



曝气生物滤池的研究进展

张 杰¹, 曹相生¹, 孟雪征²

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 山东建筑工程学院
环境工程系, 山东 济南 250014)

摘 要: 阐述了曝气生物滤池的工艺原理和特点, 对曝气生物滤池的结构形式、功能、启动和滤料等方面的最新研究进展和发展趋势进行了综述, 同时提出了曝气生物滤池今后的研究方向。

关键词: 曝气生物滤池; 负荷; 滤料; 污水处理

中图分类号: X703 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2002)08-0026-04

曝气生物滤池(biological aerated filter)与普通活性污泥法相比, 具有有机负荷高、占地面积小(是普通活性污泥法的 1/3)、投资少(节约 30%)、不会产生污泥膨胀、氧传输效率高、出水水质好等优点^[1-3], 但它对进水 SS 要求较严(一般要求 $SS \leq 100$ mg/L, 最好 $SS \leq 60$ mg/L), 因此对进水需要进行预处理。同时, 它的反冲洗水量、水头损失都较大。

世界上首座曝气生物滤池于 1981 年在法国投产, 随后在欧洲各国得到广泛应用。美国和加拿大等美洲国家在 20 世纪 80 年代末引进此工艺, 日本、韩国和中国台湾也先后引进了此项技术。目前世界上较大的环保公司如法国得利满公司、德国菲力普穆勒公司、法国 OTV 公司均把它作为拳头产品在全世界推广。在中国内地, 曝气生物滤池正处于推广阶段。大连市马栏河污水处理厂是我国第一个采用曝气生物滤池工艺的城市污水处理厂, 目前正处于试运行阶段。另外, 我国一部分工业废水的处理也采用了此项技术。清华大学、太原理工大学等科研单位对曝气生物滤池也进行了试验研究。随着曝气生物滤池在世界范围内不断推广和普及, 很多学者在其结构形式、功能、启动和滤料等方面进行了详细的研究, 取得了很多成果。

1 结构形式

曝气生物滤池的结构与普通快滤池基本相同,

不同之处在于曝气生物滤池下部或底部增加了曝气系统。根据水流方向其可分为上向流和下向流两种, 早期的曝气生物滤池多采用下向流, 如 BIO-CARBON^[4]。由于下向流曝气生物滤池的纳污效率不高、易堵塞、运行周期短, 因此现在多采用上向流方式(即采用气水同向流), 使布水、布气更加均匀。同时, 在水气上升过程中可把底部截留的 SS 带入滤池中上部, 增加了滤池的纳污能力, 延长了工作周期。目前, 上向流曝气生物滤池有 BIOFOR[®]、BIO-STY[®]、COLOX[®]、DeepBed[™]、BIOPUR[®]等多种形式^[5,6], 其中 BIOFOR[®]应用最为广泛, 图 1 是 BIOFOR[®]的结构示意图。

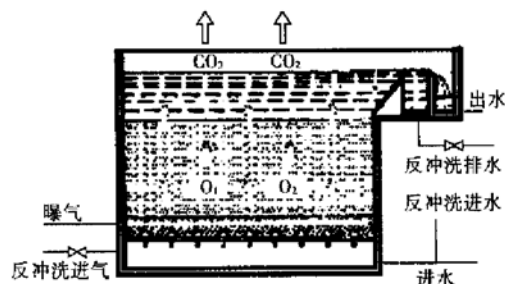


图 1 BIOFOR[®]结构示意图

为了适应不同的水质和拓宽应用范围, 很多科研、工程技术人员对曝气生物滤池结构进行了研究改造。邹伟国等开发了一种名为 BIOSMEDI 的曝



气生物滤池,它采用了脉冲反冲洗、气水同向流的形式,可用于微污染源水预处理或污水深度处理^[7]。孙力平等为了解决 BIOFOR[®]的滤头堵塞问题把滤头改成穿孔管并降低了空气扩散管的位置,该工艺用于造纸和印染废水的处理取得了良好的效果^[8]。

2 功能

单个曝气生物滤池可完成碳化、硝化、反硝化、除磷等功能,与其他工艺组合可进行一般城市污水或工业废水的二级或三级处理。表1是采用曝气生物滤池处理污水的典型流程。

表1 采用曝气生物滤池处理污水的典型流程

功 能	典型流程
碳化	S/C+ BF/C
碳化+ 硝化	S/C+ BF/C/N
碳化+ 硝化+ 反硝化	S/C+ BF/C/N+ BF/DN
碳化+ 硝化+ 反硝化	AS+ BF/N+ BF/DN

注: S/C 为化学沉淀, BF 为曝气生物滤池, /C 为碳化, /N 为硝化, /DN 为反硝化, AS 为活性污泥。

由于各功能的实现对滤料粒径大小和滤层厚度、负荷、曝气等参数的要求不尽相同,一般认为不宜把各种功能放在同一个曝气生物滤池中完成。但最近有研究者对在一个曝气生物滤池中完成碳化+硝化、硝化+反硝化、硝化+生物除磷、硝化+化学除磷和反硝化+生物除磷等组合功能进行了尝试和探讨,均取得了一定的研究成果。

3 启动

曝气生物滤池的启动与一般生物膜法的启动方式相同。国外一般采用三种方式:①间歇培养并逐步增加流速;②在设计流速下或逐渐增加流速进行连续培养^[9];③用活性污泥接种,稳态运行^[10]。三种启动方式中生物膜的生长速率、分布和对污染物的去除率等变化规律各不相同,但达到稳态所需的时间却大致相同。Allan 等根据自己的试验结果建议采用设计流速进行连续培养以期得到更加稳定的生物量^[11]。国内很多生物膜装置采用了快速排泥法,这种方法一般是采用活性污泥接种,通气闷曝一段时间后排出上清液,再加入待处理污水继续闷曝一段时间,然后连续进水、进气直至稳态运行为止。根据一些资料的报道,这种方法具有挂膜迅速的特点。

4 几个关键问题

4.1 滤料

滤料是曝气生物滤池的关键部分,对曝气生物

滤池的功效有直接的影响,同时也影响到曝气生物滤池的结构形式和成本。目前,滤料多为专利产品或处于保密状态,常用的滤料有石英砂、陶粒及塑料制品(合成纤维、聚苯乙烯小球、波纹板等)。Kent 等对滤料进行了详细的研究,他参照 BEWA 的标准对曝气生物滤池常用的 7 种滤料进行了对比研究,认为 Arlita 和膨胀页岩最适合用作曝气生物滤池的滤料。但是,由于 BEWA 标准是处理饮用水所用快滤池的滤料标准,并且 Kent 只是对滤料的物理化学性能进行了对比,并没有对其做污水处理试验,因此对 Kent 等人的结论应进一步试验论证。

滤料的粒径主要取决于曝气生物滤池的功能。Stensel 等就滤料粒径对具有碳化或碳化+硝化功能的曝气生物滤池的影响进行了试验,结果发现滤料粒径越小曝气生物滤池的效果越好,但小粒径会使其工作周期变短,滤料也不易清洗,相应的反冲洗水量也会增加,因此应综合考虑各种因素以选定合适的滤料粒径。Kent 等人也做了类似试验,结果表明滤料粒径为 2~4 mm 时,曝气生物滤池的硝化功能比滤料粒径为 4~8 mm 和 5.6~11.2 mm 时的要好得多。目前,曝气生物滤池普遍采用的滤料粒径为 3~6 mm,滤层厚度为 3~4 m。

4.2 负荷

曝气生物滤池一般采用两种负荷:容积负荷 $[\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$ 和水力负荷 $[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$,也称滤速。早期的曝气生物滤池均采用了较低的负荷值,但随着对曝气生物滤池研究的深入和认识水平的提高,负荷值近几年有逐渐加大的趋势。表2是较为典型的负荷值。

表2 曝气生物滤池典型的负荷值

负 荷		碳化	硝化	反硝化
水力负荷 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]	过去	1~5	1~10	5~14
	现在	3~16	3~16	10~35
最大容积负荷 [$\text{kgX}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]	过去	<3	<1.5	<4
	现在	5	<3	<7

注: X 分别为 BOD (碳化)、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (硝化)、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ (反硝化)。

对以碳化为目的的曝气生物滤池,一些研究结果认为在一定的范围内出水 COD 值与 COD 容积负荷呈线性关系^[12]。在此基础上,一些研究者给出了 COD 去除率与进水 BOD 、 COD 的函数关系式。同时,很多学者就水力负荷对出水水质的影响也做了探讨,普遍认为水力负荷对 BOD_5 的去除效率影



响甚微,只要温度、曝气量、反冲洗等因素在不受制约的条件下应尽量加大水力负荷以获得尽可能大的处理能力。如 Pujol 等的试验证实了滤速在 6 m/h、13 m/h 时 BOD_5 的去除率基本不变。Canler 的试验也证实增加滤速对出水水质影响很小。Pujol 等人认为低滤速使传质不均匀,从而造成底部堵塞(上向流),影响曝气生物滤池功能,提高滤速有利于传质。对于用于硝化或反硝化的曝气生物滤池也有类似的结论。如 Pujol 等认为曝气生物滤池的硝化功能与滤速无关,在 COD 负荷 $< 5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、滤速为 4~9 m/h 时硝化率稳定在 80%~100%。对

于反硝化曝气生物滤池,在其他因素不受制约的条件下滤速越高越好,滤速为 32 m/h、负荷为 $5.1 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 平均去除率达到 89%, $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 的平均去除率达到 86%。

4.3 反冲洗

目前,普遍采用的反冲洗方式是气水联合反冲洗,即先用气冲,再用气、水联合冲洗,最后再用水漂洗。不同形式、不同滤料的曝气生物滤池,其反冲洗强度、历时、周期各不相同,用水量和用气量也存在较大差异。表 3 是一些资料提供的曝气生物滤池采用的反冲洗参数。

表 3 曝气生物滤池的反冲洗参数

反冲洗周期	冲洗水	冲洗气	备 注
4~5 d	流速: 10~30 m/h	流速: 50~70 m/h	气水联合反冲洗, 冲洗时间为 10~15 min
2~3 d	流速: 70~120 m/h 水量: $6\sim 8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (陶粒)	流速: 60~150 m/h 气量: $25\sim 50 \text{ m}^3/\text{m}^2$	BIOPUR [®] 数据
	流速: 60 m/h	流速: 15 m/h	BIOSTY [®] 数据
12 h~3 d	流速: 20~80 m/h	流速: 20~80 m/h	BIOFOR [®] 数据, 冲洗时间为 30~40 min
	流速: $0.33\sim 0.35 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{min})$ 水量: $2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ 滤料})$	流速: $0.43\sim 0.52 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{min})$ 气量: $5.14\sim 6.25 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ 滤料})$	法国 OTV 公司 的污水厂调查资料

4.4 气水比

气水比的大小与进水水质、曝气生物滤池功能和形式、滤料粒径大小和滤层厚度等因素有关。曝气生物滤池气水比一般采用(1~3):1,但也有高达 10:1 者。一般来说,用于硝化功能的曝气生物滤池应采用较高的气水比,而仅用于碳化的曝气生物滤池的气水比可适当降低。Payraudeau 等人指出:用于三级硝化的 BIOSTY[®]的供气量约为 $70 \text{ m}^3/\text{kgNH}_4^+ - \text{N}$ 。Stensel 等人给出了计算曝气生物滤池供气量的公式。

5 展望

作为一种崭新的水处理工艺——曝气生物滤池正处在推广之中。根据目前的研究和应用情况,今后应重点研究以下相关问题:

- ① 生物膜的特点及其快速启动的方式;
- ② 生物氧化功能和过滤功能之间的相互关系;
- ③ 反冲洗过程中生物膜的脱落规律;
- ④ 进一步拓宽曝气生物滤池的应用范围,研究其在水深度处理、微污染源水预处理、难降解有机物处理中的应用及与其他工艺组合的处理效果。

参考文献:

- [1] Pujol P, Lemmel H, Goudsilles M. A keypoint of nitrification in an upflow biofiltration reactor[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(3): 43~49.
- [2] Wijeyekoon S, Mino T, Satoh H. Fixed bed biological aerated filtration for secondary effluent polishing—effect of filtration rate on nitrifying biological activity distribution[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(1): 187~195.
- [3] Séguret F, Racault Y. Hydrodynamic behavior of a full-scale submerged biofilter and its possible influence on performance[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(8~9): 249~256.
- [4] Tschui M, Boller M, Gujer W, et al. Tertiary nitrification in aerated pilot biofilters[J]. Wat Sci Tech, 1994, 29(10~11): 53~60.
- [5] 聂军,王珊珊. 第三代生物膜反应池 BIOFOR[J]. 给水排水, 1998, 24(10): 26~27.
- [6] Chen J J, Mccarty D, Slack D, et al. Full scale case studies of a simplified aerated filter(BAF) for organics and nitrogen removal[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(4~5): 1~4.
- [7] 邹伟国,孙群,王国华,等. 新型 BIOSMEDI 滤池的开发研究[J]. 中国给水排水, 2001, 17(1): 1~4.