

聚合氯化铝对 A-BAF 工艺运行特性的影响

王宏杰, 董文艺, 刘杰, 刘莉莎, 徐桂林

(哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 深圳市水资源利用与环境污染控制重点实验室, 518055 广东 深圳, whj1533@yahoo.com.cn)

摘要:为解决曝气生物滤池(biological aerated filter, BAF)工艺不能有效除磷的问题,采用向缺氧-曝气生物滤池工艺(anoxic-biological aerated filter, A-BAF)缺氧段投加聚合氯化铝的方法以提高除磷效果.通过小试试验考察聚合氯化铝(poly aluminum chloride, PAC)对 A-BAF 工艺运行特性的影响.结果表明:投加 PAC 能有效提高 A-BAF 工艺的除磷效果,对有机物的去除、硝化和反硝化均无明显影响.在进水 TP 为 3.5 mg/L、PAC 投加量为 100 mg/L 的条件下,出水 TP 由 2.57 mg/L 降至 0.34 mg/L;而出水 COD、 NH_4^+ -N 和 TN 质量浓度均在 30、1 和 11 mg/L 左右.同时,投加 PAC 有利于延长 BAF 滤柱的反冲洗周期,反冲洗周期由原来的 4 d 提高到 10 d,剩余污泥的比阻也由未投加药剂时的 210×10^{12} m/kg 降至 125×10^{12} m/kg.

关键词: 缺氧-曝气生物滤池;聚合氯化铝;除磷;反冲洗周期;比阻

中图分类号: TU992.3 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2012)02-0085-04

Effect of PAC on the operation characteristics of A-BAF

WANG Hong-jie, DONG Wen-yi, LIU Jie, LIU Li-sha, XU Gui-lin

(Shenzhen Key Laboratory of Water Resource Application and Environmental Pollution Control, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, 518055 Shenzhen, Guangdong, China, whj1533@yahoo.com.cn)

Abstract: To overcome the shortcoming of biological aerated filter (BAF) on phosphorus removal, poly aluminum chloride (PAC) was dosed into the anoxic tank of anoxic-biological aerated filter (A-BAF). The effects of PAC on the phosphorus, organic matter and nitrogen removal by A-BAF and the head-loss development of BAF were investigated through a lab-scale experiment. The results showed that the addition of PAC had a positive effect on phosphorus removal by A-BAF, but had no effect on the removal of organic matter and nitrogen. With the PAC dosage of 100 mg/L, the TP concentration in effluent was reduced from 2.57 mg/L to 0.34 mg/L, when the influent TP concentration was 3.5 mg/L. The COD, NH_4^+ -N and TN concentration in effluent were 30, 1 and 11 mg/L separately, which were similar to those in the effluent without PAC. Meanwhile, the backwashing cycle of BAF was increased from 4 d to 10 d and the specific resistance to filtration of the excess sludge was decreased from 210×10^{12} m/kg to 125×10^{12} m/kg after PAC dosing.

Key words: anoxic-biological aerated filter; poly aluminum chloride; phosphorus removal; backwashing cycle; specific resistance to filtration

缺氧活性污泥-曝气生物滤池(anoxic-biologi-

cal aerated filter, A-BAF)工艺主要由缺氧反硝化单元和 BAF 硝化单元组成,该工艺结合了传统活性污泥法预处理简单、A/O 工艺的碳源利用充分和 BAF 工艺硝化效果好等优点.但由于缺乏生物除磷所需的厌氧/好氧交替环境无法有效除磷.目前,BAF 工艺一般采用投加化学药剂强化除磷,根据药剂的投加点不同可分为前置除磷、协同除磷和后置除磷^[1-2].但各除磷方式均存在一定的

收稿日期: 2010-09-12.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07317-02, 2008ZX07211-004-3); 深圳市科技计划项目(SG200810130012A).

作者简介: 王宏杰(1983—),男,博士后;
董文艺(1967—),男,教授,博士生导师.

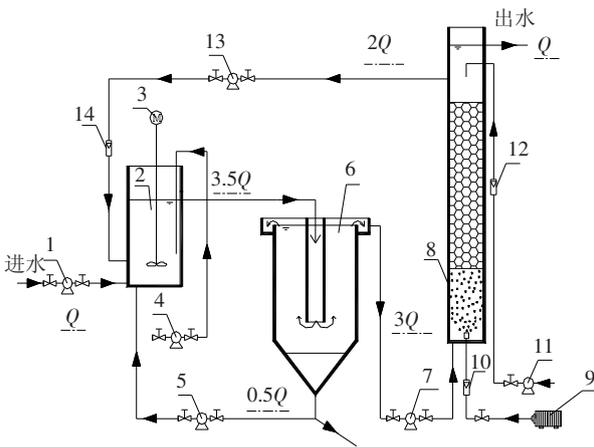
不足:前置除磷在磷得到去除的同时也去除了部分有机物,可能导致后续反硝化碳源不足^[3];协同除磷中药剂投加量过大时对硝化效果会产生抑制作用^[4-5];后置除磷则需要建造单独的除磷设施,增加了工艺的复杂程度,提高了工艺的建设运行成本。

化学生物絮凝强化工艺是近年来提出的一种利用化学药剂和活性污泥协同絮凝去除污染物的新工艺,该工艺在化学絮凝和微生物协同作用下去除污染物,相比于常规化学絮凝方法具有药剂投加量少和污泥产量低的优点^[6-9]。本文结合 A-BAF 和化学生物絮凝两种工艺的优点,提出了在 A-BAF 工艺活性污泥反硝化段投加聚合氯化铝(PAC),形成化学生物絮凝工艺单元,以提高 A-BAF 工艺的除磷效果。通过连续运行试验,考察了投加 PAC 对 A-BAF 工艺处理污水效果的影响,同时考察了该药剂对滤柱反冲洗周期及剩余污泥性质的影响。

1 试验

1.1 试验装置及运行条件

试验装置如图 1 所示。



1—进水泵;2—反硝化池;3—搅拌器;4—加药泵;
5—污泥回流泵;6—沉淀池;7—BAF 进水泵;
8—BAF 滤柱;9—空气泵;10—气体流量计;
11—反冲洗水泵;12、14—液体流量计;
13—出水回流泵。

图 1 A-BAF 试验装置图

原水通过进水泵 1 抽吸至反硝化池 2 中,与 BAF 滤柱 8 的回流硝化液和沉淀池 6 的回流污泥混合。经反硝化后,混合液自流至沉淀池 6 进行泥水分离,上清液进入 BAF 滤柱 8,底部污泥部分回流至反硝化池 2,部分进行排放。BAF 滤柱 8 处理

后的污水部分直接排放,部分回流至反硝化池 2。PAC 通过加药泵 4 直接投加至反硝化池 2。

BAF 滤柱采用有机玻璃制成,内径 13.4 mm,高 4.5 m,其中滤料层高度为 2.5 m,有效空床体积为 35 L。滤料采用聚苯乙烯轻质滤料,粒径 3 ~ 5 mm,比表面积 1 050 m²/m³,堆积密度 40 kg/m³,空隙率 40%。

试验过程中控制反硝化池、沉淀池和 BAF 滤柱的停留时间分别为 1.5、3 和 2 h。沉淀池的污泥回流比和 BAF 滤柱的出水回流比分别为 50% 和 200%。试验过程中水温在 25 ~ 30 °C,气水比控制在 5:1,出水 DO 在 5 mg/L 左右。运行至第 20 天,向反硝化池中投加 100 mg/L 的 PAC。

当滤柱水头损失达 9.8 kPa (即 1 m 水柱) 时,对滤柱进行反冲洗。反冲洗采用气水交替反冲洗^[10],主要包括以下 3 个步骤:①放水,以 40 m/h 的流速放水 1 min,使滤料层有一定程度的膨胀;②气水交替冲洗,先以 60 m/h 的速度气冲 1 min,然后以 40 m/h 的速度由滤柱上部进水反冲 30 s,循环进行 12 次;③漂洗,以 20 m/h 的流速由底部放水 2 min。

1.2 检测方法

水质分析方法均参照国家环保总局编写的《水与废水分析检测方法》(第 4 版)进行。COD 采用重铬酸钾密闭消解法;NH₄⁺-N 采用纳氏试剂光度法;TN 采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法;NO₂⁻-N 采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法;NO₃⁻-N 采用紫外分光光度法;TP 采用钼锑抗分光光度法。

滤柱的总水头损失通过安装在滤柱底部的测压探头(HPT-6,深圳市华天测控技术有限公司)获得。比耗氧速率(specific oxygen used rate, SOUR)的测定见文献[11],污泥的比阻(specific resistance to filtration, SRF)采用布氏漏斗-真空过滤法测定^[12]。反硝化速率的测定方法如下:取一定量反硝化池中的污泥,加水稀释至 1 L,加入一定量含有机物和硝酸盐的营养液,使原水中 NO₃⁻-N 质量浓度为 40 mg/L 左右,采用磁力搅拌器搅拌,隔一定时间取样分析其中的 NO_x⁻-N (NO₂⁻-N + NO₃⁻-N) 质量浓度。绘制 NO_x⁻-N 与反应时间的关系图,通过计算斜率并除以混合液 MLVSS 量即可得反硝化速率。

1.3 试验原水

原水为深圳大学城内化粪池出水,经沉淀后进入系统,原水水质如表 1 所示。

表 1 原水水质特性

项目	$\frac{\text{COD}}{\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}$	$\frac{\text{SCOD}}{\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}$	$\frac{\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})}{\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}$	$\frac{\rho(\text{TN})}{\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}$	$\frac{\rho(\text{SS})}{\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}$	pH 值	$\frac{\rho(\text{碱度})}{\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}$
范围	148 ~ 280	112 ~ 212	27.3 ~ 47.2	30.2 ~ 47.8	78 ~ 145	6.5 ~ 7.1	114.4 ~ 179.2
平均值	216	153.8	37.6	38.8	102.5	6.7	158.6

2 结果与讨论

2.1 对污染物去除效果的影响

PAC 对 A-BAF 去除 TP 的影响如图 2 所示,对其他污染物去除效果的影响如表 2 所示。

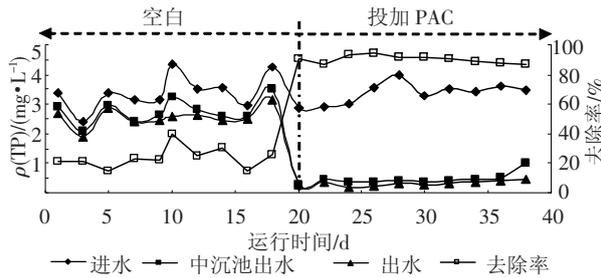


图 2 PAC 投加对 A-BAF 去除 TP 的影响

表 2 PAC 的投加对 A-BAF 去除污染物的影响 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

参数	原水	沉淀池出水		BAF 出水	
		空白	投加 PAC	空白	投加 PAC
COD	216	49.6	39.2	31.6	21.2
NH_4^+-N	37.6	11.3	10.2	1.1	0.9
TN	38.8	15.1	11.5	12.5	11.2
SP	2.78	2.52	0.31	2.48	0.23

由图 2 可知,投加 PAC 后,可大幅提高 TP 去除效果,出水平均 TP 由未投加药剂时的 2.57 mg/L 降至 0.34 mg/L. 在反硝化段投加 PAC 后,药剂与缺氧污泥形成化学生物絮凝作用^[13],对磷的去除主要由以下 4 部分组成:铝离子与磷酸根形成难溶性沉淀,通过排泥去除;原水中的颗粒性磷被污泥吸附,通过沉淀去除;通过微生物同化作用吸收一部分磷酸根;BAF 物理截留一部分颗粒性磷^[14],通过反冲洗去除. 由表 2 可知,PAC 投加后,A-BAF 对溶解性磷的去除效果大大增加,去除率由 16% 增至 90% 左右,而对非溶解性磷的影响不大. 因此,PAC 的投加使 A-BAF 对 TP 去除效果的提高主要通过提高溶解性磷的去除而实现.

由表 2 可知,PAC 的投加对 A-BAF 工艺去除有机物无明显影响,总去除率在 90% 左右. A-BAF 工艺中,有机物的去除主要通过反硝化段的污泥吸附和脱氮过程中碳源的消耗来实现. 对反硝化池中的污泥活性进行测定,结果(图 3)表明,投加 PAC

后对反硝化污泥的活性无明显影响,反硝化速率在 30 mg/(g·h) 左右. 污泥活性的稳定保证了反硝化过程中有机物能得到充分的去除,反硝化段对 COD 的去除率在 70% 以上. 同时,由于 PAC 投加形成的混凝效果使更多的细小有机物通过沉淀去除,因此,投加 PAC 后进入 BAF 滤柱的有机物质量浓度较空白反应器(未投加药剂时)更低. 进入到 BAF 滤柱中的有机物,再经过 BAF 滤柱对颗粒状有机物的截留和滤柱中异养菌氧化得到进一步去除,出水的 COD 仅在 30 mg/L 左右.

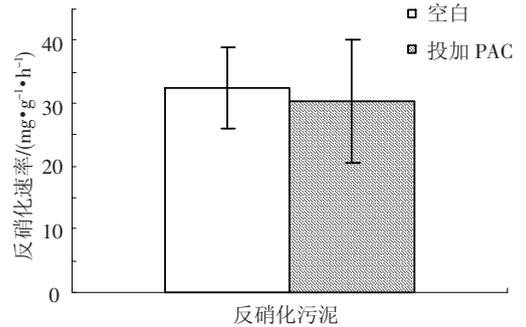


图 3 PAC 对反硝化污泥活性的影响

由于进入 BAF 滤柱的有机物质量浓度很低,有利于硝化菌的生长,BAF 滤柱对 NH_4^+-N 去除效果良好. 而投加 PAC 对 NH_4^+-N 去除无明显影响,在平均进水 NH_4^+-N 质量浓度为 37.6 mg/L 的条件下,药剂投加前后出水平均 NH_4^+-N 分别为 1.1 和 0.9 mg/L,去除率在 90% 以上. 这与采用协同除磷的 BAF 工艺所获得的结果有所差异. 有研究表明^[15],当采用氯化铝强化 BAF 化学除磷时,铝盐投加质量比大于 1.0:1.5 时,对 BAF 硝化产生明显的抑制作用. 由于本工艺中硝化和反硝化采用双污泥系统,药剂投加至反硝化池中,避免了药剂直接与硝化菌接触,可以减少药剂对硝化菌的影响. 对滤柱中好氧微生物的活性进行测定,结果(图 4)也表明,投加 PAC 对滤柱中的异养菌、氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌的活性无明显影响,3 种菌的 SOUR 在 110、60 和 60 mg/(g·h) 左右. 因此,投加 PAC 对 A-BAF 工艺去除氨氮无明显影响.

硝化菌和反硝化污泥活性的稳定保证了 A-BAF 工艺的反硝化效果,投加 PAC 对该工艺去

除 TN 无明显影响. 在进水 TN 为 40 mg/L 左右、硝化回流比为 200% 的条件下, PAC 投加前后, 出水 TN 均低于 15 mg/L, 去除率在 70% 左右. J. Rajesh Banu 等^[16] 在研究铝盐直接投加到 A/O 反应器协同除磷时也发现铝盐对反硝化没有任何影响.

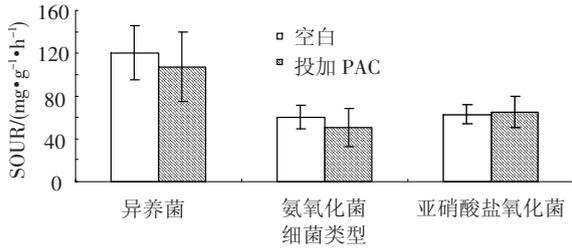


图4 PAC对好氧污泥活性的影响

2.2 对BAF反冲洗周期的影响

PAC 投加前后, BAF 滤柱在一个运行周期内, 水头损失随运行时间的变化如图 5 所示.

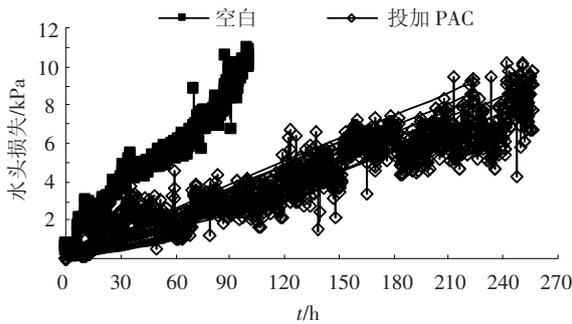


图5 PAC投加对BAF滤柱水头损失随运行时间的变化

BAF 水头损失是该工艺运行过程中的一项重要指标, 它的变化决定 BAF 的反冲洗周期, 同时对污染物去除也有一定的影响. 在出水水质得到保证的条件下, BAF 运行周期越长越有利于 BAF 的运行管理. 由图 5 可知, 投加 PAC 后, BAF 水头损失的增长速率明显变缓, 运行至第 10 天时, 水头损失才增至预设的反冲洗值; 而对于未投加药剂的 BAF 滤柱, 在运行至第 4 天时, 水头损失即增长到 9.8 kPa 以上, 需进行反冲洗.

BAF 的水头损失主要来源于两个方面^[17]: SS 的截留; BAF 滤料间生物膜的生长. 投加 PAC 后, 强化了缺氧污泥的絮凝作用, BAF 进水的平均 SS 和 COD 由未加药剂时的 45 和 50 mg/L 左右降至 18 和 40 mg/L 左右, 有效地减少了 BAF 滤柱内截留的 SS 量和生物膜的生长量. 因此, 投加药剂后, BAF 的水头损失增长速率变缓, 有效地延长了反冲洗周期.

2.3 对剩余污泥脱水性能的影响

目前, 一般的污水处理厂剩余污泥往往是脱水后填埋, 或经脱水后焚烧处理, 而污泥的脱水性

能对上述处理方法影响很大, 脱水性能越好, 泥饼含水率越低, 体积越小, 越有利于后续处理. 污泥的脱水性能常用比阻表征, 比阻越小, 说明污泥脱水性能越好. 投加 PAC 对 A-BAF 工艺中剩余污泥比阻的影响如图 6 所示.

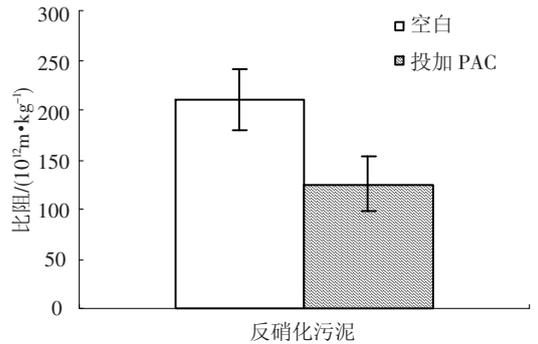


图6 投加PAC对剩余污泥比阻的影响

由图 6 可知, 投加 PAC 后, 剩余污泥的比阻为 $125 \times 10^{12} \text{ m/kg}$, 远低于空白反应器中剩余污泥的 $210 \times 10^{12} \text{ m/kg}$. 这可能是由于 PAC 的投加导致了反硝化池中污泥胞外聚合物的减少, 污泥更宜脱水. 因此, 投加 PAC 后有利于 A-BAF 工艺剩余污泥的后续处理.

3 结论

1) 在 PAC 投加量为 100 mg/L 的条件下, A-BAF 除磷效果显著提高, 出水 TP 由 2.57 降至 0.34 mg/L.

2) PAC 对 A-BAF 去除有机物、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 TN 无明显影响, PAC 投加前后 A-BAF 对上述污染物均具有很好去除效果, COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 TN 去除率在 80%、90% 和 70% 左右.

3) PAC 投加后 BAF 反冲洗周期延长, 由 4 d 提高到 10 d.

4) PAC 投加能有效降低剩余污泥的比阻, 有利于污泥的后续处理.

参考文献:

- [1] 郑俊, 吴浩汀. 曝气生物滤池工艺的理论及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 左艳兵, 杨春平, 曾光明, 等. 曝气生物滤池效能关键因素研究进展[J]. 化工环保, 2008, 28(1): 37-41.
- [3] 邹伟国, 陆嘉兹, 张辰, 等. 曝气生物滤池在脱氮除磷工艺中的应用[J]. 环境工程, 2004, 22(5): 27-29.
- [4] ROGALLA F, PAYAUDEAU M, BACQUET G, et al. Nitrification and phosphorous precipitation with biological aerated filters [J]. Research Journal of the Water Pollution Control Federation, 1990, 62(2): 169-172.