

# 低溶解氧污泥微膨胀污染物去除性能的研究

左金龙<sup>1,3</sup>, 彭永臻<sup>1,2</sup>, 姜安玺<sup>1</sup>, 彭赵旭<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2. 北京工业大学 环境与能源学院, 北京 100022; 3. 哈尔滨商业大学 环境工程系, 哈尔滨 150076)

**摘要:**为研究低溶解氧微膨胀状态下污染物的去除效果,采用 SBR 反应器,平均 DO 质量浓度为 0.47 mg/L,通过好氧/缺氧(A/O)的运行方式,对污染物处理效果进行研究。结果表明,低溶解氧丝状菌污泥微膨胀状态下,出水 SS 含量很低, COD 去除率在 80% 以上,氨氮去除率 90% 以上,除磷效率在 90% 以上,出水水质良好,同时可以节约曝气量约 46.7%。低溶解氧微膨胀状态下,可保证出水处理效果,同时可以节约动力费用。

**关键词:**低溶解氧; 污泥微膨胀; 污染物; 去除效果; 节能

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-0946(2009)03-0283-04

## Study on pollutants removal performance with low DO and sludge micro-bulking

ZUO Jin-long<sup>1,3</sup>, PENG Yong-zhen<sup>1,2</sup>, JIANG An-xi<sup>1</sup>, PENG Zhao-xu<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. School of Environment and Energy Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100022, China; 3. Department of Environmental Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China; )

**Abstract:** In order to investigate the pollutants removal effect with low DO and sludge micro-bulking, the sequence batch reactor (SBR) operated in aeration/anoxic (A/O) process with mean DO value 0.47 mg/L is studied. The results show that the effluent water quality is good with low SS value, and the efficiency of COD, ammonia and phosphorus could reach 80%, 90%, 90%, respectively. At the same time the aeration flow could be saved to 46.7%. It can be concluded that the activated sludge process with low DO and sludge micro-bulking could attain good wastewater effluent quality, in the meanwhile the energy cost would be saved too.

**Key words:** low DO; sludge micro-bulking; pollutants; removal efficiency; energy saving

污泥膨胀一直是活性污泥法的研究热点,污泥膨胀不仅发生频率高,而且一旦发生,治理和恢复都很困难<sup>[1-3]</sup>。当污泥容积指数(SVI)高于 150 mg/L 时,通常就认为发生了污泥膨胀<sup>[4]</sup>。污泥膨胀可分为丝状菌污泥膨胀和非丝状菌污泥膨胀<sup>[5-6]</sup>,本文通过控制溶解氧(DO)质量浓度保持

在 0.5 mg/L 左右较低的水平,可大大节约曝气能耗,维持污泥容积指数(SVI)在 150~200 mL/g 的范围内,保持活性污泥系统处于丝状菌微膨胀状态,考察微膨胀状态下污染物的去除效果。

间歇式活性污泥法(以下简称 SBR 工艺),由于其较高的处理效率,较少的基建投资和脱氮除磷

收稿日期: 2008-11-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06Z319); 国家自然科学基金(50778005); 高等学校博士学科点专项科研基金(20060005002); 黑龙江省自然科学基金(E200818); 黑龙江省教育厅科技研究项目(11531071)。

作者简介: 左金龙(1970-),男,博士后,研究方向:水污染处理。

功能,在污水处理中得到广泛应用<sup>[7-9]</sup>。本试验采用 SBR 工艺研究污泥微膨胀状态运行的污水处理效果,符合我国当前节能降耗的形势,对其进行研究具有重要的实际意义。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验用水来源和水质

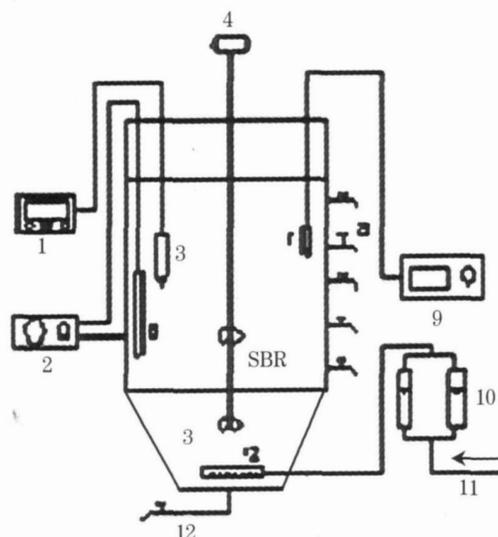
实验采用葡萄糖、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  等配制的模拟生活污水,活性污泥取自哈尔滨文昌污水处理厂,模拟废水成分详见表 1。

表 1 试验用水水质

水质参数	质量浓度范围
pH 值	6.5~7.5
COD	310~356 mg/L
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	40~50 mg/L
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	5~7 mg/L

### 1.2 试验装置和方法

SBR 反应器由有机玻璃制成,上部为圆柱形,下部为圆锥体,试验装置图如图 1 所示,反应器高为 700 mm,直径为 200 mm,总有效容积为 12 L,排水体积为 3 L,充水比为 0.25。在反应器壁的垂直方向设置一排间隔为 10 cm 的取样口,用于取样和排水。底部设有放空管,用于放空和排泥。在反应器下方设置曝气砂头,由转子流量计调节曝气量。pH 值、DO、ORP(氧化还原电位)探头置于反应器内,在线监测各个指标的变化。试验期间温度稳定在 22~25 之间。



1—DO 测定仪;2—pH 测定仪;3—搅拌桨;4—转速调节器;5—DO 探头;6—pH 探头;7—ORP 探头;8—取样头;9—ORP 测定仪;10—转子流量计;11—进气管;12—曝气器;13—放空阀

图 1 试验装置图

本实验采用好氧/缺氧(O/A)的运行方式,每天运行 2 个周期,每周期为 6 h,分别为瞬时进水、好氧曝气 2 h、缺氧搅拌 1 h(缺氧初期外加甲醇溶液作为碳源)、沉淀 2 h、排水和待机 1 h。好氧末期排放一定体积的混合液,控制系统的污泥龄在 10~15 d,MLSS 控制在 2 000~2 500 mg/L。

### 1.3 检测分析项目

COD 采用 5B-3 型 COD 快速测定仪测定; $\text{NO}_3^- - \text{N}$  采用麝香草酚分光光度法; $\text{NO}_2^- - \text{N}$  采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  采用纳氏试剂分光光度法;MLSS、SS 采用滤纸重量法; $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  采用钼酸盐分光光度法;DO、pH 值、ORP 和温度用 WTW inoLab Oxi level2 实验室台式仪在线检测;微生物相分析采用 OLYMPUS BX51/BX52 光学显微镜观测。

## 2 实验结果和分析

### 2.1 系统的启动

将适量的哈尔滨文昌污水处理厂活性污泥放入反应器中,控制混合液 DO 质量浓度在 2 mg/L 左右。运行 2 周后,逐渐降低曝气量,控制混合液 DO 质量浓度在 0.3~0.7 mg/L。试验每天运行 2 个周期,每个周期运行时间为 6 h。控制系统的污泥龄在 10 d 左右,MLSS 控制在 2 200 mg/L 左右。当混合液 SVI 值稳定在 150~200 mL/g 之间,出水水质稳定时,系统启动完成。

### 2.2 生物相和出水 SS 分析

#### 2.2.1 反应器内生物相

经过微生物镜检,发现活性污泥絮体变得比较细小和琐碎。活性污泥中丝状菌占一定比例,纵横交错,相互连接成稀疏的网状,构成了连接菌胶团的骨架,如图 1 所示。

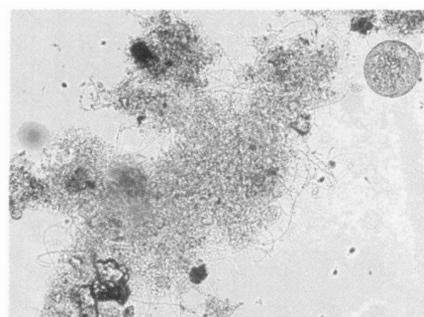


图 2 丝状菌污泥微膨胀时的污泥  
(SVI=17.7 mL/g) (×400)

不论是否发生丝状菌污泥膨胀,活性污泥中都含有一定数量的丝状菌。丝状菌形成活性污泥絮体

的骨架,菌胶团细菌等微生物产生多聚糖附着在上面,形成具有网状结构的污泥.因此在污泥微膨胀状态下,菌胶团和丝状菌之间有一个合适的比例关系,使得膨胀的程度保持在一定的范围内.

### 2.2.2 出水悬浮物 (Suspend Solid, SS)

在污泥微膨胀状态下, SBR 出水水质非常清澈.经过沉淀后,排水中几乎没有肉眼可见的悬浮物.实际测得出水 SS 在 1~2 mg/L 之间,有时用滤纸重量法几乎检测不出,说明在污泥微膨胀状态下, SBR 出水水质 SS 非常低.可见在活性污泥系统中,具有一定数量的网状结构的、丝状菌,如图 1 所示,在沉淀过程中可吸附、截流水中微小颗粒物和游离细菌,起到一定的过滤作用,使出水水质非常清澈.

当丝状菌数量适当时,有助于形成结构良好的网状污泥,可有效地网捕水中细小的悬浮物,出水水质清澈.如果丝状菌数量不够,污泥絮体就会比较松散、脆弱,由于曝气搅动或搅拌桨的搅拌等机械冲击作用,很容易分裂成细小而零碎的絮体,造成出水浑浊, SS 质量浓度增高.因此,可以保证不影响泥水分离的性能、正常的生产和运行,不必过分追求良好的污泥沉降性.适当提高丝状菌在活性污泥中所占的比例,维持丝状菌污泥微膨胀,有利于改善出水水质.

### 2.3 污泥微膨胀状态下污染物去除的效果

#### 2.3.1 COD 去除效果

污泥微膨胀状态下,尽管 DO 质量浓度较低,但是对系统去除 COD 的效果并没有太大的影响.如图 2 所示,随着反应时间的延长, COD 质量浓度逐渐下降,当曝气 2 h 后,出水 COD 稳定在 50 mg/L 左右,系统 COD 去除效果可稳定保持在 80%~88% 之间.

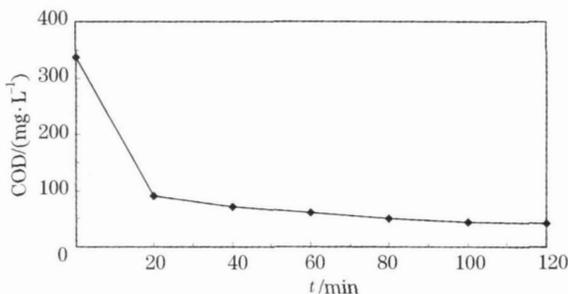


图 2 COD 随时间变化曲线

#### 2.3.2 氮类污染物的去除效果

尽管 SBR 反应器长期处于低 DO 运行状态(平均 DO 质量浓度为 0.47 mg/L),在进水氨氮质

量浓度保持在 40~50 mg/L 时,活性污泥系统仍然可以保持比较高的硝化效率,平均氨氮去除率可达 90% 以上,如图 3 所示.可见在微膨胀条件下,较低 DO 质量浓度(平均质量浓度为 0.47 mg/L)氨氮的去除效果影响不大.

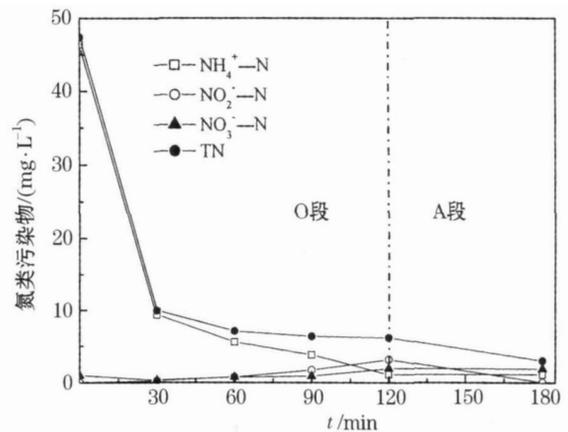


图 3 氮类污染物在反应过程中的去除效果

在试验中观察到存在明显的同步硝化反硝化 (Simultaneous Nitrification and Denitrification, 简称 SND) 的现象.对于仅由一个反应池组成的 SBR 反应器而言, SND 能够降低实现完全硝化反硝化所需的总时间<sup>[10]</sup>.通过分析认为上述现象符合亚硝酸盐型 SND 工艺特点,通过相同操作条件、同一个反应器内同时完成亚硝化作用和反硝化作用而达到生物脱氮目的<sup>[11]</sup>.一般认为,亚硝酸盐型 SND 工艺是 SND 工艺的一种特殊情况.从微环境理论角度看,主体混合液的 DO 与一般活性污泥系统相比通常较低,菌胶团内的 DO 就更低,氨氮氧化菌、亚硝酸盐氧化菌和有机物氧化菌对 DO 存在争夺现象. Hanaki 等研究发现<sup>[12]</sup>,尽管有机物氧化菌对硝化菌有抑制作用,但是由于氨氮氧化菌的增殖速率加快了 1 倍,补偿了 DO 降低所造成的活性下降,而亚硝酸盐氧化菌增殖速率没有提高,使亚硝酸盐出现积累现象.这些亚硝酸盐可以通过浓差扩散,由扩散层进入主体相,也可以通过扩散、促进扩散和主动运输进入缺氧区.由于菌胶团深处的缺氧区存在着强烈的反硝化代谢作用,且扩散层的传质阻力显著大于缺氧区和好氧区的边界层,绝大部分亚硝酸盐优先进入缺氧区,使氨氮氧化和亚硝酸盐的反硝化同时进行.当有机物从主体相经过扩散层源源不断地进入好氧区后,首先进行好氧降解反应,未降解的部分有机物进入缺氧区,用于亚硝酸盐的反硝化<sup>[13]</sup>.

#### 2.3.3 磷去除效果

一般来说, O/A 运行方式 SBR 工艺中的 O 段,采用较低的 DO 质量浓度对于吸磷具有一定的负面影响.但是在试验过程中发现,尽管 DO 质量浓度较低,但在反应过程中依然出现了明显的过量吸磷、放磷的现象.图 4 中可看出,系统的除磷平均效率在 90% 之上,出水  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P} < 1.0 \text{ mg/L}$ .这与在正常曝气条件下 ( $\text{DO} = 2 \text{ mg/L}$ ) 的磷去除效果相差很小.因此,采用低溶解氧污泥微膨胀工艺,系统除磷效果几乎没有什么影响.

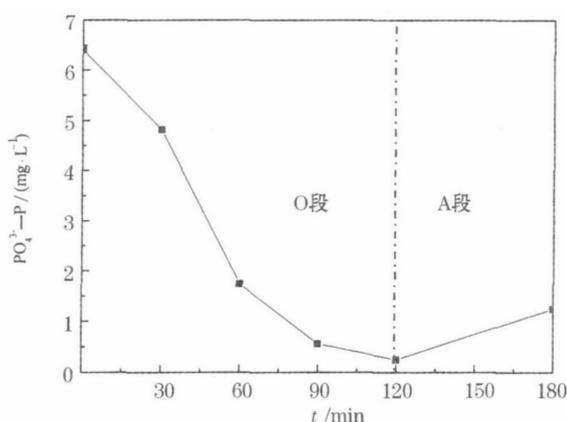


图 4 正磷酸盐的去除效果

在停曝搅拌(A)阶段主要进行反硝化作用,同时未降解的高质量浓度  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  抑制磷的提前释放,既提高了脱氮效率又利于后续阶段磷的充分释放.这种运行方式充分继承了传统 SBR 时间序列上的特点,易于实现自控管理.

#### 2.4 节能的初步分析

丝状菌具有较大的比表面积,在低 DO 条件下依然保持了对污染物较高的去除效率,由菌胶团和丝状菌按照一定比例组成的活性污泥污水处理系统,出水效果基本与正常曝气时的出水效果相近.

试验中根据记录的转子流量计显示的曝气量,平均 DO 在  $0.5 \text{ mg/L}$  左右时,曝气量平均为  $8 \text{ L/h}$ ,与  $\text{DO} = 2 \text{ mg/L}$  曝气量为  $15 \text{ L/h}$  相比,曝气量节省了 46.7%.可见,在低 DO 微膨胀的条件下运行,可以节约动力费用.目前,污水处理厂供氧所需电耗的费用,大约是其运行费用的 50% ~ 60% 之间.如果污水处理厂采用低溶解氧微膨胀技术,节约的动力费用将相当可观.

### 3 结论

1)由菌胶团和丝状菌按照一定比例组成的活性污泥污水处理系统,在不影响泥水分离的性能和污染物处理效果的前提下,不必过分追求良好的污

泥沉降性.适当提高丝状菌在活性污泥中所占的比例,维持丝状菌污泥微膨胀,有利于改善出水水质.

2)低溶解氧丝状菌污泥微膨胀状态下(平均  $\text{DO} = 0.47 \text{ mg/L}$ ),出水清澈,SS 含量很少.与正常溶解氧质量浓度条件相比,COD 去除率保持在 80% 以上;氨氮去除率 90% 以上,符合亚硝酸盐型 SND 工艺特点;除磷平均效率在 90% 之上,出水水质良好.

3)在低 DO 微膨胀的条件下运行,控制 DO 在  $0.5 \text{ mg/L}$  左右,节约曝气量约 46.7%.既可保证出水处理效果,又可以节约动力费用.随着生产实践研究的继续深入,该节能方法会得到进一步的验证与完善.

#### 参考文献:

- [1] 高春娣,彭永臻,潼川哲夫,等.营养物质缺乏引起的丝状菌污泥膨胀及其控制[J].水处理技术,2003,29(3):159-162.
- [2] 白璐,王淑莹,彭永臻,等.低溶解氧条件下活性污泥沉降性的研究[J].工业水处理,2006,26(5):54-56.
- [3] 张建新,王洪臣.北京市高碑店污水处理厂污泥膨胀的研究及控制对策[J].给谁排水,2003,29(7):9-13.
- [4] KRUIT J, HULSBEEK J, VISSER A. Bulking sludge solved[J]. Water Science and Technology, 2002, 46(1-2):457-464.
- [5] 陈滢.生活污水的短程硝化反硝化和污泥膨胀的研究[D].北京:北京工业大学,2004:35-40.
- [6] 陈滢,彭永臻,杨向平,等.低溶解氧 SBR 除磷工艺研究[J].中国给水排水,2004,20(8):40-42.
- [7] RORDRIGUES A C, BRITO A G, MELO L F. Post treatment of a brewery wastewater using a sequencing batch reactor[J]. Water Environment Research, 2001, 73(1):45-51.
- [8] PIERSON J A, PAVLOSTATHIS S G. Real-time monitoring and control of sequencing batch reactors for secondary treatment of a poultry processing wastewater[J]. Water Environment Research, 2000, 72(5):585-592.
- [9] 曾薇,彭永臻,王淑莹.SBR 工艺交替硝化反硝化运行方式的可行性研究[J].环境科学学报,2004,24(4):576-580.
- [10] 杨麒,李小明,曾光明.同步硝化反硝化机理的研究进展[J].微生物学通报,2003,30(4):88-91.
- [11] HYUNGSEOKI K, AHN K H, LEE H J, et al. Nitrogen Removal from Synthetic Wastewater by Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND) via Nitrite in an Intermittently - Aerated Reactor[J]. Water Research, 1999, 33(1):145-154.
- [12] HANAKI K. Nitrification at Low Levels of Dissolved Oxygen with and without Organic Loading in a Suspended - Growth Reactor[J]. Water Research, 1990, 24:297-302.
- [13] 鲍林林,李相昆,李冬,等.温度和污泥质量浓度对反硝化除磷的影响[J].哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2008,24(4):400-403,408.