

# 水力负荷对生物滞留池处理污水厂尾水的影响

李磊<sup>1</sup>, 周克梅<sup>1</sup>, 王君娴<sup>2</sup>, 刘卫星<sup>2</sup>, 傅大放<sup>2</sup>

(1. 南京水务集团有限公司, 江苏 南京 210002; 2. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 211189)

**摘要:** 对已经达到一级A排放标准的污水处理厂尾水进行深度处理是削减入河(湖)污染物总量的重要方式。生物滞留池是易维护、应用灵活的污水生态处理技术,将其用于南京市城南污水处理厂二沉池出水的深度处理,考察了不同进水负荷[0.2、0.5、0.7和1.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)]条件下的处理效果。结果表明,随着水力负荷的提高,生物滞留池对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的去除率变化较小,对TP、TN和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的去除率呈下降趋势;当进水负荷为0.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)时,生物滞留池对污染物的去除总量最高,对TP、TN、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的去除负荷分别为65、1 450、1 435 mg/(m<sup>2</sup>·d)。因此,推荐采用0.2~0.7 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)作为生物滞留池处理污水厂尾水的水力负荷设计值。

**关键词:** 污水处理厂尾水; 生物滞留池; 水力负荷; 深度处理

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0115-04

## Influence of Hydraulic Load on Treatment of Tail Water from Wastewater Treatment Plant by Bioretention Pond

LI Lei<sup>1</sup>, ZHOU Ke-mei<sup>1</sup>, WANG Jun-xian<sup>2</sup>, LIU Wei-xing<sup>2</sup>, FU Da-fang<sup>2</sup>

(1. Nanjing Water Group Co. Ltd., Nanjing 210002, China; 2. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

**Abstract:** The advanced treatment of tail water from wastewater treatment plants (WWTP) that has reached the first level A discharge standard, is an important way to reduce the total amount of pollutants entering into rivers or lakes. The bioretention pond, known as an easy-to-maintain and flexible applied sewage ecological treatment technology, was applied to advanced treatment of the tail water from the secondary sedimentation tank of Chengnan WWTP in Nanjing, and the removal effect of pollutants under four influent loads of 0.2, 0.5, 0.7 and 1.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d) was investigated. The results showed that the removal rate of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in the bioretention pond changed little and overall profiles of the removal rate of TP, TN and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N were decreasing with the increase of the hydraulic load. When the influent load was 0.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d), the total amount of pollutant removed by the bioretention pond was the highest, and the removal loads of TP, TN and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N were 65, 1 450 and 1 435 mg/(m<sup>2</sup>·d) respectively. Therefore, it is recommended to use 0.2-0.7 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d) as the hydraulic load design value of the bioretention pond for the treatment of tail water from WWTP.

**Key words:** tail water from wastewater treatment plant; bioretention pond; hydraulic load; advanced treatment

近年来,全国范围内的污水处理厂开展了一级B向一级A的提标改造工程,大部分城镇生活污水处理厂,尤其是长三角地区,基本实现了稳定达到一级A标准的目标。但需清醒地认识到,污水处理厂尾水中的污染物入河(湖)总量依然很大,尤其是氮、磷总量高,而氮、磷总量高是水体富营养化的根本原因,因此开展污水处理厂尾水的深度处理对于改善水环境具有重要的意义。

我国目前的污水深度处理技术多以反硝化为核心,工艺投资和运行成本均较高。人工湿地作为一种生态处理工艺越来越多地应用于污水厂的尾水处理中,具有管理简单、运行费用低等特点,但是存在处理负荷低、占地面积大且布置不灵活等缺点<sup>[1~3]</sup>。生物滞留池作为一种简单易行的构筑物,具有布置形式灵活的优点,同时景观性也优于人工湿地,目前多用于雨水径流的处理,具有应用于污水厂尾水深度处理的潜力,是一种值得研究的技术路径<sup>[4]</sup>。若将生物滞留池应用到污水深度处理中,首先需要验证其可行性,即单位面积单位时间去除污染物的总量能否满足工程实践的要求。水力负荷是衡量工艺可行性的基础参数,同时水力负荷与污染物的去除率和去除总量以及装置运行稳定性直接相关。基于此,笔者将生物滞留池用于南京市城南污水厂尾水的深度处理,研究水力负荷对生物滞留池出水水质的影响,以确定生物滞留池深度处理尾水的最佳水力负荷。

## 1 试验部分

### 1.1 试验装置

生物滞留池试验装置安装于南京市城南污水厂一期二沉池附近,如图1所示。

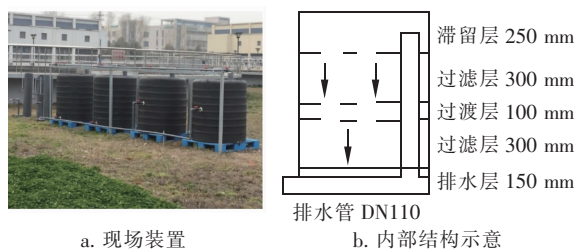


图1 生物滞留池试验装置

Fig. 1 Schematics of bioretention pond

装置主体为PVC塑料桶,直径为1100 mm,高度为1.1 m,壁厚为5 mm;底部铺设DN110的硬质VC穿孔排水管,孔径为5 mm,打孔密度为20个/

m。4个装置统一由总进水管(DN32)进水,尾水流经各自的配水管(DN32),配水管左右两边各设置一个喷头,进水时通过喷嘴淋洒在填料表面,喷嘴可左右调节控制喷洒水量。4个装置各自的出水管(DN32)连接到DN32总出水管上,统一出水。各进、出水管上均安装有阀门,可手动调节流量。

根据相关文献和小试结果,设计了填料层的结构和配比,自行筛分后进行装填和压实。过滤层(上)装填极细砂(粒径为0.05~0.15 mm)和细砂(粒径为0.15~0.25 mm);过渡层装填中粗砂(粒径为0.5~1 mm);过滤层(下)装填中砂(粒径为0.25~0.5 mm)、中粗砂、粗砂(粒径为1~2 mm)和细砾(粒径为2~3.4 mm);排水层装填粒径为5~10 mm的卵石。

### 1.2 试验方法

试验开始前对填料的淹没区进行驯化,形成生物膜,以保证后期试验的有效进行。驯化过程如下:向装填好的装置中直接浇灌体积比为3:1的厌氧池污水上清液(微生物)和原污水(营养液)至水漫过淹没区,关闭出水阀,使污水在反应器中闷一周;第2周向装置中加原污水进行连续换水,为微生物提供营养物质,并测定进、出水COD浓度;第3周向装置中浇灌二沉池出水,使装置进入试运行阶段。

试验进水为城南污水处理厂二沉池出水,利用泵将二沉池出水持续抽至50 L调节桶中,多余尾水溢流至污水井。再由调节桶内的潜水泵将二沉池出水送至4个装置中,4个装置的进水负荷分别是0.2、0.5、0.7、1.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)。试验采用连续进水,分别在以上4种水力负荷下连续运行7 d后,开始检测装置每天的进、出水水质,连续检测5 d,对比4种水力负荷条件下装置对污染物的去除效果。

试验期间装置进水水质如下:COD为7~30 mg/L、TP为0.2~0.35 mg/L、TN为5~8 mg/L、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N为0.54~0.86 mg/L、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N为4.6~7 mg/L,稳定达到了一级A标准,但与《地表水环境质量标准》相比,TP、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和TN浓度仍然较高。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水力负荷对污染物去除率的影响

水力负荷对生物滞留池去除TP的影响如图2所示。随着水力负荷的提高,生物滞留池对TP的去除率整体呈下降趋势,在0.2、0.5、0.7和1.0 m<sup>3</sup>/

( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) 水力负荷下对 TP 的平均去除率分别为 53.93%、47.97%、13.83%、-6.30%。这是因为对 TP 的去除效果与停留时间有关,当水力负荷提高后,尾水与填料的接触时间变短,TP 不能充分地被吸附,故去除率不断降低。

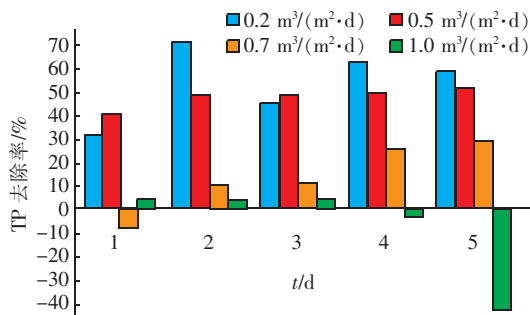


图 2 不同水力负荷下生物滞留池对 TP 的去除效果

Fig. 2 Removal of TP by bioretention pond at different hydraulic loads

随着水力负荷的提高,生物滞留池对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率变化不显著,0.2、0.5、0.7 和 1.0  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  负荷下  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均去除率分别为 26.69%、-2.76%、19.44%、26.63%。可能是因为本试验测量误差,以及试验进水水质波动的原因,单次去除率对平均值影响较大,导致 0.5  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  负荷下的氨氮平均去除率为负值,剔除异常的第 1 次数据,氨氮平均去除率为 23.95%。可以看出,水力负荷的改变对生物滞留池去除  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的影响不大。

水力负荷对生物滞留池去除  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的影响如图 3 所示。

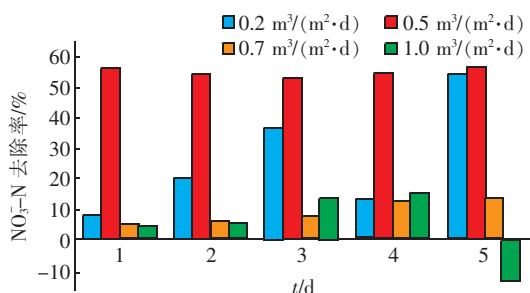


图 3 不同水力负荷下生物滞留池对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除效果

Fig. 3 Removal of  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  by bioretention pond at different hydraulic loads

由图 3 可以看出,在 0.5  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  水力负荷下生物滞留池对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除率最高,平均值为 54.71%。水力负荷的改变对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  去除效果的

影响较大,水力负荷越高,尾水在装置中的停留时间越短,反应就越不充分,甚至在 1.0  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  负荷下出现了淋洗现象。

不同水力负荷下生物滞留池对 TN 的去除效果见图 4。随着水力负荷的提高,生物滞留池对 TN 的去除率整体呈下降趋势,0.2、0.5、0.7 和 1.0  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  负荷下的 TN 平均去除率分别为 24.91%、40.75%、7.32%、7.34%。对比第 5 天的测定结果可知,水力负荷越大,停留时间越短,对 TN 的去除率就越低。

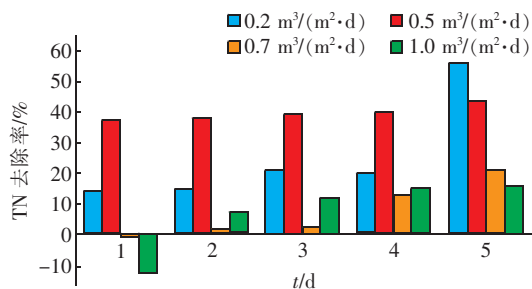


图 4 不同水力负荷下生物滞留池对 TN 的去除效果

Fig. 4 Removal of TN by bioretention pond at different hydraulic loads

## 2.2 水力负荷对污染物去除总量的影响

随着进水负荷的增大,各污染物的去除率整体呈下降的趋势。但仅凭污染物的去除率决定生物滞留池适用的水力负荷取值是比较片面的,因为污染物的排放还需要注重总量的控制。试验中,水力负荷的改变对 COD 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除效果的影响不大,所以对比了 4 种水力负荷下 TP、TN 和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除总量,结果如图 5 所示。

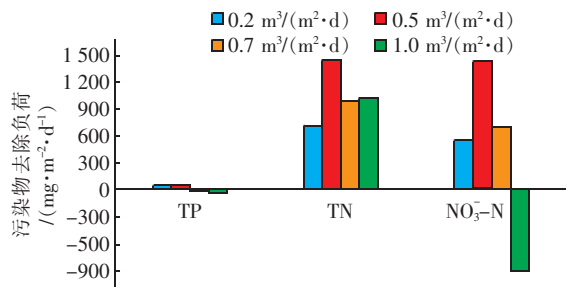


图 5 不同水力负荷下生物滞留池对污染物的去除总量

Fig. 5 Total amount of pollutant removal by bioretention pond at different hydraulic loads

生物滞留池的水力负荷由 0.2  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  增大到 0.5  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时,TP 去除总量从 38 mg/

( $\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) 提高至  $65 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , TN 从  $722 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  提高为  $1450 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  从  $564 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  提高为  $1435 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。然而当水力负荷提高到  $0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时, TP、TN、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除总量又分别降低为 28、980、707  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。当水力负荷为  $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时, 对 TP 和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除总量甚至出现了负值, 分别为  $-30$ 、 $-890 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

### 3 结论

采用生物滞留池深度处理南京市城南污水处理厂的尾水, 结果表明, 随着水力负荷的提升, 对氨氮的去除率变化不大, 对 TP、TN 和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除率整体呈下降趋势。装置在  $0.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  负荷下对 TP 的平均去除率最高, 为 53.93%; 在  $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  负荷下对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和 TN 的平均去除率最高, 分别为 54.71% 和 40.75%。另外, 当水力负荷为  $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时, 对 TP、TN、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除总量最高, 分别为 65、1450、1435  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。综合考虑污染物的去除率和去除总量, 推荐采用  $0.2 \sim 0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  作为生物滞留池处理污水厂尾水的水力负荷设计值。

### 参考文献:

- [1] 钱静, 高守有. 高标准污水处理厂提标改造工程的设计与调试运行[J]. 中国给水排水, 2016, 32(8): 29 - 32.
- Qian Jing, Gao Shouyou. Design, commissioning and operation of high-standard upgrading and reconstruction project of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wasterwater, 2016, 32(8): 29 - 32 (in Chinese).
- [2] 何江通, 周秀秀, 刘立, 等. 基于城镇污水处理厂尾水

同级排入的深度处理技术研究[J]. 工业用水与废水, 2017, 48(1): 1 - 5.

He Jiangtong, Zhou Xiuxiu, Liu Li, et al. Research on advanced treatment technology based on effluent water up-to-standard drainage from urban sewage treatment plant[J]. Industrial Water & Wastewater, 2017, 48(1): 1 - 5 (in Chinese).

- [3] 廖波, 林武. 强化型垂直流人工湿地用于污水处理厂尾水深度处理[J]. 中国给水排水, 2013, 29(16): 74 - 77.

Liao Bo, Lin Wu. Application of enhanced vertical flow constructed wetland to advanced treatment of effluent from wastewater treatment plant[J]. China Water & Wasterwater, 2013, 29(16): 74 - 77 (in Chinese).

- [4] Kim H, Seagren E A, Davis A P. Engineered bioretention for removal of nitrate from stormwater runoff[J]. Water Environ Res, 2003, 75(4): 355 - 367.



作者简介: 李磊(1983 - ), 男, 天津人, 硕士, 工程师, 主要从事污水处理厂的运行管理工作。

E-mail: 153996890@qq.com

收稿日期: 2018 - 07 - 28

借自然之力, 护绿水青山