

文章编号:1000-5641(2011)01-0135-06

## 新型生物填料槽预处理黑臭河水的研究

程庆霖<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 黄民生<sup>1</sup>, 潘震<sup>1</sup>, 何岩<sup>1</sup>, 曹承进<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062; 2. 安徽建筑工业学院, 合肥 230022)

**摘要:** 本试验的目的是为了强化后续人工湿地处理黑臭河水的效能. 试验结果显示, 新型软性填料槽对于  $\text{COD}_\text{Cr}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP 的平均去除率分别为 36.63%, 29.41% 和 29.22%, 均高于空白对照槽. 扫描电镜分析表明, 新型软性填料具有纤维状、比表面积大且易于挂膜的特点, 可用于黑臭水体生态系统的修复, 且可作为人工湿地技术一种很好的补充.

**关键词:** 黑臭河水; 软性填料; 预处理; 生物膜

**中图分类号:** X72 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2011.01.015

## Study of a new bio-packing tank for the pretreatment of malodorous river water

CHENG Qing-lin<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, HUANG Min-sheng<sup>1</sup>, PAN Zheng<sup>1</sup>,  
HE Yan<sup>1</sup>, CAO Cheng-jin<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;  
2. Anhui Institute of Architecture & Industry, Hefei 230022, China)

**Abstract:** The goal of this experiment is to improve the performance of constructed wetland for the malodorous black river. The average removal rates of the new bio-packing tank on system  $\text{COD}_\text{Cr}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP were 36.63%, 29.41% and 29.22%, respectively, and all being higher than that of the filling purification tank. A Scanning Electron Microscope (SEM) analysis showed that the new flexible medium was characterized by fibrous, large surface area and easy to membrane-hanging. This new tank can be used for recovering the ecosystem of water body, and as a good supplement to constructed wetland.

**Key words:** malodorous river water; flexible medium; pre-treatment; biofilm

## 0 引言

人工湿地技术已被证明是一种对于污染水体有效的低成本治理方法<sup>[1-4]</sup>. 但是, 技术的应用还存在一些问题, 如占地面积大、处理负荷低以及容易堵塞等<sup>[5,6]</sup>. 因此, 本研究构建了

收稿日期: 2010-08

基金项目: 国家科技重大专项(2009ZX07317-006, 2009ZX07317-009)

第一作者: 程庆霖, 男, 硕士研究生, 研究方向为城市水环境治理与修复. E-mail: cq187111@163.com.

通讯作者: 黄民生, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: mshuang@des.ecnu.edu.cn.

一种新型软性填料槽,以上海市某黑臭河道为研究对象,以新型生物填料槽作为黑臭河水的预处理装置.此装置可以置于人工湿地系统之前,以图提高后续的人工湿地系统的处理能力并缓减堵塞问题.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验采用的软性填料是一种纤维条状材料,是美国专利技术,由上海欧宝水处理公司提供.该填料可以为微生物提供  $80\,000\sim 83\,000\text{ m}^2/\text{m}^3$  的生存空间,远远高于生物球和陶瓷环等传统生物滤材.其构造特点是利用生物友好的材料为微生物群体的繁衍提供了巨大的洞穴般的空间,内部的孔结构通过尖端技术进行精心的设计和修饰,针对微生物的各种形态,设计了大小不同的微孔,为异养微生物(如异样型细菌)设计了微孔( $1\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ ),为自养微生物(如藻类)设计了大孔( $80\sim 350\text{ }\mu\text{m}$ ),从而为实现微生物的多样性并建立起高效水生生态系统提供了最理想的条件.试验期间河水进水的各项指标的平均值如表 1 所示.

表 1 进水水质

Tab. 1 Quality of influent

|      | $\text{COD}_{\text{Cr}}$<br>$/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\text{NH}_3\text{-N}$<br>$/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | TN<br>$/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | TP<br>$/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | DO<br>$/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | pH  |
|------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----|
| 进水水质 | 93.09                                                        | 12.25                                                      | 14.96                                  | 1.15                                   | 0.41                                   | 7.5 |

### 1.2 试验装置

试验系统位于该河道岸边的一处空地上,占地约  $10\text{ m}^2$ . 系统由一个平衡水箱和两个相同的大小的水槽组成,一个是空白对照,一个是加入软性填料,软性填料以格栅状分布,以达到拦截大分子颗粒物的功能.软性填料以每个水槽中有一个隔板,水流在水箱中倒 U 型流动.高位水箱的基本尺寸(mm):上部尺寸  $1\,500\times 1\,000$ ,下部尺寸  $1\,450\times 950$ ,高度 600,边宽 40,设有溢流管.水槽的基本尺寸(mm): $1\,810\times 1\,100\times 130$ ,边宽 20.

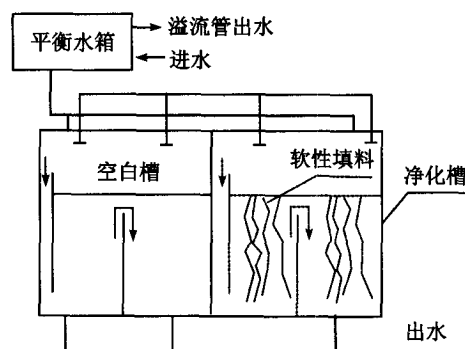


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of flexible medium tank

### 1.3 试验方法

本试验用水直接取自该黑臭河道,试运行时间为2009年4月20日~5月20日,连续进出水;稳定运行时间为5月21日~11月15日,间歇进水,每天3次,水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,水力停留时间8 h, pH 维持在7.5~8.0.

#### 1.4 分析项目与方法

分析指标有 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN 及 TP, 均采用国家标准方法测定<sup>[7]</sup>. 试验期间, 对进、出水的 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN 和 TP 进行定期的监测, 每月采样两次进行水质指标分析.

### 2 软性填料槽实际运行效果分析

#### 2.1 对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的去除效果

软性填料槽和空白对照槽的对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的去除效果如图2所示.

由图2可知, 尽管进水 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的浓度有一定的波动, 但是软性填料槽对于 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的去除率最终可以稳定在30%到40%, 平均的去除率为35.59%, 平均出水 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 小于59.56 mg/L, 说明软性填料槽工艺对于有机物有处理效果, 出水水质趋于稳定.

从图2还可以看出, 6月10日采样时, 生物膜还未形成, 填料槽对于 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的去除效率可能是软性填料本身的一种吸附作用, 但是去除效果不是很明显. 而6月25日和7月10日采样时, 随着软性填料上生物膜的出现, 软性填料槽出水的 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的值下降的比较迅速, 这表明, 投加软性填料以后, 由于软性填料表面粗糙、比表面积大, 提供了微生物生长、栖息和繁衍的稳定环境, 有利于微生物降解有机物<sup>[8]</sup>. 再加上软性填料为纤维状, 其可以悬浮在水中, 微生物以软性填料为载体生长繁殖并形成生物膜, 增加了填料槽内的微生物浓度, 强化了填料槽对有机物的降解<sup>[9]</sup>.

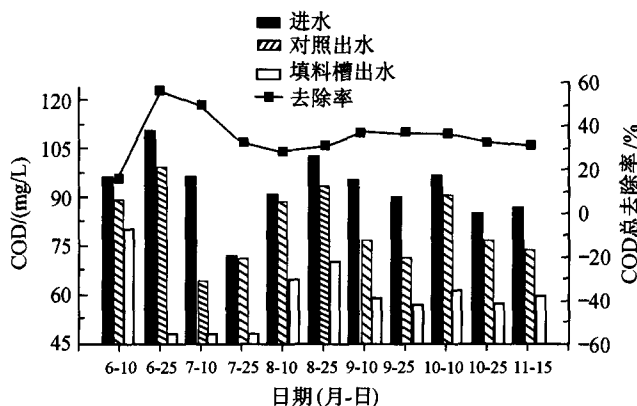


图2 新型生物填料槽对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$

#### 2.2 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的出去效果

由图3可见, 试验开始的前期, 工业河河水的氨氮进水负荷较高, 这一定程度上影响到了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果. 而且从与对照水槽去除效果的比较可以看出, 此时填料对于河水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除的贡献并不明显. 从8月开始,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果开始逐渐上升, 填料槽的去除效果也更加的明显, 10月10日去除率达到最高值69.44%, 说明随着生物膜厚度的增加, 生物膜上的生物对于去除河水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 起到了很好的效果. 填料的敷设促使水体中

大量微生物得以附着,使系统中生物相更加丰富,形成了细菌、原生动物和后生动物为主的微生态结构.在生物处理过程中,亚硝化细菌将氨氮转化为亚硝态氮,硝化细菌将亚硝态氮转化为硝态氮,从而达到去除  $\text{NH}_3\text{-N}$  的目的.可以得出应用生物膜技术对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除起到了积极作用.试验后期, $\text{NH}_3\text{-N}$  去除效果开始出现下降,是由于气温开始逐渐降低,生物膜上的微生物慢慢开始脱落死亡引起其体内氮的释放作用<sup>[10]</sup>.

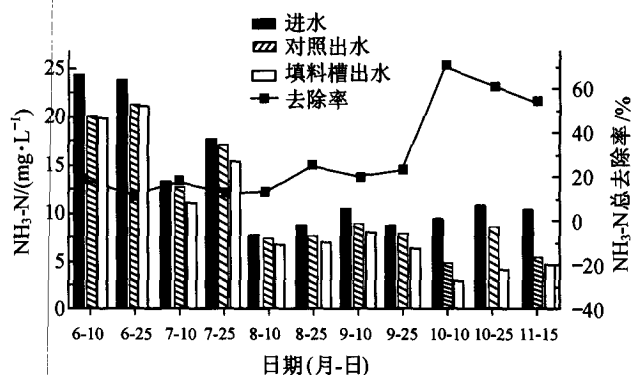


图3 新型生物填料槽对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of  $\text{NH}_3\text{-N}$

### 2.3 对 TP 去除效果

由图4可以看出软性填料槽对于进水的TP去除率的平均值为29.22%,出水TP的平均值为0.81 mg/L.在系统启动的时间,系统的除磷效率有一个明显的上升过程,但是很快就达到最高值,并且下降至27%左右且趋于稳定.

由于此软性填料槽工艺并不存在“厌氧/好氧”交替作用的环境,所以本研究中并不存在生物强化除磷功能<sup>[11]</sup>.软性填料槽工艺对磷的去除主要是依靠软性填料本身的吸附作用以及其纤维特性起到的截留作用<sup>[12]</sup>.微生物对正磷酸盐的同化作用并不明显.但是到了试验后期,由于软性填料的吸附以及截留作用达到饱和度后<sup>[13]</sup>,工艺对于磷的去除作用受到了限制,去除率出现了下降,如何更好的去除磷,仍需进一步的研究.

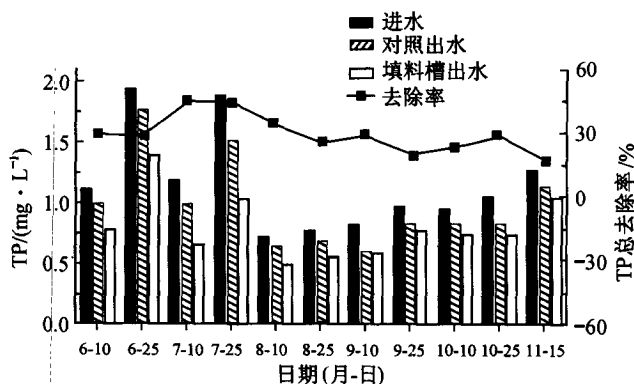


图4 新型生物填料槽对 TP 的去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of TP

### 2.4 软性填料微结构扫描电镜(SEM)分析

试验后期,填料的颜色由白色转变为深褐色,伴随有泥腥味的,肉眼可观察到膜上有个体较大的寡毛类环节动物出现,水生动物在数量和种类上逐渐增加.图5(a)为放大450倍的填料电镜图片,由该图可以看出,软性填料的外观主要为纤维状,可以很好的悬挂或悬浮在水中,用来增加水中生物的密度,提高处理效率;各个纤维间孔隙率大,利于微生物的附着生长<sup>[14]</sup>.图(b)是放大8000倍的挂膜软性填料电镜图片,从图中可以明显看到,软性填料的表面已经覆盖密实的生物膜,并有球形菌胶团结构的出现,其中的细菌、原生动物和后生动物为主的微生态结构,在生物处理过程中,亚硝化细菌将氨氮转化为亚硝态氮,硝化细菌将亚硝态氮转化为硝态氮,从而最终对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 起到去除作用.同时本次试验的pH值一直保持在7.45~7.65之间,属于各类细菌和微型动物的适宜范围.pH对微生物的影响主要是影响其生物体内的酶.因为酶只有在适宜的pH时才能发挥其最大活性,不适宜的pH值会使酶的活性降低,影响微生物细胞的生物化学过程,进而影响微生物的生长和繁殖.所以,本次试验过程中的pH对于挂膜并没有不利的影响.



图5 软性填料结构扫描电镜(SEM)照片

Fig. 5 The SEM photographs of flexible medium

### 3 结 论

(1) 软性填料槽对于工业河黑臭河水有一定的净化效果,对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的平均去除率分别为36.63%、29.41%和29.22%,并且去除效率都高于空白对照槽.当生物膜稳定形成时,填料槽的 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率有明显的升高趋势,并且趋于稳定.

(2) 通过SEM电镜分析,可以得知软性填料具有纤维状、比表面积大、空隙率高、易于挂膜的特点,说明它是一种优良的填料介质.

(3) 工业河河水的进水负荷有一定的波动,软性填料槽对于河水各项指标的去除率相对来说受到的影响相对较小,而且该生物填料槽可以有效去除黑臭河水中悬浮颗粒物.所以软性填料槽对于黑臭河道的治理,具有挂膜后生物相稳定、耐冲击的特点,为强化后续人工湿地技术对黑臭河水的处理提供保证.

### [参 考 文 献]

- [1] KHAN S. Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater [J]. Journal of Environmental Management, 2009, 43(2): 535-545.
- [2] ZHAO Y J, BOLIUA. Effects of plant and influent C:N:P ratio on microbial diversity in pilot-scale constructed

- wetlands[J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(4): 441-449.
- [3] 陈明利, 吴晓芙. 景观型人工湿地污水处理系统构建及植物脱氮效应研究[J]. *环境科学*, 2010, 21(3): 660-666.  
CHEN M L, WU X F, CHEN Y H, et al. Construction of a landscaping-type wetland system for wastewater treatment and analysis of plant denitrifying effect [J]. *Environmental Science*, 2010, 21(3): 660-666.
- [4] YOUSE Z. Nitrogen and phosphorus removal from wastewater by subsurface wetlands planted with *Iris pseudacorus*[J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(2): 777-782.
- [5] 孙桂琴, 董瑞斌, 潘乐英, 等. 人工湿地污水处理技术及其在我国的应用[J]. *环境科学与技术*, 2006, 8(29): 144-150.  
SUN G Q, DONG R B, PAN L Y, et al. Constructed wetland for wastewater treatment and its application in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 8(29): 144-150.
- [6] OPPELT E T. *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters* [M]. USA: US Environmental Protection Agency, 1999
- [7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.  
State Environmental Protection Administration. *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods*[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [8] 于荣丽, 孙铁珩. 多孔软性填料对乳品废水好氧生物降解过程中 COD 降解速率的影响[J]. *环境科学与管理*, 2007, 32(4): 113-115.  
YU R L, SUN T H. Impact of soft stuffing with pores on the COD removing rate in the aerobic biodegrading of milk produced wastewater[J]. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(4): 113-115.
- [9] 张增胜, 徐功娣, 陈季华. 生物净化槽/强化生态浮床工艺处理农村生活污水[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(9): 8-11.  
ZHANG Z S, XU G D, CHEN J H. Biological purification tank/enhanced ecological floating rafts process for treatment of rural domestic sewage [J]. *China Water & Wastewater*, 2009, 25(9): 8-11.
- [10] 田伟君, 郝芳华, 王超. 太湖典型入湖河道中氨氮去除研究[J]. *生态环境*, 2006, 15(6): 1138-114.  
TIAN W J, HAO F H, WANG C. Ammonia-nitrogen degradation in the typical streams entering Taihu Lake[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(6): 1138-114.
- [11] 邱光磊, 程建光, 向连城. 生物接触氧化工艺用于分散型污水处理的中试[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(5): 78-81.  
QIU G L, CHENG J G, XIANG L C. Pilot-scale test of biological contact oxidation process for decentralized wastewater treatment[J]. *China Water & Wastewater*, 2007, 23(5): 78-81.
- [12] FENG P Y, CHEN Z P, JING Y X. Review on constructed wetland and its mechanism of wastewater treatment [J]. *Ecol Sci*, 2002, 21(3): 264-268.
- [13] 江晨舟. 生物净化槽处理农村生活生活污水的机理研究[D]. 上海: 东华大学, 2010.  
JIANG C Z. Study on mechanism in rural domestic sewage by biological purification tank [D]. Shanghai: Dong-hua University, 2010.
- [14] 张文艺, 翟建平, 李琴. 以煤矸石为原料的水处理滤料的研制[J]. *材料科学与工艺*, 2008, 16(5): 659-663.  
ZHANG W Y, ZHAI J P, LI Q. Development of coal gangues based water treatment filter material [J]. *Materials Science and Technology*, 2008, 16(5): 659-663.