

西南农村地区分散式污水站设计

岳崇峰, 李驰昊, 许江城

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 针对我国西南地区广大乡镇农村污水处理建设过程中出现的进水浓度高、水量波动显著等问题, 设计一种改良型AAO+MBBR一体化处理装置。该装置抗进水冲击负荷强、占地小、工艺运行成本低等特点, 适用于西南丘陵地区分散居住的农村。连续运行监测结果表明, 采用该处理装置后, 对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、TP、 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、SS去除率分别达到88%、96%、83%、83.3%、77.8%, 出水水质指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。

关键词: 分散型污水; 一体化; 污水处理; AAO; MBBR

中图分类号: X703

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0137-04

0 引言

据住建部统计, 2020年我国城市污水处理率已超过97%, 但农村地区污水处理率仅为28%。从总体看, 农村生活污水治理基础薄弱, 2016年农村污水处理率为22%。在过去5a处理率仅提高6%左右^[1]。农村地区污水收集设施不完善不同于城市污水, 具有“分散广、粗排放”特点, 西南地区相比于沿海等地发展较为落后, 且地势以丘陵为主地貌差异大, 从收集到污水处理站的建设均有很大困难, 收集污水难直接导致污水厂进水量少且水量不均衡, 对污水厂运行造成很大困难^[2]。

该工程位于西南地区农村, 当地养殖产业较为发达, 由于该地区基础设施中缺乏稳定运行的污水处理站来处理养殖业产生的生产废水, 导致部分养殖废水散排, 造成水环境及土壤污染。在项目推进中发现, 污水收集率低、水量不均衡、水质资料缺失等问题已成为农村地区污水厂建设的普遍问题, 如何在有限的水质资料和复杂的进水水量条件下寻求适合当地的污水处理工艺是设计的难点和痛点。

设计选用AAO+MBBR工艺作为二级处理工艺, 并且调整AAO及MBBR的进水运行方式, 二级处理中污水依次进入厌氧池、缺氧池、MBBR池和好氧池, 通过改进工艺流程, 工艺运行过程中碳氮比和碳磷比较低, 且在不额外投加碳源的条件下仍达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—

2002)一级A标准, 与传统工艺AAO+MBBR对比, 运行1a约节省1.5t乙酸钠碳源(投加概率按30%计)。该生化池一体化设备采用集装箱形式设计, 占地面积小, 出水水质好, 运行成本低, 抗负荷强, 对西南农村地区污水处理具有一定借鉴意义。

1 工程概况

设计污水处理站总规模为500 m³/d, 分两期建设, 近期工程规模为250 m³/d, 土建设计远期规模500 m³/d, 设备按250 m³/d规模安装。污水处理站进水主要以农村生活污水为主, 约含有20%~30%养殖废水, 考虑西南地区排水管网特性和雨季泥沙进入等水质特点, 工艺设计中出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。

2 工程设计规模和水质

农村生活污水主要来源为沐浴、洗涤、冲厕和养殖废水, 其中养殖产生废水具有一定周期性, 鱼塘换水时产生的废水量大, 日常养殖产生的废水量少, 直接导致污水站进水水质水量变化大。此外, 农村地区大多数时期常驻人口较少, 农耕和春节期间常驻人口较多, 产生的生活污水量变化也较大。因此, 在工程设计中进水量的时变化系数和日变化系数取值相对较高。

从水质方面分析, 进水 BOD_5 含量变化较大、TN、TP含量高, 但基本不含有重金属等有毒有害物质, 这类水质易造成水体富营养化。由前期水质检测资料, 该地区进水碳氮比和碳磷比约为1.52~5.6和4.7~20.83, 虽然部分时段进水水质碳氮比和碳磷比较高,

收稿日期: 2022-05-18

作者简介: 岳崇峰(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事给排水设计研究工作。

但大部分时间进水水质低于脱氮除磷的碳氮比和碳磷比中 1 : 4 和 1 : 16 的要求。

工程设计规模为 500 m³/d,出水按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准,设计进出水水质见表 1。

表 1 污水处理站进水水质						单位:mg/L
项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -H	TN(以 N 计)	TP
设计进水	63~450	28.36~250	42~45	9.5~30	18.65~45	3

3 工程设计

3.1 工艺选择法

目前,农村污水处理工艺主要以湿地、氧化塘、土壤过滤和 SBR 等常见的生物工艺为主,这些工艺建设与运行成本较低,但普遍存在出水稳定性较差,填料或滤料流失和需周期性冲洗等问题。随着农村产业经济发展,农村污水水质复杂化,例如常见的农产品加工或养殖废水,上述工艺更是难以稳定处理达到排放要求。

通过水质水量分析,农村污水处理站需抗冲击负荷强,运行维护方便的工艺、设计比较了 MBBR、AAO+MBBR 以及 SBR 等工艺。考虑进水 COD_{Cr} 不稳定、且氨氮去除标准高,鉴于 AAO 运行稳定 MBBR 抗冲击负荷、节约用地、运行管理方便,最终选用 AAO+MBBR 工艺。

3.2 工艺流程

污水处理站工艺流程如图 1 所示,污水首先进入沉砂井,将水中大颗粒物质被沉淀截流,由沉砂井流出进入格栅调节池。格栅分别设人工粗格栅和机械细格栅。由于该地区污水量小且进水不稳定,设调节池平衡水量,污水经格栅后进入调节池。然后污水进入生化处理区,进而依次进入厌氧池、缺氧池、MBBR 池和好氧池。

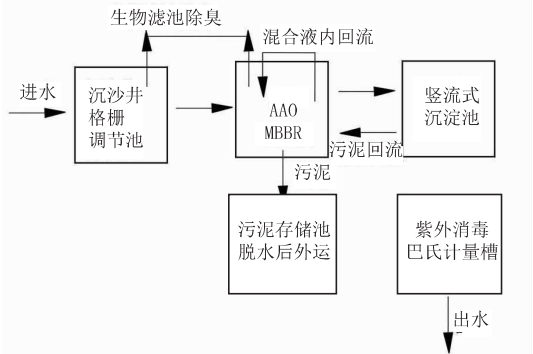


图 1 处理站工艺流程图

3.3 工艺优势

主进水经调蓄池调节后首先进入厌氧池。厌氧

池主要功能为聚磷菌厌氧释放磷并存储能量,缺氧段利用进水碳源对内回流混合液中的硝态氮进行反硝化脱氮,将进水中硝态氮转化为氮气降低进水总氮含量。好氧池的主要作用为降解 BOD₅,将进水中凯氏氮转化为硝态氮和磷的吸收。MBBR 中悬浮载体孔隙率高,当微生物在载体上形成稳定生物膜时,MBBR 反应池就能弥补好氧池前段池容不足的问题,增强好氧池同步硝化反硝化能力。去除系统残留的碳源,保证 COD 的处理效果、总氮的去除效果。此外,好氧池预留加药除磷装置,污水经 MBBR 效果不达标,好氧池投加一定量 PAC 除磷药剂,确保出水 TP 达标。

3.4 总体平面图

设计污水处理站总体平面图图 2 所示,格栅、调节池、生化组合池依次排序作为主要处理区,除臭设备、污泥池和综合用房作为辅助处理区。其中格栅和调节池合建为一个构筑物,AAO 反应池、MBBR 反应池和沉淀池合建成为一个构筑物,巴氏计量槽接紫外消毒器后出水。

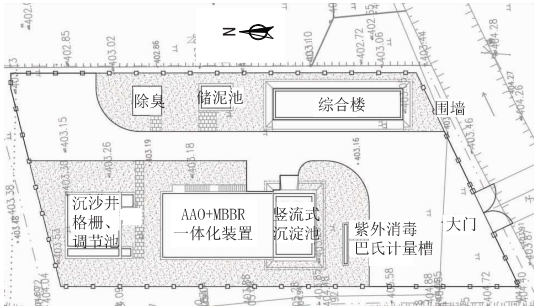


图 2 污水处理站总平面图

3.5 主要处理构筑物设计及参数

(1)预处理设施

预处理设施主要包括除砂井、格栅和调节池三个部分,除砂井尺寸为 0.9 m × 0.9 m × 1.2 m,除砂井出水经过 d15 ~ 50 的炉渣(厚 150 mm)、d40 ~ 80 的炉渣(厚 100 mm)和雨水篦子后进入格栅调节池。

格栅进水设计流量 22.86 m³/h,尺寸 7 m × 1 m × 3.35 m,格栅共设人工粗格栅和机械细格栅。人工格栅栅隙 b=10 mm 设备高 1.2 m 倾角 60°,循环齿耙式细格栅间隙 e=5 mm、井宽 1.0 m,安装角度 α=75°,功率 N=0.75 kW;

调节池尺寸 7 m × 7 m 有效容积 100 m³、水力停留时间 9.6 h,配长、宽、高分别为 7 m、7 m 和 2.82 m 的浅水搅拌机 1 台,N=1.5 kW,潜水泵 2 台,Q=10.4 m³/h,H=11 m,N=1.1 kW。

(2)生化处理

如图 3 所示,生化处理主要有厌氧池、缺氧池、MBBR 池和好氧池四座组成,生化处理构筑物均设两座。生物处理设计进水流量 $33.3 \text{ m}^3/\text{h}$,时变化系数取 1.6,单座生化处理尺寸 $16.3 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,其中厌氧段尺寸 $1.3 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,缺氧段 $2.7 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,好氧段 + MBBR $5.8 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。污水在生化池总停留时间为 19.77 h,其中厌氧段 2.63 h、缺氧段 5.44 h、好氧 + MBBR 段 11.7 h,停留时间比为 1 : 2.1 : 4.4。沉淀区回流至厌氧区比为 100%,污泥回流管道泵 $Q=16 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=10 \text{ m}$, $N=0.75 \text{ kW}$ 。好氧区混合液回流至缺氧区比例为 250%,混合液回流管道泵 $Q=31.3 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=4 \text{ m}$, $N=0.75 \text{ kW}$,好氧区设罗茨鼓风机 $Q=1.10 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=68.6 \text{ kPa}$, $N=4 \text{ kW}$ 。

生化处理中污泥参数取值结合当地运行管理经验及笔者设计经验,在设计温度下(25°C)生化处理池内平均混合液 MLSS 为 3.5 g/L ,污泥负荷 $m(\text{BOD}_5)/m(\text{MLSS})$ 为 $0.06 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 、剩余污泥 $m(\text{DS})/m(\text{BOD}_5)$ 产率为 0.03 kg ,剩余污泥量 SS 为 $3\ 000 \text{ kg/d}$ 、污泥龄 AAO 好氧区为 20 d、MBBR 填料区为 30 d。

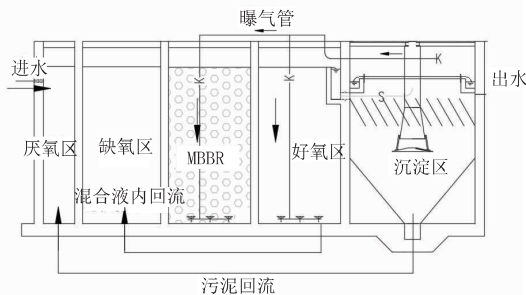


图 3 生化池反应示意图

MBBR 工艺并不是简单将污泥与悬浮载体的混合投加,而是一个完整的系统处理系统。工艺设计包括了进水出水系统、回水系统、悬浮载体选择、载体流化系统等^[3],工艺运行中处理效果受生物膜面积大小、悬浮载体的投加区域、推流搅拌器的布置和选型等因素影响^[4]。实际工程中,这种生物膜处理法易出现悬浮的载体推挤、生物膜挂膜效果差、悬浮载体流失等不足^[5]。

MBBR 反应池中悬浮物是生物膜的载体,为保证载体与水体充分接触载体应选择密度略低于水、孔隙率大、有效面积大的材料^[6]。在工艺设计中为保证载体在反应池内自由运动,生物悬浮载体的最大填充率小于 70%,载体有效比表面积在 $450 \sim 1\ 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 范围内传至传氧效果较好^[7]。结合以往研究结论和设计经验,在好氧池前段装填 $\phi 10 \times 0.7 \text{ mm}$ 的短管型 PE 填料,填料有效比表面积为 $550 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 填充率

30%。好氧池填料区出水端设出水拦截筛网,防止填料流失(拦截网材质 0Cr18Ni9,保证悬浮填料与混合液正常分离,出水口不堵塞,不堆积)。

填料区和非填料区中间采用导流墙分隔,利用池型氧化沟廊道使载体在好氧池内循环留到,充分利用池型空间保证载体在反应区内良好流态。为防止悬浮载体在出水末端形成堆积在填料区底部设潜水推流器,推流器与曝气装置曝气对悬浮载体产生剪切力实现载体稳定流态化,曝气量越大 DO 浓度高、氧转移速率越大,但填料容易紊乱,为保证填料的均匀悬浮和供氧需求池底曝气采用盘式橡胶膜微孔曝气器,共设 6 套曝气器,单盘供气量为 $0 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。通过池型和曝气装置的设计,MBBR 反应池内水力条件好基本不出现水力死角。

沉淀区设竖流沉淀池共 2 座,单座沉淀池尺寸为 $4.2 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 4.7 \text{ m}$,池内置 $\phi 80$ 斜管、安装角度 60° 、斜长 1 m、斜管沉淀区投影面积共 17.64 m^2 。

(3)消毒

管式紫外消毒器设计流量 $Q=40 \text{ mm}^3/\text{h}$ 、 $P=0.8 \text{ MPa}$ 、 $N=0.45 \text{ kW}$ 外线剂量为 $20 \sim 30 \text{ mJ}/\text{cm}^2$,紫外线穿透率为 65%。

巴氏计量槽设计流量 $Q=500 \text{ m}^3/\text{d}$, $B=0.041 \text{ m}$ 。

(4)除臭系统

处理站采用全过程除臭,对格栅与调节池、生化池(预缺氧区、厌氧区、缺氧区)、贮泥池等构建筑内产生的臭气进行处理,采用生物除臭。新建除臭生物滤池 1 座,设计总除臭气量为 $1\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$,平面尺寸为直径 2.5 m 高 2.3 m 圆形构筑物,池底设曝气系统,配套营养剂投加系统。

(5)污泥处理

储泥池尺寸 $4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 5.8 \text{ m}$,配自吸式曝气机 $Q_{O_2}=6 \text{ kg/h}$ 、 $N=2.2 \text{ kW}$,生化池污泥经沉淀池浓缩后储存于储泥池,运行期间污泥通过吸粪车外运至城市污水处理厂脱水处理。

4 运行监测与优化

MBBR 池前期调试 DO 采用 1.5 mg/L ,后期长期运行采用 2.0 mg/L 。污水处理站于 2019 年 3 月投产,投产后出水水质稳定达到一级 A 标,具体见表 2。

当地环保部门对养殖废水排污进行控制,养殖废水满足排放标准后才允许排入下水道。由于当地气候和地质环境影响污水管网存由雨水、地下水等非正常流入。处理站实际进水水质都低于设计值,且

表2 污水处理站实际进水出水水质

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -H	TN(以N计)	TP
设计进水/(mg·L ⁻¹)	450	28.36~250	42~45	9.5~30	18.65~45	3
实际进水(mg·L ⁻¹)	125±30	40±15	45	15±8	30±8	4±1
设计出水(mg·L ⁻¹)	50	10	10	5(8)	15	0.5
设计出水(mg·L ⁻¹)	15±5	5±2	10	0.3±0.2	4±3	0.01±0.2
去除率/%	88	96	77.8	83.3	66.7	83

BOD₅/TN 和 BOD₅/TP 值分别为 1.44 和 11,均不利于生物脱氮除磷。但从处理效果来看,出水指标可以稳定达到一级 A 标准。这说明 MBBR 载体附着大量的生物膜,这类生物膜污泥龄长,对比 AAO 好氧池增大微生物种群的丰度。当载体上的生物膜达到一定厚度,生物膜形成好痒缺氧甚至缺氧微环境,这种生物环境增强生物处理阶段脱氮除磷效果并且在恶劣的水质条件中,适应不同水质浓度微生物的筛选和富集。

通过以往运行经验,低温条件对硝化反应影响较大,但处理站在冬季出水各项指标均能保持稳定,这也说明 MBBR 反应池中填料和生物泥复合形成系统内生物菌类的多样性,此外,MBBR 与 AAO 好氧池相比生物膜传传至较慢,相同的生物降解产热量与水体交换较慢,使膜内局部环境温度提高,有利于微生物保持较高的活跃性,在实际运行中表现出 MBBR 反应池对低温的适应性^[8]。

5 主要技术经济指标

污水处理站设计规模为 500 m³/d,占地 1 685 m²。该处理站建设总投资 4 000 万元,每吨水处理成本 8 000 元,单位基建成本 1.8 元/t,单位经营成本 0.8 元/t,差额由政府财政补贴。

6 结论及建议

笔者设计污水处理站采用 AAO+MBBR 工艺,占

地指标为 3.37 m²/(m³/d)短管型 PE 填料,填充率为 30%,运行效果良好,出水主要水质指标均稳定达到一级 A 标准。改良 AAO 工艺运行方式,将 MBBR 反应池至于缺氧池后,AAO 中好氧池接 MBBR 反应池。通过 MBBR 反应池的设计池内污泥龄和污泥浓度均高于 AAO 好氧池,反应池抗冲击负荷优于传统设计方式。本项目设计及运行经验对西南地区丘陵地带广大乡镇污水处理站有重大参考意义。

参考文献:

[1] 马静.美丽乡村建设背景下的北方某农村污水分散式治理技术研究[J].市政技术,2020,38(4):235-238,242.
[2] 杨光,谭云鹏,吕莹,等.新基建背景下农村污水治理提质增效研究[J].市政技术,2021,39(S1):116-120.
[3] 白华清,郑爽,李瑞,等.基于 A~2O 的 MBBR 工艺污水厂设计及运行效果[J].中国给水排水,2019,35(24):56-61.
[4] 周传庭,唐建国,王寅.改良 A~2/O+MBBR 为主体的污水厂工艺设计及运行[J].中国给水排水,2021,37(6):76-80.
[5] 夏超,吴志京,郑临奥,等.MBBR 用于 A~2O 微曝氧化沟工艺提标改造设计与运行[J].市政技术,2020,38(3):238-242.
[6] 梁贤,曹俊峰,郭强,等.安康市某乡镇污水处理方案探讨与设计[J].市政技术,2016,34(2):155-157,168.
[7] Odegaard H, Gisvold B, Strickland J. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process [J]. Water Ence & Technology, 2000, 41(4-5):383-391.
[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):7-13.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com