

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.021

污水处理厂多模式生物反应池的设计应用分析

高绪涛¹, 田津²

(1. 烟台市城市排水服务中心, 山东 烟台 264013; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 某污水处理厂二期工程设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计采用多模式生物反应池,可按照A-A²/O、倒置A²/O、Bardenpho、侧流硝化和侧流污泥水解等多种模式运行。实际运行结果表明,在未投加碳源和化学药剂的情况下,该工程出水水质可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,后续还有进一步提升的空间。

关键词: 污水处理厂; 多模式生物反应池; 倒置A²/O工艺

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0124-04

Design and Application Analysis of Multi-mode Biological Reaction Tank in a WWTP

GAO Xu-tao¹, TIAN Jin²

(1. Yantai Urban Drainage Service Center, Yantai 264013, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The design scale of the second phase project of a wastewater treatment plant (WWTP) is $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. A multi-mode biological reaction tank is adopted in the design and can operate according to various modes such as A-A²/O, inverted A²/O, Bardenpho, side-stream nitrification, side-stream sludge hydrolysis and etc. The actual operation results show that the effluent quality of the project can meet the first level A criteria of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002) without adding carbon source and chemical agents, and could be better for further improvement.

Key words: wastewater treatment plant; multi-mode biological reaction tank; inverted A²/O process

1 项目背景

某污水处理厂一期工程于2002年5月建成,处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用氧化沟工艺,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B标准;2013年完成提标改造,采用ARP/SSH (Active Return Sludge Process/Side Sludge Hydrolysis)工艺,提标改造后出水水质达到一级A标准。因该污水处理厂处理能力不足,2017年二期工程开工建设,预处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,生化处理

和深度处理规模均为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,并于2018年底竣工投运。该工程扩建污水处理厂出水接纳水体要求为地表水Ⅲ类标准,因此污水厂出水水质按一级A标准执行。

2 工艺设计

合理确定设计进水水质是本工程应重点研究的问题。此次设计以该污水处理厂近年来的实测数据为基础,采用适当的保证率确定进水水质。设计进水水质见表1。从表1可知,本工程进水可生化性较

好,生物除磷碳源充足,但反硝化脱氮碳源不足。一般认为,当反硝化反应器污水的 BOD_5/TKN 值大于4~6时,可以认为碳源充足^[1]。由于管网分流不彻底、地下水入渗等原因,造成进水污染物浓度偏低。今后随着污水收集管网进一步完善、雨污彻底分流,进水污染物浓度及营养比例皆有可能发生变化。另外,该流域的地表水环境仍需进一步改善,不排除对氮、磷指标提出更严格的要求。因此,设计时应尽可能在控制投资的前提下,充分考虑今后进、出水水质变化的适应性。

表1 污水处理厂实际水质及设计进水水质
Tab.1 Actual and design influent quality of the WWTP $mg \cdot L^{-1}$

项 目	COD	BOD_5	SS	TN	NH_3-N	TP
进水平均值	184	84	99	37	30	1.8
设计进水水质	280	105	130	50	43	2.5

注: BOD_5/COD 为 0.46, BOD_5/TN 为 2.27, BOD_5/TP 为 46.67。

经综合考虑,确定本次设计的工艺流程为:粗格栅及进水泵房→细格栅及曝气沉砂池→多模式生物池→二沉池→高效沉淀池→消毒接触池→巴

表2 池1~5主要设计参数

Tab.2 Main parameters of biological tank 1~5

项目	HRT/h	主要设备配置	状态调控
池1	1.68	立轴搅拌器1台, $\varnothing 2\,500\text{ mm}$, $N=5.5\text{ kW}$; 管式曝气器350 m, 曝气量 $6\sim 8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$; 方闸门1台, $B\times H=2\,000\text{ mm}\times 1\,500\text{ mm}$	厌氧/缺氧/好氧可调
池2	0.50	潜水搅拌器2台, $N=3.0\text{ kW}$; 方闸门1台, $B\times H=1\,200\text{ mm}\times 1\,500\text{ mm}$	厌氧/缺氧可调
池3~5	1.30×3	立轴搅拌器3台, $\varnothing 2\,500\text{ mm}$, $N=4.0\text{ kW}$	厌氧/缺氧可调

② 池6

池6为完全混合式好氧池,水力停留时间为5.65 h。主要设备:2台潜水推进器, $\varnothing 2\,500\text{ mm}$, $N=5.5\text{ kW}$; 管式曝气器1 050 m, 曝气量 $6\sim 8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$; 方闸门2台, $B\times H=1\,200\text{ mm}\times 1\,200\text{ mm}$ 。

③ 池7

池7为兼氧池,可按好氧或缺氧方式运行,水力停留时间为1.73 h。主要设备:2台潜水搅拌器, $N=3.0\text{ kW}$, 安装于最后一个廊道的起端; 管式曝气器300 m, 曝气量 $6\sim 8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$; 2台手电两用空气调节蝶阀, $DN500$, $N=0.75\text{ kW}$ 。

④ 池8

池8为污泥外回流泵池,包含回流污泥泵和剩余污泥泵。主要设备:1#回流污泥泵2台,1用1备,

氏计量渠→外排。

3 多模式生物池设计

多模式生物池是污水生化处理核心。生物池设计处理规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,与回流污泥泵池合建,分为2组,对称布置,设计总池容共 $34\,582\text{ m}^3$,有效水深6 m。池型布置见图1。

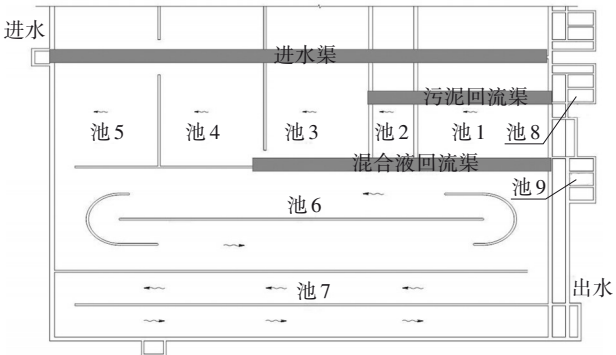


图1 多模式A²/O生物池的平面布置

Fig.1 Layout of multi-model A²/O process

① 池1~5

池1~5为独立分隔,可串联运行,或者池2~4串联运行,池1出水直接进池6。各池均可单独进水,池1~3可单独进回流污泥。主要设计参数见表2。

$Q=1\,050\text{ m}^3/\text{h}$, $H=30\text{ kPa}$, $N=22\text{ kW}$; 2#回流污泥泵2台,1用1备, $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$, $H=50\text{ kPa}$, $N=5.5\text{ kW}$, 2台变频; 剩余污泥泵2台,1用1备, $Q=55\text{ m}^3/\text{h}$, $H=220\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$ 。

1#回流污泥泵可将污泥回流至池1和池3; 2#回流污泥泵可将污泥回流至池1和池2,回流管设置电磁流量计,可对池1、池2的污泥回流比进行调控。

⑤ 池9

池9为混合液回流泵池。主要设备:套筒阀(含启闭机)2台, $DN700$, 调节范围1.2 m; 混合液回流泵3台, $Q=1\,050\text{ m}^3/\text{h}$, $H=18\text{ kPa}$, $N=18.5\text{ kW}$ 。混合液可从池6末端回流,也可从池7末端回流。

4 生物池运行模式及特点

A²/O工艺是目前较为成熟的污水脱氮除磷工

艺,也是《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)推荐的主体工艺。 A^2/O 工艺的生物反应池可根据进水条件和出水要求,人为创造和控制三段的时空比例和运行条件,从而获得较高的脱氮率。

在传统 A^2/O 工艺中,由于多种功能细菌群体共存于同一个污泥系统,各种细菌所要求的最适宜条件各不相同,因此系统不能同时满足不同微生物的最佳需求,必然会造成功能菌群之间的竞争。这种功能菌群对环境、营养物质和生存空间的竞争就构成了 A^2/O 系统固有的不足^[2],因此对传统 A^2/O 工艺的优化和改造一直是研究和探讨的重点内容之一。

在本工程实践中,两组生物池对称布置,池1~5由多个完全混合池串联而成,池6为完全混合式,池7为推流式;中间配水渠向两边多点配水;混合液多点内回流;位于生物池末端的污泥区结构紧凑、水力流畅;生物池内多个区域通过空气管道阀门和搅拌器的开闭控制曝气;外加碳源可投加至前后两段缺氧区。

在以上池体设计的基础上,该生物池具备良好的抗冲击负荷能力,可以根据进水水质和水温灵活调配碳源、微生物和供氧的时空分布,提高出水水质,降低运行成本。

针对进水水质、水量和水温的变化,各工况的随动运行模式分析如下:

① 生物除磷优先

李茂侨等^[3]研究表明,在厌氧释磷阶段污泥回流液中硝态氮浓度在10 mg/L以下时,不会影响厌氧释磷速率,但当硝态氮浓度达到15 mg/L后,厌氧释磷速率将大幅下降;同时碳源浓度也显著影响厌氧释磷总量。因此当进水总磷含量偏高时,调整进水及回流方式按 $A-A^2/O$ 方式运行,全部回流污泥和约10%~30%(根据实际情况进行调节)的进水量进入前置反硝化池1,回流污泥利用部分进水中的有机物作碳源去除硝态氮,为后续厌氧池的聚磷菌释磷创造良好环境。池2~3作为厌氧池、池4~5作为缺氧池运行,系统在反硝化程度不高的情况下,获得了较好的生物除磷效果。

② 生物脱氮优先

倒置 A^2/O 工艺的缺氧区位于生物池首端,允许反硝化优先获得碳源,强化了系统的脱氮能力;在碳源充足的条件下,聚磷菌厌氧释磷后直接进入好氧池,其吸磷能力被充分利用,除磷效率也得到提

高。因此当进水总氮含量偏高时,调整进水及回流方式按倒置 A^2/O 方式运行,全部进水、回流污泥以及来自好氧段的硝化回流液进入首端缺氧段池1~4,强化系统脱氮能力,池5则作为厌氧池用于除磷。

③ 进水TN含量高,脱氮率要求高于75%

无论 A^2/O 工艺如何变型,脱氮本质上还是要依赖硝化液回流。鉴于硝化液的过度内回流会破坏缺氧环境以及带来池容问题,因此 A^2/O 工艺存在脱氮效率的理论极限,当脱氮率要求高于75%时,需调整进水及回流方式,按Bardenpho方式运行。Bardenpho工艺在 A^2/O 工艺后增加一后置AO段,回流污泥和进水进入前段 A^2/O 池,后一段少量进水或补充外加碳源去除前段出水的硝酸盐氮,提高反硝化速率,强化脱氮。后段AO工艺的A段同时设有推流器和曝气器,按缺氧运行时,关闭曝气器,运行推进器。

④ 侧流硝化

硝化反应的适宜温度为20~30℃,反硝化反应的适宜温度为20~40℃。当温度低于15℃时,硝化菌和反硝化菌的繁殖、代谢速率和生物活性都会显著降低,从而影响硝化反硝化脱氮效果。因此,冬季低温情况下,对氨氮和总氮的去除难度会直线上升。

现代分子生物技术分析表明,活性污泥中自养菌数量仅占总生物量的1%~3%,只要自养菌数量有少许增加,系统的硝化性能就会有显著改善^[4]。因此,通过侧流培养硝化菌并补充进入生物池曝气区,可有效提升生物池硝化反应。在冬季低温(10℃以下)氨氮难以达标时,进水直接进池3~5,部分二沉池回流污泥进入池1,并对其进行间歇曝气,利用污泥中较为富集的氨氮,单独进行硝化菌的培养。一方面,主生物池已经完成了对快速可降解COD(RBCOD)的降解;另一方面,回流污泥微生物浓度更高,虽然池容不大,但水力停留时间更长,因此回流污泥中硝化菌的增殖速度更快,硝化菌量更多。

侧流硝化的运行模式能够使生物池克服冬季低温等不利因素,确保出水氨氮达标。

⑤ 侧流污泥水解

只要进入生物除磷工艺厌氧区的挥发性脂肪酸(VFA)浓度足够,强化生物除磷工艺可使出水TP达到0.1 mg/L^[5],但如果仅仅依赖进水中有限的

VFA和有机物在厌氧池短时间内的发酵,生化除磷出水难以降到1.0 mg/L以下。对剩余污泥进行水解补充进水RBCOD可有效提高总磷去除率,可谓绿色经济。

当需要利用侧流污泥水解除磷时,二沉池回流的活性污泥大部分回流到厌氧池3,而另一少部分则回流到一个单独的发酵池2,发酵后富含RBCOD的污泥进入池3,实现强化除磷目的。侧流污泥水解在强化除磷的同时,也为反硝化脱碳提供碳源,有利于强化脱氮。

5 运行效果分析

本工程于2019年初投入运行,暂时按倒置A²/O方式运行,不投加化学除磷药剂,没有外加碳源,处理后出水水质达到设计要求,平均出水水质见表3。

表3 实际运行进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项 目	COD		氨氮		总氮		总磷	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
平均值	352	17.7	19.6	0.99	27.6	7.7	1.4	0.13
最大值	790	40.3	51.3	3.75	65.3	14.7	2.3	0.39
一级A标准	50		5(8)		15		1.0	

6 结论

该污水处理厂生物处理采用多模式生物反应池,实际出水水质能够达到一级A标准。同时,该污水处理厂具有很大的提标空间,可根据需要,按照Bardenpho、侧流硝化和侧流污泥水解除磷方式运行,进一步降低氮、磷的排放。

参考文献:

[1] 郑兴灿. 城镇污水处理厂一级A稳定达标技术[M].

北京:中国建筑工业出版社,2015:55-59.

ZHENG Xingcan. Technology of Stable Meeting First Level A Standard for Municipal Wastewater Treatment Plant [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015:55-59(in Chinese).

[2] 王晓莲,彭永臻. A²/O法污水生物脱氮除磷处理技术与应用[M]. 北京:科学出版社,2009.

WANG Xiaolian, PENG Yongzhen. A²O Wastewater Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Technology and Application [M]. Beijing: Science Press, 2009 (in Chinese).

[3] 李茂侨,陈志强,温沁雪. 硝态氮及碳源浓度对A-AAO工艺厌氧释磷影响的研究[J]. 环境科学与管理, 2018, 43(2):107-111.

LI Maoqiao, CHEN Zhiqiang, WEN Qinxue. Effects of nitrate nitrogen and carbon source concentration on anaerobic phosphorus release from A-AAO process [J]. Environmental Science and Management, 2018, 43(2): 107-111(in Chinese).

[4] KRHUTKOVA O, NOVAK L, PACHMANOVA L, et al. In situ bioaugmentation of nitrification in the regeneration zone: practical application and experiences at full-scale plants [J]. Water Science & Technology, 2006, 53(12):39-46.

[5] BAMARD J L. Biological nutrient removal: where we have been, where we are going? [C]//WEFTEC. Proceedings of the Water Environment Federation. USA: WEFTEC, 2006:1-25.

作者简介:高绪涛(1980-),男,山东烟台人,大学本科,高级工程师,研究方向为污水处理工艺技术。

E-mail:gaofeiya01@cemi.com.cn

收稿日期:2019-05-20

修回日期:2023-03-12

(编辑:衣春敏)

开展河湖“清四乱”,打好河湖管理攻坚战