

# 曝气缺氧/多级 AO 工艺用于大型污水厂提标改造

戴仲怡<sup>1</sup>, 王雪<sup>1</sup>, 彭建国<sup>2</sup>, 刘文彬<sup>2</sup>, 李华<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 2. 深圳市水务<集团>有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 南山污水处理厂位于深圳市核心区域前海片区, 现状总规模为  $73.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (其中防洪应急一级处理规模为  $17.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 生化系统规模为  $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用 MUCT 工艺, 出水水质执行一级 B 排放标准。为解决现状处理工艺对总氮、总磷等处理效果较差的问题, 将现状 MUCT 工艺改造为曝气缺氧+多级 AO 工艺, 同时在二沉池后增设加砂高密度沉淀池。项目改造后生产运行稳定, 效果良好, 能耗低, 出水水质全面优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。

**关键词:** 曝气缺氧; 短程反硝化; 多段 AO; 精确曝气

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0050-05

## Application of Aeration Anoxia – Multi-stage AO Process in Improvement of Large Sewage Treatment Plant

DAI Zhong-yi<sup>1</sup>, WANG Xue<sup>1</sup>, PENG Jian-guo<sup>2</sup>, LIU Wen-bin<sup>2</sup>, LI Hua<sup>2</sup>

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China; 2. Shenzhen Water <Group> Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** Nanshan sewage treatment plant was located in Qianhai District, the core area of Shenzhen City. The total scale of the present situation was  $73.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (of which  $17.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  was the primary treatment of flood control emergency). The biological treatment process had a scale of  $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . MUCT technology was adopted and the first class B effluent standard could be met. In order to solve the problem that the poor performance of the current treatment process had on total nitrogen and total phosphorus removal, the current MUCT process was transformed into the aeration anoxia + multi-stage AO process, and a sand-adding high-density sedimentation tank was added after the secondary sedimentation tank. After the project transformation, the operation performance was stable, the effect was good, the energy consumption was low, and the effluent quality was better than first class A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 – 2002).

**Key words:** aeration anoxia; shortcut denitrification; multi-stage AO; precision aeration

### 1 工程现状

深圳市南山污水处理厂是国家环保部考核重点项目, 位于深圳市核心区域前海片区, 现状总规模为  $73.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (其中防洪应急一级处理规模为  $17.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 全厂共二套预处理系统, 一套系统规模为  $35.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用细格栅+曝气沉砂

池工艺; 二套系统规模为  $38.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用细格栅+旋流沉砂池工艺。生化系统规模为  $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用 MUCT 生化池+圆形周进周出二沉池+紫外线消毒的污水处理工艺, 一级 B 出水标准, 尾水加压送至珠江口海域进行深海排放。污泥采用储泥池+机械浓缩+调理池+板框深度脱水工艺, 泥

饼含水率 $\leq 50\%$ 。

污水处理工艺流程见图1。

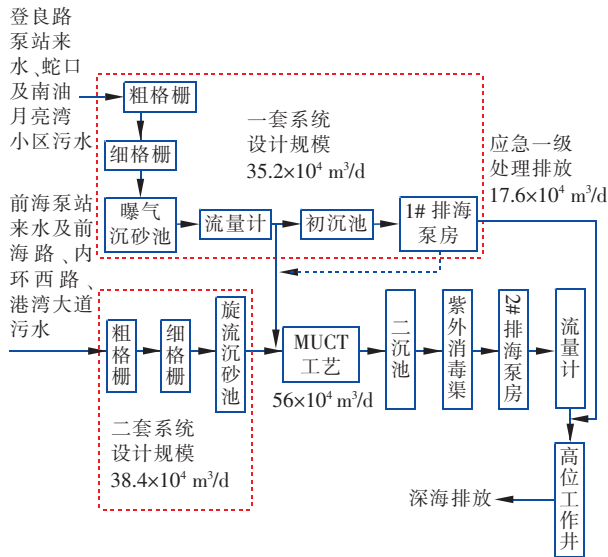


图1 现状工艺流程

Fig.1 Current process flow

近几年污水厂运行稳定,能保证一级B出水标准。但随着前海片区的开发建设,要求出水水质优于一级A标准,因此需进行提标升级改造。

## 2 升级改造设计思路

### 2.1 改造原则

- ① 选择先进可靠的污水处理工艺,确保出水稳定达标、运行管理方便、低碳节能;
- ② 尽可能利用现有设施,最大限度地节省工程投资;
- ③ 保证施工改造期间“不停水、不减量、不降标”。

### 2.2 升级改造思路

为实现升级改造目的,需要对现有生化池进行改造,以实现出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{TN}$  达标,为了不增加池容,同时又满足硝化泥龄的需求,只能提高混合液浓度,而如果混合液浓度太高,二沉池又承受不了,为了解决这一矛盾,本改造设置污泥再生池,既增加了系统泥量,又不增加二沉池的负担。污泥再生池中增加的硝化细菌储量使得生化系统能够维持一个健康的自养硝化细菌的比例。其次,污泥再生池进行控制性曝气,也能够保持甚至提高硝化细菌及其他菌属的活性,提高系统反应效率。再次,污泥再生池增加了系统储泥量,延长了系统泥龄,也可以降低污泥产率,减少随剩余污泥排走的硝化细菌的量<sup>[1]</sup>。

为实现出水  $\text{SS}$ 、 $\text{TP}$  达标,在二沉池之后增设加砂高密度沉淀池。

## 3 升级改造方案设计

### 3.1 设计进、出水水质

本工程进水水质以污水厂多年水质资料综合确定。出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,具体进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项目	$\text{BOD}_5$	$\text{COD}$	$\text{SS}$	$\text{TN}$	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{TP}$
进水	190	460	380	47	36	5.7
出水	10	40	10	15	5	0.4

### 3.2 升级改造工艺及流程

升级改造工程采用“预处理+曝气缺氧多级AO生化池(改造)+二沉池+提升泵房(新建)+加砂高密度沉淀池(新建)+紫外线消毒(改造)”工艺;污泥处理利用现有污泥处理设施。具体工艺流程如图2所示。

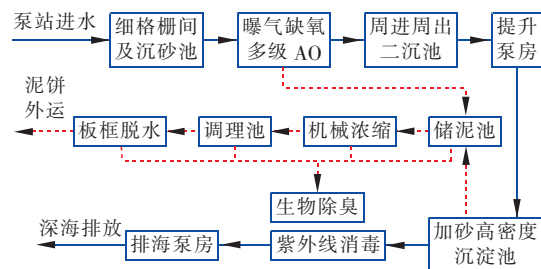


图2 升级改造后工程流程

Fig.2 Flow chart of improved process

### 3.3 主要构筑物设计

建设内容包括新建中间提升泵房、加砂高密度沉淀池和加药间;改造生化池及紫外线消毒池。

#### ① 生化池(改造)

现状 MUCT 生化池设计规模为  $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。共3座,每座分二格,每格可以单独运行。单座尺寸为  $161.0 \text{ m} \times 93.20 \text{ m} \times 8.60 \text{ m}$ ,为钢筋混凝土薄壁结构。

生化池改造的目的主要是使出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{TN}$  达标,设计将现状传统 MUCT 工艺改造为“曝气缺氧+多段AO”生化处理工艺。

MUCT 工艺与“曝气缺氧+多段AO”工艺示意图如图3所示。

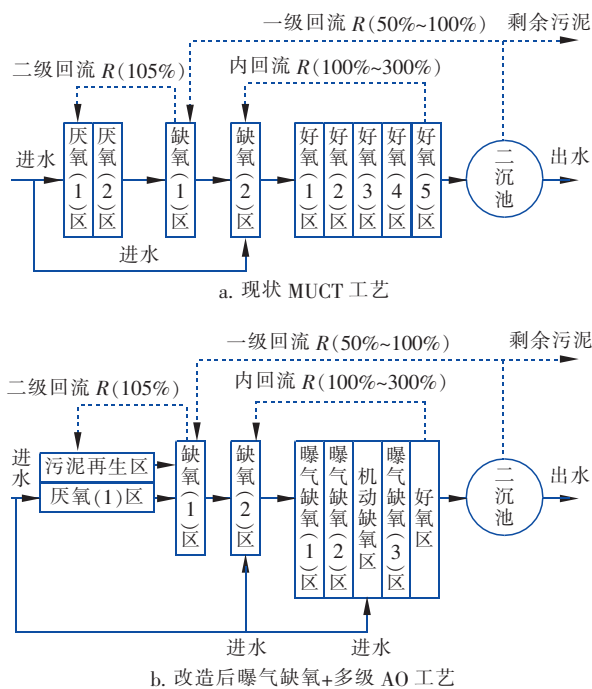


图3 工艺示意

Fig.3 Process sketch

主要改造内容如下:

#### a. 增设污泥再生池

污泥再生池的设置目的是为了在不提高进入二沉池混合液浓度的前提下,延长泥龄,使生物处理系统的微生物数量最大化,实现可靠的硝化,进而保证出水水质。将现有一格厌氧池(厌氧池2)改造为污泥再生池,池底布设板式曝气器,二沉池的回流污泥回到污泥再生池,在再生池内进行控制性曝气,维持微生物活性,然后回流污泥再回到缺氧池。

#### b. 设曝气缺氧区及机动缺氧区

为降低污水处理厂的总运行费用,原好氧廊道引入曝气缺氧的设计理念。在前段好氧区对其进行限制性缺氧曝气使得这一区域内既可以实现同时硝化反硝化,也可以实现短程反硝化。

将第1、2、4好氧廊道设置为曝气缺氧廊道,第1、2廊道DO值控制在0.5 mg/L以下,第四廊道DO值控制在1.0 mg/L以下;第3好氧廊道根据不同的水质情况,可作为曝气缺氧区或者第二缺氧廊道,并增设进水管,同时该廊道安装潜水搅拌机,设置备用碳源投加点;第5好氧廊道为好氧廊道,为保证出水达标,该廊道DO维持在2 mg/L。

#### c. 增设进水点

通过多点进水<sup>[2]</sup>对进水碳源进行合理分配,首

先保证生物脱氮的碳源需要,有效利用进水中的碳源,最大限度地降低运行成本。本工程在保留现状厌氧(1)区、缺氧(2)区进水点的基础上,增设机动缺氧区进水点,并配套调节阀,可根据原水水量、水质情况调整生化池各进水点进水量。

#### d. 更换曝气器及增设精确曝气系统

现状曝气器为刚玉盘式曝气器,利用率相对较低,且由于生化池工艺调整,现有曝气器不能间歇运行,因此将现状曝气器更换为效率高、能满足机动缺氧区间歇运行的板式曝气器;同时生化池各曝气区均配置独立管道供气,并配置Jet流线型控制阀、热式流量计及精确曝气控制系统。

MUCT生化池改造后主要设计参数如下:

停留时间: $t=14.70$  h(其中厌氧段 $t_1=0.85$  h,污泥再生池 $t_2=0.85$  h,缺氧段 $t_3=3.60$  h,曝气缺氧区 $t_4=5.64$  h,机动缺氧区 $t_5=1.88$  h,好氧区 $t_6=1.88$  h);污泥负荷为 $0.074$  kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d);混合液浓度为 $4.0$  gMLSS/L;设计水温为 $15$  °C;设计污泥龄为 $15$  d;污泥一级回流比为 $50\% \sim 100\%$ ;污泥二级回流比为 $105\%$ ;曝气池混合液回流比为 $100\% \sim 300\%$ ;有效水深为 $7.6$  m;曝气器氧利用率 $\geq 25\%$ ;厌氧段DO $<0.1$  mg/L,污泥再生池DO为 $0.2 \sim 0.5$  mg/L;缺氧段DO为 $0.2 \sim 0.5$  mg/L,曝气缺氧(1)、(2)区,DO为 $0.2 \sim 0.5$  mg/L,机动缺氧区DO为 $0.2 \sim 1.0$  mg/L,曝气缺氧(3)区DO为 $0.5 \sim 1.0$  mg/L,好氧段溶解氧DO $\geq 2.0$  mg/L;气水比为 $6.5:1$ 。

MUCT生化池利用现状设备如下:

搅拌机, $N=7.5$  kW,厌氧、缺氧单元共75台。污泥二级回流泵,单台 $Q=2\,010$  m<sup>3</sup>/h, $H=9$  kPa, $N=16$  kW,缺氧单元内共12台。

混合液回流泵,单台 $Q=3\,840$  m<sup>3</sup>/h, $H=9$  kPa, $N=27$  kW,好氧单元内共18台。

污泥一级回流泵, $Q=2\,640$  m<sup>3</sup>/h, $H=43$  kPa, $N=47$  kW,回流污泥泵共12台。

MUCT生化池增设设备如下:

机动缺氧区推流器, $N=4.3$  kW,共39台(其中3台库存备用)。

精确曝气控制系统1套(含控制阀、流量计以及控制系统)。

板式橡胶膜曝气器,宽为 $200$  mm, $Q=7.5$  m<sup>3</sup>/(h·m),共 $23\,214$  m。

## ② 中间提升泵房(新建)

中间提升泵房与高效沉淀池及加药间合建,设计规模为  $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数  $K_z = 1.3$ 。

泵房选用潜水轴流泵 10 台(8 用 2 备),单台  $Q = 3\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 30 \text{ kPa}$ ,  $P = 55 \text{ kW}$ ,  $U = 380 \text{ V}$ 。

为解决现状二沉池出水带状藻类多对后续工艺的影响,在泵房出水渠上增设拦藻人工格栅。

## ③ 加砂高密度沉淀池(新建)

加砂高密度沉淀池设计规模为  $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

混凝池:6 格;单池有效容积为  $128.8 \text{ m}^3$ ;有效停留时间为  $1.84 \text{ min}$ ;PAC 最大投加量为  $115 \text{ mg/L}$  (10% PAC)。

絮凝池:6 格;单池有效容积为  $357.7 \text{ m}^3$ ;有效停留时间为  $5.05 \text{ min}$ ;微砂最大投加量为  $2 \text{ mg/L}$ ;PAM 最大投加量为  $1.0 \text{ mg/L}$ 。

沉淀池:6 格;直径为  $14 \text{ m}$ ;总水深为  $7.3 \text{ m}$ ;平均时上升流速为  $29.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;最大时上升流速为  $37.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;倾斜角度为  $60^\circ$ ;斜板长度、间距分别为  $1 \text{ m}$ 、 $80 \text{ mm}$ ;污泥循环量为 5%。

## ④ 加药间(新建)

PAC 投加:设计采用液态碱式氯化铝,设原液池 2 座,有效容积为  $630 \text{ m}^3$ ,贮备时间约为  $10 \text{ d}$ 。设计最大投加量为  $115 \text{ mg/L}$  (10%),全厂设高效沉淀池投加点 6 个,生化池出口投加点 3 个。设隔膜计量泵 19 台,其中高效沉淀池 15 台(12 用 3 备);生化池出口设投加泵 4 台(3 用 1 备),单泵  $Q = 500 \text{ L/h}$ ,  $H = 0.4 \text{ MPa}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ 。

PAM 投加:设 PAM 投加成套设备 2 套,单套制备系统  $Q = 8\,000 \text{ L/h}$ 。投加量为  $1 \text{ mg/L}$ ,投加浓度为 0.5%。高效沉淀池每池设一个投加点,共 6 个,设投加螺杆泵 9 台(6 用 3 备),单泵  $Q = 1\,800 \text{ L/h}$ ,  $H = 0.4 \text{ MPa}$ ,  $N = 1.5 \text{ kW}$ 。

次氯酸钠投加:为保证污水厂出水细菌达标,在紫外消毒池前备用投加次氯酸钠,设计采用成品液态次氯酸钠溶液(10%)。次氯酸钠设计按原液 10% 浓度直接投加。

设原液池 2 座,有效容积为  $400 \text{ m}^3$ ,贮备时间约为  $12 \text{ d}$ 。设计投加量为  $3 \text{ mg/L}$ ,全厂设投加点 2 个,紫外线消毒池、进水管各 1 个投加点。隔膜计量泵 3 台(2 用 1 备),单泵  $Q = 500 \text{ L/h}$ ,  $H = 0.4 \text{ MPa}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ 。

## ⑤ 紫外线消毒池(改造)

南山污水处理厂紫外线消毒设备,自建成投产以来,运行一直不稳定,处理效果较差。

为解决现状紫外消毒池进水水位稳定性问题,增设紫外线消毒前池一座,前池尺寸为  $29.92 \text{ m} \times 5.20 \text{ m} \times 6.35 \text{ m}$ 。

废除现状紫外线消毒设备,启用现状全部 4 个廊道,出水粪大肠菌群控制目标小于  $1\,000 \text{ 个/L}$ ;设计紫外剂量  $\geq 27.5 \text{ mJ/cm}^2$ 。

## ⑥ 备用碳源投加系统(改造)

为应对原水碳源不足的情况,考虑设置备用碳源投加。利用现状  $\text{FeCl}_3$  备用储存间作为碳源(乙酸钠)储存间,现状调药池以及投加设备作为碳源投加系统,因此备用碳源投加全部利用现状设备。设计乙酸钠最大投加量为  $45 \text{ mg/L}$ 。

## 4 升级改造设计特点

该污水厂自升级改造投入运行以来,运行稳定,生化池脱氮效果好,运行成本低,选用多点进水的“曝气缺氧+多段AO”工艺是本工程成功的关键。该污水厂提标改造具有以下特点;

① 多点进水的“曝气缺氧+多段AO”工艺完全由现状 MUCT 生化池改造而成,充分利用了现状设施,大大降低了工程投资。

② 生化池可实现多模式运行,改造后生化池既可以按“曝气缺氧+多段AO”工艺运行,也可以按传统 MUCT 工艺运行。

③ 污泥再生池的设置,既保证了不提高进入二沉池混合液浓度,同时又延长泥龄,使生物处理系统的微生物数量最大化,实现可靠的硝化,进而保证出水水质。

④ 曝气缺氧理念,大大降低了生化池曝气量,既节省能耗,又提高整个工艺系统的氮磷等营养物质的去除率。同时,曝气缺氧还有利于抑制污泥膨胀,有效降低污泥 SVI,改善沉降性能。

⑤ 曝气缺氧+多段AO工艺采用多点配水,混合液分段回流。进水、混合液回流以及污泥外回流量可根据水质的变化情况进行相应调整,最大限度利用碳源。该工艺具有很强的除磷脱氮效果和抗进水水质变化的能力。

⑥ 生化池各好氧段均配有独立管道供气,并配置 Jet 流线型控制阀、热式流量计及精确曝气控制系统,溶解氧控制效果好,氧利用率高,较传统曝气系统节能 8%~10%。



⑦ 加砂高效沉淀池占地小,负荷高,斜管区上升流速为  $29.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,加药量小,出水效果好。

⑧ 全厂升级改造采用新建+分组改造的施工原则,实现了施工改造期间“不停水、不减量、不降标”的工程目标。

## 5 运行效果及成本分析

### 5.1 运行效果

南山污水处理厂自2017年底升级改造投产以来,进水水质基本稳定。出水水质均优于设计出水水质。为检测新工艺与原 MUCT 工艺处理效果,污水厂在2017年8月以前采用传统 MUCT 工艺运行,2017年8月开始按新工艺分组调试,2018年5月全面采用新工艺运行,二种不同工艺对照分析见表2。可见,采用曝气缺氧+多段 AO 工艺较传统 MUCT 工艺除出水  $\text{NH}_3\text{-N}$  稍有升高外,其余指标的去除均有明显优势,其中 TN 去除率提高了15%。

表2 实际运行出水水质

Tab.2 Actual effluent quality  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	TP	NH <sub>3</sub> -N	TN
2018年 5月— 8月 组合 工艺	5月 2.4	18.7	6	0.08	0.36	5.12
	6月 2.4	20.1	5	0.13	0.48	5.05
	7月 2.1	17.0	5	0.12	0.58	5.52
	8月 2.0	14.6	5	0.25	0.46	5.25
	平均 2.23	17.60	5.25	0.15	0.47	5.24
2017年 5月— 8月 MUCT 工艺	5月 2.5	27.0	6	0.37	0.32	11.51
	6月 2.4	23.2	6	0.43	0.12	11.16
	7月 2.3	24.5	5	0.26	0.16	10.83
	8月 2.2	30.7	5	0.22	0.23	11.44
	平均 2.35	26.35	5.50	0.32	0.21	11.24
注: 以上水质指标为月平均值,均未投加碳源。						

### 5.2 成本分析

经运行比较,曝气缺氧+多段 AO 工艺污水处理运行电耗为  $0.250 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$  (不含污泥处理电耗)。传统 MUCT 工艺污水处理运行电耗为  $0.265 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$  (不含污泥处理电耗)。其中采用曝气缺氧+多段 AO 工艺的生物池曝气电耗平均值为  $121 \text{ kW} \cdot \text{h}/10^3 \text{ m}^3$ ,2017年同期生物池曝气电耗平均值为  $146 \text{ kW} \cdot \text{h}/10^3 \text{ m}^3$ ,可见,电耗较2017年度下降17.1%,曝气能耗大幅削减。

## 6 结论及建议

① 多点进水“曝气缺氧+多段 AO”工艺具有很好的处理效果,特别是具有很强的脱氮功能,能充

分利用原水碳源,最大限度地节省运行成本。

② 加砂高密度沉淀池对 SS、TP 具有很好的处理效果,在深度处理及提标改造工程中具有很好的推广价值。

③ 加砂高密度沉淀池工艺将回流污泥及剩余污泥统一进行砂水分离,然后砂回流,全部泥水排放,使泥水排放量较大,建议将回流污泥的砂与泥全部回流,只考虑剩余污泥进行砂水分离,这样可大大降低剩余污泥排水量,有效节省运行成本。

## 参考文献:

- [1] 毕晔,谢丽,周琪,等. BNR-MBR 组合工艺处理生活污水研究进展[J]. 给水排水,2010,36(9):132-137. Bi Ye, Xie Li, Zhou Qi, et al. Study progress in combination of biological nutrient removal systems with membrane bioreactor (BNR-MBR) for municipal wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering,2010,36(9):132-137(in Chinese).
- [2] 刘胜军,杨学,石凤,等. 多段多级 AO 除磷脱氮工艺分析与研究[J]. 给水排水,2012,38(S1):191-194. Liu Shengjun, Yang Xue, Shi Feng, et al. Analysis and research of anaerobic-oxic multilevel anoxic-oxic phosphorus and nitrogen removal technology [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38 (S1): 191-194 (in Chinese).



作者简介:戴仲怡(1975—),男,湖南新化人,大学本科,教授级高工,注册公用设备工程师(给排水),主要从事市政给排水工程、环卫工程设计及研究工作。

E-mail:9317575@qq.com

收稿日期:2018-12-05