

# MBBR + 氧化沟与改良 AAO 工艺用于污水处理厂提标扩建

陈霖, 于涛

(北控水务集团有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 台州市黄岩江口污水处理厂原处理规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用卡鲁塞尔氧化沟工艺, 针对其出水标准由二级标准提高至地表水准Ⅳ类标准, 提标工程对其中  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  工业废水增设水解酸化预处理工艺, 并将氧化沟工艺改造为 MBBR 与氧化沟组合工艺。针对处理规模增加, 扩建工程新建  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  改良型 AAO 生化处理系统。提标工程与扩建工程出水一并进入新增设的  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  深度处理单元, 深度处理采用硝化反硝化/高效沉淀/过滤/臭氧消毒组合工艺。改造完成后出水水质稳定达到地表水准Ⅳ类标准。提标扩建工程总投资为 26 276 万元, 处理成本为 0.805 元/ $\text{m}^3$ 。

**关键词:** 提标扩建; 深度处理; 卡鲁塞尔氧化沟; MBBR; 改良型 AAO

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0058-05

## Application of MBBR + Oxidation Ditch and Modified AAO Process in the Upgrading and Extension of Sewage Treatment Plant

CHEN Lin, YU Tao

(Beijing Enterprises Water Group Limited, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** The original treatment capacity of Taizhou Huangyan Jiangkou Sewage Treatment Plant was  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Carrousel oxidation ditch process was adopted in this plant. In order to improve the effluent quality from the secondary standard to the surface water quasi Ⅳ class standard, hydrolytic acidification pretreatment process was added to treat the  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  industrial wastewater, in the upgrading project, and the oxidation ditch process was transformed into a combined process of MBBR and oxidation ditch. In view of the increase of treatment capacity, a modified AAO process with treatment capacity of  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  was built in the extension project. The effluent both from the upgrading project and the extension project entered the newly added  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  advanced treatment unit, which adopted the combined process of nitrification and denitrification/high-efficiency precipitation/filtration/ozone disinfection. After the transformation, the effluent water quality had reached the surface water quasi Ⅳ class standard. The total investment of the project was 262.76 million yuan, and the treatment cost was 0.805 yuan/ $\text{m}^3$ .

**Key words:** upgrading and extension; advanced treatment; Carrousel oxidation ditch; MBBR; modified AAO

### 1 工程背景

台州市黄岩江口污水处理厂原处理规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 于 2001 年 12 月 31 日建成投运, 设计出水

水质为《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 二级排放标准, 尾水排至椒江。

在城镇污水处理厂排放标准全面提高的政策背

景下,台州市要求“全市污水处理厂出水水质都要提高到地表准Ⅳ类”,为此,需对污水厂进行提标扩建改造。

表 1 为提标工程设计进、出水水质。

表 1 提标工程设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of upgrading project

mg · L <sup>-1</sup>						
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
进水	380	180	200	35	40	4
出水 (台州市地表 准Ⅳ类排放标准)	30	6	5	1.5	12	0.3

2 原污水处理厂概况

2.1 原处理工艺与进、出水水质

黄岩江口污水处理厂原处理规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中工业废水为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。主处理工艺为卡鲁塞尔氧化沟,工艺流程为原水/细格栅/旋流沉砂池/选择池/卡鲁塞尔氧化沟/二沉池/排放椒江。表 2 为污水处理厂原设计与实际进、出水水质(2011 年—2014 年)。

表 2 原设计与实际进、出水水质

Tab.2 Original design and actual influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>				
项目	设计进水	设计出水	实际平均进水	实际平均出水
COD	530	≤120	501	90.7
BOD <sub>5</sub>	210	≤30	153	12.3
SS	150	≤30	160.9	26.3
NH <sub>3</sub> - N	45	≤15	28.48	26.06
TN	54	—	44.4	32.7
TP	—	—	2.91	0.49

2.2 原系统存在的问题

① 前端缺少预处理设施:由于原系统前端没有工业废水预处理工艺,前端企业排放的高浓度工业废水(约  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )进厂后与市政污水混合,仅经过常规预处理即进入氧化沟进行二级处理,废水中高负荷有机物、重金属等物质抑制了微生物活性,致使污水厂出水氨氮、TN 等指标不能达到设计标准。

② 脱氮能力不足:原排放标准对总氮指标无要求,现状卡鲁塞尔 2000 型氧化沟经过核算,生物脱氮能力无法满足地表准Ⅳ类排放要求,将导致出水总氮不达标。

③ 部分关键设备年久老化:该厂已运行 10 余年,原系统均采用进口设备,故总体运转正常,但个别主要设备故障率较高,在一定程度上影响污水处理厂的运行。

④ 污水量增加:进水量在雨季时已高达  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,随着未来新建污水干管的开通,水量还会进一步增加,原系统设计负荷无法满足要求。

3 提标扩建工程设计思路与工艺流程

针对黄岩江口污水厂原系统中存在的问题,在本次工程中共设三个处理单元:提标段、扩建段及深度处理段。其中提标段增设  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  工业废水预处理单元,采用调节 + 混凝沉淀 + 水解酸化组合工艺,并将原有的  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  氧化沟工艺改造为 MBBR 与氧化沟组合工艺。

扩建段新建  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  改良型 AAO 生化处理系统。提标工程与扩建工程出水一并进入新增设的  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  深度处理单元,深度处理采用硝化反硝化/高效沉淀/过滤/臭氧消毒组合工艺。提标扩建工程工艺流程见图 1。

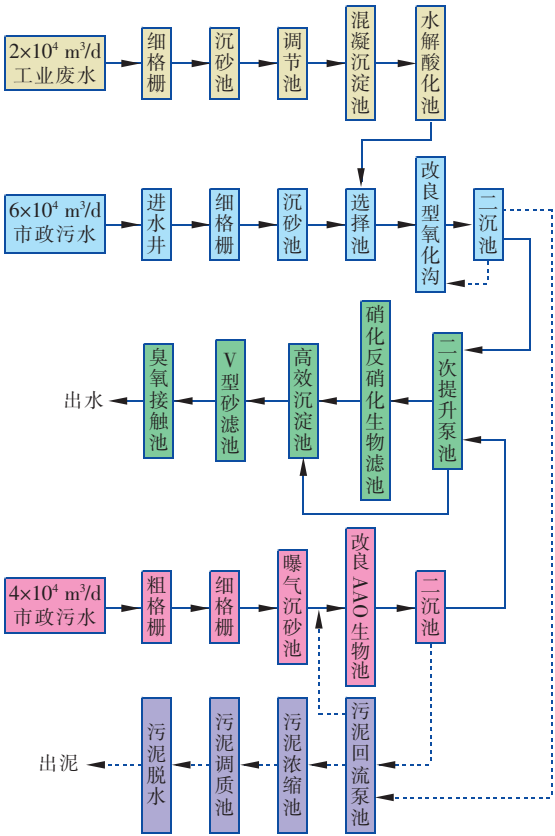


图 1 提标扩建工程工艺流程

Fig.1 Flow chart of upgrading and extension project

## 4 提标段工艺流程及工艺参数

### 4.1 工业废水预处理工艺选择

将 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业废水进行单独预处理。进入系统中的工业废水中常含有浮渣、漂浮物等,因此增加细格栅、沉砂池构筑物。另对污水处理厂源头排放企业排查发现,上游存在大水量企业间歇排水,且各厂的排放水质与水量差别很大,考虑到化工、电镀、食品企业突发事故排放高浓度高水量的废水给污水处理厂带来较大的冲击,因此设置废水调节池。

因工业废水中的难降解 COD 与 SS 普遍较高,故在调节池后增设混凝沉淀池与水解酸化池。

### 4.2 预处理段主要构筑物设计参数

#### ① 工业废水调节池

按处理规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,共一座;为地下钢筋混凝土矩形池,平面尺寸为 $45 \text{ m} \times 36.9 \text{ m}$ ,水力停留时间为 $12 \text{ h}$ ,有效池容为 $9\,963 \text{ m}^3$ ,有效水深为 $6 \text{ m}$ ;由于后续工艺采用了上向流水解酸化池,为满足水力高程要求及后续水解酸化池出水孔流速要求,在调节池出水区安装4台潜水排污泵(3用1备),单台处理能力为 $280 \text{ m}^3/\text{h}$ ,功率为 $11 \text{ kW}$ ,扬程为 $90 \text{ kPa}$ 。

#### ② 工业废水混凝沉淀池

工业废水混凝沉淀池由机械混合池、机械反应池、平流沉淀池和集水池组成。机械混合池混合时间为 $1.5 \text{ min}$ ,机械反应池反应时间为 $30 \text{ min}$ ,沉淀时间为 $2.45 \text{ h}$ 。在混合区装有2台单机功率为 $3.0 \text{ kW}$ 的折桨式搅拌器,在反应区装有8台立轴式机械搅拌反应器。

#### ③ 工业废水水解酸化池

水解酸化池共2座,为地下钢筋混凝土矩形池,水力停留时间为 $7.5 \text{ h}$ ,设计上升流速为 $1.48 \text{ m/h}$ ,单池有效容积为 $3\,117 \text{ m}^3$ ,单池平面尺寸为 $51 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ ,有效水深为 $6.1 \text{ m}$ 。

### 4.3 原生化系统升级改造

原生化系统对氨氮与总氮的去除效率低,是因为进水中存在难降解的有机物,在工业废水经过预处理后,该现象将得到缓解。鉴于本工程用地紧张,需在不增加池容的情况下,提高其生化系统的脱氮效率,故本次生化系统升级改造采用 MBBR 工艺,可以在较小的池容下达到去除有机物和氨氮的目的,MBBR 工艺既有传统生物膜法耐冲击负荷、泥龄

长、剩余污泥少、无污泥膨胀的特点,又具有活性污泥法的高效性和运转灵活性,该工艺可组合到已建污水处理厂的大部分工艺中,适合现有污水处理厂的升级改造<sup>[1]</sup>。

对原有设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的氧化沟进行 MBBR 工艺升级改造:

① 强化氧化沟脱氮功能,改造为具有相对独立的好氧填料区、缺氧区的池型,并增加了2台内回流泵;

② 将曝气方式由表面曝气改为底部曝气,拆除现有倒伞表曝机,在2座氧化沟顶部各分别设置2台空气悬浮鼓风机,单台空气悬浮鼓风机功率为 $160 \text{ kW}$ ,单台风量为 $117 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ,设计风压为 $58.8 \text{ kPa}$ 。并在沟底根据功能需要安装曝气管路;

③ 为防止污泥在氧化沟内淤积,在2座氧化沟缺氧廊道内共设置4台推进器与8台搅拌器,推进器与搅拌器功率均为 $4.5 \text{ kW}$ 。

改造后具体参数如下:厌氧区停留时间为 $0.5 \text{ h}$ ,缺氧区停留时间为 $1.37 \text{ h}$ ,好氧区停留时间为 $12.43 \text{ h}$ ,总停留时间为 $14.3 \text{ h}$ 。好氧区有效生物膜面积为 $(3.41 \times 106) \text{ m}^2$ ,需气量为 $27\,397 \text{ m}^3/\text{h}$ ,产泥量为 $15\,134 \text{ kg/d}$ 。

## 5 扩建工程工艺流程及工艺参数

### 5.1 扩建工程规模及工艺流程选择

根据对现状污水厂服务范围内污水量的预测,并考虑管网收集率、地下水渗入等因素后,总水量约为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,目前现状污水处理系统处理能力为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,故确定本次扩建工程规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。扩建工程的进水主要为市政污水。根据对进出水水质分析,同时对工程投资、占地及运行成本、维护等综合因素进行比较,最终确定扩建工程采用改良型 AAO 工艺。

### 5.2 设计参数

#### ① 预处理系统

二期扩建段预处理系统由粗细格栅、曝气沉砂池组成,设计规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。通过对前端进水的预处理,污水中的大部分悬浮物、无机物得到较好的控制,有利于提高二期生化系统的去除效率。其中粗格栅间隙为 $20 \text{ mm}$ ,宽度为 $1\,600 \text{ mm}$ ,进水由潜水提升泵提升进入细格栅与曝气沉砂池,板式细格栅间隙为 $3 \text{ mm}$ ,宽度为 $1\,600 \text{ mm}$ 。曝气沉砂池水力停留时间为 $5 \text{ min}$ ;设计最高过流处理量为 $0.6$

$\text{m}^3/\text{s}$ ,有效水深为 2.4 m。

## ② 生化处理系统

二期扩建段生化系统采用改良型 AAO 生化池,由厌氧/缺氧调节区、厌氧区、缺氧区、好氧区四部分组成。可根据进水水质的不同采取多种、灵活的运行方式,在降解有机物的同时实现脱氮除磷<sup>[2]</sup>。在非曝气段设置潜水搅拌机,防止污泥沉淀;在好氧段设置微孔曝气系统充氧,设计氧转移效率为 20%。回流污泥泵房与生化池合建,回流污泥由污泥提升泵提升至厌氧区,混合液由内回流泵提升至缺氧区前端,混合液回流量为 200%~300%。

主要设计参数:总有效容积为 28 438  $\text{m}^3$ ,生化池总停留时间为 17 h,其中厌氧/缺氧调节池有效容积为 786  $\text{m}^3$ ,厌氧池有效容积为 3 316  $\text{m}^3$ ,缺氧池有效容积为 7 344  $\text{m}^3$ ,好氧池有效容积为 16 992  $\text{m}^3$ 。污泥负荷为 0.09  $\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,设计总空气量为 11 119  $\text{Nm}^3/\text{h}$ 。

## ③ 二沉池

采用钢筋混凝土辐流式沉淀池,采用周边进水周边出水的方式,出水堰为三角锯齿水堰,经环形集水渠收集后直接排入集配水井。二沉池设计表面负荷为 1.06  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,池径为 36 m,有效水深为 4.4 m,沉淀时间为 4.1 h。

## 6 深度处理工艺流程及工艺参数

深度处理规模为  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,工艺流程为硝化反硝化生物滤池/高效沉淀池/V型砂滤池/臭氧接触池/排放椒江。

### ① 二次提升泵房及硝化反硝化生物滤池

一期二沉池与二期二沉池出水经提升后,一期污水进入硝化反硝化生物滤池,二期污水进入高效沉淀池。为创造有利于硝化细菌的繁殖环境,在硝化池中投入球型轻质多孔陶粒生物滤料,使滤料表面形成生物膜,进一步提高硝化细菌的代谢速率。硝化反硝化生物滤池采用快速降水位+气水联合反冲洗形式。

硝化曝气滤池共分 10 格,单格尺寸为 10.8 m × 8.60 m × 7.80 m。其中硝化段总曝气量为 166  $\text{m}^3/\text{min}$ ,单池水力负荷为 3.81  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,硝化负荷为 0.83  $\text{kg 氨氮}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。反硝化生物滤池共分 4 格,单格尺寸为 10.8 m × 8.60 m × 7.80 m。单池水力负荷为 9.53  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,反硝化负荷为 2.64  $\text{kg 硝态氮}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

## ② 高效沉淀池

在高效沉淀池中投加 PAC、PAM 及粉末活性炭,进一步降低水中悬浮颗粒、TP 及颗粒有机物的浓度<sup>[3]</sup>。

高效沉淀池共设 4 组,总处理规模为  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用连续运行方式,活性炭接触池单池有效容积为 367.5  $\text{m}^3$ ,混凝池单池有效容积为 79.6  $\text{m}^3$ ,絮凝池单池有效容积为 234  $\text{m}^3$ ,沉淀池直径为 10 m,平均上升流速为 28.3  $\text{m}/\text{h}$ 。

## ③ V型滤池

V型滤池为一、二期合建,可分别独立运行,共用自控与反洗系统;一期滤池设计水量为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,二期滤池设计水量为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。V型滤池单池过滤面积为 70  $\text{m}^2$ ,单格尺寸为 10 m × 3.5 m,滤池高为 4.36 m。

V型滤池采用恒水位等速过滤,滤头采用上下可调式长柄滤头;具有气水冲洗与表面扫洗功能。设计滤速为 6.25  $\text{m}/\text{h}$ ,气冲强度为 15  $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ,水冲强度为 5  $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

## ④ 臭氧接触池

在硝化反硝化滤池中设置碳源投加点,为防止碳源投加过量导致出水有机物超标,设置臭氧接触池进一步氧化去除剩余有机物。臭氧接触池停留时间为 16 min,有效水深为 6 m。

## 7 提标扩建工程运行后出水水质

提标扩建工程于 2016 年 6 月开始施工,2018 年 8 月实现全面通水,通过对预处理段、生化段与深度处理段的单体设备调试,进水联动调试,系统处理效果基本稳定,运行 3 个月以来,水量达到  $(10.5 \sim 11.5) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

提标改造后的进、出水水质见表 3 (2018 年 9 月—11 月)。

表 3 提标改造后实际进、出水水质

Tab. 3 Actual influent and effluent quality after upgrading and extension

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	275	111.83	142.39	21.12	32.38	3.66
出水/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	13.9	3.0	15.86	0.15	8.73	0.20
处理效率/%	94.9	97.3	88.86	99.29	73	94.5

试运行期间由于 V 型滤池还未投运,故出水 SS 较高,12 月份 V 型滤池投运后,出水 SS 为 3.36



mg/L,系统出水水质稳定达到准Ⅳ类标准。

## 8 技术经济指标分析

提标扩建工程总投资为26 276万元,其中提标工程为8 655万元,扩建工程为10 655万元,深度处理工程为6 966万元。全部工程的单位投资为2 189.67元/m<sup>3</sup>。

运行成本包含药剂费、动力电费、自来水费、人工成本及大修维护费。提标扩建工程单位电耗为0.34 kW·h/m<sup>3</sup>,电价为0.696元/(kW·h);外加碳源为乙酸钠,投加浓度为44 mg/L,化学除磷药剂聚合氯化铝投加浓度为13.9 mg/L;人工工资为5.87万元/(人·a),则付现成本为0.743 8元/m<sup>3</sup>,处理成本为0.805元/m<sup>3</sup>。

## 9 结论

台州市黄岩江口污水处理厂二期提标扩建工程规模为12×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,针对前期进水水质、出水排放标准以及一期工程存在的问题设计了提标段、扩建段与深度处理段,分别针对不同的污染因子进行处理,提标扩建工程运行后,出水水质达到了地表水Ⅳ类标准。

## 参考文献:

- [1] 王翥田,叶亮,张新彦,等. MBBR工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水,2010,26(2):71-73.  
Wang Zhutian, Ye Liang, Zhang Xinyan, et al. Application of MBBR process to upgrading and reconstruction of WWTP [J]. China Water & Wastewater,

2010,26(2):71-73(in Chinese).

- [2] 叶长兵,周志明,吕伟,等. A<sup>2</sup>O污水处理工艺研究进展[J]. 中国给水排水,2014,30(15):135-138.

Ye Changbing, Zhou Zhiming, Lü Wei, et al. Research progress of A<sup>2</sup>O for sewage treatment[J]. China Water & Wastewater,2014,30(15):135-138(in Chinese).

- [3] 徐旻辉,赵林辉. 高效沉淀池在污水处理厂深度除磷中的工艺调试研究[J]. 科技创新与应用,2018(29):116-119.

Xu Minhui, Zhao Linhui. Study on the dephosphorization process of high efficiency sedimentation tank in sewage treatment plant [J]. Technology Innovation and Application,2018(29):116-119(in Chinese).



作者简介:陈霖(1988-),男,浙江台州人,硕士,工艺工程师,研究方向为污水处理厂提标改造、水污染控制等。

E-mail:chenlin@bewg.net.cn

收稿日期:2018-12-30

贯彻执行《中华人民共和国水土保持法》