

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.04.012

Bardenpho+MBBR+磁絮凝沉淀用于污水厂升级改造

刘娟, 项绪文, 沈军, 贾新强

(山东省环科院环境工程有限公司, 山东 济南 250013)

摘要: 山东某污水处理厂设计规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 处理工艺为“预处理+水解池+A²/O生化池+絮凝斜板沉淀池+纤维转盘滤池+接触消毒池”, 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。新的环保要求出水COD $\leq 30\text{ mg/L}$ 、NH₃-N $\leq 1.5\text{ mg/L}$ 、TN $\leq 10\text{ mg/L}$ 、TP $\leq 0.3\text{ mg/L}$, 因此采用Bardenpho+MBBR+磁絮凝沉淀组合工艺对污水厂进行升级改造。该工艺最大限度地利用了现有池体, 并在不停水的前提下完成了提标改造, 不仅节省了投资, 而且提高了处理效率, 出水水质稳定达标, 系统整体更耐冲击且运行更稳定。

关键词: Bardenpho; MBBR; 磁絮凝沉淀; 升级改造

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)04-0070-05

Application of Bardenpho, MBBR and Magnetic Flocculation and Precipitation Process in the Upgrading and Reconstruction of a Wastewater Treatment Plant

LIU Juan, XIANG Xu-wen, SHEN Jun, JIA Xin-qiang

(Shandong Huankeyuan Environmental Engineering Co. Ltd., Jinan 250013, China)

Abstract: The design scale of a wastewater treatment plant in Shandong is $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the treatment process consisted of pretreatment, hydrolysis, A²/O, flocculation and inclined plate settler, fiber rotary table filter and contact disinfection. The effluent quality was required to meet the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). However, the new discharge standard requires that the COD, NH₃-N, TN and TP in effluent were no more than 30 mg/L, 1.5 mg/L, 10 mg/L and 0.3 mg/L, respectively. Therefore, the combined process of Bardenpho, MBBR and magnetic flocculation and precipitation was adopted to upgrade the wastewater treatment plant. The process maximized the use of the existing tanks, and completed the upgrading project under the premise of uninterrupted wastewater treatment, which saved the investment and improved the treatment efficiency. The effluent quality stably met the discharge standard, and the whole system was more impact-resistant and operated more stably.

Key words: Bardenpho; MBBR; magnetic flocculation and precipitation; upgrading and reconstruction

1 工程概况

山东某污水处理厂2008年建成投产, 总设计规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 分两期建设。污水处理工艺采用“粗格栅+提升泵站+细格栅+曝气沉砂池+事故调节池+水解池+A²/O生化池+二沉池+絮凝沉淀池(一期

为折板絮凝斜板沉淀池、二期为机械絮凝斜板沉淀池)+纤维转盘滤池+接触消毒池”, 污泥处理工艺采用“污泥浓缩池+离心脱水机”。污水处理厂出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

为实现污水处理厂排入河流断面水质稳定达标,环保局要求外排废水 COD≤30 mg/L、NH₃-N≤1.5 mg/L、TN≤10 mg/L、TP≤0.3 mg/L,其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。改造前、后出水水质要求见表 1。

表 1 改造前、后出水水质要求
Tab.1 Effluent standards before and after reconstruction

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
改造前出水	50	10	10	5(8)	15	0.5
改造后出水	30	10	10	1.5	10	0.3

2 设计进水水质

污水处理厂主要处理化学工业园区工业废水和城镇生活污水,其中工业废水占 80%。工业废水包括塑料加工废水、机械制造废水、石油化工废水、食品加工废水等,此类废水总体水质变化大、可生化性差,处理难度远高于生活污水。

考虑到工程的安全运行,按照过去一年进水水质涵盖率 95% 确定提标改造工程的设计进水水质。改造前、后进水水质见表 2。

表 2 改造前、后设计进水水质
Tab.2 Design influent quality before and after reconstruction

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
改造前设计进水	600	200	250	60	70	7
进水范围	106~1 983	29.8~209	60~900	13.2~49.3	11.3~90.2	0.8~8.5
90% 涵盖率进水	467	135	420	38.2	65.5	3.55
95% 涵盖率进水	601	139	640	40.5	68.7	3.82
改造后设计进水	600	150	650	45	70	4

3 运行情况分析 & 改造重点

3.1 污水处理厂运行情况分析

对污水处理厂改造前一年的出水运行数据(见表 3)进行分析可知,按照原设计出水水质标准,COD 和 TP 偶有超标,SS 和 TN 超标情况较为严重。按照新的出水水质标准,除 BOD₅ 外,其余指标均不能满足要求。

表 3 污水处理厂出水水质
Tab.3 Effluent quality of the WWTP

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
出水范围/(mg·L ⁻¹)	9~64	0.24~6.92	0.5~53.5	0.38~3.81	3.41~33.1	0.03~1.44
针对原出水标准超标率/%	2.4	0	51.4	0	28.5	8.5
针对新出水标准超标率/%	44.3	0	51.4	4.8	63.8	36.2

SS 和 TP:污水处理厂进水 SS 90% 和 95% 涵盖率浓度分别为 420 mg/L 和 640 mg/L(见表 2),远超设计指标,改造前工艺设计中未设置初沉池,因此污水处理厂无有效措施去除 SS;另外,污水处理厂一期工程絮凝沉淀池为折板絮凝斜板沉淀池,因斜板安装不当,阻塞了部分斜板进水孔,导致上升流速提高,影响了斜板内的泥水分离和板内积泥的下滑;池内排泥管设计不合理,采用穿孔管排泥,易堵。因此沉淀效果差,且排泥不畅,无法对 SS 和 TP 进行有效处理,深度处理的絮凝沉淀池运行效果不佳也是 SS 和 TP 超标的原因。

COD 和 TN:改造前污水处理厂水解酸化池内通过梅花式布水管均匀布水,长期运行发现,因工业废水占比较大,进水中 BOD₅ 较低、碱度不足,加上梅花式布水管布水复杂、易堵,所以水解酸化池未能对废水起到预生化处理的作用。同时,运行中 SS 较高,大量悬浮物在水解酸化池沉积,影响了水解酸化池的布水及水解效果,同时存在排泥不畅、积泥严重的问题。另外,改造前污水处理厂生化系统缺氧区停留时间较短(4.79 h),也难以满足对 TN 的去除要求。

3.2 改造重点

针对新的出水水质要求,NH₃-N 可以通过加强好氧处理能力、增加停留时间去除,TP 可以通过生物处理和化学除磷去除,因此该项目的重点是 COD、SS 和 TN 的去除。

① COD、TN

污水处理厂现状生化系统厌氧区停留时间 1.31 h,缺氧区停留时间 4.79 h,好氧区停留时间 15.12 h。为进一步强化总氮脱除效果,生化工艺选择“Bardenpho+MBBR”,空间上划分厌氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧,增加缺氧池停留时间,确保反硝化效果,使总氮达标。在好氧池增加悬浮填料,增加

好氧池污泥量和停留时间,增强 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果。多级生化系统联用,可从运行上耐冲击负荷、减少污泥回流量,最大化减少碳源投加量。

② SS

进水SS较高,其中主要为无机物,含量约70%。为保证SS达标,将现有水解池改造为速沉池,不仅可以快速沉淀悬浮物,而且可以去除部分COD,减小后续生化负荷。经速沉池处理后,可以去除SS 50%以上。因厂区用地有限,将一期折板絮凝沉淀池拆除改为他用,二期机械絮凝斜板沉淀池改造为磁絮凝沉淀池,用密度比较大的磁粉增大絮体的表面积,增加颗粒间的碰撞几率,提高系统的表面负荷,达到良好的絮凝效果。通过速沉池及磁絮凝沉淀池的共同作用保障SS达标排放^[1]。

3.3 改造后工艺流程

改造内容:将水解池改造为速沉池;将 A^2/O 改造为 Bardenpho+MBBR 工艺;将二期机械絮凝斜板沉淀池改造为磁絮凝沉淀池。改造后的整体工艺流程见图 1。

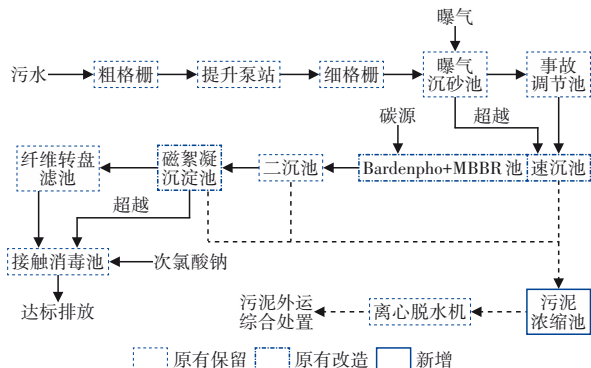


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

4 工艺详细设计

4.1 生化系统改造

生化池具体改造内容如下:

① 拆除水解池原有配水设备及管道,新增配水花墙、排泥井、出水堰,将水解池改造为速沉池,速沉池负荷为 $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})^{[2]}$ 。

② 厌氧池、缺氧池保持不变,其中缺氧池更换搅拌设备。

③ 将原好氧池第1廊道改为缺/好氧调节池,原有曝气设备保留,池内新增搅拌设备,便于缺氧和好氧条件灵活调节。

④ 将原好氧 2~3 廊道改造为好氧 MBBR 池。

池内增加悬浮填料和填料专用搅拌器,进、出水处增加拦截筛网;原好氧4~5廊道仍为好氧池,曝气设备保持不变。

⑤ 将原好氧6廊道改造为后置缺氧池和后置好氧池,后置缺氧池内增加搅拌器。

⑥ 内回流泵位置由后置好氧池调至好氧池。具体改造示意图2。

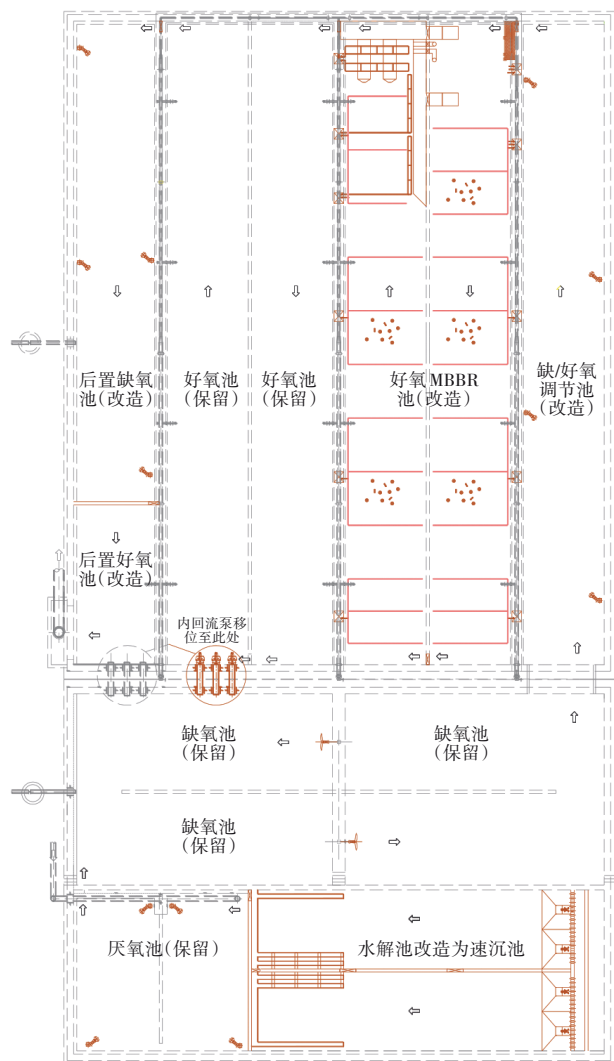


图2 生化池改造示意

Fig.2 Schematic diagram of biological tank reconstruction

改造后厌氧区停留时间 1.31 h, 缺氧区停留时间 4.79 h, 缺/好氧调节区停留时间 2.45 h, 好氧区停留时间 10.14 h (其中 MBBR 好氧池停留时间 5.07 h), 后置缺氧区停留时间 1.90 h, 后置好氧区停留时间 0.63 h。内回流比 150%~460%, 外回流比 50%~100%^[2]。设计温度为冬季 15℃、夏季 26℃, 悬浮态活性污泥浓度为 3.5 g/L (不包含填料生物

膜),总氮负荷率 $0.05\text{ kgTN}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$, F/M 为 $0.06\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLVSS}\cdot\text{d})$,好氧池污泥龄 15 d ,填料填充比 20% (填料规格 $\varnothing 25\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 、比表面积 $800\text{ m}^2/\text{m}^3$)。填料生物膜的硝化负荷 $0.55\text{ gNH}_3\text{-N}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ^[3],活性污泥的硝化负荷 $0.07\text{ kgNH}_3\text{-N}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,其中生物膜承担了约 30% 的硝化负荷,活性污泥承担了约 70% 的硝化负荷^[4]。

4.2 絮凝沉淀池改造

一期折板絮凝沉淀池拆除不用,二期机械絮凝沉淀池改为磁絮凝沉淀池,处理水量改为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。二期絮凝沉淀池改造后平面布置见图3。

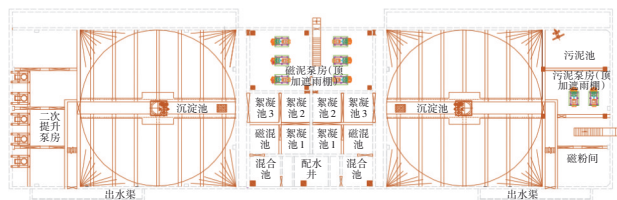


图3 絮凝沉淀池改造后平面布置

Fig.3 Plane layout of flocculation and precipitation tank after reconstruction

具体改造内容如下:

- ① 原有排泥斗拆除,保证沉淀池池深 6.3 m ,直径为 15.6 m 。
- ② 配水井、混合池保持不变,原四格絮凝池利用其中两格,重新布局为磁混池和絮凝池;其余两格调整为磁泥泵房,顶部增加遮雨棚。
- ③ 原有沉淀池斜管集水槽等均更换,重新设计沉淀池横梁等;原斜板沉淀池改造为圆形沉淀池,并加刮泥机。
- ④ 池体两侧剩余部分分别改造为二次提升泵房、污泥池、污泥泵房和磁粉间。

改造后平均混合时间 1.6 min ,平均磁混时间 1.48 min ,平均絮凝时间 4.4 min ,平均表面负荷 $10.9\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,最大表面负荷 $14.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ^[2]。

5 改造后运行效果

在不停水施工的前提下,污水处理厂采取分组施工的措施。工程目前已完成生化池改造和磁絮凝沉淀池改造,且完成调试运行和正常运行。改造前、后运行水质见表4。

改造后进水COD和SS浓度高,波动明显,但出水更加稳定且水质更好,可见经过改造后系统更耐冲击,同时 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP去除率也显著提高。

表4 改造前、后运行水质

Tab.4 Water quality before and after reconstruction

项 目	COD	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
改造前进水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	314 ± 231	277 ± 169	31 ± 6	49 ± 12	2.7 ± 0.8
改造后进水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	462 ± 313	355 ± 178	24 ± 9	49 ± 11	2.1 ± 0.7
改造前出水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	30.9 ± 8.6	$14.5\pm$	$0.86\pm$	$13.0\pm$	$0.30\pm$
		11.6	0.43	5.8	0.17
改造后出水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	26.5 ± 2.7	7.3 ± 2.2	$0.70\pm$	$9.2\pm$	$0.09\pm$
			0.24	1.0	0.05
去除率提高/%	14.2	49.6	18.6	29.2	70.0

为保证出水水质稳定达标,建议环保部门加强对企业排水的管理,杜绝超标排放现象发生。污水处理厂加强进水水质监测,一旦进水COD超过 1 000 mg/L ,应及时提升进入事故调节池,同时将生化池缺氧/好氧池调整为好氧池运行。通过灵活调整运行工艺,保证出水水质达标。

对于TN的去除,通过在缺氧系统投加碳源,使在进水TN和COD波动较大时,仍可保证出水TN达标。长期调试运行发现,若仅在后缺氧区投加碳源,则因进水碳源不足,前缺氧池出水TN较高,但后缺氧区停留时间仅 1.9 h ,为了尽可能使反硝化在快速反应区域发生,只能依靠超量投加碳源保证TN达标,造成二级AO负担较重;若仅在前缺氧区投加碳源,则经过一级AO之后,污水中的可降解有机物(即可用碳源)已经基本被“榨干”,此时后缺氧区通过内源呼吸为脱氮提供能量,发生内源反硝化反应,但内源反硝化速率很慢,不足以保证总氮达标。因此工程运行中以前缺氧池投加碳源为主,后缺氧池投加碳源为辅^[5]。污水处理厂进水平均TN为 49 mg/L ,经一级AO后总氮降低到 13 mg/L ,去除率为 74% ,经二级AO后总氮降低到 9.2 mg/L ,去除率为 29% ,达到排放要求。运营中碳源纯乙酸钠平均投加量为 46.4 mg/L ,可确保总氮降低到 10 mg/L 以下。

6 经济分析

污水处理厂改造前、后废水处理的电耗及药剂费用见表5。

由表5可见,用电量较改造前增加,主要原因是改造后生化池增加了搅拌器、填料流态化搅拌设备及磁絮凝沉淀池排泥设备、脱水设备,设备的增加导致电耗增加。

改造前进水COD较低,为 $(314\pm 231)\text{ mg/L}$,改造后进水COD高且波动大,为 $(462\pm 313)\text{ mg/L}$,经

改造后系统更耐冲击,对COD的去除更加有效,因此去除1 kg COD消耗的电量有所降低。改造后进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP减少较多,因此去除1 kg $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP消耗的电量增加较多。去除1 kg TN消耗的电改造前后相差不多。

表5 改造前、后耗电量及药剂费用

Tab.5 Power consumption and reagent cost before and after reconstruction

项 目		改造前	改造后
电耗/ (kW·h· kg ⁻¹)	去除1 kg COD消耗的电量	1.06	0.85
	去除1 kg $\text{NH}_3\text{-N}$ 消耗的电量	9.95	15.9
	去除1 kg TN消耗的电量	8.33	9.31
	去除1 kg TP消耗的电量	125	184
吨水电耗/(kW·h·m ⁻³)		0.30	0.37
吨水药剂费用/(元·m ⁻³)		0.36	0.48
吨水碳源费用/(元·m ⁻³)		0.21	0.30

改造前、后药剂费用分别为0.36元/m³和0.48元/m³,药剂费用提高的主要原因是生化工艺段去除TN,需依靠投加碳源保证TN达标。另外,为应对SS波动和保证出水TP达到0.3 mg/L以下,需在磁絮凝沉淀池投加更多药剂,因此总体加药量比改造前增加,但这部分药剂费用的增加量相对较小(增加0.03元/m³)。

7 结语

将Bardenpho+MBBR+磁絮凝沉淀工艺用于污水处理厂的升级改造,最大限度地利用了现有池体,在不停水的前提下完成了提标改造,不仅节省了投资,而且提高了处理效率,使系统更耐冲击且运行更稳定。改造后保证了污水处理厂出水水质由一级A标准提升至新的环保要求标准(COD≤30 mg/L、氨氮≤1.5 mg/L、总磷≤0.3 mg/L、总氮≤10 mg/L)。

参考文献:

- [1] 孙少群. 磁絮凝沉淀用于漳浦污水处理厂一级A升级改造[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 95-100.

SUN Shaoqun. Application of magnetic sedimentation in first level A upgrading project of Zhangpu WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 95-100 (in Chinese).

- [2] 北京市市政工程设计研究总院有限公司. 给水排水设计手册(第5册): 城镇排水[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd. Water Supply and Drainage Design Manual (Vol. 5): Urban Drainage [M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017 (in Chinese).

- [3] 周传庭, 唐建国, 王寅. 改良A²/O+MBBR为主体的污水厂工艺设计及运行[J]. 中国给水排水, 2021, 37(6): 76-80.

ZHOU Chuanting, TANG Jianguo, WANG Yin. Design and operation of sewage treatment plant with improved A²/O+MBBR process [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 76-80 (in Chinese).

- [4] 陈小燕. MBBR及A²/O五段法用于污水处理厂提标扩建[J]. 中国给水排水, 2017, 33(12): 59-62.

CHEN Xiaoyan. Application of MBBR and five-stage A²/O in the upgrading and reconstruction of urban wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12): 59-62 (in Chinese).

- [5] 杨志宏, 孙进才, 陈宏平. Bardenpho工艺生化池沿程去除效果研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(19): 99-103.

YANG Zhihong, SUN Jincai, CHEN Hongping. The study of treatment effects along the flow path of Bardenpho process bio-chemical reactor [J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(19): 99-103 (in Chinese).

作者简介: 刘娟(1979-), 女, 山东德州人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事给排水工程设计及咨询工作。

E-mail: hkyjlj2009@163.com

收稿日期: 2022-01-16

修回日期: 2022-04-11

(编辑: 孔红春)