

硝化/反硝化滤池用于一级 A 水质提升的中试研究

桂 安, 杨燕华, 刘颖欢

(得利满水处理系统<北京>有限公司, 北京 100026)

摘 要: 研究了硝化和反硝化滤池系统应用于市政污水一级 A 出水水质提升至Ⅳ类地表水水质的可行性。当中试系统进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均值为 16.05 mg/L 时, 出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均值为 0.3 mg/L , 硝化滤池的平均硝化负荷为 $0.32 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$; 进水 TN 均值为 17.9 mg/L 时, 出水 TN 均值为 2.7 mg/L , 反硝化滤池的平均脱氮负荷为 $1.2 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$; 进水 TP 均值为 0.65 mg/L 时, 出水 TP 均值为 0.27 mg/L 。中试结果表明硝化和反硝化滤池系统基本可以满足将市政污水一级 A 出水水质提升至Ⅳ类地表水水质的提标改造要求。

关键词: 硝化和反硝化滤池; 市政污水; 一级 A 标准; Ⅳ类地表水水质

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)03-0078-04

Pilot Test of Nitrification and Denitrification Biofilters for Improving Water Quality from First Level A Criteria to Surface Water Class IV Criteria

GUI An, YANG Yan-hua, LIU Ying-huan

(Degremont Water Treatment Systems <Beijing> Co. Ltd., Beijing 100026, China)

Abstract: The feasibility of improving effluent quality from the first level A criteria for municipal sewage to the surface water class IV criteria by nitrification and denitrification biofilters was investigated. When the average $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration in the influent of the pilot test system was 16.05 mg/L , the average $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration in the effluent was 0.3 mg/L , and the average loading rate in nitrification biofilter was $0.32 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ media} \cdot \text{d})$; when the average TN concentration in the influent was 17.9 mg/L , the average TN concentration in the effluent was 2.7 mg/L , and the average loading rate in denitrification biofilter was $1.2 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \text{ media} \cdot \text{d})$; when the average TP concentration in the influent was 0.65 mg/L , the average TP concentration in the effluent was 0.27 mg/L . Pilot results showed that nitrification and denitrification biofilters could meet the requirements for improving effluent quality from the first level A criteria for municipal sewage to the surface water class IV criteria.

Key words: nitrification and denitrification biofilters; municipal sewage; first level A criteria; surface water class IV criteria

水资源不足已成为阻碍和制约经济可持续发展的重要因素,城市污水深度处理后回用是缓解水资源紧张的有效措施。近年来污水处理市场的发展非常迅速,同时污水排放标准逐步提高,尤其是部分地区已要求市政污水的排放满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅳ类水质标准,以更好地满足水体环境保护和解决水资源短缺问题。这对于

现有市政污水厂来说是一个非常高的要求,意味着许多污水厂必须新增或改造三级处理工艺来达到最终的Ⅳ类地表水水质。基于此,笔者研究了硝化/反硝化滤池^[1,2]应用于市政污水一级 A 水质提升至Ⅳ类地表水水质的可行性。

1 试验装置与方法

中试系统采用苏伊士水务工程的专利硝化/反

硝化滤池技术(BIOFOR[®] N 和 BIOFOR[®] DN),试验地点为西南地区某市政污水厂。

1.1 设计进出水水质

设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项 目	进 水	硝化滤池出水	反硝化滤池出水
COD	≤50	—	30
TN	≤15	15	5 ^a
TP	≤0.5	—	0.3
NH ₄ ⁺ - N	≤8(5) ^b	1.5	1.5

注: “a”是指Ⅳ类地表水标准中 TN 限值为 1.5 mg/L,但低于 5 mg/L 更有实际操作意义,故设计出水 TN 定为 5 mg/L;“b”是指水温 > 12 ℃时数值为 5 mg/L,水温 ≤ 12 ℃时数值为 8 mg/L。

1.2 中试装置

中试工艺流程为市政污水厂二沉池出水→硝化滤池→反硝化滤池→出水,见图 1。

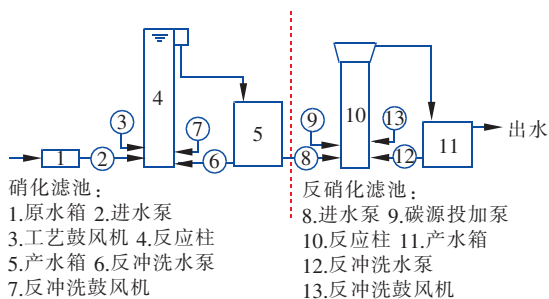


图 1 中试系统工艺流程

Fig. 1 Flow chart of pilot-scale system

硝化滤池反应柱的直径为 900 mm,材质为 SUS304,过滤面积为 0.64 m²,滤速为 3 ~ 12 m/h,滤料高度为 3.7 m,采用有效粒径为 2.7 mm 的不规则陶粒滤料。反硝化滤池反应柱的直径为 500 mm,材质为 SUS304,过滤面积为 0.2 m²,滤速为 10 ~ 30 m/h,滤料高度为 2.7 m,采用有效粒径为 4.5 mm 的圆形陶粒滤料。沿滤层高度共设有 5 个取样口,每两个取样口的间距为 550 mm,即取样口 1 ~ 5 对应的高度分别为 768、1 318、1 868、2 418、2 968 mm。因为滤料填装总高为 2 700 mm,所以取样口 5 对应的 2 968 mm 是其与滤料底部位置的距离,而非滤料高度。中试外加碳源为乙酸钠。

1.3 分析项目及方法

分析指标为 COD、TP、TN、NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N

和 NO₂⁻ - N,分析方法参照《水和废水监测分析方法》(第 4 版)。

2 结果与讨论

中试于 2014 年 10 月底开始运行,选取冬季试验数据(2015 年 1 月 15 日—30 日)进行分析。这期间水温相对最低(硝化滤池进、出水平均水温分别为 14.9、15.4 ℃;反硝化滤池出水平均水温为 16.1 ℃),硝化滤池滤速为 3.1 m/h,反硝化滤池滤速为 10 m/h。

2.1 进出水 COD

硝化滤池进出水 COD 均值分别为 24.7、17.7 mg/L,反硝化滤池进出水 COD 均值分别为 17.1、21.2 mg/L,出水浓度较进水增加了 4.1 mg/L,表明加入的碳源不能完全被微生物所利用,仍有部分残留在出水中。

2.2 进出水 NH₄⁺ - N

出水 NH₄⁺ - N 浓度与进水 NH₄⁺ - N 浓度呈对应变化趋势(见图 2)。硝化滤池进水 NH₄⁺ - N 浓度在 11.9 ~ 19.4 mg/L 之间波动,平均值为 16.05 mg/L;出水 NH₄⁺ - N 浓度在 0.03 ~ 1.5 mg/L 之间波动,平均值为 0.53 mg/L;NH₄⁺ - N 平均去除量为 15.52 mg/L,平均去除率为 97%,平均去除负荷为 0.32 kgNH₄⁺ - N/(m³ 滤料 · d)。反硝化滤池出水氨氮浓度可稳定保持在 1.5 mg/L 以下,均值为 0.3 mg/L。

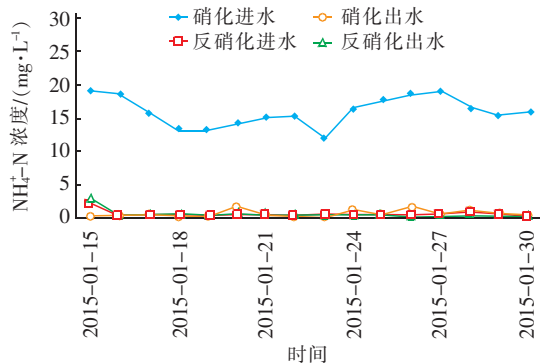


图 2 中试系统进出水 NH₄⁺ - N 浓度变化

Fig. 2 Variation of influent and effluent ammonia nitrogen

通过统计,得到硝化滤池出水 NH₄⁺ - N 浓度的累计曲线见图 3。可以看出,当进水 NH₄⁺ - N 浓度在 11.9 ~ 19.4 mg/L 之间变化时,硝化滤池出水 NH₄⁺ - N 浓度可 100% 稳定控制在 1.5 mg/L 以下(Ⅳ类地表水水质),出水均值为 0.53 mg/L。

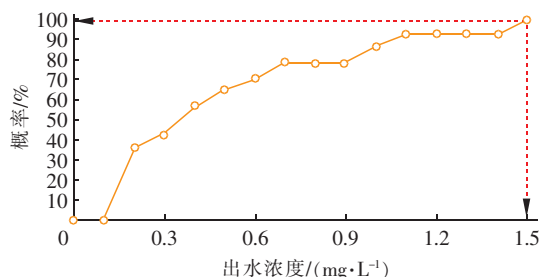
图3 硝化滤池出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度累计曲线

Fig. 3 Accumulated curve of effluent ammonia nitrogen for nitrification biofilter

2.3 进出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$

硝化滤池:进水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度在 0.88 ~ 3.63 mg/L 之间波动,均值为 2.00 mg/L;出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度为 12.6 ~ 20.7 mg/L,均值为 16.5 mg/L。进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 均值为 0.57 mg/L,出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 均值为 0.07 mg/L。

反硝化滤池:进水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度在 12.5 ~ 20.6 mg/L 之间波动,均值为 16.2 mg/L;出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度在 0.47 ~ 1.55 mg/L 之间波动,均值为 0.98 mg/L。进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度在 0.002 ~ 0.24 mg/L 之间波动,均值为 0.06 mg/L;出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度在 0.003 ~ 4.93 mg/L 之间波动,均值为 1.59 mg/L。

反硝化出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度受碳源投加量的影响较大。选用乙酸钠作为碳源时,若其投加量不足则会导致反硝化不彻底,造成 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 累积。

2.4 进出水 TN

中试系统进出水 TN 的浓度变化见图 4。

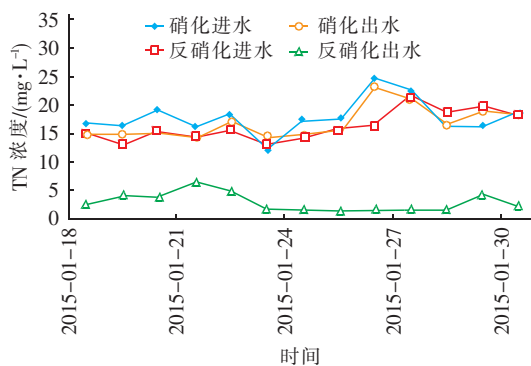


图4 中试系统进出水 TN 浓度变化

Fig. 4 Variation of influent and effluent TN

硝化滤池进出水 TN 均值分别为 17.9 和 16.8 mg/L。反硝化进水 TN 浓度在 12.9 ~ 21.5 mg/L 之间波动,平均值为 16.2 mg/L;出水 TN 浓度在 1.3

~ 6.3 mg/L 之间波动,均值为 2.7 mg/L;TN 去除均值为 13.5 mg/L,去除率为 83.3%;氮类平均去除负荷为 1.2 kgN/(m³ 滤料 · d),最高值为 1.8 kgN/(m³ 滤料 · d)。

2.5 进出水 TP

中试系统进出水 TP 的浓度变化见图 5。硝化滤池进水 TP 为 0.13 ~ 1.23 mg/L,均值为 0.65 mg/L,出水 TP 为 0.30 ~ 0.95 mg/L,均值为 0.53 mg/L;反硝化滤池进水 TP 为 0.28 ~ 0.86 mg/L,均值为 0.49 mg/L,出水 TP 为 0.08 ~ 0.62 mg/L,均值为 0.27 mg/L。

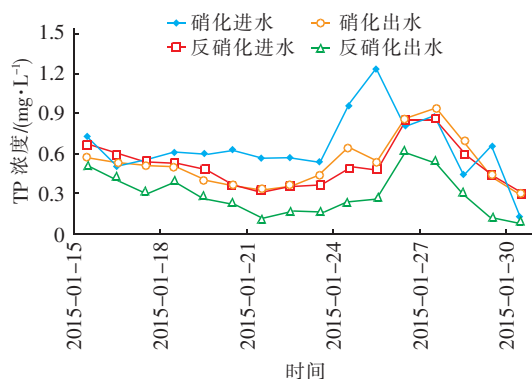


图5 中试系统进出水 TP 变化

Fig. 5 Variation of influent and effluent TP

2.6 乙酸钠投加比

反硝化滤池进水 DO 均值为 5.42 mg/L,会消耗掉一定的碳源,故需进行校正(按照 DO/2.86 折成 $\text{NO}_3^- - \text{N}$),校正后的脱氮量为 15.4 mg/L。乙酸钠投加比定义为去除每克氮所需投加的乙酸钠量。中试系统中乙酸钠投加量为 180 mg/L,校正后的脱氮量为 15.4 mg/L,计算得到乙酸钠投加比为 11.7、碳氮比为 8.1 gCOD/g 氮(实测得出 1 mg/L 的乙酸钠相当于 0.69 mg/L 的 COD,即折算系数为 0.69)。

2.7 脱氮率随滤料高度的变化

取反应柱不同高度的 5 个水样进行监测,分析脱氮率随滤料高度的变化,结果见图 6。取样口 1 的 TN 浓度为 5.3 mg/L,再往上则 TN 浓度降低趋势明显变缓。此段滤料内,由于基质浓度较高,且外碳源充分,故反硝化反应很快;随水流逐步向上,基质和碳源浓度均逐渐降低,反硝化速率也明显减缓。取样口 3(滤料高度为 1 868 mm,为滤料填充总高度的 70%)的 TN 浓度为 3.0 mg/L,表明反硝化滤池仍有较富裕的脱氮能力,工艺缓冲能力较强,可承受

一定的进水负荷波动(水力波动或浓度波动)。

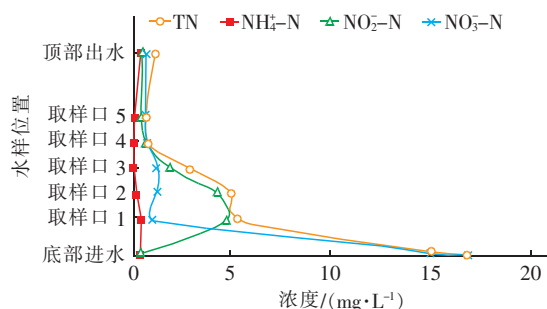


图 6 反硝化滤池脱氮率随滤料高度的变化

Fig. 6 TN removal rate along with media height

3 结论

① 水温为 15℃ 左右时,硝化滤池的硝化负荷及反硝化滤池的脱氮负荷分别为 $0.32 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$ 和 $1.2 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,对氨氮和 TN 的去除量分别为 15.52 和 13.5 mg/L,优于设计所要求的进出水浓度差值;当进水 TP 均值为 0.65 mg/L 时,出水 TP 均值为 0.27 mg/L,平均去除率为 58.5%。硝化/反硝化滤池可以满足将市政污水一级 A 出水水质提升至Ⅳ类地表水水质的要求。

② 实际工程中应先测定原水中难降解 COD 浓度,以确定后续是否需要增加除碳工艺单元(可考虑先经跌水或预曝气后再通过砂滤去除),确保最终出水 COD 浓度满足Ⅳ类地表水水质要求(30

mg/L)。

参考文献:

- [1] 陈永志,彭永臻,王建华,等. A^2/O —曝气生物滤池深度生物脱氮除磷工艺分析[J]. 中国给水排水,2011,27(10):29-32.
- [2] 白宇,刘金瀚,甘一萍,等. 臭氧—活性炭—反硝化生物滤池在污水再生回用中的应用[J]. 给水排水,2008,34(8):49-53.



作者简介:桂安(1984—),男,江西九江人,硕士,高级工艺工程师,主要研究方向为污水处理及回用。

E-mail:24197255@qq.com

收稿日期:2016-07-12

(上接第 77 页)

(5):1-4.

- [13] Ni S Q, Ni J Y, Hu D L, et al. Effect of organic matter on the performance of granular anammox process[J]. Bioresour Technol, 2012, 110: 701-705.
- [14] 李亚峰,张晓宁,陈文通,等. 碳源对厌氧氨氧化脱氮性能影响的试验研究[J]. 环境工程, 2013, 31(1): 35-38.
- [15] 丁嫚,李璐,邹莉,等. 活性污泥总 DNA 提取方法的比较[J]. 环境工程学报, 2009, 3(9): 1697-1702.
- [16] 闫建芳,刘秋,张璐,等. 一种活性污泥总 DNA 提取方法的优化[J]. 环境工程学报, 2012, 6(3): 1000-1004.
- [17] 王天云,张贵星,薛乐勋,等. 一种简便高效的改良降落 PCR[J]. 中国生物工程杂志, 2003, 23(11): 80-82.



作者简介:王猛(1989—),男,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为生物水处理技术。

E-mail:1316038685@qq.com

收稿日期:2016-08-22