

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.08.021

# 生活垃圾转运站厨余垃圾渗滤液处理工程实践

李捷<sup>1</sup>, 袁玮良<sup>2</sup>, 徐骄阳<sup>2</sup>, 马祥<sup>2</sup>, 吴潇<sup>2</sup>, 徐冬喜<sup>2</sup>

(1. 南京环境集团有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 江苏分公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:** 以南京市某生活垃圾转运站的厨余垃圾渗滤液处理为例,介绍了预处理+厌氧+MBR(两级A/O+超滤)+臭氧催化氧化处理工艺在厨余垃圾渗滤液处理中的应用情况。预处理阶段采用叠螺脱水机、隔油池及气浮装置去除渗滤液中大量的悬浮物及油脂等物质,再通过厌氧反应器降低渗滤液中的有机物浓度,厌氧出水进入MBR系统进一步去除有机物、氮、磷等污染物;深度处理段采用臭氧催化氧化作为保障措施。该项目预处理段对悬浮物、动植物油、TP的去除率分别为92.4%、88.1%、87.9%,生化处理段对COD、NH<sub>3</sub>-N、TN的去除率分别为99.0%、97.5%、93.4%,主要出水指标可达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)中的B级限值规定。

**关键词:** 生活垃圾转运站; 厨余垃圾渗滤液; 厌氧反应器; MBR工艺; 臭氧催化氧化; 管式超滤膜

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)08-0125-05

## Engineering Practice of Kitchen Waste Leachate Treatment in a Domestic Waste Transfer Station

LI Jie<sup>1</sup>, YUAN Wei-liang<sup>2</sup>, XU Jiao-yang<sup>2</sup>, MA Xiang<sup>2</sup>, WU Xiao<sup>2</sup>, XU Dong-xi<sup>2</sup>

(1. Nanjing Environment Group Co. Ltd., Nanjing 210000, China; 2. Jiangsu Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210000, China)

**Abstract:** Taking the kitchen waste treatment in a domestic waste transfer station in Nanjing as an example, the application of a combined treatment process including pre-treatment, anaerobic, MBR (two-stage A/O and MBR) and ozone catalytic oxidation is introduced. In the pre-treatment stage, a stack dehydrator, an oil trap and an air flotation device are used to remove large amounts of SS and grease in the leachate. The anaerobic process is used to remove organic content in leachate, and then the anaerobic effluent entered MBR to further remove the pollutants such as organic matter, nitrogen and phosphorus. Finally, ozone catalytic oxidation is used as a safeguard measure in the advanced treatment process. In this project, the removal rates of suspended solids, animal and vegetable oil, and TP in pre-treatment stage are 92.4%, 88.1% and 87.9%, respectively. The removal rates of COD, NH<sub>3</sub>-N and TN in biochemical treatment section are 99.0%, 97.5% and 93.4%, respectively. The effluent quality could meet the standard of level B of Wastewater Quality Standards for Discharge to Municipal Sewers (GB/T 31962-2015).

**Key words:** domestic waste transfer station; kitchen waste leachate; anaerobic reactor; MBR process; ozone catalytic oxidation; tubular ultrafiltration membrane

南京市某生活垃圾转运站总占地面积17 298 m<sup>2</sup>,设计转运规模为1 500 t/d,其中290 t/d为厨余垃

圾。2020年10月新增1套处理规模为100 m<sup>3</sup>/d的厨余垃圾渗滤液处理系统,其中厨余垃圾压缩产生的渗滤液60 m<sup>3</sup>/d,冲洗水等其他生产废水40 m<sup>3</sup>/d。该系统采用预处理(叠螺脱水+隔油+两级气浮)+厌氧+MBR(两级A/O+超滤)+臭氧催化氧化处理工艺,出水水质可达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的B级限值规定,出水达标后纳入城市污水管网。

## 1 设计水质及工艺流程

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/ (mg·L <sup>-1</sup> )	pH	SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )	动植物 油/(mg·L <sup>-1</sup> )
进水	60 000~ 80 000	5~8	30 000~ 50 000	1 500	1 100	200	1 000~ 3 000
出水	500	6.5~9.5	400	70	45	8	100

该项目厨余垃圾渗滤液成分复杂,污染物种类多、浓度高且随垃圾来料变化频繁波动,还含有部分油脂,塑料带状物、纤维条状物及小颗粒固体杂质也会随垃圾进入渗滤液。综合考虑厨余垃圾渗滤液的特点,在保证处理效果的基础上,需采用切合实际的处理工艺,选用节能且高效的工艺设备,尽量降低工程投资,并考虑后续运行维护成本。

渗滤液处理工艺流程见图1。厨余垃圾压榨后产生的渗滤液经收集后由泵提升进入叠螺脱水机,通过投加絮凝药剂去除大部分悬浮物并带走部分油脂,清液进入调节池,残渣外运。调节池内渗滤液经隔油、两级气浮处理后,悬浮物和油脂浓度进一步降低,满足进入厌氧反应器的条件。在厌氧反应器中,通过厌氧微生物的作用去除绝大部分有机物,产生的沼气通过内燃式火炬燃烧,厌氧出水通过厌氧沉淀池回收部分厌氧污泥。厌氧沉淀池出水自流至MBR系统,在缺氧/好氧交替条件下硝化菌将渗滤液中的氨氮氧化为硝态氮,反硝化菌将硝态氮还原为氮气,最终实现总氮的去除,同时降低了有机负荷,并补充了后续硝化反应的碱度。在管式超滤膜的作用下实现泥水分离,同时膜的高效截留作用可保证MBR系统在高污泥浓度条件下稳定运行,最终MBR出水达标排放,应急条件下MBR出水进入臭氧催化氧化系统,进一步去除有机物,达

到排放要求。

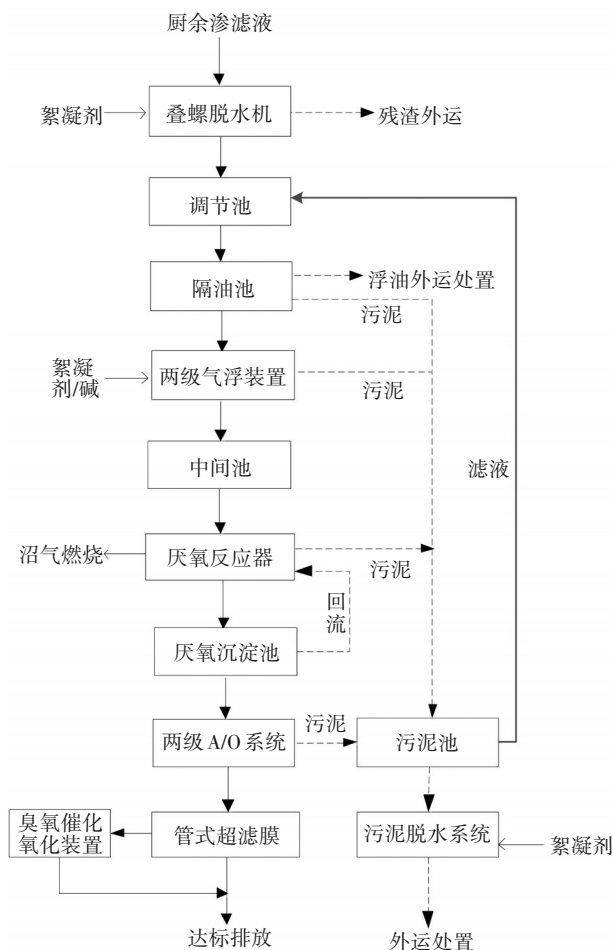


图1 渗滤液处理工艺流程

Fig.1 Process flow chart of leachate treatment

## 2 主要处理单元工艺设计

### 2.1 预处理系统

预处理系统包括叠螺脱水机、调节池、隔油池及两级气浮系统。

#### ① 叠螺脱水机

厨余渗滤液中悬浮物浓度较高,通过叠螺脱水机的作用控制滤液SS<5 000 mg/L,能极大降低后续处理单元负荷,同时还能降低油脂含量。

主要设备:进料泵2台(1用1备), $Q=20$  m<sup>3</sup>/h, $H=300$  kPa, $N=7.5$  kW;叠螺脱水机1台, $Q=20$  m<sup>3</sup>/h, $N=5.5$  kW,出泥含水率80%;絮凝剂制备装置1套,制备能力1 m<sup>3</sup>/h;加药螺杆泵1台, $Q=1$  m<sup>3</sup>/h, $H=150$  kPa, $N=0.75$  kW。

#### ② 调节池

调节池主要是储蓄及调节水质、水量。池内设

置潜水搅拌机以保持整池的内部循环流动,避免池体内部产生死角而形成固体颗粒的沉淀沉积。

调节池有效容积为 $100\text{ m}^3$ ,停留时间为 $24\text{ h}$ ,采用钢结构池体。主要设备:潜水搅拌机1台,功率为 $1.1\text{ kW}$ ,主体材质为不锈钢SS316;提升泵2台, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=140\text{ kPa}$ , $N=1.1\text{ kW}$ ,材质为不锈钢SS304。

### ③ 隔油池及两级气浮系统

厨余垃圾渗滤液含有一定量的油脂,为避免对后续生化系统造成影响,采用隔油池及两级气浮系统进一步去除浮油类物质。

隔油池尺寸( $L\times B\times H$ )为 $5.8\text{ m}\times 2.8\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ ,气浮池尺寸( $L\times B\times H$ )为 $6.0\text{ m}\times 1.8\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ 。主要设备:隔油池提升泵2台, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200\text{ kPa}$ , $N=4.0\text{ kW}$ ,材质为不锈钢SS304;气浮池提升泵2台, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200\text{ kPa}$ , $N=4.0\text{ kW}$ ,材质为不锈钢SS304;PAC制备及投加装置1套;PAM制备及投加装置1套;排泥泵1台, $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200\text{ kPa}$ , $N=2.2\text{ kW}$ ,材质为不锈钢SS304。

## 2.2 厌氧系统

本项目进水COD浓度高,利用厌氧反应器内厌氧微生物的水解酸化、产甲烷作用,将复杂大分子有机物转化微生物细胞或者 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 等,高效降解高浓度有机物,确保出水COD满足后续生化处理工艺需求<sup>[1]</sup>,厌氧反应器主要由混合区、颗粒污泥膨化区、深度处理区、内循环系统、出水区五部分组成。同时增加了外循环系统、可拆卸式布水系统、安全系统等措施。

厌氧罐尺寸为 $\varnothing 8\text{ m}\times 16\text{ m}$ ,有效容积 $720\text{ m}^3$ ,设计规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,设计水温 $30\sim 35\text{ }^\circ\text{C}$ ,设计进水COD为 $54\text{ g/L}$ ,容积负荷 $7.5\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,设计COD去除率为 $80\%$ ,停留时间为 $7\text{ d}$ ;厌氧沉淀池尺寸为 $\varnothing 3\text{ m}\times 12\text{ m}$ ,有效容积 $70\text{ m}^3$ ,水力负荷 $1.13\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

主要设备:厌氧进水泵2台,1用1备, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=250\text{ kPa}$ , $N=2.2\text{ kW}$ ;厌氧循环泵2台,1用1备, $Q=160\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=125\text{ kPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ;厌氧排泥泵1台, $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=140\text{ kPa}$ , $N=5.5\text{ kW}$ ;电加热装置1套;厌氧污泥回流泵1台, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=300\text{ kPa}$ , $N=2.2\text{ kW}$ 。

## 2.3 MBR系统

### ① 生化池

经厌氧处理的渗滤液仍含有较高浓度的COD

和氨氮等,因此需要具备良好的有机污染物降解及生物脱氮功能的生化反应器进一步处理。选用的两级A/O-管式超滤膜系统由两级反硝化、硝化和外置式超滤(UF)单元组成,除具有高效降解有机物的作用外,还具有良好的硝化反硝化作用<sup>[2]</sup>。

MBR系统处理规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,设计污泥浓度为 $15\text{ g/L}$ ,设计水温为 $25\text{ }^\circ\text{C}$ ,设计污泥龄为 $18\text{ d}$ ,污泥负荷为 $0.125\text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ 。一级反硝化罐1座,尺寸( $\varnothing\times H$ )为 $5.35\text{ m}\times 12\text{ m}$ ,停留时间 $2.25\text{ d}$ ;一级硝化罐1座,尺寸( $\varnothing\times H$ )为 $5.35\text{ m}\times 12\text{ m}$ ,停留时间 $2.25\text{ d}$ ;二级反硝化罐1座,尺寸( $\varnothing\times H$ )为 $3.05\text{ m}\times 12\text{ m}$ ,停留时间 $0.73\text{ d}$ ;二级硝化罐2座,尺寸( $\varnothing\times H$ )分别为 $6.88\text{ m}\times 12\text{ m}$ 、 $4.59\text{ m}\times 12\text{ m}$ ,停留时间 $5.40\text{ d}$ 。生化池总停留时间为 $10.63\text{ d}$ 。由于场地限制、流线布置等因素,二级硝化段停留时间较长,通过调整控制超滤回流量、回流点来控制反硝化效果。

主要设备:一级反硝化潜水搅拌机1台, $N=2.5\text{ kW}$ ,主体材质为不锈钢SS316;罗茨风机2台,1用1备, $Q=14.11\text{ m}^3/\text{min}$ , $P=100\text{ kPa}$ , $N=110\text{ kW}$ ;一级射流循环泵1台, $Q=75\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ,过流材质为不锈钢SS304;硝酸盐回流泵1台, $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ , $N=3.7\text{ kW}$ ,过流材质为不锈钢SS304;二级潜水搅拌机1台, $N=1.1\text{ kW}$ ,主体材质为不锈钢SS316;二级射流循环泵2台, $Q=105\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ,过流材质为不锈钢SS304;消泡循环泵1台, $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=300\text{ kPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ,过流材质为不锈钢SS304。

### ② 管式超滤膜

MBR系统的生化处理出水经由超滤进水泵提升进入超滤集成装置(管式超滤膜)实现泥水分离。超滤出水排入清液罐,浓缩液(泥水混合物)一部分回流至反硝化池,另一部分作为剩余污泥排放至污泥池。

设计参数:膜孔径为 $30\text{ nm}$ ,膜丝直径为 $8\text{ mm}$ ,膜材质为PVDF,膜表面流速为 $4\text{ m/s}$ ,设计过滤通量为 $50\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,膜组件实际过滤面积为 $108.8\text{ m}^2$ 。

主要设备:超滤集成装置1套,规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ , $N=55\text{ kW}$ ;超滤进水泵1台, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=230\text{ kPa}$ , $N=9.2\text{ kW}$ ,过流材质为不锈钢SS304;超滤进水过滤器1台, $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$ ,过滤精度为 $800\text{ }\mu\text{m}$ ,过流材质为不锈钢SS304。



## 2.4 臭氧催化氧化系统

经超滤处理后未达标的出水,进入臭氧氧化系统进行深度处理。在本系统中,主要利用臭氧自由基间接氧化反应,臭氧气体通过微孔曝气盘曝气,与接触池内的水接触反应。催化剂促进 $O_3$ 分解产生 $\cdot OH$ ,进而降解有机污染物<sup>[3]</sup>。

主要设备:臭氧氧化成套装置1套,空气源,臭氧产生量3 kg/h,处理量为100 m<sup>3</sup>/d,配套水泵、反应塔、仪表等;臭氧系统进水泵2台, $Q=5$  m<sup>3</sup>/h, $H=200$  kPa, $N=0.55$  kW,过流材质为不锈钢SS304。

## 2.5 污泥脱水系统

厨余渗滤液处理系统中的气浮、厌氧、MBR等工艺段中产生的污泥,在污泥均质池进行处理,再提升至污泥脱水机进行脱水处理,脱水污泥的含水率<80%,污泥外运处置,滤液回到调节池继续处理。污泥均质池尺寸( $L \times B \times H$ )为5 m $\times$ 3.5 m $\times$ 4.5 m,碳钢防腐。主要设备:污泥进料泵2台,1用1备, $Q=10$  m<sup>3</sup>/h, $H=300$  kPa, $N=3.0$  kW;叠螺脱水机1台, $Q=10$  m<sup>3</sup>/h, $N=3.0$  kW,出泥含水率为80%;絮凝剂制备装置1套, $Q=1$  m<sup>3</sup>/h;加药螺杆泵1台, $Q=1$  m<sup>3</sup>/h, $H=150$  kPa, $N=0.75$  kW;污泥池搅拌机1台, $N=1.1$  kW。

## 2.6 除臭系统

为控制厂区环境异味,对渗滤液系统的预处理区、反硝化池、污泥均质池等区域进行封闭除臭,通过引风机将臭气收集后输送至转运站总体除臭系统——化学洗涤法+生物过滤法,渗滤液系统不单独建设除臭设施。主要设备:风机1台,流量为5 000 m<sup>3</sup>/h,风压为2 kPa,功率为5.5 kW,玻璃钢材质。

## 3 工程调试及连续运行情况

对该组合工艺进行连续50 d满负荷运行调试,预处理段和生化段对污染物的去除效果分别见表2、图2及表3、图3。

表2 预处理段对悬浮物、动植物油、总磷的平均去除效果

Tab.2 Average removal efficiency of suspended solids, animal and vegetable oils and total phosphorus in pretreatment stage

项目	悬浮物	动植物油	总磷
平均进水浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	31 250	2 080	203.8
平均出水浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	2 360	248	24.6
平均去除率/%	92.4	88.1	87.9

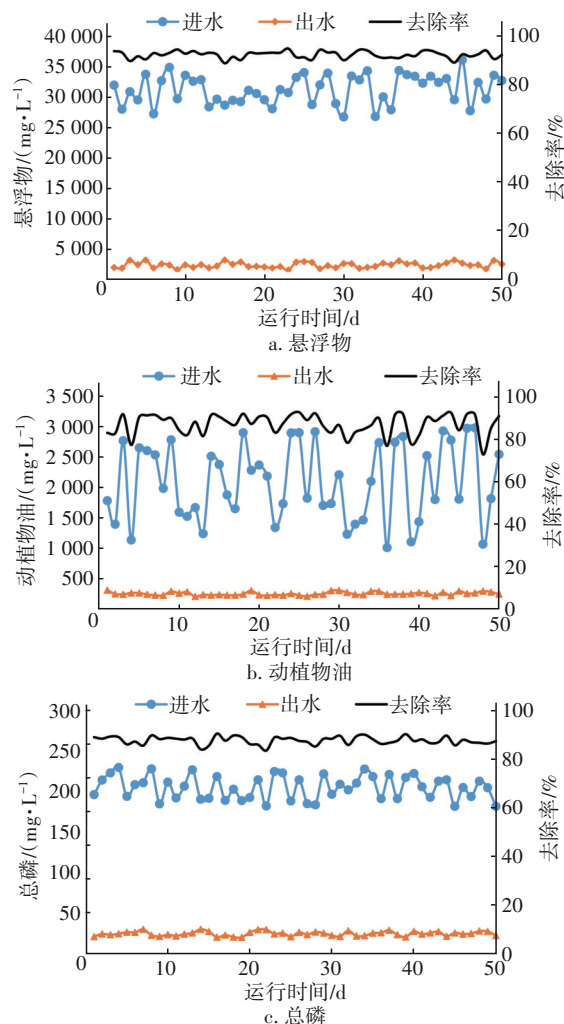


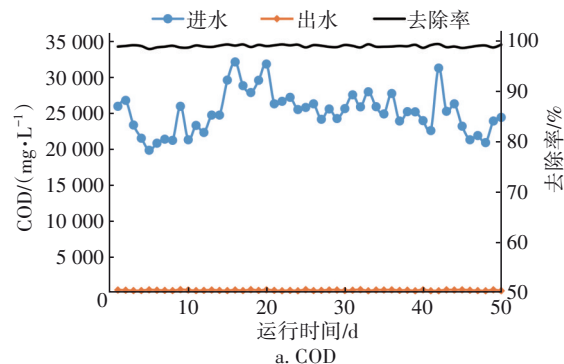
图2 预处理段对悬浮物、动植物油、总磷的去除效果

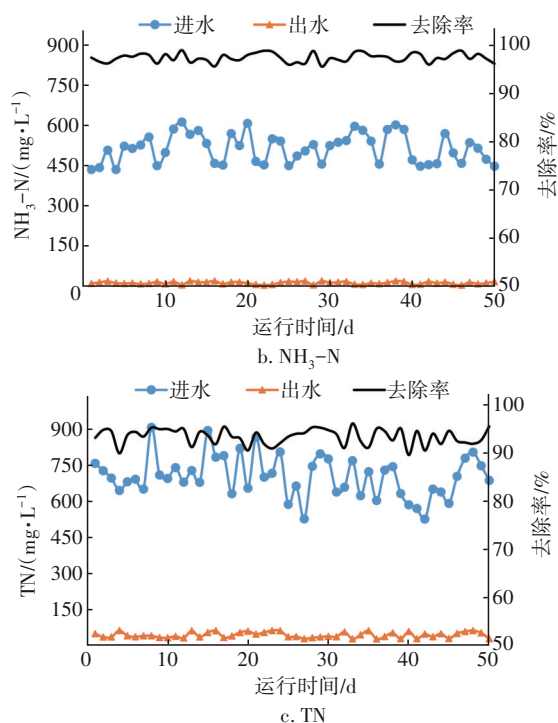
Fig.2 Removal efficiency of suspended solids, animal and vegetable oils and total phosphorus in pretreatment stage

表3 生化段对COD、NH<sub>3</sub>-N、TN的平均去除效果

Tab.3 Average removal efficiency of COD, NH<sub>3</sub>-N, TN in biochemical stage

项目	COD	NH <sub>3</sub> -N	TN
平均进水浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	25 130	515	702
平均出水浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	255	13	46
平均去除率/%	99.0	97.5	93.4



图3 生化段对COD、NH<sub>3</sub>-N、TN的去除效果Fig.3 Removal efficiency of COD, NH<sub>3</sub>-N, TN in biochemical stage

可见,该组合工艺对生活垃圾转运站渗滤液具有良好的去除效果,COD去除率可达99.2%,NH<sub>3</sub>-N去除率可达98.7%,TN去除率可达96.1%,出水水质达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的B级限值规定。

#### 4 经济成本分析

实际工程的直接运行成本主要包括电费、药剂和耗材费、人工费、设备维护保养费等。

① 电费。主要设备总耗电量为5 031.25 kW·h/d,电费为3 270.31元/d,折合32.70元/m<sup>3</sup>。

② 药剂和耗材费。包括处理系统投加的药剂、实验室检测、膜更换等费用,计算得3 484.0元/d,折合34.84元/m<sup>3</sup>,其中PAC平均投加量为进水量的0.4%,PAM为0.03%,片碱为0.1%。

③ 人工费。工作人员8人,含1名技术人员。人工费为2 630.14元/d,折合26.30元/m<sup>3</sup>。

④ 设备维护保养费。计算得设备维护保养费为233.04元/d,折合2.33元/m<sup>3</sup>。

采用该套组合工艺处理垃圾渗滤液的运营成本合计96.17元/m<sup>3</sup>(折合33.16元/t垃圾)。

#### 5 结论

采用“预处理+厌氧+MBR系统+臭氧催化氧化”工艺处理厨余垃圾压榨产生的渗滤液具有较好的适应性,处理效果良好:预处理段对悬浮物、动植物油、总磷的去除率分别为92.4%、88.1%、87.9%,生化处理段对COD、NH<sub>3</sub>-N、TN的去除率分别为99.0%、97.5%、93.4%。出水水质可达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)中的B级排放限值。本项目的实施解决了生活垃圾转运站内新增厨余减量转运功能中渗滤液处理的难题,占地面积较小,投资运行费用较低,在工程建设上具有一定优势。由于场地限制等因素,本项目未考虑厨余垃圾季节性油脂含量变化及其回收、沼气资源化利用、渗滤液原液易酸化及进一步降低运行成本等问题,有待更多研究论证。

#### 参考文献:

- [1] 丁西明,康建邨,闵海华,等. IC+两级A/O+UF+NF+RO工艺处理垃圾焚烧厂渗滤液[J]. 工业水处理, 2022, 42(9): 185-189.  
DING Ximing, KANG Jiancun, MIN Haihua, et al. Treatment of leachate from waste incineration plant by IC+ two-stage A/O+UF+NF+RO process [J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(9): 185-189 (in Chinese).
- [2] 孙娜,王艳芳,任丹,等. 外置式MBR在垃圾焚烧厂渗滤液工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(20): 84-87.  
SUN Na, WANG Yanfang, REN Dan, et al. Application of external MBR to leachate treatment in waste incineration plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(20): 84-87 (in Chinese).
- [3] 陈发. 臭氧催化氧化+MBR在污水深度处理中的应用[J]. 化工管理, 2015(23): 216-217.  
CHEN Fa. Application of catalytic ozonation + MBR in advanced wastewater treatment [J]. Chemical Enterprise Management, 2015(23): 216-217 (in Chinese).

作者简介:李捷(1983—),女,江苏南京人,本科,高级工程师,一直从事城市环境卫生工程建设与运营工作。

E-mail: 780384989@qq.com

收稿日期:2023-05-10

修回日期:2023-09-27

(编辑:衣春敏)