

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.04.011

改良AAO+悬浮填料工艺应用于下沉式污水处理厂

侯 锋¹, 王怡然², 高 霖², 张小沫², 曹效鑫¹, 卢 茜²

(1. 信开环境投资有限公司, 北京 101101; 2. 贵州筑信水务环境产业有限公司, 贵州
贵阳 550081)

摘 要: 以贵阳某下沉式城镇污水处理工程(设计处理规模为 $8.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)为例,介绍了预处理+改良AAO+悬浮填料生化池+高效沉淀池+深床反硝化滤池+紫外消毒工艺在市政生活污水处理中的应用情况,同时介绍了该工程采用的智慧水务管理系统、水源热泵、精准加药、精确曝气等智慧化管理及绿色低碳节能技术,可为同类工程设计提供一定的参考与借鉴。该污水处理厂已稳定运行两年,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,其中主要指标COD、BOD₅、NH₃-N及TP达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,尾水排放入河,具有较好的环境效益。

关键词: 下沉式污水处理厂; 改良AAO工艺; 悬浮填料; 智慧水务; 绿色低碳

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)04-0066-05

Application of Modified AAO and Suspended Packing Media Process in Underground Wastewater Treatment Plant

HOU Feng¹, WANG Yi-ran², GAO Lin², ZHANG Xiao-mo², CAO Xiao-xin¹,
LU Qian²

(1. Xinkai Environment Investment Co. Ltd., Beijing 101101, China; 2. Guizhou Zhuxin Water
Environment Industries Co. Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: The design scale of an underground wastewater treatment plant in Guizhou is 80 000 m³/d. This paper introduced the application of its combined process consisting of pretreatment, modified AAO, biochemical tank packed with suspended packing media, high efficient sedimentation tank, deep bed denitrification filter and ultraviolet disinfection in municipal wastewater treatment, and the intelligent management and green low-carbon energy-saving technologies such as smart water management system, water source heat pump, precise dosing and precise aeration applied in the project, so as to provide certain reference for the design of similar projects. The wastewater treatment plant has been running stably for two years, and the effluent quality meets the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002), among which the main indicators such as COD, BOD₅, NH₃-N and TP reach the class IV limit specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The tail water is discharged into the river, and good environmental benefits are obtained.

Key words: underground wastewater treatment plant; modified AAO process; suspended

通信作者: 王怡然 E-mail: 184253891@qq.com

packing media; smart water management system; green and low-carbon

近年来,随着我国城市化水平和居民对环境要求的不断提高,能够与周边环境协调、封闭性强、无二次污染的半下沉式或下沉式污水处理厂成为城市污水治理工程建设新的发展趋势^[1-4],在提高土地利用效率的同时,能够极大地改善地面环境条件^[5]。与此同时,污水处理厂运行也开始逐步追求智慧化管理,寻求技术及运行模式的创新,实现节能减排,提高水资源利用率。

1 项目概况

贵阳市中心城区属典型山地城市^[6],用地紧张、人口密度大,采用传统地面式污水处理厂建设模式占地面积大,同时会对周边环境造成较大影响。因此,本工程采用下沉式建设模式,主要收集处理白腊河($4.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)及金钟河($4.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)流域的污水,总占地面积约 2.5 hm^2 ,服务面积约 49 km^2 ,处理规模为 $8.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。地上部分建设市政景观公园及综合办公楼,地下部分共两层,分别为污水厂操作层和管廊层。全厂采用数字化传感器,实时采集进、出水水质数据,安装精确曝气系统、自动投加药剂系统,并配备厂内空气监测系统、人员定位系统,同时以厂为中心建设智慧水务大数据平台,将污水厂转变为数字化管理中心。

2 设计进、出水水质

采用预处理+改良AAO+悬浮填料生化池+高效沉淀池+深床反硝化滤池+紫外消毒工艺,尾水作为生态补水排放入河,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A标准,其中主要指标COD、BOD₅、NH₃-N及TP需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,污泥脱水后外送处置。设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN
进水/(mg·L ⁻¹)	450	210	230	35	30	45
出水/(mg·L ⁻¹)	≤30	≤6	≤10	≤1.5	≤0.3	≤15
去除率/%	93.33	97.14	95.65	95.71	99.00	66.67

3 处理工艺设计

3.1 工艺流程

该下沉式污水处理厂工艺流程见图1。

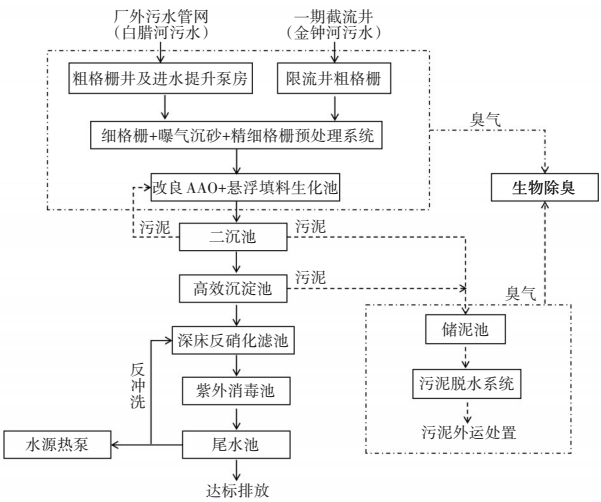


图1 贵阳某下沉式污水处理厂工艺流程

Fig.1 Process flow of the underground wastewater treatment plant in Guiyang

3.2 粗格栅井及进水提升泵房

粗格栅为机械格栅,设计机械格栅渠道共2条,另外备用1条安装人工格栅,设计处理规模为 $4.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$,单渠宽 $B=1\,200\text{ mm}$,机械格栅栅条间隙为 20 mm ,过栅流速为 0.60 m/s ,备用人工格栅栅条间隙为 30 mm 。每条渠道前后设方闸门切换,粗格栅的启停由电动机控制中心(MCC)自动控制,信号输送到PLC系统,显示运转启闭状态并在发生事故时报警。污水经粗格栅后进入进水提升泵房,然后提升至预处理系统进行处理,设计处理规模为 $4.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计流量为 $1\,667\text{ m}^3/\text{h}$ 。水泵的启停根据泵坑内液位信号综合控制,采用先开先停、先停先开的方式轮换运行。

3.3 限流井粗格栅

限流器通过前后液位计进行水力自动控制,保证最大过流量不超过设计值,来水量大时关闭速闭闸。限流井前后设置回转式粗格栅,栅条间隙为 20 mm ,过栅流速为 0.60 m/s 。

3.4 预处理系统

白腊河及金钟河污水经粗格栅处理后进入预处理系统,包括细格栅、曝气沉砂池及精细格栅。细格栅为机械格栅,设计机械格栅渠道共3条,另外备用1条安装人工格栅,单渠宽 $B=1\,600\text{ mm}$,机械格栅和备用人工格栅栅条间隙均为 5.0 mm ,过栅流

速为0.65 m/s。曝气沉砂池设计水力停留时间为8.0 min,水平流速为0.05 m/s,单位曝气量为0.2 m³/m³污水。精细格栅设计渠道共3条,单渠宽B=1 600 mm,栅条间隙为2.0 mm。

3.5 改良AAO+悬浮填料生化池

采用改良AAO+悬浮填料生化池工艺,利用缺氧、厌氧、好氧条件,去除BOD₅、COD、N、P等污染物。与传统AO、AAO、MBR等工艺相比,改良AAO+悬浮填料生化池工艺结合了活性污泥法和生物膜法两者的优点,在提高系统抗冲击负荷能力的同时,具有良好的脱氮除磷能力。同时,其能形成高度专性的活性生物膜,使反应器单位体积的效率更高,且增强了工艺的稳定性,从而减少了反应器尺寸。

改良AAO+悬浮填料生化池设计水力停留时间为15.8 h,其中预缺氧区0.5 h、厌氧区1.0 h、缺氧区3.6 h、好氧区8.8 h、填料(好氧)区1.9 h。水温控制为13~25℃,污泥浓度控制为4 000 mg/L,污泥龄为13.1 d,污泥回流比为50%~100%,混合液回流比为125%~250%,最大气水比为6:1。该工艺采用悬浮填料,填充比为26%,比表面积为600 m²/m³。

3.6 二沉池及高效沉淀池

设计二沉池为矩形周进周出形式,共4组,水力停留时间为4.3 h,表面负荷为1.15 m³/(m²·h)。

高效沉淀池可分为混合区、絮凝区及沉淀区,设计高效沉淀池共3组,混合时间为3.0 min,PAC投加量为60 mg/L,絮凝反应时间为12.0 min,PAM投加量为0.5~1 mg/L。高效反应桶上升流速为0.6 m/s,桶内水回流比为10:1,沉淀区平均表面负荷为9.8 m³/(m²·h)。

3.7 深床反硝化滤池

深床反硝化滤池的滤床形式为固定床,运行方

式采用重力流,设计单格过滤面积为94.5 m²,总过滤面积为567 m²,平均滤速为5.88 m/h。深床反硝化滤池含反冲洗设备,反冲洗水洗强度为14.7 m³/(m²·h),气洗强度为110 m³/(m²·h),反冲洗水量<3%。

3.8 紫外消毒

设计紫外消毒系统2套,紫外线剂量为25~30 mJ/cm²,平均滤速为5.88 m/h,消毒指标为粪大肠菌群<1 000个/L。紫外消毒出水进入尾水池达标排放,同时尾水池可储存一定量的水,供水源热泵及深床反硝化滤池反冲洗用。

3.9 污泥处置

污泥脱水系统采用离心浓缩脱水,设计污泥处理量为1 400 m³/d(含水率为99.2%),污泥脱水前投加聚丙烯酰胺以促进絮凝,投加量为3.0~5.0 kg/tDS,浓缩脱水后污泥量≤56 m³/d,含水率≤80%,脱水泥饼经污泥运输车转运至水泥厂协同处置。

3.10 臭气处置

生活污水处理过程中臭气主要在预处理、生化及污泥处理过程中产生。臭气处置共设计4座生物除臭塔,各处理单元均采用全封闭设计,并对密封空间进行负压抽引,通过管道收集系统将臭气集中收集至生物除臭装置,最后通过微生物的作用将臭气成分氧化分解,使之无害化并排放至厂内排气竖井。经过生物除臭单元的处理,可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的厂界排放标准。

4 处理效果

该工程于2020年5月完成调试及试运行,已稳定运行两年。2022年污水处理厂的实际进、出水水质如表2所示。

表2 2022年实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality in 2022

mg·L⁻¹

项目		COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN
实际进水水质	平均值	243.47±144.0	85.52±47.0	197.10±120.0	20.84±5.0	3.51±2.0	29.74±8.0
	最大值	1 234.0	390.0	1 130.0	34.2	21.0	92.8
	最小值	43.0	14.3	50.0	5.50	0.91	7.13
实际出水水质	平均值	10.51±3.0	2.18±1.0	4.99±1.0	0.29±0.5	0.12±0.8	7.39±2.0
	最大值	26.0	5.40	8.00	1.18	0.29	13.8
	最小值	4.00	0.90	2.20	0.025	0.02	2.56

由表2可知,实际出水水质优于设计值,其中COD去除率为(94.56±3.08)%、BOD₅去除率为

(96.74±1.78)%、NH₃-N去除率为(98.54±1.2)%、TP去除率为(95.62±3.0)%、COD、BOD₅、NH₃-N及

TP达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准。SS去除率为 $(96.83 \pm 1.51)\%$ 、TN去除率为 $(73.6 \pm 9.93)\%$,SS及TN达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。根据监测数据可知,该工程所采用的处理工艺可稳定实现出水达标排放。

5 智慧水务管理系统

贵阳南明河具有流域覆盖面积广、地质情况错综复杂、流域内水处理设施协同不强等特点,日常运营统筹调度管控的难度较大,城镇污水处理厂的有效运行及监管对削减污染物排放量、改善水环境、促进水资源有效利用起着重要作用。因此以该污水厂为中心,构建了以厂为连接单位的智慧水务平台,其总体架构如图2所示。



图2 智慧运维管理架构

Fig.2 Intelligent operation and maintenance management architecture

将流域污水厂、再生水厂等厂区接入平台系统,通过相应的传感器、仪器、仪表进行感知并监测,将信息上传至智慧管控平台系统进行分析、控制和整合,将南明河及其支流排口纳入监控系统,

在所有排口设置流量监控、摄像监控,截污沟排口附近设置超声波液位计,当出现溢流趋势时及时预警。

所有数据接入贵阳河湖大数据平台,实现厂网河一体化智慧管控的联动和调度,消除了以前流域污水厂各自运行的信息孤岛状态,实现流域污水厂全时监管、调度和联动,管理过程透明,节约人力成本30%、节约能耗10%~15%、节约药耗8%~12%。

6 资源化利用及工艺节能措施

6.1 水源热泵系统

该污水厂水源热泵项目于2021年3月投入使用,以污水厂尾水为热源,在冬季水温为10~16℃、夏季水温为22~24℃的情况下,利用设计尾水温差(冬季温差为3℃,夏季温差为5℃),实现对污水厂2700 m²办公楼的供热制冷,系统装机功率为150 kW。系统采用闭式污水源热泵系统,污水先将热量或冷量传递给清洁水(起中介导热作用,又称中介水),中介水再进入热泵机组进行冷热量转换。其运行费用仅为普通中央空调的50%~60%,不考虑电网传输损失,该项目能够减少二氧化碳排放量284 t/a。

6.2 工艺节能措施

生化处理工艺中采用的曝气系统是能耗大户,占全厂能耗的60%~70%,因此曝气系统的设计是污水处理厂节能的关键。该污水厂采用氧转移效率高的盘式微孔曝气器(氧转移效率≥25%),使曝气量大大减少。采用精确曝气系统,通过溶解氧测定仪自动检测曝气池内溶解氧浓度,始终将其控制在最佳水平,可节省能耗13%,节省电耗 6.5×10^5 kW·h/a,减少二氧化碳排放量648.05 t/a。此外,厂区采用的智能精确加药系统节药量达30%,节省药剂量约368 t/a,可节约药剂费92万元/a,依据《行业碳排放强度先进值标准》中“化学原料和化学制品制造业碳排放强度先进值”为569.31 kgCO₂/万元可知,精确加药系统可减少二氧化碳排放量52.4 t/a。

7 结语

① 该污水处理工程采用下沉式建设模式,不仅实现了传统污水处理厂的功能,同时解决了“邻避效应”,消除了传统污水厂水、气、噪声污染,通过竖向分层构建的方式,提升了空间利用率,节省占地。

② 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A标准,其中主要指标COD、BOD₅、NH₃-N及TP达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,尾水部分作为生态补水排放入河,对缓解周边河流污染状况也有积极的促进作用。

③ 以厂为中心构建的南明河流域智慧水务管理平台,对流域污水处理厂进行了有效管控,所有数据实时向政府监管部门共享,实现了各污水处理厂向南明河高质量生态补水,创造了巨大的社会效益,提升了城市品质。

④ 采用的水源热泵、精确曝气、精准加药等绿色低碳节能技术强化了污水的治理和资源的回收。该污水厂的建成充分体现了绿色环保理念,对改善贵阳市水环境质量、提升城市人居环境、确保南明河水质稳定达标具有重要意义。

参考文献:

- [1] 张彪,赵健,周昕怡. 某多效能全地下式污水厂集约化设计方案[J]. 净水技术, 2023, 42(1):160-167.
ZHANG Biao, ZHAO Jian, ZHOU Xinyi. Integrated design scheme of a multifunctional full-underground WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(1):160-167 (in Chinese).
- [2] 高靖伟,侯锋,葛英振,等. 福州金港河下沉式HBR再生水厂的设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(22): 68-74.
GAO Jingwei, HOU Feng, GE Yingzhen, *et al.* Design of Jinganghe underground HBR reclaimed water plant in Fuzhou [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(22): 68-74 (in Chinese).
- [3] 刘建明. 多点进水倒置A²/O+浸没式超滤用于某半地下污水厂[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18):111-115.
LIU Jianming. Application of multi-point influent reversed A²/O and submerged ultrafiltration process in a semi-underground WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 111-115 (in Chinese).
- [4] 陈秀成. 地下式污水处理厂用地指标分析及节地设计方向[J]. 中国给水排水, 2023, 39(4):53-58.
CHEN Xiucheng. Analysis of land quota and land conservation design direction of underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(4): 53-58 (in Chinese).
- [5] 黎伟,龚效宇,朱令,等. 基于贵阳南明河流域治理中地下式污水处理厂的SWOT分析[J]. 环保科技, 2023, 29(1): 52-59.
LI Wei, GONG Xiaoyu, ZHU Ling, *et al.* SWOT analysis on the application of underground sewage treatment plants in Nanming River management of Guiyang [J]. Environmental Protection and Technology, 2023, 29(1): 52-59 (in Chinese).
- [6] 王天维. 西部山地省会城市绿色发展路径研究——基于贵州省贵阳市的实证考察[J]. 黔南民族师范学院学报, 2021, 41(2): 9.
WANG Tianwei. Research on the green development path of western mountainous provincial capital cities: based on the empirical investigation of Guiyang City, Guizhou Province [J]. Journal of Qiannan Normal University for Nationalities, 2021, 41(2): 9 (in Chinese).

作者简介:侯锋(1961—),男,北京人,博士,正高级工程师,主要从事给水排水及水环境综合治理工作。

E-mail:houlfeng@sdic.com.cn

收稿日期:2023-05-09

修回日期:2023-05-19

(编辑:沈靖怡)