

陈杰,肖诚斌,桂宏桥,等.生活垃圾焚烧发电厂的渗滤液处理工程实例[J].净水技术,2022,41(3):100-103,109.

CHEN J, XIAO C B, GUI H Q, et al. Landfill leachate treatment project in domestic waste incineration power plant [J]. Water Purification Technology, 2022,41(3):100-103,109.



扫我试试?

生活垃圾焚烧发电厂的渗滤液处理工程实例

陈杰¹,肖诚斌²,桂宏桥¹,古创^{2,*}

(1.光大环保能源<苏州>有限公司,江苏苏州 215101;2.光大环境科技<中国>有限公司,江苏南京 210007)

摘要 以江苏省某1 000 m³/d的生活垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程为例,采用“预处理+厌氧IOC+外置式MBR+膜深度处理”组合工艺,介绍了工艺路线、设计和运行情况。运行结果表明,处理出水满足《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中表1的敞开式循环冷却水水质标准。

关键词 垃圾焚烧厂 渗滤液 IOC厌氧反应器 外置式MBR 膜深度处理系统

中图分类号: X703;TQ09 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-0177(2022)03-0100-05

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.03.015

Landfill Leachate Treatment Project in Domestic Waste Incineration Power Plant

CHEN Jie¹, XIAO Chengbin², GUI Hongqiao¹, GU Chuang^{2,*}

(1. Everbright Environmental Protection Energy <Suzhou> Co., Ltd., Suzhou 215101, China;

2. Everbright Envirotech <China> Co., Ltd., Nanjing 210007, China)

Abstract Combined process of "pretreatment + anaerobic IOC + external MBR + advanced treatment by membrane" is adopted for the leachate treatment project of a domestic waste incineration power plant, which has capacity of 1 000 m³/d in Jiangsu Province. Process route, design and operation system are introduced in this paper. Results show that the effluent meets the water quality standard of open circulating cooling water in table 1 of *The Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Industrial Uses* (GB/T 19923—2005).

Keywords waste incineration power plant leachate IOC anaerobic reactor external MBR advanced treatment system by membrane

江苏某生活垃圾焚烧发电厂设计处理生活垃圾量为2 000 t/d,配套工程包括焚烧系统、烟气处理系统、渗滤液系统及其他配套系统。其渗滤液采用“预处理+厌氧IOC+外置式MBR+膜深度处理”组合工艺,项目于2017年3月投产正式运行,系统稳定且出水达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)敞开式冷却塔回用水标准。本工程实例对生活垃圾焚烧厂渗滤液的设计和运行

起到参考意义。

1 概况及工艺

1.1 处理规模

生活垃圾焚烧发电厂渗滤液的产生量变化主要受当地气候、生活水平、垃圾收运体系等因素影响^[1]。依据项目周边类似工程经验,本项目渗滤液产生率取29%,卸料平台冲洗水及其他废水取50 m³/d,确定渗滤液处理规模为1 000 m³/d。

1.2 渗滤液进出水水质

生活垃圾焚烧发电厂渗滤液具有污染物成分复杂、浓度高等特点^[2-3],考虑水质和水量的最大冲击负荷,项目设计进、出水水质如表1所示。

[收稿日期] 2020-03-03

[作者简介] 陈杰(1985—),男,中级工程师,研究方向为渗滤液处理,E-mail:chen_jie@cebenvironment.com.cn。

[通信作者] 古创(1981—),男,高级工程师,研究方向为渗滤液及有机垃圾处理,E-mail:guch@cebenvironment.com.cn。

表 1 渗滤液处理系统主要进、出水水质
Tab. 1 Influent and Effluent Quality of Leachate Treatment System

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	pH 值
设计进水	65 000	30 000	2 000	2 200	12 000	5.0~7.0
实际进水	35 000~60 000	20 000~28 000	1 500~2 200	1 800~2 400	10 000~15 000	6.0~7.5
设计出水	≤60	≤10	≤10	≤70	-	6.5~8.5
实际出水	20~60	0~10	0~10	40~70	-	6.5~7.0

1.3 处理工艺

生活垃圾焚烧发电厂渗滤液成分复杂,水质水量变化大且呈非周期性,处理难度大,针对生活垃圾焚烧发电厂渗滤液的进水水质和排放标准要

求,本项目采用生化和膜处理相结合的工艺,主要包括预处理系统、厌氧 IOC 系统、外置式 MBR 系统、膜深度处理系统及辅助系统。工艺流程如图 1 所示。

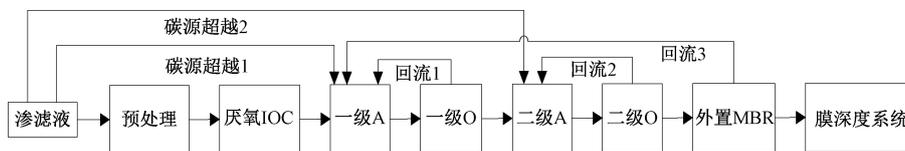


图 1 工艺流程图

Fig. 1 Process Flow Diagram

2 主要设计参数

2.1 预处理系统

根据生活垃圾焚烧发电厂渗滤液原水的悬浮物和有机物浓度高的特点^[4],预处理一般包括沉淀、混凝沉淀、高级氧化等方式,从占地、运行效果及经济等角度综合考虑,本项目预处理采用自清洗过滤器、竖流式沉淀池和调节池的组合方式。

自清洗过滤器设计 2 套,1 用 1 备,过滤孔径为 1 mm。初沉池设计 1 座,全地上钢砼结构,有效容积为 340 m³,表面负荷为 0.85 m³/(m²·h)。调节池设计 1 座,半地上钢砼结构,停留时间为 6.3 d,分为两格,可独立运行。自清洗设计在污泥池顶部,过滤器截留物直接通过管道输送至污泥池,避免了臭气的外溢,保障预处理区域无异味问题。

通过预处理系统对直径大于 1 mm 和比重较大的无机颗粒物截留率达到 90% 以上,对水质和水量均起到较好的均衡作用,降低后续处理系统的水量和水质冲击负荷,确保后续系统稳定运行。

2.2 厌氧系统

由于生活垃圾焚烧发电厂渗滤液中有有机物质量浓度基本在 30 000~70 000 mg/L,厌氧工艺是对有机物去除效果较好的工艺,主要分为 UASB、UBF、EGSB、IC 等,本项目采用在 IC 反应器基础上将内循

环与外循环相结合的 IOC 厌氧反应器,反应器采用底部八边形进水方式。其主要特点体现在有机物去除率高、出水水质好、调试周期短、系统运行更稳定。

反应器为碳钢防腐结构,尺寸为 12 m×24.5 m,数量为 3 座,设计总容积约为 7 500 m³,停留时间为 7.5 d,有机物去除率基本维持在 90.0% 以上,运行温度为 35 ℃,出水 COD_{Cr} 含量基本维持在 6 000~10 000 mg/L。厌氧反应器单位容积单位时间的产气量为 0.08~0.10 Nm³,沼气通过风机送入垃圾焚烧一次风机入口进行助燃发电,同时设计 1 套内燃式火炬进行应急处理。厌氧反应器整个启动周期为 21 d。为将 3 座厌氧罐出水平均分配两条并行外置式 MBR 系统,厌氧系统设计 1 座配水井,通过配水井可将 3 座厌氧罐的出水水质和水量进行均匀调配,避免两条外置式 MBR 系统运行条件不同。厌氧系统接种污泥为焚烧厂渗滤液厌氧污泥,接种污泥总量约为 1 800 m³(含水率为 98% 左右),调试周期为 21 d。

2.3 外置式 MBR 系统

考虑工艺稳定性,好氧生化系统采用外置式 MBR 系统,包含两级反硝化/硝化系统和外置式超滤系统,通过 pH、溶解氧、MLSS 等指标控制生化系统的运行。氨氮与 TN 去除效率均达到 97% 以上,

COD_{Cr} 去除效率可达到 90% 左右。外置式 MBR 系统可确保有机物和氮的去除率,降低后续膜深度处理系统的处理难度。

生化系统采用两级硝化反硝化工艺,分为两条平行工艺路线。生化系统总停留时间为 11.6 d,其中一级反硝化为 2.5 d、一级硝化为 6.0 d、二级反硝化为 2.3 d、二级硝化为 0.8 d。采用鼓风射流曝气方式,一级硝化溶解氧含量设计为 2.0 mg/L,二级硝化溶解氧含量设计为 1.5 mg/L,MLSS 设计为 15 g/L,pH 值为 7~8。为保证反硝化所需要的碳源和碱度,本项目设计渗滤液原液直接超越厌氧设计碳源补充量,一级反硝化为 30 m³/d,二级反硝化为 20 m³/d,具体补充量根据厌氧出水碳氮比进行调节。生化系统接种污泥为焚烧厂渗滤液处理系统含水率 80% 的好氧池污泥,约 200 t,整个生化系统调试周期为 14 d。

为控制 TN 脱除效果,系统设计 2 800% 的大回流比和原液直接超越厌氧对一级反硝化和二级反硝化分别补充碳源和碱度。其中 3 条硝化回流管线为一级硝化回流至一级反硝化(500 m³/h),二级硝化回流至二级反硝化(300 m³/h),超滤回流至一级反硝化(400 m³/h),总回流比为 2 800%,回流比根据实际进出水水质进行调节,基本维持在 2 000% 左右。为避免大回流比对反硝化中溶解氧的影响,本项目在回流泵和超滤进水泵进口设置 3.5 m 高挡气墙,避免曝气器的气体直接被吸入回流泵进入反硝化,另外,生化采用鼓风射流曝气,氧气利用率达 35% 以上,高污染物及高污泥浓度对氧气的消耗速率也较快,实际运行结果表明反硝化池中的溶解氧含量维持在 0.5 mg/L 以下。

外置式超滤分 4 套,单套设计进水量为 250 m³/d,设计通量约为 65 L/(m²·h),单套设计 6 支 5 mm 的膜元件,循环泵流量为 275 m³/h。系统配备 ICP 自动冲洗和化学清洗系统,化学清洗周期为 30 d。

2.4 膜深度处理系统

膜深度处理系统主要包括纳滤系统和反渗透系统^[5]。超滤系统出水通过水泵进入纳滤系统,纳滤系统出水通过水泵进入反渗透系统。膜深度处理系统总清液得率为 65.0%。清液达到水质要求后回用至冷却塔,膜系统产生的纳滤浓水和反渗透浓水

进行收集后送至焚烧厂,进行石灰浆制备和消纳处理。

纳滤系统分为两套,单套处理规模为 500 m³/d,设计通量约为 12 L/(m²·h),单套系统设计 36 支 200 mm 的膜元件,清液产率为 85.0%。反渗透系统分为两套,单套处理规模为 430 m³/d,设计通量约为 10 L/(m²·h),单套设计 42 支 200 mm 的膜元件,清液产率为 76.5%。膜深度处理系统均设置 CIP 自动化学清洗,清洗周期为 30 d。

2.5 辅助系统

2.5.1 污泥处理系统

各单元产生的污泥经收集后进入污泥池,通过螺杆泵输送至污泥脱水机。设计处理量为 20 m³/h,脱水机采用旋转挤压脱水机,脱水后含水率 80% 的干污泥经过高压输送泵输送至焚烧炉进行焚烧处理,脱水清液回流至一级反硝化池。

旋转挤压脱水系统及干污泥输送系统具有完全密闭结构防止臭气外溢。旋转挤压脱水机转速为 5~8 r/min,能耗仅为传统离心脱水的 1/4。干污泥输送既节省了运输车辆和运行人员数量,同时也避免了运输过程中“跑冒滴漏”现象。该项目污泥处理的经济效益和环境效益较传统污泥脱水明显。

2.5.2 臭气处理系统

渗滤液处理区设计 1 套除臭收集系统,设计两台除臭离心风机,1 用 1 备,总收集量为 16 000 m³/h。渗滤液各单元臭气经收集后通过离心风机输送至焚烧厂一次风机入口用于焚烧助燃及应急除臭系统。渗滤液除臭与垃圾焚烧协同既节省投资和运行成本,又能对臭气进行有效地去除。

2.5.3 浓缩液处理系统

浓缩液主要来自纳滤系统和反渗透系统,其中纳滤浓缩液量为 150 m³/d,反渗透浓缩液量为 200 m³/d。两种浓缩液经过混合后用泵输送至垃圾焚烧厂用于石灰浆制备协同处理。

3 运行效果

工程于 2017 年 2 月进行调试,2017 年 3 月达到满负荷运行,调试结束后系统进入正式运行,各项出水指标达标。各单元处理效果如表 2 所示。

由表 2 可知,预处理主要对粒径大于 1 mm 的颗粒物和泥沙进行拦截,对 SS 的截留率在 20.8%~31.3%。厌氧系统采用改进 IC 工艺,对 COD_{Cr} 的去

表2 各单元处理结果
Tab. 2 Treatment Results of Each Unit

名称		COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	电导率/(μS·cm ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	pH 值
预处理	进水水质	50 000~60 000	20 000~30 000	1 500~2 000	1 800~2 200	25 000~31 000	8 000~12 000	5.0~7.0
	出水水质	48 000~58 000	19 000~29 000	1 500~2 000	1 800~2 200	25 000~31 000	5 500~9 500	6.5~7.5
	去除率	3.3%~4.0%	3.3%~5.0%	0	0	0	20.8%~31.3%	—
厌氧	出水水质	4 000~5 200	2 200~2 660	1 500~2 100	1 800~2 300	24 000~28 500	4 000~6 000	6.5~7.5
	去除率	91.0%~91.7%	88.4%~90.8%	—	—	4.0%~8.1%	27.3%~36.8%	—
外置式 MBR	出水水质	300~500	20~50	3.0~10.0	100~300	10 000~13 000	10~30	6.5~8.3
	去除率	90.4%~92.5%	98.1%~99.1%	99.5%~99.8%	87.0%~94.4%	54.4%~58.3%	99.5%~99.8%	—
纳滤系统	出水水质	60~90	3~5	2.0~7.0	90~280	6 000~9 800	0	5.5~7.5
	去除率	80.0%~82.0%	85.0%~90.0%	30.0%~33.3%	6.7%~10.0%	24.6%~40.0%	100.0%	—
反渗透系统	出水水质	8~10	1~2	0.5~0.7	15~70	500~720	0	6.5~7.5
	去除率	86.7%~88.9%	60.0%~66.7%	75.0%~90.0%	75.0%~83.3%	91.7%~92.7%	—	—
排放限值		60	10	10	70	15	—	6.5~8.5

除率可达 91.0% 左右, 由于厌氧反应过程中部分有机氮转化为氨氮, 导致厌氧出水氨氮略高于进水氨氮。剩余 COD_{Cr}、氨氮和 TN 基本在 MBR 系统中进行去除, 总去除率基本均达到 90.0% 以上, 后续膜深度处理作为系统最后保障。

实际运行过程中, 焚烧厂渗滤液水量和水质主要受季节变化影响, 每年 5 月—10 月为丰水期, 11 月—次年 4 月为枯水期。两个时期在水质和水量上有较大差异, 丰水期水量维持在设计量的 80%~110%, 水质基本接近设计值, 运行压力较大。枯水期水量基本维持在设计量的 50%~70%, 各污染物浓度也基本在设计值的 70% 左右。

4 经济分析

整个渗滤液工程总投资约为 7 080 万元(不含征地费用), 其中土建投资约为 2 300 万元, 设备及安装投资约为 4 500 万元, 其他费用约为 280 万元。渗滤液吨水建设投资约为 7.08 万元/m³, 实际运行成本经核算后约为 33.94 元/m³, 其中电费约为 20.00 元/m³, 水费约为 1.30 元/m³, 药剂费约为 2.60 元/m³, 人工费约为 6.00 元/m³, 日常维护及检修费约为 2.50 元/m³, 折旧费约为 1.54 元/m³。

5 结论

(1) 厌氧系统和外置式 MBR 系统是设计和运行的核心。厌氧采用改进型 IC 反应器, 增加了外循环, 提高了厌氧系统的混合效果, 有机物去除率和沼

气产率均较常规的 UASB 及 UBF 工艺高。

(2) 外置式 MBR 工艺采用鼓风射流曝气, 对 COD_{Cr}、氨氮具有较好的去除效果, MBR 出水 COD_{Cr} ≤ 500 mg/L, 去除率达到 90.0% 以上, 氨氮 ≤ 10.0 mg/L, 去除率达到 99.0% 以上。减轻了后续系统运行负荷。

(3) 采用“预处理→改进型 IC 厌氧→两级外置式 MBR→膜深度处理”工艺处理生活垃圾焚烧发电厂渗滤液, 系统运行效果稳定, 系统耐冲击能力强, 最终产水水质达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005) 中敞开式循环冷却水补水水质标准。

(4) 原液超越厌氧补充反硝化和大回流比是该项目一大特点, 可保证生化系统出水 TN 含量维持在 100~300 mg/L, 经过后续膜深度处理系统处理后 TN 的去除率达到 97.0% 以上。

(5) 渗滤液系统产水用于焚烧厂冷却塔补水, 渗滤液处理产生的污泥、浓缩液、臭气等二次污染物送至垃圾焚烧处理。渗滤液处理与垃圾焚烧协同处理方式不仅解决了渗滤液的浓水、污泥等难题, 而且实现环境和经济双重效益。

参考文献

[1] 国家能源局. 垃圾发电厂渗滤液处理技术规范: DL/T 1939—2018[S]. 北京: 中国电力出版社, 2018.

(下转第 109 页)

去除效果和 COD_{Mn} 的截留率无明显变化。分析原因可能是本试验为平行错流过滤,进水流量增大引起膜面流速增加,对中空纤维膜膜表面的冲刷作用加强,主要起到了缓解膜表面污染、增加膜通量、延长过滤时间的作用,对截留作用影响不大。因此,综合考虑膜通量变化、浑浊度去除效果、 COD_{Mn} 的截留率以及设备运行效果,最适宜的进水流量为 480 L/h。

3 结 论

(1)在过滤时增加曝气,形成气液两相流对错流过滤过程有着明显的强化作用。曝气量为 120 L/h 时效果最好,比无曝气单相流错流过滤条件下稳定通量增加了 65%。气液两相流对于中空纤维膜错流过滤的影响主要体现在以下几个方面:一方面,增加曝气形成气液两相流,气泡可以起到冲刷膜表面的作用,同时还使中空纤维膜组件内流体的湍流程度增加,削弱了浓差极化所造成的影响,使中空纤维膜组件的稳定状态膜通量增大;另一方面,受曝气的影响造成膜丝扰动现象,进一步减少了污泥在中空纤维膜膜表面的堆积,减少错流过滤过程中的膜面污染,增加了错流过滤运行时间,进而减少中空纤维膜反冲洗的次数与冲洗强度,有利于工程实践运用;最后,曝气量过大会导致微小污泥颗粒的产生,增加堵塞膜孔的概率,降低膜通量。

(2)气液两相流与无曝气单相流相比,在延长过滤时间、提高膜通量、缓解表面膜污染、改善对浑浊度的去除效果与 COD_{Mn} 的截留效果方面均有明显的强化作用。在气液两相流条件下,随着 TMP 增大,膜通量增大,膜通量的衰减速率增大,对浑浊度的去除效果与 COD_{Mn} 的截留效果降低,改变进水流量主要影响了过滤时间与膜通量变化,对浑浊度的去除效果与 COD_{Mn} 的截留效果无明显影响。

参 考 文 献

- [1] 何绪文,张斯宇,何灿. 焦化废水深度处理现状及技术进展[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 100-107.
- [2] 辛清萍,梁晴晴,李旭,等. 膜分离技术高效脱硫脱碳研究进展[J]. 膜科学与技术, 2020, 40(1): 322-327, 339.
- [3] 李建国,李剑锋,任静,等. 超疏水疏油改性 PVDF 膜用于膜蒸馏深度处理焦化废水[J]. 水处理技术, 2018, 44(3): 58-62, 68.
- [4] YOUSEFI N, NABIZADEH R, NASSERI S, et al. Decolorization of Direct Blue 71 solutions using tannic acid/polysulfone thin film nanofiltration composite membrane; preparation, optimization and characterization of anti-fouling[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2017, 34(8): 1-12.
- [5] 蒋成浩,冯霄,王博. 共价有机框架膜的制备及其在海水淡化和水处理领域的研究进展[J]. 化学学报, 2020, 78(6): 466-477.
- [6] 张涛,阮金锴,程巍. 切削液废水处理技术研究进展[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2362-2377.
- [7] 李红宾,石文英,张海霞,等. 中空纤维膜膜蒸馏过程研究进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(1): 175-182.
- [8] 方亚平,刘杰,胡栋梁,等. 固液两相流对管式膜超滤过程强化的研究[J]. 水处理技术, 2017, 43(12): 57-60.
- [9] 赵玉博. 死端过滤中空纤维膜系统过滤模型研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [10] 白凤蛟. 平板膜错流微滤性能的实验研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2012.
- [11] 张雪艳,陆茵,张颖,等. 流动形态对 PVC 支撑膜过滤自来水性能影响研究[J]. 水处理技术, 2019, 45(8): 40-44.
- [12] 张峰,景文珩,邢卫红. 弹状流对陶瓷膜超滤葡聚糖水溶液的影响[J]. 化工学报, 2009, 60(11): 2792-2797.
- [13] 邢卫红,王开文,顾俊杰,等. 外环流气升陶瓷膜精制盐水研究[J]. 膜科学与技术, 2011, 31(3): 256-260.
- [14] MERCIER M, FONADE C, LAFFORGUE-DELORME C. How slug flow can enhance the ultrafiltration flux in mineral tubular membranes[J]. Journal of Membrane Science, 1997(1): 103-113.
- [15] CABASSUD C, LABORIE S, LAIN J M. How slug flow can improve ultrafiltration flux in organic hollow fibres[J]. Journal of Membrane Science, 1997(1): 93-101.
- [16] GUIBERT D, AIM R B, RABIE H, et al. Aeration performance of immersed hollow-fiber membranes in a bentonite suspension[J]. Desalination, 2002(1): 395-400.
- [17] 曹伟奎. 曝气生物滤池耦合超滤工艺处理山区水库水的试验研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.

(上接第 103 页)

- [2] 花发奇,唐湘姬. 生活垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程实例[J]. 中国新技术新产品, 2018(17): 38-39.
- [3] 薛勇,谢杰,蒋宝军. 垃圾渗滤液的特点及处理方法[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2006, 23(4): 21-26.
- [4] 袁江,夏明,黄兴,等. UASB 和 MBR 组合工艺处理生活垃圾焚烧发电厂渗滤液[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(4): 21-22, 24.
- [5] 申欢,金寺庭,李明波,等. 膜生物法处理城市垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水, 2004, 20(3): 56-59.