

# HSBR 反应器处理生活污水的试验研究

田 猛 周 律

(清华大学环境科学与工程系 北京 100084)

**摘要** 研究了新型不完全厌氧反应器——不完全厌氧序批式反应器(HSBR)处理生活污水的特性。在容积负荷  $0.41 \sim 0.63 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  的运行条件下,取得了 75% 以上的 COD 去除率;在  $2.77 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  的冲击负荷下,取得 35% 的 COD 去除率。同时研究了反应时间以及混合强度对 COD 去除率的影响,并分析了不完全厌氧反应器取得良好处理效果的原因。

**关键词** 不完全厌氧序批式反应器(HSBR) 混合强度 生活污水

## 0 引言

按照四阶段厌氧消化理论,不完全厌氧过程是指前三阶段,即水解阶段、酸化阶段、产乙酸阶段,其最终不以生成甲烷为主,因此有时也称为水解酸化。不完全厌氧过程中,不仅有脂肪酸的生成,还包括氨基酸和糖类的分解以及较高级的脂肪酸与醇类的氧化;反应的 pH 一般维持在适合兼性菌生长的范围内,一般是  $6.5 \sim 7.5$ ;处理水体并不保持严格的厌氧条件,进出水段处于厌氧和缺氧条件之间,为兼性过程,氧化还原电位介于  $-100 \sim 50 \text{ mV}$  之间<sup>[1]</sup>。不完全厌氧过程中,降解有机物的细菌主要是兼性细菌,其中有水解发酵细菌、产氢产乙酸细菌、同型产乙酸细菌。

水解上升流污泥床反应器——HUSB 反应器在国内的一些污水处理厂中得到应用,其 COD 去除率在 35% ~ 50%,SS 去除率在 80% ~ 90%<sup>[2]</sup>。从应用情况看反应器混合强度偏低,并且不易调控。结合不完全厌氧过程和序批式活性污泥法工艺,采用新型不完全厌氧序批式反应器——HSBR (Hydrolytic Sequencing Batch Reactor) 反应器进行处理生活污水的试验研究。HSBR 法是以序批间歇运行操作为主要工艺特征的不完全厌氧工艺,一个完整的运行操作周期分为进水、反应(搅拌)、沉淀、排水。

由于不完全厌氧过程的运行条件与传统的厌氧消化过程不尽相同,所以 HSBR 反应器运行机理有其独特的工艺特点。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 污泥接种和反应器启动

HSBR 反应器中接种的污泥是北京市高碑店污水处理厂二级消化池的消化污泥和密云县污水处理厂水解池污泥的混合污泥。经过过滤、淘洗处理,去掉残渣后,SS 为  $18.6 \text{ g/L}$ ,VSS 为  $8.2 \text{ g/L}$ ,SV 为  $570 \text{ mL/L}$ ,SVI 为  $30.6 \text{ mL/g}$ 。

取大约 3 L 的原污泥加入葡萄糖和适量氮、磷以及必要的营养元素(Mg, Ca, Fe, Co, Ni, Mo, Zn, Mn)在周期为 8 h 下置于反应器中培养,沉淀时间控制在 2 h 左右。控制配水 COD 浓度在  $1000 \text{ mg/L}$  左右。经过两周左右的培养后,沉降性能不好的污泥被水力洗出反应器,反应器中沉淀后污泥层与上清液分层明显,污泥沉降性能良好。此时污泥浓度为  $8 \text{ g/L}$ ,SVI 为  $40.6 \text{ mL/g}$ 。COD 去除率达到 40% 以上,启动成功。

### 1.2 试验用水

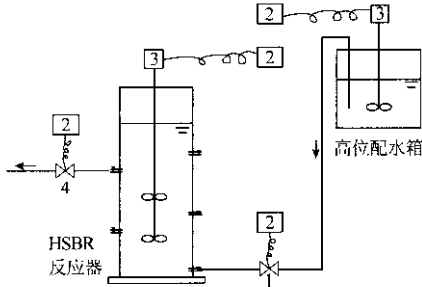
HSBR 反应器的用水采用清华大学学生社区的生活污水,COD 为  $200 \sim 400 \text{ mg/L}$ ,BOD 低于  $100 \text{ mg/L}$ ,SS 为  $100 \sim 200 \text{ mg/L}$ 。生活污水取水后,筛去大颗粒杂质,备用。

### 1.3 试验装置和分析方法

试验装置系统见图 1。采用高位水箱配水,时间控制器自动控制进出水电磁阀以及水箱搅拌器、反应器搅拌器。HSBR 反应器最大容积为  $9.2 \text{ L}$ ,反应容积  $7 \text{ L}$ 。反应器由有机玻璃制成,壁厚  $5 \text{ mm}$ ,内径  $140 \text{ mm}$ ,外径  $150 \text{ mm}$ ,高  $600 \text{ mm}$ 。

COD 按重铬酸盐法测定。

## 2 结果与讨论



1 进水电磁阀 2 时间控制器 3 电动搅拌器 4 出水电磁阀

图1 HSBR 反应器试验装置系统示意

## 2.1 有机容积负荷和冲击负荷的影响

HSBR 反应器有机容积负荷的计算公式为：

$$N_v = \frac{nV_1C_{in}}{V_0}$$

式中  $n$ —— $n = 24/T$ ,  $T$  为运行周期；

$V_1$ ——每次进水量,  $V_1 = 3 \text{ L}$ ；

$V_0$ ——反应器有效容积,  $V_0 = 7 \text{ L}$ ；

$C_{in}$ ——进水 COD 浓度。

正常运行条件下,有机容积负荷与 COD 去除率的关系见表 1。进水的容积负荷  $N_v$  为  $0.41 \sim 0.61 \text{ kgCOD}(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,COD 去除率为  $77\% \sim 88\%$ ,表明 HSBR 反应器具有较强的处理能力。同时可以看出,在一定的容积负荷范围之内,容积负荷越高,底物越充分,其降解速率越快,有机物的去除率也越高。

表 1 容积负荷与 COD 去除率的关系

项目	COD			$N_v$ /kgCOD/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ )	污泥浓度 /g/L
	进水 /mg/L	出水 /mg/L	去除率 /%		
状态 1	322.6	74.4	77	0.41	11.6
状态 2	323.0	71.2	78	0.41	6.1
状态 3	357.4	41.7	88	0.61	11.6
状态 4	367.5	57.3	84	0.63	6.8
状态 5	1 615	1 044	35	2.77	6.3

注 状态 1 为间歇搅拌,反应 6 h,沉淀 2 h;状态 2 为间歇搅拌,反应 7 h,沉淀 1 h;状态 3 为间歇搅拌,反应 4 h,沉淀 2 h;状态 4 为间歇搅拌,反应 5 h,沉淀 1 h;状态 5 为连续搅拌,反应 6 h,沉淀 2 h。

提高进水浓度为  $1 615 \text{ mg/L}$ ,冲击负荷  $2.77 \text{ kgCOD}(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,COD 去除率为  $35\%$ ,说明其具有一定的抗冲击负荷能力,但是较大的冲击负荷使微生物和基质没有足够的接触时间,导致有机物去除率的下降<sup>[3]</sup>。反应器具有一定抗冲击负荷能力的原因有:①进水完毕后,进水基质立即被反应

器内原有的低浓度废水稀释;②反应阶段反应器内的混合状态属于完全混合式,比推流式更耐冲击负荷;③反应器内的活性污泥在低容积负荷下运行,处理效果好。

## 2.2 反应时间( $t_r$ )

HSBR 反应器一个完整的运行周期按次序分为进水、反应(搅拌)、沉淀和排水四个阶段,其中进水  $3 \text{ min}$ ,沉淀  $1 \sim 2 \text{ h}$ ,出水  $10 \text{ min}$ 。一个周期内,进水和排水时间是相对固定的,其余时间由反应和沉淀来分配。

不完全厌氧过程初期,污泥吸附了大量的不溶性 COD,随着反应的进行,认为有三种作用对 COD 产生影响:①水解细菌水解不溶性有机物为大分子有机物的水解作用,增加 COD;②兼性细菌降解大分子有机物为小分子有机物的降解作用,降低 COD,同时部分兼性微生物对小分子有机物进行降解(异化和同化);③酸化细菌转化溶解性有机物为 VFA 的酸化作用,对 COD 影响不大。随着反应的进行,水解作用和降解作用的综合效果构成了反应器中降解有机物的沿程变化。

表 2 为  $t_r$  与 COD 去除率的关系,从中可以看出  $t_r$  超过  $4 \text{ h}$ ,COD 去除率为  $76.9\% \sim 94.9\%$ ,但是 COD 去除率并不随反应时间呈线性关系,主要原因是反应时间超过  $4 \text{ h}$  后,水解作用增强,导致 COD 去除率的变化规律不明显。从表 2 可以看出,出水 COD 均低于  $100 \text{ mg/L}$ ,SS 低于  $60 \text{ mg/L}$ ,大部分状态出水悬浮物浓度接近于零,取得了比较好的处理效果。

表 2  $t_r$  与 COD 去除率的关系

项目	COD			出水 SS /mg/L	污泥浓度 /g/L
	进水 /mg/L	出水 /mg/L	去除率 /%		
$t_r/\text{h}$					
4	322.6	74.4	87.4	$\leq 10$	9.2
5	323.0	71.2	76.9	$\leq 10$	11.6
6	357.4	41.7	94.9	$\leq 60$	7.9
7	367.5	57.3	88.3	$\leq 10$	11.2

与其他不完全厌氧反应器相比,HSBR 反应器处理效果较好,原因为:①反应器易于调控;②混合效果好;③专门的静止沉淀阶段,出水水质好。

## 2.3 混合强度对反应器特性的影响

混合强度影响反应器反应特性的实质主要体现在两个方面:①适度的混合强度增加微生物与基质接触的机会,同时也增强了传质效果,使得反应器内物料和温度达到均一;②对于污泥来说,混合强度过大,降低了污泥的絮凝作用,不利于絮凝作用好的污泥的沉降,使得出水中SS浓度增加,不利于反应器内污泥存留,影响污泥的反应特性,同时也影响反应器内微生物群落的合理分布。

在厌氧序批式反应器(ASBR)的研究中,Dague等<sup>[4]</sup>指出间歇混合与连续混合相比较而言,能够获得更大的气体产量,更好的COD去除效果,而且因为絮凝作用的增强而得到更好的固体去除效果。Stroot等<sup>[5]</sup>和McMahon<sup>[6]</sup>进一步指出,最小限度混合的消化反应器也比连续完全混合的消化反应器有更稳定的运行状态。Ratusznef<sup>[7]</sup>和Largus<sup>[8]</sup>在研究混合强度以及混合方式对处理养猪废水的ASBR反应器的反应特性和微生物群落的影响时指出,间歇低强度的混合要优于连续高强度的混合。

试验采用搅拌器搅拌,混合强度为连续搅拌和间歇搅拌(1h中搅拌30min)。混合强度与COD去除率的关系见表3。

表3 混合强度与COD去除率、出水SS的关系

项目 状态	搅拌 方式	反应时间 /h	沉淀时间 /h	COD 去除率/%	出水SS /mg/L	污泥浓度 /g/L
1	连续	6	2	94.9	60	9.2
2	间歇	6	2	88.3	≤10	11.6
3	连续	4	2	87.4	≤10	7.9
4	间歇	4	2	76.9	≤10	11.6
5	连续	7	1	75.4	30	6.9
6	间歇	7	1	84.5	≤10	7.8

表3中,状态1和2,3和4,5和6两两之间只是混合强度不同,其余运行条件相同。可以看出:①连续混合比间歇混合的处理效果要好,据进行反应器最小混合强度的校核,采用的连续搅拌的混合强度没有达到最小混合强度,所以混合强度越大,处理效果越好;②间歇混合的出水SS较低,而且反应器内污泥浓度高,表明低强度混合有利于污泥的絮凝作用。

### 3 结论

根据试验结果,HSBR的基本工艺特性可以归纳如下:

(1)HSBR反应器中,以生活污水为处理对象,

在反应时间4~6h,沉淀时间1~2h,容积负荷0.41~0.63 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)的运行条件下,取得了75%以上的COD去除率;出水SS为0~40 mg/L;反应器运行稳定。在2.77 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)的冲击负荷下,HSBR反应器取得35%的COD去除率,表明其有一定的抗冲击负荷能力。

(2)在试验研究的混合强度范围内,混合强度越大,处理效果影响越好。间歇混合的出水悬浮物浓度比连续混合的低。

(3)反应时间为4~7h,COD去除率为76.9%~94.9%,但是反应时间与COD去除率并不呈线性关系。

(4)根据HSBR反应器工艺特点及去除有机物的特点,后接好氧处理,比如好氧SBR,构成完整的二级处理工艺,适合于中小城镇和分散居民区的污水处理。

### 参考文献

- 张希衡,等.废水厌氧生物处理工程.北京:中国环境科学出版社,1996
- 王凯军,贾立敏.城市污水生物处理新技术开发与应用.北京:化学工业出版社,2001
- 李亚新,田扬捷.厌氧序批式反应器(ASBR)工艺特性初探.给排水,2002,28(7):23~26
- Dague R R,McKinney R E,Pfeffer J T. Solids retention in anaerobic waste treatment systems. Journal of Water Pollution Control Federation,1970,42:R4~R29
- Stroot P G, et al. Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions: I. Digester performance. Wat Res, 2001, 35(7):1804~1816
- McMahon K D, et al. Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions: II. Microbial population dynamics. Wat Res, 2001, 35(7):1817~1827
- S M Ratusznei et al. Influence of agitation rate on the performance of a stirred anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass. Wat Sci & Tech, 2001, 44(4):305~412
- Largus T, Angenent, Shihwu Sung, Lutgarde Raskin. Mixing intensity in anaerobic sequencing batch reactors affects reactor performance and microbial community structure. 9<sup>th</sup> World Congress Anaerobic Digestion. Proceedings Part1, 2001

□电话(010)62773079

E-mail:zhou2001@263.net.cn

修回日期:2003-8-25