

低强度超声波对低温下污水生物处理的强化效果及工艺设计

刘红¹, 闫怡新²

(1. 北京航空航天大学生物工程系, 北京 100083; 2. 郑州大学环境与水利学院, 郑州 450001)

摘要: 为了研究低温条件下超声波对污水生物处理的强化效果, 采用强度 $0.3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的超声波对好氧活性污泥进行 10 min 的辐射处理, 然后在 4°C 条件下进行模拟 SBR (sequencing batch reactor) 反应. 以耗氧呼吸速率 (oxygen uptake rate, OUR)、脱氢酶活性 (dehydrogenase activity, DHA) 和 COD 为指标, 研究了低温条件下超声波对污泥生物活性以及有机物去除效果的改善. 结果表明, 低温条件下, 经超声波处理后污泥活性可提高 30%, COD 的去除率也可保持常温水平. 通过比较可以看出, 低温条件下超声波的强化效果较常温条件下更为明显. 本研究还以典型的城市二级处理污水处理厂和采用 SBR 工艺的污水处理厂为例, 对低强度超声波在污水处理工艺中的设计和操作进行了说明.

关键词: 低强度超声波; 强化; 低温; 城市污水; 设计

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)03-0721-05

Enhancement Effect of Low Intensity Ultrasound on Biological Wastewater Treatment System in Low Temperature and Design of Application on Biological Wastewater Treatment

LIU Hong¹, YAN Yi-xin²

(1. Bioengineering Department of Beihang University, Beijing 100083, China; 2. School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This work aims to study the enhancement effects of low intensity ultrasound on biological wastewater treatment in low temperature. The activated sludge was irradiated by ultrasound with intensity of $0.3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ for 10 minutes, and then simulated SBR process in 4°C . Oxygen uptake rate (OUR), dehydrogenase activity (DHA) and COD were determined to indicate the changes of sludge activity and the removal rate of organic matter after the ultrasonic irradiation in low temperature. Results showed that after ultrasonic enhancement, the sludge activity could be increased by 30%, and COD removal rate could keep the usual level as in the room temperature. Furthermore, the enhancement effect of ultrasonic irradiation was more significant in the low temperature than that in the room temperature. This paper also took the typical municipal wastewater secondary treatment technology and SBR technology as examples to illustrate the design and operation of the enhancement of biological wastewater treatment using low intensity ultrasound.

Key words: low intensity ultrasound; enhancement; low temperature; domestic wastewater; design

利用低强度超声波强化是提高污水生物处理效率的一项新技术, 它可以通过改善微生物的活性来提高污水的净化效率. 在笔者的前期研究中, 对低强度超声波作用的最佳的超声声强、辐照时间、辐照周期以及每次超声辐射处理反应器中污泥的比例进行了系统的优化选择. 结果表明, 当采用超声强度为 $0.3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, 每隔 8 h 取反应器中 10% 的活性污泥辐照 10 min 后再返回反应器, 污泥活性可提高 12% 以上^[1~3]. 并在此基础上考察了低强度超声波对 SBR 系统耐高浓度负荷和有毒物质冲击能力的强化效果^[4]. 结果表明, 设置超声波的 SBR 反应器可以明显增强高负荷冲击下处理系统的稳定性, 保证了良好的出水水质, 其中对照反应器出水 COD 为 $18 \sim 69 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 设置超声波反应器出水为 $11 \sim 33$

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 比对照出水降低了 40% ~ 53%. 而且低强度超声波可以有效提高活性污泥对有毒物质的耐受能力, 当进水中加入苯酚之后, 设置超声波反应器比对照反应器的污泥活性高出 23% 左右. 本研究采用前期确定的优化参数, 通过设置对照, 对低温条件下超声波对污水生物处理的强化效果进行了考察, 并设计了其在污水处理中的应用工艺.

1 材料与方法

1.1 试验装置

收稿日期: 2007-03-29; 修订日期: 2007-05-08

基金项目: 国家科技攻关计划项目(2005DFBA005)

作者简介: 刘红(1964~), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为环境生物技术, E-mail: LH64@buaa.edu.cn

超声辐照采用的试验装置如图 1 所示.

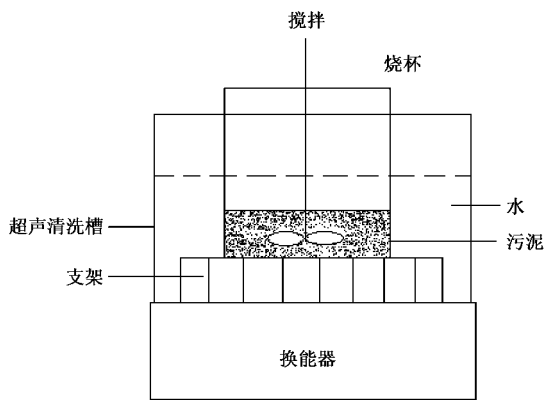


图 1 超声辐照试验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of ultrasound irradiation system

超声装置为 DL-60D 型超声波清洗机:上海之信仪器有限公司生产,频率 35 kHz,固定其声强为 0.3 W·cm⁻².试验过程中,将盛有污泥的烧杯浸入

超声波清洗槽内进行超声辐射处理 10 min,烧杯位于清洗槽的中心,且放置的位置始终固定.

1.2 试验过程

资料表明^[5],我国北方冬季城市污水温度一般不低于 4℃,因此本低温试验在 4℃ 下进行.试验污泥取自北京市城市污水处理厂曝气池,驯化后稳定后分装入 4 个 250 mL 烧杯,每个烧杯中污泥体积为 50 mL,污泥浓度 9 983 mg·L⁻¹.试验过程中,取 1、3 号装有污泥的烧杯用 0.3 W·cm⁻² 的超声波进行 10 min 超声处理,2、4 号作为对照.将处理后的污泥和对照分别装入 4 个 500 mL 的量筒中,加入 200 mL 人工配制的生活污水(表 1)同时进行模拟 SBR 反应,反应周期 8 h,其中瞬间进水、曝气 6 h、沉淀 1 h、排水和闲置 1 h.1、2 号量筒放入 4℃ 冰柜中,3、4 号量筒在室温(18℃)下进行反应.当污泥在超声处理后反应了 1 个周期后,各取样 100 mL 同时进行 OUR 和脱氢酶活性(dehydrogenase activity, DHA)的测试,同时取上清液测试其 COD.

表 1 人工配制生活污水成分(质量浓度)/mg·L⁻¹

Table 1 Characteristics of synthetic domestic wastewater (mass concentration)/mg·L⁻¹

成分	蔗糖	尿素	NH ₄ Cl	KH ₂ PO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	CuSO ₄
浓度	400	12.5	12.5	7	0.8	1.0	0.002

1.3 测试方法

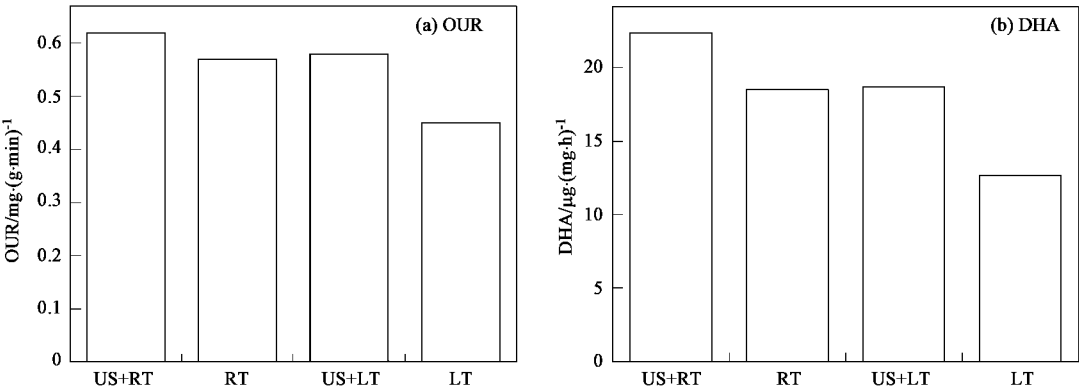
COD 的测试采用美国 HACH 公司生产的 COD 测定仪,150℃ 消解 2 h 后用硫酸亚铁铵滴定; OUR 的测定使用自制的呼吸仪,分析和计算方法描述见文献[1];脱氢酶活性的测试采用氯化三苯基四氮唑(2,3,5-Triphenyl Tetrazoliumchloride, TTC)分光光度

法,其分析和计算方法见文献[2].

2 结果与讨论

2.1 低强度超声波对低温下处理效果的改善

低温(4℃)条件下,超声波对微生物活性的强化效果及对 COD 的净化效率结果如图 2 和图 3 所示.



US: 超声波强化处理; RT: 室温; LT: 低温

图 2 低温和室温条件下超声辐射对污泥活性的影响

Fig.2 Influence of ultrasound on sludge activity in room temperature and low temperature

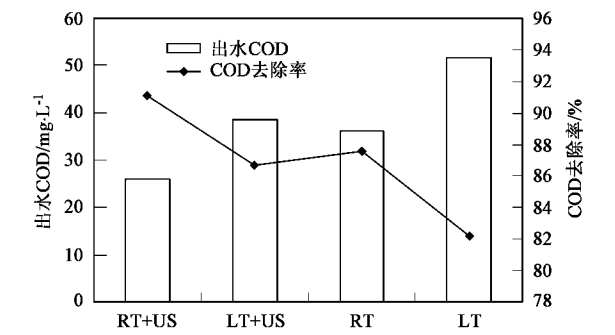


图3 低温和室温条件下设置超声波处理对COD去除的影响

Fig.3 Influence of ultrasound on COD removal in room temperature and low temperature

从图2中可以看出,低温条件下,污泥经超声波处理后活性明显提高,比没有经超声波处理的污泥活性可提高30%左右,与室温条件下污泥活性基本相同.从图3中COD的去除效果来看,当设置超声辐射处理时,常温下COD的去除率可达到91%,比常温对照COD的去除率87%高出4%;在低温条件下,COD的去除效率降低到了82%,但是加载超声后,COD的去除率仍可保持在87%左右,与常温下COD的去除率比较接近.

将超声波处理后污泥活性和COD去除率在常温与低温条件下的提高率进行比较,结果如表2所示.

表2 室温下和低温下超声波处理后污泥活性和COD去除率较对照提高的百分比/%

条件	超声处理较对照提高的百分比 / %		
	OUR	DHA	COD去除率
室温	8.77	20.76	4.03
低温	28.89	47.40	5.49

通过表2可以看出,在低温条件下超声波对微生物活性和有机物去除的强化效果较常温条件下更为明显.

活性污泥微生物最适合生长的温度范围是15~30℃,一般水温低于10℃,就可对活性污泥的功能产生不利影响^[6].温度对微生物的影响主要表现在直接效应与间接效应2个方面.直接效应包括影响微生物的生长速率、酶活性、细胞组成与营养需求等;间接效应包括影响溶质分子的溶解性、离子的运输和扩散、细胞膜的渗透压与表面紧张度等.低温条件下,微生物的酶催化功能受到抑制,氧的传递系数减小,因此造成微生物活性降低,对水中有机物的水

解、将有机物摄入体内与氧化的速度减慢.但是加载低强度超声后,COD的去除率明显提高,而且污泥的活性也增加到与室温条件下基本相同.这可以用低强度超声波的机械效应和稳态空化效应所引起的物质传输加快来解释^[7-11].超声波的机械效应可以引起底物和产物分子高频振动,而且其稳态空化效应所产生的微声流作用又可使细胞膜的通透性增加,这2个效应共同作用,使传质边界层减薄,并且使溶质粒子运动加速.另外,在本研究所采用的超声波条件下,会对微生物造成一定的微伤,但是这个微伤是细胞可以承受的,并在其本能防御反应的作用下,使酶的活性得到提高,细胞新陈代谢速度加快.

2.2 低强度超声波在污水生物处理中的设计

生物处理方法具有处理量大、费用低廉、处理效率高(对溶解性易降解有机物)等优点,目前被很多污水处理厂广泛采用.但是当进水的水质水量变化大、或者含有难降解的物质时,传统的生物处理方法往往处理效果不佳.同时由于人口的激增和生产的发展,产生的污水量越来越多,水质越来越复杂,很多污水处理厂面临着改建和扩建.如将超声波应用于传统的污水处理工艺中,则可以有效增加微生物活性,改善污水的净化效果.尤其在北方地区,当冬季气温较低时采用超声辐照来刺激微生物活性,将会达到很好的处理效果.超声波强化技术可以与各种生物处理系统进行组合,其关键是超声参数的选择.利用低强度超声波强化污水生物处理时,其工艺流程可根据各生产工艺的特点和原厂的构筑物情况进行适当调整和安装,现以2例典型的污水生物处理工艺进行说明.

2.2.1 对于典型的的城市二级污水处理厂

根据传统活性污泥工艺的特点,可以在二沉池到曝气池的回流污泥管路上增加1个超声波辐射处理器.因为这部分污泥已经经过二沉池的浓缩,所以强化这部分污泥活性可以提高超声波的利用效率,减小超声波辐射处理器的体积和设备投资.所增加的超声波辐射处理器如图4所示.

在原污泥回流管路上增加一套超声波强化系统,包括1个超声波辐射处理器、1个循环泵、2个阀门、2个流量计和2个压力计.超声波辐射处理器可采用流体动力型超声发生器^[12].它是以流体为动力源,利用高速液体来产生超声的装置,它的特点是直接在流体中产生超声,结构简单、处理量大.常用的流体动力型超声发生器是簧片哨,它是利用液体射流的振动来激发簧片的振动而产生超声波.这就需

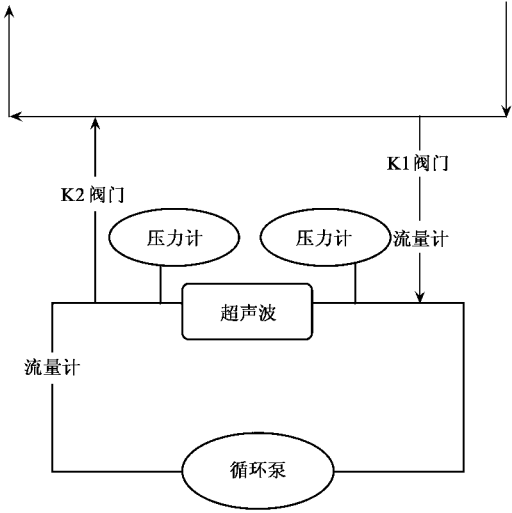


图 4 传统活性污泥法中超声波辐射系统安装示意

Fig.4 Schematic diagram of installation of ultrasonic equipment in conventional activated sludge process

理器的示意图如图 5 所示.

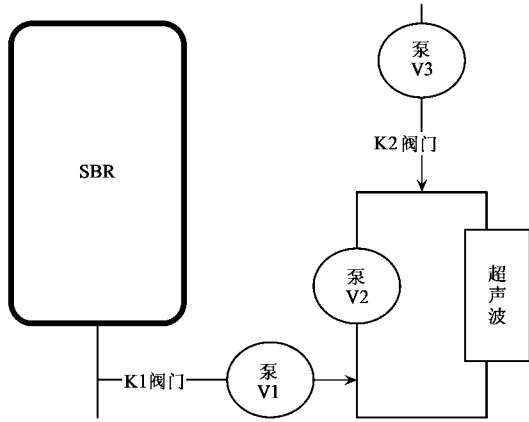


图 5 SBR 工艺中超声波辐射处理器的安装示意

Fig.5 Schematic diagram of installation of ultrasonic equipment in SBR process

要超声波系统的管道中液体的流速达到很高的水平.经过测试得出,当管道中超声波发生器两边的压差达到 0.5 MPa,液体流量达到 $50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 时,可产生 25 kHz 的超声波.

以本研究前期所确定的最适宜的超声参数为例,对增加超声波强化的操作过程进行简要说明,其操作过程如下:① 首先打开回流系统中的进泥阀门,然后打开超声波系统中所有阀门,使污泥充满超声波处理系统;② 接着先关闭 K2,再关闭 K1,接通超声波系统中的循环泵,循环处理 10 min;③ 然后先打开 K2,再打开 K1,并接通反冲泵,等超声波强化系统管路中的活性污泥完全冲到池子里后,关闭水泵和阀门 K1、K2;④ 管道总体积应根据实际污泥总量进行计算,约为实际浓缩后污泥总量的 10% 左右.

另外,超声波强化系统可采用压电换能器,通过电声转换来产生超声波,其操作过程和采用流体动力型超声波发生器类似.采用压电换能器,超声的声强和频率更加容易控制,而且超声波强化系统内可采用较小的液体流速即可.

2.2.2.2 对于采用 SBR 工艺的污水处理厂

根据 SBR 工艺的特点,可以在闲置期进行超声的强化处理.此时污泥排水过程已经结束,进行超声强化处理所产生的扰动不会对出水水质造成影响.而且此时的污泥已经经过沉淀浓缩,强化浓缩后的污泥可以提高超声波的利用效率,减小超声波辐射处理器的体积和设备投资.所增加的超声波辐射处

采用前期所确定的最适宜的超声参数对 SBR 工艺中增加超声波强化的操作过程进行简要说明:

- ① 在闲置阶段开始后,打开 K1 阀门,然后打开自吸泵 V1,使污泥充满超声波处理系统;
- ② 接着先关闭 V1 和 K1,接通超声波系统中的循环泵 V2,打开超声波电源,循环处理 10 min;
- ③ 然后先打开 K2,再打开 K1,并接通反冲泵 V3,等超声波强化系统管路中的活性污泥完全冲到池子里后,关闭 V3 和阀门 K1、K2;
- ④ 管道总体积应根据实际污泥总量进行计算,约为实际浓缩后污泥总量的 10% 左右.

如果要使用流体动力型超声波设备,则要在超声波系统中安装压力计和流量计,注意控制压力和流量,并调节最适宜的超声波频率和声强.

由以上 2 例分析可见,低强度超声波可以与各种污水生物工艺相组合,而不需要额外的土建设施,因此应用十分方便,在污水生物处理系统的改造中具有广阔的应用前景.

3 结论

(1) 低温条件下,污泥经超声波处理后活性比没有经超声波处理的污泥活性可提高 30% 左右,与室温条件下污泥活性基本相同,其 COD 去除率也接近常温水平.通过比较可以看出,在低温条件下超声的强化效果比常温下更为明显.

(2) 从低强度超声波在强化污水生物处理系统中的应用和设计可以看出,超声波系统可以与各种污水生物处理系统相组合,而且工艺简单、成本低廉,因此在污水生物处理领域具有广阔的应用前景.

参考文献:

[1] 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.

[2] 闫怡新,刘红. 低强度超声波强化污水生物处理中超声辐照周期的优化选择[J]. 环境科学,2006,27(5):898-902.

[3] 闫怡新,刘红.低强度超声波强化污水生物处理中超声辐照污泥比例的优化选择[J]. 环境科学,2006,27(5):903-908.

[4] 闫怡新,刘红,张山立,等. 低强度超声波强化 SBR 处理生活污水[J]. 环境科学,2006,27(8):1596-1602.

[5] 姜安玺,孟雪征,曹相生,等. 耐冷菌的分离及在低温污水处理中的应用研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2002,34(4): 563-569.

[6] Subhaschandra M G, Shiva S R. The effect of temperature on the growth and biochemical activities of *Escherichia coli* in sewage[J]. Environmental Pollution, 1987, 43(4): 313-321.

[7] Pitt W G, Ross S A. Ultrasound Increases the Rate of Bacterial Cell Growth[J]. Biotechnol Prog, 2003, 19(3): 1038-1044.

[8] Liu Y Y, Takatsuki H, Yoshikoshi A, *et al.* Effects of ultrasound on the growth and vacuolar H⁺-ATPase activity of *Aloe arborescens* callus cells [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, 32: 105-116.

[9] Wu J Y, Lin L D. Ultrasound-induced stress presponses of *Panax ginseng* cells: enzymatic browning and phenolics production [J]. Biotechnol Prog, 2002, 18(4): 862-866.

[10] Wang B C, Yoshikoshi A, Sakanishi A. Carrot cell growth response in a stimulated ultrasonic environment [J]. Colloids and Surface B: Biointerfaces, 1998, 12: 89-95.

[11] 闫怡新,刘红. 低强度超声波强化污水生物处理机制[J]. 环境科学,2006,27(4):647-650.

[12] 冯若. 超声手册[M]. 南京:南京大学出版社,2001.