

超声波强化活性污泥活性的试验研究

杨金美¹ 张光明¹ 王伟²

(1 清华大学深圳研究生院,深圳 518055; 2 清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要 研究了超声波对活性污泥活性的影响,用污泥好氧速率 OUR 来衡量活性,并通过模拟人工废水试验验证。研究表明超声波频率为 25 kHz,输出声密度为 0.2 W/mL,作用 60 s 后,污泥活性比原污泥提高 30.49%;相同条件超声 3 s 后,污泥活性比原污泥提高 20%。试验中从能耗角度推荐选用超声 3 s。脉冲方式比连续超声更能改善污泥活性,且脉冲比 1:1 时效果最好。超声 3 s 后的活性污泥处理人工废水的出水水质明显好于未经处理的出水水质。

关键词 超声波 污泥活性 脉冲比 人工废水

Research on improvement of sludge activity by ultrasound process

Yang Jin-mei¹, Zhang Guang-ming¹, Wang Wei²

(1. Shenzhen Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The pretreatment of activated sludge by ultrasound was studied to improve sludge activity as denotation using oxygen uptake rate (OUR). And this was validated by artificial sewage treatment. An increase in the biological activity can be obtained by the intake of ultrasound. Sonication at a frequency of 25 kHz and a power density of 0.2 W/mL increased the sludge activity by 30.49% after 60 s and 20% after 3 s. 3 s was recommended as optimal ultrasound time for energy conservation. Higher sludge activity was achieved with interim ultrasound than with continual treatment; and the best value of duty-cycle was 1:1. The effluent quality was better using activated sludge after ultrasonic treatment than that using un-treated activated sludge.

Key words: Ultrasound; Sludge activity; Duty-cycle; Artificial sewage

0 前言

在当前污水处理技术领域中,活性污泥法是应用最为广泛的技术之一,已经成为生活污水、城市污水以及有机性工业废水的主体处理技术。活性污泥是活性污泥法处理系统中的主体作用物质,外观上呈黄褐色的絮绒颗粒状,主要是由大量繁殖的微生物群体所构成,易于沉淀与水分离,并使污水得到净化、澄清。提高活性污泥活性,可以提高酶活,加快微生物生长,提高其对有机物的分解吸收能力,并进一步提高水处理效率,改善出水水质,进而减少污泥产量^[1]。

超声波技术可以有效地处理污水与污泥,提高生物活性。它反应条件温和,无二次污染,是用于污

水与污泥预处理的新型技术^[2]。许多研究表明,一定强度的超声波可以降解工业废水的有机污染物^[3,4];较低频率的超声波可以促进污泥脱水^[5,6];另一方面,超声波对提高厌氧消化过程也非常有效,它可以使厌氧发酵时间从 22 d 降到 8 d,沼气产量提高了 2.2 倍,从而极大地降低投资和运行费用^[7,8]。线性超声波处理 45 min 可以使啤酒酵母细胞生长对数期提前 6 h,而且细胞数提高近一倍^[1]。因此,本文提出采用超声波技术来增强活性污泥的生物活性,提高处理效率,改善出水水质,进而减少占地面积与运行费用。污泥活性可以通过污泥好氧速率 OUR 来衡量,并通过模拟废水的处理进行活

性提高的验证。

1 试验部分

1.1 试验仪器

试验中所用仪器为 JY92- 型探头式超声波粉碎机, 25 kHz, 0~650 W。

1.2 污泥来源

所用污泥取自深圳某污水处理厂, 处理工艺为传统活性污泥法。

1.3 试验方法

(1) 超声波提高污泥活性试验。改变超声波操作方式试验: 声密度 0.2 W/mL, 超声时间 60 s, 超声波脉冲比 3:1, 1:1, 1:3, 连续; 改变超声波声密度: 脉冲比 1:1, 超声时间 60 s, 声密度分别为 0.08 W/mL, 0.1 W/mL, 0.2 W/mL, 0.4 W/mL; 改变超声时间: 脉冲比 1:1, 声密度 0.2 W/mL, 超声时间分别为 0 s, 3 s, 10 s, 30 s, 60 s, 120 s; 改变声强: 脉冲比 1:1, 声密度 0.2 W/mL, 超声时间 60 s, 声密度为 0.2 W/mL 或 0.4 W/mL。

(2) 用推荐超声条件下的活性污泥处理人工废水, 并与未处理污泥的废水处理效果进行对照。

1.4 分析方法

OUR(Oxygen uptake rate) 是指污泥单位时间的氧吸收率, 即氧的利用速率, 与微生物对底物的利用速率以及微生物的增值有很好的相关性。OUR 间接反映了特定的一类微生物消耗底物的强度及进水负荷对其利用效率的影响。同时, 微生物自身的衰减也要消耗氧, 故 OUR 也反映了微生物的衰减速率^[9]。测定方法如图 1 所示, 取 50 mL 污泥于 BOD 测定瓶中, 加入 1 000 mg/L 葡萄糖使污泥处于内源呼吸状态, 充氧至 7 mg/L 以上, 测定 DO-t 曲线图, 其斜率即为污泥好氧活性 OUR。

2 结果与分析

图 1 超声波提高污泥活性试验装置

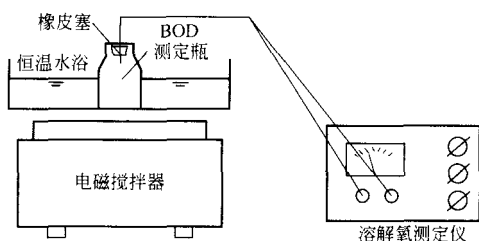


图 1 好氧速率测定装置

2.1.1 超声波辐照方法的影响

图 2 为改变超声波操作方式后污泥好氧速率变化。从图 2 可以看出, 污泥在占空比为 1:1 时好氧速率最快, 比原污泥提高了 30.49%。改变脉冲比污泥好氧速率有所下降, 但脉冲方式比连续超声的效果要好, 连续超声 60 s 后污泥活性几乎没有变化。说明低强度下连续的超声并不能改善污泥活性。可能的原因是超声波积极的作用主要基于交替的超声处理阶段^[10]。

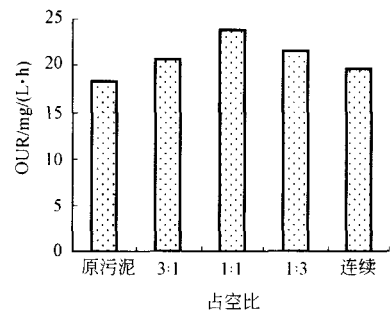


图 2 改变操作方式后污泥好氧速率

2.1.2 声密度的影响

图 3 是不同声密度下污泥好氧速率变化曲线。从图 3 可以看出, 在较低声密度下, 污泥活性随声密度的增加而逐渐提高, 超过一定值后, 污泥活性随声密度增大而逐渐下降。由于试验中所用声密度基本低于超声发生空化作用的阈值 (0.4 W/mL), 因此污泥不受超声波空化产生的机械作用的影响, 活性总体上是提高的。声密度为 0.2 W/mL 时污泥活性最高, 有报道超声波在 0.3 W/mL^[10] 时可以提高污泥活性, 本试验所得声密度值更小。增加能量输入并不会增加污泥活性。这就说明了生物活性仅仅在比较狭窄的声波强度范围内获得, 太低的超声波能量会无效; 而能量太高, 超声波会导致生物活性的下降甚至远远低于没有超声时候的值^[10]。

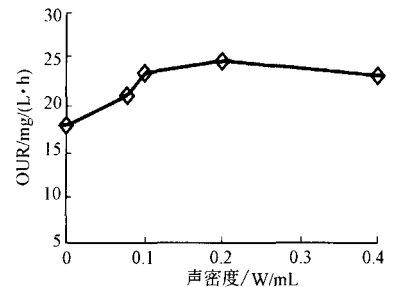


图 3 不同声密度下污泥好氧速率变化

2.1.3 超声时间的影响

图4为不同超声时间下污泥好氧速率变化曲线。从图4可以看出,超声作用发生后污泥活性就有显著提高,60s内污泥活性随超声时间的延长而不断增大。超声60s后,污泥活性迅速下降。这说明一定强度下,较短的超声时间可以促进酶活,加快微生物生长,提高其对有机物的分解吸收能力。但是长时间的超声波输入可能会直接杀死微生物,微生物分解有机物的能力反而下降。在试验所取的声密度下,超声时间为60s时污泥好氧速率最快,比原污泥提高了30.49%。但是试验中选取3s作为超声时间,因为超声3s后污泥活性已经比原污泥提高了20%。而3s时的超声能耗为 $1.66 \times 10^{-5} \text{ kW} \cdot \text{h}$,60s的超声能耗是 $3.33 \times 10^{-4} \text{ kW} \cdot \text{h}$,超声3s的能耗是超声60s能耗的1/20。

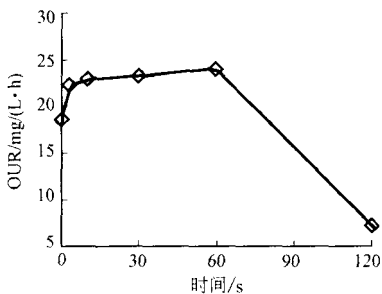


图4 不同超声时间下污泥好氧速率变化

2.1.4 声强的影响

表1为声密度相同时不同声强下污泥好氧速率。试验中超声面积相同,所以用功率来代替声强。表1可以看出,声密度为0.2W/mL时,功率为20W时要比40W时好氧速率大;同样,声密度为0.4W/mL时,20W声强下要比40W声强下污泥活性高。这是因为虽然声密度相同,但是较大的声强瞬间对污泥微生物破坏更大,污泥活性反而下降。

表1 不同声强下污泥好氧速率

声密度/W/mL	0.2		0.4	
声强功率/W	40	20	40	20
OUR/mg/(L·h)	21.7365	23.995	20.927	22.7535

2.2 模拟人工废水降解以验证污泥活性提高

用人工废水来验证超声波对污泥活性的提高作用。

2.2.1 人工废水成分

表2为人工废水成分,其中BOD N P接近

表2 人工废水成分

成分	葡萄糖	蛋白胨	NH ₄ C	KH ₂ PO ₄	MgSO ₄	CaCl ₂	FeSO ₄ ·7H ₂ O	NaHCO ₃
浓度/mg/L	400	120	150	35	10	50	15	100

100 5 1。

2.2.2 超声条件

频率为25kHz,超声时间3s,脉冲比为1:1,总时间6s,声密度0.2W/mL。

2.2.3 试验参数

取未处理和超声处理后活性污泥各600mL于3L烧杯中,加入人工废水1500mL,3h曝气,每隔0.5h取样测COD_{Cr}。

2.2.4 处理水水质

图5为3h内活性污泥处理人工废水后出水COD_{Cr}。从图5可以看出,超声3s后污泥活性就有改善,出水水质COD_{Cr}明显下降,并且这种作用在超声波停止3h后仍然存在,3h后出水水质好于未处理污泥出水水质就充分说明了这一点。污泥活性提高在超声波停止数小时后仍然存在,这也许是产生了膜渗透或者酶差异的改变。

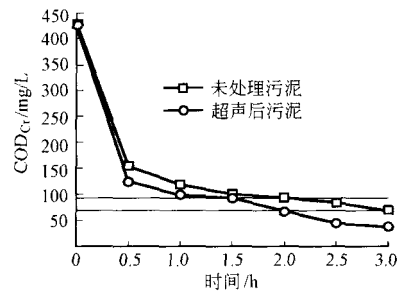


图5 出水水质对比

处理废水1.5h后,未处理污泥处理污水出水COD_{Cr}为100.864mg/L,符合城镇污水处理厂污染物排放二级标准(GB 18918—2002);而超声3s后的污泥,处理污水出水COD_{Cr}为92.984mg/L,已经达到了一级标准。处理废水3h后,未处理污泥处理污水的出水COD_{Cr}为69.344mg/L,符合国标中一级B标准,而超声3s后的污泥,处理出水COD_{Cr}为37.824mg/L,这个值已经达到了一级A标准。

从图5中还可以看出,当COD_{Cr}同时达到92.984mg/L时,未处理污泥所需要的时间是2h,而超声3s后污泥所需时间为1.5h,缩短了0.5h,是整

个运转周期的 $1/6$; 当 COD_{Cr} 同时达到 69.344 mg/L 时, 未处理污泥需要 3 h , 而超声 3 s 后所需时间不到 2 h , 缩短了 1 h , 是整个运转周期的 $1/3$, 这就大大缩短了活性污泥法的运行周期, 使得占地面积减小, 投资运行费用大大减少。这些都充分说明了一定强度下短时间的超声作用就对污泥活性有了很大提高, 使其分解有机物的能力加强, 明显改善了出水水质。

2.3 机理分析

超声处理是一个复杂的过程, 其提高活性机理仍有待于进一步研究。可能的原因是超声波产生的微冲击流改进了细胞内外的传质作用, 从而加快有机质进入细胞和代谢产物排出细胞的过程。超声波加快膜传递的现象也被其他研究所证实^[11]。短时间的超声波预处理会导致可溶性有机物的增加和细胞活性的提高, 极大地加快了厌氧发酵速率, 提高沼气产率, 而且促进效应在超声波停止后数小时内依然存在^[10]。超声波对污泥进行作用时还受到很多因素的影响, 包括温度、溶解性气体、悬浮颗粒物、微生物结构和新陈代谢。同时, 超声波对上述不同因素有不同的影响, 需要进一步的研究。

3 结论

(1) 超声波脉冲方式可以提高活性污泥的好氧速率, 尤其在脉冲比为 $1:1$ 时, 而连续超声对污泥活性影响不大。

(2) 适合的声密度能够改善活性污泥活性, 文中最好的声密度出现在 0.2 W/mL 时, 此时污泥活性比原污泥提高 30.49% 。声密度过小, 作用效果不明显; 过大, 会使微生物遭到破坏, 其活性可能要低于原污泥。

(3) 60 s 内污泥活性随超声时间延长而增大, 60 s 时污泥好氧速率达到最快, 60 s 后污泥活性随超声时间延长而恶化。超声 3 s 后污泥活性比原污泥提高了 20% , 而此时的能耗是超声 60 s 时的 $1/20$ 。

(4) 相同声密度下, 声强越大, 污泥活性越差。

(5) 人工废水试验充分验证了低频低强度短时间的超声作用可以提高污泥活性, 提高其分解有机物的能力。超声 3 s 后污泥处理废水的出水 COD_{Cr} 比未处理污泥处理废水后出水 COD_{Cr} 低就充分说明了这一点。 3 h 后, 未处理污泥和超声 3 s 后污泥处理废水的出水 COD_{Cr} 分别为 69.344 mg/L 和 37.824

mg/L , 分别符合 GB 18918—2002 一级 B 和一级 A 标准; 达到相同出水水质, 如 COD_{Cr} 为 69.344 mg/L 时, 超声 3 s 所需要的时间是未处理污泥所需时间的 $1/3$, 极大的缩短了运行周期, 减小了占地面积和运行投资费用。因此在污泥回流之前增加超声波仪器只消耗很少的电就可以明显提高处理效率, 又不产生二次污染, 超声波处理技术是提高污泥活性, 促进污水污泥处理的清洁技术^[12]。

参考文献

- 1 尹军, 谭学军. 污水污泥处理处置与资源化利用. 北京: 化学工业出版社, 2005. 271
- 2 李丹阳, 陈刚, 张光明. 超声波预处理污泥研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(8): 70~72
- 3 马晓利, 陈亚伟, 宁平, 等. 超声辐射—活性污泥法处理焦化废水中 COD 的研究. 有色金属, 2003, 55: 140~142
- 4 陈伟, 范瑾初, 陈玲, 等. 超声—过氧化氢技术降解水中 4-氯酚. 中国给水排水, 2001, 16(2): 1~4
- 5 Bien J B, Kempa E S, Bien J D. Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process. Water Sci Technol, 1997, 36 (4): 287~291
- 6 de Sarabia E R-F, Gallego-Juarez J A, G Rodriguez-Corral, et al. Application of high-power ultrasound to enhance liquid/ solid particle separation processes. Ultrasonics, 2000, 38: 642~646
- 7 Lafitte-Trouque S, Forster C F. The use of ultrasound and irradiation as pre-treatments for the anaerobic digestion of waste activated sludge at mesophilic and thermophilic temperatures. Biores Technol, 2002, 84: 113~118
- 8 Tihm A, Nickl K, Zellhorn M, et al. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. Water Res, 2001, 35(8): 2003~2009
- 9 高旭, 龙腾锐. 连续进出水-间歇曝气工艺污泥好氧速率研究. 给水排水, 2002, 28(3): 4~8
- 10 Schlafer O, Sievers M, Klotzbucher H, et al. Improvement of biological activity by low energy ultrasound assisted bioreactors. Ultrasonics, 2000, 38: 711~716
- 11 芮延年, 郭旭红, 刘文杰, 等. 超声振动强化膜分离过程机理的研究. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(6): 43~46
- 12 Yin X, Han P F, Lu X P. A review on the dewaterability of bio-sludge and ultrasound pretreatment. Ultrasonics, 2004, 42: 337~348

电话: 13760368529

传真: (0755) 26036445

E-mail: yangjm03@yahoo.com.cn

收稿日期: 2005-07-01