

# 鄂尔多斯某污水处理厂提标改造工程实践

田亚军<sup>1</sup>, 彭贵龙<sup>2</sup>, 王海源<sup>3</sup>, 赵丽锐<sup>3</sup>, 郑飞<sup>3</sup>, 杜子文<sup>1</sup>, 张立秋<sup>1</sup>

(1. 污染水体源控制技术北京市重点实验室 污染水体源控与生态修复技术北京市高等学校工程研究中心 北京林业大学环境科学与工程学院, 北京 100083; 2. 西南大学 生物技术学院, 重庆 400715; 3. 鄂尔多斯市城市建设投资集团, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

**摘要:** 鄂尔多斯市某污水处理厂采用曝气沉砂池+改良型卡鲁塞尔氧化沟+氯消毒工艺, 原出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B标准。为使出水水质达到一级A标准, 将改良型卡鲁塞尔氧化沟内现有的倒伞表面曝气改为底部曝气, 增加氧化沟缺氧段池容, 并新增中间提升泵房+高密度沉淀池+超滤的深度处理单元。污水处理厂提标改造后近一年的运行结果表明, 出水水质稳定, 各指标均满足设计标准。

**关键词:** 污水处理; 卡鲁塞尔氧化沟; 提标改造; 高密度沉淀池; 超滤

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0107-05

## Upgrading and Retrofitting Practice of a Wastewater Treatment Plant in Ordos

TIAN Ya-jun<sup>1</sup>, PENG Gui-long<sup>2</sup>, WANG Hai-yuan<sup>3</sup>, YUE Li-kun<sup>3</sup>, ZHENG Fei<sup>3</sup>, DU Zi-wen<sup>1</sup>, ZHANG Li-qiu<sup>1</sup>

(1. Beijing Key Laboratory for Source Control Technology of Water Pollution, Engineering Research Center for Water Pollution Source Control and Eco-remediation, College of Environmental Science & Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China; 3. Ordos City Construction Investment Group Co. Ltd., Ordos 017000, China)

**Abstract:** A wastewater treatment plant in Ordos adopted the process of aerated grit chamber, modified Carrousel oxidation ditch and chlorine disinfection. The original effluent quality carried out the first level B criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). In order to improve the effluent quality to meet the first level A criteria, the existing surface aeration by inverted umbrella in the modified Carrousel oxidation ditch was changed to bottom aeration, which increased the tank capacity of the anoxic section of the oxidation ditch, and added the advanced treatment units of middle lift pump, Densadeg and ultrafiltration. The operation results of the sewage treatment plant for nearly a year after the transformation showed that the effluent quality was stable, and all the indexes met the design discharge standard.

**Key words:** wastewater treatment; Carrousel oxidation ditch; upgrading and retrofitting;

基金项目: 中央高校中长期科研基金资助项目(BLX201725); 北京市自然科学基金资助面上项目(80182037、80184079)

通信作者: 杜子文 E-mail: 460449072@qq.com

Densadeg; ultrafiltration

鄂尔多斯市西、北、东三面被黄河环绕,市内污水处理厂出水就近直接排入乌兰木伦河,污水处理设施现状排水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 3838—2002)一级 B 标准,与乌兰木伦河地表Ⅲ类水体的保护目标差距较大,严重影响了乌兰木伦河的水环境功能,对下游居民饮水安全构成威胁。为此鄂尔多斯市环保局规定本市污水处理厂出水水质执行一级 A 排放标准,要求不能达到排放标准的污水处理厂限期完成提标改造工作。

以鄂尔多斯市某污水处理厂为例,分析该污水处理厂的进水水质特点和存在的问题,提出相应的提标改造工艺方案,并对提标改造后的运行效果进行分析评价。

## 1 工程概况

### 1.1 工艺流程及进、出水水质

该污水厂设计规模为  $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  ( $Q_{\max} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ),主要处理生活污水,按出水水质执行一级 B 标准进行设计,采用曝气沉砂 + 改良型卡鲁塞尔氧化沟 + 氯消毒工艺,氧化沟两座,单座处理规模为

$1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,单座厌氧段容积为  $1\,250 \text{ m}^3$ 、缺氧段容积为  $3\,220 \text{ m}^3$ 、好氧段容积为  $9\,140 \text{ m}^3$ ,于 2009 年建成投产。

提标前工艺流程见图 1。

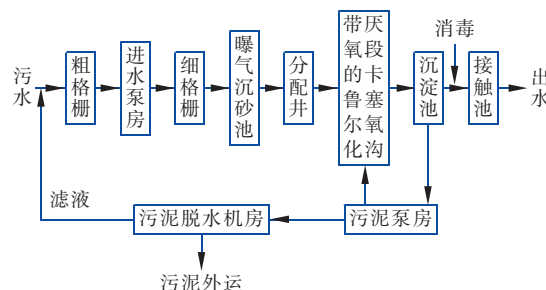


图 1 提标前污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process before upgrading

对该污水厂 2013 年 1 月—2015 年 8 月的运行数据进行分析,结果如表 1 所示。出水 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、TN、TP 月均浓度均可稳定达到原设计浓度(一级 B 标准),执行一级 A 标准之后,出水 BOD<sub>5</sub>、TN、TP 和 SS 均不能稳定达标,需进行提标改造。

表 1 污水处理厂现状进、出水水质

Tab. 1 Current influent and effluent quality of the WWTP

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
进水水质/(mg · L <sup>-1</sup> )	400 ~ 760	200 ~ 500	150 ~ 300	45 ~ 70	58 ~ 92	6 ~ 12
出水水质/(mg · L <sup>-1</sup> )	20 ~ 50	5 ~ 20	5 ~ 20	0.5 ~ 10	5 ~ 25	0.2 ~ 1.5
去除率/%	85.9 ~ 95.7	94.0 ~ 98.2	90.0 ~ 97.0	86.4 ~ 98.4	69.4 ~ 91.7	84.3 ~ 99.1

### 1.2 现状问题

① 该污水处理厂已运行 6 年之久,厂内部分设备腐蚀损坏严重,已到大修或更换年限。尤其是表曝机、推进器、搅拌器等设备,因原设计推进器数量偏少,导致氧化沟内底部沉积污泥较多,减少了氧化沟有效池容,影响处理效果。

② 该污水处理厂冬季进水量偏低,水力停留时间较长,且冬季水温偏低,导致氧化沟内微生物活性大幅下降,生化处理能力下降,出水水质指标不稳定。此外,冬季低温时氧化沟表面结冰严重,表曝机进气口结冰,影响了充氧效果。氧化沟内的倒伞曝气机充氧能力不足,硝化反应无法充分进行,导致 NH<sub>3</sub> - N 去除效果不稳定,进而影响对 TN 的去除。

③ 该污水处理厂冬春过渡季节水温变化较大,丝状菌繁殖较快,存在丝状菌膨胀的风险,污泥

活性降低,出水水质不稳定。秋冬过渡季节水温降低,污泥活性受到抑制,丝状菌异常生长,导致氧化沟表面集聚漂浮大量泡沫,影响生化处理效果<sup>[1]</sup>。

### 1.3 提标改造需解决的主要问题

从常用污水处理工艺对 BOD<sub>5</sub> 的去除效果来看,出水 BOD<sub>5</sub> 较容易达到排放要求,因此 BOD<sub>5</sub> 不是本次提标改造工程的重点处理指标。本工程要求出水 NH<sub>3</sub> - N ≤ 5 mg/L, TN ≤ 15 mg/L,均不能稳定达标。污水中氮的去除主要靠硝化、反硝化过程完成, NH<sub>3</sub> - N 的硝化过程和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 的反硝化过程分别是控制生化处理好氧单元和缺氧单元设计的主要因素。而污水处理厂地处内蒙古高寒地区,氧化沟好氧段、缺氧段难以创造稳定的适合硝化菌、反硝化菌生长的环境。因此, TN、NH<sub>3</sub> - N 是本次提标改造工程的重点处理指标。本工程要求出水 TP ≤ 0.5

mg/L,在内蒙古高寒地区采用具有一定生物除磷功能的污水处理工艺较难满足要求,需结合化学除磷强化除磷工艺,实现高效除磷。因此,除磷是本次提标改造工程的另一个处理重点。另外,本次提标改造工程要求出水  $SS \leq 10 \text{ mg/L}$ ,SS 也是本工程需要考虑的一个指标。综上,此次提标改造工程的重点和难点是强化脱氮除磷(见表2)。

表2 污水水质各项主要控制指标重要性分析

Tab.2 Analysis on the importance of main control indexes  
of sewage quality

项 目	重点控制有效次序	对策与措施
COD	②	充分曝气
BOD <sub>5</sub>	②	充分曝气
NH <sub>3</sub> - N	①	完全硝化,完全反硝化
TN	①	碳源充足,完全反硝化
TP	①	生物除磷与化学除磷相结合
SS	②	混凝沉淀、过滤

## 2 提标改造方案及设计

## 2.1 提标改造进、出水水质

采用频率统计法<sup>[2]</sup>对污水处理厂 2013 年—2015 年的进水水质监测数据进行分析,确定提标改造工程进水水质。污水处理厂进水 COD 集中在 400 ~ 700 mg/L,其中 85% 的值不超过 625 mg/L。考虑到该污水处理厂服务范围内管网比较健全,规划期内也没有重污染企业,收集的污水主要为生活污水,水质比较稳定,同时设计时留有一定安全余量,本次 COD 设计取值采用 650 mg/L。进水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  集中在 40 ~ 80 mg/L,其中 90% 的值不超过 71.8 mg/L,本次  $\text{NH}_3 - \text{N}$  设计取值采用 75 mg/L。进水 SS 集中在 200 ~ 350 mg/L,其中 85% 的值不超过 327 mg/L,本次 SS 设计取值采用 330 mg/L。进水  $\text{BOD}_5$  集中在 300 ~ 500 mg/L,其中 85% 的值不超过 448 mg/L,本次  $\text{BOD}_5$  设计取值采用 450 mg/L。进水 TN 集中在 60 ~ 90 mg/L,其中 90% 的值不超过 87.16 mg/L,本次 TN 设计取值采用 90 mg/L。进水 TP 集中在 7 ~ 14 mg/L,其中 85% 的值不超过 12.42 mg/L,本次 TP 设计取值采用 13 mg/L。根据鄂尔多斯市城乡建设委员会关于开展重点流域污水处理厂治理工作的通知(鄂建发[2016]25 号),本市域内污水处理设施提标改造后出水水质需同时达到一级 A 标准和《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)标

准。该污水处理厂提标改造设计进、出水水质和去除率见表3。

表3 提标改造设计进、出水水质及去除率

Tab.3 Design influent and effluent quality,removal rate of the  
WWTP for upgrading

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
设计进水/ (mg · L <sup>-1</sup> )	650	450	330	75	90	13
设计出水/ (mg · L <sup>-1</sup> )	≤50	≤6	≤10	≤5	≤15	≤0.5
去除率/%	≥92.3	≥98.7	≥97.0	≥93.3	≥83.3	≥96.2

## 2.2 提标改造工艺流程

提标改造后的工艺流程见图 2。

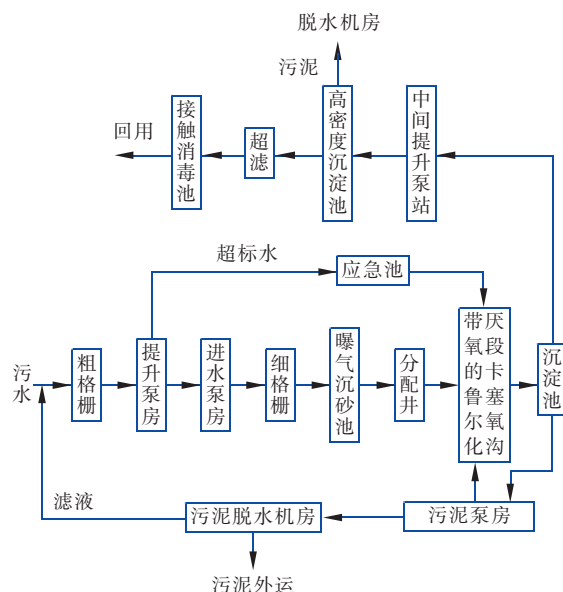


图2 提标后污水处理厂工艺流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment process after upgrading

### 2.3 提标改造工程工艺设计

### 2.3.1 氧化沟改造

将现有氧化沟内的倒伞表面曝气改为底部曝气,在氧化沟底部铺设微孔曝气管 1 300 根,供气量为  $6 \sim 8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,氧转移效率  $> 20\%$ ;此外,将氧化沟缺氧段改为好氧段,在氧化沟前端增设缺氧池 ( $6\,000 \text{ m}^3$ ),并对缺氧池和氧化沟进行保温处理,氧化沟硝化液回流至缺氧池,回流比为  $300\%$ ,以提高整个生物处理段的同步硝化反硝化反应效果。提标改造后缺氧池和氧化沟污泥浓度控制在  $4\,500 \text{ mg/L}$  左右,污泥回流比为  $60\%$ ,确保良好的脱氮条件。

### 2.3.2 深度处理段

在氧化沟工艺后新增中间提升泵房 + 高密度沉淀池 + 超滤作为深度处理单元<sup>[3]</sup>, 进一步去除 COD、SS、TP 等污染物。

中间提升泵房 1 座, 设计平均流量为 1 250 m<sup>3</sup>/h, 停留时间为 4.0 h。高密度沉淀池设计流量为 1 250 m<sup>3</sup>/h, 混合时间和絮凝时间分别为 1.7、18.7 min, 有效水深为 6.9 m; 沉淀反应区沉淀速度为 14.3 m/h, 停留时间为 2.0 h, 有效水深为 6.85 m。超滤车间 1 座, 设计流量为 625 m<sup>3</sup>/h, 采用聚偏氟乙烯中空纤维超滤膜, 膜通量约为 40 ~ 80 L/(m<sup>2</sup> · h), 运行压力 ≤ 0.15 MPa, 产水率 ≥ 95%。化学除磷药剂选用聚合氯化铝 (PAC), 采用后置除磷, 除磷药剂投加点设在混凝池。

### 3 工程运行效果

提标改造工程于 2018 年 1 月正式投入运行。2018 年 2 月—2019 年 3 月的主要运行数据如图 3 所示。

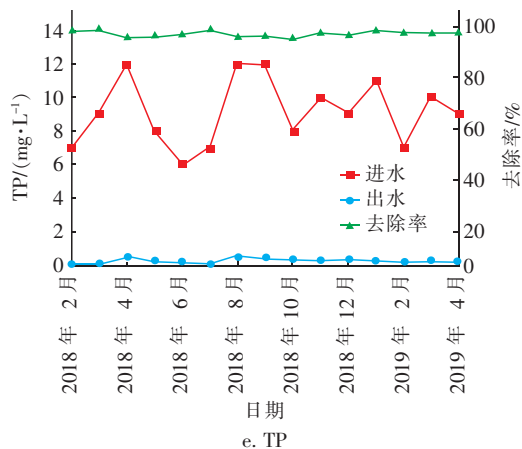
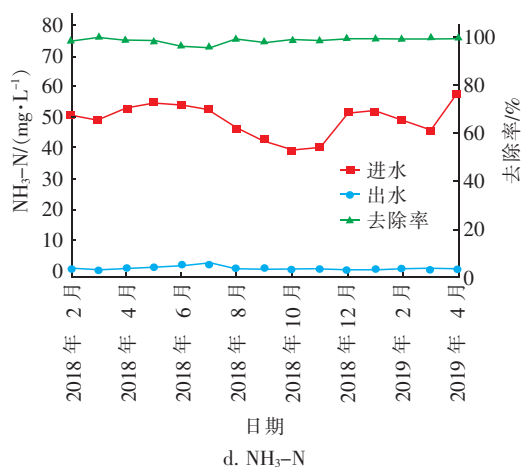
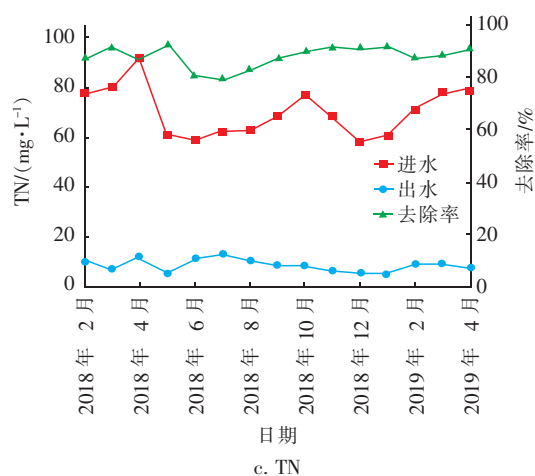
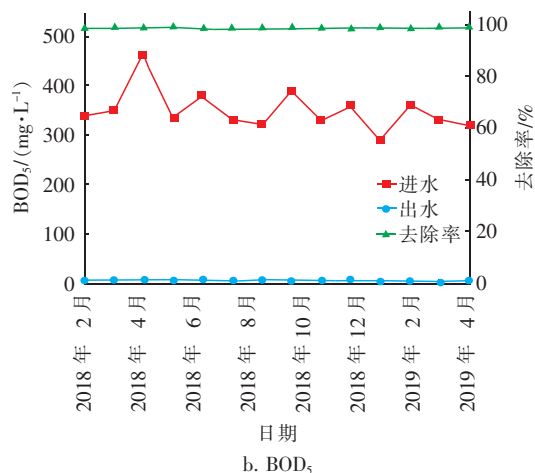
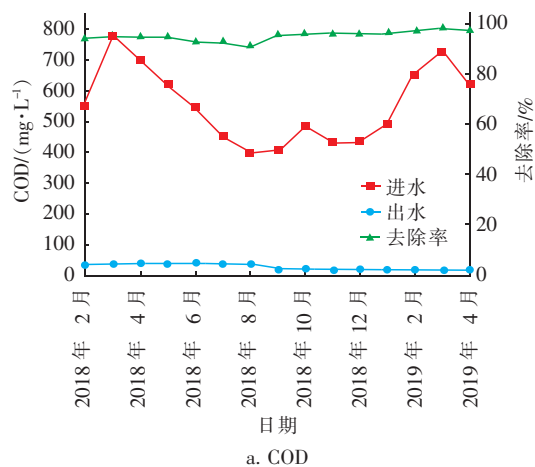


图3 提标后污水处理厂运行效果

Fig. 3 Performance of the WWTP after upgrading

由监测结果可知:①出水 COD 平均值为 16.20 ~ 39.30 mg/L, 达标率 100%;②出水 NH<sub>3</sub> - N 平均值为 0.22 ~ 1.06 mg/L, 达标率为 100%;③出水 TP 平均值为 0.04 ~ 0.12 mg/L, 达标率为 100%;④出水 BOD<sub>5</sub> 平均值为 5.40 ~ 5.80 mg/L, 达标率为 100%;



⑤出水 TN 平均值为  $6.47 \sim 10.80 \text{ mg/L}$ , 达标率为 100%; ⑥出水 SS 平均值为  $2.21 \sim 4.60 \text{ mg/L}$ , 达标率为 100%。

提标改造后实际运行成本约  $1.33 \text{ 元/m}^3$ , 其中电费  $0.54 \text{ 元/m}^3$ , 除磷药剂费  $0.33 \text{ 元/m}^3$ , 次氯酸钠费  $0.25 \text{ 元/m}^3$ , 污泥处置费  $0.21 \text{ 元/m}^3$ 。

#### 4 结论

① 鄂尔多斯某污水处理厂提标改造需要考虑的指标是  $\text{BOD}_5$ 、SS、TN、TP, 重点和难点是强化脱氮除磷。

② 对现有卡鲁塞尔氧化沟进行改造, 将倒伞表面曝气改为底部曝气, 将氧化沟缺氧段改为好氧段, 氧化沟前端增设缺氧池, 氧化沟混合液回流至缺氧池发生反硝化反应, 回流比为 300%, 以提高生化处理段硝化反硝化效果, 确保良好的脱氮条件。

③ 新增中间提升泵房 + 高密度沉淀池 + 超滤作为深度处理单元, 进一步去除污水中的 COD、SS、TP 等污染物, 并在深度处理段混凝池投加聚合氯化铝, 通过化学除磷强化对磷的去除, 确保出水水质满足设计标准。

④ 从污水处理厂提标改造后的运行情况来看, 出水各项指标均符合设计标准, 污水处理设施运行状态良好。提标改造后污水处理厂实际直接运行成本约为  $1.33 \text{ 元/m}^3$ 。

#### 参考文献:

- [1] 刘亦凡, 陈涛, 李军. 中国城镇污水处理厂提标改造工艺及运行案例[J]. 中国给水排水, 2016, 32(16): 36 - 41.
- Liu Yifan, Chen Tao, Li Jun. Process analysis of upgrading and reconstruction of municipal wastewater treatment plants in China[J]. China Water & Wastewater,

2016, 32(16): 36 - 41 (in Chinese).

- [2] 孟建丽, 邢国政, 魏铮, 等. 高效滤池用于城镇污水厂提标改造的中试研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(19): 82 - 84.

Meng Jianli, Xing Guozheng, Wei Zheng, et al. Pilot study on highly efficient filter in upgrading and retrofit of WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(19): 82 - 84 (in Chinese).

- [3] 鞠兴华, 王社平, 彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法[J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 48 - 51.

Ju Xinghua, Wang Sheping, Peng Dangcong. Determination methodology for design influent quality of municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(14): 48 - 51 (in Chinese).



作者简介: 田亚军(1991 - ), 男, 山东聊城人, 博士在读, 主要从事河湖水质评价及生态修复、污水深度处理技术、新兴污染物在水环境中迁移转化行为与控制技术的研究。

E-mail: yajunt1991@163.com

收稿日期: 2019 - 06 - 12

做好水文监测分析预报, 保障国家水安全