

好氧内循环三相生物流化床处理低浓度废水研究

曹从荣 宋英豪 黄青华 王凯军 贾立敏 张强

好氧内循环三相生物流化床是一种高效的悬浮载体生物膜反应器，可用于城市污水和各种工业废水的处理。本研究探讨了内循环三相生物流化床对低浓度人工配水的处理能力和生物膜生长特性。

1 试验装置、材料和方法

1.1 试验装置、材料

试验装置采用好氧内循环三相生物流化床反应器，它由有机玻璃制成。试验流程见下图，具体结构参数如表 1 所示。

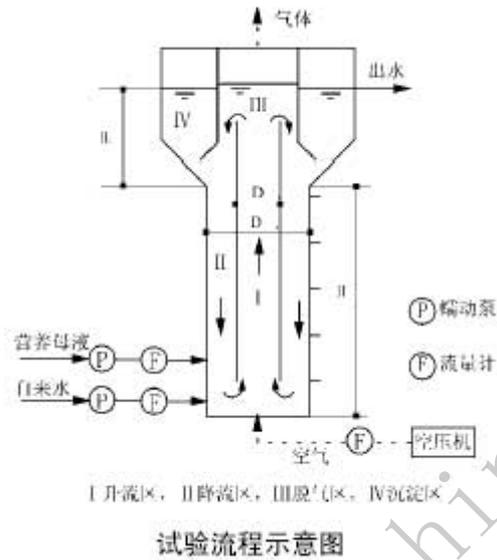


表 1 反应器几何参数分析

Dr/Dd	高径比 H/Dd	反应区高度 H (mm)	分离区高度 H1 (mm)	底隙区高度 d* (mm)
35/60	16.7: 1 (即 1000/60)	1000	200	20

*: 底隙区高度 d 是指升流管下端距反应器底部的距离

试验采用的载体为陶粒，陶粒外形为粒状体，表面粗糙，粒径为 0.5~0.6mm(上下筛网)，堆积密度 709kg/m³，湿视密度 1400kg/m³。

试验时入水采用模拟废水。模拟废水由自来水和营养母液按一定比例配制而成。营养母液浓度选用 COD3000~5000mg/L，按 COD:N:P=100:5:1 的比例分别投加蔗糖、尿素和磷酸二氢钾作为 C、N 和 P 源，并添加铁、铜、钙、钠、钴等微量元素若干。

反应器启动时投加的活性污泥取自北京市环境保护科学研究院污水车间二沉池。该污泥属于新鲜污泥，呈淡黄色，含杂质少，沉降性良好，其 SS 浓度为 8.1g/L，VSS 浓度为 5.2g/L，VSS/SS 为 64.3%。

1.2 试验方法

反应器启动采用排泥挂膜法。启动之初，将一定量的载体和活性污泥投加到反应器中，再用模拟废水盛满反应器。启动之后，开启空气阀门直至反应器内污泥和载体全部流化。闷曝 48h 后排出全部浮泥，反应器进入连续运转。运行过程中，将营养母液和清水以不同的流量同时输入反应器，以实现反应器有机负荷和水力负荷的双重控制。

反应器连续运转时分析监测的项目及监测方式为：入水流量，在线监测；COD_{in}、COD_{eff}、SS_{eff}，1 次/2d；温度(水温、气温)、pH、DO，随时监测；微生物相，采用显微镜随时检测，视反应需要进行扫描电镜分析。分析方法按《水和废水监测分析方法》(第 4 版)中的有关规定进行。

2 试验结果与讨论

2.1 裸载体投加量 4.2% 时的试验结果与讨论

反应器启动时，裸载体投加量按载体体积为反应区体积的 4.2% 计，接种污泥按 1gVSS/L 投加(以反应区体积计)。入水 COD 控制在 50mg/L 以下，HRT 为 0.22h 左右，反应器水温为常温(>20℃)，表观气速保持在 3cm/s 左右。

反应器启动后入水 COD 浓度保持在 50mg/L 以下，入水容积负荷按 2.23、3.34、5.34kgCOD/m³·d 逐步提升，出水 SCOD 均小于 10mg/L，SS 小于 10mg/L。反应器启动 1 周内，对 COD 的去除率达到 77.14%；之后提高负荷，反应器对 COD 的去除率先降低到 65.71%，又在一周之内提高到 88.57%；再度提高负荷，反应器对 COD 的去除率从 83.62% 提高到 93.86%。可见，反应器对微污染水有很强的净化能力，可以用于对微污染水源水的净化。

目前，我国城市给水普遍采用“混凝—沉淀—过滤—消毒”这一常规工艺来处理微污染水，但近年来许多学者也尝试将生物氧化预处理技术和常规工艺联合起来用于处理微污染水，以弥补常规工艺的不足。何星海等曾尝试用生物接触 A/O 工艺对官厅水库微污染水进行处理，在常温条件下，入水 COD₁₇~118mg/L、HRT₃~5h 时对 COD 的去除率达 10.3%~61.3%，相应的容积负荷为 0.15~1.0kgCOD/m³·d。由此可见，好氧内循环生物流化床反应器在容积负荷、COD 去除效率方面均优于生物接触 A/O 工艺，这两种生物氧化预处理技术处理微污染水的比较见表 2。

表 2 生物氧化预处理技术处理微污染水比较

工艺	入水	COD _{in} (mg/L)	HRT (h)	去除率 (%)	入水负荷 N _{vin} (kgCOD/m ³ ·d)
好氧内循环生物流化床	模拟废水	18~49	0.22	>80.0	2.23~5.34
生物接触 A/O 工艺	微污染水	17~118	3~5	10.3~61.3	0.15~1.0

反应器启动之初，以悬浮状态存在的接种污泥首先吸附到裸载体表面并很快成长为絮状生物膜(约 1~2d)，随着运行时间的延长，附着生物膜也逐渐生长，在显微镜下可观察到载体表面渐渐被生物膜完全覆盖。本次启动在运行到第 20d、容积负荷为 5.34kgCOD/m³·d 时出现了肉眼可见的覆盖整个载体的生物膜，利用扫描电镜分析载体生物膜颗粒的剖面图，可判定生物膜膜厚约 50μm。生物膜的厚度不总是均匀的，即使对于同一生物膜颗粒也是如此，但生物膜厚度仍可表征整个载体表面生物膜的生长状况。

2.2 裸载体投加量 2.8% 时的试验结果与讨论

目前，用于流化床反应器的载体正朝着质轻、粒径小的方向发展，这是由于除了考虑载体为附着微生物生长提供巨大的表面积外，载体的密度和投加量也决定着促成气液固三相流化和混合的供气量的大小，即直接关系着反应器运行能耗的大小。为此，在反应器第二次启动时将载体投加量调低到 2.8%，同时提高容积负荷以考察反应器在高负荷情况下对 COD 的去除能力。



重新启动时,入水 COD 浓度从 50mg/L 逐步提升到 150mg/L,相应的入水负荷按 5.34、8.40、11.45、15.27kgCOD/m³·d 逐步提升。试验分为启动期 1~11d,负荷稳定期 12~32d,负荷提高期 33~63d。负荷稳定期 COD 的去除率为 12.18%~94.62%,负荷提高期 COD 的去除率为 46.10%~86.00%。

当反应器运行到第 18d、负荷为 8.40kgCOD/m³·d 时出现了肉眼可见的生物膜:反应器内载体被一层淡黄色的生物膜完全覆盖,整个反应区的颜色均由载体的暗黑色转化为淡黄色,载体本身的颜色透过薄薄的生物膜依稀可见;与此同时,出水水质达到 COD 小于 50mg/L、SS 小于 20mg/L。

本研究中反应器启动时接种污泥投加的是活性污泥,在模拟废水启动过程中,反应器内微生物的种类与活性污泥系统基本是一致的。挂膜阶段,微生物首先开始在裸载体表面局部附着,随着微生物的生长,附着点增多且附着面积不断增大,直至覆盖整个裸载体表面。

反应器启动初期,选取适宜的水力负荷对于在反应器中积累大量沉降性能良好的活性污泥至关重要,同时还可避免泥水分层和沟流的发生。因此,容积负荷的调整往往通过调整入水浓度来实现。与首次启动相比,第二次启动除了负荷大幅度提高外,整个试验过程中的水温比首次启动略低,但载体挂膜速度较快,这说明容积负荷高有利于载体挂膜。

两次启动也表明,反应器在入水浓度差别很大的条件下均表现出对 COD 良好的降解效率,载体投加量 4.2%或 2.8%均可以满足试验条件下附着微生物生长对载体表面积的需要。

3 结论

(1)好氧内循环三相生物流化床可用于对微污染水及低浓度废水的处理。

(2)反应器在处理低浓度的模拟废水时投加裸载体投加量为 3%~4%的陶粒即可满足微生物附着生长的需要。

(3)高负荷可加速载体挂膜进程:反应器处理 COD 浓度小于 50mg/L 的微污染水时,在运行到第 20d、负荷为 5.34kgCOD/m³·d 时载体挂膜成功;反应器在处理 COD 浓度 50~150mg/L 的模拟废水时,在运行到第 18d、负荷为 8.40kgCOD/m³·d 时挂膜成功。

Research on Low Concentration Wastewater Treated by Inner Cycle of Aerobe in Three-phase Bio-fluidized Bed
CAO Cong-rong^{1,2}, SONG Ying-hao¹, HUANG Qing-hua², WANG Kai-jun¹, JIA Li-min¹, ZHANG Qiang²
(1.Beijing Academy of Environmental Sciences, Beijing 100037; 2.College of Civil Engineering and Environmental Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The research probes into the feasibility on low concentration wastewater treated by inner cycle of aerobe in three-phase bio-fluidized bed and the growing characteristics of biological-membrane.

Keywords: inner cycle of aerobe in three-phase bio-fluidized bed; adnexed biological-membrane; SS; low concentration wastewater