树脂厌氧附着膜膨胀床污泥特性研究

郭素红¹,倪 文¹,王凯军²,邹安华¹

(1.北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083; 2.北京市环境保护科学研究院,北京 100037)

摘 要:采用载体吸附法培养出高活性的生物膜颗粒污泥,并对连续运行期间的污泥浓度、生物膜活性及生物膜厚度 等特性进行研究,以了解该工艺高效稳定运行的生物学机制。试验装置采用 AAFEB 反应器,投加模拟污水,裸载体 为树脂(平均粒径 0.45~0.60mm)。试验运行了 320d,反应器内最大污泥浓度 30.14g/L,最高容积负荷 46kgCOD/m³·d, COD去除率 80%~95%。

关键词:树脂;厌氧附着膜膨胀床;生物膜活性;膜厚 中图分类号:X703 文献标识码:A

文章编号:1000-3770(2007)09-012-04

厌氧附着膜膨胀床(AAFEB)反应器¹¹已成功 地用于处理不同类型和浓度的有机废水。这种工艺 通过添加载体的方式,利用固定化技术将微生物固 定在载体上,形成具有生物膜结构的高活性颗粒污 泥,为反应器的高效稳定运行提供了重要条件,特别 适用于颗粒污泥严重短缺的结合。

本文作者对以树脂为载体的反应器的生物膜颗 粒特性进行了初步的研究。

1 材料和方法

1.1 材料

试验样品取自实验室长期连续运行的 AAFEB 反应器,反应器规格 60mm 2005mm,容积 4.41L, 总容积 8L。运行过程中进水 COD 浓度变化范围为 2000~10000mg/L,反应器有机负荷为 4~46.4 kg-COD/m³·d,上升流速范围为 4~6m/h,循环比变化 范围为 8:1~27:1,反应器温度为(30 *2*) ,反应器 内 pH 值控制在 6.5~7.2 之间。反应器内接种污泥 取自某淀粉厂生产性 UASB 反应器,经破碎、筛分 后制成分散的接种污泥,粒度小于 98 μm,VSS 含量 为 38q/L。添加载体为树脂 粒径 0.45~0.60mm。

基质为实验室自配水,分别以葡萄糖、脲素、磷酸二氢钾及少许微量元素(表1)为营养源,按 COD:氮:磷=2005:1配制。同时加入适量 NaHCO₃ 以调节反应区内 pH 值。 1.2 分析方法

SS和 VSS采用重量法; 厌氧污泥活性采用史 氏发酵管测定。生物膜厚度;用测微尺测定厌氧颗粒 污泥的生物膜厚度,每次取样 50粒,计算均值。

表 1 厌氧试验用水微重元素组成

Table 1 Composition of trace elements for anaerobic test			
成份	添加量(mg/L)	成份	添加量(mg/L)
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	10.0	(NH ₄) ₆ Mn ₇ O ₂₄	0.5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	15.0	H₃BO₃	0.5
FeCl ₂ ·4H ₂ O	10.0	NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.5
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.5	ZnCl ₂	0.5
KI	1.0	AICl ₃ ·6H ₂ O	0.5
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0.5	$CuCl_2 \cdot 6H_2O$	0.5
Na_2SeO_3	0.5		

2 结果与讨论

试验共计运行 320d,在成功启动反应器,并达 到高负荷稳定运行的过程中对反应器内的污泥特性 进行研究,试验最高负荷达 46.4kgCOD/m³·d,相应 COD去除率为 82.7%。

2.1 反应器运行

反应器工艺运行过程如图 1 所示。其中 1~54d 是反应器启动及低负荷运行期,最高容积负荷 9kgCOD/m³·d,对应的 COD 去除率为 87.7% 54~ 168d 是负荷缓慢提升及中等负荷稳定运行期,运行 最高负荷为 18.18 kgCOD/m³·d,水力停留时间

收稿日期 2006-09-06

基金项目:国家"十五"高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601190)

作者简介 郭素红(1973-),女 博士研究生,研究方向为废水厌氧生物处理 联系电话 010-63936902 E-mail gshbj@163.com。

6.6h ,COD 去除率稳定在 85%左右 ;168~320d 是二次启动及高负荷稳定运行期,运行最高负荷达 46.4kgCOD/m³·d ,COD 去除率基本保持在 80%~ 95%之间,水处理效果理想,实现了反应器的高效稳 定运行。



- 2.2 反应器运行过程中污泥量变化规律
- 2.2.1 启动期间的污泥流失

在试验的启动阶段,反应器内污泥随运行时间 的流失情况如图2所示。



Fig.2 Sludge loss changing in starting up stage of reactor with operating time

由图 2 中可以看出,反应器的污泥流失量呈现 出一个上升、下降再上升再下降的过程,这是由于接 种污泥为分散污泥,沉降性能差,因而启动的前 5d 污泥流失量较大,之后随着运行时间的增加,较轻的 分散污泥被淘洗出反应器,沉降性较好的污泥则流 在反应器内,与载体获得充分接触的部分污泥则因 附着在载体上生长而得以保留,运行第 11d 时,在反 应器中观察到有颗粒污泥出现,相应的污泥流失量 也迅速下降,运行至第 17d 时,反应器出水已相当清 澈,几乎没有污泥流出,到第 25d 时反应器内已形成 大量颗粒污泥,与此同时为加速污泥的颗粒化过程 开启回流,以增加反应器的上升水流速度,上升流速 由之前的 0.19m/h 提高到 5.36m/h ,反应器出水中污 泥量随之明显增加 ,至 38d 时达到最大 ,随后快速下 降 ,至第 43d 时 ,出水重新变得清澈 ,反应器内颗粒 污泥床层粒径均匀 ,略微增大 ,床层膨胀率稳定 ,界 面清晰。在此期间反应器的 COD 去除率基本稳定 在 90%以上 ,容积负荷为 1.37~7.08kgCOD/m³·d。 2.2.2 反应器运行过程中的污泥浓度变化规律

图 3 是反应器运行过程中活性污泥浓度随运行 时间的变化情况。在此期间反应器经历了启动、低负 荷稳定运行 中等负荷稳定运行 二次启动 中、高负 荷稳定运行等阶段。试验前阶段 随着运行时间的增 加,反应器内的污泥浓度呈现出先下降后上升的趋 势 这是由于在启动初期 反应器内的污泥形态以沉 降性能较差的分散污泥为主 在上升水流作用下 污 泥流失的速率大于污泥增长速率,因而反应器内的 污泥浓度会随时间降低 .到 44d 之后 ,启动已完成 , 反应器内保留下来的污泥主要以生物膜颗粒的形态 存在 沉降性能与絮状污泥相比有了很大的提高,可 以承受更高的水力负荷 出水中的 VSS 含量极大地 降低,加之随后进入提高负荷阶段,充足的营养物 质 也使得污泥的增长速率进一步提高 这一阶段的 污泥生长速率显然大于污泥流失,因而反应器内污 泥浓度呈上升趋势。



168d 后的污泥浓度变化与前一阶段略有不同, 呈上升趋势,但起初上升趋势较为缓慢 267~297d 间污泥浓度又略微下降。这是由于这一阶段反应器 为二次启动,由于停运时间较长,一部分颗粒虽然解 体,但反应器中的污泥存在的主要形式依然是生物 膜颗粒,这样在反应器的启动初期,污泥中沉降性能 好的污泥比例明显高于前阶段反应器同时期的相应 比例,加之生物膜颗粒有促进悬浮污泥颗粒化的作 用,致使悬浮污泥在较短的时间内快速固定在载体 表面而得以保留,因此仅用 16d 就完成了启动,比初 次启动提前了近一月,而当反应器运行至210d时, 污泥的增长速率就已超过了污泥的流失速率,反应 器内的活性污泥浓度开始缓慢攀升。其后随着反应 器负荷的提升污泥浓度稳步上升,至267d时,污泥 床已膨胀至沉淀区上部,在经过数日间歇式排泥的 操作后,污泥浓度才有所回落。

2.3 颗粒污泥生物活性

试验运行过程中污泥活性随时间明显变化。接种污泥活性为 0.62gCOD/gVSS·d,其后分别在反应器运行的第 72d (容积负荷 7.82kgCOD/m³·d)、第 130d(容积负荷 8.51kgCOD/m³·d)、第 165d(容积负荷 18.18kgCOD/m³·d),测得反应器内污泥活性平均值依次为 1.7 gCOD/gVSS·d、2.89 gCOD/gVSS·d、2.94 gCOD/gVSS·d。试验表明,在工艺运行前期(1~72d)随着时间的延长及容积负荷的提高,污泥活性有了极大的提高,与接种污泥相比提高了 163%,在第 72~130d污泥活性提高了 34%,而在 130~165d的过程中,负荷增加了 1.14 倍,污泥活性仅增加了 2%。

由文献[2]的研究结果可知,接种厌氧颗粒污泥在 基质改变后的工艺运行前期,主要代谢菌群的数量及 比例都发生了较大的变化,而在稳定高负荷条件下运 行颗粒污泥随着负荷的变化其主要代谢菌群的数量 及比例均较为恒定。本试验因接种的是絮状的厌氧污 泥,与接种厌氧颗粒污泥相比,接种污泥除了在适应 新基质过程中进行菌群种类的重新分布及调整外,还 在各种物理化学力作用下在向载体表面附着的过程 中,实现其优势菌种的选择及快速增长,这一阶段即 为反应器的启动期,当污泥适应新基质并形成生物膜 颗粒后,重新建立的生态体系已适应新基质,生物膜 中优势菌数量增多,活性明显增强。此后,微生物进入 正常代谢、增长阶段,此时基于厌氧微生物的增长速 率和环境资源容量所限,微生物的增长速率减慢,相 应的污泥活性增长也随之减慢。

在试验运行 297d 中污泥活性沿垂直方向上显示了规律性的分布情况,对应的容积负荷为 32.13 kgCOD/m³·d,床层高 150cm,样品取自反应器沿纵向分布的取样孔,由下至上依次为 18cm、50.5cm、83cm、126cm。污泥活性检测表明,由床层底部向上,污泥活性逐渐上升,随后呈下降趋势,活性最高点出现在 83cm 处的取样孔附近,位于床层中部,即污泥活性沿垂直方向呈中间高两头低的态势,这与颗粒污泥反应器在同等负荷下的由底部向上活性逐渐下

降的趋势有一定差异。

对于颗粒污泥反应器,污泥颗粒为微生物自固 定化的产物,颗粒的沉降能力靠自身的组成成份-微生物来提供,沉降性能好的颗粒同时也意味着拥 有较高的微生物量,因而其活性分布的主导因素为 颗粒污泥的沉降性,表现为沿床层垂直方向由底部 向上逐渐降低。而生物膜颗粒则不同,其所包含的惰 性载体核对颗粒沉降性能的贡献不容忽视,与颗粒 污泥不同的是生物膜颗粒的密度随着微生物在载体 上附着量的增加而减小,因而沉在床层底部的颗粒 运物着的生物量少而活性相对较低,当附着的生物 量相当或较少,而颗粒结构相对松散的颗粒密度较 之结构紧凑的颗粒密度小,从而浮于床层上部,形成 活性相对较低的污泥层,这就是为什么微生物膜颗 粒反应器沿床层垂直方向污泥活性呈中间高两头低 的主要原因。

2.4 树脂生物膜性状对去除效率的影响

生物膜的活性是影响反应器效率的一个重要因素 影响生物膜活性的因素包括其厚度、基质浓度及不同种群在生物膜中的分布情况。Lamotta 提出" 临界生物膜厚度 "的概念,认为在一定的生物膜厚度范围内,生物膜的活性与其厚度成正比,当生物膜厚变超过" 临界生物膜厚度 "时,生物膜的活性不会增加^[3]。因而在生物膜反应器的设计过程中,生物膜的厚度是一个很重要的参数。

生物膜的增厚会带来两种后果,其一是会导致 反应器不同高度处生物颗粒尺寸的不一,这种现象 又叫"分级",是由于载体尺寸的不均匀或膜厚不同 所造成的。后果之二是会导致生物降解动力学特性 的改变,这是由于传质过程的改变而引起的^[45]。不少 研究者都提出了"最佳生物膜厚度'的概念,认为将 生物膜的厚度控制在"最佳生物膜厚度'时,反应器 的处理效果最佳。但由于不同的实验条件,事实上不 少研究者都得出在相应实验条件下的最佳生物膜厚 度具有较大的差异。

图 4 是高负荷 (32.85~46.41 kgCOD/m³·d)运 行期间生物膜厚度与其相关影响因素间的关系。图 中显示,第 267~274d 期间上升水流速度稳定保持 在 4.43m/h 左右 随着容积负荷由 32.85 kgCOD/m³· d 上到 37.17 kgCOD/m³·d,生物膜厚度由 0.44mm 增长到 0.47mm 相应的 COD 去除率随着生物膜的 增厚也由 75.32%增加到 81.6%;当反应器运行至第 278d 时,膜厚增加为 0.61mm,与之相对应 COD 去

郭素红等,树脂厌氧附着膜膨胀床污泥特性研究

除率开始下降,其后,随着生物膜的增长,COD 去除 率继续下降,到第 284d时,容积负荷已提高到 38.47 kgCOD/m³·d,生物膜厚度则增加到 0.88mm,此时去 除率下降到 68.54%,于是加大回流将上升水流速度 提高至 5.33m/h,同时采取沼气间歇循环方式,在水 流的冲刷及气体的扰动作用下,生物膜厚度快速降 低,COD 去除率随之回升,到 289d 时膜厚已减小到 0.42mm,为防止膜结构的进一步破坏,将容积负荷 降低到 31 kgCOD/m³·d 左右稳态运行约一周,此期 间膜厚增长缓慢,处理效率基本稳定在 78%左右。 第 305d 开始提升负荷,随着负荷提升到 46 kgCOD/m³·d 左右,生物膜也增长到 0.63mm 左右, COD 去除率稳定在 80%以上。



图 4 高负荷运行期生物膜厚与水处理效果的关系

Fig.4 Relation between biofilm thickness and water treatment effect in the time of high load operation

在本试验中,对应于不同的容积负荷,最佳生物 膜厚度有所不同,当负荷在35 kgCOD/m³·d 左右 时,生物膜厚度保持在0.47mm 左右较合适,而当负 荷达到45 kgCOD/m³·d 左右时,相宜的膜厚度应为 0.63mm 左右。在工艺运行过程中可以通过调整上 升水流速度及产气速率控制生物膜厚度。

3 结 论

以树脂为载体的厌氧生物膜反应器在 11~12d 时,出现颗粒污泥,污泥流失速率随之大幅降低,其 后在各种物理化学力作用下实现优势菌种的选择及 快速增长,反应器内的污泥浓度及污泥活性均稳步 增长 20~30d时形成大量的颗粒污泥 24d即可完 成启动,反应器运行最高负荷达 46kgCOD/m³·d,运 行稳定,效果良好。

与自固定化颗粒污泥不同的是,以树脂为载体 的固定化颗粒因其沉降性能受载体密度影响,污泥 活性沿垂直方向呈中间高两头低分布,活性生物浓 度最高的区域居于床层中部,这是生物膜反应器不 同于颗粒污泥反应器的一大特点。

最佳生物膜厚度对应于不同的容积负荷范围有 所不同,本试验负荷在35 kgCOD/m³·d 左右时,最 佳生物膜厚为0.47mm左右,而当负荷达到45 kgCOD/m³·d 左右时,相宜的膜厚应为0.63mm左 右。生物膜厚度的控制可通过调整上升水流速度及 产气速率实现。

参考文献:

- Jewell W J, Switzenbaum M S, Morris J W. Municipal wastewater treatment with the anaerobic attached microbial film expanded bed process [J]. Water Pollut Cont Fed, 1981, 53:482-491.
- [2] 竺建荣. 两相升流式厌氧污泥床工艺微生物学特性的研究[D]. 北京:清华大学,1990.
- [3] Lamotta E J. Kinetics of growth and substrate uptakeina, biological film system [J].Applied and Environmental Microbiology, 1976, 31:286-293.
- [4] Wang Shihe, et al. Organic matter degradation kineticsin a fluidized bed reactor[J]. Wat Res., 1994, 28:2021-2028.
- [5] Yoda M, et al.Anaerobic fluidized bed treatment with a steady state biofilm [J]. Wat Sci Tech., 1987, 19:287.

CHARACTERISTICS OF SLUDGE IN ANAEROBIC ATTACHED FILM EXPANTION BED WITH RESIN AS BIOFILM CARRIER

GUO Su-hong¹, NI Wen¹, WANG Kai-jun², ZOU An-hua¹

(1.Civil & Environmental Engineering School, University of Science and Technology in Beijing, Beijing 100083, China;

2.Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

Abstract: A biofilm particulate sludge with high activity was cultured by carrier adsorption method, and the charateristics of the sludge concentration, biofilm activity and thickness etc. during continuous operation were studied to understand the biological mechanism of highly effective operation of the process. The anaerobic attached film expansion bed (AAFEB) was adopted for the test with dosing simulated sludge and resin (average pore size of $0.45 \sim 0.60$ mm) as naked carrier. The test was carried out for 320; the maximum sludge concentration in the reactor, the highest volume load and COD removal rate were 30.15g/L, 46kgCOD/m³·d and $80\% \sim 95\%$ respectively.

Key words: resin; anaerobic attached film expansion bed(AAFEB); biofilm activity; film thickness