

膜生物反应器在市政污水处理中的应用

蔡彬

(上海环境集团股份有限公司, 上海市 200336)

摘要: 随着国家严格污水排放标准的趋势进一步加强, 各类污水深度处理新技术, 新工艺不断涌现, 与曝气生物滤池、活性滤池、反硝化深床滤池等比较, 膜生物反应器(MBR)工艺出水水质更高、智能化管理水平更高、对土地要求更低, 投资及运行成本可控, 在深度生物脱氮处理中, 低成本处理潜力更强。MBR工艺在推进市政污水“高能耗、高药耗、低标准”的传统处理模式向“碳源利用、资源回收、再生水回用”新型环保处理模式的转变过程中, 将发挥巨大的促进作用。

关键词: 膜生物反应器; 市政污水; 碳源利用; 资源回收; 再生水回用

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)06-0140-04

0 引言

随着我国对环境保护的日益重视, 进一步提高包括市政污水在内的各类污水排放标准, 是大势所趋^[1]。为满足新的排放标准, 曝气生物滤池、活性滤池、反硝化深床滤池、MBR工艺等各种污水处理新工艺新技术, 大规模应用于已建市政污水处理厂的提标升级、扩容改造, 以及新污水处理厂、再生水厂的建设^[2-5]。其中膜生物反应器(MBR)工艺, 是将现代膜分离技术与传统生物处理技术有机结合起来的一种新型高效污水处理技术^[6], 其出水水质好, 可满足高标准排放要求^[7]; 运行管理自动化程度高; 在大量工程实践经验积累的基础上, MBR工艺的运行优势将进一步显现, 处理潜能将进一步释放, 尤其是其高效率的脱氮功能, 特别令人期待^[8-10]。MBR工艺与高效污泥厌氧工艺、厌氧氨氧化工艺等, 成为构建具有高标准、高效能、高能源自给率、环境友好等基本特征的新型污水处理技术体系的重要组成部分; 在推进市政污水“高能耗、高药耗、低标准”的传统处理模式向“碳源利用、资源回收、再生水回用”新型环保处理模式的转变过程中, 发挥巨大的促进作用。

1 膜生物反应器工艺原理及特点

1.1 典型 MBR 工艺

MBR工艺一般由生物反应器和膜组件两部分组成, 大致可分为分置式 MBR 工艺和一体式 MBR

工艺。两种反应器的构型如图 1 和图 2 所示。

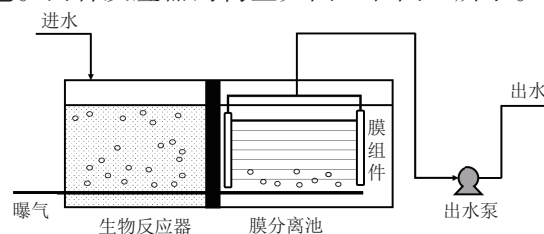


图 1 分置式 MBR 工艺

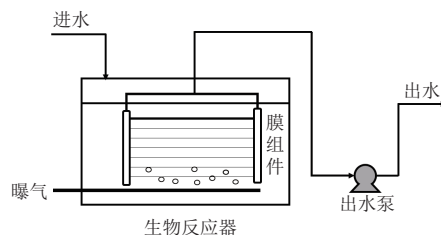


图 2 一体式 MBR 工艺

分置式 MBR 工艺中的生物反应池与膜分离池分开建造, 膜系统置于膜分离池中, 以便于膜分离系统的控制和操作; 该技术比较成熟, 运行稳定可靠, 为大型市政污水处理 MBR 工艺的主流设计形式。一体式 MBR 工艺中的生物反应池与膜分离池合为一体, 利用生化部分的曝气系统, 便可以对膜进行曝气擦洗, 同时节省了污泥回流泵等设备, 较分置式简单。但由于设备共用, 膜清洗等操作难度增大, 不利于膜系统的控制、维护。因此, 这种工艺形式, 多用于小型污水处理站, 一般不用于大型市政污水处理 MBR 工艺的设计。

1.2 MBR 工艺的优缺点分析

与传统污水处理工艺技术相比较, MBR 工艺具有如下显著特点:

(1) 膜组件模块化设计 / 标准化制造, 产品质量

收稿日期: 2021-10-13

作者简介: 蔡彬(1982—), 女, 本科, 工程师, 主要从事水污染治理及污泥处理、处置技术与应用研究工作。

的稳定性和可靠性显著提高;设备便于现场安装,缩短施工周期;同时,膜系统可实现全自动标准化运行;

(2)抵抗污泥膨胀能力强,出水水质稳定、更优,膜可滤除绝大部分细菌、病毒,后续消毒药剂投加量能大幅较少;高标准的出水,可直接用于水环境补水、景观用水、城市生活杂用水、热电厂循环冷却水等用途。

(3)微生物不流失,生物反应器污泥浓度 MLSS 值可达 8~10 g/L,提高体积负荷,相应地较大幅度的减少占地;膜分离池的方形设计,可避免传统二沉池效能低、占地多、布置难的不足,为污水厂的节地设计带来很大的挖潜空间。

(4)实现了水力停留时间(HRT)和污泥龄(SRT)的彻底分离,为 SRT 的延长创造了不可或缺的基础,有利于增殖缓慢的硝化细菌、反硝化菌群的生长,从而可提高系统的硝化/反硝化能力。

MBR 工艺存在的主要问题包括:

(1)MBR 材料价格贵、制造工艺要求高、产量相对较低,造成膜组件价格较高;

(2)MBR 在使用中,膜通量等性能将逐渐衰减;受到膜的质量、操作方式等因素影响,一般正常使用 5~10 a 后必须更换,其更新再投入成本较大;

(3)MBR 清污擦洗、抽吸出水及高倍污泥回流,需要消耗较多电能,膜组件运行能耗高。

1.3 MBR 工艺大型工程应用现状

德国于 2005 年建成的北运河污水处理厂,处理规模 4.5 万 m³/d,是当时全球最大的 MBR 工艺污水处理厂。经过十多年的发展,瑞典 Henriksdal 污水处理厂,全套采用 MBR 工艺,其处理规模已高达 86.4 万 m³/d,目前为全球同类型规模最大的污水处理厂。2016 年投产运行的北京槐房再生水厂处理规模为 60 万 m³/d。截止 2016 年 5 月,全球规模大于 15 万 m³/d 的 MBR 污水处理厂统计见表 1。

2 膜生物反应器工艺运行实践

2.1 工程概况

某再生水厂位于北方,一期工程于 2008 年建成,2012 年经二期扩改提标后目前总处理能力为 8 万 m³/d,设计进水主要指标:COD_{cr}≤420 mg/L、NH₄-N⁺≤60 mg/L、TN≤70 mg/L、TP≤8 mg/L。主要排放指标:COD_{cr}≤30 mg/L、NH₄-N⁺≤1.5 mg/L、TN≤15 mg/L、TP≤0.3 mg/L。尾水部分用于市政绿

表 1 处理规模大于 15 万 m³/d 的 MBR 污水处理厂统计

序号	项目	规模/(万 m ³ ·d ⁻¹)	国家
1	Henriksdal 污水处理厂	86.4	瑞典
2	SeineAval 污水处理厂	35.7	法国
3	Canton WWTW	33.3	美国
4	Euclid OH(USA)	25	美国
5	北京顺义	23.4	中国
6	武汉三金潭污水处理厂	20	中国
7	吉林污水处理厂一期升级改造	20	中国
8	Brussels Sud	19	比利时
9	Riverside	18.6	美国
10	Brightwater	17.5	美国
11	维萨利亚	17.1	美国
12	北京某一污水处理厂二期	15	中国
13	昆明第十污水处理厂	15	中国
14	南京城东污水处理厂三期	15	中国
15	烟台套子湾污水处理厂	15	中国
16	吉林污水处理厂二期	15	中国
17	北京某一污水处理厂	15	中国
18	北京槐房再生水厂	60	中国

化用水。该再生水厂共 2 条工艺流程,并联完成污水的再生处理,其中 2.5 万 m³/d 以“A/A/O+二沉+自清洗过滤器+超滤”为主体处理工艺,另 5.5 万 m³/d 主体处理工艺为“A/A/O/A/O+MBR”。

MBR 车间现场部分照片如图 3 和图 4 所示。该 MBR 工艺处理系统于 2016 年建成投产,经过近两年的生产,运行效果完全达到设计目标。



图 3 膜池车间现场



图 4 膜组件上部管道连接

2.2 运行效果分析

该厂 2.5 万 m³/d 的 A/A/O 工艺生化池 HRT 为 19.5 h,5.5 万 m³/d 的 A/A/O/A/O+MBR 工艺的生化

池 HRT 为 14.65 h,且污泥浓度 MLSS 高达 9 g/L。采用了 MBR 处理工艺后,生化效率相比传统工艺提高了 30%。此外,膜处理工艺在不加或者加入少量碳源的情况下,出水中 TN 在 8 mg/L 以下,去除率高达 85%以上,高于传统脱氮工艺至少 10%,优于设计预期。

2.3 膜的清洗方式

MBR 的清洗分为日常清洗和定期清洗。日常清洗包括水反洗和酸(柠檬酸)碱(次氯酸钠)洗;水反洗 10.5 min 一个周期,其中反洗时间 0.5 min,日常清洗的气洗采用间歇曝气;酸碱洗 15 d 一个周期,碱洗每 2 d 一次,酸洗 15 d 一次,酸碱洗时间每次均为 3 min。定期清洗在膜池内完成,操作程序为放空相应膜池,注入清水,酸碱各浸泡 8 h,每半年一次,定期清洗不需要人工起吊,在工作膜池内完成即可完成,不需另行建造膜清洗池。日常清洗和定期清洗均按照设定程序自动完成。MBR 系统的日常清洗现场照片如图 5 和图 6 所示。



图 5 膜清洗气洗工况图



图 6 膜清洗气洗结束工况图

2.4 膜清洗能耗分析

该厂选择的 MBR 膜,其膜丝强度较大且有韧性,只需要底端固定,就能组装成型,构成稳定完整的膜组件。工作时,除固定于底端的部分膜丝不能摆动外,其余部分象海草一样可在水中自由摆动,离底端越远膜丝摆动幅度越大。这种膜组件不存在顶部污染问题,且可避免污染物在膜丝表面的集聚,减少膜面污堵的发生概率,利于膜表面清洗时污物的脱

除。另外膜组件的中间曝气方式,改变了膜组件下部的曝气方式,极大地提高了曝气擦洗效率,从而较大幅度的减少膜丝擦洗能耗。不同膜组装和曝气方式的区别如图 7 和图 8 所示。

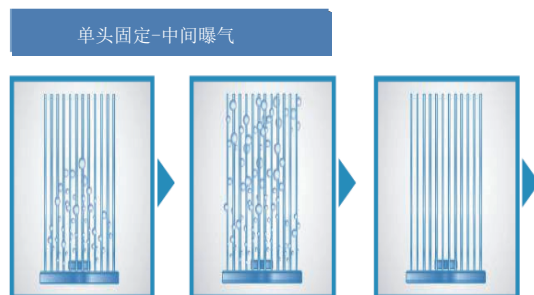


图 7 单头膜固定方式

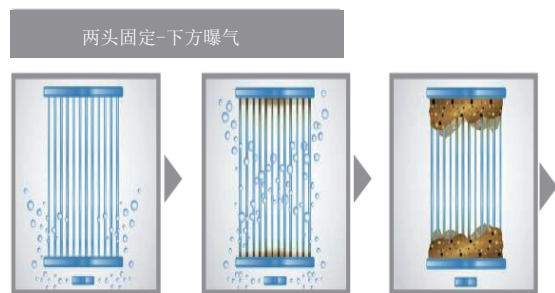


图 8 两头膜固定方式

MBR 工艺能耗较传统工艺增大。但由于该厂日常清洗时空气擦洗为间歇曝气,在一个气洗周期的 122 s 内,仅有 33 s 为曝气时间,用气量只为连续曝气清洗气量的约 1/4;同时,因采用了更易擦洗的单头固定膜组件设计,单位曝气强度也将下降。因此与其它膜工艺采用的连续曝气方式相比,其吨水膜擦洗曝气量及能耗可节省 75%以上。经初步估算,膜系统总能耗约 0.14 kW·h/m³ 水,擦洗风机、抽水泵能耗约各占 46%以上,污泥回流泵能耗占比不到 8%。

2.5 膜性能衰减分析

该厂 MBR 为超滤膜,材质为 PVDF,膜孔径 0.03 μm,过水通量 18.5 L/m²·h。运行近 2 a 后,膜组件维护良好,膜通量累计衰减率低于 10%,膜质保 7 a,预计使用年限不低于 8 a。据了解,其它采用同厂家膜的污水处理厂,经过 5 年半的运行,出水水质稳定,除 TN 外,实际出水稳定达到类 IV 水质标准。可见,膜处理工艺可以保证多年稳定的运行。

3 MBR 工艺在我国的发展趋势

3.1 研发高性能、耐污染的制膜材料

新的合成技术将促进制膜材料的突破,高通量、低跨压、耐污染的 MBR 产品,是膜产业发展的必然趋势。因此,依托膜产业研发能力的提高,可以从根

本上解决降低膜清洗、膜抽吸导致的高能耗问题。

3.2 挖掘 MBR 工艺潜能,促使成本的进一步合理

通过 MBR 更大规模的量产降低生产成本,促进膜产品价格的降低。在优化 MBR 系统节能设计的同时,充分利用生化系统高 MLSS 值的特性、HRT 和 SRT 的分离特性,挖掘微生物协同降解污染物的能力,尤其是硝化菌和反硝化菌同步脱氮的可能潜力,因系统高效处理节省外加碳源成本而产生的经济效益,可以冲抵部分能耗成本,甚至膜更换等成本,促使 MBR 工艺市政污水处理成本的进一步合理。

3.3 探索 MBR 工艺优化途径,克服工艺“水土不服”的问题

传统 A/A/O 工艺优化为多段多级 A/O 工艺,或 A/A/O/A/O 等多级厌氧缺氧工艺,并对设计参数进行优化组合,实现 MBR 工艺的最优处理效能,既符合我国环境治理对污水处理高标准出水要求的国情,又真正做到 MBR 工艺高端装备与高标准出水要求的均衡配置,避免高端产品与低标准出水的错配,克服 MBR 工艺“水土不服”的问题。

3.4 促进再生水利用,推动 MBR 工艺的应用

高标准的出水水质及水资源的实际性匮乏,将促进再生水回用的推广和普及。再生水回用产生的社会、环境、经济价值,客观上带来市政污水处理成本的实际性提高,MBR 投资及使用成本在污水处理全成本的占比,将呈下降趋势。因此,污水处理各类成本的相对变化,特别是膜部分投资和使用成本占比的下降,将逐渐改变整个行业对 MBR“高贵、娇贵、昂贵”的“三贵”印象,重塑市政污水行业对膜的认识,并促进 MBR 工艺的进一步推广和应用。

4 结 论

MBR 工艺单位处理负荷高,脱氮效率高,可节省外加碳源;随着高标准出水要求的严格,MBR 工艺节约药剂所产生的效益将逐渐扩大,其运行成本将越来越接近、甚至低于传统工艺。经过十几年的工程实践,MBR 工艺无论从膜材料、膜组件的制造、膜工艺的工程设计及应用,均取得了巨大的进步。在实际运行中,MBR 系统处理效率高、脱氮能力强,具备硝化与反硝化同步脱氮的处理潜能,与此相关的理论研究和工程实践,正在持续不断的推进。随着工程实践的不断丰富,MBR 工艺将得到进一步推广和应用。

参考文献:

- [1] 刘向荣,简德武,简爽.高排放标准下城镇污水处理厂的提标改造探讨[J].中国给水排水,2010,35(20):19-25.
- [2] 姜利.BIOMEDI 曝气生物滤池在广州某水厂技改工程中的应用[J].给水排水,2016,52(8):20-23.
- [3] 尚玉,吴顺勇,李佳林,等.活性砂滤池在污水处理厂提标改造中的应用[J].设备管理与维修,2016(3):98-99.
- [4] 姚竹君.反硝化深床滤池在城镇污水处理厂提标改造工程中的应用[J].浙江化工,2020(9):38-41.
- [5] 马宏伟,陈雅琼,陈阳.多级 AO-MBR 工艺用于污水处理厂提标扩建工程设计[J].给水排水,2017(6):30-34.
- [6] 王建辉,闫娇,李广,等. MBR 工艺在农村生活污水处理中的研究进展[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2021(2):101-105.
- [7] 刘咪咪.膜生物反应器脱氮除磷工艺在城镇污水处理中的应用研究[D].兰州:兰州大学,2020.
- [8] 张伟.膜生物反应器(MBR)技术研究及其在国内应用现状[J].北方环境,2011(11):192-194.
- [9] 刘议安,王平,冯凯.北京通州河东再生水厂 MBR 工艺的设计与运行研究[J].给水排水,2018(2):15-17.
- [10] 张静,张志渊.MBR 工艺运行优化措施和膜污染控制[J].中国给水排水,2019(6):117-122.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com