

转盘转速对生物净化沉淀池除污效能的影响研究

白居易¹, 郑杰¹, 马翠¹, 刘荟¹, 王文东^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安交通大学
人居环境与建筑工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 将生物转盘和平流式沉淀池相结合, 开发出对水中致浊物质、有机物、氨氮和 TP 具有同步去除性能的一体式生物净化沉淀池, 考察了转盘转速对其除污效能的影响。结果表明, 在特定的进水水质和水力负荷条件下, 随着转盘转速的增加, 有机物和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率均先上升后下降, 并分别在转速为 5.0 和 4.0 r/min 时达到最大; 系统对 TP 的去除效果相对稳定, 当转速 < 7.0 r/min 时, TP 去除率基本稳定在 52.7% ~ 56.2% 之间。高转速条件下, 系统对有机物、氨氮和 TP 的去除能力下降, 这可能与过快的旋转引起沉淀区污泥的扰动有关; 另外, 增加转盘转速也不利于系统中悬浮物质的沉降, 控制转速在 7.0 r/min 以下, 浊度去除率可稳定在 75.5% ~ 77.1% 之间。

关键词: 生物转盘; 沉淀池; 微污染水体; 转速

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)07-0042-05

Effect of Rotary Speed on Pollutants Removal in an Integrated Biological Purification and Settling Tank

BAI Ju-rong¹, ZHENG Jie¹, MA Cui¹, LIU Hui¹, WANG Wen-dong^{1,2}

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Combining the design concept of rotating biological contactor and settling tank, a hybrid biological purification and settling tank was developed to achieve simultaneous removal of turbidity causing materials, organic matters, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TP, and the effect of rotary speed on pollutants removal was investigated. Experimental results showed that under certain hydraulic loading rate and water quality, the removal rates of both organic matters and $\text{NH}_3 - \text{N}$ increased first and then decreased as the increase of rotary speed, and the highest values were achieved at 5.0 r/min and 4.0 r/min, respectively. The removal rate of TP was relatively stable, in the range of 52.7% - 56.2% with a rotary speed below 7.0 r/min. The decreased removal rates of organic matters, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TP at high rotary speed was probably related to sludge disturbance of the precipitation area caused by fast rotation. Additionally, increasing rotary speed was not conducive to settlement of suspended matter in the system. The removal rate of turbidity was in the range of 75.5% to 77.1% when the rotary speed was below 7.0 r/min.

Key words: rotating biological contactor; settling tank; micro-polluted water; rotary speed

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21007050); 陕西省重大科技成果转化引导专项(2016KTCG01-17); 陕西省青年科技新星项目(2014KJXX-66)

随着我国经济的发展和城市人口的日益集中,众多河流受到污染,丧失了饮用水源的功能和作用。但在当前水资源严重短缺的形势下,微污染水源水仍将是重要的水源水。然而,现有以混凝/沉淀/过滤/消毒为代表的传统净水工艺对有机物和氮、磷等溶解性污染物的去除效果十分有限,易引起微生物在管网中的二次繁殖,存在生物安全风险。为此,许多学者根据微污染水源水质特点及供水水质要求提出了各种优化净水工艺,主要包括强化常规处理、预处理和深度处理工艺^[1~3]。生物转盘技术因具有生物量大、生物相分级、抗冲击负荷能力强、污泥量少、动力消耗低、维护管理方便等优点^[4,5],目前已被广泛研究和应用。与生物转盘工艺相比,平流式沉淀池具有相近的水力停留时间,但污染物去除功能相对单一。笔者结合两种工艺的特点,提出了一体式生物净化沉淀技术,并通过小试探讨了该技术在不同转盘转速下对微污染水源水中浊度、有机物、氨氮和TP的去除规律,以期对微污染水源水的处理和现有饮用水净化工艺的改造提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验用水

试验用水取自西安市主要供水水源即黑河水库以及校园污水排放口,其中,校园污水用量约占试验总用水量的7%。试验期间水温为27~35℃,水质指标如下:pH值为6.6~7.2(均值为6.9),浊度为7.60~7.74 NTU(均值为7.67 NTU),TOC为4.40~4.45 mg/L(均值为4.43 mg/L),氨氮为1.00~1.30 mg/L(均值为1.20 mg/L),TP为0.14~0.15 mg/L(均值为0.145 mg/L)。

1.2 试验装置

试验用一体式生物净化沉淀装置如图1所示,主体材质为有机玻璃,尺寸为400 mm×110 mm×100 mm,总容积为4.4 L,分为上、下两个功能区,上部为转盘区、下部为沉淀区。转盘区采用单轴单级的连接方式,盘片直径在100 mm左右,浸没面积占盘片总面积的40%;转轴贯穿盘片形心,并固定在两端支架上。试验用水经混凝处理后进入一体式生物净化沉淀装置。混凝条件如下:向原水中投加5.0 mg/L的聚合氯化铝(PACl),然后依次在200 r/min的搅拌强度下反应1.0 min、在50 r/min的搅拌强度下反应15 min。混凝出水在装置上部与转盘表面的生物膜接触,转盘区老化脱落的生物膜连同混凝絮

体进入下部沉淀区,定期排放。

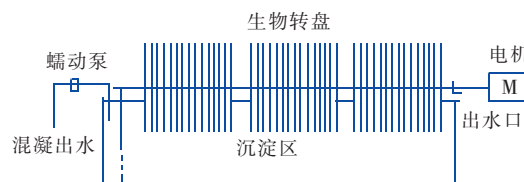


图1 试验装置流程

Fig.1 Flow chart of experimental system

1.3 试验方法

装置挂膜成功后,在连续稳定运行条件下逐次改变生物转盘的转速,每次改变后均留有1~2周的观察期。待系统再次稳定后,连续监测进出水的浊度、TOC、NH₃-N和TP浓度,后续在特定转速条件下所得的浊度、TOC、NH₃-N、TP的残留浓度和去除率数据,均为连续监测数据的平均值,以评价一体式生物净化沉淀装置在不同转速下的除污性能。

1.4 分析项目与方法

温度、pH值和浊度分别采用水银温度计、玻璃电极法和浊度计测定;DO浓度采用便携式溶解氧仪测定;TOC采用总有机碳分析仪(TOC-5000A,日本岛津)测定;NH₃-N浓度采用纳氏试剂分光光度法测定;TP浓度采用钼酸铵分光光度法测定。

2 结果与讨论

2.1 盘片挂膜

试验采用直接挂膜方式,试验用水经混凝处理后直接进入一体式生物净化沉淀池,控制pH值在7.0左右、水力停留时间为2.0 h、转盘转速为3.0 r/min,在此条件下连续运行20 d,填料表面形成一层构造均匀、薄且致密的生物膜,系统出水水质相对稳定,认为挂膜成功。

2.2 盘片转速对浊度去除效果的影响

控制pH值在7.0左右、水力负荷为0.064 m³/(m²·d),待系统运行稳定后,改变盘片转速考察沉淀出水中污染物浓度的变化情况。结果表明,转盘转速较低时(1.0 r/min),一体式生物净化沉淀池对水中致浊物质的去除效果最好,平均去除率约为77.1%(见图2)。随着盘片转速的增加,浊度去除率呈逐渐下降趋势,但在转速<5.0 r/min时,此下降趋势并不显著。这可能与转速较小时对水的剪切作用力小,对沉淀过程的干扰也相对较小;而在转盘转速>5.0 r/min时,出水浊度突然上升,这可能与

盘片旋转过程对颗粒物沉淀的干扰有关^[5,6]。谭智等^[7]发现生物转盘表面脱落的生物膜在水槽中可形成活性污泥,其对水体中胶体颗粒和细小悬浮物有生物絮凝作用,使部分细小颗粒凝聚成较大颗粒,增加了水的透光性能,而转速过大,破坏了生物絮凝作用,这可能也是造成出水浊度上升的原因之一。

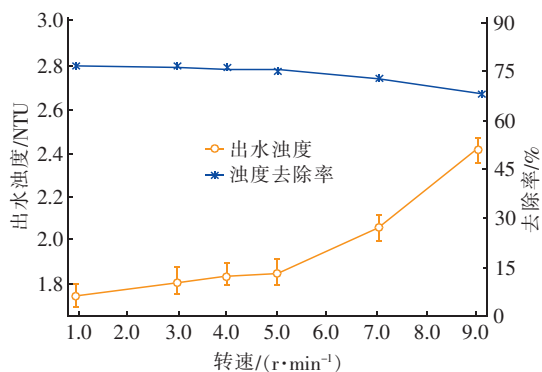


图2 不同转盘转速下对浊度的去除性能

Fig. 2 Turbidity removal performance under different rotary speeds

2.3 转盘转速对营养物质去除效果的影响

2.3.1 有机物

不同转盘转速条件下,装置对 TOC 的去除效果见图3,DO 浓度的变化见图4。由图3可知,随着转盘转速的增加,对 TOC 的去除率先升高后降低;当转速为 5.0 r/min 时,对 TOC 的去除率达到最高,为 60.0%,出水 TOC 浓度约为 1.78 mg/L;当转盘转速为 9.0 r/min 时,出水 TOC 浓度已增至 2.28 mg/L。降低或增加转速均不利于有机物的去除。结合图4推测,这可能是当转速过低时,水相中 DO 供给相对不足,生物膜与污染物的平均接触时间较少,导致有机物作为碳源的利用效率不高;同时转速过低时,不能形成足够的剪切力更新生物膜,膜的厚度增加,在转盘剖向上产生了一定的氧传递阻力,转盘内部微生物不能及时得到氧气进行呼吸作用,进而对污染物的降解作用较弱^[8,9]。在维持转盘上生物膜不发生非正常脱落的前提下,增加转速则处理效果提高,也即增大转速可增加生物沉淀池内部的 DO 浓度。因为一体式生物净化沉淀池与水体自净过程相比,不仅是在反应器内富集了大量生物体,同时也人为地加快了氧和基质的传递过程,转速增加,传质速度加快,因而对污染物的去除率升高^[7]。然而,当转盘转速过高时,不但耗电量多,有损设备的机械

强度,而且会引起较大的水力剪切作用,影响沉淀区悬浮物质的沉淀,从而降低处理效果^[10]。

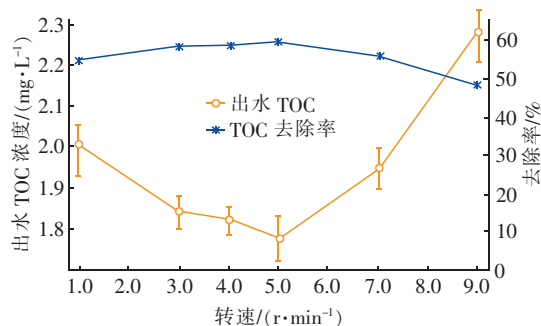


图3 不同转盘转速下对 TOC 的去除性能

Fig. 3 TOC removal performance under different rotary speeds

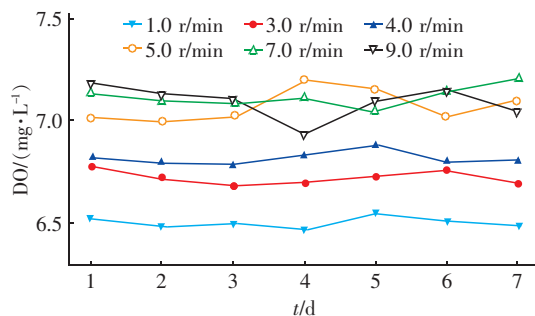


图4 不同转盘转速下的 DO 浓度

Fig. 4 DO concentrations under different rotary speeds

2.3.2 NH₃-N

不同转盘转速下对氨氮的去除效果见图5。

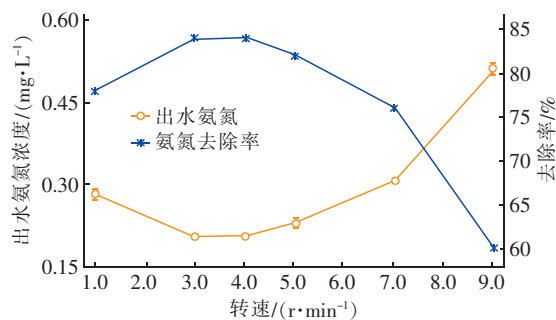


图5 不同转盘转速下对氨氮的去除性能

Fig. 5 NH₃-N removal performance under different rotary speeds

由图5可知,低转速条件下 NH₃-N 去除率随着转速的增加而逐渐上升。在转速为 4.0 r/min 时, NH₃-N 去除率达到最大,出水浓度约为 0.23 mg/L。当转速增至 9.0 r/min 时, NH₃-N 去除率降至最低,此时出水 NH₃-N 为 0.51 mg/L。适当提高转盘转速,有利于生物膜在空气中进行充氧,硝化菌在有氧条件下以水中的有机物为碳源将 NH₃-N

氧化为亚硝态氮或硝态氮^[6,11,12]。然而,转速过大,强烈的水力剪切作用不仅易使盘片上的生物膜剥离,影响沉淀区悬浮颗粒物的沉淀过程,同时,硝化菌对环境极为敏感,转速过大,还会影响硝化菌的生存,导致系统处理效率下降^[13]。

一体式生物净化沉淀池对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除规律与 TOC 类似,但对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率明显高于 TOC,这可能与微污染水体中的有机物浓度极低,异养菌长期处于内源呼吸状态有关^[5]。此外,天然水体中有机物的可生物降解性相对较差,这也限制了装置对有机物的高效去除。

2.3.3 TP

一体式生物净化沉淀池对 TP 的去除效果相对稳定,当转盘转速在 7.0 r/min 以下时,随着转速的增大,TP 去除率变化并不明显,在 52.7% ~ 56.2% 之间,出水浓度在 0.06 ~ 0.07 mg/L 之间。这主要是因为生物膜中丰富的生物相对水中磷的同化和富集起到了一定的强化作用。然而,当转盘转速提高至 7.0 r/min 以上时,TP 去除率明显下降,这可能是因为转速过大引起的水流剪切力对沉淀过程产生了较大的干扰,导致沉淀区部分颗粒沉淀物流出装置,进而影响装置的除磷效果。

在转盘转速为 5.0 r/min 的条件下运行稳定后,对一体式生物净化沉淀池进水端、中间段、出水端生物转盘表面的生物膜进行高通量测序,结果发现,盘片表面的生物相基本类似,生物膜中自养菌群以硝化螺旋菌门为主,其沿程分布比较均匀;而异养菌群数量在细菌总数中占绝对优势,优势菌种为变形菌门、拟杆菌门、放线菌门等(见表 1)。沿水流方向,异养菌群总量变化不大,沿程污染物的减少只是对菌群起到了重新分布的作用,使与环境条件相适应的微生物种群优势生长。

表 1 一体式生物净化沉淀池沿程的微生物群落结构

Tab.1 Community structure along integrated biological purification and settling tank %

项 目	进水端	中间段	出水端
变形菌门	71	69	84
拟杆菌门	10	4	1
放线菌门	6	18	7
硝化螺旋菌门	5	4	6
酸杆菌门	4	1	1
其他	4	4	1

综上,从节约运行能耗及获得稳定出水水质的

角度考虑,建议将转盘转速控制在 5.0 r/min,此时系统对浊度、TOC、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 的平均去除率分别为 74.1%、58.5%、84.0% 和 55.5%,具有良好的处理效果。

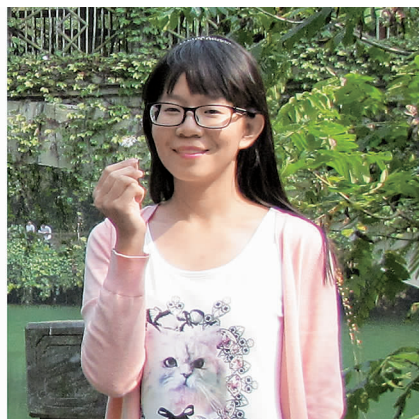
3 结论

将生物转盘与平流沉淀池设计理念相结合,开发出一种一体式生物净化沉淀工艺。试验结果表明,在低转速条件下转盘的设置对颗粒物的沉淀过程并无明显影响,出水浊度可控制在 1.8 NTU 左右。同时,工艺对原水中的有机物、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 还有一定的同步去除功能。当盘片转速为 5.0 r/min 时,对 TOC、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 的平均去除率分别为 58.5%、84.0% 和 55.5%。增大或减小盘片转速均不利于对 TOC 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除,这可能与低转速下溶解氧的传质受限以及高转速下水流剪切力对沉淀区颗粒物的沉淀过程干扰有关;与此不同,对 TP 的去除效果受盘片转速的影响相对较小。考虑到组合工艺具有结构紧凑、占地面积省、处理效果稳定等优点,在微污染水体的强化处理中具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] 王卫,朱光灿,周圣东,等. 微污染原水在原水输送及后续工艺中的水质变化[J]. 中国给水排水,2016,32(7):10-13,23.
Wang Wei, Zhu Guangcan, Zhou Shengdong, et al. Changes of water quality during micro-polluted raw water transport and following process [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(7): 10-13, 23 (in Chinese).
- [2] 郭承元,朱耕龙,封汇川,等. 通榆河地区微污染源水深度处理工艺设计[J]. 中国给水排水,2016,32(8):76-79.
Guo Chengyuan, Zhu Genglong, Feng Huichuan, et al. Design of advanced treatment process of micro-polluted source water from Tongyu River [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(8): 76-79 (in Chinese).
- [3] 李宝华,徐勇鹏,曹林春,等. 混凝—超滤短流程工艺处理高浊原水的研究[J]. 中国给水排水,2016,32(19):49-52.
Li Baohua, Xu Yongpeng, Cao Linchun, et al. Treatment of high-turbidity Yangtze River raw water by coagulation/ultrafiltration process [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(19): 49-52 (in Chinese).
- [4] 任媛媛,缙倩雯,陆少鸣. 轻质滤料生物滤池对微污

- 染原水的中试研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(3): 603 - 606.
- Ren Yuanyuan, Gou Qianwen, Lu Shaoming. Research on performance of biostyr filter used for treatment of micro-polluted water[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(3): 603 - 606 (in Chinese).
- [5] 陆少鸣, 李芳, 李少文. 高速给水曝气生物滤池应用于大型自来水管厂的预处理[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 40(5): 65 - 70.
- Lu Shaoming, Li Fang, Li Shaowen. Application of high-rate up-flow biological aerated filter to pretreatment for large-scale waterworks[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 40(5): 65 - 70 (in Chinese).
- [6] 王京城, 冯欣. 新型生物转盘工艺处理高浓度生活污水研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18620 - 18621.
- Wang Jingcheng, Feng Xin. Study on high concentration domestic sewage treatment by new tape RBC[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(30): 18620 - 18621 (in Chinese).
- [7] 谭智, 许建华. 污染源头的生物法预处理[J]. 水处理技术, 1995, 21(4): 231 - 236.
- Tan Zhi, Xu Jianhua. Biological pretreatment for raw water polluted[J]. Technology of Water Treatment, 1995, 21(4): 231 - 236 (in Chinese).
- [8] 张承芳. 自回流生物转盘与人工湿地组合技术处理农村生活污水[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- Zhang Chengfang. Aerobic Rotating Biological Contactor (RBC) and Aquatic Plant Filter Bed (APFB) Combined Process for Treating Rural Domestic Wastewater [D]. Nanjing: Southeast University, 2006 (in Chinese).
- [9] 吕永涛, 董凌霄, 叶向德, 等. 厌氧氨氧化在生物转盘系统中的实现[J]. 环境科学学报, 2007, 27(5): 753 - 757.
- Lv Yongtao, Dong Lingxiao, Ye Xiangde, et al. Realization of ANAMMOX in a rotating biological contactor[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(5): 753 - 757 (in Chinese).
- [10] 魏东洋, 董磐磐, 李杰, 等. 新型载体生物转盘处理微污染河水效果研究[J]. 中国环境科学, 2013, 33(S1): 156 - 159.
- Wei Dongyang, Dong Panpan, Li Jie, et al. Study on the effect of new carrier rotating biological contactor treatment of micro-polluted river water[J]. China Environmental Science, 2013, 33(S1): 156 - 159 (in Chinese).
- [11] 徐光景, 杨凤林, 徐晓晨, 等. 利用厌氧无纺布生物转盘快速启动 Anammox 中试实验[J]. 工业水处理, 2013, 33(2): 38 - 41.
- Xu Guangjing, Yang Fenglin, Xu Xiaochen, et al. Rapid start-up and application of Anammox in a pilot-scale non-woven rotating biological contactor [J]. Industrial Water Treatment, 2013, 33(2): 38 - 41 (in Chinese).
- [12] 熊欢伟, 郭勇, 李礼, 等. 新型颗粒生物膜生物转盘处理有机废水的研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(1): 75 - 77.
- Xiong Huanwei, Guo Yong, Li Li, et al. Treatment of organic wastewater by rotating biological contactor with granular biofilm[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(1): 75 - 77 (in Chinese).
- [13] 李彬, 吕锡武, 宁平, 等. 自回流生物转盘/植物滤床工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2007, 23(17): 15 - 18.
- Li Bin, Lv Xiwu, Ning Ping, et al. Combined process of self-circulating rotating biological disk and aquatic plant filter bed for rural domestic wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(17): 15 - 18 (in Chinese).



作者简介: 白居蓉(1992 -), 女, 陕西榆林人, 硕士研究生, 主要研究方向为水处理理论与技术。

E-mail: baijurongedu@sina.com

收稿日期: 2017 - 09 - 12