

# 新疆某污水厂氧化沟工艺 MBBR 改造效果分析

肖 宁<sup>1</sup>, 吴辰平<sup>2</sup>, 吴 迪<sup>3</sup>, 管勇杰<sup>3</sup>, 周家中<sup>3</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074; 2. 乌鲁木齐七道湾污水处理厂, 新疆 乌鲁木齐 830001; 3. 青岛思普润水处理股份有限公司, 山东 青岛 266555)

**摘 要:** 新疆某污水处理厂采用 MBBR 镶嵌卡鲁塞尔氧化沟进行一级 A 提标改造, 改造为具有相对独立的缺氧悬浮载体区 and 好氧悬浮载体区的两段 A/O 池型。改造后, 出水 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN 均值分别为 15.2、5.0、0.94、6.73 mg/L, 稳定达到一级 A 标准, MBBR 强化了系统的抗负荷冲击能力和出水稳定性, 并能较好抵御低温的影响。低温下对悬浮载体进行硝化和反硝化小试, 结果表明, 在 10~12℃ 下, 好氧区悬浮载体的硝化负荷达到 0.117 kg/(m<sup>3</sup>·d), 缺氧区悬浮载体的反硝化负荷达到 0.13 kg/(m<sup>3</sup>·d), 表现出较好的处理效果。高通量测序结果显示, *Nitrospira* (硝化螺旋菌属) 是系统内的优势硝化菌群, 其在悬浮载体上的占比为 8.51%, 而在污泥中的占比仅为 1.09%。生化池的电耗为 0.27 kW·h/m<sup>3</sup>, 药剂投加成本为 0.204 3 元/m<sup>3</sup>, 悬浮载体使用寿命大于 15 年, 无需补充悬浮载体。

**关键词:** 移动床生物膜工艺; 卡鲁塞尔氧化沟; 悬浮载体; 低温; 高通量测序; 提标改造

中图分类号: TU992 文献标识码: A 文章编号: 1000-4602(2019)21-0011-06

## Retrofitting Effect of Oxidation Ditch Process by MBBR in a Wastewater Treatment Plant in Xinjiang

XIAO Ning<sup>1</sup>, WU Chen-ping<sup>2</sup>, WU Di<sup>3</sup>, GUAN Yong-jie<sup>3</sup>, ZHOU Jia-zhong<sup>3</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China; 2. Urumqi Qidaowan WWTP, Urumqi 830001, China; 3. Qingdao Spring Water-treatment Co. Ltd., Qingdao 266555, China)

**Abstract:** A Carrousel oxidation ditch process embedded with MBBR was adopted to carry out the upgrading and reconstruction for first level A standard in a wastewater treatment plant (WWTP) in Xinjiang, which was transformed into a two-segment A/O tank with relatively independent anoxic suspended carrier zone and aerobic suspended carrier zone. After retrofitting, COD, BOD<sub>5</sub>, ammonia nitrogen and TN in the effluent were 15.2 mg/L, 5.0 mg/L, 0.94 mg/L and 6.73 mg/L, respectively, which stably met the first level A standard. MBBR enhanced the anti-shock capacity and effluent stability of the system, and could also resist the influence of low temperature. Nitrification and denitrification tests of the suspended carriers were carried out at low temperature. The results showed that the nitrification

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07106005-04); 青岛市民生科技计划项目(18-6-1-100-nsh)

通信作者: 吴迪 E-mail: hitwudi@126.com

load of the suspended carrier in the aerobic zone reached  $0.117 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  and the denitrification load of the suspended carrier in the anoxic zone reached  $0.13 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  at  $10 - 12^\circ \text{C}$ , respectively, which indicated the good treatment effect was obtained. High-throughput sequencing showed that *Nitrospira* was the dominant species in the system, which accounted for 8.51% in the suspended carrier and only 1.09% in the sludge. The consumptions of electricity and chemicals were  $0.27 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$  and  $0.2043 \text{ yuan}/\text{m}^3$  in the biochemical tank, respectively. The service life of the suspended carrier was longer than 15 years, and there was no need to supplement suspended carriers.

**Key words:** MBBR; Carrousel oxidation ditch; suspended carrier; low temperature; high-throughput sequencing; upgrading and reconstruction

国内污水处理厂提标改造过程中,MBBR 由于其镶嵌式的特点可以实现原池提标或提量,得以广泛应用。氧化沟变型多样,且池型复杂,改造方式较多。唐山海港某污水处理厂改造采用改良氧化沟 + MBBR 工艺,不增加池容,通过投加悬浮载体强化耐盐菌的生长和系统的处理能力,在国内首次实现了 MBBR 与氧化沟工艺的完美结合。唐山市丰南区某污水处理厂将原氧化沟外圈连接、内圈连接,形成外沟、内沟式池体布置,外沟作为缺氧区、内沟作为好氧区,改造后,针对池容依旧不足的部分,通过投加悬浮填料增加生物量、改善微生物种类的方式提高容积负荷,使得出水水质由《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的二级标准直接提升至《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。台州市某污水处理厂氧化沟升级改造中保持原池体不变,优先保证反硝化池容,好氧区通过添加悬浮载体来增强硝化能力,使得出水水质由 GB 8978—1996 的二级标准直接提升至 GB 18918—2002 的一级 A 标准。乌鲁木齐某污水处理厂的设计规模为  $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,生化段采用卡鲁塞尔氧化沟工艺,改造前出水水质执行 GB 8978—1996 的二级标准,改造后出水水质需要达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。笔者针对泥膜复合工艺用于该污水处理厂的提标改造,对其升级改造方案、运行效果、节能降耗等进行了分析,以期对其他类似污水处理厂的升级改造提供参考。

## 1 工程概况

### 1.1 提标改造方案及工程设计

本次提标改造充分考虑最大限度开发现有构筑物的潜力,节省工程投资,并做到工艺流程、电控系统与现状工程的整合与衔接,管理方便,运行灵活,

且兼顾远期进一步提标或者提量。鉴于系统的硝化作用差、出水氨氮浓度偏高、TN 去除率低、TP 波动较大,拟采用在氧化沟中嵌入泥膜复合 MBBR 工艺方案,以强化原池生化段的处理效能,同时配合高效沉淀池深度处理工艺保证对 SS 和 TP 的去除效果。

具体改造内容:强化氧化沟的硝化与反硝化脱氮功能,改造为具有相对独立的缺氧悬浮载体区和好氧悬浮载体区的两段 A/O 池型,并增加内回流泵,提高生化系统抗水质冲击能力,如图 1 所示;将现有厌氧池改为投加悬浮载体的缺氧池,并增加悬浮载体区专用搅拌器,充分利用原水碳源进行反硝化;在氧化沟内新建、拆除部分导墙;在池体内后缺氧段设置有机碳源(乙酸)投加管路等设备;更换氧化沟底部曝气管路及曝气头为管式微孔曝气系统;为防止污泥在氧化沟内淤积,在缺氧区廊道内增设推进器与搅拌器;增加高效混凝沉淀深度处理工艺。

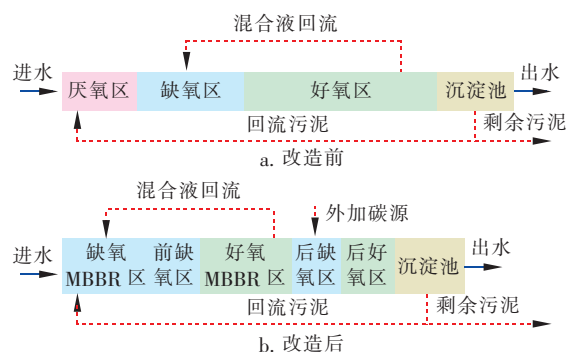


图1 生化池工艺流程

Fig.1 Flow chart of biochemical tank

改造后,设计污泥浓度为  $4 \text{ g/L}$ ,污泥回流比为  $50\% \sim 100\%$ ,混合液回流比为  $100\% \sim 200\%$ 。生化池的设计参数如下:缺氧 MBBR 区的有效池容为  $3938 \text{ m}^3$ ,水力停留时间(HRT)为  $1.35 \text{ h}$ ,有效生物膜面积为  $3.662 \times 10^5 \text{ m}^2$ ;前缺氧区的有效池容为

12 105 m<sup>3</sup>, HRT 为 4.15 h; 好氧 MBBR 区的有效池容为 18 000 m<sup>3</sup>, HRT 为 6.17 h, 有效生物膜面积为 2.232 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>; 后缺氧区的有效池容为 7 145 m<sup>3</sup>, HRT 为 2.45 h; 后好氧区的有效池容为 1 024 m<sup>3</sup>, HRT 为 0.37 h。

本次改造设计进水 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN、TP 浓度分别为 500、180、300、55、70、3 mg/L, 设计出水浓度分别为 50、10、10、5(8)、15、0.5 mg/L。设计碳源投加量为 60 mg/L(以 BOD<sub>5</sub> 计)。

悬浮载体采用 SPR-II 型, 直径为 (25 ± 0.5) mm, 高为 (10 ± 1) mm, 挂膜后密度与水接近, 有效比表面积 > 620 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 符合《水处理用高密度聚乙烯悬浮载体填料》(CJ/T 461—2014) 标准。

## 1.2 硝化与反硝化试验方法

为验证挂膜悬浮载体的硝化和反硝化性能, 进行了小试研究。硝化小试装置容积为 25 L, 采用 SBR 法, 有效容积为 20 L, 悬浮载体取自好氧区, 填充率为 20%, 采用二沉池出水, 并通过配制使氨氮浓度在 25 mg/L 左右。反硝化小试装置容积为 5 L, 悬浮载体取自缺氧区, 填充率为 15%, 采用污水厂进水, 同时投加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 并采用二沉池出水稀释。

## 1.3 分析项目与方法

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N: 纳氏试剂分光光度法; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N: 紫外分光光度法; 碱度: 酸碱指示剂滴定法; COD: 重铬酸钾法; pH 值、DO、ORP、温度: WTW Multi3430 便携式多参数水质分析仪; 高通量测序: 预处理后由美吉生物测试。

## 2 提标改造后系统的运行效果分析

### 2.1 生化系统的处理效果

改造前生化段的进水 COD 和 BOD<sub>5</sub> 均值分别为 418.0、210.7 mg/L, 出水均值分别为 69.0、13.2 mg/L。实测 BOD<sub>5</sub>/TKN(C/N) 平均值为 3.16, 小于理论值 4, 需外投碳源, 因此本次改造需强化氧化沟系统的反硝化脱氮能力, 对于 BOD<sub>5</sub> 也将进一步去除; 出水 COD 浓度与一级 A 标准也存在一定差距, 需强化好氧脱碳能力并辅以深度处理。监测了改造后生化段在 2017 年 7 月—2018 年 3 月的运行效果, 生化系统对有机物的去除效果如图 2 所示。可见, 改造后, 进水 COD 浓度为 132.0 ~ 930.0 mg/L、平均为 458.8 mg/L, 波动较大, 生化系统对 COD 的去除率为 91.07% ~ 98.38%、平均为 96.42%, 出水 COD 浓度为 7.2 ~ 29.6 mg/L、平均为 15.2 mg/L; 进水

BOD<sub>5</sub> 浓度为 52.2 ~ 755.0 mg/L, BOD<sub>5</sub> 去除率为 88.80% ~ 99.94%、平均为 97.39%, 出水 BOD<sub>5</sub> 浓度为 0.2 ~ 9.5 mg/L、平均为 5.0 mg/L, 出水 BOD<sub>5</sub> 和 COD 浓度均满足 GB 18918—2002 的一级 A 标准。改造后系统对有机物的去除能力进一步增强, 主要是因为缺氧区充分利用了原水中的有机物, 且好氧区和缺氧区均投加了悬浮载体, 提高了系统的抗负荷冲击能力。

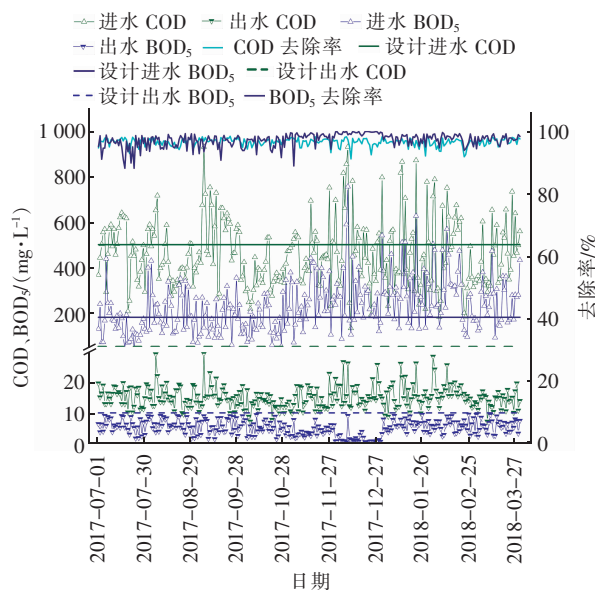


图 2 改造后生化系统对有机物的去除效果

Fig. 2 Removal effect of organic matter in biological system after retrofitting

改造前, 生化段进水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 均值为 58.30 mg/L, 但出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度波动较大, 平均值为 4.14 mg/L, 最大值达到 16.94 mg/L; 进、出水 TN 均值分别为 70.15、20.15 mg/L。改造对 TN 的去除要求较高, 除了要做到 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的完全氧化, 还需要进行反硝化。本工程设计进水的 B/C 值仅为 2.57, 需要外投碳源, 同时, 由于氧化沟现状反硝化能力不足, 在改造中有较大的脱氮压力。改造后生化池对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 TN 的去除效果如图 3 所示。可知, 改造后系统出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度稳定达标, 即使是在全年温度最低的 1 月份 (10.5 ~ 11.2 °C), 出水氨氮平均浓度也低于 1.0 mg/L, 优于国家一级 A 标准; 监测期间 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 平均进水、出水浓度分别为 48.50、0.94 mg/L, 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的平均去除率为 98.02%。可见悬浮载体的使用大大提高了系统对氨氮去除性能的稳定性, 尤其能够较好地抵御低温的不利影响。



改造中将现有厌氧池改为投加悬浮载体的缺氧池,增加悬浮载体区专用搅拌器,最大程度充分利用原水碳源,提高反硝化脱氮,并提高了内回流比,强化了TN去除效果,进一步在后缺氧段投加有机碳源,降低第一级好氧出水所携带的硝态氮。改造后脱氮效果明显,TN平均去除率为92.52%,出水TN平均浓度为6.73 mg/L。

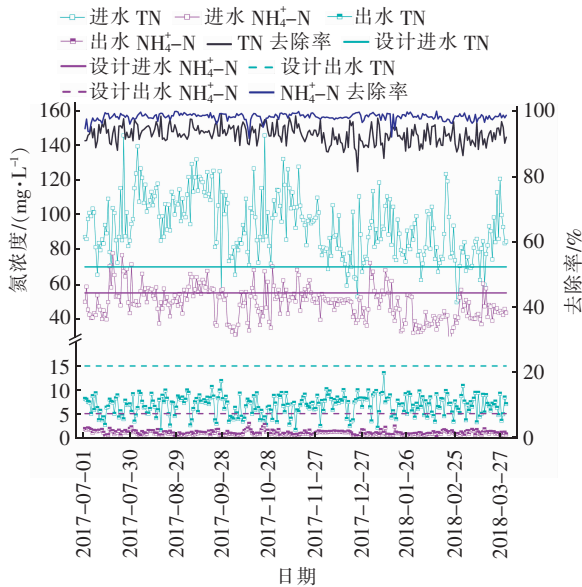


图3 改造后生化池的脱氮效果

Fig. 3 Nitrogen removal effect of biological tank after retrofitting

## 2.2 悬浮载体生物膜的硝化及反硝化性能

在低温条件下好氧区悬浮载体生物膜的硝化性能如图4所示,小试期间水温从12.1℃降至10.2℃。运行3.5 h时,氨氮浓度降至约5 mg/L,运行至4.5 h时,氨氮浓度可降至1 mg/L以下,整个小试期间 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除容积负荷达到 $0.117 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。随反应时间的增加, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度呈线性下降趋势,而 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度呈线性上升趋势。可见,在低温条件下,悬浮载体生物膜仍有较高的硝化能力。山西某污水处理厂的悬浮载体在6~8℃下硝化负荷高达 $0.202 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (50%的填充率)<sup>[1]</sup>,而本研究中悬浮载体的填充率仅为20%,按填充率换算,本研究的硝化负荷是其1.45倍。

在低温条件下缺氧区悬浮载体生物膜的反硝化性能如图5所示,小试期间水温从11.8℃降至9.7℃。试验当日取生化池进水实测COD浓度为224.87 mg/L,BOD<sub>5</sub>浓度为88.32 mg/L,投加硝酸

盐使进水C/N值(不考虑进水中的氨氮)符合进水设计值。小试期间反硝化容积负荷达到 $0.13 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。随着反应时间的增加,COD和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度均呈线性下降趋势。可见,在较低的水温下,MBBR工艺对有机物和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 仍有较高的去除率。因此,在低温条件下利用悬浮载体能够有效提升活性污泥系统的反硝化脱氮能力<sup>[2]</sup>。

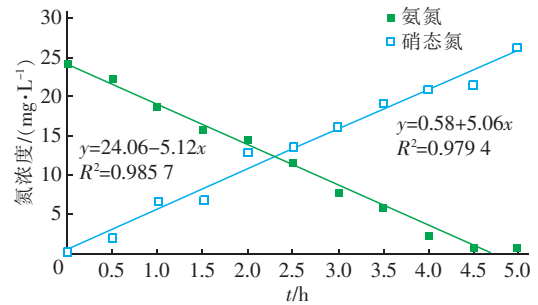


图4 好氧区悬浮载体生物膜的硝化效果

Fig. 4 Nitrification effect of suspended carrier biofilm in aerobic zone

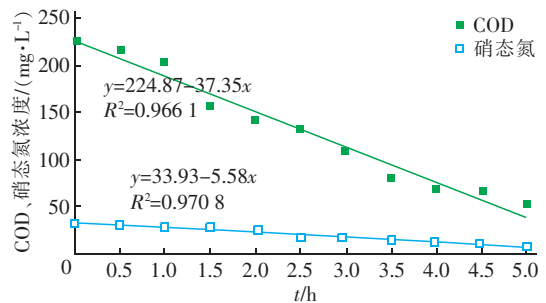


图5 缺氧区悬浮载体生物膜的反硝化效果

Fig. 5 Denitrification effect of suspended carrier biofilm in anoxic zone

## 2.3 微生物分析

本研究采用高通量测序法,基于Illumina MiSeq平台,对系统中悬浮相和附着相(载体生物膜)的微生物多样性进行监测和分析,分别取好氧区挂膜悬浮载体和好氧区污泥以及缺氧区挂膜悬浮载体进行高通量测序,结果如图6所示。可以看出,*Nitrospira*(硝化螺旋菌属)是整个好氧区悬浮载体生物膜上的优势脱氮菌群,这与Yan等人<sup>[3]</sup>研究发现稳定的硝化作用反应器中活性微生物均属于*Nitrospira*的结果一致。值得注意的是,对硝化起关键作用的*Nitrospira*在附着相中占比为8.51%,而在悬浮相中占比仅为1.09%,这与顾佳艳等人<sup>[4]</sup>的研究结果类似。Onnis-Hayden等人<sup>[5]</sup>对生物膜与活性污泥复合工艺中悬浮相和附着相上的硝化菌数量及活性进行

了研究,结果发现,大部分硝化菌生长在附着相,其硝化活性主要源自附着相中硝化菌的代谢作用。

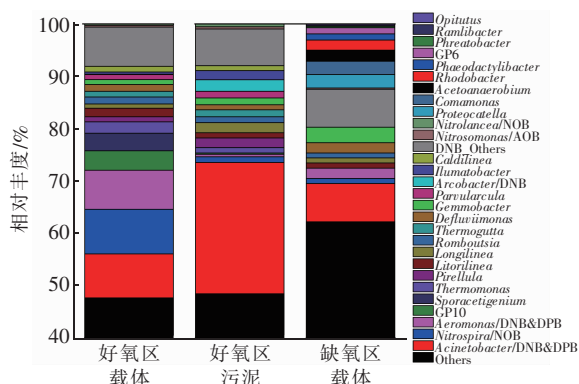


图 6 属水平物种相对丰度

Fig. 6 Relative abundance distribution at genus level

此外,对好氧区悬浮载体生物膜和活性污泥进行了生物量测定,两者的 MLSS 分别为  $13.16 \text{ g/m}^2$ 、 $4.06 \text{ g/L}$ , MLVSS 分别为  $11.21 \text{ g/m}^2$ 、 $2.96 \text{ g/L}$ 。结合悬浮载体生物膜和活性污泥中的硝化菌丰度进行核算,确定系统中悬浮载体上的硝化菌数量占比为 82.7%,说明附着生长对硝化优势菌种有着良好的聚集作用,最终表现为泥膜复合系统能够强化硝化过程。

*Aeromonas* (气单胞菌属) 在附着相中和悬浮相中的占比分别为 7.46% 和 0.47%。该菌属于需氧菌或兼性厌氧菌,对营养物质要求不高,在冬季进水 COD 浓度较低的污水处理系统中,该菌属都占据较大的优势地位,因而对污染物的去除作用甚大。罗国维等人<sup>[6]</sup>研究表明在好氧条件下此类菌对有机物有较强的降解能力。气单胞菌属和硝化螺旋菌属是系统正常运行的标志,是保持良好且稳定的处理效果的关键因素。

缺氧区悬浮载体附着相中的优势菌属有 *Acinetobacter* (不动杆菌属)、*Aeromonas* (气单胞菌属)。已有研究表明,*Acinetobacter* 是除磷过程的重要微生物<sup>[7]</sup>,但也有报道称该菌属在污水除磷系统中含量较低,可能不是重要的除磷功能菌<sup>[8]</sup>。*Aeromonas* 是耐低温菌,其在冬季低温条件下也能稳定存在<sup>[9]</sup>,具有反硝化能力,可以将硝态氮还原为气态氮排出系统而达到脱除 TN 的目的<sup>[10]</sup>。

#### 2.4 生产成本分析

污水处理厂的能耗与污水处理规模、处理工艺及污水处理厂的设计等因素有关,其中电耗和药耗

是主要能耗来源。生化池原有搅拌器 8 台、单台功率为 5.2 kW,缺氧区有搅拌器 8 台、单台功率为 7.5 kW,新增搅拌器 6 台、单台功率为 5.5 kW,鼓风机 3 用 1 备、单台功率为 280 kW,则年电费约为 358.7 万元,电耗为  $0.27 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ 。生化池投加的药剂主要为商品碳源,该项目选取乙酸作为碳源,药剂投加成本为  $0.2043 \text{ 元/m}^3$ ,年成本为 521.98 万元。所用悬浮载体使用寿命大于 15 年,且使用过程中无流失和破损,世界上首座 MBBR 污水厂已运行超过 25 年,无需悬浮载体补充。则生化池的电耗和药耗总计为 880.68 万元/年。

### 3 结论

① 采用镶嵌 MBBR 的方式对卡鲁塞尔氧化沟进行一级 A 提标改造,改造完成后,出水 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN 均值分别为 15.2、5.0、0.94、6.73 mg/L,去除率分别为 96.42%、97.39%、98.02%、92.52%,相关指标稳定达到且优于一级 A 标准,表明泥膜复合系统的抗负荷冲击能力强、出水水质稳定性好。

② 低温环境下悬浮载体生物膜仍具有较高的去除负荷,在温度为 10~12℃ 的条件下,好氧区悬浮载体的硝化负荷达到了  $0.117 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,缺氧区悬浮载体的反硝化负荷达到了  $0.13 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,悬浮载体对低温条件下系统出水水质的稳定达标起到了重要作用。

③ 系统内的优势硝化菌群为 *Nitrospira*,其在附着相中的占比为 8.51%,而在悬浮相中的占比仅为 1.09%,表明悬浮载体对硝化菌种有着良好的富集效果。

④ 改造后,生化池的电耗为  $0.27 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ,药剂投加成本为  $0.2043 \text{ 元/m}^3$ ,所用悬浮载体使用寿命大于 15 年,无需补充悬浮载体。

### 参考文献:

- [1] 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).
- [2] Mannina G, Viviani G. Hybrid moving bed biofilm reactors: an effective solution for upgrading a large

- wastewater treatment plant [J]. *Water Sci Technol*, 2009, 60(5): 1103 – 1116.
- [3] Yan T, Fields M W, Wu L, *et al.* Molecular diversity and characterization of nitrite reductase gene fragments (nirK and nirS) from nitrate- and uranium-contaminated groundwater [J]. *Environ Microbiol*, 2003, 5(1): 13 – 24.
- [4] 顾佳艳, 何国富, 林楠. 固定膜 – 活性污泥系统细菌多样性及脱氮关键菌研究 [J]. *环境工程*, 2016, 34(8): 36 – 39.
- Gu Jiayan, He Guofu, Lin Nan. Study on bacterial diversity and key denitrification bacteria in integrated fixed-film activated sludge system [J]. *Environmental Engineering*, 2016, 34(8): 36 – 39 (in Chinese).
- [5] Onnis-Hayden A, Majed N, Schramm A, *et al.* Process optimization by decoupled control of key microbial populations: distribution of activity and abundance of polyphosphate-accumulating organisms and nitrifying populations in a full-scale IFAS-EBPR plant [J]. *Water Res*, 2011, 45(13): 3845 – 3854.
- [6] 罗国维, 杨丹菁, 林世光. 投菌生物接触氧化法处理洁霉素废水的机理研究 [J]. *环境科学*, 1994, 15(6): 20 – 22.
- Luo Guowei, Yang Danjing, Lin Shiguang. Study on the mechanism of the bacteria-added biological contact oxidation process in the treatment of wastewater from jiemycin production process [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 1994, 15(6): 20 – 22 (in Chinese).
- [7] Carr E L, Kämpfer P, Patel B K, *et al.* Seven novel species of *Acinetobacter* isolated from activated sludge [J]. *Int J Syst Evol Microbiol*, 2003, 53(Pt 4): 953 – 963.
- [8] Bond P L, Erhart R. Identification of some of the major groups of bacteria in efficient and nonefficient biological phosphorus removal activated sludge systems [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1999, 65(9): 4077 – 4084.
- [9] 张栋俊. 泥膜共生多级 A/O 工艺特性及脱氮除磷效能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- Zhang Dongjun. Characteristics and Biological Nutrient Removal of Process Combining Multistage A/O with Biofilm [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015 (in Chinese).
- [10] Minana-Galbis D, Farfan M, Fuste M C, *et al.* *Aeromonas molluscorum* sp. nov., isolated from bivalve molluscs [J]. *Int J Syst Evol Microbiol*, 2004, 54(Pt 6): 2073 – 2078.



作者简介: 肖宁 (1977 – ), 男, 天津人, 本科, 高级工程师, 注册咨询工程师, 主要从事城市供水与污水处理工程设计及研究工作。

E-mail: xiaoning00@cemi.com.cn

收稿日期: 2019 – 03 – 29

节约用水, 人人有责