

面向垃圾渗滤液深度处理的抗污染 纳滤膜应用研究

陈伯志¹, 马悦¹, 李璐¹, 付正军¹, 王龙², 郁凯^{1*}, 孙世鹏²

(1. 南京蔚华膜科技有限公司, 南京 211899; 2. 南京工业大学 化工学院, 南京 211816)

摘要: 截至2021年, 中国城市垃圾年产量高达 1.5×10^8 t, 垃圾处理产生的渗滤液约占垃圾量的25%~30%。随着国家对环境保护要求的逐步提高, 垃圾渗滤液的深度处理迫在眉睫。纳滤膜具有独特的孔径和电荷效应, 对小分子有机物和二价离子有很高的分离精度, 因此在垃圾渗滤液深度处理中有广泛应用前景。然而膜污染问题一直是纳滤膜应用过程中无法避免的关键问题之一。本项目采用南京蔚华膜科技有限公司生产的抗污染纳滤膜(AMNF-8040)对安徽淮南某生活垃圾填埋场的渗滤液进行深度处理。结果表明, AMNF-8040纳滤膜对垃圾渗滤液中的化学需氧量(COD_{Cr})截留率大于96.5%, 对氨氮的截留大于89.8%。出水水质远优于国家标准。与同期使用的进口竞品纳滤膜相比, AMNF-8040纳滤膜表现出更出色的抗污染性能, 并且具有良好的长期稳定性。因此, AMNF-8040抗污染纳滤膜在垃圾渗滤液深度处理领域展现出了广阔的应用前景。

关键词: 纳滤膜; 垃圾渗滤液; 抗污染

中图分类号: TQ028; X703.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-8924(2024)02-0134-07

doi: 10.16159/j.cnki.issn1007-8924.2024.02.017

垃圾渗滤液是垃圾在堆放、转运、填埋、发酵、焚烧等过程中渗出的液体^[1], 通常包含水分、有机物、微生物、重金属、溶解气体和其他污染物质。其中的水分主要来自于降雨、垃圾本身的水分和生物降解过程中释放出的水。这些水分经过垃圾层和覆土层的滤过, 形成含有大量有机污染物的废水^[2-3]。研究发现, 垃圾渗滤液中含有多种有毒污染物, 如苯及其多种衍生物、多环芳烃、腐殖酸、农药、病原体、微塑料和药物等^[3-7]。未经处理或处理不当的垃圾渗滤液进入自然水体, 可能污染地下水和表面水体, 破坏水生生物的生存环境, 对生态系统造成持久性影响^[8-9]。此外, 人类接触污染的水源可能引发各种健

康问题, 包括呼吸系统疾病、皮肤炎症、神经系统损伤和慢性疾病。因此, 对垃圾渗滤液进行深度处理至关重要^[10-11], 其目标是有效去除其中的有机污染物和有害物质, 以降低对环境和人类健康的风险。

垃圾渗滤液的传统处理方法包括絮凝沉淀法、吸附法、生物处理法、化学氧化法等^[6, 12]。然而, 随着国家对环境污染整治力度的不断增强, 填埋场污染物排放标准限值逐渐降低, 传统处理方法面临越来越大的挑战, 已难以满足处理要求。膜分离技术有能耗低、环境友好和分离效率高等优势, 引入膜处理单元作为深度处理过程已逐渐被接受和应用^[13-14]。在膜分离技术中, 纳滤膜因其独特的孔径范围(0.5~2 nm)

收稿日期: 2023-07-27; 修改稿收到日期: 2023-09-08

第一作者简介: 陈伯志(1989-), 男, 江苏南京人, 硕士, 研究方向为高精度纳滤膜开发及应用。* 通讯作者, E-mail: yukai@weihuamembrane.com

引用本文: 陈伯志, 马悦, 李璐, 等. 面向垃圾渗滤液深度处理的抗污染纳滤膜应用研究[J]. 膜科学与技术, 2024, 44(2): 134-139.

Citation: Chen B Z, Ma Y, Li L, *et al.* Research on anti-fouling nanofiltration membranes for deep treatment of landfill leachate[J]. Membrane Science and Technology(Chinese), 2024, 44(2): 134-139.

和表面荷电性而备受关注。纳滤膜通过空间位阻和道南效应的共同作用,能够有效截留多价离子和小分子有机物^[15]。这些特性使纳滤膜能够高效地去除渗滤液中的 COD_{Cr}、氨氮、重金属和色度等污染物,为渗滤液的深度处理提供了可靠的技术支持。随着膜分离技术的不断发展,纳滤膜在垃圾渗滤液处理领域的应用前景将更加广阔。

然而,膜污染一直是纳滤膜应用过程中的一大关键问题^[16-17]。膜污染的形成主要是源于处理液中的有机物吸附在膜表面形成凝胶层,无机盐在膜表面沉积结垢,以及生物在膜表面的吸附和繁殖等现象^[18]。膜污染会导致膜通量降低、截留性能下降等问题。对于垃圾渗滤液而言,由于其水质复杂且波动较大,污染物种类较多,因此纳滤膜在运行过程中更容易形成污染,进而导致纳滤膜性能降低或者频繁进行化学清洗,增加运行成本。因此,解决膜污染问题和提升纳滤膜的抗污染性能对于维持纳滤膜系统的高效稳定运行和降低处理成本至关重要。

在安徽淮南某垃圾填埋场的渗滤液处理项目中,对比实际运行中由南京蔚华膜科技有限公司(以下简称蔚华膜)提供的抗污染纳滤膜 AMNF 和进口竞品纳滤膜,发现抗污染纳滤膜 AMNF 相对于进口竞品膜,在垃圾渗滤液处理中表现出更好的性能和效果。AMNF 纳滤膜能够有效去除渗滤液中的 COD_{Cr}、氨氮和色度等污染物,出水水质远优于国家标准。此外,与进口竞品膜相比,AMNF 纳滤膜展现出更优异的抗污染性能。采用抗污染纳滤膜不仅可以提升处理效果,还能降低运行成本和延长膜的使用寿命,为垃圾渗滤液处理项目带来显著的经济和环境效益。该研究为垃圾渗滤液的深度处理提供了有益的指导意义,为相关领域的工程实践和技术改进提供了有力支持。

1 实验及工程应用

1.1 实验设备及材料

实验使用的垃圾渗滤液均是从安徽淮南某垃圾填埋场获取的进水样品,并使用蔚华膜提供的定制设备进行膜元件和膜片测试。本项目使用纳滤膜为蔚华膜生产的 AMNF-8040 膜元件,该型号纳滤膜是采用特有的表面活性剂涂覆技术制备的抗污染纳滤膜系列。相比于普通纳滤膜有更好的抗污染效果,适用于垃圾渗滤液、工业废水等水质复杂,污染物浓度高的水处理过程中。膜性能指标见表 1。同时与进

口竞品膜和国产竞品膜进行了对比。实验中使用的纯水由定制的纯水机提供。

表 1 膜元件性能指标

| Table 1 Performance indicators of membrane modules | | | | |
|----------------------------------------------------|---------------------|------------|----------------------------------------|-------|
| 型号 | 有效面积/m ² | 进水流道宽度/mil | 产水量/(m ³ ·d ⁻¹) | 脱盐率/% |
| AMNF-8040 | 36.4 | 31 | 38 | 98 |

测试条件:压力 0.6 MPa,温度 25 ℃,pH 值 7,盐质量浓度 2 000 μg/g 硫酸镁,回收率 15%。

1.2 渗滤液纳滤进水水质分析

在进行纳滤实验和工程应用之前,首先对渗滤液纳滤进水(后面简称渗滤液)进行水质分析,为后续的纳滤膜实验和工程操作提供指导。将渗滤液进行适当的稀释,以满足后续测试所需的浓度范围。使用水质快速测定仪(连华科技公司)测量稀释后的样品中的主要污染物含量,包括 COD_{Cr}、氨氮、色度和浊度等指标。使用 pH 仪和电导率仪(梅特勒-托利多公司)测试渗滤液的酸碱性和电导率。

1.3 渗滤液的纳滤中试验证

在进行工程应用前,为了验证纳滤工艺的可行性和稳定性,先对纳滤膜元件进行中试验证。通过卷式膜元件测试装置测试单支 8040 膜元件处理垃圾渗滤液效果。测试条件为:在原料桶中加入 100 L 渗滤液,在压力 0.6 MPa、料液温度 25 ℃、回流比 15%条件下先稳定运行 1 h 后,然后分别取原水和产水,后续每间隔 1 h 进行重复取样,连续运行 24 h。通过水质快速测定仪测定水样中 COD_{Cr}、氨氮、色度含量。

1.4 抗污染实验

通过腐殖酸(Humic acid, HA)的过滤实验验证 AMNF 膜的抗污染性能。腐殖酸是一种天然有机高分子化合物,是由有机生物死亡后经生物降解产生。而垃圾渗滤液在发酵过程中也会产生大量的腐殖酸^[19-20]。实验通过将 3 种纳滤膜膜片(AMNF 膜、进口竞品膜和国产竞品膜)同时放置在并联的过滤膜池中,在 0.6 MPa 压力、25 ℃条件下先过滤纯水运行 1 h,然后过滤 1 g/L 的腐殖酸溶液,连续过滤运行 7 h,对比 3 种膜在腐殖酸污染下通量下降趋势及膜表面污染物吸附状态,随后在 0.6 MPa 压力、25 ℃条件下用纯水清洗 1 h,考察通量恢复情况。膜抗污染性能可以用通量下降率(R_t ,%)和通量恢复率(FRR ,%)来表征:

$$R_t = (1 - \frac{J_m}{J_1}) \times 100\% \tag{1}$$

$$FRR=\frac{J_2}{J_1}\times 100\% \tag{2}$$

式中： J_1 为纯水稳定运行 1 h 后测得通量，L/h； J_m 为腐殖酸污染 7 h 后通量，L/h； J_2 为纯水再次清洗后通量，L/h； R_i 和 FRR 的单位为 %。膜通量 $[J, \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 计算公式为：

$$J=\frac{V}{A\times t} \tag{3}$$

式中： V 为 t 时间内膜片产水体积，L； A 为膜片面积， m^2 ； t 为时间，h。

1.5 淮南某填埋场现场纳滤膜工艺设计

本工程地址为安徽淮南某生活垃圾填埋场，渗滤液处理水量为 300 m^3/d ，整体处理工艺为一级硝化反硝化(A/O)+二级硝化反硝化(A/O)+超滤(UF)+纳滤(NF)(如图 1)。超滤处理后的出水经保安过滤器后进入纳滤系统，纳滤系统为一级两段式工艺，共3个压力容器，每个压力容器中装5芯，

共 15 支膜元件，纳滤段回收率设计为 85%。运行方式：超滤产水进入一段并联的 2 个压力容器，浓水进入二段压力容器，浓缩液部分循环至高压泵前端，于原水一起进入纳滤膜系统，不仅保证膜表面足够的流速，也能提高系统回收率(如图 2 所示)。最后部分浓缩液直接通过管路进入浓缩液处理段。产水通过产水管路测试达标后排放。

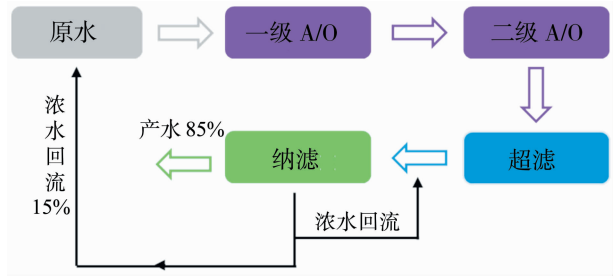


图 1 填埋场渗滤液整体处理工艺流程图
Fig. 1 Process flow diagram of overall treatment of landfill leachate

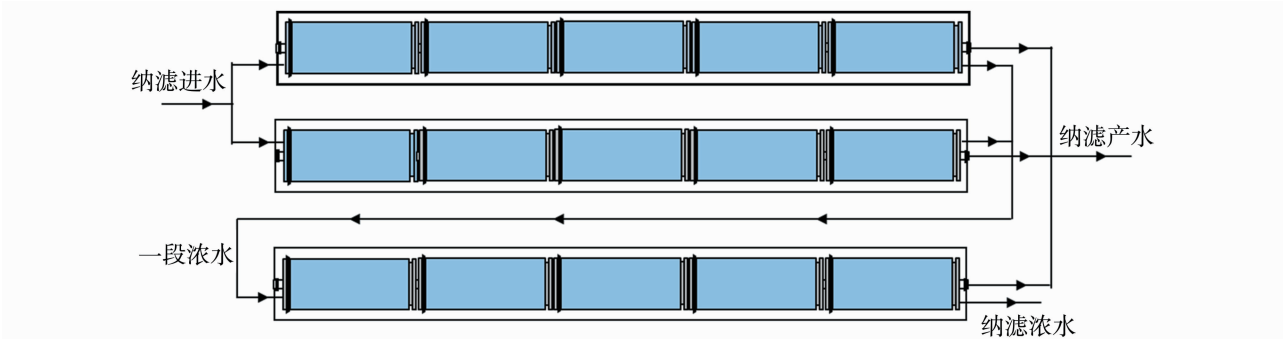


图 2 纳滤工段工艺流程图
Fig. 2 Process flow diagram of nanofiltration stage

1.6 纳滤工段现场运行、测试及清洗

淮南垃圾填埋场渗滤液纳滤运行现场如图 3 所示。纳滤处理单元运行条件为：压力 0.5~1.1 MPa，室温，系统回收率 85%。产水由处理站实时监控，主要检测 COD_{Cr} 、氨氮浓度，需要达到生活垃圾填埋场

污染控制标准(GB 16889—2008)一般地区的标准， COD_{Cr} 限值 100 mg/L，氨氮限值 25 mg/L。纳滤系统清洗策略为普通清洗加化学清洗。普通清洗为电磁阀控制定时低压冲洗，每运行 0.5 h 冲洗 1 min。化学清洗为在保持产水量情况下，运行压力上升至 1.1 MPa 时清洗，主要是酸碱清洗。



图 3 项目现场：纳滤处理工段
Fig. 3 Project site: nanofiltration treatment stage

2 结果与讨论

2.1 渗滤液水质分析

为了对中试试验和工程应用提供指导，首先通过水质快速测定仪对渗滤液成分进行系统测试。渗滤液中小分子有机物容易吸附在膜面和孔道中导致膜性能下降，而无机盐容易在膜面结垢导致膜性能下降。此外，进水浊度会严重影响膜的性能和寿命，而活性氯会攻击膜的选择层造成膜不可逆破坏。因

此,纳滤膜进水需要控制悬浮物、活性氯、有机物、无机盐等物质的浓度. 渗滤液主要成分如表 2 所示. 通过测试分析,渗滤液中浊度和无机盐含量都较高,容

易造成纳滤膜污染,增加清洗频率,导致使用寿命降低. 因此选用了抗污染性能较好的 AMNF 纳滤膜进行后续测试.

表 2 渗滤液纳滤进水成分及性质

Table 2 Composition of influent leachate

| 主要成分质量浓度/(mg · L ⁻¹) | | | 浊度/NTU | 色度/ Hazen | 电导率/ (μS · cm ⁻¹) | 余氯质量浓度/ (mg · L ⁻¹) | pH |
|----------------------------------|------------|-------------|-------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|---------|
| COD _{Cr} | 氨氮 | SS | | | | | |
| 1 050~1 250 | 88.6~108.6 | 30.12~34.98 | 29.23~33.55 | 2 598~2 898 | 9 534~11 920 | 0.653~0.874 | 6.5~7.2 |

2.2 AMNF 膜对垃圾渗滤液处理效果

在实际工程运行前,在实验室对填埋场真实渗滤液进行了纳滤过程的系统测试,测试原液直接取用于淮南垃圾填埋场渗滤液纳滤进水. 根据生活垃圾填埋场污染控制标准(GB 16889—2008)一般地区的标准,填埋场污水排放主要管控 COD_{Cr}、氨氮、

色度等. 因此,测试了单支 8 040 组件对进水 COD_{Cr}、氨氮、色度的脱除效果. 测试结果如图 4 所示,AMNF 纳滤膜对原液中 COD_{Cr} 截留率 93.8%,氨氮截留率 80%,色度脱除率达到 99.5%以上. 产水 COD_{Cr}、氨氮含量均优于生活垃圾填埋场污染控制标准(GB 16889—2008)一般地区的标准.

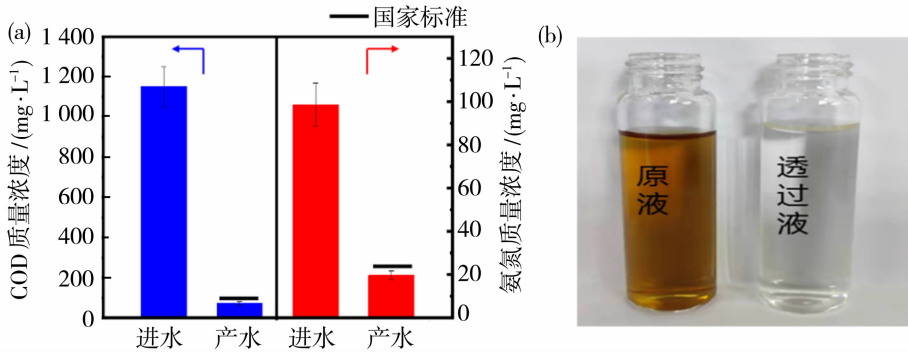


图 4 AMNF 膜处理渗滤液效果(a)COD_{Cr}、氨氮截留效果;(b)脱色效果

Fig. 4 The effects of AMNF membrane treatment on landfill leachate: (a) rejection of COD_{Cr} and ammonia nitrogen; (b) color removal effectiveness

2.3 AMNF 膜的抗污染效果

通过实验对比 AMNF 膜、进口竞品膜和国产竞品膜在过滤腐殖酸溶液过程的通量变化,如图 5 (左) 可以看出,AMNF 膜通量下降率 $R_t = 17.5\%$,通量的恢复率 FRR 高达 94.8% ;进口竞品膜通量下降率 $R_t = 20.8\%$,通量恢复率 $FRR = 93.8\%$;国产竞品膜通量下降率 $R_t = 33.0\%$,通量恢复率 $FRR = 90.2\%$. 相比于进口竞品膜和国产竞品膜,AMNF 膜在过滤腐殖酸溶液过程中通量下降趋势最慢,且在纯水清洗后 AMNF 膜的通量恢复率也最高. 此外,通过对比膜面的腐殖酸吸附情况(图 5 右)可以看出,相比于进口竞品膜和国产竞品膜,AMNF 膜的腐殖酸吸附程度也最轻. 以上结果说明,AMNF 膜相比于进口竞品膜和国产竞品膜对于腐殖酸类有机物具有更好的抗污染效果.

2.4 纳滤膜系统污染与清洗

膜污染是纳滤膜处理系统应用过程不可避免的关键问题之一. 膜污染是由于渗滤液中的有机物吸附在膜表面形成凝胶层,无机盐在膜表面沉积结垢,以及微生物在膜表面吸附繁殖等造成. 膜污染会导致膜通量降低、截留性能降低等问题. 目前,控制膜污染的主要手段是:(1) 定期合理的物理化学清洗;(2) 提高膜材料本身的抗污染性能. AMNF 纳滤膜的清洗系统包括物理冲洗和化学清洗系统. 清洗系统配有自动快冲洗功能,通过电磁阀实现定时自动冲洗,在开机和运行过程及停机后会进行低压冲洗以清除膜表面污染物. 项目在长期运行过程中膜表面会存在低压冲洗无法有效去除的污染物,这些污染物会堵塞膜孔造成运行压力上升. 根据日处理量需求及高压泵额定功率限制,每当运行压力上升至 1.1 MPa 时需进行酸碱化学清洗. 通过现场清洗记

录显示,和同期运行的进口竞品膜对比发现,AMNF膜运行过程中压力上升更缓慢,表现出更佳的抗污染效果(如图6所示),这也使得AMNF膜的清

洗频率更低.这不仅降低了系统运行成本,同时也延长了膜的使用寿命.因此将为垃圾处理站带来了更高的经济效益.

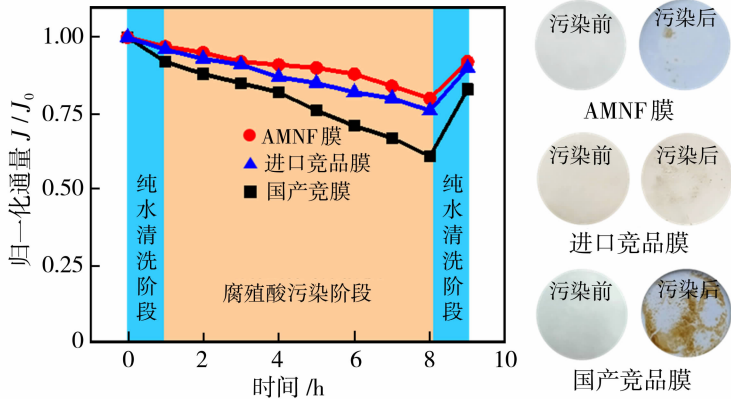


图 5 AMNF膜、进口竞品膜和国产竞品膜抗污染效果对比

Fig. 5 Comparison of fouling resistance between AMNF membrane, imported membrane and domestic nanofiltration membrane

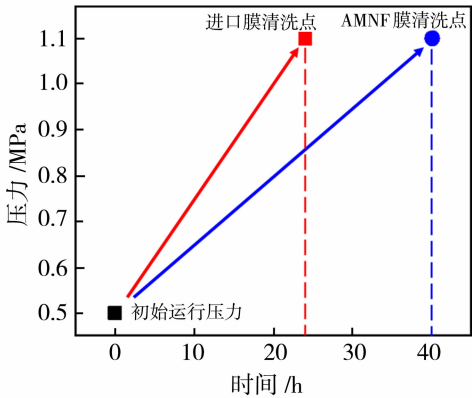


图 6 AMNF膜和进口竞品膜化学清洗周期对比

Fig. 6 Comparison of chemical cleaning cycles between AMNF membrane and a foreign brand

2.5 AMNF膜在垃圾渗滤液中的长期运行性能

AMNF纳滤膜于2021年12月在安徽淮南某生活垃圾填埋场安装调试后正常运行,截至目前已连续稳定运行18个月左右,纳滤膜系统和产水水质均表现出良好的稳定性.项目现场每日对纳滤进产水COD_{Cr}、氨氮等相关水质进行检测并记录.运行统计数据如图7所示,COD_{Cr}进水质量浓度在1 050~1 250 mg/L,COD_{Cr}的脱除率大于96.5%且始终保持很好的稳定性,产水COD_{Cr}质量浓度保持在31~37 mg/L.氨氮进水质量浓度88.6~108.6 mg/L,氨氮的脱除率先略有降低后基本稳定在89.8%以上,产水质量浓度保持在5~9 mg/L.垃圾渗滤液中COD_{Cr}和氨氮主要是由小分子有机物和铵根离子等

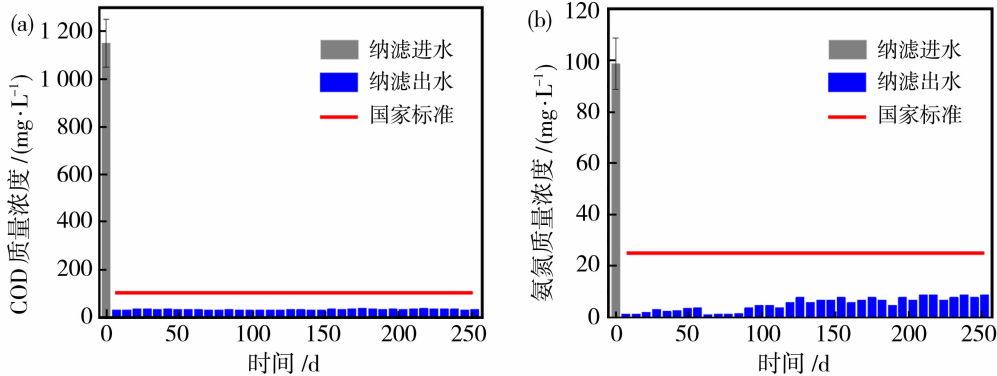


图 7 AMNF膜现场长期运行稳定性:(a)COD_{Cr}和(b)氨氮脱除效果

Fig. 7 Stability of long-term operation of AMNF membrane: (a) COD_{Cr} and (b) ammonia nitrogen removal effectiveness

造成,AMNF膜由于其亚纳米的孔径,对小分子有机物有非常好的脱除效果.而离子在液体中会和水分子形成分子团,使得其半径(水和半径)大于离子本身半径,这就导致纳滤膜对部分离子有较高截留率.同时由于纳滤膜表面和孔道中常带有电荷,由于同性相斥原理,对相同电荷离子会有较高截留率,而液体整体要保持电中性所以其他离子截留率也会相应受到影响.因此在不同体系中离子的截留率会有较大差异,最终截留效果要看离子间相互竞争的结果.当然,其他物质的浓度等都会对离子的截留率产生影响,而垃圾渗滤液中成分物质也非常复杂,同一种膜对不同地方的渗滤液 COD_{Cr} 、氨氮截留都会有较大差别. AMNF膜对安徽淮南的渗滤液中 COD_{Cr} 、氨氮截留率较高,可能是膜孔径、电荷及水质共同作用的效果.现场运行情况显示,AMNF膜产水的 COD_{Cr} 和氨氮浓度均明显优于国家排放标准,且有优异的长期稳定性.

3 结论与展望

由于AMNF抗污染纳滤膜优异的抗污染性能,在淮南某生活垃圾填埋场的渗滤液处理工程中对 COD_{Cr} 、氨氮、色度等都有非常好的脱除效果,且在一年多的工程运行过程中表现出良好的稳定性,使其在垃圾渗滤液等复杂水质中可以有效的延长清洗周期,降低清洗频率,不但降低了膜运行过程化学清洗的药物成本,同时也减少频繁化学清洗对膜性能的损伤,为纳滤膜在此类工程应用中提供了很好的指导意义.

参考文献:

[1] 李汉龙. 把脉垃圾渗滤液处理行业发展新趋势[J]. 环境, 2023(4):56—58.

[2] Teng C, Zhou K, Peng C, *et al.* Characterization and treatment of landfill leachate: A review[J]. Water Res 2021, 203: 117525.

[3] Wijekoon P, Koliyabandara P A, Cooray A T, *et al.* Progress and prospects in mitigation of landfill leachate pollution: Risk, pollution potential, treatment and challenges[J]. J Hazard Mater 2022, 421:126627.

[4] 邵永富,包尤思. 垃圾渗滤液处理技术研究进展[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(3): 111—113.

[5] 张文存,张国辉,王丽莉,等. 垃圾渗滤液处理技术研究进展[J]. 应用化工, 2022, 51(4):1207—1211.

[6] 王凯,武道吉,彭永臻,等. 垃圾渗滤液处理工艺研究及应用现状浅析[J]. 北京工业大学学报, 2018, 44(1): 1—12.

[7] 牛傲冰,陈文艳,耿庆芬,等. 城镇生活垃圾填埋场渗滤液处理工艺组合实践研究进展[J]. 山东化工, 2022, 51(5):249—251.

[8] 吕洪涛. 生活垃圾渗滤液处理技术研究进展[J]. 新农业, 2022, 970(13): 69—70.

[9] Meet D, Dhruvin S, Harshul M, *et al.* A review of the techniques for treating the landfill leachate[J]. Materials Today: Proceedings, 2023, 77 : 358—364.

[10] 张猛. 垃圾渗滤液处理中反渗透膜污染分析[J]. 清洗世界, 2023, 39(6): 25—27.

[11] 杨吉祥,李保光,张爱军,等. 几种垃圾渗滤液深度处理工艺的比较[J]. 资源节约与环保, 2020(7): 99—100.

[12] 王俊萍. 我国垃圾渗滤液的处理方法现状[J]. 辽宁化工, 2022, 51(11): 1580—1582.

[13] Xiao H F, Shao D D, Wu Z L, *et al.* Zero liquid discharge hybrid membrane process for separation and recovery of ions with equivalent and similar molecular weights[J]. Desalination 2020, 482:114387.

[14] 丁科仁,赵丽红,郭佳艺,等. 基于界面聚合技术的复合纳滤膜改性研究进展[J]. 水处理技术, 2023, 49(6):27—32,38.

[15] 王乾,王广睿,赵寅,等. 界面耦合法制备配位纳滤膜[J]. 膜科学与技术, 2021, 41(2): 1—8.

[16] 周芸,尹晓芳. 纳滤膜水处理技术在净水工艺中的应用[J]. 智能城市, 2023, 9(2): 106—108.

[17] 尹萌萌,王禹翰,张坤,等. 基于两性离子的纳滤膜抗污染改性方法研究进展[J]. 工业水处理, 2023, 1(61): 1—15.

[18] 崔丽桃,赵云,李海锋. 化工废水处理中反渗透膜污染的产生及清洗分析[J]. 清洗世界, 2023, 39(4): 22—24.

[19] 宁桂兴,张忻,王凯,等. 纳滤膜在垃圾渗滤液深度处理中应用[J]. 环境工程学报, 2013, 7(4): 1440—1444.

[20] 余志波,张凯钧,蒋浩. 生活垃圾渗滤液处理技术研究进展[J]. 广东化工, 2021, 48(1):91—92.

types of helium gas resources have been discovered in multiple basins. Helium containing natural gas resources are abundant but of low grade, while geothermal water soluble associated helium gas has high grade. However, due to the limitation of geothermal water extraction, the recoverable resources are relatively small and have not yet reached the stage of industrial utilization. At present, deep cooling technology is mainly used for helium extraction at home and abroad, which has problems of high energy consumption and poor economic efficiency when applied in China. This article presents an experimental study on the extraction process of water-soluble helium using a room temperature membrane method. Membrane separation at normal temperature and pressure swing adsorption (PSA) coupled process of geothermal water soluble helium extraction was carried out in Sanpu No. 2 geothermal well. It has enriched the concentration of helium with volume fraction of about 3% to about 50% through membrane separation, and the concentration of enriched helium is further improved to more than 99% by pressure swing adsorption process. The experiment of helium extraction, through coupling process of membrane separation at normal temperature and pressure swing adsorption technology, has completed with a great success for the first time in China. This technology is about to be transformed and applied to natural gas field extraction in China, which plays an important role in solving the contradiction between helium supply and demand in China and reducing external dependence.

Key words: membrane separation; pressure swing adsorption; coupling process; helium purification

(上接第 139 页)

Research on anti-fouling nanofiltration membranes for deep treatment of landfill leachate

CHEN Bozhi¹, MA Yue¹, LI Lu¹, FU Zhengjun¹,
WANG Long², YU Kai¹, SUN Shipeng²

(1. Nanjing Weihua Membrane Technology Co., Nanjing 211899, China;

2. College of Chemical Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: As of 2021, the annual production of municipal solid waste in Chinese cities reached a staggering 150 million tons, with leachate from waste treatment accounting for approximately 25%–30% of the waste volume. With the gradual increase in environmental protection requirements imposed by the government, there is an urgent need for advanced treatment of leachate. Nanofiltration membranes, characterized by unique pore sizes and charge effects, exhibit high separation precision for small organic molecules and divalent ions, making them promising for deep treatment of landfill leachate. However, membrane fouling has always been one of the inevitable key issues in the application of nanofiltration membranes. In this project, the anti-fouling nanofiltration membrane (AMNF-8040) produced by Nanjing Weihua Membrane Technology Co., Ltd. was employed to perform deep treatment on the leachate from a municipal landfill in Huainan, Anhui Province. The AMNF-8040 nanofiltration membrane achieved a COD_{Cr} retention rate of over 96.5% and an ammonia nitrogen retention rate of over 89.8% in the leachate. The treated water quality far exceeded national standards. Compared to a foreign brand of nanofiltration membrane used during the same period, the AMNF-8040 membrane demonstrated superior anti-fouling performance and exhibited good long-term stability. Therefore, the AMNF-8040 anti-fouling nanofiltration membrane shows broad prospects for application in the field of deep treatment of landfill leachate.

Key words: nanofiltration membrane; landfill leachate; anti-fouling