

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.03.029

# 分段进水多级 AO 应用于高出水标准市政 污水处理厂工程及运行分析

王拓<sup>1,2</sup>

(1.天津市市政工程设计研究总院有限公司,天津市 300392;2.天津市基础设施耐久性企业重点实验室,天津市 300392)

**摘要:**山东省某市政污水处理厂迁建项目迁建后污水厂总处理规模为  $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计二级处理采用分段进水多级 AO,深度处理采用“高效澄清池+V型滤池+臭氧催化氧化”的组合。设计出水标准为地表水 IV 类,其中  $\text{TN} < 15 \text{ mg/L}$ 。2022 年山东省发布《山东省城市排水“两个清零、一个提标”工作方案》,要求城市污水处理厂出水标准达到地表水 IV 类,其中 TN 控制在  $10 \text{ mg/L}$ 。工程未实施工程性改造,即实现了新的排放标准。

**关键词:**污水处理厂;多级 AO;地表水 IV 类

中图分类号: X703;TU92.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)03-0120-03

## 1 工程背景

山东省某污水处理厂处理规模为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水执行一级 A 标准。2018 年开始实施迁建工程,2021 年初工程竣工通水。迁建后污水处理规模为  $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计出水水质 TN、SS 指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)的一级 A 标准,其余指标执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水质,色度小于 10。本工程设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>4</sub> -N	TN	TP
进水水质	500	150	600	60	75	8
出水水质	≤30	≤6	≤10	≤1.5	≤15	≤0.3
去除率	94%	96%	98.3%	97.5%	80%	96.3%

## 2 工程方案

针对设计进出水水质要求,本工程工艺流程采用“粗格栅进水泵房+细格栅曝气沉砂池+初沉池+分段进水多级 AO+高效澄清池+V型滤池+臭氧催化氧化”工艺;消毒采用次氯酸钠消毒工艺。

### 2.1 预处理方案

粗格栅栅条间隙 20 mm,细格栅孔径 6 mm。曝气沉砂池水力停留时间 6.2 min,采用气提式吸砂。

针对进水水质 SS 过高的情况,设置 4 座初沉池,池径 40 m,水力停留时间 1.5 h。

### 2.2 二级处理方案

生物反应池采用分段进水多级 AO 池型,总水力停留时间 16.1 h,其中厌氧池 1.5 h,第一级 AO 池 2.2 h,第二级 AO 池 3.8 h,第三级 AO 池 5 h,第四级 AO 池 3.6 h。每一级进水量比例为 2:3:3:2,外回流污泥浓度 8 000 mg/L,第一级 AO 池污泥浓度 6 667 mg/L,第二级 AO 池污泥浓度 5 333 mg/L,第三级 AO 池污泥浓度 4 444 mg/L,第四级 AO 池污泥浓度 4 000 mg/L。

二沉池采用周进周出辐流式二沉池,共 5 座,单池池径 50 m,均日表面负荷  $1.04 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,固体负荷  $114 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

### 2.3 深度处理方案

高效沉淀池共 6 座,混合池水力停留时间 3.97 min,絮凝池水力停留时间 11.46 min,均日表面负荷  $12.33 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。高效沉淀池出水设置后混合池,水力停留时间 1 min,以消除前端出水中可能存在的过量 PAM,对后续砂滤池起到保护作用。

V 型滤池共 16 格,单格过滤面积  $120 \text{ m}^2$ ,均日设计滤速  $5.47 \text{ m/h}$ ,反冲洗气洗强度  $15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,气水联合反洗强度  $15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})+2.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,反冲洗水系强度  $5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

臭氧催化氧化池共 6 个系列,设置 3 条设备廊道,水力停留时间 60 min,进水控制  $\text{COD} \leq 45 \text{ mg/L}$ 、

收稿日期: 2023-04-21

作者简介: 王拓(1988—),男,硕士,高级工程师,主要从事水处理设计工作。

色度≤50倍,出水控制COD≤30 mg/L、色度≤10倍。臭氧峰值投加量30 mg/L,三级臭氧投加比例为1:2:2。设置气洗和水洗,强度分别为54 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)和15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

### 3 生物池计算

本工程未设置深度脱氮工艺,生物脱氮功能完全在生物池段实现。因此,生物池的设计尤为关键。

#### 3.1 池型选择

采用的分段进水多级AO工艺,其核心是一种后置反硝化的池型,理论上无需设置内回流。污水按照一定比例进入各级AO池,回流污泥从首端进入,系统的污泥龄比相同池容的常规AO工艺长。从脱氮方式上,除末端An段外,其他混合液均参与了反硝化过程,节省能耗的同时可获得更高的反硝化率<sup>[1,2]</sup>。流程示意如图1所示。

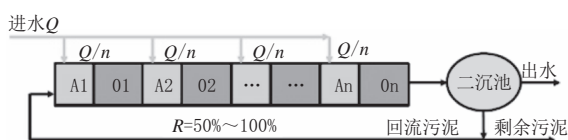


图1 分段进水多级AO工艺原理图

#### 3.2 生物池计算

生物池设计进水水质需考虑初沉池的处理效果;生物池设计出水水质中TN指标按照12 mg/L考虑,保障出水TN能够稳定控制在15 mg/L以下。具体水质见表2。

表2 生物池设计进出水水质 单位:mg/L

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>4</sub> -N	TN	TP
总设计进水水质	500	150	600	60	75	8
生物池设计进水水质	375	113	300	60	68	7.3
生物池设计出水水质	30	6	—	1.5(3)	12	6.3

生物池设计采用4级AO,每一级进水量比例为2:3:3:2。设计外回流污泥MLSS=8 000 mg/L,根据公式(1):

$$X_i = \frac{R X_R}{(R + \sum_i R_i)} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

式中: $X_R$ 为回流污泥浓度,mg/L; $X_i$ 为各级污泥浓度,mg/L; $R$ 为外回流比; $R_i$ 为进水分配比例。

一方面,根据计算每一级AO池污泥浓度分别为6 667、5 333、4 444、4 000 mg/L。据此得出多级AO生物池内平均污泥浓度高于普通AAO池型的4 000 mg/L,相应可减少所需池容。另一方面,由于最后一级AO池污泥浓度为40 00 mg/L,并不会增加

二沉池固体负荷<sup>[3]</sup>。

关于池容计算,以第一级AO池为例,计算如下:

(1)末级产生的需去除硝态氮浓度( $N_e$ )与出水水质相同, $N_e=12$  mg/L。

(2)第一级需反硝化的硝态氮浓度( $N_1$ )

$$N_1 = R \times \frac{N_e}{R + R_1} = 10 \text{ mg/L} \quad (2)$$

(3)需投加碳源量( $C_1$ )

$$C_1 = \frac{N_1}{K_{de1}} - R_1 \times \frac{S_0}{R + R_1} = 52.6 \text{ mg/L} \quad (3)$$

(4)计算污泥龄( $\theta$ )

$$\theta_{CO} = F \times 3.4 \times 1.103^{(15-T)} \quad (4)$$

式中: $\theta_{CO}$ 为硝化污泥龄,d; $F$ 为安全系数,1.45; $T$ 为计算水温,水温12℃;

$$\theta_{CO} = 1.45 \times 3.4 \times 1.103^{(15-12)} = 6.616 \text{ d}$$

加安全污泥龄1 d,  $\theta_{CO}'=7.616$  d

计算总污泥龄: $\theta=7.616/0.6=12.7$  d

总污泥龄取值:15 d。

(5)计算污泥产率系数( $Y_1$ )

$$Y_1 = K$$

$$\left[ \frac{0.75 + 0.6 \frac{X_0}{S_0} - \frac{(1-0.2) \times 0.17 \times 0.75 \theta_c \times 1.072^{(T-15)}}{1 + 0.17 \theta_c \times 1.072^{(T-15)}}}{1} \right] = 1.3 \quad (5)$$

式中: $Y_1$ 为污泥产率系数,kgSS/kgBOD; $K$ 为修正系数, $K=0.9$ ; $X_0$ 为进水SS浓度,mg/L; $T$ 为设计水温,℃,取设计最低温度12℃; $S_0$ 为反应池进水BOD浓度,mg/L; $\theta_c$ 为泥龄,d。

(6)计算池容

$$V_1' = \frac{24 Q \theta_c R_1 Y_1 (S_0 + C_1 - S_e)}{X} = 25 593 \text{ m}^3 \quad (6)$$

式中: $Q$ 为设计流量,m<sup>3</sup>/h; $R_1$ 为进水比例;缺氧区容积 $V_D=0.4V=10 237$  m<sup>3</sup>;好氧区容积 $V_O=(1-0.4)V=15 356$  m<sup>3</sup>。

经过计算,计算生物池参数见表3。

表3 生物池设计参数

位置	外加碳源量 / (mg·L <sup>-1</sup> )	污泥产率系数	水力停留时间 / h	剩余污泥量 / (kg·d <sup>-1</sup> )
第一级	52.6	1.3	2.2	6 923
第二级	24.9	1.71	3.8	13 658
第三级	51.2	1.28	5.0	10 224
第四级	47.0	1.48	3.6	7 881

#### 3.3 生物池设计

共设计5个生物池系列和3个管廊。以其中1个系列为例,平面设计示意如图2所示。

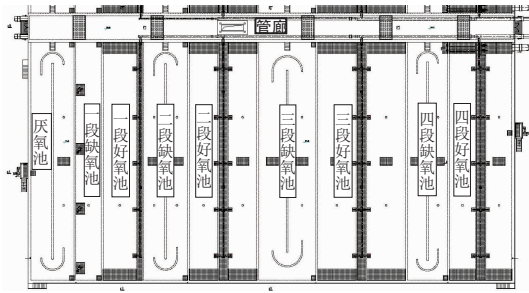


图2 生物池平面设计图

生物池各级AO池进水比例可动态调整,通过管道进水,进水管包含流量计和可调节型阀门,设计示意如图3所示。

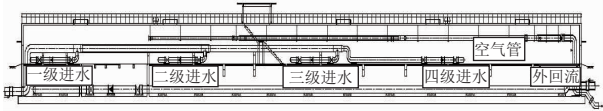


图3 管廊设计

## 4 控制系统设计

### 4.1 曝气控制系统

分段进水多级AO池型作为后置反硝化,省去了内回流,同时需要严格控制每一级好氧池出水溶解氧值,如果好氧池出水中 $DO > 0.5 \text{ mg/L}$ ,将对下一级缺氧池的缺氧环境造成破坏,曝气控制尤为重要<sup>[4]</sup>。

采用包含菱形空气调节阀和热式气体流量计在内的精确曝气系统,控制逻辑分为三级,包括前馈开环控制、反馈闭环控制、鼓风机闭环反馈控制。控制鼓风机运行频率及开启台数,调节空气调节阀的开度,线性调节供气量,实现生化池各控制区的实际溶解氧在该溶解氧控制目标设定值上下波动<sup>[5]</sup>。

### 4.2 碳源投加控制系统

生物池5个系列,每系列4级缺氧池,实际运行中每个缺氧池所需投加碳源量均不相同。设计生物池中包含在线硝态氮检测仪表,配套精确投加碳源控制系统,以进水流量及硝态氮浓度为目标值,在线调节加药泵的加药量,从而实现出水水质达标基础上的降低药剂投加量。

## 5 运行效果分析

### 5.1 运行效果

由于本工程为迁建工程,建成通水后即在进水量、进水水质两方面基本满负荷运行。处理水量为 $22 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。近一年进出水水质见表4。

从运行水质数据可以看出,在进水水质偏高的情况下出水水质仍能满足设计水质。山东省住建厅于2021年11月和2022年4月分别发布了《关于调

表4 进出水水质

单位:mg/L

项目	COD <sub>cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	氨氮	TP
进水水质	289~583	115~200	373~703	44.4~73.4	32.3~60.5	3.31~7.4
出水水质	12~18	0.5~1.1	4	8.1~9.4	0.1~0.8	0.06~0.16
设计出水水质	30	6	10	15	1.5	0.3
“两个清零、一个提标”水质	30	6	10	10	1.5	0.3

度全省城市污水处理厂出水水质标准及提标改造有关情况的通知》和《山东省城市排水“两个清零、一个提标”工作方案》要求全省污水处理厂加快提标改造,明确地表水准IV类排放标准,其中总氮控制在 $10 \sim 12 \text{ mg/L}$ 。本工程在未经提标改造的情况下,依托生物反应池的脱氮功能,即实现了出水TN不大于 $10 \text{ mg/L}$ 的目标,体现了该生物池池型在脱氮能力上的优势。

### 5.2 经济效益分析

本工程总工程费用为8.55亿元,其中工程费6.27亿元。单位经营成本 $2.59 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,单位电耗 $0.47 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。

由于采用了分段进水多级AO生物池池型,作为后置反硝化省去了内回流部分,对比普通AAO池型,同等工况下可节省电费约 $0.04 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

## 6 结论

分段进水多级AO生物池池型,具有平均污泥浓度高、更好利用原水碳源、总体脱氮效率高的特点,比较适用于对TN去除有较高要求的污水厂。同时该池型各级进水量、曝气量可调节,运行更加灵活。建议在以TN出水为 $10 \text{ mg/L}$ 为标准的污水厂设计中,可考虑采用此种池型作为二级处理,深度处理工艺段可不设置深度脱氮环节。

### 参考文献:

- [1] 周菴. 活性污泥工艺简明原理及设计计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 刘长荣, 李红, 常建一. 分点进水多级A/O污水处理工艺设计计算探讨[J]. 给水排水, 2011, 37(1): 9-13.
- [3] 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.
- [4] 王拓, 严冰. 多级A/O工艺协同精确控制系统用于低C/N进水污水厂[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 65-69.
- [5] 余云龙, 史彦伟, 姜秀光, 等. 南方某污水处理厂精确曝气技术示范及评估分析[J]. 给水排水, 2017, 43(2): 42-44.