

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.03.008



FeSO₄ 应用于 SBBF 强化除磷

季斌¹, 朱雷¹, 陈威¹, 王健¹, 杨开²

(1. 武汉科技大学 城市建设学院, 武汉 430065; 2. 武汉大学 土木建筑工程学院, 武汉 430072)

摘要:序批式生物膜滤池(SBBF)是基于序批式生物膜法的改进污水处理新型工艺,针对 SBBF 处理城市污水的除磷的效果较差的弊端,通过直接投加 FeSO₄·7H₂O 到反应体系实现协同除磷,使得该工艺能够较好地应用于污水脱氮除磷。Fe(II)的投加量从 0.03~0.3 mM 进行协同除磷试验,结果表明 0.2 mM 的 Fe(II)投加可为有效投加量。进一步将 0.2 mM 的 Fe(II)在进水阶段后投加到反应体系,稳定运行 1 个月,发现出水的 TP 稳定保持在 0.5 mg/L 以下,而 COD 和氮的去除基本不受影响。COD、NH₄⁺-N、TN 和 TP 的平均去除率分别为 84.9%、83.2%、46.3% 和 88.2%。反应器出水的各项指标均稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 排放标准。

关键词:序批式生物膜滤池;协同除磷;混凝剂;城市污水

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2016)03-0053-05

Enhanced phosphorus removal in a SBBF by using ferrous sulfate

Ji Bin¹, Zhu Lei¹, Chen Wei¹, Wang Jian¹, Yang Kai²

(1. School of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, P. R. China;

2. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract: A sequencing batch biofilm filter was a novel technology based on SBBR. As the sequencing batch biofilm filter was not efficient for phosphorus removal in the treatment of domestic sewage, FeSO₄·7H₂O was added to the SBBF in order to achieve chemical aided biological phosphorus removal, which was meaningful for nitrogen and phosphorus removal in wastewater treatment. When concentrations of Fe(II) varied from 0.03 to 0.3 mM, it indicated that 0.2 mM Fe(II) might be a proper dosage. When 0.2 mM Fe(II) was added to the bioreactor at the end of influent phase for one month, the effluent TP remained stable at below 0.5 mg/L, and the removal of COD and nitrogen were not affected. The average removal efficiencies of COD, NH₄⁺-N, TN and TP were 84.9%, 83.2%, 46.3% and 88.2%, respectively. The parameters of reactor effluent were stable to achieve the A standard “discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant (GB 18918—2002)”.

Keywords: sequencing batch biofilm filter; chemical aided biological phosphorus removal; coagulant; domestic sewage

收稿日期:2016-01-12

基金项目:湖北省教育厅中青年人才项目(Q20161116);国家科技支撑计划(2014BAL04B04);武汉科技大学青年科技骨干培育计划(2016XZ033)

作者简介:季斌(1987-),男,主要从事污水处理工艺及环境微生物学研究,(E-mail) binji@wust.edu.cn.

Received:2016-01-12

Foundation item: Youth Foundation by Hubei Ministry of Education(No. Q20161116); National Science and Technology Pillar Program (No. 2014BAL04B04); The Plan for Outstanding Young Teachers of WUST (No. 2016XZ033)

Author brief: Ji Bin(1987-), main interests: wastewater treatment process and environmental microbiology, (E-mail) binji@wust.edu.cn.

序批式生物膜滤池 (sequencing batch biofilm filter) 是序批式生物膜法和生物滤池的有效结合, 通过接触氧化和过滤作用从而达到去除污染物的目的^[1-2]。之前的研究表明^[3], 序批式生物膜滤池通过同步硝化反硝化作用脱氮的效果较好, 由于大量的异养微生物的生长代谢可获得较高的有机物的去除率。但是 SBBF 通过反硝化除磷作用和反冲洗过程排泥而达到除磷的效果, 出水的 TP 的浓度基本上达不到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 标准的要求^[1-2, 4]。膜法除磷主要是依靠生物膜的脱落, 然后排放到反应系统外来达到除磷目的^[5], 较长的 SRT 也不利于生物除磷。

化学除磷是利用化学药剂将水中溶解性的磷变为非溶解性的磷, 而化学协同除磷是将化学混凝剂直接投加在生物反应池中^[6], 使溶解性有机磷由水中析出而沉淀或过滤分离^[7], 是一种简单有效的强化除磷的方法。这就需要采用化学协同除磷的方法来进一步提高 SBBF 对磷的去除作用。铁盐和铝盐被广泛运用于强化反应器磷的去除^[8-11], 由于铁盐比铝盐对微生物毒性更小, 且硫酸亚铁价格相对低廉, 本研究采用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 对 SBBF 进行强化协同除磷, 旨在探索其投加方式, 投加量及对污染物去除效果的研究。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

SBBF 装置见图 1 所示。反应器采用有机玻璃制造, 有效高度 3.5 m, 内径 0.235 m。底部为 0.5 m 集水区, 在集水区上面是具有曝气盘和长柄滤头, 其中, 曝气盘上开有数十个 0.9 mm 直径的曝气孔, 曝气盘上面依次是 1.1 m 的无烟煤滤料 (直径 1~2 mm, 真实密度 $1\,500\text{ kg/m}^3$) 和 1.7 m 的高分子复合物生物带填料 (4 mm 厚, 40 mm 宽, 真实密度 800 kg/m^3 , $30\,000\text{ m}^2/\text{m}^3$ 的比表面积), 进水口在填料的上部, 每周期处理的水量通过浮球阀进行自动控制 (H1-H2)。

通过控制柜来自动控制装置运行, 反应器装置的运行方式为间歇进水, 间歇出水。原水通过管道进水泵到反应器, 混合静置 30 min, 曝气 70 min 沉淀 10 min, 静置过滤出水从而进入下一个周期。出水的初始滤速控制在 5 m/h 左右, 控制气阀使得水中 DO 保持在 2~3 mg/L, 通过控制每周期的水量

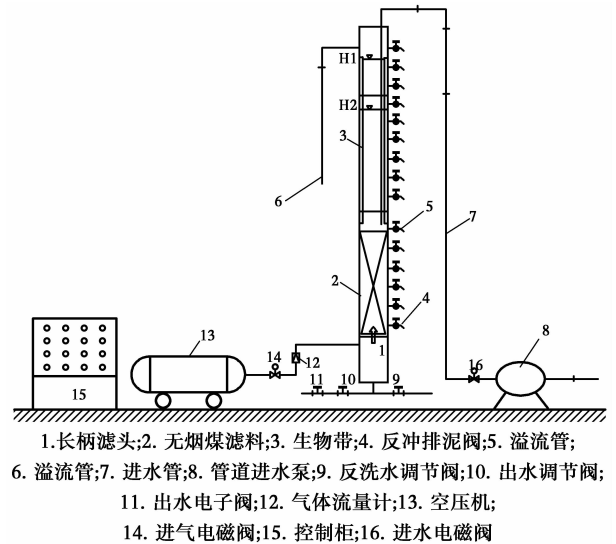


图 1 SBBF 实验装置图

Fig. 1 Sketch of SBBF

使得 HRT 为 10 h, 通过反冲洗排泥使 SRT 控制在 60 d 左右。

1.2 投药方案

在最佳工艺参数条件下, SBBF 对有机物和氮素的去除效果很高, 但对磷的去除效果的欠缺, 将 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 用 10 mL 纯水溶解后, 在进水阶段结束后的 3 min 内, 直接投加到反应器, 在得出最佳投药量之后, 试验一个月。选择每日正午的进水和出水来测定氮磷和 COD 等指标。由于混凝剂的投加使得反应器的产泥量增多, SBBF 的反冲洗周期从 5 d 左右减少到 3 d 左右。

1.3 试验水质及方法

以武汉市二郎庙污水处理厂的沉砂池出水为试验用水, 具体水质指标如表 1。COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的测定分别采用标准方法即重铬酸钾法、纳氏试剂分光光度法、碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法和钼酸铵分光光度法, 水温和 DO 采用 YSI52 数字式溶解氧测量仪测定。

表 1 SBBF 进水水质指标

Tabel 1 Characteristics of raw water

项目	数值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
COD	84.5~117.0
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	12.4~16.9
TN	15.3~18.8
TP	1.4~6.8

2 结果与讨论

FeSO₄ 7H₂O 的投加量从 0.03~0.3 mM,取样并测定各项水常规指标。FeSO₄ 7H₂O 投加量如表 2 所示,图 2 为不同浓度 FeSO₄ 7H₂O 投加量下进水和出水的总磷浓度。由图 2 可知,当 FeSO₄ 7H₂O 达到 0.2 mM 及以上的时候,出水总磷均在 0.5 mg/L 以下,综合考虑污染物去除效果和经济因素,FeSO₄ 7H₂O 的投加量确定为 0.2 mM。

表 2 不同浓度 FeSO₄ 7H₂O 投加量方案

Table 2 Dosage scheme of varied concentrations of FeSO₄ 7H₂O

时间/d	FeSO ₄ 7H ₂ O 投加量/mM
1	0.03
2	0.04
3	0.06
4	0.08
5	0.1
6	0.2
7	0.25
8	0.3

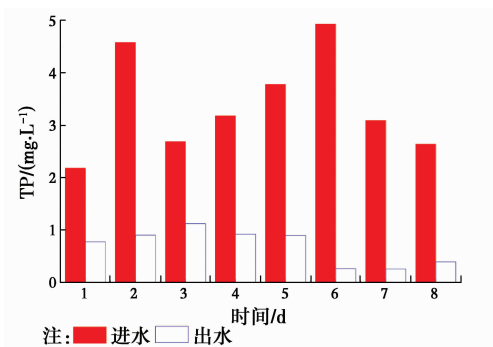


图 2 不同浓度 FeSO₄ 7H₂O 投加对 TP 去除效果的影响
Fig. 2 Impact of varied concentrations of FeSO₄ 7H₂O on TP removal efficiency

对其效果进一步评价,将 FeSO₄ 7H₂O 投加量稳定在 0.2 mM 一个月时间,每隔一天取样测定各项水质指标。进出水总磷、总氮、氨氮和生化需氧量的结果分别如图 3~6 所示。

由图 3~6 可知,反应器 1 个月的进水总磷范围为 1.4~6.8 mg/L,出水 TP 均保持在 0.5 mg/L 以下,其他指标 TN、NH₄⁺-N 和 COD 均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。COD、NH₄⁺-N、TN 和 TP 的平均去

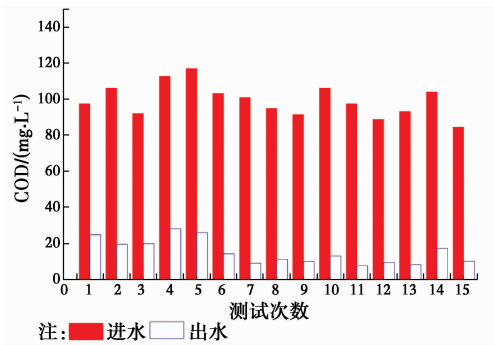


图 3 FeSO₄ 7H₂O 投加对 COD 的去除效果的影响
Fig. 3 effect of FeSO₄ 7H₂O addition on COD removal efficiency

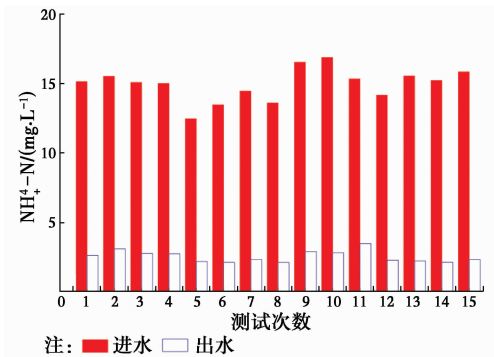


图 4 FeSO₄ 7H₂O 投加对 NH₄⁺-N 的去除效果的影响
Fig. 4 effect of FeSO₄ 7H₂O addition on NH₄⁺-N removal efficiency

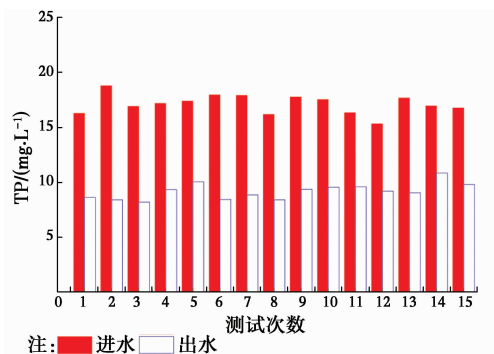


图 5 FeSO₄ 7H₂O 投加对 TN 的去除效果的影响
Fig. 5 effect of FeSO₄ 7H₂O addition on TN removal efficiency

除率分别为 84.9%、83.2%、46.3% 和 88.2%。因此,进水阶段末向反应器里面投加 0.2 mM FeSO₄ 7H₂O (55.6 mg/L FeSO₄ 7H₂O 或 30.4 mg/L FeSO₄) 可以实现同步化学生物耦合除磷。另外投加的亚铁离子可为微生物反硝化作用提供电子,即可形成铁自养反硝化作用,从而提高反应器脱氮的效果。

铁盐的水解产物对磷酸根的吸附通过电中和、吸附架桥及絮体的卷扫作用使胶体凝聚沉淀。关于利用铁盐进行强化脱氮除磷的报告也有。用硫酸亚

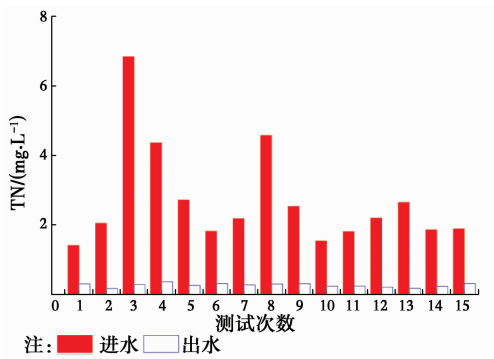


图 6 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 投加对 TP 的去除效果的影响

Fig. 6 effect of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ addition on TP removal efficiency

铁($\text{Fe}:\text{P} = 2.1:1$, 摩尔比)可使出水的 TP 在 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg/L}$ 变化^[12]。投加氯化铁($\text{Fe}:\text{P} = (1.5 \sim 2.3):1$, 摩尔比)到一个生物曝气池可以获得超过 90% 的 TP 去除^[8]。尽管 AOB 的活性可能受到含铁产物的影响, Fe^{2+} 或 Fe^{3+} 的投加 (0.446 mM) 不影响实验室规模的反应器 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率^[13]。也有报道 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 投加到一个实验室规模的 A/O 反应器对总氮的去除率没有影响 (78% 到 85%)^[12]。说明亚铁盐应用于 SBBF 强化协同除磷是可行的。

尽管反渗透和电渗析等物化手段除磷效率较高,但目前为止成本很高。强化生物除磷(EBPR)的除磷是利用 PAOs 在厌氧-好氧或者厌氧-缺氧的环境下运行从而过量摄取磷,达到除磷的目的,但条件要求高且很难稳定。将无机的混凝剂直接投加到生物反应体系是一种简单有效的强化除磷的方法。投加过量金属盐会对生物处理系统中的微生物造成毒害作用^[14],从而影响生物处理系统的正常运行。亚铁盐的投加从某种程度上会影响到生物除磷,这是因为磷酸铁对钾离子的竞争吸附作用^[15]。尽管混凝剂的投加可使得反应体系的产泥量增多^[16],通过投加 0.2 mM 的亚铁盐使得后 SBBF 的出水 COD、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 的浓度均稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,使得 SBBF 在处理低碳氮比的城市污水上有实用价值的可能。今后的研究可进一步将 SBBF 进行生产性试验,对反应系统的微生物生态学特性进行研究,揭示铁元素作用下系统的功能菌群结构。另外,由于亚铁盐的投加使得系统产泥量增多,必须从协同除磷的污泥中进一步分离铁和磷,从而达到污染物回收利用的目的。

3 结 论

1) 针对 SBBF 除磷效果差的特点,成功运用硫酸亚铁直接投加到反应体系进行强化脱氮除磷。

2) 硫酸亚铁的用量为 0.2 mM ,可使得 SBBF 出水的 TP 在 0.5 mg/L 以下,而有机物和氮的去除基本不受影响。

3) 将 0.2 mM 的 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 投加到 SBBF 稳定运行 1 个月,COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别为 84.9%、83.2%、46.3% 和 88.2%,均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

参考文献:

- [1] 杨开, 杨小俊, 李振华, 等. 接触氧化过滤一体化生物反应器处理城市污水[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3596-3601.
YANG K, YANG X J, LI Z H, et al. Municipal wastewater treatment by integrated bioreactor of contact oxidation and filtration separation [J]. Environmental Science, 2009, 30(12): 3596-3601. (in Chinese)
- [2] JI B, WEI L, CHEN D, et al. Domestic wastewater treatment in a novel sequencing batch biofilm filter [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2015, 99(13): 5731-5738.
- [3] CHOI H, LEE S, CHOI C, et al. Influence of the wastewater composition on denitrification and biological p-removal in the S-DN-P-process: Effect of acetate [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 158(1): 151-156.
- [4] 郝学凯, 杨墨, 周航, 等. 基于优势工程菌构建的组合填料 SBBR 法研究 [J]. 中国给水排水, 2014, 30(7): 18-20.
HAO X K, YANG M, ZHOU H, et al. Build-up of SBBR packed with combined media based on dominant engineering bacteria [J]. China Water and Wastewater, 2014, 30(7): 18-20. (in Chinese)
- [5] YANG X, SONG H, CHEN M, et al. Characterizing membrane foulants in MBR with addition of polyferric chloride to enhance phosphorus removal [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(20): 9490-9496.
- [6] LIU Y, SHI H, LI W, et al. Inhibition of chemical dose in biological phosphorus and nitrogen removal in simultaneous chemical precipitation for phosphorus removal [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(5): 4008-4012.

- [7] 刘真,周长波,莫文婷,等. 化学辅助除磷机理研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 91-95.
LIU Z, ZHOU C B, MO W T, et al. Mechanism research of auxiliary chemical phosphorus removal [J]. Journal Huazhong University of Science & Technology (Natural Science Edition). 2015, 43(1): 91-95. (in Chinese)
- [8] GREGORIO C D, CARAVELLI A H, ZARITZKY N E. Performance and biological indicators of a laboratory-scale activated sludge reactor with phosphate simultaneous precipitation as affected by ferric chloride addition [J]. Chemical Engineering Journal, 2010, 165(2): 607-616.
- [9] VALVE M, RANTANEN P, KALLIO J. Enhancing biological phosphorus removal from municipal wastewater with partial simultaneous precipitation [J]. Water Science and Technology, 2002, 46(4/5): 249-255.
- [10] WANG X J, XIA S Q, CHEN L, et al. Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor [J]. Process Biochemistry, 2006, 41(4): 824-828.
- [11] ZAHID W M, EL-SHAFI S A. Impacts of alum addition on the treatment efficiency of cloth-media MBR [J]. Desalination, 2012, 301: 53-58.
- [12] BANU J R, DO K, YEOM I. Effect of ferrous sulphate on nitrification during simultaneous phosphorus removal from domestic wastewater using a laboratory scale anoxic/oxic reactor [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2008, 24(12): 2981-2986.
- [13] OIKONOMIDIS I, BURROWS L J, CARLIELL-MARQUET C M. Mode of action of ferric and ferrous iron salts in activated sludge [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2010, 85(8): 1067-1076.
- [14] SONDHI A, GUHA S, HARENDRANATH C S, et al. Effect of aluminum (Al³⁺) on granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor treating low-strength synthetic wastewater [J]. Water Environment Research. 2010, 82(8): 715-724.
- [15] 樊杰,万徐,张瓌. 磷酸铁沉淀对生物除磷所需钾离子的吸附竞争[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(4): 57-61.
FAN J, WAN X, ZHANG Y. Competitive potassium adsorptions of ferric phosphate precipitation in activated sludge [J]. Environmental Science & Technology. 2014, 37(4): 57-61. (in Chinese)
- [16] JI B, YANG K, WANG H. Impacts of poly-aluminum chloride addition on activated sludge and the treatment efficiency of SBR [J]. Desalination and Water Treatment, 2015, 54(9): 2376-2381.

(编辑 胡玲)