

# AO 工艺处理工业污水的运行研究

孙文博<sup>1</sup>, 孙文刚<sup>2</sup>, 孙虎平<sup>3</sup>

(1.西安星航市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710016; 2.浙江晖石药业有限公司, 浙江 绍兴 312300;  
3.西安市市政工程设计研究院有限公司, 陕西 西安 710016)

**摘要:** 为便于制药化工行业废水的调控, 针对运行阶段容易出现的出水氨氮不稳定、DO 不稳定、出水浊度高等常见问题, 筛选符合经济效益的改造手段。本研究主要是通过调控硝化菌种的繁殖周期、以及生存的外环境来控制出水氨氮浓度; 通过理论需氧量支撑工程技术改造、保证 DO 的稳定; 通过改变污泥的排放周期和精准控制、降低出水的浊度, 为工艺严选和运行把控提供技术支持。

**关键词:** 硝化菌繁殖周期; 生化需氧量; 污泥排放周期

中图分类号: TU992.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)07-0156-04

## 0 引言

随着工业的发展, 工业生产过程中伴随着日益凸显的环保问题, 在生产型企业, EHS 工作的前卫性, 以及对环保问题的预判解决能力作为工业企业对外的金名片, 其重要性可见一斑。在污水处理中, 污水处理设施和工艺运行潜在或已经凸显的问题如果得不到及时、准确、妥善的解决, 将直接影响企业生产产出以及污水的达标排放。

本研究的主要目的是统计出工业污水处理中常见的几项问题: 出水氨氮不稳定、生化 DO 不稳定、出水浊度高等, 针对性的提出设施优化方案以及运行参数调节, 全面把控污水处理中心实际运行过程中的稳定性调节方案。

## 1 工程概况

### 1.1 污水处理流程

某化学合成类制药厂, 于 2015 年投建污水处理中心, 建设规模 800 m<sup>3</sup>/d, 为保证足够的水力停留时间, 采用预处理 + 厌氧 + 多级 A/O 工艺, 污水处理流程见图 1。

项目污水处理主体工程配套的设施选择现行设备设施中较为先进的, 处理后的污水可以满足国家印发的相关工作方案以及当地的总量要求。在实际运行过程中, 设施设备出现的问题, 会影响处理后污水的合规排放。

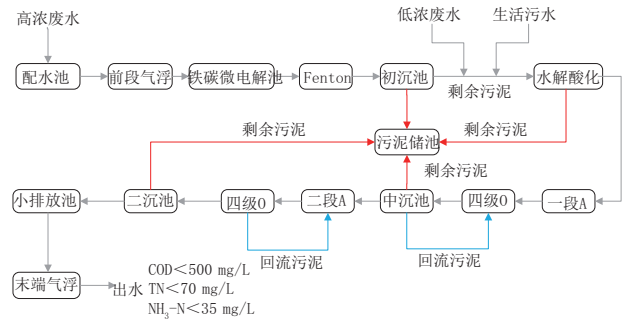


图 1 工艺流程图

### 1.2 常见的问题

#### 1.2.1 出水氨氮不稳定

原水检测结果显示 BOD/COD ≈ 0.45, 可生化性低, 对硝化、反硝化工艺参数进行整合见表 1。

表 1 硝化、反硝化参数<sup>[1]</sup>

工艺名称	指标名称	计算简称	取值	单位
硝化参数	平均温度	T	21	℃
	进水 COD	—	8 000	mg/L
	安全系数	SF	3.2	—
	硝化生长率	$\mu_{m21}$	0.025	—
	硝化菌繁殖率	$Y_n$	0.08	—
	污泥自身氧化系数	$K_d N_{21}$	0.04	mgVSS/mg 氨氮
	溶氧饱和系数	$K_o$	4	—
	氨氮饱和常数	KN	12.2	—
	自氧系数	$K_d 21$	0.07	—
	溶解氧	Do	1.4 mg/L	mg/L
反硝化参数	pH	—	8.5	—
	反硝化速率	UDN <sub>24</sub>	0.11	—
	缺氧池溶氧	DO <sub>n</sub>	0.15	—
	pH	—	8.8	—

收稿日期: 2023-01-19

作者简介: 孙文博(1998—), 女, 学士, 助理工程师, 从事给排水、环境工程设计工作。

根据以上参数计算可以得出:

(1)污泥自身氧化系数(Kd):

$$Kd = Kd_{21} \times 1.05^{T-20} = 0.073$$

(2)硝化菌最大比生长速率( $\mu_m$ )<sup>[2]</sup>:

$$\mu_m = \mu_{m21} \times e^{[0.98 \times (T-15)] \times [1-0.833 \times (7.2-pH)] \times \frac{D_0}{K_{0+D_0}}} = 0.13$$

(3)硝化菌自身氧化系数(KdN):

$$KdN = KdN_{21} \times 1.05^{T-20} = 0.084$$

(4)最大基质利用率( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{\mu_m}{Y_n} = 1.625$$

(5)最小硝化泥龄( $T_{c_{min}}$ ):

$$T_{c_{min}} = \frac{1}{Y_n \times \gamma - KdN} = 21.74(d)$$

(6)设计泥龄( $T_c$ ):

$$T_c = SF \times T_{c_{min}} = 69.6(d)$$

(7)硝化污泥负荷( $U_n$ ):

$$U_n = \frac{\frac{1}{T_c} + KdN}{Y_n} = 1.23(mg/L)$$

(8)出水氨氮浓度( $N_e$ ):

$$N_e = U_n \times \frac{KN}{\gamma - U_n} = 37.99(mg/L)$$

本项目污水进管标准执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中三级标准,即 COD $\leq$ 500 mg/L;其中氨氮执行地方标准《工业企业废水氮、磷污染物间接排放限值》(DB 33/887—2013)中“其他企业”的规定,即 NH<sub>3</sub>-N $\leq$ 35 mg/L。污水排放不满足相关的标准要求。

### 1.2.2 生化 DO 不稳定

本项目曝气总共三台罗茨风机 + 一台磁悬浮风机微孔式曝气,实际运行中罗茨风机定频风量 15 m<sup>3</sup>/min<sup>3</sup>台,磁悬浮风机变频最小风量 79 m<sup>3</sup>/min,最大风量 120 m<sup>3</sup>/min。池体分为一级 A/O 和二级 A/O 系统分段式运行(见表 2)。

根据以上参数计算可以得出:

(1)一级 A/O 曝气量( $R_{O_2}$ )<sup>[3]</sup>:

$$R_{O_2} = 0.001a \times f \times (S_o - S_e) - c \times g + b \times [0.001f \times (NK_o - NK_e) - 0.12g] - 0.62b \times [0.001f \times (N_t - NK_e - N_{oe}) - 0.12g] + c \times KdN_{21} \times V_{o_2} \times e = 4\ 097.66(kg/d)$$

二级 A/O 曝气量( $R_{O_2}$ ):

$$R_{O_2} = 0.001a \times f \times (S_o - S_e) - c \times g + b \times [0.001f \times (NK_o - NK_e) - 0.12g] - 0.62b \times [0.001f \times (N_t - NK_e - N_{oe}) - 0.12g] +$$

表 2 一级 A/O 和二级 A/O 曝气参数

指标名称	计算简称	一级 A/O 参数	二级 A/O 参数	单位
污水流量	Q	800	800	m <sup>3</sup> /d
进水 COD	—	8 000	1 000	mg/L
进水 BOD 浓度	S <sub>o</sub>	4 400	800	mg/L
出水 BOD 浓度	S <sub>e</sub>	250	150	mg/L
MLSS	—	3 800	3 000	mg/L
碳当量系数	a	1.2	1.2	—
污泥龄	f	15	15	d
细菌细胞的氧含量	c	1.42	1.42	—
好氧池容积	V <sub>o2</sub>	2 700	1 000	m <sup>3</sup>
曝气池有效水深	H	6	5.5	m
氧利用率	E <sub>a</sub>	30%	30%	—
平均温度	T	25	25	℃
阻力修正系数	$\alpha$	0.8	0.8	—
进水总氮量	N <sub>t</sub>	400	55	mg/L
出水硝态氮量	N <sub>oe</sub>	40	10.5	mg/L
进水总凯式氮	NK <sub>o</sub>	253	253	mg/L
出水总凯式氮	NK <sub>e</sub>	22.5	22.5	mg/L
污泥自身氧化系数	KdN <sub>21</sub>	0.04	0.04	—
挥发性悬浮物固体浓度	e	0.5	0.5	gvss/L
氧化每公斤氨氮所需氧量	b	4.57	4.57	kgO <sub>2</sub> /kgN
氧化池排除系统的微生物量	g	25	25	kg/d
反硝化池容积	VDN	300	400	—
浙江省的大气压力	P	103 400	103 400	pa
清水表面饱和溶解氧	C <sub>m</sub>	12	12	—
混合液剩余溶解氧浓度	C <sub>o</sub>	2	2	mg/L
饱和氧系数	$\beta$	1	1	—

$$c \times KdN_{21} \times V_{o_2} \times e = 695.48(kg/d)$$

(2)一级 A/O 曝气装置的绝对压力( $P_b$ ):

$$P_b = P + 9.8 \times 10^3 \times H = 162\ 200(Pa)$$

二级 A/O 曝气装置的绝对压力( $P_b$ ):

$$P_b = P + 9.8 \times 10^3 \times H = 157\ 300(Pa)$$

(3)一级 A/O 曝气池溢出气体含氧量( $Q_t$ ):

$$Q_t = \frac{21 \times (1 - E_a)}{79 + 21 \times (1 - E_a)} = 15.69\%$$

二级 A/O 曝气池溢出气体含氧量( $Q_t$ ):

$$Q_t = \frac{21 \times (1 - E_a)}{79 + 21 \times (1 - E_a)} = 15.69\%$$

(4)一级 A/O 曝气盘至池面的清水平均溶解氧( $C_s$ ):

$$C_s = C_m \times \left( \frac{P_b}{2.026 \times 10^5} + \frac{Q_t}{42} \right) = 9.654$$

二级 A/O 曝气盘至池面的清水平均溶解氧 ( $C_s$ ):

$$C_s = C_m \times \left( \frac{P_b}{2.026 \times 10^5} + \frac{Q_t}{42} \right) = 9.36(\text{mg/L})$$

(5)一级 A/O 需氧修正系数( $K_o$ ):

$$K_o = \frac{C_s}{\alpha \times \beta \times (C_s - C_o) \times 1.024^{T-20}} = 1.552$$

二级 A/O 需氧修正系数( $K_o$ )

$$K_o = \frac{C_s}{\alpha \times \beta \times (C_s - C_o) \times 1.024^{T-20}} = 1.552$$

(6)一级 A/O 曝气池需氧量( $R_o$ )<sup>[4]</sup>:

$$R_o = R_{o_2} \times K_o = 6\,309.06(\text{kg/h})$$

二级 A/O 曝气池需氧量( $R_o$ ):

$$R_o = R_{o_2} \times K_o = 44.99(\text{kg/h})$$

(7)一级 A/O 曝气量( $GS$ )及最大曝气量( $GS_{\max}$ ):

$$GS = \frac{R_o}{0.28 \times Ea} = 3\,129.5(\text{m}^3/\text{h}) = 52.16(\text{m}^3/\text{min})$$

$$GS_{\max} = GS \times (Ea + 100\%) = 67.81(\text{m}^3/\text{min})$$

二级 A/O 曝气量( $GS$ )及最大曝气量( $GS_{\max}$ ):

$$GS = \frac{R_o}{0.28 \times Ea} = 8.93(\text{m}^3/\text{min})$$

$$GS_{\max} = GS \times (Ea + 100\%) = 11.6(\text{m}^3/\text{min})$$

一级生化有效水深 6 m,二级生化有效水深 5.5 m,根据运行情况统计,使用罗茨风机溶解氧长期偏低,微生物新陈代谢滞缓,使用磁悬浮风机,污泥容易老化解体。采用在曝气总风管处安装泄气阀一处,好氧池一级及二级进口总风管处各安装一级总阀,总阀后安装 4 个分阀的方案,运行中平均每日 DO 控制需要调节总分阀操作次数 10 次以上,操作繁琐且不易控制。

根据计算结果来看,由于池体有效水深不同,导致空气在污水中的压力不同,相同风量下的溶解氧变化幅度不同。不利于生化系统菌种的繁殖更替。

### 1.2.3 出水浊度高

根据检测结果显示,实际运行进水浊度 SS 为 150 mg/L,生化系统出水浊度高于进水,中沉池及二沉池的污泥排放周期不固定,末端气浮设备去处效率有限,出水带泥,导致出水 COD 和 TP 高。严重时甚至会导致超标。

## 2 解决方案

### 2.1 出水氨氮不稳定

该项目废水为制药厂废水,项目生产过程中有大量清洗反应釜的甲醇产生,通过报废甲醇完全可

以通过调配提升 BOD/COD  $\approx 0.55$  后再进入生化系统,可以巧妙的解决原水可生化性差的问题,另外,清洗甲醇作为碳源使用,减少了危险废物的处置,具有一定的长期经济效益。计算结果与实际运行情况基本一致,生化出水氨氮大于 35 mg/L,针对此种情况,对现场运行工艺及参数进行调整(见表 3)。

表 3 硝化、反硝化参数

工艺名称	指标名称	计算简称	取值	单位
硝化参数	平均温度	T	21	℃
	进水 COD	—	8 000	mg/L
	安全系数	SF	3.2	—
	硝化生长率	—	0.047	—
	硝化菌繁殖率	$Y_n$	0.15	—
	污泥自身氧化系数	$K_d N_{21}$	0.08	mgVSS/mg 氨氮
	溶氧饱和系数	$K_o$	1	—
	氨氮饱和常数	KN	0.3	—
	自氧系数	$K_d_{21}$	0.04	—
	溶解氧	$D_o$	2.0	mg/L
反硝化参数	pH	—	8.5	—
	反硝化速率	UDN <sub>24</sub>	0.11	—
	缺氧池溶氧	DO <sub>n</sub>	0.15	—
	pH	—	8.8	—

根据以上参数,计算可以得出:

(1)污泥自身氧化系数( $K_d$ )

$$K_d = K_d_{21} \times 1.05^{T-20} = 0.42$$

(2)硝化菌最大比生长速率( $\mu_m$ ):

$$\mu_m = \mu_{m_{21}} \times e^{[0.98 \times (T-15)] \times [1-0.833 \times (7.2-pH)] \times \frac{D_o}{K_o + D_o}} = 3.28$$

(3)硝化菌自身氧化系数( $K_dN$ )

$$K_dN = K_d N_{21} \times 1.05^{T-20} = 0.084$$

(4)最大基质利用率( $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{\mu_m}{Y_n} = 21.86$$

(5)最小硝化泥龄( $T_{c_{\min}}$ )

$$T_{c_{\min}} = \frac{1}{Y_n \times \gamma - K_dN} = 0.31(\text{d})$$

(6)设计泥龄( $T_c$ ):

$$T_c = SF \times T_{c_{\min}} = 1(\text{d})$$

(7)硝化污泥负荷( $U_n$ )

$$U_n = \frac{1}{T_c} + K_dN = 7.22(\text{mg/L})$$

(8)出水氨氮浓度( $Ne$ )

$$Ne = U_n \times \frac{KN}{\gamma - U_n} = 0.15(\text{mg/L})$$

通过改变运行过程中的 COD 与 TN 的比例,提高 C:N,降低氨氮饱和常数和饱和系数,同时,适当的降低污泥浓度,提高硝化菌繁殖能力,降低自身氧化速率,改变硝化菌种的生长率、繁殖率,就可以做到出水氨氮的指标稳定达标。

## 2.2 生化 DO 不稳定

关闭二级曝气风管的总阀,一级泄气阀安装消音器,调节泄气阀至一级生化系统曝气量稳定在 60 m<sup>3</sup>/min,一级生化系统的溶解氧稳定在 2~4 ppm 之间;二级曝气风管总阀后安装三通+泄气阀,二级泄气阀安装消音器并接入罗茨风机,调节泄气阀至二级生化系统曝气量稳定在 10 m<sup>3</sup>/min,二级生化系统的溶解氧稳定在 2~4 ppm 之间(见图 2、图 3)。

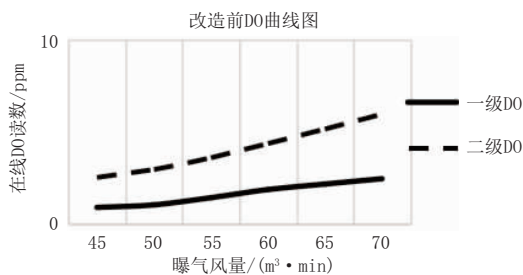


图 2 改造前曝气风量 DO 曲线(单位:ppm)

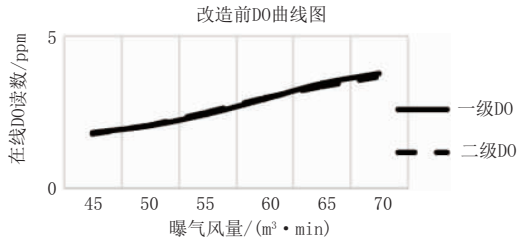


图 3 改造后曝气风量 DO 曲线(单位:ppm)

改造前在一级 DO 维持在 2~4 ppm 时,二级 DO 大于 4 ppm,二级 A/O 系统的污泥老化严重;改造后调节曝气风量,一级 DO 和二级 DO 的曲线基本重合,一级 DO 和二级 DO 可以同时满足 2~4 ppm 的标准。

## 2.3 出水浊度高

固定适宜的排泥周期,防止污泥老化<sup>[5]</sup>,制定适宜的污泥排放周期(见表 4)。

根据以上参数,计算可以得出:

污泥有机部分产量( $W_{ds_1}$ ):

$$W_{ds_1} = (S_0 - S_e) \times Y_{obs} \times \frac{Q}{1000} = 531.2(\text{kg/d})$$

污泥惰性部分产量( $W_{ds_2}$ )

$$W_{ds_2} = SS \times Q \times \frac{\eta}{1000} = 80(\text{kg/d})$$

硝化污泥产量,硝化污泥产生量基本可以忽略。

综合污泥排放量:

$$W_{ds} = W_{ds_1} + W_{ds_2} = 611.2(\text{kg/d})$$

表 4 污泥产率基础信息

工艺名称	指标名称	计算简称	取值	单位
污泥产率 基础信息	进水 BOD 浓度	$S_0$	4 400	mg/L
	出水 BOD 浓度	$S_e$	250	mg/L
	BOD 表观产率系数	$Y_{obs}$	0.16	mgVSS/mgBOD
	污水流量	$Q$	800	m <sup>3</sup> /d
	总固体悬浮物	SS	400	mg/L
	总悬浮 TSS 惰性组分比例	$\eta$	25%	—

浓缩池污泥含水率取  $H_s = 98\%$ <sup>[6]</sup>,浓缩池需排放泥水混合液总量( $M$ ):

$$M = \frac{W_{ds}}{H_s} = 30\ 560(\text{kg/d}) = 30.56(\text{t/d})$$

制定适宜的污泥排放周期后,污泥老化情况得到好转,出水浊度可以满足相关的标准要求。

## 3 结语

(1)出水氨氮不稳定的问题,通过改变运行过程中的 COD 与 TN 的比例,提高 C:N,降低氨氮饱和常数,同时,降低污泥浓度,提高硝化菌种的繁殖能力,降低硝化菌种的自身氧化速率,就可以做到出水氨氮的稳定达标。

(2)生化 DO 不稳定的问题,适配相应的调节阀,通过改变气量通道和水体中的溶解氧浓度,做到溶解氧的持续稳定在 2~4 ppm 之间。

(3)出水浊度高的问题,通过固定适宜的排泥周期,防止污泥老化,出水带泥,每天固定排放泥水混合液 30.56 t,出水浊度在运行一段时间后,在不新增其它末端处理设施的前提下,可以得到有效恢复。

本研究主要是通过调控硝化参数来达到控制出水氨氮浓度;通过相对经济的工程改造保证 DO 的稳定;通过精准控制污泥的排放周期和排放量降低出水浊度,为污水处理中心的平稳运行提供稳定性调节方案。

### 参考文献:

- [1] 冯亮.好氧反硝化菌 *Pseudomonas stutzeri* T13 的脱氮特性及机制研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2022.
- [2] 任静.生物炭基异养硝化菌固定化体对水中氨氮的去除和 N<sub>2</sub>O 排放的影响[D].太原:太原理工大学,2021.
- [3] 王祖恒,朱菊香,沈绍传,等.旋转曝气器的曝气充氧性能研究[J].现代化工,2017,37(6):161-165.
- [4] 郭旋,刘俊新.曝气时间对活性污泥絮体吸附和聚集性能的影响[J].工业用水与水,2016,47(4):22-28.
- [5] 刘志刚,杨长明,吴冰,等.污水处理厂污泥排放规律现状分析[J].给水排水,2019,55(S1):179-180.
- [6] 刘芳.“涡凹气浮”设备用于污泥浓缩应用研究[J].黑龙江环境通报,2021,34(3):24-25.