

MBR/RO/MVPC 工艺应用于垃圾渗滤液处理改造工程

刘 立

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 陕西 西安 710043)

摘 要: 针对揭阳市东径外草地垃圾渗滤液处理站 SBR 运行不佳所导致的后续过滤系统堵塞、RO 膜严重老化、无法达标排放问题,将原有 SBR 池改造为 MBR 池和 MVPC 工艺,改造工程最终采用预处理/UASB/MBR/RO/MVPC 工艺处理垃圾渗滤液,该组合工艺技术先进、产水率高、运行费用适中。当进水 COD、BOD₅、氨氮、TN、TP、SS 浓度分别为 7 280、1 540、2 940、3 370、12、950 mg/L 时,出水浓度分别为 28.0、8.0、4.0、6.9、0.7、1.2 mg/L,各指标总去除率均基本维持在 95% 以上,出水水质优于《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)中的排放标准。该改造工程直接运行成本为 26.64 元/m³。

关键词: 垃圾渗滤液处理; 改造工程; 排放标准

中图分类号: TU993 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0067-05

Application of MBR/RO/MVPC Process in Renovation of Landfill Leachate Treatment Project

LIU Li

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: In view of the problems of blockage of subsequent filtration system, serious aging of RO membrane and failure to meet discharge standards due to bad operation of SBR in Jieyang Dongjingwaicaodi landfill leachate treatment station, the original SBR tank was transformed into MBR tank and MVPC process. The pretreatment/UASB/MBR/RO/MVPC process was used to treat landfill leachate. The combined process had advanced technology, high water yield and moderate operation cost. When the influent concentration of COD, BOD₅, ammonia nitrogen, TN, TP and SS were respectively 7 280 mg/L, 1 540 mg/L, 2 940 mg/L, 3 370 mg/L, 12 mg/L and 950 mg/L, the relevant effluent index were 28.0 mg/L, 8.0 mg/L, 4.0 mg/L, 6.9 mg/L, 0.7 mg/L and 1.2 mg/L, respectively, and the total removal rate of each index was basically above 95%, the effluent quality was better than the discharge standard of *Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste* (GB 16889-2008). The direct operation cost of this renovation project was 26.64 yuan/m³.

Key words: landfill leachate treatment; renovation project; discharge standard

1 项目背景

揭阳市东径外草地生活垃圾填埋场位于揭阳市玉滘镇东径农场内,总占地面积为 27 hm²。填埋场位于山谷中,建设部核定为Ⅱ级无公害生活垃圾填埋场。该填埋场一期设计总库容为 180 × 10⁴ m³,于

2010 年 3 月竣工并投入使用,处理生活垃圾 650 ~ 800 t/d,设计使用年限 10 年。随之配套的垃圾渗滤液处理工程于 2011 年 5 月开始正式运营,处理规模为 200 t/d。本填埋场产生的垃圾渗滤液经库底盲沟收集导入污水调节池,再经提升后进入 UASB/

SBR/双层滤料滤罐/保安过滤器/反渗透系统进行处理,工艺流程见图 1。

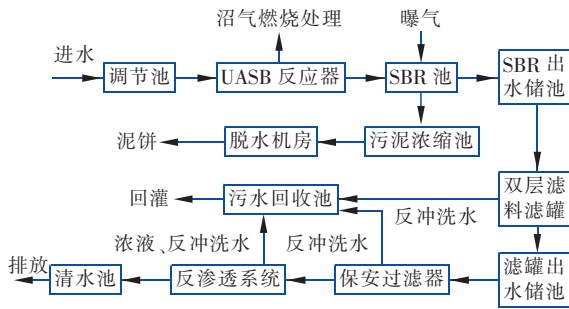


图 1 垃圾渗滤液原处理工艺流程

Fig. 1 The original treatment process of landfill leachate

原渗滤液处理站运行了 4 年,在运行后期遇到相应瓶颈:①出水 SS、氨氮、TN 浓度远达不到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的排放标准;②垃圾渗滤液不可降解成分多,SBR 生化池活性污泥膨胀死亡,致使处理能力下降;③SBR 池出水 SS 含量高导致后续双层滤料滤罐、RO 保安过滤器堵塞严重,过滤系统穿透导致 SS 过高影响 RO 膜组件的运行,最终 RO 膜老化过快、腐蚀严重;④系统产水率低(40~50 m³/d),远低于设计要求,难以满足目前垃圾填埋场的需求;⑤调节池气味扩散,造成区域空气感官差,污染填埋场周边环境。

2 改造工程设计

本次升级改造主要处理一期填埋场渗滤液,工艺流程为集水调节池/UASB/MBR/RO/MVPC 蒸发/达标排放。原有工程预处理阶段的调节池和 UASB 反应器的设计已考虑到远期处理规模,本次改造工程无需新建构筑物,主要对调节池、SBR 池、

污水回收池、SBR 出水储池、滤罐出水储池、污水回收池等进行设备更换或构筑物改造。

2.1 渗滤液产生量核算

本工程采用经验公式法测算渗滤液产生量,根据本地平均降水量常年值统计数据,得出填埋区的逐月渗滤液产生量。目前一期填埋场产生的渗滤液量为 39 263.5 m³/a,平均日产生量为 107.6 m³/d,且调节池内存有 4×10⁴ m³ 未处理的渗滤液。一期填埋场封场后,与二期预计产生的渗滤液量合计为 72 666 m³/a,平均日产生量为 199.1 m³/d。根据计算校核,原有渗滤液调节池可以满足未来二期渗滤液产生的处理量。由于现存渗滤液量大、一期面临封场的实际现状,同时考虑远期渗滤液处理量的要求,确定本改造工程设计处理规模为 240 m³/d,清水产出量≥200 m³/d。

2.2 水质设计

渗滤液处理后出水水质应满足《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表 2 中水污染物排放浓度限值要求,具体设计水质见表 1。

表 1 改造工程设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality of renovation

		project					mg · L ⁻¹
项目	BOD ₅	COD	SS	NH ₃ - N	TN	TP	
进水	6 500	15 000	650	1 000	1 400	12	
出水	30	100	30	25	40	3	

2.3 工艺选型分析

目前垃圾渗滤液主要处理工艺可分为三大类^[1],即:生化+膜处理工艺、两级 DTRO 工艺、MVPC (Mechanical Vapor Purification Compression) 蒸发技术,三种工艺比选见表 2。

表 2 工艺方案比较

Tab. 2 Comparison of process schemes

项目	生化+膜工艺	两级 DTRO	MVPC
工艺复杂程度	有 7 个处理单元,系统复杂	3 个处理单元,系统较简单	全自动控制,系统简单
运行情况	反渗透清液产水率约 70%;浓缩液量为 30%,对后续运行有影响	浓缩液量为 25%~50%,需单独处理,处理难度高,对后续运行有影响	产水率在 90%~95%,浓缩液量为 5%~10%,对后续运行无影响
启动	调试 2 个月(有厌氧更长),重新启动需 2 个月	调试 10 天,开停方便,膜需要弱酸浸泡	调试 15 天,随时开停
氨处理	氨处理,过程复杂	氨不处理,回灌填埋场	氨回收成铵盐,可利用
运行管理	运行管理要求很高,运行费用低	运行管理要求较高,运行费用较低	运行管理简单,运行费用较高
占地/(m ² · m ⁻³)	10~20	3~5	1.5~4
造价/(万元 · m ⁻³)	10	8	6

由表2可知,低能耗洁净蒸发 MVPC 工艺是一种出水好、全自动化、运行稳定、投资占地省、运行管理简便的渗滤液处理工艺。MVPC 的运行费用较 MVR 传统蒸发器低 2/3 左右,较前两种方案的运行费用高 2~4 倍^[2]。本项目已有的 UASB 池、SBR 池、RO 系统,经改造后可作为进入蒸发器的预处理系统,RO 处理后的浓水可以达到 MVPC 的水质要求,并减少 MVPC 的处理量,最终降低运行成本。

由于 SBR 池运行效果差,污泥易膨胀,调试频繁,技改工程选用 MBR 系统作为二级生化主体工艺,首先可通过高效生化过程去除易降解有机物和

氨氮,然后通过膜技术过滤难降解有机物,同时让盐分通过而排除,既利用了生物处理和膜技术各自的优点,又避免了单纯反渗透的缺点,此外 MBR 还具有耐冲击负荷、出水水质好的特点。

综合以上分析,本工程确定采用集水调节池/UASB/MBR 池/RO/MVPC 工艺处理垃圾渗滤液。工程充分利用现有设施,设置 MVPC 核心单元,同时已有的中间水池、暂存池等均可以利用,可实现东径外草地垃圾渗滤液中后期处理出水的稳定达标。

2.4 工艺流程

本项目工艺流程如图2所示。

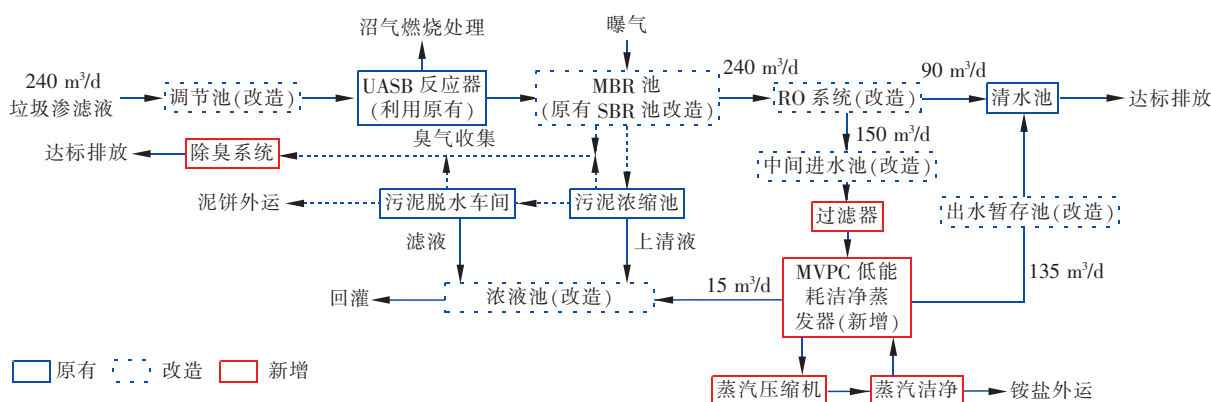


图2 垃圾渗滤液改造工艺流程

Fig.2 Flow chart of landfill leachate renovation project

垃圾渗滤液经管道收集后进入厂区内调节池,用以收集和调节渗滤液水质、水量,然后通过提升泵输送到 UASB 反应器进行厌氧消化,大幅降低了废水中的有机污染物浓度,UASB 出水再依次进入缺氧池、MBR 曝气池,曝气池可降解一部分有机物和氨氮、磷,再通过回流进入缺氧池完成反硝化脱氮,生化曝气处理后的渗滤液通过 MBR 中的超滤(UF)系统分离后,渗滤液中的固体物质、大分子物质等被膜截留,并随浓液返回至 MBR 曝气池内;随后反渗透系统采用低产水通量运转处理 MBR 池出水,这样不仅提高了现有 RO 系统的设备使用率,整体系统降低了运营动力费用,同时延长了 RO 膜的使用寿命。反渗透出水清液(约 90 m³/d)进入清水池,RO 浓液(约 150 m³/d)通过过滤器处理,可改善后续蒸发装置的结垢程度,然后再进入 MVPC 蒸发装置,蒸发器利用热差传导原理形成蒸汽,蒸汽经压缩机加压后温度上升,进入管内成为蒸发热媒,利用温差将管外渗滤液蒸发,而自身冷凝成蒸馏水排出。含氨蒸汽再经过压缩机二次压缩后,进入蒸汽洁净装

置将蒸汽的品质提升,把杂质(铵盐)与蒸汽分离开来,蒸汽进入蒸发器循环使用。渗滤液水分被蒸发而浓缩,产生的浓液排入浓液池后,最后回灌至填埋场。MVPC 的产水进入出水储池后,再由泵打入清水池,与 RO 膜产水汇合后,除部分回用外,其余排入揭阳市第二污水处理厂处理。MBR 池产生的污泥排入污泥浓缩池,浓缩后的污泥由泵进入脱水机房脱水,最终泥饼运至本填埋场场区进行卫生填埋。

2.5 改造工程设计参数

2.5.1 调节池改造设计

现有调节池尺寸为 90 m×35 m×6 m,设计总有效容积为 17 600 m³,总停留时间 88 d,已考虑远期垃圾渗滤液调节。更换潜污提升泵 2 台(1 用 1 备), $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=1.1\text{ kW}$;新增超声波液位计 1 个, $H_{\max}=8\text{ m}$,测量误差为 $\pm 3\text{ mm}$ 。

对调节池新增臭气收集系统,采用 HDPE 膜配压重管,加盖面积为 3 150 m²。经核算调节池臭气产生量为 6 322 m³/d,除臭单元设计处理气量为 6 500 m³/h。配置玻璃钢离心风机 1 台, $Q=6\ 500$

m^3/h ,全压为1 700 Pa,转速为2 280 r/min,功率为7.5 kW;一体化生物除臭装置1套;另设一套除臭装置处理污泥浓缩池、污泥脱水车间和MBR池产生的臭气,设备处理气量为1 500 m^3/h 。

2.5.2 MBR池改造设计

本项目原有SBR池1座,4格,单格尺寸均为15 m×8 m×6 m。根据布置要求,将原有SBR池的东侧两格改造为缺氧池和MBR池,同时在缺氧池和MBR池上方设置臭气收集系统。缺氧池配有潜水搅拌机4台,叶桨直径为400 mm,转速为740 r/min,功率为1.5 kW;碳源投加装置、酸投加装置各1套,间歇运行;MBR池安装碟式压入式射流曝气器8套,内喷嘴口径为12 mm,外喷嘴口径为25 mm,接管($D_{\text{气}}/D_{\text{液}}$)=80/100;射流曝气循环泵2台(1用1备), $Q=500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=160 \text{ kPa}$;三叶式罗茨风机2台(1用1备)安装于鼓风机房, $Q=3\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=78.4 \text{ kPa}$, $N=44.1 \text{ kW}$;安装MBR超滤膜设备2套,采用运行9 min停1 min的方式运行,每1 h反洗1 min,每天运行时间为21.24 h,配有MBR膜产水泵3台(2用1备), $Q=9.6 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=138 \text{ kPa}$, $P=0.75 \text{ kW}$;MBR膜反冲洗泵2台(1用1备), $Q=18 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=177 \text{ kPa}$, $P=1.5 \text{ kW}$;排污泥泵2台,1台回流,1台排泥, $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$;MBR产水水箱1台, $V=60 \text{ m}^3$;另配有MBR清洗、加药装置各1套。

2.5.3 RO系统改造设计

在经过前段工艺改造后,MBR出水作为RO进水水质得到保证,本项目对RO系统改造主要是更换RO膜组件。更换后的一级RO膜型号为LFC3-7,10支串联,产水量为7 m^3/h ;二级RO膜型号为LFC3-7,8支串联,产水量为5.6 m^3/h 。RO膜系统采用低负荷运转,清水产水率为38%,即进水240 m^3/d ,清水产水90 m^3/d ,RO膜浓液150 m^3/d 。

2.5.4 MVPC蒸发系统设计

蒸发器车间由现有SBR西侧两格改造而成。MVPC车间尺寸为30 m×16 m×11.5 m,其中利用现有SBR池内部6 m空间,上部车间采用轻钢结构(高度为5 m),车间净空高度为11 m。经RO系统处理后的渗滤液浓液进入MVPC进水中间水池,并通过自清洗预过滤系统处理后SS负荷降低,再进入MVPC蒸发系统。

① MVPC进水中间水池设计

改造SBR出水储存池为MVPC进水中间水池,尺寸为24.4 m×4 m×4.2 m,有效水深为3.15 m,有效容积为307 m^3 。配有MVPC进液泵2台(1备1用)。

② MVPC预过滤系统设计

蒸发器预过滤系统采用两套袋式过滤器,全部采用UPVC材质,规格 $\varnothing 273 \text{ mm} \times 1\ 200 \text{ mm}$,过滤精度为30 μm 。采用自动在线清洗方式进行反冲洗,2次/d,清洗时间为60 s,清洗水量为0.08 $\text{m}^3/\text{次}$ 。

③ MVPC系统设计

MVPC蒸发系统主要包含热能回收装置、蒸发装置、蒸汽洁净装置三个主体单元。热能回收装置1套,尺寸为6 m×3 m×5 m,包括冷凝水热能回收(1组)、冷凝液热能回收(2组)、废气热能回收(2组)。蒸发装置1台,水平管式结构,材质为316L碳钢,尺寸为10.0 m×6.0 m×8.0 m,设计规模为150 m^3/d ,出水率为90%,配有离心式蒸汽压缩机一台,带电子变速装置;蒸馏水热交换器1台,流量为150 m^3/d ;浓液热交换器1台,流量为15 m^3/d ;此外配有系统循环泵1台, $H=150 \text{ kPa}$, $Q=50 \text{ m}^3/\text{h}$;蒸馏水泵1台, $H=600 \text{ kPa}$,流量为5 m^3/h 。蒸汽洁净装置1套,尺寸为6 m×3 m×8 m,装机功率为10.5 kW,用于蒸汽中铵盐的分离。此外MVPC系统配有酸洗系统1套,规格 $\varnothing 1.4 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,碱洗系统1套, $\varnothing 1.2 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,用于MVPC蒸发器系统无机物结垢的清洗,清洗周期为1次/3月,采用3.5%氢氧化钠和氨基磺酸进行清洗。

④ MVPC出水暂存池设计

由于MBR出水悬浮物指标极低,进入RO系统前无需进入砂滤罐,因此原有砂滤罐废除。将原有滤罐出水储池改造为MVPC出水暂存池,尺寸为4 m×4 m×4.3 m,容积为68 m^3 ,可满足MVPC出水暂存池功能要求。配有暂存池出水泵2台(1用1备), $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=100 \text{ kPa}$, $N=1.1 \text{ kW}$ 。

2.5.5 污水回收池改造设计

原有垃圾渗滤液处理系统污水回收池主要用来收集滤罐反冲洗水、保安过滤器反冲洗水、RO系统浓水和反冲洗水。池体尺寸为3 m×6 m×3.4 m,有效水深为2.8 m,有效容积为50 m^3 。为满足MVPC系统功能使用要求,设计将污水回收池改造为MVPC浓液池,主要收集来水包括MVPC浓液排水、MVPC酸碱洗废液、RO反冲洗水、MVPC过滤器

反冲洗水、污泥脱水车间滤液、污泥浓缩池上清液,大约 $25 \sim 30 \text{ m}^3/\text{d}$ 。现将以上各排水管道接入回收池,回收池壁防腐处理,采用环氧封闭漆/砂浆修补/环氧玻璃鳞片涂料/环氧玻璃鳞片涂料防护;增加搅拌装置1套, $N=3 \text{ kW}$, 转速为 81 r/min ;更换耐腐蚀回灌泵2台(1用1备), $Q=4.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=500 \text{ kPa}$, $N=7.5 \text{ kW}$ 。

3 运行效果分析

垃圾渗滤液改造工程于2016年5月正式投产使用,目前渗滤液属于后期垃圾渗滤液,可生化性较差,含氮污染物浓度大。通过运行可知,RO系统在

低通量运行下可长期保证十分高效的污染物去除率,而MVPC系统运行效率较RO系统更为理想,其对COD、BOD₅、氨氮、TN、SS的去除率接近100%。运行至今,渗滤液处理站进、出水pH值始终维持在6~9,处理量维持在 $170 \sim 230 \text{ m}^3/\text{d}$,平均处理量为 $190 \text{ m}^3/\text{d}$,系统总产水率维持在93%以上。各指标总去除率均基本维持在95%以上,出水水质优于《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的排放标准。

2016年5月—2018年12月的运行数据如表3所示。

表3 系统各阶段处理效果

Tab.3 Treatment effect of each stage of the system

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

项目	原液	UASB出水	MBR出水	RO出水	RO浓液(MVPC进水)	MVPC出水	混合出水	排放标准
COD	7 280	2 965	680	36.0	1 066	23.0	28.0	100
BOD ₅	1 540	950	245	12.0	385	6.0	8.0	30
NH ₃ -N	2 940	2 940	58	6.2	89.1	2.5	4.0	25
TN	3 370	3 370	84	8.5	129	5.8	6.9	40
TP	12	12	7	1.2	10.5	0.3	0.7	3
SS	950	720	52	0.26	83.1	1.83	1.2	30

4 经济指标分析

本项目总投资为1 458.37万元,均为环保投资。其中建筑工程费用为17.11万元,设备购置费用为1 172.90万元,安装工程费用为69.41万元,其他费用为52.50万元,基本预备费为126.22万元,流动资金为20.23万元。该改造工程运行后,处理渗滤液的主要运行费用由电费($23.84 \text{ 元}/\text{m}^3$)、药剂费($2.80 \text{ 元}/\text{m}^3$)构成,其直接运行成本为 $26.64 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

5 结语

揭阳市东径外草地生活垃圾填埋场改造工程充分利用原有工艺,将“生化+膜分离”技术与MVPC技术相结合处理垃圾渗滤液,不仅对MVPC工艺单独处理渗滤液的较高运行费用有所改善,还解决了“生化+膜分离”技术运行负荷高大、处理效果不稳定的问题。本组合工艺处理效果理想,运行稳定,产水率高,运行成本适中。

参考文献:

- [1] 杜昱,李洪君,李大利,等. 垃圾渗滤液处理亟需解决的问题及发展方向[J]. 中国给水排水,2015,31(22):33-36.
Du Yu, Li Hongjun, Li Dali, et al. Problems to be solved

and development trends of landfill leachate treatment[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(22):33-36 (in Chinese).

- [2] 杨少斌,贺峰. 西吉县生活垃圾卫生填埋场二期工程设计[J]. 中国给水排水,2017,33(10):69-73.
Yang Shaobin, He Feng. Phase II project design of sanitary landfill site of municipal solid waste in Xiji County[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(10):69-73 (in Chinese).



作者简介:刘立(1988—),男,陕西铜川人,硕士,工程师,主要从事地铁工程中给排水及消防设计工作。

E-mail:1974717627@qq.com

收稿日期:2019-01-30