

反硝化滤池在某工业园区污水处理厂的中试研究

杜 创¹, 李 栋²

(1. 合肥市地下管网建设管理办公室, 安徽 合肥 230000; 2. 赛莱默<中国>有限公司, 上海 200051)

摘 要: 利用 Leopold 反硝化滤池中试装置对污水处理厂二级出水进行脱氮除磷。试验结果表明, 中试系统对硝态氮的去除效果良好, 试验期间出水硝态氮浓度约为 1 mg/L, 平均去除率为 82.28%; 出水总氮基本在 5 mg/L 以下; 以甲醇为碳源, 可使出水 COD 稳定在 30 mg/L 以下; 采用 PAC 强化除磷后, 除磷效果稳定, 出水总磷浓度基本在 0.3 mg/L 以下。

关键词: 反硝化滤池; 污水处理; 脱氮除磷

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)09-0073-04

Pilot Scale Test of Denitrification Filter in an Industrial Zone Wastewater Treatment Plant

DU Chuang¹, LI Dong²

(1. Hefei Underground Pipe Network Construction Administration Office, Hefei 230000, China;
2. Xylem <China> Co. Ltd., Shanghai 200051, China)

Abstract: A pilot test on the denitrification and removal of phosphorous in secondary treatment effluent was carried out using a Leopold pilot test unit. The study showed that the pilot unit achieved excellent denitrification effect. The average removal rate of nitrate was 82.28%, and the effluent concentration of nitrate was maintained at 1 mg/L. The effluent concentration of total nitrogen was controlled below 5 mg/L when the ammonia concentration was low. The effluent COD was constantly below 30 mg/L if methanol was added. The study also showed good phosphorus removal by using PAC, and the total phosphorus in effluent was approximately below 0.3 mg/L.

Key words: denitrification filter; wastewater treatment; nitrogen and phosphorus removal

某工业园区污水处理厂一期深度处理为微絮凝过滤工艺, 滤池为砂滤池, 原设计采用 V 型滤池, 由于排放标准的提高, 其无法满足对 TN 的出水要求, 为此需要将砂滤池改造为具有脱氮功能的反硝化滤池^[1~4]。改造项目应在满足新标准的同时, 尽量维持目前的土建结构。

因此, 笔者针对该污水处理厂的实际进水水质, 分析 Leopold 反硝化滤池对 TN、COD、TP 的去除情况, 通过实际运行探索边界条件, 从而确定 Leopold 反硝化工艺的可行性及相关运行参数, 可为工程改造提供可靠的技术依据。

1 试验材料与方法

1.1 原水水质

试验进水为该污水处理厂二级出水, 平均水温为 18℃, 根据提标改造工程的要求, 中试系统出水 COD、SS、TP 浓度应达到 IV 类水标准, BOD₅、TN、NO₃⁻-N 分别低于 10、5、2 mg/L。试验进水 COD、BOD₅、DO、SS、NO₃⁻-N、TP 分别为 20.5~84.8、2~11、0.03~7.1、5~85、2~22、0.19~2.4 mg/L。

1.2 工艺流程

Leopold 反硝化中试系统主要包括原水箱、Leopold 反硝化滤柱、反洗水箱、进水泵、反洗水泵、

反洗风机等。工艺流程如图1所示。

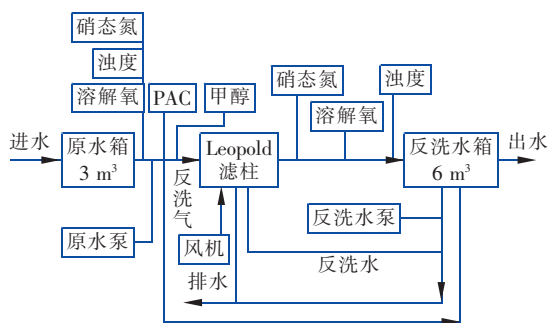


图1 中试工艺流程

Fig. 1 Flow chart of pilot scale test

滤池的滤柱面积为 0.37 m^2 ，高度为 5.3 m ，采用 Leopold S 型底部配水系统。滤池内填充粒径为 $1.7 \sim 3.25 \text{ mm}$ 的石英砂滤料^[5]。

试验需要安装的在线仪表包括：进、出水硝态氮分析仪，进、出水 DO 检测仪，进、出水流量计，进水温度计，滤池液位计。反硝化滤池系统由 PLC 程序自动控制运行，根据进水硝态氮浓度、亚硝态氮浓度和溶解氧浓度自动调节碳源投加量，并通过出水硝态氮浓度进行反馈调节，使碳源投加量更精准。

反硝化滤池系统的外加碳源是甲醇^[6,7]。试验采用 30% 的甲醇直接投加在滤池的进水管路中，通过流量控制其投加量。进水硝态氮和溶解氧对甲醇投加量(A)的影响见式(1)。

$$A = m \times (\text{NO}_3^- - \text{N}) + n \times (\text{NO}_2^- - \text{N}) + s \times \text{DO} \quad (1)$$

式中， m 、 n 、 s 分别为硝态氮、亚硝态氮和溶解氧的计量系数。

试验开始阶段，使甲醇投加量在较高水平以加速反硝化菌的生长；当滤床成功启动或正常运转后，甲醇的投加量可维持在较低水平。

氮气随着反应的进行累积在滤料上，导致滤池的水头损失增加，可以通过水的反冲洗释放氮气。本试验中，用于氮气释放的水反冲洗速度为 14.7 m/h ，持续时间为 2 min ，时间间隔为 $70 \sim 150 \text{ min}$ 。另外，系统中微生物的生长也会增加滤池的水头损失，也需要利用反冲洗来保障系统的正常运行。滤料的反冲洗主要分为 $1 \sim 3 \text{ min}$ 的气反冲洗 [$91.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]、 $5 \sim 7 \text{ min}$ 的气水联合反冲洗 [气洗强度为 $91.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，水洗强度为 $14.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]、 $8 \sim 10 \text{ min}$ 的水反冲洗 [$14.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot$

$\text{h})$]。

1.3 试验方法

中试系统从 2013 年 10 月 30 日开始调试，到 11 月 18 日基本运行稳定。试验第一阶段从 11 月 19 日开始，投加甲醇考察系统的脱氮效果，以及碳源投加量对出水 COD 的影响。试验滤速分别为 5.2 (2013 年 11 月 19 日—30 日)、 6.3 (2014 年 3 月 21 日—4 月 3 日)、 7.1 (2014 年 4 月 4 日—16 日)、 8.2 (2014 年 4 月 17 日—23 日)、 9.2 m/h (2014 年 6 月 5 日—7 日，此期间未检测进、出水的 TN、TP、COD 等指标)。第二阶段从 2014 年 4 月 24 日开始，同时投加甲醇和 PAC 来分析系统脱氮除磷的综合效果，滤速分别为 5.2 (2014 年 4 月 24 日—5 月 15 日未投加 PAC，2014 年 5 月 23 日—29 日)、 6.3 m/h (2014 年 5 月 30 日—6 月 4 日)。

2 结果与讨论

2.1 对 COD 的去除

试验期间系统出水 COD 均满足要求，具体情况如图 2 所示。

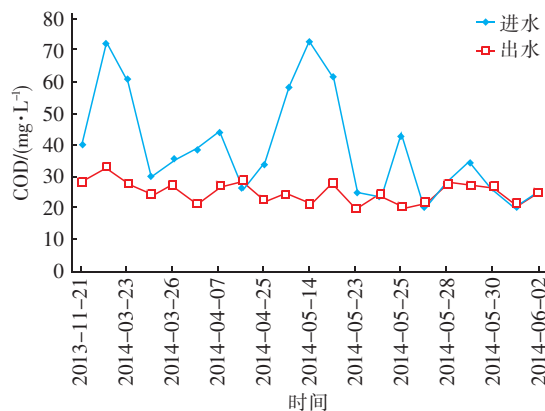


图2 进、出水 COD 的变化

Fig. 2 Change of COD in influent and effluent

由图 2 可知，当进水 COD $< 72 \text{ mg/L}$ 时，出水 COD 基本小于 30 mg/L 。分析原因，出水 COD 的降低主要是由于非溶解性 COD 的去除以及反硝化细菌对部分可降解 COD 的利用；在低滤速阶段，当进水 COD 超过 30 mg/L 时，对 COD 的去除率较高，当滤速达到 8.2 m/h 时，仍能确保出水 COD 不增加；后期投加 PAC 后，在进水 COD 较高时，系统对 COD 的去除效果亦非常明显。

综上所述，反硝化深床滤池可以去除部分 COD，这得益于 Leopold 的碳源精确投加系统，可保证出水 COD 浓度不增加，这对污水处理厂的深度处

理非常重要。

2.2 对硝态氮的去除

试验期间,进水硝态氮浓度平均为 11.44 mg/L,出水浓度平均为 1.06 mg/L,具体情况如图 3 所示。

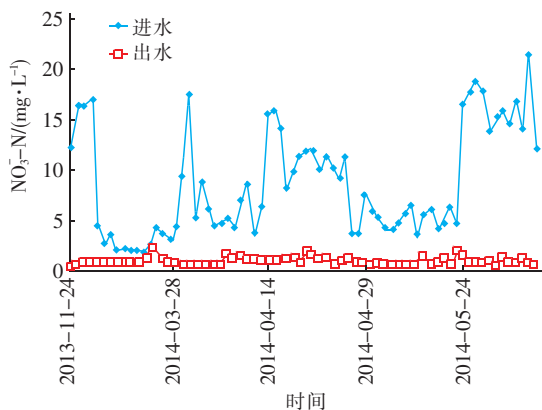


图 3 进、出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化

Fig. 3 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in influent and effluent

由图 3 可知,系统对硝态氮的去除效果良好,其平均去除率为 82.28%,出水浓度基本控制在 1 mg/L 左右。部分监测点浓度较高是因为系统故障或反冲洗结束时的瞬间值,但仍满足出水水质要求。同时,随着滤速的增加,出水硝态氮并没有增大的趋势,可以基本控制在 2 mg/L 以下,尤其是在滤速为 9.2 m/h 时,出水硝态氮也能控制在 1 mg/L 左右。虽然此时水温已经有所升高,但仍能证明系统对水力负荷的冲击有较强的适应性。

在 5.2 和 6.3 m/h 的滤速下,将不投加 PAC 与后期投加 PAC 的运行效果进行比较,结果表明 PAC 的投加并未影响反硝化细菌的脱氮效果,影响的仅仅是系统的运行周期,而系统反冲洗周期缩短在一定程度上也利于反硝化细菌的更新换代,反过来促进脱氮反应。

2.3 对总氮的去除

试验过程中进水总氮浓度平均为 12.86 mg/L,出水浓度平均为 2.68 mg/L,具体情况如图 4 所示。可以看出,系统对总氮的去除效果良好,其对总氮的平均去除率为 71.34%,出水总氮浓度基本稳定在 5 mg/L 以下,完全满足设计出水水质要求。另外,随着滤速的增加,出水 TN 浓度略有降低,这主要是由于进水氨氮有所降低,同时水温逐渐升高导致反硝化细菌活性增强,也说明系统对水力负荷的耐冲击性强。在投加 PAC 阶段,进水 TN 维持在 15 ~ 25

mg/L 高浓度水平时,出水 TN 仍能控制在 2 mg/L 左右,可见 Leopold 反硝化滤池系统具有良好的脱氮效果。

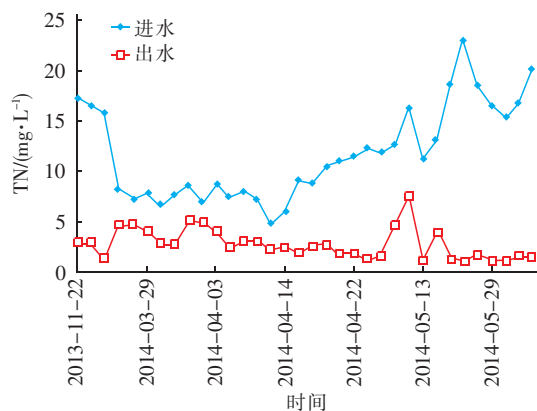


图 4 进、出水总氮的变化

Fig. 4 Change of TN in influent and effluent

2.4 对总磷的去除

试验过程中进水总磷浓度平均为 1.09 mg/L,出水浓度平均为 0.28 mg/L,具体情况如图 5 所示。

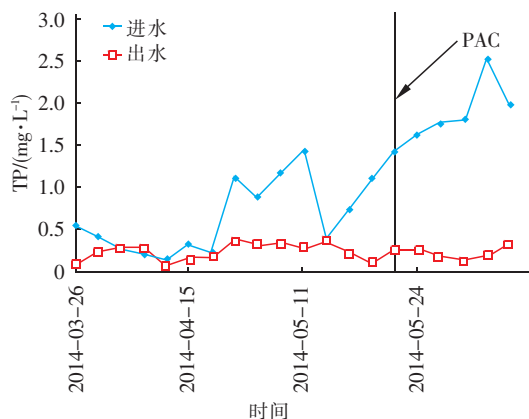


图 5 进、出水总磷的变化

Fig. 5 Change of TP in influent and effluent

不投加 PAC 时,系统去除总磷的原因为滤池内微生物的合成,同时也可以通过滤料截留颗粒态的磷,并最终通过反冲洗去除。试验过程中对总磷的平均去除率为 68.78%。5 月 23 日—6 月 4 日,通过添加 PAC 进行强化除磷。由图 5 可知,此阶段进水 TP 较高,投加 PAC 后,总磷去除效果非常明显,最高可从 2.5 mg/L 降至 0.2 mg/L,出水总磷浓度满足要求。

3 结论

① 该反硝化工艺对硝态氮的去除效果显著,当进水硝态氮平均为 11.44 mg/L 时,其对硝态氮的去除率可达 82.28%,出水硝态氮浓度基本在 2 mg/L

L以下,出水总氮浓度基本在5 mg/L以下。采用PAC强化除磷后,出水总磷浓度基本在0.3 mg/L以下。随着滤速的增加,系统脱氮除磷的效果也未受影响,系统抗负荷冲击能力较强。

② 通过对中试系统的运行调试,建议该反硝化工艺的运行参数如下:进水负荷为6.3 m/h,氮气释放周期为150 min,滤料反冲洗周期为24 h。

参考文献:

- [1] 成水平,冯玉琴,吴娟,等. 城市河流水环境综合治理技术集成与示范[J]. 给水排水,2013,39(8):16-19.
- [2] 李鑫玮,卓崑,魏威,等. 反硝化滤池深度脱氮效能分析及工程应用[J]. 中国给水排水,2016,32(21):132-136.
- [3] 张万里,周平,毛小伟,等. 改良型 A^2/O +反硝化滤池工艺用于污水处理扩建工程[J]. 中国给水排水,2015,31(24):52-55.
- [4] 赵二燕,叶勇,徐燕京,等. 城镇污水厂活性砂反硝化滤池的运行与管理[J]. 中国给水排水,2015,31(20):120-122.
- [5] 刘金瀚,白宇,林海,等. 反硝化生物滤池用于污水深度脱氮研究[J]. 中国给水排水,2008,24(21):26-29.

- [6] 刘秀红,甘一萍,杨庆,等. 碳源对反硝化生物滤池系统运行及微生物种群影响[J]. 水处理技术,2013,39(11):36-40.
- [7] 魏楠,赵思东,孙雁,等. 污水处理厂强化脱氮过程中碳源投加策略研究[J]. 中国给水排水,2017,33(1):71-75,79.



作者简介:杜创(1978-),男,安徽宿州人,本科,高级工程师,主要研究方向为市政排水与地下管网建设管理。

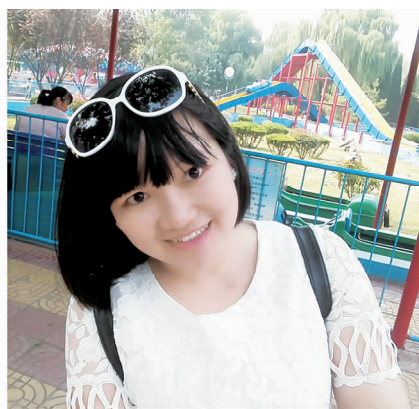
E-mail:174322241@qq.com

收稿日期:2017-02-12

(上接第72页)

- [9] 曹文平,张后虎,汪银梅. 以纤维素物质为反硝化碳源和载体去除水中硝酸盐[J]. 工业水处理,2012,32(2):5-9.
- [10] 王润众. 新型缓释碳源滤料的制备及其应用研究[D]. 北京:北京工业大学,2015.
- [11] 刘俊新,李杰,王亚娥. 铁细菌在污水除磷中的应用研究[J]. 环境科技,2012,25(6):61-65.
- [12] 匡颖,董启荣,王鹤立. 海绵铁与火山岩填料 A/O 生物滴滤池脱氮除磷的中试研究[J]. 水处理技术,2012,38(9):50-53.
- [13] 王建超,郝瑞霞,孟成成. 海绵铁/活性炭复合填料强化3DBER脱氮除磷特性[J]. 中国给水排水,2014,30(11):19-23.
- [14] 周康群,刘晖,孙彦富,等. 反硝化聚磷菌的SBR反应器中微生物种群与浓度变化[J]. 中南大学学报:自然科学版,2008,39(4):705-711.
- [15] 李杰,王亚娥,王志盈,等. 生物海绵铁在生活污水脱氮除磷中的应用研究[J]. 中国给水排水,2007,23

(1):97-100.



作者简介:钟丽燕(1991-),女,江西赣州人,硕士研究生,研究方向为污水处理及资源化。

E-mail:xiaozhongliyan@163.com

收稿日期:2016-09-13