

餐厨废弃物厌氧消化沼液处理工艺设计

耿 震, 王 罕

(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214005)

摘 要: 无锡惠联餐厨废弃物处理项目日处理餐厨废弃物 440 t, 废水处理设施主要处理厌氧消化产生的沼液和其他生产废水, 处理量约 $650 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用“厌氧氨氧化 + 两级 A/O - MBR”处理工艺。针对废水氨氮浓度高、碳氮比低的特点, 创新性地采用厌氧氨氧化工艺脱氮, 避免了高浓度氨氮对异养菌生长的抑制, 又极大地降低了曝气量和碳源投加量。高效脱氮后采用两级 A/O - MBR 工艺, 可以满足出水总氮和有机物的排放要求。针对油脂含量高的特点, 采用 PTFE 材质的 MBR 膜, 可以在油脂污染后经过清洗恢复其使用功能。

关键词: 餐厨废弃物; 厌氧沼液; 厌氧氨氧化; MBR

中图分类号: TU993 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000 - 4602(2019)22 - 0062 - 04

Process Design of Anaerobic Digestion Biogas Slurry Treatment for Kitchen Waste

GENG Zhen, WANG Han

(Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214005, China)

Abstract: The treatment capacity of Huilian kitchen waste treatment project in Wuxi is 440 tons per day. The raw wastewater of the process were biogas slurry from anaerobic digestion and other industry wastewater. The capacity of the wastewater treatment process was about $650 \text{ m}^3/\text{d}$. The combination treatment process was anaerobic ammonia oxidation and two-stage A/O - MBR. According to the characteristics of high ammonia-nitrogen concentration and low carbon-nitrogen ratio in wastewater, the anaerobic ammonia oxidation process was adopted in this project. So the inhibition of high ammonia-nitrogen concentration on the growth of heterotrophic bacteria could be avoided, and the aeration rate and dosage of carbon source could be greatly reduced. Two-stage A/O - MBR process was adopted after high efficiency denitrification in anaerobic ammonia oxidation, which could meet the discharge requirements of total nitrogen and organic pollutants in effluent. Due to the characteristics of high content of oil, the material of MBR membrane was PTFE, which could be cleaned and restored after oil contamination.

Key words: kitchen waste; anaerobic biogas slurry; ANAMMOX; MBR

餐厨废弃物如果不经无害化处理, 部分会通过各种途径进入食物链, 不但对环境造成污染, 也对人体健康产生较严重的危害。随着国家对食品安全及环境保护监管力度的加大, 各地纷纷开始建设餐厨废弃物无害化处置设施。

根据相关规划要求, 无锡市需建设两个餐厨废弃物处理项目。其中, 无锡惠联餐厨废弃物处理项

目位于市区西北部的惠联热电厂内, 日处理餐厨废弃物 440 t, 采用分选 + 制浆 + 厌氧消化工艺。项目主要包括预处理单元、厌氧消化单元、沼气处理单元、废水处理单元等几个部分。废水处理设施主要处理厌氧消化产生的沼液和其他生产废水, 处理量约 $650 \text{ m}^3/\text{d}$ 。本项目目前即将进入调试阶段。

废水设计进水水质参考其他类似规模项目的实

际运行数据,出水根据环评要求,执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的三级排放标准。

本项目废水处理设计进、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	10 000 ~ 15 000	≤500
BOD ₅	4 000 ~ 6 000	≤300
TN	3 000	≤70
NH ₄ ⁺ - N	2 500	≤45
TSS	6 000	≤400
TP	50	≤8
动植物油	1 000	

1 餐厨废弃物厌氧消化沼液特点

① 污染物成分复杂多变

餐厨废弃物厌氧沼液内有机物种类高达百余种,其中所含有机物大多为腐殖类高分子碳水化合物和中等分子质量的灰黄霉酸类物质,且内含苯、萘、菲等杂环芳烃化合物,多环芳烃、酚、醇类化合物,苯胺类化合物等难降解有机物,因而其水质是相当复杂的,污染物种类多。

② 有机污染物浓度高(COD 浓度高)

餐厨废弃物厌氧沼液 COD 较高,能达到 10 000 mg/L 以上,要求系统有较高的 COD 去除能力。

③ 氨氮浓度高

餐厨废弃物厌氧沼液氨氮浓度较高,一般为 2 500 mg/L,要求系统具备较高的脱氮能力。

④ 重金属离子与盐分含量高

餐厨废弃物厌氧沼液中的重金属离子与盐分含量较高,沼液的盐分高达 0.5% ~ 1%。

⑤ 油脂含量高

餐厨废弃物厌氧沼液中含有较高的油脂,含量在 1 000 mg/L 左右,对生化去除存在一定的抑制作用,且油脂进入膜处理系统也极易导致堵塞,故在对废水处理前,首先需要考虑油脂的去除。

2 工艺方案论证

2.1 预处理工艺

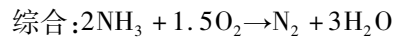
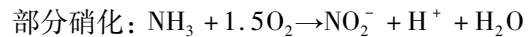
本项目废水含油脂较高,如果直接按常规废水处理设计,极易导致生化处理系统崩溃,故设计采用混凝-气浮工艺进行除油预处理。

2.2 氨氮主要去除工艺

由于本项目废水中 COD 和氨氮含量均很高,尤

其是氨氮含量高达 2 500 mg/L,常规的生物处理工艺很难有效去除这部分污染物,且采用常规的硝化反应需要大量的曝气供氧,能耗较高,所以新型高效节能的生物脱氮处理工艺的应用迫在眉睫。

厌氧氨氧化工艺是一项创新的生物处理工艺,是脱氮领域的重要突破。厌氧氨氧化(ANAMMOX)发现于 20 世纪 90 年代。它是一个以氨为电子供体,以亚硝酸盐为电子受体的生物反应,反应产物为氮气,在废水生物脱氮领域具有良好的应用前景^[1]。厌氧氨氧化菌是一种自养型微生物,属浮霉菌,其生化反应式可表示为:



氨氮经过部分硝化生成亚硝基氮,生成的亚硝基氮与氨氮在 ANAMMOX 微生物的作用下直接反应生成氮气实现氨氮的去除。传统的硝化/反硝化工艺去除 1 mol 氨氮需消耗 2 mol 氧气及一定量的碳源;而 ANAMMOX 工艺去除 1 mol 氨氮,仅需消耗 0.75 mol 氧气,不需要任何碳源,工艺机理上的差异导致了 ANAMMOX 在反应器大小、运行成本、处理效果上均远远优于硝化/反硝化工艺^[2],故本项目废水氨氮去除采用厌氧氨氧化工艺。

为避免进水 BOD₅ 过高使得异养菌增殖对 ANAMMOX 菌种的活性造成影响^[3],设计在气浮单元后设置高负荷曝气反应器,主要用于去除废水中大量的有机物。

2.3 有机物和氨氮深度处理工艺

废水经预处理、高负荷曝气和厌氧氨氧化反应器后,仍含较高浓度的 COD 和氨氮。设计采用两级 A/O-MBR 工艺进行深度处理,以达到排放标准。

3 工艺流程

综上所述,本项目废水处理采用混凝气浮+高负荷曝气池+厌氧氨氧化(ANAMMOX)反应器+两级 A/O-MBR 工艺,各单元设计污染物去除率见表 2。具体流程见图 1。餐厨废弃物厌氧沼液输送至调节池内,然后通过水泵打入后续气浮处理单元,在进入气浮单元前向废水中投加一定量的絮凝剂及混凝剂,可起到去除悬浮物及油脂的作用,同时去除胶体及部分磷酸盐。气浮单元出水泵送至高负荷曝气池,去除大部分有机物后进入二沉池进行泥水分离。二沉池出水自流进入 ANAMMOX 反应器中发生短

程硝化-厌氧氨氧化反应,去除废水中大部分氨氮,其后出水进入两级硝化-反硝化反应,以去除废水中剩余的有机物和氮类污染物,最后经过内置式

MBR 膜组件进行泥水分离,清液(出水)达标排放,浓液(污泥)一部分回流到前端一级反硝化池,一部分作为剩余污泥排入污泥池。

表 2 各单元设计去除率

Tab.2 Design removal rate of each unit

项 目		COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	SS	动植物油
混凝气浮池	进水/(mg·L ⁻¹)	15 000	6 000	2 500	3 000	6 000	1 000
	出水/(mg·L ⁻¹)	8 000	2 500	2 500	2 800	2 000	100
	去除率/%	46.7	58.3	—	6.7	66.6	90
高负荷曝气池+沉淀池	进水/(mg·L ⁻¹)	8 000	2 500	2 500	2 800	2 000	100
	出水/(mg·L ⁻¹)	2 000	500	2 700	2 800	1 500	50
	去除率/%	75	80	—	—	33.3	50
ANAMMOX 反应器	进水/(mg·L ⁻¹)	2 000	500	2 700	2 800	1 500	50
	出水/(mg·L ⁻¹)	1 800	500	150	450	500	30
	去除率/%	10	—	94.4	83.9	66.6	40
MBR	进水/(mg·L ⁻¹)	1 800	500	150	450	500	30
	出水/(mg·L ⁻¹)	500	300	45	70	400	10
	去除率/%	72.2	40	70	84.4	20.0	66.6
出水要求/(mg·L ⁻¹)		≤500	≤300	≤45	≤70	≤400	≤30

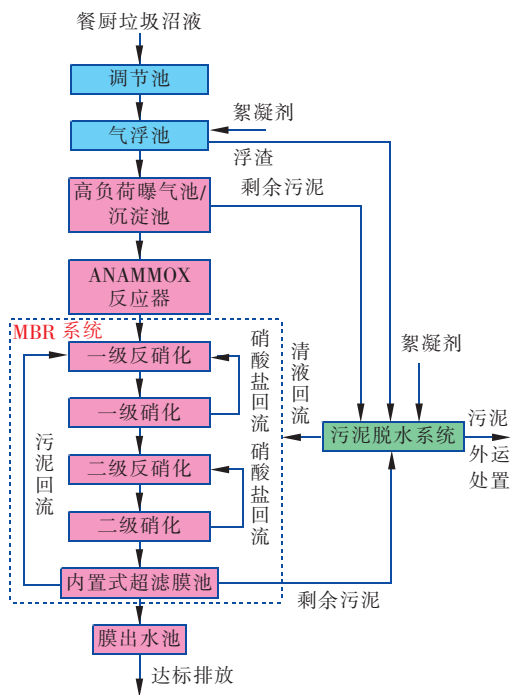


图 1 工艺流程

Fig.1 Process flow chart

4 主要构筑物设计参数

4.1 混凝气浮池

混凝气浮池包括混凝反应池和组合气浮设备。其中混凝反应池采用钢混结构,尺寸为 2.0 m×3.0 m×6.5 m,有效水深为 5.0 m,有效容积为 30 m³;组合气浮设备采用碳钢防腐材质,尺寸为 6.0 m×3.0

m×2.1 m。

4.2 高负荷曝气池

高负荷曝气系统主要作用是去除废水中大量的有机物,降低对后续 ANAMMOX 反应器中 ANAMMOX 菌种的活性造成影响,并且大幅度降低后续生物处理单元的负荷。系统主要包括高负荷曝气池和二沉池。

高负荷曝气池采用钢混结构,有效容积为 830 m³,尺寸为 Ø11.5 m×9.0 m,有效水深为 8.0 m。停留时间为 1.17 d,标准需氧量为 2 400 kgO₂/d。

二沉池采用钢混结构,有效容积为 200 m³,尺寸为 Ø8.0 m×4.5 m。

主要设备包括进水泵、污泥排放泵、刮泥机、鼓风机、微孔曝气器等。

4.3 厌氧氨氧化反应器

ANAMMOX 反应器共 1 座,采用碳钢防腐材质,尺寸为 Ø12.0 m×9.0 m,有效容积为 915 m³。设计脱氮负荷为 1.6 kgN/(m³·d),设计水温为 30~38℃,ANAMMOX 污泥量(红菌)为 100 t,标准需氧量为 3 000 kgO₂/d。主要设备包括进水泵、污泥排放泵、鼓风机、微孔曝气器、板式换热器、冷却塔、蒸汽喷射器、冷水水泵、冷却污泥泵等。

4.4 MBR 系统

MBR 系统由反硝化系统、硝化系统和内置式 MBR 膜系统组成。其中反硝化系统和硝化系统采

用两级工艺。硝化池内曝气采用专用射流鼓风曝气。MBR膜组件采用浸没式独立膜箱,置于膜池之中,膜滤后的清水存储在膜出水池中,最后排入地下污水管网进入城市污水处理厂进行进一步处理。

MBR系统总有效容积为 $3\,140\text{ m}^3$,总停留时间为 115.8 h 。其中,一级反硝化池尺寸为 $9.0\text{ m}\times 10.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$, $\text{HRT}=21.6\text{ h}$;一级硝化池尺寸为 $17.0\text{ m}\times 10.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$, $\text{HRT}=40.8\text{ h}$;二级反硝化池尺寸为 $9.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$, $\text{HRT}=15.1\text{ h}$;二级硝化池尺寸为 $17.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$, $\text{HRT}=28.6\text{ h}$;膜池尺寸为 $13.5\text{ m}\times 3.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$, $\text{HRT}=9.7\text{ h}$ 。水池合建,采用钢混结构,有效水深 6.5 m 。

生化池设计污泥浓度为 $6\sim 10\text{ kg/m}^3$,反硝化速率为 $0.065\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,剩余污泥量为 710 kg/d ,生化需氧量为 $24\,411.2\text{ kgO}_2/\text{d}$;膜通量为 $40\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,膜面积为 $2\,898\text{ m}^2$,膜孔径为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,膜元件数量42支,采用PTFE材质。

主要设备包括反硝化池搅拌器、射流曝气器、射流循环泵、硝化液回流泵、抽吸泵、反洗泵、污泥回流泵、鼓风机、MBR膜组件、板式换热器、冷却水泵、冷却污泥泵等。

4.5 剩余污泥处理系统

污水处理系统产生的污泥输送到污泥浓缩池内储存,然后通过污泥进料泵输送到污泥离心脱水机进行脱水。污泥脱水产生的滤液回至本工程的污水处理系统。产生的绝干污泥量为 5.47 t/d 。

5 投资与运行成本分析

本项目废水处理工程总投资为3200万元,其中工程直接费用为2966万元。餐厨沼液处理运行直接成本为 $17.4\text{ 元}/\text{m}^3$,其中药剂费为 $7.9\text{ 元}/\text{m}^3$ 、电费为 $8.0\text{ 元}/\text{m}^3$ 、人工费为 $1.5\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

6 结语

① 采用厌氧氨氧化工艺处理餐厨废弃物厌氧消化沼液,既可以避免高浓度氨氮对异养菌生长的抑制,又极大地降低了曝气量和碳源投加量。

② 对于 BOD_5 较高的废水,厌氧氨氧化菌种相对普通异养菌增殖竞争优势很弱。本项目设计高负荷曝气反应器,通过控制停留时间和溶解氧,去除大部分 BOD_5 ,使得厌氧氨氧化菌种取得竞争优势。

③ 餐厨废弃物油脂含量较高,MBR膜如采用PVDF材质,油脂对其损害是不可逆的。本项目MBR

膜采用PTFE材质,油脂污染后可清洗恢复其使用功能。

参考文献:

- [1] 郑平,张蕾. 厌氧氨氧化菌的特性与分类[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2009,35(5):473-481.
Zheng Ping, Zhang Lei. Characterization and classification of anaerobic ammonium oxidation (Anammox) bacteria [J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci, 2009, 35(5): 473-481 (in Chinese).
- [2] 姜黎安,隋倩雯,徐东耀,等. 部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺处理低氨氮废水研究进展[J]. 环境工程, 2019, 37(1): 61-66.
Jiang Li'an, Sui Qianwen, Xu Dongyao, et al. Research progress on treatment of low ammonia nitrogen wastewater by partial nitrification - anammox process [J]. Environmental Engineering, 2019, 37(1): 61-66 (in Chinese).
- [3] 杨瑞丽,王晓君,吴俊斌,等. 厌氧氨氧化工艺快速启动策略及其微生物特性[J]. 环境工程学报, 2018, 12(12): 3341-3350.
Yang Ruili, Wang Xiaojun, Wu Junbin, et al. Rapid start-up strategy and microbial characteristics of anammox process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(12): 3341-3350 (in Chinese).



作者简介:耿震(1978-),男,江苏徐州人,硕士,高级工程师,主要从事市政给排水、固体废物处理、海绵城市与水环境以及环境保护领域的设计研究工作,现任无锡市政设计研究院有限公司副总工程师、公用工程设计所所长,曾获第五届江苏省优秀工程勘察设计称号。

E-mail: 2391030038@qq.com

收稿日期:2019-03-04