

陈民东, 邓浩, 王宝娟, 等. 污水厂更严格排放标准设计案例分析——以青岛市某工业园污水厂为例[J]. 净水技术, 2024, 43(3):174-180.  
CHEN M D, DENG H, WANG B J, et al. Design case analysis of stricter discharge standard for WWTP: Case of industrial park WWTP in Qingdao City [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):174-180.

# 污水厂更严格排放标准设计案例分析——以青岛市某工业园污水厂为例

陈民东<sup>1,\*</sup>, 邓浩<sup>2</sup>, 王宝娟<sup>3</sup>, 庄贵<sup>1</sup>, 李超超<sup>2</sup>

(1. 青岛腾远设计事务所有限公司, 山东青岛 266100; 2. 胶州首创博瑞水务有限公司, 山东胶州 266300; 3. 胶州市住房和城乡建设局, 山东胶州 266300)

**摘要** 青岛地区很多工业企业向乡镇集中, 乡镇污水处理厂同时接纳生活污水及工业废水较为普遍。该项目近期设计规模为 3 000 m<sup>3</sup>/d, 进水中约 2/3 为工业废水, 其中含有大量难降解污染物的多元生物废水量为 300 m<sup>3</sup>/d, 而出水标准为准Ⅳ类(除 TN 外), 多元生物废水采用臭氧预氧化单独处理后接入生化系统, 生化段采用改良型 AAO+AO 工艺, TN 去除全部在生物池实现, 深度处理采用高效沉淀池+臭氧催化+砂滤+接触消毒工艺, 项目投运后, COD<sub>Cr</sub>、TN、TP 去除率分别为 96.38%、86.97%、98.70%, 出水水质稳定达到设计标准, 可为同类型污水处理厂设计提供参考。

**关键词** 难降解污染物 改良型 AAO+AO 工艺 高效沉淀池 催化臭氧氧化 乡镇污水处理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)03-0174-07

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.03.021

## Design Case Analysis of Stricter Discharge Standard for WWTP: Case of Industrial Park WWTP in Qingdao City

CHEN Mindong<sup>1,\*</sup>, DENG Hao<sup>2</sup>, WANG Baojuan<sup>3</sup>, ZHUANG Gui<sup>1</sup>, LI Chaochao<sup>2</sup>

(1. Qingdao Tengyuan Design Co., Ltd., Qingdao 266100, China;

2. Jiaozhou Capital Water Co., Ltd., Jiaozhou 266300, China;

3. Housing and Urban-Rural Construction Bureau of Jiaozhou, Jiaozhou 266300, China)

**Abstract** Many industrial enterprises are gathered in townships in Qingdao, so it is becoming more and more common for township wastewater treatment plants (WWTPs) to accept both domestic wastewater and industrial wastewater. The recent design scale of the project is 3 000 m<sup>3</sup>/d, more than 2/3 of the influent water is industrial wastewater, the amount of multi-biology wastewater is 300 m<sup>3</sup>/d with a large number of non-biodegradable pollutant. While the effluent standard is quasi-Ⅳ standard(except TN), multi-biology wastewater is treated separately by pre-ozonation and then connected to biochemical system. The modified AAO+AO process is selected in the biochemical section. TN removal is achieved entirely in the biological pool, and high-efficiency sedimentation tank+ozone catalytic oxidation+sand filtration+contact disinfection process is used for the deep treatment, after the project is put into use. The removal rates of COD<sub>Cr</sub>, TN and TP are 96.38%, 86.97% and 98.70% respectively, the effluent quality can stably meet the design standards. This project can provide reference for the design of the same type of WWTPs.

**Keywords** non-biodegradable pollutant modified AAO+AO process high-efficiency sedimentation tank catalytic ozonation township wastewater treatment

截至 2022 年年底, 全国城市和县城建成污水处理厂近 4 700 座, 年污水处理量达 941 亿 m<sup>3</sup> 左右。

越来越多的工业企业向乡镇聚集, 在乡镇水环境治理过程中, 污水处理设施同时接纳生活污水和工业废水的情况较为普遍<sup>[1]</sup>, 而且各地出水标准不断提高<sup>[2]</sup>。乡镇污水处理厂往往存在对工业废水进水比例考虑不足、工艺路线不完善、导致脱氮除磷效率

[收稿日期] 2023-10-17

[通信作者] 陈民东(1981—), 男, 硕士, 研究方向为水污染防治理论与技术, E-mail: cmind@126.com。

低以及出水不能稳定达标的问题<sup>[3]</sup>。本文以某工业园新建污水处理厂为实例,其进水中工业废水约占 2/3,出水标准为准Ⅳ类(除 TN 外),分析工艺路线选取、工艺单体设计参数及运行效果,总结了设计特点,以期待为类似项目的工程设计提供参考。

1 工程概况

本项目位于青岛胶州市某镇工业园,污水处理厂选址在多元生物科技园东南角,占地面积为 4 500 m<sup>2</sup>,用地性质为排水用地。收集处理洋河南部工业园及周边村庄污水,设计规模为 3 000 m<sup>3</sup>/d。

2 污水来源及进出水水质

2.1 污水来源

根据调查,本项目服务范围内现状生活污水量约为 500 m<sup>3</sup>/d。近期人口规模约为 2 万人,居民污水量定额取 65 L/(人·d)<sup>[4]</sup>,污水收集系数为 0.8,预测近期村庄生活污水量为 1 040 m<sup>3</sup>/d。现状工业废水主要来自多元生物及某粉条厂。多元生物紧邻污水处理厂,年产长链二元酸为 3 055 t,副产品为液蜡和蛋白饲料,废水排水量为 300 m<sup>3</sup>/d。企业建有污水处理站,其污染物排放指标如表 1 所示。粉条厂位于周边村庄,废水量为 150 m<sup>3</sup>/d,主要污染物为 COD<sub>Cr</sub>、SS 等。

近期拟落户园区的某食品与某啤酒公司,废水量约为 1 500 m<sup>3</sup>/d。结合该镇相关规划,预测近期工业废水量为 2 000 m<sup>3</sup>/d。因此,本项目近期设计

表 1 多元生物废水污染物指标

| Tab. 1 Pollutant Indices of Multi-Biology Wastewater |              |             |
|------------------------------------------------------|--------------|-------------|
| 指标                                                   | 原水排放水质       | 经自身污水站处理后水质 |
| COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )             | 6 000~10 000 | 500~1 000   |
| BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )              | 4 000~6 000  | 350~500     |
| SS/(mg·L <sup>-1</sup> )                             | 2 000~4 000  | 400~800     |
| TN/(mg·L <sup>-1</sup> )                             | 200~300      | 70~100      |
| 硫酸盐/(mg·L <sup>-1</sup> )                            | 7 000~10 000 | 600~800     |

规模为 3 000 m<sup>3</sup>/d,远期规模为 6 000 m<sup>3</sup>/d。本项目建设以近期为主,预处理单元考虑远期预留。

2.2 进出水水质

城镇污水处理厂进水污染物浓度的高低决定污水处理工艺流程的选择,与污水厂的基建投资和运行费用密切相关<sup>[5]</sup>。项目建设前要准确预测污水厂建成后服务期内的水质,难度较大。本项目进水水质根据现场实测值及结合青岛周边污水厂进水水质综合确定。

本项目出水排出口为南侧温凉河,河道水质保护目标为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,经多次论证确定出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准,其中 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP 执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类标准。具体如表 2 所示。

表 2 设计进出水水质  
Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality

| 指标     | COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TN/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TP/(mg·L <sup>-1</sup> ) |
|--------|------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 设计进水水质 | 550                                      | 250                                     | 400                      | 45                       | 65                       | 8                        |
| 设计出水水质 | ≤30                                      | ≤6                                      | ≤10                      | ≤1.5(2)                  | ≤15                      | ≤0.3                     |

注:括号中数值为 12 月 1 日—次年 3 月 31 日限值。

3 工艺选择

3.1 预处理工艺

本项目进水有 3 路,多元生物废水 1 路中含有大量难降解污染物,污水量约为 300 m<sup>3</sup>/d,占处理量 10%,不应与生活污水混合后处理,故采用单独 1 路。来水先进入单独设置的调节池,再进行臭氧预氧化后,进入总调节池,进入后续处理单元。第 2 路重力流污水经厂区提升泵站提升至粗格栅,第 3 路来自配套管网提升泵站。

本项目预处理单元采用粗、细格栅+旋流沉

砂池+调节池+初沉池,如图 1 所示。旋流沉砂池可以去除污水中密度较大的泥砂等无机颗粒。调节池用来调节水量和均化水质。生物处理系统的进水 SS/BOD<sub>5</sub> 越高,反硝化速率越低,碳源在缺氧段未被充分利用,从而导致 TN 去除率下降<sup>[6]</sup>。本项目进水 SS 高,设置初沉池保证生物单元脱氮效果。

3.2 生化处理工艺

3.2.1 生化可行性分析

污水生物处理是以污水中所含污染物作为营

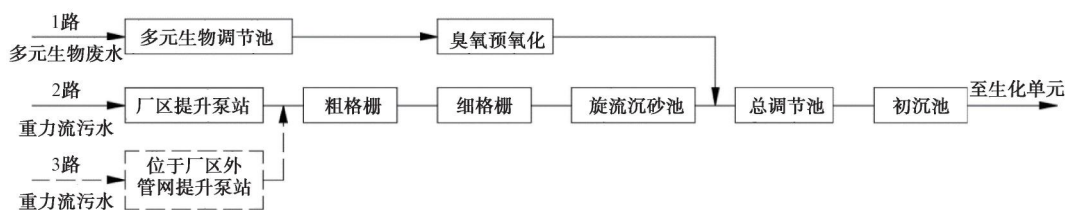


图1 预处理工艺流程

Fig. 1 Pretreatment Process Flow

养源,利用微生物的代谢作用使污染物被降解,污水得以净化。因此,对污水成分的分析以及判断污水能否采用生物处理是设计污水生物处理工程的前提。

本项目进水水质  $BOD_5/COD_{Cr} = 0.45$ , 该比值  $> 0.3$  时,可采用生化处理,比值越大,污水可生化性越好。

本项目进水  $BOD_5$  质量浓度为  $250 \text{ mg/L}$ , TN 质量浓度为  $65 \text{ mg/L}$ , 则  $BOD_5/TN = 3.85$ , 一般  $BOD_5/TN > 5$  时,可认为碳源充足<sup>[7]</sup>, 本项目考虑设置碳源投加系统以保证反硝化的顺利进行。

本项目进水 TP 质量浓度为  $8 \text{ mg/L}$ , 则  $BOD_5/TP = 31.25$ , 该比值大于或等于 17 时,采用生物除磷工艺可取得良好除磷效果。

### 3.2.2 生化处理工艺选择

目前针对高标准出水污水厂常见脱氮除磷处理工艺有:传统 AAO 工艺、倒置 AAO 工艺、UCT 工艺、Bardenpho 工艺、VIP 工艺、AAO+MBR、AAO+反硝化生物滤池等组合工艺<sup>[8]</sup>。本项目进水 TN、TP 高,用地面积紧张,无法采用二级脱氮,需全部在一级生物池完成。因此,选择脱氮除磷效果好的改良型 AAO+AO 工艺。其特点是对 5 段 Bardenpho 工艺进一步改良,进水可分 2 点进入厌氧 A 池和缺氧 A 池,两点流量可通过闸门灵活分配,经过两级反硝化后的污泥回流至厌氧池,避免了富含的硝酸盐对生物除磷产生不利影响,2 点进水不仅保证厌氧池聚磷菌利用有机物充分释磷,又能避免缺氧池碳源不足导致氮的去除率不高,如图 2 所示。

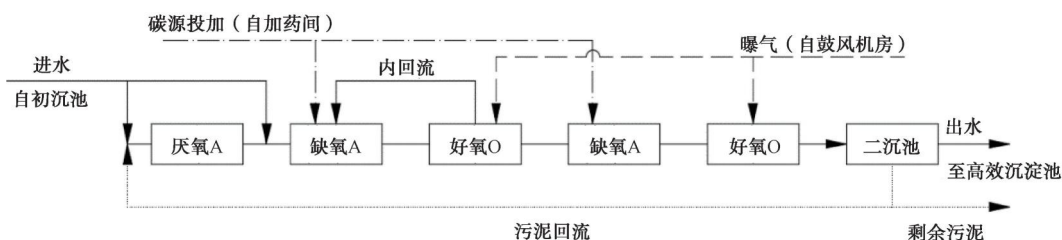


图2 生化处理工艺流程

Fig. 2 Biochemical Treatment Process

### 3.3 深度处理工艺选择

根据国内已建污水厂实际运行经验,在正常运转情况下,二沉池出水 SS 质量浓度难以稳定达到  $10 \text{ mg/L}$  的要求值,且组成出水 SS 的主要成分是活性污泥絮体,其本身的有机成分较高,并含有一定比例的磷<sup>[9]</sup>。因此,二沉池后采用高效沉淀池,进一步去除 SS 及 TP。

经过生化处理后的污水,可生物降解有机物已经消耗殆尽,针对难降解  $COD_{Cr}$ 、不可降解可溶性  $COD_{Cr}$ ,可选择的技术包括臭氧催化氧化、芬顿氧化和活性炭吸附 3 种<sup>[10]</sup>。活性炭吸附需定期再生,芬

顿氧化虽然去除效率高,但需调节 pH,药剂种类多,运行成本高。因此,本项目采用臭氧氧化塔,利用臭氧的氧化能力,将部分难生物降解物完全氧化为二氧化碳和水,保证出水  $COD_{Cr}$  稳定达标。

臭氧氧化塔长期运行池体易滋生生物泥,除定期排泥外,为保证 SS 达标,设置砂滤罐去除 SS。

最后设置接触消毒池去除细菌和病毒等微生物,保证回用,前端的臭氧氧化单元也能有效地降低消毒剂的投加量。

本项目深度处理工艺采用“高效沉淀池+臭氧催化塔+砂滤罐+接触消毒”,高效沉淀池出水

设置在线监测仪表,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、SS 均达标时, 选择超越路线 2, 直接消毒后排放。  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  达标、SS 不达

标时, 选择超越路线 1, 经过滤、消毒后排放, 如图 3 所示。

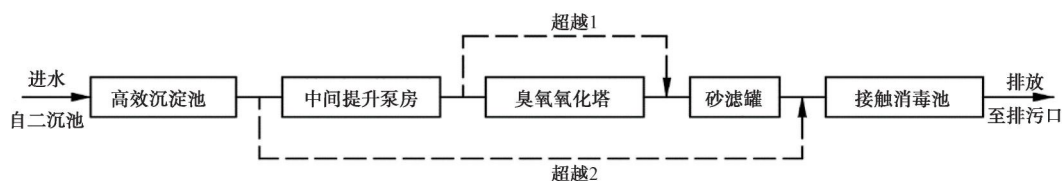


图3 深度处理工艺流程

Fig. 3 Advanced Treatment Process

## 4 主要处理单元及设计参数

### 4.1 预处理池

①粗细格栅 (规模为  $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,  $K_z=1.7$ )

粗格栅采用回转式格栅除污机 2 台, 渠宽为 800 mm, 栅条间隙为 15 mm, 栅条宽为 10 mm, 栅前水深为 0.4 m。细格栅采用回转式格栅除污机 2 台, 渠宽为 800 mm, 栅条间隙为 5 mm, 栅条宽为 10 mm, 栅前水深为 0.5 m。粗、细格栅池前后均设有 2 台闸门在检修时用, 同时均配套无轴螺旋输送压榨机 1 台。

②旋流沉砂池 (规模为  $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,  $K_z=1.7$ )

旋流沉砂器 2 套, 单台  $d=1\,830\text{ mm}$ , 搅拌器  $N=0.75\text{ kW}$ , 采用压缩空气提砂, 配套鼓风机  $Q=1.5\text{ m}^3/\text{min}$ , 风压为 34.3 kPa, 配套不锈钢砂水分离器 1 台。

③调节池 (规模为  $300\,3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ )

多元生物调节池: 1 座, 设计规模为  $300\text{ m}^3/\text{d}$ , 兼作事故池, 有效容积为  $150\text{ m}^3$ , 总停留时间为 12 h, 内设叶轮直径为 500 mm 搅拌器 1 台。设置潜水排污泵 2 台 (1 用 1 备),  $Q=12.5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=13\text{ m}$ ,  $N=1.1\text{ kW}$ , 1 台变频。

总调节池: 1 座, 设计规模为  $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ , 分 2 格, 可单独运行, 有效容积为  $1\,840\text{ m}^3$ , 总停留时间为 14.7 h, 内设叶轮直径为 500 mm 搅拌器 6 台。设置潜水排污泵 3 台 (2 用 1 备),  $Q=63\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=10\text{ m}$ ,  $N=4\text{ kW}$ , 2 台变频。

### 4.2 综合生物池 (规模为 $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ )

①初设池

采用平流式初沉池, 分 2 格, 并联运行, 单格尺寸  $19\text{ m}\times 2\text{ m}\times 4.6\text{ m}$ , 有效水深为 3 m, 设计表面负荷为  $3.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 初沉污泥量为  $600\text{ kg DS}/\text{d}$ 。每格设置 1 个污泥斗, 设置 2 台污泥泵 (1 用 1 备),

污泥泵  $Q=3\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=25\text{ m}$ ,  $N=0.37\text{ kW}$ , 将初沉污泥提升至污泥储池。

②改良型 AAO+AO 池

生物池 1 座, 分 2 格, 半地下式, 有效水深为 6 m, 有效池容为  $3\,075\text{ m}^3$ , 总停留时间为 24.6 h, 其中厌氧区、缺氧区、好氧区、后缺氧区、后好氧区停留时间分别为 2.0、7.5、10.0、3.2、1.9 h; 污泥质量浓度为  $3\,500\text{ mg}/\text{L}$ , 污泥龄为 14 d, 需氧量为  $38.2\text{ kg O}_2/\text{h}$ , 平均气水比为 7.7 : 1, TN 负荷率为  $0.03\text{ kg TN}/(\text{kg MLSS}\cdot\text{d})$ ,  $\text{BOD}_5$  污泥负荷为  $0.06\text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS}\cdot\text{d})$ 。最大内回流比为 300%, 污泥回流比为 50%~100%。鼓风机 3 台 (2 用 1 备, 1 台变频),  $Q=8\text{ m}^3/\text{min}$ , 风压为 68.6 kPa,  $N=18.5\text{ kW}$ 。根据工艺运行的脱氮需要, 投加碳源乙酸钠, 以满足生物脱氮要求, 投加位置在生物池前缺氧区和后缺氧区, 投加量为  $60\text{ mg}/\text{L}$  (按质量分数为 25% 液态乙酸钠计)。

③二沉池

采用平流式二沉池分 2 格, 并联运行, 单格尺寸为  $19.2\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 5.9\text{ m}$ 。设计表面负荷为  $0.76\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 有效水深为 3 m, 设计停留时间为 4 h; 设置泵吸式桁架吸泥机 2 套, 每套配套 3 台吸泥泵。

### 4.3 高效沉淀池 (规模为 $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ )

本工程设计高效沉淀池 1 座, 与中间提升泵房合建, 中间提升泵 3 台 (2 用 1 备),  $Q=65\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=11\text{ m}$ ,  $N=4\text{ kW}$ 。混凝区: 尺寸为  $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}\times 4.45\text{ m}$ , 有效水深为 3.75 m, 水力停留时间为 5 min, 设置混凝搅拌器 1 台。絮凝区: 尺寸为  $3.1\text{ m}\times 3.1\text{ m}\times 5.45\text{ m}$ , 有效水深为 4.75 m, 水力停留时间为 20 min, 设置涡流絮凝搅拌器 1 台。斜管沉淀池: 尺寸为  $5.3\text{ m}\times 5.3\text{ m}\times 5.15\text{ m}$ , 有效水深为 4.75 m, 水力停留时间为 35 min, 其中, 斜管区面积为  $16.5$



m<sup>2</sup>,斜管区平均表面负荷为 7.58 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),池底设直径为 5.3 m 刮泥机 1 台。除磷药剂为液态三氯化铁,投加量为 25 mg/L。

4.4 臭氧氧化塔(规模为 300、3 000 m<sup>3</sup>/d)

臭氧预氧化塔(多元生物废水):设计流量为 300 m<sup>3</sup>/d,臭氧投加量为 60 mg/L,反应时间为 1.2 h,罐体直径为 1.6 m,材质为 316L。配套 φ100 钛板曝气盘 5 套,尾气破坏器 1 套。

后段臭氧氧化塔:设计流量为 3 000 m<sup>3</sup>/d,臭氧投加量为 24 mg/L,反应时间为 60 min,氧化塔采用搪瓷拼装罐,罐体直径为 5 m,高度为 9 m,有效容积为 150 m<sup>3</sup>,配套催化剂为 43 m<sup>3</sup>。应急反冲洗风机 1 台, $Q=16\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=8\text{ m}$ , $N=37\text{ kW}$ ;卧式离心泵 3 台(2 用 1 备,2 台变频), $Q=89\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=28\text{ m}$ , $N=11\text{ kW}$ 。同时配套高效臭氧溶气装置 2 台、尾气破坏器 1 套。

4.5 砂滤罐间(规模为 3 000 m<sup>3</sup>/d)

砂滤罐间 1 座,房间尺寸为 11 m×9 m×8.5 m。

设重力式无阀过滤器 4 台,单套流量为 40 m<sup>3</sup>/h,滤速为 8 m/h、平均反冲洗强度为 15 L/(m<sup>2</sup>·s),冲洗时间为 5 min,进水压力≤0.15 MPa,出水压力≤0.04 MPa。

4.6 接触消毒池及出水泵房(规模为 3 000 m<sup>3</sup>/d)

接触消毒池 1 座,设计反应时间为 30 min,出水泵房、生物指示池与接触消毒池合建,尺寸 12.7 m×8.8 m×4.7 m。标准型巴氏计量槽 1 套, $Q=125\text{ m}^3/\text{h}$ ,喉道宽为 152 mm,喉道长为 305 mm,水头为 0.25 m,配套超声波液位计。出水消毒采用次氯酸钠,次氯酸钠投加量为 5 mg/L。

5 运行效果及分析

项目 2020 年 10 月份投产运行,2021 年度实际进出水水质如表 3 所示。由表 3 中的数据可见,虽然进水水质波动较大,但系统处理效果很稳定,主要污染物 COD<sub>Cr</sub>、氨氮、TN、TP 平均去除率分别为 96.38%、99.59%、86.97%、98.70%,出水水质均优于设计标准。

表 3 实际进出水水质

Tab. 3 Actual Influent and Effluent Quality

| 参数                         | COD <sub>Cr</sub> | BOD <sub>5</sub> | SS       | 氨氮         | TN          | TP        |
|----------------------------|-------------------|------------------|----------|------------|-------------|-----------|
| 进水/(mg·L <sup>-1</sup> )   | 250~1 054         | 159~525          | 167~339  | 27.6~54.13 | 34.57~75.47 | 2.99~9.60 |
| 进水均值/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 469               | 246              | 244      | 41.82      | 55.65       | 6.16      |
| 出水/(mg·L <sup>-1</sup> )   | 12.55~22.2        | 1.84~2.87        | 3.0~6.13 | 0.10~0.29  | 2.30~8.89   | 0.04~0.14 |
| 出水均值/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 16.96             | 2.21             | 4.14     | 0.17       | 7.25        | 0.08      |
| 出水标准/(mg·L <sup>-1</sup> ) | ≤30               | ≤6               | ≤10      | ≤1.5(2)    | ≤15         | ≤0.3      |
| 去除率                        | 96.38%            | 99.10%           | 98.30%   | 99.59%     | 86.97%      | 98.70%    |

6 设计特点

本项目有以下特点:处理规模小,水质水量波动大;进水中工业废水约占 2/3,其中含有大量难降解污染物的多元生物废水占总处理量 10%,进水 TN、TP 高,TN 去除全部在生物池完成;出水水质为“准Ⅳ类”,出水标准高;用地面积极为紧张。因此,工艺方案选择有如下特点。污水厂平面布置如图 4 所示。

1)针对多元生物废水,方案阶段曾论证其与另 2 路污水混合一并处理的可行性,但考虑该路废水量较大,且成分复杂还含有大量硫酸盐、金属离子等,混合后势必会增大污水的处理难度,也不便于当该路进水超标后,及时关闭。最终确定将多元生物

废水分质处理。多元生物废水预处理工艺常用有臭氧氧化与芬顿工艺,现场取样进行小试,小试结果表明,两种工艺对 COD<sub>Cr</sub> 均很高效,芬顿工艺 COD<sub>Cr</sub> 去除率略高。但考虑芬顿工艺所用药剂种类多、药剂储运风险大、工艺操作难度大,最终选用臭氧氧化工艺,COD<sub>Cr</sub> 去除量与臭氧投加量之比为 1:4,反应时间为 1.2 h。

2)针对本项目处理单元多,占地面积受限,综合生物池采用方形池体,初沉池、二沉池均采用平流式池型,便于与生物池共壁建造。同时混合液回流、污泥回流均采用渠道输送形式,减少了管道敷设,池体更集中紧凑。

3)改良型 AAO+AO 工艺采用厌氧池、缺氧池两

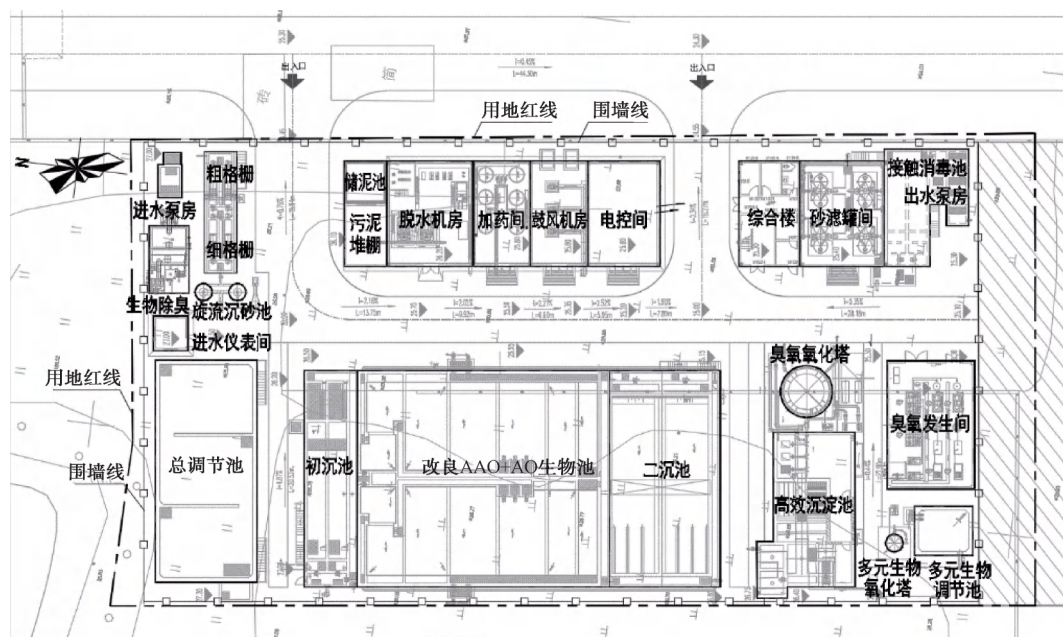


图 4 污水厂平面布置图

Fig. 4 Layout Plan of WWTTP

点进水,并可以通过闸门灵活分配两点进水量,保证了聚磷菌与反硝化菌在各自适宜环境成为优势菌群,运行结果表明,TN 去除完全可在生物池解决,TN 去除率可稳定在 85%以上。本项目仅在后缺氧池投加少量碳源,节省了成本。生物池 TP 去除率在 80%以上,发现前缺氧池有反硝化除磷现象,原因可能在厌氧/缺氧交替环境下,聚磷菌以硝态氮为电子受体进行了吸磷反应<sup>[11]</sup>。

4)本项目采用富氧气源现场制备臭氧,将无油压缩空气经过冷干处理送入空分系统将氮气和氧气分离,将氧气收集制备臭氧,制得的臭氧额定质量分数为 4%~5%,略低于液氧源系统的 6%~10%,但高于空气源系统的 1%~2%。综合分析发现,现场制备臭氧前期设备费用虽比液氧源系统略大,5 年以后前者减少的综合运行成本已能抵消前期设备费的增加,长期运行前者反而更经济。同时液氧站与周边道路、建筑都有防火间距要求<sup>[12]</sup>,厂区面积狭小,采用液氧源系统不利于厂区平面布置。

5)本项目高效沉淀池及臭氧氧化塔出水处各设置一组 SS、COD 在线监测仪表,与臭氧投加系统联动,可实现臭氧的精准投加。同时,可根据高效沉淀池出水水质,选择不同的超越路线。

6)前端投加臭氧,间接减少了接触消毒池次氯酸钠用量。两种方式的联合,可有效抑制尾水长距

离输送中细菌的滋生,保证了消毒效果。

## 7 结语

(1)工业园区中难降解工业废水,应优先进行分质处理或有效预处理后再接入污水处理厂。

(2)改良型 AAO+AO 工艺脱氮除磷效果好,抗冲击能力强,适用于占地面积较小,对脱氮除磷有较高要求的项目。

(3)深度处理单元是水质达标的关键,采用高效沉淀池+臭氧催化+砂滤+接触消毒,出水稳定,运行成本较低,很适合于工业废水占比高且含有较多难降解有机物,出水标准高的工业园区污水处理厂。

(4)本项目解决了长期存在的水环境污染问题,引入企业落户促进了经济的发展,高品质出水可用做城市杂用水、景观补水等,有效地节约了水源,具有很好的社会效益、环境效益和经济效益。

## 参考文献

- [1] 蒋彬,薛岳. 工业废水与生活污水合并出处理工程的改造与应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(8): 92-95.  
JIANG B, XUE Y. Modification and application of a combined industrial and domestic wastewater treatment project[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(8): 92-95.
- [2] 朱世泰,申丽芬,王广华. 农村生活污水排放标准统计分析及思考[J]. 给水排水, 2022, 58(s1): 113-118.  
ZHU S T, SHEN L F, WANG G H. Statistical analysis on

- discharge standard of rural sewage [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 58(s1): 113-118.
- [3] 高健磊, 翁伟, 闫怡新, 等. 改良 CASS 城镇污水厂处理高比例工业废水的运行 [J]. 工业水处理, 2021, 41(3): 125-128.
- GAO J L, WENG W, YAN Y X, et al. Operation of municipal wastewater treatment plant with improved CASS process for high proportion of industrial wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(3): 125-128.
- [4] 陈民东, 庄贵, 田川川, 等. 胶州市农村环境连片整治项目污水管网设计探讨 [J]. 市政技术, 2021, 39(8): 138-142.
- CHEN M D, ZHUANG G, TIAN C C, et al. Discussion on sewage network design of rural environment contiguous improvement projects in Jiaozhou [J]. Municipal Engineering Technology, 2021, 39(8): 138-142.
- [5] 王忠敏, 孙国亮, 朱四琛, 等. 皖南某乡镇污水处理工程项目设计案例 [J]. 净水技术, 2019, 38(11): 36-41.
- WANG Z M, SUN G L, ZHU S C, et al. Engineering design case of wastewater treatment project of a rural township in southern Anhui [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(11): 36-41.
- [6] 刘堰杨, 唐启亮. 成都市乡镇污水处理厂进水水质特征分析 [J]. 净水技术, 2023, 42(10): 76-86.
- LIU Y Y, TANG Q L. Characteristics of influent wastewater quality in township WWTPs in Chengdu City [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(10): 76-86.
- [7] 王晓莲, 彭永臻. A<sup>2</sup>/O 法污水生物脱氮除磷处理技术与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- WANG X L, PENG Y Z. Sewage biological denitrification and phosphorus removal technology and application in A<sup>2</sup>O process [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [8] 王磊. 反硝化滤池+臭氧活性炭在高标准城镇污水处理厂原位提标改造中的应用 [J]. 净水技术, 2023, 42(7): 160-167, 182.
- WANG L. Application of denitrification filter and ozone activated carbon in in-situ upgrading of high-standard urban WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(7): 160-167, 182.
- [9] 邵辉煌, 李艺, 郭玉梅, 等. A<sup>2</sup>/O 工艺污水处理厂生物除磷研究 [J]. 给水排水, 2015, 51(11): 131-134.
- SHAO H H, LI Y, GUO Y M, et al. Study on biological phosphorus removal in sewage treatment plant of A<sup>2</sup>O process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 51(11): 131-134.
- [10] 李海琳, 王舜和, 梁晓彤. 海南某工业园区污水厂准Ⅲ类水工艺设计 [J]. 环境工程, 2023, 41(s2): 57-59.
- LI H L, WANG S H, LIANG X T. Design of class Ⅲ water process scheme for a sewage treatment plant in an industrial park in Hainan [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(s2): 57-59.
- [11] 马娟, 彭永臻, 王丽, 等. 反硝化除磷技术及其影响因素分析 [J]. 工业水处理, 2009, 29(4): 4-8.
- MA J, PENG Y Z, WANG L, et al. Analysis of denitrification-dephosphorization technology and its influential factors [J]. Industrial Water Treatment, 2009, 29(4): 4-8.
- [12] 刘巨波. 污水处理厂臭氧处理系统的设计要点 [J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 13-18.
- LIU J B. Design key points of ozone treatment system in WWTPs [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 13-18.

## (上接第 165 页)

- DAI M H, LI T, ZHANG W. Pollutant source apportionment of combined sewer overflows using chemical mass balance method [J]. Environmental Science, 2013, 34(11): 4226-4230.
- [9] 房金秀, 谢文霞, 朱玉玺, 等. 合流制面源污染传输过程与污染源解析 [J]. 环境科学, 2019, 40(6): 2705-2714.
- FANG J X, XIE W X, ZHU Y X, et al. Pollutant transport analysis and source apportionment of the entire non-point source pollution process in combined sewer systems [J]. Environmental Science, 2019, 40(6): 2705-2714.
- [10] 张辰, 李春鞠, 陈嫣. 《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)十问十答 [J]. 给水排水, 2022, 58(1): 13-18.
- ZHANG C, LI C J, CHEN Y. Ten questions and answers for standard for design of outdoor wastewater engineering (GB 50014—2021) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 58(1): 13-18.
- [11] 卢小艳, 李田, 董鲁燕. 基于管网水力模型的雨水调蓄池运行效率评估 [J]. 中国给水排水, 2012, 28(17): 44-48.
- LU X Y, LI T, DONG L Y. Performance efficiency of detention tank based on hydraulic model for drainage system [J]. China Water & Wastewater Engineering, 2012, 28(17): 44-48.