MBR-NF 工艺在垃圾渗滤液处理中的应用

陆继来[1,2]，黄　娟[1]，王惠中[1]，张利民[1]，夏明芳[1,2]，李月中[3]，任洪强[2]

（1. 江苏省环境工程重点实验室，江苏省环境科学研究院，南京 210036；2. 污染控制与资源化研究国家重点实验室，南京大学环境学院，南京 210093；3. 维尔利环境工程有限公司，江苏常州 213022）

［摘要］ 报告了采用膜生物反应器（MBR）－纳滤（NF）组合工艺处理高浓度垃圾渗滤液，该工艺充分发挥了MBR 和 NF 单元的功能互补性，运行实践表明，对 COD 和氨氮的平均去除率均达 99.5 %，出水满足《生活垃圾填埋污染控制标准》的一级标准，运行费用（含折旧）为 19.55 元/m^3，具有较明显的技术经济优势。

［关键词］ 垃圾渗滤液；膜生物反应器；纳滤

［中图分类号］ X703 ［文献标识码］ A ［文章编号］ 1009－1742（2008）10－0061－03

1 前言

卫生填埋是城市生活垃圾无害化处理的主要方式，但填埋过程会产生大量的垃圾渗滤液，对环境造成严重污染。垃圾渗滤液是典型的高浓度、高毒性有机废水，1 t 渗滤液所含的污染物浓度相当于100 t 城市污水的浓度，毒性比城市污水大得多。目前国内大部分地方环保局对垃圾渗滤液要求执行《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB16889—1997）的一级标准（COD≤100 mg/L，NH_3-N≤15 mg/L，BOD_5≤30 mg/L），少部分要求达到二级标准（COD≤300 mg/L，NH_3-N≤25 mg/L，BOD_5≤150 mg/L）。长期以来，我国的垃圾渗滤液沿用传统的生化和物化处理手段，对废水的高浓度高毒性特征针对性不足，处理效率低下。国内 365 座城市生活垃圾卫生填埋场所产生的垃圾渗滤液仅有 20 % 左右能够达到二级排放标准，达到一级标准的更少[1]。开发高效的垃圾渗滤液处理技术，已经成为城市卫生和环境保护的重要课题。

江苏省常州市生活垃圾填埋场位于武进区漕桥镇，长期以来渗滤液对漕桥河及下游太湖水环境质量造成了严重威胁。2006 年，江苏省常州市生活垃圾填埋场为有效控制填埋场渗滤液对环境的污染，将膜生物反应器－纳滤（MBR-NF）工艺应用于渗滤液处理，取得了满意的效果。

2 MBR－NF 技术原理

膜生物反应器（MBR）和纳滤（NF）都是采用具有细微孔径的滤膜对污水进行过滤以实现固液分离的水处理技术。其区别在于 MBR 将膜分离技术与活性污泥法相结合，是一个以生化反应为主并兼具物理分离功能的处理单元。MBR 膜孔径较大，通常在 0.1 μm 左右，主要功能是截留水处理微生物。MBR 优点在于通过高效截留作用，使微生物完全截留在反应器内，不仅能够通过增加污泥浓度来提升处理负荷，而且避免了生长速率较慢的菌种的流失现象，丰富了反应器内的微生物群落结构，为各种难降解物质的微生物分解提供了稳定的菌种资源，从而大大提高了传统生化处理的净化效率。其不足之处在于对不可生化降解的污染物无法去除。NF 则是一个纯粹的物理分离过程，NF 膜孔径较小，可截留直径为 1 nm 左右的溶质粒子，不仅能截留绝大部分有机物，对二价或高价离子也有较高的截留率[2]。NF 的局限在于膜孔径小从而导致易于堵塞，对水质预处理要求高。然而，MBR－NF 工艺中，MBR 的生化降解和过滤作用大大降低了废水的

［收稿日期］ 2008－04－07

［基金项目］ 江苏省环保科技项目（2006007）

［作者简介］ 陆继来（1977－），男，江苏镇江市人，南京大学博士研究生，江苏省环境科学研究院工程师，研究方向为水处理技术

有机物浓度,为 NF 提供了良好的前处理条件;而纳滤工艺则能够滤除 MBR 所不能去除的不可生化降解有机物,对高价重金属离子也有较好的净化效果。MBR－NF 工艺组合实现了高效生化技术和高效物理分离技术的完美融合,使该技术成为当今世界上最先进的污水深度处理技术之一。

3 设计水质和净化要求

本项目由常州市环境卫生管理处提出招标,招标文件中明确渗滤液水质指标为 COD 6 000 ~ 20 000 mg/L, BOD_5 3 000 ~ 8 000 mg/L, SS 500 ~ 800 mg/L, NH_3-N 400 ~ 800 mg/L。出水水质指标为: COD 100 mg/L, BOD_5 20 mg/L, SS 70 mg/L, NH_3-N 15 mg/L。考虑到太湖地区水环境较为敏感,出水指标中 BOD_5 按照《污水综合排放标准》(GB8978—1996)一级标准从严执行,不再执行《生活垃圾填埋污染控制标准》的一级标准。项目设计处理水量为 247 t/d。

4 工艺流程说明

常州垃圾卫生填埋场渗滤液处理工艺流程如图 1,主要构筑物见表 1。

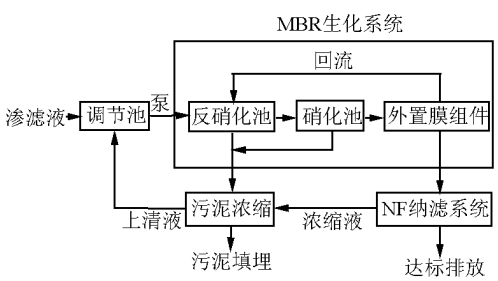


图 1 渗滤液处理工艺流程

Fig. 1 Leachate treatment process

渗滤液经过收集系统进入调节池后经提升泵抽送到膜生物反应器。膜生物反应器为分体式,包括生化反应单元和膜组件单元。生化反应单元由 1 个反硝化池和 2 个硝化池串联而成,均为钢筋混凝土结构池体。硝化池内曝气采用射流鼓风曝气,通过高活性的好氧微生物作用,大部分有机物污染物在硝化池内得到降解,同时氨氮和有机氮氧化为硝酸盐和亚硝酸盐。膜单元设在池外单独的处理车间内,MBR 膜组件为管式聚氟偏二乙烯(PVDF)膜。

污水经膜组件分离后,清液进入 NF 系统,浓液回流到反硝化池,在缺氧环境中还原成氮气排出,达到脱氮的目的。MBR 清液通过纳滤进水泵输送到纳滤设备中,纳滤过程采用螺旋卷式膜,操作压力为 $(5 \sim 25) \times 10^5$ Pa,不可生化的大分子有机物和部分金属离子被滤除,清液直接达标排放。纳滤过程产生 15 % 的浓缩液,排入到污泥储池,与来自生物处理的剩余污泥合并后通过离心脱水机脱水,脱水后的干污泥去填埋场处置。上清液回流至调节池。

表 1 主要构筑物一览表

Table 1 Details of main constructions

构筑物	结构	尺寸/m	数量	备注
反硝化池	钢混	φ5.4 × 9.0	1	
硝化池	钢混	φ9.0 × 9.0	2	
污泥储池	钢混	9.0 × 4.0 × 3.5	1	
浓缩液池	钢混	9.0 × 4.0 × 3.5	1	
膜处理车间	砖混	10.4. × 8.4. × 4.65	1	配置 MBR 膜组件和纳滤膜组件

5 运行效果分析

项目于 2006 年 9 月完成施工进入试运行,经过连续一年的监测发现,实际运行过程中垃圾渗滤液 COD 在 12 600 ~ 27 500 mg/L 之间,已高于设计标准, NH_3-N 浓度在 1 390 ~ 2 300 mg/L 之间,为设计进水浓度的 1.74 ~ 2.88 倍。在此情况下,MBR-NF 工艺仍然保持了极好的处理效果。运行一年来系统的 COD 和 NH_3-N 去除率如图 2 和图 3 所示。

试运行期间,MBR 系统出水的 COD 一直在 1 500 mg/L以下,而运行后期出水则稳定在 1 000 mg/L 以下。整个运行期间 MBR 的平均出水 COD 为 945 mg/L,平均 COD 去除率为 94.6 %。NF 系统除试运行首月监测值为 118 mg/L 略高于排放标准外,系统稳定运行后出水均能保持在 100 mg/L 以下,年均值为 80 mg/L。NF 平均 COD 去除率达 91.5 %。系统总体 COD 去除率达 99.5 %。氨氮的净化主要通过 MBR 的生化净化过程来实现,由于 MBR 能够截留增殖缓慢的硝化细菌,大大提高了系统的硝化能力。MBR 出水氨氮平均值为 9.4 mg/L,已达到了排放标准,生化过程的 NH_3-N 去除率高达 99.5 %。系统对 BOD_5 和 SS 的去除率也相当高,出水 BOD_5 稳定低于 5 mg/L, SS 低于 1 mg/L,均远远优于排放标准。重金属离子中,总铅、总锰的去除率均在 95 % 左右,6 价铬的去除率达 90 %,且出水指标亦远优于排放标准。

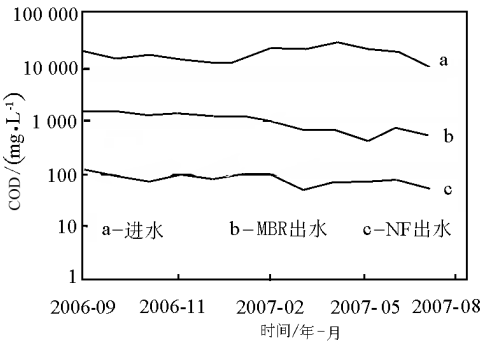


图 2　运行一年的进出水 COD 变化

Fig. 2　The annual variation of COD removal

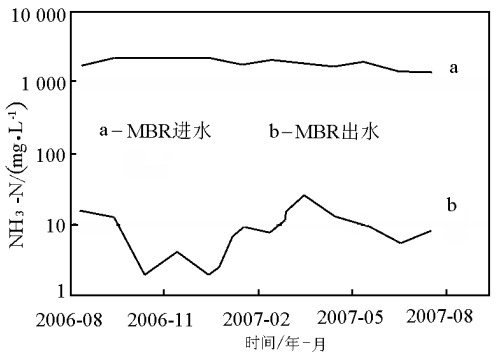


图 3　运行一年的进出水 NH_3-N 变化

Fig. 3　The annual variation of NH_3-N removal

6　运行成本分析

本套处理系统渗滤液日处理调节池渗滤液量 247 m^3/d，年处理渗滤液量 90 155 m^3/a，年运行费用 176 万元，运行单价为 19.55 元/ m^3。系统的运行成本分析见表 2。

表 2　系统运行成本表

Table 2　System operation cost

序号	名称	年费用/万元	运行费/(元· m^{-3})
1	人工费	14.4	1.60
2	电费	87.6	9.73
3	药耗	24.82	2.75
4	水费	0.6	0.07
5	膜更换费	43.6	4.84
6	保养维修费	5.0	0.56
7	合计	176.02	19.55

本项目和国内不同处理工艺的垃圾渗滤液处理工程的经济指标对比见表 3[3]。

表 3　国内不同工艺的建设投资和运行成本

Table 3　Comparison of leachate treatment plants on investment and operation cost

处理工艺	规模/(m^3· d^{-1})	出水标准	建设投资/ 万元	单位水量投资/(万元· m^{-3})	运行成本/(元· m^{-3})
生化－物化组合工艺	200	三级	597	2.985	31.83
氨吹脱－厌氧复合床－SBR 工艺	800	三级	1 500	1.875	12.00
MBR －纳滤组合工艺	200	一级	967	4.835	约 25
UASB －SBR －反渗透工艺	500	一级	6 000	12.00	约 25
本项目	247	一级	1 000	4.05	19.55

由表 3 可见，针对一级排放标准，本项目和国内其他工艺相比，具有明显的技术经济优势。

7　结语

MBR －NF 的双膜法工艺集成了高效生化反应和高效物理分离技术优势，处理单元具有较强的功能互补性，整体处理效果优异。常州市生活垃圾填埋场的运行实践表明，垃圾渗滤液的 COD 和氨氮的平均去除率均达 99.5 %，出水满足《生活垃圾填埋污染控制标准》的一级标准，运行费用(含膜折旧)为 19.55 元/m^3，与国内其他处理工艺相比，具有较好的技术经济优势。该工艺不仅为我国垃圾渗滤液的深度处理提供了一项高效可靠的技术路线，在其他高浓度废水的处理方面也具有极佳的推广前景。

参考文献

[1]　赵由才，楼紫阳，柴晓利，等.生活垃圾渗滤液处理技术发展现状[J].中国城市环境卫生，2007(6)：19－24

[2]　李文俊，薛培华. 纳滤膜及其在水处理中的应用[J].净水技术，2004，23(2)：31－33

[3]　李炜臻，白庆中. 纳滤膜分离技术在垃圾填埋场渗滤液处理中的应用[J]. 安徽农业科学，2007，35(24)：7582－7583

(下转 71 页)