

# 五段 AO + MBBR 工艺应用于污水处理厂提标改造

刘 强

(大连市市政设计研究院有限责任公司, 辽宁 大连 116011)

**摘 要:** 辽宁某开发区污水处理厂提标改造工程设计规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 排放标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 二级标准提标至一级 A 标准。原生化处理采用百乐克(BIOLAK)工艺, 通过分析确定改造工艺为五段 AO + MBBR 工艺, 即厌氧 + 缺氧 + 好氧 + 后置缺氧 + 后置好氧, 在缺氧段和好氧段投加 MBBR 填料, 当原水 C/N 比不足时在后置缺氧段投加乙酸钠以保证总氮达标。改造后实际运行出水水质稳定达到一级 A 标准。

**关键词:** 五段 AO; MBBR; 百乐克; 提标改造; 一级 A 标准

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0053-05

## Application of Five-stage AO + MBBR Process in Upgrading Design of Sewage Treatment Plant

LIU Qiang

(Dalian Municipal Design & Research Institute Co. Ltd., Dalian 116011, China)

**Abstract:** The design scale of upgrading project of a sewage treatment plant in a development zone in Liaoning Province was  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The discharge standard was raised from the second level standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) to the first level A standard. The original biological treatment process was BIOLAK process. Through analysis, the modified process was determined to be five-stage AO + MBBR process, namely anaerobic + anoxic + aerobic + anoxic-aerobic. MBBR filler was added in the anoxic and aerobic stages. When the C/N ratio of raw water was insufficient to ensure the total nitrogen removal, sodium acetate was added in the anoxic stage. The quality of the effluent after the modification could reach the first level A standard.

**Key words:** five-stage AO; MBBR; BIOLAK; upgrading and reconstruction; the first level A standard

为落实《水污染防治行动计划》等国家环保政策和法规, 辽宁某开发区污水处理厂于 2015 年 8 月启动了提标改造工作, 出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的二级标准提标至一级 A 标准。该厂早年按常规生活污水水质设计, 但运行后实际进水水质远超设计值, 导致出水超标情况时有发生。本次由二级标准直接提标至一级 A, 原有生化处理系统显然无力承受, 加之生化池为 BIOLAK 土池结构且厂区可用地受限, 提标改造难度很大。

本改造工程于 2015 年 12 月完成施工图设计, 2016 年 6 月正式开工, 2017 年 9 月第一组生化池改造完成并通水试运行, 2018 年 6 月全部完工, 2018 年 12 月调试完成。

### 1 工程概况与现状分析

#### 1.1 原厂概况

本工程设计规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 原设计采用 BIOLAK(百乐克)工艺<sup>[1]</sup>, 池体为土池 + 防渗膜结构。原工艺流程如下: 原水 → 粗格栅 → 提升泵池 → 细格栅 → BIOLAK 生化池(含厌氧池、好氧池、沉淀池

和稳定池等四部分)→出水,无沉砂池和深度处理系统。

## 1.2 现状工艺问题分析

经现场调研分析并参考百乐克工程实践<sup>[2-4]</sup>,工艺存在以下问题:

① 原设计按常规生活污水水质设计,排放标准仅为二级标准,相对于实际进水水质和一级 A 标准而言,BIOLAK 生化池池容严重不足,土池+防渗膜形式基本无改造价值;

② 预处理系统缺少沉砂池,易造成生化池泥砂淤积并占用池体有效容积;

③ BIOLAK 生化池无专门缺氧区,脱氮性能先天不足;

④ 沉淀池出水中的 SS 在稳定池中进一步沉淀,但池底淤泥无任何排出措施;

⑤ 无深度处理系统,仅靠生物除磷和沉淀池无法满足一级 A 标准;

⑥ 采用液氯消毒危险性较大,且因未通过消防审查,该系统从未运行;

⑦ 粗格栅为露天形式,全厂无任何除臭装置,厂区空气环境质量较差。

## 1.3 现状进、出水水质分析

通过收集整理近 2 年实际运行数据,将进水主要污染物指标按 90% 保证率进行排列分析,并对比原设计水质,结果见表 1。

表 1 原设计水质与实际进进水水质

Tab.1 Original design influent quality and actual influent quality

| 项目                             | COD  | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | SS   | TP  |
|--------------------------------|------|------------------|--------------------|------|-----|
| 原设计值/(mg·L <sup>-1</sup> )     | 350  | 190              | 40                 | 160  | 1.5 |
| 90% 保证率值/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 550  | 270              | 63                 | 298  | 5.9 |
| 90% 保证率值/原设计值                  | 1.57 | 1.42             | 1.58               | 1.86 | 3.9 |

可见,实际进水污染物指标(按 90% 保证率)是设计值的 1.4~3.9 倍,应重新设定设计水质。此外,因缺少近年总氮实测数据,只能根据若干次测定的氨氮/总氮浓度关系,由氨氮浓度推测 90% 保证率时进水总氮浓度约 80~90 mg/L,则碳氮比(BOD<sub>5</sub>/TN)为 3~3.4,略有不足,必要时需要补充碳源。

近 2 年实际出水水质见表 2,可见对于二级标准,该厂出水氨氮达标率仅为 75%,若以一级 A 标准衡量则更差。

表 2 近 2 年实际出水水质

Tab.2 Actual effluent quality in recent two years

| 项目                         | COD  | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | SS   | TP  |
|----------------------------|------|------------------|--------------------|------|-----|
| 平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )  | 51.1 | 22.4             | 14                 | 13.8 | 0.7 |
| 二级标准/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 100  | 30               | 15                 | 30   | 1.0 |
| 二级标准达标率/%                  | 99   | 92               | 75                 | 100  | 96  |
| 一级 A 标准达标率/%               | 59   | 4                | 0                  | 38   | 0   |

## 2 提标改造工程方案

### 2.1 总体方案

经分析,确定了如下改造方案:

① 根据近年实际进水水质数据重新设定设计进水水质(见表 3)。

表 3 提标工程设计进、出水水质

Tab.3 Influent and effluent quality of upgrading project  
mg·L<sup>-1</sup>

| 项目      | COD | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN | SS  | TP  |
|---------|-----|------------------|--------------------|----|-----|-----|
| 设计进水    | 550 | 270              | 60                 | 85 | 300 | 5.5 |
| 一级 A 标准 | 50  | 10               | 5                  | 15 | 10  | 0.5 |

② 根据新设定进出水水质、土池结构特点及可用地情况,确定原 BIOLAK 土池已无保留或再利用价值,因此决定将其拆除后新建钢筋混凝土池体。

③ 本工程设计进水总氮浓度较高(85 mg/L),而碳氮比略有不足,且按常规 AO 工艺脱氮率计算内回流比为 4.66,已超过《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)6.6.18 条关于内回流比不宜>4 的规定。因此生化处理系统工艺流程在传统 AAO 工艺基础上增加后置缺氧段和后置好氧段形成五段 AO 工艺,即 AAO+AO 工艺。当前段 AO 工艺因碳源不足或内回流比受限而导致出水 TN 超标时,于后置缺氧段补充碳源,进行后置反硝化反应;后置缺氧池出水进入后置好氧段,功能是消除后缺氧段剩余碳源(为保证反硝化反应充分,碳源需适当过量投加),同时也为保证生化处理系统出水溶解氧含量,防止沉淀池底部污泥反硝化产生气泡进而携带污泥上翻。

④ 因现场用地受限,选择省地且高效的周进周出式矩形沉淀池。

⑤ 新建深度处理间,采用高密度沉淀池+纤维束滤池工艺。

⑥ 新建曝气沉砂池,去除砂粒、浮渣等杂质。

### 2.2 提标改造生化段工艺流程

生化段工艺流程见图 1。

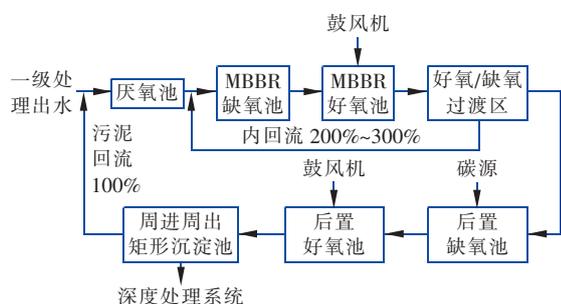


图 1 生化段工艺流程

Fig. 1 Flow chart of biochemical stage

### 3 提标改造工程设计

#### 3.1 原有处理系统改造

##### 3.1.1 一级处理系统改造

一级处理系统改造内容有两项,一是在现状粗格栅渠及提升泵池外部新建一座建筑物,将其由露天改造为室内,并在粗格栅上方安装密闭引风罩;二是在细格栅间北侧新建一座曝气沉砂池,设计水量为  $2\,812.5\text{ m}^3/\text{h}$ (按  $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,  $K_z = 1.35$  计算),池体尺寸为  $18.6\text{ m} \times 6.1\text{ m} \times 3.60\text{ m}$ ,  $\text{HRT} = 4.5\text{ min}$ ,配套桥式吸砂机、砂水分离器等设备。

##### 3.1.2 生化处理系统改造

首先拆除原有 2 座 BIOLAK 生化池池体及设备,之后在原址新建五段 AO-MBBR 生化池(平面布置见图 2)。

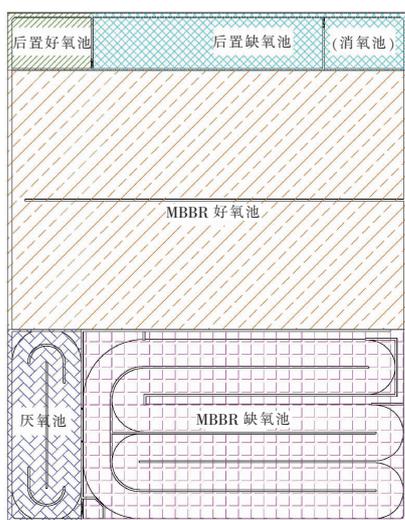


图 2 五段 AO-MBBR 生化池平面布置

Fig. 2 Plane layout of five-stage AO-MBBR biochemical tank

生化池共计 2 座,并联运行,单座设计处理能力为  $2.75 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (考虑 1.1 倍日变化系数),  $1\,146\text{ m}^3/\text{h}$ 。池体内部依次分为厌氧池、MBBR 缺

氧池、MBBR 好氧池、后置缺氧池、后置好氧池,  $\text{HRT}$  分别为 1.5、7.0、13、1.5、0.5 h,总  $\text{HRT} = 23.5\text{ h}$ 。

MBBR 缺氧池 2 座,总有效容积为  $16\,044\text{ m}^3$ ,设计投加缺氧池专用 MBBR 填料  $4\,172\text{ m}^3$ ,填充比为 0.26,池体设计为循环廊道式,单池 6 条廊道,每条廊道配备专用潜水推流器 2 台,  $100\text{ r}/\text{min}$ ,  $1.08\text{ m}$ ,  $4.0\text{ kW}$ ,单池共 12 台。缺氧池出水经不锈钢筛网拦截填料,使缺氧池填料与好氧池填料完全独立,确保反硝化菌和硝化菌始终处于有利生存条件下。

MBBR 好氧池 2 座,总有效容积为  $25\,812\text{ m}^3$ ,投加 MBBR 填料  $7\,744\text{ m}^3$ ,填充比为 0.30,填料比表面积为  $625\text{ m}^2/\text{m}^3$ 。生化池设计污泥浓度为  $3\,600\text{ mg}/\text{L}$ (不包括填料上的生物膜),设计总泥龄为 18 d,最大内回流比为 400%,最大外回流比为 100%,可通过泵开启台数和变频调节回流比。

MBBR 好氧池出水进入后置缺氧池,该池体通过隔墙分为两部分,第一部分为消氧池(好氧/缺氧过渡区),  $\text{HRT} = 0.5\text{ h}$ ,以降低好氧池出水携带的溶解氧,第二部分为后置缺氧池,  $\text{HRT} = 1.0\text{ h}$ ,在进水端投加乙酸钠溶液进行反硝化脱氮。后置缺氧池出水进入后置好氧池,  $\text{HRT} = 0.5\text{ h}$ ,通过曝气消除剩余有机碳,以免出水  $\text{BOD}_5$  超标或沉淀池污泥反硝化上浮。

##### 3.1.3 鼓风机房改造

鼓风机房原有 4 台罗茨鼓风机,本次改造全部更换为高效的空气悬浮鼓风机,  $140\text{ m}^3/\text{min}$ ,  $73.6\text{ kPa}$ ,  $200\text{ kW}$ ,3 用 1 备。

鼓风机房地面和墙面做无尘化处理,并改造进风百叶窗等设施。

##### 3.1.4 加氯间改造

加氯间原采用液氯消毒系统,本次改造为二氧化氯消毒系统,并将原加氯间进行重新分隔,改造为盐酸间、氯酸钠间、加氯设备间、值班室、漏氯吸收装置间等。

主要设备为二氧化氯发生器,有效氯产量为  $20\text{ kg}/\text{h}$ ,2 用 1 备。

##### 3.1.5 污泥脱水间改造

污泥脱水间原有 1 台带式浓缩脱水一体机,本次增加 1 台同规格脱水机,带宽为  $2.5\text{ m}$ ,脱水能力为  $360\text{ kgDS}/\text{h}$ 。根据污泥填埋泥质含水率要求,新增 2 套高压带式污泥深度脱水系统,将污泥含水率降至 60% 以下,处理能力为  $2\text{ t}(80\%\text{ 含水率})/\text{h}$ ,3

kW, 附属设备包括料仓、加药机、混合器等。

### 3.2 新建处理构筑物

#### 3.2.1 周进周出式矩形沉淀池

新建周进周出式矩形沉淀池1座,分为4组,并联运行。单组平面尺寸为46.1 m×11 m,有效水深为4.5 m,设计峰值水量(2 812.5 m<sup>3</sup>/h)时表面负荷为1.35 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),HRT=3.2 h,每组配非金属链条式刮泥刮渣机1台。配水设计和排泥设计是本单体工艺设计的核心。生化池出水经配水闸门后进入变截面入水槽,通过槽底配水孔沿水流方向均匀配水。污泥由池底吸泥管和侧壁的套筒阀进行污泥回流。

#### 3.2.2 新建深度处理间

深度处理间主要包括高密度沉淀池和纤维束滤池两部分。高密度沉淀池设计水量为2 812.5 m<sup>3</sup>/h(按5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,K<sub>z</sub>=1.35计算),1座,内部分为2组,机械混合池、絮凝池HRT分别为2、15 min,斜管沉淀池表面负荷为14 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。纤维束滤池1座,分为6组,单组过滤面积为28 m<sup>2</sup>,设计滤速为17 m/h,采用气水联合反冲洗。加药间内包括PAC、PAM和乙酸钠等3套溶药及加药系统。

#### 3.2.3 新建接触消毒池

本工程采用二氧化氯消毒,在总出水口附近新建接触消毒池1座,分为2组,有效容积为1 410 m<sup>3</sup>,峰值水量时HRT=30 min。

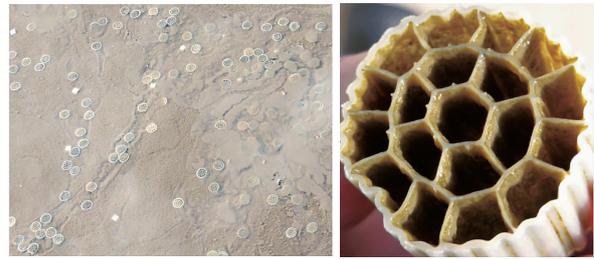
#### 3.2.4 新建除臭系统

新建生物滤池除臭系统,将粗细格栅、曝气沉砂池、污泥储池、污泥脱水间等单体做封闭处理,将上述各点源臭气由引风机吸入生物滤池除臭设备进行处理,设计除臭风量为8 000 m<sup>3</sup>/h,处理后通过排气筒有组织排放。

## 4 运行效果及分析

经2018年秋冬季近4个月的满负荷稳定运行,尤其在较难挂膜的缺氧池中MBBR填料的流化状态和挂膜情况均十分良好(见图3)。出水水质达到了设计指标,COD、氨氮、总氮、总磷等四项主要污染物去除率分别达到了93.1%、98.9%、81.2%、92.6%。

2018年11月—12月平均运行水质如表4所示。可见,该厂2018年进水水质较2015年有明显好转,推测是环保督查对当地违规排污企业治理整顿的效果。



a. 流化状态

b. 挂膜状态

图3 MBBR填料在缺氧池中的状态

Fig. 3 State of MBBR filler in anoxic tank

表4 实际进、出水水质

Tab. 4 Actual influent and effluent quality

mg·L<sup>-1</sup>

| 项目   | COD  | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN   | SS  | TP  |
|------|------|------------------|--------------------|------|-----|-----|
| 设计进水 | 550  | 270              | 60                 | 85   | 300 | 5.5 |
| 实际进水 | 440  | 234              | 53.7               | 65.3 | 210 | 5.4 |
| 实际出水 | 30.4 | 6.1              | 0.57               | 12.3 | 5.6 | 0.4 |

#### 4.1 前缺氧池MBBR生物膜反硝化效果

缺氧池投加MBBR填料后形成泥膜共存状态,活性污泥中和填料生物膜上的反硝化菌共同作用,以11月—12月水质数据为例对两者贡献进行分析。根据投加填料前计算前缺氧池污泥反硝化速率为0.021 kgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/(kgMLSS·d),推算出活性污泥和生物膜反硝化贡献率分别为65%和35%左右,由填料比表面积进一步计算得出生物膜反硝化面积负荷平均为0.44 gNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/(m<sup>2</sup>·d)。

#### 4.2 好氧池MBBR生物膜硝化效果

通过小试分析好氧池MBBR填料硝化负荷及对硝化贡献比例。分析可知,活性污泥和生物膜硝化贡献率分别为51%和49%左右,计算出生物膜硝化面积负荷平均为0.56 gNH<sub>3</sub>-N/(m<sup>2</sup>·d),此硝化面积负荷数值与文献<sup>[5]</sup>中数值较接近。

#### 4.3 后缺氧池反硝化效果

由于实际进水水质较好,BOD<sub>5</sub>/TN接近4且好氧池MBBR填料可发生同步硝化反硝化的SND反应<sup>[6]</sup>,因此后置缺氧池加碳源机会较少,仅有几次,投加乙酸钠溶液后反应迅速,肉眼可见池面有N<sub>2</sub>气泡逸出。

## 5 设计总结及需注意的问题

① 经计算判断原BIOLAK土池结构无保留价值,因此将其拆除后新建钢筋混凝土池体,以免受原有土池结构形式束缚。

② 投加MBBR填料不仅增大了生化池生物

量,更重要的是通过筛网将反硝化菌和硝化菌分别隔离并固定在缺氧池和好氧池内,形成优势菌种并稳定、高效地发挥作用。

③ 必须保证粗、细格栅系统运行良好,否则易造成筛网堵塞,严重时甚至导致生化池溢水。

④ 缺氧池投加 MBBR 填料时应使用专用潜水推流器,在保证填料流化的前提下避免填料和推流器互相破坏。

⑤ 通过对池型、曝气系统及筛网系统的优化设计避免了填料在筛网处堆积,也避免了采用气提回流填料等高能耗方式。

## 6 结语

本提标改造工程针对该厂水质特点及现状,在现场调研并分析的基础上,以五段 AO+MBBR 工艺为核心改造方案。经过调试及实际运行,系统处理出水水质可稳定达到并优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,说明改造方案是成功的。

对于 MBBR 生化池参数设计计算,难点在于泥膜共存条件下填料的硝化和反硝化面积负荷的确定,若不具备现场小试条件,则应慎重选定设计参数。本工程推算出了 MBBR 填料的硝化和反硝化贡献率以及硝化面积负荷与反硝化面积负荷,对类似项目设计参数选取具有借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] 卢东昱,潘志平,张文,等. A<sup>2</sup>/O 百乐克工艺的设计特点及实际运行效果[J]. 中国给水排水,2009,25(24): 49-52.  
Lu Dongyu, Pan Zhiping, Zhang Wen, *et al.* Design characteristics and operation effect of A<sup>2</sup>/O - Biolac process[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(24): 49-52 (in Chinese).
- [2] 陈克玲,罗继武. 百乐克(BIOLAK)工艺优化设计探讨[J]. 中国给水排水,2006,22(22): 55-57.  
Chen Keling, Luo Jiwu. Discussion on the optimal design of BIOLAK process [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(22): 55-57 (in Chinese).
- [3] 王涛. BIOLAK 工艺及其在设计中应注意的问题[J]. 中国给水排水,2003,19(10): 79-80.

Wang Tao. BIOLAK process and problems needing attention in design [J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(10): 79-80 (in Chinese).

- [4] 杨红红,张振东,王学珍,等. 百乐克(BIOLAK)工艺设计中应注意的问题[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2007, 17(2): 84-86.  
Yang Honghong, Zhang Zhendong, Wang Xuezhen, *et al.* Problems should be paid attention to in designing Biolac technology [J]. Journal of Environmental Management College of China, 2007, 17(2): 84-86 (in Chinese).
- [5] 陈小燕. MBBR 及 A<sup>2</sup>/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 A<sup>2</sup>/O in the upgrading and reconstruction of urban wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12): 59-62 (in Chinese).
- [6] 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).



作者简介:刘强(1979- ),男,山西长治人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给排水),注册环保工程师,注册咨询工程师,从事水污染控制领域设计和项目管理工作,以第一发明人获得授权专利 8 项,发表科技论文 9 篇,获得省级优秀工程勘察设计奖 3 项。

E-mail: 13942693420@163.com

收稿日期:2019-01-11