

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.016

贵阳某垃圾焚烧发电厂渗滤液处理回用工程设计

王怡然¹, 李江¹, 李彦澄¹, 李鹏飞², 魏鸿磊²

(1. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 北京洁绿环境科技股份有限公司, 北京 100089)

摘要: 贵阳某垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程设计处理规模为 300 t/d, 采用“预处理 + 厌氧 + MBR(两级硝化反硝化 + 超滤) + NF + RO”组合工艺处理渗滤液并回用。渗滤液处理站运行结果表明, 该工艺处理效果良好, 出水水质满足《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系统补充水标准, 并直接回用为垃圾焚烧厂烟塔循环冷却水补水, 实现了“全回用, 零排放”, 具有较好的环境和经济效益。

关键词: 垃圾焚烧; 渗滤液; MBR; 深度处理; 零排放

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0091-05

Design of Leachate Treatment and Reuse Project for a Solid Waste Incineration Power Plant in Guiyang

WANG Yi-ran¹, LI Jiang¹, LI Yan-cheng¹, LI Peng-fei², WEI Hong-lei²

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Beijing Jielu Environmental Technology Co. Ltd., Beijing 100089, China)

Abstract: The design leachate treatment capacity of a municipal solid waste (MSW) incineration power plant in Guiyang is 300 t/d. The leachate is treated and reused by a combined process consisting of pretreatment, anaerobic treatment, MBR, NF and RO. The operation results of the leachate treatment station showed that the treatment performance of this technology was good and the effluent quality met the supplementary water standard of open circulating cooling water system in *The Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Industrial Uses* (GB/T 19923 - 2005). The effluent was directly recycled to supplement the circulating cooling water in the smoke tower of the MSW incineration power plant, achieving “full reuse and zero discharge”, which had good environmental and economic benefits.

Key words: MSW incineration; leachate; MBR; advanced treatment; zero discharge

垃圾焚烧发电厂产生的渗滤液是最主要的二次污染物之一, 主要来自焚烧前储存在贮坑内的垃圾受到一定的挤压作用后排出的水分和垃圾中有机质在贮坑内酸性发酵产生的废水^[1-2]。其具有新鲜垃圾渗滤液的典型特征: COD 和 BOD₅ 含量高, 可生化

性强, NH₃-N 含量相对于老龄渗滤液较低, pH 值较低^[3]。受垃圾收集方式和当地季节气候变化等因素的影响, 垃圾焚烧发电厂渗滤液水量波动较大^[4]。其总体特点是污染物浓度高、水质水量变化大, 呈黄褐色或灰褐色, 强烈恶臭^[5]。

基金项目: 贵州省科技重大专项(黔科合重大专项字[2019]3009)

通信作者: 李江 E-mail: jli82@ gzu. edu. cn; 李彦澄 E-mail: yeli3@ gzu. edu. cn

目前垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工艺大多数采用“预处理+生化处理+膜深度处理”的组合工艺^[6-8],该工艺可使出水达到排放标准,同时出水可用作回用水,其他产生物如浓缩液和臭气等直接通入焚烧炉焚烧,基本实现了“全回用,零排放”,具有较好的前景和环境效益。

1 项目概况

贵阳某生活垃圾焚烧发电项目,分两期建设运行,其中一期为日处理生活垃圾 1 200 t,垃圾运送至焚烧厂堆存发酵 5~7 d 后再进行焚烧。垃圾堆

存发酵过程中产生的渗滤液进入渗滤液处理站处理。为了满足渗滤液处理要求,实现全量处理,一期渗滤液处理系统设计规模为 300 t/d,采用“预处理+厌氧+MBR(两级硝化反硝化+超滤)+NF+RO”组合工艺,出水水质执行《城市污水再生利用工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中敞开式循环冷却水系统补充水标准,回用为烟塔循环冷却水补水,NF 和 RO 产生的浓缩液用作炉渣冷却水或直接通入焚烧炉焚烧,实现了“全回用,零排放”。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/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
设计进水水质	65 000	30 000	1 200	8 000	6~9
设计出水水质	≤60	≤10	≤10	0	6~9
循环冷却水标准	≤60	≤10	≤10	—	6.5~8.5

2 渗滤液处理工艺设计

该项目工艺流程见图 1。

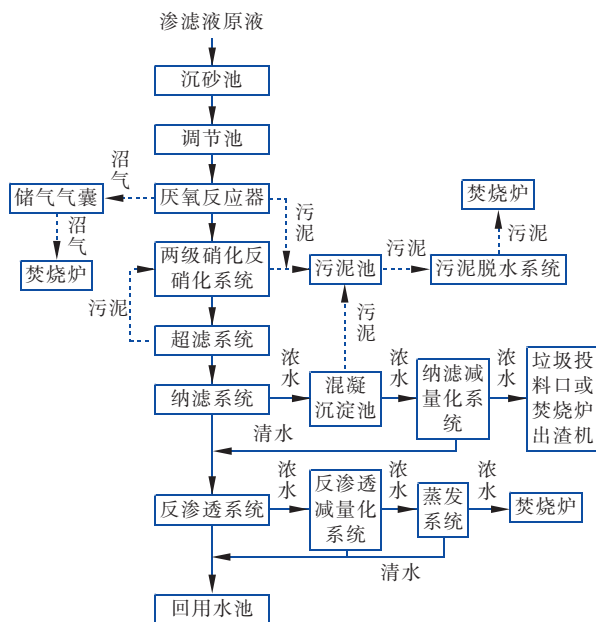


图 1 渗滤液处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of leachate treatment process

2.1 预处理系统

预处理系统由沉砂池和调节池组成。渗滤液原液通过提升泵首先进入沉砂池,通过重力沉降作用,去除砂粒等较大的无机颗粒物以及少量有机杂质。原液在沉砂池中停留的时间很短,即“急进急出”,随后进入调节池。调节水量水质后,原液经提升泵

提升进入中温厌氧反应器。

设计沉砂池 1 座,采用地上式钢混结构,进水在沉砂池中停留时间为 7.5 h;设计调节池共 2 座,采用地上式钢混结构,停留时间为 7 d。调节池顶部加盖密闭,所产生的臭气经管道收集后用作垃圾焚烧的辅助燃料。

2.2 厌氧反应器(UBF)

厌氧条件下,渗滤液中含有的有机污染物通过厌氧微生物的作用,被分解成甲烷、氨氮、硫化氢、磷酸盐和无机盐等小分子物质,为后续处理系统提供较好的进水条件^[5]。

UBF 为新型复合式厌氧流化床反应器,结合了厌氧过滤器(AF)和上流式厌氧污泥床(UASB)的特点,在 UASB 的基础上增加了过滤填料。该反应器具有很高的生物固体停留时间(SRT),使得反应器内微生物浓度大大增加,并有效提高厌氧去除效率。配套系统包括:①保温系统。该地区冬季温度较低(平均温度 3~9℃),而中温厌氧系统对温度的要求较高,因此设置保温系统维持厌氧微生物的稳定生长和季节适应性,从而进一步保证厌氧处理阶段的持续运行。②循环换热系统。循环加热系统由循环换热系统、换热器和厌氧循环泵组成,采用外加蒸汽热源,根据厌氧反应器内水温进行自动控制,其主要作用为保证厌氧反应器的上升流速,防止罐体内污泥沉淀,以及进一步维持厌氧反应器的运行温度。

该反应器为罐式反应器,1座,设计总容积为 $1\,936\text{ m}^3$,有机负荷为 $9\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,罐中压力设定为 $1\sim 2\text{ kPa}$,停留时间为 6.5 d 。罐体采用外加蒸汽热源,所需热量约 $67.5\times 10^4\text{ J/h}$,罐内温度控制在 $(35\pm 2)^\circ\text{C}$,pH值维持在 $7\sim 8$,由此保证罐体中微生物的正常生长。其对COD和 BOD_5 的去除率能达到88%以上,稳定运行后沼气产量约 $100\sim 300\text{ m}^3/\text{h}$ 。罐体内部采用挂式填料,由于罐体长期处于碱性条件,在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子的作用下,一定时间后罐体内壁会结垢,因此对该反应器3~4年进行一次检修,更换填料并对罐壁进行清理。

2.3 两级硝化反硝化系统

生化部分采用一级硝化反硝化+二级硝化反硝化的处理工艺。硝化池底部安装可提升微孔曝气装置,其与射流曝气装置相比可有效降低运营成本,同时为硝化池提供足够的溶解氧,使得好氧微生物将氨态氮氧化为亚硝态氮或硝态氮,再通过反硝化细菌的作用达到去除氨氮的目的。一级硝化污水及经MBR浓缩后的污泥回流至反硝化池,二级硝化反硝化作为强化脱氮的保证。

一级反硝化池设计有效容积为 230 m^3 ,二级反硝化池设计有效容积为 119 m^3 。一级硝化池设计有效容积为 656 m^3 ,温度控制在 $32\sim 33^\circ\text{C}$,溶解氧浓度为 $1.00\sim 2.00\text{ mg/L}$,pH值在7.5左右。二级硝化池有效容积为 725 m^3 ,温度控制在 $32\sim 33^\circ\text{C}$,溶解氧浓度为 $0.80\sim 2.00\text{ mg/L}$,pH值在7.0左右。硝化池污泥浓度控制在 $15\,000\text{ mg/L}$ 左右,如污泥浓度过高,则需加大排泥量。一级硝化回流流量约 $50\sim 60\text{ m}^3/\text{h}$,二级硝化回流流量约 $60\sim 80\text{ m}^3/\text{h}$,由回流泵进行控制。为保证硝化池内温度,设置冷却系统,常用于夏季,利用冷却塔和板式换热器控制硝化池中的温度,冷却塔换热面积为 100 m^2 。由于焚烧厂渗滤液本身含有充足碳源,一般情况下,不在生化池投加碳源。若出现生化池C/N比例失调的情况,为了满足生化池中反硝化过程所需的碳源,一般以甲醇作为补充碳源或采用污水超越厌氧措施。

2.4 超滤(UF)系统

超滤系统为外置浸没式超滤膜组,配置单独膜箱,将膜组件设备化后直接浸没于活性污泥混合液中。污水进入反应器后与活性污泥混合液充分混合,污染物被生物降解^[7],处理水通过负压抽吸或

压差经膜表面流出。膜组件下方配置曝气装置,在为微生物分解有机物提供氧气的同时,还可促使混合液在膜表面形成上升流速,其产生的剪切力和气泡冲刷能有效地防止污染物在膜表面发生沉积而导致膜污染^[9]。超滤系统产生的泥水混合物回流至一级反硝化池。

超滤系统设计为两套,共90支超滤膜,系统膜通量为 $10\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,吹扫风机风量为 $3.6\text{ m}^3/\text{min}$,回流量控制在6:1。配套辅助系统包括清洗系统和加药系统,膜在正常运行情况下,每隔20 min进行一次反冲洗,膜组件按周期进行化学清洗,清洗周期约为15 d,使用清洗剂(NaClO 、 HCl 、 NaOH)浸泡4~6 h。超滤膜池的pH值控制在 $6.8\sim 7.2$ 之间,pH值的控制通过加酸泵自动运行实现。此外还配备有消泡剂,防止污水产生过多气泡后溢出膜池。通过配套辅助系统保证整个系统的处理效果,减小超滤膜污染的速度,恢复膜通量,以保证超滤系统以及后续系统的正常运行。

2.5 纳滤(NF)系统

纳滤系统的主要功能是降低水中部分难降解有机物、二价离子等物质含量,并有效降低色度^[10]。纳滤膜组件采用螺旋卷式聚酰胺复合膜,具有结构简单、装填密度较高、物料交换效果好、脱盐率低、净化效果好和性价比高等优点。配置膜组件数量为30支,单支膜组件面积为 37 m^2 ,膜通量 $\geq 12\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,该膜对渗滤液的适应性很强,设计回收率为80%。配套辅助系统包括清洗系统和加药系统,每隔1 h进行一次反冲洗,配备的还原剂和阻垢剂能保证整个处理系统的处理效果和正常运行。

纳滤系统产水进入反渗透系统进行后续处理,纳滤浓缩液进入混凝沉淀池处理后,排至纳滤减量化系统进行处理。纳滤减量化系统设两套机组,单支膜面积 37 m^2 ,共36支,设计处理水量为 $65\text{ m}^3/\text{d}$ 。经减量化系统处理后产出的清水也进入反渗透系统,减量化浓缩液直接回喷至垃圾投料口或者进入焚烧炉出渣机用作冷却水。纳滤系统产水率为75%~80%。

2.6 反渗透(RO)系统

反渗透是最精细的一种膜分离系统,其能有效截留污水中的溶解盐分及分子质量 $>100\text{ u}$ 的有机物,同时允许水分子通过^[11]。反渗透膜采用卷式聚酰胺复合膜,膜组件数量为30支,单支膜组件面积

为 37 m^2 , 膜通量 $\geq 12 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均脱盐率 $\geq 99.5\%$ 。配备还原剂和阻垢剂投加系统, 以保证整个处理系统的处理效果和正常运行。

反渗透系统产水进入回用水池用作烟塔循环冷却水补水, 反渗透浓缩液排至反渗透减量化系统进行处理。反渗透减量化系统设一套机组, 单支膜面积 37 m^2 , 共 12 支, 设计处理水量为 $142 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经减量化系统处理后产出的清水同样进入回用水池, 减量化浓缩液进入蒸发系统进行最后一次处理。反渗透系统产水率约为 75% 。

2.7 蒸发系统(MVR)

RO 减量化浓缩液直接进入 MVR 蒸发系统。MVR 蒸发是将蒸发罐产生的二次蒸汽经蒸汽压缩机升温加压后, 进入强制循环系统的换热器对浓缩液进行加热蒸发。二次蒸汽经过换热器后形成冷凝水, 冷凝水经过浓缩液预热器换热降温后排放作为冷却循环水, 蒸发母液则通入焚烧炉焚烧。MVR 蒸发系统可有效延缓换热器结垢, 但当蒸发效率明显下降、产水率降低时, 需将系统停机进行化学清洗。本项目蒸发系统设计处理规模为 $90 \text{ m}^3/\text{d}$, 其浓缩倍数为 3 倍, 低于结晶蒸发浓缩倍数 ($8 \sim 15$ 倍), 实际检测出水中 COD 和氨氮含量均低于 15 mg/L , 在与 RO 产水混合后可达到冷却循环水使用标准。

2.8 污泥处置

厌氧反应系统和两级硝化反硝化系统产生的剩余污泥首先汇集到污泥池中, 在污泥池内经污泥减量浓缩处理后泵入污泥脱水系统。污泥脱水系统采用卧螺式离心脱水机, 设计处理量为 $10 \sim 45 \text{ t/h}$ 。污泥脱水前加聚丙烯酰胺使污泥絮凝, 污泥清液排至生化池, 脱水泥饼经污泥运输车转运至焚烧厂入炉焚烧, 实现了污泥的无害化和资源化利用。

2.9 气体处置

① 臭气

渗滤液处理过程中臭气 (NH_3 、 H_2S 、 CS_2 等) 主要是在调节池处产生, 经对各臭气点源密封、臭气管道收集、除臭风机输送至焚烧炉燃烧, 该工艺配备三台除臭风机。此外, MVR 蒸发系统产生的不凝气, 一、二级反硝化池及污泥池的臭气也进入臭气收集管道后送至焚烧炉燃烧处理, 实现了臭气的系统性收集及全量无害化处置,

② 沼气

厌氧反应系统产生的沼气首先进入水封罐, 水

封罐作为安全保障, 使沼气形成一定的流速外排以及防止回火引起罐内爆炸。沼气从水封罐出来以后收集到储气气囊, 经脱水脱硫后通入焚烧炉用作垃圾焚烧助燃辅料, 实现了沼气资源的回收利用。本项目厌氧系统运行稳定后沼气产量约 $100 \sim 300 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3 渗滤液处理效果

该垃圾焚烧厂渗滤液处理站经稳定运行后, 出水能达到设计标准, 各系统污染物去除效果见表 2。系统对 COD、凯氏氮的总去除率分别为 99.9% 、 99.1% 。

表 2 渗滤液处理效果

Tab. 2 Treatment effect of leachate

项 目		COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	凯氏氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
厌氧反应器	进水	46 524.25	1 002.57	5.5
	出水	7 927.36	935.14	7.9
两级硝化反硝化出水		1 367.29	79.07	8.0
超滤(UF)出水		918.72	49.79	7.49
纳滤(NF)出水		317.41	36.0	7.34
反渗透(RO)出水		12.79	9.0	7.0

4 运行成本及效益

该渗滤液处理站工程总投资约 4 500 万元, 运行成本约 40 元/t, 主要包括药剂费、人工费、维修费等。年运行时间约 8 000 h, 处理渗滤液量为 $9.99 \times 10^4 \text{ t/a}$, 出水及处理工艺中产生的二次产物全部回用, 具有较好的经济效益和环境效益。

5 结语

① 本项目采用“预处理 + 厌氧 + MBR(两级硝化反硝化 + 超滤) + NF + RO”组合工艺处理垃圾焚烧厂渗滤液, 出水能达到《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系统补充水标准, 并直接回用为焚烧厂烟塔循环冷却水补水, 蒸发母液通入焚烧炉焚烧, 实现了“全回用, 零排放”。

② 污水中主要的有机污染物通过 UBF 处理, 此种厌氧反应器具有密封性好、有机负荷高、抗水力冲击能力强等特点, 而且构造简单, 维修方便, 较大的高径比减小了占地面积, 解决了用地紧张问题, 且内回流系统节省了提升动力, 电耗相对较低, 是一种经济有效地处理高浓度有机废水的厌氧反应器。

③ 渗滤液处理工艺中采用了纳滤减量化系统、反渗透减量化系统及蒸发系统进一步处理浓水,

在减少浓水产量的同时,提高了回用水量。产生的二次产物通过焚烧实现无害化处理,厌氧系统产生的沼气用作焚烧助燃辅料,实现了环境效益和经济效益的双赢。

参考文献:

- [1] 杨柳,耿晓丽. 城市生活垃圾焚烧厂渗滤液特点及处理现状[J]. 中国沼气,2014,32(4):24-28,47.
YANG Liu, GENG Xiaoli. Leachate characteristics and treatment status of municipal solid waste in incineration plant[J]. China Biogas, 2014, 32(4): 24-28, 47 (in Chinese).
- [2] 张磊,孙琪琛,刘宁,等. 中国城市生活垃圾焚烧处理分析[J]. 环境与发展,2018,30(6):32-33,36.
ZHANG Lei, SUN Qichen, LIU Ning, et al. Analysis of municipal solid waste incineration in China [J]. Environmental & Development, 2018, 30(6): 32-33, 36 (in Chinese).
- [3] 王子文,戴兰华,谢小青,等. 垃圾焚烧厂渗滤液预处理工艺研究[J]. 环境工程,2015,33(8):22-26.
WANG Ziwen, DAI Lanhua, XIE Xiaoqing, et al. Study on refuse incineration plant leachate pretreatment technology [J]. Environmental Engineering, 2015, 33(8): 22-26 (in Chinese).
- [4] 任美泽,周业凯,阳灿,等. 外置式 MBR + NF/RO 工艺处理垃圾发电厂渗滤液[J]. 中国给水排水,2018,34(8):55-58.
REN Meize, ZHOU Yekai, YANG Can, et al. Application of external MBR + NF/RO process in treatment of landfill leachate in garbage power plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(8): 55-58 (in Chinese).
- [5] DANG Y, YE J X, MU Y J, et al. Effective anaerobic treatment of fresh leachate from MSW incineration plant and dynamic characteristics of microbial community in granular sludge [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(24): 10563-10574.
- [6] 孙娜,王艳芳,王志鹏,等. NF/RO 在垃圾焚烧厂渗滤液处理工程中的应用[J]. 中国给水排水,2015,31(20):104-107.
SUN Na, WANG Yanfang, WANG Zhipeng, et al. Application of NF/RO process to leachate treatment in waste incineration plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(20): 104-107 (in Chinese).
- [7] 涂海桥. 垃圾焚烧厂垃圾渗滤液的深度处理[J]. 环境与发展,2018,30(7):60-61.
TU Haiqiao. Advanced treatment of landfill leachate from waste incineration plants [J]. Environmental & Development, 2018, 30(7): 60-61 (in Chinese).
- [8] 张晓杰. 厌氧 + MBR + NF + RO 工艺与两级 DTRO 工艺处理垃圾渗滤液的对比分析[J]. 水处理技术,2019,45(9):126-129,132.
ZHANG Xiaojie. Comparison and analysis of anaerobic + MBR + NF + RO and two-stage DTRO technology for landfill leachate treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2019, 45(9): 126-129, 132 (in Chinese).
- [9] WANG B, LI W, LIU L, et al. Influence of sludge reflux ratios on biodegradation performance in a coupled landfill leachate treatment process based on UASB and submerged MBR[J]. Journal of Environmental Science and Health, 2016, 51(9): 701-706.
- [10] TREBOUET D, SCHLUMPF J P, JAOUEN P, et al. Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical - nanofiltration processes [J]. Water Research, 2001, 35(12): 2935-2942.
- [11] 岳云波,陈白阳,段炫彤,等. 反渗透技术在污废水深度处理中的应用及研究进展[J]. 水处理技术,2018,44(1):1-6,16.
YUE Yunbo, CHEN Baiyang, DUAN Xuantong, et al. Research progress and application of reverse osmosis wastewater advanced treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(1): 1-6, 16 (in Chinese).

作者简介:王怡然(1995-),女,贵州遵义人,硕士研究生,主要从事有机污染效应及控制研究。

E-mail:184253891@qq.com

收稿日期:2020-06-09

修回日期:2020-06-24

(编辑:孔红春)