

# 臭氧-曝气生物滤池-深床滤池用于印染废水脱氮处理的工程实例

杜 希, 陈 浩, 贾力强, 邱孝群, 张玉高, 谢卫东, 曾织林, 严素霞

(广东溢达纺织有限公司, 广东 佛山 528500)

**摘 要:** 针对目前许多纺织印染企业由于节水项目的开展以及引入大量含氮的整理用化工料造成废水总氮浓度高,污水厂出水不能完全满足 GB 4287—2012《纺织染整工业水污染物排放标准》对纺织印染行业废水排放的要求,通过采用臭氧-曝气生物滤池对 X 公司印染废水二级出水进行深度处理及硝化反应,再通过深床滤池进行反硝化来实现废水中总氮的去除。试验表明:在曝气生物滤池在进水温度为 32 °C,停留时间为 90 min 的条件下,最大进水氨氮负荷可以达到 0.43 kg/(m<sup>3</sup>·d)。深床滤池在停留时间为 40 min,以乙酸钠为外加碳源的条件下,最大进水总氮负荷可达到 0.53 kg/(m<sup>3</sup>·d)。深床滤池可确保最终排水中的总氮完全满足 GB 4287—2012 中表 3 的排放要求。

**关键词:** 纺织; 废水; 臭氧; 曝气生物滤池; 深床滤池; 总氮

中图分类号: X7

文献标识码: A

文章编号: 1674-4829(2018)03-0046-04

## Case Study of Nitrogen Removal for Textile Wastewater Using Ozonation-Biological Aerated Filter-Deep Bed Denitrification Filter Combination

DU Xi, CHEN Hao, JIA Li-qiang, QIU Xiao-qun, ZHANG Yu-gao, XIE Wei-dong,  
ZENG Zhi-lin, YAN Su-xia

(Guangdong Esquel Textiles Co. Ltd., Guangdong, Foshan 528500, China)

**Abstract:** Due to the water saving project implementation and nitrogen containing auxiliary introduction in textile industries, the total nitrogen concentration in wastewater is hard to satisfy the stringent regulation of GB 4287—2012 "Wastewater Pollutants Discharge Standard for Textile Printing Industry". In this study, ozonation-Biological Aerated Filter(BAF) was applied to deep treat and nitrify the secondary effluent and Deep Bed Denitrification Filter(DBDF) was introduced to remove the nitrified-nitrogen. It was found that the maximum ammonia nitrogen loading rate is 0.43 kg/(m<sup>3</sup>·d) for BAF at 32 °C with retention time of 90 min. The maximum nitrogen loading rate is 0.53 kg/(m<sup>3</sup>·d) for DBDF with retention time of 90 min and sodium acetate as carbon source. After these treatments, the total nitrogen (TN) concentration in the effluent can reach the requirement of table 3 in GB 4287—2012.

**Key words:** Textile; Wastewater; Ozonation; Biological aerated filter; Deep bed denitrification filter; TN

## 0 引言

印染废水具有水质水量变化大、色度高、成分复杂、可生化性差等特点,属于难处理的工业废水之一<sup>[1]</sup>。GB 4287—2012《纺织染整工业水污染物排放标准》较 1992 年标准明显提高。从 2013 年 1 月 1 日起,新建污染源执行表 2 要求,原有污染源执行表 1 要求,从

2015 年 1 月 1 日起,现有企业和新建企业都须执行表 2 要求,部分特殊控制区须达到表 3 要求<sup>[2]</sup>。其中氨氮和总氮的标准都有很大程度的提升,因此印染废水的脱氮面临严峻的挑战。部分印染企业由于含有印花和液氨丝光工艺,在生产过程中使用大量的含氮物质,同时随着印染企业节水项目的开展使得废水中总氮浓度升高。

印染废水处理工艺中使用水解酸化-生物接触氧化的工艺较多<sup>[3]</sup>,然而生物膜厚度容易过大,内部生物膜供氧不足造成硝化能力不强,同时填料对搅拌机的水力阻力较大,回流硝化液与微生物难以均

收稿日期:2018-03-19

作者简介:杜 希(1986-),女,河南信阳人,博士,工程师,主要从事污水处理方向工作。

匀混合,从而造成反硝化能力不强,因此该工艺对总氮和氨氮基本不具备去除效果<sup>[4]</sup>。同时二级出水一般 BOD<sub>5</sub> 较低,导致废水 BOD<sub>5</sub> 与总氮浓度比值偏低,脱氮难度大。

本文在印染废水二级出水的基础上通过 BAF 提高出水硝化效果,在通过投加外碳源乙酸钠的情况下实现反硝化,从而使氨氮和总氮得到有效去除。

### 1 废水来源、水量和水质概况

#### 1.1 废水主要来源

X 印染废水的来源主要有退浆废水、煮炼废水、漂白废水、染色废水、丝光废水、印花废水和洗水废水。其中含氮物质的来源主要有染料、树脂、氨基硅油、尿素及液氨废水等。

#### 1.2 进出水水量、水质

该企业处理水量为 24 000 m<sup>3</sup>/d, 废水处理后直接排放到环境中。企业进水总氮和氨氮及 GB 4287—2012 中表 3 的直接排放限值见表 1。

表 1 进水总氮和氨氮及 GB 4287—2012 直接排放要求

水质	$\rho(\text{总氮})$	$\rho(\text{氨氮})$
进水	25	3
GB 4287—2012 表 3 直接排放	12	8

## 2 工程概况

### 2.1 污水厂改造前状况

污水厂改造前采用絮凝沉淀+水解酸化+接触氧化的工艺进行处理。工艺流程见图 1。

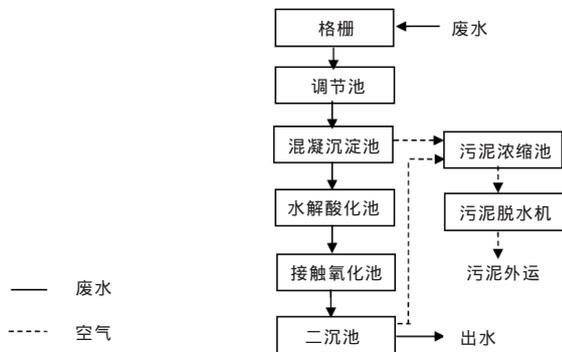


图 1 污水处理厂改造前工艺流程

印染废水中大分子含氮物质如氨基硅油与偶氮染料可通过絮凝沉淀的方式得到很大比例的去除,但是氨氮化合物及小分子含氮物质难以絮凝沉淀;水解酸化的过程会将一部分小分子含氮化合物水解

氮化<sup>[5]</sup>;接触氧化硝化效果不佳,故对出水总氮和氨氮去除没有帮助。改造前各段平均水质情况见表 2。

表 2 污水厂改造前各段水质情况

水质	$\rho(\text{总氮})$	$\rho(\text{氨氮})$	$\rho(\text{COD})$
格栅	25	3	1 400
混凝沉淀池出水	15	3	700
水解酸化池出水	14	7	550
接触氧化池出水	13	7	100

X 公司因液氨丝光工艺的引进大幅提高污水厂进水氨氮浓度,同时节水项目的开展也造成污水厂污染物浓度整体升高,急需寻找合适的工艺对氨氮和总氮进行去除。

### 2.2 污水厂改造后状况

接触氧化由于填料过厚造成生物膜供氧不足从而大幅降低其硝化效果。在污水的深度处理中,曝气生物滤池(BAF)是近年来得到广泛研究和应用的新型生物处理技术<sup>[6]</sup>,可以应用于 SS、有机物、氨氮的去除以及反硝化脱氮处理,在污水处理及资源化回用中具有良好的发展和应用潜能。

BAF 处理污水的原理是反应器内填料上所附生物膜中微生物氧化分解作用,填料及生物膜的吸附阻留作用和沿水流方向形成的食物链分级捕食作用以及生物膜内部微环境和厌氧段的反硝化作用<sup>[7]</sup>。在 BAF 中,有机物被微生物氧化分解,氨氮被氧化成硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N),另外由于在生物膜的内部存在厌氧/兼氧环境,在硝化的同时可实现部分反硝化。如 BAF 出水需要继续脱氮,可进入下一级后置反硝化系统,同时投加外部碳源<sup>[8]</sup>。

X 企业于原系统二沉池出水的基础上,选择臭氧-BAF-反硝化深床滤池对废水进行脱氮处理,臭氧可将大分子含氮物质氧化为小分子物质,提高废水可生化性,BAF 对有机物进行降解的同时完成同步硝化反硝化,再通过对深床反硝化滤池投加乙酸钠完成对硝态氮的去除。2017 年 6 月份完成改造,改造后的工艺流程图见图 2。

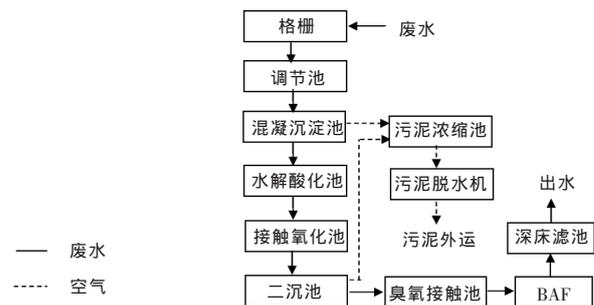


图 2 污水处理厂提标改造后工艺流程

臭氧接触池的尺寸为 27.5 m × 10.4 m × 8.0 m, 空床停留时间为 90 min。BAF 尺寸为 8.0 m × 8.0 m × 6.5 m, 均匀分布并列 8 格, 滤料为普通陶粒, 粒径为 3 ~ 5 mm, 填料高度为 3.0 m, 接触时间为 90 min, 气、水体积比为 4.7:1。深床滤池尺寸为 15.85 m × 3.66 m, 均匀分布并列 5 格, 滤池设计滤速 3.6 m/h, 停留时间 40 min, 滤料为粗石英砂, 粒径为 2 ~ 3 mm, 滤料层厚度为 2.44 m。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 臭氧-BAF 的氨氮、总氮去除效果

自 2017 年下半年开始, X 企业开始增加含氮助剂的使用, 污水厂进水氨氮与总氮浓度开始上升。改造后各段平均水质情况见表 3。

表 3 污水厂改造后各段水质情况

水质	$\rho(\text{总氮})$	$\rho(\text{氨氮})$	$\rho(\text{COD})$
格栅	42	17	1 500
混凝沉淀池出水	30	17	750
水解酸化池出水	28	20	580
接触氧化池出水	27	16	120

臭氧-BAF 进出水氨氮和总氮的数据见图 3、图 4。

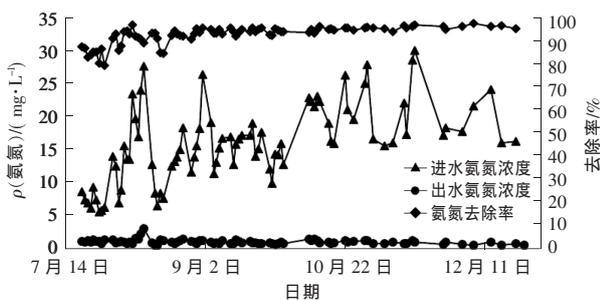


图 3 臭氧-BAF 进出水氨氮浓度及氨氮去除率

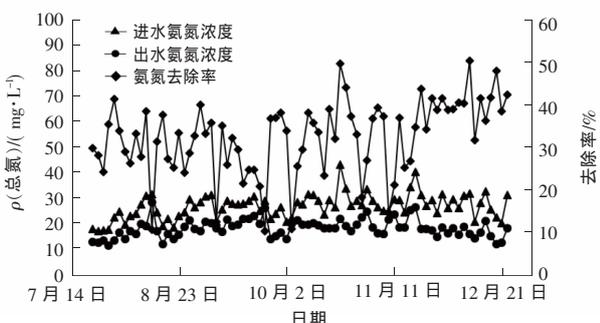


图 4 臭氧-BAF 进出水总氮浓度及去除率

臭氧-BAF 系统在进水温度为 32 °C 时, 进水氨氮质量浓度平均为 17.3 mg/L, 出水氨氮质量浓度平均为 1.0 mg/L, 对氨氮的平均去除率为 92.5%, 最大去除率为 97.2%, 氨氮的平均负荷为 0.2 kg/(m<sup>3</sup>·d),

最高负荷为 0.43 kg/(m<sup>3</sup>·d)。

臭氧-BAF 系统进水总氮质量浓度平均为 26.5 mg/L, 出水总氮质量浓度平均为 17.7 mg/L, 对总氮的平均去除率为 32.6%。在 BAF 生物膜的内部存在厌氧/兼氧环境, 在硝化的同时可实现部分反硝化, 因此对总氮有较高的去除效果。

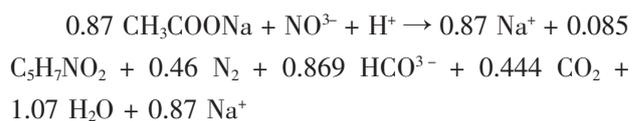
经过臭氧-BAF 后, 废水中各类氮源的去除情况见表 4。部分氨氮经过 BAF 的同步硝化反硝化后得到去除。部分有机氮经过 BAF 后由于被生物膜吸附和利用及 BAF 的反冲洗从而被去除。

表 4 各类型氮源经过臭氧-BAF 的变化

项目	$\rho(\text{总氮})$	$\rho(\text{氨氮})$	$\rho(\text{NO}_3^--\text{N})$	$\rho(\text{有机氮})$
臭氧-BAF 进水	26.5	17.3	0	9.2
臭氧-BAF 出水	17.7	1.0	11.6	5.1

#### 3.2 深床滤池的总氮去除效果

经过臭氧-BAF 处理后的废水 BOD<sub>5</sub> 已经非常低, 需要通过投加外来碳源进行反硝化。该企业选择三水乙酸钠为外加碳源, 乙酸钠与硝酸盐的反应式如下:



如上式计算, 去除 1 g 氮所需的三水乙酸钠质量为 8.46 g。

经过 BAF 硝化后, 深床滤池进水 DO 质量浓度为 5 mg/L, 在此条件下, 进出水总氮的浓度及总氮去除率见图 5。

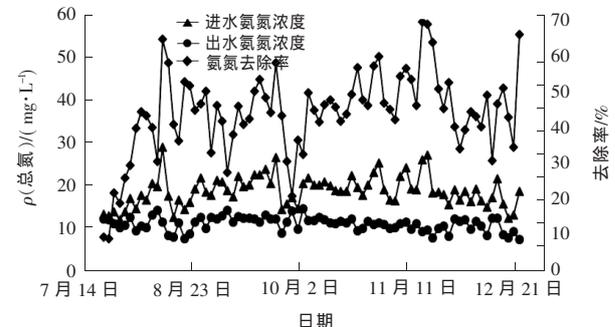


图 5 深床滤池进出水总氮浓度及总氮去除率

深床滤池进水总氮质量浓度平均为 17.7 mg/L, 出水总氮质量浓度平均为 10.2 mg/L, 对总氮的平均去除率为 40.9%。深床滤池进水总氮负荷平均为 0.23 kg/(m<sup>3</sup>·d), 最大负荷为 0.53 kg/(m<sup>3</sup>·d)。

三水乙酸钠耗用量与脱除总氮质量的关系见图 6。

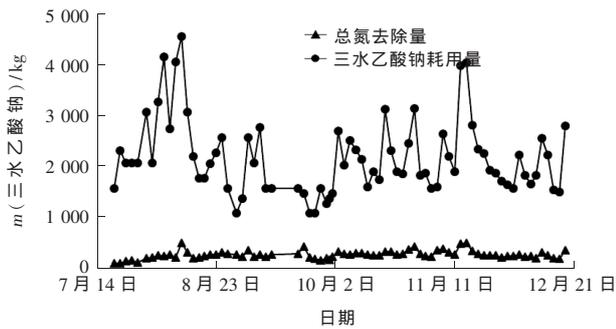


图6 三水乙酸钠投加量与总氮脱除量关系

由于市售乙酸钠质量波动较大,前期投加乙酸钠品质较差,实际碳源含量远低于理论值。8月中旬后开始选用品质较高的乙酸钠。计算实际去除1 g氮所需的三水乙酸钠质量为10.48 g,比理论值偏高23.9%。经过测试,品质较高的乙酸钠实际COD比理论值低16.5%,同时BAF出水DO较高会消耗一部分碳源。

经过深床滤池后,废水中各类氮源的去除情况见表5。硝态氮通过深床反硝化滤池得到去除,其余碳源浓度基本保持不变。

表5 各类型氮源经过深床滤池的变化

项目	mg·L <sup>-1</sup>				
	$\rho$ (总氮)	$\rho$ (氨氮)	$\rho$ (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	$\rho$ (有机氮)	$\rho$ (COD)
深床滤池进水	17.7	1.0	11.6	5.1	52
深床滤池出水	10.2	0.8	4.6	4.8	51

当深床滤池出水NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N仍有残留的情况下,进出水COD基本不变,外加反硝化碳源得到充分的利用。深床反硝化滤池作为出水的最终把关,在进水有机氮浓度较低的情况下,可以将该企业废水的总氮控制到GB 4287—2012中表3的排放要求。

#### 4 结论

(1)采用臭氧-BAF-深床滤池组合工艺可有效对印染废水二级出水进行深度处理,通过臭氧-BAF对污水进行深度处理和硝化反应,再通过深床滤池对硝化液进行反硝化,最终出水总氮可达到GB 4287—2012中表3的标准。

(2)臭氧-BAF系统在进水温度为32℃时,进水氨氮质量浓度平均为17.3 mg/L,出水氨氮质量浓度平均为1.0 mg/L,对氨氮的平均去除率为92.5%,氨氮的平均负荷为0.2 kg/(m<sup>3</sup>·d),最高负荷为0.43 kg/(m<sup>3</sup>·d)。同时由于BAF生物膜的内部存在厌氧/兼氧环境,在硝化的同时可实现部分反硝化,因此对总氮也有较高的去除效果。BAF系统进水总氮质量浓度平均为26.5 mg/L,出水总氮质量浓度平均为17.7 mg/L,对总氮的平均去除率为32.6%。

(3)深床滤池可通过投加外部碳源来完成反硝化。选择乙酸钠为外碳源的情况下,深床滤池进水总氮质量浓度平均为17.7 mg/L,出水总氮质量浓度平均为10.2 mg/L,对总氮的平均去除率为40.9%。深床滤池进水总氮负荷平均为0.23 kg/(m<sup>3</sup>·d),最大负荷为0.53 kg/(m<sup>3</sup>·d)。当深床滤池出水NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N仍有残留的情况下,进出水COD基本没有变化,外加碳源可得到充分的利用。乙酸钠与去除总氮质量比受乙酸钠的实际COD及进水DO的影响。

#### [参考文献]

- [1] 刘梅红. 印染废水处理技术研究进展[J]. 纺织学报, 2007, 28(1): 116-119, 128.
- [2] 麦建波, 江 栋, 范远红, 等. 我国环保新常态下的印染废水提标改造现状与趋势[J]. 染整技术, 2016, 38(2): 58-61.
- [3] 孙红娟. 水解酸化-生物接触氧化法处理印染废水的改进[J]. 中国环保产业, 2017(4): 58-60.
- [4] 宋 慧. 提高接触氧化法硝化反硝化效果的思路[J]. 化工管理, 2015(19): 200-201.
- [5] 贾凡凹. 有机氮工业污水缺氧/两级好氧处理系统特征及吹脱除氮研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014.
- [6] PUJOL R, HAMON M, KANDEL X. Biofilters: flexible, reliable biological reactors[J]. Wat sci tech, 1994, 29(10/11): 33-38.
- [7] 汪银梅. 新型曝气生物滤池(BAF)除磷脱氮特性研究[J]. 环境科技, 2015, 28(6): 17-20.
- [8] 徐亚明, 蒋 彬. 曝气生物滤池的原理及工艺[J]. 工业水处理, 2002, 22(6): 1-5.

(责任编辑 王淑侠)