

龚晓露. 大型污水处理厂集约式多段 AAO 低耗工艺设计[J]. 净水技术, 2023, 42(12):162-168.

GONG X L. Design of integrated multi-stage AAO process with low consumption for large WWTP[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12): 162-168.

## 大型污水处理厂集约式多段 AAO 低耗工艺设计

龚晓露\*

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要** 上海海滨污水处理厂扩建规模为 20 万 m<sup>3</sup>/d, 进水受工业废水和附近填埋场渗沥液尾水影响, 水质常年浓度较高且可生化性较差, 出水标准为国家一级 A 标准。针对项目规模大、处理难度大、工程场地紧等特点, 设计采用了“预处理+生物处理+深度处理”总体工艺流程, 其中生物处理采用多点进水多段 AAO 工艺, 具有良好的水质适应能力, 处理效果稳定、切换模式灵活、运行能耗低。主处理构筑物设计为一座 20 万 m<sup>3</sup>/d 规模的初沉池、生物反应池与二沉池合建的集约式水池, 节省土地且便于养护巡检。通水运行以来, 在处理水量达到设计规模 95% 的情况下各项出水指标稳定达标, COD<sub>Cr</sub> 最大去除率为 96.96%。本工程处理工艺和设计方案可为同类工程提供参考。

**关键词** 大型污水处理厂 多点进水 多段 AAO 工艺 集约式 合建

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2023)12-0162-07

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.12.020

## Design of Integrated Multi-Stage AAO Process with Low Consumption for Large WWTP

GONG Xiaolu\*

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract** Shanghai Haibin wastewater treatment plant (WWTP) has an expansion design capacity of 2×10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/d. The influent water has high concentration and poor biodegradability, and the effluent quality should meet first grade A standard. Due to the large scale, treatment hardness and small site area, the process of WWTP consists of “pretreatment + biological treatment + advanced treatment”. The biological treatment adopted multi-point influent and multi-stage AAO process, which has strong resistance to water quality and volume changes, stable and reliable treatment effect, flexible operation mode, and low energy consumption. The main treatment structure is designed as an intensive type of primary sedimentation tank, biological reaction tank and secondary sedimentation tank with the capacity of 2×10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/d, which saved land and is easy to maintain. In the situation of reaching 95% treatment capacity, the WWTP runs steadily, and all indices in the effluent reach the design standards since it is put into operation, the maximum removal rate of COD<sub>Cr</sub> is 96.96%. The processing technology and design scheme of this project can provide reference for similar projects.

**Keywords** large wastewater treatment plant (WWTP) multi-point influent multi-stage AAO process integrated combined construction

生态文明建设已纳入国家发展总体布局, 污水处理厂的建设是践行生态文明建设的重要举措。我国污水处理厂特别是南方地区污水处理厂存在进水碳氮比低、运行能耗大等问题, 随着排放标准的不断提高, 污水处理能耗将进一步增大, 如何采用低能耗

的污水处理工艺, 已成为污水处理的热点议题。此外, 建设年代较远的污水处理厂受工艺限制, 存在占地较大的情况, 当需要进行扩建或提标改造时, 面临新建部分用地指标受限的问题。近年来, 以多段 AO 串联为特征的多段处理工艺逐渐得到应用, 在天津张贵庄、上海泰和等大型污水处理厂取得了较好的效果, 发挥了提质增效的作用<sup>[1]</sup>。

本文通过对扩建工程存在的难点分析, 设计采用了针对性强、去除率高、用地紧凑、能耗节约的多

[收稿日期] 2023-03-11

[通信作者] 龚晓露(1981—), 女, 高级工程师, 注册公用设备(给水排水)工程师, 主要从事排水工程设计和研究等工作, E-mail: gongxiaolu@smedi.com。

段 AAO 处理工艺,并在工程设计时将一座 20 万 m<sup>3</sup>/d 规模的核心处理构筑物集约化建设,可为类似污水处理厂建设工程提供借鉴。

## 1 项目概况

上海海滨污水处理厂位于上海市浦东新区,与老港垃圾填埋场相邻。服务范围主要包括浦东新区中部区域(S32 以南、大治河以北区域),服务面积约为 443 km<sup>2</sup>。厂区一期工程现状规模为 20 万 m<sup>3</sup>/d,随着地区污水量快速增长,需进行扩建。扩建工程规模为 20 万 m<sup>3</sup>/d,扩建后全厂总规模为 40 万 m<sup>3</sup>/d,为上海郊区最大的污水处理厂,也是目前全市第三大污水处理厂。污水处理厂进水受工业废水和填埋场渗沥液尾水影响,水质浓度常年较高且可生化性较差,同时工程规模大但用地紧张,规划面积约为 9.7×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>,单位处理量用地指标为 0.485 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>)。工程于 2020 年 10 月启动建设,2022 年 9 月通水验收,污水处理效果达到设计预期,取得了良好的工程效益。

## 2 设计水质及工艺流程

### 2.1 设计水质及标准

对现状污水厂 2013 年 1 月—2019 年 6 月的实

际进水水质进行了统计,污水厂进水中污染物组分较复杂,且各项进水指标均较高,其中 COD<sub>Cr</sub> 质量浓度甚至有连续超过污水纳管标准规定的 500 mg/L 的情况。

根据《关于组织开展本市城镇污水处理厂升级改造方案编制工作的通知》(沪水务[2012]662 号)的文件要求,进水水质需考虑如下取值要求:有机物(COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>)和 SS 采用全年 85% 的天数都不超过的值,营养物(TN、氨氮、TP)采用全年 90% 的天数都不超过的值。工程设计进水水质的取值应结合地区污水处理厂的水质特点和进水实际浓度情况,并考虑地区发展可适当留有发展余地。经综合研究,海滨污水处理厂扩建工程设计进水水质最高值以污水排入下水道水质标准限值为取值原则,并结合实际进水频率分析和发展趋势确定。

污水厂出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。污泥处理根据规划要求脱水至含水率为 80% 后送至集中污泥处置中心进行干化焚烧处置。

设计进水水质和出水水质取值如表 1 所示。

表 1 设计进水、出水水质  
Tab. 1 Designed Water Quality of Influent and Effluent

| 项目   | COD <sub>Cr</sub> /<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD <sub>5</sub> /<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | TN/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 氨氮/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | TP/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 粪大肠菌群数/<br>(个·L <sup>-1</sup> ) |
|------|--|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 进水水质 | 500  | 170   | 220                          | 52                           | 35                           | 8                            | /                               |
| 出水水质 | ≤50  | ≤10   | ≤10                          | ≤15                          | ≤5(8)                        | ≤0.5                         | ≤1 000                          |

注:括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

### 2.2 处理工艺的选择

#### (1) 污水处理水质指标分析

通过对污水处理厂设计进出水水质指标分析,确定生物处理的可行性,以及需优先和重点控制的指标。

#### ① COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub>

扩建工程设计进水 COD<sub>Cr</sub> 质量浓度为 500 mg/L, BOD<sub>5</sub> 质量浓度为 170 mg/L, COD<sub>Cr</sub>/BOD<sub>5</sub> ≈ 2.9, 污水生物降解性能较差。由于进水中含有一定量的垃圾渗滤液成分,生物可降解性较差,但考虑渗滤液排放标准的提高,进水的可生物降解性能可适当提高。

BOD<sub>5</sub> 设计去除率约为 94%, 采取生物脱氮除磷工艺后较容易满足。COD<sub>Cr</sub> 设计去除率为 90%,

对于以生活污水为主并含有部分达标排放工业废水的城市污水,一般 COD<sub>Cr</sub> 出水质量浓度能达到 50 mg/L 以下。扩建工程含有工业废水和填埋场渗沥液尾水,为应对地区发展的不确定性,预留高级氧化深度处理措施。

#### ② TN/氨氮

扩建工程进水 TN 质量浓度为 52 mg/L, BOD<sub>5</sub> 质量浓度为 170 mg/L, BOD<sub>5</sub>/TN ≈ 3.3, 碳源基本满足生物脱氮的要求。通过合理碳源分配、控制工艺参数,可以达到出水 TN 质量浓度 ≤15 mg/L。但在污水处理工艺选择时,仍需要对碳源合理利用来保证 TN 的达标排放。同时为进一步提高出水 TN 达标保证率,需要预留碳源投加设备。

氨氮设计去除率约为 85.7%, 进水氨氮的去除

主要靠硝化过程来完成,氨氮的硝化程度将成为控制生化处理好氧单元设计的主要因素,必须进行完全硝化。

### ③ TP

扩建工程进水 TP 质量浓度为 8 mg/L, BOD<sub>5</sub> 质量浓度为 170 mg/L, BOD<sub>5</sub>/TP ≈ 21.3, 仅生物除磷难以达到出水要求,需在深度处理阶段增加化学辅助除磷确保 TP 达标。

### (2) 生物处理工艺的选择

根据进出水设计水质分析,扩建工程需选择高效的生物脱氮除磷工艺,确保出水达标排放。多点进水多段 AAO 工艺由多个串联的 AO 组成,污水按设定的比例从缺氧段进入生物反应池,回流污泥从反应池首端进入。该工艺具有脱氮效率高、污泥浓度高、碳源利用充分、抗冲击负荷能力强和节能降耗等特点。海滨污水处理厂扩建工程进水 BOD<sub>5</sub>/TN 较低,且出水 TN 质量浓度需达到 15 mg/L 以下,相较于传统 AAO 工艺,采用多段 AAO 工艺,在提高处理效果基础上,保证工艺可靠性,特别是解决水质处于低碳高氮时的出水达标。

①脱氮效率高。多点进水多段 AAO 工艺的 TN 去除效率与 AO 段数和污泥回流比有关,AO 分段数越多,即进水分段越多,污泥回流比越大,生物处理的脱氮效率越高。若多点进水多段 AAO 工艺分为 3 段,各段进水比例相同,污泥回流比取 100%,则生物处理的脱氮效率为 83%。常规 AAO 工艺需要污泥回流比为 100%、混合液回流比为 400% 才可达到相同的脱氮效率。

②污泥浓度高。多点进水多段 AAO 工艺的进水分段进入生物反应池,污泥回流全部进入第一段厌氧区,由此在生物反应池内形成污泥浓度的梯度变化。前几段的污泥浓度高于常规 AAO 工艺,使得污泥负荷降低,污染物降解彻底。若多点进水多段 AAO 工艺分为 3 段,各段进水比例相同,污泥回流比取 100%,污泥回流质量浓度为 7 g/L,则各段生物池的污泥质量浓度分别为 5.3、4.2、3.5 g/L,生物反应池平均污泥质量浓度为 4.3 g/L,高于常规 AAO 工艺(3.5 g/L)。

③碳源充分利用。污水进水分段进入缺氧区,使得碳源高效利用于反硝化脱氮,进水碳源利用效率更高,进而提高脱氮效率。

④抗冲击负荷能力强。多点进水多段 AAO 工

艺具有较高的污泥浓度和较低的污泥负荷,可根据污水处理厂进水水量水质的波动,灵活调整进水点和进水流量分配比例,以达到稳定的污染物去除效率,提高生物反应池的抗冲击负荷能力。

⑤节能降耗。多点进水多段 AAO 工艺采用后置反硝化去除 TN,一般情况无需设置混合液回流,降低回流能耗。进水分段进入缺氧区,进水碳源利用效率更高,对于碳氮比较低的污水可显著减少外部碳源投加量。

### (3) 深度处理工艺的选择

高效沉淀池可通过混凝沉淀有效去除污水中的 TP 和 SS,考虑进水 TP 仅生物除磷难以达到出水要求,设置高效沉淀池进行化学除磷,保障 TP 达标。深床滤池主要去除 TN 和 SS,进水碳源基本满足生物脱氮的要求,但为提高出水 TN 达标保证率,并为后续进一步升级改造预留余地,设置深床滤池。因此,深度处理采用高效沉淀池+深床滤池。

进水工业废水占比高,且纳入了老港填埋场三期和四期的垃圾渗滤液,特别是经过处理后的垃圾渗滤液,所残留的 COD<sub>Cr</sub> 绝大部分为不可降解可溶性 COD<sub>Cr</sub>,无法通过生物降解去除。因此,将高级催化氧化技术作为降解溶解性不可生物降解 COD<sub>Cr</sub>、确保出水 COD<sub>Cr</sub> 达标的主要手段。参考一期工程仅预留臭氧催化氧化池的土建,且考虑到扩建后污水成分会发生波动和不确定性,本次扩建工程臭氧催化氧化池仅建设土建部分,设备暂缓实施。

### (4) 集约化设计

工程用地面积为  $9.7 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,指标仅为国家标准的 60%。考虑到用地指标的局限,设计采用平流式初沉池和矩形周进周出二沉池,并且采用与生物反应池合建形式,形成初沉池、生物反应池和二沉池三联体,同时池顶竖向叠合建设配电、控制和除臭设施,使土地资源最大化得到利用。总平面布置同样考虑集约化设计,统筹衔接进出水、供配电设施、场地给排水等,分区布置预处理区、污水主处理区、深度处理区和污泥处理区。

根据本项目进出水水质情况,各项控制指标的控制次序如表 2 所示。

## 2.3 工艺流程

本工程污水处理采用“预处理(曝气沉砂)工艺+前处理工艺(初沉池)+生物处理主体工艺(多段 AAO 工艺)+深度处理工艺(混凝沉淀过滤)”组合

表2 污水水质各项控制指标控制次序  
Tab. 2 Order of Various Indices Control of Wastewater Quality

| 项目                | 重点控制<br>优先次序 | 对策与措施           |
|-------------------|--------------|-----------------|
| COD <sub>Cr</sub> | ①            | 完全硝化,充分曝气       |
| TP                | ①            | 生物除磷和化学除磷相结合    |
| TN                | ①            | 充足碳源,完全反硝化,充分曝气 |
| SS                | ②            | 沉淀、滤池           |
| 氨氮                | ②            | 完全硝化,完全反硝化,充分曝气 |
| BOD <sub>5</sub>  | ②            | 生物降解为主          |
| 粪大肠菌群             | ③            | 消毒              |

式污水处理工艺路线,并辅以次氯酸钠消毒工艺。该工艺具有良好的水质适应能力、处理效果稳定、切换模式灵活、运行能耗低等优点<sup>[2]</sup>。污泥处理采用机械浓缩脱水一体化工艺。工程整体流程如图1所示。

### 3 工程设计

#### 3.1 总平面布置和工程分组

扩建厂区总平面布置遵循功能分区、流程简捷、负荷集中、交通顺畅、便于养护等原则,由西向东共布置以下区域:(1)预处理区,布置配水井、细格栅及曝气沉砂池;(2)污水主处理区,主要构筑物有初

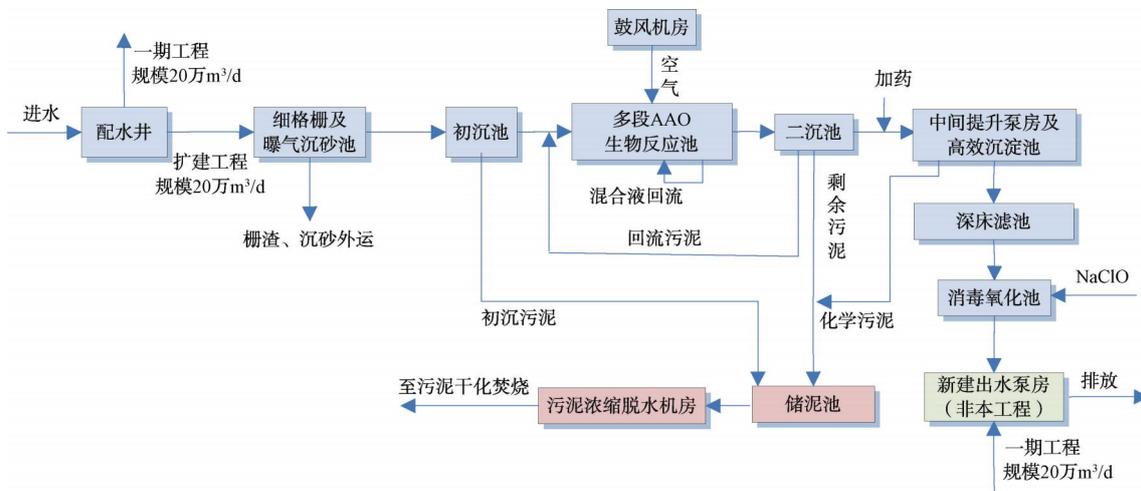


图1 工艺流程

Fig. 1 Process Flow



图2 用地布置

Fig. 2 Land Layout

沉池、生物反应池、二沉池、鼓风机房、变电所；(3)深度处理区,包括中间提升泵房及高效沉淀池、深床滤池、消毒氧化池、加药加氯间、臭氧发生器间等；(4)污泥处理区,主要布置储泥池、污泥浓缩脱水机房及料仓等。

考虑到全厂 40 万  $\text{m}^3/\text{d}$  中一期已按 5 万  $\text{m}^3/\text{d}$  规模分组,且扩建工程用地面积较小,本次扩建工程的 20 万  $\text{m}^3/\text{d}$  中,预处理、深度处理按一座建设,二级处理按一座污水处理构筑物建设,分成两组,每组 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,每组处理单元均可独立运行。

### 3.2 预处理单元设计

污水厂总进水管为压力进水管,因此,不设置粗格栅和进水泵房。预处理单元包括配水井、细格栅及曝气沉砂池,初沉池与生物反应池合建。

(1)细格栅:共设置 2 道,分别为 6 台转鼓式格栅除污机(格栅间隙为 6 mm)以及 6 台网板式细格栅(格栅间隙为 3 mm)。

(2)曝气沉砂池:分为 2 组共 4 格,高峰流量时水力停留时间为 6.9 min,单格净宽为 4.0 m,设计有效水深为 3.0 m,有效长度为 30 m。

### 3.3 主处理单元设计

主处理单元包括初沉池、生物反应池和二沉池,以及辅助的鼓风机房。

(1)初沉池:去除进水中不可降解无机物,以减少后续生物反应池的负荷。设计为平流式沉淀池,分

2 组,每组处理规模为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,可单独运行,每组分 3 格。高峰流量时表面负荷为  $3.47 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水力停留时间为 0.92 h,有效水深为 3.2 m。当进水浓度较高或雨季时,污水进初沉池;当平时进水浓度较低时可超越初沉池。

(2)生物反应池:采用分点进水多段 AAO 工艺。建设 1 座构筑物,分 2 组,每组处理规模为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

针对进水水质特点,生物处理工艺必须考虑工艺的成熟性、可靠性和稳定性,同时还要考虑工艺的适应性和灵活性。

本次设计中,将污水生物处理工艺优化为多段 AAO 工艺,从而更能适应污水厂进水水质的波动变化,提高污水处理的稳定性。海滨污水处理厂扩建工程进水  $\text{BOD}_5/\text{TN}$  较低,且出水 TN 质量浓度需达到 15 mg/L 以下,采用多段 AAO 工艺,在提高处理效果基础上,保证工艺可靠性,特别是解决水质处于低碳高氮时的出水达标。此工艺运行模式如下:污水分别进入缺氧池 A1、缺氧池 A2 和缺氧池 A3,需要强化除磷时,部分污水进入厌氧池,外回流污泥进入缺氧池 A1,好氧内回流进入缺氧池 A3,形成多段 AAO 工艺。

多段 AAO 处理流程如图 3 所示,生物反应池主要工艺参数如表 3 所示。

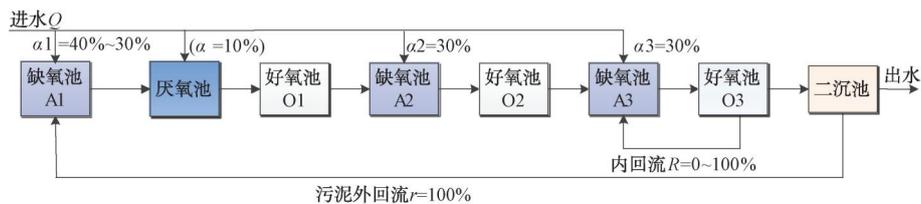


图 3 多段 AAO 工艺功能分区布置

Fig. 3 Functional Area Layout of Multi-Stage AAO Process

本工程多段 AAO 除常规优势外,还有以下技术特点:

- ① 厌氧池保留进水点,可强化厌氧释磷效果;
- ② 好氧内回流在第三段 AO 中进行,第一段和第二段 AO 维持高污泥浓度,减小池容;
- ③ 多段 AAO 生物反应池的各池长度相等,宽度按比例分隔(图 4),池内的进水、回流、空气管、除臭管均设置渠道,互不干扰,便于维护管理<sup>[3]</sup>。

(3)二沉池:设计采用平流式周进周出二沉池,

与生物反应池合建,宽度基本相同。1 座构筑物分 2 组,每组处理规模为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,每组分 8 格,共 16 格。二沉池峰值流量考虑叠加滤池反冲洗水。最大表面负荷为  $1.30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,有效水深为 4.5 m,设计流量下水力停留时间为 3.45 h。

(4)鼓风机房:为生物反应池提供氧气,保证生物系统正常运行。共设置单级离心鼓风机 8 台,6 用 2 备,单机流量为 180  $\text{m}^3/\text{min}$ ,设计气水比为 7.78。

表3 多段 AAO 工艺参数  
Tab. 3 Designed Parameters of Multi-Stage AAO Process

| 内容  | 参数          | 备注                       |
|---|-------------|--------------------------|
| 有效水深/m  | 7.5         |                          |
| 总水力停留时间/h   | 20          |                          |
| 含 SS 的产泥率/<br>[kg MLSS·(kg BOD <sub>5</sub> ) <sup>-1</sup> ] | 0.7         |                          |
| 剩余污泥量/(kg·d <sup>-1</sup> )                                   | 10 010      | 10 万 m <sup>3</sup> /d 计 |
| 污泥外回流比  | 100%        |                          |
| 缺氧区 1 水力停留时间/h  | 2.5         |                          |
| 厌氧区水力停留时间/h   | 2.0         |                          |
| 好氧区 1 水力停留时间/h  | 3.5         |                          |
| 缺氧区 2 水力停留时间/h  | 2.5         |                          |
| 好氧区 2 水力停留时间/h  | 3.5         |                          |
| 缺氧区 3 水力停留时间/h  | 2.5         |                          |
| 好氧区 3 水力停留时间/h  | 3.5         |                          |
| 内回流比  | 0~100%      |                          |
| 污泥质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )                                  | 3 500~5 300 |                          |

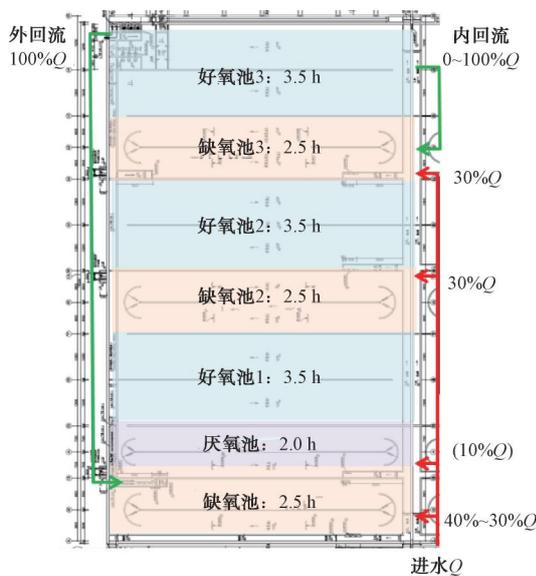


图4 生物反应池多段 AAO 工艺布置  
Fig. 4 Layout of Biological Reaction Tank with Multi-Stage AAO Process

### 3.4 深度处理单元设计

深度处理单元包括中间提升泵房及高效沉淀池、深床滤池、消毒氧化池、加药加氯间等。

(1) 高效沉淀池: 通过混凝沉淀工艺辅助除磷。沉淀区分 4 组, 每组处理规模为 5 万 m<sup>3</sup>/d, 直径为 16 m, 水深为 7 m, 高峰负荷为 15.54 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

(2) 深床滤池: 对沉淀池出水进行过滤, 以进一步去除 SS 及附着在 SS 上的 TP 等污染物; 通过投加碳源, 可进一步去除 TN。1 座滤池, 共分 20 格, 高峰流量设计滤速为 6.23 m/h。本次扩建工程设置乙酸钠投加装置作为应急补充, 在进水碳源不足时投加。

(3) 消毒氧化池: 进水工业废水占比高, 且纳入了老港填埋场三期和四期的垃圾渗滤液, 特别是经过预处理后的垃圾渗滤液, 所残留的 COD<sub>Cr</sub> 绝大部分为不可降解可溶性 COD<sub>Cr</sub>, 无法通过生物降解去除, 因此, 将高级催化氧化技术作为降解溶解性不可生物降解 COD<sub>Cr</sub>、确保出水 COD<sub>Cr</sub> 达标的主要强化手段。考虑到扩建后污水成分会发生波动和不确定性, 为节省工程投资, 本次扩建工程臭氧的土建部分建设, 设备暂缓实施。消毒氧化池池容按臭氧催化氧化所需的 50 min 设计, 近期投加次氯酸钠以保证尾水粪大肠菌群消毒达标<sup>[4]</sup>。

### 3.5 污泥处理单元设计

污泥处理单元主要布置有储泥池、污泥浓缩脱水机房及料仓等。

污泥浓缩脱水机房规模为 20 万 m<sup>3</sup>/d 污水处理对应的污泥量 (53.3 t DS/d), 包括初沉污泥 24.3 t DS/d、剩余污泥 20.0 t DS/d 和化学污泥 9.0 t DS/d, 混合污泥含水率为 99.0%。采用离心浓缩脱水一体机 6 台, 5 用 1 备, 污泥脱水至 80% 后由泵送或车运至临近的污泥处置中心进行干化焚烧处置。

## 4 设计特点

(1) 安全韧性, 污水处理保障率高

海滨污水处理厂接纳浦东中部地区污水以及上海老港基地渗滤液尾水, 进水浓度高、波动大、成分复杂。污水处理针对性采用三段式处理工艺, 实现工艺高效性、运行稳定性、调整灵活性和出水保障性。

(2) 绿色低碳, 降低污水处理能耗

采用的三段式强化脱氮除磷多段 AAO 工艺, 高效利用宝贵的进水碳源, 设置多点进水可调节各段进水比例, 降低内回流比及其能耗。配合鼓风机和曝气量精准调控, 实现全方位的节能降耗, 降低运行成本。

(3) 集约节约, 充分利用有限的土地

工程用地面积为 9.7×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>, 指标仅为国家标

准的 60%。总平面集约布置,处理流线清晰,恶臭单元集中,人车路线合理。为使土地资源最大化利用,主处理构筑物集约紧凑化设计了初沉池、生反池和二沉池三联体合建,整座池体总尺寸达到 241.9 m×167.6 m,3 个单体宽度设计相同,池顶统一覆土种植绿化,外观整齐美观,且便于巡检维护(图 5)。



图 5 主处理构筑物照片

Fig. 5 Picture of Main Treatment Structure

## 5 运行效果

扩建工程于 2022 年 8 月开始调试及试运行,处理水量在 2022 年 12 月开始达到 19 万 m<sup>3</sup>/d,为设计规模的 95%,2022 年 9 月—2023 年 1 月的实际进出水水质如表 4 所示。通过表中数据分析,扩建工程出水水质稳定,各项水质指标均优于设计标准。进水 TN 质量浓度为 13.20~54.80 mg/L,出水质量浓度为 0.93~13.80 mg/L,最大去除率达到 83.92%;进水 TP 质量浓度为 1.75~12.50 mg/L,出水质量浓度为 0.01~0.49 mg/L,最大去除率达到 98.40%。污水处理厂进水水质波动较大,但出水水质稳定,系统脱氮除磷效果显著。

## 6 经济分析

扩建工程总投资为 112 763 万元,其中建安费

表 4 实际进出水水质

Tab. Fig. 4 Actual Quality of Influent and Effluent

| 项目    | COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TN/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TP/(mg·L <sup>-1</sup> ) |
|-------|--|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 进水水质  | 106.0~662.0                              | 38.0~253.0                              | 31~298                   | 13.20~54.80              | 5.68~34.70               | 1.75~12.50               |
| 出水水质  | 2.0~39.0                                 | 0.4~16.1                                | 2~9                      | 0.93~13.80               | 0.03~3.64                | 0.01~0.49                |
| 平均出水  | 20.1                                     | 3.8                                     | 3                        | 8.81                     | 0.46                     | 0.20                     |
| 最大去除率 | 96.96%                                   | 98.49%                                  | 98.99%                   | 83.92%                   | 98.67%                   | 98.40%                   |

用为 95 801 万元。经营成本为 1.6 元/m<sup>3</sup>,包括水电药剂费、职工薪酬、折旧费、修理费等,其中电费和药剂费成本为 0.66 元/m<sup>3</sup>。相比于同类型项目,海滨污水处理厂具有经济性,仅内回流能耗每年可节省约 150 万 kW·h。

## 7 结语

(1) 针对进水碳氮比低、运行能耗大的污水处理厂,可采用多点进水多段 AAO 工艺,提高污染物生物去除效率,降低运行能耗,提高应对冲击负荷的能力。

(2) 对于用地受限的污水处理厂,统筹衔接进出水、供配电设施、场地给排水等,集约分区布置处理设施。同时可采用初沉池、生物反应池和二沉池三联体形式,进一步减少构筑物占地。

(3) 海滨污水处理厂扩建工程实际运行结果表明,扩建工程出水水质处理效果好,各项水质指标均优于设计标准,设计方案可供类似大规模污水厂工程参考借鉴。

## 参考文献

[1] 朱洁,胡维杰. 污水处理厂全流程能耗识别及节能降耗建议

[J]. 给水排水, 2020, 46(s1): 584-588.

ZHU J, HU W J. Identification on plant-wide energy consumption and suggestions on energy saving technologies for wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(s1): 584-588.

[2] 王舜和,李朦,郭淑琴. 张贵庄污水处理厂分段进水多级 AO 工艺的设计与运行[J]. 中国给水排水, 2018, 34(12): 53-56.

WANG S H, LI M, GUO S Q. Design and operation for the step-feed multi-stage AO process in Tianjin Zhanguizhuang wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(12): 53-56.

[3] 王彬. 污水处理厂生物反应设施集约化设计探讨[J]. 中国给水排水, 2018, 34(10): 61-65.

WANG B. Discussion on the intensive design of biological reaction facilities in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(10): 61-65.

[4] 陈秀成. 嘉兴联合污水处理厂提标改造工程设计及经验总结[J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 47-52.

CHEN X C. Design and experience summary of the upgrading project of Jiaying united wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 47-52.