



# 改良 Bardenpho+BAF 工艺应用于海产品废水的处理

张开海<sup>1</sup>, 刘增军<sup>1</sup>, 邱林勇<sup>2</sup>

(1. 山东省城建设计院, 山东济南 250021; 2. 诸城市市政公用事业服务中心, 山东潍坊 262200)

**[摘要]** 根据海产品废水水质水量变化大、水质浓度高、可生化性好的特点, 确定某 40 000 m<sup>3</sup>/d 海产品废水主工艺采用改良 Bardenpho+曝气生物滤池(BAF)+絮凝沉淀池+V 型滤池+次氯酸钠消毒, 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。详细介绍了处理工艺流程、各处理单元的设计参数和工艺特点。自 2018 年 3 月正式运行以后, 处理效果非常理想, COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 去除率分别达到 98.66%、98.80%、90.43%、98.90%, 出水各项指标稳定达到标准。

**[关键词]** 海产品加工; 高氨氮; 脱氮除磷; 改良 Bardenpho; 曝气生物滤池

**[中图分类号]** TU992 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)05-0176-04

## Application of improved bardenpho combined BAF process in wastewater treatment of marine products

ZHANG Kaihai<sup>1</sup>, LIU Zengjun<sup>1</sup>, QIU Linyong<sup>2</sup>

(1. Shandong Urban Construction Design Institute, Ji'nan 250021, China;

2. Zhucheng Municipal Public Utilities Service Center, Weifang 262200, China)

**Abstract:** According to the characteristics of high variation of water quality, high concentration and good biodegradability, the main process of a certain 40 000 m<sup>3</sup>/d wastewater with improved Bardenpho+BAF+Flocculation sedimentation tank+V-filter+Sodium hypochlorite disinfection was used to meet the “Municipal Sewage Treatment Plant Pollutant discharge Standard”(GB 18918—2002) first class A standard. The process flow, design parameters of each treatment unit and process characteristics were introduced in detail. Since March 2018, the current operation treatment effect was very ideal, and the COD, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP removal rates reached 98.66%, 98.80%, 90.43%, 98.90%, respectively. The effluent quality indexes were stable and met the standard.

**Key words:** seafood processing; high ammonia nitrogen; nitrogen and phosphorus removal; improved Bardenpho; biological aerated filter

海产品加工、冷藏、冷冻废水, 水质水量波动较大, 含有蛋白质、油脂、泥砂、胶体和各种微生物, 有机物、悬浮物、氨氮、总氮、总磷高, 废水易腐败发臭, 排放水体污染较大, 且容易引起水体富营养化, 同时盐分高、冬季水温低, 生化降解速率慢, 废水处理有一定的难度, 山东某海产品加工污水处理工程采用改良 Bardenpho 和生物接触氧化、曝气生物滤池(BAF)相结合的改良工艺, 该工艺耐低温、耐盐、去碳脱氮除磷效果好。

品加工、冷藏、冷冻、深加工企业废水, 出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准, 设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质

| Table 1 Influent and effluent water quality |       |                  |     |                    |     |      | mg/L  |
|---------------------------------------------|-------|------------------|-----|--------------------|-----|------|-------|
| 项目                                          | COD   | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TN  | TP   | TDS   |
| 设计进水                                        | 1 300 | 700              | 350 | 100                | 140 | 30   | 4 000 |
| 设计出水                                        | ≤50   | ≤10              | ≤10 | ≤5(8)              | ≤15 | ≤0.5 | —     |

### 1 工程概况

该工程设计规模为 40 000 m<sup>3</sup>/d, 主要处理海产

采用预处理+改良 Bardenpho+BAF+絮凝沉淀池+V 型滤池+次氯酸钠消毒工艺, 流程见图 1。

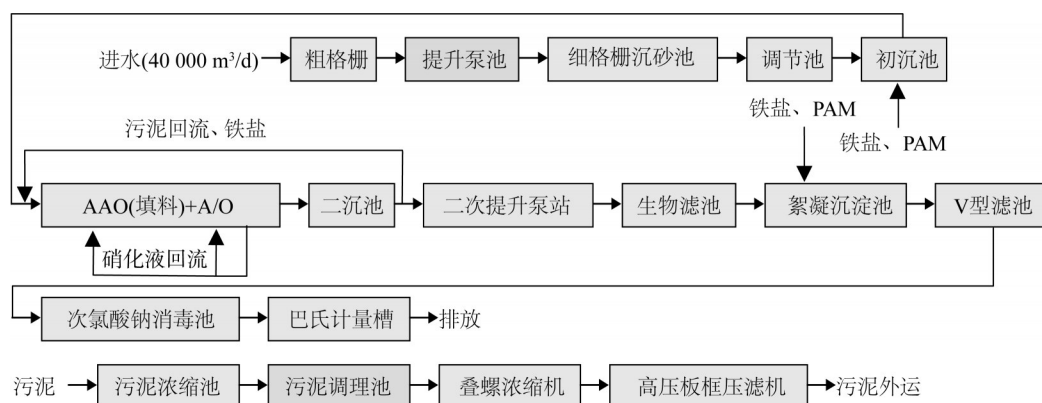


图1 污水、污泥工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater and sludge treatment process

## 2 工艺方案确定

根据海产品废水特点,选择耐低温、耐盐、去碳脱氮除磷能力好的工艺,Bardenpho工艺具有良好的

脱氮能力,脱氮率可达90%以上,为提高去碳脱氮、生物除磷、耐低温、耐盐能力,对Bardenpho进行改良:增加了预缺氧池、厌氧池,兼氧池(增加生物填料)形成了五段生物法,生化池工艺流程见图2。

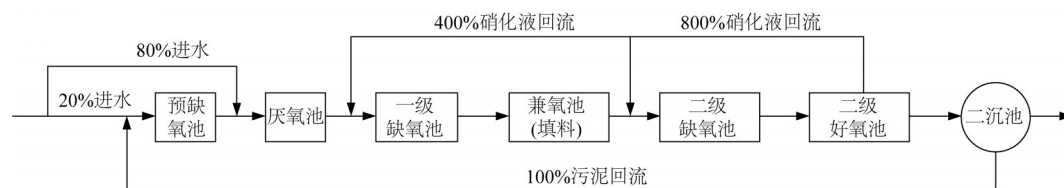


图2 生化池工艺流程

Fig. 2 Flow chart of biochemistry tank

本工程进水水质BOD、TN、TP浓度较高,且波动较大,含有一定的盐分,冬季水温较低,占地面积有限,采用Bardenpho与生物接触氧化相结合,在兼氧区增设填料,填料上附着生物膜增加了生化池污泥量,可提高容积负荷,控制DO在0.5 mg/L左右形成兼氧区,实现吸附碳化去COD和同步硝化反硝化脱氮,同时适应低水温、高含盐量特点。一级好氧区(兼氧区)停留时间较常规Bardenpho短,末端硝化液较少,不设置硝化液回流。二级好氧池后端设置搅拌区,控制好氧池末端的溶解氧,硝化液全部从硝化完全的二级好氧池末端分别回流至一级缺氧池和二级缺氧池。为确保TN、NH<sub>3</sub>-N稳定达标,深度处理增加BAF工艺。

## 2 主要建构筑物和设备选型

(1)预处理。预处理主要包括粗格栅、提升泵站、细格栅、曝气沉砂池、调节池、初沉池等。初沉池:混合区混合时间为1.5 min,絮凝区反应时间为10 min,沉淀池尺寸 $L \times B \times H = 35 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ ,沉淀池表面负荷为 $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设置吸泥机2套。

(2)二级生化处理。二级生化采用Bardenpho和生物接触氧化相结合改良工艺,钢混结构,共有2座,单座尺寸 $L \times B \times H = 90 \text{ m} \times 37 \text{ m} \times 7.7 \text{ m}$ , $\text{HRT}_{\text{总}}$ 为30.67 h,MLSS为4 000 mg/L,污泥龄为17 d。主要包括以下几部分:

①预缺氧区。主要功能是消耗污泥回流液中游离溶解氧和结合态氧,为下一步厌氧释磷创造条件。预缺氧池停留时间为0.78 h,污泥回流比为100%,池内设置1台潜水搅拌机。

②厌氧池。厌氧池主要功能是创造厌氧环境,充分释放磷,为下一步除磷创造条件。厌氧池停留时间为1.56 h,池内设置2台潜水搅拌机。

③一级缺氧池。缺氧池主要功能是抑制丝状菌生长,防止污泥膨胀,完成反硝化脱氮。缺氧池停留时间为4 h,池内设置2台推流器,硝化液内回流比为400%,硝化液从二级好氧池末端回流至一级缺氧池。

④一级好氧池(兼氧池,DO控制在0.5 mg/L左右)。池内增设填料,主要功能是在兼氧环境下,利用微生物降解BOD<sub>5</sub>、同步硝化反硝化反应。兼氧池停留时间为6.93 h,污泥负荷为 $0.66 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (以BOD<sub>5</sub>计)、

设置立体弹性填料为  $2\ 640\text{ m}^3$ , 穿孔曝气管为  $1\ 300\text{ m}$ 。

⑤二级缺氧池。二段缺氧池完成反硝化脱氮, 缺氧池停留时间为  $4\text{ h}$ , 池内设置 2 台推流器, 硝化液内回流比为  $200\%$ , 硝化液从二级好氧池末端回流至二级缺氧池。

⑥二级好氧池。二级好氧池主要功能是在好氧环境下, 利用微生物降解  $\text{BOD}_5$ 、氨氮硝化同时生物除磷, 好氧池停留时间为  $13.4\text{ h}$ , 单位 MLSS 的污泥 BOD 负荷为  $0.10\text{ kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ , 设  $1\ 800\text{ m}$  微孔曝气管。二级好氧池末端设置一级硝化液轴流泵 4 台, 2 用 2 备, 流量为  $700\text{ L/s}$ , 扬程为  $1.5\text{ m}$ , 功率为  $30\text{ kW}$ , 回流至一级缺氧池, 二级好氧池末端设置二级硝化液 PP 泵 2 台, 1 用 1 备, 流量为  $700\text{ L/s}$ , 扬程为  $1.0\text{ m}$ , 功率为  $10\text{ kW}$ , 回流至二级缺氧区。在二级好氧池后端设置 4 台潜水搅拌机, 同时设置微孔曝气管, 根据生化池末端 DO 和氨氮情况合理进行曝气或搅拌调节, 若生化池最末端 DO 质量浓度高 (大于  $2\text{ mg/L}$ ), 后端停止或部分停止曝气, 开启或部分开启搅拌机, 以降低 DO 浓度减少硝化液回流中游离态氧对反硝化效果的影响。

⑦二次沉淀池。共有 2 座, 采用周边进水周边出水辐流式沉淀池。沉淀池尺寸  $D\times H=40\text{ m}\times 4.3\text{ m}$ , 表面负荷为  $0.66\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 沉淀池内设中心传动单管吸泥机。

(3)深度处理。深度处理主要包括二次提升泵站、生物滤池、絮凝沉淀池、V 型滤池、消毒池等, 主要处理构筑物设计参数如下: ①生物滤池。因进水  $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度较高, 波动性较大, 生物滤池的生化

作用, 进一步降低了污水中  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{TN}$  等污染物质浓度, 1 座分 8 格, 过滤总面积为  $512\text{ m}^2$ , 过滤速度为  $3.25\text{ m/h}$ , 池内设陶粒滤料为  $1\ 280\text{ m}^3$ , 可曝气硝化去除氨氮, 不曝气反硝化去除总氮。②V 型砂滤池。V 型砂滤池的过滤作用进一步降低了污水中  $\text{SS}$ 、 $\text{TP}$  等污染物质浓度, 1 座分 4 格, 过滤总面积为  $240\text{ m}^2$ , 过滤速度为  $6.95\text{ m/h}$ , 设石英砂滤料为  $288\text{ m}^3$ 。

(4)污泥处理。生化污泥量 (绝干) 为  $12\text{ t/d}$ , 絮凝沉淀污泥量为  $11.6\text{ t/d}$ , 总污泥量为  $23.6\text{ t/d}$ 。污泥脱水机房: 设置 2 台叠螺浓缩设备、2 套高压隔膜板框压滤机, 单台过滤面积为  $500\text{ m}^2$ , 配套进泥泵、压榨泵、冲洗装置及污泥输送机等。

(5)辅助设施。①鼓风机房。向综合生化池提供生化反应需要的氧气, 生化池气水比为  $18:1$ , 设置螺杆高压鼓风机 8 台, 6 用 2 备, 风量为  $87\text{ m}^3/\text{min}$ , 风压为  $9\text{ MPa}$ , 功率为  $132\text{ kW}$ 。②加氯加药间。向消毒池投加次氯酸钠消毒、脱色, 有效氯投加量为  $10\sim 15\text{ mg/L}$ 。通过向初沉池、生化池和絮凝沉淀池投加  $\text{FeCl}_3$  除磷药剂进行化学沉淀去除, 铁盐总消耗量约为  $5.6\text{ t/d}$ 。

### 3 运行效果分析

该污水处理厂工程于 2016 年 9 月 10 日开工, 2017 年 12 月 30 日完成全部土建施工和设备安装, 2018 年 3 月开始系统的试运行和调试, 采用  $24\text{ h}$  连续运行, 运行 1 个月达标, 2019 年下半年和 2020 年上半年运行监测数据见表 2 (处理水量为  $30\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ , 进水平均 TDS 为  $3\ 051\text{ mg/L}$ , 最高 TDS 达到  $3\ 569\text{ mg/L}$ )。

表 2 进、出水水质与处理效率

Table 2 Influent and effluent water quality and removal efficiency

| 项目          | 生化池水温 | 进水 COD | 出水 COD    | 进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ | 出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ | 进水 TN  | 出水 TN     | 进水 TP | 出水 TP      |
|-------------|-------|--------|-----------|---------------------------|---------------------------|--------|-----------|-------|------------|
| 2019 年 7 月  | 24.6  | 1 875  | 24.4      | 153.9                     | 0.90                      | 190.6  | 12.5      | 42.3  | 0.49       |
| 2019 年 8 月  | 25.9  | 1 624  | 20.3      | 122.5                     | 0.63                      | 159.4  | 13.8      | 40.6  | 0.46       |
| 2019 年 9 月  | 23.5  | 1 923  | 18.9      | 121.3                     | 0.72                      | 170.2  | 13.7      | 40.4  | 0.47       |
| 2019 年 10 月 | 21.3  | 1 602  | 18.0      | 96.6                      | 0.76                      | 154.5  | 14.1      | 44.9  | 0.49       |
| 2019 年 11 月 | 17.9  | 1 683  | 20.0      | 70.0                      | 0.62                      | 139.3  | 13.2      | 43.5  | 0.48       |
| 2019 年 12 月 | 14.9  | 1 394  | 17.4      | 59.2                      | 0.44                      | 156.4  | 14.2      | 42.1  | 0.42       |
| 2020 年 1 月  | 10.6  | 974    | 16.6      | 56.7                      | 0.52                      | 111.5  | 14.6      | 28.9  | 0.39       |
| 2020 年 2 月  | 9.7   | 855    | 17.9      | 62.5                      | 0.92                      | 104.3  | 15.7      | 27.7  | 0.33       |
| 2020 年 3 月  | 11.9  | 1 430  | 23.2      | 68.9                      | 3.80                      | 136.8  | 14.7      | 32.4  | 0.48       |
| 2020 年 4 月  | 14.9  | 1 360  | 16.1      | 85.8                      | 0.70                      | 150.1  | 14.2      | 31.0  | 0.22       |
| 2020 年 5 月  | 19.2  | 1 024  | 15.9      | 69.6                      | 1.50                      | 116.2  | 12.3      | 23.5  | 0.31       |
| 2020 年 6 月  | 23.1  | 1 151  | 17.3      | 80.5                      | 1.10                      | 127.3  | 11.22     | 25.2  | 0.11       |
| 平均          |       | 1 408  | 18.83     | 87.29                     | 1.05                      | 143.05 | 13.69     | 35.21 | 0.39       |
| 标准          |       | —      | $\leq 50$ | —                         | $\leq 5(8)$               | —      | $\leq 15$ | —     | $\leq 0.5$ |

注: 除生化池水温单位为  $^{\circ}\text{C}$  外, 水质指标单位均为  $\text{mg/L}$ 。

由表2可知,该系统对海产品废水的适应性较好,各项指标基本稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,尤其是对COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 处理效果非常理想,COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均去除率分别达到98.66%、98.80%,出水COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别稳定在20 mg/L和1.5 mg/L以下,分别达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类和Ⅳ类标准;进水TN浓度较高,系统在未外加碳源的情况下,TN去除率达到90%以上,绝大部分时间出水TN稳定在15 mg/L以下,2020年2月出水TN稍有超标,主要原因进水水温较低(6℃左右),经过预处理加盖+微孔曝气,生化池温度有所提升,但水温仍然偏低(在10℃左右),同时受春节放假影响进水C/N有所下降,引起TN去除效果受到影响,出水略有超标;进水TP在25.2~44.9 mg/L波动,系统对TP去除效果较好,生物系统对TP的去除跟进水COD和排泥有关,刚开始调试时,排泥较少,生化作用对TP几乎达标去除,随着污泥浓度的逐渐增加,生化系统对TP的去除效果稍差,系统稳定后生物除磷约为50%左右,通过在初沉池、生化池、絮凝沉淀池采用多点除磷剂投加进行化学除磷,进水TP有一定波动,投加量也有一定的波动,三处铁盐投加量分别约为30~50 mg/L、30~50 mg/L、80~100 mg/L,化学污泥约为8~11 t/d,生化污泥约为9~12 t/d,总污泥产生量约为17~23 t/d。另外,污水处理厂进水温度冬季较低,最不利月2020年2月进水水温在6℃左右,经过预处理加盖+微孔曝气后生化池水温有3~5℃的提高,分析主要原因如下:生化池有效水深7.7 m,鼓风机风压0.9 MPa,实际运行气水比达到30:1,压缩升温的空气对进水加温提高温度较大。

#### 4 运行经验总结

(1)海产品加工废水,可生化性较好,B/C能够达到0.5以上,大部分属于易生物降解COD,难降解COD较低,同时氨氮浓度较高,生化池应保证充足的氧气供应,本工程生化池水深7.7 m,采用氧利用率较高的微孔曝气和能耗较低的螺杆鼓风机,充分节能降耗,刚开始运行时进水浓度高,在75%水量负荷率下鼓风机需全部开启,气水比最高时达到30:1,远远大于常规生活污水处理厂气水比为4:1~8:1,随着环保监管的不断加强,进水水质逐渐趋于稳定,进水水质应控制在设计水质附近,鼓风机曝气量基本趋于正常,但满负荷时也存在一定风量紧张的风险,建议考虑更换2台风量大的风机,提高鼓风机曝气能力,同时核算变压器容量,若进水

水质不能控制,建议做扩建准备。

(2)海产品加工冷藏冷冻废水冬季水温较低(6℃左右),应采取措施提高水温,本工程采用微孔曝气,增加水深,风压较大,较大的气量对水温有提高功能,同时预处理采用加盖除臭,能将水的温度提高3~5℃,但冬季水温仍然偏低,对硝化反硝化有一定影响,应考虑扩大缺氧时间、降低污泥负荷等降低影响。

(3)海产品加工废水含盐量较高,设计时应考虑耐盐设计,采用较低的污泥负荷,生化池增加填料,提高系统的盐度影响,同时选用耐腐蚀材质(SUS316、玻璃钢、PE等)。

(4)海产品加工废水污泥产量较大,生化污泥(约为9~12 t/d)和化学污泥(8~11 t/d)均较大,尤其进水总磷浓度较高,应控制合适的污泥龄(20 d左右),生物除磷能够达到50%左右的去除率,大量的TP需要化学沉淀去除,本工程通过在预处理、生化池、絮凝沉淀池采用多点除磷剂投加,确保TP稳定达标,进水TP有一定波动,投加量也有一定的波动,三处铁盐投加量约为30~50 mg/L、30~50 mg/L和80~100 mg/L。生化污泥和化学污泥均不容易沉降,二沉池应选用较低的表面负荷,同时深度处理絮凝沉淀池也应采用比较低的表面负荷。

(5)海产品加工废水产生污泥不容易脱水,应选用效果较好的板框脱水机进行脱水,同时污泥产生量大,下一步随着水量的不断增加,应加强环保监督控制进水浓度,同时考虑增加脱泥设施以满足脱泥需要。

#### 5 经济分析

该污水处理厂占地36 000 m<sup>2</sup>,工程总投资12 431.15万元。其中第一部分费用9 585.86万元,第二部分费用1 603.03万元,基本预备费895.11万元,建设期贷款利息为207.24万元,流动资金139.91万元。实际运行平均经营成本1.13元/m<sup>3</sup>,平均总成本1.45元/m<sup>3</sup>,处理单位污水电耗0.81 kW·h/m<sup>3</sup>。

#### 6 结论

采用改良Bardenpho+BAF+絮凝沉淀池+V型滤池+次氯酸钠消毒工艺处理海产品废水,有较好适应性,去碳脱氮除磷效果好,值得推广应用。

[作者简介] 张开海(1978—),硕士,教授级高级工程师。电话:18660173001,E-mail:zhk78@126.com。

[收稿日期] 2022-03-21(修改稿)