

文章编号:1000-582X(2006)07-0138-04

# 曝停组合对 ABIR 处理城市污水性能的影响\*

刘智萍<sup>1</sup>, 方芳<sup>1</sup>, 郭劲松<sup>1</sup>, 熊勤<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400030;

2. 中冶赛迪工程技术股份有限公司, 重庆 400013)

**摘要:**对连续流间歇曝气技术在活性污泥-生物滤池一体化反应器(ABIR)处理城市污水性能进行了研究,考察了在活性污泥段稳定运行条件下,生物滤池段在不同曝气-停曝时间组合下的整个反应器处理城市污水的性能.研究表明,反应器温度为20℃,活性污泥段负荷为0.4 mgCOD/mgMLSS·d,滤池段C/N为1.32、DO控制在1.0 mg/L、曝气-停曝时间为2 h/1 h时,反应器出水COD、SS、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N以及TN值均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级标准的B标准.

**关键词:**一体化反应器;城市污水;脱氮;间歇曝气

**中图分类号:**X703

**文献标识码:**A

活性污泥法与生物膜法是城市污水生物处理的2类主要方法,两者在运行方式、工艺特性等方面各有优点与不足.将活性污泥法与生物滤池进行一体化的组合与优化,可以充分发挥两者的优点,互相弥补不足之处.连续流间歇曝气技术一方面可以有效地节约能源,另一方面也可以创造好氧、缺氧及厌氧的微生态环境,为污水的脱氮除磷提供良好条件.将悬浮生长系统和附着生长系统及其运行方式有机地组合,可以大大拓宽单一工艺的运行模式,提高反应器处理污水的适应性和实用性.正是基于上述考虑,笔者试验研究了连续流间歇曝气技术在活性污泥-生物滤池一体化反应器(ABIR)处理城市污水性能的影响.

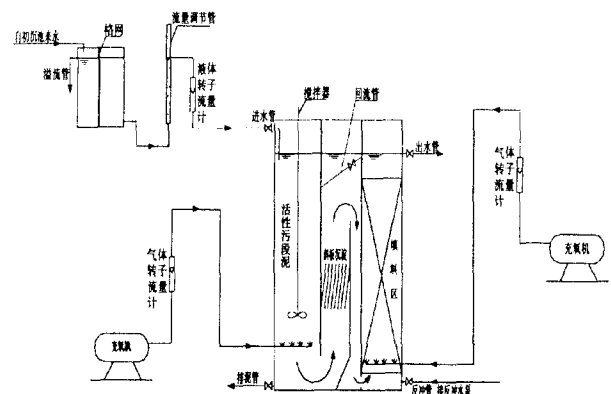


图1 ABIR 反应器试验装置图

为该厂初沉池出水,水质情况见表1.

表1 反应器进水水质情况 mg/L

项目	COD	SSL	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TN	TP
范围	211 ~ 398	79 ~ 193	35.6 ~ 47.3	0.73 ~ 1.93	52 ~ 65	6.4 ~ 11.8
平均	340	107.5	43	0.98	58.4	11

## 1 试验条件与方法

### 1.1 试验装置

试验反应器采用有机玻璃制作,如图1所示,其中活性污泥段有效容积0.161 m<sup>3</sup>,该段主要起去除有机物、悬浮物及硝化的作用.经活性污泥段处理后的水进入斜板沉淀区进行泥水分离,经过一绕流板,进入上向流生物滤池.滤池段有效容积0.14 m<sup>3</sup>,进一步去除有机物、悬浮物及进行反硝化.反应器内设回流管,可将滤池段出水回流至活性污泥段.

### 1.2 试验水质

试验在重庆渝北城南污水处理厂进行,试验进水

### 1.3 测试项目

试验中,分别在ABIR反应器进水、滤池段进水(即活性污泥段出水)以及滤池出水进行取样,另在活性污泥段有一个泥样取样点,按表2所示项目及频率进行试验检测.

\* 收稿日期:2006-03-21

基金项目:国家“十五”科技攻关课题(2003BA808A17-02);重庆大学骨干教师资助项目

作者简介:刘智萍(1973-),女,重庆人,重庆大学讲师,博士研究生,主要从事水污染控制理论与技术研究.

表2 测试项目及相关方法<sup>[1]</sup>

项目	测定方法或仪器	测定频率/次·d <sup>-1</sup>
水温	HACH-YIS-52型溶解氧测定仪	1
流量	转子流量计	1
SS	103~105℃烘干重量法	1
VSS	550℃灼烧减重法	不定时
挂膜率	减重法	不定时
DO	HACH-YIS-52型溶解氧测定仪	1
COD	HACH-COD	1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂分光光度法	1
TP	钼锑抗分光光度法	1
TN	紫外分光光度法	1

#### 1.4 试验方案

此次试验是该研究项目的第二阶段试验.在上一阶段试验中,优选出活性污泥段运行条件为HRT=4.7 h,污泥负荷0.4 mgCOD/mgMLSS·d, MLSS为3 000 mg/L, DO为2.0 mg/L.稳定活性污泥段运行条件,选择溶解氧、碳氮比及温度作为生物滤池段的影响因素,以溶解氧0.3 mg/L、1.0 mg/L和2.0 mg/L,碳氮比(C/N)1、1.32和2以及温度13℃及20℃作为影响因素的不同水平,按照交叉试验的方法进行了试验的第一阶段试验.该阶段试验研究表明,稳定活性污泥段运行条件,当滤池段DO为1.0 mg/L、C/N为1.32及反应器温度为20℃时,处理效果较好,反应器出水COD、SS、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N以及TN值均能达到GB18918-2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级标准的B标准.

笔者主要讨论生物滤池段在上述试验所得出的较佳运行条件下,以曝气/停曝时间作为影响因素,考察曝气/停曝时间对反应器处理城市污水性能的影响.因此继续稳定活性污泥段运行条件,控制反应器温度为20℃,滤池段C/N为1.32,选择曝气/停曝时间2 h/1 h、2 h/2 h及3 h/2 h作为该影响因素的三水平进行试验,曝气时DO为1.0 mg/L,停曝时DO为0.3 mg/L.滤池段试验运行控制参数见表3.

表3 滤池段试验运行控制参数

运行控制参数	工 况
流量/L·h <sup>-1</sup>	48(外加碳源12 L/h)
HRT/h	2.9
C/N*	1.32
DO/mg·L <sup>-1</sup>	曝气时1.0,停曝时0.3
平均出水温度/℃	20

说明:\*是以原水为外加碳源,在生物滤池段进水处加入,折算为滤池段内混合液的C/N.

## 2 试验结果及分析

表4为活性污泥段在稳定运行条件下的出水水质情况.从表中可以看出,经过活性污泥段,反应器进水的COD、SS浓度大副降低,但大量的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N转化为NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,使TN浓度几乎未变,故C/N比极低,不利于反硝化脱氮.因此,在活性污泥段出水处加入原水作为外加碳源,以提高后续滤池段的C/N.表5为加入原水后的滤池段进水及出水水质情况.

表4 活性污泥段出水水质情况 mg/L

出水情况	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TN	TP
范围	62~83	30~45	3.7~5.4	32~44	45~61	5.4~7.3
平均	76.0	35.0	4.5	37.8	53.7	6.2

表5 滤池段进、出水水质情况 mg/L

进水情况	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TN	TP
进 范围	112~145	47~60	14~20	33~46	59~74	5.5~7.9
水 平均	128.0	55.6	16.3	38.3	68.0	6.8
出 范围	45~57	9.7~12	3.4~10	12~18	18~32	5.5~8.8
水 平均	53.1	10.3	5.4	16.4	22.0	6.7

### 2.1 滤池段去除SS、COD的结果分析

间歇曝气工况中,滤池进水及外加碳源流量共48 L/h, HRT=2.9 h,曝气/停曝时间分别为2 h/1 h、2 h/2 h和3 h/2 h,滤池段出水SS浓度9.1~12.3 mg/L,去除率范围在76.8%~86.0%之间,平均为80.9%;出水COD浓度46.3~57.3 mg/L,去除率范围为48.3%~60.7%,平均为55%.总的来看,3种试验工况中,曝气/停曝时间为2 h/1 h时出水效果最好,SS和COD平均值分别为9.3 mg/L及48.6 mg/L.

图2为不同曝气/停曝时间一周内SS去除率的变化曲线.滤池段进水在滤池空隙中的水流一般属层流状态,被水流夹带的颗粒将随着水流流线运动.这些颗粒通过拦截、沉淀、惯性、扩散和水动力作用等物理-力学的作用被滤池去除.因此,在试验的低氧间歇曝气条件下,曝气/停曝时间对SS的去除率影响不大.

图3为滤池出水COD去除率随着曝气-停曝周期性的变化而变化的趋势.从图中可以看出,COD去除率随系统内曝气时间的延长而增加,随停曝时间的延长而降低,总的来说一周内变化幅度不是很大.由于生物膜具有一定厚度,生物膜的最外层形成以好氧性微生物为主体的生物膜层,在内部由于扩散作用制约了溶解氧的渗透形成厌氧区<sup>[2]</sup>.曝气期间,有机物在滤料缝隙中穿行,与生物膜表层接触,促进有机物被迅速去除,同时生物膜的吸附作用,致使出水COD去

除率逐渐增加;停曝期间,由于供氧不足,生物膜表层的好氧菌新陈代谢能力降低,有机物去除能力降低,出水 COD 去除率降低;然而由于一部分有机物在停曝期间作为反硝化碳源被去除以及生物膜的吸附作用,因此,出水 COD 浓度在停曝期间变化幅度不大。

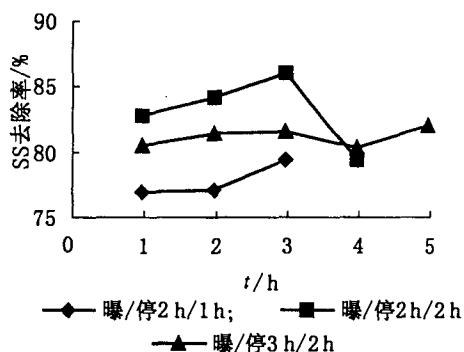


图2 不同曝气/停曝时间一周期内 SS 去除率变化曲线

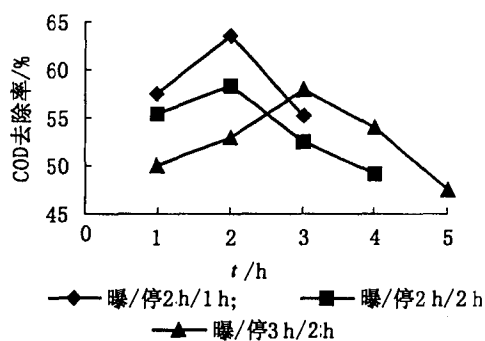


图3 不同曝气/停曝时间一周期内 COD 去除率变化曲线

试验中,反应器滤池段的有机物有3方面的作用<sup>[3]</sup>:1)作为细菌进行生长繁殖的营养物;2)作为反硝化的碳源物质;3)产生污泥。以滤池段进出水平均值进行计算,实际去除 COD 含量约 75 mg/L。理论上,为使反硝化完全,转化 1 g  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  为氮气需要有有机物(COD)2.86 g,即用于滤池进水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  进行反硝化的有机物约 57 mg/L;1g  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  需要 4.57 g  $\text{O}_2$ ,由于滤池段曝气时 DO 仅为 1.0 mg/L,因此  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的量较少;微生物好氧量按 1.42 kg  $\text{O}_2/\text{kg}$  有机物计算,可知被去除的另外 18 mg/L COD 中,只有少量有机物进行有氧呼吸,大部分有机物同化为生物量。

## 2.2 滤池段去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 及 TN 的结果分析

在曝气/停曝时间分别为 2 h/1 h、2 h/2 h 和 3 h/2 h 间歇曝气工况中,滤池段  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除率随曝气/停曝时间的变化较大,出水浓度范围为 3.0 ~

10 mg/L,去除率为 52.1% ~ 78.4%;出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度 12 ~ 18 mg/L,去除率相对变化较小,为 48.3% ~ 60.7%;出水 TN 浓度 18 ~ 32 mg/L。3 种试验工况中,曝气/停曝时间为 2 h/1 h 时出水效果最好,出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  及 TN 平均浓度值分别为 3.1 mg/L、15.1 mg/L 及 18.2 mg/L。

如图 4 所示,试验中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除率随着曝气时间的延长变化不大,但随着停曝时间的延长,去除率降低,表现最明显的是停曝的最后 1 h,总的来看,去除率不是很高。由于生物膜具有一定的厚度,氧在生物膜内外的浓度由外向内逐渐降低,滤池内的硝化反应主要集中在生物膜表层,并且,单位表面积生物膜的硝化速率随水体中氧浓度的增加而增加<sup>[4]</sup>。有氧存在时, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  在生物膜表层硝化菌的作用下可被氧化为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,故曝气期间硝化率相对较高;在停曝期间,由于没有硝化所需的电子供体,硝化菌受到抑制,因而硝化率降低。由于滤池处于间歇曝气状态,曝气时 DO 仅为 1.0 mg/L,远远低于硝化所需要的正常溶解氧量,并且有机物的降解与硝化争夺氧以及随外加碳源加入的一部分原水中有机氮的水解也使滤池对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率较低。

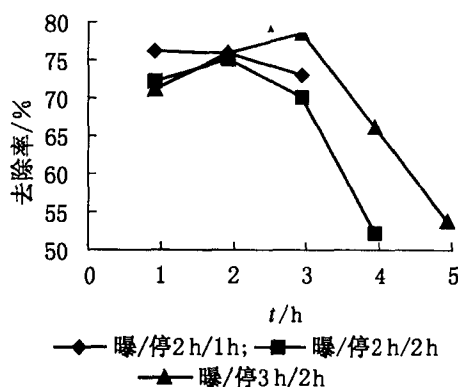


图4 一周期内不同时间  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除率

在缺氧条件下,反硝化菌以  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  代替  $\text{O}_2$  作为电子受体氧化有机物,获得组成自身的物质和维持生命活动所需的能量。在间歇曝气条件下,曝气时滤池内 DO 为 1.0 mg/L,生物膜表层溶解氧浓度较高,优势微生物为氨化菌及硝化菌,随着氧传递阻力增大和外部好氧菌的消耗,生物膜内部形成缺氧状态,反硝化菌占优势,造成  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除率还可稳定在一个较低的水平;而停曝时 DO 由 1.0 mg/L 降至 0.3 mg/L,即滤池内能维持一定的缺氧环境。因此,从图 5 中可以看出,在 3 种试验工况下,滤池  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除率并没有明显的变化规律,且在同一工况的一个周期内变化幅度不大,变幅小于 10%。

一周期内 TN 不同时间的出水浓度曲线如图 6, 3 种试验工况中, 曝气阶段, 出水 TN 浓度较低, 停曝时, 出水浓度随停曝时间的延长而增加, 结合图 4 及图 5 可知, 主要是因为停曝时出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度随时间的延长而增高所致。

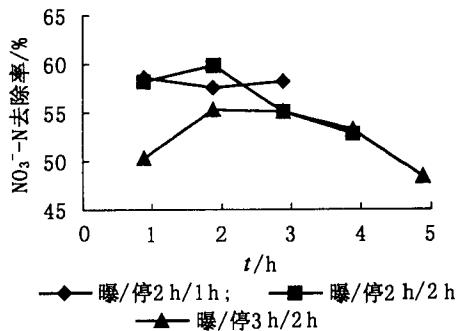


图5 一周期内不同时间  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  去除率

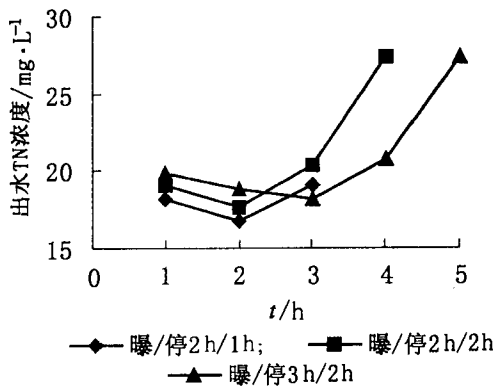


图6 一周期内不同时间 TN 出水浓度

### 2.3 滤池段去除 TP 的结果分析

在间歇曝气的 3 种试验工况中, 滤池段磷的去除率随曝气/停曝时间的变化相对不大, 出水浓度范围为 5.5 ~ 8.8 mg/L. 在曝气/停曝时间为 2 h/1 h、2 h/2 h 和 3 h/2 h 3 种试验工况中, 曝气/停曝时间为 2 h/1 h 时出水效果最好, 出水 TP 浓度平均值为 6.2 mg/L, 去除率约为 20% 左右。

由于试验中采用连续进出水, 进、出水在时间上的差异, 导致 TP 去除率出现负值. 进入滤池的混合液中 TP 含量随时间不同有所波动, 与曝气和停曝时间的变化没有明显的相关性. 如图 7 所示, 在一周期内随曝气时间增加, 出水 TP 去除率增加, 随停曝时间的增加, 出水 TP 去除率降低, 但变化幅度不大. 尽管间歇曝气为生物除磷提供了厌氧/好氧交替的环境, 但  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的存在对除磷能力的影响也是磷去除率较低的因素之一<sup>[5]</sup>. 试验中, 进入滤池的污水中含有较高浓度的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , 其浓度在 33 ~ 38 mg/L 之间. 因此试验中, 滤池段停曝时, 受硝酸盐的影响, 释磷不充分; 在曝气时, 由于溶解氧较低, PHB/PHV 的氧化代谢产

能不足, 造成吸磷量较低; 并且试验中未就剩余污泥含磷量进行测试, 故不能判断在试验中是否存在超量吸磷现象<sup>[6]</sup>. 由于滤池内的生物除磷效果大多不明显, 因此推测滤池内 TP 的去除主要是由于滤料对污水中颗粒物质的截留作用, 导致部分非溶解状态的磷从废水中分离, 最终以剩余污泥的形式排出。

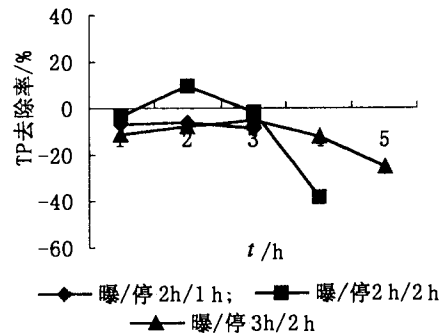


图7 一周期内不同时间 TP 去除率

### 3 结论

当活性污泥段运行条件为  $\text{HRT} = 4.7 \text{ h}$ , 污泥负荷  $0.4 \text{ mgCOD}/\text{mg MLSS} \cdot \text{d}$ ,  $\text{MLSS}$  为  $3000 \text{ mg/L}$ ,  $\text{DO}$  为  $2.0 \text{ mg/L}$  时, 滤池段以原水为外加碳源进入滤池, 混合液  $\text{C/N}$  为 1.32, 分别在曝气/停曝时间 2 h/1 h、2 h/2 h 和 3 h/2 h 3 种工况下运行, 曝气时  $\text{DO}$  为  $1.0 \text{ mg/L}$ , 停曝时  $\text{DO}$  为  $0.3 \text{ mg/L}$ , 试验表明, 曝气/停曝时间为 2 h/1 h 时, 反应器出水  $\text{SS}$ 、 $\text{COD}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  及  $\text{TN}$  浓度平均值分别为  $9.3 \text{ mg/L}$ 、 $48.6 \text{ mg/L}$ 、 $3.1 \text{ mg/L}$  和  $18.2 \text{ mg/L}$ , 均能达到 GB18918 - 2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级标准的 B 标准, 但 TP 的处理效果不理想, 还需进一步通过改进试验以待提高。

### 参考文献:

- [1] 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [2] 刘雨, 赵庆良, 郑兴灿. 生物膜法污水处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] 国家城市给水排水工程技术研究中心. 污水生物与化学处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] KOJI MISHIMA, TAKAHIKO NISHIMURA, MASAHIDE GOI. Characteristics of Nitrification and Denitrification of the Media-Anaerobic-Anoxic-Oxic Process [J]. Wat Sci Tech, 1996, 34(1-2): 137-143.
- [5] GONCALVES R F, LE GRAND. Biological Phosphorus Uptake in Submerged Biofilters with Nitrogen Removal [J]. Wat Sci Tech, 1994, 29(10-11): 135-143.
- [6] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.

## Coal Consumption Prediction in Chongqing Municipality on the Basis of Gray System Theory

SUN Guo-wen<sup>1</sup>, YIN Guang-zhi<sup>2,3</sup>

- (1. Department of Resource and Perambulation, College of Engineering and Profession Technology of Chongqing, Chongqing, 400037, China; 2. College of Resource and Environmental Science;
- 3. Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering Under the state Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** On the basis of the theory of gray system, two models have been presented to forecast the coal consumed during 2005 – 2011. The comparison between coal consumption over 1995 – 2002 and the prediction show that the models enjoy a high precision and are practical, and the forecast results are reliable.

**Key words:** coal consumption; coal gray prediction; GM(1,1) model

(编辑 姚 飞)

\*\*\*\*\*

(上接第 141 页)

## Performance of Municipal Wastewater Treatment by the ABIR with Intermittent Aeration

LIU Zhi-ping<sup>1</sup>, FANG Fang<sup>1</sup>, GUO Jin-song<sup>1</sup>, XIONG Qin<sup>2</sup>

- (1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment Under the state Ministry of Education, College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
- 2. CISDI Engineering Co., LTD., Chongqing 400013, China)

**Abstract:** The authors study the performance of municipal wastewater treatment by the activated sludge – biofilter integrative reactor (ABIR) in continuous flow with intermittent aeration, and mainly investigate the performance of municipal wastewater treatment in the biofilter under the conditions of different intermittent aeration cycles with the DO level 1.0 mg/L when the loading is 0.4 mgCOD/mgMLSS · d in activated sludge. The concentration of COD, SS, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N and TN of the effluent has meet the class I, level B drainage standard of GB18918 – 2002 when C/N ratio is 1.32 in the biofilter, the temperature is 20℃ and the time of aeration/unaeration is 2 h/1 h.

**Key words:** integrative reactor; municipal wastewater; nitrogen removal; intermittent aeration

(编辑 姚 飞)