

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.017

# 某污水处理厂提标工程中的氧化沟改造实践

戴杨叶<sup>1</sup>, 张大鹏<sup>2</sup>, 伍林芳<sup>1</sup>, 程志辉<sup>1</sup>, 洪士杰<sup>1</sup>

(1. 上海市净化技术装备成套有限公司, 上海 200120; 2. 上海市机械设备成套<集团>有限公司, 上海 200060)

**摘要:** 某污水处理厂采用 Carrousel 氧化沟工艺, 处理规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因廊道较长, 无独立的缺氧区, 设备损坏率较高, 出水总氮长期不能达标。为使出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准, 决定在最大程度地保留利用已建构筑物的基础上进行提标改造。通过结构及设备改造, 将氧化沟功能区进行重新划分, 改造成 AAO 氧化沟工艺。实施改造后, 氧化沟运行效果良好, 管理方便, 电耗下降约 34.1%, 节约电费约 90 万元/a。

**关键词:** 污水处理厂; 氧化沟; 提标改造; 反硝化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0092-05

## Reconstruction Practice of Oxidation Ditch in a WWTP Upgrading Project

DAI Yang-ye<sup>1</sup>, ZHANG Da-peng<sup>2</sup>, WU Lin-fang<sup>1</sup>, CHENG Zhi-hui<sup>1</sup>, HONG Shi-jie<sup>1</sup>

(1. Shanghai Purification Technology Equipment Complete Co. Ltd., Shanghai 200120, China;

2. Shanghai Machinery Complete Equipment <Group> Co. Ltd., Shanghai 200060, China)

**Abstract:** The treatment capability of Carrousel oxidation ditch process in a wastewater treatment plant (WWTP) is  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Since the corridor is long and there are no independent anoxic zones, the damage rate of the equipment is relatively high, and the effluent total nitrogen could not meet the standard for a long time. It is determined to upgrade and reconstruct the process on the basis of the maximum reservation and utilization of the existing structures, so as to meet the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). Through the transformation of equipment and structures, the functional area of oxidation ditch was transformed into the AAO oxidation ditch process. After the transformation, not only has the oxidation ditch good operation effect and convenient management, but also the power consumption decreased by about 34.1%, which saves about 900 thousand yuan per year.

**Key words:** wastewater treatment plant; oxidation ditch; upgrading and reconstruction; denitrification

某污水处理厂建于1999年,2002年投入运行,处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用 Carrousel 氧化沟处理工艺,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

随着国家水污染防治计划等相关政策的出台,需对该污水处理厂进行提标改造,改造后采用 AAO 氧化沟工艺为主体的生物处理系统,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—

通信作者: 戴杨叶 E-mail: yangye\_0006@163.com

2002)的一级A标准。

## 1 氧化沟概况

Carrousel氧化沟为厂区核心处理设施之一,现有氧化沟共2座,单座处理规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。单池长113.0 m,宽41.0 m,4条廊道,单条廊道宽10 m,池高4.8 m,有效水深4.0 m,有效容积 $16\,250 \text{ m}^3$ ,水力停留时间15.6 h。单池设有10台转刷曝气机,每台功率为45 kW;设4台潜水推流器,每台功率为5.5 kW。

设计进水水质: $\text{COD} \leq 400 \text{ mg/L}$ , $\text{BOD}_5 \leq 150 \text{ mg/L}$ , $\text{SS} \leq 150 \text{ mg/L}$ , $\text{TN} \leq 55 \text{ mg/L}$ , $\text{NH}_3\text{-N} \leq 45 \text{ mg/L}$ , $\text{TP} \leq 5 \text{ mg/L}$ ;改造后出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

## 2 存在的问题及分析

### 2.1 设备损坏的影响

氧化沟设备年久老化,损坏率较高,尤其是推流器损坏最严重,严重影响污水厂的正常运行,本次改造均予以拆除。

① 推流器的损坏导致污水流速变慢,悬浮物沉降加快,悬浮物的冲击可能造成推流器磨损、开裂等现象出现。

② 推流器安装位置不合理,设备间距过长,增加流场死区率,同时设备损坏引起的流速变慢,导致污泥厚度不断增加而引起沉淀(单池推流器共4台,中间两个廊道各2台,分别安装于直线端两侧,水平距离65 m,2台并列安装,近入口处2台推流器下游32 m处、水深3 m处流速约为0.1 m/s),排空后,单池沉积污泥约 $4\,500 \text{ m}^3$ ,导致氧化沟水力停留时间由15.6 h缩短为11.3 h,慢慢改变曝气池中微生物生存环境,微生物种类逐渐变少,数量逐渐降低,导致曝气池生化反应非正常进行,脱氮除磷能力不足<sup>[1-3]</sup>。

### 2.2 运行模式的影响

现有Carrousel氧化沟前设置有独立厌氧池,处理规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平均水力停留时间1.6 h,在厌氧池内实现生物除磷。由于无独立的缺氧区,在空间上无明确界限,反硝化细菌没有适合生存的缺氧环境,同步硝化-反硝化的实现主要依赖于曝气转刷的开启台数及其运行状态的控制,操作难度大,部分设备的损坏导致氧气利用效率低。充氧量达不到设计溶解氧值,设备能耗较同类型产品明显偏

高,增加运行费用,影响脱氮除磷效果及运行稳定性<sup>[4-8]</sup>。

## 3 改造方案的论证

### 3.1 实际进、出水水质

目前,该污水厂实际运行执行一级B标准,COD、 $\text{BOD}_5$ 及SS三个指标的一级A达标率均为100%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP偶有超标,TN超标较为严重。该厂2016年1月—2018年5月实际运行水质数据统计分析结果见表1。

表1 实际进水水质

项目	COD	$\text{BOD}_5$	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
进水波动范围	120 ~ 350	60 ~ 120	30 ~ 60	35 ~ 65	25 ~ 50	3 ~ 10
平均值	243	85	42	44.2	35.5	3.9
中值	239	83.9	42	44.4	34.9	3.5
90%累积频率值	312	105	55	54.5	45	4.6

从表1可以看出,平均进水B/C为0.37左右;进水SS浓度很低,平均值仅为42 mg/L,这主要是由于部分污水管道采用大断面管渠致使流速过低而发生悬浮固体沉淀;进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TN平均浓度分别为35.5、44.2 mg/L,进水总体C/N较低,平均 $\text{BOD}_5/\text{TN}$ 仅为1.9左右,不利于系统进行良好的反硝化;同时,设备损坏导致的曝气量不足、水力停留时间缩短等因素,致使原氧化沟无法形成适宜的脱氮除磷环境。

### 3.2 总体改造方案

改造后工艺流程见图1。

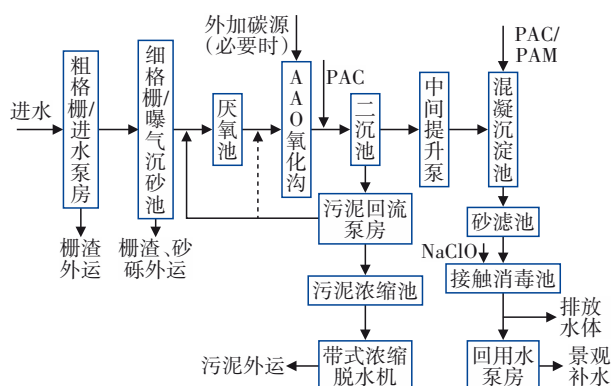


图1 污水处理厂改造后的工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process after reconstruction

由图1可知:

① 该厂现有工程二级生物处理采用预处理+厌氧+氧化沟工艺;

② 三级深度处理采用混凝沉淀+砂滤池+二氧化氯消毒工艺;

③ 本次提标改造工程主要对氧化沟工艺以及三级深度处理进行改造,同时增加碳源投加系统。

#### 4 氧化沟改造及设备选型

在最大程度地保留利用已建构筑物的基础上,对原池进行局部结构调整,形成AAO氧化沟工艺,解决无法形成适宜的脱氮除磷环境的问题。原有搅拌器及转刷曝气机均予以拆除,对设备进行重新选型及安装位置设计优化。

##### 4.1 局部结构的改造

将原Carrousel氧化沟进行结构上的局部调整,结构改造见图2。拆除1处导流墙(①),增加3处隔墙(②、③、④),形成明确的厌氧区、缺氧区和好氧区,空间上明确限定,形成适宜脱氮除磷的微生物环境。

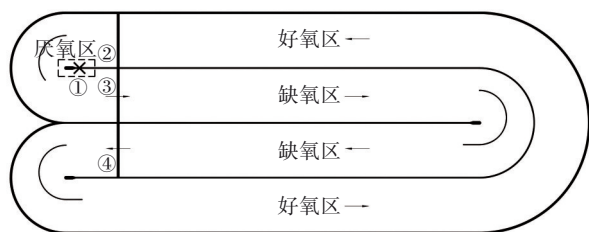
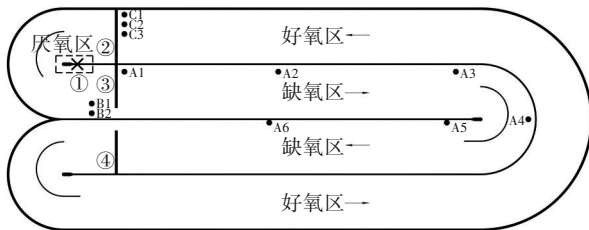


图2 氧化沟结构改造示意

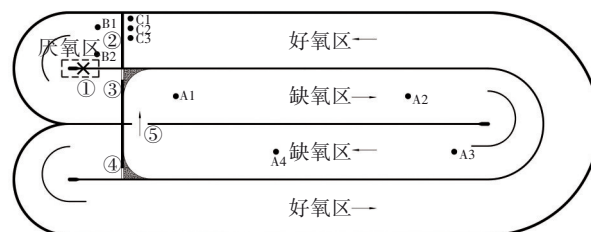
Fig.2 Schematic diagram of oxidation ditch structure transformation

##### 4.2 厌氧区及缺氧区改造

厌氧区及缺氧区两种改造方案的对比示意如图3所示。



①导流墙;②、③、④隔墙;A1、A2、A3、A4、A5、A6缺氧区小叶轮潜水搅拌器;B1、B2厌氧区小叶轮潜水搅拌器  
a. 方案一



①导流墙;②、③、④隔墙;⑤过水孔;A1、A2、A3、A4缺氧区大叶轮潜水搅拌器;B1、B2厌氧区小叶轮潜水搅拌器  
b. 方案二

图3 两种改造方案示意

Fig.3 Schematic diagram of reconstruction schemes

厌氧区及缺氧区改造方案的具体技术内容及经济指标对比见表2。

表2 厌氧区及缺氧区改造方案的比选

Tab.2 Comparison and selection of reconstruction schemes for anaerobic zone and anoxic zone

项目	方案一:改造成AAO工艺	方案二:改造成AAO氧化沟工艺
池体改造	拆除1处导流墙,增加3处隔墙	拆除1处导流墙;增加3处隔墙;增加两处隔墙的二次浇筑导流角;中间隔墙开过水孔形成氧化沟循环沟道;增加两处推流器的走道板
搅拌器	小叶轮潜水搅拌器,厌氧区2台,缺氧区6台	小叶轮潜水搅拌器,厌氧区2台;大叶轮潜水搅拌器,缺氧区4台
有效容积/m <sup>3</sup>	厌氧区:1480,缺氧区:6080	厌氧区:1480,缺氧区(循环氧化沟道):6080
容积功率/(W·m <sup>-3</sup> )	厌氧区:10,缺氧区:7.4	厌氧区:10,缺氧区(循环氧化沟道):2.6
总功率/kW	7.5×8=60	7.5×2+4×4=31
布置位置	厌氧区:厌氧区出水孔前侧;缺氧区:直线段靠墙一侧	厌氧区:厌氧区靠近混合液回流泵一侧;缺氧区:直线段居中布置
流态	均匀性差	均匀性好
设备采购成本	高	低
土建成本	低	较高
运行成本	高	低
电耗/(10 <sup>4</sup> kW·h·a <sup>-1</sup> )	42.05	21.72
电费/(万元·a <sup>-1</sup> )	33.64[电价为0.8元/(kW·h)]	17.38(单池节约16.26)

方案一:在上述结构调整的基础上,形成AAO工艺。厌氧区、缺氧区重新布置搅拌机,搅拌机安

装位置的走道板利旧,土建改造内容极少且便利。

方案二:在上述结构调整的基础上,再于缺氧区中间隔墙一侧增加过水孔,形成循环氧化沟道,改造成AAO氧化沟工艺。厌氧区、缺氧区重新布置搅拌机,两处搅拌机新增安装位置走道板,其余安装位置的走道板利旧,土建改造内容相对方案一有所增加。

从表2可以看出,方案一与方案二相比,从技术方面看,方案二推流器的选型和布置均有明显的优势,大叶轮潜水搅拌机每个廊道单台居中布置,经流场分析能满足沟底最低流速要求,拐弯、贴壁等处死区率极小,水流流态更稳定,中间两个廊道维持原氧化沟工艺快速混合及推流特性,有机物去除更为彻底,剩余污泥更为稳定,氮和磷可得到更好的去除,净化程度更高。从经济方面看,方案二设备采购成本、运行成本、电耗等方面均更低,优势明显,土建改造相对方案一有所增加,中间廊道导流角的增加更利于流场稳定,新增走道板采用钢制走道板,施行起来更为方便快捷。因此,决定采用方案二。

4.3 好氧区改造

好氧区采用微孔管式曝气器进行曝气,为减少土建改造,微孔管式曝气器与原弧形导流墙交叉的位置,采取打孔穿过的形式进行布置,通气量(标准状态) $8 \sim 10 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ ,曝气管单管有效长度2 m,共计312根,材质为聚乙烯。好氧区尾端增加3台内回流潜水泵,2用1备, $Q=2 \ 160 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=9 \text{ kPa}$ , $N=10 \text{ kW}$ 。好氧区尾端最终一根曝气管距内回流潜水泵8 m,可减少回流混合液中溶解氧对厌氧区的影响。混合液回流比为100%~400%。直线布置段曝气支管间距1.8 m,弧形布置段曝气支管间距2.1 m,配套新增空气悬浮单级高速离心式鼓风机3台,2用1备, $Q=140 \text{ m}^3/\text{min}$ , $H=50 \text{ kPa}$ , $P=160 \text{ kW}$ 。曝气管布置见图4。

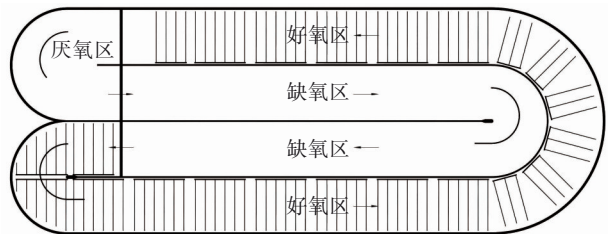


图4 方案二的曝气管布置

Fig.4 Layout of aeration pipe of scheme 2

5 改造后运行效果

2019年7月实施氧化沟改造工程,包括清理淤泥、拆除局部钢筋混凝土结构及原有设备,新增钢筋混凝土隔墙及钢制走道板,新增设备的安装等。改造工程于2020年2月完成,目前处理水量达到设计水量的80%以上,氧化沟出水水质稳定达到一级A排放标准。

改造后的进、出水水质见表3。

表3 改造后进、出水水质

Tab.3 Influent and effluent quality after reconstruction

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	NH <sub>3</sub> -N	TP
进水水质	128 ~ 353	73 ~ 161	21 ~ 57	29.3 ~ 57.2	21.2 ~ 48.8	2.92 ~ 4.77
出水水质	26.3 ~ 37.1	3.8 ~ 8.1	5.2 ~ 8.1	5.1 ~ 9.7	1.9 ~ 4.6 (2.6 ~ 7.5)	0.22 ~ 0.45
排放标准	50	10	10	15	5(8)	0.5

改造前,设备损坏导致的维修及保养,不仅增加了管理人员的作业时间,更增加了费用投入,同时影响出水水质的稳定性,导致运行成本增加。改造后,设备正常投入运行,氧气利用效率高,能耗降低,出水水质稳定性大大提高,在减少运行费用的同时,提高了运行管理效率。

6 经济技术分析

在最大程度地保留利用已建构筑物的基础上进行Carrousel氧化沟提标改造,工程总投资约1 550万元。氧化沟经过改造后,大大降低了生产运行成本。改造前、后电耗比较见表4。

表4 氧化沟改造前、后电耗比较

Tab.4 Comparison of power consumption of oxidation ditch before and after reconstruction

项 目	改造前	改造后
总安装容量/kW	472	451
总工作容量/kW	472	311
日耗电量/(kW·h·d <sup>-1</sup> )	9 063	5 972
年耗电量/(10 <sup>4</sup> kW·h·a <sup>-1</sup> )	331	218
电费/(万元·a <sup>-1</sup> )	265	175

从表4可以看出,改造后氧化沟运行耗电量节约3 091 kW·h/d,比改造前节约113×10<sup>4</sup> kW·h/d,耗电量下降约34.1%,每年节约电费约90万元,具有良好的经济效益。



## 7 结论

① 在最大程度地保留利用已建构筑物的基础上进行 Carrousel 氧化沟提标改造,对原池进行局部结构调整,形成 AAO 氧化沟工艺。

② 改造后,原有搅拌器及转刷曝气机均予以拆除,对设备进行重新选型及安装位置设计优化。中间两个廊道维持原氧化沟工艺快速混合及推流特性,有机物去除更为彻底,剩余污泥更为稳定,氮和磷可得到更好的去除。

③ 氧化沟改造后,耗电量下降约 34.1%,节约电费约 90 万元/a,管理运行更加方便高效,出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

## 参考文献:

- [1] 李亮,邱宏俊. 改良 A<sup>2</sup>/O 氧化沟强化生化处理技术用于污水厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 124-128.
- LI Liang, QIU Hongjun. Application of improved A<sup>2</sup>/O oxidation ditch enhanced biochemical treatment process for upgrading the wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 124-128 (in Chinese).
- [2] 陈贵生,张双. 三峡库区氧化沟脱氮工艺的低成本改造[J]. 净水技术, 2020, 39(9): 29-33, 157.
- CHEN Guisheng, ZHANG Shuang. Low cost reconstruction of denitrification process of oxidation ditch in Three Gorges Reservoir area [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(9): 29-33, 157 (in Chinese).
- [3] 郭庆英,李晶,吴镒,等. 奥贝尔氧化沟工艺提标改造设计技术要点[J]. 中国给水排水, 2018, 34(12): 86-89.
- GUO Qingying, LI Jing, WU Di, et al. Key technologies for design of Orbal oxidation ditch upgrade and reconstruction [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(12): 86-89(in Chinese).
- [4] 许敏,刘梦楠. 改良型氧化沟扩容改造 AAO-MBR 工艺工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2): 48-52.
- XU Min, LIU Mengnan. Design of AAO-MBR process for modified oxidation ditch expansion [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 48-52(in Chinese).
- [5] 赵群英,田敏,李侃. DO 浓度及其空间分布对 Orbal 氧化沟去除污染物效果[J]. 净水技术, 2018, 37(8): 87-89, 94.
- ZHAO Qunying, TIAN Min, LI Kan. Effect of DO concentration and the spatial distribution on pollutants removal by Orbal oxidation ditch [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(8): 87-89, 94(in Chinese).
- [6] 龙秋明,贝德光,蒋以元. 琅东污水厂二期氧化沟推流器的优化改造与运行实践[J]. 山西建筑, 2020, 46(17): 120-122.
- LONG Qiuming, BEI Deguang, JIANG Yiyuan. Koh larn east second phase oxidation ditch sewage factory push flow, the optimization of the transformation and operation practice [J]. Shanxi Architecture, 2020, 46(17): 120-122(in Chinese).
- [7] 肖艳. 南方某氧化沟工艺污水厂的提标改造和扩建设计[J]. 净水技术, 2020, 39(7): 35-40, 138.
- XIAO Yan. Design of upgrading and reconstruction project of oxidation ditch process WWTP in South China [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(7): 35-40, 138(in Chinese).
- [8] 潘振,罗剑云,梁程钧. 改良氧化沟工艺污水处理厂提标改造工程实践[J]. 工业用水与废水, 2020, 51(1): 70-73.
- PAN Zhen, LUO Jianyun, LIANG Chengjun. Upgrading and reconstruction project practice of wastewater treatment plant using modified oxidation ditch process [J]. Industrial Water & Wastewater, 2020, 51(1): 70-73(in Chinese).

作者简介:戴杨叶(1986—),女,江苏昆山人,硕士,工程师,主要从事水处理等设计咨询工作。

E-mail: yangye\_0006@163.com

收稿日期: 2021-03-17

修回日期: 2021-08-06

(编辑:衣春敏)