

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.24.018

A^2/O - MBBR 工艺用于沈水湾污水处理厂提标改造

吴琼¹, 郭庆辉¹, 张宏伟¹, 王雄¹, 蒋奇¹, 谭伟²

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 2. 中国中铁上海工程局集团有限公司, 上海 200000)

摘要: 沈阳市沈水湾污水处理厂工程规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 占地面积为 6.58 hm^2 , 原采用 FLOOED 工艺技术, 出水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 中的二级标准, 尾水直接排入浑河。为降低对受纳水体的污染, 使出水标准提高至《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 标准, 对污水处理厂进行了升级改造。升级改造采用厌氧 + 缺氧 + 好氧区投加填料的污水处理主体工艺 (A^2/O - MBBR 工艺), 新建厌氧、缺氧池, 将现状生化池改造为好氧 MBBR 池, 并改造了鼓风机房及曝气系统等。提标改造后出水各项指标稳定达到设计标准, 单位经营成本仅 $0.373 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

关键词: 污水处理厂; 提标改造; A^2/O - MBBR 工艺

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)24-0099-05

Application of A^2/O - MBBR Process in Upgrading and Reconstruction of Shenshuiwan Wastewater Treatment Plant

WU Qiong¹, GUO Qing-hui¹, ZHANG Hong-wei¹, WANG Xiong¹, JIANG Qi¹, TAN Wei²

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China; 2. Shanghai Civil Engineering Co. Ltd. of CREC, Shanghai 200000, China)

Abstract: The project scale of Shenshuiwan wastewater treatment plant in Shenyang City is $200\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. It covered an area of 6.58 hm^2 , and originally adopted FLOOED technology. The current effluent was subject to the secondary standard of *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 - 1996). The terminal water discharged directly into Hunhe River. In order to reduce the pollution to the receiving water and raise the effluent standard to the first class A standard of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002), the wastewater treatment plant was upgraded. The upgrading project adopted anaerobic zone + anoxic zone + aerobic zone with filler (A^2/O - MBBR process), built new anaerobic and anoxic tank, transformed the present biochemical tank into aerobic MBBR tank, and transformed the blower room and aeration system, etc. After upgrading and reconstruction, the effluent indicators stably met the design standard, the operating cost was only $0.373 \text{ yuan}/\text{m}^3$.

Key words: wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; A^2/O - MBBR process

沈阳市沈水湾污水处理厂建于 2003 年, 设计处理规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 主体处理工艺采用浮动填

料生物膜法,厂内共2条处理线,1#处理线采用芬兰FLOOED工艺,处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;2#处理线在消化吸收国外技术基础上,实现了国产化,处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的二级标准。污水处理厂尾水直接排入浑河,为将污染降到最低程度,根据环保部门要求及相关地方标准规定,出水标准应达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准,为此对污水厂进行提标改造。

1 工程规模及进出水水质

1.1 工程规模

沈水湾污水处理厂占地面积为 6.58 hm^2 ,由于厂区构筑物间布置紧凑,且原处理工艺已为节省占地工艺,因此提标改造维持规模 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数取1.05。

1.2 进、出水水质

根据2012年—2015年实际进水水质,沈水湾污水处理厂进水水质各项指标浓度整体走向平稳且略有下降的趋势。考虑当前处理工艺属于高效型,池容小,抗冲击负荷能力差,所有进水水质指标保证率取90%。由于沈水湾污水处理厂另接收垃圾渗滤液 $500 \text{ m}^3/\text{d}$,结合垃圾渗滤液实际水质数据资料,采用加权平均的方法计算,并参考水质总体变化趋势等确定最终设计进水水质。

根据《关于沈阳市北部污水处理厂等11座城镇污水处理厂限期完成提标升级改造工作的通知》(沈环保[2012]74号)及辽宁省地方标准《污水综合排放标准》(DB 21/1627—2008)中相关规定,污水处理厂出水应执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级A标准。

综合考虑后,具体设计进、出水水质指标如表1所示。

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 ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	300	105	140	28	35	4
出水	50	10	10	5	15	0.5

2 水质分析及主体工艺选择

2.1 水质分析

① 污水中 $\text{BOD}_5/\text{COD} = 0.35$,属于易生物降

解污水; $\text{BOD}_5/\text{TN} = 3$,为保证出水TN稳定达标,需辅助外加碳源的措施; $\text{BOD}_5/\text{TP} = 26.3$,适宜生物除磷。

② 当前 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TN去除率低,说明现有好氧池中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的硝化过程不充分;工艺中无缺氧区,缺少反硝化过程。目前去除的氮主要是通过排放剩余污泥去除的,并非通过硝化-反硝化过程去除。

③ 当前出水不能达到 $\text{TP} \leq 0.5 \text{ mg/L}$,需强化TP的去除,应以经济有效的生物除磷为主,并增加化学除磷。

2.2 主体工艺选择

根据沈水湾污水厂现状情况、周边及厂区内可用地情况、处理规模、设计进出水水质、投资成本和操作管理难度等,只能在现状厂区内内部提标改造,且厂内无预留发展用地。因此选择占地面积小、兼顾利用现状生化池的污水处理工艺成为本项目的重点。

经方案比选,参考相关工程实例^[1-4],本工程选择占地较省、运行稳定可靠的 $\text{A}^2/\text{O}-\text{MBBR}$ 工艺,在生化池内投加填料,选择更大比表面积的填料及填充率,可以实现对现状生化池的立体扩容。同时需要新建厌氧池和缺氧池。

MBBR工艺是一种生物膜与活性污泥的复合工艺,具有生物量较大、污泥龄长、容积负荷高、池容小、占地省、抗冲击负荷能力强、出水水质好和运行稳定的特点,且在低温季节,生物膜法的脱氮效果比活性污泥法要好,在北方较适合^[5]。 $\text{A}^2/\text{O}-\text{MBBR}$ 工艺流程见图1。

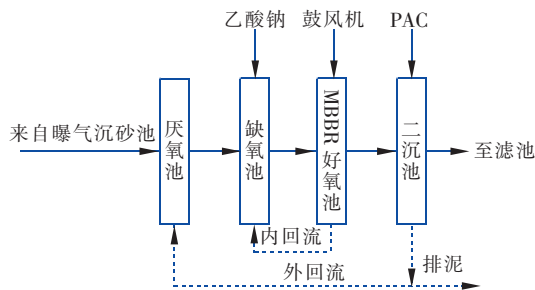


图1 $\text{A}^2/\text{O}-\text{MBBR}$ 工艺流程

Fig.1 Flow chart of $\text{A}^2/\text{O}-\text{MBBR}$ process

3 生化池改造方案

沈水湾污水处理厂现状生化池分2条处理线,每条处理线分2个廊道,单廊道尺寸为 $11.75 \text{ m} \times$

133.2 m(4 段)×7.3 m(有效水深)。生化池总有效容积为 43 760 m³。其中 1#处理线为引进芬兰的 FLOOBED 工艺,填料的填充率为池容积的 30%,投加了 6 300 m³ 填料。2#处理线是在消化吸收国外技术基础上,实现了国产化,仅在前两格投加了 200 m³ 的填料,其比表面积为 380 m²/m³。目前生化池运行状况可满足二级出水标准。现状生化池平面布置见图 2。



图 2 现状生化池平面布置

Fig. 2 Current plane layout of biochemical tank

升级改造工程采用厌氧+缺氧+好氧区投加填料的污水处理主体工艺(A²/O-MBBR 工艺),新建厌氧、缺氧池,并将现状生化池改造为好氧 MBBR 池,而且改造了鼓风机房及曝气系统等。

3.1 新建厌氧、缺氧池

拆除厂区生化池西侧综合楼、换热站、维修车间等建筑物,新建厌氧、缺氧池。新建厌氧池平面尺寸为 48.1 m×25.0 m,有效容积为 8 755 m³,停留时间为 1.0 h。新建缺氧池平面尺寸为 59.8 m×75.2 m,有效水深为 8.1~8.2 m,将现状生化池首段改造为缺氧区,有效容积为 4 960 m³,缺氧池总有效容积为 37 787 m³,总停留时间为 4.31 h,设计最低温度为 12℃,悬浮污泥浓度为 2 850 mg/L,需要反硝化的硝酸盐浓度为 15.3 mg/L,反硝化速率为 0.03 kgNO₃⁻-N/(kgSS·d),考虑到冬季碳源不足,投加少量碳源后反硝化速率会有所提高。新建缺氧池内设置 16 套立式涡轮搅拌机,功率为 5 kW,直径为 2 500 mm;现状生化池缺氧区设置 8 台立式推进器,功率为 5 kW;厌氧池设置 6 套潜水搅拌器,功率为 6.5 kW。

考虑到脱氮的难度大于除磷,在低温、进水总氮较高的时段,将污泥内回流至厌氧段,增加缺氧段的停留时间,提高脱氮效果;除磷由生物除磷为主改为化学除磷为主。

新建厌氧、缺氧池和改造后的生化池平面布置如图 3 所示。

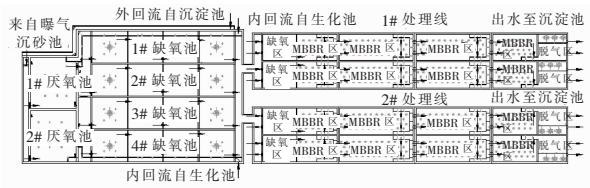


图 3 新建厌氧、缺氧池和改造后生化池平面布置

Fig. 3 Plane layout of the new anaerobic and anoxic tanks and the modified biochemical tank

3.2 现状生化池改造

现状生化池为 4 段,在第一段中间增设隔墙,隔墙前部为缺氧区,隔墙后为填料区(MBBR 区);第二段和第三段为 MBBR 区;第四段中间增设隔墙,隔墙前部为 MBBR 区,隔墙后为脱气区,以避免内回流混合液溶解氧浓度过高。为达到最佳运行状况,MBBR 区由厂家配套提供穿孔管曝气器及筛网。

改造后生化池好氧区总有效池容为 38 837 m³,其中 MBBR 区为 34 461 m³,脱气区为 4 376 m³。有效水深为 7.3 m;总泥龄为 13.5 d,综合产泥率为 1.05 kgSS/kgBOD₅,内回流比最大为 130%,外回流比最大为 30%,停留时间为 4.44 h,混合液 MLSS 为 2 850 mg/L,最高时需氧量为 3 435 kgO₂/h,气水比为 5:1。脱气区设置 12 台轴流泵(8 用 4 备,其中 4 台变频),单泵流量为 1 667 m³/h,扬程为 25 kPa,功率为 18.5 kW;采用纯 HDPE 悬浮填料,尺寸为 Ø25 mm×10 mm,密度为 0.94~0.97 g/cm³,有效比表面积≥620 m²/m³,总表面积≥8 184 000 m²,体积为 13 200 m³,填充率为 38.3%(30%~50%较合适)。主要设计参数见表 2。生化池改造前、后技术参数对比见表 3。

表 2 生化池主要设计参数

Tab. 2 Design parameters of biochemical tank

项 目	数值
需要硝化的 TN 量/(kg·d ⁻¹)	5 723
全部折合到有效膜表面上的 硝化速率/(gNO ₃ ⁻ -N·m ⁻² ·d ⁻¹)	0.70
单独有效膜表面上的硝化速率 (占比为 70%)/(gNO ₃ ⁻ -N·m ⁻² ·d ⁻¹)	0.49
好氧区(MBBR 区及脱气区)悬浮污泥量/ kgSS	110 685
填料固定污泥量/kgSS	89 970
好氧单位填料附着污泥量/ (kgMLSS·m ⁻³ 填料)	6.816
填料区折合污泥浓度(包括悬浮和固定的 污泥量)/(g·L ⁻¹)	5.461

表3 生化池改造前、后技术参数对比

Tab.3 Comparison of technical parameters before and after biochemical tank renovation

项 目	改造前	改造后
污泥负荷/ ($\text{kgBOD}_5 \cdot \text{kg}^{-1}\text{SS} \cdot \text{d}^{-1}$)	0.26	0.13
混合液污泥浓度/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.303	2.85
总泥龄/d	1.10	13.5
填料的比表面积/($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)	380(1#线投加 30% 填料,2#线 投加 1% 填料)	620(两条 线填充比 38.3%)

3.3 鼓风机房及曝气系统改造

鼓风机房内现状共4台鼓风机。其中3台老鼓风机进口流量为 $480 \text{ m}^3/\text{min}$,功率为830 kW,转速为2985 r/min,电压为10 kV,冷却方式为水冷;1台采用新鼓风机,进口流量为 $360 \text{ m}^3/\text{min}$,功率为670 kW,电压为10 kV,冷却方式为风冷。目前新鼓风机运行状况良好,而老鼓风机运行状况很差、维修保养费用很高、效率较低。

根据好氧区最高时需氧量,确定曝气量为 $720 \text{ m}^3/\text{min}$ 。本次主要更换3台老鼓风机,与新鼓风机型号一致,流量调整范围为40%~100%,2用2备。

好氧区内穿孔曝气管按现状4台鼓风机风量进行配置。鼓风机更换后,曝气量有所降低,本工程仅更换好氧池内旧曝气管。

4 工艺改造重点

4.1 填料的选择

① 悬浮填料的材质应具有良好的耐腐蚀性,并应有足够的满足出水要求的总有效比表面积,可

保证足够的生物生长量。

② 填料材质 HDPE,禁止使用回收料。

③ 悬浮填料应有足够的强度、抗磨损能力及较长的使用寿命,使用寿命 $\geq 15 \text{ a}$ 。

④ 悬浮填料抗压强度 $> 50 \text{ N/mm}$;悬浮填料紫外损失值 $< 0.05\%$ 。

4.2 填料的流动性

填料区流态设计采用不加推流器的完全混合池型,池底设置穿孔曝气系统,通过穿孔曝气管孔径设置、出气角度及安装梯度的组合设计,使填料在生化池中实现竖向“返混”,减少在拦截筛网前拥堵。投加合适比例的填料后,通过填料之间的碰撞切割及阻挡,中大气泡被切割成小气泡,可提高氧的利用率。穿孔曝气系统为固定安装,选用具有防堵塞功能、免维护的厚壁(布气支管管径为DN70,厚度 $\geq 2 \text{ mm}$)不锈钢穿孔管曝气器。

4.3 填料的堆积

填料会随水流到末端,大量的填料堆积在拦截网前,会堵塞拦截网,加大曝气也不能冲开。每道拦截网均会产生水头,填料被水位差压在拦截网上,水位差越大,填料堆积越多。水头导致因每个池子的液位不同,曝气也会不均匀。因此,在填料区内设置填料回流装置,通过气提装置将填料区末端的填料回流至前端,以避免填料在水流方向堆积。

5 运行效果

沈水湾污水处理厂提标改造工程建成通水后效果较好,运行稳定,出水水质稳定达到一级A排放标准。2019年4月试运行期间进、出水水质见表4。

表4 试运行期间进、出水水质

Tab.4 Influent and effluent quality during commissioning process

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

项目	1日	3日	5日	7日	9日	11日	13日	15日	17日	19日	21日	23日	25日	27日	29日
COD	进水	332	162	192	212	170	162	250	252	162	155	230	230	212	252
	出水	16	19	21	27	23	23	31	21	21	19	19	23	27	19
$\text{NH}_3 - \text{N}$	进水	26.5	22.8	22.8	18.9	23.9	23.8	30.8	38.5	28.5	21.3	24.2	39.8	18.9	38.5
	出水	3.0	1.0	4.8	3.7	3.0	3.3	1.4	3.8	3.8	4.9	3.7	4.9	3.7	0.5
TN	进水	29.9	31.0	29.4	27.2	35.0	27.2	30.0	30.2	33.1	34.7	30.2	35.0	27.2	30.2
	出水	11.7	11.2	11.9	11.3	11.0	12.2	11.0	8.9	8.9	10.4	10.0	9.9	11.3	8.9
TP	进水	2.96	4.09	3.00	2.94	4.40	2.95	4.22	4.10	2.70	2.33	4.10	4.00	2.94	4.10
	出水	0.34	0.20	0.24	0.18	0.30	0.14	0.16	0.26	0.16	0.12	0.40	0.22	0.18	0.26

6 技术经济分析

提标改造工程总投资为21990万元,平均单位总成本为 $0.510 \text{ 元}/\text{m}^3$,平均单位经营成本为 $0.373 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

7 结论

沈水湾污水处理厂提标改造工程采用了以 $\text{A}^2\text{O} - \text{MBBR}$ 为主体的处理工艺,在有限的占地范围内新建厌氧、缺氧池,在现状生化池内投加填料改造

为好氧 MBBR 池,实现了对现状生化池的立体扩容。试运行阶段,出水水质稳定达到了《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] 王翥田,叶亮,张新彦,等. MBBR 工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水,2010,26(2):71-73.
Wang Zhutian, Ye Liang, Zhang Xinyan, *et al.* Application of MBBR process to upgrading and reconstruction of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(2): 71-73 (in Chinese).
- [2] 孟涛,刘杰,杨超,等. MBBR 工艺用于青岛李村河污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水,2013,29(2):59-61.
Meng Tao, Liu Jie, Yang Chao, *et al.* Application of MBBR process in upgrading and reconstruction of Licunhe WWTP in Qingdao City[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(2): 59-61 (in Chinese).
- [3] 郝晓地,李天宇,吴远远,等. A²/O 工艺用于污水处理厂升级改造的适宜性探讨[J]. 中国给水排水,2017,33(21):18-24.
Hao Xiaodi, Li Tianyu, Wu Yuanyuan, *et al.* Discussion on suitability of A²/O process for upgrading of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(21): 18-24 (in Chinese).
- [4] 吴迪. MBBR 在国内的工程应用与发展前景[J]. 中国给水排水,2018,34(16):22-31.

Wu Di. Application and development prospect of MBBR in China[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 22-31 (in Chinese).

- [5] 顾升波,李振川,李艺. A/O-MBBR 组合工艺和 A/O 工艺处理市政污水的影响因素研究[J]. 给水排水,2017,43(2):49-55.

Gu Shengbo, Li Zhenchuan, Li Yi. Study on influencing factors on the performance of A/O-MBBR and A/O processes in municipal wastewater treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(2): 49-55 (in Chinese).



作者简介:吴琼(1987-),男,黑龙江桦南人,硕士,工程师,主要从事给水、污水处理设计与研究工作。

E-mail: wuqiong466655@126.com

收稿日期:2019-10-25

保护生态环境就是保护生产力

改善生态环境就是发展生产力