

# 多级 AO 与多模式 AAO 工艺在污水厂的应用对比

王舜和, 李 朦, 郭淑琴

(天津市市政工程设计研究院, 天津 300392)

**摘要:** 天津市宁河区城市污水处理厂现状工程规模为  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中一期工程规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用厌氧+百乐克工艺, 二期工程规模同为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用多模式 AAO 工艺。本次改造工程出水标准由一级 A 排放标准提升至天津市地标 A 标准, 工程中拆除一组百乐克生物池, 新建多级 AO 生物池, 同时新建反硝化滤池和臭氧催化氧化池作为深度处理工艺, 实现整体提标。由于新建的多级 AO 生物池与二期多模式 AAO 池设置在一个厂内, 两者设计规模、进水水质完全相同, 具有很好的对比条件, 由此, 对项目设计参数和运行数据进行了详细总结。从运行效果看, 多模式 AAO 工艺除磷效果占优, 多级 AO 工艺脱氮效果占优, 工程所积累的宝贵经验对两种工艺的发展和推广具有十分重要的促进作用。

**关键词:** 多级 AO; 百乐克工艺; 多模式 AAO

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0048-05

## Application and Comparison between Multistage AO and Multi-mode AAO in Wastewater Treatment Plant

WANG Shun-he, LI Meng, GUO Shu-qin

(Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China)

**Abstract:** The treatment capacity of Tianjin Ninghe Municipal Wastewater Treatment Plant was  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The scale of the first phase project was  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  and anaerobic + BIOLAK process was applied. The scale of the second phase project was also  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  and the multi-mode AAO process was applied. The standard of effluent in the wastewater treatment was required from class A of national discharge standard to class A of Tianjin local limit. In the renovation project, one BIOLAK treatment stage was replaced by multistage AO, and the denitrification deep-bed filter and ozone catalytic oxidation process were constructed as advanced treatment process. The new multistage AO biological process has the same design scale and the standard of influent as multi-mode AAO process. So these two process have good contrast conditions. In this project, the design parameters and running data were summarized in detail. The effect of phosphorus removal in the multi-mode AAO process was better and nitrogen removal in the multistage AO process was better. The valuable experience accumulated in the project will be of great importance to the development and promotion of the multistage AO and multi-mode AAO process.

**Key words:** multistage AO process; BIOLAK process; multi-mode AAO process

### 1 工程概况

宁河区位于天津市东北部, 地处京津唐城市群中间地带。区下辖 11 个镇, 其中芦台镇是宁河区人民政府所在地, 是宁河区政治、经济、文化中心, 也是

天津市重点规划的十一座新城之一。芦台镇目前已建成两座污水处理厂, 分别为宁河区城市污水处理厂和宁河区桥北污水处理厂。宁河区城市污水处理厂一、二期工程规模各为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 总规模为 6

$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中一期工程于 2009 年投产,采用厌氧+百乐克工艺,二期工程于 2015 年投产,采用多模式 AAO 工艺<sup>[1]</sup>,出水标准为一级 A 排放标准。

2015 年 10 月 1 日天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)正式开始实施,根据该标准,宁河区城市污水处理厂 2018 年 1 月 1 日起需按照 A 类出水标准运行。因此必须对污水厂进行工艺改造,其出水标准由国标一级 A 提升至天津市地标 A 标准。根据厂内运行情况,本工程采用拆除一组百乐克生物池新建多级 AO 生物池,同时新建反硝化滤池和臭氧催化氧化池实现整体提标。新建的多级 AO 生物池<sup>[2,3]</sup>首先实施建成,至今已运行一段时间。由于其与二期多模式 AAO 池设置在一个厂内,两者设计规模、进水水质完全相同,具有很好的对比意义。

## 2 工程设计方案

### 2.1 设计水质

本工程设计进、出水主要指标如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项 目	mg · L <sup>-1</sup>					
	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
进水	250	500	250	35	50	4
一级 A 标准	≤10	≤50	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5
地标 A 标准	≤6	≤30	≤5	≤1.5(3)	≤10	≤0.3

### 2.2 工艺技术路线

#### ① 厂区现状工艺流程

2014 年宁河区城市污水厂实施二期扩建及一期提标工程后,其中预处理自粗格栅至曝气沉砂池为两期项目共用;一期工程建设的厌氧池+百乐克曝气池、二沉池、消毒池未做改动;二期工程新建一组多模式 AAO 生物池及周进周出二沉池,新建的  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的絮凝沉淀池和精密过滤机房为两期项目共用。本工程建成运行后出水已稳定达到一级 A 标准。

#### ② 本次提标改造技术路线

根据天津市新标准要求,结合天津市其他项目建设经验,本次提标主要难点集中在 COD、SS 和 TN 的处理。分析现状工艺流程,精密过滤器为一体化机械设备,其过滤效果取决于内部筛网的孔隙,根据运行经验,该设备无法实现  $\text{SS} \leq 5 \text{ mg/L}$  的设计目标,为此需增加更为高效的过滤工艺,本工程推荐采

用深床反硝化滤池工艺。而 COD 的进一步深度处理通常采用高级氧化工艺,本工程推荐采用臭氧催化氧化工艺。对于 TN 的处理,由于一期工程采用的百乐克工艺运行效果较差,在进水 TN 平均为  $30 \text{ mg/L}$  的情况下,出水 TN 在  $15 \text{ mg/L}$  以上。如果不对生物池系统进行改造,全部依赖深床反硝化滤池,则乙酸钠药剂成本增量较大,一旦控制不精确还可能造成出水 COD 上升,对运行管理造成较大风险。综合以上考虑,本次提标建议拆除一组百乐克生物池,释放出的用地用于建设一组多级 AO 生物池,提高生物系统的处理效率,缓解深度处理压力。改造后的工艺流程如图 1 所示。

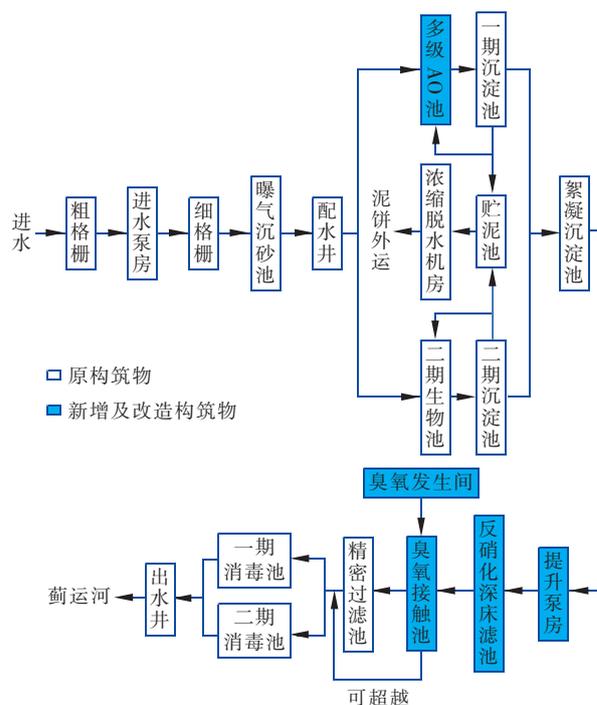


图 1 提标改造后工艺流程

Fig. 1 Flow chart process of renovation project

### 2.3 新增深度处理主要构筑物及设计参数

#### 2.3.1 反硝化深床滤池

本工程新建反硝化滤池深度处理系统,滤池设计进水水质: $\text{SS} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 6 \text{ mg/L}$ ,设计出水水质: $\text{SS} \leq 5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 6 \text{ mg/L}$ 。

滤池设计规模为  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计为 6 格,尺寸为  $52.3 \text{ m} \times 29.2 \text{ m}$ 。系统内设置废水池和清水池以及提升泵房。清水泵自清水池取水反洗,用于滤池反冲洗和驱除氮气;废水池用于调节反冲洗的

水量。配有1套反冲洗系统,含反冲洗水泵、反冲洗风机和反冲洗废水排放泵等。提升泵房通过产水管收集滤后水并依靠潜污泵将滤池出水提升进入后续处理构筑物,滤池全部水头损失约26 kPa。反硝化滤池滤床深度约1.8 m,峰值滤速为8.3 m/h,平均滤速为6.3 m/h。气冲强度为 $83.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水冲强度约 $14.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

### 2.3.2 臭氧催化氧化系统

臭氧催化氧化单元设计进水水质:SS $\leq 5 \text{ mg/L}$ 、COD $\leq 40 \text{ mg/L}$ ,设计出水水质:SS $\leq 5 \text{ mg/L}$ 、COD $\leq 30 \text{ mg/L}$ 。

新建臭氧催化氧化池尺寸约为 $27.5 \text{ m} \times 20.8 \text{ m}$ ,分为2个系列,每个系列含3格串联的臭氧氧化池。设计总停留时间为45 min,设计臭氧投加总量为 $15 \text{ mg/L}$ ,其中第一段臭氧投加量为 $8 \text{ mg/L}$ ,氧化时间为15 min;第二段投加 $3.5 \text{ mg/L}$ ,氧化时间为15 min;第三段投加 $3.5 \text{ mg/L}$ ,氧化时间为15 min。臭氧催化氧化池设有催化剂及高效臭氧溶气装置。采用3台 $25 \text{ kg/h}$ 臭氧发生器(2用1备),平均臭氧投加量约为 $20 \text{ mg/L}$ ,最大臭氧投加量约为 $30 \text{ mg/L}$ ,配套气源采用液氧源。

## 3 生物池设计对比

改造前百乐克生物池共有2个系列,本次保留西侧系列,作为应急储存池,将东侧系列拆除,新建多级AO生物池。由于在工程实施过程中,西侧生物池仍要保证运行,新建多级AO生物池应尽量向东侧靠近并减少埋深,以降低施工影响,这也成为新建生物池尺寸的限制性因素。

多级AO生物池和多模式AAO生物池主要设计参数对比如表2所示。

表3 多级AO与多模式AAO工艺进、出水水质对比

Tab.3 Comparison of influent and effluent quality between multistage AO and multi-mode AAO  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	
进水范围	55~291	49~152	22~340	5.3~21.8	11.3~31	1.1~4.7	
一期多级AO	出水范围	7.2~42.2	0.9~4.4	1~18	0.17~4.15	4.3~19.6	0.3~0.99
	出水平均	21.8	2.6	5	1.01	10.1	0.70
二期多模式AAO	出水范围	9.6~39.6	1.2~4.6	1~17	0.09~4.95	4.5~14.9	0.09~0.58
	出水平均	18.6	2.2	3	0.95	11.3	0.44
出水一级A标准	$\leq 50$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5(8)$	$\leq 15$	$\leq 0.5$	

根据上述统计数据,归纳如下:

① 多模式AAO工艺对COD的处理效果比多级AO工艺略优。

表2 多级AO池与多模式AAO池参数对比

Tab.2 Parameters comparison between multistage AO and multi-mode AAO

项目	新建多级AO生物池	二期多模式AAO生物池
设计规模/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	3	3
池型构造	三段式多级AO	厌氧+缺氧+好氧
设计污泥浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	第一级5900 第二级4700 第三级4000	4000
有效池容/ $\text{m}^3$	20132	23894
外形尺寸/ ( $\text{m} \times \text{m} \times \text{m}$ )	$93.6 \times 39.7 \times 6$ (有效水深)	$68.6 \times 62.5 \times 6$ (有效水深)
平均日停留时间/h	16.1	19.1
厌氧+缺氧池 停留时间/h	5.3	5.8
好氧池停留时间/h	10.8	13.3
内回流比/%	设计100, 一级A时常闭	250
回流泵功率/kW	设计11, 一级A时常闭	30

从设计对比看,多级AO停留时间小于多模式AAO,设计容积约比多模式AAO小16%,多模式AAO运行电耗较高,主要差异在混合液回流泵。

## 4 运行情况对比

多模式AAO工程建于2014年,2015年以来工艺运行稳定,而多级AO于2017年初刚调试运行。2017年1月—9月,日均水量为 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,峰值水量达到了 $7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,基本已满负荷运行。多级AO和多模式AAO进水水质和处理水量均相同,从出水效果看,两者效果相当,但实际出水参数细节有较大不同,具体见表3。

② 两种工艺对NH<sub>3</sub>-N的去除效果相当。

③ 多级AO出水TN普遍低于多模式AAO,在无内回流的情况下,出水TN平均比多模式AAO

低 1 mg/L。

④ 多模式 AAO 工艺对 TP 的去除效果优于多级 AO。

## 5 内回流效果的分析

本工程多级 AO 工艺最后一段设计有内回流泵 1 台,内回流量为 100%,由于目前出水 TN 已满足一级 A 标准,该回流泵在上述时间里没有连续运行。为研究内回流对多级 AO 脱氮效率的提升效果,本工程于 8 月下旬开启内回流泵,并在此后每隔一天分别在二沉池处取样测定,各指标测定结果见表 4。

表 4 多级 AO 内回流开启时两种工艺处理效果对比

Tab. 4 Comparison of treatment effect between two processes in multistage AO with internal reflux opening

mg · L<sup>-1</sup>

项目	COD		NH <sub>3</sub> - N		TN		TP	
	多级 AO	多模式 AAO	多级 AO	多模式 AAO	多级 AO	多模式 AAO	多级 AO	多模式 AAO
1	31.80	15.30	1.05	0.64	6.58	8.66	1.52	2.41
2	15.20	14.40	1.47	1.21	5.38	11.83	0.58	0.30
3	16.96	16.11	1.18	0.99	7.23	9.41	0.90	0.41
4	18.23	17.81	1.75	1.57	8.03	14.19	0.95	0.47
5	22.47	19.50	2.23	3.48	6.89	13.91	2.11	1.44
6	22.05	22.90	1.26	0.97	4.77	10.51	0.61	0.41
7	18.66	19.08	1.42	1.13	6.27	12.33	0.64	0.27
8	19.93	19.09	1.26	1.02	7.63	10.73	1.18	0.32
9	15.26	24.17	2.31	2.17	9.49	14.77	1.33	0.49
10	17.81	19.93	1.02	1.39	6.11	13.33	1.40	0.38

由表 4 中的随机数据可见,内回流泵开启后,多级 AO 的 TN 去除效果有明显提升,检测指标均在 10 mg/L 以内,而 TP 处理效果仍是多模式 AAO 工艺为优。

## 6 多级 AO 和多模式 AAO 工艺的对比分析

通过对污水厂现状一、二期工程生物处理运行情况以及内回流试验效果进行对比分析,结论如下:

① 多模式 AAO 对有机物的去除效率略高。有机物的去除需要好氧区充分的曝气,但是在多级 AO 工艺中为了保证 A 段的缺氧环境,在每个 O 段末端需要维持较低的溶解氧浓度,因此前两段的好氧区曝气往往不够充分,一定程度上削弱了对有机物的处理效果,但总体来说两者去除效果差距不大。

② 两种工艺对 NH<sub>3</sub> - N 的去除效率无差异。

③ 多模式 AAO 除磷效率明显较高。由于多级 AO 工艺上没有设置独立的厌氧段,且污水经交替缺氧好氧后出水,从流程上没有为聚磷菌提供适宜的生存环境,使工艺的生物除磷效果不佳。从运行数据看,多模式 AAO 出水 TP 可比多级 AO 低 0.3 ~ 1 mg/L,除磷效果明显占优。

④ 多级 AO 脱氮效率明显较高。原因是多级 AO 分段进水的方式可以使污水中的碳源得到充分的利用,除末端 An 段外,其他混合液均参与了反硝化过程,因此反硝化效率更高。工程的实际运行情况与理论分析相同,从运行数据看,在未启用内回流的情况下,三级 AO 出水 TN 可比内回流比为 250% 的多模式 AAO 低 1 mg/L,当启用内回流泵后(回流比 100%),TN 处理效率差距明显,可在原基础上再降低 3 ~ 6 mg/L,表明多级 AO 在 TN 的处理上优势十分显著。

⑤ 必须提到的是,由于施工用地面积受限,多级 AO 生物池设计容积(20 132 m<sup>3</sup>)相比多模式 AAO 工艺(23 894 m<sup>3</sup>)小约 16%,平均日停留时间比为 16.1 h : 19.1 h,厌氧池停留时间小约 10% (5.3 h : 5.8 h),好氧池容差明显,停留时间小约 20% (10.8 h : 13.3 h),因此上述处理效果的对比不完全对等,但其中的规律性已经体现得十分明显,具有非常好的示范意义。

## 7 结语

宁河区城市污水处理厂通过拆除原百乐克生物池,新建多级 AO 生物池,并新增反硝化深床滤池和臭氧催化氧化工艺实现从一级 A 标准到天津地标 A 标准的提升。由于地标执行时间为 2018 年 1 月 1 日,因此本次研究过程中,新建的深度处理尚未投入使用。

本工程是国内第一个在同一厂内分别采用多模式 AAO 和多级 AO 工艺,且设计规模、进水条件完全相同的污水处理厂,具有十分重要的示范意义。在类 IV 类水标准不断推广的情况下,如何提升生物池处理效率,降低运行成本,是每一个工艺设计师所面临的问题。该工程所积累的宝贵经验对多级 AO 工艺的发展和推广具有十分重要的促进作用。

## 参考文献:

- [1] 王舜和,邓胜琳,姜宝媛. 多模式 A<sup>2</sup>/O 工艺的运行模  
(下转第 57 页)