

高含固率污泥预处理方法及其在污泥厌氧消化中的作用

刘峰林, 左剑恶, 林 甲, 吴 静, 王凯军

(清华大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 厌氧消化是污泥处理的常用方法, 为了进一步提高污泥厌氧消化效率, 考察加热法和超声法对污泥预处理效果。结果表明, 含固率为 10%、8%、6%、4% 的污泥, 经 60℃、70℃、80℃、90℃ 温度下预处理 30 min, 随温度升高, 预处理后污泥上清液中的溶解性 COD (SCOD) 浓度也相应升高; 针对含固率为 10%、8%、6%、4% 的污泥, 经过 70℃ 预处理 30 min, 其 SCOD 分别升高 21%、31%、52%、37%。考察 70℃ 加热预处理 30 min 后, 含固率 10% 的污泥进行连续厌氧消化试验, 在进料负荷为 $2.78 \text{ gVS} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 下, 连续运行 40 d, 产气率可由原来的 $0.36 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{in}}$ 提高至 $0.44 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{in}}$ 。考察不同声密度和反应时间对不同含固率污泥进行超声预处理的影响, 发现在声密度为 $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$, 时间为 5 min 的条件下, 对含固率为 10%、8%、6%、4% 的污泥进行预处理后, 其上清液中的 SCOD 分别升高 4.6%、59.0%、171.9%、123.0%。

关键词: 加热法; 超声波; 预处理; 厌氧消化

中图分类号: X703; S216.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1166(2012)06-0003-04

Pre-treatment Technology for High Solid Sludge and Its Application in Anaerobic Digestion / LIU Feng-lin, ZUO Jian-e, LIN Jia, WU Jing, WANG Kai-jun / (School of Environment, Tsinghua University, State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Beijing 100084, China)

Abstract: Anaerobic digestion is a convenient way to treat the sludge. Pre-heating and pre-treatment with ultrasonic sound were used for sludge to improve the efficiency of anaerobic digestion. The raw sludge with different solid contents of 10%, 8%, 6%, 4% were pre-heated for 0.5 hours at different temperature of 60℃, 70℃, 80℃, 90℃ respectively. The SCOD (the COD in the superwater of the pretreated sludge after centrifugation) increased as the temperature increased. After pre-heated at 70℃ for 0.5 hour, the sludge with solid content of 10% was fed into the mesophilic anaerobic digester, and operated for 40 days at the organic loading rate of $2.78 \text{ gVS} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. The biogas production increased from $0.36 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{in}}$ to $0.44 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{in}}$. The effect of different sound density and different pre-treatment time on different solid content sludge was also studied. The raw sludge with different solid contents of 10%, 8%, 6%, 4% were pre-treated under sound density of $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$ for 5min, the increased percent of SCOD were 4.6%, 59.0%, 171.9%, 123.0% respectively.

Key words: heat process; ultrasonic sound; pre-treatment; anaerobic digestion

厌氧消化是污泥稳定化、减量化的常用技术, 但由于污泥成分复杂, 污泥内部大分子物质不易转化为小分子物质, 常常导致传统污泥厌氧消化的反应速率和效率较低。水解反应是污泥厌氧消化的限速步骤, 对原污泥进行预处理能够提高其厌氧消化速率。常用的污泥强化预处理技术有臭氧处理^[1~3]、热处理^[4~5]、碱处理^[6~7]、超声处理^[8~10]等。将污泥加热到较高温度, 能够破坏污泥中微生物的细胞壁等, 使其内部的细胞物质得以释放。Rocher^[11]发现在加热状态, 污泥中微生物的细胞结构遭到破

坏, 50℃~70℃时, 可以使细胞溶出物中 DNA 被破坏; 65℃~90℃时, 能使污泥中微生物的细胞壁被破坏; 70℃~95℃时, 可使污泥中的蛋白质发生变性。对污泥进行超声处理, 能改变污泥中微生物的细胞结构, 将大分子物质转化为小分子物质。Deng^[12]等人发现, 经过超声预处理后, 污泥的沉降速度、上清液浊度、粒径分布、菌胶团结构等污泥特征发生明显变化, 同时污泥上清液中的 SCOD、氨氮和胞外聚合物等与未超声的污泥也有所不同。

本文采用不同预处理方法(加热法和超声法)

收稿日期: 2012-07-09

项目来源: 国家高科技研究发展计划(2009AA064702)

作者简介: 刘峰林(1987-), 男, 在读博士, 主要研究面源污染控制技术, E-mail: lfl06@mails.tsinghua.edu.cn

通讯作者: 左剑恶, E-mail: jiang zuo@mails.tsinghua.edu.cn

对不同含固率污泥的进行预处理,确定两种预处理方法各自的最佳条件,同时对含固率为 10% 的污泥加热预处理之后进行了厌氧消化的试验研究。

1 材料与方法

1.1 污泥样品

原污泥为自北京某城市污水处理厂经离心脱水机后的脱水污泥,含水率为 82.3%,VS 含量为 69.5%。向脱水污泥中添加取自同一污水处理厂的污泥上清液作为稀释液,配置成含固率为 10%,8%,6%,4% 的污泥样品。

1.2 加热预处理

将不同含固率的污泥样品加入烧杯中,烧杯置于水浴锅中加热 30 min,水浴温度分别为 60℃,70℃,80℃,90℃。加热期间用玻璃棒对污泥进行适当搅拌。将经加热预处理后的污泥离心后,取上清液测其溶解性 COD。

1.3 超声预处理

将不同浓度污泥样品加入 50 mL 超声烧杯,将烧杯放入超声装置中,设定超声声密度分别为 $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$, $1.0 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$, $1.4 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$, $1.8 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$ 对不同含固率污泥进行处理,观察不同声密度情况下,预处理后污泥上清液的 SCOD 变化情况。在一种较好处理效果的声密度($0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$)作用下,对不同含固率污泥分别进行时间达 5 min,10 min,15 min,20 min,25 min,30 min 的处理,考察处理后污泥 SCOD 随时间变化情况。

1.4 加热预处理后污泥的厌氧消化

采用由有机玻璃制成的 CSTR 反应器作为污泥中温厌氧消化的反应器,厌氧消化过程中,在线监测 pH 及温度。反应器有效容积为 4 L。反应器内部温度维持在 37℃,连续搅拌(100 rpm)。

1.5 测定项目与方法

SCOD:将物料经离心(15000 rpm,30 min)后,用 $0.45 \mu\text{m}$ 的滤膜进行过滤,采用重铬酸钾法进行测定。

SCOD 增长率(污泥预处理 SCOD-污泥原始 SCOD)/污泥原始 SCOD:

含水率及 VS 含量测定:标准重量法测定。

2 结果与讨论

2.1 加热预处理污泥的效果

不同含固率的污泥在不同温度加热预处理 30 min 之后,其 SCOD 均有所增加,结果如图 1 所示。

加热处理污泥能够破坏污泥中的一些絮体结构,较高的温度还能够使污泥中微生物细胞的细胞壁及细胞膜破碎,使污泥中微生物细胞的内容物(主要是有机物)释放到液相,使得污泥上清液中的 SCOD 增大。

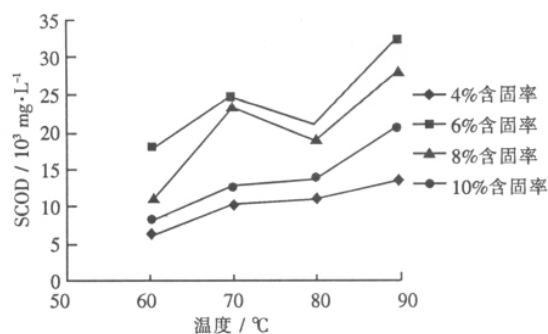


图1 温度对污泥加热预处理效果的营销

不同含固率污泥在不同温度下进行预处理,污泥上清液的 SCOD 增长率也有所不同。从图 2 可看出,不同含固率的污泥经在 60℃ 下预处理 30 min 后,其 SCOD 的增长率都很低。随着温度的升高,不同含固率污泥的 SCOD 增长率均明显增加,特别是含固率为 6% 的污泥经过 90℃ 预处理后,污泥的 SCOD 增长率最大,达到了 260%。加热预处理过程中,污泥含固率对预处理效果影响很大,从图 2 可以看出,当原污泥的含固率大于 8% 的污泥而言,加热预处理效果并不理想。

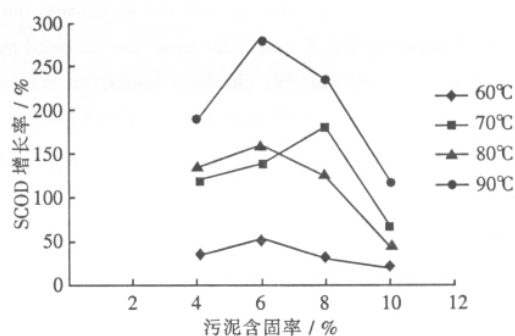


图2 不同含固率对污泥加热预处理效果的影响

预处理温度越高,污泥的 SCOD 越大,这是由于较高的温度能够使污泥微生物的胞外凝聚物破碎,使得微生物分散,同时还能够使微生物的细胞破碎,细胞内的内含物释放。

含固率是影响加热预处理污泥效果的另一个重要因素,这是由于在污泥加热预处理过程中,传热效率是影响预处理效果的主要因素,对于含水率较低

的污泥,由于水分较多,所以传热效率较高,污泥吸收的热量较多,从而有更多微生物的细胞壁细胞膜等能够得以破坏,更多絮体分解,使得预处理效果更好。

2.2 超声预处理污泥的效果

2.2.1 不同声密度对污泥预处理效果的影响

不同含固率污泥在不同声密度预处理 5 min 之后,污泥的 SCOD 变化如图 3 所示。含固率对于预处理效果有很大影响,含固率为 6% 的污泥,超声预处理效果最佳。但对含固率超过 6% 的污泥而言,超声预处理对污泥基本没有影响。声密度对于预处理也是一个重要的影响因素,随着声密度升高,污泥的 SCOD 先增加后减少,声密度为 $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的预处理效果最佳。

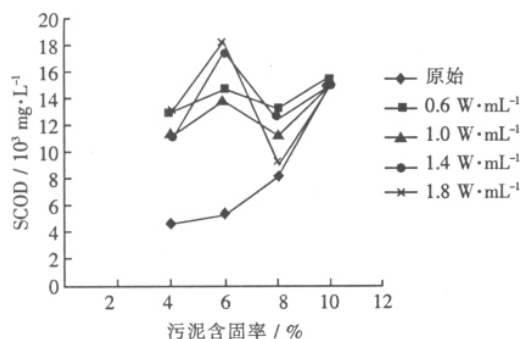


图3 不同声密度对污泥超声预处理效果的影响

超声处理污泥的原理是通过超声的震动,在液相中产生“空穴现象”,而很多学者通过试验认为,较低的声密度 ($0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$ 左右) 能够产生较明显的“空穴现象”,这种现象能够产生振动,进而导致污泥中微生物细胞膜细胞壁震裂。如果声密度升高,“空穴效应”减弱,声密度过低,声波能量减少,“空穴效应”同样减弱。污泥含水率升高,超声波传播阻力增大,“空穴效应”减弱,所以较低声密度的超声波适用于对含固率较低的污泥进行预处理。

2.2.2 不同超声预处理时间对污泥性质的影响

在 $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$ 声密度下,针对含固率 10%、8%、6%、4% 的污泥进行预处理,设定预处理时间分为 5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min,结果如图 4 所示。结果表明,经过超声预处理,不同浓度污泥 SCOD 主要在预处理前 5 min 增长,而在 5 ~ 30 min 之间,污泥的 SCOD 增加效果并不明显。所以,超声预处理 5 min 是较为合适的。

2.3 加热预处理污泥厌氧消化的影响

采用未经预处理的含固率 10% 的污泥进行厌

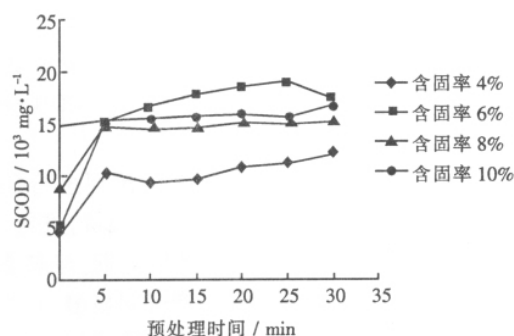


图4 不同超声预处理时间对污泥超声预处理效果的影响
(声密度为 $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$)

氧消化试验,进料负荷为 $2.78 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{d}^{-1}$,厌氧消化连续运行 35 d;之后在相同的进料负荷下,将进料污泥改为经 70°C 加热预处理 30 min 后的含固率 10% 污泥,厌氧消化连续运行 40 天;对比研究加热预处理对污泥厌氧消化的产气及 pH 的影响,结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出,经加热预处理之后,污泥厌氧消化的产气略有增加,并且日产气量波动较小。同时,加热预处理之后污泥厌氧消化体系 pH 值降低到 8 以下,波动减小,这也为厌氧菌提供了有利的生长条件。

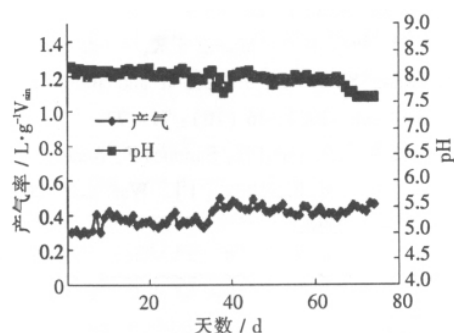


图5 加热预处理对污泥厌氧消化效果的改善
(预处理温度 70°C , 时间 30 min)

经过加热与处理之后,污泥中很多微生物细胞壁破碎,内容物溶出,同时一些大分子物质分解为小分子的物质,这都导致产气增加与稳定,经过计算,预处理之后,污泥厌氧消化产气率可由原来的 $0.36 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{V}_{\text{sin}}$ 提高至 $0.44 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{V}_{\text{sin}}$,提高了 22%。污泥中微生物内有机物的溶出,导致水解菌能够快速利用这些物质产酸,所以体系 pH 值下降到 8 以下。

3 结论

(1) 采用加热法预处理污泥,随着温度的升高,

污泥 SCOD 增大。随着污泥含固率的增加,加热法预处理效果先增大后减小,应用 70℃ 对含固率为 4%、6%、8%、10% 污泥进行预处理,其 SCOD 分别提高 120%、140%、180%、66%;

(2) 在 70℃ 下对含固率 10% 的污泥进行预处理 30 min 后,作为中温厌氧消化反应器的进料,在进料负荷为 $2.78 \text{ gVS} \cdot \text{L}^{-1} \text{d}^{-1}$ 的情况下,与未进行预处理的污泥的厌氧消化相比,产气明显增加,产气率可由 $0.36 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{in}}$ 提高至 $0.44 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{in}}$;同时体系 pH 稳定在 8 以下;

(3) 超声法针对含固率大于 6% 污泥进行预处理,效果并不明显。针对含固率小于 6% 污泥进行预处理,发现声密度为 $0.6 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$ 预处理效果较好。采用相同声密度,随着时间的增加,预处理效果并未显著增加,预处理时间为 5 min 较为适宜。针对相同含固率污泥,超声预处理污泥效果弱于加热法预处理效果。

参考文献:

- [1] Scheminske A, Krull R, Hempel D C. Oxidative Treatment of Digested Sewage Sludge with Ozone [J]. Wat Sci Tech, 2000, 42(9): 151–158.
- [2] Ahn K H, Park K Y, Maeng S K, et al. Ozonation of Wastewater Sludge for Reduction and Recycling [J]. Wat Sci Tech, 2002, 46(10): 71–77.
- [3] Wemeaes M, Grootaerd H, Smiones F. Anaerobic Digestion of Ozonized Biosolids [J]. Wat Res, 2000, 34(8): 2330–2336.
- [4] Camacho P, Deleris S, Gesugey. A comparative study between mechanical, thermal and oxidative disintegration techniques of waste activated sludge [J]. Wat Sci Tech, 2002, 46(10): 79–87.
- [5] Stuckey, McCarty. The effect of thermal pretreatment on the anaerobic biodegradability and toxicity of waste activated sludge [J]. Wat. Res. 1984.
- [6] Rajanrv, Lin J G, Ray B T. Low-level chemical pretreatment for enhanced sludge solubilization [J]. JW-PCF, 1989, 61(11212): 1678–1683.
- [7] Lin J G, Chang C N, Chang S C. Enhancement to anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization [J]. Bioresource Technology, 1997, 62(3): 85–90.
- [8] Zhang P Y, Zhang G M, Wang W. Ultrasonic treatment of biological sludge: Floc disintegration, cell analysis and inactivation [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(1): 207–210.
- [9] Tiehm A, Nickel K, Neis U. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge [J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(11): 121–128.
- [10] Onyeché T I, Schlafer O, Bormann H, et al. Ultrasonic cell disruption of stabilised sludge with subsequent anaerobic digestion [J]. Ultrasonics, 2002, 40(1–8): 31–35.
- [11] Hner A, Mason C A. Death and lysis during aerobic thermophilic sludge treatment characterization of recalcitrant products [J]. Wat Res, 1994, 28(4): 863–869.
- [12] Deng J C, Feng X, Lei H Y, et al. Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(3): 1074–1081.
- [13] (上接第 22 页)
- [14] Hagmann M, Hesse E, Hentschel P, et al. Purification of biogas – removal of volatile silicones. In: Proceedings Sardinia [G]// Eighth international waste management and landfill symposium. Sardinia: CISA, 2001: 641–644.
- [15] V D I. Measurement of landfill gas – Principles [R]. Beuth Verlag 2006.
- [16] Popat S C, Deshusses M A. Biological removal of siloxanes from landfill and digester gases: opportunities and challenges [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 42: 8510–8515.
- [17] Accettola F, Guebitz G M, Schoeffner R. Siloxane removal from biogas by biofiltration: biodegradation studies [J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2008, 10: 211–218.
- [18] Urban W, Lohmann H, Gomez J I S. Catalytically upgraded landfill gas as a cost-effective alternative for fuel cells [J]. Journal of Power Sources, 2009, 193: 359–366.
- [19] Ajhar M, Melin T. Siloxane Removal with Gas Permeation Membranes [G]// Conference of the European Membrane Society. Giardini Naxos: Elsevier Science Bv, 2006. 234–235.
- [20] Appels L, Baeyens J, Dewil R. Siloxane removal from biosolids by peroxidation [J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49: 2859–2864.
- [21] Klingel M, Hahn H H, Hoffmann E. Ausgasungsverhalten von Siloxan in der Klärschlammfäulung [R]. Max-Buchner-Forschungsförderung 2002: 6.