

CBAF对污水厂二级出水的脱氮性能研究

杨 跃¹, 张金松², 黄文章², 尤作亮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 深圳市水务
<集团>有限公司, 广东 深圳 518031)

摘 要: 采用复合式曝气生物滤池对深圳市某污水处理厂二级出水进行强化脱氮的中试研究。结果表明,在以葡萄糖为外加碳源的情况下,该滤池对氨氮和总氮的平均去除率分别达 93% 和 45%,出水氨氮和总氮的平均浓度分别为 1.2 和 12.3 mg/L。合理的外加碳源投加量不会对出水有机物浓度产生不利影响。试验期间,该滤池的出水水质符合《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)的相关要求。

关键词: 复合式曝气生物滤池; 外加碳源; 强化脱氮

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)23-0063-04

Study on Combined Biological Aerated Filter for Nitrogen Removal from Secondary Effluent from WWTP

YANG Yue¹, ZHANG Jin-song², HUANG Wen-zhang², YOU Zuo-liang²

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Shenzhen Water <Group> Co. Ltd., Shenzhen 518031, China)

Abstract: The combined biological aerated filter (CBAF) was used to enhance nitrogen removal from secondary effluent of a WWTP in Shenzhen. The pilot-scale results show that when using glucose as external carbon source in the CBAF, the average removal rates of ammonia nitrogen and total nitrogen can reach 93% and 45%, and their concentrations in the effluent are 1.2 mg/L and 12.3 mg/L respectively. Furthermore, appropriate dosage of external carbon source does not produce adverse effect on the removal of organic pollutants. The effluent quality accords with the relevant requirement in the *Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Scenic Environment Use* (GB/T 18921-2002) and *Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Urban Miscellaneous Water Consumption* (GB/T 18920-2002).

Key words: combined biological aerated filter; external carbon source; enhanced nitrogen removal

曝气生物滤池 (BAF) 集生物接触氧化和悬浮固体截留功能于一体^[1], 具有有机负荷高、生物量大、占地面积小、氧传质效率高、耐冲击能力强、启动快、易于实现自动化控制等优点^[2~4], 在生物脱氮方面具有卓越的性能^[5~8]。

笔者采用一种复合式曝气生物滤池 (CBAF),

以深圳特区内某污水处理厂二级出水为原水进行中试, 考察其在强化脱氮方面的性能。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置主体为 $\varnothing 250\text{ mm} \times 6\,300\text{ mm}$ 的有机玻璃滤池, 上层为聚苯乙烯滤料, 粒径为 3~6 mm,

滤床厚为 2.4 m;下部为陶粒滤料,粒径为 4~8 mm,滤床厚为 1.5 m;中间为反冲洗膨胀区。装置采用上向流的运行方式,从下层滤料底端开始,向上每隔 30 cm 设 1 个取样口。

试验装置如图 1 所示。

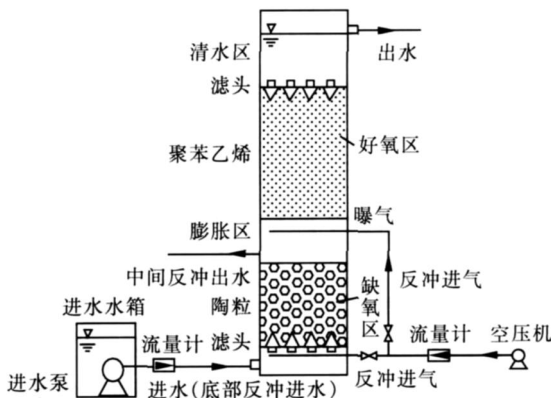


图 1 复合式曝气生物滤池试验装置

Fig 1 Schematic diagram of pilot-scale CBAF

单一滤料 BAF 的硝化和反硝化功能常通过“多级滤池”实现,CBAF 装置则将两种不同性质的滤料置于同一滤池中,分别作为反硝化菌和硝化菌的载体,避免了在反冲洗时附着不同微生物群落的滤料相混合,保证了反冲洗后硝化和反硝化效率的快速恢复。

1.2 试验水质与检测方法

试验期间,深圳市某污水厂二级出水(中试装置进水)水质及相应的回用水水质标准见表 1。

表 1 进水水质及回用水水质标准

Tab 1 Characteristics of influent quality and reused water quality standards

项 目	中试进水 (平均值)	城市杂用水 水质标准	景观环境 用水标准
氨氮/(mg·L ⁻¹)	1~15(5.6)	10	5
总氮/(mg·L ⁻¹)	7~23(17.7)	—	15
硝酸盐氮/(mg·L ⁻¹)	1.2~12(5.7)	—	—
COD/(mg·L ⁻¹)	15~50(32.0)	—	—
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	<10(4.3)	10	6
DO/(mg·L ⁻¹)	2.2~4.6(3.6)	—	—
水温/℃	20~25	—	—

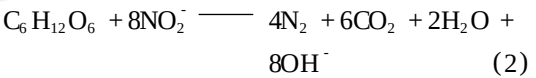
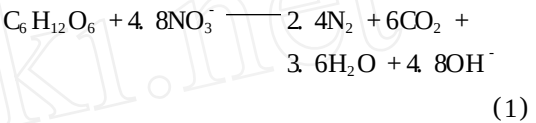
按照国家标准方法(GB 5750—85)的要求,对氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定、硝酸盐氮采用紫外分光光度法测定、总氮采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法测定、COD 采用重铬酸钾法测定、BOD₅采用稀释接种法进行检测。

1.3 试验方法

试验采用自然挂膜法,经一系列调试,最终以进水量为 0.5 m³/h、水力负荷为 10 m³/(m²·h)、气水比为 2:1 的条件运行。由表 1 可见,进水硝酸盐氮浓度较高,只要保证进水硝酸盐氮完全被去除,即可达到回用标准对总氮浓度的要求(≤15 mg/L),因此无需开启内回流。

1.3.1 碳源投加量的确定

由于进水中的大部分有机物为难生物降解物质(BOD₅≤10 mg/L),运行初期(3月 29 日—4月 9 日)反硝化效率始终较低。为满足缺氧段完全反硝化的需要,试验采用葡萄糖作为外加碳源,结合郑俊等^[9]的经验公式和下列反应方程式,计算碳源投加量。



完全反硝化所需的碳源总量:

$$C_m = 2.68[\text{NO}_3^- - \text{N}] + 1.61[\text{NO}_2^- - \text{N}] + 0.94\text{DO} \tag{4}$$

原水中亚硝酸盐氮浓度较低(<0.5 mg/L),反硝化消耗的碳源可忽略不计,因此式(4)可以简化为:

$$C_m = 2.68[\text{NO}_3^- - \text{N}] + 0.94\text{DO} \tag{5}$$

根据试验确定的葡萄糖剂量及其相应的 COD 值的关系如图 2 所示。

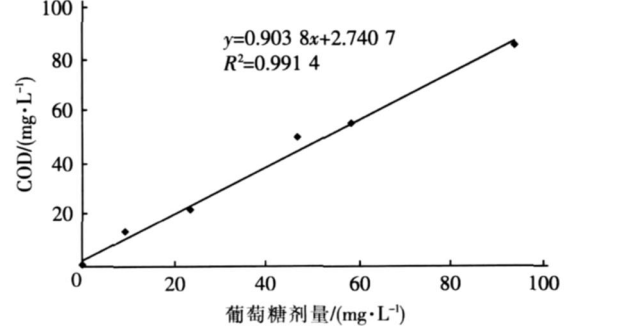


图 2 葡萄糖与其 COD 值的关系曲线

Fig 2 Relation curve of glucose to its COD value

由表 1 可知,装置最多需要去除的硝酸盐氮为 8 mg/L 左右,因此葡萄糖的理论投加量为 24 mg/L,试验中取 25 mg/L,从 4 月 10 日开始向装置内投加

碳源。由于碳源充足,仅用 2 周时间就完成了挂膜过程,经过 4 月 13 日—5 月 9 日的调试阶段之后开始稳定运行。

1.3.2 碱度对脱氮效果影响的评估

根据原水水质,氨氮浓度平均为 5.6 mg/L,硝酸盐氮平均浓度为 5.7 mg/L,硝化 1 mg/L 的氨氮需消耗 7.14 mg/L 的碱度(按 CaCO_3 计,下同),反硝化 1 mg/L 的硝酸盐氮产生 3.57 mg/L 碱度^[5]。由于该装置采用前置反硝化的运行方式,由理论计算可知反硝化过程可为后续硝化过程提供约 20 mg/L 的碱度,相当于硝化所需碱度的一半。运行期间,原水的平均碱度约为 90 mg/L,除去为硝化提供必要的碱度之外,还剩余略大于 70 mg/L 的碱度,满足保证硝化反应顺利进行的理论值(混合液碱度 ≥ 70 mg/L)^[10],因此试验不需投加碱度物质。

2 结果与讨论

2.1 反硝化效果及总氮去除率

从挂膜到稳定运行期间,装置的进水和缺氧段出水硝酸盐氮及总氮浓度如图 3、4 所示。整个过程进水硝酸盐氮和总氮浓度分别为 1.2~12 mg/L 和 7~23 mg/L,容积负荷分别为 $0.21\sim 2.1 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $0.53\sim 1.73 \text{ kgTN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。可以看出,投加碳源使反硝化效率显著提高,对硝酸盐氮的去除率始终保持在 60%~99%(平均值为 72.7%),缺氧段出口处硝酸盐氮浓度基本保持在 1.5 mg/L 以下,平均为 1.4 mg/L,表明滤池反硝化能力较强。出水总氮浓度基本保持在 4~15 mg/L 范围内,平均为 12.3 mg/L(平均去除率达 45%),满足回用水标准(≤ 15 mg/L)的要求。

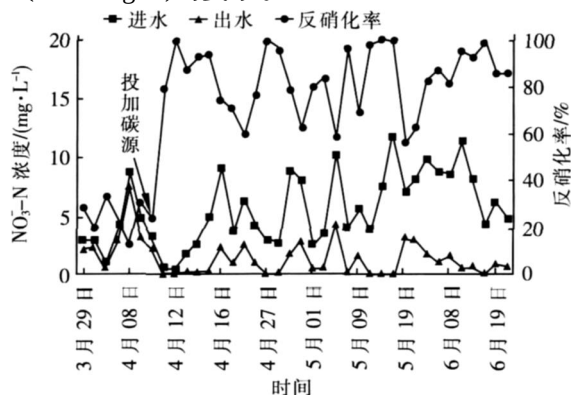


图 3 硝酸盐氮浓度及其去除率变化曲线

Fig 3 Variation curves of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ concentration and removal efficiency

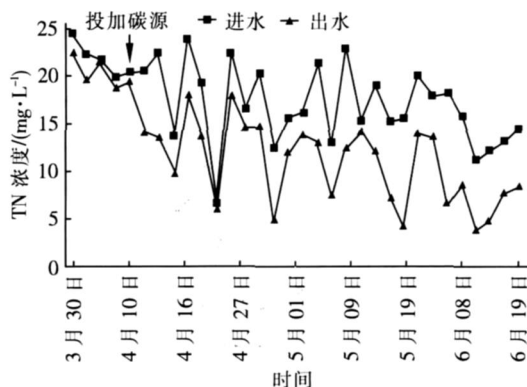


图 4 总氮浓度变化曲线

Fig 4 Variation curves of TN concentration

2.2 硝化效果

从挂膜到稳定运行期间,装置的出水氨氮浓度见图 5。整个过程进水氨氮浓度为 1.0~17.4 mg/L,容积负荷为 $0.1\sim 1.87 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

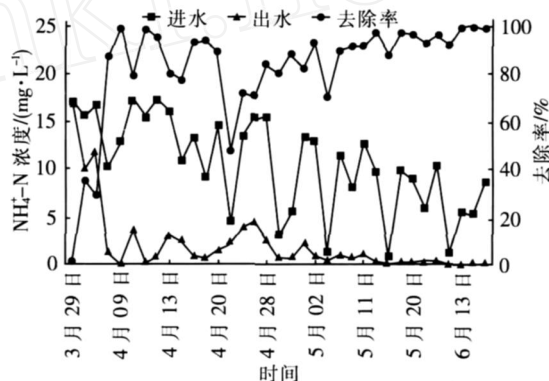


图 5 氨氮浓度及去除率变化曲线

Fig 5 Variation curves of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration and removal efficiency

由图 5 可以看出,出水氨氮浓度保持在 5 mg/L 以下(平均为 1.2 mg/L),尤其是在稳定运行阶段,出水氨氮浓度保持在 1 mg/L 左右,平均去除率可达 93%。出水水质完全满足景观环境用水和城市杂用水水质标准的要求。出水 pH 值为 6.8~7.2,也满足回用要求,适于硝化菌和反硝化菌的生长。

2.3 外加碳源对有机物去除效率的影响

投加葡萄糖前、后的原水及出水的 COD 浓度如图 6 所示。

投加葡萄糖前、后的原水 COD 浓度分别为 14.8~57.2 mg/L 和 30~98.9 mg/L,出水 COD 浓度则降低到 7.3~40.0 mg/L,部分原水中的 COD 也被去除了。可见,控制合适的碳源投加量,不会对出水的 COD 浓度造成负面影响。同时,检测到出水的

BOD₅ 浓度为 1. 5~5. 0 mg/L,满足回用水的要求 (<6 mg/L)。

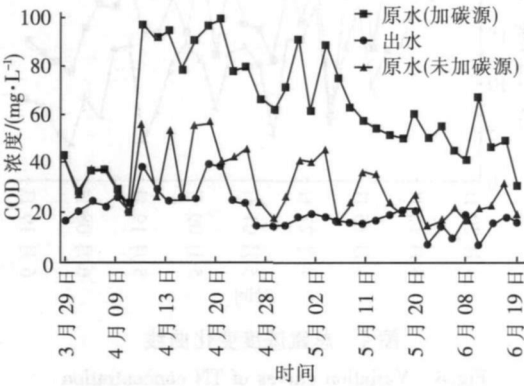


图 6 COD 浓度变化曲线

Fig 6 Variation curves of COD concentration

2. 4 产水率

装置的常规反冲洗周期为 24 h,当水头损失达到规定值 (20 kPa)时,进行强制反冲洗。在流量为 0. 5 m³ /h,水力负荷为 10 m³ / (m² · h)时,反冲洗耗水率仅为 0. 8%,产水率达 97% (见表 2)。

表 2 CBAF反冲洗的相关数据

Tab 2 Parameters of backwashing

项目	反冲洗周期 /h	耗水量 /m ³	恢复期 /min	实际产水率 /%
数值	24	0. 1	35	97

3 结论

试验证明,复合式曝气生物滤池启动迅速,对氨氮和总氮的去除效果良好。在不采用内回流、仅投加碳源条件下,对总氮的平均去除率可达 45%,出水浓度仅为 4~15 mg/L。对氨氮的平均去除率高达 93%,出水浓度基本在 1 mg/L 左右。另外,外加碳源不会影响对有机物的去除效果,出水 BOD₅ < 5 mg/L。滤池反冲洗耗水量少,产水率可达 97%。

复合式曝气生物滤池运行效果好,出水水质稳定,是一种高效的强化脱氮工艺,如结合化学法等适当的除磷方法,则可作为深圳特区污水处理厂二级

出水的深度处理工艺,处理出水可回用作景观环境用水和城市杂用水。

参考文献:

[1] Rebecca Moore, Joanne Quamby, Tom Stephenson The effects of media size on the performance of biological aerated filters [J]. Water Res, 2001, 35 (10): 2514 - 2522

[2] 郑俊,吴浩汀,程寒飞. 曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例 [M]. 北京:化学工业出版社,2002

[3] 乔晓时,许云阁,全燮. B DFOR 曝气生物滤池用于城市污水处理 [J]. 中国给水排水,2004,20 (7): 83 - 85

[4] 李玉华,赵可,霍明昕. 气浮—曝气生物滤池工艺处理印染废水 [J]. 中国给水排水,2003,19 (11): 41 - 42

[5] Gilmore K R, Husovitz K J, Holst T, et al Influence of organic and ammonia loading on nitrifier activity and nitrification performance for a two-stage biological aerated filter system [J]. Water Sci Technol, 1999, 39 (7): 227 - 234

[6] 田文华,文湘华. 沸石滤料曝气生物滤池去除 COD 和氨氮 [J]. 中国给水排水,2002,18 (12): 13 - 15

[7] 孙滴青,甘一萍,魏巍,等. B iostyr 曝气生物滤池中试研究 [J]. 给水排水,2005,31 (8): 14 - 18

[8] 邱立平,马军. 曝气生物滤池的短程硝化反硝化机理研究 [J]. 中国给水排水,2002,18 (11): 1 - 4

[9] 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,2005

[10] 周霞. 活性污泥工艺简明原理及设计计算 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005

电话: 13480967800

E - mail: yangyueww@126. com

通讯地址: 518003 深圳市罗湖区延芳路 98 号罗芳污水处理厂中控室 2 楼

收稿日期: 2007 - 06 - 20

珍惜水, 保护水, 实现人与自然和谐共处