

生物滤池处理污染河水的中试研究

贾永志^{1,2}, 张建华², 吴义锋¹, 吕锡武¹, 蒋彬¹, 邓璐³

(1. 东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096 2 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029 3 河海大学 商学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 在新沂河沭阳段的滩地上建设了总处理能力为 $1\,050\text{ m}^3/\text{d}$ 的中试生物滤池, 3 个滤池分别填充粗 (60~80 mm)、中 (30~50 mm)、细 (10~20 mm) 三种粒径的填料, 并进行了为期 1 年多的试验研究。结果表明, 采用生物滤池处理新沂河水是可行的, 细、中和粗三种粒径的滤池对 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均去除率分别为 23%、15.5%、9.7% 和 80.3%、51.2%、33.7%, 硝化作用是生物滤池除氮的主要机制, 可生化性会影响对 COD_{Mn} 的去除效果。细粒径的滤池对污染物的去除效率最高, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 的平均去除率分别在 80% 和 20% 以上。影响污染物去除效果的主要因素有填料粒径、水力负荷、池长、停留时间、水温等, 细粒径的滤池去除污染物的效果受各种因素的影响较小, 可保持较高的去除率。为保证除污效果, 应使细粒径滤池的池长 $> 15\text{ m}$, 中、粗粒径滤池的池长 $> 30\text{ m}$ 。

关键词: 生物滤池; 污染河水; 填料粒径; 池长

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2009)19-0027-04

Pilot-scale Study on Treatment of Polluted River Water by Biological Filters

JIA Yong-zhi^{1,2}, ZHANG Jian-hua², WU Yi-feng¹, LV Xi-wu¹, JIANG Bin¹,
DENG Lu³

(1 School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096 China; 2 Water Resource Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029 China; 3 School of Business, Hohai University, Nanjing 210098 China)

Abstract A pilot-scale project with treatment capacity of $1\,050\text{ m}^3/\text{d}$ was constructed on the beach of Xinyi River near the Shuyang Bridge. The biological filters (BF) were filled by three fillers with large (60 to 80 mm), medium (30 to 50 mm) and fine (10 to 20 mm) sizes and experimented for more than one year. The results show that the BF technique is feasible to treat the polluted Xinyi River water. The average removal rate of COD_{Mn} by fine, medium and large fillers is 23%, 15.5% and 9.7%, and that of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ is 80.3%, 51.2% and 33.7% respectively. The nitrification is the main cause for the removal of nitrogen. Biodegradability can affect the removal rate of COD_{Mn} . The BF filled with fine fillers has the highest pollutant removal rates. The factors that affect the removal rates are the size of fillers, hydraulic loading, length of BF, hydraulic retention time (HRT) and water temperature. These factors have little effect on the BF filled with fine fillers, and the high removal rates are maintained. The length of the BF filled with fine fillers should be more than 15 meters while the length of BF filled with medium

fillers and large fillers should be more than 30 meters to ensure the pollutant removal efficiency

Key words biological filter (BF); polluted river water; size of fillers; length of filter

我国的河流污染问题较为严重,对污染河流开展生态修复较为迫切。但对于污染严重、可生化性较差的河流,传统的生物技术通常难以取得良好的污染物去除效果。

生物滤池 (BF) 集生物氧化过程与固液分离于一体,具有结构紧凑、处理效率高、占地面积小、基建及运行费用低、管理方便和抗冲击负荷能力强等优点^[1],被广泛用于污水厂出水的深度处理及水源水的预处理^[2]。虽也有应用于污染河水处理的报道,但规模普遍较小^[3,4],其应用于污染河水处理的主要问题是运行维护复杂和能耗较高。为此,笔者建设了生物滤池中试工程,研究了处理污染河水的适用性及其净化效果,以期为污染河水的处理提供技术指导。

1 中试生物滤池

在新沂河流阳段沭阳大桥附近的滩地上建设了生物滤池,滤池呈南北向布置,长为 32 m,其中滤池净长为 30 m,配水井和出水槽的长度均为 1 m;东西向共分三个滤池,宽均为 10 m,总宽为 30 m,每个滤池的面积为 300 m²,试验工程总面积为 900 m²。滤池填料选用建筑用石子,分为粗、中、细三种粒径,以钢丝筛筛选。三个滤池并排布置,中间由砖墙隔开,池底设计坡度为 2‰,在池长为 15 m 处设置曝气段。两池之间以及滤池底部均做防渗处理,防渗材料选择 1 mm 厚的聚乙烯,铺设在滤池底部并连接至隔墙中部。

滤池的总处理能力为 1 050 m³/d,粗、中、细三种粒径滤池 (分别简称为 LBF、MBF、FBF) 的设计处理水量分别为 500、300、250 m³/d,各池的水力负荷 < 2.0 m³/(m²·d),BOD₅ 容积负荷 < 50 gBOD₅/(m³·d)。其主要设计参数如表 1 所示,滤池剖面见图 1。

表 1 生物滤池主要设计参数

Tab 1 Main technological parameters of BF's

项目	填料直径 / mm	水力负荷 / (m ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹)	BOD ₅ 容积负荷 / (gBOD ₅ ·m ⁻³ ·d ⁻¹)
LBF	60~80	1.7	33.3
MBF	30~50	1.0	20.0
FBF	10~20	0.8	16.7

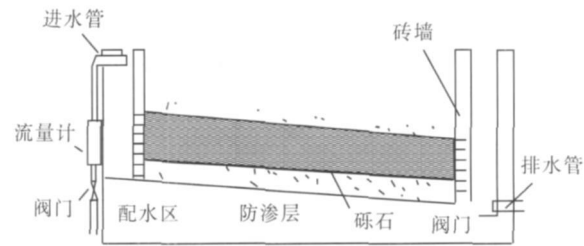


图 1 中试滤池剖面

Fig 1 Section map of BF's

为避免或延缓填料堵塞,采用集水池和配水井二级沉淀对原水进行预处理,使粒径较大的泥沙和悬浮物得到部分去除。集水池的尺寸为 5 m × 5 m × 3 m,配水井的尺寸为 10 m × 1 m × 0.8 m。采用孔砖推流式均匀布水,进、出水均由阀门控制,通过控制运行方式来延缓生物膜的脱落。

2 设计进水水质及分析方法

新沂河北偏泓污染河水的水质见表 2。

表 2 新沂河北偏泓河水水质

Tab 2 Water quality of Xinyi river

项目	pH	DO / (mg·L ⁻¹)	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮 / (mg·L ⁻¹)
平均值	7.8	7.6	65.3	12.9	4.63
最高值	7.8	12.7	182	38.7	13.3
最低值	7.6	0.5	19.8	2.7	0.16

为保证处理效果,设计进水浓度按最高值计算,其中 BOD₅ 取 40 mg/L。设计时按水力负荷进行计算,并以容积负荷率进行校核。生物滤池于 2002 年 2 月底建成后即通水试运行,并同步监测进、出水主要污染物浓度的变化情况。运行初期以小流量为主,以利于填料挂膜。通过进水流量计和阀门调节,使各滤池的进水流量均控制在 10 m³/h 左右 (水力停留时间约为 12 h),连续运行约 20 d 后出水水质逐步趋于稳定,遂进入正式运行期。

不同方案切换时,先调整进、出水流量,运行 6 h 后开始取样 (每天早、中、晚各取一次),每个方案下连续运行 10 d。工程于 2003 年 3 月 15 日开始正式运行,至 2004 年 10 月 30 日结束。

监测项目包括进出水流量、水温、pH、DO、COD_{Mn}、氨氮、SS 和 BOD₅。其中流量通过 LZB-50 玻璃转子流量计测量;pH 采用玻璃电极法测定;DO

采用化学探头法测定; COD_{Mn} 采用酸性高锰酸钾法测定; BOD_5 采用稀释与接种法测定; $\text{NH}_3 - \text{N}$ 采用纳氏试剂分光光度法测定; 硝酸盐氮采用酚二磺酸分光光度法测定; 亚硝酸盐氮采用分光光度法测定^[5]。

3 结果与讨论

3.1 对氨氮的去除效果

生物滤池对氨氮具有较好的去除效果, FBF、MBF、LBF对氨氮的平均去除率分别为80.3%、51.2%和33.7%。细粒径滤池对氨氮的去除率最高,且较为稳定,基本不受进水浓度的影响。当进水氨氮 $< 4 \text{ mg/L}$ 时,出水氨氮浓度可以稳定在 1 mg/L 以下。但进水氨氮浓度过低会影响去除效果,例如当进水氨氮 $< 1 \text{ mg/L}$ 时,其出水浓度并不会显著下降。

在好氧条件下,氨氮主要通过硝化作用被去除,即氨氮先由亚硝化菌氧化成亚硝酸盐氮,再由硝化菌进一步氧化成硝酸盐氮^[6]。对细粒径滤池中氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮浓度沿程变化的测定结果显示,沿水流方向随着氨氮浓度的下降,亚硝酸盐氮浓度先迅速上升,同时伴随着硝酸盐氮浓度的缓慢增加,待氨氮和亚硝酸盐氮浓度降至最低时,硝酸盐氮浓度则升至最高,表明硝化作用是生物滤池去除氨氮的主要机制。

3.2 对 COD_{Mn} 和 BOD_5 的去除效果

与去除氨氮相比,各生物滤池对 COD_{Mn} 的去除率相对较低,细、中、粗粒径滤池的平均去除率分别为23%、15.5%、9.7%,仍以细粒径滤池的去除率最高。对 COD_{Mn} 的去除率低,原因主要是该河水的可生化性较差,进水B/C仅为0.2左右。

细、中、粗粒径的生物滤池对 BOD_5 的平均去除率分别为78.53%、73.81%、65.67%。综上所述,在同等处理水量下,细粒径滤池的除污效果要明显高于中、粗粒径的,其对氨氮的平均去除率要比粗粒径滤池高40%以上,对 COD_{Mn} 和 BOD_5 的去除率高约15%。

3.3 水力负荷对去除氨氮的影响

细粒径滤池运行稳定后,将进水流量从 $8 \text{ m}^3/\text{h}$ 提升至 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 水力负荷分别为 $0.64, 1.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,比设计处理水量高一倍左右,但对氨氮的去除率仍能维持在80%以上,且波动幅度较小;而粗粒径滤池则对进水流量的变化反应敏感,去除率变

化很大,且难以稳定。这说明细粒径滤池的抗冲击能力强于粗粒径滤池,大流量下仍能维持较好的去除效果。

3.4 池长对脱氮效果的影响

试验结果表明,池长与氨氮浓度接近于指数关系, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度在开始时下降很快,越往后则下降的速率越慢。其中,细粒径滤池至20 m处氨氮浓度就已基本趋于稳定,而对于中、粗粒径的滤池,至池长为30 m处氨氮浓度仍未稳定,加大池长仍有进一步下降的空间。因此,中、粗粒径的滤池长度至少要大于30 m,才能达到较好的去除氨氮效果。

3.5 水力停留时间对脱氮效果的影响

监测显示,对污染物的净化效果与停留时间呈显著的正相关关系,即净化效果随着停留时间的延长而逐步提高。

对于细粒径生物滤池而言,停留时间达5 h就可取得较好的氨氮去除效果,平均去除率 $> 60\%$,再延长至15 h去除率仅增加约15%,之后逐步平稳。因此,细粒径滤池的最大停留时间应在15 h左右。对于中、粗粒径的滤池而言,去除率达到相对稳定所需的停留时间一般应在20 h左右。对 COD_{Mn} 的去除效果与停留时间的关系虽然不如氨氮的明显,但仍存在着去除率随停留时间的增加而提高的趋势,且停留时间达到15 h以后,细粒径滤池对 COD_{Mn} 的去除率基本趋于稳定。

3.6 水温对去除污染物的影响

不同温度下的除污效果对比见表3。

表3 不同季节生物滤池对污染物的去除效果

Tab.3 Pollutants removal rates in BF's in different seasons %

项目	FBF			MBF			LBF		
	COD_{Mn}	氨氮	BOD_5	COD_{Mn}	氨氮	BOD_5	COD_{Mn}	氨氮	BOD_5
冬季	16.8	64.6		8.3	18.5		6.4	8.2	
夏季	21.7	89.4	88.1	15.0	72.4	72.0	9.3	50.8	65.1

生物滤池净化污水所依赖的是其内部生长的微生物,因此温度对滤池的净化效果具有十分重要的作用^[7]。由表3可知,生物滤池的净化效果对水温的变化非常敏感,夏、冬两季的除污效果存在较大差异,但细粒径滤池在冬季对氨氮的平均去除率能稳定在60%以上,对 COD_{Mn} 的去除效果较差,但也能达到15%以上。粗粒径滤池对水温的变化较为敏感,冬季对 COD_{Mn} 和氨氮的去除率 $< 10\%$ 。其主要

原因是粗粒径填料与污水的接触效果较差,且保温性能不及细粒径滤池。

4 结论

① 生物滤池对新沂河水的净化效果明显,粗、中、细三种粒径滤池对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 的平均去除率为 30% ~ 80% 和 8% ~ 36%, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均去除率分别为 33.7%、51.2% 和 80.3%。硝化反应是去除氨氮的主要机制,生物滤池的硝化效果较好。受污染河水可生化性差的影响,生物滤池对 COD_{Mn} 的去除率相对较低。

② 细粒径滤料床受水力负荷变化的影响较小,而粗粒径滤料床则对进水流量的变化反应敏感,抗冲击能力低于细粒径滤料床。池长与氨氮浓度近似呈指数关系,增加滤池长度或延长水力停留时间均可以提高对污染物的去除率,细粒径滤池的长度为 15 m 左右时即可获得稳定的去除效果;而中、粗粒径滤池的长度则应大于 30 m。

③ 要取得较高的污染物去除效果,必须保证一定的水力停留时间,其中细粒径滤料床的水力停留时间应在 15 h 左右,中、粗粒径滤料床的则应控制在 20 h 左右。

④ 生物滤池的净化效果对温度较为敏感,但细粒径滤料床受温度的影响较粗、中粒径滤池的要小得多。

参考文献:

- [1] 马军,邱立平. 曝气生物滤池及其研究进展 [J]. 环境工程, 2002, 20(3): 7-11.
- [2] Chen J J, McCarty D, Slack D, *et al*. Full scale studies of a simplified aerated filter (BAF) for organic and nitrogen removal [J]. Water Sci Technol 2000, 41(4-5): 1-4.
- [3] 姚磊,叶正芳,倪晋仁,等. 固定化曝气生物滤池处理污染河水的中试研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(13): 20-23.
- [4] 程晓虎,程晓玲,刘明坤. 曝气生物滤池在污水再生利用中的应用 [J]. 给水排水, 2008, 34(1): 65-66.
- [5] 国家环境保护总局. 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.
- [6] 吕锡武,马春,陈俊. 粗滤慢滤工艺去除氨氮的实践与机制 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(4): 319-323.
- [7] 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, 2000.

作者简介: 贾永志 (1975-), 男, 蒙古族, 内蒙古赤峰人, 博士研究生, 主要从事水资源保护、水体生态修复的管理和研究工作。

电话: (025) 86338068 13951088688

E-mail: sw@yahoo.cn

通讯地址: 210029 江苏省南京市上海路 5 号江苏省水利厅水资源处

收稿日期: 2009-06-02

(上接第 26 页)

续的生物处理创造条件。由于臭氧预氧化工艺使 AOC 的增幅过大, 经生物活性炭处理后仍难以达到水质稳定性的要求。

③ 无论从对有机物的去除效果还是从提高水质生物稳定性的能力来看, 高锰酸钾预氧化/生物活性炭工艺均优于臭氧预氧化/生物活性炭工艺。

参考文献:

- [1] 鲁巍,姜登岭,张晓健. 配水管网中 AOC 与细菌再生长的关系 [J]. 中国给水排水, 2004, 20(5): 5-8.
- [2] Ham L J, Efrain sen H. Assimilable organic carbon in molecular weight fraction of natural organic matter [J]. Water Res 2001, 35(4): 1106-1110.
- [3] Kaplan L A, Bott T. Evaluation and simplification of the assimilable organic carbon nutrient bioassay for bacterial

growth in drinking water [J]. Appl Environ Microbiol 1993, 59(5): 1532-1539.

- [4] LeChevallier M W, Shaw N E, Kaplan L A, *et al*. Development of a rapid assimilable organic carbon method for water [J]. Appl Environ Microbiol 1993, 59(5): 1526-1531.
- [5] 马军,刘晓飞,王刚,等. 臭氧/高锰酸盐控制臭氧氧化副产物 [J]. 中国给水排水, 2005, 21(6): 12-15.

作者简介: 梁涛 (1979-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士研究生, 研究方向为饮用水深度处理技术。

电话: (0451) 86736650

E-mail: 354@163.com

收稿日期: 2009-04-10