

顾士贞. 基于前置微好氧的垃圾焚烧厂渗沥液新型生化处理工艺[J]. 净水技术, 2022, 41(8):81-87.

GU S Z. New biochemical process based on pre-microaerobic for leachate treatment in waste incineration plant[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(8):81-87.



扫我试试?

基于前置微好氧的垃圾焚烧厂渗沥液新型生化处理工艺

顾士贞

(上海环境集团再生能源运营管理有限公司, 上海 200336)

摘要 垃圾焚烧厂渗沥液含有高浓度的可降解有机物和氨氮,传统生化工艺脱氮效果不佳。文章旨在改善针对渗沥液的生化处理工艺,提出了一种前置微好氧的改进生化处理工艺,并优化其工艺条件。结果表明,在混合液回流比为500%、水力停留时间为10 d、回流分配比为3:2和污泥龄为15 d的最佳工艺参数条件下,与传统生化工艺相比,改进生化处理工艺出水中 COD_{Cr} 浓度降低了44.16%、氨氮浓度降低了16.74%、TN浓度降低了44.63%,有效降低了后续的膜处理压力。研究结果可为垃圾焚烧厂渗沥液的生化出水水质提升提供技术支撑。

关键词 垃圾焚烧厂 渗沥液 生化处理工艺 前置微好氧 氮去除

中图分类号: X799.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)08-0081-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.08.012

New Biochemical Process Based on Pre-Microaerobic for Leachate Treatment in Waste Incineration Plant

GU Shizhen

(Shanghai Environment Group Renewable Energy Operation Management Co., Ltd., Shanghai 200336, China)

Abstract The leachate of solid waste incineration plant contains high concentration of degradable organic matters and ammonia nitrogen, and the denitrification of traditional biochemical process is not efficiency. In order to improve the biochemical treatment process for leachate, an improved biochemical treatment process with pre-microaerobic was carried out, and its process conditions were optimized too. The results showed that under the optimum process parameters of 500% reflux ratio, 10 d hydraulic retention time, 3:2 reflux distribution ratio and 15 d sludge retention time, compared with the traditional biochemical process, the COD_{Cr} content, ammonia nitrogen content, and total nitrogen content of the improved biochemical process effluent decreased by 44.14%, 16.74% and 44.63%, respectively, reduced the subsequent membrane treatment pressure effectively. These results could provide technical support for the improvement of biochemical effluent quality of leachate.

Keywords waste incineration plant leachate biochemical treatment process pre-microaerobic nitrogen removal

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,我国生活垃圾产生量逐年增加^[1]。国家统计局公布数据显示,2020年我国城市生活垃圾清运量达2.35亿t,无害化处理率达99.7%,并且其清运量仍呈逐

年增加的趋势^[2]。作为一种行之有效的减量及能源回收技术,焚烧在垃圾处置中的占比约为50%^[2]。而垃圾焚烧厂每年产生大量的新鲜渗沥液,约占生活垃圾总量的15%~25%^[3]。垃圾焚烧厂渗沥液具有高有机质含量、高氨氮、高含盐等特征,是极难处理的高浓度有毒废水的典型代表,如未得到有效处理,易对生态环境及人类健康造成危害。

垃圾焚烧厂渗沥液具有较好的生化性,生化处理技术因其处理效果稳定、成本低等特点成为主体

[收稿日期] 2022-01-27

[基金项目] 上海市国资委企业技术创新和能级提升项目(2018001)

[作者简介] 顾士贞(1979—),男,硕士,主要从事生活垃圾焚烧处置及填埋处置运营管理,E-mail:ljch820912@163.com。

处理工艺^[4]。2014年,生态环境部发布并实施新修订的《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014),相比旧标准,新标准对COD、BOD、氨氮和TN等指标提出了更加严格的要求。针对该标准,厌氧消化(AD)+膜生物反应器(MBR)+膜驱动工艺被广泛应用于渗沥液处理中^[5]。该工艺可以有效去除垃圾渗沥液中的大部分有机污染物,但前置AD导致系统反硝化碳源不足,引起系统TN去除效果不佳。目前多采用外源投加碳源来增强反硝化性能,达到去除TN的目的,但也同时增加了处理成本。

本研究针对垃圾焚烧厂渗沥液传统生化处理工艺TN去除效果不佳的问题,提出前置微好氧的改进生化工艺,对比分析了相同运行条件下传统生化

工艺和改进生化工艺对垃圾渗沥液的处理效果,并优化了前置微好氧生化处理工艺的运行工艺参数条件。研究结果可为焚烧厂垃圾渗沥液处理的达标排放提供技术支撑。

1 试验材料和方法

1.1 试验用水及接种污泥

本试验所使用的垃圾渗沥液取自上海某大型生活垃圾焚烧厂,其主要水质特征如表1所示。所用接种污泥取自该生活垃圾焚烧厂的二沉池,其混合液悬浮固体质量浓度(MLSS)约为5.2 g/L,可挥发悬浮物(VSS)/悬浮物(SS)约为0.7。在试验过程中,经过一段时间的培养和驯化,逐渐成为适合降解垃圾渗沥液的活性污泥。

表1 垃圾渗沥液的主要水质特征
Tab. 1 Main Characteristics of Leachate

水质指标	数值	水质指标	数值
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	45 000~60 000	NO ₃ ⁻ -N/(mg·L ⁻¹)	23.2~54.8
BOD ₅ /COD _{Cr}	0.5~0.7	TP/(mg·L ⁻¹)	78~136
氨氮/(mg·L ⁻¹)	1 200~2 500	pH值	6.2~6.7
TN/(mg·L ⁻¹)	1 500~3 100	SS/(mg·L ⁻¹)	6 000~32 000

1.2 试验装置及运行

图1为垃圾渗沥液传统生化处理工艺(不包含厌氧单元)示意图。缺氧池和好氧池均为有机玻璃长方体,缺氧池1、好氧池1、缺氧池2和好氧池2的有效容积分别为10、5、10 L和20 L。好氧池1和好氧池2底部设有曝气装置,使用气体流量计控制曝气量,保持其溶解氧质量浓度分别为2~3 mg/L和3~4 mg/L。缺氧池1和缺氧池2中配有搅拌器,通过继电器控制其搅拌频率为1次/h,每次搅拌时长为1 min。好氧池1和好氧池2中的混合液通过蠕

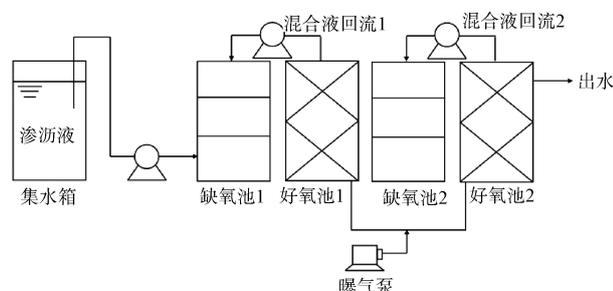


图1 传统生化处理工艺示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Traditional Biochemical Treatment Process

动泵分别回流到缺氧池1和缺氧池2。整个反应器在室温下运行。

图2为垃圾渗沥液改进生化处理工艺示意图。微氧池、沉淀池、缺氧池、好氧池1和好氧池2都为有机玻璃长方体,其有效容积分别为10、5、3、10 L和20 L。微氧池、好氧池1和好氧池2底部均设有曝气设备,曝气量采用气体流量计控制,保持微氧池、好氧池1和好氧池2的溶解氧质量浓度为0.2~0.5、2.0~3.0 mg/L和3.0~4.0 mg/L。缺氧池中配

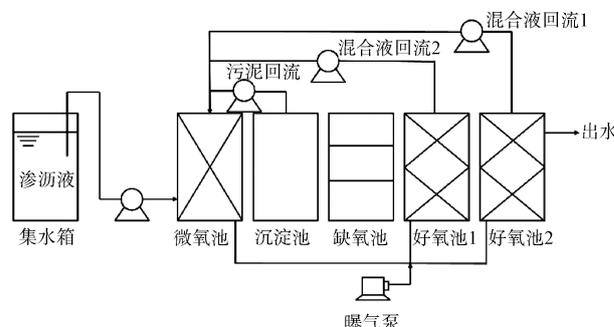


图2 改进生化处理工艺示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Improved Biochemical Treatment Process

有搅拌器,通过继电器控制其每搅拌频率为1次/h,每次搅拌时长为1 min。好氧池1、好氧池2中的混合液以及沉淀池底部的活性污泥通过蠕动泵部分回流到微氧池中。整个反应器在室温下运行。

每2 d分别从两个渗沥液处理系统取样,每次取3个平行样,以3个测试结果的平均值作为最终值。所有采集的样品均用0.45 μm膜过滤,使用前在黑暗中4℃条件下保存。

1.3 分析方法

溶解氧采用便携式溶解氧计(HQ40D, HACH)

测定;pH通过pH计(PHS-25,上海)测量;COD_{Cr}、BOD₅、TN、氨氮、NO₃⁻-N、SS的测定采用标准方法^[6]。各实验组之间数据统计学结果采用单因素方差分析(置信区间设为95%)。

2 结果和讨论

2.1 改进生化处理工艺的优化

2.1.1 混合液回流比对处理效果的影响

设定混合液回流比为300%、500%和700%,考察改进生化处理工艺对渗沥液中主要污染物的去除效果,具体如图3所示。

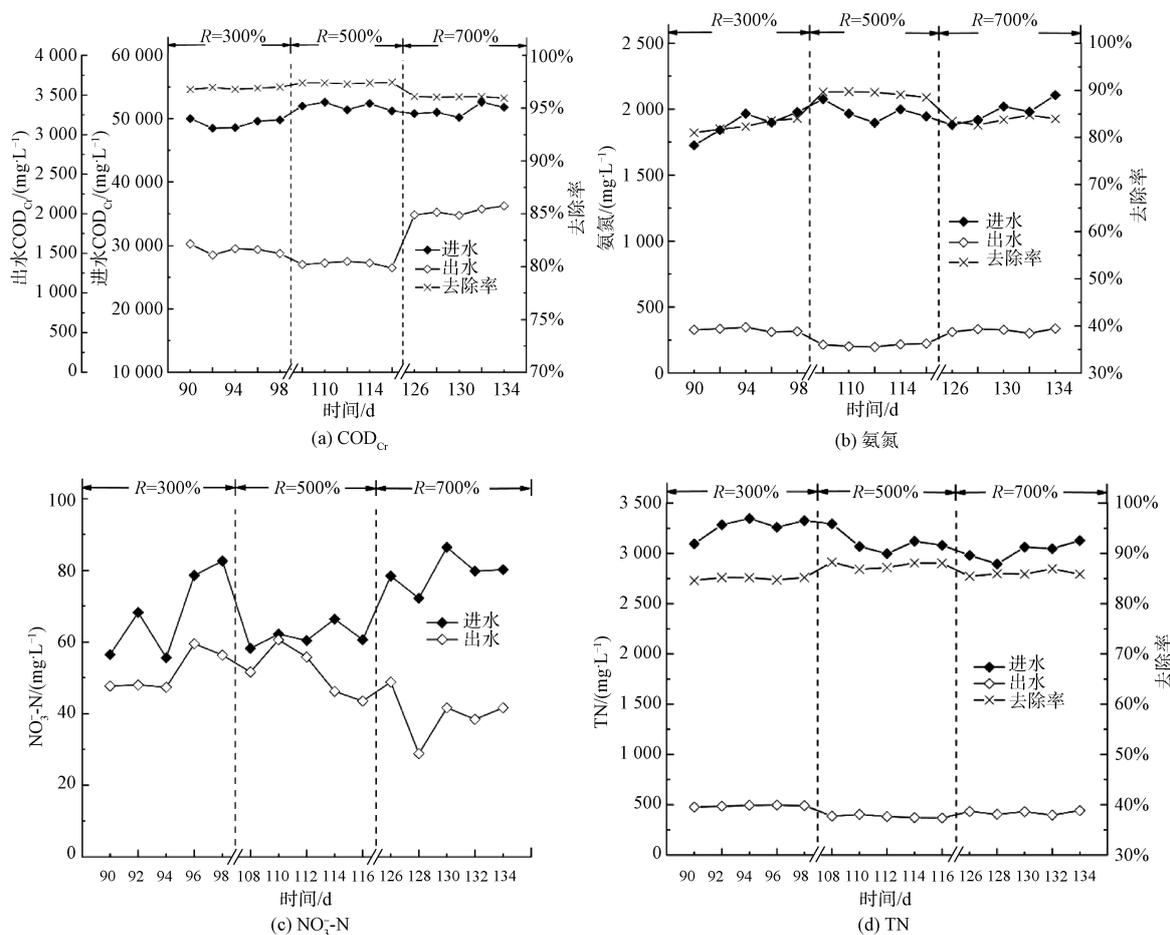


图3 混合液回流比对渗沥液处理效果的影响

Fig. 3 Effect of Mixed Liquor Reflux Ratio on Leachate Treatment

改进生化工艺对渗沥液中COD_{Cr}的去除效果如图3(a)所示,可以看出,当控制混合液回流比为300%时,出水COD_{Cr}平均质量浓度为1 542.20 mg/L,平均去除率为96.87%。在第98 d时调整混合液回流比为500%,系统稳定运行时出水COD_{Cr}质量浓度在1 368.60 mg/L左右,平均去除率提高

至97.37%。在第116 d,调整混合液回流比至700%,好氧池内泡沫增多,一级好氧池中活性污泥逐渐变黑,沉降性能变差,出水COD_{Cr}平均质量浓度升高至2 029.40 mg/L,平均去除率降至96.04%。

改进工艺对渗沥液中氮的去除效果如图3(b)~图3(d)所示,当混合液回流比为300%时,由于回流

量过低,反硝化电子受体不足,效果较差,导致出水 NO_3^- -N 浓度偏高,系统脱氮效果不佳,出水 TN 平均质量浓度为 489.80 mg/L,平均去除率为 84.98%。提高混合液回流比至 500%,反硝化电子受体增加,系统脱氮性能增强^[7],出水 TN 平均质量浓度为 383.20 mg/L,平均去除率提升至 87.62%。当混合液回流比调整至 700%,出水 TN 的平均质量浓度为 422.40 mg/L,平均去除率降至 86.02%。主要原因是加大混合液回流比为反硝化段提供更多的电子受

体,但同时较高的溶解氧也破坏了反硝化环境,并变相缩短进水的停留时间,减少了反硝化段的反应时长^[8]。

结合 COD_{Cr} 和 TN 的去除效果,选择 500% 作为系统的最佳混合液回流比。

2.1.2 混合液回流分配比对处理效果的影响

将混合液回流分配比定为 1:1、3:2 和 4:1,考察其对渗沥液中主要污染物的去除效果,具体如图 4 所示。

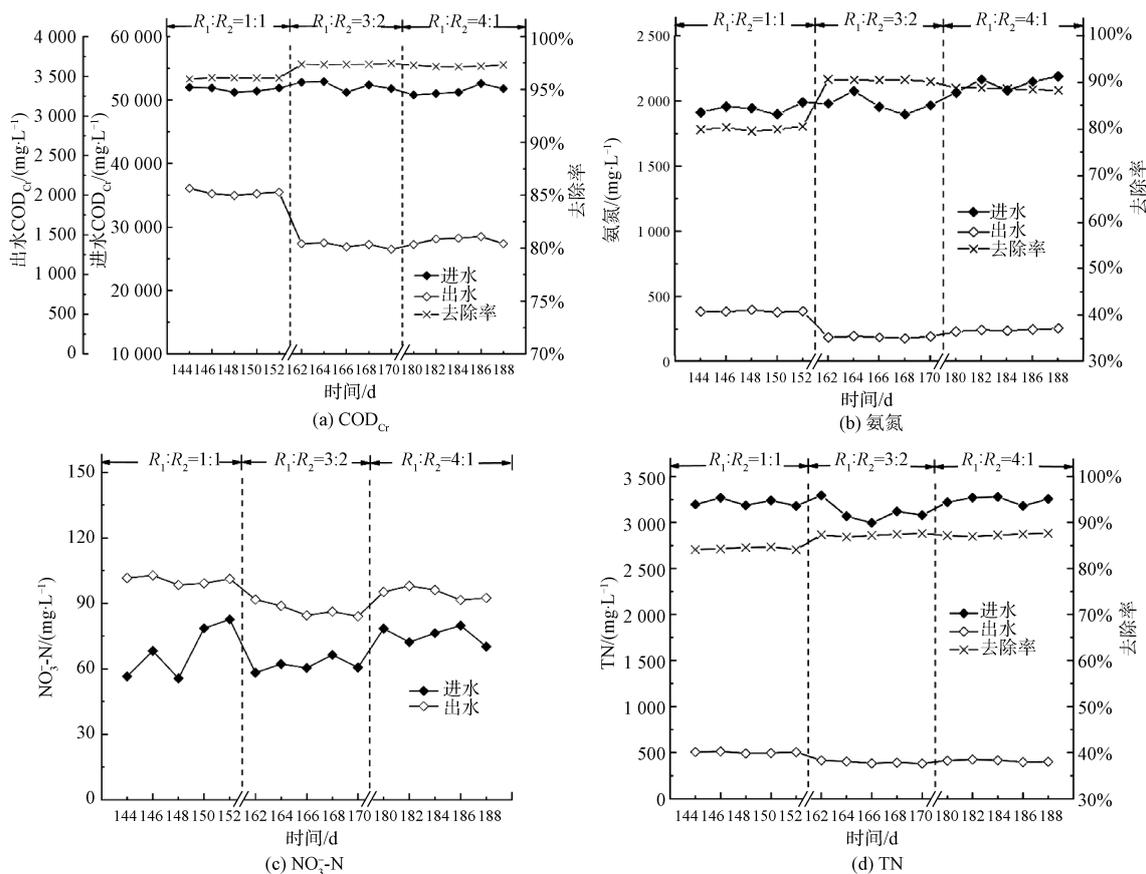


图 4 混合液回流分配比对渗沥液处理效果的影响

Fig. 4 Influence of Mixture Reflux Distribution Ratio on Leachate Treatment

渗沥液中 COD_{Cr} 的去除效果如图 4(a) 所示,通过调节一级好氧池和二级好氧池连接回流蠕动泵流量,使回流分配比为 1:1,此时出水 COD_{Cr} 平均质量浓度为 2 033.20 mg/L,平均去除率达 96.07%。当调整混合液回流分配比为 3:2 时,出水 COD_{Cr} 质量浓度在 1 368.20 mg/L 左右,平均去除率升至 97.38%。当调整混合液回流分配比至 4:1 时,出水 COD_{Cr} 平均质量浓度为 1 432.60 mg/L,平均去除率降为 97.15%。

改进生化工艺对渗沥液中氨氮和 TN 的去除效果以及进出水 NO_3^- -N 浓度的变化如图 4(b)~图 4(d) 所示。不同回流分配比条件下,氨氮的去除效果存在一定差异。当混合液回流分配比为 1:1 时,氨氮的平均去除率最低,仅为 79.99%;当混合液回流分配为 3:2 和 4:1 时,氨氮的平均去除率分别为 90.42% 和 88.56%,混合液回流分配为 3:2 的去除率较高 ($p=4.15 \times 10^{-6} < 0.01$)。从 TN 和 NO_3^- -N 的变化情况看,不同混合液回流分配比对脱氮的效果

存在较大差异。当混合液回流分配比为 3:2 和 4:1 时, TN 的去除效果相近 ($p = 0.913 > 0.05$), 其平均去除率分别为 87.28% 和 87.25%, 而当混合液回流分配比为 1:1 时, TN 去除效果较差, 平均去除率仅为 84.34%。

综合考虑, 选择 3:2 作为最佳的混合液回流分

配比。

2.1.3 水力停留时间(HRT)对处理效果的影响

当 HRT 分别为 8、10 d 和 12 d 时, 研究改进生化处理工艺对渗沥液去除效果的影响, 结果如图 5 所示。

由图 5(a) 可知, 调节蠕动泵流量控制 HRT 为

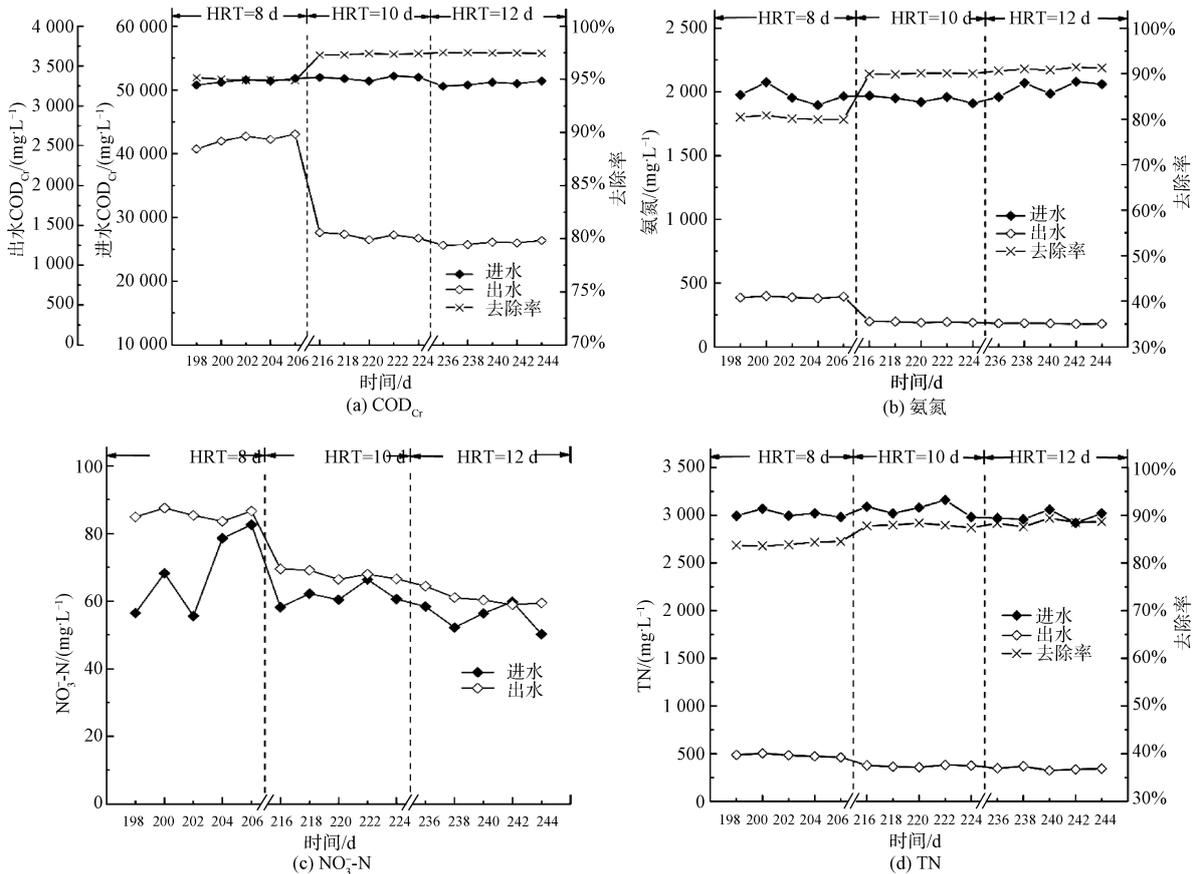


图 5 HRT 对渗沥液处理效果的影响

Fig. 5 Effect of HRT on Leachate Treatment

8 d 时, 出水 COD_{Cr} 平均质量浓度为 2 572.60 mg/L, 平均去除率为 94.99%。当调整 HRT 为 10 d 时, 系统稳定运行时出水 COD_{Cr} 质量浓度约为 1 368.80 mg/L, 平均去除率为 97.36%, 远大于 HRT 为 8 d 时的去除率 ($p = 8.24 \times 10^{-11} < 0.01$)。当调整 HRT 为 12 d 时, 出水 COD_{Cr} 平均质量浓度为 1 278.20 mg/L, 平均去除率为 97.49%, 大于 HRT 为 10 d 的去除率 ($p = 0.0029 < 0.01$)。结果表明, 过短的 HRT 会影响生化系统对渗沥液中有机的去除效果, 导致部分有机物不能得到有效降解。

改进生化处理工艺对渗沥液中氨氮和 TN 的去除效果以及进出水 NO_3^- -N 浓度的变化情况如图 5

(b)~图 5(d) 所示。HRT 为 8 d 时, 氨氮的平均去除率仅为 80.27%, HRT 为 10 d 和 12 d 的运行条件下, 其平均去除率分别为 90.01% 和 91.03%, HRT 为 12 d 时氨氮去除效果较好 ($p = 0.00018 < 0.01$)。与其他研究者的结果相比^[9], 本试验的氨氮去除效果略低, 推测其原因是曝气不够均匀, 进而影响了整个工艺的脱氮性能。从 TN 的去除效果来看, HRT 为 10 d 和 12 d 时, 平均去除率为 87.88% 和 88.49%, 两者无明显差异 ($p = 0.105 > 0.05$), 而 HRT 为 8 d 时, 其 TN 平均去除率较低, 仅为 84.20%。

综合考虑, 选择 10 d 作为改进生化工艺对渗沥

液的最佳 HRT。

2.1.4 污泥龄(SRT)对处理效果的影响

将系统 SRT 分别设定为 10、15 d 和 20 d,考察改进生化处理工艺对渗沥液的处理效果。

不同污泥龄条件下,改进生化处理系统对 COD_{Cr} 的去除效果如图 6(a) 所示。控制体系的 SRT 为 10 d 时,系统出水 COD_{Cr} 的平均质量浓度为 2 616.80 mg/L,平均去除率达 94.94%。调整 SRT 为 15 d 时,系统稳定运行时出水 COD_{Cr} 质量浓度在 1 514.40 mg/L 左右,平均去除率提升至 97.04%。调整 SRT 至 20 d,出水 COD_{Cr} 的平均质量浓度为 1 478.60 mg/L,平均去除率为 97.10%。

改进生化处理工艺中对渗沥液中氨氮和 TN 的去除效果及进出水 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度的变化情况如图 6(b)~图 6(d) 所示。污泥龄为 10 d 时,反应体系中微生物数量减少,改进生化工艺的脱氮和有机物降解性能均不理想,出水氨氮和 TN 的平均质量浓度为 323.60 mg/L 和 502.4 mg/L,平均去除率为 83.28% 和 83.80%。过短的污泥龄会使得微生物数量大量减少,从而降低反应体系的有机物和含氮化合物的降解能力^[10]。污泥龄为 15 d 和 20 d 时,改进生化工艺氨氮的平均去除率分别为 90.04% 和 89.96%,TN 平均去除率为分别 88.25% 和 87.93%。

综合考虑,选择 15 d 作为该工艺的最佳 SRT 参数。

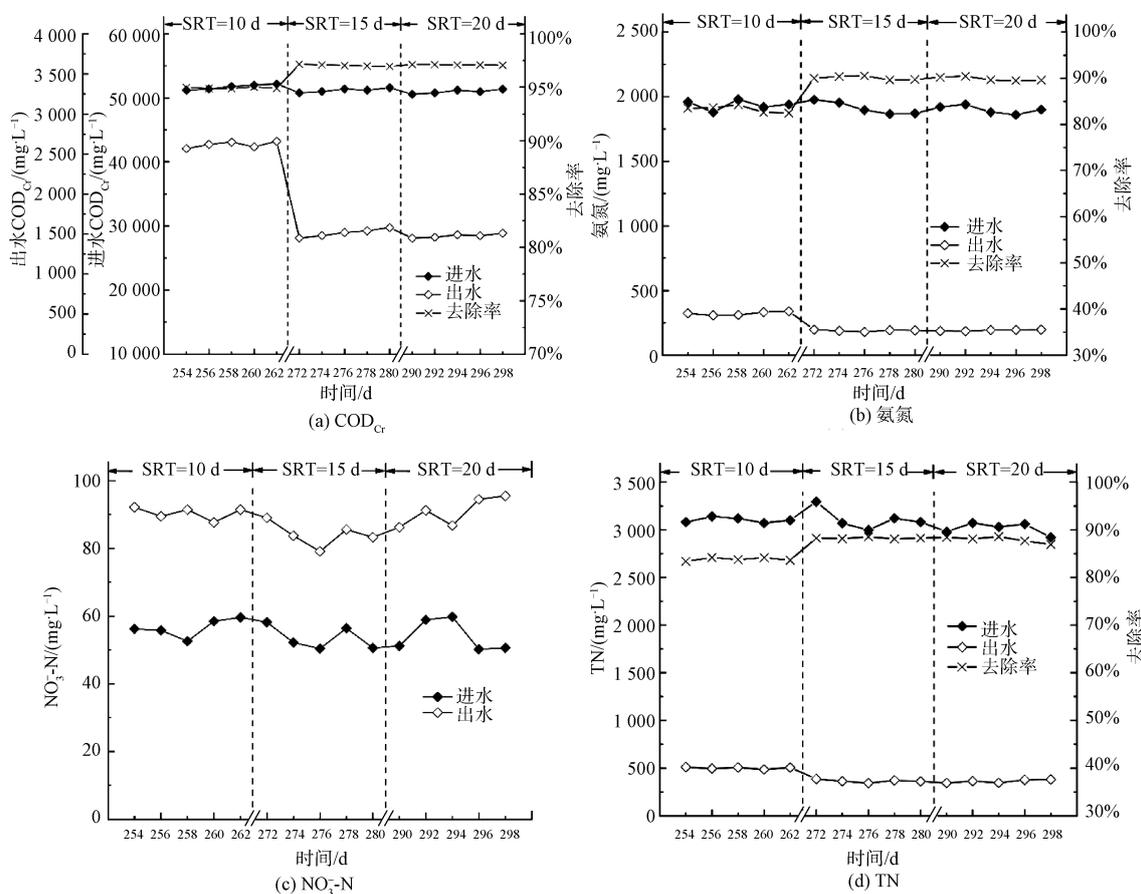


图 6 SRT 对渗沥液处理效果的影响

Fig. 6 Effect of SRT on Leachate Treatment

2.2 改进生化处理工艺对渗沥液的处理效果

针对上述研究结果,采用本试验的最佳工艺参数条件:混合液回流比为 500%,HRT 为 10 d,

混合液回流分配比为 3:2,SRT 为 15 d。在相同运行条件下,比较传统生化处理工艺与改进生化处理工艺对垃圾渗沥液的去除效果,结果如表 2 所示。

表2 传统生化工艺与改进生化工艺渗沥液处理效果对比

Tab. 2 Comparison of Treatment Effect between Traditional and Improved Biochemical Process

样品	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)
渗沥液原液	49 600.00~53 800.00	1 500.00~1 850.00	2 300.00~2 500.00
传统生化工艺出水	2 450.20	333.40	659.60
改进生化工艺出水	1 368.20	277.60	365.20

由表2可知,在相同运行条件下,与传统生化工艺出水相比,改进生化工艺的出水COD_{Cr}质量浓度降低了44.16%,出水氨氮和TN的质量浓度分别降低了16.74%和44.63%。可以证实,改进后的生化处理工艺具有更好的有机物降解性能及脱氮效果。

3 结论

(1)改进生化处理工艺参数优化表明:500%为最佳混合液回流比,过低的回流比(300%)会因缺乏反硝化电子受体而导致反硝化效果不佳,过高的回流比(700%)会破坏反硝化的氧化还原环境使反硝化优势菌得不到有利生长;混合液回流分配比为3:2或4:1时,主要污染物的去除效果优于回流分配比为1:1的情况;过短的HRT(8 d)会使主要污染物去除效果明显变差,HRT为10 d或12 d时,主要污染物去除效果差别不大;过短的SRT(10 d)会使反应体系中微生物数量大量减少,使得改进生化工艺对主要污染物的去除效果变差,SRT为15 d或20 d时,改进生化工艺对主要污染物的去除效果相近,但过长的SRT(20 d)会使活性污泥的沉降性能变差。优化后的工艺参数如下:回流比为500%,回流分配比为3:2,HRT为10 d,SRT为15 d。

(2)最佳工艺参数条件下,改进生化工艺较传统生化工艺具有更好的有机物和氮素去除性能,出水COD_{Cr}浓度降低了44.16%,出水氨氮浓度降低了16.74%,出水TN浓度降低了44.63%。

(3)改进生化处理工艺可以有效降低生化出水的TN浓度,降低后续膜滤后浓缩液的产生量,有效减少垃圾渗滤液的处理成本,具有较好的实际应用价值。

参考文献

[1] SONG J, ZHANG W, GAO J, et al. A pilot-scale study on the

treatment of landfill leachate by a composite biological system under low dissolved oxygen conditions: Performance and microbial community[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 296: 122344. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122344.

[2] 中国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

[3] WEI M Q, ZHANG R N, ZHOU M J, et al. Treatment of fresh leachate by microaeration pretreatment combined with IC-AO² process: Performance and mechanistic insight[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 789: 147939. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147939.

[4] MIAO L, YANG G, TAO T, et al. Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments-A review[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 235: 178-185. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.01.057.

[5] WANG H, CHENG Z, SUN Z, et al. Molecular insight into variations of dissolved organic matters in leachates along China's largest A/O-MBR-NF process to improve the removal efficiency [J]. *Chemosphere*, 2020, 243: 125354. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125354.

[6] American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater [M]. 20th Edition. Washington D C: American Public Health Association, 1998.

[7] PEIRIS R H, BUDMAN H, MORESOLI C, et al. Understanding fouling behaviour of ultrafiltration membrane processes and natural water using principal component analysis of fluorescence excitation-emission matrices [J]. *Journal of Membrane Science*, 2010, 357(1/2): 62-72. DOI: 10.1016/j.memsci.2010.03.047.

[8] 梁康强, 周军, 熊娅, 等. 硝化液回流比对水解-A/O工艺脱氮效果的影响[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2012(12): 117-122.

[9] 张威, 杨恒, 周云, 等. 悬浮填料对A/O-MBR处理垃圾渗滤液性能的影响[C]. 合肥: 中国环境科学学会科学技术年会论文集, 2018.

[10] 李伟光, 李东辉, 姚杰, 等. 污泥龄对BBSNP工艺反硝化除磷脱氮效能的影响[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(17): 13-17.