

# 垃圾渗滤液的膜生物反应器与传统生物工艺述评

叶舟

(浙江浙大海元环境科技有限公司, 杭州 310051)

**摘要:** 采用文献调研法比较评价了膜生物反应器与传统生物工艺对垃圾渗滤液的处理效果。结果表明, 渗滤液的水质特征(主要指 COD) 主要由渗滤液年龄决定, B/C 值和渗滤液年龄对 COD 去除有重要影响。传统生物处理常采用多级组合工艺, 渗滤液特性、工艺单元数、水力停留时间和有机负荷率等是影响 COD 去除的重要参数。近年来, MBR 工艺的应用日益广泛, 对于 B/C 值较低的老龄渗滤液, MBR 工艺可获得更好的 COD 去除效果, 也有利于废水的膜深度处理。

**关键词:** 垃圾渗滤液; 好氧处理; 厌氧处理; 膜生物反应器; COD 去除

## COMPARISON ON TREATMENT OF LEACHAT USING MBR AND TRADITIONAL BIOLOGICAL METHODS

Ye Zhou

(Haiyuan Environmental Science &amp; Technology Co., Ltd., Hangzhou 310051, China)

**Abstract:** The treatment performance of MBR and traditional biological disposal methods on leachat was compared by investigation. The results showed that the water quality of leachat mainly depends on its age. Traditional biological disposal are usually multi-levelled. Leachat characteristic, unit amount, HRT, and organic load are key factors on COD removal. In the recent years, MBR were widely used and could gain a good treatment effects when treating aged leachat with a low B/C, which will have a bright future in the market.

**Keywords:** leachat; aerobic treatment; anaerobic treatment; MBR; COD

### 1 概述

垃圾渗滤液的污染及其处置问题逐渐引起了世界各国政府和研究者的广泛关注。COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  是垃圾渗滤液中两个重要的污染物, 其去除效果是评判处理工艺性能的重要依据。这些处理工艺一般由生物单元、物理单元和化学单元组合而成, 有机负荷率和水力停留时间是两个关键的操作参数。目前, 无论对于老龄垃圾渗滤液, 还是早期的垃圾渗滤液,  $\text{NH}_3\text{-N}$  的高效去除较易实现, 仅通过生物法就可去除垃圾渗滤液中 95% 以上的氨氮<sup>[1]</sup>。然而, 渗滤液中 COD 根据渗滤液性质(来源和年龄)和处理工艺的不同, 其去除效率常在 20% ~ 90% 区间波动<sup>[2-3]</sup>。因此, 在设计和确

定垃圾渗滤液处理工艺时, 研究国内外已有处理工艺, 包括适用范围和优缺点尤为重要。

本文对过去 40 年来用于处理垃圾渗滤液的多种工艺和技术进行了综述, 考察渗滤液强度、工艺单元数、水力停留时间和有机负荷率等参数对 COD 去除率的影响。垃圾渗滤母液的 B/C 值一般在 0.05 ~ 0.8 之间, 其中, 早期渗滤液(3 ~ 12 个月)、中年渗滤液(1 ~ 5 年)、老年渗滤液(> 5 年)的 B/C 依次为 0.6 ~ 1.0、0.3 ~ 0.6、0 ~ 0.3, 故其可作为判断渗滤液可生化性能和年龄的依据。大量的实测数据(见表 2)表明, 渗滤液中有有机物和氨氮浓度变化幅度非常大。

表 1 垃圾填埋场渗滤液的平均水质

参数	文献[4]		文献[5]		文献[6]		文献[7]	
	早期 (< 2年)	老龄 (> 6.5年)	早期 (< 2年)	老龄 (> 10年)	早期	老龄	中年	老龄
BOD/(mg · L <sup>-1</sup> )	24000	150	2500~ 3000	10~ 20	11900	260	1600	160
COD/(mg · L <sup>-1</sup> )	62000	30000	3000~ 60000	100~ 500	23800	1160	6610	1700
TOC/(mg · L <sup>-1</sup> )	-	-	1500~ 20000	80~ 160	8000	465	1565	625
$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1400	350	10~ 800	20~ 40	790	370	1500	2300
B/C	0.39	0.05	0.05~ 0.67	0.04~ 0.1	0.5	0.2	0.24	0.09
pH	5.8	8	4.5~ 7.5	6.6~ 7.5	6.2	7.5	5.6~ 7.3	7.9~ 8.1

本文采用文献调查法,从大量研究报道中筛选实验数据,并进行了统计。结果表明:采用生物工艺的垃圾渗滤液处理系统占主导地位。19%的处理系统基于化学工艺,9%基于物理工艺(过滤、空气吹脱等),72%的处理系统采用了生物工艺。在这些生物处理工艺中,好氧塘、活性污泥法和UASB(上流式厌氧污泥床)占了约60%。好氧塘、UASB、活性污泥法、SBR、厌氧过滤器、MBR、苇地/湿地、厌氧塘、厌氧悬浮床所占比例分别为21%、18%、17%、15%、11%、8%、4%、3%、3%。绝大多数高效的处理系统采用了一系列技术的组合工艺,有的系统甚至集成了五个不同的工艺单元(见表2)。近年来,膜生物反应器(MBR)作为一种新工艺在垃圾渗滤液的处理领域逐渐受到重视和应用,该工艺拥有很好的COD去除效果。因此,结合实际工程的运行数据,对垃圾渗滤液的传统生物工艺和MBR工艺进行比较研究,具有重要意义。

表2 传统生物工艺实例与性能

处理工艺	单元数	B/C	$\rho(\text{COD})/(\text{mg/L})$	COD去除率/%	参考文献
<b>生产规模</b>					
黏土-砂滤-厌氧塘	5	0.6	35680	99.7	11
延时曝气+湿地	2	0.26	1182	88	12
稳定塘+湿地	4	0.25	1200	88	13
延时曝气+湿地	2	0.26	118	88	12
SBR	1	0.2	229	15	14
SBR	1	0.1	229	0	14
SBR	1	0.2	1000	70	14
SBR	1	0.25	790	42	14
SBR	1	0.14	2460	46	15
<b>中试规模</b>					
过滤+臭氧+活性污泥	3	0.1	688	81	16
UASB	1	0.5	29000	90	17
UASB	1	0.6	3100	63	18
UASB	1	0.63	1900	75	18
UASB+吹脱+淹没式曝气塘+化学沉淀	4	0.55	23888	97	19

## 2 基于COD去除效果的述评

MBR工艺由一个传统的活性污泥工艺和膜分离单元组成(图1),膜分离单元的加入使得出水澄清,同时可让反应器保持较高的污泥浓度。该工艺实现了水力停留时间(HRT)和泥龄的分开,避免了污泥的膨胀和流失。膜反应器可安装在外部,也可放在生物反应器内,两种结构的装置在渗滤液处理工艺中均有应用。

图2对膜生物反应器与传统生物工艺的处理效果进行了比较。对于传统生物工艺,渗滤液的B/C值越高,系统的COD去除效果越好。HRT对COD的去除也有重要影响,但对于不同年龄的渗滤液,该影响大

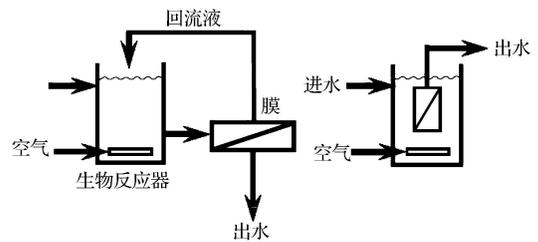


图1 膜生物反应器示意

小又存在较大差异。当渗滤液的B/C值为0.4~0.8时,COD去除率随着HRT的增加而增加,然而对于老龄渗滤液,处理系统的HRT较长,一般为24~45d,其值变化对COD去除率无明显影响。在相近的HRT条件下,厌氧工艺的处理效果与好氧工艺差不多。当HRT为5~20d时,好氧和厌氧工艺的COD平均去除率分别为88%和83%。尽管如此,厌氧工艺并不能有效去除氨氮,因此,通常需在后续处理系统中增加空气吹脱单元或硝化工艺。

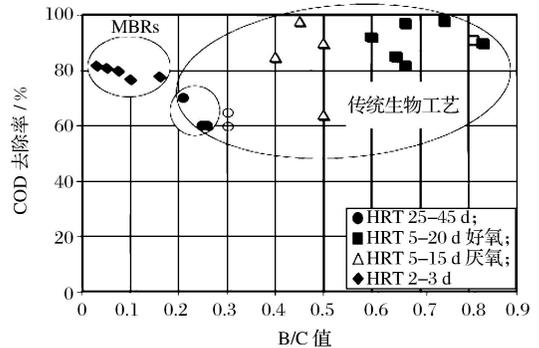


图2 传统生物工艺与MBR工艺的性能比较

目前,绝大多数垃圾填埋场的渗滤液处理采用了传统生物工艺,且集成了至少两个以上的处理单元,而且单元数目随着有机负荷的增加而增加。随着各国对垃圾渗滤液排放要求的日益提高,越来越多的垃圾填埋场开始对已有的处理工艺进行升级改造。此外,渗滤液的B/C值或年龄对处理系统的出水水质有重要影响。Lavigne<sup>[8]</sup>采用黏土过滤、砂滤和三个厌氧塘的集成工艺,对早期的渗滤液进行了处理,COD去除率为99.7%;Maehlum<sup>[9]</sup>和Martin等<sup>[10]</sup>对老龄渗滤液进行了处理研究,COD去除率均达到88%,前者采用了两级处理工艺,包含稳定塘和湿地单元,后者增加了曝气装置和湿地面积。Robinson<sup>[11,12]</sup>采用氧化塘和苇地的集成工艺对老龄渗滤液进行了处理研究,COD去除率为84%。此外,其还研究了SBR和苇地湿地系统对老龄渗滤液待处理效果,获得了相同的COD去除效果。在国外,SBR处理工艺的应用也较广泛,当采用单级SBR工艺处理老龄渗滤液时,COD去除

率可高达 70%。

在中试条件下, 单级处理工艺的 COD 去除率可达 78%, 而双级处理工艺通常可获得 80% 以上的 COD 去除效果。在多级处理系统中, 不同操作单元的组合秩序也对系统的处理效果有重要影响。有研究<sup>[13]</sup>表明, 当采用氧化池-化学混凝-生物接触氧化-化学沉淀多级系统处理老龄渗滤液(B/C 为 0.1~0.17)时, COD 去除率可高达 87%, 如首先采用化学沉淀或氧化单元, 系统处理效果则会相对降低。

由调研数据可知: MBR 的工艺性能与传统生物工艺存在显著差异。尽管该工艺目前还不如传统生物工艺应用广泛, 但自上世纪 90 年代以来, 西欧国家已逐渐开始采用该工艺处理垃圾渗滤液。目前, 西欧国家内提供 MBR 安装服务的公司主要有德国的 Wehrle 环境公司、法国的 Degremont 公司和加拿大的 Zenon 公司。尽管 MBR 工艺的运行成本较高, 但与传统生物工艺相比, 该工艺具有占地面积小、产泥量低、可在较高 MLSS 浓度条件下操作等优点, 性价比较高<sup>[14]</sup>。此外, 该工艺的出水水质好, 可满足更严格的排放标准。

与传统生物工艺相比, MBR 工艺表现出更优的 COD 去除性能。对于生化性较差的渗滤液(B/C = 0.03~0.16), 所有 MBR 工艺的 COD 平均去除率均在 80% 左右。而对于 B/C 值为 0.21~0.3 的渗滤液, 传统生物工艺对 COD 的平均去除率仅约 63%, 远低于 MBR 工艺。另一方面, MBR 工艺所需的 HRT 较短, 表明该工艺能承受较高的有机负荷率(1~3 kg/(m<sup>3</sup>·d)), 所需占地面积更小, 而传统生物工艺的有机负荷率一般低于 0.25 kg/(m<sup>3</sup>·d)。此外, 采用 MBR 工艺的处理系统不用设置二沉池, 系统更为紧凑。

当采用组合工艺 MBR-NF 和 MBR-AC 处理老龄渗滤液时(进水 COD 高达 5000mg/L), COD 去除率可达 92~93%, 而采用单独的活性炭或 MBR 工艺, COD 去除率仅分别为 70~90% 和 60~76%。可见, 如果要获得更好的 COD 去除效果, MBR 同传统工艺一样, 需增加后续处理单元, 但 MBR 工艺的出水比传统生物工艺好, 更有利于废水的膜深度处理。

### 3 结论

1) 垃圾渗滤液的水质特征主要由渗滤液年龄决定。对于年龄在 5 年以下的垃圾渗滤液(定义为中青年渗滤液), 采用多段生物处理或延长 HRT, 可去除 99% 的 COD; 对于老龄渗滤液(B/C < 0.3), 传统多段生物处理工艺的 COD 去除率一般低于 60%。

2) 对于 B/C 值较低的渗滤液, MBR 工艺可获得更好的 COD 去除效果, 所需占地面积更小。而且, 系统出水水质好, 与传统工艺相比, 无须加设微滤即可采用纳滤膜深度处理。

3) 在处理老龄渗滤液(B/C 为 0.1~0.2)时, 与传统的多段生物处理工艺相比, MBR-AG-NF 三段组合工艺表现出更优的 COD 去除效果。

### 参考文献

- [1] Welander U, Henrysson T, Welander T. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process[J]. *Water Research*, 1998(32): 1564-1570.
- [2] Timur H, Ozturk I, Altinbas M, et al. Anaerobic treatability of leachate: a comparative evaluation for three different reactor systems[J]. *Water Research*, 2000(42): 287-292.
- [3] Ding A, Zhang Z, Fu J, et al. Biological control of leachate from municipal landfills[J]. *Chemosphere*, 2001(44): 1-8.
- [4] Urbini G, Ariati L, Teruggi S, et al. Leachate quality and production from real scale MSW landfills[C]. in *Proceedings Sardinia 99: 7th Management and Landfill Symposium*, Cagliari, 1999.
- [5] Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil SA. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*[M]. Singapore: McGraw-Hill International Editions, 1993: 978.
- [6] Robinson HD. A review of the composition of leachates from domestic wastes in landfill sites[R]. Report prepared for the UK Department of the Environment, Contract PECD 7/10/238, Ref: 1995, DE0918A/FR1.
- [7] Irene M, Lo C. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills[J]. *Environmental International*, 1996(4): 433-442.
- [8] Lavigne R. The treatment of landfill leachate using a living filter[J]. *Compost Science Land Utilization*, 1997(20): 24-26.
- [9] Maehlum T. Treatment of landfill leachate in on-site lagoons and constructed wetlands[J]. *Water Science and Technology*, 1995(32): 129-135.
- [10] Martin CD, Johnson KD. The use of extended aeration and in-series surface-flow wetlands for landfill leachate treatment[J]. *Water Science and Technology*, 1995, 32: 119-128.
- [11] Robinson HD. State of the art landfill leachate treatment systems in the United Kingdom, in *Solid Waste Association of North America*[J]. 4th Annual Landfill Symposium, Denver Colorado, USA, 1999, 323-336.
- [12] Robinson HD. The treatment of landfill leachates using reed bed systems[C]. 4th International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, 1993.
- [13] Papadopoulos D, Fatta D, Loizidou M. Treatment of stabilized landfill leachate by physico-chemical and biooxidation processes[J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 1998(A33): 651-670.
- [14] Stephenson T, Judd S, Jefferson B, et al. *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*[M]. United Kingdom: IWA Publishing, 2000.

作者通信处 叶舟 310051 杭州市滨江区丹枫路 788 号海越大厦 16 楼  
E-mail bhjyz@126.com

2011-07-04 收稿