

# $H_2O_2$ 强化氧化/FLOPAC 滤池用于工业园污水深度处理

刘杨华<sup>1</sup>, 刘丽<sup>1</sup>, 谢青松<sup>1</sup>, 张文<sup>2</sup>, 吴未红<sup>2</sup>

(1. 中国葛洲坝集团水务运营有限公司, 湖北 武汉 430000; 2. 湖南省建筑设计院有限公司, 湖南 长沙 410006)

**摘要:** 上海某工业区污水处理厂一~四期提标改造工程,出水水质由上海市地方标准《污水综合排放标准》(DB 31/199—2009)的二级提高到一级排放标准。生化线改造规模为  $3.25 \times 10^4$   $m^3/d$ ,原采用混合均化池+缺氧池+曝气池+二沉池+气浮池+臭氧接触氧化池工艺,改造后深度处理工艺采用 V 型滤池+臭氧接触氧化池(臭氧与  $H_2O_2$  结合)+FLOPAC 生物滤池;另外,用于处理高盐低有机污染废水的活性炭线改造规模为  $0.4 \times 10^4$   $m^3/d$ ,采用增加活性炭罐数量、降低处理负荷的方式,提高污染物去除率。实际运行表明,系统运行良好,出水水质达到了设计标准。

**关键词:** 提标改造设计; V 型滤池; 臭氧接触氧化池; FLOPAC 生物滤池

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0073-04

## Application of Enhanced Contact Oxidation with $H_2O_2$ /FLOPAC Bio-filter Process in Industrial Wastewater Advanced Treatment

LIU Yang-hua<sup>1</sup>, LIU Li<sup>1</sup>, XIE Qing-song<sup>1</sup>, ZHANG Wen<sup>2</sup>, WU Wei-hong<sup>2</sup>

(1. China Gezhouba Group Water Operation Co. Ltd., Wuhan 430000, China; 2. Hunan Architectural Design Institute Limited Company, Changsha 410006, China)

**Abstract:** The upgrading design of an industrial wastewater treatment plant in Shanghai (Phase I to Phase IV) was introduced. The quality of effluent was improved from second level to first level of Shanghai's local standard *Integrated Wastewater Discharge Standard* (DB 31/199 - 2009). The treatment capacity of enhanced biochemical process was  $3.25 \times 10^4$   $m^3/d$ . The current treatment process was combined with homogenization tank + anoxic tank + aeration tank + secondary settling tank + air flotation tank + ozone contact oxidation tank. The enhanced advanced treatment process was V-type filter + ozone contact oxidation tank (ozone combined with  $H_2O_2$ ) + FLOPAC bio-filter. The treatment scale of activated carbon process was  $0.4 \times 10^4$   $m^3/d$ , which was used to treat wastewater with high salt and low organic pollution. By increasing the number of activated carbon tanks and reducing the treatment load, the removal rate of pollutants could be improved. Actual operation results showed that the process had good effect, the effluent quality could meet the design standard.

**Key words:** upgrading design; V-type filter; ozone contact oxidation tank; FLOPAC bio-filter

### 1 工程概况

#### 1.1 工程背景

上海某工业区污水处理厂一~四期工程已建成

4条生化处理线和1条活性炭处理线(主要处理高盐低有机污染废水),生化处理线总规模为  $3.25 \times 10^4$   $m^3/d$ (最大规模为  $3.96 \times 10^4$   $m^3/d$ ),活性炭处

理线规模为  $0.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。出水水质执行上海市《污水综合排放标准》(DB 31/199—2009)<sup>[1]</sup> 二级标准,为提标至一级标准,对污水厂进行提标改造。

## 1.2 设计进、出水水质

工业区污水处理厂进水水质复杂,每条处理线进水水质均有差异。生化线、活性炭处理线现状出水水质分别见表1、表2。提标改造出水水质执行上海市地方标准一级标准,尾水经排海泵站提升后排入杭州湾。

表1 生化线出水水质

Tab.1 Effluent quality of biochemical process

项目	现有生化线出水水质	一级标准
$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4.1 ~ 9.5	20
$\text{COD}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	68 ~ 85	60
总氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	26.6 ~ 29.1	25
凯氏氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.2 ~ 7.7	—
硝酸盐氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.6 ~ 15.9	—
亚硝酸盐氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.05 ~ 0.61	—
总磷/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.27 ~ 0.51	0.5
挥发酚/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.04	0.3
苯胺类物质/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.07 ~ 0.4	1
总油类/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.16 ~ 0.25	5
总氰化物/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.022 ~ 0.176	0.1
氯苯/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	<0.01	0.2
悬浮物/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4 ~ 8	60
色度/倍	40 ~ 45	50

表2 活性炭线出水水质

Tab.2 Effluent quality of activated carbon process

项目	现有活性炭线出水水质	一级标准
氯化钠	41	—
硫酸钠	6	—
碳酸钠	4	—
三乙胺	43	$\leq 8$
双酚钠	5	—
二氯甲烷	1	—
$\text{BOD}_5$	2.3	$\leq 20$
COD	160	$\leq 60$
SS	1	$\leq 60$
氯化物	24 638	—
硫酸盐	5 820	—
总油类	0.48	$\leq 5$
挥发酚	<0.02	$\leq 0.3$
总有机碳(TOC)	35.4	$\leq 20$

## 2 工艺流程

### 2.1 现有工艺简介

工业区污水处理厂一~四期及活性炭处理工程,改造处理规模为  $3.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。污水组成:有机废水、生活污水及污水处理厂运行过程中产生的工业废水和生活污水、净水厂脱盐装置排水,污水处理出水经排海泵站排入杭州湾海域。现有生化线主体工艺:缓冲池+混合均化池+缺氧池+曝气池+二沉池+气浮池+三级处理(臭氧氧化)+加氯池+出水调节池;活性炭处理线采用活性炭罐吸附工艺,用于处理高盐低有机污染废水,采用8个 $\text{Ø}2\ 600\text{ mm}$ 活性炭吸附塔。

### 2.2 提标改造后工艺流程

本次改造主要是降低 COD、TOC 两个出水水质指标。工艺措施:通过在气浮池出水端增加过滤设施,进一步去除及稳定 SS 指标浓度在  $10\text{ mg/L}$  以下;在接触氧化池中加入臭氧投加量,同时投加双氧水,增强接触氧化效果,使得难降解 COD 转化为可生物降解的有机物,同时臭氧增加了水中的溶解氧含量;在臭氧氧化工艺的后端增加 FLOPAC 生物滤池,进一步去除可生物降解的低浓度有机物,进而降低出水 COD、TOC 值。FLOPAC 生物滤池是一种典型的生物滤池工艺,与 V 型滤池结构一致,采用专门的陶粒滤料,它没有填料更换的问题,具有操作简便、运行费用低等优点,尤其适宜于低浓度有机物的去除。反冲洗系统可全自动控制。

活性炭的更换周期按去除每 kg COD 约需 3 kg 活性炭计,改造工程需增加 2 个活性炭罐,并增加活性炭系统的空床接触时间,以降低处理负荷,提高污染物去除率,达到提标改造的水质目标。

改造后污水处理厂的工艺流程见图1。

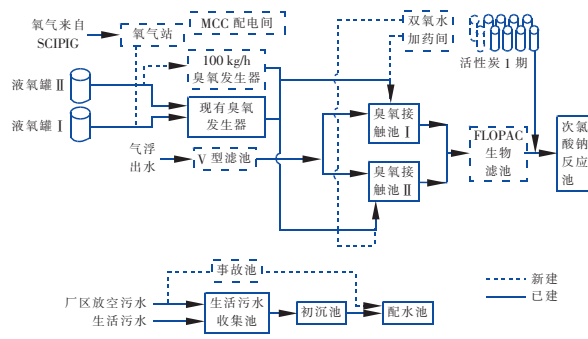


图1 污水处理厂提标改造工艺流程

Fig.1 Flow chart of WWTW upgrading process

### 3 工程设计

#### 3.1 臭氧制备间改造

##### 3.1.1 现有臭氧制备系统

臭氧发生器系统3套(含臭氧发生系统、臭氧投加与扩散系统、臭氧尾气破坏系统、供配电系统、仪表与PLC控制系统、管道系统等);空压机系统1套(包括空气压缩机、后冷却器、空气储罐、过滤器等);冷却水系统1套。

##### 3.1.2 新增设备

设计臭氧投加量为130 mg/L。新增臭氧发生器1台,臭氧产量为100 kg/h,  $N=1\,000\text{ kW}$ ;内循环冷却水泵1套,  $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=189\text{ kPa}$ ,  $N=15\text{ kW}$ ;热交换器1套,33~35℃。

#### 3.2 新建氧气管线及计量站

##### 3.2.1 现有供氧设施

目前,污水处理厂臭氧发生器所需的氧气由向供气公司租赁的液氧气化系统提供;供气公司利用槽车将液氧驳运至污水处理厂,液氧在污水处理厂租赁的储气罐内暂存,经由气化装置转化为气态氧气并输送到臭氧发生系统。污水处理厂臭氧用量增加以后,使用液氧储罐不能满足提标改造后臭氧制备系统供氧量需求,考虑将原有储罐作为备用氧源,将供气方式更改为氧气气体直接由生产商通过管道输送到污水处理厂<sup>[2]</sup>。

##### 3.2.2 新建氧气管道及计量站

氧气管道引入后进入计量站(15.0 m×4.0 m),计量站考虑设置于生活污水提升泵站与污泥脱水间之间。新增氧气管道参数如下:氧气需求量为2 400 m<sup>3</sup>/h,管道口径为DN150,管道压力为500 kPa,管道流速为7.55 m/s,管道材质为无缝不锈钢316L管。氧气管道总长度约470 m,氧气计量站内安装流量计、压力表等计量仪表,由供气公司提供。

#### 3.3 新建双氧水加药间

设计水量为 $3.65\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,27.5%的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>投加量为60 mg/L,每天需要过氧化氢8.64 t。为进一步提高臭氧的氧化效率,臭氧接触池第二格投加臭氧时需要同时投加H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,进一步去除废水中的TOC。设置过氧化氢储罐1套,直径为2.72 m,高度为3.48 m,有效容积为20 m<sup>3</sup>;设置2套过氧化氢投加泵和管路,分别用于臭氧接触池的两条处理线。每条处理线设计量泵3台(2用1备)。单台泵参数:100 L/h,400 kPa,0.25 kW,泵头材质为PVDF。

#### 3.4 新建深度处理综合池

##### 3.4.1 V型滤池进水提升泵站

现有4座气浮池出水进入V型滤池之前需提升,在滤池前设置一座中间提升泵站,与V型滤池合建。最大设计规模为42 150 m<sup>3</sup>/d(39 600+2 550 m<sup>3</sup>/d滤池反冲洗废水)。有效容积为150 m<sup>3</sup>,水力停留时间为5 min。设3台潜水泵(2用1备),泵参数: $Q=880\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=90\text{ kPa}$ ,  $N=37.0\text{ kW}$ 。

##### 3.4.2 V型滤池

最大设计规模为42 150 m<sup>3</sup>/d,设计钢筋混凝土滤池6座,单池过滤面积为36.7 m<sup>2</sup>,单格尺寸为3.08 m×11.91 m,滤料石英砂,有效粒径为1.35 mm,滤料高度为1.5 m,非反洗状态峰值流量下过滤速度为7.98 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),反洗状态峰值流量下过滤速度为9.58 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),冲洗水强度为15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),冲洗气强度为55 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

##### 3.4.3 FLOPAC生物滤池进水提升泵站

臭氧接触池出水进入FLOPAC生物滤池之前需要经过提升,在生物滤池前设置一座中间提升泵站。最大设计规模为42 150 m<sup>3</sup>/d,设计钢筋混凝土滤池1座,有效容积为150 m<sup>3</sup>,水力停留时间为5 min,中间泵站安装3台潜水泵(2用1备),单台 $Q=880\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=90\text{ kPa}$ ,  $N=37.0\text{ kW}$ 。

##### 3.4.4 FLOPAC生物滤池

最大设计规模为42 150 m<sup>3</sup>/d,设计钢筋混凝土滤池6座,单池过滤面积为36.7 m<sup>2</sup>,单格尺寸为3.08 m×11.91 m,滤料类型Biolite P2.0,滤料高度为1.5 m,非反洗状态峰值流量下过滤速度为7.98 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),反洗状态峰值流量下过滤速度为9.58 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),冲洗水强度为15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),冲洗气强度为55 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

#### 3.5 新建放空收集池

放空系统与生活污水系统的污水一起收集进入污水厂集水井内,并通过提升泵输送到生活污水处理系统,由于雨季等外在因素导致生活污水处理系统超负荷运行,设计将污水厂放空系统污水统一收集到放空收集池,并将其输送至配水均化池进行生化系统处理。放空系统与生活污水系统分离能最大程度地降低生活污水处理系统处理负荷,提高生活污水处理量。

最大放空流量为250 m<sup>3</sup>/h,放空收集池最高液位为0.90 m,底标高为-2.60 m,最低启泵液位为

-1.40 m,有效水深为2.30 m,平面尺寸为5.0 m×5.0 m,有效容积为57.5 m<sup>3</sup>。配水均化池进水液位为10.75 m。配置2台潜水排污泵(1用1备),单台 $Q=250\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=160\text{ kPa}$ , $N=30\text{ kW}$ 。

### 3.6 活性炭处理线改造

#### 3.6.1 现有活性炭处理系统

活性炭系统已建一座滤前水池、滤后水池,一座活性炭收集池,一座活性炭存放间,已建活性炭吸附塔8个( $\varnothing 2\ 600\text{ mm}$ )。

#### 3.6.2 新增设备

本次改造工程为活性炭一期系统增加2个活性炭罐,增加活性炭系统的空床接触时间,原空床接触时间约2.0 h,新增两个滤罐之后,空床接触时间约为2.5 h。设计水量为4 000 m<sup>3</sup>/d。

改造后,本工程共设10个活性炭过滤罐,每个罐的活性炭装填量为12.5 t。本工程COD去除量为400 kg/d,活性炭用量为1 200 kg/d。

## 4 设计要点

① 因地制宜选择工艺。本次提标改造工程无新征用地,新增建(构)筑物在原厂区范围内见缝插针。深度处理新增的V型滤池和FLOPAC生物滤池及其进水提升泵站,全部建设于现有出水调节池之内,采用在原有出水调节池底板增加桩基础的改造结构模式。

② 强化氧化工艺。为进一步提高臭氧的接触氧化效率,在臭氧接触工艺中投加臭氧的同时投加H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,通过反应产生羟基自由基,进一步去除难降解物质。

③ 氧气输送。由于氧气用量增加,新建氧气管线及计量站,将来自于供气公司的氧气输送至臭氧制备间。管道安装方式:管沟、混凝土支架、桥架、构筑物池顶、构筑物池墙侧壁。

## 5 运行效果

运行出水水质见表3,可见,各项水质达标。

表3 各主体单元的运行监测结果

Tab.3 Operation results of each unit

mg·L<sup>-1</sup>

项目	COD	TN	TP	总氰化物
气浮出水	68~85	26.6~29.1	0.27~0.51	0.022~0.176
接触氧化池出水	55~65	26.6~29.1	0.27~0.51	0.1
FLOPAC生物滤池出水	50~58	23~25	0.27~0.50	0.1
排放标准	≤60	≤25	≤0.5	≤0.1

本次改造工程总投资5 059.67万元,单位投资为1 386.21元/m<sup>3</sup>。年总运行费用为1 976.2万元,新增单位直接运行成本为1.483元/m<sup>3</sup>。

## 6 结语

上海某工业区污水处理厂提标改造工程采用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>强化接触氧化/FLOPAC滤池深度处理工艺,从运行结果来看,出水水质能满足设计要求。

### 参考文献:

- [1] DB 31/199—2009,污水综合排放标准[S]. 上海:上海市环境保护局,上海市质量技术监督局,2009.  
DB 31/199 - 2009, Integrated Wastewater Discharge Standard [S]. Shanghai: Shanghai Environmental Protection Bureau, Shanghai Municipal Bureau of Quality and Technical Supervision, 2009 (in Chinese).
- [2] GB 16912—2008,深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程[S]. 北京:中国标准出版社,2009.  
GB 16912 - 2008, Safety Technical Regulation for Oxygen and Relative Gases Produced with Cryogenic Method[S].

Beijing: Standards Press of China, 2009 (in Chinese).



作者简介:刘杨华(1986—),男,湖南衡阳人,硕士,高级工程师,主要从事市政给排水设计及技术管理工作,曾获省级优秀工程咨询二、三等奖各1次,省级优秀工程设计二等奖1次,国家级优秀工程设计二等奖1次。

E-mail: 394708964@qq.com

收稿日期:2018-11-05