

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.021

# 浸没式超滤 + 臭氧氧化用于某污水处理厂提标改造

张丹丹, 牛和昕, 俞开昌, 刘安波, 戴日成  
(北京碧水源科技股份有限公司, 北京 102206)

**摘要:** 为配合伊通河水生态治理,对长春某污水处理厂进行提标改造,提标改造工程处理规模为  $68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。针对进水可生化性差、出水标准高、厂区可利用土地紧张以及尽量利用厂区原有构筑物和设备的实际情况,确定本次提标改造工程采用 IFAS 工艺(原生化池改造) + 浸没式超滤 + 臭氧接触氧化的工艺路线,进一步去除污水中的 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TP 和色度。提标改造完成后出水水质达到北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)的 B 标准。介绍了处理工艺流程和各处理工艺的主要设计参数、设备配置和工程占地,并重点介绍了浸没式超滤系统的设计、运行方式、投资及处理成本等。

**关键词:** 污水处理厂; 提标改造; IFAS 工艺; 浸没式超滤; 臭氧接触氧化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0119-05

## Application of Submerged Ultrafiltration Membrane and Ozone Contact Oxidation Process in a WWTP Upgrading and Reconstruction Project

ZHANG Dan-dan, NIU He-xin, YU Kai-chang, LIU An-bo, DAI Ri-cheng  
(Beijing OriginWater Technology Co. Ltd., Beijing 102206, China)

**Abstract:** In order to cooperate with the ecological management of Yitong River, a wastewater treatment plant (WWTP) in Changchun was upgraded and reconstructed, and the treatment capacity of the upgrading project was  $68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . In view of the characteristics such as poor biodegradability of influent, high standard of effluent, shortage of available land and maximum use of the original structures and equipments of the WWTP, the combined process of integrated fixed-film activated sludge (IFAS) transformed from the original biochemical tank, the submerged ultrafiltration membrane process (SUF) and ozone contact oxidation was determined to further remove the COD, BOD<sub>5</sub>, SS, NH<sub>3</sub>-N, TP and chroma. After upgrading, the effluent reaches the level B criteria in *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (DB 11/890 - 2012). The process flow, main design parameters, equipment configuration and occupied area of each process were introduced. The design, operation mode, investment and treatment cost of the SUF were introduced emphatically.

**Key words:** wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; IFAS; submerged ultrafiltration; ozone contact oxidation

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0406300)

通信作者: 张丹丹 E-mail: zhangdandan0919@126.com

## 1 项目背景

### 1.1 概况

长春市宽城区某污水处理厂始建于 1997 年,是吉林省最大的城市污水处理厂,主要对伊通河排水体系的大部分生活污水及少量工业废水进行处理<sup>[1]</sup>。

该污水处理厂分为两期建设,总设计规模为  $78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总占地面积为  $59.3 \text{ hm}^2$ 。一期工程设计规模为  $39 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地  $32 \text{ hm}^2$ ,分为一级处理、二级处理、中水工程和三级深度处理共 4 个部分,根据不同时期对出水水质的需求,分阶段进行建设,分别于 2000 年、2007 年、2008 年和 2015 年建成投产。二期工程设计规模为  $39 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地  $27.3 \text{ hm}^2$ ,于 2015 年投入运行。目前该污水处理厂主体处理工艺为改良型 AAO + 深度处理,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准,其中  $68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的深度处理采用高密度沉淀池 + 滤布滤池,出水排入伊通河; $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的中水工程采用混凝沉淀 + 过滤工艺,出水供给中水用户使用。

该污水处理厂设计进、出水水质和 2016 年 6 月—2017 年 7 月实际进、出水水质见表 1。

整体来说,该污水处理厂工艺路线选择合理,布置紧凑,工艺参数符合规范要求,出水水质较好。但也可看出系统存在稳定性不足、出水水质偶尔出现超标的问题,主要原因有:①一期工程出水标准较低,生化池停留时间偏短,系统抗冲击负荷能力差;②一期工程运行时间较长,部分设备老化,造成处理效果欠佳;③高密度沉淀池的沉淀区藻类滋生严重,沉淀效果不佳,出水 SS 较高,从而导致滤布滤池频繁清洗,滤布寿命缩短,滤池溢流,出水悬浮物浓度不稳定。

表 2 提标改造工程设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of upgrading project

项目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	NH <sub>3</sub> - N/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	色度/倍
进水	50	10	10	15	5(8)	0.5	30
出水	30	6	5	15	1.5(2.5)	0.3	15

### 1.3 提标改造难点

① 出水标准高。该污水处理厂出水要求从《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准提高到《城镇污水处理厂水污

为保证伊通河北段的万宝闸考核断面在规划时间内稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 的 V 类限值,需对该污水处理厂进行提标改造。本次提标改造工程设计规模为  $68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,工程用地为现状厂区围墙内北侧预留空地(约  $7.7 \text{ hm}^2$ )。

表 1 设计及实际进、出水水质

Tab.1 Design and actual influent and effluent quality

项目	COD		BOD <sub>5</sub>		SS		TN		NH <sub>3</sub> - N		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
最大值	669	57.0	151	10	299	15	45.6	17.2	36.5	6.7	10.48	0.83
平均值	427	44.2	139	9.1	225	10	30.6	13.8	22.6	3.4	5.56	0.39
最小值	310	28.1	120	7.8	174	8	18.9	7.4	11.5	0.9	2.03	0.16
设计值	430	50	170	10	230	10	33	15	24	5 (8)	6	0.5

### 1.2 设计进、出水水质

本次提标改造工程设计进水为现污水处理厂尾水,水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准,同时该污水处理厂实际运行数据表显示,该污水处理厂出水水质能够稳定达标,因此确定本次提标改造工程设计进水水质如表 2 所示。

通过对伊通河水环境容量进行分析可知,对该污水处理厂进行提标改造是必要的。但由于目前吉林省内暂时没有适合此项目的出水标准,因此本次提标改造工程出水水质参考并执行适合本项目的北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012) 的 B 标准。

染物排放标准》(DB 11/890—2012) 的 B 标准,出水标准要求严格,对工艺的处理效果要求更高。

② 用地紧张。该污水处理厂周边无可新征用地,唯一可用占地是厂区围墙内北侧的  $7.7 \text{ hm}^2$  的

预留空地,折合单位水量占地约  $0.11 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。

③ 尽量利旧。提标改造工艺应尽可能利用厂区原有的构筑物和设备,减少重复投资。

#### 1.4 工艺选择

根据提标改造工程进、出水水质分析可知,本工程主要去除目标污染物为 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮、TP 及色度。通过对污水厂现状设施及不同可行路线进行比选分析,确定如下工艺路线:对于 COD、BOD<sub>5</sub> 和氨氮等生化指标,通过在现状生化好氧区中投加悬浮填料的方式,增加系统生物量,强化生物处理效果。对于 TP、SS 指标,利用现有的投药系统,增加絮凝剂投加量,通过浸没式超滤膜的截留作用即可达标。对于色度和一部分剩余的难降解 COD,通过臭氧接触氧化去除。

通过以上分析,同时借鉴国内其他类似工程的

成功经验和案例<sup>[2-4]</sup>,确定本次提标改造工程的工艺流程如图1所示。

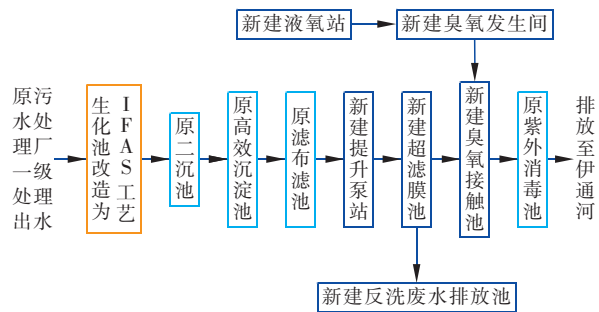


图1 提标改造工艺流程

Fig.1 Flow chart of upgrading and reconstruction process

## 2 工程设计

### 2.1 各处理单元设计参数

各处理单元设计参数见表3。

表3 各处理单元设计参数

Tab.3 Design parameters of each unit

项目	尺寸	数量	工艺设计参数
改造	一期生化池改造为 IFAS 工艺	99.8 m × 55.2 m × 7.1 m	6 座
	二期生化池改造为 IFAS 工艺	120.8 m × 58.55 m × 9.2 m	6 座
新建	提升泵站	43.0 m × 30.0 m × 4.0 m	1 座
	超滤膜车间	6.1 m × 3.8 m × 3.4 m	96 格
	反洗废水排放池	60.0 m × 23.0 m × 6.8 m	1 座
	臭氧接触池	68.1 m × 13.0 m × 7.0 m	4 格
	臭氧发生间	36.0 m × 37.5 m × 6.0 m	1 座
	液氧站	21.0 m × 12.0 m	1 座

### 2.2 浸没式超滤系统设计

本次提标改造工程的核心为浸没式超滤系统,主要由进水及排空系统、超滤膜处理系统、产水系统、抽真空系统、反洗系统、化学清洗系统和加药系统等子系统构成。

#### ① 运行周期确定

超滤系统的运行需要减少反洗废水的产生量,提高系统回收率,同时要确保膜污染状况可控,膜系统能长期稳定运行,因此膜系统运行周期的确定极为重要。本工程通过长期的中试确定运行周期为

60 min,具体运行流程:正常过滤—降液位—气水联合反洗—静置—反洗排水—重新进水。

#### ② 进水及排空系统

处理出水经过新建的提升泵房提升到进水管,再通过跌落堰均匀地分配到每格膜池。为保证超滤运行周期的实现,进水管/排空管的管径均按照 3 min 内注满/排空膜池的要求进行设计。

#### ③ 超滤膜处理系统

考虑长春地区冬季水温较低,本次提标改造工程设计平均膜通量为  $20 \sim 25 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。通过核

算,采用 800 套浸没式超滤组器,单套膜面积为  $1\,680\text{ m}^2$ ,设计产水量为  $850\text{ m}^3/\text{d}$ ,折合平均名义膜通量为  $21.08\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。浸没式超滤膜为 PVDF 材质,平均膜孔径为  $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 。系统示意图见图 2。

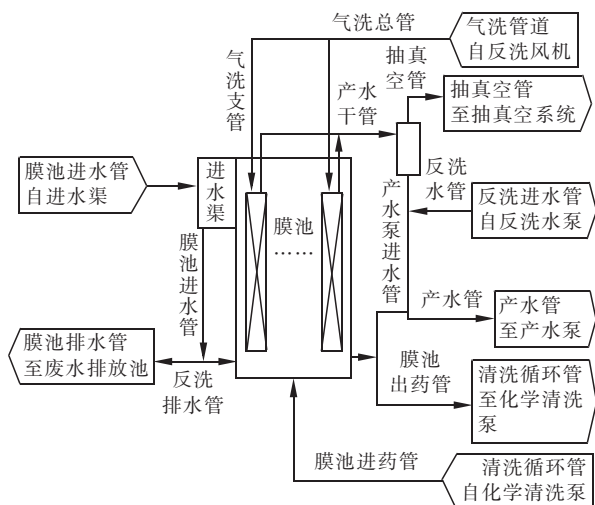


图 2 浸没式超滤系统

Fig.2 Treatment process of SUF

#### ④ 产水系统

采用负压抽吸产水形式,膜池内的水在产水泵的抽吸作用下通过超滤膜丝,滤过液经由产水总管汇集,送入后续处理单元。每个系列设置 11 台产水泵(10 用 1 冷备),单台产水泵  $Q=585\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ ,变频控制。

#### ⑤ 抽真空系统

抽真空系统主要用于将产水管路内的空气抽出,使产水侧呈负压状态,保证膜池内抽吸产水功能的实现。每个系列配 1 套抽真空系统,由 2 台液环真空泵(1 用 1 备)、1 个真空罐和 1 个气水分离罐组成。液环真空泵  $Q=165\text{ m}^3/\text{h}$ ,最大真空度 84%;真空罐容积  $1\text{ m}^3$ ,最大压力  $1.0\text{ MPa}$ ;气水分离罐容积  $0.12\text{ m}^3$ 。

#### ⑥ 反洗系统

当膜系统运行一个周期或跨膜压差  $>35\text{ kPa}$  时,需对其进行反洗,反洗形式为气水联合反洗——水和空气在膜丝表面流动冲刷,产生切向力,减少或去除膜表面的污染物,从而实现反洗的效果。反洗水采用膜产水,水反洗强度为  $30\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,每个系列配 2 台反洗水泵(1 用 1 备),单台水泵  $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ ,变频控制。

设计气反洗强度为  $90\text{ m}^3/(\text{m}^2\text{ 投影面积} \cdot \text{h})$ ,

每个系列配 2 台反洗罗茨风机(1 用 1 备),单台风机  $Q=16.28\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=35\text{ kPa}$ 。

#### ⑦ 化学清洗系统

膜系统运行一定时间后,需要进行化学清洗。根据污染物的不同,分别采用次氯酸钠和柠檬酸进行清洗。根据清洗药液浓度的不同,化学清洗又分为维护性清洗和恢复性清洗。采用膜池原位浸泡模式,每次化学清洗耗时  $90\text{ min}$ ,具体的清洗流程:进药—浸泡—原位循环—曝气—排空—进水。化学清洗周期及药剂用量如表 4 所示。

表 4 浸没式超滤化学清洗参数

Tab.4 Parameters of chemical cleaning

项目	维护性清洗	恢复性清洗
清洗周期	1 次/(7~15) d	1 次/(0.5~1) a
次氯酸钠浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	500~1 000	2 000~3 000
柠檬酸浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	5 000~8 000	10 000~20 000

化学清洗的强制通量为  $20\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,每个系列配 2 台化学清洗泵(1 用 1 备),单台水泵  $Q=336\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100\text{ kPa}$ ,变频控制。

#### ⑧ 加药系统

浸没式超滤的加药系统由 3 部分组成:a. 日常反洗加药系统,即每天一次的反洗时投加次氯酸钠系统;b. 化学清洗加药系统,包括次氯酸钠投加系统和柠檬酸投加系统;c. 中和加药系统,包括氢氧化钠投加系统和硫代硫酸钠投加系统,分别用来中和化学清洗后的柠檬酸药液和次氯酸钠药液。

#### ⑨ 系统回收率的计算

反洗废水均排放至工艺前端,反洗水量为  $26\,332\text{ m}^3/\text{d}$ ,因此超滤系统的回收率约 96%。

### 2.3 臭氧接触氧化设计

采用臭氧接触氧化进一步降低出水色度,设计臭氧投加量为  $5\text{ mg/L}$ 。臭氧接触池分为 4 个系列,单个系列臭氧接触池的有效容积为  $4\,836\text{ m}^3$ ,总有效容积为  $19\,344\text{ m}^3$ ,接触反应时间为  $41\text{ min}$ 。每个臭氧接触池分为 3 段,每段均设有陶瓷曝气盘,第一段、第二段、第三段的接触时间分别为 15、13、13 min。

### 3 中试

2017 年 9 月 1 日—12 月 25 日在污水处理厂内进行了  $50\text{ m}^3/\text{d}$  规模的中试,各项参数的设置均与



实际工程相同。中试结果见表 5。

表 5 浸没式超滤中试结果  
Tab. 5 Pilot test results of SUF system

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	NH <sub>3</sub> - N	TP
中试进水/ (mg · L <sup>-1</sup> )	47	9.6	8	14.6	3.8	0.41
中试出水/ (mg · L <sup>-1</sup> )	19	3.5	3	12.9	1.1	0.19
设计出水/ (mg · L <sup>-1</sup> )	≤30	≤6	≤5	≤15	≤1.5(2.5)	≤0.3
去除率/%	59.6	63.5	62.5	11.6	71.1	53.7

整个试验过程中,中试装置出水水质能够稳定达标并且部分指标如 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub> - N 和 TP 能够稳定优于出水标准,说明以此参数设计和运行的膜系统,能够保证系统的运行效果,使出水水质稳定达标。

4 经济技术分析

① 提标改造新增处理设施占地面积 77 000 m<sup>2</sup>,折合单位水量占地约 0.11 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,其中浸没式超滤膜车间占地为 14 836 m<sup>2</sup>,折合单位水量占地约 0.022 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>。

② 浸没式超滤系统投资为 4.8 亿元,折合单位水量投资为 705 元/m<sup>3</sup>。

③ 提标改造工程新增单位总处理成本为 0.709 元/m<sup>3</sup>,新增单位经营成本为 0.507 元/m<sup>3</sup>,其中膜系统的药剂费为 0.073 3 元/m<sup>3</sup>,电耗为 0.051 kW · h/m<sup>3</sup>。

5 结论

① 根据进、出水水质要求及用地紧张等难点,确定采用 IFAS 工艺(原生化池改造)+浸没式超滤+臭氧氧化工艺进行提标改造。

② 本次提标改造工艺流程及设计参数通过中试确定,但工程目前尚未通水,具体的运行情况和处

理成本情况尚需通过实践检验。

参考文献:

[1] 李猛. 长春市北郊污水处理厂二期工程设计及调试运行[D]. 长春:吉林大学,2012.  
LI Meng. Design and Commissioning of the Second Phase of Changchun Beijiao Sewage Treatment Plant [D]: Changchun:Jilin University,2012(in Chinese).

[2] 陈小燕. 呼和浩特市某污水处理扩建提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2016,32(16):42-45.  
CHEN Xiaoyan. Design of expansion and upgrading project of a wastewater treatment plant in Hohhot City [J]. China Water & Wastewater,2016,32(16):42-45 (in Chinese).

[3] 陈翔,侯晓庆,郭奏凯,等. 超滤膜系统在高碑店再生水厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水,2018,34(10):77-81.  
CHEN Xiang, HOU Xiaoqing, GUO Zoukai, et al. Application of ultrafiltration membrane system in the upgrading project of Gaobeidian Wastewater Recycling Plant [J]. China Water & Wastewater,2018,34(10):77-81(in Chinese).

[4] 冯凯. 北京高碑店再生水处理厂升级改造工艺方案设计[J]. 给水排水,2012,38(12):35-39.  
FENG Kai. Upgrading and reconstruction process design for the Gaobeidian Reclaimed Water Treatment Plant in Beijing City[J]. Water & Wastewater Engineering,2012,38(12):35-39(in Chinese).

作者简介:张丹丹(1988 - ),女,河南焦作人,硕士,工程师,主要从事给排水工程设计工作。

E-mail:zhangdandan0919@126.com

收稿日期:2021-01-05

修回日期:2021-02-25

(编辑:衣春敏)

节约用水利在当代,造福人类功盖千秋