

泥管.好氧池混合污泥回流至缺氧池内.试验中用蠕动泵控制进、出水流量以及回流流量,缺氧池至好氧池间的流动主要依靠液位差进行控制.

试验中膜组件采用的膜材料为耐生物降解的聚偏氟乙烯(PVDF),膜孔径为 0.2 μm,膜面积为 5.0 m².

1.2 试验用水和接种污泥

试验在郑州市某城市污水处理厂进行,试验进水为该厂二期沉砂池出水,经高位水箱提升后进入试验装置.设计进水流量为 41.7 L·h⁻¹,厌氧池、缺氧池、好氧池的水力停留时间分别为 4.0, 1.5, 6.0 h,好氧池至缺氧池的设计回流比为 200%.进水水质特征见表 1.

表 1 水质特征

Tab. 1 Influent quality

水质 指标	COD/ (mg· L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg· L ⁻¹)	TP/ (mg· L ⁻¹)	TN/ (mg· L ⁻¹)	pH
数值	131.2~	6.7~	1.67~	10~	6~8
范围	1637	42.7	21.7	70	

试验接种污泥取自该污水处理厂二沉池的回流污泥.

1.3 试验监测指标及方法

监测指标包括:温度、DO、PH、COD、TP、TN、NH₃-N、MLSS 等指标.其中,温度、DO、pH 3 个指标每隔一天测定一次,COD、TP、TN、NH₃-N、MLSS 五个指标每隔两天测定一次.

COD、TP、TN、NH₃-N 指标采用哈希 DR2800 便携式分光光度计测定;DO、pH 指标分别采用哈希 sension6 DO 仪、哈希 sension1 pH 仪测定;MLSS 依据水与废水监测分析方法(第四版)中的标准方法测定^[11].

2 结果与讨论

2.1 污染物去除效果

2.1.1 COD 去除效果分析

系统对 COD 的去除效果见图 2 所示.试验运行稳定后,第一次监测数据的时间取为第 1 d.

由图可知,试验期间,进水 COD 浓度在 131~1 637 mg·L⁻¹ 之间波动,变化范围较大,但出水基本低于 50 mg·L⁻¹,只有 8 月 21 日、9 月 23 日等共 6 d 出水 COD 略高于 50 mg·L⁻¹,可见系统具有较强的耐冲击负荷能力.膜孔径为 0.2 μm,对胶体和颗粒状态的 COD 去除效果明显^[12],与传统工艺相比,膜的截留作用进一步提

高了出水水质,出水 COD 的平均浓度为 28.24 mg/L,平均去除率为 93.04%,最高去除率可达 99.8%.

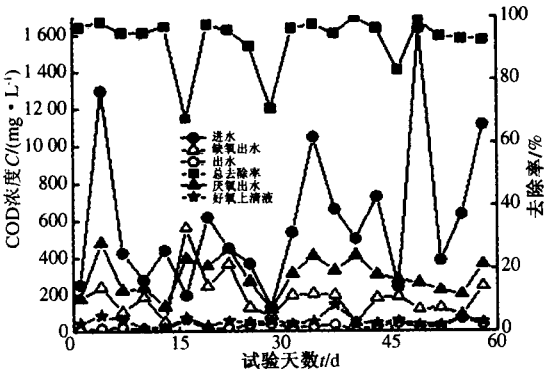


图 2 COD 浓度及去除率随时间的变化图
Fig. 2 Variation of COD concentration and removal rate with time

分析计算可得,COD 主要在厌氧池内得到大量去除,其次是好氧池.厌氧池中 COD 大量减少除了被厌氧或兼性微生物利用之外,可能部分被污泥絮体吸附^[13].厌氧池、缺氧池、好氧池(包含膜组件的作用)对 COD 的去除贡献依次为:55%, 4%, 41%.

2.1.2 TP 去除效果分析

系统对 TP 的去除效果见图 3 所示.

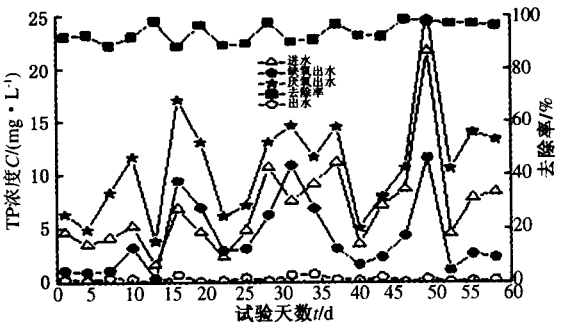


图 3 TP 浓度及去除率随时间的变化图
Fig. 3 Variation of TP concentration and removal rate with time

由图知,试验期间,进水总磷浓度维持在 1.67~21.7 mg·L⁻¹ 之间,出水基本低于 0.5 mg·L⁻¹,只有 8 月 19 日、9 月 10 日等共 5 d 由于未及时排泥出水总磷略高于 0.5 mg·L⁻¹.在基于污泥减排的基础上,出水总磷的平均浓度为 0.28 mg·L⁻¹,平均去除率可达 95.10%,取得了良好的除磷效果,这是本系统的优势所在.

分析计算可得,TP 主要是在好氧池内得到大量去除,其次是缺氧池.缺氧池中 TP 减少,B 表明缺氧池内存在反硝化除磷作用.好氧池内 TP 去除

量最多,符合生物除磷过程的一般规律,包括聚磷菌的吸磷作用,也可能存在同步硝化反硝化作用.另外,膜分离可以去除不易通过重力分离去除的细小磷酸盐沉淀或胶体磷,对更好的降低出水磷的浓度起到了一定的作用,这也是 MBR 工艺在强化除磷方面的优势^[8],好氧池以及膜组件的共同作用对总磷的去除率可达 73%.

2.1.3 TN 去除效果分析

系统对 TN 的去除效果见图 4 所示.

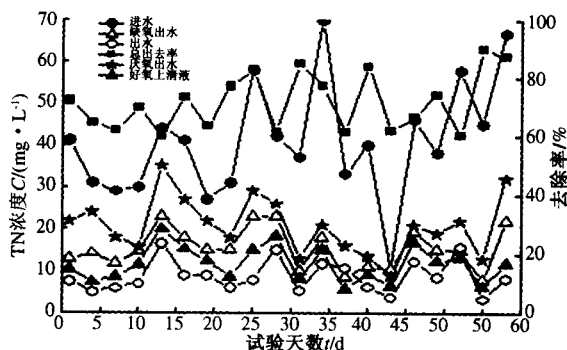


图 4 TN 浓度及去除率随时间的变化图

Fig. 4 Variation of TN concentration and removal rate with time

由图知,试验期间,进水总氮浓度维持在 $10 \sim 70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,变化范围较大,但出水基本低于 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,只有 8 月 19 日、9 月 25 日等共 5 d 出水总氮略高于 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 出水总氮的平均浓度为 $9.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均去除率为 74.59%. 可能由于好氧池内具有较高的 DO (试验期间,好氧池内平均 DO 浓度为 $3.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,池内最高 DO 可达 $5.85 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),回流时提高了溶解氧对污泥絮体的穿透力,却也破坏了厌氧微环境使好氧段产生过多的硝酸盐积累,使出水中氮的含量升高^[14],但试验期间基本达到预期脱氮目的.

分析计算可得,TN 主要在厌、缺氧池内得到大量去除,厌缺氧一体池为主要的脱氮单元,主要通过反硝化作用,可去除 68% 的总氮.好氧池内有氮的去除作用,可能存在同步硝化反硝化.膜的截留作用也起到了一定的脱氮效果.

2.1.4 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果分析

系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果见图 5 所示.

由图知,试验期间,进水氨氮浓度维持在 $6.7 \sim 42.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,只有 8 月 19、9 月 25 日等共 4 d 由于好氧池内 DO 控制不当 ($\text{DO} < 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 使出水氨氮略高于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其余天出水都低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,试验过程中较高的曝气量和较高的污泥浓度为硝化过程创造了良好的条

件^[15],系统硝化作用较为完全.出水氨氮的平均浓度为 $1.69 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均去除率为 93.70%.

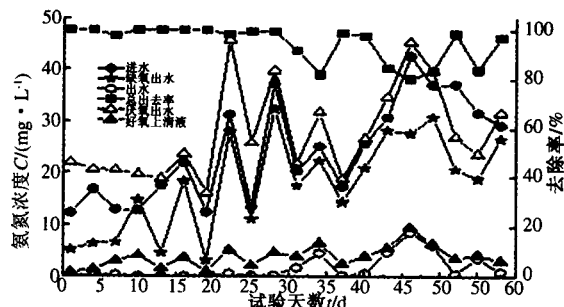


图 5 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度及去除率随时间的变化图

Fig. 5 Variation of $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration and removal rate with time

氨氮主要在好氧池内通过硝化作用得到去除,好氧池内消化作用以及膜组件作用可分别去除氨氮 70%, 11%. 缺氧池也可去除一部分氨氮,可能是回流液中携带溶解氧的缘故.其中,厌氧池内氨氮量增加,主要是因为进水中有机氮通过氨化作用转化为氨氮.

2.2 MLSS 的变化

图 6 表示了各反应器 MLSS 的变化.

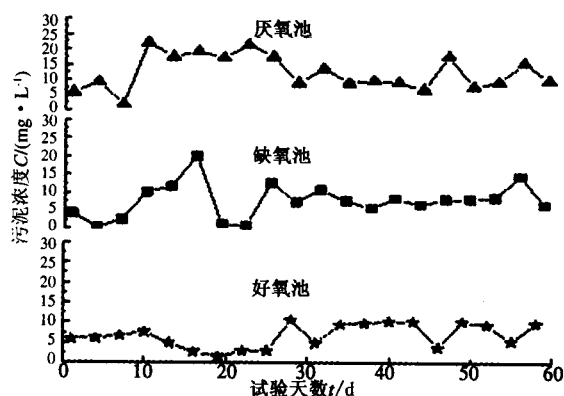


图 6 各反应器内污泥浓度的变化图

Fig. 6 Variation of MLSS in different unit

各反应池的平均污泥浓度分别为厌氧池 $12.65 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、缺氧池 $8.46 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、好氧池 $6.82 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,三池平均污泥浓度为 $9.31 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. 相对于传统的 A^2/O 工艺,该工艺的平均污泥浓度要高的多,这为系统的稳定运行提供了保证.试验期间,出水 MLSS 几乎为 0.

3 结论

(1) A^2/O -MBR 组合工艺对混合型城市污水具有良好的脱氮除磷效果.系统正常运行情况下, TN、TP、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率分别为 74.59%, 95.10%, 93.04%, 93.70%, 平均出水浓度分别为 $9.51, 0.28, 28.24$ 和 $1.69 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,各

指标出水均优于 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。

(2)该工艺中 COD 主要去除单元为厌氧池,对 COD 的去除率占总去除率的 55%;TP 的主要去除单元为好氧池和膜组件,对 TP 的去除率占总去除率的 73%;TN 主要去除单元为厌氧池和缺氧池,对 TN 的去除率占总去除率的 68%;NH₃-N 的主要去除单元为好氧池和膜组件,对 NH₃-N 的去除率占总去除率的 81%。

参考文献:

- [1] LU Xie-juan, ZHANG Bei-ping, LIU Li-xiang, et al. Study on removal of nitrogen and phosphorus by the integrated intermittent-aeration membrane biological reactor [J]. HTRDP of China, 2007, 207 (1): 2829 - 2832.
- [2] 梅凯. 浸没式 MBR 平片膜技术及其应用 [M]. 北京:化学出版社,2011.
- [3] 赵珊珊,胡啸,王志良,等. 膜生物反应器应用于脱氮除磷的研究进展 [J]. 污染防治技术, 2011, 24 (4): 37 - 41.
- [4] JEONG T Y, CHA G C, YOO I K, et al. Characteristics of bio-fouling in a submerged MBR [J]. Desalination, 2007, 207 (1): 107 - 113.
- [5] TRUSSELL R S, MERLO R P, HERMANOWICZ S W, et al. Influence of mixed liquor properties and aeration intensity on membrane fouling in a submerged membrane bioreactor at high mixed liquor suspended solids concentrations [J]. Water Res., 2007, 41 (1): 947 - 958.
- [6] KIM H S, SEO I S, KIM Y K, et al. Full-scale study on dynamic state membrane bio-reactor with modified intermittent aeration [J]. Desalination, 2007, 202 (1): 99 - 105.
- [7] KIM M, NAKHLA G. The beneficial role of intermediate clarification in a novel MBR based process for biological nitrogen and phosphorus removal [J]. Society of Chemical Industry, 2009, 84 (5): 637 - 642.
- [8] 黄霞,左名景,薛涛,等. 膜生物反应器脱氮除磷工艺处理城市污水的工程应用 [J]. 膜科学与技术, 2011, 31 (3): 223 - 227.
- [9] 吴念鹏,许兆义,李久义,等. A²/O-MBR 工艺的脱氮除磷研究 [J]. 江苏环境科技, 2008, 21 (1): 57 - 60.
- [10] DO K-U, BANU J R, CHUNG I-J, et al. Effect of thermochemical sludge pretreatment on sludge reduction and on performances of anoxic-aerobic membrane bioreactor treating low strength domestic wastewater [J]. Society of Chemical Industry, 2009, 84 (5): 1350 - 1355.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析法 [M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [12] 王朝朝,李军,高金华,等. A²O/MBR 的抗冲击负荷性能与脱氮除磷优化 [J]. 中国给水排水, 2010, 26 (21): 38 - 42.
- [13] 薛涛,董良飞,关晶,等. MBR 强化脱氮除磷工艺处理城市污水的中试 [J]. 水处理技术, 2011, 37 (2): 45 - 47.
- [14] 陈晓阳,薛智勇,肖景宽,等. 曝气强度对 AOA 膜生物反应器脱氮除磷性能的影响 [J]. 环境科学, 2011, 32 (10): 2979 - 2985.
- [15] 陆继来,程兵,任洪强,等. A/O MBR 同步脱氮除磷技术研究 [J]. 中国给水排水, 2010, 26 (11): 68 - 70.

Pilot Study of Membrane Bioreactor Process in Treating Municipal Wastewater

WANG Su-lan¹, YU Jie¹, HU Meng², XING Chuan-hong¹

(1. School of Water Conservation and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Huixian Municipal Environmental Protection Bureau, Huixian 453600, China)

Abstract: In order to investigate the effect of the MBR process in phosphorus and nitrogen removal for municipal wastewater, A²/O-MBR is used on the mixed municipal wastewater to do the pilot study in the test. The results show that, when the system is working under the normal condition, the average removal rates of TN、TP、COD、NH₃-N are 74.59%, 95.10%, 93.04%, 93.70%, respectively, and the average concentrations of TN、TP、COD、NH₃-N are 9.51 mg · L⁻¹, 0.28 mg · L⁻¹, 28.24 mg · L⁻¹, 1.69 mg · L⁻¹, respectively, which achieves good effect in phosphorus and nitrogen removal.

Key words: membrane bioreactor; phosphorus removal; nitrogen removal