

厌氧+A/O-MBR+NF+RO 工艺 在餐厨垃圾渗沥液处理中的应用

杨曦^{1*}, 李亚峰², 陈昱奇³, 李倩倩¹, 武利¹, 陈金楠¹

(1. 沈阳城市建设学院, 辽宁 沈阳 110167; 2. 沈阳建筑大学, 辽宁 沈阳 110168;
3. 沈阳水务集团, 辽宁 沈阳 110167)

摘要:针对某市水质水量波动明显且有机物、氨氮及油脂盐类质量分数高的餐厨垃圾渗沥液处理工程, 采用“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”组合工艺对餐厨垃圾渗沥液处理中的运行情况、处理效果及经济指标进行分析。结果表明, 在连续进水条件下, 系统 COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、SS 的平均去除率分别达到 99.65%、99.20%、99.55% 和 99.75%, 该工艺表现出抗冲击负荷能力强、高效快速等突出优点, 吨水处理费用为 22.38 元, 出水水质稳定, 达到国家一级排放标准, 具有推广前景。

关键词:餐厨垃圾渗沥液; MBR; NF; RO

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)05-0112-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.05.025

Application of anaerobic+A/O-MBR+NF+RO in treating with kitchen waste leachate

YANG Xi^{1*}, LI Ya-feng², CHEN Yu-qi³, LI Qian-qian¹, WU Li¹, CHEN Jin-nan¹

(1. Shenyang Urban Construction University, Shenyang 110167, China; 2. Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 3. Shenyang Water Affairs Group, Shenyang 110167, China)

Abstract: In the light of the kitchen waste leachate treatment project in a certain city of China where water quality and consumption both fluctuate obviously and the leachate containing high concentrations of organic matters, ammonia nitrogen, oil and salts, the anaerobic + A/O-MBR + NF + RO combination process is employed, and its operational situations, treatment effectiveness and economic indicators are also analyzed. The operation results show that the average removal rates of COD_{Cr}, BOD₅, NH₃-N, SS can reach to 99.65%, 99.2%, 99.55% and 99.75%, respectively under conditions of continuous water feeding. The process shows good performances when temperature and load change greatly, high efficient and high speed. The operation cost is RMB22.38 per cubic meter of water. The quality of effluent water can remain steadily and meet the requirement of China's national integrated wastewater discharge standards grade 1, showing a prospect of promotion.

Key words: kitchen waste leachate; MBR; NF; RO

餐厨垃圾是公共餐饮单位产生的固、液体有机废弃物的总称, 近年来随着餐饮行业的飞速发展, 餐厨垃圾处理问题日益严峻。相关调查研究资料显示, 中国在 2013 年全年生活综合垃圾处理能力为 17 238.6 万 t, 其中餐厨垃圾所占的比重为 30%~50%^[1]。清华大学环境系的统计数据显示每年餐厨垃圾的产量均高于 6 000 万 t^[2]。卫生填埋、收集分类及堆放发酵是我国目前处理餐厨垃圾的主要技术, 这一系列处理流程不可避免地产生高浓度餐厨垃圾渗沥液^[3]。

餐厨垃圾渗沥液水质水量波动大、有机物氨氮浓度高、含油含盐量大, 极易散发臭气、滋生蚊虫, 对

地表水、地下水、土壤大气造成严重污染^[4]。餐厨垃圾渗沥液的问题已受到有关部门的高度重视, 目前还没有形成一套相对成熟的处理系统。笔者根据“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”组合工艺在城市餐厨垃圾渗沥液处理中实际应用及现场运行数据, 分析了组合工艺各环节及整体效果, 为餐厨垃圾渗沥液的处理提供参考。

1 设计水质及工艺流程

1.1 废水处理项目概况

废水处理项目工程位于山东省某市西南部, 西侧为垃圾处理场, 南侧为污泥处理厂。废水处理工

收稿日期: 2017-10-16

基金项目: 沈阳城市建设学院科学研究发展基金项目(XKJ2016006); 辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2015355); 2017年度沈阳市科技创新智库立项课题

作者简介: 杨曦(1990-), 女, 硕士研究生, 助教, 研究方向为水处理新工艺、新技术, 通讯联系人, 63299142@qq.com。

程的总体处理规模为 350 m³/d,其中 200 m³ 来自该城市垃圾综合处理厂,其他如废弃生物油脂的处理、餐厨垃圾的处理等工序产生的渗沥液类污水共计 150 m³。餐厨垃圾处理过程产生的渗沥液及废弃生物油脂处理产生的废水需经该项目设置的废水处理站处理后才能达到排放标准。该处理工艺采用“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”核心技术。

1.2 进、出水水质

1.2.1 进水水质

工程废水进水水质如表 1 所示。

表 1 废水处理设施进水水质主要指标

项目	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	pH
设计值	10000	2500	3200	1500	6~9

1.2.2 出水水质

废水经处理后需执行《山东省海河流域水污染物综合排放标准》(DB 37/675—2007)一级标准进行排放。出水水质标准如表 2 所示。

表 2 废水处理设施出水水质主要指标

项目	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	pH
出水标准	≤40	≤20	≤70	≤10	6~9

1.3 工艺流程简述

餐厨渗沥液的特点是水质水量波动大、氨氮质

量浓度高、油脂盐类量大。要求工艺应具有适应性强,去除有机物、氨氮及盐分效果好,成本低、无二次污染等特点。因此,采用生化法与膜分离技术相结合的“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”处理工艺系统,确保了各项水质指标的达标排放。

废水经调节池均化水质水量后进入中温厌氧系统,厌氧过程降解大部分有机物,改善废水可生化性,并为后续处理降低负荷;出水自流进入外置 MBR 反应器,硝化-反硝化过程脱氮的同时去除有机物,UF 外置管式超滤膜起到截留作用;出水中难降解有机物及盐类通过深度处理系统(NF+RO)进行去除;深度处理系统产生浓缩液经第 2 级 RO 系统后蒸发处理,工艺流程如图 1 所示。

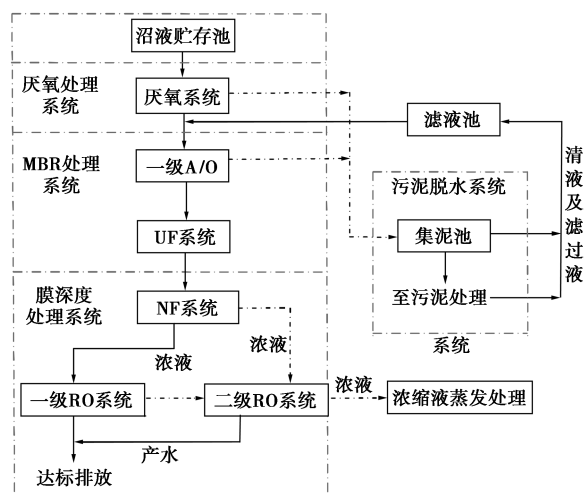


图 1 废水处理工艺图

(上接第 111 页)

- [4] 钟东文,钱俊峰,肖树荫.改性凹凸棒石黏土对乙二醇装置副产二乙二醇脱色研究[J].现代化工,2016(4):93-96.
- [5] 王方方.凹凸棒石改性及胶体性能研究[D].兰州:兰州理工大学,2014.
- [6] 孔德军,陈天虎,刘海波,等.煅烧凹凸棒石的水化处理对其结构演化和吸附 NH₃ 的影响[J].硅酸盐学报,2011,39(11):1867-1871.
- [7] Xavier K C M, Santos M R M C, Osajima J A, et al. Effects of acid treatment on the clay palygorskite: XRD, surface area, morphological and chemical composition[J]. Materials Research, 2014, 17(8):3-8.
- [8] Xue Aailian, Zhou Shouyong, Zhao Yijiang, et al. Effective NH₂-grafting on attapulgite surfaces for adsorption of reactive dyes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 194(5):7-14.
- [9] 宋磊,陈天虎,李云霞,等.凹凸棒石负载的 Cu-Mn-Ce 催化剂上甲苯氧化反应性能[J].催化学报,2011,32(4):652-656.
- [10] Huo Chengli, Yang Huaming. Preparation and enhanced photocatalytic activity of Pd-CuO/palygorskite nanocomposites[J]. Applied Clay Science, 2013, 74:87-94.

- [11] Yu Jiang, Yang Qiuxin. Magnetization improvement of Fe-pillared clay with application of polyetheramine[J]. Applied Clay Science, 2010, 48:185-190.
- [12] Chen Lei, Xu Jinzhang, Hu Jun. Removal of U(VI) from aqueous solutions by using attapulgite/iron oxide magnetic nanocomposites[J]. J Radioanal Nucl Chem, 2013, 297:97-105.
- [13] Fan Qiaohui, Li Ping, Chen Yunfei, et al. Preparation and application of attapulgite/iron oxide magnetic composites for the removal of U(VI) from aqueous solution[J]. J Hazard Mater, 2011, 192(3):1851-1859.
- [14] Zhao Guanghui, Wang Jianzhi, Li Yanfeng, et al. Enzymes immobilized on superparamagnetic Fe₃O₄@clays nanocomposites: Preparation, characterization, and a new strategy for the regeneration of supports[J]. J Phys Chem C, 2011, 115:6350-6359.
- [15] Liu Yushan, Liu Peng, Su Zhixing, et al. Attapulgite-Fe₃O₄ magnetic nanoparticles via co-precipitation technique[J]. Appl Surf Sci, 2008, 255:2020-2025.
- [16] Lu Jian, Jiao Xiuling, Chen Dairong, et al. Solvothermal synthesis and characterization of Fe₃O₄ and γ-Fe₂O₃ nanoplates[J]. J Phys Chem C, 2009, 113:4012-4017. ■

2 主要处理单元

2.1 中温厌氧反应器

国内外学者对废水的厌氧生物处理进行了大量研究,结果充分证实厌氧生物处理技术良好的适应性,且适用于各类废水在高温或低温状态下的处理^[5-6]。具有处理负荷高、运行成本低、可回收能源气体的优点,切合国家“节能减排”目标。

本工程中,选用 3 座圆柱型完全混合湿式发酵反应器,单池容积为 2 000 m³,采用钢筋混凝土防腐结构。拱顶采用双层膜沼气储气罐,底部为平底,配厌氧循环泵(渣浆泵,137 m³/h,0.3 MPa)6 台。反应器内设置厌氧环境,外加微生物生长及代谢所必需营养物质,废水中的大部分有机物经过厌氧微生物的共同作用,最终转化为 CH₄ 和 CO₂。为达到隔热条件,需以设计温度与外界大气温度的最小差值为依据,对实验装置外部进行包裹。本工程采用中温消化,厌氧细菌代谢的温度范围在 33~35℃ 之间,为补偿运行过程中热量的损失并且为反应器加热,反应器内部配备热循环系统,保证处理温度在 35℃ 左右。

2.2 膜生物反应器(A/O-MBR)系统

膜生物反应器(A/O-MBR)由硝化/反硝化(A/O)系统和外置管式超滤膜(UF)2 部分构成。反硝化池与硝化池各 1 座,设计污泥质量浓度为 10 000 mg/L,反硝化池容积为 772 m³,设计水力停留时间为 2.21 d;硝化池容积为 2 207 m³,水力停留时间为 6.31 d。硝化池采用射流曝气方式,设搅拌器 2 台,射流曝气器 6 台,射流循环泵 3 台,污水冷却循环泵、冷却塔、板式换热器各 1 台。选用的外置管式超滤膜最大孔径小于 0.035 μm,可保证水中粒径大于 0.030 μm 的颗粒完全去除。

2.3 NF(纳滤)系统

为保证出水水质达标,采用纳滤膜(NF)和反渗透(RO)膜过滤深度处理系统处理餐厨垃圾渗滤液。NF 是介于超滤与反渗透之间的压力驱动完成的膜分离技术,主要去处对象:水中残余难降解有机物、总氮、二价离子和色度^[7]。相关研究表明^[8],餐厨垃圾渗滤液中含有部分难生物降解有机物,因此 NF 是一种理想的去除工艺。NF 系统设计处理能力为 350 m³/d,三段式 15 支卷式纳膜元件,膜通量为 9.55 L/(m²·h),出水率为 80%。

2.4 RO(反渗透)系统

反渗透是一种精密的液体过滤技术,在薄膜一

侧外加高于体系中溶液本身渗透压的驱动力,迫使水分子透过薄膜从浓度高的一侧进入低浓度的另一侧,即渗透向相反方向进行^[9]。反渗透工艺的主要去除对象是溶解性无机盐及部分有机杂质。任洪强等^[10]采用以反渗透技术为核心的组合工艺处理印染废水,进水 COD_{Cr} 为 200~400 mg/L,电导率为 5 000~6 680 μs/cm,出水 COD_{Cr} 为 10~15 mg/L,电导率为 40~60 μs/cm,COD 和盐类均被有效去除。RO 工艺去除范围广、脱盐率高,因此该废水处理工程将 RO 技术作为深度处理最后的保障环节。RO 系统设计处理能力为 280 m³/d,膜通量为 9.55 L/(m²·h),四段式 9 支卷式有机负荷膜的出水率为 80%。

2.5 浓缩液处理系统

NF 及 RO 系统均产生浓缩液,集中进入第二级 RO 系统进一步浓缩后进入蒸发处理系统,二级 RO 出水及蒸发系统冷凝水与一级 RO 产水达标后统一排放。

3 工艺运行效果

用“厌氧+A/O-MBR+NF+RO 组合工艺”对出水进行连续性监测,结果各污染因子都有较高的去除率,各项指标均达到了设计要求和排放标准,主要单元的处理效果如表 3 所示。

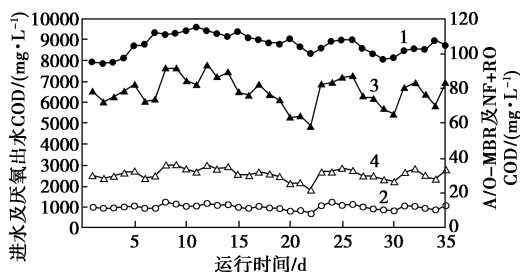
表 3 主要单元处理效果

处理单元	原水	厌氧系统	A/O-MBR 系统	NF+RO 系统
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	10000	≤1200	≤100	≤30
COD _{Cr} 去除率/%		88	91.7	70.0
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	2500	≤600	≤60	≤20
BOD ₅ 去除率/%		67	90	66.67
NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	1500	—	≤15	≤7
NH ₃ -N去除率/%		99.0		53.33
SS/(mg·L ⁻¹)	3200	≤1500	≤400	≤1
SS去除率/%		53.1	73.33	99.75
pH	6~9	6~9	6~9	6~9

3.1 工艺对 COD 去除效果及分析

“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”工艺稳定运行时各环节进出水中 COD 质量浓度的变化情况如图 2 所示。由图 2 可以看出,进水 COD 有一定波动,组合工艺对餐厨垃圾渗滤液中有机污染物去除效果显著,经过厌氧阶段 COD 质量浓度基本维持在

980 mg/L左右,A/O-MBR过程超滤膜截留后的COD质量浓度平均为77.78 mg/L,去除率平均达到99.01%。厌氧和A/O-MBR过程去除并截留了原水中大部分有机物,深度处理中NF的主要作用对象是部分难降解有机物,RO进行进一步拦截,保证出水COD质量浓度不大于30 mg/L,平均去除率为99.65%。有效保障了该流程出水有机物质量浓度指标达到排放要求。

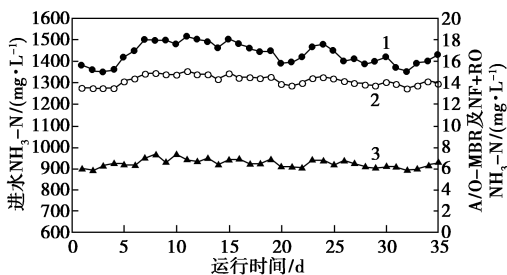


1—进水;2—厌氧出水;3—A/O-MBR出水;4—NF+RO出水

图2 COD进出水质量浓度变化

3.2 工艺对NH₃-N去除效果及分析

采用“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”处理餐厨垃圾渗沥液,系统稳定运行时各反应环节出水NH₃-N变化情况如图3所示。



1—进水;2—A/O-MBR出水;3—NF+RO出水

图3 NH₃-N进出水浓度变化

由图3可以看出,组合工艺的平均去除率高达99.55%。A/O-MBR反应池具有很强的脱氮能力,经此过程NH₃-N的平均去除率>97.62%,可见NH₃-N的去除主要发生在此单元。这是因为MBR工艺系统中外置管式超滤膜的高效截留作用保证了反应池内较高的污泥浓度,极强的硝化作用去除了大量NH₃-N,但出水的NH₃-N质量浓度大于13 mg/L,仍不能满足排放标准。由于膜的去硝作用,后续NF和RO工艺对残余NH₃-N的平均去除率为54.92%,保证出水NH₃-N的质量浓度极低,系统运行稳定,指标达到排放标准。

4 经济指标分析

该工程占地面积约46 700 m²,污水处理能力为

350 t/d,生产总投资约5 481.01万元人民币,其中工程费用913.86万元人民币,设备部分投资1 955.11万元人民币。处理成本为22.38元/t,其中电费7.64元,药剂费4.5元,人工费4.65元。

该项目不仅解决了餐厨垃圾渗沥液现状,各项经济指标均符合要求。

5 结论

该工程设计规模为350 t/d,采用“厌氧+A/O-MBR+NF+RO”组合工艺处理城市餐厨渗沥液,厌氧过程有效地去除了餐厨渗滤液中的有机污染物,为后续膜技术的应用创造适宜的条件,A/O-MBR使废水COD质量浓度达标的同时大幅度地降低NH₃-N质量浓度,减轻后续NF+RO过程的负荷,有效地降低运行费用。深度处理过程确保总氮达标排放。水质指标COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、SS的平均去除率分别为99.65%、99.2%、99.55%和99.75%,具有较好的去除效果。

该工艺流程简单、结构紧凑,在水质水量波动的情况下运行稳定,吨水处理成本低,可在餐厨垃圾渗沥液处理领域应用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴——2014[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [2] 吴旭亮.广州市餐厨垃圾处理项目商业计划[D].广东:华南理工大学,2010.
- [3] 王亚光,吴玉先,滕瑶等.餐厨垃圾渗滤液的基本特性分析[J].吉首大学学报(自然科学版),2016,37(1):69-73.
- [4] 王丹丹,郭显强,古励,等.餐厨垃圾渗滤液强化城市污泥消化作用研究[J].环境科学学报,2014,34(10):2566-2572.
- [5] Siggins A, Enright A M, O'Flaherty V. Low-temperature (70C) anaerobic treatment of a trichloroethylene-contaminated wastewater: Microbial community development[J]. Water Res, 2011, 45(13): 4035-4046.
- [6] 孙佳伟,谢丽,周琪,等.高温厌氧EGSB反应器处理酒精废水的启动与运行[J].水处理技术,2009,34(11):68-71.
- [7] 李志华.预处理/厌氧/MBR/NF/RO工艺处理垃圾焚烧渗滤液[J].中国给水排水,2016,32(8):92-94.
- [8] 刘研萍,李秀金,王宝贞.DT-RO处理垃圾渗滤液工程介绍[J].给水排水,2005,(8):41-45.
- [9] 田晓媛.纳滤/反渗透膜技术处理高盐废水及高浓度重金属废水的研究[D].湘潭:湘潭大学,2014.
- [10] 任洪强,尤隼,严永红.BAF/UF/RO联合工艺深度处理印染废水[J].中国给水排水,2006,21(22):82-84. ■