

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.01101

生物膜与人工湿地技术治理河道污水试验研究

赵立敏, 张艳红, 张克宁

(河北水务集团, 石家庄 050011)

摘要: 选择滹沱河下游的深泽县河滩地为试验场地, 建成5个污水处理单元, 包含生物膜与人工湿地形式两种污水处理方式, 进行河道污水处理试验研究。通过对各试验单元在不同水力停留时间(1 d、3 d、5 d、7 d)时的污水净化效果分析, 可以得出, 各试验单元对 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 净化效果最好, COD_Cr 次之, 对 TP 、 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 、 TN 的去除率较低; 单元 $\tilde{\text{N}}$ 对各污染物指标的去除效果最好, 其次是单元 $\hat{\text{O}}$ 和单元 $\bar{\text{O}}$, 单元 $\hat{\text{O}}$ 与单元 $\bar{\text{O}}$ 的净化效果最差; 各试验单元对 TP 、 TP 、 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 的去除率偏低。研究发现, 炉渣和泡沫混凝土砖块可以较广泛地用于污水治理。

关键词: 河道污水; 生物膜技术; 人工湿地; 基质; 水力负荷

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)01-0101-03

Experimental Study of River Sewage Treatment using Biological Membrane and Artificial Wetland Technology

ZHAO Li min, ZHANG Yan hong, ZHANG Ke ning

(Hebei Water Group, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: In this paper, the experiments of river sewage treatment were conducted in the overflow land in Shenze County downstream of the Hutuo River. Five sewage treatment units were developed, and two methods of sewage treatment were applied including biological membrane and artificial wetland. According to the analysis of the effects of sewage purification under different hydraulic detention time periods (1 d, 3 d, 5 d, and 7 d) in each experimental unit, all the experimental units had the best sewage purification results for $\text{NO}_3^- \text{N}$, moderate results for COD_Cr , and the poorest results for TP , $\text{NH}_4^+ \text{N}$, and TN . In terms of each experimental unit, the unit I had the best sewage purification results for all contaminant indexes, followed by the unit II and unit V. The unit III and unit IV had the poorest sewage purification results. The results suggested that the slag and foamed concrete blocks can be used widely for sewage treatment.

Key words: river sewage; biological membrane technology; artificial wetland; stroma; hydraulic load

水是人类赖以生存的重要物质条件之一, 长期以来, 人类对水的不合理使用和工农业用水的严重污染, 使大量的污水被排入到河道内, 带来了严重的河道污染问题, 呈现出脏、乱、差、臭的恶劣环境^[1]。水体污染使人类可利用的水资源逐年减少, 华北地区水资源危机更是突出, 在这种形势下, 南水北调工程应运而生。但是, 大量外源水的调入, 将会产生更多的工业污水、生活污水以及污水处理厂排放的水, 这些污染水体最终会被排入河道, 带来河道污染, 破坏沿岸生态环境, 影响沿岸居民正常生活和生产, 限制区域经济的发展, 因此迫切需要对污染河道进行治理。

目前在国内外河道污水治理方式中, 常见的治理方式有: 河道曝气技术、人工浮岛技术、投菌法、混凝法、氧化还原法、生物膜技术、人工湿地技术等^[2-3]。本文针对滹

沱河下游河道实际情况, 选择深泽县河滩地, 通过试验, 分析了生物膜技术和表面流人工湿地技术对河道污水的净化效果, 为河道污染治理方案的设计提供第一手试验数据参考。

1 试验设计

1.1 试验装置

试验装置由配水池和5个污水处理单元组成, 配水池设有污水溢流口, 各处理单元编号依次为 $\tilde{\text{N}}$ 、 $\hat{\text{O}}$ 、 $\bar{\text{O}}$ 、 $\hat{\text{O}}$ 、 $\bar{\text{O}}$ 。其中, $\tilde{\text{N}}$ 、 $\hat{\text{O}}$ 利用生物膜技术净化污水; $\hat{\text{O}}$ 和 $\bar{\text{O}}$ 为表面流人工湿地; $\bar{\text{O}}$ 是空白对照。试验装置底部均水平设计, 底部用加厚的聚氯乙烯薄膜防渗, 进水口用LXS型旋翼湿式水表控制流量。各处理单元和选用基质的物理性质见表1。

收稿日期: 2012-05-15 修回日期: 2012-07-03 网络出版时间: 2013-01-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130124.1131.016.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费专题“滦河水电湿地高效利用技术研究与工程示范”(200901071)

作者简介: 赵立敏(1958-), 男, 河北唐山人, 教授级高级工程师, 主要从事水利工程规划设计与水资源保护研究。E-mail: 18931886966@qq.com

表 1 处理单元物理性质

Table 1 The physical properties of each unit

| 名称 | \tilde{N} | $\hat{0}$ | $\acute{0}$ | $\grave{0}$ | $\check{0}$ |
|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 单元体积(长×宽×深)/m | 4.2×0.7×0.5 | 4.2×0.7×0.5 | 4.2×0.7×0.5 | 4.2×0.7×0.5 | 4.2×0.7×0.5 |
| 处理方式 | 蒸压泡沫混凝土砖块+ 炉渣 | 爆破海绵 | 空白对照 | 沙子+ 蒲草 | 沙子+ 水葱 |
| 单元内污水(%) | 51 | 91.6 | 100 | 54 | 54 |

1.2 试验方法

试验于 2011 年 9 月 21 日- 2011 年 10 月 22 日进行。在试验正式开始前, 装置已经试运行一周, 处理单元 \tilde{N} 、 $\hat{0}$ 内可观测到大量微生物附着在基质表面, $\acute{0}$ 、 $\grave{0}$ 内植物生长良好。试验期间, 采用连续进水方式, 试验水体由进口自流进入处理单元, 净化后的水体直接排到下游。试验设定 4 个不同水力停留时间, 相应工况的水力停留时间为 1 d、3 d、5 d、7 d, 表 2 显示了不同工况下各单元的水力负荷。在每个工况稳定后的第 3~ 5 d 内监测试验水体的水温、溶解氧、酸碱度的变化, 并取水样。试验期间无较大的雨量, 试验结果可靠。

表 2 不同工况下的水力负荷

Table 2 The hydraulic loads under different working conditions

| 工况 | (m ³ /d) | | | | |
|-----|---------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 单元 \tilde{N} 流速 | 单元 $\hat{0}$ 流速 | 单元 $\acute{0}$ 流速 | 单元 $\grave{0}$ 流速 | 单元 $\check{0}$ 流速 |
| 1 d | 0.75 | 1.35 | 1.47 | 0.80 | 0.80 |
| 3 d | 0.25 | 0.45 | 0.49 | 0.27 | 0.27 |
| 5 d | 0.15 | 0.27 | 0.29 | 0.16 | 0.16 |
| 7 d | 0.11 | 0.19 | 0.21 | 0.114 | 0.114 |

1.3 试验水体和测定方法

滹沱河段供试验水体来源主要包括: 生活污水、工业废水。其中工业废水有: 造纸、化肥、印染、制革、制皂、淀粉等企业的废水, 供试验水体水质(均值)见表 3。

表 3 试验水体水质

Table 3 Experimental water quality

| 名称 | mg/L | | | |
|--------------------------------|-------|--|--|--|
| COD _{Cr} | 268.6 | | | |
| T-N | 46.1 | | | |
| T-P | 0.7 | | | |
| NH ₄ ⁺ N | 40.8 | | | |

试验中对污染水体的 pH 值、溶解氧、水温、COD_{Cr}、T-P、T-N、NH₄⁺N 等进行了监测, 各项水质指标分析方法均参照《水和废水监测分析方法(第四版)》中的标准。其中水温、溶解氧、pH 值选用电化学探头法监测; COD_{Cr}、T-P、T-N、NH₄⁺N 分别用重铬酸钾法、过硫酸钾氧化分光光度法、钼锑抗分光光度法、纳氏试剂分光光度法检测。

2 水质净化效果分析

试验期间通过对水体的温度、pH 值和溶解氧进行监测, 发现在试验前期, 试验水体水温较高, 可以达到 20 ℃, 到了试验后期, 水温降低至 15 ℃左右; 单元 \tilde{N} (炉渣+ 泡沫混凝土砖块) 的 pH 值(9.70 左右) 较高, 其他 4 个试验单元的 pH 值观测值均在 8.1~ 8.7 之间; 此时段各单元出水口的溶解氧值稳定, 均保持在 0.3~ 0.5 mg/L 之间。

2.1 COD_{Cr} 的去除效果

COD_{Cr} 是表示水体中还原性物质含量的一个指标。水中的还原性物质包括各种有机物、亚硝酸盐、亚铁盐、硫化物等, 主要是有机物的含量。因此, COD_{Cr} 常常作为衡量水体中有机物含量多少的指标, COD_{Cr} 值越大, 说明水体受有机物的污染越严重。

图 1 是不同的水力停留时间下, 供试验水体中 COD_{Cr} 的去除率曲线。由图可见, 5 个处理单元对 COD_{Cr} 去除率都是随着水力停留时间的延长而逐渐提高。其中单元 \tilde{N} 的去除效果明显好于其他 4 个单元, 在水力停留时间为 1 d 时, COD_{Cr} 的去除率就达到 36.1%, 水力停留时间为 7 d 时, 去除率为 65.8%; 单元 $\hat{0}$ (爆破海绵) 的处理效果次之, 在 4 个不同水力停留时间下, COD_{Cr} 去除率分别达到 27.7%、39.0%、48.1%、58.4%; 单元 $\acute{0}$ (蒲草湿地) 和单元 $\check{0}$ (水葱湿地) 在水力停留时间为 7 d 时去除率分别达到 49.3%、55.7%, 可以看出, 蒲草对 COD_{Cr} 去除效果较差; 单元 $\grave{0}$ (空白) 在水力停留时间为 7 d 时, 去除率也达到 50.3%。

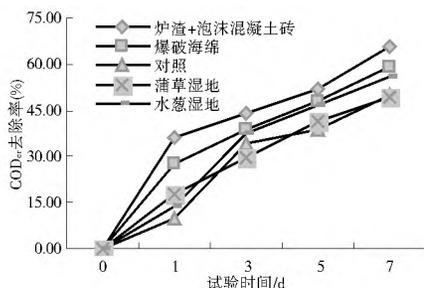


图 1 各单元对 COD_{Cr} 的去除率

Fig. 1 The removal rates of COD_{Cr} of each unit

2.2 T-N 的去除效果

污水中的氮主要以有机氮和无机氮两种形式存在, 有机氮在异养微生物作用下转化为氨氮; 无机氮在植物生长过程中可以直接被植物摄取, 合成植物蛋白质等, 从系统中去除。无机氮主要去除途径是通过微生物的硝化、反硝化作用完成。从图 2 可以得到, 5 个不同单元对 T-N 去除率均随着水力停留时间的延长不断提高, 在停留时间为 7 d 时去除率达到最高值。单元 \tilde{N} (炉渣+ 泡沫混凝土砖块) 在基质的过滤、沉淀和生长在表面的微生物的综合作用下, T-N 的去除效果略高于其他单元, 在水力停留时间为 1 d、3 d、5 d、7 d 时, 去除率分别为 15.3%、28.7%、42.9%、49.4%; 单元 $\hat{0}$ (蒲草湿地)、单元 $\check{0}$ (水葱湿地) 和单元 $\acute{0}$ (爆破海绵) 对 T-N 的净化作用较差, 试验最高时的去除率分别为 44.5%、46.3% 和 41.1%; 单元 $\grave{0}$ (空白) 对 T-N 的去除率最低, 其相应的水力停留时间去除率分别为 16.1%、22.4%、30.8%、34.9%。

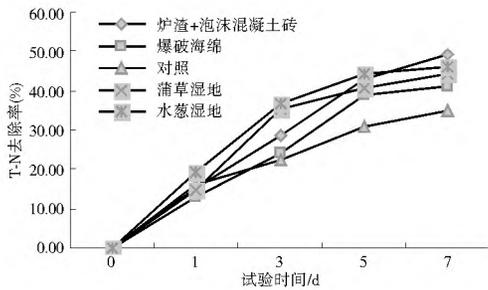


图2 各单元对T-N的去除率

Fig. 2 The removal rates of T-N of each unit

2.3 T-P 的去除效果

图3是各单元对T-P的去处效果曲线。由图可得出,单元N(炉渣+泡沫混凝土砖块)对T-P的处理效果较好,T-P去除率分别达到14.3%、28.6%、42.9%、57.1%。其他4个单元对T-P的去除效果较差,在停留时间1d时的去除率基本为0,7d时的去除率为:28.5%、28.5%、42.9%、42.9%。试验结果表明:炉渣+泡沫混凝土砖块对T-P的去除效果较明显,这与基质本身的性质有很大关系,基质中钙、铁和铝元素含量的多少直接影响到磷的去除率,污水中的磷易与铁、铝等元素结合,形成难溶性的磷酸盐沉淀,从而被去除。

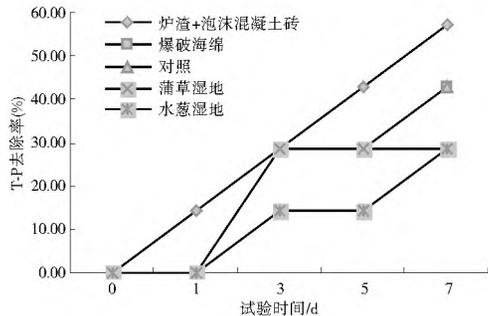


图3 各单元对T-P的去除率

Fig. 3 The removal rates of T-P of each unit

2.4 NH₄-N 的去除效果

工业污水、生活污水中都含有NH₄-N。一般情况下,污水中的有机氮被微生物分解为无机氮,故无机氮的去除更加受到关注,去除氨氮的影响因素很多,主要受到基质、微生物和水生植物这3种要素的影响。

无机氮是植物生长不可缺少的物质,可以直接被植物吸收,但吸收利用的比例较小,无机氮主要的去除途径是通过微生物作用完成^[4]。图4为NH₄-N的去除效果曲线,图中曲线在0~3d时,NH₄-N的去除率增长较快,处理时间在3~7d时去除率增长开始放慢。由试验结果得出:单元O(水葱湿地)对NH₄-N的去除率略高,在相应水力停留时间时,去除率分别达到17.6%、38.5%、45.4%、46.6%;单元N(炉渣+泡沫混凝土砖块)和单元O(蒲草湿地)在水力停留时间为7d时,NH₄-N的去除率达到42.0%左右;单元O(爆破海

绵)和单元O(空白对照)对NH₄-N的处理效果最差,去除率最高时只达到39.0%和35.6%。

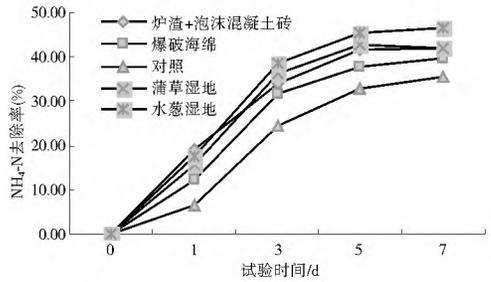


图4 各单元对NH₄-N的去除率

Fig. 4 The removal rates of NH₄-N of each unit

3 结论

通过对并联试验单元在不同水力停留时间(1d、3d、5d、7d)时的污水净化效果分析,可以得出以下讨论。

(1) 各并联试验单元对COD_{Cr}的净化效果最好,对T-P、NH₄-N、T-N的去除率较低。

(2) 比较5个单元的污染物去除率,可以看出,单元N对各污染物指标的去除效果最好,而且对污染物的浓度变化有较强的适应能力。其次是单元O和单元O,单元O与单元O的净化效果最差。

(3) 各试验单元对T-N、T-P、NH₄-N的去除率偏低,在今后的相关污水净化试验时,应适当延长水力停留时间,提高污染物去除率。

(4) 作为生活中常见的废弃材料,炉渣和泡沫混凝土砖块对NH₄-N的去除率较高,且价格便宜,可以较广泛地用于污水治理。

参考文献(References):

[1] 周钰林. 城市河道整治与水生态修复工作的若干思考[J]. 水利发展研究, 2006, (11): 26-27. (ZHOU Yu lin. Reflections on City River Harnessing and Water Ecological Restoration Work [J]. Water Resources Development Research, 2006, (11): 26-27. (in Chinese))

[2] 张捷鑫, 吴纯德, 陈维平, 等. 污染河道治理技术研究进展[J]. 生态科学, 2005, 24(S2): 178-181. (ZHANG Jie xin, WU Chur de, CHEN Wei ping, et al. Recent Advances of the Technology for Polluted River Treatment [J]. Ecologic Science. 2005, 24(S2): 178-181. (in Chinese))

[3] 邓耀明. 污染河道治理技术的研究进展[J]. 环境科技, 2009, 22(S2): 90-93. (DENG Yaoming. Research and Development of Techniques for Polluted Reviver [J]. Environmental Science and Technology, 2009, 22(supp.): 90-93. (in Chinese))

[4] 王世和. 人工湿地污水处理理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006, 43-50. (WANG Shi he. Theory and Technology of Artificial Wetland Wastewater Treatment [M]. Bei Jing: Science Press, 2006, 43-50. (in Chinese))