

曝气生物滤池最新发展和运用

谢曙光, 张晓健, 王占生

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 本文回顾了国内外曝气生物滤池—BAF 的最新发展和运用, 根据 BAF 的不同处理功能对 BAF 工艺流程和主要运行参数作一个全面的介绍。最后作者根据我国具体情况提出了我国所需对曝气生物滤池研究的主要方向。

关键词: 曝气生物滤池; 硝化; 反硝化; 化学沉淀除磷

中图分类号: TQ085⁺.413 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3770(2004)01-0004-04

1 概 况

曝气生物滤池—BAF (*Biological aerated filter*) 是 20 世纪 80 年代末在欧美发展起来的一种新型污水处理技术, 它的最大特点是使用了一种新型粒状填料, 污水在垂直方向上通过填料层, 粗糙多孔的粒状填料具有很大的比表面积, 它具有优良的过滤作用, 因此被称作滤池。填料表面生长有生物膜, 池底提供曝气。该反应器属固定床的生物膜反应器。污水在流过滤床时, 污染物首先被过滤和吸附, 进而被好氧化, 它定期的利用处理出水进行反冲洗排除增殖的活性污泥。

BAF 主要优点如下: 占地面积小, 只是常规二级生物处理的 1/10~1/5。出水质量高, BAF 的处理出水不但可以满足环保排放标准, 同时, 可被用于水回用。BAF 不需设二沉池和污泥回流泵房。基建费用和运转费用低, BAF 的基建费用和运转费用大大低于传统常规二级处理技术的费用。管理方便, BAF 实现了微机自控, 不仅包括设备的运转自动化控制, 而且可实现运转数据的在线显示。可靠性高, BAF 抗冲击负荷能力强, 无污泥膨胀问题, 一段时间不运转(几天或几个月), 微生物不会流失, 几天内即可恢复到正常处理水平。BAF 无气味和噪音产生。其模块化结构利于未来的改建。该工艺可独立

建立, 也可与其他污水处理工艺组合应用。出水残余细菌少, 去除率可高达 99.9%, 是普通生物滤池的去除率 10~100 倍^[1,2]。

许多公司独立地开发出了各种形式的曝气生物滤池, 根据其不同的形式和功能有不同的划分。根究有无反冲洗系统可分为两类: 没有反冲洗系统的, 通常叫作淹没式曝气生物滤池 (*Submerged aerated filter*, SAF); 有反冲洗系统的, 通常叫作曝气生物滤池 (BAF)。根据 BAF 进水方式, 可分为上向流式曝气生物滤池和下向流式的曝气生物滤池。根据其滤料的不同可分为淹没式滤料曝气生物滤池和悬浮式滤料曝气生物滤池。根据其不同的处理功能又有不同的划分: 同时去除 COD 和氮化合物 (主要是 NH_4^+-N) 的单级 BAF 系统; 分别去除 COD 和氮化合物 (NH_4^+-N) 的两级 BAF 系统; 去除 COD 和脱氮的两级 BAF 系统; 去除 COD、氮和除磷的 BAF 组合系统。

2 BAF 工艺流程及其发展

以下主要根据 BAF 的不同处理功能对 BAF 工艺流程和主要运行参数作一个全面的介绍。

2.1 同时去除 COD 和氮化合物 (NH_4^+-N) 的单级 BAF 系统

该系统工艺流程如图 1 所示。污水经过格栅和沉沙池后, 进入初沉池。普通沉淀池能去除 40% 的

收稿日期: 2002-03-18

基金项目: 科技部、水利部重大科技项目 (9550610400)

作者简介: 谢曙光 (1975-), 男, 江苏省常州人, 博士, 主要从事地表水污染控制技术研究。

COD 和 70% 的 SS。通过投加絮凝剂能去除 70% 的 COD 和 85% 的 SS。污水经过初沉池后, 降低了 BAF 的负荷, 有利于充分发挥 BAF 的功效。BAF 粗糙多孔的粒状填料为微生物提供了更佳的生长环境, 微生物量大, 可达 10~15g/L。对于单级 BAF 系统来说, 自养菌和异养菌会竞争空间和氧气。由于硝化细菌在氧化过程中释放出来的能量远远少于异养微生物所释放出来的, 所以硝化细菌生长缓慢。而且只有氧供应量充足时, 硝化细菌才能氧化氮化合物。在反应器的进水端, 有机物浓度高, 异养菌生长快, 氧的供应受到限制, 自养菌不可能得到生长。异养微生物为优势菌, 有机污染物 COD 主要在这里被去除; 有机污染物浓度沿滤池高逐渐降低。在池的出水端口时, 有机物浓度很低, 异养菌生长受到限制, 对氧的竞争减弱。通过附着生长, 自养菌如硝化细菌就能占优势, 氨氮被硝化。因此, 在一个池子中, 通过限制进水有机物负荷时, 可发生碳污染物的去除和硝化反应^[3]。

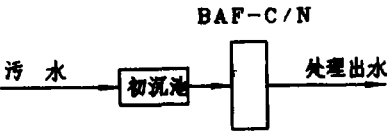


图 1 单级 BAF 系统

粒状填料的使用使得 BAF 具有优良的过滤和吸附作用。研究结果显示:BAF 比普通砂滤池的过滤效果还好, 能很好的实现对 SS 的去除, 出水 SS

浓度很低。因此, 它省去了二沉池, 进一步降低了基建费用。

表 1 是法国 OTV 公司采用单级 BAF 系统同时去除 COD 和 NH₄⁺-N 的运行数据^[4]

表 1 BAF 系统运行数据

参 数	BAF 进水浓度	BAF 出水浓度	去除率(%)
COD(mg/L)	266	48	82
BOD ₅ (mg/L)	127	13	90
TSS(mg/L)	68	10	85
TNK(mg/L)	37	3.2	91

2.2 分别去除 COD 和 NH₄⁺-N 的两级 BAF 系统

该系统工艺流程如图 2 所示。由于单级 BAF 同时去除有机物和氮化合物, 就存在自养菌和异养菌对空间和氧气的竞争, 当进水有机物负荷和氮化合物浓度高时, 难以在单级 BAF 实现氮化合物的有效去除。在两级 BAF 系统分别去除 COD、SS 和 NH₄⁺-N, 能使异养菌和自养菌在适合自己的最佳环境条件下充分发挥其去除污染物的能力。BAF-C 碳源容积负荷通常为 2.5kgBOD₅/m³·d, 在高水力负荷下碳源容积负荷能达到 18kgCOD/m³·d。

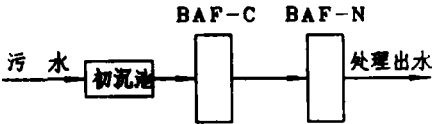


图 2 两级 BAF 系统(I)

表 2 某厂采用两级 BAF 工艺设计出水水质(mg/L)

	SS		COD _{Cr}		BOD ₅		NH ₃ -N	
	数值	去除率(%)	数值	去除率(%)	数值	去除率(%)	数值	去除率(%)
原 污 水	350		480		216		40	
初沉出水	38	83.4	169	64.8	76	64.8	27	32.5
BAF-C 出水	14	75.9	56	66.9	17	77.6	21	22.2
BAF-N 出水	6	57.1	30	46.4	5	70.6	0.1	99.5
两级 BAF 总去除率(%)	89.7		82.2		93.4		99.6	
系统总去除率(%)	98.3		93.8		97.7		99.8	

有资料表明: 当 BAF-N 段进水 NH₄⁺-N 为 24mg/L 时, 水力负荷从 4~10m³/m²·h 变化时, 水力负荷不是硝化效率的限制因子, 反而促进了硝化效率。整个过程中 NH₄⁺-N 去除率从 80%~100% 变化, 却稳定性很高。这是因为高的水力负荷促进了基质和生物量的均匀分布, 液体和生物量之间的物料传递得到强化, 同时滤料也有一定程度的膨胀, 进一步强化了物料传递, 因而提高了硝化效率^[5]。表 2 为

我国某城市污水处理厂采用两级 BAF 工艺设计出水水质^[6]。

2.3 去除 COD 和脱氮的两级 BAF 系统

该系统工艺流程如图 3 所示。当进水 NH₄⁺-N 浓度很高而且出水水质标准要求高时, 前面两种工艺难以满足处理要求, 此时可采用前置反硝化/硝化工艺。前置反硝化和硝化分别在两个不同的系列反应器中进行, 能使两种不同类型的微生物各自在合

适的环境中生长。反硝化细菌是异养菌,需大量利用废水中的有机碳源进行合成新的细胞。如果废水中有机碳源浓度很低,则需要另外提供有机碳源来满足反硝化过程的要求。废水经过 BAF-DN 后,碳源已很低,能减弱硝化阶段的异养菌和自养菌对氧和空间的竞争。

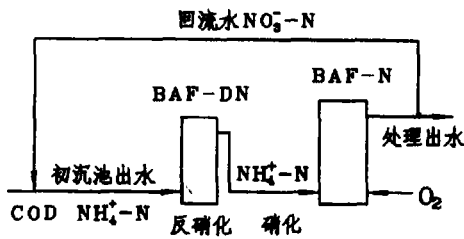


图 3 两级 BAF 系统 (I)

与后置反硝化相比,前置反硝化利用城市污水中的有机碳源,因而前置反硝化更具有经济性。同时前置反硝化还具有以下优点:污泥生成量少,能耗少,不需或只需外加少量碳源,碱度平衡的改善。对于上流式曝气生物滤池来说,能承受更高的 TSS 和碳负荷(COD),不需定期搅动滤料来消除被截留的 N_2 ,水力负荷分布更加均匀,能充分利用整个滤池的净化功能。

对于典型的城市污水来说,前置反硝化生物滤池和硝化滤池的耦合在不添加外碳源时有 70% 的氮的去除率。

表 3 是国外某水处理公司的半生产规模的 BAF-DN 段的运行数据^[7]

表 3 BAF-DN 段的运行数据

回流率 (%)	处理出水流 量(m ³ /h)	水力负荷 (m ³ /h)	NO ₃ -N	
			进水负荷 (kg/m ³ d)	去除率 (%)
150	0.75	9.4	0.82	90
200	0.54~0.75	9.1	1.07	77
250	0.75	13.1	1.31	75
300	0.52~0.75	13.2	1.23	67
350	0.75	16.9	1.64	70

在试验过程中,尽管 BAF-DN 段的进水 COD 和 TSS 负荷分别达到 20kgCOD/m³·d 和 4kgTSS/m³·d,而且进水和回流量不断变化,BAF-DN 段的出水 COD 和 TSS 仍分别稳定在 62mg/L 和 10mg/L。

对于 BAF-N 段来说,在凯氏氮容积负荷为 1.4kg/m³·d, NH_4^+-N 有 80% 的去除率,出水平均浓度为 2mg/L。

2.4 去除 COD、氮和除磷的 BAF 组合系统

通过投加化学药剂除磷和上述各种 BAF 系统联合运用,能实现同时去除 COD 和氮磷,以达到污水深度处理的要求。但在这方面进展很少,还有待于深入的研究。化学沉淀除磷方法简易,适合于水量小、水质成分波动大的含磷肥水处理。常采用的化学药剂一般为石灰、铝盐和铁盐。最新实验显示聚合氯化铝(PAC)是一种便宜的化学除磷药剂^[8]。由于石灰除磷法泥量大,它的最佳 pH 值为 11,不适合与生物处理联用。铝盐是有效的除磷沉淀药剂,但由于价格昂贵和被怀疑与 Alzheimer 老年痴呆症。铁盐价格便宜,所以较多地被运用。

铁盐有两种形式,二价铁和三价铁。虽然三价铁较广泛的被运用,但根据成本效益分析,二价铁得到越来越多的注意力。二价铁作为絮凝剂,根据环境条件的不同,有两种不同的作用方式:二价铁被氧化成三价铁,它与磷结合形成大颗粒聚合体;当二价铁没有被氧化的时候,能形成颗粒较小的 $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ 聚合体。在高通气量的条件下,(如曝气生物滤池中)二价铁很易被氧化成三价铁。现已发现新生成的三价铁除磷效果比从用贮备液投加的三价铁除磷效果高。因此具有高的降氮效果的 BAF 和用二价铁进行化学沉淀除磷应是去除废水营养物的经济有效的选择。有资料表明:进水 T_p 为 7.9mg/L,可溶性 P 为 5.5mg/L 时,直接向同时实现碳氧化和硝化作用的曝气生物滤池(BAF-CN)中投加 $F_3SO_4 \cdot 7H_2O$ 溶液。当 T_p 与 Fe 的化学重量比从 1:1 到 1:1.50,且 BAF-CN 水力停留时间仅为 33min 时,磷的平均去除率为 85.3%。当 T_p 与 Fe 的化学重比为 1:1.50 时磷的去除率 89.8%,出水 T_p 为 0.8mg/L。此外,装置的进水水力负荷和水力停留时间不需变化,其他各项出水指标 COD、BOD₅、SS 和 NH_4^+-N 的去除没有受影响。而铝盐却严重影响硝化过程^[9]。在芬兰的生长规模的污水处理厂投加二价铁进行化学除磷也取得了同样好的效果。

另有资料表明:原污水 T_p 为 14mg/L 和 PO_4-P 为 8mg/L,向初沉池投加 20mg/L $FeCl_3$ 和 0.5mg/L 聚合物(AS 34),经过沉淀作用,初沉池出水 PO_4-P 很低。再经过曝气生物滤池的生物过滤作用,出水 TSS 小于 10mg/L,不溶性磷几乎不存在,所以最终

Tp 浓度低于 $1\text{mg/L}^{[10]}$ 。

3 结论和建议

本文回顾了国内外曝气生物滤池-BAF 的最新发展, 主要根据 BAF 的不同处理功能对 BAF 工艺流程和主要运行参数作一个全面的介绍。虽然 BAF 作为一种新型污水处理技术在国外有了近 17 年的发展和运用, 但我国在这方面研究的很少。资金和技术已成为制约我国污水处理发展的两大主要因素。因此可以吸收国外曝气生物滤池的成功运行经验, 根究我国的实际情况作一定的研究和改进, 在我国推广曝气生物滤池的使用。特别在通过投加化学药剂除磷和 BAF 系统联合运用去除有机物和营养物方面, 国外在这方面所做的研究也很少。我国应进行这方面的研究, 来经济有效地解决我国水体富营养化越来越严重的现象。特别是在资金短缺的中小城市兴建和改造污水处理厂, 曝气生物滤池是一个很好的选择。

参考文献:

- [1] 李汝琪. 污水处理新技术—BAF 曝气生物滤池[J]. 中国环保产业, 1999, 12: 38—39.
- [2] A B Robinson, *et al.* Construction and Operation of a Submerged Aerated Filter Sewage—Treatment works [J]. J IWEM, 1994, 8: 215—227.
- [3] K R Gilmore, *et al.* Influence of Organic and Ammonia Loading on Nitrifier Activity and Nitrification Performance for a Two—stage Biological Aerated Filter System[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(7): 227—234.
- [4] 朱乐辉. 污水处理新工艺—曝气生物滤池[J]. 世纪环境, 2000, 1: 34—37.
- [5] R P ujol, *et al.* A Keypoint of Nitrification in an Up-flow Biofiltration Reactor[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(3): 43—49.
- [6] 齐兵强, 王占生. 曝气生物滤池在污水处理中的应用[J]. 给水排水, 2000, 26(10): 4—8.
- [7] R Pujol, S Tarallo. Total nitrogen in two—step biofiltration[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(4—5): 65—68.
- [8] WET, US trials demonstrate that PACL is cost—effective phosphorus removal solution[J]. Wat & Environ Internat, 1997, 6(5): 31—32.
- [9] Clack, *et al.* Phosphorus Removal by Chemical Precipitation in a Biological Aerated Filter [J]. Wat Res, 1997, 31(10): 2557—2563.
- [10] Frank Rogalla, *et al.* Nitrification and Phosphorus Precipitation with Biological Aerated Filters[J]. R J WPCF, 1990, 62(2): 169—176.

MOST RECENT DEVELOPMENT AND APPLICATION OF BIOLOGICAL AERATED FILTER

XIE Shu-guang, ZHANG Xiao-jian, WANG Zhan-sheng

(Department of Environmental Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Most recent development and application of BAF were reviewed in this paper, concerning its various types of process and corresponding main operating characteristics. According to our country's practice author present key—point concerning research on BAF in China.

Key words: Biological aerated filter (BAF); nitrification; denitrification; phosphate removal with chemical precipitation