

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.011

# 五段Bardenpho/生物滤池在氧化沟提标改造中的应用

王胤<sup>1</sup>, 吴嘉利<sup>1</sup>, 姚翔<sup>1</sup>, 卢英荃<sup>2</sup>, 付忠志<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610084; 2. 崇州中法环境服务有限责任公司, 四川 成都 611230)

**摘要:** 成都某城市生活污水处理厂处理规模为 $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,需将污水排放标准由原一级A标准提高至《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)中城镇污水处理厂排放标准(地表水准Ⅳ类水质标准)。通过分析原工艺系统存在的脱氮能力不足、碳源投加量大、氧化沟流速不均、污泥易沉积等问题,提标改造工程将原A<sup>2</sup>/C氧化沟工艺原位改造为五段Bardenpho工艺,并新增高效沉淀池+脱碳生物滤池组合深度处理工艺。改造完成后出水水质优于地表水准Ⅳ类标准,提标改造工程总投资为10 012.24万元,运行成本为0.404元/ $\text{m}^3$ 。

**关键词:** 提标改造; 氧化沟; 五段Bardenpho; 高效沉淀池; 准Ⅳ类排放标准

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0074-05

## Application of Five-stage Bardenpho/Biological Filter in Upgrading and Reconstruction of Oxidation Ditch Process

WANG Yin<sup>1</sup>, WU Jia-li<sup>1</sup>, YAO Xiang<sup>1</sup>, LU Ying-quan<sup>2</sup>, FU Zhong-zhi<sup>1</sup>

(1. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610084, China; 2. Sino French Environmental Service of Chongzhou Co. Ltd., Chengdu 611230, China)

**Abstract:** The treatment scale of a wastewater treatment plant (WWTP) in Chengdu is  $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ , and the discharge standard needs to be upgraded from the first level A standard to *Water Pollutant Discharge Standard for Minjiang River and Tuojiang River Basin in Sichuan Province* (DB 51/2311—2016, quasi-Ⅳ surface water limit). The problems existing in the original process were analyzed, which included insufficient nitrogen removal capacity, large amount of carbon source dosage, uneven flow rate of the oxidation ditch and easy deposition of the sludge. The upgrading project transformed the original A<sup>2</sup>/C oxidation ditch process into a five-stage Bardenpho process *in situ*, and an advanced treatment process consisting of a high efficient sedimentation tank and a decarburization biological filter was newly-built. After the reconstruction, the effluent quality is better than that of the quasi-Ⅳ surface water limit. The total investment of the upgrading and reconstruction project is 10.012 24 million yuan, and the operating cost is 0.404 yuan/ $\text{m}^3$ .

**Key words:** upgrading and reconstruction; oxidation ditch; five-stage Bardenpho; high efficient sedimentation tank; quasi-Ⅳ discharge standard

成都某城市污水处理厂于2005年12月动工建设,一期处理规模为 $2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,于2007年12月建

成投运,主要工艺为氧化沟。2011 年对一期工程进行了一级 A 提标改造,同时扩建二期工程,扩建后总规模达  $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}^{[1]}$ 。2016 年,四川省环境保护厅发布了《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016),明确规定四川省境内岷江、沱江干(支)流流域及其封闭水域的城镇污水处理厂执行最新的污染物排放浓度限值标准,因此,该污水处理厂出水执行的一级 A 排放标准已不能满足生态环境建设的需要,亟需进行提标改造。

1 工程现状

1.1 处理规模

该厂现设计规模为  $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,实际在旱季时污水厂处理规模不足  $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,雨季时满负荷运行。由于目前该污水厂服务范围内正在大力整改雨污合流管道,待污水管网系统完善后,污水厂未来几年内处理量仍低于现有设计规模,因此,本次

污水厂提标升级改造不考虑规模扩建。

1.2 现状工艺

原主体工艺采用  $A^2/C$  氧化沟工艺,其在卡鲁塞尔 2000 型氧化沟基础上增加了前置厌氧区,并省略了混合液回流系统,形成了具有厌氧、缺氧段且无动力内回流的氧化沟工艺。原工艺流程见图 1。

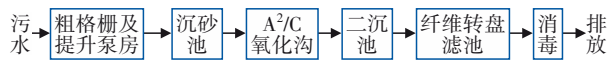


图 1 提标改造前工艺流程

Fig.1 Process flow chart before upgrading

1.3 进、出水水质

该厂进水主要为生活污水,根据前三年的进水水质监测数据,除个别月份有工业废水偷排导致进水水质超标外,实际进水水质长期低于或接近设计进水水质,因此,本次提标改造仍参照现状设计进水水质。设计及实际进、出水水质见表 1,现出水水质可稳定达到一级 A 标准。

表 1 提标改造前设计及实际进、出水水质

Tab.1 Design and actual influent and effluent quality before upgrading

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
一级 A 排放标准 <sup>*</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )	≤50	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5	≤10
岷江、沱江排放标准 <sup>*</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )	≤30	≤6	≤1.5(3)	≤10	≤0.3	≤10
设计进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤250	≤100	≤30	≤35	≤2.0	≤170
实际进水 <sup>**</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )	72 ~ 366(168.7)	36 ~ 187(85)	8 ~ 36(21.4)	15 ~ 45(29.5)	0.9 ~ 1.4(1.1)	59 ~ 117(82)
实际出水 <sup>**</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )	18 ~ 39(29.1)	6 ~ 8(6.9)	0.3 ~ 5(3.2)	3 ~ 15(12.3)	0.1 ~ 0.5(0.3)	5 ~ 10(7.3)
一级 A 标准达标率/%	100	100	100	100	100	100
岷江、沱江标准达标率/%	50	8.4	33.3	17	20	100
污染物平均去除率/%	83	92	82	57	73	91

注: \*括号内数值为水温≤12℃时的控制指标; \*\*括号内数值为平均值。

2 改造设计

2.1 原系统存在的主要问题

① 污染物去除能力不足:由表 1 可知,除 SS 外,其余 COD、BOD<sub>5</sub>、总氮、氨氮、总磷指标均难以稳定达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》,且原氧化沟生物脱氮能力无法进一步提高。

② 曝气设备充氧能力差:原氧化沟工艺采用立式轴式倒伞型表曝机,充氧效率低、效果较差,导致沟内不能达到设计溶解氧值。

③ 氧化沟流速不均及存在污泥沉积:原氧化沟中,转刷只占了水深的 1/12~1/10,转盘也只占了 1/7~1/6,造成氧化沟上部流速较大,而底部流速很小,致使沟底大量积泥,大大减少了氧化沟的有效容积。

④ 碳源投加量大:进水碳源不足且利用不充分,导致反硝化脱氮需投加大量葡萄糖补充碳源。

2.2 设计思路

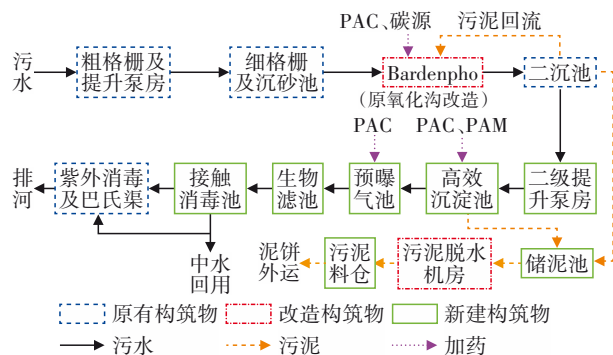
分析该厂实际出水水质发现,原工艺出水除 SS 外,其余指标均难以稳定达地表水准Ⅳ类水质标准,系统的脱氮、脱碳能力有待进一步加强。目前该厂进水 BOD<sub>5</sub>/COD 平均值为 0.4 左右,污水可生化性较好;BOD<sub>5</sub>/TN 约为 2.85,污水中反硝化碳源不足,需额外补充碳源;BOD<sub>5</sub>/TP 约为 50,可以有效进行生物除磷,但是由于本工程要求出水总磷不大于 0.3 mg/L,生物除磷无法完全保证出水达标,需考虑化学辅助除磷。

针对以上分析,考虑将原氧化沟工艺改造为脱氮除磷效果良好的五段 Bardenpho 工艺,以保证总

氮、氨氮稳定去除<sup>[2]</sup>。同时,后续增设“高效沉淀池+脱碳生物滤池”的深度处理工艺,进一步去除COD、BOD<sub>5</sub>、SS,并通过投加除磷药剂,确保出水TP达标。

### 2.3 升级改造工艺流程

提标改造后污水处理工艺流程如图2所示。



### 图2 提标改造后工艺流程

**Fig.2 Process flow chart after upgrading**

### 3 升级改造工艺设计

工程内容包括改造原 A<sup>2</sup>/C 氧化沟为 Bardenpho 工艺,以及新建二级提升泵房、高效沉淀池、预曝气池、脱碳生物滤池和接触消毒池等。

### 3.1 生化系统

原生化系统为2座A<sup>3</sup>/C氧化沟,单座设计处理规模2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,前置厌氧区有效容积1 500 m<sup>3</sup>,水力停留时间1.5 h;氧化沟有效容积16 000 m<sup>3</sup>,水力停留时间16 h,污泥浓度4 000 mg/L,污泥回流比100%。

本次生化池改造整体利用氧化沟池型,尽可能少改动构筑物墙体,以缩短土建改造时间;同时尽可能增大好氧Ⅰ区停留时间,使氨氮、TN尽量在缺氧Ⅰ区和好氧Ⅰ区去除;此外,本次生化池的改造还相应地更改、拆除了16台低速潜水推流器(6台更改,10台拆除),新增好氧区至缺氧区的污泥回流泵(3台,2用1备)及管道,并更改了出水口位置。针对原曝气设备充氧能力差的问题,拆除了原生化池内的4台立式倒伞型表面曝气机,并全部更换为底部管式曝气。氧化沟改造示意如图3所示。

改造后生化池为五段 Bardenpho(AAOAO)工艺,总处理规模及池容不变,维持原状水深 4.0 m,污泥浓度 4 g/L;厌氧区、缺氧Ⅰ区、好氧Ⅰ区、缺氧Ⅱ区、好氧Ⅱ区水力停留时间分别为 1.8、4.2、10.5、2.25、2.5 h,共计 21.25 h;污泥外回流比 100%;污泥内回流由好氧Ⅰ区至缺氧Ⅰ区,回流比

0%~400%,此外,在好氧Ⅱ区至缺氧Ⅰ区隔墙设有回流泵,实际运行根据生化池脱氮效果,增加好氧Ⅱ区至缺氧Ⅰ区的污泥回流。

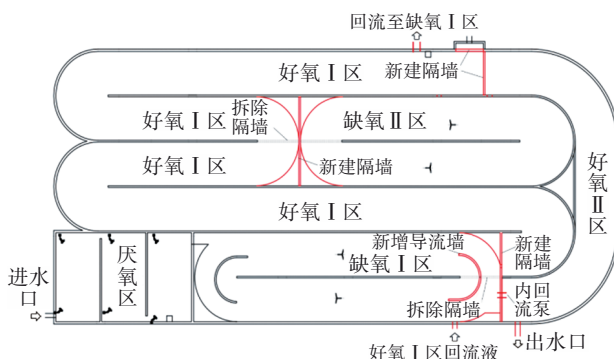


图3 氧化沟改造为五段 Bardenpho 示意

**Fig.3 Schematic diagram of transformation of oxidation ditch into five-stage Bardenpho**

### 3.2 二沉池

二沉池维持原状,采用中心进水周边出水的辐流式沉淀池,总规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,共2座,单座池体直径40 m,表面水力负荷为 $0.93 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,沉淀时间3.7 h,池内设有一台周边传动刮吸泥机。

### 3.3 二级提升泵房

新增二级提升泵房,以降低后续构筑物埋深,满足重力出水要求,将二沉池出水提升至高效沉淀池。提升泵房设置4台潜水混流泵(3用1备),变频调速,单泵 $Q=780\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=60\text{ kPa}$ , $N=22\text{ kW}$ 。

### 3.4 高效沉淀池

新建2座高效沉淀池,设计采用高密度澄清池(含混凝池、絮凝池和沉淀池),总处理流量最大为2 392 m<sup>3</sup>/h,其结构示意如图4所示。

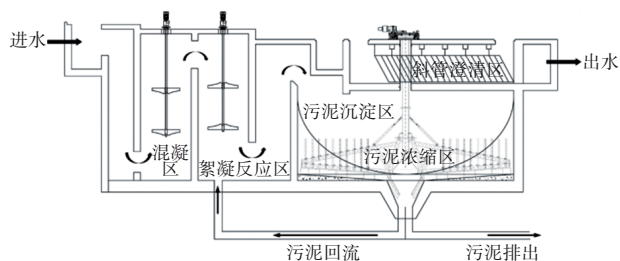


图4 高效沉淀池结构示意

**Fig.4 Schematic diagram of high efficient sedimentation tank**

① 混凝池:1座,分两格,形成串联的两个混合反应区,停留时间约2 min,安装2台机械混凝搅拌机( $N=2.2\text{ kW}$ )。

② 絮凝池:单座尺寸为4.7 m×4.7 m×5.4 m,安装1台变频控制絮凝搅拌器( $N=4\text{ kW}$ ),配套1套絮凝反应桶,池内停留时间约6 min。

③ 污泥沉淀池:池内安装1套长7.5 m、水力直径为50 mm的斜管,斜管面积为 $54\text{ m}^2$ ,斜管区最大水流上升速度为 $22.1\text{ m/h}$ 。1台刮泥机( $N=0.37\text{ kW}$ , $\varnothing 9.4\text{ m}$ ),浓缩污泥浓度为 $10\sim 80\text{ g/L}$ ;3台污泥螺杆泵( $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200\text{ kPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ),2用1备;污泥回流比为 $1\%\sim 4\%$ 。

3.5 预曝气池

新建1座预曝气池对污水进行充氧,并在此投加PAC以使总磷最终达标排放。预曝气池峰值流量 $2\,392\text{ m}^3/\text{h}$ ,单座有效池容 $330\text{ m}^3$ ,停留时间为15 min;配备2台曝气风机(1用1备, $Q=1\,370\text{ m}^3/\text{h}$ , $P=60\text{ kPa}$ )。

3.6 脱碳生物滤池

新建1座脱碳生物滤池及其配套反冲洗设施,以去除剩余的 $\text{BOD}_5$ 、悬浮物和总磷。滤池分4格,峰值流量为 $2\,392\text{ m}^3/\text{h}$ ,单格滤池面积为 $73.4\text{ m}^2$ ;采用球形石英砂生物滤料,有效粒径 $1.7\text{ mm}$ ,滤料高度 $1.5\text{ m}$ ,设计峰值滤速为 $8.2\text{ m/h}$ 。滤池反冲洗系统设施包括反冲洗水池、反冲洗系统、反冲洗废水贮池,反冲洗采用气水联合冲洗,一般反冲洗频率为 $24\text{ h}$ ,实际冲洗频率取决于堵塞的频率,反冲洗时

最大滤速为 $8.5\text{ m/h}$ ,冲洗周期持续约 $20\text{ min}$ 。配套安装3台反洗风机(2用1备, $Q=2\,020\text{ m}^3/\text{h}$ , $P=40\text{ kPa}$ ),2台无油螺杆式空压机(1用1备),3台反冲洗水泵(2用1备)和3台反冲洗风机(2用1备)。

3.7 接触消毒池

新建接触消毒池,设计规模为 $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,尺寸为 $31.9\text{ m}\times 11.6\text{ m}\times 6.6\text{ m}$ ,有效水深为 $4.85\text{ m}$ ,分为2格。

3.8 浓缩脱水机房

改造现有浓缩脱水机房,并新建储泥池及污泥料仓。储泥池收集来自二沉池、高效沉淀池的剩余污泥,经浓缩脱水后由出泥螺杆泵提升至污泥料仓,使进泥含水率为 $99.2\%$ 的污泥浓缩脱水至含水率为 $75\%\sim 80\%$ 左右后装车外运,干污泥产量为 $8.0\text{ t/d}$ 。由于原带式浓缩脱水机已到使用寿命,此次工程更换2台带式污泥浓缩机( $Q=25\text{ m}^3/\text{h}$ , $N=1.5\text{ kW}/380\text{ V}$ ,带宽 $1.5\text{ m}$ ,脱水长度 $2.5\text{ m}$ )、2台带式污泥脱水机( $Q=6\sim 12\text{ m}^3/\text{h}$ , $N=1.5\text{ kW}/380\text{ V}$ ,带宽 $1.5\text{ m}$ )以及2台进料污泥输送泵,并新增1台带式输送机 and 1台泥饼泵。

4 运行效果

提标改造工程于2019年10月开始施工,2020年11月实现全面通水,提标改造后,实际处理污水量为 $(2.4\sim 3.5)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,实际进、出水水质见表2。

表2 提标改造后实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality after upgrading

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
现状实际进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	102~270(173.9)	50~100(61.8)	16~30(24)	20~37(27.3)	1.0~3.6(2.3)	26~94(54.6)
生化池进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	87.4~240.7 (168.7)	43.7~86.4 (59.9)	18.3~28.5 (22.9)	20.0~29.4 (27.2)	1.4~2.5 (2.1)	24.7~87.4 (53.1)
高效沉淀池进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	16.7~36.4(22.3)	5.2~11.2(7.1)	0.09~2.3(0.9)	3.3~8.1(7.4)	0.1~0.9(0.4)	10~17(13.7)
高效沉淀池出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	14.2~29.8(20.3)	5.1~10.5(7.1)	0.09~2.2(0.9)	3.3~7.2(6.9)	0.06~0.3(0.1)	8~13(7.4)
生物滤池出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	10~18(12.6)	2~5.5(3.2)	0.05~2.3(0.5)	3.0~7.9(6.2)	0.06~0.2(0.1)	4~4.5(4.3)
岷江、沱江标准达标率/%	100	100	100	100	100	100
污染物平均去除率/%	91	94	98	77	97	91
生化段去除污染物占比/%	89.7	90.0	93.4	93.8	79.0	79.2
深度处理段去除污染物占比/%	7.3	6.7	1.8	5.9	13.6	17.8

注: 括号内数值为平均值。

由表2可知,提标改造后,除TN外,其他水质指标去除率均高于90%,且TN、TP去除率分别由改造前的57%、73%提升至77%、97%,系统脱氮除磷能力得到显著提升,出水水质稳定优于设计标准。

经进一步分析,原氧化沟改造为五段Bardenpho后,生化段TN和TP去除率可分别占工艺总污染物去除量的93.8%和79.0%,二级处理出水TN可稳定小于 $10\text{ mg/L}$ ,后续深度处理无需再外加碳源脱



氮,从而节省了碳源投加量,二级处理效果比改造前大大提高。新增深度处理段可进一步去除COD(7.3%)、TN(5.9%)、TP(13.6%)和SS(17.8%),保障出水水质稳定达标。

## 5 技术经济分析

污水处理厂提标改造工程总投资为10 012.24万元,全部工程吨水投资为2 503.06元/m<sup>3</sup>。工程运行成本为0.404元/m<sup>3</sup>,具体见表3。

表3 提标改造后污水处理成本  
Tab.3 Wastewater treatment cost after upgrading and reconstruction

项目	吨水用量/产量	单价	吨水成本/(元·m <sup>-3</sup> )
PAC	0.04 kg/m <sup>3</sup>	2.4 元/kg	0.11
阴离子PAM	0.013 kg/m <sup>3</sup>	8 元/kg	0.003 2
阳离子PAM		11 元/kg	0.005 0
乙酸钠	0.07 kg/m <sup>3</sup>	3.5 元/kg	0.053
PFS	0.01 kg/m <sup>3</sup>	2.2 元/kg	0.017
电	0.29 kW·h/m <sup>3</sup>	0.62 元/(kW·h)	0.18
污泥	0.67 kg/m <sup>3</sup>	0.054 元/kg	0.036
合计			0.404

## 6 结论

① 成都某污水处理厂提标改造工程充分利用原氧化沟结构,在满足各反应区池容的条件下,原位较少地改动氧化沟构筑物墙体即完成构筑物改造,可大大缩短生化工艺改造的土建施工时间。

② 生化池由原氧化沟工艺改造为五段Bardenpho工艺后,实际运行结果表明,生化处理段

对COD、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、SS均有较好的去除效果,尤其是脱氮除磷效果明显提高,对本次提标改造工程整体水质提升达标发挥了重要作用。

③ 新增高效沉淀池、脱碳生物滤池进一步削减了COD、TN、TP和SS,保障了出水水质稳定达标,实际出水水质长期优于地表水Ⅳ类标准。

## 参考文献:

- [1] 杨开明, 杨小林, 王华, 等. A<sup>2</sup>/C氧化沟工艺升级改造工程设计及运行[J]. 中国给水排水, 2012, 28(18):51-53.  
YANG Kaiming, YANG Xiaolin, WANG Hua, et al. Design and operation of upgrading and retrofitting project of A<sup>2</sup>/C oxidation ditch process [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(18):51-53(in Chinese).
- [2] 杨平, 周家中, 管勇杰, 等. 基于MBBR的AAO和Bardenpho工艺改造效果对比[J]. 中国给水排水, 2021, 37(7):11-19.  
YANG Ping, ZHOU Jiazhong, GUAN Yongjie, et al. Comparison of AAO and Bardenpho processes transformation effect based on MBBR [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(7):11-19 (in Chinese).

作者简介:王胤(1980-),男,四川成都人,硕士,高级工程师,从事市政给排水工程设计与关键技术研究,曾获《给水排水》2019年“水业杰出青年”称号。

E-mail:76707103@qq.com

收稿日期:2021-12-15

修回日期:2022-01-10

(编辑:孔红春)

大力推进水利薄弱环节建设,  
提高防灾减灾能力