

# 反硝化深床滤池在一级 A 提标项目中的应用及运行效果

高飞亚<sup>1</sup>, 郭庆英<sup>1</sup>, 余浩<sup>2</sup>, 陈雪祥<sup>3</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 3. 海宁首创水务有限责任公司, 浙江 海宁 314400)

**摘要:** 海宁丁桥污水处理厂原有一、二期工程主体工艺为 SBR, 三期工程主体工艺为 A<sup>2</sup>O, 运行中出水 TN、TP 和 SS 达不到钱塘江流域要求的一级 A 排放标准。提标工程在现状流程后增加反硝化深床滤池深度处理工艺以强化脱氮除磷及去除 SS。实际运行时因进水溶解氧几近饱和, 脱氮消耗的外加碳源远大于理论值, 所以不再外加碳源, 出水水质也能达到一级 A 排放标准。出水 TP、TN、SS、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub> 和 COD 最大浓度分别为 0.31、12.70、7.00、3.05、6.0、43.7 mg/L, 平均去除率分别为 40.11%、6.20%、35.03%、69.32%、33.33%、14.08%, 表明反硝化深床滤池去除总氮效果一般, 但对 TP、SS、NH<sub>3</sub>-N 的去除效果很好。

**关键词:** 反硝化深床滤池; 一级 A 提标; 运行效果

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)06-0063-04

## Application and Operation Performance of Denitrification Deep-bed Filter in Upgrading Project for First Class A Level Criteria

GAO Fei-ya<sup>1</sup>, GUO Qing-ying<sup>1</sup>, YU Hao<sup>2</sup>, CHEN Xue-xiang<sup>3</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Power China Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China; 3. Haining Capital Water Co. Ltd., Haining 314400, China)

**Abstract:** The original main process of the first and second phase of the Haining Dingqiao wastewater treatment plant was SBR, and the main process of the third phase was A<sup>2</sup>O. The effluent TN, TP and SS could not meet first class A level criteria required by Qiantang River basin. In the upgrading project, denitrification deep-bed filter was added after the current treatment process to enhance nitrogen, phosphorus and SS removal. In actual operation, as the raw water DO was almost saturated, the additional carbon source consumed by denitrification was much larger than the theoretical value. So the effluent quality still could reach the first class A level criteria without addition of carbon source. The maximum concentrations of effluent TP, TN, SS, NH<sub>3</sub>-N, BOD<sub>5</sub> and COD were respectively 0.31 mg/L, 12.70 mg/L, 7.00 mg/L, 3.05 mg/L, 6.0 mg/L, 43.7 mg/L, and the average removal rates were 40.11%, 6.20%, 35.03%, 69.32%, 33.33%, 14.08%, respectively. The results showed that the denitrification deep-bed filter had powerful performance on TP, SS and NH<sub>3</sub>-N removal, while the removal effect of TN was general.

**Key words:** denitrification deep-bed filter; first class A level criteria upgrading project; operation performance

钱塘江水系为浙江省八大水系之首,为保护钱塘江的区域水环境,《浙江省地面水环境保护功能区划分》要求其达到Ⅲ类水体的水质标准。《浙江省环境保护“十二五”规划》提出“加快推进污水处理设施提标改造,新建、在建城市污水处理厂配套建设脱氮除磷设施,太湖流域、钱塘江流域城镇污水处理设施执行一级A标准,其他地区城镇污水处理设施执行一级B标准”的指导意见。在此背景之下,对属于钱塘江流域的海宁丁桥污水处理厂进行升级改造,出水水质由一级B提升至一级A排放标准。

## 1 工程概况

海宁丁桥污水处理厂现状设计规模为  $15.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分为一、二期工程和三期工程两个系统,设计出水水质为一级B标准。一、二期设计规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主体采用SBR工艺;三期工程设计规模为  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主体采用A<sup>2</sup>O工艺。

升级改造前,海宁丁桥污水处理厂主要面临以下问题:

① 一、二期工程主体采用SBR工艺,由于滗水器出水易虹吸,出水水量极不稳定,峰值流量超过平均流量的1.5倍以上,严重影响了后续处理单元的运行,尤其是影响现有终沉池的泥水分离效果,出水SS超标较严重。

② 一、二期SBR工艺出水水质不稳定,脱氮效果较差。

③ 三期工程TN、SS不能稳定达到一级A排放标准。

该工程面临时间紧、不能停水、水力高程受限等问题,对现有生化系统,尤其是一、二期SBR,进行强化除磷脱氮的改造困难重重。反硝化深床滤池同时具有反硝化脱氮、过滤去除SS和TP的作用,在一级A提标项目中应用较多,在现有流程后新建反硝化深床滤池,既不影响现状污水处理厂的运行,又能比较快速地实现提标目标。

因此海宁丁桥污水处理厂对一、二、三期工程采用深床反硝化滤池深度处理工艺进行一级A提标改造。

## 2 反硝化深床滤池工艺设计及运行参数

### 2.1 工艺设计

设计规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数为1.3,设计水温为12℃。

滤池设计进、出水水质见表1。

表1 滤池设计进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality of filter

项目	mg · L <sup>-1</sup>		
	TN	SS	TP
进水	25	20	1.0
出水	15	10	0.5

深床反硝化滤池在现状一级B出水后增加,这部分工艺流程见图1。

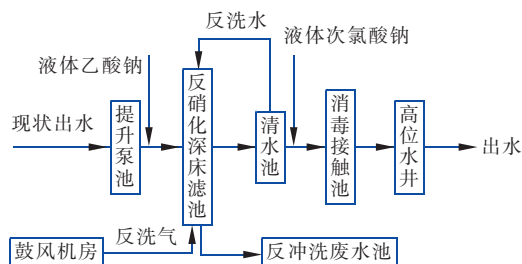


图1 提标工程工艺流程

Fig.1 Process flow chart of upgrading project

反硝化深床滤池主要设计参数如下:

#### ① 反硝化滤池

分9格,单格平面尺寸为3.56 m × 32.11 m,平均滤速为6.83 m/h;反硝化容积负荷为0.673 kgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/(m<sup>3</sup> · d);空床滤料有效容积为2 230 m<sup>3</sup>,滤池出水设置气动调节蝶阀。

采用石英砂滤料,粒径为2~4 mm,滤床深度为2.44 m,承托层为天然鹅卵石,粒径为3~38 mm,承托层深度为0.45 m,下向流,进水和反冲洗反向。布水布气系统采用滤砖和不锈钢穿孔管。

#### ② 反冲洗系统

设置清水池1座,有效容积为876 m<sup>3</sup>,配置反冲洗潜水泵2台(1用1备),流量为1 675 m<sup>3</sup>/h,扬程为113 kPa,功率为90 kW。

设置鼓风机房1座,平面尺寸为12 m × 9.6 m,配置反冲洗罗茨鼓风机3台,风量为104.5 m<sup>3</sup>/min,风压为82.7 kPa,功率为200 kW。

#### ③ 反冲洗废水池

反冲洗废水池有效容积为876 m<sup>3</sup>,满足2格同时反冲洗储存水量要求。配置反冲洗排水泵2台(1用1备),流量为348 m<sup>3</sup>/h,扬程为80 kPa,功率为15 kW。

#### ④ 加药系统

本工程利用现状工程混凝沉淀池的PAC投加系统进行絮凝剂投加。

改造现状加药间,在提升泵后管道投加液体乙酸钠。采用25%浓度的商品乙酸钠溶液,该溶液COD当量为220 000 mg/L,设计最大投加量为50 mg/L,最大日为34.08 m<sup>3</sup>/d,稀释至15%后投加。设置4台数字计量泵(2用2备),流量为0~1 500 L/h,扬程为400 kPa,功率为0.75 kW。

2.2 运行参数

深床反硝化滤池采用变水位运行,滤床最大设计水头损失为25 kPa,滤料以上运行水位为1.2~2.4 m。

冲洗周期约36~48 h,驱氮周期根据水质情况确定为4~6 h。

反冲洗方式:滤池采用自动反冲洗,反冲洗程序根据滤池单池水头损失或时间来控制,也可进行手动控制。气反冲洗强度为110 m/h;气水反冲洗强度:气110 m/h,水14.7 m/h;水反冲洗强度为14.7 m/h;每格反洗水量为334 m<sup>3</sup>/d。同一格滤池二者不同时进行。

3 反硝化深床滤池运行效果分析

2017年2月—5月,对反硝化深床滤池进行运行调试。调试期间投加碳源液体乙酸钠,调试期结束后不再加药,运行至今。

3.1 投加乙酸钠进行反硝化脱氮运行效果

运行调试期间,乙酸钠投加量为3.4~30.6 t/d不等,不同投加量下的TN去除效果见表2。

表2 不同乙酸钠投加量的脱氮效果

Tab.2 Denitrification effect under different sodium acetate dosage

日期	加药量/t	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )		ΔCOD/ΔNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
		进水	出水	进水	出水	
2月11日	6.0	39.0	30.2	12.00	11.50	35.2
2月13日	6.0	47.7	39.7	12.10	10.30	9.3
2月15日	6.0	33.7	31.7	12.20	10.70	7.2
2月16日	6.0	45.9	39.9	11.50	10.40	13.5
2月18日	6.0	39.0	31.9	11.80	10.90	17.7
2月19日	6.0	41.7	43.7	10.80	10.30	13.6
2月20日	3.4	43.3	38.1	10.70	10.40	34.0
2月21日	3.4	47.8	38.6	12.20	10.60	8.9
2月22日	3.4	39.6	30.1	10.60	9.15	10.0
2月24日	3.4	37.7	35.4	10.70	9.79	8.0
2月25日	3.4	45.5	42.7	13.10	12.30	9.7
2月28日	6.9	41.7	40.1	13.20	12.40	14.7
3月1日	6.9	49.4	48.3	12.30	11.30	11.2
3月2日	6.9	49.4	48.3	12.30	11.30	11.2

续表2(Continued)

日期	加药量/t	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )		ΔCOD/ΔNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
		进水	出水	进水	出水	
3月4日	8.6	45.8	47.8	9.23	8.42	13.1
3月5日	8.6	48.6	47.8	9.81	8.20	8.3
3月6日	8.6	48.5	47.7	7.37	6.19	11.4
3月7日	8.6	47.2	32.9	11.10	10.60	53.8
3月8日	9.5	36.1	36.9	10.70	10.00	18.8
3月9日	9.5	44.8	49.2	11.60	8.34	2.9
3月10日	9.2	58.0	45.6	11.30	8.40	8.9
3月11日	9.2	53.8	47.8	14.30	10.70	5.4
3月12日	9.2	53.4	51.0	11.20	9.10	7.6
3月13日	9.2	46.5	43.7	11.90	9.69	7.4
3月14日	9.2	59.0	33.9	13.90	12.20	22.7
3月15日	9.2	37.0	40.9	8.80	7.33	6.5
3月16日	9.5	44.7	41.6	8.90	8.00	18.9
3月18日	10.8	55.6	35.7	11.10	10.60	71.5
3月19日	10.8	47.4	32.3	12.80	9.42	9.2
3月20日	10.8	47.8	40.6	12.20	10.40	12.8
3月21日	10.8	28.3	31.9	10.40	10.00	30.6
3月22日	12.0	55.6	36.0	10.50	6.32	8.9
3月26日	17.0	53.4	41.4	8.32	5.91	15.3
3月27日	17.0	47.4	31.6	10.70	9.30	29.1
3月28日	17.0	35.7	27.8	12.20	6.44	5.7
3月29日	24.9	24.6	30.6	11.90	8.20	8.2
3月30日	24.9	27.7	43.6	12.10	5.75	3.2
3月31日	24.9	35.6	31.7	11.50	10.90	67.4
4月1日	24.9	43.8	39.9	6.47	5.91	72.2
4月2日	24.9	39.9	28.7	7.39	5.99	34.1
4月3日	24.9	44.1	36.9	8.75	6.91	23.8
4月4日	24.9	56.4	31.8	8.67	6.34	26.2
4月5日	30.6	56.5	45.1	14.20	6.63	7.4
4月6日	30.6	44.7	48.6	14.30	11.50	14.6
4月7日	30.6	45.6	38.5	10.30	7.47	18.4
4月8日	30.6	43.5	32.1	11.80	8.95	19.7

注:投加的药剂为液体乙酸钠,COD当量为220 000 mg/L。

从表2可知,本工程出水的硝态氮比较平稳,并没有因乙酸钠投加量增加而有明显的减小。在生物脱氮工艺中,COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N是一个重要的设计参数,它表征了去除硝酸盐所需要的可利用的有机物量<sup>[1]</sup>。以乙酸钠为碳源时,单位NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N去除量的COD投加量为3.66<sup>[2]</sup>。本工程深床反硝化滤池进水为二级生化出水,调试运行期间ΔCOD/ΔNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N平均值约15.68。碳源利用率较低的原因与进水溶解氧含量过高有关。一方面,本工程进水

的 COD 最高达到 800 mg/L 以上,为去除 COD, SBR 生物池曝气量大,且出水溶解氧比较高;另一方面,本工程采用变水头过滤,滤池进水存在最大 1.2 m 的跌水,客观上起到了跌水曝气的效果,使得滤池进水中的溶解氧处于饱和状态,这些溶解氧需要消耗大量的外加碳源才能形成反硝化所需要的缺氧状态,从而限制了滤池反硝化脱氮的能力。

### 3.2 没有外加碳源的运行效果

本工程实际运行时不再外加碳源,2018 年 1 月—7 月的运行数据见表 3。

表 3 反硝化深床滤池实际进、出水水质

Tab. 3 Actual influent and effluent quality of denitrification deep-bed filter  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目		COD	NH <sub>3</sub> -N	SS	TP	TN	BOD <sub>5</sub>
最大值	滤池进水	48.8	4.79	12.63	0.57	14.38	9.0
	滤池出水	43.7	3.05	7.00	0.31	12.70	6.0
平均值	滤池进水	36.8	1.47	6.76	0.18	8.88	5.6
	滤池出水	31.6	0.45	4.39	0.11	8.33	3.8
	去除值	5.2	1.02	2.37	0.07	0.55	1.8

由表 3 可知,出水 TP、TN、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{BOD}_5$  和 COD 最大质量浓度分别为 0.31、12.70、7.00、3.05、6.0、43.7 mg/L,平均去除率分别为 40.11%、6.20%、35.03%、69.32%、33.33%、14.08%,表明滤池去除总氮效果一般,但对 TP、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果很好,出水水质接近地表水 IV 类指标。

### 4 结论与建议

① 本工程反硝化深床滤池实现了脱氮除磷和降低 SS 的工程目标,出水水质能够稳定达到一级 A 标准,并且接近地表水 IV 类水质指标。

② 反硝化深床滤池可根据进水水质确定是否投加碳源,实现过滤功能和反硝化功能的切换。

③ 本工程中,反硝化深床滤池除了除磷脱氮和去除 SS 以外,对 COD 也有约 10% 的降解能力,且出水水质稳定。

④ 今后的运行中,如要进一步降低出水 TN,建议通过调节滤池出口气动调节蝶阀的开度,用阀

门阻力逐渐减小的方法,克服滤层中增加的水头损失,实现恒水位过滤,控制跌水高度,降低进水溶解氧的含量,节约外加碳源的投加量。

⑤ 如要进一步降低出水 SS 和 TP,建议前端混凝沉淀池增大 PAC 投药量,同时适当缩短反硝化深床滤池反冲洗间隔时间。

### 参考文献:

- [1] 蔡碧婧,谢丽,杨殿海,等. 反硝化脱氮工艺补充碳源选择与优化研究进展[J]. 净水技术,2007,26(6): 37-41.  
Cai Bijing, Xie Li, Yang Dianhai, et al. A review on carbon source supplement and optimization in denitrification process[J]. Water Purification Technology, 2007, 26(6): 37-41 (in Chinese).
- [2] 杨敏,孙永利,郑兴灿,等. 不同外加碳源的反硝化效能与技术经济性分析[J]. 给水排水,2010,36(11): 125-129.  
Yang Min, Sun Yongli, Zheng Xingcan, et al. Denitrification efficiency and techno-economic analysis of different exotic additional carbon source[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(11): 125-129 (in Chinese).



作者简介:高飞亚(1978—),女,江苏常州人,本科,高级工程师,从事市政给排水工程设计工作。

E-mail: gaofeiya01@cemi.com.cn

收稿日期:2018-10-09