



DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2023. 06. 014

可灵活切换运行模式的微曝氧化沟脱氮除磷分析

李兴, 钟毓, 苏文越, 吴志昇, 王宇
(广东省环境保护工程研究设计院有限公司, 广东 广州 510062)

摘要: 以广东省普宁市某污水处理厂四期工程为例,详细介绍了可切换式微曝氧化沟的工艺设计、运行模式及实际处理效果。该工艺灵活性强,脱氮除磷效果好,出水水质稳定。从常规模式切换至强化脱氮模式,脱氮效果明显增强,TN削减量平均增加3.44 mg/L,TN去除率平均增加6.1个百分点,预计可节省运行成本0.035~0.084元/m³;强化除磷模式的效果尚未体现,但在应对未来进水水质变化时将保持一定的灵活性。

关键词: 微曝氧化沟; 模式切换; 脱氮除磷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)06-0088-05

Nitrogen and Phosphorus Removal Effect Analysis of Switchable Micro-aeration Oxidation Ditch

LI Xing, ZHONG Yu, SU Wen-yue, WU Zhi-sheng, WANG Yu
(Guangdong Environmental Protection Engineering Research and Design Institute Co. Ltd.,
Guangzhou 510062, China)

Abstract: Taking the phase IV project of a WWTP in Puning of Guangdong Province as an example, the process design, operating mode and actual effect of switchable micro-aeration oxidation ditch is elaborated. The process has strong flexibility, good nitrogen and phosphorus removal (NPR) effects, and stable effluent quality. Switching from the regular mode to the enhanced nitrogen removal mode, TN removal effects are significantly improved, with the average increase of TN removal amount by 3.44 mg/L and that of TN removal rate by 6.1 percentage point, expecting to save operation cost by 0.035-0.084 yuan/m³ of treated sewage. Effects of the enhanced phosphorus removal mode has not been demonstrated yet, however, it will remain flexibility in dealing with future fluctuations of influent quality.

Key words: micro-aeration oxidation ditch; mode switch; nitrogen and phosphorus removal

传统的A²/O生物脱氮除磷工艺应用广泛,但由于碳源竞争、污泥龄矛盾、硝酸盐限制等因素^[1],其脱氮除磷效果存在一定的局限性,为此衍生出倒置A²/O、改良A²/O、UCT等工艺。然而,新建/扩建污水处理厂的进水水质往往存在不确定性^[2],选择单独一种工艺在运行中缺乏灵活性。为此,袁敏忠等^[3]提供了一种可切换式微曝氧化沟污水处理系统,该工艺可通过调节闸门的启闭实现多种模式的切换,

充分发挥不同的工艺特点。

1 工程概况

广东省普宁市某污水处理厂分四期建设,总处理规模为23×10⁴m³/d,已建成的一、二、三期工程处理规模均为5×10⁴m³/d,其中:一、二期工程采用A²/O微曝氧化沟+高效沉淀池+砂滤池+紫外线消毒工艺,三期工程采用A²/O微曝氧化沟+反硝化深床滤池+紫外线消毒工艺。扩建的四期工程规模为8×

10⁴ m³/d,采用可切换式微曝氧化沟+反硝化深床滤池+紫外线消毒工艺^[4]。四期工程于2020年10月开工建设,2021年4月完工并进入通水试运行阶段。

四期工程设计出水执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准、《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)中第二时段一级标准的较严值。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/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	粪大肠 菌群/ (个·L ⁻¹)
进水	250	100	150	30	35	4.0	
出水	40	10	10	2	15	0.4	1 000

2 工艺设计

2.1 运行模式

可切换式微曝氧化沟采用一池两组设计。每组各有一个厌氧区、缺氧区、好氧区。每区的池型均为连续循环式沟型,设有导流墙。同组内厌氧区与缺氧区之间、缺氧区与好氧区之间各有两条过水廊道相连,一条用于污水沿工艺流程正常流通,另一条用于混合液的内回流。

可切换式微曝氧化沟通过调节闸门的启闭实现多种模式的切换,典型的 3 种运行模式为:①常规模式;②强化脱氮模式;③强化除磷模式。在实际运行过程中可根据进水碳、氮、磷的浓度关系或特定的脱氮除磷需求,选择最合适的一种运行模式,从而实现高效脱氮除磷,减少外加碳源或化学除磷药剂的投加成本。

2.1.1 常规模式

常规模式的工艺流程类似传统 A²/O 工艺,全部污水先进入厌氧区,污水依次流经厌氧区、缺氧区、好氧区、二沉池。部分混合液从好氧区末端回流至缺氧区,二沉池污泥回流至厌氧区。常规模式的运行操作方式和工艺流程见图 1。

常规模式适用于进水 BOD₅/TN>4 且 BOD₅/TP>17 的情况,或进水水质与设计进水水质接近的情况。在常规模式下,进水碳氮比和碳磷比较高或接近设计值,此时进水中的碳源能够满足同时脱氮除磷需求,聚磷菌在厌氧状态下的释磷作用和反硝化

菌在缺氧状态下的反硝化作用均能正常进行,从而保证了系统的脱氮除磷效果。常规模式操作简单、内回流较少、容易控制。

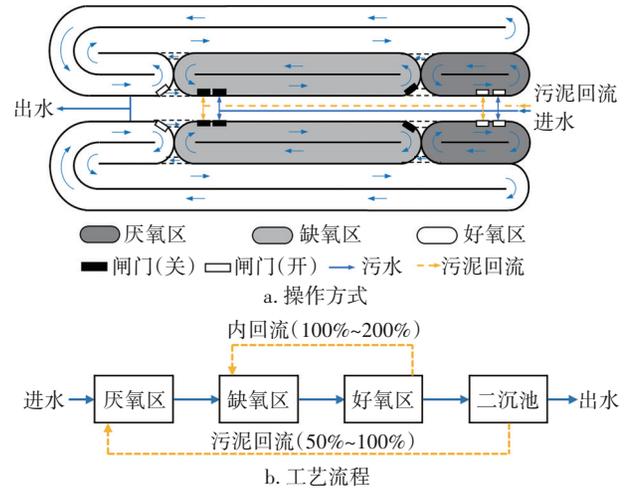


图 1 常规模式的运行操作方式和工艺流程

Fig.1 Operating modes and treatment process under regular mode

2.1.2 强化脱氮模式

强化脱氮模式的运行操作方式和工艺流程见图 2。

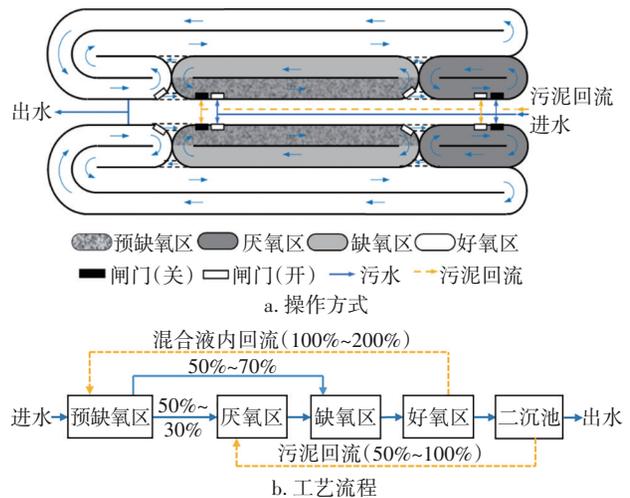


图 2 强化脱氮模式的操作方式和工艺流程

Fig.2 Operating mode and treatment process under enhanced nitrogen removal mode

强化脱氮模式的工艺流程类似倒置 A²/O 工艺和改良 A²/O 工艺^[5],全部污水先进入预缺氧区,依次流经预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、二沉池,部分混合液从预缺氧区直接流至缺氧区,部分混合液从好氧区末端回流至预缺氧区,二沉池污泥回流至厌氧区。

强化脱氮模式适用于进水 $BOD_5/TN < 4$ 的情况,或污水处理厂对脱氮要求较高的情况,此时进水中碳源难以满足同时脱氮除磷需求,脱氮是处理难点。若采用常规模式,污水先进入厌氧区,聚磷菌的释磷作用会消耗进水中的部分有机物,使得在缺氧区中留给反硝化菌利用的有机物不足,从而抑制反硝化作用,使生化处理系统脱氮效果下降。

在强化脱氮模式下,污水先进入预缺氧区,好氧池末端的部分混合液也回流至预缺氧区,两者在预缺氧区中充分混合,反硝化菌优先利用进水中的有机物将回流液中的硝态氮转化为氮气,完成反硝化作用,优先保证系统的脱氮效果。强化脱氮模式可减少碳源投加量。

2.1.3 强化除磷模式

强化除磷模式的工艺流程类似 UCT 工艺,全部污水先进入厌氧区,污水依次流经厌氧区、缺氧区、好氧区、二沉池。好氧区末端的部分混合液回流至缺氧区,缺氧区末端的部分混合液回流至厌氧区,二沉池污泥回流至缺氧区。强化除磷模式的运行操作方式和工艺流程见图 3。

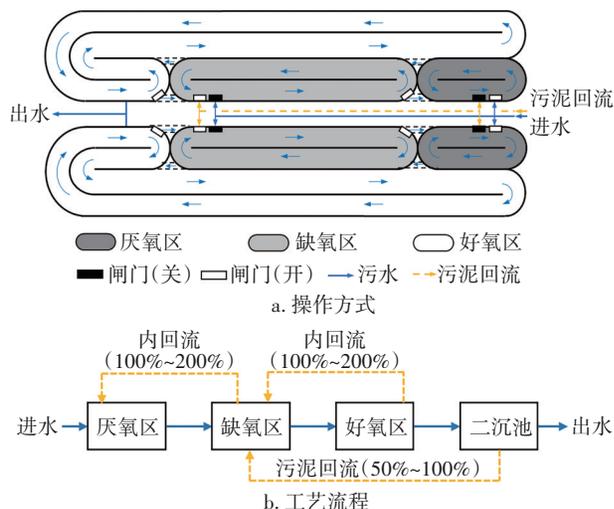


图 3 强化除磷模式的操作方式和工艺流程

Fig.3 Operating mode and treatment process under enhanced phosphorus removal mode

强化除磷模式适用于进水 $BOD_5/TP < 17$ 或对除磷要求较高的情况,此时进水中碳源难以满足同时脱氮除磷需求,除磷是处理难点。若采用常规模式,二沉池污泥回流至厌氧区,回流污泥中含有硝酸盐,硝酸盐在厌氧区存在时,反硝化菌与聚磷菌竞争优先利用有机物,聚磷菌处于劣势,释磷作用

受到抑制,使系统除磷效果下降。

在强化除磷模式下,二沉池污泥先回流至缺氧区,通过缺氧反硝化作用去除硝酸盐后,再回流至厌氧区,避免硝酸盐进入厌氧区而影响聚磷菌释磷,保证系统的除磷效果。强化除磷模式可减少化学除磷药剂的投加量。

2.2 设计参数

可切换式微曝氧化沟占地 $8\,503.4\text{ m}^2$,有效水深 6.25 m ,总有效容积 $45\,667\text{ m}^3$,其中厌氧区 $5\,000\text{ m}^3$,缺氧区 $11\,667\text{ m}^3$,好氧区 $29\,000\text{ m}^3$ 。平均水力停留时间 13.7 h ,其中厌氧区 1.50 h ,缺氧区 3.50 h ,好氧区 8.70 h 。内回流比 $100\%\sim 200\%$,污泥回流比 $50\%\sim 100\%$,MLSS 为 $3\,500\sim 4\,000\text{ mg/L}$,污泥负荷为 $0.06\sim 0.07\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,污泥龄 13.5 d ,曝气量 $336\text{ m}^3/\text{min}$ 。

2.3 设备配置

可切换式微曝氧化沟设备配置包括:厌氧区推流器 2 台(叶轮直径 2.6 m 、转速 35 r/min 、功率 5.0 kW);缺氧区推流器 4 台(叶轮直径 2.6 m 、转速 38 r/min 、功率 6.0 kW);好氧区推流器 I 为 8 台(叶轮直径 2.6 m 、转速 38 r/min 、功率 6.0 kW);好氧区推流器 II 为 2 台(叶轮直径 2.6 m 、转速 38 r/min 、功率 4.85 kW);进水闸门 4 套(口径 $DN1\,000$);污泥回流闸门 4 套(口径 $DN700$);内回流旋转闸门 4 套(尺寸为 $1\text{ m}\times 6.5\text{ m}\times 6.25\text{ m}$);管式微孔曝气器 3 360 套,流量 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{套})$,氧利用率 $\geq 20\%$ 。

3 运行效果

该工程自 2021 年 4 月完工并通水试运行以来,处理水量增长迅速,运行效果良好。2021 年 5 月 9 日—12 月 8 日(共 214 d),平均处理水量为 $70\,322\text{ m}^3/\text{d}$,达到设计值的 87.9% 。COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 的平均进、出水浓度和去除率见表 2。

表 2 平均进、出水浓度及去除率

Tab.2 Average influent and effluent concentration and removal rate

项目	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
平均进水浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	91.41	18.69	20.64	2.04
平均出水浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	9.77	0.09	9.63	0.30
平均去除率/%	89.3	99.5	53.4	85.4

以下重点分析可切换式微曝氧化沟工艺在该工程中的脱氮除磷效果。

3.1 脱氮效果

2021年5月9日—12月8日,可切换式微曝氧化沟平均进水TN为20.64 mg/L,平均出水TN为9.63 mg/L,平均TN去除率为53.4%(见图4)。

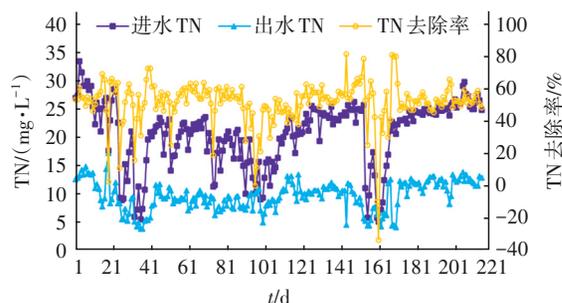


图4 TN去除效果

Fig.4 Effect of TN removal

运行期间,有两个时段进水TN浓度和去除率波动较大,第一个时段出现在前37天,由于试运营初期配套管网的污水收集未完善,进水水量波动较

大造成了进水浓度和去除率不稳定;第二个时段出现在第153~165天,由于当地连续暴雨,在截流式合流制排水体制下大量雨水稀释了污水浓度,生物处理效果不明显,TN去除率下降。尽管如此,整个运行期间出水TN仍保持较低且稳定达标的水平。

进水 $BOD_5/TN < 4$ 的情况主要集中在2021年9月5日—10月7日(第120~152天),此时段采用了强化脱氮模式,其他时段采用了常规模式,两种运行模式下的数据对比见表3。结果表明,在进水 BOD_5/TN 较低的情况下,切换到强化脱氮模式后TN去除效果明显增强,TN削减量平均增加3.44 mg/L,TN去除率平均增加6.1个百分点。碳源投加指标保持在相近水平,说明TN去除效果的增强节省了额外的碳源投加量,当采用乙酸钠作为碳源时^[6],按3000元/t(60%含量固体)的单价,预计可节省运行成本约0.035~0.084元/ m^3 。

表3 强化脱氮模式与常规模式运行数据对比

Tab.3 Operation data comparison of the enhanced nitrogen removal mode and the regular mode

项 目	进水 BOD_5/TN 平均值	进水TN平均值/ ($mg \cdot L^{-1}$)	出水TN平均值/ ($mg \cdot L^{-1}$)	TN削减量平均 值/ $(mg \cdot L^{-1})$	TN去除率平 均值/%	乙酸钠投加指标 平均值/ $(g \cdot m^{-3})$
强化脱氮模式	3.41	23.85	9.93	13.92	58.4	14.73
常规模式	4.10	20.05	9.57	10.48	52.3	14.70

3.2 除磷效果

2021年5月9日—12月8日,可切换式微曝氧化沟平均进水TP为2.04 mg/L,平均出水TP为0.30 mg/L,平均TP去除率为85.4%(见图5)。与脱氮效果分析相似,进水TP浓度和去除率也在前37天和第153~165天两个时段波动较大,其原因相同。尽管如此,整个运行期间出水TP仍保持较低且稳定达标的水平。

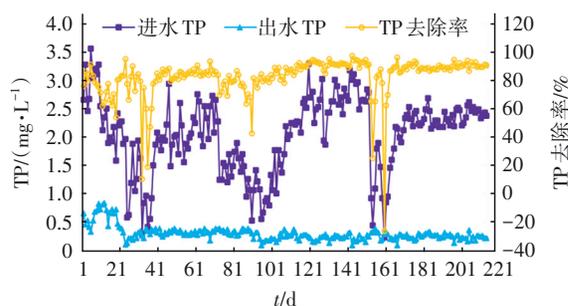


图5 TP去除效果

Fig.5 Effect of TP removal

运行期间,进水 BOD_5/TP 基本大于17,可切换式微曝氧化沟采用强化除磷模式的情况很少,而更

多是采用常规模式或强化脱氮模式。TP去除率仍基本稳定在80%以上,说明碳源竞争并非限制TP去除的主要因素,生物除磷作用发挥比较充分。若切换为强化除磷模式,虽可减少回流污泥中硝酸盐对厌氧释磷的抑制,提升生物除磷效果,但提升空间有限,且回流比不能过高,故而在一定程度上限制了脱氮效果^[7],就该工程目前对脱氮的要求而言,是不理想的。

因此,目前强化除磷模式的优势在该工程中尚未体现,除磷效果的进一步加强主要依靠投加化学除磷药剂。从长远来看,若该工程未来的进水水质发生明显变化,进水TP升高而TN下降,强化除磷模式将有一定的发挥空间。

3.3 运行成本

四期工程在2021年5月9日—12月8日运行期间,PAC平均投加量为 $9.21 g/m^3$,乙酸钠平均投加量为 $14.71 g/m^3$,平均电耗为 $0.25 kW \cdot h/m^3$,平均运行成本为 $0.657 元/m^3$ 。

4 结论

广东省普宁市某污水处理厂四期工程采用可切换式微曝氧化沟工艺,对于类似的污水处理厂,特别是进水水质波动大的新建/扩建污水处理厂,具有借鉴意义。

① 可切换式微曝氧化沟通过调节闸门的启闭实现多种模式的切换,典型的三种运行模式为常规模式、强化脱氮模式和强化除磷模式。

② 根据进水碳、氮、磷的浓度关系或特定的脱氮除磷需求,选择最合适的一种运行模式,从而实现高效脱氮除磷,减少外加碳源或化学除磷药剂的投加量,降低运行成本。

③ 在实际运行中脱氮除磷效果好,出水水质稳定。从常规模式切换至强化脱氮模式,脱氮效果明显增强,TN削减量平均增加3.44 mg/L,TN去除率平均增加6.1个百分点,预计可节省运行成本0.035~0.084元/m³;强化除磷模式的效果尚未体现,但在应对未来进水水质变化时将保持一定的灵活性。

参考文献:

- [1] 胡宝明,李亮,祁佳,等.改良A²/O工艺在低C/N废水脱氮除磷的应用综述[J].工业水处理,2022,42(10):46-52.
HU Baoming, LI Liang, QI Jia, et al. A review of modified A²/O process for nitrogen and phosphorus removal from low C/N wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(10): 46-52 (in Chinese).
- [2] 王彬.多模式AAO工艺在污水处理厂扩建工程中的应用[J].中国市政工程,2016(3):38-41,123.
WANG Bin. Multi-mode AAO processing applied in extension project of sewage treatment plant [J]. China Municipal Engineering, 2016 (3) : 38-41, 123 (in Chinese).
- [3] 袁敏忠,钟毓,李兴,等.一种可切换式微曝氧化沟污水处理系统:CN112573659A [P]. 2021-03-30.

YUAN Minzhong, ZHONG Yu, LI Xing, et al. A Switchable Micro-exposure Oxidation Ditch Wastewater Treatment System: CN112573659A [P]. 2021-03-30 (in Chinese).

- [4] 王宇,吴志昇,钟毓,等.A/A/O+反硝化深床滤池污水处理厂扩容工艺设计[J].广东化工,2021,48(10):147-148.
WANG Yu, WU Zhisheng, ZHONG Yu, et al. Expansion of WWTP by A/A/O and denitrification deep bed filter technology [J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(10):147-148 (in Chinese).
- [5] 王舜和,邓胜琳,姜宝媛.多模式A²/O工艺的运行模式与设计要点[J].水处理技术,2014,40(8):107-110.
WANG Shunhe, DENG Shenglin, JIANG Baoyuan. Operation mode and design of multi-mode A²/O process [J]. Technology of Water Treatment, 2014, 40(8): 107-110 (in Chinese).
- [6] 周丹,周雹.污水脱氮工艺中外部碳源投加量简易计算方法[J].给水排水,2011,37(11):38-41.
ZHOU Dan, ZHOU Bao. A simple calculation method for amount of external carbon source in sewage denitrification process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(11):38-41 (in Chinese).
- [7] 乔宏儒,孙力平,吴振华,等.倒置A²/O工艺和UCT工艺脱氮除磷效能比较[J].水处理技术,2015,41(12):118-121.
QIAO Hongru, SUN Liping, WU Zhenhua, et al. The comparison of nitrogen and phosphorus removal between inverted A²/O process and UCT process [J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41 (12) : 118-121 (in Chinese).

作者简介:李兴(1991-),男,广东佛山人,硕士,注册环保工程师,主要从事市政污水处理、工业废水处理等设计咨询工作。

E-mail:248731037@qq.com

收稿日期:2021-12-15

修回日期:2022-01-17

(编辑:衣春敏)