

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.24.020

豉香型白酒废水厌氧氨氧化处理工艺设计

张哲¹, 张晓爽¹, 胡松可¹, 李海伦¹, 邱培鹏², 田广庆³

(1. 广东新之源环境科技有限公司, 广东 佛山 528000; 2. 佛山水务环保股份有限公司, 广东 佛山 528000; 3. 一博环保装备<广州>有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 为解决某豉香型白酒厂废水处理设施(处理规模500 m³/d)迁改问题,确定采用预处理+UABR+厌氧/好氧(A/O)+厌氧氨氧化+好氧(O)+高效沉淀组合处理工艺。经试验验证,UABR厌氧系统可将97%的有机氮转化为氨氮,COD去除率达到96%;短程硝化系统极大降低了曝气量,总氮去除负荷达到0.07 kgN/(m³·d);厌氧氨氧化系统可降低碳源投加量,总氮去除负荷达到0.53 kgN/(m³·d);同步硝化反硝化系统的总氮和总磷去除率分别为40%和88.5%。另外,厌氧和厌氧氨氧化系统布设涡流布水系统,可解决底部积泥问题,形成高效污泥膨胀床,结合高效沉淀系统,出水水质达到设计排放标准,总体处理成本低至5.61元/m³。

关键词: 豉香型白酒废水; UABR; 厌氧氨氧化; 高有机物废水

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)24-0124-05

Design of Anammox Treatment Process for Soybean Liquor Wastewater

ZHANG Zhe¹, ZHANG Xiao-shuang¹, HU Song-ke¹, LI Hai-lun¹, QIU Pei-peng²,
TIAN Guang-qing³

(1. Guangdong Xinzhiyuan Environmental Technology Co. Ltd., Foshan 528000, China; 2. Foshan Water Environmental Protection Co. Ltd., Foshan 528000, China; 3. Yibo Environmental Protection Equipment <Guangzhou> Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: In order to solve the relocation problem of a soybean liquor wastewater treatment facility with capacity of 500 m³/d, the combined process of pretreatment, UABR, AO, anaerobic ammonia oxidation (Anammox), oxidation, and high-efficiency sedimentation is adopted. Based on the experimental verification, the UABR anaerobic system can convert 97% of organic nitrogen into ammonia nitrogen and 96% of COD can be removed; the shortcut nitrification system greatly reduced the aeration intensity, and the total nitrogen (TN) removal load reached 0.07 kgN/(m³·d); the Anammox system reduced the carbon source dosage, and the TN removal load reached 0.53 kgN/(m³·d); the removal rates of TN and total phosphorus in simultaneous nitrification and denitrification system were 40% and 88.5%, respectively. In addition, the anaerobic and Anammox system is equipped with eddy current water distribution systems to solve the problem of sludge accumulation at the bottom and form a high-efficiency expanded granular sludge bed. Combined with the high-efficiency sedimentation system, the effluent quality meets the discharge standard, and the overall treatment cost is as low as 5.61 yuan/m³.

Key words: soybean liquor wastewater; UABR; anaerobic ammonia oxidation; high organic

通信作者: 张哲 E-mail: 390154365@qq.com

matter wastewater

因规划调整,某豉香型白酒厂原污水处理设施须进行迁改;另外,原处理设施采用多级AO工艺,存在处理成本高、占地面积大等问题^[1-2]。考虑到厌氧氨氧化工艺具有减少约60%供氧量、90%以上碳源、约85%的污泥等优点^[3],该项目拟采用预处理+UABR+厌氧/好氧(AO)+厌氧氨氧化+好氧(O)+高效沉淀处理工艺,以较小的占地面积和较低的运行成本使出水水质达到《发酵酒精和白酒工业水污染物排放标准》(GB 27631—2011)中表2间接排放限值 and 广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段三级标准两者中较严值。

1 工艺路线论证

1.1 废水水量和水质

豉香型白酒以大米为原料,经过洗米、蒸煮等工序处理,采用边糖化边酿造的模式,其中“肉埕陈酿”工艺会产生含油脂废水,因此需先去除油脂,再引入调节池。设计废水处理量为500 m³/d,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	进水	出水
COD/(mg·L ⁻¹)	14 000~18 000	≤400
氨氮/(mg·L ⁻¹)	50~80	≤30
TP/(mg·L ⁻¹)	30~80	≤3
TN/(mg·L ⁻¹)	300~700	≤50
pH	5~7	6~9

1.2 工艺流程

豉香型白酒废水含有丰富的低碳醇、有机酸、醛、酯等有机物,可生化性好,氮含量高;其中“肉埕陈酿”工艺含有油脂,易导致微生物生长停滞和死亡。针对上述水质特点,制定了废水处理工艺路线^[4-5](见图1)。

针对此废水,设计隔油池和气浮机去除油脂、大部分悬浮物、胶体等,避免对生化系统造成冲击。厌氧系统将大分子有机物分解为小分子有机物、可溶性单体等,产生甲烷气体,同时可将有机氮转化为氨氮。短程硝化系统的一级缺氧反硝化池为一级好氧池补充碱度,一级好氧池实现短程硝化,积累亚硝酸盐。厌氧氨氧化系统以氨氮和亚硝酸盐

为底物产生氮气,实现高效脱氮。深度处理系统的二级O池采用低曝气量,使池内发生同步硝化反硝化,结合排泥实现深度脱氮除磷。

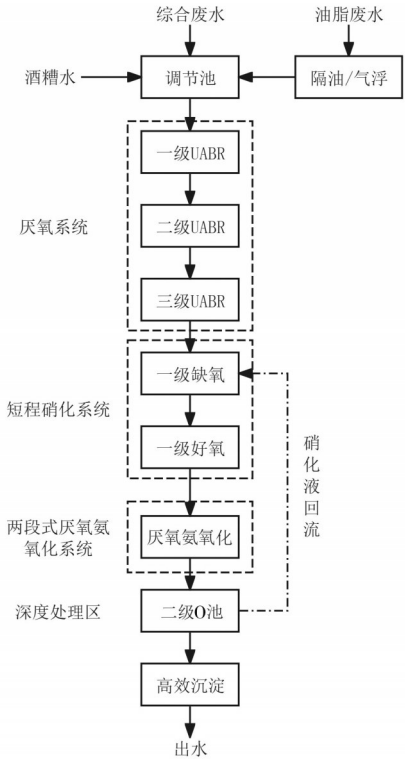


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

其中,UABR是在ABR基础上自主研发的一种厌氧反应器。该项目UABR共三级,分为3个池体,每个池体内部设有三相分离器取表层水,通过管道流入下级底部,三相分离器内部反射板的污泥积累到一定程度后通过下方排泥孔回流至本级池体内部。同时,厌氧系统设计有涡流式布水系统,水箱布设在池体上部,通过水泵将池中部水输送至水箱,待水位达到一定高度后,利用虹吸原理将水输送至底部涡流布水器。该系统解决了传统潜水搅拌机、推流器存在的泥水混合能耗高、易产生死角、底部积泥、泥水无法充分接触反应等问题,从而形成高效的污泥膨胀床。

1.3 主要构筑物及设计运行参数

① 预处理系统

隔油池和气浮机采用碳钢结构,设计处理量为60 m³/d,结构尺寸分别为3.0 m×1.6 m×2.5 m、4.0

m×2.5 m×2.5 m,有效水深2 m。隔油池收集的油脂可售卖给下游单位。

② 厌氧系统

采用钢筋混凝土结构,分为一级UABR(水解酸化)、二级UABR(甲烷化)、三级UABR(深度厌氧区),结构尺寸分别为15.0 m×8.0 m×7.5 m、15.0 m×16.0 m×7.5 m、14.0 m×8.0 m×7.5 m,有效水深为6.5 m,HRT分别为36、72和34 h,MLSS约8 000 mg/L。一级和三级UABR接种周边城镇污水处理厂厌氧系统和本酒厂二沉池的混合污泥,混合比例约3:1。二级UABR接种某酒厂厌氧颗粒污泥启动。主要设备有三相分离器、进水泵、污泥收集泵、涡流式布水器等。运行控制参数:pH为5~8、温度为30~35℃、ORP为-300~-200 mV。

③ 短程硝化系统

短程硝化系统包含一级缺氧和好氧池,一级缺氧池进一步降低COD、降低C/N比,一级好氧池积累亚硝酸盐。采用钢筋混凝土结构,一级缺氧和好氧池结构尺寸分别为5.0 m×8.0 m×7.5 m、9.5 m×8.0 m×7.5 m,有效水深为6.5 m,HRT分别为12、24 h,MLSS约6 000 mg/L。接种某酒厂二沉池污泥。缺氧池控制指标:pH为6.5~7.5、ORP为-100~100 mV、温度为20~30℃;好氧池控制指标:DO为0.01~0.5 mg/L、ORP为-50~100 mV、pH为6.5~8.5、温度为25~35℃,实现短程硝化。主要设备有三相分离器(缺氧池)、涡流式布水器、可拆卸式微孔曝气器、污泥收集泵、鼓风机等。

④ 厌氧氨氧化系统

采用钢筋混凝土构筑物,结构尺寸为9.0 m×8.0 m×7.5 m,有效水深为6.5 m,HRT为25 h,设计水温为30~35℃,pH为7.5~8.5,MLSS约7 000 mg/L。当pH较低时需适当补充碱度。主要设备有涡流式布水器、三相分离器、污泥收集泵。运行控制参数:pH为6.5~8.5、温度为30~35℃、ORP为-100~100 mV。

⑤ 深度处理系统

采用钢筋混凝土构筑物,结构尺寸为8.0 m×8.0 m×7.5 m,有效水深为6.5 m,HRT为20 h,MLSS约6 000 mg/L。接种某酒厂二沉池污泥,硝化液回流至一级缺氧池。主要设备有涡流式布水器、可拆卸式微孔曝气器、污泥收集泵、鼓风机和硝化液回流泵等。运行控制参数:pH为7.5~8.5、温度

为25~35℃、ORP为-100~150 mV、DO为0.1~0.4 mg/L。

⑥ 高效沉淀系统

高效沉淀区底部采用倒锥形,便于污泥收集和排放。采用钢筋混凝土结构,设计尺寸为 $\varnothing 7.0$ m×4.5 m,有效水深为3.9 m,HRT为6 h。设混凝和絮凝工作区,当二级O池出水总磷偏高时,此区启动应急系统,采用化学除磷,确保出水达标。主要设备有污泥收集泵、加药泵等。

⑦ 剩余污泥处理系统

污泥收集、储存在污泥浓缩池内,而后通过污泥泵运送至板框压滤机进行脱水,滤液回流至污水处理系统,泥饼则送至电厂焚烧处理。

1.4 短程硝化控制

短程硝化阶段利用氨氧化细菌(AOB)将氨氮转化为亚硝态氮,抑制亚硝酸盐氧化细菌(NO_B)将亚硝态氮转化为硝态氮。由于两者对生长环境要求不同,需将参数调控在适宜AOB生长的范围。调控参数:DO为0.01~0.5 mg/L、C/N<2、pH为6.5~7.5,在此环境条件下,短程硝化系统中无充足碳源及溶解氧供异养好氧菌生长,避免了异养好氧菌与AOB竞争;因游离氨 ≥ 150 mg/L会抑制AOB生长,游离氨 ≥ 1 mg/L会抑制NO_B生长,为此需严格控制此系统进水氨氮浓度为500~800 mg/L;同时,结合系统排泥,将污泥龄控制在15~25 d,逐渐淘汰NO_B,使AOB成为优势菌,实现短程硝化。另外,该系统的在线监测探头与控制系统相连,通过调控曝气、加药系统等实现对短程硝化的精准控制。

1.5 厌氧氨氧化调试

厌氧氨氧化系统接种凡星生物厌氧氨氧化颗粒污泥,污泥浓度约7 000 mg/L。以配水(COD为300 mg/L、氨氮为250 mg/L、亚硝态氮为10 mg/L、碱度为1 750 mg/L)方式进行初期启动,现场检测COD、氨氮、总氮、亚硝态氮等指标,必要时适量添加Ca、Mg、Cu、Fe等金属的单质或离子提高厌氧氨氧化菌的活性,促进菌群的多样性。而后,进水氨氮浓度一直维持在250 mg/L左右,亚硝态氮浓度以10 mg/L为梯度逐步提高至250 mg/L,当池体内亚硝酸盐浓度<30 mg/L,证明系统启动成功。需注意,任何时间池内亚硝态氮浓度不得超过100 mg/L,否则会完全抑制厌氧氨氧化菌种活性。

启动成功后,逐步替换短程硝化出水进行驯化

培养,替换比例依次为 25%、50%、75% 和 100%。该过程需注意控制进水流速和水量,其他指标与启动检测相同。当池内亚硝态氮浓度<30 mg/L,证明系统调试成功。

2 运行效果及分析

经试验验证,系统稳定运行半年后的进、出水水质见表 2,其中氨氮偏差是由于酒糟水产量减少,导致停留时间较长,发生厌氧反应使部分有机氮转化为氨氮,此时氨氮虽超过设计值,但不影响系统运行。

表 2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

项目	进水	出水
COD/(mg·L ⁻¹)	13 000~17 000	150~250
氨氮/(mg·L ⁻¹)	100~150	10~20
TP/(mg·L ⁻¹)	40~70	2~2.5
TN/(mg·L ⁻¹)	500~800	25~35
pH	5~6	6~8

各处理单元实际处理效果见表 3。

表 3 各处理单元的实际处理效果

Tab.3 Actual treatment effect of each process unit

	项目	COD	总氮	氨氮	亚硝态氮	总磷
一级 UABR	进水/(mg·L ⁻¹)	15 550	668	129	/	55
	出水/(mg·L ⁻¹)	11 185	645	570	/	55
	去除率/%	28	3.5	/	/	0
二级 UABR	进水/(mg·L ⁻¹)	11 185	645	570	/	55
	出水/(mg·L ⁻¹)	1 056	620	595	/	55
	去除率/%	90	3.9	/	/	0
三级 UABR	进水/(mg·L ⁻¹)	1 055	620	595	/	55
	出水/(mg·L ⁻¹)	590	620	610	/	55
	去除率/%	44	0	/	/	0
短程硝化	进水/(mg·L ⁻¹)	590	620	610	/	55
	出水/(mg·L ⁻¹)	290	520	230	275	20
	去除率/%	50	16	62	/	63.5
厌氧氨氧化	进水/(mg·L ⁻¹)	290	520	230	275	20
	出水/(mg·L ⁻¹)	260	50	30	6.5	20
	去除率/%	10	91	87	98	0
二级 O+沉淀区	进水/(mg·L ⁻¹)	260	50	30	6.5	20
	出水/(mg·L ⁻¹)	200	30	15	0	2.2
	去除率/%	23	40	50	100	89
	系统出水/(mg·L ⁻¹)	200	30	15	0	2.2
	总去除率/%	98.7	95.5	88.4	100	96.0
注: 一级 UABR、二级 UABR、三级 UABR、短程硝化、厌氧氨氧化、二级 O+沉淀区、系统出水的 pH 依次为 5.5、7.2、7.3、7.3、8.1、7.3、7.1。						

厌氧系统可将进水中 97% 的有机氮转化为氨氮,COD 去除率约 96%,C/N 比值基本维持在 0.95,有效提高了短程硝化效率,减少了曝气量。一、二和三级厌氧系统的容积负荷分别为 10.51、4.09 和 0.78 kgCOD/(m³·d),其中,二级厌氧系统的 COD 去除率高达 90%,去除负荷为 3.5 kgCOD/(m³·d)。一、二和三级厌氧系统的氨氮转化率分别为 81.8%、33.33%和 60%。

短程硝化系统总氮、氨氮和总磷去除率分别约 16%、62% 和 63.5%,去除负荷分别为 0.07 kgN/(m³·d)、0.26 kgNH₃-N/(m³·d)和 0.02 kgP/(m³·d),该系统反硝化使 COD 去除率高达 50%。短程硝化系统在低 DO 条件下实现亚硝酸盐积累,硝酸盐氮含量低于 10 mg/L,亚硝酸盐积累率高达 96.5%,亚硝态氮与氨氮比值为 1.20,与厌氧氨氧化理论值(1.30)接近;另外,该系统通过定期排泥控制污泥浓度,达到去除总磷的效果。厌氧氨氧化系统的总氮和氨氮去除率分别约 91%和 87%,去除负荷分别为 0.53 kgN/(m³·d)和 0.22 kgNH₃-N/(m³·d)。

二级 O 池的总氮、氨氮和总磷去除率分别约 40%、50% 和 88.5%,去除负荷分别为 0.07 kgN/(m³·d)、0.02 kgNH₃-N/(m³·d)和 0.02 kgP/(m³·d)。二级 O 池通过定期排泥除磷,采用石灰水沉淀区将 pH 提升至 9.5,再投加新型除磷剂(主要含硫酸铁、氯化铁等)调节 pH 至 7.0,通过与磷形成沉淀去除总磷,其泛用性和稳定性较强。该组合工艺处理出水 COD、总氮、氨氮和总磷分别维持在 200、30、15 和 2.2 mg/L,远低于设计排放标准,满足环保要求。

3 技术经济分析

该项目投资费用为 3 000 万元,其中直接工程费用约 2 720 万元。运行成本为 5.61 元/m³,其中,电费 2.2 元/m³、药剂费 2.01 元/m³、人工费 1.4 元/m³。

4 结论

采用预处理+UASB+厌氧/好氧(A/O)+厌氧氨氧化+好氧(O)+高效沉淀组合工艺处理豉香型白酒废水,UABR 厌氧系统能够将有机氮转化为氨氮,转化率达 97%,COD 去除率高达 96%,为后续处理奠定了良好基础。厌氧氨氧化系统的总氮和氨氮去除率分别为 91%和 87%,去除负荷分别达到 0.53 kgN/(m³·d)和 0.22 kgNH₃-N/(m³·d)。该项目出水

水质满足排放要求,豉香型白酒废水处理成本低至5.61元/m³。

参考文献:

- [1] 黄生林,陈小光,马春燕,等.我国白酒废水处理工艺探讨[J].中国酿造,2023,42(3):28-33.
HUANG Shenglin, CHEN Xiaoguang, MA Chunyan, *et al.* Discussion on the treatment technology of Baijiu wastewater in China [J]. China Brewing, 2023, 42(3): 28-33(in Chinese).
- [2] 赖建平.白酒酿酒废水处理厂工艺改造与扩建设计分析[J].节能与环保,2022(11):53-55.
LAI Jianping. Design analysis of process transformation and expansion of Baijiu wastewater treatment plant [J]. Energy Conservation Environmental Protection, 2022 (11):53-55(in Chinese).
- [3] 蒙小俊.基于短程反硝化的城市污水厌氧氨氧化脱氮技术分析[J].工业用水与废水,2023,54(6):7-12,48.
MENG Xiaojun. Analysis on amamox nitrogen removal technology for municipal sewage treatment based on shortcut denitrification [J]. Industrial Water &

Wastewater, 2019, 54(6):7-12, 48(in Chinese).

- [4] 杨培,张晨光,张方斋,等.垃圾渗滤液厌氧氨氧化脱氮技术的工程化应用探索[J].给水排水,2023,49(12):36-43,66.
YANG Pei, ZHANG Chenguang, ZHANG Fangzhai, *et al.* Engineering exploration on the leachate treatment by anaerobic ammonium oxidation [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 49(12):36-43, 66(in Chinese).
- [5] 李子森,岳腾飞,孟现彬,等.白酒酿酒废水除磷降氮处理工艺实践与探讨[J].酿酒,2023,50(5):99-102.
LI Zisen, YUE Tengfei, MENG Xianbin, *et al.* Practice and discussion on the processing of dephosphorization and nitrogen reduction of Baijiu brewing wastewater [J]. Liquor Making, 2023, 50(5):99-102(in Chinese).

作者简介:张哲(1985-),女,安徽阜阳人,硕士,技术负责人,主要从事污水处理项目建设、运营和技术研发工作。

E-mail:390154365@qq.com

收稿日期:2024-01-27

修回日期:2024-07-30

(编辑:衣春敏)

·信息·

国内自主设计的北方最大规模双膜法海水淡化工程正式通水运行

近日,由中国市政工程华北设计研究总院有限公司第二设计研究院与自然资源部海水淡化与综合利用研究所共同担纲设计的天津南港工业区海水淡化及综合利用一体化示范项目(30×10⁴ m³/d)一期正式通水运行。该项目是目前国内规模最大的双膜法海水淡化工程,也是马来西亚在中国投资的第一个“一带一路”倡议项目,对中马双方的合作有着重要的示范意义。

该项目每天可生产15×10⁴ m³海水淡化水,每年可替代地表水用量达5 000×10⁴ m³。项目投产后,南港工业区将成为全国首个以海水淡化水为主水源的化工园区。该项目工程投资约12亿元,采用气浮-超滤-反渗透的成熟工艺。通过技术创新将单套反渗透膜堆的淡化能力提升至3×10⁴ m³/d,是世界范围内海水淡化工程首次应用。该项目将为中国石油化工股份有限公司的120×10⁴ t/a乙烯项目、华电国际电力股份有限公司的华电南港热电工程和天津渤化化工发展有限公司的“两化”搬迁改造项目提供工业用水。

该项目的正式投产标志着该领域首次实现装备国产化,技术上实现了自主可控,也推动了国产海水淡化设备的研究进程,提升了国产海水淡化设备的制造能力,促进了海洋装备制造业的发展。

(转自“市政华北院”微信公众号)