

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.021

# 改良氧化沟工艺启动调试及脱氮除磷优化控制

刘 坤<sup>1</sup>, 王新冀<sup>2</sup>, 张念东<sup>2</sup>, 罗艳丽<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆华峰环保工程有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘 要:** 乌鲁木齐市达坂城区第二污水处理厂采用改良 Carrousel 2000 氧化沟工艺。针对调试期间发生的污泥上浮及出水 TN、TP 超标问题,通过检测主要水质指标和微生物镜检,结合污水处理厂的工艺运行参数,找到该问题的原因:污泥龄过长、曝气量过大引起氧化沟内污泥老化上浮;没有及时补充碱度和碳源、缺氧段 DO 过高导致反硝化过程无法正常进行而使脱氮效果不佳,同时引起二沉池污泥发生反硝化上浮;污泥龄过长是除磷效果不佳的主要原因。对相关运行参数进行调整,通过2个月的试运行,虽然该污水厂进水量少、水质波动较大,但系统出水各项指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,对 COD、TP、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、SS 的去除率分别达到 96.7%、98.5%、92.4%、99.3%、96.5%。

**关键词:** 改良 Carrousel 2000 氧化沟; 启动调试; 污泥上浮; 试运行

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)02-0116-06

## Start-up Commissioning of Modified Oxidation Ditch Process and Optimal Control of Its Nitrogen and Phosphorus Removal

LIU Kun<sup>1</sup>, WANG Xin-ji<sup>2</sup>, ZHANG Nian-dong<sup>2</sup>, LUO Yan-li<sup>1</sup>

(1. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Huafeng Environment Protection Engineering Co. Ltd., Urumqi 830000, China)

**Abstract:** The modified Carrousel 2000 oxidation ditch process is adopted in the second sewage treatment plant in Dabancheng District, Urumqi. The causes to problems of sludge floating and effluent TN and TP exceeding standard during commissioning are found out through testing the main water quality indicators and microbiological microscopic inspections, in combination with the process operating parameters of the sewage treatment plant. They include sludge aging and floating in the oxidation ditch caused by excessive sludge age and aeration amount, the denitrification failure and accompanied sludge floating in the secondary sedimentation tank caused by high DO in anoxic section if alkalinity and carbon source are not supplemented in time, and poor dephosphorization effect caused by excessive sludge age. After two months of trial operation to adjust the relevant operating parameters, although the influent water volume was small and the water quality fluctuated greatly, the various effluent indicators could stably meet the first level A criteria of *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918-2002). The removal rates of COD, TP, TN,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and SS reached 96.7%, 98.5%, 92.4%, 99.3%, 96.5%, respectively.

**Key words:** modified Carrousel 2000 oxidation ditch; start-up commissioning; sludge floating; trial operation

Carrousel 氧化沟具有抗冲击负荷能力强、出水水质良好、管理便捷以及能耗低等优点,被较多应用于中小型城镇污水处理厂<sup>[1-4]</sup>。但不同地区因其水质水量、气候等存在较大差异,故需对传统 Carrousel 氧化沟工艺进行适当改良,并因地制宜地制定启动调试方案。

根据乌鲁木齐市达坂城区第二污水处理厂改良 Carrousel 氧化沟工艺的设备安装及进水情况制定相应的启动方案,总结了该污水厂的启动经验,并针对试运行期间发生的污泥上浮现象,分析了其主要原因,对相关运行参数进行调整,可为类似污水处理厂提供运行参考。

1 工程概况

达坂城区第二污水处理厂主要处理达坂城镇的居民生活污水,一期(2020 年)设计规模为 5 000 m<sup>3</sup>/d,二期(2025 年)设计规模为 5 000 m<sup>3</sup>/d,总处理水量为 10 000 m<sup>3</sup>/d,采用 Carrousel 2000 氧化沟+深度处理工艺,再经次氯酸钠消毒,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,夏季用于城区生态林灌溉,冬季则储存在该污水厂北侧的蓄水库。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	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TP
进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	160	350	200	55	32	2.5
出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	10	50	10	15	5(8)	0.5
去除率/%	93.8	85.7	95.0	72.7	84.4	80.0

污水处理厂工艺流程如图 1 所示。

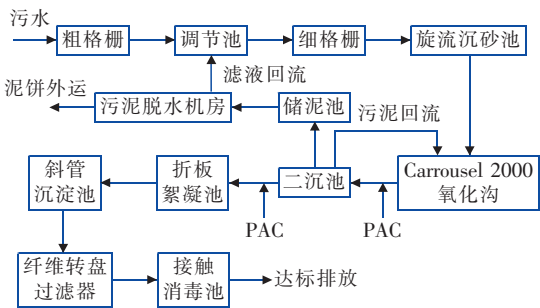


图 1 污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of WWT treatment process

该污水厂的主要构筑物及设备有预处理车间的粗格栅、调节池、自耦式潜污泵、转鼓式细格栅及配套螺旋输送机、旋流沉砂池及配套砂水分离器和

罗茨鼓风机。氧化沟车间主要包括改良 Carrousel 氧化沟(见图 2)和辐流式二沉池。氧化沟 MLSS 为 3 500 mg/L,污泥负荷为 0.12 kgCOD/(kgMLSS·d),泥龄 20 d,有效水深 5.5 m,总有效容积 4 521 m<sup>3</sup>。二沉池采用中心进水周边出水辐流式沉淀池,直径 20 m,有效水深 4.75 m,设中心传动刮泥机 1 台,并配套浮渣挡板、浮渣斗、沉淀池出水堰板、氧化沟出水堰板。

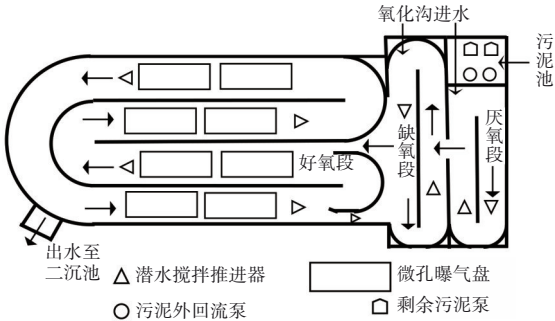


图 2 改良 Carrousel 氧化沟

Fig.2 Modified Carrousel oxidation ditch

主要污水处理设备及参数如表 2 所示。

表 2 污水处理设备及参数

Tab.2 Wastewater treatment equipment and parameters

设备	数量	参数
粗格栅-反捞式格栅除污机	2 台	N=1.1 kW, 尺寸为 0.7 m×3.0 m, 栅条间隙 20 mm
自耦式潜污泵	2 台	Q=300 m <sup>3</sup> /h, N=18.5 kW
自耦式潜污泵	2 台	Q=200 m <sup>3</sup> /h, N=11 kW
转鼓式细格栅	2 台	N=1.5 kW, 直径 1.2 m, 栅条间隙 5 mm, 配套 2.2 kW 的无轴螺旋输送机
潜水推进搅拌机	4 台	N=2.2 kW, 叶轮直径 368 mm (厌氧、缺氧段各 2 台)
潜水推进搅拌机	4 台	N=4.0 kW, 叶轮直径 368 mm (均在好氧段)
潜水推进搅拌机	1 台	N=2.2 kW, 叶轮直径 210 mm (回流缝)
剩余污泥泵	2 台	Q=20 m <sup>3</sup> /h, H=180 kPa, N=3 kW
污泥回流泵	2 台	Q=210 m <sup>3</sup> /h, H=100 kPa, N=11 kW
一体化絮凝剂投加装置	2 套	V=2.5 m <sup>3</sup> , 制备能力为 5 kg/h (配套 2 台 N=0.55 kW 隔膜计量泵), N=1.5 kW
三叶罗茨鼓风机	2 台	Q=35 m <sup>3</sup> /min, H=65 kPa, N=75 kW (变频)
带式浓缩压滤机	1 台	Q=45 m <sup>3</sup> /h, 带宽 1.5 m, N=2.2 kW
螺旋输送机(0°)	1 台	N=2.2 kW, L=4 m
螺旋输送机(30°)	1 台	N=4.0 kW, L=5 m
纤维转盘过滤器	1 台	直径 3.0 m, 滤盘 40 个, 有效过滤面积 504 m <sup>2</sup>
反洗水泵	1 台	Q=50 m <sup>3</sup> /h, H=120 kPa, N=4.0 kW

## 2 改良氧化沟的启动调试

### 2.1 启动阶段水质、水量

启动期间进水水质、水量见表3。

表3 启动期间进水水质、水量

Tab.3 Influent quality and quantity during start-up

项目	COD/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_4^+-\text{N}$ / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	水量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ )
最小	127	2.35	34.87	23.55	79	1 247
最大	753	8.29	73.03	69.12	204	1 831
平均	356	4.54	51.87	42.08	152	1 500

从表3可以看出,该污水厂启动期间水量较少,进水量仅为设计值的30%左右。因为有工业废水的混入,所有进水指标最大值均超过设计值,进水COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TP平均浓度均高于设计值。同时水质波动较大,进水COD最大值为最小值的6倍,其他进水指标最大值约为最小值的3倍。该污水厂启动时间为2020年4月,其间乌鲁木齐市达坂城区气温较低,最低日平均气温约4℃,进水平均水温为8~15℃,对微生物的正常生长存在一定不利影响。

### 2.2 污泥培养

针对该污水厂水量少、温度低等问题,采用间歇进水、接种培养、外加碳源、增大曝气量等措施进行污泥培养。

#### ① 污泥接种

接种污泥来自附近的艾维尔沟污水处理厂与乌拉泊污水处理厂生化池内的混合液,污泥浓度为7 500 mg/L,共计360 t。投加种泥的同时开始进水,氧化沟充满水后闷曝3 d,其间启动氧化沟内潜水推进器,通过连续曝气将氧化沟内好氧区DO控制在2.5~3.0 mg/L,并每隔8 h在氧化沟好氧段内沟和回流缝推流搅拌器处各投加25 kg葡萄糖、12.5 kg食用面粉补充碳源,直至调试结束。

#### ② 污泥培养

氧化沟内污泥进行闷曝之后,采用逐步增加进水负荷的间歇培养方式对氧化沟内活性污泥进行驯化,待 $\text{SV}_{30}$ 达到15%、MLSS达到1 500 mg/L后按设计模式运行,但不排泥。启动45 d后出水水质达标,此时氧化沟MLSS为2 679 mg/L。系统运行并不稳定,随后氧化沟与二沉池发生污泥大面积上浮,出水TP、TN超标。

### 2.3 污泥上浮及氮磷超标成因分析及调整方案

在污泥培养完成并达标排放后的试运行初期,

好氧段表面出现少量携带有土黄色活性污泥的泡沫浮渣,并随污水进入二沉池后上浮(见图3)。



a. 氧化沟 b. 二沉池

图3 氧化沟及二沉池污泥上浮

Fig.3 Sludge floating in oxidation ditch and secondary settling tank

最后整个氧化沟与二沉池表面出现大量浮泥板结,浮泥逐渐由土黄色变为黑褐色并发臭,出水TP、TN超标。

出现污泥上浮后,分别在进水口、氧化沟厌氧出口、缺氧出口、好氧出口、二沉池出口进行取样,对pH值、COD、TN、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TP等5个水质指标进行了监测,并进行了微生物镜检,通过监测指标和运行参数分析此次污泥上浮的原因。

#### ① 成因分析

##### a. 水质指标分析

不同处理段各项水质指标见表4。

表4 主要水质指标

Tab.4 Main water quality indicators

项 目	原水	厌氧段 出口	缺氧段 出口	好氧段 出口	二沉池 出口
pH值	7.52	6.36	6.05	5.96	5.98
COD/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	350.00	44.20	36.00	29.50	21.40
TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	60.89	34.42	37.71	37.90	36.51
$\text{NH}_4^+-\text{N}$ /( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	52.86	7.23	0.50	0.28	0.27
TP/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	5.28	3.00	3.01	2.88	1.95

从表4可以看出,进水各项指标并未超出之前试运行各指标的范围,表明进水水质正常,排除系统可能受到进水混入异常工业废水的影响致使活性污泥失去活性而发生上浮的问题。从出水各项水质指标来看,COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 达到排放标准,表明有机物的处理和脱氮的硝化反应段(好氧段)运行基本正常;TN和TP去除率不高,表明除磷(厌氧段)和脱氮的反硝化反应段(缺氧段)运行出现了问题。

从pH值来看,进水pH值处在正常范围,氧化沟厌氧段出口、缺氧段出口、好氧段出口、二沉池出口的pH值均小于6.5,系统pH值不正常。在启动调试期间,该污水厂一直没有补充碱度,前期反硝化



反应会产生  $\text{OH}^-$  而补充一部分碱度,但随着硝化反应不断消耗碱度,没有外来补充的情况下系统 pH 值不断降低。硝化菌在 pH 值为 7.7~8.1 时活性最好,从较高的氨氮去除率来看,硝化反应并没有受到低 pH 值的影响。反硝化细菌的最适 pH 值为 7.5,在 pH 值为 7.0~8.0 时较好;pH 值低于 6.5,聚磷菌吸磷速率会急剧下降,过低的 pH 值会影响反硝化反应和脱磷效率。

#### b. 主要影响因素分析

研究和工程实践表明,污水处理厂在进水 TN 正常的情况下,生化系统进水  $\text{BOD}_5/\text{TN}$  达到 5~6 时,才能完全满足反硝化的要求<sup>[5]</sup>。该污水厂由于配套污水管网建设尚未完善,一直处于低负荷运行状态。在污泥培养成熟后,不再添加碳源,污泥上浮后检测其进水  $\text{BOD}_5/\text{TN}$  为 2.58,存在碳源不足的问题;运行一段时间后,碳源不足会导致反硝化速率降低。

启动调试期间连续曝气将好氧段 DO 控制在 3.5~4.0 mg/L,使得其缺氧段 DO 长期保持在 0.7~0.8 mg/L。DO 过高使得硝化作用效果较好,这从好氧段出口  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量低可以看出。但 DO 对反硝化有抑制作用,主要是由于 DO 会与硝酸盐竞争电子供体,同时分子态氧也会抑制硝酸盐还原酶的合成及其活性。一般缺氧段控制 DO 为 0.5 mg/L 以下。该污水厂缺氧段 DO 长期保持在 0.7~0.8 mg/L,必然会影响反硝化反应。而且,回流污泥中过高的硝酸盐浓度对除磷也会有较大的影响。同时 DO 过高虽然在短期内污泥活性较好,但长时间 DO 过高和碳源不足,会使微生物处于饥饿状态而引起自身氧化,进入衰老期,污泥活性降低,絮凝性减弱并上浮或随水流失<sup>[6]</sup>。

在污泥培养阶段,为使污泥浓度快速增长,采取不排泥的措施,且在出水水质达标后,由于污泥浓度未达到设计值,因此系统未排泥,使得氧化沟内污泥龄过长,导致污泥发生老化上浮。因大部分磷通过排泥去除,故过长泥龄会影响除磷效果。

#### c. 污泥分析

在好氧段取污泥样分析,发现污泥絮体较小,呈小颗粒状,沉淀性能差,透过量筒壁可观察到少量污泥颗粒吸附气泡并上浮至表面,  $\text{SV}_{30}$  由正常运行时的 30% 上升为 55% 左右。污泥镜检发现丝状菌数目略有增多,但其数量及菌丝长度在正常范围

内且未发生膨胀现象,体型较大的后生动物数量有所增加,轮虫、钟虫、累枝虫、表壳虫、附着类纤毛虫等占优势。同时取一定量的上浮污泥打碎后进行沉降试验,其沉降速度较快,并释放出大量气泡。氧化沟出水 SVI 值约 150 mL/g,在正常范围内,排除其发生丝状菌膨胀上浮的可能。

综上所述,系统长期低负荷运行、未排泥导致的污泥龄过长和曝气量过大是引起氧化沟内污泥老化上浮的主要原因;没有及时补充碱度和碳源、缺氧段 DO 过高导致反硝化过程无法正常进行,从而引起二沉池污泥发生反硝化上浮;氧化沟内 pH 值降低、泥龄过长,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  浓度升高使得除磷过程受到抑制,导致出水 TP 升高。

#### ② 调整方案

在污泥上浮初期采用人工打捞及高压水枪打碎的方式处理,但效果不佳,随着上浮污泥逐渐增多,氧化沟内上浮污泥厚度达到 10 cm。通过提升潜水推流搅拌机,将氧化沟表面浮泥推至二沉池,并用高压水枪在二沉池喷洒 PAM 使污泥快速沉淀,并启动 2 台剩余污泥泵将污泥送至储泥池,随后进行脱水处理,一次性去除氧化沟及二沉池的表面浮泥。

针对氧化沟内 pH 值偏低、碳源不足、曝气过度、泥龄过高等引起污泥上浮的原因,从以下几方面进行调整。

##### a. 调节 pH 值

氧化沟进水量约 200  $\text{m}^3/\text{次}$ ,进水 7~9 次/d,在每次氧化沟进水后于好氧段投加 1.5 kg 碳酸钠,共计 12 kg/d,在投加 3 d 后 pH 值达到 7.0,并将 pH 控制在 7.0~7.5,直至氧化沟正常运行。

##### b. 调整碳源投加时间及投加量

碳源投加时间由每 8 h 投加一次调整为每次进水后在潜水推流搅拌机处(回流缝)投加。

根据污水脱氮工艺外部碳源投加计算公式<sup>[7]</sup>:

$$C_m = 5N \quad (1)$$

式中:  $C_m$  为必需投加的外部碳源量,以 COD 计, mg/L; 5 为反硝化 1 kg 硝态氮需外部碳源量(以 COD 计),  $\text{kgCOD}/\text{kgNO}_3^--\text{N}$ ;  $N$  为需要用外部碳源反硝化去除的氮量, mg/L。

经计算得出每次进水理论葡萄糖投加量为 9.37 kg,同时考虑进水 TP、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  高于设计值的情况,将每次进水葡萄糖投加量定为 12.5 kg,并在氧

化沟稳定运行后、不影响出水水质的情况下逐步减少其投加量以节约运行成本。

#### c. 调整曝气模式与曝气量

设置预处理车间调节池内潜污泵的启动与停止液位,将氧化沟进水时间与停水时间分别控制在50、150 min,氧化沟曝气模式由连续曝气调整为在进水前15 min启动鼓风机曝气,在氧化沟进水结束后停止曝气,即曝气65 min、停曝120 min;并将好氧区DO始终控制在2.5~2.8 mg/L,缺氧段DO约0.4 mg/L,以保证反硝化过程所需的缺氧环境。

#### d. 加强排泥

根据启动调试期间进水量、COD平均值,经计算,将污泥负荷控制在设计值0.12 kgCOD/(kgMLSS·d),则需将污泥浓度控制在1 073 mg/L,考虑到负荷的波动以及进水TP、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N高于设计值的情况,通过排泥将污泥浓度控制在约3 000 mg/L,并将污泥龄控制在约20 d。

### 2.4 调整后氮、磷变化情况

在对氧化沟及二沉池的浮泥进行一次去除后,在后期的调整过程中除了初期有少量漂泥外,氧化沟与二沉池未见大面积上浮现象。调整期间进、出水的TP、TN变化情况见表5。

表5 调整期间TP、TN变化情况

Tab.5 Changes of TP and TN during adjustment

项 目		TN				TP			
		进水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	二沉池出水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	出水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	总去除 率/%	进水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	二沉池出水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	出水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	总去除 率/%
调整前		60.89	36.51	36.14	40.65	5.28	1.95	1.90	64.02
调整后	第1天	52.61	35.97	35.58	32.37	5.14	1.88	1.86	63.81
	第2天	51.08	25.36	22.45	56.05	5.30	1.97	1.93	63.58
	第3天	57.03	27.16	24.60	56.86	5.52	1.91	1.83	66.85
	第4天	56.57	23.22	21.37	62.22	5.76	1.24	1.09	81.08
	第5天	54.07	16.48	12.59	76.72	4.25	0.78	0.53	87.53
	第6天	59.55	11.34	9.42	84.18	5.04	0.56	0.30	94.05
	第7天	57.42	5.39	3.98	93.07	5.49	0.13	0.05	99.09

由表5可知,经过相关调整后,二沉池出水TN、TP逐渐下降,第6天时二沉池出水TN达到一级A排放标准(15 mg/L),二沉池出水TP还未达标(0.5 mg/L),结合深度处理的化学除磷,TP可以达标。到第7天时二沉池出水TN、TP均能达标,对TN和TP总的去除率均在90%以上,配合化学除磷,TP去除

率高达99%。出水TN、TP相对于调整前出水浓度分别降低了32.16、1.85 mg/L,总去除率相应提高了52.42、35.07个百分点。

### 3 试运行效果分析

改良Carrousel氧化沟系统从2020年7月进入试运行,为期2个月,进、出水水质检测结果见表6。

表6 试运行期间进、出水水质

Tab.6 Influent and effluent quality during trial operation

项 目	COD	TP	TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	SS
进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	102~737	3.21~7.84	35.28~76.82	23.45~66.17	70~243
进水平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	307	5.12	56.75	45.70	178
出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	2.3~23.0	0.003~0.477	0.406~9.389	0.003~3.681	2.3~8.7
出水平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.0	0.078	4.290	0.329	6.2
平均去除率/%	96.7	98.5	92.4	99.3	96.5

运行结果表明,虽然进水水质波动较大,进水NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TP平均值超出设计值,但出水水质始终能够达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,体现了该改良Carrousel氧化沟工艺良好的处理效果与抗冲击负荷能力。

### 4 结论

乌鲁木齐市达坂城区第二污水处理厂采用改良Carrousel 2000氧化沟工艺,针对调试期间出现的污泥上浮和TN、TP不达标问题,进行了分析研判,并采取了适当的工艺调整措施。实践表明调整后,

该污水厂出水水质稳定达到一级 A 标准,符合设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 李喆,赵乐军,朱慧芳,等. 我国城镇污水处理厂建设运行概况及存在问题分析[J]. 给水排水,2018,44(4):52-57.
- LI Zhe, ZHAO Lejun, ZHU Huifang, *et al.* Analysis of construction and operation status and existing problems of municipal wastewater treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 52-57 (in Chinese).
- [2] 唐锋兵,吴坤茹,达书峰,等. 改良型 Carrousel 氧化沟工艺生物脱氮优化研究[J]. 中国给水排水,2018,34(13):91-94,97.
- TANG Fengbing, WU Kunru, DA Shufeng, *et al.* Optimization of biological nitrogen removal in modified Carrousel oxidation ditch process [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(13): 91-94,97(in Chinese).
- [3] Jan Joha, 吕斌. Carrousel® 2000 型氧化沟设计方法[J]. 中国给水排水,1999,15(9):29-30.
- JOHA Jan, LÜ Bin. Design method for oxidation ditch-Carrousel® 2000[J]. China Water & Wastewater, 1999,15(9):29-30(in Chinese).
- [4] 原建光,李成杰. 改良型 Carrousel 氧化沟沉淀问题的解决方法[J]. 中国给水排水,2009,25(14):93-94,98.
- YUAN Jianguang, LI Chengjie. Solution of sludge

deposit in modified Carrousel oxidation ditch [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25 (14) : 93-94, 98 (in Chinese).

- [5] 周圆,支丽玲,郑凯凯,等. 城镇污水处理厂活性污泥反硝化速率的影响因素及优化运行研究[J]. 环境工程,2020,38(7):100-108.
- ZHOU Yuan, ZHI Liling, ZHENG Kaikai, *et al.* Influencing factors and optimization analysis of denitrification rate in urban wastewater treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2020, 38 (7) : 100-108(in Chinese).
- [6] 丁峰,彭永臻,杜红,等. 活性污泥中污泥上浮的产生与控制[J]. 环境工程,2000,18(6):25-27.
- DING Feng, PENG Yongzhen, DU Hong, *et al.* Emergence of activated sludge floatation and its control in activated sludge process [J]. Environmental Engineering, 2000,18(6):25-27(in Chinese).
- [7] 郭小春. 污水脱氮工艺外部碳源投加量计算方法探讨[J]. 中国给水排水,2019,35(13):97-100.
- GUO Xiaochun. Discussion on calculation method of external carbon source dosage in sewage denitrification process [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (13): 97-100(in Chinese).

作者简介:刘坤(1997- ),男,湖南衡阳人,硕士研究生,主要研究方向为水污染治理。

E-mail:1084012236@qq.com

收稿日期:2021-02-09

修回日期:2021-04-29

(编辑:衣春敏)

科学防御水旱灾害,有效促进人水和谐