

外置式 MBR + NF/RO 工艺处理垃圾发电厂渗滤液

任美泽, 周业凯, 阳 灿, 陈春莲
(湖南永清水务有限公司, 湖南 长沙 410005)

摘要: 某城市生活垃圾焚烧发电厂一期垃圾渗滤液处理站设计处理规模为 260 m³/d, 采用预处理 + 混凝沉淀 + 调节池 + UASB + 外置式 MBR(两级生化) + NF/RO 工艺。介绍了处理系统的工艺流程以及主要构筑物和设备的设计参数, 并对运行情况和运营成本进行了分析。结果表明, 该工艺对垃圾发电厂渗滤液处理效果好, 出水水质达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005) 中再生水用作敞开式循环冷却水补充水的水质标准。出水回用作循环水补充水和用于降温锅炉排污水, 浓液用于飞灰增湿和烟气系统石灰制浆, 全部回收利用。

关键词: 垃圾渗滤液; 外置式 MBR; 反渗透

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0055-04

Application of External MBR + NF/RO Process in Treatment of Landfill Leachate in Garbage Power Plant

REN Mei-ze, ZHOU Ye-kai, YANG Can, CHEN Chun-lian
(Hunan Yonker Water Affairs Co. Ltd., Changsha 410005, China)

Abstract: The design scale of landfill leachate treatment station of a municipal solid waste incineration power plant was 260 m³/d. The combined process of pretreatment + coagulation-sedimentation + adjustment tank + UASB + external MBR (two stage biochemical) + NF/RO was used. The process flow, design parameters of main structures and equipment were introduced. The operational performance and operating cost were analyzed. The results showed that the combined process had good performance on leachate treatment. The effluent quality could meet the standards of reclaimed water used as supplementary water for open circulation cooling water in *The Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Industrial Uses* (GB/T 19923 - 2005). The effluent was used as circulating water to supplement water for boiler and to cool boiler blow-down water. The concentrated liquid was used for fly ash humidification and flue gas system lime pulping. All the effluent could be recovered and utilized.

Key words: landfill leachate; external MBR; RO

某市城市生活垃圾焚烧发电厂工程是湖南省第一座完全由本省企业采用自主技术投资、建设、运营的垃圾焚烧发电厂, 建设规模为 3 × 500 t/d 垃圾焚烧线, 发电总容量为 27 MW。一期建设 2 × 500 t/d 垃圾焚烧线, 配套装设一台 15 MW 凝汽式汽轮发电机, 年利用小时数为 8 000 h。垃圾渗滤液处理系统为垃圾焚烧发电厂配套工程, 按 400 m³/d 规划设

计, 占地面积为 2 880 m², 一期设计处理规模为 260 m³/d, 采用预处理 + 混凝沉淀 + 调节池 + UASB + 外置式 MBR(两级生化) + NF/RO 工艺, 出水水质执行《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005) 中再生水用作敞开式循环冷却水补充水的水质标准, 并回用于循环水池和锅炉排污水降温, 浓液用于飞灰增湿和烟气系统石灰调浆, 全部回

收利用。

1 水量与水质

受垃圾收集方式、气候、季节变化等因素影响，垃圾焚烧发电厂渗滤液水量波动较大。本工程进场垃圾集中在中转间经过了压缩，含水率会降低。根据工程经验，本垃圾发电厂垃圾渗滤液量按照垃圾处理量的 25% 计算，则一期渗滤液量为 250 m³/d，同时考虑卸料大厅冲洗水等污水，一期渗滤液处理站设计规模为 260 m³/d。要求处理后出水水质达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005) 中再生水用作敞开式循环冷却水补充水的水质标准，并回用于循环水池和用于锅炉排污水降温，浓液用于飞灰增湿和烟气系统石灰制浆，全部回用。设计进、出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

| 项目 | COD/ (mg · L ⁻¹) | BOD ₅ / (mg · L ⁻¹) | NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹) | TN/ (mg · L ⁻¹) | SS/ (mg · L ⁻¹) | pH 值 |
|----|---------------------------------|---|---|--------------------------------|--------------------------------|------|
| 进水 | 65 000 | 30 000 | 2 000 | 2 500 | 10 000 | 6~9 |
| 出水 | 60 | 10 | 10 | 40 | 30 | 6~9 |

2 渗滤液处理工艺流程

根据焚烧厂垃圾渗滤液水量、水质特点和处理要求，本项目确定采用预处理 + 混凝沉淀 + 厌氧 + 外置式 MBR (两级生化) + NF/RO 工艺处理渗滤液，工艺流程如图 1 所示。来自垃圾焚烧厂垃圾储存坑中的垃圾渗滤液通过提升泵提升至预处理格栅，去除粒径 > 1 mm 的固体颗粒物后进入混凝沉淀池，可去除一部分 SS^[1]，然后进入渗滤液调节池 (停留时间为 5~8 d)。调节池中的渗滤液由厌氧进水提升泵提升至厌氧布水系统进入厌氧反应器，渗滤液经过厌氧反应，COD 得到大幅度的降解，并且渗滤液中的部分难生化降解的 COD 在厌氧条件下被水解酸化。厌氧出水可能带有部分厌氧污泥，因此首先进入沉淀池进行沉淀，沉淀污泥排入剩余污泥脱水系统。经过沉淀处理的厌氧出水进入中间水池，中间水池设置曝气系统，用于吹脱水中的有害气体 (如硫化氢) 以及抑制出水中的厌氧微生物^[2]。厌氧对温度波动较为敏感，为保证冬天厌氧能够顺利运行，需要对厌氧池进行加热，设计采用焚烧厂的余热蒸汽对厌氧池进行加热以保证厌氧反应所需的温度。厌氧产生的沼气送至焚烧炉焚烧，同时设有

应急燃烧火炬。

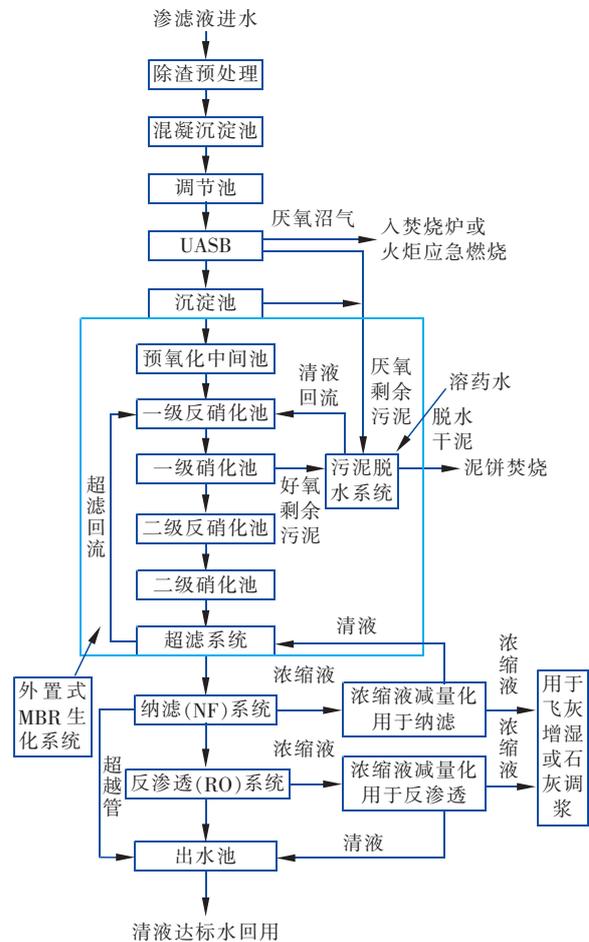


图 1 渗滤液处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of leachate treatment process

中间水池出水通过膜生化反应器进水泵提升，经袋式过滤器过滤后，进入膜生化反应器 MBR，生化去除可生化有机物并进行生物脱氮^[2,3]。经过外置式 MBR 处理的超滤出水的 BOD₅、氨氮、重金属、悬浮物等已经达到排放标准，但是难生化降解的有机物形成的 COD 和色度仍然超标，设计采用纳滤 (NF) 和反渗透 (RO) 对超滤出水进行深度处理，以去除难生化降解的有机物。

纳滤系统和反渗透系统之间设计一条超越管路，在纳滤系统出水可稳定达标的情况下，可直接排放至出水池，当纳滤系统出水不稳定，出现异常时，纳滤出水进入反渗透系统处理后达标回用。

纳滤系统和反渗透系统会产生一定量的浓缩液，针对这个问题设计了纳滤/反渗透浓缩液减量化装置，浓缩液减量化装置清液产率不小于 50%，可

减少浓缩液的产生。

该渗滤液站产生的剩余污泥经过污泥脱水系统脱水后含水率为 80%，脱水后的污泥送至锅炉焚烧处理。

3 主要处理构筑物和设备

① 调节池(含混凝沉淀池)。用于储存调节垃圾渗滤液,该池采用全地下式钢混防腐结构,工艺尺寸为 29.2 m × 17.4 m × 4.5 m, $V_{\text{有效}} = 2\ 000\ \text{m}^3$, 共 1 座,满足一、二期总水量 5 d 的调节量。渗滤液来自焚烧厂垃圾渗滤液坑,经过螺旋格栅机进入混凝沉淀池,混凝沉淀池上清液进入调节池,该池内设有液位计,池顶设有 4 台提升泵(2 用 2 备),通过液位计来控制提升泵的开启,高位启泵,低位停泵。

② 厌氧池。该池采用半地下式钢混防腐结构,工艺尺寸为 10.5 m × 8.7 m × 12.5 m, $V_{\text{有效}} = 1\ 050\ \text{m}^3$, 共两座,厌氧系统设有厌氧循环泵 3 台(2 用 1 备),预曝气装置 1 套,MBR 进水泵 2 台(1 用 1 备),厌氧排泥泵 2 台(1 用 1 备)。UASB 厌氧主要工艺参数:设计温度为 35 ℃;水力停留时间为 8.1 d;底部污泥床污泥浓度为 50 g/L;容积负荷为 7.5 kgCOD/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$);计算 COD 去除率为 80%;沼气产量为 234 Nm^3/h ;剩余污泥产量为 9.0 m^3/d 。

③ 外置式 MBR(两级生化)系统由一级反硝化、硝化,二级反硝化、硝化和超滤系统等部分组成。MBR 工艺参数:一级反硝化池 1 座,容积为 350 m^3 ,一级硝化池 2 座,容积为 680 m^3 ,二级反硝化池 1 座,容积为 220 m^3 ,二级硝化池 1 座,容积为 150 m^3 ;生化池水温为 32 ℃;生化反应器污泥浓度为 15 g/L;总反硝化率为 99.35%;反硝化回流比为 14:1;曝气方式为射流曝气;污泥产量为 41.8 m^3/d 。

MBR 超滤集成设备工艺参数:超滤环路数为 2 条;超滤膜元件数为 7 支;膜结构为管式,过滤方式为错流过滤;膜过滤孔径为 20 ~ 30 nm;总膜面积为 189.35 m^2 ;设计膜通量为 68 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;日产水量 > 260 m^3/d ;系统操作压力为 0.44 ~ 0.6 MPa;清洗方式为 CIP 在线清洗(每月一次)。

④ 纳滤系统由纳滤进水泵、纳滤集成设备和纳滤清液罐组成。设置 2 台纳滤进水泵(1 用 1 备);纳滤清液罐 $V_{\text{有效}} = 10\ \text{m}^3$, 共 1 座。纳滤集成设备工艺参数:膜形式为卷式纳滤膜;进水量为 280 m^3/d ;清液产率为 85%;纳滤装置 1 套;纳滤膜元件 20 支;设计膜通量为 18 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;设计总膜面积

为 740 m^2 ;系统操作压力为 0.5 ~ 2.5 MPa;设计膜通量为 18 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;清洗方式为 CIP 在线清洗(每月一次)。

⑤ 反渗透系统由反渗透进水泵、反渗透集成设备和反渗透清液罐组成。设置 2 台反渗透进水泵(1 用 1 备);反渗透清液罐 $V_{\text{有效}} = 5\ \text{m}^3$, 共 1 台。反渗透集成设备工艺参数:膜形式为卷式反渗透膜;进水量为 240 m^3/h ;清液产率为 75%;反渗透装置 1 套;反渗透膜元件数为 24 支;总膜面积为 825.6 m^2 ;设计膜通量为 12 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;系统操作压力为 3 ~ 5 MPa;清洗方式为 CIP 在线清洗(每月一次)。

⑥ 浓缩液减量化系统及清液外排系统

该系统有纳滤/反渗透浓缩液减量化装置 1 套、纳滤浓缩液储池 1 座, $V_{\text{有效}} = 30\ \text{m}^3$, 纳滤浓缩液回喷泵 2 台(1 用 1 备)、反渗透浓缩液储池 1 座, $V_{\text{有效}} = 30\ \text{m}^3$, 反渗透浓缩液回喷泵 2 台(1 用 1 备),清液泵 2 台(1 用 1 备)。

⑦ 污泥脱水系统

UASB 厌氧和 MBR 生化产生的剩余污泥排放到污泥储池,污泥储池 $V_{\text{有效}} = 50\ \text{m}^3$, 污泥储池中的污泥通过污泥进料泵提升进入污泥脱水机。污泥脱水机房与膜处理间合建,选用 1 台卧螺离心脱水机,流量为 10 m^3/h 。向污泥中添加适量的絮凝剂以提高固液分离效果,污泥脱水产生的滤液排入脱水上清液池,上清液池 $V_{\text{有效}} = 30\ \text{m}^3$, 通过上清液回流泵(1 用 1 备)提升至 UASB 反应器,污泥脱水产生的含水率为 80% 的干泥,送至焚烧炉进行后续焚烧处理。

⑧ 沼气收集系统和臭气系统

UASB 厌氧沼气的产量约为 234 Nm^3/h , 沼气中甲烷体积分数为 65% ~ 72%, 通过沼气收集以及输送装置将沼气输送入垃圾坑负压区,借由负压回焚烧炉进行焚烧助燃。事故状态时系统产生的沼气进入火炬燃烧系统进行应急燃烧处理。

调节池顶部设有 1 台除臭离心风机,将调节池、沉淀池、中间水池、污泥池和污泥脱水间的臭气收集至垃圾坑负压区。

4 工程应用情况

垃圾渗滤液处理系统正式投产运行一年来,各单元运行效果如表 2 所示。NF 系统出水完全达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中再生水用作敞开式循环冷却水补充

水的水质标准,并回用于循环水池和用于降温锅炉排污水,浓液用于飞灰增湿和烟气系统石灰制浆。

表2 各单元处理效果

Tab.2 Treatment effect of each treatment unit

mg · L⁻¹

| 项 目 | COD | BOD ₅ | NH ₄ ⁺ - N | TN | SS | |
|---------|--------|------------------|----------------------------------|-------|-------|--------|
| 预处理 | 进水 | 65 000 | 30 000 | 2 000 | 2 500 | 10 000 |
| | 出水 | 65 000 | 30 000 | 2 000 | 2 500 | 9 000 |
| UASB 出水 | 15 000 | 7 500 | 2 000 | 2 500 | 9 000 | |
| 生化系统出水 | 600 | 120 | 8 | 60 | 9 000 | |
| 超滤出水 | 500 | 100 | 6 | 50 | 30 | |
| 纳滤出水 | ≤50 | ≤10 | ≤5 | ≤40 | ≤10 | |
| 反渗透出水 | ≤50 | ≤10 | ≤5 | ≤40 | ≤10 | |
| 排放要求 | ≤60 | ≤10 | ≤10 | ≤40 | ≤30 | |

5 运行成本分析

运行成本主要包括药剂费、电费、设备维修费用。药剂包括氯化铁、膜清洗剂、还原剂、阻垢剂、PAM 和盐酸等,平均药剂费为 2.2 元/m³;用电量为 318.4 × 10⁴ kW · h/a,电价为 0.65 元/(kW · h),平均电费 21.52 元/m³;设备维修费包括膜更换费、日常维护费及耗材更换费,平均费用为 8.9 元/m³。总计吨水运行费用为 32.62 元/m³。

本垃圾发电厂用水均取自湘江衡阳段,水费运行成本极低,故本次成本分析未把水费计算在内。

6 结论和建议

① 采用预处理 + 混凝沉淀 + 厌氧 + 外置式 MBR + NF/RO 组合工艺对焚烧垃圾厂渗滤液进行深度处理并回用,NF/RO 系统出水可以达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中再生水用作敞开式循环冷却水补充水的水质标准,回用于循环水池和锅炉排污水降温,浓液用于飞灰增湿和烟气系统石灰制浆,全部回收利用。

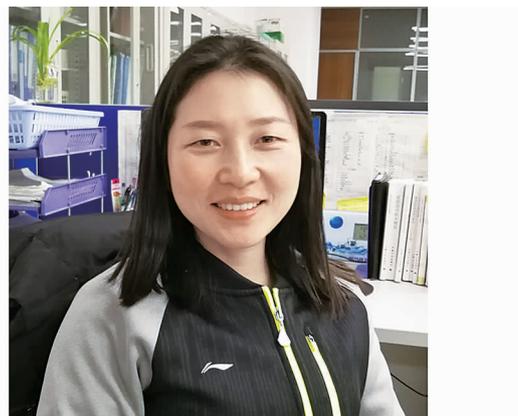
② 超滤集成设备、纳滤集成设备和反渗透集成设备均只设计了一套,在夏季渗滤液产生的高峰时,因为只有一套设备,不方便设备反洗,建议设计两套并联设备,运行更方便。

③ 本垃圾发电厂垃圾渗滤液产生量按入炉垃圾量的 25% 设计,调节池容积满足一、二期渗滤液总水量 5 d 的储存量,从运行一年多的情况来看,夏季 7、8 月份渗滤液产生量达到入炉垃圾量的 27% 左

右,建议在二期渗滤液系统设计时,渗滤液产生量应按夏季产生量的 27% 设计,调节池的容积按 10 d 储存量来设计。

参考文献:

- [1] 田爱军,吴云波,黄娟,等. UBF - MBR - NF - RO 工艺深度处理垃圾渗沥液废水[J]. 环境科技,2014,27(1):76 - 79.
Tian Aijun, Wu Yunbo, Huang Juan, *et al.* Study on the advanced treatment of waste leachate by using UBF - MBR - NF - RO technology[J]. Environmental Science and Technology, 2014, 27(1): 76 - 79 (in Chinese).
- [2] 肖诚斌,庞保蕾,任艳双,等. 垃圾焚烧发电厂垃圾渗滤液处理工程实例[J]. 中国给水排水,2012,28(10):77 - 79.
Xiao Chengbin, Pang Baolei, Ren Yanshuang, *et al.* Landfill leachate treatment project in refuse incineration power plant[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(10): 77 - 79 (in Chinese).
- [3] 闵海华,杜昱,刘淑玲,等. MBR/RO 工艺处理垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水,2010,26(4):64 - 66.
Min Haihua, Du Yu, Liu Shuling, *et al.* MBR/RO process for treatment of landfill leachate [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(4): 64 - 66 (in Chinese).



作者简介:任美泽(1984 -),女,湖南常德人,本科,工程师,从事水处理工程设计工作。

E-mail: 744736950@qq.com

收稿日期:2017 - 11 - 01