

漂浮滤料复合膨胀床一体化生物滤池的挂膜启动

申华楠, 陆少鸣, 邓秋炫, 熊旭东, 端 艳
(华南理工大学 环境与能源学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 根据我国农村污水的水质、水量特点,研发了一种用于农村污水处理的小型一体化装置——漂浮滤料复合膨胀床一体化生物滤池。采用该装置在广东某农村进行试验,研究了其挂膜启动,以及对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的去除效果。采用自然挂膜方法进行培菌挂膜,经过 24 d 挂膜启动完成。在进水量为 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 、气水比为 2:1、回流比为 150% 的条件下装置运行稳定,对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的去除率分别达到 85%、80% 和 65%,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 排放标准。

关键词: 农村污水; 漂浮滤料复合膨胀床一体化生物滤池; 挂膜启动

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0026-05

Biofilm Formation and Start-up of Floating Filter Material Composite Expanded Bed Integrated Biofilter for Rural Sewage Treatment

SHEN Hua-nan, LU Shao-ming, DENG Qiu-xuan, XIONG Xu-dong,
DUAN Yan

(College of Environment & Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: According to the characteristics of water quality and quantity of rural sewage in China, a small-scale integrated equipment for rural wastewater treatment, floating filter material composite expanded bed integrated biofilter, was developed. It was tested in a rural village of Guangdong. Biofilm formation and start-up of the equipment, and removal efficiency of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN were studied. The biofilter was started by using natural biofilm formation method. The results showed that the biofilm formation and start-up were completed after 24 days. On the conditions of $100\text{ m}^3/\text{d}$ water treatment volume, 2:1 air-water ratio and 150% reflux ratio, the removal rates of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN reached about 85%, 80% and 65% respectively, and the equipment operated stably. The effluent quality could meet the first level B criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

Key words: rural sewage; floating filter material composite expanded bed integrated biofilter; biofilm formation and start-up

我国农村地区生活污水的排放具有点多、面广、量小、分散等特点,难于统一收集,治理难度很

大^[1]。开发高效、低能耗、低成本及运营费用低廉的一体化污水处理装置是解决农村生活污水污染问

题的重要出路。

漂浮滤料复合膨胀床一体化生物滤池,是一种新型无堵塞生物膜法工艺,它集污水初滤预处理、回流反硝化、生物硝化、过滤除磷等功能于一体,流程简洁,高效节能,稳定可靠,节省用地,且通过网络远程控制还可实现无人值守,适合于农村污水处理。

滤料是生物滤池的重要部分,其表面结构、物理和化学特性将对生物膜的附着与生长繁殖起到至关重要的作用^[2,3]。装置填充专有漂浮陶粒滤料,表面粗糙亲水易生物挂膜,密度与水相近,易流化不板结,过滤水头损失小。生物膜是该工艺的核心,微生物活性的高低对处理效果起着决定性作用^[4]。有研究发现,自然挂膜法形成的生物膜比接种挂膜法的更稳定,生物膜与载体之间的粘合度更高^[5],故对该装置采用自然挂膜方法,通过分析挂膜过程中系统对 COD、NH₃-N 和 TN 的去除效果,研究该装置的挂膜启动过程。

1 试验部分

1.1 试验装置

漂浮滤料复合膨胀床一体化生物滤池采用“降流式膨胀床生物滤池—升流式流化床曝气生物滤池—降流式膨胀床生物滤池”三级串联工作,工艺流程如图 1 所示,农村污水经化粪池和调节池后进入该装置。第一级降流式膨胀床生物滤池用于污水初滤预处理和反硝化脱氮以及去除有机物,第二级升流式流化床曝气生物滤池用于硝化,第三级降流式膨胀床生物滤池用于过滤 SS、深度脱氮以及投加絮凝剂除磷。

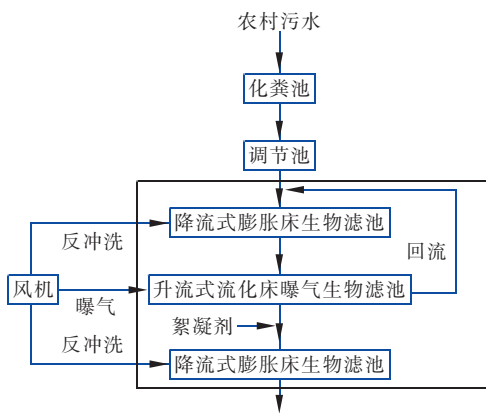


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of integrated biofilter

装置设计处理水量为 100 m³/d,主体为圆柱

形,尺寸为 $\varnothing 2.6 \text{ m} \times 6.3 \text{ m}$,装置结构如图 2 所示。第一级滤池装填粒径为 8 ~ 12 mm 的陶粒滤料,滤料层厚度为 3.2 m;第二级滤池装填粒径为 4 ~ 8 mm 的陶粒滤料,滤料层厚度为 3.2 m;第三级滤池装填破碎不规则状陶粒滤料,滤料层厚度为 2.9 m。

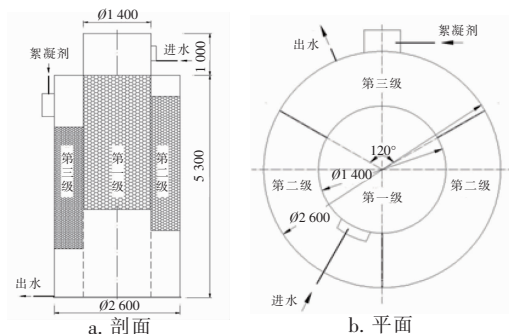


图 2 装置结构

Fig. 2 Schematic diagram of equipment structure

1.2 原水水质

原水为某农村生活污水,其 COD、NH₃-N、TN、TP、SS 分别为 200 ~ 280、30 ~ 40、40 ~ 55、2 ~ 5、60 ~ 150 mg/L。

1.3 检测方法

COD:重铬酸盐法,NH₃-N:纳氏试剂分光光度法,TN:碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,SS:重量法,TP:钼锑抗分光光度法。

1.4 试验方法

采用自然挂膜方法进行培菌挂膜,进水温度保持在 25 ℃ 左右,第二级滤池气水比设为 2 : 1,共分为两个阶段:第一阶段在不进行回流的条件下运行装置,处理水量按 30、50、80、100 m³/d 依次增大,每一水量连续运行 3 d 后再增大,该阶段持续 12 d。此阶段的目的是使污水中的微生物在滤料表面自然富集,初步形成生物膜。第二阶段开始进行回流,回流比依次增大为 50%、100%、150%,每一回流比下连续运行 4 d,该阶段共运行 12 d。逐渐增大回流比,主要是用于提高装置的反硝化脱氮效率。

装置除磷主要依靠在第三级滤池投加絮凝剂进行化学除磷,因此试验期间只对原水及各级滤池进出水的 COD、NH₃-N 和 TN 指标进行检测,分析其挂膜启动情况,整个挂膜启动过程共持续 24 d。

2 结果与讨论

2.1 对 COD 的去除

在回流阶段,第一天第一级滤池对 COD 的去

除率达到 36.4%, 而第二级滤池的 COD 去除率只有 31.6%, 这是由于第一级滤池滤料的机械过滤作用使其截留了不溶性有机物^[6], 而第二级滤池虽然滤料粒径更小, 但其在曝气状态下处于流化状态, 截留过滤作用并不强。前 3 d 第三级滤池的 COD 去除率变化较大, 但其出水 COD 浓度保持在 73 mg/L 左右, 因为其去除 COD 主要靠滤料的截留作用, 而且其进水中的 COD 大都为浓度较低的可溶性有机物, 出水受进水 COD 浓度变化影响较大, 对 COD 的去除率并不高(见图 3)。

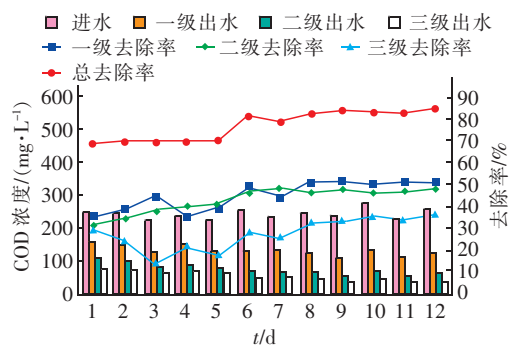


图3 不回流阶段对 COD 的去除效果

Fig. 3 COD removal efficiency under non-reflux condition

在后期生物膜开始逐渐发挥作用。第一级滤池截留了过多的惰性 SS 等物质, 使微生物和滤料的接触机会减少, 影响滤料挂膜, 同时还受到水力负荷影响, 对 COD 的去除率直到第 8 天才稳定在 50% 左右, 去除率上升缓慢。第二级滤池对 COD 的去除率增速快于第一级滤池, 第 6 天便稳定在 45% 左右, 这是由于经第一级滤池截留过滤后污水中惰性 SS 浓度较低, 可生化性提高, 而且在好氧条件下异养菌繁殖较快, 第二级滤池均匀曝气, 滤料呈流化状态, 使生物膜与污水的接触机会增加, 保证好氧异养菌能够充分利用溶解氧分解有机物, 从而得到快速稳定的生长繁殖^[7]。第三级滤池运行初期对 COD 的去除效果较差, 靠滤料截留以及进水携带的溶解氧去除一部分有机物, 生物膜增长缓慢, 在进水中含有大量硝酸盐的情况下, 反硝化细菌在缺氧状态下也逐渐繁殖, 可消耗部分有机物进行反硝化作用, COD 去除率缓慢增加, 至第 9 天后去除率稳定在 35% 左右。在该阶段后期, 各级滤池滤料上的生物膜初步长成, 传质效果较好, 随着水量逐步增大, 装置对 COD 的去除效果仍然保持稳定, 说明生物膜具有一定的抗冲击负荷能力。

开始进行回流后, 第一级滤池对 COD 的去除率明显上升, 回流硝化液中含有大量硝酸盐, 使得反硝化细菌开始繁殖进行反硝化脱氮, 消耗大量碳源, 有机物被进一步降解, 此外回流硝化液中携带的溶解氧可以氧化有机物^[8], 从而使 COD 的去除率也有一定上升(见图 4)。随着回流比的加大, 第二级滤池水力停留时间缩短, 加之第二级滤池进水中的有机物浓度相对较低, 不利于异养菌的生长, 使得第二级滤池的 COD 去除率下降。第三级滤池进水中硝酸盐浓度较高, 通过反硝化作用可以去除一部分有机物。试验后期系统对 COD 的去除率能达到 85%, 出水 COD 在 35 mg/L 以下, 达到一级 A 排放标准。

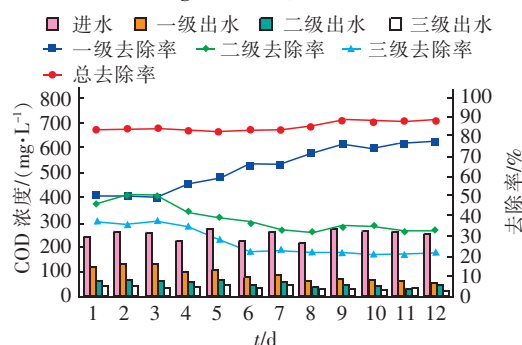


图4 回流阶段对 COD 的去除效果

Fig. 4 COD removal efficiency under reflux condition

2.2 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除

在不回流阶段, 第一级滤池出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 不降反增(见图 5), 这是因为在缺氧条件下, 氨化细菌开始附着在滤料上进行生长繁殖, 进水中的有机氮在氨化细菌作用下发生氨化反应转化为 $\text{NH}_3\text{-N}$, 导致 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率出现负值^[9]。

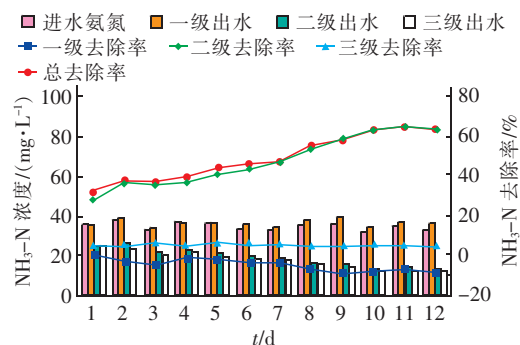


图5 不回流阶段对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

Fig. 5 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal efficiency under non-reflux condition

污水进入第二级滤池后主要发生硝化作用, 对

$\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率逐渐升高,但在前期去除率升高较慢,可能由于进水水量较小,硝化细菌属于自养型细菌,增长繁殖缓慢,生物膜状态不佳,随着滤池长时间曝气运行,硝化细菌逐渐成为优势菌种,开始大量繁殖,使得硝化作用加强,在该阶段后期,第二级滤池对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率达到 60% 以上。第三级滤池不进行曝气,只能依靠进水中有限的溶解氧进行硝化作用,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率较低。

在回流阶段,回流比增大时,第一级滤池出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 明显降低,而在同一回流比下 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 变化不明显,故推断第一级滤池对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 几乎无去除效果, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 降低是由于回流液的稀释作用(见图 6)。由于回流阶段第一级滤池对有机物的去除率增加,以及回流硝化液的稀释作用,使得进入第二级滤池的有机物浓度较低,有利于硝化细菌的生长,使得硝化作用增强^[10]。在回流比为 150% 的工况下,第二级滤池对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率较高,平均去除率稳定在 65% 以上,说明滤料上已形成稳定的生物膜,且能适应滤池中水力负荷的变化,认为挂膜成功。第三级滤池由于处于厌氧状态,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 依旧保持较低的去除率。试验后期,装置对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率在 80% 以上,出水浓度在 7 mg/L 以下,达到一级 B 排放标准。

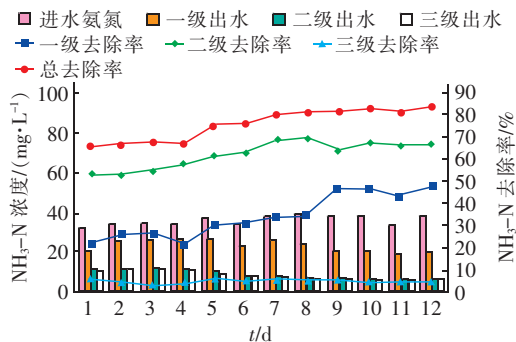


图 6 回流阶段对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果

Fig. 6 $\text{NH}_3 - \text{N}$ removal efficiency under reflux condition

2.3 对 TN 的去除

第一级滤池培养的主要是厌氧菌,未回流时没有硝酸盐作为底物,无法培养反硝化细菌从而进行反硝化脱氮,只能依靠滤料的截留过滤作用去除 TN,去除率很低(见图 7)。第二级滤池培养的主要是硝化细菌生物膜,对 TN 的去除效果不明显,随着处理水量的增加和长时间的运行,对 TN 的去除率稍有增长,这是由于滤料上生物膜逐渐增厚,生物膜

存在厌氧区从而发生了同步硝化反硝化,对 TN 起到了一定的去除作用(去除率在 8% 范围内波动)。第三级滤池对 TN 的去除率则是在不断增加,这是因为第二级滤池出水含有大量硝酸盐,使得反硝化细菌逐渐生长繁殖,但由于第二级滤池出水中碳源有限,使反硝化作用受到限制,本阶段后期第三级滤池对 TN 的去除率只能稳定在 30% 左右。

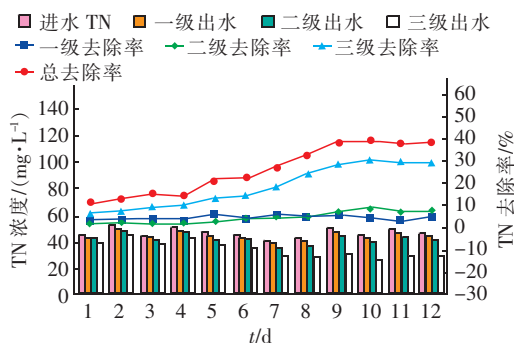


图 7 不回流阶段对 TN 的去除效果

Fig. 7 TN removal efficiency under non-reflux condition

在回流阶段,第一级滤池拥有进行反硝化作用所需的硝酸盐和大量有机碳源,反硝化细菌在滤料上逐渐生长繁殖,随着回流比不断增加,硝酸盐浓度升高,反硝化作用不断增强,至后期第一级滤池对 TN 的去除率稳定在 50% 左右(见图 8),滤料上生物膜已经形成。

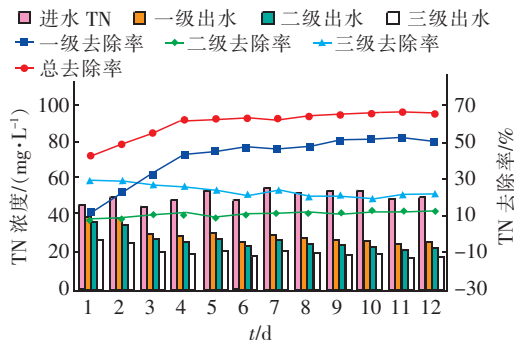


图 8 回流阶段对 TN 的去除效果

Fig. 8 TN removal efficiency under reflux condition

第二级滤池依靠同步硝化反硝化作用对 TN 的去除效果有限,不过在连续进水过程中,滤料上生物膜厚度继续增加,生物膜上的厌氧区有一定扩大,促进了同步硝化反硝化,但作用有限,TN 去除率由 8% 升至 12%。第三级滤池的反硝化作用由于碳源逐渐减少而受到限制,对 TN 的去除率逐渐下降,最终稳定在 20% 左右。试验后期,装置对 TN 的去除率达到 65% 以上,出水 TN 在 20 mg/L 以下,达到一

级B排放标准。

3 结论与建议

① 采用自然挂膜方法进行培菌挂膜,保持第二级滤池气水比为2:1,进水流量由30 m³/d逐步增加到100 m³/d,回流比由50%逐渐增加至150%,耗时24 d装置挂膜启动完成,对COD、NH₃-N和TN的去除率分别达到85%、80%和65%以上。

② 当处理水量为100 m³/d、第二级滤池气水比为2:1、回流比为150%时,出水COD、NH₃-N、TN分别在35、7、20 mg/L以下,出水水质可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B排放标准。

③ 为达到更好的处理效果,装置的气水比、回流比等参数还需进一步优化。

参考文献:

- [1] 洪嘉年. 农村污水处理和处置方案初探[J]. 给水排水, 2004, 30(7): 31-33.
Hong Jianian. Preliminary study on domestic wastewater treatment and disposal [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30(7): 31-33 (in Chinese).
- [2] Fatihah S F, Donnelly T D. Effect of media volume on mixing of biological aerated filters[J]. Journal of Environmental Engineering & Science, 2008, 7(3): 229-236.
- [3] Moore R, Quarmby J, Stephenson T. The effects of media size on the performance of biological aerated filters[J]. Water Res, 2001, 35(10): 2514-2522.
- [4] 李亚峰, 张娟, 张佩泽, 等. 曝气生物滤池的自然挂膜启动分析[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2008, 24(6): 1035-1038.
Li Yafeng, Zhang Juan, Zhang Peize, et al. Analysis of the natural start-up of the biological aerated filter[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2008, 24(6): 1035-1038 (in Chinese).
- [5] 徐佩. 外加碳源生物滤池处理城市污水厂尾水脱氮试验研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011.
Xu Pei. The Study on Nitrogen Removal in Biological Filter of Extra Carbon Source for the Secondary Effluent of Municipal Wastewater Treatment Plant[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2011 (in Chinese).
- [6] 傅金祥, 李微, 刘首永, 等. O/A式曝气生物滤池挂膜启动试验[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2008, 24(5): 828-831.
Fu Jinxiang, Li Wei, Liu Shouyong, et al. Research on aerobic-anoxic BAF for compound inoculations [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2008, 24(5): 828-831 (in Chinese).
- [7] 陆少鸣, 陈德业, 陈艺韵. 叠式曝气生物滤池在给水处理中的挂膜启动[J]. 环境工程学报, 2012, 6(1): 191-194.
Lu Shaoming, Chen Deyue, Chen Yiyun. Start-up of down-up biological aerated filter in water pretreatment [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(1): 191-194 (in Chinese).
- [8] 赵凌波. 前置反硝化曝气生物滤池工艺处理生活污水的挂膜启动研究[J]. 工程设计与研究, 2011, (130): 32-37.
Zhao Lingbo. Biofilm formation and start-up of pre-denitrification aeration biological filter process for sewage treatment [J]. Engineering Design and Research, 2011, (130): 32-37 (in Chinese).
- [9] 李军. 微生物与水处理工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
Li Jun. Microbiology and Water Treatment Engineering [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002 (in Chinese).
- [10] 谢杰, 杨志泉, 陈兵, 等. 硫自养菌降解还原高氯酸盐的优化控制研究[J]. 水处理技术, 2012, 38(6): 32-35.
Xie Jie, Yang Zhiquan, Chen Bing, et al. Uniform design experiment on treatment of low oily emulsion using microwave radiation [J]. Technology of Water Treatment, 2012, 38(6): 32-35 (in Chinese).



作者简介: 申华楠(1994-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 从事市政水处理技术研究。

E-mail: 1262867379@qq.com

收稿日期: 2018-06-05