

城市污水处理厂不同污泥厌氧消化的产气研究

戴前进 李 艺 方先金

(北京市市政工程设计研究总院,北京 100082)

摘要 选取北京市某污水处理厂剩余污泥、初沉污泥和混合污泥作为研究对象,在中温(35℃)条件下,进行污泥产气速率和产气量的对照试验,结果表明:剩余污泥、初沉污泥和混合污泥的日平均产气量分别为 218.8 mL/(d·L 泥)、339.2 mL/(d·L 泥)和 419.4 mL/(d·L 泥),总产气量分别为 3.5 m³/m³泥、5.43 m³/m³泥和 6.71 m³/m³泥,分别达到理论产气量的 44.02%、72.79%和 78.39%;剩余污泥、初沉污泥和混合污泥产气中 CH₄ 和 CO₂ 等主要组分含量的差异并不显著;从污泥的产气速率、产气量和消化性能分析,不同污泥之间的相互关系是:混合污泥>初沉污泥>剩余污泥,可见城市污水处理厂中初沉污泥(或混合污泥)比单独的剩余污泥更适宜于采用厌氧消化工艺。

关键词 剩余污泥 初沉污泥 混合污泥 厌氧消化 产气

Study on biogas generation from anaerobic digestion of different sludge in municipal wastewater treatment plant

Dai Qianjin, Li Yi, Fang Xianjin

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

Abstract : In this paper, excess activated sludge (EAS), primary sludge (PS) and mixed sludge (MS) from one municipal wastewater treatment plant in Beijing were selected as the study objects. The biogas generation rate and production were studied contrastively at mesophilic condition of 35℃. The results indicated that the average daily specific biogas yields of EAS, PS and MS were 218.8, 339.2 and 419.4 milliliter per liter of sludge respectively, so the total yield might be 3.5, 5.43 and 6.71 m³/m³ sludge. It was accountable that 44.02%, 72.79% and 78.39% of theoretic specific biogas generation, which was calculated by carbon balance before and after anaerobic digestion have been recovered for EAS, PS and MS respectively. The CH₄ and CO₂ contents in biogas of the three sludge samples had less difference. The sequences of biogas generation velocity, biogas production and sludge digestibility of the three were MS > PS > EAS. In municipal wastewater treatment plant, the primary sludge (or mixed sludge) was more appropriate to use anaerobic digestion technology than excess activated sludge.

Keywords : Excess activated sludge; Primary sludge; Mixed sludge; Anaerobic digestion; Biogas generation

城市污水处理厂污泥根据其在水处理工艺流程中产生阶段的不同,主要可分为:剩余污泥、初沉污泥和混合污泥。剩余污泥是指从二沉池、生物反应池(沉淀区或沉淀排泥时段)排出的沉淀物;初沉污泥即

指从初沉池排出的沉淀物;而混合污泥则是指某些污水处理厂在工艺设计上将剩余污泥回流至初沉池,与初沉池污泥混合共沉后形成的沉淀物。一般混合污泥中剩余污泥和初沉污泥并没有固定的比例,两者组

成的多少由工艺设计和运行状况共同决定,即使在同一污水处理厂不同时段内也不尽相同。但总体上初沉污泥所占比例要高于剩余污泥。剩余污泥、初沉污泥和混合污泥在成分上差异较大,本研究以此为切入点,通过试验研究考察不同污泥的厌氧消化性能、产气率和产气量,为工程设计提供基础资料。

1 研究对象及方法

1.1 研究对象

北京市某污水处理厂是目前国内设计处理能力较大的污水处理厂之一,污水处理采用传统活性污泥法工艺,污泥处理系统目前采用浓缩—厌氧消化—脱水—外运(部分作农肥)的处理方式。本研究选取该厂剩余污泥、初沉污泥和混合污泥为研究对象,其中初沉污泥和混合污泥直接取自污泥浓缩池,而剩余污泥取自曝气池。由于剩余污泥含水率较高,为增强不同污泥之间的试验可比性,将剩余污泥经静沉浓缩,使其含水率接近初沉污泥和混合污泥的水平后备用。不同试验污泥样品的主要泥质参数见表1。由表中数据分析,各污泥的pH和碱度基本满足厌氧消化要求,而C/N与厌氧菌繁殖最为活跃时所要求的最佳范围(12~16)相比明显偏低。从不同污泥的泥质比较来看,初沉污泥和混合污泥较为接近,剩余污泥的有机物含量明显较高,但挥发性固体(VS)浓度、COD_{Cr}、碱度和C/N等指标均低于其他两种污泥。

表1 不同污泥样品的主要泥质参数

指标	含水率 / %	有机物 / %	VS / mg/L	COD _{Cr} / mg/L	pH	碱度 / mg/L	脂肪酸 / mg/L	C/N
剩余污泥	96.6	67.61	12 952	27 805	7.18	608	456	4.5
初沉污泥	96.2	46.19	30 384	33 138	7.68	817	615	7.1
混合污泥	96.3	48.29	32 178	35 447	7.50	886	589	6.2

1.2 研究方法

1.2.1 试验装置与试验条件

本研究采用“浮筒式污泥厌氧消化试验装置”,装置结构及主要尺寸如图1所示。整套装置主要由反应器、浮筒和加热电控系统三部分组成。反应器分为内桶和外桶(不锈钢材料):内桶盛装污泥,容积为15 L,上端设伞板,破除浮渣,下端设电机搅拌;外桶水浴,起到水封浮筒和给内桶污泥供热的双重

作用,下方加热装置与置于内桶的温度探头及继电器、温控表连接实现自控。浮筒(塑料)即为沼气收集和计量装置,随着污泥产气量的增加,推动浮筒上升,通过刻度尺的读数以及气体的温度、压强来换算产气量的大小。

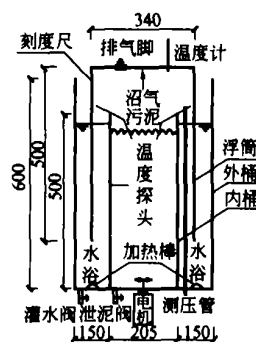


图1 浮筒式污泥厌氧消化试验装置示意

本试验采用3套上述试验装置,对污泥进行中温(35℃)厌氧消化,试验规模15 L,反应周期16 d(接种条件下,污泥厌氧消化的最佳周期为16d^[1])。选取北京市某污水处理厂一级消化池出泥作为种泥,接种量为9%。分别考察剩余污泥、初沉污泥和混合污泥在厌氧消化过程中的产气速率、产气量以及泥质的变化。

1.2.2 分析方法

含水率:重量法;VS:重量法;pH:pH计(pH-meter E350B);碱度:滴定法;COD:重铬酸钾法;TOC:TOC分析仪;TN:碱性过硫酸钾-消解紫外分光光度法;气体成分:气相色谱法。

2 结果与分析

2.1 不同污泥的产气量

三种污泥在厌氧消化反应周期内日产气量(产气速率)的变化曲线见图2。三种污泥的产气高峰期均处于前半周期内,在一个厌氧消化周期内,日产气量的总体变化趋势是递减的。初沉污泥的最大日产气量出现在第1天,高达1 325 mL/L泥,可见初沉污泥中含有大量能被产甲烷细菌快速降解的有机质;剩余污泥的最大日产气量出现在第4天,仅为420 mL/L泥,不足初沉污泥最大日产气量的1/3。两者相比,剩余污泥产气较为缓慢,且产气速率较低。混合污泥前5天产气较为稳定,日产气量维持在800 mL/L泥左右。从拟合的污泥产气速率的变

化曲线可见,剩余污泥和混合污泥的变化趋势基本一致,呈一定的规律性,而初沉污泥的产气速率变化曲线不同,整个消化过程的波动性较为明显。混合污泥是由初沉污泥和剩余污泥相混合而成,可见剩余污泥的加入,对初沉污泥的厌氧消化性能起到一定的改善作用。图2中虚线表示三种污泥产气量的平均值,可知剩余污泥、初沉污泥和混合污泥的日平均产气量分别为218.8 mL/L泥、339.2 mL/L泥和419.4 mL/L泥,在一个周期内日产气量高于日平均产气量的天数分别为8 d、6 d和7 d。

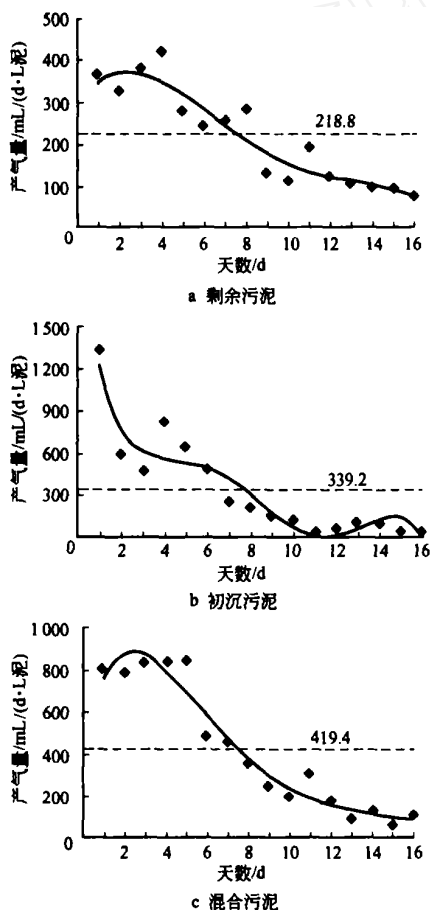


图2 不同污泥厌氧消化的日产气量

如图3所示,本试验研究中得到剩余污泥、初沉污泥和混合污泥的总产气量分别为 $3.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥、 $5.43 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥和 $6.71 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥,而根据厌氧消化前后C的物料平衡估算出三种污泥的理论产气量^[1]分别为 $7.95 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥、 $7.46 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥和 $8.56 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥。通过计算,本试验条件下,三种污泥试

验产气量分别达到理论产气量的44.02%、72.79%和78.39%,可见初沉污泥和混合污泥的消化效果较好,剩余污泥不甚理想。本试验所在污水处理厂污泥厌氧消化系统进泥为该厂的混合污泥,正常运行时污泥的产气率在 $6 \sim 10 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 泥之间,本研究结果与其相吻合。结合表1的数据,混合污泥的C/N等表征污泥厌氧消化性能指标的数值介于剩余污泥和初沉污泥之间,理论上混合污泥的消化性能和产气量也应处于其他两种污泥之间,但在本试验研究中发现混合污泥的日平均产气速率和总产气量均高于初沉污泥。分析原因可能是:初沉污泥沉降性能差,粘滞度大,其中有机质成分较为复杂,为生物降解程度和速率大小不同的有机物颗粒,其在泥体中的不均匀分布,在一定程度上影响到生物体的利用速率和利用效率;剩余污泥经历长时间的好氧生长和稳定过程,有机物所占比例较高,沉降絮凝性能好,且含有大量的好氧和兼性微生物;混合污泥中剩余污泥的加入,能聚集污泥中的有机质,提高局部有机质的浓度,同时污泥中微生物的种类更加繁多,从而改善污泥的厌氧消化性能,增强污泥的水解能力,加速污泥水解过程,激励产甲烷细菌的活性,最终提高污泥的产气速率和产气量。

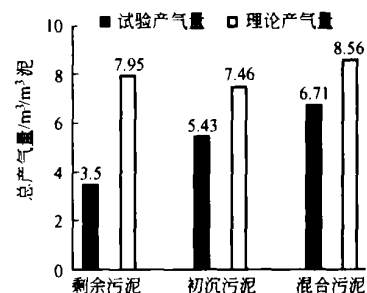


图3 不同污泥的试验产气量和理论产气量

2.2 不同污泥的产气成分

剩余污泥、初沉污泥和混合污泥在前、后半周期产气中 CH_4 和 CO_2 含量见表2。三种污泥产气中 CH_4 含量前半周期低于后半周期, CO_2 反之。说明

表2 不同污泥产气中 CH_4 和 CO_2 含量

项目		剩余污泥	初沉污泥	混合污泥
$\text{CH}_4/\%$	前半周期	55.5	65.5	55.5
	后半周期	68.1	68.8	68.3
$\text{CO}_2/\%$	前半周期	19.0	22.0	17.8
	后半周期	13.2	16.1	16.6

表 3 厌氧消化后的主要泥质参数

指标	含水率 / %	VS / %	COD _{Cr} / mg/L	pH	碱度 / mg/L	消化效率 / %	COD _{Cr} 降解率 / %	单位 VS 产气量 / L/g	分解单位 VS 产气量/L/g
剩余污泥	97.5	59.43	23 334	8.04	1 870	29.8	16.1	0.27	0.68
初沉污泥	97.1	35.74	25 014	8.29	1 917	35.2	24.5	0.18	0.95
混合污泥	97.4	37.12	27 292	8.30	2 186	36.8	23.0	0.21	1.01

污泥厌氧消化过程后半周期产甲烷细菌更为活跃,消化反应更为稳定,产气中 CH₄ 含量较高。在前半周期,初沉污泥产气中 CH₄ 含量要明显高于其他两种污泥;而在后半周期,三种污泥产气中主要组成的差异不大,且 CH₄ 含量均超过 65%。

2.3 不同污泥的消化性能分析

剩余污泥、初沉污泥和混合污泥厌氧消化后的泥质分析结果见表 3。厌氧消化稳定运行时污泥的 pH 范围一般为 6.5~7.5,碱度一般 $\geq 2\ 000$ mg/L,由此可见,本研究中三种污泥的厌氧消化试验基本达到了稳定运行的条件。同消化前污泥泥质相比,污泥含水率、pH 和碱度均有不同程度的升高。

通过计算^[1,2],本试验中剩余污泥、初沉污泥和混合污泥的消化效率分别达到 29.8%、35.2%和 36.8%,COD_{Cr}降解率仅在 20%左右,同国内外其他研究结果相比均明显偏低^[3,4]。分析原因主要有两个:一是本研究采用一次性投泥的静态试验方式,消化过程中没有向反应器里投配新泥,无法实现新泥对消化系统的调节作用,导致污泥整体消化性能受到一定的影响;二是三种污泥的 C/N 偏低,其中剩余污泥仅为 4.5,达不到维持细菌最佳活性的范围,不利于微生物的生长和繁殖,从而导致污泥的厌氧消化反应不够彻底。

单位 VS 产气量和分解单位 VS 产气量这两个指标通常用来衡量污泥的厌氧消化性能和产气能力,目前该方法在国外应用较多。美国污水处理厂设计手册中确定这两项指标的最佳范围为 0.5~0.75 L/g 和 0.75~1.12 L/g。由于 VS 在污泥消化过程中的分解率受诸多因素的影响,投入的 VS 量与最终产气量之间决定关系不大,用单位 VS 产气量考察污泥的厌氧消化性能具有很大的不确定性;分解单位 VS 产气量则能排除因试验条件导致 VS 分解不彻底的干扰,能更准确地反映污泥的厌氧消化性能和产气能力。在本试验条件下,三种污泥的单位 VS 产气量均较低,仅在 0.2 L/g 左右;初沉污泥和

混合污泥的分解单位 VS 产气量较高,分别达到 0.95 L/g 和 1.01 L/g,达到污泥厌氧消化的最佳范围,而剩余污泥的分解单位 VS 产气量相对偏低,仅 0.68 L/g,说明剩余污泥厌氧消化性能较差。

3 主要结论

(1) 剩余污泥、初沉污泥和混合污泥的日平均产气量分别为 218.8 mL/(d·L 泥)、339.2 mL/(d·L 泥)和 419.4 mL/(d·L 泥),总产气量分别为 3.5 m³/m³泥、5.43 m³/m³泥和 6.71 m³/m³泥,分别达到理论产气量的 44.02%、72.79%和 78.39%。

(2) 剩余污泥、初沉污泥和混合污泥产气中 CH₄ 和 CO₂ 等主要组分的含量差异并不显著。

(3) 从污泥的产气速率、产气量和消化性能上分析,不同污泥表现出的相互关系是:混合污泥>初沉污泥>剩余污泥。

(4) 在确定城市污水处理厂污泥处理方式时,初沉污泥(或混合污泥)比单独的剩余污泥更适宜于采用厌氧消化工艺,无初次沉淀池污水处理厂的剩余污泥宜选用其他工艺处理。

参考文献

- 戴前进,李艺,方先金.城市污水处理厂剩余污泥厌氧消化试验研究.中国给水排水,2006,22(23):95~97
- Shimizu T, Tambo N, Kudo K, et al. High efficient sewage wastewater treatment system consisting of fluidized bed pellet separator-aerobic bioreactor and anaerobic digester. Journal of water waste (Japan), 1993, 35: 23~30
- 王才,韩超,刘喜光,等.污泥消化处理试验研究.给水排水,1999,25(6):17~21
- Zhao H W, Viraraghavan T. Analysis of the performance of an anaerobic digestion system at the Regina wastewater treatment plant. Bioresource technology, 2004, 95: 301~307

& 通讯处:100082 北京市海淀区西直门北大街 32 号

电话:(010)82216564

E-mail:qianjin21c@tom.com

收稿日期:2006-10-18