

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.009

# 某 Carrousel 氧化沟工艺污水处理厂达标改造设计

刘 晋, 刘金星, 张万里

(无锡市市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

**摘 要:** 某城市污水处理厂设计规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 生化处理采用 Carrousel 氧化沟工艺, 为使出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 在达标改造工程中, 以原 Carrousel 氧化沟工艺为基础, 采取了增加缺氧段、设置硝化液回流、补充碳源以及增设高效沉淀池等措施, 具有改造范围最小、对污水厂运行影响最小、投资节省、抗冲击负荷能力强、运行管理方便等特点。深度处理采用高效沉淀池+转盘滤池+二氧化氯消毒工艺。实际运行结果表明, 出水水质完全达到了设计标准。

**关键词:** 污水处理厂; Carrousel 氧化沟; 转盘滤池

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0047-05

## Reaching Standard and Renovation Project Design of a Wastewater Treatment Plant with Carrousel Oxidation Ditch Process

LIU Jin, LIU Jin-xing, ZHANG Wan-li

(Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

**Abstract:** The design capacity of a city wastewater treatment plant was  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Carrousel oxidation ditch was adopted in biological treatment process. In the reaching standard and renovation project, based on Carrousel oxidation ditch, anoxic zone and nitrifying liquid back-flow system were added, carbon source was supplemented and high efficient sedimentation tank was built. This process had advantages of small modification extent, low influence on wastewater treatment process, less investment, strong adaptability to impaction of raw wastewater and easy management. The coagulating sedimentation and rotary disc filter and chlorine dioxide disinfection process was used for the advanced treatment. The effluent quality could meet the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

**Key words:** wastewater treatment plant; Carrousel oxidation ditch; rotary disc filter

### 1 工程背景

某城市污水处理厂设计规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主要处理中心城区生活污水和工业废水, 采用 Carrousel 氧化沟+絮凝沉淀+纤维转盘过滤工艺, 2005 年 5 月开工建设, 2006 年 9 月投入运行, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 排放标准。

现状污水厂存在的问题:

① 由于进水碳源不足, C/N 严重失调, 出水 TN 不能稳定满足一级 A 标准;

② 现有的絮凝沉淀池采用竖流式沉淀池, 表面负荷较高 [ $q = 2.53 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ], 絮凝和沉淀效果不佳, 造成纤维转盘滤池进水 SS 较高, 出水 SS 不能稳定满足一级 A 标准;

③ 污水厂来水主要为工业废水和生活污水, 工业废水占比较大, 工业废水的水量、水质波动较

大,无事故应急池设施,污水厂抗冲击负荷能力较弱;

④ 预处理及污泥脱水系统无除臭设施,不能满足相关排放标准要求。

## 2 改造工程设计

### 2.1 设计水质

根据2016年1月—12月的每日水质报表,对实测进水水质进行“涵盖率”分析,取90%涵盖率指标用于核算实际进水水质参数。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<sup>[1]</sup>。本工程进、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	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	217	100	133	29	39	2.1
出水	50	10	10	5(8)	15	0.5

### 2.2 工艺流程

污水生化处理仍采用原 Carrousel 氧化沟工艺,但要进行增加缺氧段、设置硝化液回流等改造;深度处理采用“高效沉淀池+转盘滤池”工艺,消毒

采用现状二氧化氯消毒。污泥处理采用“污泥浓缩池+板框脱水机”,处理后污泥含水率 $\leq 60\%$ ,泥饼外运,实现无害化处置,具体流程见图1。

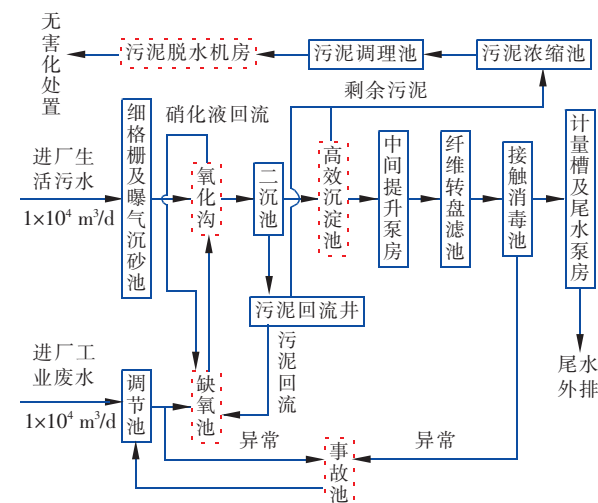


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

### 2.3 达标改造内容

达标改造内容见表2。

表2 达标改造内容

Tab.2 Contents of reconstruction project

项目	平面尺寸/ (m × m)	数量	备注
缺氧池	28.0 × 4.0	1座	改造,拆除初沉池内的周边传动刮泥机和池中进水筒及出水堰,内设2台潜水推进器和MBBR填料
氧化沟	98.6 × 55.5	1座	改造,停运2台曝气机,新增5台推流器,增设3台硝化液回流泵及抽真空泵组
高效沉淀池	25.10 × 16.2	1座	新建
事故应急池	43 × 23	1座	新建
碳源投加系统	5.6 × 3.6	1座	新建
除臭系统	22 × 13	1座	新建
加药除磷系统		1套	新建

### 2.4 主要构筑物设计

#### 2.4.1 缺氧池(现状初沉池改造)

由于污水厂采用 Carrousel 氧化沟工艺,氧化沟采用同步硝化反硝化,无硝化液回流系统,加之碳源严重不足,系统的反硝化能力难以提高,造成TN的去除率较低,本次提标改造需考虑设置独立缺氧段、外加碳源、增加硝化液回流和污泥回流等措施。因此,改造主要内容是将初沉池改为缺氧池,不再设初沉池。

##### ① 初沉池改为缺氧池设计

原有初沉池共1座,直径为28m,水深为4m,

内设1台周边传动刮泥机。改造方案如下:

拆除池内的周边传动刮泥机和池中进水筒及出水堰,形成1座圆形缺氧池,缺氧池为完全混合型水池,内设2台潜水推流器。为了保证缺氧池脱氮效果,本工程需将 Carrousel 氧化沟内硝化液回流至缺氧池内。同时将原接入氧化沟的回流污泥改到缺氧池<sup>[2]</sup>。根据计算,初沉池改为缺氧池后设计参数如下:缺氧池容积为 $2460 \text{ m}^3$ ;污水停留时间为3h。

初沉池改成缺氧段后前置缺氧池的停留时间达到3h,同时在缺氧池内投加填料改造为MBBR池,可以增加缺氧池生物量及脱氮效果。

## ② 缺氧池改造措施

将原有初沉池内刮泥机取消,增加推流器 2 台,叶轮直径为 1 400 mm,转速为 53 r/min,低转速大叶轮推流器,功率为 8 kW;缺氧区投加填料:HDPE 材质, $\varnothing 25\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ ,反硝化速率为  $0.032\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,数量为  $372\text{ m}^3$ ,有效面积为  $167\,000\text{ m}^2$ ,填料投加比为 15.1%,缺氧池改造平面图见图 2。

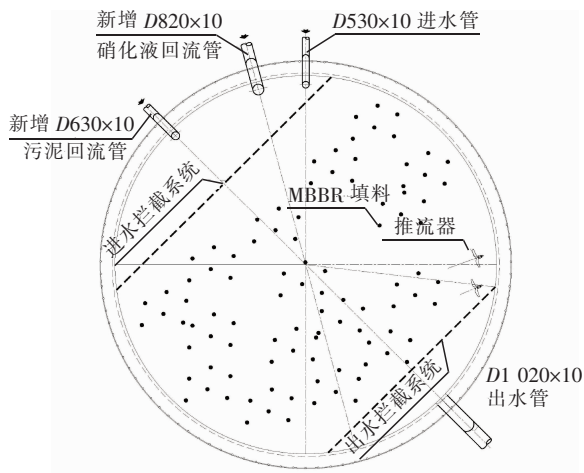


图2 缺氧池改造平面

Fig.2 Anoxic tank plan

## ③ 管道调整

缺氧池增加 1 根 DN800 硝化液回流管和 DN600 污泥回流管;增加 DN40 碳源投加管。

## 2.4.2 Carrousel 氧化沟(改造)

经计算,氧化沟需氧量为  $181.76\text{ kgO}_2/\text{h}$ ,氧化沟内共设置 3 台倒伞曝气机,每台曝气机额定曝气量为  $264\text{ kgO}_2/\text{h}$ ,考虑曝气机使用时间较长,充氧能力有一定折损,按 70% 计,则目前曝气机充氧能力为  $184.8\text{ kgO}_2/\text{h}$ ,因此,氧化沟开一台曝气机即可满足使用需要<sup>[3]</sup>。为了弥补停开部分倒伞曝气机带来的推动力不足问题,防止污泥沉降,在氧化沟廊道内增加潜水推进器,强化系统的推流效果,保证氧化沟内的流速不低于  $0.3\text{ m/s}$ 。

为了保证缺氧池脱氮效果,本工程需在 Carrousel 氧化沟内增加 3 台硝化液回流泵,回流比为 200%。

同时将原接入氧化沟的回流污泥改至缺氧池。

## ① 基本参数

氧化沟 1 座,半地下式钢混结构。设计规模为

$2 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,平面尺寸为  $98.6\text{ m} \times 55.5\text{ m}$ ,廊道宽度为  $9.0\text{ m}$ ,有效水深为  $4.5\text{ m}$ ,有效容积为  $23\,650\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $28.4\text{ h}$ ,综合产泥率为  $0.80\text{ kgDS}/\text{kgBOD}_5$ ,污泥负荷为  $0.024\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥回流比为 50% ~ 150%,硝化液回流比为 200% (回流至前置缺氧区),污泥龄为  $21.24\text{ d}$ ,设计最低水温为  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ,倒伞表面曝气,生化池需氧量为  $181.76\text{ kgO}_2/\text{h}$ 。

推流设备 5 套:直径为  $2\,200\text{ mm}$ ,功率为  $5.5\text{ kW}$ 。

## ② 硝化液回流系统

本工程氧化沟没有硝化液回流系统,现状运行模式的脱氮效果不能达到一级 A 标准要求,对于  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 指标,重点考虑增加硝化液回流系统,改造初沉池为缺氧池,创造良好的缺氧脱氮环境,提高系统的  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 去除率。

硝化液回流比为 200%,设置硝化液回流泵 3 台(2 用 1 备)。回流泵流量为  $830\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为  $80\text{ kPa}$ ,功率为  $30\text{ kW}$ 。

## 2.4.3 高效沉淀池(新建)

高效沉淀池设机械混凝区和斜管沉淀区,主要去除悬浮物和 TP。

混凝段投加 PAC,絮凝段投加 PAM,增加混凝的速度和效果<sup>[4]</sup>。沉淀部分采用斜管沉淀,沉淀池顶部设矩形出水堰。污泥聚集在池的底部,部分由污泥泵回流至高效沉淀池前端,部分定期抽至污泥处理系统。

高效沉淀池设计规模为  $2 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,平面尺寸为  $25.10\text{ m} \times 14.50\text{ m}$ ,沉淀区有效水深为  $6.35\text{ m}$ ,混凝时间为  $4.6\text{ min}$ ,絮凝时间为  $9.1\text{ min}$ ,斜管沉淀区上升流速为  $2.9\text{ mm/s}$ ,斜管区高度为  $1.0\text{ m}$ ,斜管孔径为  $50\text{ mm}$ , $L = 1\,000\text{ mm}$ ,清水区高度为  $1.0\text{ m}$ ;污泥回流泵 4 台, $Q = 25\text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 100\text{ kPa}$ , $N = 3\text{ kW}$ ;剩余污泥泵 4 台, $Q = 20\text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 150\text{ kPa}$ , $N = 3\text{ kW}$ ;混凝搅拌机 2 台,桨叶直径为  $2.5\text{ m}$ , $N = 1.5\text{ kW}$ ;PAM 加药装置 1 套,PAM 投加量为  $1\text{ mg/L}$ ,药剂制备能力为  $2\text{ m}^3/\text{h}$ 。

## 2.4.4 事故应急池(新建)

新建应急事故池。在调节池和接触消毒池各增加 1 根超越管,接入应急事故池。当工业废水严重超标或出水不达标时,污水厂进水进入应急事故池,进行调蓄。在污水厂进水恢复正常后,再通过泵慢

慢打入已建污水调节池,以缓解对后续工艺的冲击。

事故应急池尺寸为  $43\text{ m} \times 23\text{ m} \times 5.0\text{ m}$  (有效水深),有效容积为  $5\,000\text{ m}^3$ ,潜水搅拌机 5 台,  $D=360\text{ mm}$ ,  $N=7.5\text{ kW}$ ;潜水排污泵 2 台(1 用 1 备),  $Q=450\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=80\text{ kPa}$ ,  $N=22\text{ kW}$ 。

#### 2.4.5 碳源投加系统(新建)

由于碳源不足,为保证脱氮效果,需建设 1 套碳源备用投加装置,碳源拟采用醋酸钠。碳源投加量计算如下:

由于本工程进水 TN 浓度较高,从安全角度考虑外加碳源的量按去除  $10\text{ mg/L NO}_3^- - \text{N}$  计。假设回流的硝化液中仅含有  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,曝气池中的混合液剩余 DO 值设计值为  $1.5\text{ mg/L}^{[5]}$ 。

则所需碳源可按下式计算:

$$F_z = 2.47N_0 + 1.53N_1 + 0.87\text{DO} \quad (1)$$

式中  $F_z$ ——所需总的碳源量,以甲醇计,  $\text{mg/L}$

$N_0$ ——需要去除的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度,  $\text{mg/L}$

$N_1$ ——需要去除的  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度,  $\text{mg/L}$

DO——污水中的 DO 浓度,  $\text{mg/L}$

$F_z = 2.47 \times 10 + 0.87 \times 1.5 = 26.0\text{ mg/L}$  (以甲醇计)。

拟采用醋酸钠作为外加碳源,一般采用 30% 浓度的醋酸钠,最终求得工程最大日醋酸钠投加量为  $20\,000 \times 26.0 \times 390 / (128 \times 1\,000 \times 30\%) = 5\,281.2$

$\text{kg/d}$ ,约  $5.3\text{ m}^3/\text{d}$ 。

设置醋酸钠计量泵 3 台,  $Q=0.5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=500\text{ kPa}$ ,  $N=0.55\text{ kW}$ ;醋酸钠储罐 2 套,  $V=20\text{ m}^3/\text{套}$ 。

#### 2.4.6 除臭系统(新建)

本项目臭气源分为两个,一个位于预处理区,包括水解调节池、细格栅、沉砂池和初沉池;另一个位于污泥处理区,包括污泥脱水机房、污泥浓缩池。

对细格栅及沉砂池,采用在设备上加罩的措施,以避免臭气外逸,加罩材料采用不锈钢骨架+钢化玻璃,水解调节池和污泥浓缩池采用玻璃钢盖板加盖。设置生物除臭装置 1 套,处理风量为  $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。

#### 2.4.7 加药除磷系统(新建)

根据化学除磷和高效沉淀池混凝沉淀的要求,新建 PAC 投加系统,结合厂区布置,本工程在高效沉淀池的东侧空地设置 PAC 投加系统。

化学除磷药剂采用液态聚合氯化铝(PAC),浓度为 10%,经稀释后投加在高效沉淀池中。

设计 PAC 投加量为  $20\text{ mg/L}$ ,约  $400\text{ kg/d}$ ,10% PAC 溶液体积为  $4\text{ m}^3/\text{d}$ 。PAC 储罐 2 个,容积:  $15\text{ m}^3/\text{个}$ ;计量泵 2 台,  $Q=0 \sim 200\text{ L/h}$ ,  $N=0.75\text{ kW}$ 。

### 3 运行效果

污水厂达标改造工程已完成并投入运行,2019 年日常监测的运行数据(月度平均值)见表 3。

表 3 实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality

月份	平均进水/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )					平均出水/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )					平均去除率/%				
	COD	SS	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP	COD	SS	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP	COD	SS	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP
1	202	151	21.0	28.9	1.6	27.0	7.7	2.40	10.7	0.15	86.6	94.9	88.6	63.0	90.6
2	131	147	18.6	25.8	0.9	23.0	8.0	0.33	8.5	0.15	82.4	94.6	98.2	67.1	83.3
3	149	152	24.8	28.8	1.8	23.0	7.5	0.60	5.7	0.17	84.6	95.1	97.6	80.2	90.6
4	120	150	24.1	29.4	2.4	27.0	8.0	0.38	5.6	0.18	77.5	94.7	98.4	81.0	92.5
5	116	129	25.9	30.1	2.5	27.0	7.5	0.59	6.1	0.23	76.7	94.2	97.7	79.7	90.8
6	102	117	26.0	34.9	2.0	26.0	7.7	1.30	9.7	0.24	74.5	93.4	95.0	72.2	88.0
7	85	108	20.4	27.8	1.7	22.0	6.7	0.31	5.8	0.23	74.1	93.8	98.5	79.1	86.5
8	94	109	23.1	27.5	2.1	23.0	6.9	0.26	5.0	0.22	75.5	93.7	98.9	81.8	89.5
9	98	114	19.3	26.8	2.0	23.0	6.6	0.43	7.7	0.19	76.5	94.2	97.8	71.3	90.5
10	83	120	24.4	31.0	2.4	21.0	6.5	0.35	6.3	0.24	74.7	94.6	98.6	79.7	90.0
11	84	121	17.7	24.5	1.8	21.0	7.0	0.50	7.3	0.16	75.0	94.2	97.2	70.2	91.1
12	99	126	24.2	30.2	1.9	26.0	7.0	0.60	9.8	0.22	73.7	94.4	97.5	67.5	88.4

可见,出水各项指标均达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,出水水质稳定。

### 4 设计特点

① 污水厂主体工艺沿用现状 Carrousel 氧化沟,以现状 Carrousel 氧化沟为基础,增加缺氧段,并



在缺氧段投加填料,增加硝化液回流以及补充碳源等措施,强化脱氮,具有改造范围最小、对污水厂运行影响最小、投资节省等优点。

② 设置事故应急设施,增强对进水水质的适应能力,提高污水处理厂抗冲击负荷能力,运行管理方便。

③ 深度处理采用“高效沉淀池+转盘过滤”工艺,确保出水的各项指标稳定达到一级 A 标准,污水处理工艺简单可靠,处理效果好。

## 5 结语

本工程采用 Carrousel 氧化沟+高效沉淀池+转盘过滤+消毒工艺,通过增加缺氧段,进行硝化液回流,并在缺氧段投加填料,投加碳源强化反硝化过程,提高污水厂对 TN 的去除能力。设置高效沉淀池,通过投加药剂,提高去除 SS 和 TP 的能力,并加以尾水消毒,保证了出水各项指标稳定达标,工程改造技术可行、经济效益明显,对类似工程具有借鉴意义。

本工程的实施对当地改善生态环境和投资环境具有重要意义,对促进社会经济可持续发展,有效缓解区域水环境污染,改善区域水域水质,保障供水安全将起到非常重要的作用。

## 参考文献:

- [1] 冯成军,蒋岚岚,杨勇. 组合式 AAO 氧化沟工艺的工程应用[J]. 中国给水排水,2010,26(22):26-29.  
Feng Chengjun, Jiang Lanlan, Yang Yong. Application of combined inverted AAO oxidation ditch process [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(22):26-29 (in Chinese).
- [2] 蔡芝斌,谢超群,包松考,等. 钱塘江流域某污水处理厂三期工程工艺设计[J]. 中国给水排水,2012,28(20):55-59.  
Cai Zhibin, Xie Chaoqun, Bao Songkao, et al. Process design of third-phase project of a WWTP in Qiantang River basin [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(20):55-59 (in Chinese).
- [3] 孙银琪,张萍. 靖江市城市污水厂升级改造工程设计及运行[J]. 中国给水排水,2014,30(22):104-106.

Sun Yinqi, Zhang Ping. Design and operation of upgrading and retrofitting project of Jingjiang WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(22):104-106 (in Chinese).

- [4] 刘金星,冯成军,蒋岚岚. 济源市城市污水处理厂一期提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2015,31(20):46-49.  
Liu Jinxing, Feng Chengjun, Jiang Lanlan. Upgrading design of first-phase project of Jiyuan City sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(20):46-49 (in Chinese).
- [5] 戴惠,冯成军,张万里,等. 徐州沛县经济开发区污水处理厂工艺设计[J]. 中国给水排水,2015,31(14):66-70.  
Dai Hui, Feng Chengjun, Zhang Wanli, et al. Process design of WWTP in Xuzhou Pei County economic development zone [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(14):66-70 (in Chinese).



**作者简介:**刘晋(1980-),女,河南信阳人,硕士,高级工程师,副部长,主要从事水污染防治、固体废弃物处置、水生态修复等方向的工程设计咨询、科研工作,曾主持及参与了各类工程设计及咨询项目两百余项,获得1项部级、15项省级、20余项市级优秀设计或优秀咨询奖,参与国家水专项、江苏省住建厅、无锡市科技局立项的多个科技项目的管理和研究工作,在国家核心期刊上发表论文近10篇,专利授权10项,参与标准及专著编写3项。

**E-mail:** liujinjing123@126.com

**收稿日期:**2019-09-11