

污泥溶胞破解效果与能耗分析

曹秀芹¹ 陈爱宁¹ 甘一萍² 周 军² 常 江² 王佳伟²

(1 北京建筑工程学院城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室,北京 100044;

2 北京城市排水集团有限责任公司研发中心,北京 100022)

摘要 利用超声溶胞作用考察不同浓度下污泥的分解效果。研究结果表明:随着超声波作用时间的延长,污泥中释放出的 SCOD 和 VFA 也在不断增加;并且随着污泥浓度的增加,超声污泥释放出的 SCOD 和 VFA 不但总量有明显增长,而且单位质量污泥破解释放的 SCOD 和 VFA 的量也在增加,在超声作用时间为 5~45 min,污泥浓度为 13 000 mg/L、17 000 mg/L、37 000 mg/L 的情况下,污泥 SCOD/VSS 的范围为 0.10~0.14 mg/mg;VFA/VSS 范围为 0.016~0.023 mg/mg;当比能耗相同时,随污泥浓度升高,单位质量污泥破解程度显著增加,因此,提高污泥浓度可以在低比能耗的情况下达到较高的能耗效应。

关键词 超声波 污泥浓度 污泥破解 比能耗 厌氧消化

0 前言

污水处理厂污泥产量约占污水处理量的 0.3%~0.5%(以含水率为 97%计),如对污水进行深度处理,污泥量还将增加 0.5~1 倍。而污泥处理及处置基建费用十分昂贵,约占全部基建费用的 50%~60%^[1]。由此可见未来我国的污泥处理任务十分艰巨。

厌氧消化是目前国际上应用最为广泛的污泥稳定化和资源化的处理方法。它可以使污泥中挥发性悬浮固体(VSS)含量减少 40%~60%,从而降低剩余污泥浓度,使污泥达到减量化和稳定化。但是厌氧消化依然具有反应慢,污泥停留时间长(20~30 d),池体容积庞大,甲烷产量低等缺点。污泥水解是厌氧消化反应的限速步骤^[2],微生物对污泥的水解情况直接影响消化反应的效果。因此,有效地进行污泥预处理可以提高水解反应效果并加快消化反应的进程。

目前污泥预处理方法有很多,主要分为物理法(超声波预处理、高压喷射法、高温预处理方法等)、化学法(臭氧预处理、碱解预处理等)等^[3]。由于超声波技术具有无污染、能量密度高、分解污泥速度快等特点,在污泥处理领域引起人们越来越多的关注。高强度的超声波能破坏菌胶团及污泥微生物的

细胞壁结构,使固态有机污泥及胞内物质转变为溶解性有机物 SCOD,提高了污泥的可生化性,经超声处理后污泥沼气产量上升。低强度的超声波作用则以污泥菌胶团破解促进胞外聚合物的分解为主,该过程加速或者说部分取代污泥水解步骤,大大缩短厌氧发酵的时间。目前,针对超声波对污泥的破解已有大量研究^[4~12],但是这些研究往往针对单一浓度下污泥的破解效果,而针对超声波对不同浓度污泥破解效果的研究却很少。根据已有的研究表明,超声波作用效果主要受超声作用时间的影响^[13],而受声强和声能密度影响较小,因此本文在声能密度不变(0.25 W/mL)的情况下,观察超声作用时间为 5~45 min 时不同浓度污泥(13 000 mg/L, 17 000 mg/L, 37 000 mg/L)的破解情况,并对其破解效果进行了比能耗分析。

1 试验装置与样品

1.1 试验污泥来源

本试验中的污泥来自一运行稳定 A²/O 系统的二沉池排放的剩余污泥。该污泥浓度为 7 000~10 000 mg/L,在 4℃下静沉 24 h 后可使污泥浓度提高至 14 000~17 000 mg/L,静沉后的污泥在 3 000 r/min 离心 1 min 后可将污泥浓度进一步提高至 37 000 mg/L。以此分别模拟污泥不同浓缩技术污泥浓度的变化情况。

建设部科技发展项目(MOC06-k4-28);北京市留学人员资助项目(BOP-06)。

1.2 试验装置

本试验所采用的超声波发生装置为如图 1 所示中科院声学所生产的 800 型超声强化乳化处理机。该装置是由超声波发生器、换能器、超声探头等组成。其超声频率为 18 kHz, 电功率为 0.250 W 可调, 钛探头直径 24 mm。

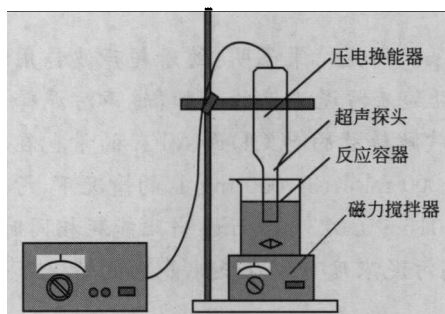


图 1 800 型超声强化乳化处理机

反应容器为 250 mL 的玻璃烧杯, 容器上方敞开, 使被处理污泥中溶解的空气(即空化气体)与外部空气达到动态平衡。进行超声波作用时, 通过磁力搅拌器使污泥不断搅拌。探头由上至下垂直伸入污泥, 伸入位置为污泥液面以下 1 cm 左右, 超声波从圆柱状探头的横截面向下垂直发射。且为保证超声波作用的重现性, 在每次作用时应尽量保证超声波探头没入液面深度相同。

2 试验结果及其分析

2.1 SCOD 及 VFA 的释放情况

污泥中的 SCOD 和 VFA 的变化情况是衡量污泥分解情况的最重要指标, 超声作用后, 不同浓度的剩余污泥 SCOD 和 VFA 的释放情况见图 2 和图 3。

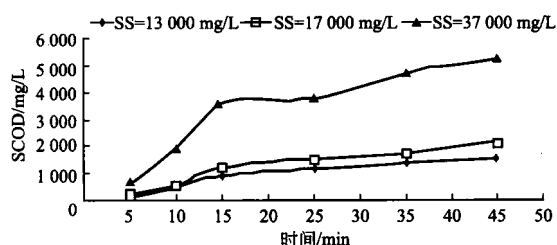


图 2 超声波对不同浓度污泥 SCOD 的释放

从图 2 和图 3 可以看到, 随着污泥浓度的提高, 超声波作用污泥的总量也在不断提高, 因此污泥中释放的 SCOD 和 VFA 的量有显著的增加。另外随着超声作用时间的延长, 污泥中 SCOD 和 VFA 的释放量也不断增加; 在超声作用 0~45 min 时间内,

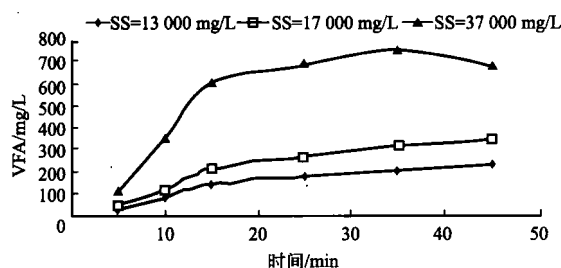


图 3 超声波对不同浓度污泥中 VFA 的释放

超声波对污泥的 SCOD 和 VFA 的释放基本可以分为两段。在超声作用的前 15 min 内, 3 种浓度污泥的 SCOD 与 VFA 的释放速度较快; 超过 15 min 后 SCOD 与 VFA 的增速变缓。这种现象产生的原因可能是由于剩余污泥中的有机成分主要为形成微生物絮体的胞外聚合物(EPS)和微生物自身的胞内物质。微生物的胞内物质被强韧的细胞壁包裹, 超声波很难迅速将其释放出来; 因此在超声波作用的前 15 min 内, 超声波主要破坏的是相对比较容易分解的微生物胞外物质(EPS), 将其中的大分子物质转化成 SCOD 和 VFA。而在 15 min 时微生物胞外的易降解物质已经分解得较为充分, 15 min 后 SCOD 和 VFA 的增加主要是由于微生物细胞壁分解, 使其胞内物质逐渐释放出来。同时, 随着污泥浓度的提高污泥中释放的 SCOD 和 VFA 的总量有显著的增加。但是总量的增加并不意味着对污泥破解程度的提高。

为了定量比较不同污泥浓度对污泥破解效果的影响, 图 4 和图 5 反映了不同浓度污泥超声破解后单位质量 VSS 所释放 SCOD 和 VFA 的变化。当超声作用时间为 15 min 时浓度为 13 000 mg/L、17 000 mg/L、37 000 mg/L 的三种污泥 SCOD/VSS 分别为 0.10 mg/mg、0.11 mg/mg、0.14 mg/mg; VFA/VSS 分别为 0.016 mg/mg、0.018 mg/mg、0.023 mg/mg。不难看出, 随着污泥浓度的升高 SCOD/VSS 和 VFA/VSS 的比值也有明显的提高。这是因为, 污泥浓度升高时, 污泥中固体成分的含量也随之增加; 发生超声空化作用时高浓度污泥内固体成分相互碰撞摩擦的程度要高于低浓度污泥, 发生声空化效应时机械剪切作用使高浓度污泥固体的破解效果更为显著, 因此其破解程度显著高于低浓度污泥。

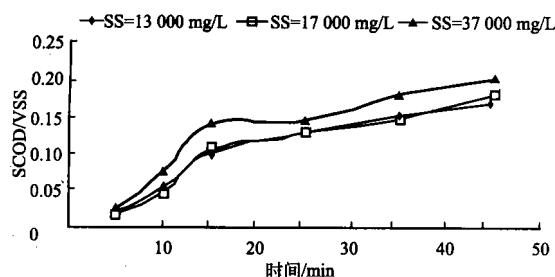


图4 单位质量 VSS 中 SCOD 的释放

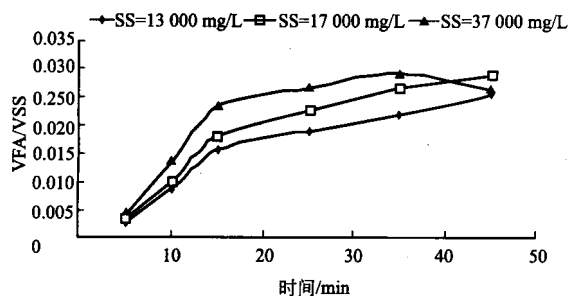


图5 单位质量 VSS 中 VFA 的释放

2.2 污泥 SS 及 VSS 的溶解率

污泥的浓度(SS)是将污泥经滤纸抽滤后蒸发所得到的固体物质的质量,不包含水样中的胶体和溶解性物质。挥发性悬浮固体(VSS)为 SS 中的有机成分的量。经超声作用后污泥中悬浮态的有机固体物质被破解为溶解性物质使污泥 SS、VSS 减少,本文将 SS、VSS 减少量与原污泥 SS、VSS 的比值定义为污泥破解率。

从图 6 和图 7 中可以看到,超声波对污泥破解的规律与对 SCOD 释放的规律基本相同。在超声作用前 15 min 污泥破解速度较快,超声作用 15 min 后污泥继续分解但速度明显降低。超声作用 15 min 时浓度为 13 000 mg/L、17 000 mg/L、37 000 mg/L 的三种污泥 SS 的破解率分别为 10.01%、10.37%和 13.82%;超声作用 45 min 时三种污泥 SS 破解率为 13.4%、14.1%、17%可见随着污泥浓度的增加,经超声波作用后,污泥的破解率也不断增加。

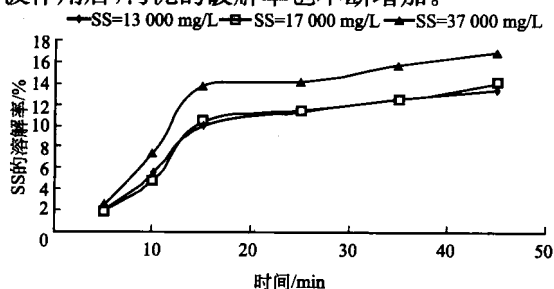


图6 污泥 SS 的溶解率

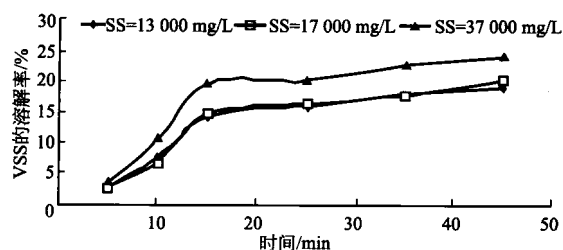


图7 污泥 VSS 的溶解率

另外从图 6 中以污泥浓度为 37 000 mg/L 超声作用 15 min 时 SS 的溶解率为 13.82%为例,该值小于胞外聚合物占活性污泥干重 15%的理论值^[14]。这说明在超声波作用 15 min 时,仍有部分胞外聚合物未完全转化为 SCOD。

2.3 超声作用的比能耗与 SCOD 释放的关系

比能耗是指,超声波作用于单位质量干污泥所消耗的能量,单位为 kJ/g TSS,该参数体现了声能密度、超声作用时间与污泥浓度的综合作用。比能耗可按下式计算^[15]:

$$E_s = \frac{Pt}{m\omega}$$

式中 E_s ——比能耗, kJ/g;

P ——通过量热法计算的超声波作用于污泥的功率, kW;

t ——超声处理时间, s;

m ——处理污泥的质量, kg;

ω ——初始污泥质量分数, %。

图 8 为比能耗与单位质量污泥 VSS 中释放的 SCOD 的关系,由图可知,随着比能耗的增加,污泥中释放出的 SCOD 也不断增加。当比能耗相同时,随污泥浓度升高,单位质量污泥中释放出的 SCOD 的量也大幅升高。将超声污泥用于后续厌氧消化时,消化系统内的微生物利用污泥中的 SCOD 产生

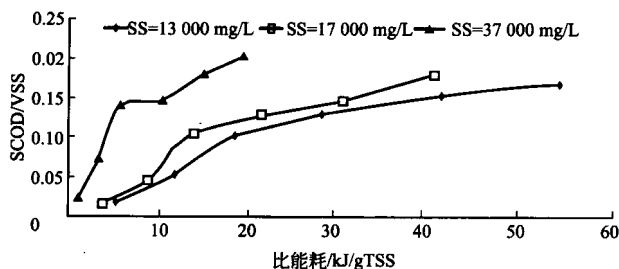


图8 比能耗与 SCOD/VSS 的关系

甲烷,因此当比能耗相同时,采用浓度更高的污泥,更有利于污泥厌氧消化的进行。

特别是当比能耗为 6.5 kJ/g TSS 时,浓度为 17 000 mg/L 与浓度为 37 000 mg/L 污泥单位质量 VSS 释放的 SCOD 的量分别为 0.02 mg/mg 和 0.14 mg/mg,涨幅将近 6 倍。因此通过不同的污泥浓缩技术来提高污泥浓度可以在低比能耗的情况下达到较高的能耗效应。

3 结论

(1) 随着超声波作用时间的延长,污泥中释放出的 SCOD 和 VFA 也在不断增加。在声能密度 0.25 W/mL 下,超声作用时间为 5~45 min 内,超声波对污泥的破解分为两个阶段,在前 15 min 内污泥中 SCOD 和 VFA 的释放较快,而 15 min 后污泥中 SCOD 和 VFA 的释放则较为缓慢。可以初步认为,超声作用的前 15 min 主要为超声分解胞外物质的过程,而超声作用 15 min 后为超声污泥逐渐溶胞的过程。

(2) 随着污泥浓度的增加,超声污泥释放出的 SCOD 和 VFA 不但总量有明显增长,而且单位质量污泥中释放的 SCOD 和 VFA 也在增加。当超声作用时间为 15 min 时浓度为 13 000 mg/L、17 000 mg/L、37 000 mg/L 的三种污泥 SCOD/VSS 分别为 0.10 mg/mg、0.11 mg/mg、0.14 mg/mg; VFA/VSS 分别为 0.016 mg/mg、0.018 mg/mg、0.023 mg/mg。

这说明在超声波作用前,提高污泥浓度可以在保证超声波对污泥降解程度的基础上,有效提高超声波单位时间内破解污泥的总量。

(3) 当比能耗相同时,随污泥浓度升高,单位质量污泥破解程度显著增加。因此,提高污泥的浓度,可以在低比能耗的情况下达到较高的能耗效应,有利于后续厌氧消化或其他生化反应的进行。

参考文献

- 1 Davis R D, Hall J E. Production, treatment and disposal of wastewater sludge in Europe from a UK perspective. *Eur. Water Pollut. Control.*, 1997, 7(2): 9~17

- 2 Eastman J A, Ferguson J F. Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion. *JWPCF*, 1981, 53: 352
- 3 Weemaes M P J, Verstraete W H. Evaluation of current wet sludge disintegration techniques. *J Chem Technol Biot.*, 1998, 73: 83~92
- 4 Harrison S L. Bacterial cell disruption: a key unit operation in the recovery of intracellular products. *Biotech Adv.*, 1991, 9(11): 217~240
- 5 Neis U. Ultrasound in water, wastewater and sludge treatment. *Water* 21, 2000, 11(6): 36~39
- 6 Tiehm A, Nickel K, Zellhorn M, et al. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. *Wat Res.*, 2001, 35(8): 2003~2009
- 7 Mark G. OH⁻ radical formation by ultrasound in aqueous solution Part II: Terephthalate and Fricke dosimetry and the influence of various conditions on the sonolytic yield. *Ultrasonics Sonochem.*, 1998, 5(8): 41~52
- 8 Lorimer J P. Sonochemistry - the general principles. In: *The Royal Society of Chemistry. UK*, 1990, 15~30
- 9 Tiehm A, Nickel K, Neis U. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Science and Technology*, 1997, 36(11): 121~128
- 10 曹秀芹, 陈璐, 欧阳利, 等. 剩余污泥的超声处理试验研究. *中国给水排水*, 2003, 19(2): 58~60
- 11 Chu C P, Lee D J, You C S, et al. 'Weak' ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids. *Water Research*, 2002, 36(11): 2681~2688
- 12 王芬, 季民, 汪泳, 等. 剩余污泥的超声破解与影响因素分析. *环境保护科学*, 2004, 30: 16~19
- 13 曹秀芹, 陈璐, 唐臣, 等. 超声处理后剩余污泥性质变化及分析. *环境工程*. 2005, 23(5): 84~86
- 14 李绍峰, 王宏杰, 王雪芹, 等. 超声波树脂联用法提取活性污泥中的胞外聚合物. *安全与环境学报*. 2006, 6(5): 11~13
- 15 Bougrier C, Carrère H, Delgenès J P. Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. *Chemical Engineering Journal*, 2005, 106: 163~169

通讯处: 100044 北京建筑工程学院环能学院

电话: (010) 68322128

E-mail: caoxiuqin@bucea.edu.cn

收稿日期: 2010-01-19