

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.18.024

# 克拉玛依市某污水处理厂一级 A 提标改造工程实例

马丽芳<sup>1</sup>, 陈菊香<sup>1,2</sup>, 孙锐<sup>3</sup>

(1. 新疆大学 建筑工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830012; 2. 新疆土木工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830012; 3. 克拉玛依市排水管理处, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:** 克拉玛依市某污水处理厂一期工程采用曝气生物滤池工艺,在实际运行中曝气生物滤池和反硝化生物滤池处理效果不稳定且温度较低时处理效果较差,出水 SS、TP 长期不达标, BOD<sub>5</sub> 的不达标率为 50%。提标改造工程将优化曝气生物滤池,并将一期已建的反硝化滤池用作事故池,新建一座反硝化深床滤池,将外加碳源改为醋酸钠。运行结果表明,对 SS、TP 和 TN 的平均去除率分别可以达到 97.1%、91.6% 和 77.6%,出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

**关键词:** 污水处理厂; 提标改造; 反硝化深床滤池

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)18-0122-04

## A WWTP Upgrading Reconstruction Project to Meet the First Level A Discharge Standard in Karamay

MA Li-fang<sup>1</sup>, CHEN Ju-xiang<sup>1,2</sup>, SUN Rui<sup>3</sup>

(1. College of Civil Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830012, China; 2. Xinjiang Civil Engineering Technology Research Center, Urumqi 830012, China; 3. Drainage Management Office of Karamay, Karamay 834000, China)

**Abstract:** The aerated filter and denitrification filter operated unstably in the first phase of a wastewater treatment plant in Karamay, especially the treatment effect was poor at low temperature. The effluent SS and TP were not up to the standard for a long time, and the failure rate of BOD<sub>5</sub> removal was 50%. In the upgrading and reconstruction project, the aerated filter was optimized, the built denitrification filter of phase I was used as sludge and sewage accident tank, and a new deep bed denitrification filter was built. In addition, the added carbon source was changed to sodium acetate. The operation results showed that the average removal rates of SS, TP and TN reached 97.1%, 91.6% and 77.6% respectively, and the effluent reached the first level A criteria in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

**Key words:** wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; deep bed denitrification filter

克拉玛依市某污水处理厂一期工程于 2011 年 建成投产,建设规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计出水水质

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51768067); 新疆大学博士启动基金资助项目(BS190224)  
通信作者: 陈菊香 E-mail: chenju1816@126.com

执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B标准,其出水夏季可作为绿化及大农业的灌溉用水,冬季外排至克拉玛依石化公司污水库贮存。由于受季节性影响较大,且厂区一期工程未设深度处理,出厂水达标保证率低,SS和TP长期超标,COD偶尔超标。随着国家对环保的高度重视,污水厂的排放标准日益严格,该污水厂决定进行提标改造,出水水质执行GB 18918—2002一级A标准。

## 1 工程概况及存在的问题

### 1.1 工程现状

一期工程工艺流程见图1。进、出水水质见表1。

表1 污水厂现状进、出水水质

Tab.1 Current influent and effluent quality of the wastewater treatment plant

mg · L<sup>-1</sup>

项 目	COD		BOD <sub>5</sub>		SS		TN		氨氮		TP	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
夏季进水	125~500	320	100~400	189	60~460	246	12~40	29	15~37	26	0.5~8	2.5
夏季出水	30~50	40	5~17	10	10~15	12	3~15	10	1~4	2	0.2~3	1.7
冬季进水	350~570	426	150~440	266	200~350	310	40~60	50	30~45	38	1.5~4	3.6
冬季出水	35~55	45	7~45	18	10~15	13	8~35	17	1.5~10	5	1~3	1.7

由表1可知,进水水质波动较大,尤其是冬季寒冷天气进水污染物浓度较高,因此处理难度增大。部分出水水质可以达到一级A标准,但存在SS、TP长期不达标,TN、BOD<sub>5</sub>、氨氮偶尔不达标的情况,且TN、BOD<sub>5</sub>、氨氮不达标的情况多出现在冬季。

### 1.2 存在的问题

① 曝气生物滤池由于曝气器堵塞和曝气风管断裂等原因,造成滤池曝气不均匀,曝气效果不佳,且一期滤池内采用重质滤料,装填高度(4 m和4.5 m)过高会增加滤池反冲洗的难度,导致BOD<sub>5</sub>去除效果差,BOD<sub>5</sub>出现超标情况。

② 在实际运行中,出水TN、BOD<sub>5</sub>、氨氮不达标的情况多出现在冬季的12月、次年1月—4月,冬季严寒天气水温低至12~14℃,极端大风天气低至11℃,这说明曝气生物滤池和反硝化生物滤池处理效果不稳定且温度较低时处理效果较差。

③ 现有曝气生物滤池的池面敞开。克拉玛依冬季平均温度为-9.2℃,最冷月(1月)平均温度为-16.7℃,极端最低温度为-35.9℃,而曝气生物滤池的硝化最佳温度应在18.6℃以上<sup>[1]</sup>。因此,出水水质受低温影响,BOD<sub>5</sub>、TN不达标。

④ 反硝化生物滤池的外加碳源为甲醇,甲醇

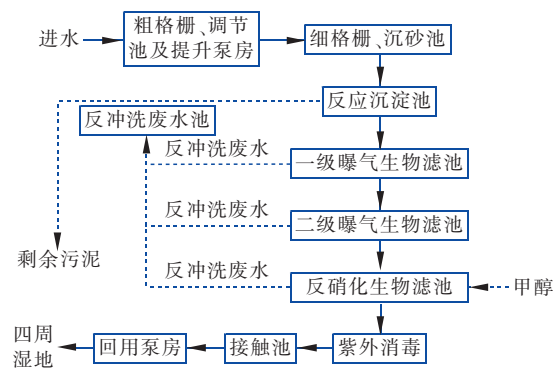


图1 一期工程工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process for phase I project

属于危险化学品,购买和储存不便。同时,在运行过程中甲醇的投加没有明显提高反硝化速率,运行成本较高。

## 2 提标改造方案及设计

### 2.1 设计进、出水水质

结合该污水厂进水水质的现状,进水COD ≤ 550 mg/L的概率为94.4%,BOD<sub>5</sub> ≤ 250 mg/L的概率为84.2%,SS ≤ 280 mg/L的概率为83.3%,TN ≤ 55 mg/L、氨氮 ≤ 43 mg/L、TP ≤ 5 mg/L的概率均为88.8%。一期工程升级改造设计进水水质按80%的保证率确定,同时出水水质需满足一级A标准(见表2)。

表2 升级改造工程设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of the upgrading project

mg · L<sup>-1</sup>

项 目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	氨氮	TP	TN
设计进水水质	≤250	≤550	≤280	≤43	≤5.0	≤55
设计出水水质	≤10	≤50	≤10	≤5(8)	≤0.5	≤15

注: 括号内为水温 ≤ 12℃ 时的控制指标。

### 2.2 改造措施

① 更换维修曝气生物滤池破损的曝气器和曝气风管,更换3~5 mm滤料1 803.6 m<sup>3</sup>、4~6 mm滤料2 029.2 m<sup>3</sup>,并更换损坏的滤头。

② 将外加碳源改为醋酸钠。将一期工程甲醇储罐拆除,并将碳源投加装置和深床滤池合建在一期工程深度处理单元内。

③ 在一、二级曝气生物滤池增加保温棚(钢架支撑)。增加保温措施前严寒天气下水温维持在 $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,保温后可提升至 $(13 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

④ 为提高 SS、TP、TN 的去除率,将一期已建的反硝化滤池用作事故池,新建一座反硝化深床滤池。

### 2.3 工艺流程的确定

污水处理厂要达到设计出水水质标准,需重点去除  $\text{BOD}_5$ 、SS、TP、TN 等。对于  $\text{BOD}_5$ ,采用修复现有曝气生物滤池的措施,提升曝气均匀性和反冲洗效果,增强生物膜的生物处理效能;对于 SS,利用反硝化深床滤池的滤料截留作用,在现有曝气生物滤池的基础上,进一步增强去除效果;对于 TP,采用投加化学药剂+反硝化深床滤池的方法,在现有曝气生物滤池后端投加除磷药剂(PAC),通过管式静态混合器将污水和药剂充分搅拌,再通过反硝化深床滤池进行杂质截留,降低 TP;对于 TN,采用向反硝化深床滤池投加碳源,将硝酸盐氮、亚硝酸盐氮转化为氮气,强化脱氮。

反硝化深床滤池具有脱氮除磷和过滤去除 SS 的作用,在一级 A 提标项目中应用较多,曾被应用于西安市第六污水厂<sup>[2]</sup>、海宁丁桥污水处理厂<sup>[3]</sup>等,并取得了良好的运行效果。该提标改造工程在现有工艺基础上新建反硝化深床滤池,工艺流程见图 2。

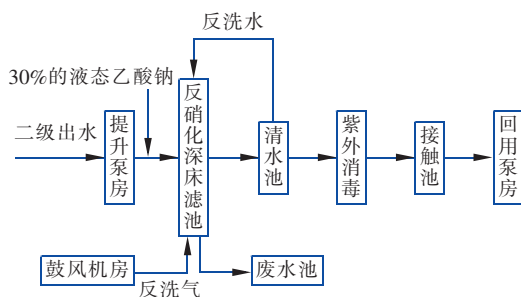


图2 反硝化深床滤池工艺流程

Fig. 2 Flow chart of denitrification deep bed filter process

按  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  土建规模考虑,深床滤池设计 5 格,单排布置,此外需额外设置清水池和废水池。清水池内放置清水泵,用于滤池反冲洗和驱除氮气;废水池用于调节反冲洗的水量。

### 2.4 深度处理单元设计

#### ① 反硝化深床滤池

该滤池为钢筋混凝土结构,5 格,有效滤料体积为  $681 \text{ m}^3$ ,总过滤面积为  $372 \text{ m}^2$ ,单格尺寸为  $15.25 \text{ m} \times 4.88 \text{ m} \times 5.50 \text{ m}$ ;滤料为  $1.7 \sim 3.35 \text{ mm}$  的石英砂,滤料厚度(不含承托层)为  $1.83 \text{ m}$ ;水力负荷为  $134.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,滤速为  $5.6 \text{ m/h}$ ,冲洗时间为  $5 \text{ min} + 5 \text{ min} + 10 \text{ min}$ ;水反冲强度为  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,空气反冲强度为  $92 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,反冲洗周期为  $24 \sim 28 \text{ h}$ ,反冲洗水量  $\leq 3\%$ 。滤池反冲洗采用滤后清水,反冲洗废水自流进入反冲洗废水池,通过小流量泵送至总进水提升泵房。

#### ② 反冲洗系统

设置清水池 1 座,有效容积为  $308 \text{ m}^3$ ,单次反冲洗耗水量为  $279.5 \text{ m}^3$ 。配置反冲洗水泵 3 台(2 用 1 备), $Q = 528 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 100 \text{ kPa}$ , $N = 30 \text{ kW}$ 。反冲洗风机 3 台(2 用 1 备), $Q = 54 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P = 68.6 \text{ kPa}$ , $N = 90 \text{ kW}$ 。

#### ③ 废水池

废水池有效容积为  $420 \text{ m}^3$ 。配置废水提升泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 150 \text{ kPa}$ , $N = 30 \text{ kW}$ ;潜水搅拌机 1 台, $N = 4 \text{ kW}$ 。

#### ④ 碳源投加装置

采用纯度为 30% 的液态乙酸钠作为碳源,在污水提升泵后管道投加,并采用前反馈+后反馈机制,按最不利情况下的进水水质确定碳源的投加量为  $150.33 \text{ mg/L}$ 。配置变频调速碳源投加泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 220 \text{ L/h}$ , $P = 0.7 \text{ MPa}$ 。

#### ⑤ 除磷药剂投加装置

除磷药剂采用 PAC,铝、磷物质的量之比为  $3:1$ ,有效成分按 27% 计,平均投加量为  $27.405 \text{ mg/L}$ 。新建 1 座加药间,面积为  $268.75 \text{ m}^2$ ,配置 2 套除磷药剂制备系统,设 2 台变频调速除磷药剂投加泵(1 用 1 备), $Q = 800 \text{ L/h}$ , $P = 0.7 \text{ MPa}$ 。

### 3 实际运行效果

该污水处理厂自 2017 年底完成调试并投入使用后,出水水质稳定达到预期设计标准。2018 年污水厂进、出水水质在线监测数据平均值见表 3。由表 3 可知,通过改造曝气生物滤池、优化水处理构筑物、新建反硝化深床滤池等措施,出水水质达到设计标准,其中 SS、TP 和 TN 的平均去除率分别为 97.1%、91.6% 和 77.6%,均高于设计值。

表3 2018年污水厂进、出水水质在线监测数据

Tab.3 Online monitoring data of the influent and effluent quality of the WWTP in 2018 mg · L<sup>-1</sup>

时间	COD		BOD <sub>5</sub>		SS		TN		氨氮		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1月	466.2	29.0	226.0	8.8	184.0	6.3	52.2	11.8	40.6	2.9	4.25	0.41
2月	409.5	25.3	238.5	9.1	232.8	8.3	34.9	8.1	41.9	3.0	3.32	0.32
3月	415.8	27.7	208.5	8.3	257.8	9.0	31.8	6.0	40.3	2.0	3.06	0.28
4月	369.5	28.6	185.7	6.9	235.4	8.2	24.3	6.3	16.6	1.8	4.19	0.42
5月	387.1	19.6	153.5	6.4	210.3	5.4	29.1	6.8	17.4	1.7	3.96	0.29
6月	310.4	18.2	149.5	5.4	164.3	4.6	23.2	3.5	40.2	4.6	2.46	0.24
7月	257.8	21.1	174.5	6.3	175.3	4.6	25.3	6.9	26.2	2.0	3.12	0.31
8月	272.5	19.8	164.4	6.5	174.4	6.2	24.1	6.3	23.3	1.9	4.23	0.28
9月	453.8	19.5	243.0	7.8	268.7	4.8	31.1	6.0	15.5	0.9	4.13	0.27
10月	387.2	22.4	247.0	9.3	257.9	6.3	42.6	11.1	11.2	0.9	3.64	0.28
11月	424.4	20.2	234.0	7.6	248.7	6.8	43.8	8.2	25.1	2.0	3.66	0.33
12月	416.1	20.5	218.5	8.2	254.9	5.4	37.5	8.3	20.5	1.0	4.04	0.22

4 经济效益分析

该污水处理厂提标改造工程总投资为5 300万元,改造前处理成本为0.8元/m<sup>3</sup>,改造后2018年的处理成本为0.95元/m<sup>3</sup>,总成本增加0.15元/m<sup>3</sup>,COD、BOD<sub>5</sub>、SS、TN、氨氮、TP的总削减量分别为5 857.4、3 210.2、3 668.7、411.3、369.6、56.4 t/a。由此可见,该提标改造工程投资少、新增单位水量总成本较低且环境效果显著。

5 结语

① 克拉玛依市某污水处理厂提标改造工程改造曝气生物滤池,优化水处理构筑物,新建一座反硝化深床滤池,有效节约用地,充分发挥反硝化深床滤池脱氮除磷的功能。提标改造后出水水质达到设计标准,且SS、TP和TN的平均去除率分别为97.1%、91.6%和77.6%。

② 曝气生物滤池加装保温棚,一方面在冬季保持水温,提升生物活性,保证出水水质达标;另一方面可以避免杂物飘落池体,堵塞滤头。

③ 该提标改造工程总成本增加0.15元/m<sup>3</sup>,对COD、BOD<sub>5</sub>、SS、TN、氨氮、TP的削减效果显著。

参考文献:

[1] 程小文,郭丽娜,张文艺. 温度对曝气生物滤池中亚硝化过程的影响[J]. 安徽工业大学学报:自然科学版, 2006,23(4):459-461,473.  
Cheng Xiaowen, Guo Lina, Zhang Wenyi. Influence of temperature over nitrite in NBAF[J]. Journal of Anhui University of Technology: Natural Science, 2006, 23(4):

459-461,473(in Chinese).

[2] 刘毅. 西安市第六污水处理厂反硝化深床滤池工艺应用分析[J]. 城市道桥与防洪,2015(8):98-100.  
Liu Yi. Analysis on application of denitrification deep-bed filter technology[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2015(8):98-100(in Chinese).  
[3] 高飞亚,郭庆英,余浩,等. 反硝化深床滤池在一级A提标项目中的应用及运行效果[J]. 中国给水排水, 2019,35(6):63-66.  
Gao Feiya, Guo Qingying, Yu Hao, et al. Application and operation performance of denitrification deep bed filter in upgrading project for first class A level criteria[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(6):63-66(in Chinese).



作者简介:马丽芳(1995-),女,山西长治人,硕士研究生,主要研究方向为污水处理。

E-mail:1498067423@qq.com

收稿日期:2020-03-23