

MBBR + 臭氧电磁催化氧化用于污水处理厂提标扩建

王 瑞¹, 夏文辉¹, 原建光²

(1. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300392; 2. 康达环保水务有限公司, 河南 焦作 454000)

摘 要: 焦作市工业集聚区万方污水处理厂总规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分两期建设。一期于 2009 年 7 月建成投产, 处理量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 进水以生物制药废水为主, 采用水解酸化 + A^2O 工艺, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(18918—2002) 一级 B 标准。目前实施二期提标扩建工程, 总规模达到 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水执行一级 A 标准, 提标扩建工程采用生化池投加悬浮填料工艺 (MBBR)、增加精密过滤和臭氧电磁催化氧化等措施, 改造后出水水质达标。

关键词: 污水处理厂; 提标扩建; MBBR; 精密过滤; 臭氧电磁催化氧化

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0086-04

MBBR + Ozonation together with Electromagnetic Catalytic Oxidation for Upgrading Project of Wastewater Treatment Plant

WANG Rui¹, XIA Wen-hui¹, YUAN Jian-guang²

(1. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300392, China; 2. Kangda Environmental Protection Water Co. Ltd., Jiaozuo 454000, China)

Abstract: The total treatment capacity of Wanfang wastewater treatment plant (WWTP) in Jiaozuo industrial area is $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The Wanfang WWTP would be constructed in two phases. The construction of the first-phase project with the capacity $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ was finished in the July of 2009. Most of the influent was pharmaceutical wastewater. The effluent quality met the first level B criteria in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) via combination processes of hydrolytic acidification and A^2O . At present, the second-phase upgrading project with capacity of $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ has been finished construction and put into wastewater treatment. After treatment via moving bed biofilm reactor (MBBR), precise filtration, ozonation together with electromagnetic catalytic oxidation, the effluent of the second-phase project could meet the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

Key words: wastewater treatment plant (WWTP); upgrading project; moving bed biofilm reactor (MBBR); precise filtration; ozonation together with electromagnetic catalytic oxidation

焦作市万方污水处理厂服务范围为万方工业集聚区, 占地面积为 6.74 hm^2 , 总建设规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分两期实施。一期工程建设规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 于 2009 年 7 月正式投产运行。一期设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准。为响应国家节能减排

号召, 根据河南省和焦作市相关规定和要求, 出水水质要求达到一级 A 标准。同时结合园区的发展规划, 实施二期提标扩建工程, 总规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1 一期工程设计及运行情况

一期原设计进水水质: BOD_5 为 $150 \sim 200 \text{ mg/L}$, COD 为 500 mg/L , SS 为 300 mg/L , NH_3-N 为 35

mg/L, TN 为 45 mg/L, pH 值为 6.5 ~ 8.5, TP 为 4 mg/L; 设计出水水质为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准。

污水处理工艺采用水解酸化 + 改良 A²O 工艺主体的二级生化处理方案, 后续为高效沉淀池。

根据实际调查, 一期工程实际接收废水主要为生物医药废水, 另外还有小铝加工厂、耐材厂、生活区、饭店等排放的少量污水。处理量约 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2012 年 7 月—2013 年 6 月进水水质 (平均值) 如下: BOD₅ 为 37.7 mg/L、COD 为 211.4 mg/L、SS 为 126.8 mg/L、NH₃-N 为 32.4 mg/L、TN 为 47.3 mg/L、TP 为 1.9 mg/L、pH 值为 6.0 ~ 9.0。从以上数据可以看出进水水质特点: 进水 B/C 值极低; 进水中溶解性难生化降解 COD 绝对值较高; 进水 TN 浓度较高。

水厂目前出水水质不稳定, COD 和 TN 一直保持在较高数值上。出水 SS 一般情况下浓度较低, 基本可以满足一级 B 的要求, 但是不能稳定达到一级 A 标准, 氨氮也不稳定。

2 二期提标扩建的目标

提标扩建需要解决以下问题:

① 改善污水的可生化性, 以保证生化系统能顺利启动, 满足氨氮排放要求;

② 解决生化系统的反硝化问题, 目前由于污水中碳源含量较低, 反硝化反应不能进行或者效率

较低, 而且目前进水 TN 浓度相对一般城市污水处理厂来说更高;

③ 目前污水中的 COD 主要为溶解性难生物降解 COD, 并且浓度较高。需要改善生化系统以提升这部分 COD 的去除效率, 另外还需要辅以其他非常规的处理手段, 保证其最终出水稳定达标;

④ 继续强化 SS 的去除措施, 必要时增加过滤工艺;

⑤ 由于一级 A 标准对出水 TP 要求较高, 必须辅以一定的化学除磷工艺措施。

3 二期设计方案

3.1 设计水质确定

现状污水主要为生物医药废水, 水质较差; 远期随着工业集聚区的建设, 工业水量增加, 水质将再次发生变化。现阶段设计以现状进水水质为基础, 保证率按照 90% 选取, 因此确定此次设计的进水水质: BOD₅ 为 45 mg/L, COD 为 250 mg/L, SS 为 240 mg/L, NH₃-N 为 40 mg/L, TN 为 65 mg/L, pH 值为 6.0 ~ 9.0, TP 为 3 mg/L, 待将来污水源和水量发生变化, 再进行设计调整。

扩建后水厂出水水质要求达到一级 A 标准: BOD₅ ≤ 10 mg/L, COD ≤ 50 mg/L, SS ≤ 10 mg/L, TN ≤ 15 mg/L, NH₃-N ≤ 5 (8) mg/L, pH 值为 6 ~ 9, TP ≤ 0.5 mg/L。

3.2 工艺流程

工艺流程见图 1。

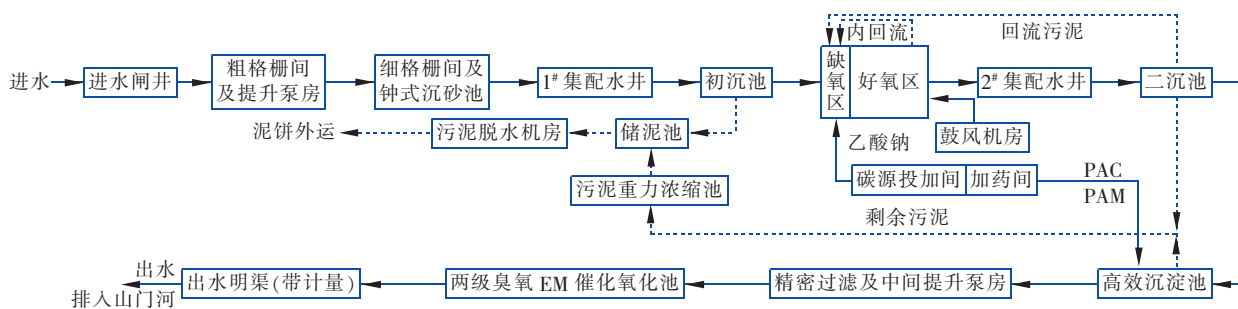


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of treatment process

3.3 主要构筑物设计思路

① 水解酸化池改造为初沉池

原有水解酸化池 2 座, 考虑到现状水解酸化效果不明显, 对废水没有明显的改性效果, 因此放弃水解酸化功能; 同时, 又考虑到进水中 SS 浓度较高 (远期更高), 因此将水解酸化池改造为初沉池。单

座设计流量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K_z = 1.38$, 单座直径为 32.6 m (内圈直径为 24 m), 池边水深为 4.7 m, 钢筋混凝土结构。单池表面负荷 (均日均时) 为 $2.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 沉淀时间为 2 h。主要设备 (两池): 2 台中心传动浓缩刮泥机, $\varnothing 24 \text{ m}$, $N = 1.5 \text{ kW}$; 5 台搅拌机 (4 用 1 备), $\varnothing 2.0 \text{ m}$, $F > 860 \text{ N}$, $n = 25 \text{ r/min}$, N

$=2.5 \text{ kW}$; 3台剩余污泥泵(2用1备), $Q=9.5 \text{ L/s}$, $H=132 \text{ kPa}$, $N=2.4 \text{ kW}$ 。

② 生化池改造和新建 MBBR 生化池

经过方案比选以及现场中试,生化段确定采用 MBBR 工艺,该工艺通过向反应器中投加一定数量的生物膜悬浮载体填料,在填料内部生长一些厌氧或者兼氧菌,外部为好氧菌。悬浮载体填料与原有活性污泥形成更为复杂的复合式生态系统,附着生长在填料上的生物膜使生物池中的生物量大大增加。提高污水处理的效果,达到稳定出水水质的目的^[1]。

设计2座生化池,现状有1座需要改造,再新建1座。单座设计流量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K_z=1.38$ 。

改造现状生化池:现状 A^2O 生物池1座,分2格,平面尺寸为 $65 \text{ m} \times 32.5 \text{ m}$,池深为 6.8 m 。总水力停留时间为 11.64 h ,其中选择厌氧区 1.5 h ,缺氧区 2.4 h ,好氧区 7.74 h 。将原来选择区和厌氧区都改成缺氧区,改造后生化池分为缺氧区和好氧区两大部分,内部都投有悬浮性填料。缺氧池有效池容为 4217 m^3 ,填料填充率为 44.5% ;好氧池有效池容为 7925 m^3 ,填料填充率为 45.6% 。主要设备有16台搅拌机;5台内回流泵(4用1备), $Q=300 \text{ L/s}$, $H=40 \text{ kPa}$, $N=30 \text{ kW}$;4台回流污泥泵(轴流泵,3用1备), $Q=97 \text{ L/s}$, $H=40 \text{ kPa}$, $N=9.0 \text{ kW}$;2台剩余污泥泵(1用1备), $Q=9.2 \text{ L/s}$, $H=90 \text{ kPa}$, $N=1.7 \text{ kW}$;4套调节堰门;1套曝气系统。

新建 MBBR 生化池:1座,分2格,平面尺寸为 $77.6 \text{ m} \times 33.7 \text{ m}$,池深为 6.8 m 。缺氧池有效池容为 6655 m^3 ,填料填充率为 41.0% ;好氧池有效池容为 8077 m^3 ,填料填充率为 45.6% ;主要设备同上。

③ 新建精密过滤机房

SS 常规处理技术包括:混凝、沉淀、过滤。一期已建设有混凝沉淀作用的高效沉淀池,在保留一期高效沉淀池的基础上新建1座高效沉淀池满足设计规模,再后续增加具有过滤功能的构筑物,使出水 SS 达到一级 A 标准。

过滤工艺选用精密过滤机,其特点有:刚性结构滤筒,耐水力冲击、使用寿命长;滤筒吊挂支撑,无水下运转轴承;滤筒无级变频调速,可调试到最佳过滤效果;采用高强度一体化单层滤网,强度高、易清洗;滤网由多片组成,可小面积独立更换,可小面积缝补维修;滤布选用进口不锈钢 316 防滑丝、防打折滤

布,经过特殊编织方法编织而成,过滤精度高、过滤速度快、水头损失小、使用寿命长;自清式扇形喷嘴,清洗水量小、效果好;全自动连续式过滤,实现无人操作。

精密过滤单元的水质指标:进水 $SS \leq 20 \sim 30 \text{ mg/L}$,出水 $SS \leq 5 \sim 10 \text{ mg/L}$;设计流量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K_z=1.38$;配备2套精密过滤器(成套设备),滤筒直径为 1.6 m ,过滤网孔孔径为 $10 \sim 30 \mu\text{m}$,滤筒功率为 2.2 kW ;配备2台反冲洗泵, $Q=12.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=0.6 \text{ MPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$,每套精密过滤器配备1台。

④ 新建两级臭氧催化氧化池

要使 COD 稳定达到一级 A 标准,提标工程需要增加更为强劲、高效的去除 COD 工艺。经过对比和现场中试,确定采用臭氧 EM 催化氧化法。

电磁(EM)高级催化氧化技术采用电磁切变原理,通过电磁(EM)切变场的作用,改变污水中水分子、有机污染物分子、离子氛的团簇结构,改变被处理污水的物理、化学、分子力学等性能,达到增加臭氧溶解能力、加快臭氧与有机污染物的反应时间、提高固相催化效率的目的,同时在污水中,在电磁(EM)切变场(及专用催化剂)的作用下直接激发产生羟基自由基,在羟基自由基的强氧化性的作用下,残余的有机物在后续处理单元得到去除^[2]。

具体的流程是:来水先通过均相催化投加装置,在污水中产生电子束及新生态二价离子,电子束及新生态二价离子在水中有臭氧时,会产生大量的羟基自由基,实现高级氧化过程。均相催化能够提高 EM 高级氧化系统的催化效果。污水通过均相催化后进入电磁 EM 高级催化氧化系统,在泵出口管道上设置 EM 发生器,经 EM 发生器作用改变污水中水分子、有机污染物分子、离子氛的团簇结构,改变了被处理污水的物理、化学、分子力学等性能,改性后的污水进入一级 EM 高级催化氧化池,池内添加催化剂,共分三级,折流布置。通过离心泵对每段内的污水进行一定比例的循环,在循环管道上设置高效射流器,通过射流器的负压抽吸作用投加臭氧,臭氧连同循环的污水,通过射流器的混合后,再进入反应池内,混合后的污水在贵金属催化剂的作用下,激发产生羟基自由基,羟基自有基的氧化还原电位为 2.8 eV ,在其作用下大部分难降解的有机物发生断链反应形成短链的有机物或直接被氧化至 CO_2

和 H_2O , 以及中间态高活跃产物。一级高级催化氧化池出水进入二级均相催化装置, 提高其高级氧化池催化效果, 继续通过 EM 发生器作用后, 进入二级高级催化氧化池, 二级高级催化氧化池同样分三段, 每段也添加不同的催化剂, 完成对污水的进一步改性和降解, 经过两级均相催化及两级高级催化氧化设备后污水已基本得到充分的改性和降解。

新建臭氧催化氧化池 1 座, 分两级, 每级两个系列。尺寸为 $41.0\text{ m} \times 34.1\text{ m} \times 9.5\text{ m}$ 。钢筋混凝土结构。设计流量为 $2\,291.7\text{ m}^3/\text{h}$ 。

该单元水质指标: 进水 $\text{COD} \leq 110\text{ mg/L}$, 出水 $\text{COD} \leq 50\text{ mg/L}$ 。

一级臭氧催化氧化反应时间约 90 min 。臭氧总投加量按 25 mg/L 设计。

第一段卧式离心泵 $Q = 346\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 240\text{ kPa}$, $N = 37\text{ kW}$, 共 3 台(2 用 1 备)。

第二段卧式离心泵 $Q = 346\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 240\text{ kPa}$, $N = 37\text{ kW}$, 共 1 台。

第三段卧式离心泵 $Q = 346\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 240\text{ kPa}$, $N = 37\text{ kW}$, 共 1 台。

二级高级催化氧化反应时间约 90 min 。臭氧总投加量按 13 mg/L 设计。

第一段、第二段卧式离心泵 $Q = 346\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 240\text{ kPa}$, $N = 37\text{ kW}$, 共 2 台。

第三段卧式离心泵 $Q = 173\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 240\text{ kPa}$, $N = 18.5\text{ kW}$, 共 2 台。

⑤ 新建臭氧车间及液氧站

臭氧发生器 4 套(3 用 1 备): 每套额定产量为 30 kg/h , 臭氧浓度为 150 mg/L , 额定功率为 273 kW , 臭氧发生器采用氧气源, 单台需气量为 $210\text{ Nm}^3/\text{h}$, 氧气露点(一个标准大气压) $\leq -60\text{ }^\circ\text{C}$, 供气压力为 $0.3 \sim 0.5\text{ MPa}$, 固液颗粒粒径 $\leq 0.05\text{ }\mu\text{m}$, 残油含量 $\leq 0.005\text{ mg/m}^3$, 总碳氢化合物 $\leq 15\text{ mL/m}^3$ 。

⑥ 新建碳源投加间

功能: 当进水 BOD_5 不足, 以至于不能达到良好的反硝化效果时, 投加碳源(原料为三水合乙酸钠)至生物池, 提高生物池的 BOD_5 与总氮的比值, 提高反硝化效率。

三水合乙酸钠投加量为 17.3 t/d , 配制浓度为 10% 。

4 工程调试

万方污水处理厂项目自 2015 年 3 月工艺调试以来, 水量平均为 $4.8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 其中工业废水比重大, 约占总进水的 70% 以上, 生化性差, B/C 值不足 0.2 , 工艺调试难度大。进水 COD 值是 $150 \sim 200\text{ mg/L}$, 氨氮值是 $10 \sim 25\text{ mg/L}$, 总氮值是 $25 \sim 35\text{ mg/L}$, 需要添加大量碳源来满足脱氮的需要, 经过近 6 个月的工艺调试, 出水指标基本达到一级 A 标准, 但出水指标的稳定性较差, 正在继续进行工艺优化, 确保稳定达标。

5 结语

焦作市万方污水处理厂主要处理生物制药废水, 进水的 B/C 值极低, 进水中溶解性难生化降解 COD 绝对值较高, 进水 TN 浓度较高, 是处理难点。提标扩建工程采用“生化池(MBBR)+高效沉淀池+精密过滤+两级臭氧催化氧化”工艺。经过近 6 个月的工程调试, 出水指标基本达标, 但是稳定性较差, 将进一步进行工艺优化, 确保出水稳定达标。

参考文献:

- [1] 孟涛, 刘杰, 杨超, 等. MBBR 工艺用于青岛李村河污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水, 2013, 29(2): 59-61.
- [2] 李文国, 战树岩, 刘佩春. 电磁(EM)催化高级氧化用于桥东污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水, 2014, 30(10): 89-91.



作者简介: 王瑞(1980-), 女, 山西长治人, 硕士, 高级工程师, 从事给水排水工程设计以及固体废弃物处理设计工作。

E-mail: wangrui2460@163.com

收稿日期: 2016-12-26