

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.014

UASB+A/O+MBR+两级 RO 处理垃圾焚烧发电厂渗滤液

高 波, 张 磊, 郭修智

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘 要: 垃圾焚烧发电厂产生的渗滤液具有污染物成分复杂、水质水量波动大、有机物和氨氮浓度高、处理难度大的特点,以国内某垃圾焚烧发电厂 450 m³/d 的渗滤液处理项目为例,针对垃圾焚烧发电厂渗滤液的特点,采用 UASB + A/O + MBR + 两级 RO 组合处理工艺,确保处理后出水稳定达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)。RO 浓缩液采用高压管网式反渗透 (STRO) 减量化处理后回喷焚烧炉。近两年的工程运行结果表明,该组合工艺具有耐冲击负荷能力强、处理出水稳定达标、占地省等优点,对 COD、BOD₅、NH₃-N、TN 的平均去除率分别为 99.8%、99.9%、99.0%、98.7%,渗滤液处理系统运行成本为 47.05 元/m³。

关键词: 垃圾渗滤液; UASB; MBR; 两级 RO

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0067-04

Process of UASB + A/O + MBR + Two-stage RO for the Treatment of Leachate from Waste Incineration Power Plant

GAO Bo, ZHANG Lei, GUO Xiu-zhi

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: The leachate produced by the waste incineration power plant has the characteristics of complex pollutant composition, large fluctuations in water quality and quantity, high concentration of organic matter and ammonia nitrogen, difficult to treat. This paper takes a 450 m³/d leachate treatment project of the domestic waste incineration power plant as example. According to the characteristics of leachate from waste incineration power plants, UASB + A/O + MBR + two-stage RO combined treatment process was adopted to ensure that the effluent after treatment reached the *Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste* (GB 16889 - 2008). The amount of RO concentrate was treated by high-pressure space tube RO (STRO) reduction treatment and then re-injected incinerator. The engineering operation results in the past two years have shown that the combined process had the advantages of strong impact load resistance, qualification and stability of effluent, and space saving. The average removal rates of COD, BOD₅, NH₃-N, and TN were 99.8%, 99.9%, 99.0% and 98.7% respectively. The operating cost of the leachate treatment system was 47.05 yuan/m³.

Key words: landfill leachate; UASB; MBR; two-stage RO

垃圾焚烧厂渗滤液主要产生于垃圾贮坑,其特点是污染物浓度高,成分复杂,可生化性好,氨氮、盐

分含量高,水量与水质波动大^[1]。经过近10年的技术引进、研究与探索,国内垃圾渗滤液处理技术形成了4种具有代表性的工艺组合路线:UASB+外置式MBR+NF/RO工艺路线组合,AT-BC生物转盘+曝气池+芬顿氧化+生物滤池工艺路线组合,氨吹脱+A/O/O生化池+内置式MBR+NF工艺路线组合,两级DTRO/STRO工艺路线组合^[2]。其中第一条工艺路线性能可靠,出水水质好,在国内大中型渗滤液处理厂中应用最为广泛。

国内某生活垃圾焚烧发电厂的渗滤液处理系统采用UASB+A/O+外置式MBR+两级RO工艺,处理效果良好。

1 设计规模及进、出水指标

1.1 建设规模

渗滤液处理系统所接收的废水主要来自垃圾贮坑内的渗滤液,此外还有垃圾卸料大厅、栈桥、车辆以及地面的冲洗废水等。《生活垃圾渗滤液处理技术导则》(RISN—TG 023—2016)规定,渗滤液产生量按照设计垃圾量的15%~35%计算。结合国内相关工程运行经验,本工程垃圾焚烧规模为1500 t/d,贮坑渗滤液产生量按照375 m³/d设计(约为垃圾焚烧处理量的25%)。此外,本项目的垃圾卸料大厅、栈桥、车辆、地面冲洗废水等约为75 m³/d。因此,渗滤液处理系统最终按450 m³/d规模设计。

1.2 进、出水水质

本工程渗滤液设计水质见表1。污水排放按《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2标准执行。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	mg · L ⁻¹					
	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	60 000	30 000	10 000	2 000	2 500	15
排放标准	100	30	30	25	40	3

2 工艺设计

本项目渗滤液处理采用UASB+A/O+MBR+两级RO组合工艺(见图1)。首先通过UASB高效厌氧反应降解原液中的高浓度COD和BOD₅,将COD降解到15 000 mg/L左右,便于后续工艺脱氮,然后通过A/O+MBR工艺高效脱氮和去除有机物,深度处理采用两级RO工艺,去除难降解有机物和TN等,确保出水达标。整个系统具有耐冲击负荷能

力强、去除有机物和脱氮效果好、出水稳定达标、占地省等优点,是目前国内渗滤液处理行业的主流工艺。

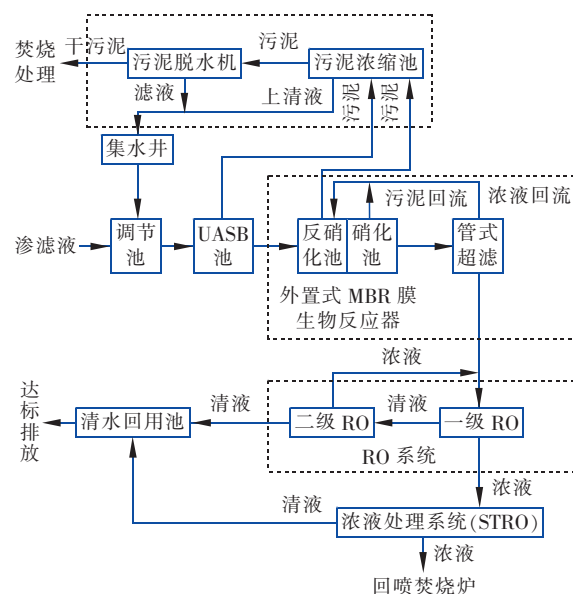


图1 渗滤液处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of leachate treatment process

2.1 调节池

垃圾渗滤液的流量和水质是非恒定的,特别是冬夏季流量差异较大,配置调节池以使垃圾渗滤液流量恒定、波动小,水质均匀。根据垃圾渗滤液排水规律,调节池储水能力按照10 d设计;池体为钢筋混凝土结构,有效容积4 536 m³,有效水深7 m;配套UASB进水泵3台, $Q=14$ m³/h, $H=250$ kPa, $N=2.2$ kW;回转式格栅1套, $B=600$ mm, $b=10$ mm, $N=1.1$ kW;潜水搅拌机4台, $N=11$ kW。

2.2 UASB系统

UASB池为钢筋混凝土结构,有效容积3 214 m³,有效水深9 m。设计温度为中温35℃,pH值控制范围为6.8~7.2,COD容积负荷设计为7.0 kg/(m³·d),表面水力负荷为0.42 m³/(m²·h),设计COD去除率为75%~80%。厌氧沼气产率为每降解1 kg COD产生0.35 m³的沼气,沼气甲烷含量为65%,沼气产量约为486.5 m³/h。

厌氧产生的沼气主要成分为甲烷、二氧化碳和硫化氢,经过收集预处理后通过沼气燃烧器回焚烧炉助燃^[3]。配套设备包括:篮式过滤器2台, $Q=15$ m³/h,过滤孔径1 mm;UASB循环泵3台, $Q=80$ m³/h, $H=200$ kPa, $N=11$ kW。同时,设置应急燃烧火炬1套, $Q=500$ m³/h;沼气收集及预处理系统1

套,含储气柜1个、冷凝水罐1个、增压风机2台。

此外,由于厌氧反应器放热较少,为保证冬天厌氧反应器的正常运行,采用焚烧厂的余热蒸汽对厌氧反应器进行加热。在余热蒸汽温度为200℃、压力为0.6 MPa的条件下,所需蒸汽量为900 kg/h。

2.3 外置式MBR膜生物反应器

① 生化反应池

生化反应池包含反硝化池和硝化池,即A/O工艺,主要功能是脱氮和去除有机物。生化反应池设计污泥龄为26 d,回流比为30,污泥浓度为15 g/L,脱氮速率为 $0.058 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 、氧转移效率为25%;生化反应池可将出水COD和氨氮分别降至600 mg/L和10 mg/L,去除率分别为95%和99.5%。

反硝化池为钢筋混凝土结构,有效容积为1 475 m^3 ,有效水深7.0 m;硝化池为钢筋混凝土结构,有效容积2 970 m^3 ,有效水深6.8 m。配套设备:潜水搅拌机4台, $N=3.7 \text{ kW}$;硝酸盐回流泵4台, $Q=80 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=250 \text{ kPa}$, $N=11 \text{ kW}$;消泡泵4台, $Q=35 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=250 \text{ kPa}$, $N=5.5 \text{ kW}$;管式曝气器550个, $\varnothing 65 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$;罗茨鼓风机2台, $Q=52.3 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=85 \text{ kPa}$,变频电机110 kW,风冷。

此外,由于生化反应池内的污泥浓度较高,生化反应的放热与机械热致使生化池内水温较高,不适宜微生物生长,在夏季时需利用热交换的方式进行降温。配套冷却污水泵1台, $Q=110 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=160 \text{ kPa}$, $N=11 \text{ kW}$;冷却清水泵1台, $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=160 \text{ kPa}$, $N=11 \text{ kW}$;板式换热器1套,898 kW;冷却塔1座, $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=4 \text{ kW}$ 。

② 外置式超滤

采用外置式管式超滤膜,过滤孔径为0.03 μm ,超滤系统采用大流量高速循环的方式,膜管内的水力流速达到3~5 m/s,可有效防止污染物的沉积,减少膜污染的风险,延长膜使用寿命。

管式超滤膜2套,单套处理量250 m^3/d ,膜数量8支,设计膜通量65 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;进水泵4台, $Q=125 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$;循环泵4台, $Q=275 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=490 \text{ kPa}$;清洗泵2台, $Q=52.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=400 \text{ kPa}$;清洗罐 $V=5 \text{ m}^3$ 。

2.4 RO系统

MBR出水中氨氮指标已经基本达标,但还有部分难降解COD不能去除,有机物、色度及总氮尚不

能100%达标,仍需进行深度处理。RO系统的主要作用是除盐,脱盐率 $>99.9\%$,对COD、氨氮及总氮的去除率也可达到95%以上。

RO处理系统采用渗滤液专用STRO膜组件,其格网采用梯形结构,膜组件的耐污染能力强。两级STRO系统,各2套,一级单套处理量250 m^3/d ,二级单套处理量200 m^3/d ,膜数量各60支,设计压力3~6.5 MPa。一级RO浓液进入浓缩处理系统,二级RO浓液回流至一级RO前端,两级RO总体回收率为80%,仅产生20%浓缩液。

在进水前设置酸液投加装置用于调节pH值,设置阻垢剂加药装置用于防止无机结垢的产生,配套酸投加泵和阻垢剂投加泵,各2台, $Q=7.2 \text{ L/h}$,最大背压800 kPa。RO系统清液进入清水回用池后达标外排,清水回用池采用钢筋混凝土结构,有效容积202 m^3 ,有效水深4 m。

2.5 浓液处理系统

RO系统浓液进入浓液深度处理系统进行减量化处理,深度处理后清液流入清水回流池,浓液回焚烧炉焚烧。浓液深度处理系统采用1套高压管网式反渗透(STRO)装置,处理量100 m^3/d ,设计温度25℃,回收率40%,膜数量50支,操作压力7.0~9.0 MPa;进水泵 $Q=20 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=300 \text{ kPa}$;阻垢剂投药泵 $Q=7.2 \text{ L/h}$,最大背压800 kPa。

2.6 污泥处理系统

污泥处理系统主要接纳来自UASB池和MBR池的污泥,其中UASB产生污泥量为70 t/d,MBR产生污泥量为120 t/d,污泥平均含水率为97%。污泥经污泥浓缩池后含水率降至95%,浓缩污泥通过污泥螺杆泵提升进入离心脱水机,进料过程中投加适量的絮凝剂以提高固液分离效果,浓缩池上清液及离心脱水的滤液进入集水井,用泵打回调节池。污泥含水率降至80%以下,运至焚烧炉焚烧处理。

污泥浓缩池有效容积279 m^3 ($\varnothing 10 \text{ m} \times 4.7 \text{ m}$),有效水深1.5 m;集水井有效容积45 m^3 ,有效水深3 m。配套设备:排泥泵3台, $Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$;集水井提升泵2台, $Q=50 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$;离心机清液提升泵1台, $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$;中心传动刮泥机1台,0.75 kW,过流部件304材质;离心脱水机1套,15 m^3/h ,55 kW;离心机进泥泵2台, $Q=15 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=400 \text{ kPa}$;离心机加药装置1套,三联箱,溶液制备能力1 500 L/h,计量泵 $Q=1\,500$

L/h, 0.3 MPa; 电动污泥斗 1 套, $V=10 \text{ m}^3$ 。

2.7 臭气处理

调节池、反硝化池、污泥池等臭气产生点均以除臭风机为动力,通过管道收集后集中进入臭气处理装置就地处理,以保证整个处理工程的环境卫生。臭气处理采用最常用的高效生物滤池除臭系统,含恶臭物质的气体经去尘增湿或降温等预处理工艺后,从滤床底部由下往上穿过滤床,通过滤层时恶臭物质从气相转移至水-微生物混合相(生物层),经附着生长在滤料上的微生物的代谢作用而被分解。

臭气产生量约为 $5426 \text{ m}^3/\text{h}$,除臭生物滤池处理能力为 $6000 \text{ m}^3/\text{h}$;除臭风机 $Q=94.96 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=2 \text{ kPa}$ 。

3 运行效果

3.1 水质分析

该项目于 2018 年 3 月正式投产,两年多的运行结果表明,系统性能稳定,出水水质良好,各项指标均达到了设计标准。实际运行数据见表 2。

表 2 进、出水水质监测数据

Tab. 2 Monitoring data of influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目		2018 年 进水	2018 年 出水	2019 年 进水	2019 年 出水
COD	平均值	36 500	55	34 300	50
	最大值	52 700	91	50 500	89
	最小值	24 600	30	25 100	33
BOD ₅	平均值	17 500	15	16 300	14
	最大值	26 100	23	25 200	23
	最小值	11 600	10	12 100	11
NH ₃ -N	平均值	1 780	15	1 610	15
	最大值	2 210	23	2 020	20
	最小值	1 450	10	1 420	11
TN	平均值	2 060	25	1 950	23
	最大值	2 550	36	2 500	35
	最小值	1 800	21	1 850	21

项目运行以来,随季节变动,水质存在波动,夏季渗滤液含水率高,有机物浓度相对较低,冬季有机物浓度较高,极端情况下甚至超过设计水质,但出水水质均能稳定达标。COD、BOD₅、NH₃-N、TN 平均去除率分别为 99.8%、99.9%、99.0%、98.7%。整个工艺系统耐冲击负荷能力强,出水水质稳定达标。

3.2 经济成本分析

根据实际运行核算,1 m³ 渗滤液处理成本为电

费 28.06 元、药剂费 8.16 元、水费 0.17 元、膜更换费用 3.06 元、设备维护费 2.31 元、蒸汽费用 0.28 元、备品备件费 4.62 元、效验监测费 0.39 元,合计 47.05 元/m³。

4 结论

① 垃圾焚烧发电厂渗滤液处理项目采用 UASB + A/O + MBR + 两级 RO 组合工艺,系统运行稳定,出水水质均能满足排放要求。渗滤液处理成本为 47.05 元/m³。

② 深度处理采用两级 RO 工艺,提高了产水率,并且将两套 RO 膜组件集成在一个机架上,共用一套控制系统,节省占地。

③ RO 浓缩液采用高压 STRO 工艺进行减量化处理,进一步减少了浓缩液产生量。

参考文献:

- [1] 王成军. 城市生活垃圾焚烧厂渗滤液处理技术的重点与难点[J]. 广东化工, 2015, 42(10): 132-133.
WANG Chengjun. The focus and difficulty of leachate treatment processes for municipal solid waste incineration plant[J]. Guangdong Chemical Industry, 2015, 42(10): 132-133 (in Chinese).
- [2] 袁维芳,王浩,汤克敏,等. 垃圾渗滤液处理技术及工程化发展方向[J]. 环境保护科学, 2020, 46(1): 76-83.
YUAN Weifeng, WANG Hao, TANG Kemin, et al. Landfill leachate treatment techniques and engineering development direction: a review [J]. Environmental Protection Science, 2020, 46(1): 76-83 (in Chinese).
- [3] 张博丰. 某垃圾焚烧发电厂渗滤液处理系统[J]. 工程建设, 2019, 51(10): 36-39.
ZHANG Bofeng. A leachate treatment system for a municipal waste incineration power plant [J]. Engineering Construction, 2019, 51(10): 36-39 (in Chinese).

作者简介:高波(1979-),男,河北定州人,硕士,高级工程师,主要从事固体废弃物处理处置与资源化研究与设计工作。

E-mail: 1274980044@qq.com

收稿日期: 2020-06-05

修回日期: 2020-07-19

(编辑:孔红春)