

文章编号: 1673-9469(2012)01-0051-04

基于不同滤料的生物滤池处理污染湖水的研究

李思敏¹ 唐珍芳¹ 赵静霄¹ 李传龙²

(1. 河北工程大学 城市建设学院 河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学 水电学院 河北 邯郸 056038)

摘要: 在水温为 16~22℃、水力负荷为 5 m³/(m²·h)、气水比为 1.5:1 的条件下,对比了陶粒和 2 种不同粒径的活性炭、石英砂滤料的下向流生物滤池处理受污染湖水的效果。结果表明,活性炭滤池对 COD_{Mn}、NH₄⁺-N 和 TN 的去除效果优于石英砂滤池和陶粒滤池,且小粒径的活性炭滤池的除污效果优于大粒径活性炭滤池,小粒径炭滤池对浊度、COD_{Mn}、NH₄⁺-N 和 TN 的平均去除率分别为 84.45%、36.82%、84.55% 和 10.19%;石英砂滤池对浊度的去除效果优于活性炭滤池和陶粒滤池,且粒径小的优于粒径大的,小粒径砂滤池对浊度、COD_{Mn}、NH₄⁺-N 和 TN 的平均去除率分别为 87.91%、32.43%、78.25% 和 8.46%;陶粒滤料粒径大,除浊效果较差,其对浊度、COD_{Mn}、NH₄⁺-N 和 TN 的平均去除率分别为 75.63%、35.79%、80.06% 和 8.85%。

关键词: 生物滤池; 滤料; 浊度; COD_{Mn}; NH₄⁺-N; TN

中图分类号: X703

文献标识码: A

Study on different filter media bio-filter for polluted lake-water treatment

LI Si-min¹, TANG Zhen-fang¹, ZHAO Jing-xiao¹, LI Chuan-long²

(1. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. College of Hydraulic and Hydro-power, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: When the water temperature was 16~22℃, the hydraulic load was 5 m³/(m²·h) and the air-water ratio was 1.5:1, the pollutants removal effects of the polluted lake water through the down-flow biological filter with the ceramsite, the activated carbon of 2 different particle sizes and the quartz of 2 different particle sizes were compared. The results show that the removal of COD_{Mn}, NH₄⁺-N and TN by activated carbon filters were higher than quartz sand filters and ceramsite filter, and the purification efficiency of small particle filter was higher than that of the large particle filter. The average removal rates of turbidity, COD_{Mn}, NH₄⁺-N and TN by small particle activated carbon filter were 84.45%, 36.82%, 84.55% and 10.19%, respectively. The turbidity removal by quartz sand filters was better than activated carbon filter and ceramsite filter, and the removal efficiency of small particle was better than that of the large particle filter. The average removal rates of turbidity, COD_{Mn}, NH₄⁺-N and TN by small particle quartz sand filter were 87.91%, 32.43%, 78.25% and 8.46%, respectively. For the large particle diameter, ceramsite filter had lower turbidity removal, and the average removal rates on turbidity, COD_{Mn}, NH₄⁺-N and TN were 75.63%, 35.79%, 80.06% and 8.85%, respectively.

Key words: bio-filter; filter media; turbidity; COD_{Mn}; NH₄⁺-N; TN

收稿日期: 2011-11-30

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07314-009)

作者简介: 李思敏(1968-),男,陕西乾县人,教授,从事水及废水处理理论与技术方面的教学与研究工作。

随着社会经济的发展和城市化进程的加快,河流、湖泊水污染不断加剧,进而导致了城市河湖水体水质及水生态环境的持续恶化。生物滤池是将生物膜处理技术和过滤技术结合在一起的水处理技术,集生物降解、过滤、吸附于一体,具有去除SS、COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、脱氮除磷等作用^[1]。滤料作为生物滤池的重要载体,它的选择直接影响到整个工艺的运行效果。李亚新^[2]对生物砂滤池处理微污染原水中的氨氮、浊度和酚类等进行了静态研究;李德生等^[3]采用生物活性滤料和石英砂组成的双层滤料滤池,研究了其对受污染原水的氨氮、有机物等的去除效果;郑俊等^[4]的研究表明,生物陶粒滤池出水水质较火山岩滤池好,同时在滤池运行初期挂膜和反冲洗后恢复期方面优势明显。因此,选择处理高效、价格低廉的滤料,对生物滤池工艺的应用具有重要意义^[5-6]。本文选用了2种不同粒径的活性炭、两种不同粒径的石英砂和陶粒等5种不同滤料,对比考察了不同滤料的滤池对受污染湖水中的浊度、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和TN的去除效果。

1 材料及方法

1.1 原水水质

原水水质及分析方法如表1所示。

1.2 滤料

选用了2种不同粒径的活性炭、2种不同粒径

的石英砂和陶粒滤料,分别填充5个生物滤柱进行对比试验。滤料参数如表2所示。

1.3 试验装置

试验用5个滤柱结构及尺寸均相同,均由有机玻璃制成,截面面积为 $140\text{ mm} \times 140\text{ mm}$,总高度 2100 mm ,其中承托层高度 300 mm 、滤料高度 900 mm 、滤料以上过滤水头 900 mm 。1、2号滤柱装填不同粒径的活性炭滤料,3、4号滤柱中装填不同粒径的石英砂滤料,5号滤柱中装填陶粒滤料。每个滤柱沿程设取样口,上部设进水口和反冲洗排水口,下部设出水口和曝气口。其中1号装置示意图如图1所示。

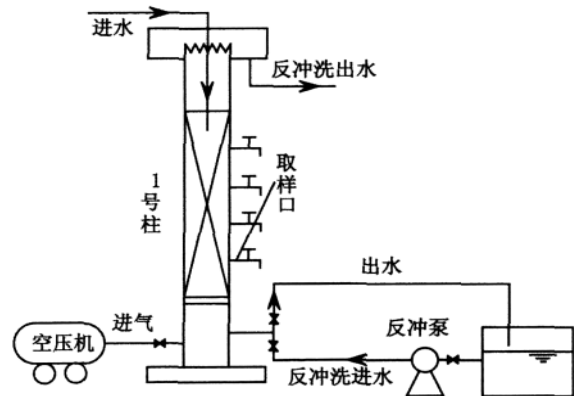


图1 试验装置

Fig.1 Schematic diagram of experimental setup

表1 原水水质及检测方法

Tab.1 Raw water quality and monitoring method

项目	范围	检测方法
水温/ $^{\circ}\text{C}$	16 ~ 22	水温度计法
pH值	6.6 ~ 7.8	玻璃电极法
浊度/NTU	5.3 ~ 18.2	浊度仪法
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.8 ~ 9.7	高锰酸钾法
$\text{NH}_4^+ - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.8 ~ 4.6	纳氏比色法
$\text{TN}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4.6 ~ 8.6	过硫酸钾氧化-紫外分光光度法

表2 滤料及参数

Tab.2 Parameters of filter media

柱号	滤料种类	粒径/mm	孔隙率/%	比表面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	干堆积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
1	活性炭1	0.8 ~ 1.2	63	900	0.82
2	活性炭2	1.3 ~ 2.2	59	780	0.80
3	石英砂1	1.2 ~ 2.0	41	1.1	1.45
4	石英砂2	0.8 ~ 1.2	43	1.4	1.56
5	陶粒	3.0 ~ 5.0	53	4.3	0.90

试验采用穿孔管曝气,反冲洗方式采用气-水联合反冲洗,反冲洗过程及操作参数为:单独气洗 1.5 min,气洗强度 $14 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;气-水联合冲洗 3 min,气洗强度 $10 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水洗强度 $18 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;单独水洗 3 min,强度 $20 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;1、2号滤柱反冲洗周期为 96 h,3、4号滤柱反冲洗周期为 72 h,5号滤柱反冲洗周期为 120 h。

2 结果与讨论

当原水 pH 值为 6.6 ~ 7.8、水温为 16 ~ 22℃、水力负荷为 $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、气水比为 1.5:1 时,分别考察了 5 个滤柱稳定运行时对浊度、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 的去除效果。

2.1 对浊度的去除效果

各滤柱对浊度的去除率如图 2 所示。

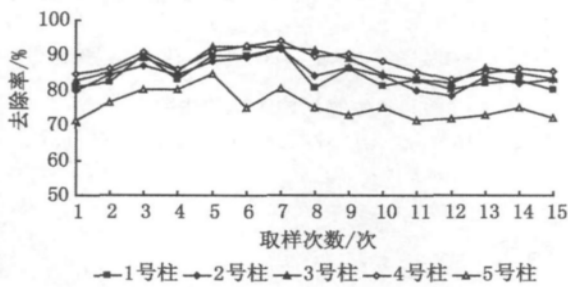


图2 生物滤柱对浊度的去除率

Fig. 2 Turbidity removal efficiency by bio-filters

由图 2 可知,生物滤池对浊度有很好的去除效果。在进水浊度为 5.3 ~ 18.2 NTU 时,1 ~ 5 号滤柱对浊度的去除率分别为 80.1% ~ 91.87%、78.3% ~ 91.59%、82.1% ~ 92.56%、83.1% ~ 94.02% 和 71.3% ~ 84.6%,平均去除率分别为 84.45%、84.26%、87.02%、87.91% 和 75.63%。生物滤柱对浊度的去除主要是依靠滤料的截留和吸附作用,另外滤料上生物膜的吸附及粘附作用等对浊度也有一定的去除效果。通过对比发现,石英砂滤料的除浊效果较好,同种滤料小粒径的对浊度的去除效果优于大粒径的,这是由于小粒径的滤料空隙率小、截留作用更加充分。结果显示 4 号柱的除浊效果最佳,这是因为 4 号滤柱石英砂滤料粒径较小,且比重大、空隙率小,因而滤料对悬浮物的物理截留较充分。由于 5 号柱的陶粒滤料粒径较大,导致部分悬浮物未被截留而直

接随出水流动,因而除浊效果较差。试验发现,水力负荷对浊度的去除效果影响较小,原水的浊度直接影响浊度的去除率,原水浊度高时的除浊率高于低浊度时的除浊率。

2.2 对 COD_{Mn} 的去除效果

各滤柱对 COD_{Mn} 的去除率如图 3 所示。

由图 3 可知,当进水 COD_{Mn} 在 3.8 ~ 9.7 mg/L 时,1 ~ 5 号滤柱对 COD_{Mn} 的去除率分别为 31.44% ~ 41.97%、29.77% ~ 38.79%、26.33% ~ 33.89%、28.41% ~ 34.86% 和 31.7% ~ 39.85%,平均去除率分别为 36.82%、35.05%、30.63%、32.43% 和 35.79%。可见,活性炭对 COD_{Mn} 的去除效果较好,陶粒次之,石英砂相对较差。这是因为,降解 COD_{Mn} 主要依靠滤料上附着的生物膜,因此单位滤料体积的微生物量越多,对 COD_{Mn} 的去除效果越好。1、2 号滤柱中装填的活性炭滤料因其比表面积大,因而附着生长的生物量较多。

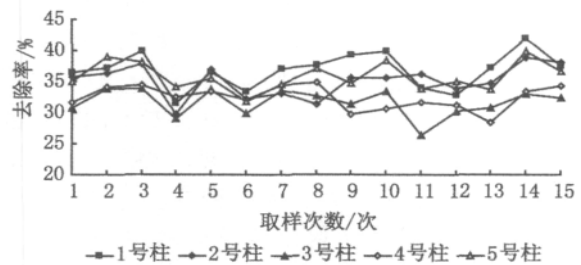


图3 各生物滤柱对 COD_{Mn} 的去除率

Fig. 3 COD_{Mn} removal efficiency by bio-filters

同时由于活性炭滤料有较大的孔隙率和较高的粗糙度,因此反冲洗后生物活性恢复较快,去除效果较好(因试验中活性炭滤料不是新料,其吸附能力已经趋于饱和,所以吸附性能不予考虑)。5 号滤柱陶粒滤料粒径较大、空隙率大、比表面积较大,对大分子有机物具有很强的吸附作用,因此对 COD_{Mn} 也有较强的去除效果。石英砂滤柱中,由于滤料孔隙率较小,滤柱中生物量相对活性炭滤柱、陶粒滤柱较少,因而去除效果较差。同种滤料,粒径小的比表面积较大,因而其对 COD_{Mn} 的去除效果略好于大粒径的。试验同时发现,石英砂滤料由于密度较大,长期处于过滤状态后滤柱水头损失增长较快,因而反冲洗周期较短。

2.3 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

各滤柱对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率如图 4 所示。

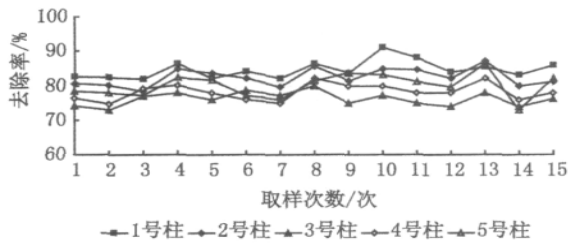


图4 各生物滤柱对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率

Fig. 4 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal efficiency by bio-filters

由图 4 可知,生物滤池对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 有较好的去除率。这是因为硝化菌属好氧自养菌,试验中滤柱内曝气充足,且气水两相逆向流动提高了氧的利用率,因此对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果较好。当进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在 1.8 ~ 4.6 mg/L 时,1 ~ 5 号滤柱对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率分别为 81.74% ~ 91.15%、78.38% ~ 87.16%、73.12% ~ 80.24%、74.62% ~ 82.13% 和 72.85% ~ 86.25%,平均去除率分别为 84.55%、82.40%、76.23%、78.25% 和 80.06%。观察对不同粒径的活性炭滤料和石英砂滤料发现,小粒径滤料对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率大于大粒径的。这是因为小粒径滤料较大粒径滤料比表面积大,可附着的生物量多,因而对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除较为充分。活性炭对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果较好,陶粒次之,石英砂较差。这主要是因为活性炭表面积大、附着的生物膜多,增大了微生物与污染物接触;陶粒滤料质轻、粒径大、空隙率大,增强了溶解氧的传质作用,硝化性能良好;石英砂比重较大,滤料内空气流动性差,反冲洗不及时会存在气体短流现象,从而影响氧的传质效率,都将降低 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果。

2.4 对 TN 的去除效果

各滤柱对 TN 的去除率如图 5 所示。

图 5 结果表明,生物滤池对 TN 有一定的去除效果。当进水 TN 浓度为 4.6 ~ 8.6 mg/L 时,1 ~ 5 号滤柱对 TN 的去除率分别为 8.24% ~ 11.59%、8.08% ~ 11.24%、6.47% ~ 9.52%、6.83% ~ 10.14% 和 7.21% ~ 10.84%,平均去除率分别为 10.19%、9.69%、7.91%、8.46% 和

8.85%。可见,活性炭对 TN 去除效果最好,陶粒次之,石英砂较差;对于同种滤料,小粒径滤料的去除效果优于大粒径的。生物滤柱对 TN 去除效果较差,主要是由于原水中污染物浓度较低,在这种好氧贫营养环境中滤料表面所形成的生物附着膜厚度较薄,再加之水中溶解氧浓度较高、C/N 较低,因而限制了反硝化细菌的生长和繁殖。因此,为达到更好的脱氮效果,可根据反硝化细菌生长的环境特点,考虑在现有的生物滤池前(或滤池后)加设缺氧柱,并适当投加碳源,如甲醇^[8]。通过改善滤池环境和碳氮比,从而改善滤池对 TN 的去除效果。

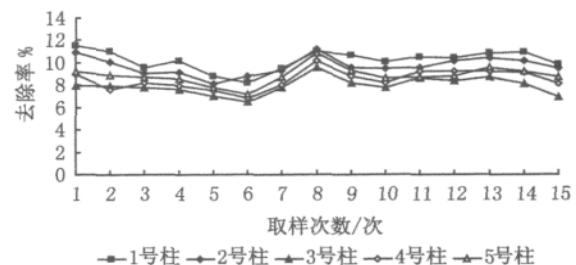


图5 各生物滤柱对 TN 的去除率

Fig. 5 TN removal efficiency by bio-filters

3 结论

1) 活性炭滤池对原水的浊度、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 相对具有较好去除效果,小粒径活性炭滤池生物除污效果最好,对上述指标的平均去除率分别为 84.45%、36.82%、84.55% 和 10.19%。

2) 石英砂滤池对浊度的去除效果较好,但 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 的处理效果较活性炭滤池差,小粒径的石英砂滤池对浊度、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 的平均去除率分别为 87.91%、32.43%、78.25% 和 8.46%。

3) 陶粒滤料由于粒径较大,空隙率大,因此对浊度的去除率较差,对浊度、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 的去除率分别为 75.63%、35.79%、80.06% 和 8.85%。

4) 石英砂滤料除浊效果好,在微污染景观湖水的生物过滤处理中可以满足有机物及 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的处理要求,成本较活性炭低廉,采用石英砂滤料即可取得良好的水质改善效果。

(下转第 61 页)

口水温平均值、测量功率、岩土综合导热系数等因素影响,其中岩土综合导热系数影响最重要,其每增加 $1\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 换热量增量均值是 $2\ 500\text{ W}$;其次是进出口水温平均值的影响,其每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,换热量约变化 250 W ;最后是测试功率的影响,功率变化 1 W 地源测埋管换热量变化 0.71 W 。

参考文献:

- [1] 方亮,张方方,方肇洪,等. 关于埋管换热器热响应试验的讨论[J]. 建筑热能通风空调,2009,28(4): 48-51.
- [2] STEPHEN P, KAVANAUGH. Field tests for ground thermal properties methods and impact on groundsource heat pump design[J]. Ashrae Transactions, 1992, 98(2): 607-6151.
- [3] CARSLAW H S, JAEGER J C. Conduction of heat in solids[M]. Oxford: Oxford University Press, 1959.

- [4] INGERSOLL L R, ZOBEL O J, INGERSOLL A C. Heat conduction with engineering geologica and other application[M]. New York: McGraw-Hill Co., 1948.
- [5] 张燕. U型埋管换热器动态模拟[D]. 成都: 西华大学, 2011: 6-15.
- [6] 陈旭,范蕊,马宏权,等. 竖直埋管单位井深换热量影响因素回归分析[J]. 制冷学报, 2010, 31(2): 11-16.
- [7] 李元科. 工程最优化设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 115-117.
- [8] 于明志,方肇洪. 现场测试地下岩土平均热物性参数方法[J]. 热能动力工程, 2002, 17(5): 34-37.
- [9] 赵进,王景刚,高晓霞,等. 地源热泵土壤热物性测试与分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2010, 27(1): 59-60
- [10] GB 50366-2005, 地源热泵系统设计规范[S].

(责任编辑 马立)

(上接第54页)

参考文献:

- [1] 孟繁丽,李亚峰,贾新军. 曝气生物滤池内的短程硝化研究[J]. 工业安全与环保, 2008, 34(9): 19-22.
- [2] 李亚新,侯建荣. 生物砂滤池处理微污染源水净化新工艺特性研究[J]. 给水排水, 1997, 2(7): 6-9.
- [3] 李德生,黄晓东,王占生. 微污染水净化新工艺-生物强化过滤研究[J]. 中国给水排水, 2000, 16(10): 18-20.
- [4] 郑俊,吴浩汀. 曝气生物滤池工艺的理论工程应用[M]. 化学工业出版社, 2005

- [5] 严子春,龙腾锐,何强. 曝气生物滤池及其处理效能因素分析[J]. 水处理技术, 2005, 31(5): 27-29.
- [6] 蔡苇,肖文胜,郭建林. 曝气生物滤池中用不同滤料处理生活污水的研究[J]. 工业安全与环保, 2010, 30(9): 21-22.
- [7] 刘莉,代纯伟. 哈尔滨群力污水处理厂工艺调试及优化调整[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(5): 364-367.
- [8] 李思敏,缪保芬,李中巍,等. 气水比对生物砂滤工艺处理二级出水的影响[J]. 中国给排水, 2010, 26(11): 100-103.

(责任编辑 马立)