

AMAO(多级 AO)工艺在污水厂扩建工程中的应用及运行

贾建伟, 党晓宏, 李建洋, 杨 坤

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 西安市某污水处理厂二期扩建工程设计规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用 AMAO(多级 AO) + 高效沉淀池工艺, 出水水质执行一级 A 排放标准。AMAO 工艺生物池 MLSS 可达 $5\,100 \text{ mg/L}$, 远高于常规 AAO 工艺 (MLSS 通常按 $4\,000 \text{ mg/L}$ 设计), 生物池容积可减小 20%; 无需外加碳源, 能优先利用污水中的碳源进行反硝化, 省去了常规 AAO 工艺的混合液回流, 脱氮效率大于 75%, 电耗可降低 $0.015 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。高效沉淀池斜管上升流速设计取低值 (11.37 m/h), 省去了后续过滤单元, 节约水头约 8 kPa, 出水 SS 稳定小于 10 mg/L 。该工程实际出水水质优于一级 A 排放标准, 部分指标已达到地表水 IV 类水质标准, 直接运行费用仅为 $0.59 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

关键词: 扩建工程; AMAO 工艺; 工程设计

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)04-0063-04

Application and Operation of AMAO Technology (Multi-stage AO) for Expansion Project of Wastewater Treatment Plant

JIA Jian-wei, DANG Xiao-hong, LI Jian-yang, YANG Kun

(CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: The design treatment capacity of the second phase expansion project of a wastewater treatment plant in Xi'an was $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The combination process of AMAO (multi-stage AO) and high-efficiency sedimentation tank was adopted to ensure that the effluent quality could reach the first class A discharge standard. The MLSS of the bio-tank could reach $5\,100 \text{ mg/L}$, much higher than that of the conventional AAO process (MLSS was usually designed at $4\,000 \text{ mg/L}$), so the bio-tank volume could be reduced by 20%. No additional carbon source was needed, and the carbon source in the wastewater could be preferentially used for denitrification, eliminating the mixed liquid reflux in conventional AAO process. The denitrification efficiency of the process was more than 75%, and the power consumption could be reduced $0.015 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$. The upward-flow velocity of inclined pipe in high-efficiency sedimentation tank was designed at low value (11.37 m/h), and the subsequent filtration unit was omitted. The water head was saved about 0.8 m, and the SS of effluent was stably below 10 mg/L . The actual effluent quality was better than the first class A discharge standard, and some indicators had reached class IV quality standard for surface water. The direct operation cost was only $0.59 \text{ yuan}/\text{m}^3$.

Key words: expansion project; anaerobic multi-stage anoxic-oxic technology; engineering design

西安市某污水处理厂总规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 服务范围内有部分工业企业。一期建设规模为 $2.5 \times$

$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 DE 氧化沟工艺,出水水质执行一级 B 排放标准。2012 年针对一期工程进行了一级 A 提标改造,增加了两级生物滤池(DN + CN)。出水水质较好,但工艺流程较长,DE 氧化沟交替运行、生物滤池反冲洗频繁,对现场运行管理水平提出了更高要求。截至 2014 年 5 月,实际进水量达到了 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,超负荷运行。2015 年初开始二期扩建($2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),出水水质执行一级 A 排放标准,2016 年投入运行。

1 二期扩建工程的进、出水水质

参考一期工程运行水质,按 85% 保证率确定二期工程设计进水水质,具体见表 1。

表 1 二期扩建工程设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality of the second phase expansion project $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	400	200	200	40	50	4.0
出水	50	10	10	5	15	0.5

2 工艺选择及流程

2.1 工艺选择

一期采用“DE 氧化沟 + 曝气生物滤池(DN + CN)”工艺,工艺流程较长,两级滤池水头损失较大。现场反馈,DE 氧化沟、生物滤池的工序较复杂,实际运行水平还有一定的差距。AMAO 工艺和 DE 氧化沟比较见表 2。

表 2 AMAO 工艺与 DE 氧化沟工艺设计参数比较

Tab. 2 Comparison of design parameters between AMAO and DE oxidation ditch

项目	活性污泥浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水力停留时间/ h	污泥回流比/ %	剩余活性污泥量/ tDS	生物池池容/ m^3	有效水深/ m
AMAO 工艺	5 100	13.45	90	3.7	14 700	4.0
DE 氧化沟工艺	4 000	17.05	100	5.6	18 400	6.0

本工程进水 TN 相对较高,北方冬季污水温度较低,反硝化会受到一定的影响。本次扩建工程采用 BOT 模式,对工程投资及运行费用更加关注,因此二期扩建拟采用 AMAO 工艺^[1]。AMAO (Anaerobic Multi-stage Anoxic-oxic) 工艺,即污水分段进入生物池厌氧区和多个缺氧区,形成多级 AO 串联^[2],无需硝化液回流,TN 去除率大于 75% (不受硝化液回流比限制)。AMAO 工艺强化了反硝化脱氮能力,生物池活性污泥浓度高,池容小,工程费用较低;

同时无混合液回流,电耗较低。

2.2 工艺流程

二期扩建工程总体上采用“AMAO + 高效沉淀池 + 紫外消毒”工艺,工艺流程见图 1。

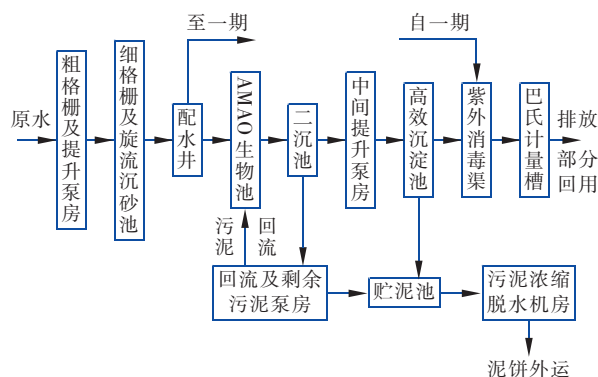


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process flow chart

一期工程建设时,污水预处理构筑物(主要包括粗格栅及提升泵房、细格栅及旋流沉砂池)土建按 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,设备按 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装,本次二期扩建预处理单元仅增加设备。原水经现状旋流沉砂池出水渠流入配水井,进行一、二期水量分配,再经 AMAO 生物池进行生物碳化、脱氮除磷,出水经周进周出二沉池泥水分离。上清液通过中间提升泵房提升至高效沉淀池,进一步去除 SS、TP。出水紫外消毒后排放水体。

3 工程设计

3.1 主要处理构(建)筑物设计

① 预处理构筑物

构筑物利旧,新增设备。

新增钢丝绳牵引式粗格栅 1 台, $b = 20 \text{ mm}$, $N = (1.5 + 0.37) \text{ kW}$ 。新增潜污泵 3 台(2 用 1 备, 1 台变频), $Q = 719 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 140 \text{ kPa}$, $N = 37 \text{ kW}$ 。

新增回转式细格栅 1 台, $b = 5 \text{ mm}$, $N = 1.1 \text{ kW}$ 。

沉砂池搅拌机 1 台, $D = 1.20 \text{ m}$, $N = 1.5 \text{ kW}$; 吸砂泵 1 台, $Q = 20 \text{ L/s}$, $N = 4 \text{ kW}$ 。

② AMAO 生物池

1 座 2 格,半地下钢混结构,尺寸为 $71.8 \text{ m} \times 41.2 \text{ m} \times 6.6 \text{ m}$ 。

厌氧区(A)设置 4 台潜水搅拌机, $D = 2.0 \text{ m}$, $N = 3 \text{ kW}$, $n = 34 \text{ r/min}$; 缺氧区(A1)设 4 台潜水搅拌机, $D = 2.0 \text{ m}$, $N = 3 \text{ kW}$, $n = 31 \text{ r/min}$; 缺氧区(A2 和 A3)设 8 台潜水搅拌机, $D = 2.0 \text{ m}$, $N = 3 \text{ kW}$, $n =$

34 r/min;好氧区设盘式微孔曝气器 2 950 个, $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $D = 260 \text{ mm}$ 。

生物池 HRT 为 13.45 h, 共 4 级, 各段的配水比与停留时间如下:

A(厌氧区): 配水比为 30%, $H = 2.0 \text{ h}$; O1(第一好氧区): 不配水, $H = 1.51 \text{ h}$; A1(第一缺氧区): 配水比为 30%, $H = 1.44 \text{ h}$; O2(第二好氧区): 不配水, $H = 1.89 \text{ h}$; A2(第二缺氧区): 配水比为 30%, $H = 1.73 \text{ h}$; O3(第三好氧区): 不配水, $H = 2.26 \text{ h}$; A3(第三缺氧区): 配水比为 10%, $H = 1.83 \text{ h}$; O4(第四好氧区): 不配水, $H = 0.8 \text{ h}$ 。污泥负荷为 $0.067 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$; MLSS: 5100 mg/L , 远高于常规 AAO 工艺(MLSS 通常按 4000 mg/L 设计), 生物池有效容积同比可减小 20%; 污泥龄为 21.4 d; 污泥外回流比为 90%, 无需混合液内回流。通常 AAO 工艺混合液回流比为 200% ~ 300%, 电耗可降低 $0.015 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。生物池剩余污泥排放量: 3.7 t/d 。

③ 高效沉淀池

共 1 座, 包括机械混合池、机械絮凝池、沉淀浓缩池三部分。

机械混合池共 1 格, 尺寸为 $4.2 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}$; 混凝搅拌机 1 台, $N = 5.0 \text{ kW}$, $\phi 1600 \text{ mm}$, 变频控制。混合时间为 3 min。

机械絮凝池 1 座 2 格, 半地下式钢混结构, 单格尺寸为 $4.2 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 7.6 \text{ m}$ 。安装絮凝搅拌机 2 台, $N = 2.2 \text{ kW}$, $\phi 150 \text{ mm}$; 配套反应室及导流筒 2 套。絮凝时间为 10 min。

沉淀浓缩池 1 座 2 格, 半地下式钢混结构, 总尺寸为 $22.8 \text{ m} \times 17.7 \text{ m} \times 7.6 \text{ m}$ 。安装斜管 91 m^2 , 内切圆直径为 80 mm, 斜长为 1 m; 集水钢槽 16 套, $3520 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$; 浓缩刮泥机 2 套, 直径为 8.5 m, $N = 0.75 \text{ kW}$; 污泥螺杆泵 6 台(4 用 2 备), 4 台变频, $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200 \text{ kPa}$, $N = 7.5 \text{ kW}$ 。

本工程为避免高效沉淀池后再设置过滤单元, 以缩短流程, 节约水头(以滤布滤池为例, 至少可节约 8 kPa 水头), 沉淀池斜管上升流速设计取低值(11.37 m/h), 沉淀段入口流速为 50 m/h , 推流段时间为 8 min, 污泥循环回流系数为 0.03, 泥渣浓缩时间为 8 h。

④ 紫外线消毒渠(含巴氏计量槽)

共 1 座, 半地下式钢混结构, 尺寸为 $26.1 \text{ m} \times 2.1 \text{ m} \times 2.05 \text{ m}$ 。紫外线消毒系统 1 套, 总装机容量为 24 kW, 64 根灯管; 潜污泵 1 台, 用于污泥脱水机冲洗, $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 100 \text{ kPa}$, $N = 2.2 \text{ kW}$ 。

紫外线剂量为 $20 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, 透过率为 55%。

⑤ 贮泥池及污泥浓缩脱水机房

贮泥池 1 座, 半地下式钢混结构, 尺寸为 $7.7 \text{ m} \times 7.7 \text{ m} \times 5.3 \text{ m}$ 。安装自吸式潜水曝气搅拌机 1 台, $N = 8.5 \text{ kW}$ 。贮泥池污泥分别来自剩余污泥泵房及高效沉淀池排泥, 污泥总干质量为 5.4 t/d , 污泥含水率约 99.2%, 考虑污泥脱水机运行 16 h/d , 贮泥池按 8 h 贮存量计。污泥脱水后, 泥饼含水率 $\leq 80\%$ 。

污泥浓缩脱水机房 1 座, 单层框架, 面积为 296 m^2 。安装带式污泥浓缩脱水一体机 2 台(1 用 1 备), $Q = 42.3 \text{ m}^3/\text{h}$, 带宽 $B = 1.5 \text{ m}$, $N = (0.55 + 1.5) \text{ kW}$; PAM 一体化溶解加药装置 1 套, $Q = 1.73 \text{ kg/h}$, $N = (0.75 + 0.75 + 0.25) \text{ kW}$; 冲洗水泵 2 台, $Q = 28 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 670 \text{ kPa}$, $N = 11 \text{ kW}$; 进泥螺杆泵 2 台, $Q = 42.4 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200 \text{ kPa}$, $N = 11 \text{ kW}$ 。

3.2 工程投资及经济指标

工程总投资约为 6 790 万元, 工程费用为 5 616 万元。二期扩建工程年污水处理费用为 1 140 万元, 经营费用为 783 万元, 处理总成本为 1.25 元/ m^3 , 经营成本为 0.86 元/ m^3 (实际直接运行费用仅为 0.59 元/ m^3)。

4 运行效果及分析

本工程为了加速污泥培养, 缩短调试时间, 直接将一期生物池的混合液打入二期生物池, 采用“先间歇进水、间歇出水, 后连续进水、连续出水”并逐渐达到正常工作状态的调试方法。调试期为 2016 年 3 月—6 月。

二期工程运行表明, 实际进水 SS、COD、TN 均高于设计值。进水 SS 约 200 ~ 300 mg/L, 大多数月份进水 COD 高于设计值(500 ~ 800 mg/L), TN 约 50 ~ 60 mg/L, 其余指标与设计值基本接近。处理后出水水质见表 3。从表 3 日平均极值可以看出, 出水水质能够长期稳定达标。从月平均值得出, 出水水质全面优于一级 A 标准, 其中 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 达到了地表水 IV 类标准。若按地表水 IV 类高标准排放提标时, 只需重点去除 TP、TN、 BOD_5 即可。其中, TP 可通过调整现有处理设施除磷药剂 PAC 的投加

量、投加点(终沉池、高效池多点除磷)予以解决,出水 TP 可 ≤ 0.3 mg/L;由于现有生物池硝化作用完全(出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 低),对 TN,可在 AMAO 生物池 A3 区投加外加碳源,TN 可 ≤ 10 mg/L。在现有高效沉淀池后,增加一级曝气生物滤池,可确保 $\text{BOD}_5 \leq 6$ mg/L。总体改造难度较低,改动较小。

表3 2017年实际出水水质

Tab.3 Actual effluent quality in 2017 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目		COD	BOD_5	SS	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP
月平均值	1月	27.2	8.2	8.3	0.4	12.1	0.3
	3月	24.1	7.7	8.1	0.6	11.4	0.3
	5月	22.3	6.8	7.8	0.4	11.0	0.4
	7月	23.0	7.2	7.3	0.7	11.4	0.4
	9月	23.7	7.4	6.0	1.7	12.3	0.3
	11月	20.7	6.6	7.7	1.2	12.8	0.2
日平均极值	最大值	41.2	9.6	9	4.7	14.9	0.49
	最小值	15.6	4.6	6	0.08	5.2	0.05

5 结语

① AMAO 工艺能优先利用污水中的有机物进行反硝化脱氮,无需外加碳源及混合液回流,药剂及电耗费用相对较低。

② AMAO 生物池污泥浓度($\geq 5\ 100$ mg/L)高于传统 AAO($\geq 4\ 000$ mg/L),生物池有效容积同比可减小 20%。具有一定的占地优势,工程投资优势较为明显。

③ 本工程 AMAO 生物池维持较高的污泥浓度,剩余活性污泥排放量为 $3.7\ \text{t/d}$ (以绝干污泥计),较常规 AAO 工艺污泥量减小了 $1.9\ \text{t/d}$,后续污泥处理系统的配置规模也随之减小。

④ 传统 AAO 工艺,TN 去除率遵循物料平衡,受硝化液回流比限制,且回流比不宜过大,因此 TN 去除率有限。AMAO 工艺通过分段进水,将原水首先作为反硝化碳源利用,脱氮效果优于传统 AAO 工艺。对于西安市各污水处理厂,当要求按准地表水 IV 类标准(其中 $\text{TN} \leq 10$ mg/L)进行提标改造时,

AMAO 工艺具有一定的应用优势。

参考文献:

- [1] 董洋,汪德金,余波. 多级 AO 工艺用于全地下式北京碧水污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2018,34(2):59-62.
Dong Yang, Wang Dejin, Yu Bo. Application of multi-stage AO process in the upgrading and reforming project in underground Beijing Bishui Wastewater Treatment Plant[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(2): 59-62 (in Chinese).
- [2] 李伟,卢东昱,陈永玲,等. 北京市某污水厂基于准地表Ⅲ类水体出水标准的工程实践[J]. 中国给水排水,2017,33(2):56-60.
Li Wei, Lu Dongyu, Chen Yongling, et al. Engineering practice of a WWTP in Beijing City based on quasi-class III criteria of surface water [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(2): 56-60 (in Chinese).



作者简介:贾建伟(1985-),男,甘肃平凉人,硕士,高级工程师,从事市政给排水、工业园区污水处理工程设计与研究。

E-mail:zhggsplql@163.com

收稿日期:2018-07-18