

剩余污泥超声破解性能研究

王 芬, 季 民

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘 要: 采用超声波技术破解人工配水条件下培养的污泥, 研究了超声破解含固率为 0.5% 与 1% 污泥的性能, 并比较了超声破解 2 种含固率污泥的效果。结果表明, 在一定声能密度下, SCOD 增加值随时间延长线性增长。即在一定试验时间范围内, 污泥破解反应相对于时间符合一级反应动力学规律。但是, 在较高声能密度与较低污泥浓度下, SCOD 增加值随时间延长不再呈线性增长趋势, 而是随超声作用时间的延长, 增长速度减缓。在相同比能耗下, 破解含固率为 1% 污泥的 SCOD 增加值明显大于含固率为 0.5% 污泥值。若后续污泥处理工艺采用厌氧消化技术, 则推荐破解含固率为 1% 的污泥。超声破解污泥后, 污泥温度会升高, 相同声能密度下, 破解两种不同含固率污泥的温度升高值相近。

关键词: 超声波; 剩余污泥; 破解; 含固率; 溶解性化学需氧量

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)03 – 0584 – 04

Disintegration of Waste Activated Sludge by Ultrasonic Treatment

WANG Fen, JI Min

(School of Environmental Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In this paper, pretreatment of waste sludge by ultrasonic disintegration at a laboratory – scale is studied. The sludge disintegrated was cultivated using a synthetic water. This study included the following: the effects of ultrasonic disintegration on sludge with both concentrations of 0.5% and 1%; respectively, compared with another two tests. It has been found that under certain ultrasonic density and ultrasonic intensity, the quantity of soluble COD (SCOD) raised linearly as the time extends. However, when the ultrasonic intensity was high and the sludge density was low, while the rising rate became slowly. Under the same specific energy, the quantity of SCOD of disintegration for 1% was much larger than that for 0.5%. It may be concluded that anaerobic digestion may be applied as the subsequent process, the sludge concentration of 1% was selected for disintegration. The temperature of sludge enhanced after disintegration under the same ultrasonic intensity, with an appropriate values.

Keywords: ultrasonic treatment; sewage sludge; disintegration; soluble COD

城市污水生物处理厂剩余污泥的处理费用约占污水处理厂总运行费用的 25% ~ 40%, 有时甚至高达 60%^[1]。通常采用的污泥中温厌氧消化工艺, 存在着反应速度慢、污泥在池内的停留时间过长、池体体积庞大、操作管理复杂等缺点。

污泥厌氧消化过程中, 污泥水解是限速步骤^[2]。采用一定的预处理方式, 使细胞壁破裂, 细胞内含物溶出, 可以加速污泥的水解过程, 从而达到缩短消化时间、减少消化池容积、提高甲烷产量的目的。例如,

国外有研究表明, 使用超声波 (3.6 kW, 31 kHz, 64s) 预处理污泥, 污泥中溶解性化学需氧量(SCOD)由 630 mg · L⁻¹ 上升到 2 270 mg · L⁻¹, 而且可以使污泥消化的停留时间缩短至 8 d^[3]; 采用碱 (1 mol · L⁻¹) 与超声波 (120 W, 20 kHz) 结合的方法预处理污泥 240min, 可以使污泥中 78% 的总化学需氧量 (TCOD) 溶出^[4]; 用搅拌球磨机及高压均化器的机械处理方式可以使污泥中 TCOD 溶出率达 90%, 同时使厌氧消化的停留时间减少到 6 d^[5]; 采用高压灭菌器 (120 °C, 10⁵Pa) 处理污泥 45 min, 可以使 35% ± 7% 的 TCOD 溶出^[6]。目前, 国内关于污泥细胞破解技术的研究较少。本文采用超声波方式破解剩余污泥, 主要研究了超声破解含固率为 0.5% 与 1% 污泥的性能, 并比较了超声破解 2 种含固率污泥的效果。

收稿日期: 2004 – 03 – 02

基金项目: 教育部天南大合作项目“废水与微污染水处理创新技术研究”课题资助

作者简介: 王芬 (1979—), 女, 山东济南人, 天津大学环境学院博士研究生, 主要研究方向为污泥处理技术。

E – mail: tjwf@163.com

1 试验材料与方法

1.1 污泥来源

本试验所用污泥取自一容积为 40 L 的 SBR 反应器,种泥取自天津大学中水回用处理站中膜生物反应器内的污泥。SBR 反应器内的污泥停留时间为 13.3 d。每天运行 3 个周期,处理人工模拟废水,主要基质为葡萄糖,进水 COD 浓度为 $600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。按照 BOD:N:P 为 100:5:1 的比例,投加葡萄糖、氯化铵(或硫酸氨)、磷酸二氢钾(或磷酸氢二钾)作为碳、氮、磷源。反应器内 MLSS 为 $5\,000\sim6\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。取反应器内每一个运行周期末的污泥(含固率为 0.5% 左右),直接进行破解试验;或经重力沉降,使污泥浓缩至原体积的一半时,弃去上清液,用浓缩污泥(含固率为 1% 左右)进行破解试验。

1.2 试验装置

试验装置如图 1 所示,主要由超声波换能器、超声探头及反应容器组成。其中探头式超声发生器由宁波新芝科器研究所研制生产,超声发生频率为 20 kHz,电功率为 $320\sim1\,200\text{ W}$ (可调),钛合金探头直径为 20 mm。

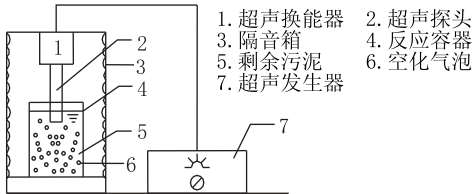


图 1 超声波处理剩余污泥的试验装置图

Figure 1 Diagram of the test apparatus for ultrasonic treatment of sludge

1.3 试验方法

在室温条件下,向烧杯内加入一定含固率的污泥,超声探头浸入液面以下 1 cm。改变超声破解时间,分析各指标变化。

1.4 分析项目及方法

1.4.1 挥发性悬浮物(VSS)

VSS 的测定方法为取定量污泥,离心机(转速为 $4\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)离心 10 min 后,将离心后的固体部分完全转移至坩埚内,放入烘箱在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重后,再放入马福炉内,在 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下灼烧至恒重后,取出测定 VSS 值。

1.4.2 化学需氧量(COD)

测定 COD 的方法为重铬酸钾法。其中 SCOD(溶

解性化学需氧量)为离心机(转速为 $4\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)离心 40 min 后上清液的 COD 值;总化学需氧量(TCOD)为被破解污泥混合液的 COD 值。

1.4.3 温度

采用电极法测定,所用仪器为哈纳 HI9321 型微电脑台式酸碱度计。

2 试验结果与讨论

本研究进行了输出功率为 720 W 时破解 1 000 mL 及 500 mL 含固率为 1% 与 0.5% 的污泥与 384, 192 W 时破解 1 000 mL 含固率为 1% 与 0.5% 的污泥的试验,即声能密度为 0.72, 1.44, 0.384 及 0.192 $\text{W}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时破解含固率为 1% 与 0.5% 的污泥的试验。

2.1 SCOD 增加值的变化规律

文中 SCOD 增加值的定义为超声破解前后污泥离心后上清液中 SCOD 差值。声能密度为 $1.44\text{ W}\cdot\text{mL}^{-1}$,污泥含固率为 1% 与 0.5% 时,SCOD 增加值随时间变化如图 2 示。

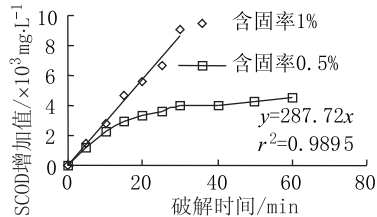


图 2 声能密度为 $1.44\text{ W}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时 SCOD 增加值随超声时间变化图

Figure 2 Increase of soluble COD and duration of treatment at ultrasonic density of $1.44\text{ W}\cdot\text{mL}^{-1}$

由图 2 可以看出,随着破解时间的延长,SCOD 增加值显著增加。本声能密度下,破解 2 种不同浓度的污泥 10 min 后,SCOD 增加值分别为 $2\,785\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $2\,261\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;而破解 30 min 后,SCOD 增加值分别为 $9\,019\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $3\,966\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。由图 2 还可以看出,污泥含固率为 1% 时,在试验超声作用时间范围内,随着破解时间的延长,SCOD 增加值呈线性增长趋势,在其他声能密度下进行的试验也得出相同的规律。但是,在声能密度为 $1.44\text{ W}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,破解含固率为 0.5% 的污泥,当 SCOD 增加值达 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,随着破解时间的延长,SCOD 增加值增长趋势逐渐变缓,即已达破解极限值。而在其他较低试验声能密度下,破解同浓度的污泥,SCOD 增加值均随时间的延长呈线性增长趋势。SCOD 增加值增长趋势变

缓的原因可能是,声能密度较高时,产生更大的水力剪切力,超声破解的速度较快,污泥在超声作用下,多数污泥细胞胞壁被破坏,絮体尺寸快速减小。此时,进一步破解污泥变得困难,导致了破解速度减缓,即 SCOD 增加值增加速度减缓。

2.2 VSS 减少率的变化规律

超声破解污泥还可使污泥减量化,本文将破解前后污泥 VSS 的差值定义为 VSS 减少值。VSS 减少值随超声声能密度、超声作用时间及污泥浓度变化规律与 SCOD 增加值随三者的变化规律相似。这是因为 SCOD 增加是由于超声波破解作用破坏污泥絮体及污泥细胞壁,从而导致胞内物质由污泥相进入水相引起的。而胞内物质的溶出会引起总悬浮固体量的减少。所以,SCOD 增加值的变化与 VSS 减少值的变化规律基本一致。

本文将单位 VSS 减少值产生的 SCOD 增加值,即破解单位质量剩余污泥所产生的 SCOD 增加值定义为 SCOD 产率,单位为 $\text{gSCOD} \cdot \text{g}^{-1}\text{VSS}$ 。由图 3 可知,破解含固率为 0.5% 污泥的产率略大于破解含固率为 1% 污泥时产率值。这是因为由破解含固率为 0.5% 污泥的试验结果,SCOD 增加值达 $3\,000\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后,增加趋势渐缓,即达到破解极限值,也即破解进行的较为彻底,污泥絮体结构中胞外多聚物与污泥微生物细胞胞壁被破坏程度较大;而由破解含固率为 1% 污泥的试验结果,由于污泥含固率较高,SCOD 变化未达极限值,即污泥破解进行的不够彻底,可能污泥微生物细胞的胞壁被破坏程度较小,所以 SCOD 产率略低。根据经验^[8],剩余污泥的 VSS 与 COD 关系为: $1.42\text{ gCOD} \cdot \text{g}^{-1}\text{VSS}$,而本研究所求得的破解含固率为 0.5% 污泥的 SCOD 产率为 $1.438\,3\text{ gSCOD} \cdot \text{g}^{-1}\text{VSS}$,破解含固率为 1% 污泥的产率为 $1.298\,2\text{ gSCOD} \cdot \text{g}^{-1}\text{VSS}$ 。可见,破解较为彻底时,SCOD 产率值接近理论值,但是,破解不够彻底时,产率值稍低于理论值。

2.3 比能耗与 SCOD 增加值关系比较

本文将单位干污泥重量所消耗的能量定义为比能耗,单位为 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}\text{TS}$,该参数表征了声能密度、超声作用时间与污泥浓度的综合作用。比能耗与 SCOD 增加值的关系如图 4 所示。由图 4 可知,随着比能耗的增加,SCOD 增加值增加,但是,当比能耗大于 $497\text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}\text{TS}$,SCOD 增加值随比能耗的增加而增加的速度减缓。

由图 4 可知,比能耗相同时,破解含固率为 1%

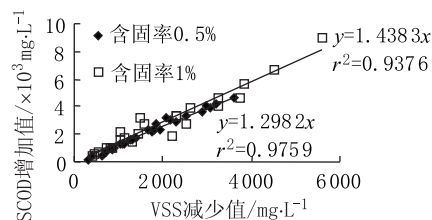


图 3 破解 2 种含固率污泥的 SCOD 产率比较图

Figure 3 Comparison of amounts of soluble COD produced by biodegradation from 2 types of sludge

污泥时所得的 SCOD 增加值明显大于破解含固率为 0.5% 污泥时所得的值。由于后续厌氧消化要利用污泥上清液中的 SCOD 作底物产甲烷,为了提高厌氧消化的效率及节省能源,推荐超声破解含固率为 1% 的污泥,即浓缩后的污泥。这就需要生物处理工艺产生的剩余污泥具有良好的沉降性能,从而可以浓缩为浓度较高的污泥。

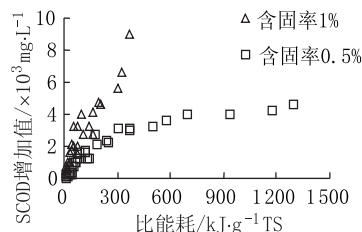


图 4 比能耗与 SCOD 增加值关系比较图

Figure 4 Comparison of amounts of soluble COD produced and energy consumption

2.4 温度升高值比较

由于媒质的吸收及内摩擦损耗,一定时间的超声作用后,可使媒质中声场区域温度升高。本文将破解前后温度差值定义为温度升高值。在各试验声能密度下,相同的超声作用时间内,破解 2 种浓度的污泥温度升高值相差不大。为了更直观地表示这一规律,本文以破解含固率为 0.5% 的污泥时所得的 SCOD 增加值为 X 轴,以破解含固率为 1% 的污泥时所得的 SCOD 增加值为 Y 轴作图,利用一元线性回归的方法拟和数据,可得两者的关系。

表 1 中 k 值越接近 1,说明破解 2 种浓度的污泥后温度升高值越接近。由表 3~6 可知, k 值范围为 1 ± 0.03 。可以得出,在相同声能密度及相同破解时间内,即相同能耗时,破解不同浓度的污泥后温度升高值基本相同。这是因为相同能耗时,输入单位污泥体积的能量相同,故导致的污泥温度升高值相同。本研究破解原污泥初始温度不尽相同(温度范围为 18

℃ ~ 29 ℃),但是所得温度升高值却基本相同,说明温度升高值与初始温度无关。

超声破解污泥可以使污泥温度升高,在设计整个污泥系统时,设计合理的加热装置,在保证温度发生变化时,污泥厌氧消化系统正常运行的前提下,不对污泥加热或只对污泥进行适当的加热。从而在正常运行前提下,达到节省能耗的目的。

表 1 超声破解两种浓度污泥所得的温度升高值拟合结果
Table 1 Enhancement of temperature during process of biodegradation of 2 types of sludge by ultrasonic treatment

超声声能密度/W · mL ⁻¹	k	r ²
0.192	0.999 4	0.984 4
0.384	1.027 8	0.999
0.72	1.008 3	0.940 4
1.44	1.063	0.927 7

3 结论

(1) 采用超声波技术破解污泥,可以破坏污泥絮体及污泥细胞,使胞内物质由污泥相进入水相,导致水相中 SCOD 值增加。在一定声能密度下,一定试验时间范围内,污泥破解反应相对于时间符合一级反应动力学规律。但是,在较高声能密度与较低污泥浓度下,SCOD 增加值随时间延长不再呈线性增长趋势,而是随超声作用时间的延长,增长速度减缓。

(2) 超声破解污泥可以减少污泥量。VSS 减少值变化规律同 SCOD 增加值变化。破解含固率为 0.5% 污泥的 SCOD 产率稍大于破解含固率为破解含固率为 1% 污泥的 SCOD 产率值。相同比能耗下,破解含固

率为 1% 污泥的 SCOD 增加值明显大于破解含固率为 0.5% 污泥的 SCOD 增加值,故从节约能耗的角度考虑,推荐破解含固率为 1% 的污泥。

(3) 超声破解污泥后,污泥温度会升高,破解两种含固率污泥的温度升高值基本相同。若后续进行厌氧消化,可以节省用于污泥加热的能量。

参考文献:

[1] Low E W , Chase H A. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment[J]. *Water Research*, 1999, 33(5): 1119 – 1132.

[2] Eastman J A and Ferguson J F Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion[J]. *JWPCF* , 1981, 53(3): 352 – 366.

[3] Tiehm A, Nickel Kand Neis U. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 36(11): 121 – 128.

[4] Chiu Y C, Chang C N, Lin J G, Huang S J. Alkaline and ultrasonic pre – treatment of sludge before anaerobic digestion[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 36(11): 155 – 162.

[5] Kopp J, Muller J, Dicht N and Schwedes J. Anaerobic digestion and de-watering characteristics of mechanically disintegrated excess sludge[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 36(11): 129 – 136.

[6] Wang W Hiraoka M, Takeda Solubilization of sludge solids in thermal pretreatment for anaerobic digestion , *Proc. OF Environ. and Sani. Eng. Research*, 1988, 24, 41 – 51.

[7] Greenberg A E, Clesceri L S and Easton A D, Standard methods for the examination of water and wastewater , 18th edition . p. 5 – American Public Health Association , Washington , DC. 1999.

[8] Lesslie C P, Grady J R. Biological Wastewater Treatment (second edition) , Marcel Dekker , Inc , NewYork , 1999.