

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.18.012

# 三峡库区 Carrousel 氧化沟工艺提标升级改造设计

聂健锋, 曾超

(湖南省建筑设计院有限公司, 湖南 长沙 410012)

**摘要:** 三峡库区某污水处理厂设计规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用 Carrousel 氧化沟工艺, 原设计出水标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准。升级改造工程中, 针对 Carrousel 氧化沟脱氮除磷效果不佳、难以满足新的排放标准的问题, 通过采取新增前置缺氧池、改变硝化液及污泥回流方式、新增多点进水等改造措施, 提高了生化系统的脱氮除磷效率。实际运行结果表明, 升级改造后生化系统对 TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  的平均去除率均提高, 出水水质稳定达到一级 A 标准。

**关键词:** Carrousel 氧化沟; 提标改造; 脱氮除磷

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)18-0066-04

## Design of Upgrading and Reconstruction of Carrousel Oxidation Ditch Process in Three Gorges Reservoir Area

NIE Jian-feng, ZENG Chao

(Hunan Architectural Design Institute Limited Company, Changsha 410012, China)

**Abstract:** The design scale of a WWTP in Three Gorges Reservoir Area was  $30\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ , the main treatment process of this WWTP was Carrousel oxidation ditch, the effluent was adapted to the first level B standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). During the upgrading and reconstruction project, the efficiency of nitrogen and phosphorus removal in the biochemical system was improved in order to meet the new emission standards. Aiming at the problems that the effect of nitrogen and phosphorus removal in Carrousel oxidation ditch was not good, and it was difficult to meet the new discharge standard, the process was reconstructed by adding a new pre-anoxic tank, changing the nitrification and sludge return method, and adding multi-point water inflow. The actual operation results showed the average removal efficiency of TN, TP and ammonia nitrogen were improved. The effluent quality could meet the first level A standard of GB 18918-2002 stably.

**Key words:** Carrousel oxidation ditch; upgrading and reconstruction; nitrogen and phosphorus removal

三峡库区重庆首批建设的城镇污水处理厂中广泛采用传统 Carrousel 氧化沟工艺<sup>[1]</sup>, 该工艺具有管理运行方便、处理效果稳定、抗冲击负荷能力强等<sup>[2]</sup>优点, 自建成至今, 已稳定运行十几年。近年来, 随着污水排放标准提高, 各污水处理厂陆续开展了提标改造工作。

### 1 污水处理厂现状

#### 1.1 现状概况

三峡库区某县城污水处理厂设计规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用传统 Carrousel 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) 一级 B 标准, 工程已建成运行十几

年。该厂工艺流程见图 1。

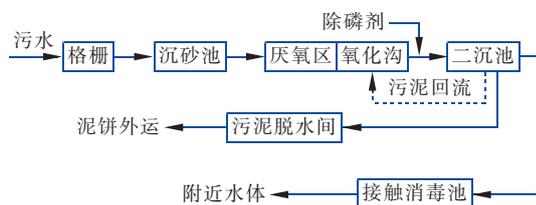


图 1 改造前工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process before reconstruction

原设计进、出水水质见表 1。

表 1 原设计进、出水水质

Tab. 1 Original design influent and effluent quality

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	400	200	250	25	40	6.0
出水	60	20	20	8(15)	20	1.0

该污水处理厂共设 2 组氧化沟,单组设计流量为 625 m<sup>3</sup>/h,氧化沟前端设有独立厌氧区。污水经配水井分配后进入氧化沟前端厌氧区,与回流污泥混合,在厌氧条件下,聚磷菌可将储存在菌体内的磷分解,将磷酸盐释放到水中。经厌氧区释磷后的污水进入 Carrousel 氧化沟内,氧化沟呈封闭环流形式,污水和活性污泥在曝气渠道内不断循环流动,进一步去除有机物。改造前氧化沟平面布置见图 2。

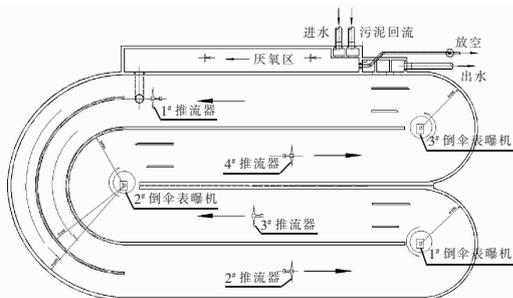


图 2 改造前氧化沟平面

Fig. 2 Layout of oxidation ditch before reconstruction

该氧化沟的独立厌氧区池容为 743.4 m<sup>3</sup>,环形沟渠池容为 6 237.6 m<sup>3</sup>,水力停留时间为 11.17 h (其中独立厌氧区 1.19 h),设计污泥浓度为 4 000 mg/L,污泥龄为 13.5 d,污泥负荷为 0.1 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d)。主要设备:恒速倒伞表曝机 4 台(充氧量:119 kgO<sub>2</sub>/h, N = 55 kW),变频倒伞表曝机 2 台(充氧量:23 ~ 119 kgO<sub>2</sub>/h, N = 55 kW),低速潜水推流器 8 台(∅2 500 mm, N = 4.0 kW),潜水搅拌机

4 台(∅400 mm, N = 4.0 kW)。

## 1.2 现状运行情况分析

该污水处理厂自 2003 年建成以来,运行较为稳定,对 2014 年—2015 年出水水质数据进行了分析,具体见表 2。可见,出水水质基本能达到一级 B 标准,部分指标如 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N 还能达到一级 A 标准,说明氧化沟系统对有机物的去除效果较好,但是 TN、TP、SS 难以稳定达标。

表 2 2014 年—2015 年出水水质

Tab. 2 Effluent quality in 2014 - 2015

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
最大值/(mg·L <sup>-1</sup> )	47.8	11.0	12.0	7.9	19.3	1.48
最小值/(mg·L <sup>-1</sup> )	8.6	5.3	6.2	0.2	4.8	0.1
平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	23.4	8.5	8.9	1.2	15.6	0.54
一级 B 达标率/%	100	100	100	100	100	88
一级 A 达标率/%	100	98.5	79.3	100	83.3	55.0
平均去除率/%	87.6	93.2	91.9	89.4	55.8	80.8

## 2 升级改造设计方案

2017 年该污水处理厂启动提标升级改造工程,将排放标准提升至《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。为了尽可能利用现有设施以减少工程投资及对原厂运行的影响,需要对原厂的设计参数及运行情况进行复核。

### 2.1 设计进、出水水质复核及确定

对近两年的进水水质数据进行了统计分析,实际进水水质频率分布见表 3。

表 3 进水水质频率分析

Tab. 3 Frequency analysis of influent quality

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
80% 频率	405	187	132	37.7	49.2	4.73
85% 频率	423	196	136	38.4	49.9	4.82
90% 频率	438	218	140	39.7	51.0	4.98

提标升级工程进水水质的确定主要依据污水处理厂近年来实际运行的进水水质,同时考虑适当留有余地及运行工况的不可预见性,因此,按覆盖率不低于 85% 的标准,最终确定了污水处理厂进、出水水质,具体见表 4。

表 4 提标升级工程设计进、出水水质

Tab. 4 Design influent and effluent quality of upgrading project

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	425	200	200	40	50	5.0
出水	50	10	10	5(8)	15	0.5

## 2.2 工艺改造方案设计

本次提标改造的难点是使 TN、TP、SS 等指标稳定达到一级 A 标准,而 TN、TP 主要在氧化沟中去除,因此对氧化沟按照一级 A 排放标准进行了设计

参数复核,结果见表 5。可见,氧化沟的 TN 负荷为 0.064 kg/(kgMLSS · d),负荷偏大;缺氧区容积为 1 600 m<sup>3</sup>,水力停留时间为 2.56 h,容积及停留时间偏小。

表 5 氧化沟主要设计参数复核

Tab.5 Review of main design parameters of oxidation ditch

项 目	改造前实际值	计算值或规范值	复核结果
水力停留时间/h	11.17	>12.5	偏小
污泥浓度/(g · L <sup>-1</sup> )	4.3	2.0 ~ 4.5	满足要求
供氧能力/(kgO <sub>2</sub> · h <sup>-1</sup> )	261 ~ 357	>311	满足要求
厌氧区容积/m <sup>3</sup>	743	>625	满足要求
缺氧区容积/m <sup>3</sup>	1 600	>2 629	偏小
好氧区容积/m <sup>3</sup>	4 638	>4 556	满足要求
BOD <sub>5</sub> 污泥负荷/(kg · kg <sup>-1</sup> MLSS · d <sup>-1</sup> )	0.1	0.1 ~ 0.2	满足要求
BOD <sub>5</sub> 容积负荷/(kg · m <sup>-3</sup> · d <sup>-1</sup> )	0.41	0.2 ~ 0.7	满足要求
TN 负荷/(kg · kg <sup>-1</sup> MLSS · d <sup>-1</sup> )	0.064	≤0.05	偏大

针对缺氧区容积不足的情况,拟采用如下改造措施:

- ① 新增一座缺氧池,总容积为 2 400 m<sup>3</sup>,以满足反硝化脱氮池容积;
- ② 将氧化沟内污泥浓度提高到 4 500 mg/L;
- ③ 在氧化沟出水口后端新增 3 台硝化液回流泵(2 用 1 备);
- ④ 对污泥回流泵站管路进行改造,污泥回流至新建缺氧池内;
- ⑤ 对进水管进行改造,70% 进水接入新建缺氧池,30% 进入原氧化沟;
- ⑥ 新增一座提升泵站,提升后续处理单元的水头;
- ⑦ 新增一座纤维转盘滤池,以保证 TP、SS 达标。

改造后工艺流程见图 3。

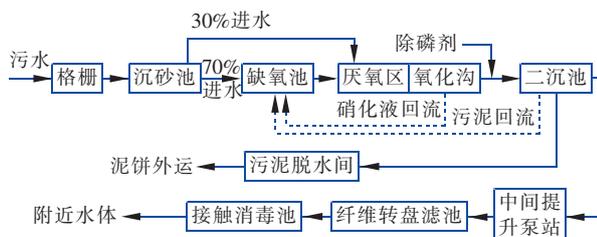


图 3 改造后工艺流程

Fig.3 Flow chart of wastewater treatment process after reconstruction

改造后的单组生物处理单元增加池容 1 200 m<sup>3</sup>,水力停留时间增加到 13.09 h(其中前缺氧区

1.92 h、厌氧区 1.19 h、缺氧区 2.56 h、好氧区 7.42 h),污泥浓度为 4 500 mg/L,污泥龄为 21.5 d,污泥负荷为 0.08 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS · d),容积负荷为 0.35 kgBOD<sub>5</sub>/(m<sup>3</sup> · d),TN 负荷为 0.042 kgTN/(kgMLSS · d),污泥回流比为 50% ~ 100%,硝化液回流比为 150% ~ 200%。

经改造后缺氧区、厌氧区、好氧区均可满足要求。新增缺氧池后,70% 的进水进入缺氧池与回流污泥及回流硝化液充分混合,由于缺氧区设在氧化沟前段,反硝化菌能够优先利用进水中的碳源对回流硝化液中的硝酸盐进行反硝化,这大大提高了系统的脱氮能力。另外 30% 的进水进入氧化沟的厌氧区内<sup>[3]</sup>,可为厌氧区中的聚磷菌提供所需要的碳源,回流污泥先进入缺氧区再至厌氧区,也消除了硝酸盐对厌氧区聚磷菌的不利影响,提高生物除磷能力,由于厌氧菌释磷后直接进入生化效率较高的好氧区,其在厌氧条件下形成较强的吸磷动力可以更充分利用<sup>[4]</sup>。从缺氧区进入的污水经过反硝化回收了部分碱度进入厌氧区,经厌氧释磷后进入好氧区,在好氧区内去除有机物并将 NH<sub>3</sub> - N 氧化成 NO<sub>x</sub><sup>-</sup> - N。

## 2.3 工程改造后的运行调控

提标改造工程建成后,建议运行单位根据工艺设计特点进行调控,污水及回流污泥首先进入缺氧池进行反硝化反应,为保证缺氧池内有足够硝酸盐,应控制硝化液回流比在 150% ~ 200% 之间。并在氧化沟出水端表曝机新增变频调速器,运行时应根

据氧化沟出水溶解氧浓度来控制表曝机,当出水溶解氧  $> 2.5 \text{ mg/L}$  时,表曝机自动减速,当出水溶解氧  $< 1.8 \text{ mg/L}$  时,表曝机自动加速,使出水溶解氧保持在  $2.0 \text{ mg/L}$  左右。

### 3 升级改造后运行效果及经济分析

#### 3.1 脱氮除磷效果

本工程于 2018 年 8 月完成改造,经过 1 年多的运行,整体实现了出水稳定达到一级 A 排放标准。实际运行进、出水水质见表 6。

表 6 改造后实际进、出水水质

Tab.6 Actual influent and effluent quality after reconstruction

项 目	NH <sub>3</sub> - N		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水
最大值/(mg · L <sup>-1</sup> )	44.6	4.7	65.8	16.8	6.51	0.54
最小值/(mg · L <sup>-1</sup> )	17.8	0.2	27.6	7.5	2.52	0.05
平均值/(mg · L <sup>-1</sup> )	33.45	1.97	45.6	13.1	4.22	0.27
平均去除率/%	94.1		70.9		92.4	

结果显示:改造后 NH<sub>3</sub> - N、TN、TP 去除效果良好。通过增加前置缺氧池及硝化液回流系统,平均 TN 去除率达到 70.9%,而改造前为 55.8%;平均 TP 去除率达到 92.4%,而改造前为 80.8%;平均 NH<sub>3</sub> - N 去除率达到 94.1%,而改造前为 89.4%,说明升级改造后氧化沟的脱氮除磷能力得到强化。

冬季(2018 年 12 月—2019 年 2 月)的出水 NH<sub>3</sub> - N、TN、TP 平均浓度分别为 2.49、13.45、0.31 mg/L,夏秋季(2018 年 8 月—11 月)的出水 NH<sub>3</sub> - N、TN、TP 平均浓度分别为 1.79、11.67、0.33 mg/L,可见冬季的脱氮效果与夏秋季有明显差距,但是基本可稳定达标。冬季的除磷效果与夏秋季差距不明显,其原因是投加了除磷药剂。

#### 3.2 经济分析

本提标升级改造工程对氧化沟工艺现状及池体特点进行了深入分析,充分挖掘现有设施的潜力。项目建安工程费用为 1 141.01 万元,单位水量工程投资为 380 元/(m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>)。其中涉及生化系统的改造费用为 485.91 万元,单位水量工程投资为 162 元/(m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>),投资较少。2016 年改造前平均除磷剂(PAC)耗量为 14.25 g/m<sup>3</sup>,2018 年改造完成后平均除磷剂(PAC)耗量为 13.06 g/m<sup>3</sup>,下降约 8.4%,运行费用明显降低。

### 4 结论

本工程对传统 Carrousel 氧化沟工艺进行升级改造,新增前置缺氧池后,形成缺氧 - 厌氧 - 缺氧 -

好氧的工艺流态,强化了脱氮除磷效果。改造后系统运行良好,出水水质稳定达到一级 A 标准。

#### 参考文献:

- [1] 程宗旺. 三峡库区氧化沟污水厂低成本提标改造技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.  
Cheng Zongwang. The Study of the Low Cost Technical Innovation of Oxidation Ditch Wastewater Treatment Plant in Three Gorges Reservoir Area [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014 (in Chinese).
- [2] 李志平,郭玉梅,邢美容,等. 昆明某污水处理厂 Carrousel 氧化沟硝化作用分析及升级改造[J]. 水处理技术,2014,40(10):123-127.  
Li Zhiping, Guo Yumei, Xing Meirong, et al. The analysis of nitrification of upgrading on a Carrousel oxidation ditch in Kunming [J]. Technology of Water Treatment, 2014, 40(10):123-127 (in Chinese).
- [3] 朱俊,刘鹏,魏敏华,等. 三峡库区 Carrousel 氧化沟多点进水改造及运行调控[J]. 中国给水排水,2015, 31(6): 74-77.  
Zhu Jun, Liu Peng, Wei Minhua, et al. Step-feed renovation and operation control of Carrousel oxidation ditch in Three Gorges Reservoir Area [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(6): 74-77 (in Chinese).
- [4] 张波,高廷耀. 倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺的原理与特点研究[J]. 中国给水排水,2000,16(7):11-15.  
Zhang Bo, Gao Tingyao. Principle and characteristics of reversed A<sup>2</sup>/O process [J]. China Water & Wastewater, 2000, 16(7): 11-15 (in Chinese).



作者简介:聂健锋(1987 - ),男,湖南衡阳人,硕士,工程师,主要从事市政给水及排水工程设计、污水处理、水环境治理等工作。

E-mail:niej88@qq.com

收稿日期:2019-08-31