

# 水力负荷对深度处理污水的影响研究

## —以复合变速生物滤池做反应器

张智, 谭昆

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

**摘要:**利用复合变速生物滤池深度处理氧化沟污水厂的二级出水,开展了生产性试验研究。考察了三种水力负荷下滤池的处理效果。结果显示,  $COD_{Cr}$  平均去除率最高为 21.42%, 去除率随水力负荷升高而下降;  $NH_3-N$  平均去除率最高达 43.19%; 浊度平均去除率最高达 60.40%。试验表明:对可生化性差、营养物质贫乏的污水厂二级出水进行深度处理,复合变速生物滤池是一种较理想的工艺。

**关键词:**复合变速生物滤池;组合填料;酶促填料;深度处理

中图分类号:X708 文献标识码:A 文章编号:1006-7329(2008)05-0140-05

## Study on Effect of Hydraulic Loading in Advanced Treatment of Wastewater by Combined Velocity-Variable Biofilter

ZHANG Zhi, TAN Kun

(Key Laboratory for Ecological Environment of Three Gorges Reservoir Area, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045)

**Abstract:** Utilizing a combined velocity-variable biofilter, a full-scale experiment was carried out on advanced treatment of secondary effluent from an oxidation ditch wastewater plant. The study was made on the performance of the biofilter at three different hydraulic loadings. The results showed that the highest average removal rate of  $COD_{Cr}$  reached 21.42%, which increased with hydraulic loadings rise; the highest of those of  $NH_3-N$  and turbidity was 43.19% and 60.40%, respectively. The study shows that this biofilter technology is an good process for advanced treatment of secondary effluent which is characterized by deficiency of nutrition and low biodegradability.

**Key words:** combined velocity-variable biofilter; combined media; enzymatic medium; advanced treatment

深度处理是将污水厂二级出水再进行物理、化学和生物处理,使水质达到回用水标准。深度处理技术除了混凝、沉淀(澄清)、过滤等传统工艺外,臭氧氧化,活性炭吸附及膜分离技术等也已广泛应用,近年来又开发出生物过滤技术,湿地系统,土地处理系统等工艺。

在众多工艺中,生物过滤占地面积较小,操作简单,费用较低而且能达到很好的处理效果,因此非常适合城镇中小型污水处理厂用作深度处理工艺。重庆大学城环学院的专家学者在普通生物滤池的基础上开发出变速生物滤池<sup>[1]</sup>。该工艺的特点是滤速沿水流方向

逐渐减小,充分发挥滤池填料的特性<sup>[2]</sup>。又进一步研发出复合变速生物滤池,进行了深度处理普通活性污泥法污水厂的二级出水的试验研究<sup>[3][4]</sup>。

氧化沟是活性污泥法的变型,其水力停留时间可达 10~24 h,污泥龄一般可达 15~30 d,并具有除磷脱氮效果<sup>[5]</sup>,其二沉池出水营养物质较贫乏,微生物的培育生长较困难,利用生物过滤深度处理难度较高。在此利用复合变速生物滤池开展了处理氧化沟工艺二级出水的生产性试验研究,考察了水力负荷对处理效果的影响。

\* 收稿日期:2008-06-20

基金项目:“十五”国家科技攻关项目(编号 2001BA610A-05C)

作者简介:张智(1960-),男,教授,博士生导师,主要从事污水处理方面的研究。(E-mail) zhangzhiq@126.com。

### 1 实验装置与方法

#### 1.1 工艺流程与装置

试验在重庆市某污水处理厂内,试验工艺流程如图 1 所示。

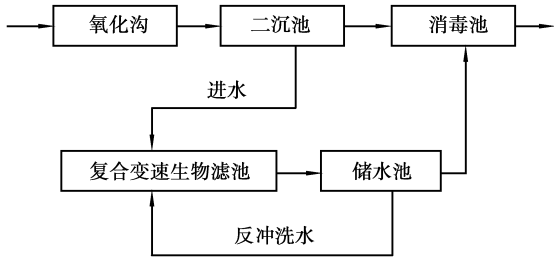


图 1 试验工艺流程图

复合变速生物滤池采用钢板焊接而成,为高 2.05 m、底面半径 1.40 m 的圆柱体,内部用一个较小的圆锥台把装置内外两层区域,水从外层区域底部进入,上向流穿过填料层,再翻过隔板进入内层,向下再穿过填料层,滤后水由内层区域底部的集水管汇聚排出。水的流速在上向流和下向流时都沿程变化。滤池结构如图 2 所示。

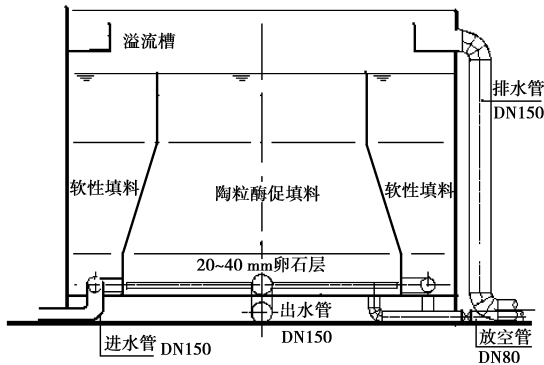


图 2 复合变速生物滤池结构示意图

外层上向流区域采用组合填料,组合填料采用半软性填料和软性填料按一定的比例、间距组合而成。内层下向流区域采用颗粒填料。颗粒填料的粒径大小对生物滤池的运行效果影响很大,研究表明采用较小粒径处理效果较好,但滤池运行周期短,采用较大粒径时滤池更容易反冲洗,并能减小填料流失<sup>[6]</sup>。综合考虑后试验采用了粒径 2~5 mm 的新型酶促填料,该填料表面粗糙度高,有大量的微孔可作为微生物生存和繁殖的载体,所含促进剂具有激发微生物生长活性的特点<sup>[7]</sup>。填料层的高度均为 80 cm。通过三个取样口分别采集滤池的进水,外层填料出水(也即内层填料进水),以及滤池的出水进行测试分析。

#### 1.2 试验进水水质

试验在 2004 年 4-7 月进行,污水厂记录的二沉池

出水水质见表 1,其中 COD<sub>cr</sub>和 BOD<sub>5</sub> 的对比见图 3。

表 1 试验进水水质

项目	数值
COD <sub>cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	11.76~63.49
BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	3.65~17.46
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.27~11.74
总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤1.96
pH 值	6.94~8.16
色度	38~71
水温/℃	15~26

一般认为,当 BOD<sub>5</sub>:COD<sub>cr</sub> 的比值低于 0.3 时,可生化性较差<sup>[8]</sup>。试验期间该值大多数时间低于 0.3。污水中的可生物降解有机物含量很低,对微生物生长不利。

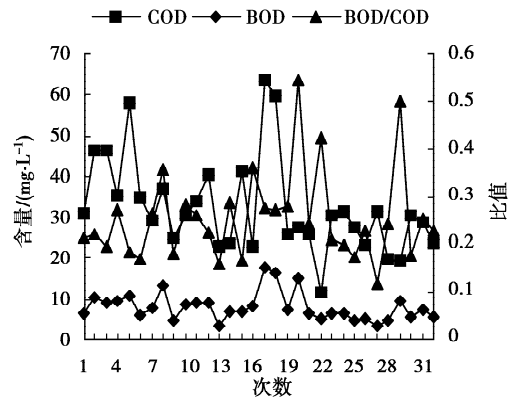


图 3 2004 年 3 月-7 月 COD<sub>cr</sub>与 BOD5 关系

### 2 试验结果与分析

试验考察了滤池在三种不同的水力负荷下(流量分别为 100 m<sup>3</sup>/d,150 m<sup>3</sup>/d,200 m<sup>3</sup>/d)对二级出水中有机物,悬浮物,氨氮,总磷的处理效果。

#### 2.1 COD<sub>cr</sub> 的处理效果

在三种不同的水力负荷条件下,生物滤池的 COD<sub>cr</sub> 随时间的变化分别如图 4-6 所示。

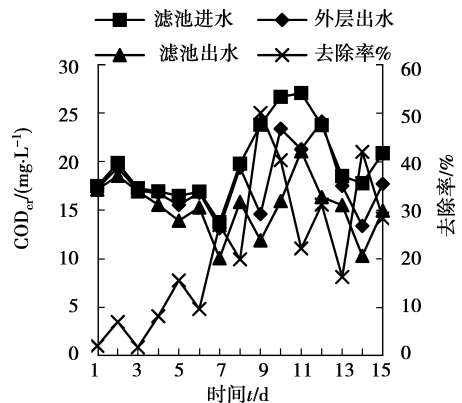


图 4 100 m<sup>3</sup>/d 时 COD<sub>cr</sub> 值及去除率

结果显示,复合变速生物滤池可有效地去除有机物。进水 COD<sub>cr</sub> 值在 10.78~27.05 mg/L 之间,出水

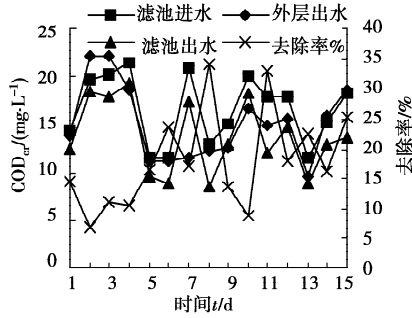


图 5 150 m<sup>3</sup>/d 时 COD<sub>cr</sub> 值及去除率

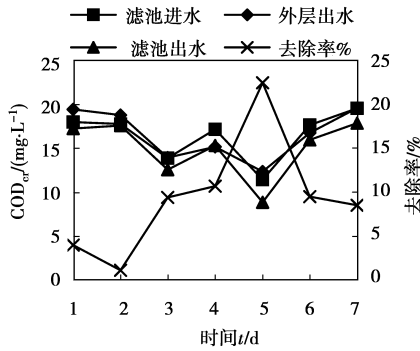


图 6 200 m<sup>3</sup>/d 时 COD<sub>cr</sub> 值及去除率

COD<sub>cr</sub> 值在 8.56~21.07 mg/L 之间。流量在 100 m<sup>3</sup>/d 时, COD<sub>cr</sub> 最高去除率为 50.2%, 平均去除率为 21.42%; 流量在 150 m<sup>3</sup>/d 时, 最高去除率为 33.95%, 平均为 18.04%; 而流量在 200 m<sup>3</sup>/d 时, 最高去除率为 22.47%。平均为 9.4%。随着水力负荷的提高, 生物滤池对有机物的降解呈下降的趋势。这是因为水力负荷的大小影响到污水在反应器中与载体上生物膜的接触时间。微生物对有机物的降解需要一定的接触反应时间作保证。水力负荷越小接触时间就越长, 处理效果就越好。试验中反映, 内、外两层填料都可去除有机物, 而主要以外层填料的去除作用为主。此外, 实验数据显示, 内、外层填料都出现了出水 COD<sub>cr</sub> 比进水 COD<sub>cr</sub> 高的现象, 这可能是由于脱落的老化生物膜的影响。

### 2.2 对 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果

在不同的水力负荷下, NH<sub>3</sub>-N 随时间的变化关系如图 7-9 所示。

试验期间滤池进水的 NH<sub>3</sub>-N 浓度在 0.26~4.47 mg/L 之间。结果显示, 复合变速生物滤池对 NH<sub>3</sub>-N 具有较好去除效果, 出水 NH<sub>3</sub>-N 浓度在 3.55 mg/L 以下。其中进水流量在 100 m<sup>3</sup>/d 时最高去除率达 59.26%, 平均去除率为 18.57%; 在 150 m<sup>3</sup>/d 时最高去除率为 69.35%, 平均为 35.4%; 在 200 m<sup>3</sup>/d 时最高去除率为 59.29%, 平均为 43.19%。在三种水力负荷下, NH<sub>3</sub>-N 浓度在污水流经内、外层填料时都有所降低, 这表明在内、外层填料上都生长着硝化

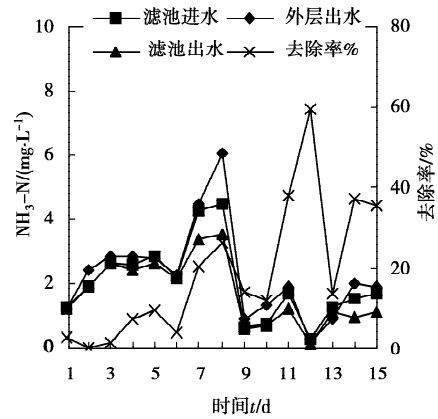


图 7 100 m<sup>3</sup>/d 时 NH<sub>3</sub>-N 值及去除率

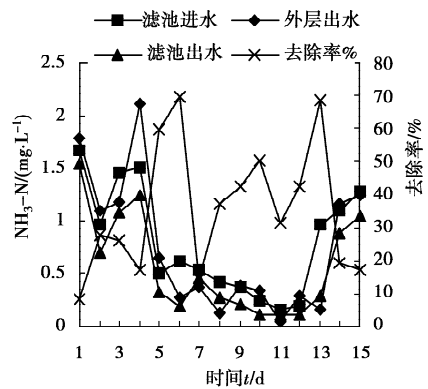


图 8 150 m<sup>3</sup>/d 时 NH<sub>3</sub>-N 值及去除率

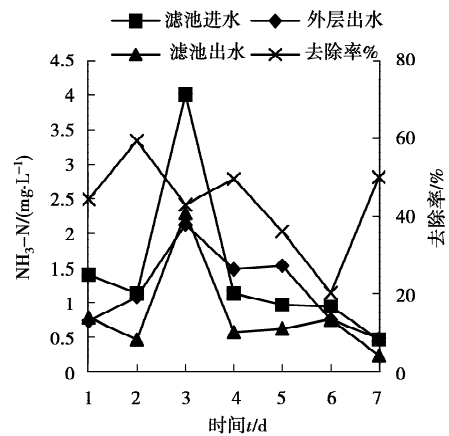


图 9 200 m<sup>3</sup>/d 时 NH<sub>3</sub>-N 值及去除率

细菌, 在合适的条件下对 NH<sub>3</sub>-N 进行降解。试验中发现, 内、外层填料出水中的 NH<sub>3</sub>-N 含量均出现了比其进水中 NH<sub>3</sub>-N 高的情况, 可能是由于在某阶段水中的溶解氧含量和有机物含量过低不仅影响了消化细菌的活性, 而且使填料生物膜上的某些微生物处于内源呼吸期, 从而释放部分 NH<sub>3</sub>-N 于水中, 从而导致该现象的发生。

### 2.3 浊度的去除效果

滤池进水浊度在 1.85~3.82 NTU 间变化, 出水浊度在 0.679~1.32 NTU 之间。在三种水力负荷条

件下浊度的变化情况及去除率如图10所示。

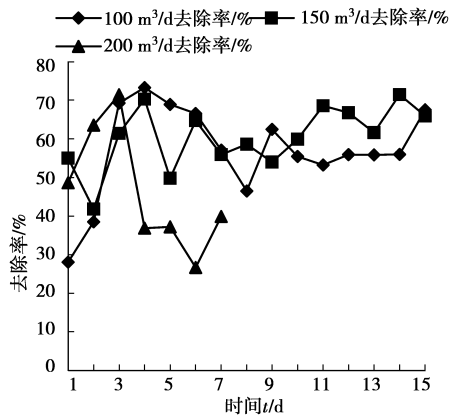


图10 浊度去除率变化图

试验结果表明,复合变速生物滤池对悬浮固体具有良好的去除效果。流量在 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 时,浊度去除率在 $28.08\%\sim 73.30\%$ 之间,平均去除率 $56.99\%$ ,出水浊度平均值为 $0.910\text{ NTU}$ ;流量在 $150\text{ m}^3/\text{d}$ 时,去除率在 $41.85\%\sim 71.47\%$ 之间,平均 $60.40\%$ ,出水平均浊度为 $0.989\text{ NTU}$ ;而流量在 $200\text{ m}^3/\text{d}$ 时,去除率范围在 $26.71\%\sim 71.50\%$ ,平均去除率为 $46.34\%$ ,出水平均浊度为 $1.04\text{ NTU}$ 。试验中发现,内层填料进水的浊度经常高于滤池进水的浊度,这可能是由于外层区域中游离的悬浮微生物与脱落的生物膜引起的。除浊作用是由内层颗粒填料来承担,颗粒填料表面的生物膜及颗粒之间的空隙对水中的悬浮固体产生生物吸附和物理拦截作用。

#### 2.4 对TP、色度及嗅的去除

污水厂出水TP在 $2\text{ mg/L}$ 以下,平均值为 $1.14\text{ mg/L}$ 。生物滤池出水 $\text{TP}<1.28\text{ mg/L}$ ,进水流量为 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 时,滤池出水TP平均值 $0.85\text{ mg/L}$ ,进水流量为 $150\text{ m}^3/\text{d}$ 时,滤池出水TP平均值 $0.86\text{ mg/L}$ ,进水流量为 $200\text{ m}^3/\text{d}$ 时,滤池出水TP平均值 $0.87\text{ mg/L}$ 。滤池对磷的去除机理应为填料的吸附,微生物生长的同化作用及过量积累,其中何种因素占主导以及相互间的关联影响,有待进一步研究。

对色度和嗅的去除未作定量测定,试验期间二级出水略带淡黄色,有淡淡的异味,生物滤池出水则感官性状良好,清澈透明基本无色,无异味。

此外,生物滤池出水pH值比进水略低,在 $6.68\sim 7.82$ 之间。

### 3 结论

试验表明,对于营养物质贫乏,可生化性差的氧化沟二沉池出水,复合变速生物滤池是一种较好的深度处理工艺,在试验条件下:

1)有效去除有机物, $\text{COD}_{\text{cr}}$ 最高去除率达 $50.2\%$ ,

平均去除率最高为 $21.42\%$ ,去除率随水力负荷提高呈下降趋势。出水 $\text{COD}_{\text{cr}}$ 值小于 $21.07\text{ mg/L}$ 。

2)对悬浮固体具有良好的去除效果,出水浊度小于 $1.32\text{ NTU}$ ,平均去除率最高达 $60.40\%$ ,最低为 $46.34\%$ 。

3)对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有较好去除效果,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值小于 $3.55\text{ mg/L}$ ,平均去除率最高达 $43.19\%$ ;最低为 $18.57\%$ 。

#### 参考文献:

- [1] 龙腾锐,何强,陈士年,等. 变速厌氧生物滤池处理城市污水研究[J]. 中国给水排水,1995,2:4-8.  
LONG Teng-Rui, HE Qiang, CHEN Shi-nian, et al. Researches on treating municipal sewage by variable-velocity anaerobic biofilter [J]. China Water & Wastewater,1995,2:4-8.
- [2] 龙腾锐,方芳,郭劲松. 变速生物滤池处理城市污水的效能研究[J]. 中国给水排水,2002,1:13-17.  
LONG Teng-Rui, FANG Fang, GUO Jin-song. Study on the performance of variable rate biofilter for treatment of municipal wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2002,1:13-17.
- [3] 张智,阳春,等. 复合变速生物滤池深度处理城市污水研究[J]. 中国给水排水,2000,1:5-8.  
ZHANG Zhi, YANG Chun, et al. A Study on advanced treatment of municipal wastewater by combined velocity-changed biofilter [J]. China Water & Wastewater,2000,1:5-8.
- [4] 龙腾锐,庞煜. 复合变速生物滤池处理污水厂二级出水[J]. 中国给水排水,2002,8:1-4.  
LONG Teng-Rui, PANG Yu. Use of variable rate hybrid biofilter for treatment of secondary effluent from municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater,2002,8:1-4.
- [5] 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,1999.
- [6] Rebecca Moore, et. The effects of media size on the performance of biological aerated filters [J]. Wat. Res. 2001,(10):89-22.
- [7] 龙腾锐,等. 水处理酶促生物填料的生产性试验研制. 重庆建筑大学学报,2000,22(3):1-6.  
LONG Teng-Rui, et. Development of New bio-enzyme catalyser carrier for water treatment [J] Journal of Chongqing Jianzhu University,2000,22(3):1-6.
- [8] 张自杰,等. 排水工程(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社.

(编辑 胡玲)