

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.04.016

鄂尔多斯市某水质净化厂提标改造工程实践

李乐卓^{1,2}, 潘亮³

(1. 兰州交通大学 环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州交通大学研究院, 甘肃 兰州 730070; 3. 上海市政工程设计研究总院<集团>第十市政设计院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 鄂尔多斯市某水质净化厂主工艺采用改良型氧化沟+絮凝沉淀池+V型滤池,原出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。为使出水水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准IV类标准,提出“现有处理设施改造+深度处理”的技术路线,将现有改良型氧化沟改造为具有强化脱氮功能的多段多级AO工艺,将现有絮凝沉淀池(机械絮凝+斜管沉淀工艺)改造为具有强化去除TP和SS功能的磁混凝高效沉淀池;深度处理段针对难生物降解有机物的去除,采用了生物焦吸附再生工艺。该水质净化厂提标改造后8个月的运行结果表明,出水水质稳定,各项指标均满足提标改造设计标准。

关键词: 提标改造; 多段多级AO; 生物焦吸附再生; 磁混凝

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)04-0093-05

Upgrading and Retrofitting Project of a Water Purification Plant in Ordos

LI Le-zhuo^{1,2}, PAN Liang³

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Lanzhou Jiaotong University Research Institute, Lanzhou 730070, China; 3. Shanghai Municipal Engineering Design and Institute < Group > No.10 Municipal Design Institute Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: A water purification plant in Ordos adopted the main process of modified oxidation ditch, flocculation sedimentation tank and V-type filter. The original effluent quality carried out the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). In order to improve the effluent quality to level quasi-IV specified in the *Environmental Quality Standard for Surface Water* (GB 3838-2002), a technology route of existing treatment facilities modification and advanced treatment was proposed. The modified oxidation ditch was transformed into an anaerobic multi-level anoxic/oxic (AMAO) process. The flocculation sedimentation tank previously using mechanical flocculation and inclined tube precipitation process was changed into a magnetic coagulation sedimentation tank with the enhanced removal function of SS and TP. The process of absorption and regeneration of bio-coke is adopted in the advanced treatment section to remove refractory organic matter. The operation results of the water purification upgrading plant for eight months show that the effluent

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51869009)

通信作者: 李乐卓 E-mail: lilezhuo@163.com

quality was stable and all the indexes met the discharge standards of upgrading and retrofitting design.

Key words: upgrading and retrofitting; anaerobic multi-level anoxic/oxic process; adsorption and regeneration of bio-coke; magnetic coagulation

为响应黄河流域生态保护和高质量发展的重大国家战略需求,黄河流域各省区必须切实加强黄河治理保护,以流域大保护促进区域大开发,认真解决好流域内的饮水安全和生态环境等问题。为进一步提升和改善该区域的水环境质量、维护水生态平衡、推动区域高质量发展,决定对鄂尔多斯市某水质净化厂进行提标改造。

1 工程概况

1.1 原工艺流程及进、出水水质

该水质净化厂现状处理规模为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 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) 的一级 A 标准, 主要处理对象为城市生活污水, 核心处理工艺为改良型氧化沟+

絮凝沉淀池+V型滤池。该工程于2008年建成投产。

对该污水厂2017年1月—2018年12月的水质检测数据进行分析, 结果如表1所示。出水COD、BOD₅、SS、TP月均值均可稳定达到原设计一级A标准, 但NH₃-N、TN存在超标情况。根据鄂尔多斯市生态环境局颁布的排污许可证要求, 限期于2019年底前完成提标改造, 出水执行地表水Ⅳ类标准(除TN按15 mg/L执行之外, COD、BOD₅、SS、TP、NH₃-N执行地表水Ⅳ类标准)。现状污水厂各项出水水质指标均不能稳定达标, 需进行提标改造^[1]。本工程尾水部分回用于当地电厂(回用率为33%), 剩余部分排入受纳水体。

提标改造前工艺流程见图1。

表1 水质净化厂现状进、出水水质

Tab.1 Current influent and effluent quality of the WWTP

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质/(mg·L ⁻¹)	342~485	170~245	165~210	41~58	55~77	5.0~7.5
出水水质/(mg·L ⁻¹)	20~50	4~9	5~10	1~8	9~20	0.2~0.5
地表水Ⅳ类标准达标率/%	79.31	65.07	85.24	80.22	68.33	72.50

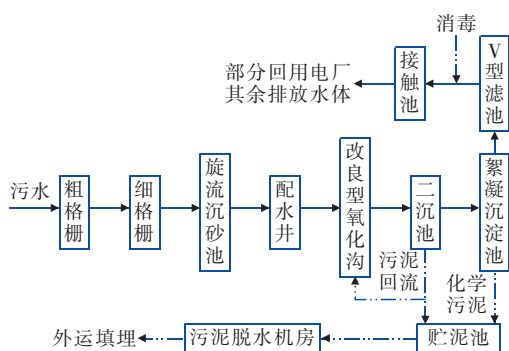


图1 提标改造前污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process before upgrading

1.2 现状存在的问题

① 现状污水厂的进水水质波动较大, 部分时段进水TN、TP峰值较高, 偶尔有垃圾渗滤液进入系统, 造成严重冲击。

② 生物处理系统(改良型氧化沟及二沉池)内浮泥严重, 搅拌器推流效果差, 转刷曝气机充氧

能力不足、硝化反应不充分, 冬季低温时氧化沟表面结冰严重。

③ 深度处理段絮凝沉淀池共2座4个单元, 每个单元沉淀池尺寸: $L \times B = 21.9 \text{ m} \times 7.6 \text{ m}$, 经核算, 设计混合时间2.6 min偏长, 斜管沉淀段上升流速1.04 mm/s偏大, 由于污水处理中形成的絮体较轻, 不易沉淀, 因此过高的上升流速会导致出水水质不稳定。

1.3 提标改造需解决的重点、难点

① 本工程要求出水COD $\leq 30 \text{ mg/L}$, 系统偶尔有垃圾渗滤液进入, 存在难生物降解(惰性)有机物, 需要采取技术措施保证出水COD稳定达标。

② 从运行情况看, 现有改良型氧化沟充氧量不够, 碳源不足, 脱氮效率不高, 导致出水NH₃-N、TN不能稳定达标, 需要采用具有强化脱氮功能的生物处理工艺。

③ 本工程要求出水TP $\leq 0.3 \text{ mg/L}$, 一般生物除磷工艺较难满足要求, 需结合化学除磷工艺实现

高效除磷。另外,要求出水SS≤5 mg/L,SS也是需要考虑的一个指标。综上所述,本次提标工程的重点和难点是强化脱氮除磷和难生物降解(惰性)有机物的去除(见表2)。

表2 各项主要控制指标重要性分析
Tab.2 Analysis on the importance of main control indexes

项 目	控制次序	对策与措施
COD	①	充分曝气+深度处理
BOD ₅	②	充分曝气
SS	②	混凝沉淀、过滤
NH ₃ -N	②	充分曝气、完全硝化
TN	①	补充碳源+完全反硝化
TP	①	生物处理+化学除磷

表3 提标改造进、出水水质

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

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质/(mg·L ⁻¹)	450	220	200	55	70	7
出水水质/(mg·L ⁻¹)	30	6	5	1.5	15	0.3
去除率/%	≥93.33	≥97.27	≥97.50	≥97.27	≥78.57	≥95.71

2.2 提标改造工艺流程

提标改造工艺流程见图2。

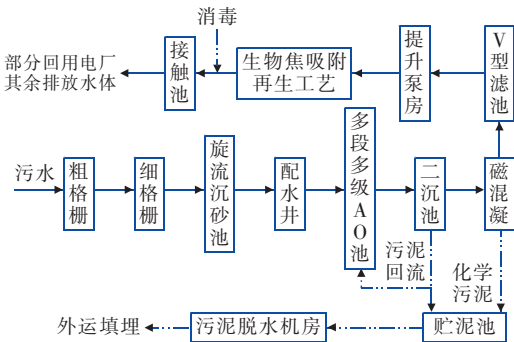


图2 提标改造工艺流程
Fig.2 Flow chart of sewage treatment process of upgrading

2.3 提标改造工艺设计

2.3.1 二级生物处理系统改造

现状改良型氧化沟共3座,单座处理规模为2.0×10⁴ m³/d,单座有效容积为19 800 m³,总停留时间为23.76 h。将现有改良型氧化沟改造为多段多级AO池,以强化脱氮效果。改造采用4级AO池^[2],各级反应池进水比例分别为20%、25%、25%、30%,各级反应池缺氧段停留时间分别为1.35、2.03、3.46、3.36 h,各级反应池好氧段停留时间分别为

2 提标改造方案及设计

2.1 提标改造进、出水水质

采用频率统计法对该水质净化厂2017年—2018年水质监测数据进行分析,确定提标改造工程设计进水水质。进水COD集中在342~485 mg/L、BOD₅集中在170~245 mg/L、SS集中在165~210 mg/L、NH₃-N集中在41~58 mg/L、TN集中在55~77 mg/L、TP集中在5.0~7.5 mg/L,考虑留有一定安全冗余,设计进水水质指标均按90%保证率取值。根据当地环保要求,设计出水水质按地表水准Ⅳ类标准执行。

该水质净化厂提标改造进、出水水质及去除率见表3。

2.02、3.04、3.46、5.04 h,各级反应池MLSS分别为5 000、4 140、3 530、3 000 mg/L,污泥龄为16.6 d,污泥回流比为50%~100%,污泥负荷为0.071 kgBOD₅/(kgMLSS·d)。

将现状改良型氧化沟内部隔墙进行重新分隔,在各级缺氧段投加乙酸钠作为补充碳源,将表面曝气改造为底部曝气,气水比为9.2:1,在氧化沟底部铺设微孔曝气管,管径为64 mm,长为1 m,单根供气量为6 m³/h,氧转移效率>20%,共铺设4 620根微孔曝气管。此外,对整个氧化沟设计反吊膜除臭保温系统。

2.3.2 三级处理工艺改造

现状絮凝沉淀池采用机械絮凝+斜管沉淀工艺,共2座4个单元,每个单元净尺寸(L×B×H)=28.4 m×9.4 m×4.2 m,设有1格混合池、5格絮凝池和1座沉淀池,沉淀池平面尺寸(L×B)=21.9 m×7.6 m,核算设计混合时间2.6 min,絮凝时间13.0 min,沉淀池上升流速1.04 mm/s。

将现有絮凝沉淀池改造为磁混凝高效沉淀池,进一步强化去除TP、SS等污染物。每个改造单元设有1格PAC混合池,停留时间为2.6 min;1格磁粉混合池,停留时间为2.6 min;1格絮凝池,停留时间为2.6 min;1格斜管沉淀池,净尺寸为Ø9.4 m×3.9 m,

斜管表面负荷为 $13.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 其余絮凝池改造为 PAC 溶解池和溶药池。设计磁种回收率为 99.96%, 磁种损耗量约为 $3 \text{ g}/\text{m}^3$ 污水, 磁介质污泥回流量为设计水量的 5%, 回流磁介质污泥浓度为 10 g/L 。

2.3.3 深度处理工艺设计

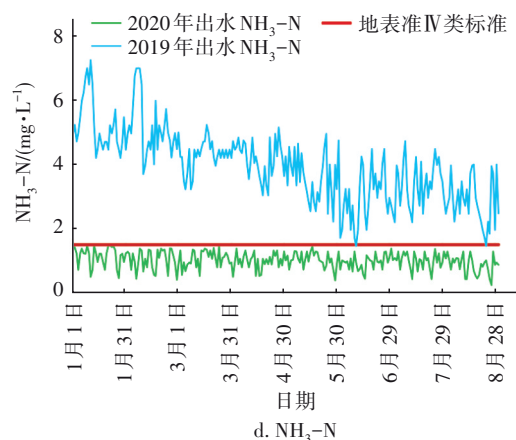
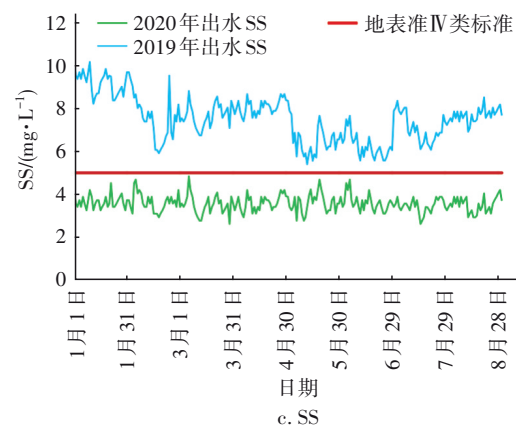
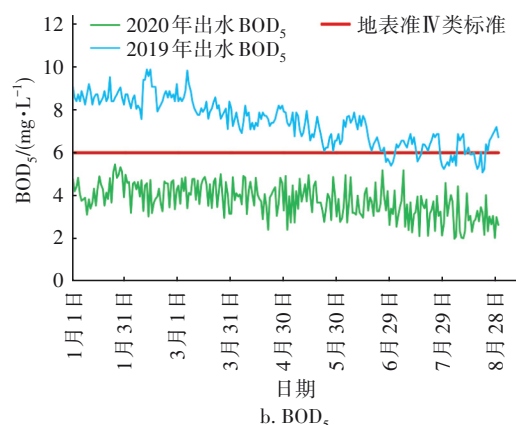
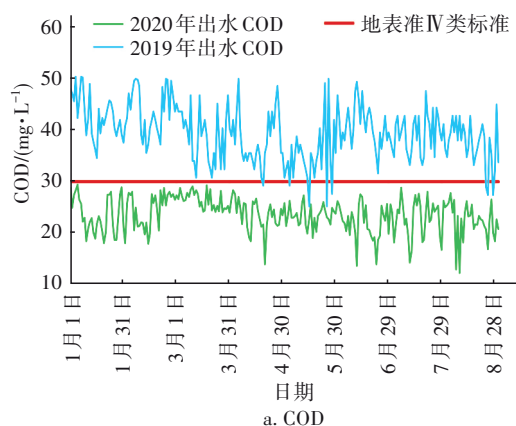
深度处理工艺主要针对难生物降解有机物的去除, 采用生物焦吸附再生工艺, 将 COD 去除至 30 mg/L 以下, 保障出水水质稳定达标。生物焦实质上是一种低比表面积的活性炭, 具有大量功能基团, 中孔 ($2\sim 50 \text{ nm}$) 丰富, 污水经提升后进入生物焦吸附装置, 通过与生物焦充分接触, 吸附去除污水中的有机物, 同时定期将底部吸附饱和的生物焦传送至再生装置, 采用高温无氧加热再生工艺 (再生温度 $680\sim 720^\circ\text{C}$), 经过脱水、再生和活化处理后, 生物焦的孔隙重新打开, 重新具备吸附能力, 最后通过上焦装置送回吸附装置, 进行另一个周期的吸附再生循环。

设计处理规模为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 单台生物焦吸附装置处理量 $140 \text{ m}^3/\text{h}$, 共 18 台; 设计上升流速为 15 m/h ; 生物焦总装填量为 880 t ; 生物焦全部饱和的吸附时间为 84 d; 生物焦补充量为 1.05 t/d ; 生物焦再生次数为 12 次, 生物焦再生装置 1 套, 再生量为 10.5 t/d 。

3 提标改造运行效果

该提标改造工程于 2019 年 12 月正式投入运行。提标改造前、后污水处理厂运行效果的对比见图 3。

根据改造后 2020 年运行数据分析可知: 出水 COD 为 $12.26\sim 29.43 \text{ mg/L}$, 均值 23.55 mg/L ; 出水 BOD_5 为 $1.99\sim 5.46 \text{ mg/L}$, 均值 3.77 mg/L ; 出水 SS 为 $2.60\sim 4.84 \text{ mg/L}$, 均值 3.56 mg/L ; 出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 $0.24\sim 1.48 \text{ mg/L}$, 均值 1.01 mg/L ; 出水 TN 为 $8.14\sim 14.44 \text{ mg/L}$, 均值 11.00 mg/L ; 出水 TP 为 $0.04\sim 0.29 \text{ mg/L}$, 均值 0.16 mg/L 。各项指标的地表水准 IV 类达标率均为 100%。其中, 二级生物处理工艺对 COD、 BOD_5 、SS、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除率分别为 88.0%、95.0%、90.0%、78.6%、97.5%、50.0%; 深度处理系统的磁混凝+V 型滤池工艺对 TP 和 SS 总去除率的贡献分别为 46.0%、7.5%, 生物焦吸附再生工艺对 COD 总去除率的贡献为 5.0%~8.0%。



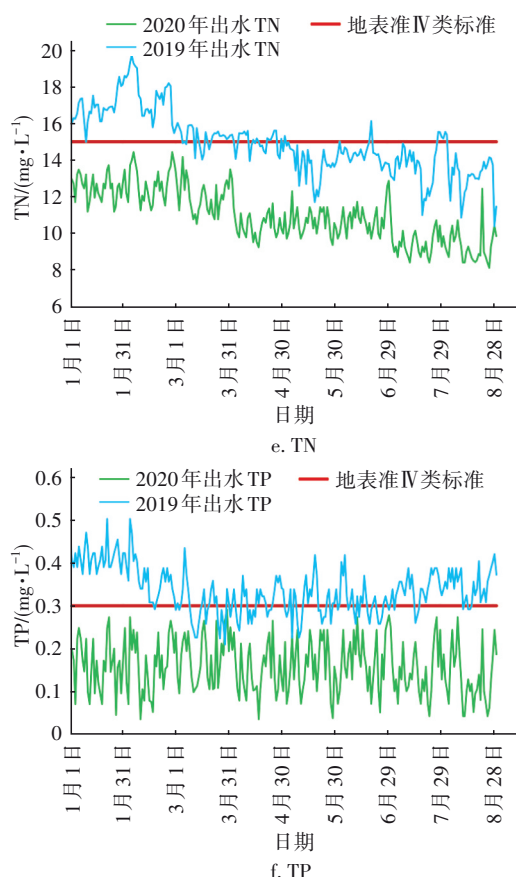


图3 提标改造前、后污水处理厂运行效果对比

Fig.3 Comparison of operation effect of sewage treatment plant before and after upgrading

提标改造前经营成本约 1.50 元/m³,提标改造后经营成本约 2.31 元/m³,其中电费 0.65 元/m³,药剂费 1.00 元/m³(乙酸钠 0.42 元/m³、除磷药剂 0.25 元/m³、次氯酸钠 0.13 元/m³、生物焦 0.20 元/m³),污泥处置费 0.20 元/m³,工资福利、修理维护及其他费用 0.46 元/m³。

4 结论

① 鄂尔多斯市某水质净化厂提标改造工程的重难点在于强化脱氮除磷和 COD 去除。

② 在维持现状池容的条件下,将原有改良型氧化沟改造为多段多级 AO 工艺,使得各段反应池

形成污泥浓度梯度,提高了抗冲击负荷能力,强化了脱氮效果。

③ 将现状机械絮凝+斜管沉淀工艺改造为磁混凝高效沉淀工艺,利用磁介质的高沉降速度,缩短了净化反应时间,并达到了高效去除 TP 和 SS 的目的。

④ 深度处理段采用生物焦吸附再生工艺,利用生物焦的吸附降解功能将 COD 去除至 30 mg/L 以下,保障出水水质稳定达标。

⑤ 提标改造工程投入运行以来,出水水质均满足地表水Ⅳ类排放标准,各处理设施运行状态良好。提标改造后该水质净化厂经营成本约 2.31 元/m³。

参考文献:

- [1] 田亚军,彭贵龙,王海源,等. 鄂尔多斯某污水处理厂提标改造工程实践[J]. 中国给水排水,2020,36(6): 107-111.
TIAN Yajun, PENG Guilong, WANG Haiyuan, *et al.* Upgrading and retrofitting practice of a wastewater treatment plant in Ordos[J]. China Water & Wastewater, 2020,36(6):107-111(in Chinese).
- [2] 王晓康,杨欣,边靖,等. MBBR 工艺在采用氧化沟工艺的污水厂提标改造中的应用[J]. 中国给水排水,2020,36(6):55-59.
WANG Xiaokang, YANG Xin, BIAN Jing, *et al.* Application of MBBR process in upgrading and reconstruction of wastewater treatment plant (WWTP) with oxidation ditch process [J]. China Water & Wastewater, 2020,36(6):55-59(in Chinese).

作者简介:李乐卓(1984—),女,甘肃兰州人,博士,副教授,主要从事污、废水处理及工程应用技术工作。

E-mail:lilezhuo@163.com

收稿日期:2020-10-10

修回日期:2020-12-21

(编辑:衣春敏)