

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.13.009

生物转盘内部投加 PAC 化学除磷效果研究

王 刚, 苗瑞鹏, 张振冲, 刘威风

(北京桑德集团 北京桑德环境工程有限公司, 北京 101102)

摘 要: 采用生物转盘工艺处理小城镇生活污水,研究生物转盘内部投加聚合氯化铝(PAC)的除磷效果以及对生物膜的影响。试验在已建生物转盘进行,处理水量为 $400 \text{ m}^3/\text{d}$, TP 平均浓度为 2.11 mg/L , PAC 投加量为 60 mg/L 。结果表明,在生物转盘投加 PAC 对 TP 的去除率明显高于使用管道混合器,这期间生物膜性状良好,对 COD 和氨氮的平均去除率分别为 72.1% 和 82.2%;当加药点在生物转盘内部后端、转速为 0.6 r/min 时,TP 去除率为 82.5%,出水水质稳定达到一级 A 标准。可见,在生物转盘投加 PAC 可以实现高效除磷,并且对系统的处理能力和生物膜未造成影响。

关键词: 生物转盘; 聚合氯化铝; 除磷; 转速; 絮凝时间

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)13-0050-05

Chemical Phosphorus Removal Efficiency of Rotating Biological Contactor with Addition of Polyaluminium Chloride

WANG Gang, MIAO Rui-peng, ZHANG Zhen-chong, LIU Wei-feng

(Beijing Sound Environmental Engineering Co. Ltd., Sound Group Co. Ltd., Beijing 101102, China)

Abstract: Domestic wastewater in small town was treated by a rotating biological contactor (RBC), and the effects of adding polyaluminium chloride (PAC) inside the RBC on phosphorus removal and biofilm were explored. The experiment was carried out in an established RBC. The treatment capacity was $400 \text{ m}^3/\text{d}$, and the average TP and PAC dosage were 2.11 mg/L and 60 mg/L . The removal efficiency of TP by adding PAC to RBC was significantly higher than that of the pipeline mixer, properties of the biofilm were good during this period, and the average removal efficiencies of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ were 72.1% and 82.2%, respectively. When the dosing point was at backend of the RBC and the rotation speed was 0.6 r/min , the TP removal rate was 82.5%, and the effluent quality was better than the first class A specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant*. The addition of PAC to RBC could achieve high phosphorus removal efficiency, and it had no adverse effect on the processing capacity of the system and biofilm.

Key words: rotating biological contactor (RBC); polyaluminium chloride; phosphorus removal; rotation speed; flocculation time

与市政污水相比,小城镇污水水量小、污染物浓度低且水量日变化系数大,因此需要寻找适合低浓度污水且能应对负荷频繁变化的污水处理工艺^[1-2]。生物转盘属于生物膜法工艺,具有无需曝

气和污泥回流设备的特点,且生物膜处理能力和抗冲击能力更好,近年来在乡镇生活污水处理中应用较广泛^[3-4]。但生物膜本身污泥停留时间较长,不利于培养聚磷菌,故生物除磷能力较弱^[5-6]。

目前使用生物转盘工艺的污水厂大多采用化学絮凝为主的除磷方法,除了保证药剂的质量和用量外,合理的搅拌和絮凝时间是确保聚合氯化铝(PAC)利用率和TP去除率的关键因素^[7]。目前小城镇项目中常采用管道混合器或机械搅拌配合沉淀池进行化学除磷,使用管道混合器时混凝时间短,不能完全使药剂和污水充分混合,并且絮凝期缺乏搅动而使得药剂利用率低,试验证明管道混合器+沉淀池的TP去除率仅为30%~50%;传统的机械搅拌分为混合和絮凝过程,混合采用高速搅拌、停留时间为1~2 min,絮凝采用低速搅拌、停留时间为5~20 min^[8],由于反应充分,TP去除率可达到95%,但该方案延长了工艺流程、增加了污水厂投资和运行能耗^[9],不适合小城镇使用。笔者拟将加药点设置在生物转盘内部,利用生物转盘自转为混合、絮凝提供动力,虽无法形成速度梯度,但絮凝时间可达2 h,因此理论上能达到较好的除磷效果。但同时应当考察该方法可能带来的负面影响,如絮凝形成的矾花是否对生物膜造成影响,矾花是否会在转盘内沉积。

为进一步验证该方法的适用性,本研究通过工程试验对比生物转盘内部和管道混合器加药的除磷效果,并考察PAC对生物膜系统稳定性的影响以及转盘转速、混凝时间、SS等对除磷效果的影响,旨在为生物转盘在小城镇污水处理中的应用提供依据。

1 试验材料和方法

1.1 原水水质及来源

试验地点为遵义市某乡镇污水处理厂,原水经过沉淀处理,悬浮物较少,其各项污染物浓度符合小城镇生活污水特征,具体如下:COD为70~130 mg/L、SS为40~90 mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为14~27 mg/L、TP为1.5~2.5 mg/L、pH值为7.3~7.7。

1.2 试验装置及方法

工艺流程见图1,转盘采用直径为3 600 mm的半浸没生物转盘,轴长为8 200 mm。试验前转盘一直正常运行,生物膜性状良好,出水COD和氨氮浓度稳定达到一级A标准。原PAC加药点位于二沉池前的管道混合器,利用管道混合器对药、水混合后再进入二沉池沉淀,试验第1步在转盘内部前端增设PAC加药点,对比两者的除磷效率以及转盘内长期投加PAC对生物膜的影响;第2步为参数调整,对比在转盘内部前端(接近设备进水口)、中部、后端(距设备出水口1 600 mm)不同点位加药的TP去

除效果,考察不同转速(0.3、0.6、0.9和1.2 r/min)对TP去除效果和矾花沉降效果的影响。

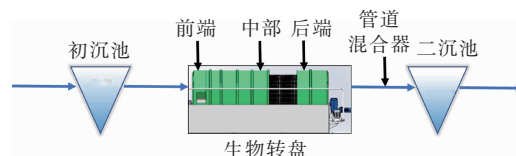


图1 生物转盘内、外部投加点示意

Fig.1 Schematic diagram of adding points inside and outside of RBC

1.3 分析项目和方法

COD:重铬酸钾标准法; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$:纳氏试剂比色法;TP:钼酸铵分光光度法;DO:便携式DO测定仪;SS:便携式SS测定仪。

2 结果与讨论

2.1 转盘内部投加PAC的影响研究

利用转盘自转提供动力而提高絮凝效果理论上可行,本阶段试验将对比在转盘内和管道混合器前加药的TP去除率,同时考察投加PAC后形成的大颗粒悬浮物是否会造成生物膜脱落或者附着在填料表面。

2.1.1 不同加药点投加PAC的处理效果对比

试验用转盘的进水控制在400 m³/d左右,TP平均浓度为2.11 mg/L,多余污水由其他并列转盘处理,转盘内加药点设置在前端,转盘转速为1.0 r/min,PAC投加量为60 mg/L,系统无回流,常温下运行。试验前9 d在管道混合器投加PAC,第9~39天在转盘前端投加PAC,本试验在半浸没转盘中进行,连续监测COD、氨氮和TP浓度。转盘内投加PAC对处理能力的影响见图2。可知,分别在管道混合器和转盘内部前端投加PAC后,出水COD平均浓度分别为31.2和29.8 mg/L,去除率分别为70.5%和72.1%;出水氨氮平均浓度分别为3.25和3.47 mg/L,去除率分别为84.3%和82.2%。由此可见,这两个投加点对COD和氨氮的去除效果基本没有影响。

由图2(c)可知,在管道混合器投加PAC,出水TP的平均浓度和去除率分别为1.23 mg/L和42.5%,改在转盘内部前端投加,则分别为0.36 mg/L和83.2%。更改加药点后,TP去除率提高了40.7个百分点,出水TP也稳定达到一级A排放标准,这主要是因为转盘自转促进了PAC与污水混合,并且在絮凝过程也一直提供搅拌。

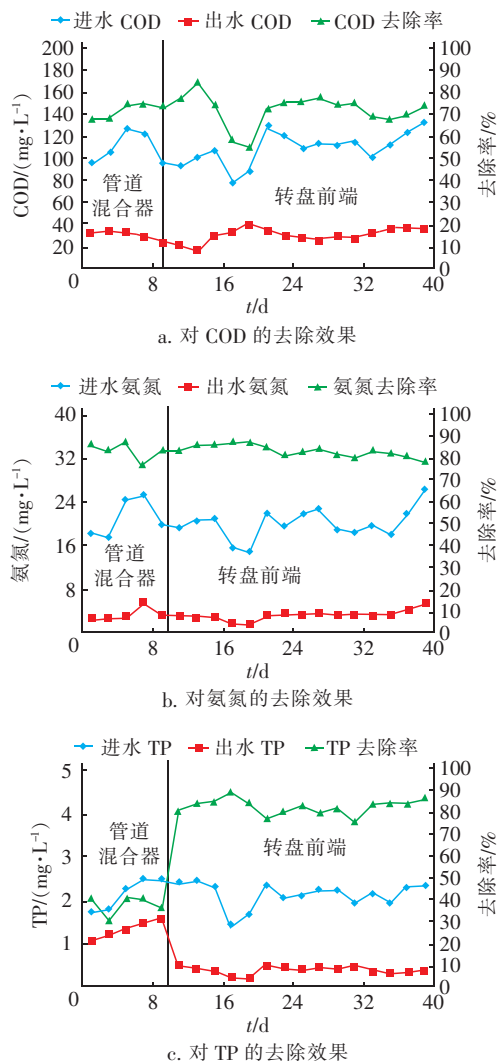


图2 转盘内投加 PAC 对去除能力的影响

Fig. 2 Influence of adding PAC to RBC on removal capacity

2.1.2 转盘内部投加 PAC 对生物膜性状的影响

图3 为不同时间生物转盘内生物膜外观变化。

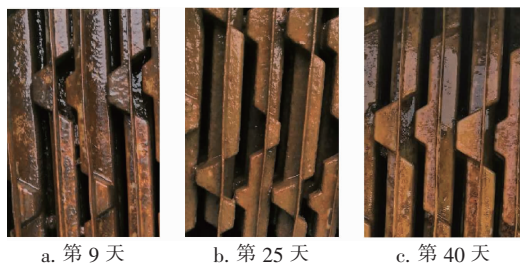


图3 PAC 投加前后转盘生物膜变化情况

Fig. 3 Variation of biofilm before and after adding PAC to RBC

随着时间的推移,盘片上生物膜并没有出现脱落,生物膜覆盖均匀,厚度约为 1 mm,颜色为黄褐

色,以异养菌和硝化细菌为主,从性状上判断生物膜活性正常,同时填料表面也未见粘接白色矾花。结合图2数据可知,在转盘内投加 PAC 不会对生物膜造成不良影响。

2.2 运行参数研究

2.2.1 转盘内不同加药点除磷效果对比

在转盘内部前端加药可能会过多吸附碳源并在沿轴长方向发生沉降,应尽量在后端加药,而加药点直接关系絮凝时间,可能影响除磷效果。本阶段将对在转盘内部前端、中部和后端加药时 TP 的去除效果,3 个不同加药点对应的在转盘内的絮凝时间依次约为 120、60 和 20 min。进水控制在 $400 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,进水 TP 平均浓度为 2.08 mg/L ,PAC 投加量为 60 mg/L ,转盘转速为 1.0 r/min ,系统无回流,常温下运行。试验前 5 d 不投加 PAC 作为空白组,之后按周期依次在转盘内部前端、中部和后端加药。转盘内不同投加点除磷效果对比见图4。

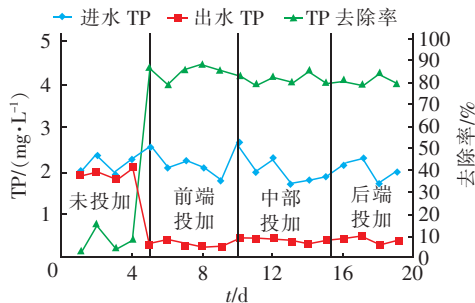


图4 转盘内不同加药点除磷效果对比

Fig. 4 Comparison of phosphorus removal efficiency with different adding points in RBC

如图4所示,当转盘内不投加 PAC 时 TP 去除率为 7.9%,分别在前端、中部、后端投加 PAC 后,出水 TP 平均浓度分别为 0.29、0.35 和 0.37 mg/L ,去除率分别为 86.2%、82.8% 和 81.7%。在转盘中部和后端加药时去除效果相近,加药点在前端时絮凝时间最长,虽然除磷效果最理想,但结合水质波动可提高除磷效果的空间不大,由此可知,在转盘内投加 PAC 只要絮凝时间达到 20 min 以上即可实现高效除磷;同时前端加药会吸附更多碳源,对反硝化造成不利影响,也增加了矾花在较大范围沉积的风险。综上,推荐将加药点设置在转盘内部后端。

2.2.2 转速对絮凝效果的影响

化学除磷除絮凝时间外,转速也是影响絮凝的核心因素之一,较高的转速能够加速矾花的形成以

及对磷酸根离子的吸附^[10]。但是转盘转速主要是依据进水负荷调整的,并非越快越好,本阶段试验旨在确定能够满足絮凝除磷的最低转速,加药点设在转盘内部后端,其他试验条件同上,转速分别取0.3、0.6、0.9、1.2 r/min。试验结果见图5。

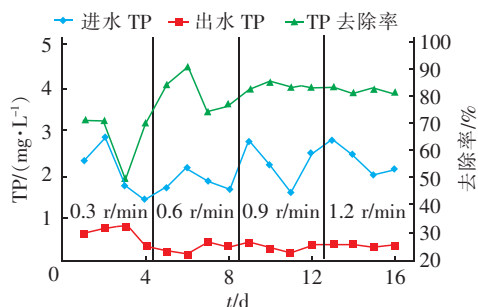


图5 不同转速下除磷效果对比

Fig. 5 Comparison of phosphorus removal efficiency with different rotating speed

转速在一定程度上会影响絮凝效果,伴随转速不断增加,出水TP平均浓度分别为0.68、0.32、0.39和0.41 mg/L,平均去除率分别为66.7%、82.5%、84.9%和83.3%。但即使转速仅为0.3 r/min时,TP去除率也已接近70%,此后转速提高但去除率基本维持在80%以上,由此可见只需将转盘转速保持在0.6 r/min以上即可确保絮凝效果。

为了对比该方法对PAC的利用率,取某日污水厂进水进行平行试验(3组1 L的水样),TP为2.53 mg/L,PAC投加量为60 mg/L,经过充分的搅拌、絮凝后,检测3组水样TP最终的平均浓度和去除率,分别为0.33 mg/L和86.9%(单位投加量的除磷率与药剂的有效成分密切相关,本试验所用PAC为项目公司使用的PAC),处理效果略优于工程试验,说明转盘内投加PAC的药剂利用率较高。

2.2.3 不同转速下沉降效果研究

以上试验已证明转盘内投加PAC可有效提高TP去除率,但同时会产生大量矾花,这可能增加反应槽的排泥频率。为了评估矾花对沉积量的影响,本阶段主要考察悬浮物与转速的关系,在不影响混凝效果的前提下,避免悬浮物快速沉入池底,得出最佳转速范围。试验前连续加药进水持续2.5 h,其中瞬时进水量达到15~17 m³/h,试验期间转盘反应槽停止进水和加药。转盘转速分别为0.3、0.5、0.7、0.9、1.1和1.3 r/min,呈等梯度增加,每次调整需等待20 min即反应槽稳定后再检测,垂直检测点

设在转盘内部后端距液面0.2、0.9、1.7 m的水深处,用便携式SS检测仪连续检测取平均值。试验结果见图6。在不同转速下,对比不同深度处的SS可知,转速较低时矾花出现了明显的分层,水位越深SS浓度相对越高,如转速为0.5 r/min时从上到下SS依次为31、37和49 mg/L,这说明低转速下无机泥容易在槽底沉积;当转速为0.9 r/min时SS依次为63、69和65 mg/L;转速高于0.9 r/min后SS浓度逐渐趋于均匀;另外,当转速达到1.3 r/min时SS出现大幅增加,这是因为转盘底泥在较高转速下被搅动上浮。综上,转速≥0.9 r/min时絮凝形成的矾花不会沉降,可随水流排出转盘;当转速低于该值时矾花易在转盘内沉积,长期运行需增加排泥频次。

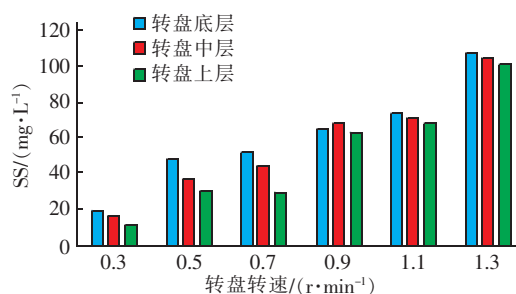


图6 转速对SS浓度分布的影响

Fig. 6 Influence of rotating speed on distribution of SS

3 结论

① 在转盘内投加PAC对TP的去除率可以达到83.2%以上,高于原污水厂利用管道混合器混凝除磷的42.5%,这主要是因为转盘自转提供了足够的搅拌动力,同时有足够的絮凝时间吸附磷酸根离子;连续1个月投加PAC,转盘内生物膜性状未发生明显改变,出水COD和氨氮与投加前基本一致,说明槽体内增加的矾花不会对生物膜造成不利影响。

② 絮凝时间是影响化学除磷的核心因素之一,而转盘内投药点不同会影响絮凝时间,建议将加药点设在转盘内部后端(絮凝时间约20 min),此时TP去除率已达到80%以上,同时能够防止前端加药吸附过多碳源和加重积泥问题。

③ 搅拌程度会直接影响混凝效果,但生物转盘转速主要取决于进水负荷,当在转盘后端加药、转速为0.6 r/min时,TP去除率可达到82.5%,仅比实验室最佳条件下的去除率低4.4个百分点,PAC利用率很高;另外,转盘转速<0.9 r/min时,矾花在反应槽中出现分层,一定程度上会加重槽底积泥问题,长期运行建议增加排泥频次。

参考文献:

- [1] 李发站,陆佳兴. 农村生活污水处理中存在的问题与对策[J]. 华北水利水电大学学报:自然科学版, 2018,39(4):23-28.
Li Fazhan, Lu Jiaxing. Problems and countermeasures in rural domestic sewage treatment[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power: Natural Science Edition, 2018, 39(4): 23-28 (in Chinese).
- [2] 方芳,王磊,郭劲松,等. 三峡库区典型临江村镇排放污水的水质水量特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2009,28(8):1661-1668.
Fang Fang, Wang Lei, Guo Jinsong, et al. Characteristics of domestic wastewater quality and quantity discharged from typical villages and small towns by the riverside in Three Gorges Reservoir Region[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(8): 1661-1668 (in Chinese).
- [3] 郑春燕,王艳华,李树苑,等. 四种小城镇污水处理工艺投资分析与探讨[J]. 中国给水排水, 2014, 30(12):63-67.
Zheng Chunyan, Wang Yanhua, Li Shuyuan, et al. Analysis and discussion on investments of four sewage treatment technologies in small towns[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(12): 63-67 (in Chinese).
- [4] 苏鸿洋. 中国村镇分散生活污水处理技术现状[J]. 给水排水, 2015, 41(S1):197-201.
Su Hongyang. Present situation of dispersed domestic sewage treatment technology in villages and towns of China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(S1): 197-201 (in Chinese).
- [5] 韦真周,范庆丰,容继,等. 生物转盘处理小城镇生活污水工程实例[J]. 水处理技术, 2016, 42(2):133-136.
Wei Zhenzhou, Fan Qingfeng, Rong Ji, et al. A case history of treating urban sewage by rotating biological contactor[J]. Technology of Water Treatment, 2016, 42(2): 133-136 (in Chinese).
- [6] 冯迪,王京城,姜彬慧,等. 网状生物转盘-生物接触氧化法处理高浓度生活污水的实验研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(7):1502-1506.
Feng Di, Wang Jingcheng, Jiang Binhui, et al. Treatment of high concentration domestic wastewater by netlike rotating biological contactor & biological contact oxidation process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(7): 1502-1506 (in Chinese).
- [7] 李子富,云玉攀,曾灏,等. 城市污水处理厂化学强化生物除磷的试验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(12):3070-3077.
Li Zifu, Yun Yupan, Zeng Hao, et al. Experimental study on chemically enhanced biological phosphorus removal for municipal wastewater treatment plant[J]. China Environmental Science, 2014, 34(12): 3070-3077 (in Chinese).
- [8] 郁娜,袁林江,吕景花. 某城市污水处理厂废水化学除磷沉淀特性及影响因素[J]. 环境工程学报, 2015, 9(12):5813-5817.
Yu Na, Yuan Linjiang, Lü Jinghua. Characteristics of chemical phosphorus precipitation of wastewaters from a municipal sewage treatment plant and its influencing factors[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(12): 5813-5817 (in Chinese).
- [9] 周振,胡大龙,乔卫敏,等. 聚合氯化铝去除污泥水中磷的工艺优化[J]. 环境科学, 2014, 35(6):2249-2255.
Zhou Zhen, Hu Dalong, Qiao Weimin, et al. Optimization for phosphorous removal in thickening and dewatering sludge water by polyaluminum chloride[J]. Environmental Science, 2014, 35(6): 2249-2255 (in Chinese).
- [10] 吴娅. 曝气生物滤池化学除磷药剂的选择[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2010.
Wu Ya. Selection of Chemicals for Phosphate Removal Combined in Biological Aerated Filter Process[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010 (in Chinese).



作者简介:王刚(1986-),男,山西高平人,硕士,工程师,研究方向为村镇污水处理。

E-mail: wanggang_yf@163.com

收稿日期:2019-12-12