

内蒙古某污水厂一级A提标改造工程设计及运行

沈冬梅¹,高玉兰¹,汪万芬¹,宋新伟¹,余才锐¹,褚敬松²

(1. 皖西学院 建筑与土木工程学院,安徽 六安 237012;
2. 湖南城市学院 规划建筑设计研究院北京海淀分院,北京 100089)

摘要:我国北方冬季因气温较低,往往造成污水处理厂除氮效果不佳,出水水质较差,仅能达到一级B标准。为提升污水处理能力,实现水资源的可持续发展,需要对原污水处理厂进行提标改造。以内蒙古某污水处理厂为例,综合考虑其原水进水中化学需氧量(COD)、悬浮物(SS)指标高,以及冬季屠宰废水流量剧增等因素,选用“A/A/O-MBBR+高效沉淀池+连续砂滤池”的工艺对污水厂进行改造;投入使用后,污水处理厂运行良好,脱氮除磷及降低SS效果明显,出水水质达到一级A标准,年节约费用220余万元。

关键词:提标改造;低温;A/A/O-MBBR;一级A

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

文章编号:1671-5322(2020)02-0007-06

生物脱氮是最常用的污水处理方法。有研究表明,生物脱氮过程中的硝化作用会受到温度的严重影响,尤其是受温度冲击的影响更加明显^[1]。温度不仅影响硝化菌的生长,而且影响硝化菌的活性。Sudarno等^[2]考察了温度变化对硝化作用的影响。结果表明,当温度从12.5℃升至40℃时,氨氧化速率增加;当温度下降至6℃时,硝化菌活性很低。通常,我国北方冬季水温约为10℃,南方由于不供暖,冬季水温在6~10℃,与硝化及反硝化功能菌群的适宜生长温度相差较大,因此,由于冬季气温较低导致生物脱氮处理效果降低甚至无法达标的案例较为常见^[3]。

为实现国家节能减排目标,越来越多的城市污水处理厂排放标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级B标准提升为一级A或者更高标准,氨氮和总氮的准排放限值分别由8 mg/L和20 mg/L降至5 mg/L和15 mg/L^[4]。本工程中的污水处理厂位于内蒙古某市,为缓解当地水资源短缺问题,提高水资源的可持续利用,计划将污水处理厂出水回用,用作该市电厂和露天煤矿的工业用水,这对该污水处理厂的出水标准提出了新的要求。该地常年气温较

低,加上冬季原水中屠宰废水比例较大,严重影响污水中氮的去除,污水处理出水一直达不到一级A标准,污水厂急需提标改造。本文以该污水处理厂提标改造为例,根据进水水质特点,进行工艺方案比选;通过设计、施工、运行,分析污水处理厂脱氮除磷的实际效果;最后,对项目运行费用进行经济分析。

1 污水厂概况、工艺及存在问题

1.1 污水厂概况

某污水处理厂位于内蒙古中部,属中温带半干旱大陆性气候,年均气温1.7℃,年均降水量287.2 mm,地表水系不发育,主要供水含水层为第四系上更新统砂、砂砾石、泥沙砾石层,贮存孔隙潜水,属于资源短缺型缺水地区。

自运行以来,污水处理厂进水规模一直未达到预期 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的设计规模。进水中含有大量屠宰废水,SS含量高,污染物种类较为复杂,主要污染物指标大大超过原设计值,再加上该地区常年温度较低,脱氮效果差,污水处理厂出水水质仅能达到文献[4]中的一级B标准。

该地常年低温少雨,水资源紧缺,为实现水资

源可持续发展,污水处理厂的出水将作为再生净水厂的水源,为该市电厂和露天煤矿提供工业用水。因此,污水处理厂急需升级改造,提高出水标准至一级 A^[5-9]。

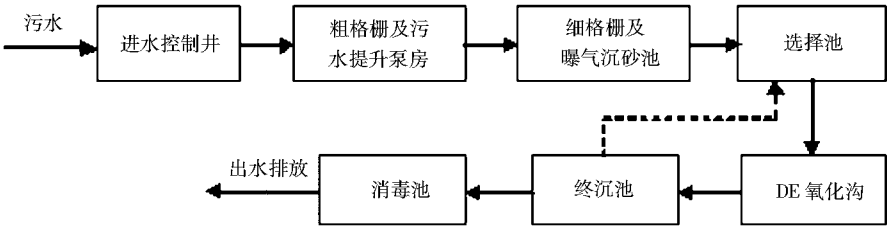


图 1 污水厂原有工艺流程图

Fig 1 Original process flow chart of sewage plant

1.3 存在问题

污水处理厂所处地区年均气温仅为 1.7℃,不利于进行生化处理;污水处理进水量仅为 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,远低于预期 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的设计规模。全年进水 COD 多维持在 500~1 000 mg/L 之间,受屠宰废水影响,下半年(屠宰厂大量生产时)进水 COD 较上半年高;全年进水 COD 超过 2 000 mg/L 的总天数为 6 d,连续两天超过 2 000 mg/L 的总天数为 2 d,高 COD 进水可能是由于屠宰企业突然集体大量偷排引起的,但不具备连续性;进水混杂大量城市生活污水,其水质指标大多低于屠宰废水。进水氨氮指标最高达 120 mg/L。因此,污水处理厂在运行过程中主要存在以下问题:

- (1) 进水 COD 浓度较高,氨氮高,年均气温较低,影响氨氮的去除。
- (2) 冬季屠宰废水量剧增,屠宰废水成分复杂,有机污染物含量高,SS 过高,现有的生化处理系统难以进行有效去除。
- (3) DE 氧化沟交替式的运行模式,不利于低温条件下的污水处理。
- (4) 如何实现与后期中水回用工程的对接。

2 升级改造方案

2.1 提标改造工程设计进水水质

污水处理厂的进水水质对污水处理的工艺选择具有重要影响。结合人工监测历史数据以及 2015 年 7 月在线监测的水质化验数据,确定本工程污水处理厂设计进水水质如表 1 所示。

1.2 原有工艺

污水处理厂一期工程主体污水处理工艺采用 DE 氧化沟工艺,剩余污泥经浓缩后采用机械脱水,具体工艺流程如图 1 所示。

表 1 提标改造工程的设计进水水质	
Table 1 Design inlet water quality of the upgrading and reconstruction project	
项目	设计进水水质
化学需氧量(COD)	≤2 000
生化需氧量(BOD ₅)	≤800
总氮(TN)	≤130
氨氮(NH ₃ -N)	≤110
总磷(TP)	≤14.0
悬浮物(SS)	≤380
动植物油	≤190

2.2 提标改造工艺路线选择

综合污水处理厂进水水质及所在地区特点,分析得出:

- (1) 低温环境下的高氨氮去除和增加污泥浓度是本工程的工艺重点和难点。
- (2) 原水中磷含量分析不足。
- (3) 要充分考虑屠宰场废水中毛发和油脂对处理工艺的影响。
- (4) B/C 值大都在 0.4~0.6 之间,BOD₅/TN 大于 3 可以实现生物脱氮。重点是要解决低温条件导致生物量不足,污水处理效果差的问题。

目前增加生物量的常用方法有膜生物反应器工艺(MBR)和添加生物填料的移动床生物膜反应器工艺(MBBR)^[10-14],结合国内相关项目实施情况,提出以下两种污水处理工艺方案进行比较。

方案一:A/A/O-MBBR+高效沉淀池+连续砂滤池工艺。新建隔油沉淀池、气浮池预处理,新建厌氧池及一级A/O-MBBR生物池,将现有选择

池及部分氧化沟改造为二级 A 池(缺氧池),现有氧化沟剩余部分改造为二级 O 池(好氧池),深度处理增加高效沉淀池及连续砂滤池,进一步除磷及降低污水中的 SS。

方案二:A/A/O-MBR + 化学除磷工艺。新建隔油沉淀池、膜格栅、气浮池预处理,原选择池及氧化沟改造成规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的生化池一(A/A/O + A/O),新建 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生化池二(A/A/O + A/O)。采用膜生物反应器(MBR)工艺替代原有终沉池进行泥水分离。在 O 池出水投加药剂进行化学除磷,保证除磷效果。膜格栅属于精细格栅,采用二维方孔过滤网,可以将纤维类物质和毛发拦截在栅筐,提高后续膜反应装置运行可靠性。选择池位于 A/A/O 工艺前端,可以控制污泥膨胀,其缺氧的环境适合反硝化细菌生长,能同时起到一定的除磷作用。

两种方案均有较多技术适应性应用。其中,MBBR 方案对低温适应性更强,出水水质较好,费用较低,施工、运行、维护难度小,并且充分利用了原有设施,虽然占地面积较大,但现有场地足够满足该工艺需要,在国内外有较多成功案例^[15-18],设计条件成熟。同时,采用 MBBR 工艺,出水水质可以达到一级 A 标准,满足中水系统进水要求,为后期中水回用提供了保障。所以最终选择该方案作为提标改造工艺,工艺流程图如图 2 所示。

2.3 提标改造主要设计参数

2.3.1 提标改造构筑物

污水处理厂新建和改造的构筑物技术参数如表 2 所示。

2.3.2 主要工艺设计参数

提标改造工程主要工艺设计参数如表 3 所示。

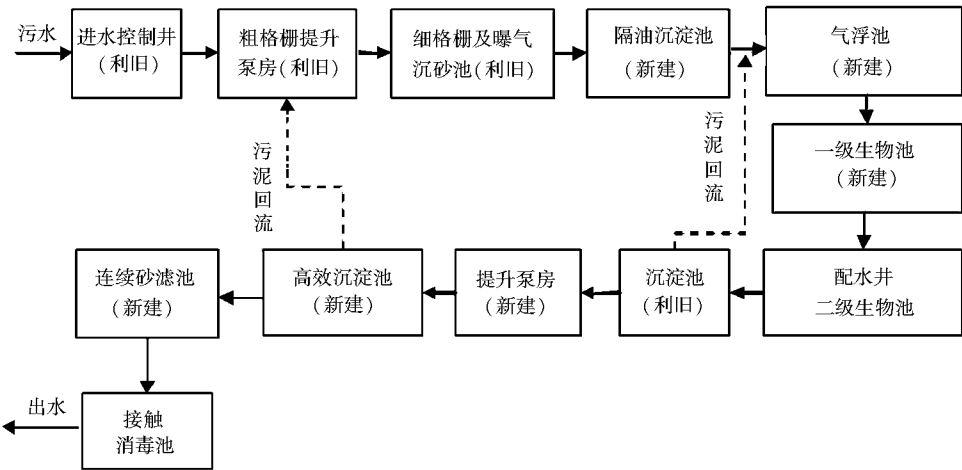


图 2 升级改造工艺流程图
Fig 2 Process flow chart of upgrading and reformation

表 2 新建和改造构筑物
Table 2 New and renovated structures

项目	构筑物	主要技术参数/m	数量 / 座
新建	隔油沉淀池	25.4 × 42.05 + 10.2 × 16.1	2
	气浮车间	42.8 × 26.7 + 13.2 × 3.0	1
	生物池	62.9 × 97.3	1
	高效沉淀池	15.7 × 6.3 + 27.8 × 21.5	1
	连续砂滤池	17.7 × 21.6 + 3.0 × 3.95	1
	鼓风机房	36 × 9	1
	选择池	22.35 × 10.9, 改为前配水井	1
改造	DE 氧化沟	改造为二段缺氧/二段好氧池	
	污泥脱水间	37.2 × 9	1

表 3 主要工艺设计参数
Table 3 Main process design parameters

项目	构筑物	设计参数
一级处理	隔油沉淀池	平均水量表面负荷 $2.56\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均水量水力停留时间 1.1 h
	气浮车间	接触室水流平均速度 7 mm/s , 气水接触时间 $>60\text{ s}$, 分离室表面负荷 $3.72\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
	生物池 (与一段好氧-MBBR 池合建)	处理量 $Q=1\,458\text{ m}^3/\text{h}$, 污泥浓度 $4\,000\text{ mg/L}$, 厌氧段停留时间 2.0 h , 兼氧段停留时间 6.2 h , 好氧段停留时间 12.5 h , 反硝化速率 $0.03\text{ kg NO}_3\text{-N}/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$, 混合液内回流比 300%
二级处理	二段缺氧/二段好氧池	处理量 $Q=1\,667\text{ m}^3/\text{h}$, 污泥浓度 $4\,000\text{ mg/L}$, 二段缺氧/二段好氧-MBBR 池总停留时间 12.2 h , 二段缺氧池停留时间 6.1 h , 二段好氧池停留时间 6.1 h , 反硝化速率 $0.03\text{ kg NO}_3\text{-N}/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$, 混合液内回流比 200%
	高效沉淀池	混合区 混合时间 2.86 min , 混合池速度梯度 $G=800/\text{S}$
		絮凝区 反应时间 11.6 min
三级处理	连续砂滤池	沉淀区 沉淀段的表面负荷 $7.3\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 斜管分离区上升流速 $12.2\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
		过滤速度 7.64 m/h , 单台过滤面积 5.5 m^2 , 总过滤面积 288 m^2 , 砂床高度 $2\,180\text{ mm}$

新建隔油沉淀池 2 座,每座分 2 格,用以去除污水中悬浮的动植物油以及大部分的 SS。新建气浮车间,包括 1 座气浮池和气浮操作间,用于强化去除屠宰废水中的油脂及 SS。

鉴于工程进水总氮含量较高,污水生物处理采用两段 AO 工艺处理,部分气浮处理出水跨越一段 A/A/O-MBBR 生物池,直接进入二段 AO 生物池。

高效沉淀池进水端设深度处理提升泵,用于提升污水至深度处理系统。高效沉淀池由机械混合池、机械反应池、斜管沉淀池组成。集混合、反应、沉淀功能于一体,具有去除 COD、SS、磷等作用。

高效沉淀池内分 3 个处理区。

混合区:安装有快速搅拌器,投入碱式氯化铝(PAC),使药剂与污水充分混合后,流入絮凝区。混合池混合时间 2.86 min ;混合池速度梯度 $G=800\text{ s}^{-1}$;阴离子 PAM 投加量 0.5 mg/L ,投加浓度 0.3% ;PAC 投加量 28.75 mg/L ,投加浓度 10% 。

絮凝区:安装慢速搅拌器,投入絮凝剂(PAM),形成个体较大且易于沉淀的絮凝体,絮凝反应池反应时间 11.6 min 。

沉淀区:池内安装斜板,池面设出水堰;沉淀区下部是浓缩区,安装有浓缩刮泥机,将沉淀下来

的污泥刮至池底中部,排出池外。沉淀段的表面负荷为 $7.3\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

新建连续砂滤池,采用粒径 $1.2\sim2\text{ mm}$ 石英砂,均匀系数 1.5 ,滤层厚度 2 m ,密度 $1.6\times10^3\sim1.8\times10^3\text{ kg/m}^3$ 。用于深度处理,去除悬浮物和氮磷,使出水达到一级 A 标准,为后期中水回用提供保障。

3 运行效果及经济分析

3.1 运行效果

本工程 2015 年下半年开始启动,已完成工程施工并投入运行,运行效果良好。2018 年 5 月 30 日污水处理厂运行数据如表 4 所示。

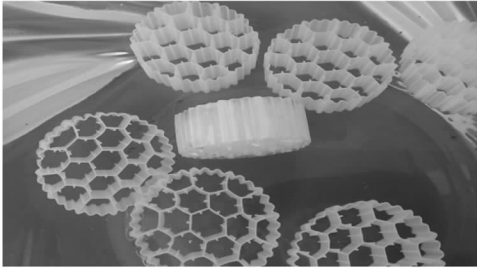
表 4 污水处理厂化验指标统计表
Table 4 Statistical table of test indexes of sewage treatment plant

项目	总进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水标准/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/ %
COD	836	42	50	94
BOD ₅	278	10	10	96
TN	124	40	15	67
TP	7.49	0.73	0.5	90
NH ₃ -N	87.7	0.16	5	99.8
SS	13(砂滤进水)	4	10	69

从表 4 可以看出,COD 和 BOD₅ 均达到文献 [4]中的一级 A 标准,氨氮和 SS 出水达标,出水总磷含量偏高,可投加化学药剂辅助除磷。

冬季生物填料挂膜前后对比如图 3 所示。由

图 3 可知,在冬季低温条件下,生物填料表层肉眼可见挂膜量较好,说明采用 MBBR 工艺可获得较好的生物处理效果。



a 挂膜前



b 挂膜后

图 3 冬季生物填料挂膜前后对比图

Fig 3 Comparison of biological padding and hanging bio-membrane in winter before and after

3.2 经济分析

污水处理厂运行后电费约为 21 277.03 元/d,人工费 3 000 元/d。满负荷运行时,总药剂费为 6 332 元/d,水费 52.5 元/d,化验费 800 元/d,合计运行费为 31 461.53 元/d,折合单位废水处理成本为 0.786 元/t,与 MBR 工艺方案单位废水处理成本 0.942 元/t 相比,年节约废水处理费用为: $(0.942 - 0.786) \times 40\,000 \times 365 = 227.76$ (万元)。

4 结论和建议

(1)采用 MBBR + 两级 AO 工艺,能有效对抗低温,提高污泥浓度,强化脱氮效果,使出水达到

文献[4]中的一级 A 标准,为再生净水厂提供水源,实现了水的高效可持续利用。

(2)该处理工艺充分利用了原有构筑物,改造费用适中,运行费用低,适用于北方低温缺水、需要重复利用水资源的工程项目。

(3)考虑本工程服务范围内污水规划中工业污水比重较大,应严格控制区域内各企业污水排放,达到国家要求的排放指标后方可进入排水管道。

(4)出水中磷的含量偏高,需要改进工艺,辅助化学除磷,降低磷含量。

参考文献:

[1] DUCEY T F, VANOTTI M B, SHRINER A D, et al. Characterization of a microbial community capable of nitrification at cold temperature[J]. Bioresource Technology, 2010,101(2):491-500.

[2] SUDARNO U, WINTER J, GALLERT C. Effect of varying salinity, temperature, ammonia and nitrous acid concentrations on nitrification of saline wastewater in fixed-bed reactors[J]. Bioresource Technology,2011,102(10):5665-5673.

[3] 马春,金仁村. 低温废水生物脱氮工艺的研究进展[J]. 工业水处理,2012,32(6):1-5.

[4] 国家环境保护总局科技标准司. 城镇污水处理厂污染物排放标准:GB18918—2002[S]. 北京:中国环境出版社,2002.

[5] 朱智. MBBR 工艺用于污水处理厂提标改造工程[J]. 山西建筑,2016,42(8):146-148.

[6] 孙颖,李静苗. 城镇污水厂一级 A 提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2010,26(10):104-106.

[7] 段存礼,顾瑞环,程俊涛,等. 青岛李村河污水厂升级改造工程设计及运行[J]. 中国给水排水,2011,27(12):66-70.

[8] 李霞,李国金,王小玲,等. 马头岗污水厂一期升级改造工程设计及运行效果分析[J]. 中国给水排水,2012,28(14):86-89.

[9] 孙晓杰,王嘉捷,赵孝芹,等. 我国城市污水厂推行一级 A 标提标改造探讨[J]. 环境工程,2013,31(6):12-15.

[10] 杨凡,邹磊,王雪. 立体生态生物膜工艺在高排放标准污水处理中的应用[J]. 中国给水排水,2018,34(6):60-64.

[11] 孙贤鹏,包苏俊. 青岛市团岛污水厂生化单元升级改造方案选择与效果分析[J]. 青岛理工大学学报,2013,34(1):74-79.

[12] 王翥田,叶亮,张新彦,等. MBBR 工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水,2010,26(2):71-73.

[13] 陈晓安,桂丽娟. 城市污水处理厂提标改造工程实例[J]. 工业用水与废水,2011,42(2):82-83.

[14] 张万里,蒋岚岚,陈秋萍,等. 无锡市城镇污水处理厂提标改造措施及效果[J]. 中国给水排水,2010,26(2):23-27.

[15] 臧海龙,金彪,刘东旭,等. 青岛市委山河污水处理厂升级改造工程设计[J]. 给水排水,2011,37(3):35-38.

[16] 谭珍珍. MBBR 法 A²/O 集成工艺深度处理城市污水的实验研究[D]. 兰州: 兰州交通大学,2013.

[17] 孙玲玲,何仕均,王建龙,等. ABR/MBBR 组合工艺处理草浆中段废水的中试研究[J]. 中国给水排水,2007,23(19):91-93.

[18] 刘建广,黄传伟,谢勇军,等. 两级 MBBR 深度处理高氨氮生活污水的研究[J]. 中国给水排水,2011,27(3):90-93.

Design and Operation of Class A Upgrading and Reconstruction Project of a Sewage Plant in Inner Mongolia

SHEN Dongmei¹, GAO Yulan¹, WANG Wanfen¹, SONG Xinwei¹, YU Cairui¹, CHU Jingsong²
(1. Architecture and Civil Engineering Department, West Anhui University, Lu'an Anhui 237012, China;
2. Beijing Haidian Branch of Urban Planning & Architectural Design Institute, Hunan City University,
Beijing 100089, China)

Abstract: Due to the low temperature in winter in northern China, the nitrogen removal effect of sewage treatment plant is often poor, and the effluent quality is poor, which can only reach the first level B standard. Taking a sewage treatment plant in Inner Mongolia as an example, the process of "A/A/o-MBBR + high efficiency sedimentation tank + continuous sand filter" is selected to reconstruct the sewage treatment plant considering the high COD and SS indexes in the raw water inflow and the sharp increase of the flow of slaughterhouse wastewater in winter. After being put into use, the sewage treatment plant is in good operation with obvious effects of denitrification, phosphorus removal and SS reduction. The effluent quality reaches grade A standard, and the annual cost is saved more than 2.2 million yuan.

Keywords: upgrading; low temperature; A/A/O-MBBR; Class A

(责任编辑:熊璐璐)