

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.10.013

# 多段AO/高效沉淀/反硝化滤池用于准Ⅳ类标准污水厂

陈良<sup>1</sup>, 莫少德<sup>2</sup>, 周波<sup>1</sup>, 齐国辅<sup>1</sup>, 侯方东<sup>1</sup>

(1. 中机国际工程设计研究院有限责任公司 华东分院, 江苏 南京 210023; 2. 肇庆新区  
土地储备中心, 广东 肇庆 526000)

**摘要:** 广东某城镇污水处理厂首期工程规模为  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水水质执行地表水Ⅳ类排放标准。生物处理段采用多段AO生化池, 能够充分利用原水碳源, 减少回流, 节约能耗, 提高脱氮除磷效果。深度处理采用高效沉淀池+反硝化深床滤池工艺, 以强化总氮、总磷和SS的去除。介绍了主要构筑物设计参数, 分析了多段AO和反硝化深床滤池脱氮性能, 总结了运行过程中存在的问题, 并提出相应措施。实际运行数据表明, 出水水质能够稳定达到准Ⅳ类标准。

**关键词:** 污水处理厂; 多段AO生化池; 反硝化深床滤池

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)10-0075-04

## Application of Multi-stage AO + High Efficiency Sedimentation + Denitrification Filter Process in a WWTP with Quasi Class IV Effluent Standard

CHEN Liang<sup>1</sup>, MO Shao-de<sup>2</sup>, ZHOU Bo<sup>1</sup>, QI Guo-fu<sup>1</sup>, HOU Fang-dong<sup>1</sup>

(1. East China Branch, China Machinery International Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210023, China; 2. Zhaoqing New Area's City Land Reserve Centre, Zhaoqing 526000, China)

**Abstract:** The design scale of the first stage of a wastewater treatment plant in Guangdong was  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The effluent was required to meet the standard of surface water quasi class IV. To improve the removal efficiencies of nitrogen and phosphorous, multi-stage AO process was adopted as biochemical treatment technology, which could fully take advantage of the influent carbon source and save energy via reducing backflow. High efficiency sedimentation tank and denitrification filter were adopted to strengthen the removal efficiencies of TN, TP and SS in advanced treatment process. The design parameters of main structures were introduced. The denitrification performance of multi-stage AO and denitrification filter was analyzed. Corresponding measures were proposed to solve the existing problems during the operation process. The actual operating data showed that the effluent quality could stably reach the quasi class IV standard.

**Key words:** wastewater treatment plant; multi-stage AO biochemical tank; denitrification filter

### 1 工程概况

广东某城镇污水处理厂规划远期总规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 其中首期工程  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 占地面积  $31\,294.72 \text{ m}^2$ 。二期工程规模  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 三期工程规模  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 本次工程为首期工程, 设计时同步兼顾远期布置。

首期工程于2018年1月开始建设, 其主要出水指标COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷、石油类等需执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水质标准, 其余污染因子执行广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准。具体设计进、出水水质见表1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
进水	120	300	35	40	4	200
出水	6	30	1.5	10	0.3	10

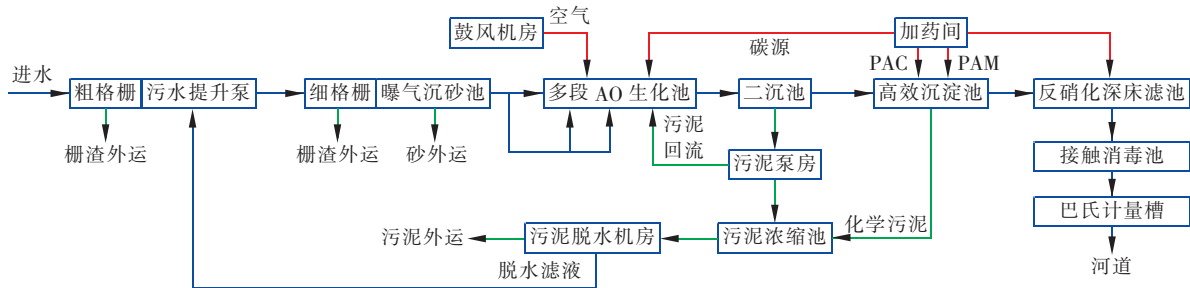
mg · L<sup>-1</sup>

图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

## 2 工程设计

### 2.1 粗格栅及进水泵房

粗格栅及进水泵房土建按远期规模  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  建设,设备分期安装。选用反捞式格栅捞污机,栅隙 25 mm,宽度 1.2 m,深 8.5 m,安装角度  $75^\circ$ ,设两台(1用1备)。进水泵房内设置 7 台潜污泵泵位,首期工程按照  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  配备,变化系数考虑 1.47,选择 3 台(2用1备)潜污泵,  $Q = 766 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 145 \text{ kPa}$ ,  $N = 45 \text{ kW}$ ,均变频控制。

### 2.2 细格栅及曝气沉砂池

首期建设一座细格栅及曝气沉砂池,分为 2 组,按  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  一次建成。曝气沉砂区池长 16 m,水平流速 0.1 m/s,最大流量时停留时间 5.54 min,平均流量时停留时间 7.2 min,曝气空气量  $306.4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,曝气量  $0.20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

### 2.3 多点进水多段 AO 生化池

多点进水多段 AO 工艺由多级 AO 串联而成,同时采用多点进水,通过充分利用原水碳源,上一级好氧区硝化的硝酸盐可被下一级缺氧区反硝化,提高脱氮效果,无需硝化液回流,节约能耗。

生化池 1 座,分 2 组,污水处理量为  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,日变化系数(最大日污水量/平均日污水量) 1.21。生化池分 3 段缺氧-好氧池,在每段缺氧区进水,一、二、三段进水比例为 0.25 : 0.45 : 0.30。

第一段缺氧和好氧段有效容积分别为 2 352 和  $2 774 \text{ m}^3$ ,污泥浓度  $5 400 \text{ mg/L}$ ,  $12^\circ\text{C}$  泥龄 16.5 d,  $20^\circ\text{C}$  泥龄 8.0 d,脱氮速率  $0.036 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,

本工程采用粗细格栅/曝气沉砂池/多点进水多段 AO 生化池/二沉池/高效沉淀池/反硝化深床滤池/接触消毒池工艺;污泥采用重力浓缩+高压板框压滤处理工艺,处理后含水率  $\leq 60\%$ 。具体流程见图 1。

污泥产率系数  $1.29 \text{ kgSS}/\text{kgBOD}_5$ ,好氧区最大供气量  $24 \text{ m}^3/\text{min}$ 。第二段缺氧和好氧段有效容积分别为  $3 948$  和  $3 880 \text{ m}^3$ ,污泥浓度为  $4 100 \text{ mg/L}$ ,  $12^\circ\text{C}$  泥龄 14.0 d,  $20^\circ\text{C}$  泥龄 6.5 d,脱氮速率  $0.05 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥产率系数  $1.31 \text{ kgSS}/\text{kgBOD}_5$ ,好氧区最大供气量  $37 \text{ m}^3/\text{min}$ 。第三段缺氧和好氧段有效容积分别为  $2 196$  和  $3 554 \text{ m}^3$ ,污泥浓度  $3 500 \text{ mg/L}$ ,  $12^\circ\text{C}$  泥龄 16.5 d,  $20^\circ\text{C}$  泥龄 6.5 d,脱氮速率  $0.036 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥产率系数  $1.29 \text{ kgSS}/\text{kgBOD}_5$ ,好氧区最大供气量  $31 \text{ m}^3/\text{min}$ 。污泥回流比 100%,硝化液回流比 0,总停留时间 18.0 h,其中缺氧 8.2 h、好氧 9.8 h,总剩余污泥量  $3.44 \text{ tDS}/\text{d}$ 。

### 2.4 二沉池

二沉池 2 座,每座设计流量  $1.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数 1.47。采用周进周出辐流式沉淀池,直径 32 m,最大表面负荷  $0.95 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

### 2.5 高效沉淀池

本工程重点之一是强化 TP 的去除,为此需增加深度处理工艺——高效沉淀池。

高效沉淀池 1 座,规模为  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数 1.47。混合区停留时间 1.80 min,絮凝区停留时间 14.10 min,分流区沉淀池的表面负荷  $7.42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,出水堰负荷  $2.19 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ ,深 7.45 m,半地下钢混结构。高效沉淀池混合区投加 PAC,平均投加量为  $20 \text{ mg/L}$ ,絮凝区投加 PAM,平均投加量  $0.5 \text{ mg/L}$ 。

## 2.6 反硝化深床滤池

为提高对TN和SS等出水指标的控制,确保水质稳定达标,选用脱氮效果好的反硝化深床滤池作为末端深度处理工艺。

反硝化深床滤池1座,规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数1.47;反洗泵房按照 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建设。滤池深6.30 m,分为4格,单格面积 $54.12 \text{ m}^2$ ,上部设遮阳罩棚。滤池平均水力负荷 $4.81 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,滤池最大水力负荷 $6.42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,硝态氮容积负荷 $0.32 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,反洗周期24~48 h,单独气洗强度 $90 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水洗强度 $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,反洗程序:空气反洗2 min→气水同时反洗10 min→单独水反洗5 min,氮气释放周期3~4 h;单独水反洗3 min,水扰动强度 $12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,扰动周期2~4 h。反洗泵房下部设废水池及清水池,废水池有效容积 $520 \text{ m}^3$ 、有效水深5.25 m,清水池有效容积 $380 \text{ m}^3$ 、有效水深5.05 m。反硝化深床滤池内加20%乙酸钠作为碳源,平均投加量 $96 \text{ mg/L}$ 。

## 2.7 污泥浓缩池

首期设置污泥浓缩池1座,规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,二期增加1座。考虑深度处理增加污泥,剩余污泥为 $1\,000 \text{ t/d}$ ,浓缩池直径14.0 m。

## 2.8 污泥脱水机房

污泥脱水机房土建按 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模一次建成,设备分期安装,首期绝干污泥量 $4.13 \text{ tDS/d}$ ,远期绝干污泥量 $14.04 \text{ tDS/d}$ 。首期设2台高压板框

脱水机,1台脱水机工作2个批次,共8 h。

## 3 运行效果

### 3.1 总体运行效果

经过一年时间稳定运行,出水水质能够稳定达到设计标准,2019年实际进、出水水质如表2所示。

表2 2019年实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality in 2019

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD		BOD <sub>5</sub>		NH <sub>3</sub> -N		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
最小值	193	15.6	86	2.2	30.11	0.17	38.7	5.8	3.00	0.09
最大值	260	19.2	119	3.1	45.12	0.30	50.7	9.8	4.28	0.23
平均值	221	16.7	100	2.4	37.25	0.25	44.2	7.6	3.52	0.17

实际运行结果表明,采用多段AO生化池+高效沉淀池+反硝化深床滤池工艺可以有效处理城镇污水,其出水各项指标均能稳定达到准IV类排放标准。虽然进水氨氮和总氮均较设计进水水质略高,但是出水氨氮和总氮分别低于0.5和10 mg/L。TN的去除主要由多点进水多段AO和反硝化深床滤池联用实现。多点进水充分利用进水中的有机物作为反硝化反应的电子供体,减少外加碳源的投加;多段AO无需内回流,通过缺氧-好氧交替反应,节约能耗<sup>[1-2]</sup>。反硝化深床滤池作为深度处理工艺,对TN的稳定达标排放起到了末端把关作用,同时对TP和SS也起到较好的去除作用<sup>[3]</sup>。

本工程与肇庆同类工程污泥量对比见表3。

表3 同类污水处理厂污泥量对比

Tab.3 Comparison of sludge yield of similar wastewater treatment plants

项 目	设计水量/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	实际日均水量/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	设计污泥量/ ( $\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1}$ )	实际日均污泥量/ ( $\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1}$ )	实际日最大污泥量/ ( $\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1}$ )
本工程	2.5	2.12	4.13	2.08	3.86
高新区第一污水处理厂	4.0	3.74	4.94	2.21	3.28
高新区第二污水处理厂	2.5	1.46	4.47	1.28	3.01

可见,实际污泥量均小于设计污泥量,主要原因是进水水量和水质浓度未完全达到设计进水浓度以及污水厂运行中对生化池污泥浓度和剩余污泥排放等运行控制。其中肇庆高新区第一污水处理厂和第二污水处理厂进水水量水质远均低于设计值,其中实际日均进水水质仅为设计值的40%~60%。

## 3.2 生化池与深床滤池脱氮效果分析

对多段AO生化池中各段与反硝化深床滤池进水和出水中COD、TN和TKN等指标进行了分析,结

果见表4。可以看出,COD、TN和TKN的去除主要在生化池中完成,COD、TN和TKN去除率分别达到90.1%、80.9%和84.1%,主要以生化池第一段和第二段效率最高,推测主要原因是第一段缺氧段主要是对回流污泥中的硝态氮进行去除,此时回流比达到100%,而进水仅 $0.25Q$ ,硝态氮相对浓度较高,反硝化速度快;第二段硝态氮主要来自第一段的好氧段,污泥浓度高,硝化效果强,故进入第二段缺氧段的硝态氮浓度较高,且该段污泥浓度仍较高,

反硝化效果好。第三段污泥浓度相对较低,且进入第三段的硝态氮浓度也较低,导致第三段缺氧段对TN去除效果相对较低。TKN的去除与TN去除基本一致。

表4 生化池及反硝化深床滤池脱氮效果分析

Tab.4 Denitrification effect analysis of biochemical tank and denitrification deep bed filter %

项 目	COD 去除率	TN 去除率	TKN 去除率
生化池第一段	38.8	33.1	32.1
生化池第二段	29.4	26.6	28.6
生化池第三段	21.9	21.2	22.4
反硝化深床滤池	—	9.56	8.4

反硝化深床滤池需要通过外加碳源进行反硝化,故本次未统计其COD去除率。理论上达到完全反硝化所需要的C/N值为3~4,从实际运行调试结果看,反硝化深床滤池对TN去除C/N值最好达到4~5。同时,为避免最终出水COD超标,应根据进水TN进行灵活调整。实际运行中发现,由于鼓风机未设置变频,导致反硝化深床滤池进水DO过高(3~4 mg/L),需要增加20%乙酸钠,投加量为10~15 mg/L。为有效减少碳源投加量,本工程通过增加放空旁路和调节阀门进行初步调节,减少进入反硝化滤池的DO,后期将通过增加变频等方式,根据水质水量灵活调节曝气量。

#### 4 设计问题分析

① 由于进水浓度较设计值低,鼓风机选型过大,从而导致曝气过剩,生化池出水溶解氧为4~5 mg/L,出水氨氮较低(0.2~0.4 mg/L),造成一定能量浪费,建议采用大小风机配套及变频控制等方式灵活调节曝气强度。

② 实际运行过程中,缺乏根据进水水质水量反馈调整外加碳源量的机制,导致外加碳源量存在过大或不足的风险,出水TN为6.2~9.8 mg/L, COD为15~28 mg/L,水质波动较大,造成药剂浪费或TN超标风险,需要优化碳源投加量和投加点。

③ 反硝化滤池工艺部分参数较保守,如硝酸盐容积负荷为0.32 kg/(m<sup>3</sup>·d),城镇排水设计手册建议为0.8~1.2 kg/(m<sup>3</sup>·d)(10℃),建议实际运行过程中根据出水水质情况优化调整水力负荷等参数,以提高滤池处理效率。

#### 5 经济分析

工程总投资为13 749.08万元,其中工程费11 085.66万元。污水处理总成本(人工费+动力费+药剂费+固定资产折旧费+摊销费)为1.11元/m<sup>3</sup>,经营成本(人工费+动力费+药剂费+摊销费)为0.82元/m<sup>3</sup>。

#### 6 结语

广东某城镇污水处理厂采用多段AO生化池/高效沉淀池/反硝化深床滤池污水处理工艺,实际运行结果表明,设计合理,出水COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷、石油类等能够满足准IV类水质标准要求。

#### 参考文献:

- [1] 刘胜军,杨学,石凤,等. 多段多级AO除磷脱氮工艺分析与研究[J]. 给水排水,2012,38(增刊):191-194.  
LIU Shengjun, YANG Xue, SHI Feng, et al. Analysis and research of anaerobic-oxic multilevel anoxic-oxic phosphorus and nitrogen removal technology[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S1): 191-194 (in Chinese).
- [2] 刘常敬,石凤,杨晨光,等. 节能型半地下污水厂多段多级AO工艺设计及调试运行[J]. 中国给水排水,2018,34(22):51-54.  
LIU Changjing, SHI Feng, YANG Chenguang, et al. Design and commission of energy-saving and semi-underground wastewater treatment plant with multi-stage AO as treatment process [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 51-54 (in Chinese).
- [3] 徐一兰,沈晓佳,陈雪祥,等. 深床滤池多模式运行用于城镇污水处理厂提标改造[J]. 中国给水排水,2018,34(16):85-87,92.  
XU Yilan, SHEN Xiaojia, CHEN Xuexiang, et al. Application of deep-bed filter with multi-mode operation in wastewater treatment plant upgrading reconstruction [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 85-87, 92 (in Chinese).

作者简介:陈良(1991-),男,安徽安庆人,硕士,中级工程师,从事水处理工程设计工作。

E-mail: job\_cl@126.com

收稿日期:2020-03-16

修回日期:2020-06-20

(编辑:孔红春)