

文章编号:1000-582X(2008)01-0101-05

悬浮填料内循环脱氮除磷效能分析

孔秀琴¹,王翥田¹,刘玉英²,何乐萍¹

(1. 兰州理工大学 石油化工学院,兰州 730050;2. 兰州资源环境职业技术学院,兰州 730021)

摘要:以校园生活污水为处理对象,在 SBR(Sequencing Batch Reactor)反应池中投加悬浮填料进行脱氮除磷效能研究。填料填充率为 30%,池底采用边缘对称曝气,填料在气力推动下进行对称逆循环流动,在时间顺序和在空间位置上循环经历好氧及微好氧过程,此工艺对 COD 的去除率可达 95.2%,NH₃-N(氨氮)去除率达 95%以上,TP(总磷)去除率达 75%。试验通过分析 DO(溶解氧)及 pH 突变点规律,验证并指示该工艺中碳源降解及脱氮除磷过程进行得较为完全。

关键词:悬浮填料;SBR;脱氮除磷

中图分类号:X703

文献标志码:A

Efficiency Analysis of Nitrogen and Phosphorus Removal by Internal Recycling Process with a Suspended Carrier

KONG Xiu-qin¹, WANG Zhu-tian¹, LIU Yu-ying², HE Le-ping¹

(1. College of Petrochemical Technology, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, P. R. China;
2. Lanzhou Resources Environment Occupation Technical College, Lanzhou 730021, P. R. China)

Abstract: Nitrogen and phosphorus removal efficiencies were studied by infusing the campus sanitary sewage and suspended carrier into a Sequencing Batch Reactor (SBR) reactor using a carrier fill rate of 30 percent. The aeration pipes were laid symmetrically on the margin of the pond bottom. Driven by air currents, the carrier flowed anti-circularly and symmetrically. In the pond, aerobic respiration and anaerobic respiration replaced one another periodically, both spatially and temporally. The removal rate of COD, NH₃-N and TP reached over 95.2%, 95% and 75%, respectively. Experimental DO and pH curve-point analyses validated this process and showed the degradation of organic carbon and nitrogen and phosphorus removal to be complete.

Key words: suspended carrier; SBR; nitrogen and phosphorus removal

目前生活污水已成为水体污染的重要污染源之一,未经处理直接排放会污染水体和土壤,导致寄生虫病和肠道传染病的传播,并使水体生化需氧量增加,溶解氧降低,水质恶化,破坏水生资源。富含氮、磷的污水直接排放甚至引起水体富营养化。间歇式活性污泥法(SBR)是一种厌氧与好氧相结合的生物处理技术。悬浮载体生物膜法是 20 世纪 80 年代末

期出现的一种新型生物膜处理方法^[1],本研究将其引入 SBR 工艺中,并通过工艺设计使其在气力推动下进行对称逆循环流动,周期性经历好氧及微好氧区,该工艺兼有传统的膜法和完全混合活性污泥法两者的优点,增加了吸附面积,提高了氧的传递及利用效率。试验通过检测 COD、NH₃-N、TP 的变化趋势,分析 DO(溶解氧)及 pH 突变点规律,验证并指

收稿日期:2007-07-02

基金项目:甘肃省自然科学基金资助项目(3ZS042-B25-006)

作者简介:王翥田(1982-),男,兰州理工大学环境工程硕士研究生,主要从事水污染控制研究。

孔秀琴(联系人),女,兰州理工大学副教授,硕士生导师,主要从事水污染生物治理方面的教学和科研工作,
(E-mail) kongxq@lut.cn。

示该工艺中碳源降解及脱氮除磷过程进行得较为完全,处理效果有一定提高。

1 试验装置和实验方法

1.1 试验装置

试验采用自制 SBR 反应器,单池尺寸 300 mm × 300 mm × 600 mm,有效体积为 45 L,设 A、B 两个单池,平行运行。其中 A 池投加填料,填料为多孔旋转球型悬浮填料。采用 ACO-002 型气泵进行鼓风曝气。进水采用 BOWINI B2800 型水泵。采用 DJ1C 型增力电动搅拌器进行搅拌。水路及气路的通断由电磁阀控制。水泵、气泵及电磁阀的启闭由 KG316T 型微电脑时控开关控制。采用温控仪和加热器进行恒温控制。试验装置示意图见图 1。

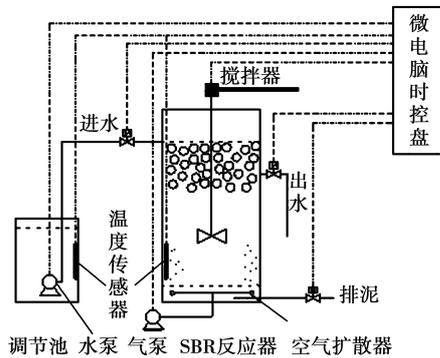


图 1 试验装置示意图

1.2 试验工艺

本工艺所采用的 SBR (Sequencing Batch Reactor) 法是近十年广泛应用的一种活性污泥法工艺,其反应模式在时间上是推流式,在空间上是完全混合式,进行间歇式循环运行,从进水开始到闲置结束为一个周期;本试验对 SBR 法的改进有两点,一是投加 30% 的悬浮填料,二是反应池底部空气扩散口采用非均匀布置方式,即边缘对称布置。周期运行步骤为:进水 5 min,搅拌 50 min,为了便于吸附静置 20 min,之后曝气 180 min,沉淀 50 min,出水 10 min,闲置 45 min,一个周期共计 6 h,1 d 共 4 个周期。经溶解氧仪在线监测,表明活性污泥按时间周期性经历如下的运行环境:0 ~ 75 min 厌氧段(指进水,搅拌,静置阶段);76 ~ 275 min 好氧段(指曝气、前期沉淀 20 min 阶段);276 ~ 360 min 缺氧段(指后期沉淀 30 min,出水,闲置阶段)。同时由于反应池池底采用边缘对称曝气,填料在气力推动下进行对称逆循环流动(见图 2),在曝气反应阶段,填料膜活性污泥又经历好氧及微好氧内循环。

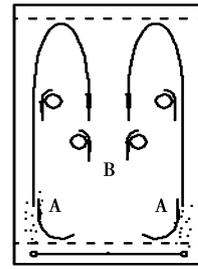


图 2 曝气反应阶段填料流态示意图

1.3 污水水样及测试方法

原水取自校园生活污水,其水质见下表 1。

表 1 校园生活污水水质

项目	浊度 (NTU)	COD _{Cr} / (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	pH
水质	26 ~ 50	144 ~ 408	70 ~ 139	39 ~ 53	2.5 ~ 5.7	7.9 ~ 8.7

污泥培养成熟并运行稳定后,进行反应池内 COD、TN(总氮)、TP(总磷)的测定及 pH、DO(溶解氧)的在线测定。以上水质指标中,浊度采用哈希公司 2100AN 台式浊度仪测定;COD_{Cr}采用重铬酸钾法^[2];BOD₅采用哈希公司 BODTrak 测量仪测定;溶解氧 DO 采用哈希公司 sension6 便携式溶解氧仪测定;pH 采用哈希公司 sension1 便携式 pH 测量仪进行测量;NH₃-N(氨氮)采用纳氏试剂光度法^[2];NO₃⁻-N(硝态氮)采用紫外分光光度法^[2];TN 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法^[2];TP 采用钼锑抗分光光度法^[2]。

2 活性污泥培养及挂膜

2.1 混合液活性污泥

活性污泥培养采用接种间歇培养方式。接种污泥选用兰州雁儿湾污水处理厂二沉池回流污泥,培养阶段每天换水两次(即运行两周期),水温 25 °C。经历两周后,混合液 30 min 沉降比达到 20%,活性污泥凝聚沉淀性能良好。镜检发现污泥中含有大量密实的菌胶团和固着型纤毛虫等原生动物,见图 3。



图 3 活性污泥菌胶团典型显微图片(100 ×)

统计得出, A 池 TP 去除率为 75%, B 池 TP 去除率为 66%, 投加填料的 A 池相比于无填料的 B 池, 去除率高了 9%。这是因为膜活性污泥随着填料的逆循环流动(见图 2), 在曝气反应阶段, 填料膜活性污泥又经历好氧及微好氧内循环, 使得释磷及吸磷过程得到增效, 叠加进行了除磷作用。

3.3 脱氮效果及分析

如图 8, 图 9 所示, A 池和 B 池中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ (氨氮)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ (硝态氮)、TN (总氮) 变化趋势相同。在原水进入 SBR 反应池稀释后, 厌氧段因微生物吸附、合成及反硝化作用, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN 都有一个缓慢降解过程, 从 76 min 曝气开始, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 降解迅速, 此时是一个好氧硝化过程, 污水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。这种作用在曝气初期比较迅速, 表现为硝态氮曲线的快速跃起。曝气停止后, 经约 20 min 的沉淀耗氧, 很快达到缺氧环境。在缺氧条件下, 反硝化菌可将污水中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 还原为气态氮。反硝化菌为兼性异氧菌, 在无分子态氧存在的条件下, 反硝化菌以污水中含碳有机物作为反硝化过程的电子供体, 以硝酸盐和亚硝酸盐中的 N^{5+} 、 N^{3+} 作为能量代谢中的电子受体, 生成 N_2 从而达到脱氮目的。此现象在沉淀阶段后期及闲置阶段, 表现为少量污泥被反硝化产生的氮气携带上浮现象。

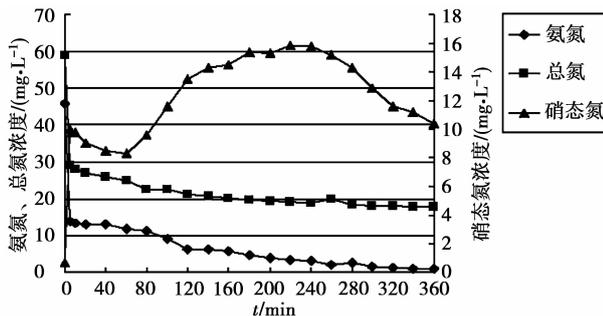


图 8 A 池 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN 变化曲线

注: 0 ~ 75 min 厌氧段; 76 ~ 275 min 好氧段; 276 ~ 360 min 缺氧段。

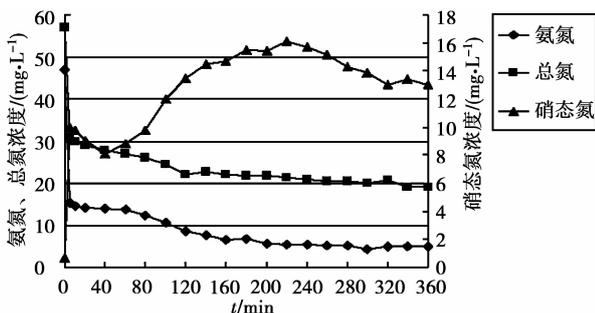


图 9 B 池 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN 变化曲线

统计得出, 在保持曝气量、温度、负荷一致的情况下, $\text{NH}_3\text{-N}$ 在 A 池的去除率为 95%, 而在 B 池去除率则为 89%, 提高了 6%; TN 在 A 池的去除率为 71%, 而 B 池为 67%, 提高了 4%。SBR 工艺自身就是一个好氧和厌氧的交替过程, 而其中填料膜活性污泥本身又具有同步硝化/反硝化作用(SND)^[6], 在对称逆循环作用下, 使得硝化及反硝化作用得到增效, 叠加增强了脱氮效果。

3.4 DO、pH 值对碳源降解及脱氮除磷过程的验证及指示结果

稳定反应过程中, 测试 A 池 DO (溶解氧) 如图 10 所示, 进水后, 随着搅拌作用, 微生物降解 COD, 同时耗氧, 使得 DO 下降, 直至好氧曝气开始, 在曝气开始的前 30 min 内, DO 迅速上升, 到 6.0 mg/L 左右时, 增长缓慢而且逐渐变缓, 这是因为在曝气量一定的情况下, 是供氧速率慢慢与耗氧速率平衡的结果。运行到 200 min 左右时, DO 出现二次突然增长现象, 表明 COD 到达难降解部分^[7-9], 硝化反应耗氧也基本结束, 充氧速率迅速增加, DO 不断上升, 直至再次与内源呼吸耗氧速率相平衡^[7-9]。DO 的二次突然增长点可指示碳源降解及硝化反应的结束信息^[7-9]。276 min 后曝气结束, DO 随微生物耗氧作用而迅速降低, 进入缺氧状态。DO 的突变规律说明此工艺碳源降解及硝化反应过程进行完全。

稳定运行期, 一个周期内 pH 值变化趋势如图 10 所示, 初期的下降是由于进水 pH 值较高, 进入反应池有一个融合的阶段, 同时厌氧段末期的微生物进行水解发酵作用, 产生少量有机酸, 使得 pH 表现为下降。75 min 后曝气好氧段开始, pH 值为一个上升期, pH 值随 COD 的降解而不断上升, 这是因为: ①好氧降解使得废水中的有机酸减少而引起 pH 值上升; ②异养微生物利用有机碳源进行产能代谢的结果形成 CO_2 , CO_2 在水中产生碱度使得 pH 值上升^[9]。在曝气反应进行到约 100 min 时, pH 值开始不断下降, 这是因为此时硝化反应开始, 硝化反应过程中产生了 H^+ 酸度。200 min 后 pH 值又开始上升, 表明硝化速率减缓, 此时剩余碱度大于硝化所需, 可指示硝化过程结束。在 276 min 之后的厌氧反硝化过程中, pH 值先是持续上升, 这是由于反硝

化的过程中不断地产生碱度。反硝化结束时, pH 会突然下降, 指示反硝化的结束, 此时 pH 值下降的原因是: 反硝化过程结束后, 一部分兼性异养菌在厌氧状态开始产酸发酵、释磷, 此时 pH 值的下降不仅标志着反硝化的结束, 也是发酵产酸及进行释磷的标志^[9], 实际运行中, 排水应在此释磷作用发生之前及时地进行。pH 的突变规律验证了硝化、反硝化及释磷过程进行完全。

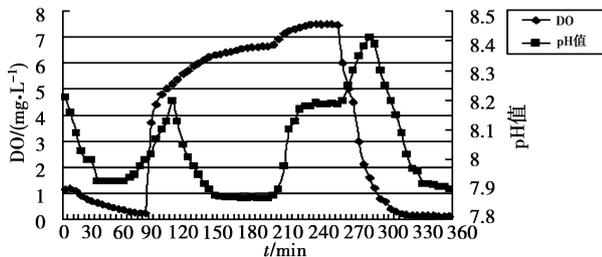


图10 DO, pH 值变化曲线

注: 0~75 min 厌氧段; 76~275 min 好氧段; 276~360 min 缺氧段。

4 结 论

在 SBR 反应器内投加填充率为 30% 的悬浮填料, 并采用非均匀的边缘对称曝气方式进行生物脱氮除磷实验。在实验运行稳定后, 测试 1 个周期内碳源降解及脱氮除磷效能, 并监测能够表征反应进程的 DO 及 pH 值突变规律。研究表明, 该工艺可以使 COD 去除效率提高约 10% 左右, 可使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率提高 6%, 使 TP 的去除率提高 9%, DO 及 pH 值突变规律表明碳源降解及脱氮除磷过程进行得较为完全。此工艺可使 SBR 脱氮除磷的效果得到一定程度增强。

参考文献:

- [1] 吕娟, 陈银广, 顾国维. SBR 系统反硝化除磷研究进展 [J]. 四川环境, 2006, 25(4): 118-122.
LV JUAN, CHEN YIN-GUANG, GU GUO-WEI. Review on denitrifying dephosphatation by SBR [J]. Sichuan Environment, 2006, 25(4): 118-122.
- [2] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989, 246-286.
- [3] 董有, 宋珏容, 郝志明. 悬浮载体 SBR 工艺处理生活污水实验室研究 [J]. 工业安全与环保, 2005, 31(60): 17-19.
DONG YOU, SONG JUE-RONG, HAO ZHI-MING. Experimental studies on treatment of domestic sewage by suspended carrier SBR process [J]. Industrial Safety and Dust Control, 2005, 31(60): 17-19.
- [4] 米海蓉. SBR 反应系统中反硝化除磷的研究 [J]. 应用科技, 2006, 33(7): 54-56.
MI HAI-RONG. Research on denitrifying phosphorus removal in sequencing batch reactor system [J]. Applied Science and Technology, 2006, 33(7): 54-56.
- [5] 李军, 彭永臻, 杨秀山, 等. 序批式生物膜法反硝化除磷特性及其机理 [J]. 中国环境科学, 2004, 24(2): 219-223.
LI JUN, PENG YONG-ZHEN, YANG XIU-SHAN, et al. Characteristics and mechanism of the phosphorus removal by denitrification with sequencing batch biofilm technique [J]. China Environmental Science, 2004, 24(2): 219-223.
- [6] 张朝升, 张可方, 方茜, 等. 序批式生物膜法对城市污水的脱氮效果 [J]. 水处理技术, 2007, 33(2): 54-56.
ZHANG CHAO-SHENG, ZHANG KE-FANG, FANG QIAN, et al. Nitrogen removal effect of municipal sewage with low carbon content by sequencing batch biofilm reactor (SBBR) and law of carbon conversion [J]. Technology of Water Treatment, 2007, 33(2): 54-56.
- [7] E PAUL, S PLISSON, M MAURET, et al. Process state evaluation of alternating oxic-anoxic activated sludge using ORP, pH And DO [J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(3): 299-306.
- [8] 王淑莹, 彭永臻, 周利, 等. 用溶解氧浓度作为 SBR 法过程和反应时间控制参数 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 415-418.
WANG SHU-YING, PENG YONG-ZHEN, ZHOU LI, et al. The control parameter of SBR process and its reaction time using DO [J]. China Environmental Science, 1998, 18(5): 415-418.
- [9] 曾薇, 彭永臻, 王淑莹. 以 DO、ORP、pH 作为两段 SBR 工艺的实时控制参数 [J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 252-256.
ZENG WEI, PENG YONG-ZHEN, WANG SHU-YING. Application of DO, ORP and pH as on-line control parameters in a two-stage SBR process [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2003, 23(2): 252-256.

(编辑 张小强)