

运行与管理

# 冬季 A<sup>2</sup>O 工艺在城市污水处理厂的运行经验总结

张 俊

(苏州市排水有限公司, 江苏 苏州 215006)

**摘 要:** 苏州市某城市污水处理厂第四期建设的生物池采用 A<sup>2</sup>O 工艺,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。在冬季水温 < 12 ℃ 时,总氮去除效果不理想,通过调节曝气末端 DO、回流比、多点进水、内回流点,使其达到良好的脱氮除磷效果,出水稳定达标排放。

**关键词:** 城市污水处理厂; A<sup>2</sup>O 工艺; 总氮; 脱氮除磷

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)18-0114-04

## Operation Practice of A<sup>2</sup>O Process in a Municipal Sewage Treatment Plant in Winter

ZHANG Jun

(Suzhou Drainage Company Limited, Suzhou 215006, China)

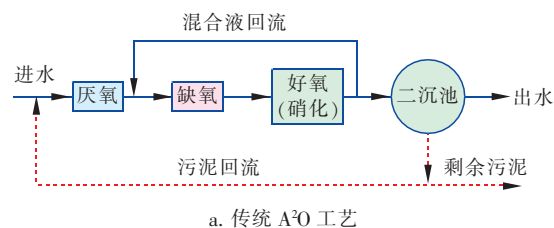
**Abstract:** The A<sup>2</sup>O process is applied in the bio-pool constructed in the fourth phase of a municipal sewage treatment plant in Suzhou. The first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) should be implemented. When the water temperature was lower than 12 ℃ in winter, the total nitrogen removal effect was not satisfactory. By adjusting the DO at the end of aeration tank, reflux ratio, multi-point water intake, and internal recirculation point, it has achieved a good nitrogen and phosphorus removal effect, and the effluent has met the discharge standard.

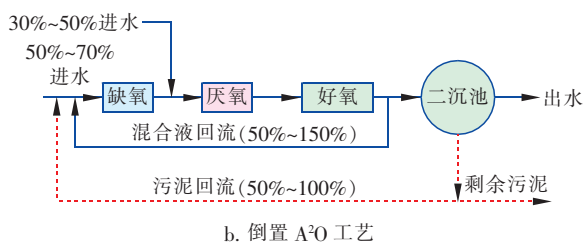
**Key words:** municipal sewage treatment plant; A<sup>2</sup>O process; total nitrogen; nitrogen and phosphorus removal

### 1 工程概况

苏州某城市污水处理厂地处市区西南角,西傍京杭古运河,主要处理老城区西南片区的生活污水。项目分四期实施,其中一期、二期为二级生化处理,三期为升级改造项目,四期为综合改造(加盖除臭)项目。四期采用 A<sup>2</sup>O 工艺,共设 2 组,每组共 15 格生物池,设计时提供多点进水(第 1、3、5 格生物池)、内回流渠道共有 4 个回流点(回流污泥可根据需求选择切换至第 1、3、5、7 格生物池)。调控非常

灵活,可根据实际生产需求将其从正置 A<sup>2</sup>O 工艺调整为倒置 A<sup>2</sup>O 工艺,从而应对不同季节、不同负荷下的水质处理。传统 A<sup>2</sup>O 与倒置 A<sup>2</sup>O 示意图 1。



图1 传统A<sup>2</sup>O和倒置A<sup>2</sup>O工艺Fig. 1 Flow chart of traditional A<sup>2</sup>O process and inverted A<sup>2</sup>O process

### 1.1 设计规模及水质

该污水处理厂四期设计处理规模为  $6.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,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	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	NH <sub>3</sub> -N	TP
进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	360	180	250	50	35	5.0
出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	50	10	10	15	5(8)	0.5
去除率/%	86.1	94.4	96.0	70.0	85.7(77.1)	90.0

### 1.2 主要构筑物及设计参数

#### ① 初沉池

初沉池为平流式,沉淀区平面净尺寸为36.65 m×8.0 m,边水深为3.0 m,1座分2组,每组可按  $3.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d 单独运行。规模:3 250 m<sup>3</sup>/h,单池尺寸:36.65 m×8.0 m×3.5 m(1座2组,2单池),设计高峰表面负荷为  $5.54 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设计平均表面负荷为  $4.26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水平流速为16.1 mm/s,出水堰负荷为3.0 L/(s·m),高峰流量停留时间为0.63 h,污泥量为3 000 kg/d,污泥含水率为97.0%,BOD<sub>5</sub>去除率为10%,SS去除率为20%,TN去除率为2.5%,TP去除率为零。

#### ② 生物反应池

生物反应池共设2组,总有效容积为45 360 m<sup>3</sup>,每组由15座池体组成。来自细格栅及曝气沉砂池的污水与二沉池套筒阀压到回流渠道的回流污泥一并进入缺氧段。第1~2池为厌氧段,第3~5池为缺氧段,每组设置8套潜水搅拌机,共16台;电机功率:14台10.0 kW,2台2.5 kW。通过潜水搅拌机使池内污水搅动,避免污泥沉积。好氧段底部均配置微孔曝气器,采用底部微孔曝气的方式,为微生物生长提供充足的氧气,同时确保池内混合液呈悬浮状态,提供良好的反应空间。微孔曝气器选用盘式。每组池好氧段出水处设置3台(2用1备)内

回流泵(共6台),单泵流量1 250 m<sup>3</sup>/h,扬程35 kPa。通过设置在第一和第二廊道中间的内回流渠道,将内回流污泥送至缺氧段各点。内回流渠道设有多个出水口,以便于生物反应池传统A/A/O模式能切换为“倒置”缺氧—厌氧—好氧状态运行。

#### ③ 鼓风机房

四期鼓风机房配备单级高速磁悬浮离心鼓风机3台,2用1备,风量为135 m<sup>3</sup>/min,功率为240 kW,噪声控制在80 db以下。

#### ④ 二沉池

二沉池为平流式,每组规模为1 625 m<sup>3</sup>/h(共2组),单格池尺寸为42 m×8.6 m×4.0 m(每组4格),设计高峰表面负荷为  $1.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设计平均表面负荷为  $0.86 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,高峰停留时间为3.55 h,水平流速为3.28 mm/s,出水堰高峰负荷为1.56 L/(s·m)(堰长290 m),平均流量为1.20 L/(s·m)。每组二沉池设置4台电动闸门,可以对流量进行调节。通过刮板将沉积于池底的污泥刮向泥斗,由电动排泥阀将泥斗中的污泥排入排泥槽。排泥槽所有排泥汇合接入污泥泵井,来自两组二沉池的回流污泥,将通过潜水轴流泵提升后进入生物反应池。共设置外回流污泥泵5台(4用1备),回流率为100%~150%,单泵流量为938 m<sup>3</sup>/h,扬程为50 kPa。

剩余污泥通过潜水离心污水泵提升至配泥井,剩余污泥泵共3台(2用1备),单泵流量为120 m<sup>3</sup>/h,扬程为90 kPa。

### 2 实际运行情况

该厂四期在建设完成投入运行时采用传统A<sup>2</sup>O工艺,第1~2格为厌氧段,第3~5格为缺氧段,第6~15格为好氧段。进水点为第1格100%开启度,外回流比为75%,内回流比为160%。夏季运行时,各项污染物削减量均能达到设计要求,冬季时总氮去除率较低,尤其在水温<12℃时,去除率仅为60%左右。温度不仅影响硝化菌、反硝化菌的比增长速率,同时也影响其活性。温度<15℃时硝化及反硝化速率急剧降低,对生产调控提出更高的要求<sup>[1,2]</sup>。该厂生产人员在数据分析时发现由于好氧段停留时间较长,并且维持较高的溶解氧水平,使得该工艺提供较好的硝化反应环境。随后对缺氧池活性污泥进行反硝化速率测定,发现缺氧反应90 min内,其反硝化速率在0.016 mg/(g·min),最大反硝

化速率为  $0.028 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ , 远小于王社平等<sup>[3]</sup>研究中的  $0.218 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。总氮去除率低主要是因为反硝化速率低, 随后对工艺做出调整。

### 3 调控措施

#### 3.1 传统A<sup>2</sup>O

该厂四期采用传统 A<sup>2</sup>O 工艺, 内回流点设置在 3#池(缺氧段第一格), 优点是兼顾了除磷脱氮效果, 既能保证良好的释磷环境, 又能满足硝化反硝化。然而目前面临低温环境下的低反硝化速率问题, 通过内回流比、DO、进水配比调整后仍不理想。

##### 3.1.1 内回流比调整

硝酸盐由内回流输送到缺氧区反硝化, 完全硝化且碳源充足的情况下, 总氮去除率主要受内回流控制<sup>[4,5]</sup>。由于该厂目前硝化水平较高, 第一调控方向即增加内回流比, 由 160% 提升至 200%。调整后总氮并未有明显下降, 一方面是因为末端 DO 较高, 加大回流后缺氧段反硝化受到一定影响, 另一方面则可能是碳源不足, 虽然内回流加大, 但反硝化水平仍未得到显著提升。

##### 3.1.2 布气调整

四期工艺曝气末端 DO 较高, 前端较低, 前端 DO 较低不能迅速进入好氧模式, 等于变相缩短了好氧段的 HRT。另外, 好氧微生物从缺氧段进入好氧段初期时会更多需求 DO, 这也是前端 DO 表现低的原因之一。而末端 DO 较高, 通过外回流泵回流到缺氧段会使整个缺氧段的溶解氧水平提升, 当分子态氧和硝酸盐同时存在于缺氧段时, 反硝化细菌优先进行有氧呼吸, 因此反硝化将受到抑制。该厂调整布气时先将曝气末端 13~15 格生物池支管开启度由一半调整为最小, 将中端 9~12 格支管开启度由全开调整为一半, 将前端 6~8 格支管开启度由一半调整为全开。通过调整干管开启度, 将 11~15 格整体供气水平降低, 将末端 DO 控制在  $0.2 \text{ mg/L}$  以下。

##### 3.1.3 进水配比调整

反硝化细菌主要是异养型细菌, 有机物是其不可缺少的能源和碳源, 要使反硝化反应顺利进行, 必须为反硝化细菌提供合适的电子供体, 尤其是在增加内回流比后。随后该厂调整了进水配比, 将单点 1#进水闸门 100% 开启度调整为多点进水, 1#进水闸门 100%、2#进水闸门 30% 开启度。在补充碳源的同时也降低了缺氧段的 DO, 提供原水中优质

VFA 用于反硝化。表 2、表 3 分别为调整前后的数据。

表 2 调整前指标

Tab. 2 Indexes before adjustment  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

日期	1#厌氧		15#好氧		NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
	MLSS	DO	MLSS	DO			
2017-01-27	5 110	0.58	4 010	5.65	0.79	15.8	1.65
2017-01-28	4 980	1.50	3 860	4.05	2.42	14.0	0.67
2017-01-29	5 980	0.12	3 940	8.03	0.23	12.8	0.46
2017-01-30	4 950	0.26	3 840	6.26	1.32	12.7	0.37
2017-01-31	4 720	0.34	3 650	4.85	0.62	12.2	0.88
2017-02-01	5 220	0.14	3 420	5.78	0.87	11.2	0.72
2017-02-02	5 320	0.18	3 720	4.32	2.31	13.3	0.93

表 3 调整后指标

Tab. 3 Indexes after adjustment  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

日期	1#厌氧		15#好氧		NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
	MLSS	DO	MLSS	DO			
2017-02-04	4 860	0.22	3 840	0.36	0.160	13.4	1.62
2017-02-05	5 060	0.20	3 900	0.51	0.240	13.2	1.72
2017-02-06	4 480	0.12	4 060	0.41	0.502	12.7	1.54
2017-02-07	4 520	0.13	4 220	0.42	0.231	12.0	1.67
2017-02-08	4 940	0.15	4 260	0.31	0.479	11.7	1.99
2017-02-09	4 900	0.18	4 200	0.33	0.608	11.2	2.08
2017-02-10	4 820	0.16	4 040	0.32	0.253	9.9	1.66
2017-02-11	5 150	0.19	3 970	0.29	0.199	11.6	1.44
2017-02-12	4 950	0.20	4 010	0.34	0.566	11.4	1.38
2017-02-13	4 820	0.14	4 220	0.43	0.241	9.95	1.57

#### 3.2 倒置A<sup>2</sup>O

该厂倒置 A<sup>2</sup>O 工艺如图 2 所示。

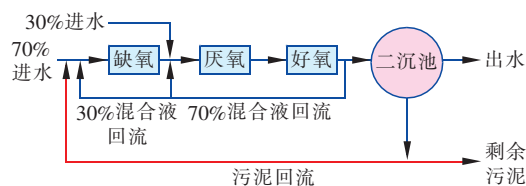


图 2 倒置 A<sup>2</sup>O 工艺

Fig. 2 Inverted A<sup>2</sup>O process of the WWTP

在传统 A<sup>2</sup>O 工艺不能有效解决低温环境下反硝化速率问题时, 该厂将第一格生物池的内回流闸门开 30%, 将缺氧池置于厌氧池前面。四期二沉池套筒阀压过去的回流污泥和大约 70% 的进水量, 以及 30% 的曝气末端混合液回流一起进入缺氧段, 内回流混合液和外回流过来的污泥在缺氧池内进行反硝化, 去除一部分硝态氧, 随后再流入厌氧段, 消耗掉了一部分硝酸盐可以降低厌氧段对释磷的干扰。

由于增加了内回流,一部分污泥回流至缺氧段后,缺氧段的污泥浓度可比好氧段高出约 50%。单位池容的反硝化速率明显提高,并且优先获得一部分碳源,反硝化作用能够得到有效保证,调整后总氮明显呈下降趋势,2 月进水总氮均值为 42.7 mg/L(数据见表 4)。

表 4 调整为倒置 A<sup>2</sup>O 工艺后的数据

Tab.4 Indexes of the inverted A<sup>2</sup>O process after adjustment

mg · L<sup>-1</sup>

日 期	1#缺氧		15#好氧		TN	TP
	MLSS	DO	MLSS	DO		
2017-02-17	5 660	0.18	4 440	0.41	7.08	0.98
2017-02-18	5 890	0.16	4 270	0.32	7.86	0.97
2017-02-19	6 010	0.17	4 290	0.28	8.68	0.75
2017-02-20	6 060	0.15	4 380	0.19	8.64	0.93
2017-02-21	5 920	0.19	4 400	0.17	8.64	0.84
2017-02-22	6 140	0.15	4 260	0.25	7.57	0.44
2017-02-23	6 280	0.20	4 500	0.21	7.86	0.75
2017-02-24	6 060	0.20	4 380	0.19	7.57	0.42
2017-02-25	6 180	0.16	4 310	0.17	7.67	0.72
2017-02-26	6 130	0.12	4 540	0.24	5.72	0.82
2017-02-27	6 080	0.13	4 720	0.61	7.57	0.55
2017-02-28	6 500	0.32	4 620	0.11	7.71	0.79

4 结 论

① 传统 A<sup>2</sup>O 工艺其内回流比、布气分配及进水配比需组合进行调整,方可有效提高对氮、磷的去除。当末端 DO < 0.5 mg/L,内回流比为 200%,缺氧段 30% 进水配比,可以获得良好的脱氮效率,其总氮去除率为 72.6%。

② 倒置 A<sup>2</sup>O 工艺与传统 A<sup>2</sup>O 工艺相比,在反硝化上明显具有优势,调整后其总氮去除率达 82%,在冬季低温、碳源不足的情况下,采用倒置 A<sup>2</sup>O 工艺可以强化对总氮的去除,同时满足对总磷的削减。

参考文献:

[1] 董涛. 微孔曝气变速氧化沟中试运行及生物除磷影响因素研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2014.  
Dong Tao. Operational Test of Micropore Aeration Variable-Speedoxidation Ditch in a Pilot-scale and Influence Factors of Biological Phosphorus Removal[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,

2014(in Chinese).

[2] 操家顺,侯梁浩,方芳,等. 温度及外加碳源对生物脱氮除磷过程的影响[J]. 环境工程学报,2013,7(6): 2013-2018.  
Cao Jiashun, Hou Lianghao, Fang Fang, *et al.* Effect of temperature and external carbon source on simultaneous nitrogen and phosphorus removal[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(6): 2013-2018 (in Chinese).  
[3] 王社平,王卿卿,惠玲玲,等. 分段进水 A/O 脱氮工艺反硝化速率的测定[J]. 环境工程,2008,26(3):56-58.  
Wang Sheping, Wang Qingqing, Hui Lingling, *et al.* The determination of denitrification rate of step-feed A/O nitrogen removal process[J]. Environmental Engineering, 2008, 26(3): 56-58 (in Chinese).  
[4] 马浩亮. 多点进水 OAO 工艺处理生活污水的试验研究[D]. 郑州:郑州大学,2015.  
Ma Haoliang. Research on the Domestic Wastewater by the Two-point Influent OAO Process [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2015 (in Chinese).  
[5] 吕贞,董阳,施亚栋,等. A-A<sup>2</sup>/O 工艺回流系统控制优化研究[J]. 中国给水排水,2016,32(19):36-39.  
Lyu Zhen, Dong Yang, Shi Yadong, *et al.* Study on optimization of return system in A-A<sup>2</sup>/O process[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(19): 36-39 (in Chinese).



作者简介:张俊(1987- ), 男, 江苏苏州人, 大学本科, 工程师, 从事污水厂运行管理工作。

E-mail:16753098@163.com

收稿日期:2017-04-14