

## 绿色环保

## 北方某大型市政污水处理厂提标改造工程实践

麻倩

(北京恩菲环保股份有限公司, 北京 100038)

[摘要] 北方某污水处理厂原采用 AAO 工艺,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级 A 标准。为降低对水体污染,出水的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 指标需提高到《地表水环境质量标准》中的 V 类水体标准。因出水标准提高,须进行提标改造。进出水指标对比表明,提标改造应重点关注  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 两项指标。为此,在不新建构筑物的条件下,在原好氧池部分廊道投加 MBBR 填料,并将 AAO 池重新分区改造为五段式 AO 工艺,同时进行了鼓风机房、曝气系统、污泥脱水系统等的改造。改造后,出水水质各项指标稳定达标,表明工艺具有较强的稳定性及抗冲击性。

[关键词] 提标改造; 五段 AO 工艺; MBBR; 准 V 类水; 污水处理

[中图分类号] X703

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2022)02-0061-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.02.015

## 0 前言

北方某污水处理厂设计规模为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地面积约  $16.14 \text{ hm}^2$ 。该工程始建于 2013 年,采用“AAO + 二沉池 + 混合反应沉淀池 + V 型滤池”工艺,原设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准。根据当地水污染防治领导小组文件,要求在 2020 年年底,城镇污水处理设施外排污水的化学需氧量、氨氮、总磷三项指标满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的 V 类水体标准,其余水质指标仍执行国标一级 A 标准。因出水标准提高,原设计无法满足要求,为此对污水厂进行提标改造。以该厂提标改造工程设计为例,从工艺设计、新旧工程结合、改造后的运行效果等几个角度出发进行探讨。

## 1 改造前工程概况

## 1.1 实际处理水量及进、出水水质

该厂原设计总规模  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,目前已满负荷运行。为保证设计满足新出水水质标准,对改造前实际进、出水水质进行了分析,提标前、后设计进出水水质及提标前实际进出水水质情况见表 1。

由表 1 可看出:1)该厂 95% 覆盖率实际进水各项指标均已超出原设计进水指标,即使是 85% 覆盖率实际进水,其 SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 指标也不同程度超出原设计进水。因此结合近年实际进水水质,确定了本次提标改造工程的设计进水指标;2)虽然实际进水指标超出原设计进水指标,但就 95% 覆盖率实际出水指标而言,原设计抗波动能力较强;对比提标前、后出水指标, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 两项指标需重点关注。

## 1.2 改造前工艺流程

改造前工艺流程如图 1 所示。

污水处理主体工艺为“预处理 + AAO + 混凝过滤”。AAO 总水力停留时间 19.6 h,泥龄 20 d,污泥负荷  $0.077 \text{ kgBOD}/\text{kgMLSS}$ 。混凝反应池水力停留时间 28 min,斜板沉淀清水区上升流速  $1.8 \text{ mm}/\text{s}$ 。V 型滤池最大流量滤速  $6.4 \text{ m}/\text{h}$ ,强制滤速  $6.8 \text{ m}/\text{h}$ 。鼓风

[收稿日期] 2021-10-28

[作者简介] 麻倩(1987—),女,硕士,工程师,研究方向为水处理技术。

[引用格式] 麻倩.北方某大型市政污水处理厂提标改造工程实践[J].有色冶金节能,2022,38(2):61-65.

表 1 提标前后实际与设计进、出水水质

项目	COD <sub>Cr</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	BOD/mg·L <sup>-1</sup>	SS/mg·L <sup>-1</sup>	NH <sub>3</sub> -N/mg·L <sup>-1</sup>	TN/mg·L <sup>-1</sup>	TP/mg·L <sup>-1</sup>
提标前设计进水	500	250	220	49	56	6
提标前设计出水	50	10	10	5(8)	15	0.5
改造前 95% 覆盖率进水	575	272	578	64.7	80.1	9.1
改造前 95% 覆盖率出水	26	1.9	4	3.9	12.3	0.37
改造前 85% 覆盖率进水	484	219	408	59.3	75	7.8
改造前月均进水	360	171	282	51.1	68	6.4
改造前月均出水	16	1.4	2.6	1.8	9.1	0.13
提标后设计进水	500	250	500	65	80	8
提标后设计出水	40	10	10	2	15	0.4

注:括号外数值为水温 > 12 ℃ 时的控制指标,括号内数值为 ≤ 12 ℃ 时的控制指标

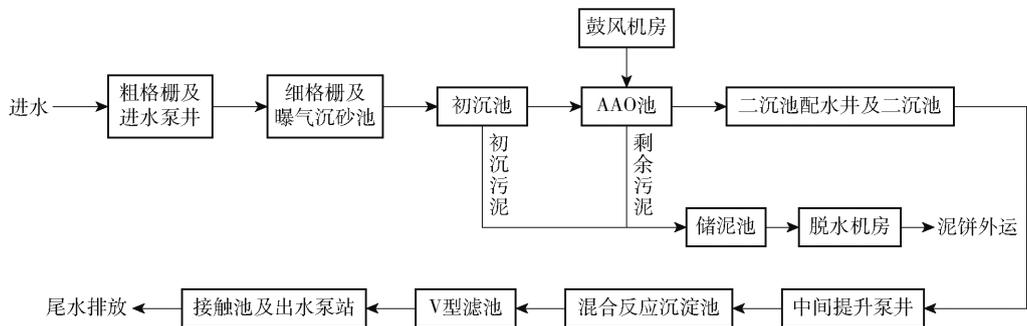


图 1 改造前污水处理厂工艺流程图

机房配套满足  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模,风机形式为多级离心,单台风量  $195 \text{ m}^3/\text{min}$ ,共 6 台。

## 2 提标改造方案分析

本项目在可利用占地面积有限、实际进水水质超出原设计进水水质、并尽可能减弱改造工程对污水处理厂正常运行造成的影响的情况下,主要面临出水水质标准提高的问题,同时还应核算因进、出水水质的变化对曝气系统、污泥脱水系统带来的影响。

1) 经对比实际进出水水质与设计进出水水质,需重点关注的污染物指标为氨氮含量。该厂改造前出水氨氮含量无法满足新出水水质标准。以该厂 95% 覆盖率实际进水水质、提标改造后设计出水水质核算现有生化池的情况,总池容及各区水力停留时间不满足要求。基于此,为实现氨氮的达标排放,可采用的措施主要有:①扩建生物池,增加原有生物池有效池容;②新建曝气生物滤池,将部分氨氮的去除“后置”;③在现有生物池池体内投加填料,将原 AAO 工艺改造为 MBBR 工艺。

MBBR 工艺中的填料具有较大比表面积,为微生物提供了良好的生长繁殖环境,生长在填料上的

微生物泥龄长,不受水力停留时间的影响,有利于世代时间较长的硝化菌生长繁殖,增强系统的硝化能力,从而提高氨氮的去除率<sup>[1]</sup>,故针对出水的氨氮达标提高,可采用 MBBR 工艺<sup>[2]</sup>。此外,前两个措施涉及新建土建设施,具有工期较长、工程投资较高、水力高程相对复杂、占用未来可能的再次提标用地等缺点,而将原 AAO 工艺改造为 MBBR 工艺施可实现不停水改造<sup>[3]</sup>。综上,MBBR 工艺对污水处理厂正常运行带来的影响最小,是反应器升级改造的较优选择<sup>[4-5]</sup>。

另外,需要进一步提高生物系统反硝化脱氮能力,为 TN 稳定达标提供保障。结合工程实际,基于提高原二级处理系统脱氮除磷能力以及节约碳源的目的,在核算总水力停留时间的基础上,通过对原有生化系统重新分区,将其改造为五段式 AO 工艺,强化生物脱氮效果<sup>[6]</sup>。

2) 基于以上生化池的主体工艺改造思路,经核算,原有曝气系统和回流系统无法满足要求,故需对原有曝气系统、内回流系统做相应改造。

3) 结合该厂 95% 覆盖率实际出水 TP 指标、原有工艺路线和工艺参数,TP 的达标压力不大,仅需在实际运行中合理控制加药量即可,增加的单位成

本基本可以忽略<sup>[7]</sup>。

4)由表1可知,实际进水SS、COD<sub>Cr</sub>、TN、TP等指标超出原设计进水指标,根据实际进水统计调整相应的设计进水指标,重点核算生化系统设计参数。

5)改造前该厂污泥脱水系统已超负荷运行,结合本次新的出水标准,经核算,原有污泥脱水系统处

理能力偏低,无法满足要求,需对污泥脱水系统进行相应改造。

### 3 改扩建工程工艺设计

#### 3.1 改扩建工程工艺流程

经上述方案分析,改造后的工艺流程如图2所示。

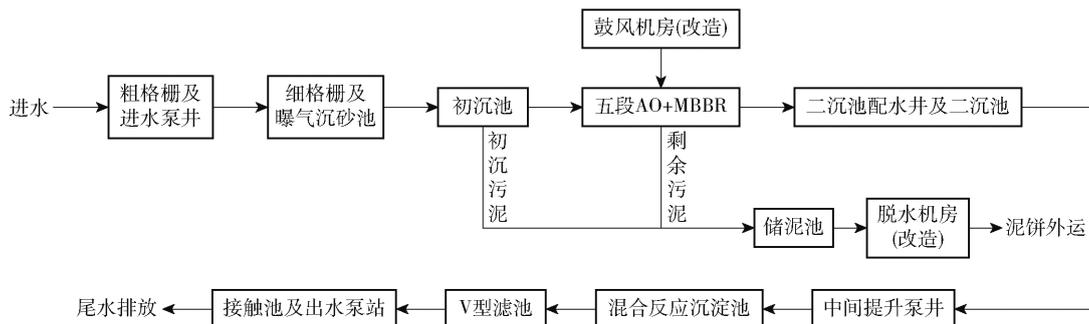


图2 污水处理厂提标改造后工艺流程图

#### 3.2 主要改造建筑物工艺设计

##### 3.2.1 生物池

本次改造保持原生化池厌氧区、回流污泥及反硝化区、缺氧区的原状和功能,原好氧区前3条廊道仍作为好氧区,将第4条廊道大部分改造为后置缺氧区,该条廊道剩余部分改造为后置好氧区。在划分后的好氧区前2条廊道内投加填料,提高容积负荷,并于第2条廊道末端设拦截筛网,于前两条廊道内道间隔墙增开过水洞,增设曝气系统与搅拌装置等辅助流化设施,保证填料总体处于循环流态,提高填料与水流的有效接触反应时间。改造后碳源可投加于后置缺氧区,提高碳源利用率。同时,因功能区的重新划分,需对内回流点做出相应调整,将其改至改造后的好氧区末端。

改造后的生化池预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、后置缺氧区、后置好氧区的水力停留时间分别为1.6 h、1.6 h、6.1 h、7.7 h、2.1 h和0.5 h。设计气水比7.8,设计污泥浓度4~4.5 g/L(不含填料换算污泥浓度),设计内回流比200%,外回流比100%。以好氧区计填料投加比为17%,填料有效生物膜面积 $8.8 \times 10^6 \text{ m}^2$ ,有效比表面积 $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。新增填料区专用搅拌器8台,单台功率5.6 kW,新增后缺氧区搅拌器16台,单台功率3.5 kW。新增MBBR工艺配套不锈钢粗孔曝气管16套,新增微孔曝气盘2 800套(单盘通量 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , $\Phi 268 \text{ mm}$ )。新增出水填料拦截装置4套( $b=3 \text{ mm}$ , $\Phi 16 \text{ mm}$ ),配套自清洗系统。

##### 3.2.2 鼓风机房

原有6台多级离心风机目前工况良好,本次改

造予以保留。因气水比由原设计的6.9增大至7.8,且原有鼓风机房内已无空间增加风机,在原鼓风机房旁另新建鼓风机房。新建鼓风机房尺寸为 $18 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ ,设3个机位,暂新增2台空气悬浮式鼓风机,单台风量 $225 \text{ m}^3/\text{min}$ ,风压 $H=7.5 \text{ mH}_2\text{O}$ , $N=330 \text{ kW}$ 。改造后共8台风机,6用2备。

##### 3.2.3 污泥脱水机房

因现实际进出水水质较原设计发生较大变化(提标改造工程设计泥量较原设计多 $16 \text{ tDS/d}$ ),原设计污泥脱水系统已满负荷运行,本次另新建污泥脱水机房,尺寸为 $30 \text{ m} \times 17.4 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 。另外,考虑到除臭要求及占地紧张等因素,本次脱水机形式采用离心脱水机,新建脱水机房内设3个机位,暂新增2台离心机及其配套进泥泵、切割机、加药设备等,单台离心机进泥量 $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ,设计污泥含固率2%,主机功率110 kW,辅机功率30 kW,转鼓直径670 mm,长径比4.0。

### 4 运行效果

经改造后1年的满负荷运行,生化池MBBR填料的流化状态和挂膜情况均十分良好,出水水质全面、稳定达到了设计指标。该厂近1年实际出水水质见表2。

由表2并结合表1可看出:1)氨氮去除率由改造前的96.5%提高到99.0%,95%覆盖率实际出水的氨氮含量由改造前的 $3.9 \text{ mg/L}$ 降低为改造后的 $1.1 \text{ mg/L}$ ,达到了改造目标;在冬季,出水氨氮均值由改造前的 $1.5 \text{ mg/L}$ 降低为改造后的 $0.35 \text{ mg/L}$ ,

表2 改造前、后实际出水水质对比

项目	COD <sub>Cr</sub> /	BOD/	SS/	NH <sub>3</sub> -N/	TN/	TP/
	mg·L <sup>-1</sup>	mg·L <sup>-1</sup>	mg·L <sup>-1</sup>	mg·L <sup>-1</sup>	mg·L <sup>-1</sup>	mg·L <sup>-1</sup>
改造后 95% 覆盖率出水	21	2	3	1.1	12.3	0.27
改造前冬季(12—3月)出水均值	13.0	1.3	2.4	1.5	10.4	0.2
改造后冬季(12—3月)出水均值	13.6	1.5	2.3	0.35	9.9	0.13
改造前各指标去除率/%	95.6	99.2	99.1	96.5	86.6	98.0
改造后各指标去除率/%	95.4	99.0	99.0	99.0	84.3	98.2

注:(1)去除率以全年平均进出水水质浓度计;(2)本项目冬季平均水温为12.6℃。

证明了工艺的抗冲击性较强;改造前冬季出水的氨氮含量均值与95%覆盖率出水的氨氮含量相差2.1 mg/L,改造后两者差值仅为0.75 mg/L,证明了工艺的稳定性;MBBR工艺在提升系统氨氮处理能力方面的效果达到了设计目的;2)COD<sub>Cr</sub>、BOD、SS、TP这四项指标改造后去除率与改造前去除率相差无几,一方面是由于这几项指标在改造前基本满足设计出水标准,并非本次改造所重点针对的指标,另外这几项指标是满足出水达标排放并考虑进水中各污染物组分等前提下污水厂经济运行的“平衡点”;3)TN去除率虽由改造前的86.6%略降低至改造后的84.3%,但改造后较改造前节约了碳源投加量约25 mg/L(30%液体乙酸钠计),这得益于五段式AO工艺较高的脱氮效率,活性污泥段强化了总氮的去除<sup>[8]</sup>。

## 5 工程特点

1)通过提前预制安装拦截系统和MBBR填料模块,创新采用水下设备安装及混凝土切割手段,合理安排施工计划、采用合理施工措施,实现对污水处理厂不停水改造。本项目主体工程施工周期仅约3个月,改造期间该厂基本未发生减产。

2)在不新建二级处理工艺或深度处理工艺土建设施的情况下,通过充分挖潜原有生化池并对其进行合理化改造,强化其脱氮除磷能力,减少新增占地,在保证出水各项指标稳定达标的前提下,节省运行成本。

3)在原生化池好氧区投加填料时,在投加填料的廊道内道间隔墙增开过水洞,采用填料区专用搅拌器,在保证填料优化的前提下避免填料和搅拌器互相破坏;采用专用填料拦截筛网并配套清洗设施,有效避免填料区填料流失或在筛网区堆积。

## 6 结论

1)针对本提标改造工程,在保证占地面积和处理规模不变,且不新建构筑物的前提下,通过将核心

工艺由AAO改造为五段AO-MBBR工艺,实现了尾水水质稳定达标。改造后实际运行数据表明,本项目所采用工艺的抗冲击性、稳定性均较强;尤其对于冬季,当项目所在地最低平均水温仅为12.6℃时,五段AO-MBBR工艺有效提高了二级处理系统的硝化能力。

2)本工程总投资约1.4亿元,单位经营成本较改造前增加0.36元/m<sup>3</sup>,改造后碳源投加量较改造前减少了约25 mg/L。

3)本工程设计在各方面细节之处均进行了研究、论证,在保证出水水质稳定达标的前提下,充分利用或改造现有设施,节约了工程投资和占地,突出了环境和经济效益,可为同类提标改造工程的设计提供借鉴。

### [参考文献]

- [1] 杨玉旺. 移动床生物膜反应器处理污水的研究应用进展[J]. 工业水处理, 2004, 24(2): 12-15.
- [2] 高伟楠, 周川, 纪海霞, 等. MBBR用于呼市某污水处理厂提标改造工程的设计与运行[J]. 中国给水排水, 2019, 35(10): 53-59.
- [3] 张豪. 污水处理厂不停水施工设备安装探讨[J]. 河北建筑工程学院学报, 2020, 38(1): 85-90.
- [4] 季民, 杨造燕, 薛广宁, 等. 移动床生物膜反应器在污水处理中的应用研究[J]. 城市环境与城市生态, 2000, 13(3): 47-53.
- [5] 赵永芳. 生物化学技术原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [6] 刘强. 五段AO+MBBR工艺应用于污水处理厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2019, 35(16): 53-56.
- [7] 姜晓华, 宋德安, 董萌青, 等. 一级A污水处理厂提标改造可行性分析: 以青岛市某污水处理厂为例[J]. 环境工程, 2019, 37(8): 58-65.
- [8] 刘强, 王泰, 沈淳, 等. MBBR工艺用于污水厂提标改造的低温运行效果[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 7-12.

## Upgrade Practice of a Large-scale Municipal Wastewater Treatment Plant in Northern China

MA Qian

**Abstract:** A wastewater treatment plant in northern China adopted the AAO process in the past to ensure that the outlet water was in compliance with the first-level A standard regulated in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant*. Now, to reduce pollution to water body, indicators of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP in the outlet water should be improved to comply with the Grade V water standard stipulated in *Environmental Quality Standards for Surface Water*. Due to the improvement of effluent standards, the sewage plant needs to be upgraded. Comparison of influent and effluent indexes showed that  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP should be focused on. Without adding new structures, MBBR packing is applied to partial gallery of the original oxic tank and AAO tanks were rezoned for 5-stage AO process. In the meantime, the blower room, aeration system, sludge dewatering system and other systems were also upgraded. After upgrade, After the transformation, the indexes of the effluent reached the standard stably, indicating that the process had strong stability and impact resistance.

**Key words:** upgrade; 5-stage AO process; MBBR; Grade V water; sewage treatment

(上接第44页)

## Experimental Study on Zero Discharge of Carbon Dross from Pre-baked Anode Aluminum Electrolytic Cell

LIU Chi, GUO Bin, ZHANG Wei-nan, QU Jian-hua

**Abstract:** Carbon dross is a hazardous solid waste produced in aluminum electrolytic cell production. A combustion test of carbon dross in Muffle furnace has been conducted. The test results show that when no covering material is added, carbon dross is barely combustible at the temperature of below  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; at  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , carbon dross starts to be combusted; at  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , it takes 5 h for full combustion of carbon dross; at the temperature of above  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , only 2 h is needed for full combustion of carbon dross, and the electrolyte in carbon dross is molten and becomes coked after cooling. In case of adding covering material, both carbon dross and covering material have no change at the temperature of below  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; at  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  with the combustion lasting 8 h, carbon dross takes on grey white and is completely combusted; at the temperature of above  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , carbon dross speeds up combustion and is fully combusted after 5 h; at the temperature of above  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  with the combustion lasting for more than 3 h, carbon dross and covering material are molten and bond with each other, resulting in lower oxygen concentration and hindering carbon combustion. The pre-baked anode of electrolytic cell can provide the temperature and oxygen conditions required for carbon dross combustion. Carbon dross on the replaced anode can be combusted completely by using the heat energy released by the anode. The practical application in high and low lithium salt electrolyte system aluminum electrolysis series has proved that zero discharge of carbon dross can be realized by carbon dross combustion.

**Key words:** aluminum electrolytic cell; carbon dross combustion; pre-baked anode; zero discharge