金属,目前的市场需求有限,并且产品的高含水率也可能使病原体复活,产品安全性差^[9-10].资源化利用主要包括厌氧消化与焚烧;厌氧消化作为一种低能耗、资源化的污泥稳定处理技术,其能减少污泥容积,去除臭味,杀死寄生虫卵,产生沼气能源,国内外均积极鼓励应用^[11].污泥焚烧具有将病原微生物、寄生虫卵等彻底杀死,最大程度的降低污泥体积的优势,但由于原生污泥的初始含水率极高,内在热值较低,一般焚烧前需要进行脱水干化等处理,需要大量热

* 收稿日期:2018-05-31

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2014BAD24B02);十三五水重大专项资助项目(2017ZX07202005).

作者简介:陈智远(1987-),男,江西石城人,工程师,主要从事生物质厌氧发酵等方面研究.

通信作者:陈智远.E-mail:chenzhiyuan2004@163.com.

能,其成本要高于其他工艺三倍左右^[12],并且需要配套要求较高的尾气处理系统^[13].材料化利用是指城市污泥经过适当处理,可以加工成为多种复合材料,普遍认为是一种可符合持续发展的污泥处置方式,是一种理想的资源化方法,在减量化、稳定化、无害化和能量回收与物质循环利用方面均优于其他方式,但该技术处理量较小,投资较高,产品销路不畅,必须与建材企业相结合,且对于当地政策的依赖程度较高,极大地制约了材料化利用.

综上所述,根据我国的实际情况,只有采用既经济实用又合理的技术方法处置污泥,才能取得更大的经济、环境与社会效益,而使用厌氧消化方法处置污泥,一方面可达到污泥减量化、无害化和稳定化的效果,另一方面能以甲烷形式部分回收污泥中有机质的生物质能^[14-16].

2 试验材料与方 法

2.1 试验材料

发酵原料:城市污泥取自广州某污水处理厂浓缩的好氧污泥;接种物:取自本实验室在 38 °C 条件下驯化富集 3 个月的厌氧污泥,原料与接种物的主要成分见表 1.

表 1 试验材料的 TS 与 VS

Table 1 TS and VS of experimental material

原料	TS(Total solid)		pH
	/%	/%	
好氧泥	16.06	10.06	7.0
接种物	15.34	7.19	7.9

2.2 试验装置及设计

自制 1.5 L 排水法厌氧发酵装置,每套装置由 1.5 L 厌氧消化瓶、1.5 L 排水集气瓶、1.5 L 集水计量瓶组成,见图 1.试验在 38 °C 恒温间内进行,分为湿发酵组与高浓度发酵组,两者的接种量

都为污泥与物料的总固体比 1 : 1,湿发酵加水调配,发酵初始液 TS 大约为 10%(内含污泥总固体与好氧泥总固体都为 50 g),高浓度发酵不加水调配,发酵初始液 TS 大约为 15%(内含污泥总固体与好氧泥总固体都为 100 g);各自以水代替城市好氧泥作为空白组;各组三个平行.

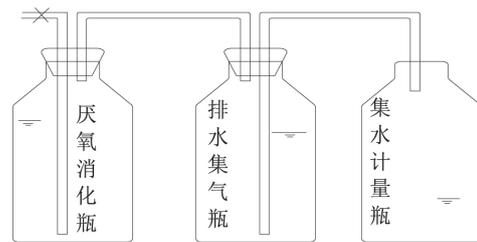


图 1 反应装置示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of reaction device

2.3 测定项目与方法

总固体含量(TS):使用烘箱于(105±5)°C 烘干 24 h 至恒重;挥发性固体含量(VS):将烘干的物料用马弗炉于 550~600 °C 灼烧^[17];pH 值采用 pHs-3C 型 pH 计^[18];CH₄ 含量:利用武汉四方光电科技有限公司生产的 GABOARD-3200L 红外气体分析仪测定;产气量:采用水压式排水法收集沼气^[19],每天定时记录各组产气量,计算相应的总产气量、TS 和 VS 产气率,分析厌氧消化前后的 TS 和 VS 变化.

3 结果与分析

3.1 总固体与总挥发性固体变化

由表 2 可知,厌氧发酵前后的总固体及总挥发性固体均减小,表明城市好氧泥被消化减量;湿发酵组的城市好氧泥总固体(TS)降解率为 39.46%,挥发性固体(VS)降解率为 43.36%;高浓度发酵组的城市好氧泥总固体(TS)降解率为 41.52%,挥发性固体(VS)降解率为 40.25%.各组消化前后的 pH 值都有少量上升,表明厌氧消化正常进行.

表 2 发酵前后料液的数据

Table 2 Data of raw materials before and after fermentation

项目	发酵前				发酵后			
	总质量/g	TS/%	VS/%	pH	总质量/g	TS/%	VS/%	pH
湿发酵	1 000	10.49	5.38	7.52	970	8.68	4.56	7.65
高浓度发酵	1 270	15.52	8.43	7.51	1 185	12.17	7.21	7.8

3.2 产气情况分析

试验持续 50 d,图 2 为试验组每日产沼中甲烷含量的曲线,可以看出试验组均正常产气,发酵启动迅速,湿发酵及高浓度发酵的分别在发酵第 3 天和第 4 天所产生气体能够独立点燃,并燃烧状况良好,两试验组都呈现在第 7 天甲烷浓度最高,分别达到 80%和 77.6%;所产沼气整体气体平均甲烷浓度分别为 55.52%和 57.93%,相差不多,表明城市好氧泥湿发酵与高浓度发酵所产沼气的品质相差不多。

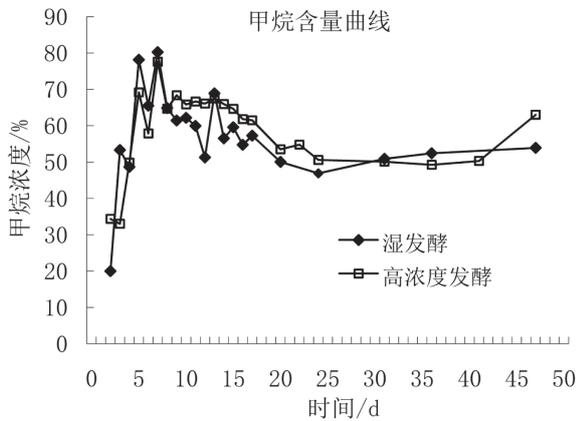


图 2 甲烷含量曲线

Fig.2 Methane content curve

从图 3 日产气与累计产气曲线可知两试验组产气趋势基本相同,分别在发酵第 7 天和第 8 天到达产气高峰,分别为 650 mL 和 1 500 mL,随后产气降低,在第 12 天和第 17 天降至低峰(230 mL 和 293 mL),后又在第 16 天和第 20 天到第二个高峰(280 mL 和 470 mL),随后经一段震荡衰竭(没有搅拌造成反应中间产物与能量在介质中传递、扩散困难影响发酵产气^[20]).各自的空白组都为间断产气,湿发酵及其空白组分别总产气

8 322 mL 和 539 mL,高浓度发酵及其空白组分别总产气 17 243 mL 和 873 mL,去除空白组产气量,湿发酵与高浓度发酵净产气为 7 783 mL 和 16 370 mL,好氧泥的 TS 产沼气潜力分别为 155.67 mL/g 和 163.70 mL/g,VS 产沼气潜力分别为 248.49 mL/g 和 261.31 mL/g,与李来庆等^[21]的污泥产气率存在明显差异,而与杨红艳等^[22]不含 PAM 的污泥的产气潜力相似,这与不同城市经济发展水平、居民生活水平及污泥处理工艺等有密切关系,这些因素决定了污泥的性状^[23]。

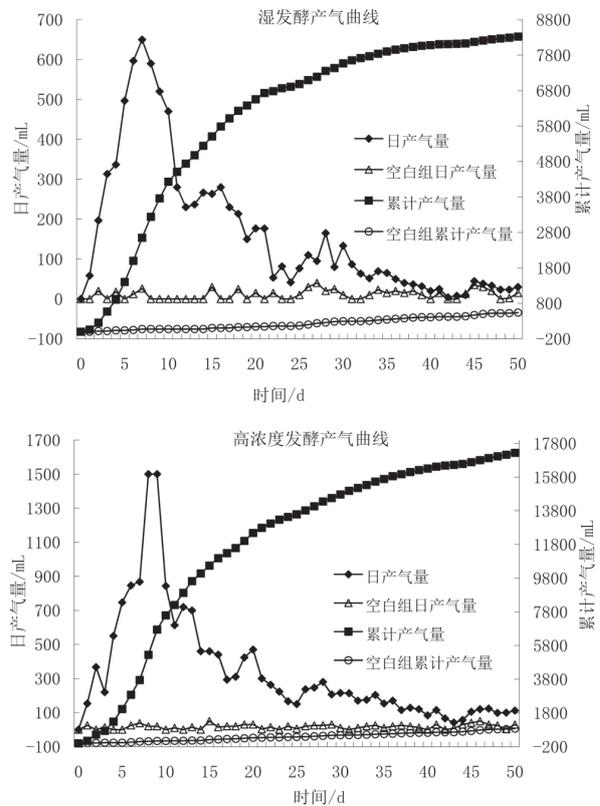


图 3 日产气量和累计产气量曲线

Fig.3 Curve of daily gas volume and cumulative gas production

由表 3 可知,湿发酵与高浓度发酵在发酵启动前 7 天的累计产气量占总产气量分别为 31.82%和 21.76%,在发酵 15 天时为 66.15%和 61.17%,在发酵 30 天时为 90.94%和 85.68%,

在发酵 45 天时为 98.22%和 96.79%,表明城市好氧污泥厌氧消化产气集中在发酵前 15 天,其易降解占能够被降解的比例较大,都达到 60%以上.

表 3 原料产气情况统计分析

Table 3 Statistical analysis of biogas production

项目	7 d 累计 总产气 /%	15 d 累计 总产气 /%	30 d 累计 总产气 /%	45 d 累计 总产气 /%
湿发酵	31.82	66.15	90.94	98.22
高浓度发酵	21.76	61.17	85.68	96.79

4 结 论

城市好氧泥在恒温 38 °C 进行湿发酵(浓度 10.49%)和高浓度发酵(浓度 15.52%),TS 产沼气潜力分别为 155.67 mL/g 和 163.70 mL/g,VS 产沼气潜力分别为 248.49 mL/g 和 261.31 mL/g,所产沼气组分甲烷浓度分别为 55.52%和 57.93%,沼气品质相差不大,厌氧消化主要集中在前 15 天,累计产气占总产气量的比例分别为 66.15%和 61.17%,在前 30 天,累计产气占总产气量的比例分别为 90.94%和 85.68%。城市污泥采用厌氧发酵的方式进行处理不仅能产生高效清洁能源——沼气,而且有效地减少了污泥体积,去除臭味,具有显著的能源效益、环保效益和经济效益。

参 考 文 献:

[1] 刘亮,张翠珍.污泥燃烧热解特性及其焚烧技术[M].长沙:中南大学出版社,2006.
 [2] 张丽丽,李花粉,苏德纯.我国城市污水处理厂污泥中重金属分布特征及变化规律[J].环境科学研究,2013,26(3):313-319.
 [3] HOBER A L, STEHOUWER R C, MACNEAL K E. Chemical fractionation of trace elements in biosolid-amended soils and correlation with trace elements in crop tissue[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2007, 38(7/8): 1 029-1 046.
 [4] 姚金玲,王海燕,于云江,等.城市污水处理厂污泥重

金属污染状况及特征[J].环境科学研究,2010,23(6):696-702.
 [5] 熊帆,黄君涛,钟理.城市污泥的处理处置与资源化利用[J].广东化工,2005,32(1):87-89,46.
 [6] 胡元.城市污泥处理处置与资源化[M].广州:华南理工大学出版社,2002.
 [7] 尹军,谭学军.污水污泥处理处置与资源化利用[M].北京:化学工业出版社,2005.
 [8] EU EEA. European Environment Agency Indicator fact sheet signals 2001-Chapter waste[R]. Denmark: European Environment Agency, 2002.
 [9] 张建江,孙晓蓉,张金艳.城市污水处理厂污泥处置及利用途径浅析[J].天津科技,2007,34(3):80-82.
 [10] 陈华,朱石清,张善发,等.上海城市污水处理厂污泥资源化利用及其市场需求浅析[J].西南林业大学学报,2006,20(1):25-29.
 [11] LI X W, DAI X H, YUAN S J, et al. Thermal analysis and 454 pyrosequencing to evaluate the performance and mechanisms for deep stabilization and reduction of high-solid anaerobically digested sludge using biodrying process[J]. Bioresource Technology, 2015, 175(2): 245-253.
 [12] 陈涛,孙水裕,刘敬勇,等.城市污水污泥焚烧二次污染物控制研究进展[J].化工进展,2010,29(1):157-162.
 [13] 李辉,吴晓英,蒋龙波,等.城市污泥焚烧工艺研究进展[J].环境工程,2014,32(6):88-92.
 [14] 汪德生,付蕾.城市污水处理厂剩余污泥中温厌氧消化处理研究[J].新疆环境保护,2006,28(4):6-9.
 [15] 张自杰.排水工程(下册)[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2000.
 [16] WEEMAES M P J, VERSTRAETE W H. Evaluation of Current Wet Sludge Disintegration Techniques[J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2015, 73(2): 83-92.
 [17] 贺延龄.废水的厌氧生物处理[M].北京:中国轻工业出版社,1998.

- [18] 任南琪,王爱杰.厌氧生物技术原理与应用[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [19] OWEN W F, STUCKEY D C, JR HEALY J B, et al. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity[J]. Water Res, 1979, 13(6):485-493
- [20] 叶小梅,常志州.有机固体废物干法厌氧发酵技术研究综述[J].生态与农村环境学报,2008,24(2):76-79,96.
- [21] 李来庆,李秀金,郑明霞,等.不同城市不同类型污泥厌氧消化产气性能比较[J].北京化工大学学报,2007,34(增刊 II):16-19.
- [22] 杨红艳,虞波,尹芳,等.含 PAM 活性污泥厌氧消化产甲烷潜力研究[J].云南师范大学学报:自然科学版,2016,36(6):8-11.
- [23] 刘和,堵国成,陈坚.我国应用生物技术资源化利用城市剩余污泥的研究进展[J].化工进展,2008,27(8):1 136-1 142

Experimental Study on the Biogas Fermentation Potential of Municipal Sludge

CHEN Zhi-yuan^{1,2}, YAO Jian-gang¹, DING Guo-ji²

(1. Hangzhou Energy and Environment Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310020, China;

2. School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Potential of gas production at 38 °C anaerobic wet fermentation and high concentration fermentation were discussed. Potential of gas production at 38 °C anaerobic wet fermentation (concentration 10.49%) and high concentration fermentation (concentration 15.52%) were 155.67 and 163.70 mL/g TS aerobic sludge, 248.49 and 261.31 mL/g VS aerobic sludge. Methane concentration in biogas were 55.52% and 57.93%. There were little difference in the quality of biogas. Anaerobic digestion was mainly concentrated in the first 15 days. The proportion of cumulative gas production to total gas production were 66.15% and 61.17% in the first 15 days. The proportion of cumulative gas production to total gas production were 90.94% and 85.68% in the first 30 days.

Keywords: Municipal sludge; Disposal method; Anaerobic digestion; Gas production rate