

城市污水处理厂剩余污泥厌氧消化试验研究

戴前进, 李 艺, 方先金

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100035)

摘 要: 以北京市某污水处理厂的剩余污泥为研究对象, 对该污泥的理论产气量进行了估算, 考察了投加接种污泥和未投加接种污泥条件下污泥厌氧消化的产气情况, 并分析了污泥消化前、后的泥质特点。结果表明: 与未接种条件相比, 污泥厌氧消化前采用投加接种污泥的方式可大大促进消化反应的进行, 加快污泥的产气速率, 使厌氧消化周期缩短近 1/4, 但对污泥的总产气量影响较小; 在厌氧消化正常运行条件下, 污泥产气量达到总产气量的 90% 时所需反应时间约为 16 d, 可将其作为污泥厌氧消化工艺较为理想的消化周期; 剩余污泥的消化性能差、产气率低、试验产气量占理论产气量的比例 < 50%, 在工程上单独的剩余污泥不宜采用厌氧消化工艺处理。

关键词: 污水处理厂; 剩余污泥; 厌氧消化; 产气速率; 消化性能

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)23-0095-04

Study on Anaerobic Digestion of Excess Activated Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant

DAI Qian-jin, LI Yi, FANG Xian-jin

(Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute, Beijing 100035, China)

Abstract: The excess activated sludge from a municipal wastewater treatment plant in Beijing was selected as the study object. The theoretic biogas production was estimated, the sludge anaerobic digestion tests were undertaken with seeding sludge and without seeding sludge respectively, meanwhile, the main contents of sludge were analyzed before and after digestion. The results indicate that in comparison to without seeding condition, adding seeding sludge before anaerobic digestion can enhance the efficiency of anaerobic digestion, promote the velocity of biogas production, and cut down 1/4 of the whole digestion cycle, but the total biogas production is hardly affected. The time when the biogas production reaches 90% of total biogas production is about 16 d in the case of well-balanced digestion, and so, 16 d can be chosen as reasonable sludge anaerobic digestion time. In addition, the ratio of test biogas production to theoretic biogas production is less than 50%, and sole excess activated sludge is not suitable to be treated with anaerobic digestion technology in engineering because of poor digestibility and very low biogas production.

Key words: wastewater treatment plant; excess activated sludge; anaerobic digestion; biogas production velocity; digestibility

厌氧消化是一种十分有效的污泥稳定化处理工艺, 能够同时实现污泥减量化、无害化和资源化的处理目标。该方法在国外已得到了广泛应用, 发达国

家早在 20 世纪 60 年代便已达到装备成套的产业化水平, 但国内由于污泥处理事业起步较晚, 整体发展水平偏低, 与发达国家相比差距甚远。目前国内污

泥厌氧消化技术在理论研究、工艺设计和运行管理等方面仍存在诸多亟待解决的问题,故笔者以北京市某污水厂的剩余污泥为研究对象,考察了该污泥的厌氧消化效果,以期 为污泥厌氧消化工艺的应用提供参考。

1 试验方法

1.1 试验污泥

以北京市某污水处理厂的剩余污泥为研究对象,该厂污水处理采用倒置 A²/O 工艺,污泥处理目前采用离心浓缩—脱水—外运的方式。剩余污泥的主要泥质参数见表 1,其中,pH 值和碱度基本满足污泥厌氧消化的要求,但 C/N 值低于厌氧菌繁殖最为活跃时所要求的最佳范围(12~16)。

表 1 剩余污泥样品的主要泥质参数

Tab 1 Parameters of excess sludge sample

指标	含水率 / %	有机物 / %	VSS / (mg · L ⁻¹)	COD / (mg · L ⁻¹)	pH	碱度 / (mg · L ⁻¹)	脂肪酸 / (mg · L ⁻¹)	C/N
数值	96.76	57.05	18 484	23 328	7.30	275	250	4.6

1.2 试验方法

1.2.1 理论产气量的计算

污泥所产气体(沼气)的主要成分为 CH₄ 和 CO₂,在消化运行正常的情况下其他气体(如 N₂、H₂、H₂S、O₂ 等)的含量甚少,在进行估算时可忽略不计。假定污泥消化过程中损耗的碳全部转化为沼气中的 CH₄ 和 CO₂,根据消化前、后污泥中碳的物料守恒,参照莫氏曲线确定的中温消化条件下污泥中有机物含量与其分解率之间的线性关系(见图 1),结合污泥的泥质,估算污泥的理论产气量。

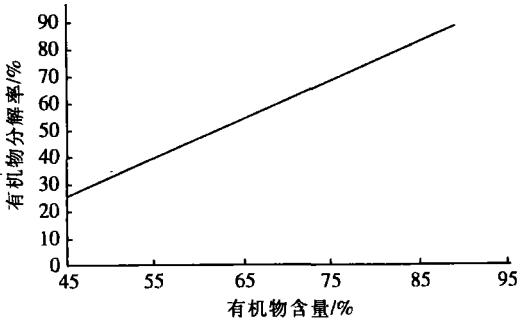


图 1 生污泥中有机物含量与分解率的关系

Fig 1 Correlation between organic matter content and decomposing rate in raw sludge

1.2.2 中温厌氧消化试验

为增强试验数据与工程实际的吻合性,采用模

拟工程中圆形消化池形式的浮筒式污泥厌氧消化试验装置,该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,上端设伞板用以破除浮渣,下端设电机搅拌;外桶水浴,起到水封浮筒和给内桶污泥加热的双重作用,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,浮筒随着污泥产气量的增加而上升,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。装置结构及主要尺寸如图 2 所示。

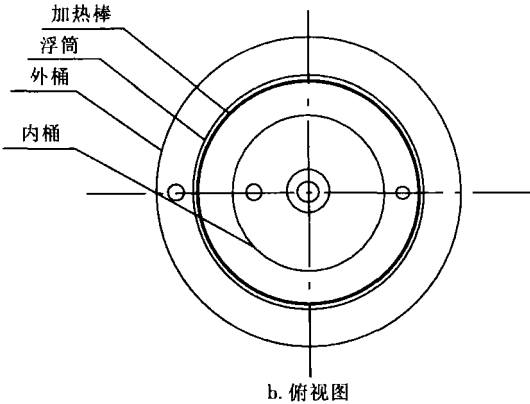
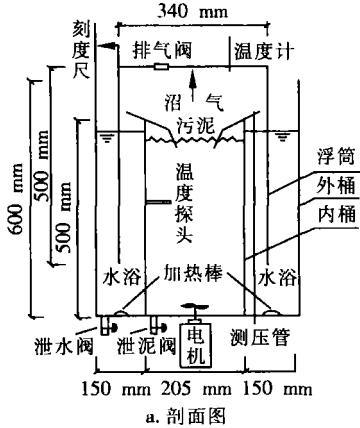


图 2 浮筒式污泥厌氧消化试验装置

Fig 2 Schematic diagram of sludge anaerobic digestion experimental set-up

试验采用中温(35℃)厌氧消化,处理规模为 15 L,反应周期约为 30 d(至产气基本停止)。以北京市高碑店污水处理厂一级消化池出泥为种泥,接种量为 9%,分别考察在接种和未接种两种情况下污泥厌氧消化过程中产气速率、产气量以及泥质的变化。

2 结果与分析

2.1 污泥的理论产气量

CH₄ 气体密度为 0.716 8 g/L, CO₂ 气体密度为 1.976 9 g/L,则 CH₄ 和 CO₂ 中碳含量分别为 0.536 7、0.539 5 g/L。沼气的成分按 65%的 CH₄ 和 35%的 CO₂ 计算,沼气中碳含量约为 0.538 g/L,由此推算,污泥中被分解 TOC的产气量为 1.86 L/g。

根据表 1 提供的泥质数据,在图 1 中可查得有 57.05%的污泥其有机物分解率约为 40.5%,污泥 VSS中的 TOC 含量一般按 55%计算,则该污泥的理论产气量约为 7.7 m³/m³ 泥。

2.2 污泥的试验产气量

接种和未接种两种情况下污泥的厌氧消化周期最终分别为 26 d 和 32 d,反应最后 2 d 浮筒不再上升,产气量几乎不再增加。试验过程中,污泥日产气量(产气速率)的变化如图 3 所示。

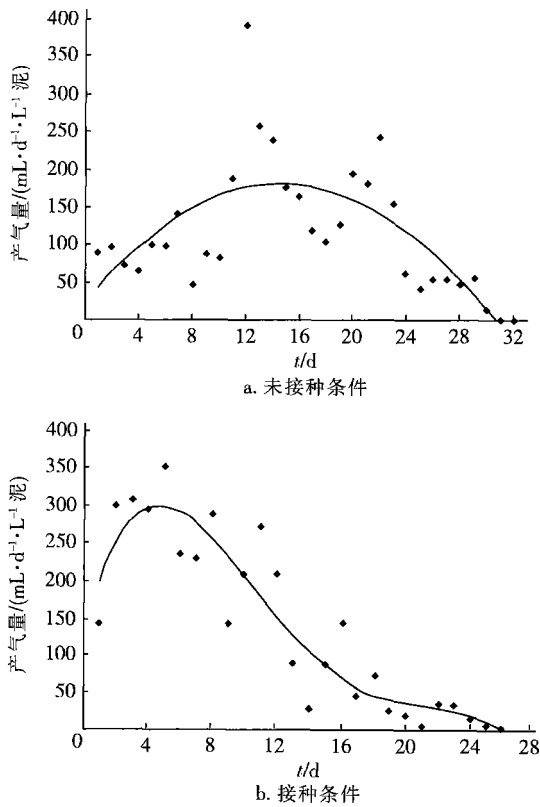


图 3 未接种与接种两种情况下污泥的日产气量变化
Fig 3 Variation of gas production volume per day under inoculation and conventional condition

由图 3 可以看出:在一个厌氧消化周期内,未接种条件下污泥产气速率的总体变化趋势是前 10 d 和后 8 d 较慢,中间 14 d 较快;而接种条件下污泥产

气速率的总体变化趋势是前半期(前 12 d)明显大于后半期(后 14 d)。由图 3 还可看出,未接种条件下,污泥在整个消化周期内经历了两次产气高峰(约在第 12 天和第 22 天),这是由于产气受污泥水解速率和水解程度的影响,在未接种条件下污泥水解缓慢所致;而在接种条件下,污泥的产气高峰在第 5 天前,可见接种污泥的投加减小了污泥水解过程对产气速率的限制作用,可使污泥产气的高峰时间大大提前。未接种和接种两种情况下污泥产气量 >200 mL/(d·L 泥)的天数分别是 4 d 和 10 d,表明投加接种污泥能显著增大污泥的产气速率。

考察了接种和未接种条件下剩余污泥产气量随运行时间的变化情况以及污泥总产气量的变化,结果见图 4、5。

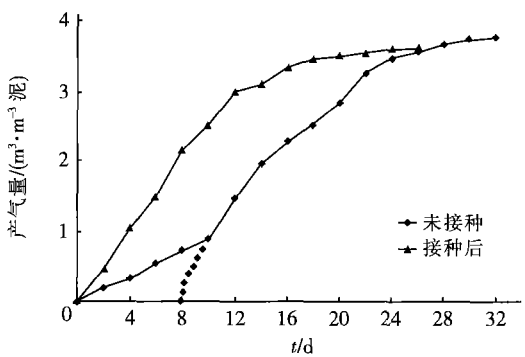


图 4 剩余污泥产气量随时间的变化
Fig 4 Variation of gas production volume of excess sludge with time

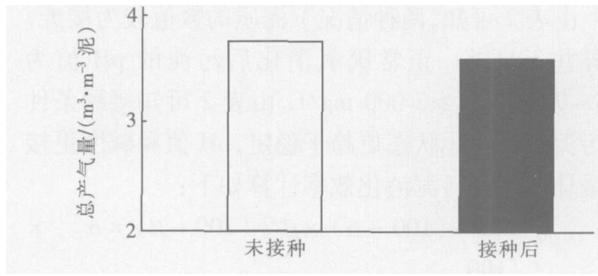


图 5 未接种与接种后污泥的总产气量
Fig 5 Total gas production volume of sludge under inoculation and conventional condition

由图 4、5 可以看出,未接种条件下污泥厌氧消化开始时产气量增长速率较慢,但在 10 d 后产气量的变化趋势与接种条件下的一致,若完全参照接种条件下污泥产气量的变化趋势逆推可知,未接种条件下污泥产气的起始时间应该是第 8 天(见图 4 虚线位置),这表明投加接种污泥后可使污泥的厌氧消

化周期缩短 8 d 左右,约占整个周期的 1/4。由图 5 可知,接种和未接种两种情况下,污泥厌氧消化结束时总产气量分别达到 3 6 m³/m³ 泥和 3 7 m³/m³ 泥,接种污泥对污泥厌氧消化的最终总产气量影响不大。同 2 1 节计算的污泥理论产气量相比较,试验中获得的污泥产气量仅占理论产气量的 46.8% 和 48.1%,比例偏低,分析其原因可能是剩余污泥的消化性能较差,消化过程中有机物的实际分解率远低于理论分解率,导致产气量偏小。

此外,由图 4 还可以看出,产气量达到最终总产气量的 90% (约为 3 3 m³/m³ 泥) 时,接种和未接种两种条件下的厌氧消化时间分别为 16 d 和 24 d。工程上污泥厌氧消化工艺的应用方式同接种条件下反应过程较为接近,因此污泥厌氧消化工艺的消化周期可确定为 16 d。

2.3 污泥的消化性能

接种和未接种两种情况下污泥经厌氧消化后泥质的变化见表 2。

表 2 污泥厌氧消化后的主要泥质参数
Tab 2 Parameters of sludge after anaerobic digestion

指标	含水率 /%	VSS /%	COD / (mg · L ⁻¹)	pH	碱度 (mg L ⁻¹)	消化效率 /%	COD 降解率 /%	VSS 产气量 / (L · g ⁻¹)	分解 VSS 产气量 / (L · g ⁻¹)
接种	97.23	49.01	17 638	7.85	2 005	27.6	24.4	0.22	0.71
未接种	97.19	48.95	17 474	7.89	1 998	27.8	25.1	0.21	0.72

由表 2 可知,两种情况下泥质的数值较为接近,差异并不显著。正常厌氧消化后污泥的 pH 值为 6.5~7.5,碱度 ≥ 2 000 mg/L,由表 2 可知接种条件下污泥厌氧消化状态更趋于稳定,pH 值和碱度更接近最佳范围。污泥消化效率计算如下:

$$\eta = \{ 1 - (100 - \alpha) \times \beta / [(100 - \beta) \times \alpha] \} \times 100$$

式中 η ——污泥的消化效率, %
 α ——消化前污泥中有机物 (VSS) 的含量, %
 β ——消化后污泥中有机物 (VSS) 的含量, %

由表 2 可知,污泥的消化效率和 COD 降解率均小于 30%,与给水排水设计手册上的要求 (当新鲜污泥含水率为 96%~97% 时,污泥中有机物经厌氧消化后分解率达 50% 以上^[1]) 相差甚远。污泥的单位 VSS 产气量和分解单位 VSS 产气量这两项指标

常用来衡量污泥的消化性能和产气能力,试验获得这两个参数的数值分别约为 0.2 L/g 和 0.7 L/g 左右,明显低于美国污水处理厂设计手册中确定这两项指标的最佳范围 (0.5~0.75 L/g 和 0.75~1.12 L/g),同时也明显低于长春市某一级污水处理厂初沉污泥的厌氧消化结果 (污泥消化率为 48.5%,单位 VSS 产气量为 1.1 L/g,分解单位 VSS 产气量高达 2.1 L/g)^[2]。分析其原因可能为: 试验采用一次性投泥方式,并在消化过程中未向反应器中投配新泥,致使无法实现新泥对消化系统的调节作用,从而导致污泥整体消化性能受到一定影响; 剩余污泥的 C/N 值偏低不利于微生物的繁殖,从而限制了污泥厌氧消化的进行; 剩余污泥在曝气池内停留时间较长,好氧稳定化程度较高,其自身的厌氧消化性能远不如初沉污泥和混合污泥 (初沉污泥和剩余污泥的混合物),这也是剩余污泥试验产气量占理论产气量比例较低的原因。试验结果表明,在工程上单独的剩余污泥一般不宜采用厌氧消化工艺处理。

3 结论

污泥厌氧消化前采用接种方式可大大促进消化反应的进行,加快污泥的产气速率,使厌氧消化周期缩短近 1/4,但对总产气量影响不大。

在厌氧消化正常运行条件下,污泥产气量达到总产气量的 90% 时所需时间约为 16 d,故工程中污泥厌氧消化工艺理想的消化周期宜为 16 d。

剩余污泥的消化性能差、产气率低、试验产气量占理论产气量比例 < 50%,因此单独的剩余污泥在工程上不宜采用厌氧消化工艺处理。

参考文献:

[1] 北京市市政工程设计研究总院. 给水排水设计手册——城镇排水 (第 5 册) [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004
[2] 王才,韩超,刘喜光,等. 污泥消化处理试验研究 [J]. 给水排水,1999,25 (6): 17 - 21.

电话: (010) 66167155
E - mail: qianjin21c@tom.com
通讯地址: 100035 北京市西城区大帽胡同 26 号北京市市政工程设计研究总院
收稿日期: 2006 - 08 - 09