

低强度超声波辐射活性污泥处理高浓度污水

龙腾锐, 杨 霏, 丁文川

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 在采用高负荷活性污泥法处理高浓度污水的工艺中引入超声波辐射活性污泥的预处理单元, 考察了低强度超声波辐射对污泥活性及其降解有机物的影响。结果表明, 活性污泥经 21 kHz 20 W 的低强度超声波辐射 10 min 后, 其活性得到了提高, 对有机物的降解效率也有所提高。本试验所采用的低强度超声波辐射活性污泥的预处理方法, 在提高污泥活性及其对有机物降解效率的同时也降低了能耗。

关键词: 低强度超声波; 辐射; 活性污泥; 高浓度污水

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2007)13 - 0076 - 04

High Concentration Wastewater Treatment by Activated Sludge with Low-intensity Ultrasonic Irradiation

LONG Teng-rui, YANG Fei, DING Wen-chuan

(MOE Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Ultrasonically irradiated activated sludge pretreatment unit was introduced in the high organic loading activated sludge process for high concentration wastewater treatment, and the effect of low-intensity ultrasonic irradiation on the sludge activity and organic degradation was investigated. The results show that when the activated sludge is irradiated by ultrasound at a frequency of 21 kHz with 20 W for 10 min, its activity is enhanced and the efficiency of organic degradation is increased. The pretreatment method of low-intensity ultrasonic irradiating the activated sludge can improve the sludge activity and the organic degradation efficiency, and save the energy consumption.

Key words: low-intensity ultrasound; irradiation; activated sludge; high concentration wastewater

超声波是一种弹性机械波, 其常用频率约为 20 kHz ~ 3 MHz, 通常将声强 $< 10 \text{ W/cm}^2$ 的超声波称为低强度超声波^[1,2]。研究表明, 适当的低强度超声波辐射可以改善细胞的传质效率, 有效提高酶的活性, 进而提高整个细胞的新陈代谢效率, 加速细胞生长^[3~7]。因此, 利用低强度超声波提高污泥的生物活性, 从而强化其对污水中有机物的降解和转化

具有一定的可行性。刘红等人^[8]考察了采用强度为 0.3 W/cm^2 的超声波辐射 10 min 时, 污泥活性在 0 ~ 48 h 内的变化规律, 结果发现超声波辐射后 8 h 污泥活性最高, 为辐射前的 2 倍。Schläfer 等^[9]在处理果汁废水时, 采用适当参数的低强度超声波对泥水混合液进行辐射, 使反应器对 COD 的最大去除率提高了 100%。

基金项目: 国家“十五”科技攻关课题 (2004BA604AOT)

笔者在采用活性污泥法处理高浓度污水的工艺中引入超声波辐射活性污泥的预处理单元,以 COD、MLSS、污泥比耗氧速率 (SOUR) 为主要考察指标,探讨了低强度超声波辐射对活性污泥降解有机物的影响。

1 材料和方法

1.1 污泥驯化

试验污泥取自重庆市唐家桥污水处理厂曝气池,按序批式操作方式进行培养,反应周期为 12 h,定时补充人工污水并排泥。人工污水以葡萄糖和淀粉为碳源、尿素和硫酸铵为氮源、磷酸氢二钾为磷源,按照 COD N P = 100 5 1 的比例配制而成,其 COD 为 8 800 mg/L,污泥驯化期间控制污水的 pH 值在 6.5 ~ 8.0,污泥负荷为 0.3 kgCOD / (kgMLSS · d),污泥龄为 10 d。培养 3 周后,污泥性质基本稳定,MLSS 约为 3 000 mg/L。

1.2 超声波辐射预处理装置

超声波辐射预处理装置如图 1 所示。

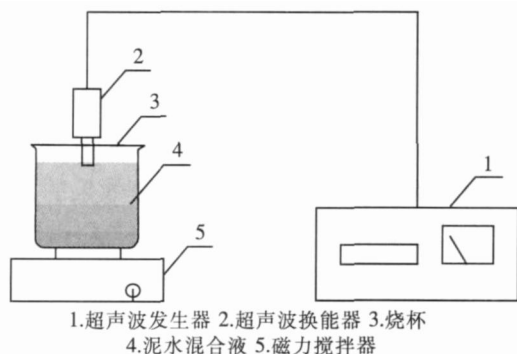


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental equipment

超声波发生器采用 CY - 5D 型超声波生物促进生长仪,输出功率为 0 ~ 50 W,无级可调;探头式换能器的频率可调为 21、28 和 40 kHz,其前端钛合金探头直径为 12 mm,超声波作用时将钛探头插入反应器液面下约 10 mm 处。

1.3 试验过程

取适量培养好的污泥重力浓缩后排出上清液,用蒸馏水调整 MLSS 至 4 000 mg/L。取 1 L 上述污泥装入 1 L 的烧杯中超声辐射 (所有污泥均用同一个烧杯进行超声辐射) 一定时间后,将污泥倒入 2 L 的烧杯中 (作为反应器),向反应器中加入 1 L 人工污水,连续曝气反应 24 h,其间定时取样测定各指标。

试验中共设 4 个反应器,其中 3 个为超声辐射

污泥反应器,分别对应 3 种不同频率 (21、28、40 kHz),另一个为未进行超声辐射污泥的反应器。超声辐射功率均为 20 W,辐射时间均为 10 min。试验中所采用的污泥负荷为 2.2 kgCOD / (kgMLSS · d)。

1.4 分析方法

混合液 SCOD 采用重铬酸钾法 (HACH DR / 2010) 测定,每隔一定时间取 20 mL 混合液在 6 000 r/min 下离心 20 min,测定上清液 COD (将离心后的上清液 COD 定义为混合液 SCOD)。SOUR 采用 YSI 5100 溶解氧仪测定。MLSS 采用 MODEL - 711 型 SS 仪测定。

2 结果与分析

2.1 混合液 SCOD 的变化

试验中各反应器运行期间混合液 SCOD 随反应时间的变化情况如图 2 所示。

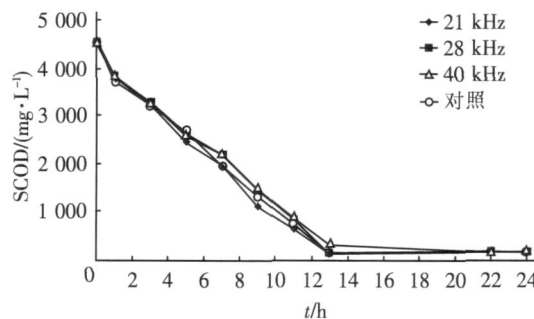


图 2 混合液 SCOD 随反应时间的变化

Fig 2 Variation of supernatant SCOD with time

由图 2 可以看出,采用不同频率的低强度超声波辐射过的污泥处理相同 COD 浓度的人工污水时,混合液 SCOD 随反应时间的变化规律与对照样的基本相同。经 21 kHz 超声波预处理后的污泥在反应 9 h 时,其混合液 SCOD 浓度明显低于对照反应器的;而经 40 kHz 超声波预处理的污泥在反应 13 h 时,其混合液 SCOD 浓度略高于对照反应器的。这说明,不同频率的超声波对活性污泥降解有机物的效能会产生一定的影响。

2.2 污泥 MLSS 的变化

各反应器内污泥的 MLSS 随运行时间的变化如图 3 所示。

由图 3 可以看出,各反应器内污泥 MLSS 的变化情况与混合液 SCOD 的变化存在一定的关系,SCOD 浓度降低时,MLSS 上升;SCOD 浓度稳定后,MLSS 达到最大值并开始缓慢下降。从图 3 还可看出,反应的前 7 h,经超声波辐射的污泥,其 MLSS 与

未经超声波辐射的污泥基本相同,但 7 h 后经超声波辐射的污泥的 MLSS 均高于对照样的,这表明超声波辐射在一定程度上会对活性污泥的增长起到促进作用。

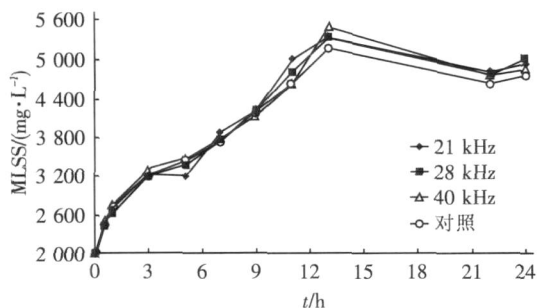


图 3 污泥 MLSS 随时间的变化

Fig 3 Variation of MLSS with running time

2.3 污泥 SOUR 的变化

试验中各反应器内污泥的 SOUR 随运行时间的变化如图 4 所示。

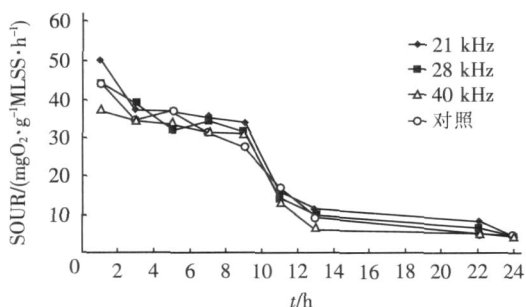


图 4 污泥 SOUR 随时间的变化

Fig 4 Variation of sludge SOUR with running time

由图 4 可以看出,随着基质不断被消耗,污泥活性逐渐降低,至内源呼吸阶段后 SOUR 的波动变小,污泥活性处于相对稳定的状态。经不同频率超声波辐射后的污泥在运行期间的 SOUR 值明显不同,经 21 kHz 超声波预处理后,污泥的 SOUR 值在运行的前 9 h 内几乎均高于经其他频率超声波预处理的,且在整个运行过程中均高于对照样的;而经 28 kHz 和 40 kHz 超声波预处理的污泥,其 SOUR 值高于或低于对照样的情况在整个运行过程中都存在。

3 讨论

低强度超声波辐射对微生物活性的影响主要可归结为两方面:一是超声波对细胞传质效率的影响,这主要是通过超声空化效应导致细胞壁通透性的改变来实现的;二是超声波对酶活性的影响^[10]。由笔者的试验结果可以看出,经 21 kHz 超声波辐射的污

泥,其 SOUR 值在整个运行过程中均高于对照样的,对 SCOD 的降解速率也有所加快,这表明适当频率的低强度超声波辐射可提高污泥的活性,促进其对有机物的降解。值得注意的是,本试验采用运行前对污泥进行低强度超声波辐射的预处理方式,与 Schläfer 等人^[9]在研究中采用的直接对反应器中全部泥水混合物进行连续超声波处理的方式相比,本辐射方式在提高有机物去除速率的同时还降低了能耗,而且有试验证实低强度超声波对污泥活性的提高具有一定的持续性^[11]。

从试验结果还可以发现,超声波的频率对污泥除污效率的影响具有一定差异,采用 28 kHz 和 40 kHz 的超声波预处理时对污泥降解有机物不仅没有促进作用反而还会产生抑制作用。朱国辉等人^[12]认为,不同酶分子有不同的立体构象,导致其对超声波能量作用的敏感性不同。Schläfer 等人^[11]推测,超声波可能仅对细胞代谢过程中的几个步骤有促进作用,而对于其他代谢步骤,超声波不但不会起促进作用反而会产生负面影响。由于在相同辐射时间和输入功率条件下,超声频率对超声场的性质有决定性作用,因此不同超声频率可产生不同的超声效应。由此可见,利用低强度超声波辐射污泥处理污水时,合适的超声辐射参数可能是影响处理效果的关键因素。在今后的研究中,需对超声参数与超声波强化污泥活性效应的关系进行深入探讨。

4 结论

适当频率的低强度超声波辐射对污泥活性具有促进作用,21 kHz 的低强度超声波可提高污泥的生物活性及其对 SCOD 的去除效率,其 SOUR 值在整个运行过程中均高于对照样的。

不同频率的超声波对污泥活性及其代谢会产生不同的影响,采用不适当的超声波参数对污泥进行预处理时,可能会对污泥活性及其代谢能力产生抑制作用。

与采用直接对反应器中全部泥水混合物进行连续超声波处理的方式相比,本试验所用的预处理方法在提高污泥对有机物去除效率的同时也降低了能耗。

参考文献:

[1] 应崇福. 超声学 [M]. 北京:科学出版社,1990.

(下转第 82 页)

积负荷的增加可以满足反硝化菌对碳源的需求^[4,5]。当容积负荷增加到一定程度时 [本试验为 $17 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$], 硝化速率下降, 导致了脱氮率下降。所以只有进水容积负荷适中时 [本试验为 $15 \sim 17 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$], 才能达到较好的脱氮效果 (对 TN 的去除率 $> 50\%$)。

3 结论

当容积负荷 $< 15 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 悬浮载体生物流化床工艺对 COD 的去除率变化不大, 平均为 93.16% ; 当容积负荷 $> 15 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 虽然系统对 COD 的去除率并不低 (平均为 85.15%), 但出水平均 COD 浓度已达 195.39 mg/L , 不能满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 的要求。

随着容积负荷的增加, 系统对氨氮的去除率呈逐渐下降趋势, 且降幅较大, 当容积负荷在 $1 \sim 25 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 内变化时, 系统出水氨氮平均浓度为 9.69 mg/L 。

系统对总氮的去除率先随容积负荷的增加而增加, 当容积负荷增至 $17 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 对 TN 的去除率达 55% , 之后随着容积负荷的增加则对 TN 的去除率下降, 可以认为容积负荷为 $15 \sim 17$

$\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 系统对 TN 的去除效果较好。综合考虑当容积负荷为 $15 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 悬浮载体生物流化床工艺的除污效果较好。

参考文献:

- [1] 高红, 贾绍义. 磁化处理对溶液在聚丙烯填料表面润湿性能的影响 [J]. 化工科技, 2002, 30(5): 15 - 19.
- [2] Rosenberger S, Krüger U, Witzig R, et al. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater [J]. Water Res, 2002, 36(2): 413 - 420.
- [3] Chen K C, Chen C Y, Peng J W, et al. Real-time control of an immobilized-cell reactor for wastewater treatment using ORP [J]. Water Res, 2002, 36(1): 230 - 238.
- [4] Popiel C O, Wojtkowiak J, Biernacka B. Measurements of temperature distribution in ground [J]. Exp Therm Fluid Sci, 2001, 25(5): 301 - 309.
- [5] Koops H P, Pommerening-Roser A. Distribution and ecology of the nitrifying bacteria emphasizing cultured species [J]. FEMS Microbiol Ecol, 2001, 37(1): 1 - 9.

电话: 13703238398

E-mail: gaoyanling357@126.com

收稿日期: 2007 - 02 - 13

(上接第 78 页)

- [2] Pitt William G, Ross S Aaron. Ultrasound increases the rate of bacterial cell growth [J]. Biotechnol Progr, 2003, 19(3): 1038 - 1044.
- [3] Chu CP, Chang Bea-Ven, Liao GS, et al. Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge [J]. Water Res, 2001, 35(4): 1038 - 1046.
- [4] Barton Stephen, Bullock Clive, Weir Deborah. The effects of ultrasound on the activities of some glycosidase enzymes of industrial importance [J]. Enzyme Microb Technol, 1996, 18(3): 190 - 194.
- [5] Dai Chuanyun, Wang Bochu, Duan Chuanren, et al. Low ultrasonic stimulates fermentation of riboflavin producing strain *Ecenotheicum ashbyii* [J]. Colloids Sur B: Biointerfaces, 2003, 30(1): 37 - 41.
- [6] 张元标, 李文权, 王清池, 等. 超声辐射对海水小球藻的生物效应 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2001, 40(3): 653 - 657.
- [7] 高大维, 高文宏, 雷德柱, 等. 线形超声波辐照对啤酒酵母细胞生长的影响 [J]. 华南理工大学学报 (自然

科学版), 1999, 27(12): 34 - 37.

- [8] 刘红, 闫怡新, 王文燕, 等. 低强度超声波改善污泥活性 [J]. 环境科学, 2005, 26(4): 124 - 128.
- [9] Schläfer O, Onyeché T, Bormann H, et al. Ultrasound stimulation of microorganisms for enhanced biodegradation [J]. Ultrasonics, 2002, 40(1 - 8): 25 - 29.
- [10] 刘晓艳, 丘泰球, 刘石生, 等. 超声对细胞膜通透性的影响及应用 [J]. 应用声学, 2002, 21(2): 26 - 29.
- [11] Schläfer O, Sievers M, Klotzbücher H, et al. Improvement of biological activity by low energy ultrasound assisted bioreactors [J]. Ultrasonics, 2000, 38(1 - 8): 711 - 716.
- [12] 朱国辉, 黄卓烈, 丘泰球, 等. 功率超声对酶促反应的影响 [J]. 应用声学, 2001, 20(4): 45 - 48.

电话: (023) 66541768

E-mail: yangfeiyangfei@sina.com

收稿日期: 2007 - 02 - 08