

设计经验

## 青岛城阳某污水处理厂多级 AO 工艺的工程应用

李国金<sup>1</sup>, 李霞<sup>2</sup>, 王继苗<sup>3</sup>, 郭淑琴<sup>1</sup>, 曲勇<sup>3</sup>, 周正印<sup>1</sup>

(1. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300392; 2. 天津理工大学 环境科学与安全工程学院, 天津 300384; 3. 青岛正阳水务有限公司, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 青岛城阳某污水处理厂三期工程设计水量为  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用四级 AO 及内碳源开发工艺。对各单元工艺设计进行了详细介绍, 并与二期工程采用的三级 AO 工艺进行了污染物去除率对比。结果表明, 三期工程出水指标完全达到一级 A 排放标准。COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 的去除率分别达到 92.2%、96.1%、95.9%、98.5%、69.2%、96.2%, 与二期投加填料的三级 AO 工艺的污染物去除率基本相当, 但三期工程鼓风电耗明显降低, 仅为  $0.065 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ , 鼓风机曝气部分相对于二期工程节能 58%。

**关键词:** 多级 AO; 分段进水; 优化设计; 节能降耗; 内碳源

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0040-05

## Project Application of Multi-stage A/O Process in a Wastewater Treatment Plant in Chengyang, Qingdao

LI Guo-jin<sup>1</sup>, LI Xia<sup>2</sup>, WANG Ji-miao<sup>3</sup>, GUO Shu-qin<sup>1</sup>, QU Yong<sup>3</sup>, ZHOU Zheng-yin<sup>1</sup>

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China; 2. School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China; 3. Zhengyang Water Affairs Co. Ltd., Qingdao 266109, China)

**Abstract:** The process of four-stage A/O and internal carbon source exploration was adopted in the third-phase project of a wastewater treatment plant in Chengyang, Qingdao. The design capacity was  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The detail design process of each unit in the third-phase project was introduced, and the removal rate of pollutants was compared with the three-stage A/O process in the second-phase project. The results showed the effluent indexes of the three-stage A/O could meet the first level A emission standard. The removal rate of COD, BOD<sub>5</sub>, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP reached 92.2%, 96.1%, 95.9%, 98.5%, 69.2% and 96.2% respectively. Compared with the three-stage A/O with packing in the second-phase project, the pollutant removal rate was almost the same. While the power consumption of the third-phase project was only  $0.065 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ , which was decreased by 58% to the second-phase project.

**Key words:** multi-stage A/O process; step-feed; optimal design; energy saving; internal carbon source

青岛城阳某污水处理厂总处理规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一、二、三期各  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中一、二期工程分别于 2002 年、2008 年建成通水,并同时于 2010 年进行一级 A 升级改造。三期工程于 2016 年建成通水,出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准。

三期工程占地为  $6.0 \text{ hm}^2$ ,总投资为 17 649.52 万元,其中建筑安装费为 12 933.49 万元。

### 1 工艺流程

本工程一期采用 ICEAS 工艺,二期采用传统  $\text{A}^2\text{O}$  工艺。2010 年一、二期工程同时进行升级改造,一期改造采用 SBR/MBBR 法,二期改造采用三级 AO 工艺,均取得成功<sup>[1,2]</sup>。

三期工程结合二期改造工程运行反馈采用了多级 AO 工艺。多级 AO 工艺作为一种高效的生物脱氮除磷工艺,具有所需池容较小、脱氮效率高、抗冲击负荷能力强等优点<sup>[3]</sup>,其在池容、流量分配、内回流和停留时间等参数选取及工程实际上也有一定的研究成果及案例<sup>[2,4,5]</sup>。

分段进水多级 A/O 工艺由多个串联 A/O 组成。根据二期运行反馈其出水水质稳定高效,有较强的耐冲击负荷能力,特别是对于 C/N、C/P 比不是特别高的污水,更能显示工艺的优越性。

三期出水标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准,其设计进、出水水质见表 1,采用的工艺流程见图 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

| 项 目 | mg · L <sup>-1</sup> |                  |     |                     |    |     |
|-----|----------------------|------------------|-----|---------------------|----|-----|
|     | COD                  | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> - N | TN | TP  |
| 进水  | 340                  | 110              | 300 | 38                  | 45 | 5.5 |
| 出水  | 50                   | 10               | 10  | 5(8)                | 15 | 0.5 |

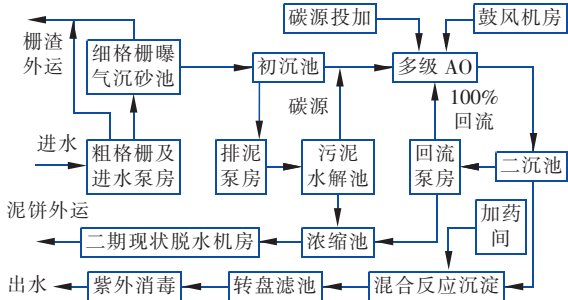


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

## 2 主体构筑物设计

### 2.1 粗格栅及提升泵房

三期厂外进水主干管采用 DN1 200 球墨铸铁管道,并与一、二期进水主干管道连通,可调节三个厂的进水水量,并在总入口处设置溢流,便于厂内两路电源均发生故障时不淹没进水泵房负一层,安全保障度更高。

进水提升泵房由进水前池和集水池组成,为地上一层、地下两层结构,配备离子除臭装置,环境友好。

集水池前进水渠道设 2 台高链式格栅(1 用 1 备),单台 1.1 kW,格栅间隙为 20 mm,栅宽为 2 m,格栅高度为 1.8 m,安装角度为 75°。配套 DN320 无轴螺旋输送机一台, $N = 1.5 \text{ kW}$ ,输送能力为  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。栅渣经压实脱水后外运。

集水池内设置潜污泵 5 台,单泵  $Q = 1\ 100 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 180 \text{ kPa}$ , $N = 90 \text{ kW}$ ,为节约能耗,均设置变频。为避免潜污泵泵坑积砂,集水池内设反冲泵一台,兼作放空泵使用。

另外,实际运行反馈,目前集水池内运行液位高于设计常液位,主要是因为工程位于海边,地下水水位较高,海水入侵渗入污水管网量大,氯离子含量高影响生物反应,所以靠提升泵站内液位减少海水入渗污水管网。

### 2.2 细格栅及曝气沉砂池

进水泵房至细格栅采用 5 根 DN500 碳钢管道,通过 5 个非淹没堰后至细格栅渠道。非淹没堰堰顶高于堰后水位 0.25 m,有效防止水量波动造成回水。

细格栅采用回转式格栅除污机 2 台,单台栅宽为 1.6 m,栅条间距为 5 mm,功率为 1.5 kW。配套 DN320 无轴螺旋输送机一台, $N = 1.5 \text{ kW}$ ,输送能力为  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

曝气沉砂池 1 座,分为 2 格,中间设置超越渠道。平均流量停留时间为 6.9 min,高日高时流量停留时间为 5 min,曝气量为  $0.2 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。水平流速为  $0.07 \text{ m/s}$ 。吸砂桥 2 套,单套渠宽为 3.25 m,水深为 3.45 m,配套设置吸砂泵和冲洗泵。

### 2.3 初沉池

设 2 座直径为 28 m、池边有效水深为 4.35 m 的中进周出辐流式沉淀池。高日高时表面水力负荷为  $2.34 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,均日停留时间为 2.56 h。

采用单条集水渠双侧三角堰出水,在内侧设置浮渣挡板和浮渣斗。刮泥机为半桥式周边传动刮泥机,单机功率为1.1 kW。

本工程进水碳源不足,以往类似项目均采用减少初沉池停留时间,甚至不设置初沉池等方式尽量保留碳源。本项目中采取尽量增加初沉池停留时间,减少初沉排泥的办法改善污水生化性能,经过二期及三期的运行检验,效果良好。

## 2.4 多级AO反应池

近期设置2座四级AO池,采用矩形钢筋混凝土,推流池型。总停留时间为15.5 h。设计水温为10℃,泥龄为14 d,设计进水比例分别为20%、30%、30%、20%。四级反应池平均MLSS分别为5 800、4 670、3 890、3 500 mg/L,剩余污泥产率为0.91 kgDS/kgBOD<sub>5</sub>。污泥负荷为0.079 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d),外回流比为50%~100%,不设置内回流。气水比为6.8:1。

每座反应池第一缺氧段、厌氧段、第二缺氧段各设置2台(单台5.5 kW)潜水搅拌机,第三缺氧段设置2台(单台10 kW)潜水搅拌机,第四缺氧段设置4台(单台5.5 kW)潜水搅拌机;好氧区域设置3 840个微孔曝气盘,单盘曝气量为2.5 m<sup>3</sup>/(个·h)。

两座反应池共用中间管廊,上部设置采光窗。管廊将进水分配支管、空气管、连通管、污泥回流管道布置其中,便于管理。管廊内实景见图4。



图2 管廊实景

Fig.2 Real scene of pipe gallery

## 2.5 二沉池及回流污泥泵房

设2座直径为40 m、池边有效水深为4.4 m的周进周出辐流式沉淀池。高日高时表面水力负荷为1.14 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),停留时间为3.85 h。每座设1台单管吸泥机,单机功率为0.37 kW。

由设置在回流污泥泵房内的4台轴流泵提升回流污泥,送至反应池前端,单泵流量为625 m<sup>3</sup>/h,扬程为35 kPa;同时,回流污泥泵房内设置2台剩余污泥泵(1用1备),单泵流量为80 m<sup>3</sup>/h,扬程为150 kPa,将剩余污泥泵送至污泥贮存池,部分回流至初沉池。

## 2.6 初沉污泥水解池

近年来,基于利用污水厂“内碳源”的污泥水解技术正逐步在国内外得到研究和工程化应用<sup>[6]</sup>。本工程碳源不足,为保证出水TN达标,尽量降低外加碳源投加量,通过初沉污泥水解进行内碳源开发。设1座直径为12 m、池边水深为3 m的初沉污泥水解池,停留时间为42 h,浓缩后污泥含水率可降至95%。采用完全混合发酵工艺、圆形浓缩池池型。发酵上清液回流至生物池。

## 2.7 混合反应沉淀池

由于本工程出水标准为一级A,所以在二级反应的基础上,增设深度处理工艺,深度处理采用混合反应沉淀过滤+转盘过滤工艺。

混合反应沉淀池由混凝区、絮凝区、平流沉淀区及泥渣回流系统和剩余泥渣排放系统组成。混合时间为101.5 s,絮凝时间为15 min,斜管沉淀部分表面负荷为7.34 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

混合池设置快速搅拌机2台,单台直径为2.5 m,絮凝池设慢速搅拌机4台,单台直径为3.0 m。沉淀池设置2台中心驱动刮泥机,单台Ø14 m。

## 2.8 转盘滤池、紫外消毒渠

转盘滤池及紫外消毒渠置于一座建筑物内,建筑物平面尺寸为19.6 m×16.0 m。考虑到检修时正常产水,转盘过滤共设置3格,每格设1组纤维转盘过滤器,每组10片直径为3 m的纤维转盘,单组有效过滤面积为264 m<sup>2</sup>,设计最大滤速为15 m/h。设计进水SS≤20 mg/L,平均出水SS≤5 mg/L,水头损失为5 kPa。每组转盘设置一台0.75 kW的旋转驱动电机,设2台2.2 kW的反冲洗泵。

## 2.9 鼓风机房

全厂设一座鼓风机房,与加药间、变配电间合



建。建筑物平面尺寸为42.6 m×12.0 m。

内设3台空气悬浮离心鼓风机(2用1备),单机风量为9 300 Nm<sup>3</sup>/h,风压为73 kPa,电机功率为240 kW。鼓风机进气的取风口设计为低位进行百叶取风,在墙壁高位设置轴流风机4台,单台风量为1 700 m<sup>3</sup>/h,功率为0.37 kW,叶轮直径为315 mm;在屋顶高位设置了2套屋顶轴流风机,单台风量为5 300 m<sup>3</sup>/h,功率为0.75 kW,叶轮直径为400 mm。轴流风机与取风百叶高低呼应,通过强制对流的方式换风,经实践检验这种方式降温效果较好。

## 2.10 污泥浓缩脱水机房

本次未建设浓缩脱水机房。三期初沉、剩余、化学污泥总量为14.28 t干泥/d,混合后含水率约为99%,排放至二期现状浓缩脱水机房进行处理。

二期工程现状共有4台机位,已安装3个机位,为卧螺浓缩脱水一体机,单台流量为35~40 m<sup>3</sup>/h。

本次改扩建二期脱水机房。在二期脱水机房内新增一台脱水机并更换PAM制备装置等附属设备

新增1台离心浓缩脱水一体机,处理量为40 m<sup>3</sup>/h,功率为105 kW;配套1台单螺杆泵进料泵,流量为80~100 m<sup>3</sup>/h,出口压力为350 kPa,电机功率为22 kW。

絮凝剂选用聚丙烯酰胺,按5 g/kgDS计算,配药浓度为0.2%,药液经二次稀释至0.1%后投加,新增干粉投加能力为15 kg/h的絮凝剂制备装置一套,配套设置PAM加药泵。

## 2.11 加药间

加药间设置铁盐、乙酸钠药剂投加装置,分别用于除磷及补充碳源。

除磷药剂采用液体三氯化铁(含量为41%),化

学除磷量为1.0 mg/L,设计三氯化铁投加能力为60 mg/L;碳源采用液体乙酸钠(含乙酸钠30%),原液投加,设计投加能力为0.65 m<sup>3</sup>/h。

铁盐投加泵采用螺杆泵3台(2用1备),单台流量为250 L/h,扬程为300 kPa,功率为0.75 kW;乙酸钠加药泵采用液压隔膜计量泵3台(2用1备),单台流量为1 000 L/h,扬程为300 kPa,功率为0.75 kW。

为了创造安全的操作环境,加药间墙壁高位设置轴流风机4台,单台风量为1 700 m<sup>3</sup>/h,功率为0.37 kW,叶轮直径为315 mm。

## 2.12 初沉污泥泵房

初沉池的排泥方式为间歇排泥,单池每天排泥时间为6~8 h。全厂设两台污泥单螺杆泵(1用1备),单台流量为30~70 m<sup>3</sup>/h,出口压力为150 kPa,电机功率为15 kW。

原设计有泵房内集泥池,初沉污泥通过管道由初沉池排入集泥井,再通过螺杆泵从集泥池抽送排放;经过一段时间的运行,发现由于连通管道直径较小,管道容易堵塞,后将集泥池取消,改为螺杆泵从连通管直接抽送排放初沉污泥,改后未发生堵塞现象。

## 3 运行效果

本厂二期工程传统A<sup>2</sup>O工艺于2010年采用三级AO工艺进行改造,改造后总停留时间为13.73 h,省却硝化液回流,并在第二段和第三段好氧区投加悬浮填料,流量分配比约40:30:30。

为了验证三期四级AO的运行效果,将2016年9月1日—31日二期、三期的运行数据进行了对比(见表2)。

表2 二期、三期运行数据

Tab.2 Operation data of second-phase and third-phase project

| 项目 | 水量/<br>(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) |      | COD/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) |        | BOD <sub>5</sub> /<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) |       | SS/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) |       | NH <sub>3</sub> -N/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) |      | TP/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) |      | TN/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) |       | 鼓风耗电/<br>(kW·h·m <sup>-3</sup> ) |       |
|----|---|------|-------------------------------|--------|---|-------|------------------------------|-------|--|------|------------------------------|------|------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
|    | 二期  | 三期   | 二期                            | 三期     | 二期  | 三期    | 二期                           | 三期    | 二期   | 三期   | 二期                           | 三期   | 二期                           | 三期    | 二期                               | 三期    |
| 进水 | 5.14  | 5.58 | 466.38                        | 496.02 | 141.0                                       | 138.8 | 132.6                        | 133.7 | 38.9   | 36.5 | 8.88                         | 6.59 | 48.5                         | 44.0  | 0.158                            | 0.065 |
| 出水 | 5.04  | 5.44 | 25.80                         | 27.34  | 4.1   | 4.3   | 3.98                         | 4.48  | 0.55   | 0.54 | 0.16                         | 0.19 | 13.06                        | 13.06 |                                  |       |

从表2可以看出,三期工程出水指标完全达到一级A排放标准。COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP的去除率分别达到92.2%、96.1%、95.9%、98.5%、69.2%、96.2%。与二期投加填料的三级AO工艺的污染物去除率基本相当,但三期工程鼓

风电耗明显降低,仅为0.065 kW·h/m<sup>3</sup>,鼓风机曝气部分相对于二期工程节能58%。

## 4 设计及运行总结

实际运行结果表明现状出水优于设计出水标准,并且鼓风机曝气较二期工程节能58%,体现了设

计的合理性、节能性。

设计及运行经验总结如下:

① 针对滨海地区地下水氯离子含量高,从而影响生化反应的情况,本工程采取提高进水泵房工作液位,减少地下水入渗管网的做法切实可行,效果良好。

② 针对多级AO的计算问题,文献均假设前一段硝化产生的硝态氮在随后的缺氧段完全反硝化。实际运行中的污水厂难以做到,因此本工程根据实际进水水质及二期工程运行情况反馈,以第1、2、3缺氧末端出水硝态氮浓度为8、10 mg/L分别进行试算,最终确定分段反应池容积,更为符合实际情况。

③ 针对四段AO每段停留时间较短,是否会造成因为环境变换频繁影响微生物活性,从而降低去除率的问题,经过实际取样分析,在合理控制前段好氧区域末端溶解氧的情况下,缺氧段始端沿廊道方向5 m左右即可恢复缺氧环境,发挥反硝化功能,具体数据尚在分析整理中。

④ 采用“内碳源”开发利用工艺提高生物反应池C/N比。

⑤ 三期鼓风曝气部分相对节能的主要原因:一是使用的悬浮风机机械效率更高;二是选用高氧利用率的曝气设备;三是由于没有投加填料,节省了筛网吹扫的能耗(二期有专门的管道连接鼓风机空气管,吹填料筛网,避免填料聚集、堵塞拦截筛网)。

#### 参考文献:

- [1] 朱云鹏,黄东辉,王继苗,等. 采用SBR/MBBR法改造ICEAS工艺的效果分析[J]. 中国给水排水,2011,27(19):13-16.  
Zhu Yunpeng, Huang Donghui, Wang Jimiao, et al. Efficiency analysis of ICEAS process reconstruction using SBR/MBBR[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(19):13-16(in Chinese).
- [2] 朱云鹏,彭永臻,王继苗,等. 改良A<sup>2</sup>/O分段进水工艺用于污水厂升级改造[J]. 中国给水排水,2012,28(7):22-26,31.  
Zhu Yunpeng, Peng Yongzhen, Wang Jimiao, et al. Modified step-feed A<sup>2</sup>/O process for upgrade and reconstruction of WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28

(7):22-26,31(in Chinese).

- [3] 王伟,彭永臻,孙亚男. 污泥回流比对分段进水A/O生物脱氮工艺的影响[J]. 中国环境科学,2008,28(2):116-120.  
Wang Wei, Peng Yongzhen, Sun Yanan. The influence of sludge recycle ratio on the step-feed A/O biological nitrogen removal process[J]. China Environmental Science, 2008, 28(2):116-120(in Chinese).
- [4] 王舜和,郭淑琴,魏新庆. 分段进水多级A/O工艺计算与探讨[J]. 中国给水排水,2014,30(18):81-85.  
Wang Shunhe, Guo Shuqin, Wei Xinqing. Discussion on step-feed multi-stage A/O process calculation[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18):81-85(in Chinese).
- [5] 王舜和,郭淑琴. 天津市张贵庄污水处理及再生利用一期工程设计[J]. 中国给水排水,2013,29(8):52-55,59.  
Wang Shunhe, Guo Shuqin. Design of first-phase project for wastewater treatment and reclamation at Tianjin Zhangguizhuang[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(8):52-55,59(in Chinese).
- [6] 李伟,李玉庆,张建,等. 天津市某大型污水处理工程设计特点[J]. 中国给水排水,2012,28(14):51-54.  
Li Wei, Li Yuqing, Zhang Jian, et al. Design characteristics of a large-scale wastewater treatment plant in Tianjin[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(14):51-54(in Chinese).



作者简介:李国金(1980-),男,河北承德人,硕士,高级工程师,主要从事水处理研究及设计工作。

E-mail:tju\_liguojin@126.com

收稿日期:2017-09-21