

MBBR 氧化沟/超滤/O₃工艺用于工业区污水厂提标改造

陈金灿, 陈永军, 张权沛

(珠海市城市排水有限公司, 广东 珠海 519000)

摘要: 某工业园区污水处理厂处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原采用 A/O 微孔曝气氧化沟工艺, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 二级排放标准及广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001) 二时段二级标准的较严值。根据相关要求, 需要对该厂进行提标改造。提标改造后, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 排放标准及广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001) 二时段一级标准的较严值。针对进水中工业废水占 90% 以上、可生化性差、难生物降解有机物含量高、水质波动大等特点, 在原有二级处理工艺基础上进行提标改造, 采用了“MBBR 氧化沟 + 混凝沉淀 + 超滤 + 臭氧催化氧化(辅以活性炭吸附)”工艺。提标改造投产前、后的实际生产数据对比表明, 该工艺处理效果理想, 实现了稳定达标运行。

关键词: 工业废水处理; 提标改造; MBBR 氧化沟

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0069-05

Application of Combined Process of MBBR Oxidation Ditch, Ultrafiltration and Ozone for Upgrading and Reconstruction of WWTP in an Industrial Park

CHEN Jin-can, CHEN Yong-jun, ZHANG Quan-pei

(Zhuhai Urban Drainage Co. Ltd., Zhuhai 519000, China)

Abstract: A wastewater treatment plant in an industrial park ($5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) used micro-porous aeration oxidation ditch process of A/O style. The effluent discharge standard was the stricter value of the second-level discharge standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) and the second-level standard of the second period of the Guangdong Province local standard *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26 - 2001). According to the relevant requirements, the plant needed to be upgraded. After upgrading, the effluent discharge could meet the stricter standard of the first-level A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) and the first-class standard of the second period of the Guangdong Province local standard *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26 - 2001). According to the characteristics of poor biodegradability, high content of refractory biodegradable organic substances and high fluctuation of water quality, the upgrading process was reformed on the basis of the original secondary treatment process, and the process of MBBR oxidation ditch + coagulation precipitation + ultrafiltration + ozone catalytic oxidation (supplemented by activated carbon adsorption) was adopted. By comparing the operation data before and after the upgrading, it was shown that the process could achieve stable and up-to-standard operation with satisfactory results.

Key words: industrial wastewater treatment; upgrading and reconstruction; MBBR oxidation

ditch

某工业园区污水处理厂,主要服务范围为所在工业园内居民生活区、精细化工区、海洋装备制造区、石油化工区,设计处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。进厂污水中,工业废水占 90% 以上,且进水可生化性极差、水质复杂多变、部分指标超标严重,原处理工艺无法保障出水水质稳定达标。

随着工业园区不断发展以及对环境要求的逐步提高,该污水处理厂不仅亟需解决如此复杂的现状问题,也面临着提标改造的严峻任务。根据相关要求,该污水处理厂于 2015 年 11 月完成了提标改造。结合该污水厂实际进水水质和工业园区发展情况,确定了设计进水水质,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 排放标准及广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)二时段一级标准的较严值,具体进、出水水质见表 1。

表 1 提标改造后设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality after upgrading
mg · L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	350	160	200	25	35	4.5
出水	40	10	10	5	15	0.5

1 提标改造前概况

1.1 运行情况

该厂原采用 A/O 微孔曝气氧化沟工艺,工艺流程为“污水→粗格栅及提升泵房→细格栅及旋流沉砂池→A/O 微孔曝气氧化沟→沉淀池→紫外线消毒间→排放”。出水排放标准执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)二级排放标准及广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)二时段二级标准的较严值。

1.2 存在问题

① 各水质指标均无法稳定达到提标后的水质标准,尤其是 COD 和氮的处理难度较大:原处理工艺中,进水难生物降解或不可生物降解 COD 比例较高,出水 COD 不稳定;进水氨氮波动较大,出水氨氮、TN 不稳定。

② 进水不利于生化处理:水质波动较大,成分复杂,可能存在有毒有害物质,有机物和氨氮冲击负荷大;可生化性极差,碳源不足,进水 BOD₅ 普遍低

于 30 mg/L, B/C 值小于 0.3, 极端 B/C 值低于 0.1; 管网存在海水倒灌的问题,氯离子浓度偏高(271 ~ 4 191 mg/L),对活性污泥生长繁殖抑制较大。

③ 氧化沟活性污泥浓度偏低、活性极差:因进水水质原因,氧化沟活性污泥 MLVSS 浓度约为 1 000 mg/L, SVI 约为 30 mL/g, 污泥活性极差。

④ 氧化沟存在死水区,有效池容利用不足:氧化沟转角导流墙设计和推流器布置不合理,导致转角区域存在死水区。

2 提标改造方案

2.1 工艺流程

本提标改造工程关注的重点应为 COD 和 TN 的去除,改造总体思路如下:

① 强化降解 COD:在优化氧化沟生物处理的基础上,通过增加混凝沉淀、膜过滤、臭氧催化氧化及活性炭吸附等工艺去除难降解 COD。

② 强化生物脱氮:生物脱氮是目前最为经济可行的工艺路线^[1]。为此必须保证生物系统一定的污泥量,因此在氧化沟增加 MBBR 工艺(流动床生物膜反应器)维持合理的污泥浓度、增强硝化效果,并增设污泥内回流泵增强反硝化。为保障良好的反硝化效果,增加碳源投加设施。

③ 控制进水水质:工业园区内企业废水排放需逐步严格执行相关排放标准。

根据上述改造思路,确定改造后的生产工艺为“MBBR 氧化沟 + 混凝沉淀 + 超滤 + 臭氧催化氧化(辅以活性炭吸附)”,工艺流程如图 1 所示。

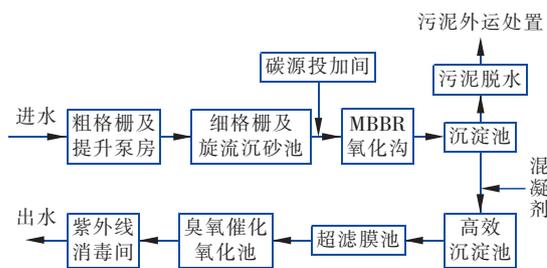


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

2.2 方案及参数

① 氧化沟(改造)

原氧化沟为 A/O 工艺,总停留时间为 15.1 h,池容满足生物脱氮除磷要求,但由于进水有机物浓

度偏低、可生化性较差,为此在氧化沟中增加 MBBR 工艺,在氧化沟内投加悬浮填料:好氧段停留时间为 9.8 h,将其分为两部分,其中一部分投加悬浮填料 3 400 m³,填料投加比为 35%。

原氧化沟内采用回流门控制内回流,回流效果不理想,增加混合液内回流泵强化反硝化效果,每组池子分别设置 2 台穿墙泵,单泵 $Q = 213 \text{ L/s}$,混合液内回流比可达 150%。为改善氧化沟水力条件,在原转角处进行导流墙改造,拆除导流墙共 24 处,新建 12 处导流墙。同时,增加 8 台推流器,单机功率为 3.1 kW。

② 集配水井及污泥回流泵房(改造)

原集配水井土建规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设备规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,配备 2 台回流污泥泵(1 用 1 备),单泵流量为 $1 100 \text{ m}^3/\text{h}$,回流比为 53%,偏小。本工程增设 2 台污泥回流泵,单泵流量为 $1 100 \text{ m}^3/\text{h}$,加上已有 2 台回流泵,2 用 2 备,均回流至氧化沟内,提高污泥回流比最大至 100%,以提高氧化沟的抗冲击负荷能力。

③ 二次提升泵房(新建)

沉淀池出水经二次提升泵房提升后接入高效沉淀池。二级提升采用潜水离心泵。设计规模: $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总变化系数 $K_z = 1.38$ 。配备 4 台潜水离心泵(3 用 1 备),单泵 $Q = 1 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $P = 28 \text{ kW}$ 。

④ 高效沉淀池(新建)

沉淀池出水经二次提升泵房提升后接入高效沉淀池,进一步去除悬浮物、BOD₅、COD、重金属、乳化油等其他工业废水污染物和化学除磷。设计规模为

$5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总变化系数 $K_z = 1.38$,并考虑膜过滤车间 20%(膜反洗排水和溢流水)的回流量。高峰时表面负荷为 $12.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,平均时表面负荷为 $9.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,有效水深为 6.25 m。混凝剂 PAC 投加量为 40 mg/L,絮凝剂 PAM 投加量为 0.1 mg/L。并辅以粉末活性炭投加,水质异常时去除生物无法降解的溶解性有机物和痕量重金属,投加量为 125 kg/h,最大粉末活性炭投加量为 60 mg/L。

⑤ 膜过滤车间(新建)

该单元是本次提标改造的核心处理单元。超滤膜系统采用浸没式聚偏氟乙烯(PVDF)帘式中空纤维膜,设计产水能力为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总变化系数 $K_z = 1.38$,膜平均孔径为 0.02 ~ 0.04 μm ,名义通量为 $31.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,跨膜压差(TMP):0 ~ 35 kPa。分为 8 个膜单元、每个膜单元 4 个膜组器,共计 32 个膜组器,总膜面积为 67 200 m²。

⑥ 臭氧催化氧化接触池(新建)

该单元用于降解剩余的难降解有机污染物,具备消毒、氧化、脱色等多种功能。设计规模: $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总变化系数 $K_z = 1.38$,6 座反应池,单池水力停留时间为 1 h,单池催化剂接触时间为 0.5 h,正常滤速为 5.13 m/h,强制滤速为 6.16 m/h。采用周期性气水冲洗方式,冲洗周期为 1 次/15 d,冲洗程序:气冲 → 气水冲 → 水冲,冲洗强度:气冲 15 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水冲 12 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

3 运行效果及分析

提标改造投产前、后七年多来处理系统对各水质指标的处理情况和运行效果见表 2。

表 2 提标改造前、后对各水质指标的去除效果

Tab. 2 Removal effect of water quality indexes before and after upgrading

mg · L⁻¹

项 目	COD		SS		TN		氨氮		TP		
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	
提标改造前	2012 年	130	72.7	82	18	32.7	19.5	26.4	4.06	1.31	0.83
	2013 年	138	47.2	87	9	16.2	10.1	11.7	2.82	0.58	0.20
	2014 年	165	43.9	108	10	10.2	4.5	5.3	0.88	3.92	1.73
	2015 年 1 月—10 月	129	46.3	93	12	15.3	9.0	5.8	0.48	5.93	1.56
提标改造后	2015 年 11 月—12 月	175	33.9	93	2	14.7	4.5	9.1	0.52	3.35	0.42
	2016 年	183	25.0	129	2	8.8	2.6	3.4	0.42	4.62	0.33
	2017 年	104	24.9	51	1	10.0	3.0	2.0	0.26	1.04	0.06
	2018 年	152	26.8	111	2	15.2	5.1	3.8	0.48	1.63	0.14
	2019 年	121	25.3	61	2	14.8	5.1	4.7	0.52	1.85	0.15
提标改造前平均值		143	47.3	96	11	16.8	9.2	10.3	2.29	3.24	1.12
提标改造后平均值		145	26.0	93	2	11.8	3.8	3.5	0.41	2.42	0.19

3.1 对 COD 的去除效果

由表2可见,改造前进水 COD 平均值为 143 mg/L,出水 COD 平均值为 47.3 mg/L,平均去除率为 66.1%;改造后进水 COD 平均值为 145 mg/L,出水 COD 平均值为 26.0 mg/L,平均去除率为 80.4%,出水 COD 稳定达标。

改造前,由于进水水质复杂、可生化性差,系统微生物活性较差,且无法去除难生物降解的有机物,对 COD 的处理无法稳定达标,且出水水质波动较大;改造后,通过投加碳源(乙酸)提高了水质可生化性,改造导流墙改善了水力条件,氧化沟的污泥浓度由 1 500 mg/L 提高到了 3 500 mg/L;通过 MBBR 工艺形成了复合式生化系统,在悬浮活性污泥与悬浮填料表面的生物膜的共同作用下,大大提高了系统的抗冲击负荷能力;后续又经过高效沉淀池的混凝沉淀(辅以活性炭吸附)、超滤膜系统的过滤、臭氧催化氧化池的臭氧和羟基自由基($\cdot\text{OH}$)的强氧化能力将水中残留的难降解有机物进一步氧化分解^[2],使得出水 COD 稳定达标。

3.2 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果

由表2可见,改造前进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 平均值为 10.3 mg/L,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 平均值为 2.29 mg/L,平均去除率为 83.8%;改造后进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 平均值为 3.5 mg/L,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 平均值为 0.41 mg/L,平均去除率为 86.7%,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 稳定达标。

改造前,系统对氨氮的去除效果并不稳定,当发生进水氨氮冲击时,出水氨氮浓度会随之提高,系统抗冲击能力较差。改造后,进水氨氮较改造前降低了 6.8 mg/L,水质波动也大幅减小,但去除率却比改造前提高了。除了通过加大碳源投加量改善活性污泥生物活性外,还通过在好氧池投加悬浮填料,保证污泥龄较长的硝化细菌可以较好地保留在填料上,进而强化了硝化性能^[3],使得系统的抗冲击能力提升,处理效果提升。

3.3 对 TN 的去除效果

由表2可见,改造前进水 TN 平均值为 16.8 mg/L,出水 TN 平均值为 9.2 mg/L,平均去除率为 43.8%;改造后进水 TN 平均值为 11.8 mg/L,出水 TN 平均值为 3.8 mg/L,平均去除率为 68.0%,出水 TN 稳定达标。

改造前,由于进水可生化性较差,进水 BOD_5/TN 平均值仅为 2.67,碳源不足是脱氮效率偏低的

重要原因;另外,原氧化沟内采用缺氧区到好氧区的回流门控制内回流,回流效果不理想,导致好氧区的硝酸盐氮无法回流到缺氧区进行反硝化。改造后,通过投加 80 mg/L 的乙酸,为反硝化提供了充足的碳源;在氧化沟缺氧区到好氧区增加了混合液内回流泵,将好氧区的硝酸盐氮回流到缺氧区进行反硝化;另外,MBBR 工艺提升硝化效率也促进了反硝化效果,强化了脱氮效果。

3.4 对 TP 的去除效果

由表2可见,改造前进水 TP 平均值为 3.24 mg/L,出水 TP 平均值为 1.12 mg/L,平均去除率为 61.2%;改造后进水 TP 平均值为 2.42 mg/L,出水 TP 平均值为 0.19 mg/L,平均去除率为 90.8%,出水 TP 稳定达标。

改造前,主要依赖生物除磷,进水 BOD_5/TP 平均值仅为 13.8,碳源依然偏低;活性污泥有机成分偏低,容易沉降,同时原氧化沟部分导流墙设计不合理,存在水力死角,导致大量活性污泥沉降到氧化沟池底,污泥脱水量严重偏低,因此生物聚磷后吸附在污泥中无法及时排出系统,除磷效率很不理想。改造后,一方面通过投加乙酸为生物除磷提供了足够的碳源,改善了污泥活性,另一方面对原氧化沟转角处导流墙进行了改造,增加了 8 台推流器,水力条件大幅改善,活性污泥流动均匀,污泥沉降问题得到了解决;同时,由于悬浮填料可以富集并固定泥龄较长的硝化细菌,通过 MBBR 的泥龄分置功能保证了系统以短泥龄运行,通过强化排泥保证除磷效果^[4];除了强化生物除磷,考虑到进水 TP 波动较大,利用高效沉淀池投加硫酸铝和 PAM 对生物除磷无法去除的磷酸盐进行化学除磷,充分保障了出水 TP 稳定达标。

3.5 对 SS 的去除效果

由表2可见,改造前进水 SS 平均值为 96 mg/L,出水 SS 平均值为 11 mg/L,平均去除率为 88.1%;改造后进水 SS 平均值为 93 mg/L,出水 SS 平均值为 2 mg/L,平均去除率为 97.5%,出水 SS 稳定达标。

改造前,由于系统进水可生化性差,污泥活性偏低,絮凝沉淀效果较差,虽然投加了 PAC/PAM 辅助混凝,出水 SS 仍然偏高。改造后,通过上述改造措施,强化了生化系统;新建了高效沉淀池,进一步强化了混凝沉淀;新建了超滤膜池,膜平均孔径为

0.02 ~ 0.04 μm,可拦截生物处理和混凝沉淀未能沉降的颗粒、胶体、大分子有机物等物质,充分地保障了出水 SS 的稳定达标^[5]。

4 经济效益分析

该厂提标改造工程总投资为 1.33 亿元。提标改造前单位电耗为 0.20 kW·h/m³,提标改造后单位电耗为 0.35 kW·h/m³;提标改造前药费为 0.02 元/m³,提标改造后药费为 0.67 元/m³。

5 结论

该提标改造工程针对工业园区进厂水可生化性差、难生物降解有机物含量高、水质波动大等特点,在原有二级处理工艺基础上进行改造,采用了“MBBR 氧化沟 + 混凝沉淀 + 超滤 + 臭氧催化氧化(辅以活性炭吸附)”工艺。该工艺首先采用 MBBR 技术对氧化沟进行改造,强化生物降解有机物和脱氮除磷的能力,然后通过“混凝沉淀 + 超滤”单元进一步去除水中有机物和悬浮物,最后采用臭氧催化氧化工艺彻底去除难降解有机物。提标改造投产后三年多来,该工艺实现了稳定达标运行,效果理想,对类似工业园区污水处理厂的工艺选型具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王耀龙,魏云霞,李晓丽,等. 废水脱氮技术研究进展[J]. 环境工程,2010,28(增刊):119-123,38.
Wang Yaolong, Wei Yunxia, Li Xiaoli, *et al.* Research on nitrogen removal technique of wastewater [J]. Environmental Engineering, 2010, 28(S): 119-123, 38 (in Chinese).
- [2] 陈金灿,周赞民. MBBR-超滤-催化氧化组合工艺处理工业废水的中试研究[J]. 广东化工,2018,45(6):170-172.
Chen Jincan, Zhou Zanmin. Pilot study on the treatment of industrial wastewater by MBBR-ultrafiltration catalytic oxidation process [J]. Guangdong Chemical Industry, 2018, 45(6): 170-172 (in Chinese).

- [3] 吴迪,周家中,郑志佳,等. MBBR 用于山西某污水厂提标改造效果分析[J]. 中国给水排水,2018,34(15):6-11.
Wu Di, Zhou Jiazhong, Zheng Zhijia, *et al.* Application of MBBR process to upgrading and reconstruction of WWTP in Shanxi Province [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(15): 6-11 (in Chinese).
- [4] 韩萍,许斌,宋美芹,等. 团岛污水厂 MBBR 工艺的升级改造及运行效果[J]. 中国给水排水,2014,30(12):110-114.
Han Ping, Xu Bin, Song Meiqin, *et al.* Design features and operational effect of Tuandao WWTP upgrading by MBBR in Qingdao [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(12): 110-114 (in Chinese).
- [5] 罗明汉,陈求稳,侯国华. 超滤膜联合高级氧化技术深度处理综合工业污水的研究[J]. 环境工程,2015,33(2):32-37.
Luo Minghan, Chen Qiwen, Hou Guohua. Study on deep treatment of mixed industrial wastewater by ultra-filtration combined with advanced oxidation processes [J]. Environmental Engineering, 2015, 33(2): 32-37 (in Chinese).



作者简介:陈金灿(1985-),男,河南郑州人,硕士,环保工程师,副厂长,从事污水处理技术研究和生产运营管理工作。

E-mail:jincan8-520@163.com

收稿日期:2019-07-19