

膜生物反应器在全球的市场现状与工程应用

陈福泰, 范正虹, 黄霞

(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, MBR) 的显著优势使其在城市污水和工业废水的处理和回用方面成为一种很有竞争力的选择, 并被视为“最佳实用技术 (Best Available Technology)”, 工程数量和处理规模快速增加与扩大。对 MBR 的全球市场现状进行调研, 总结了 MBR 的工程应用, 并展望了 MBR 的未来。

关键词: 膜生物反应器; 工程应用; 污水处理市场

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2008)08-0014-05

Survey of Global Membrane Bioreactor Market and Engineering Applications

CHEN Fu-tai, FAN Zheng-hong, HUANG Xia

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Membrane bioreactor (MBR) is now being accepted increasingly as a technology of choice in the field of municipal and industrial wastewater treatment and reuse for its prominent advantages. It is considered as a best available technology. Thus the MBR project number is rapidly increased and the installed capacity is becoming larger. A market survey of the global MBR was performed, its engineering applications were summarized, and the future visions of MBR technology were prospected.

Key words: membrane bioreactor; engineering application; wastewater treatment market

作为一种新型高效的污水处理技术,膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, MBR) 日益受到各国研究者的关注。经过几十年的发展,MBR 已在城市污水和工业废水的处理和回用方面成为一种很有吸引力和竞争力的选择,并被视为“最佳实用技术 (Best Available Technology)”。目前,全球 MBR 的市场正在加速成长,工程应用数量和处理规模快速增加和扩大。随着 MBR 技术的日渐成熟,其投资、运行费用不断降低,其未来发展空间将会更加广阔。对 MBR 的市场现状进行了调研,并对其在城市污水和工业废水处理方面的工程应用进行了总结,对未来 MBR 的发展进行了展望,以期对 MBR 的研究和应用提供支持。

1 MBR 全球的市场现状

市场分析指出,当前 MBR 市场正在加速成长,而且这种成长趋势预期会持续 10 年以上。全球 MBR 的市场规模在过去 5 年里增长了一倍,2005 年市场销售额达到 2.17 亿美元。预期到 2010 年,市场规模将会达到 3.6 亿美元^[1]。MBR 市场的发展速度快于污水深度处理设备,也快于其他形式的膜法水处理系统。在欧洲,2002 年包括工业和城市污水处理的 MBR 市场规模为 3 280 万欧元,2004 年则已达到 5 700 万欧元^[2,3]。目前欧洲 MBR 的市场主要集中于德国、意大利、英国、爱尔兰、法国、比利时及荷兰等。未来 7 年中,欧洲 MBR 的市场规模将增长一倍以上^[3]。

目前,全世界投入运行或在建的 MBR 系统已超过 2 500 套。已投入运行的规模最大的 MBR 污水处理工程是位于德国 Kaarst 市的 Nordkanal 污水处理厂,设计平均流量为 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (峰值流量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。在建规模最大的是美国 Brightwater 污水处理厂,设计平均流量为 $11.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,峰值流量为 $14.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ [4]。

20 世纪 90 年代初期,欧洲开始采用 MBR 处理工业废水,而城市污水的处理则于 1996 年开始启动。在 2002 年—2005 年间,欧洲各国应用 MBR 处理污水的工程以每年 70 个以上的数量增加,其中 MBR 用于工业废水处理的有 50 个以上,用于城市污水处理的 MBR 系统有 20 个以上 [5] (见图 1,其中 1998 年前特指 1990 年—1998 年)。美国和加拿大的 MBR 市场在下一个 10 年里也会持续增长,2004 年—2006 年间,美国 MBR 市场的发展速度明显高于其他水工业处理系统。东亚地区也是 MBR 极为重要的市场,中国、日本和韩国均有大量的 MBR 工程应用,截至 2005 年,韩国已有 1 400 多个 MBR 处理装置。我国目前已有多个正在运行和建设中的规模 $\geq 1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 MBR 工程项目,并会在将来 MBR 全球市场发展中占据越来越重要的位置。

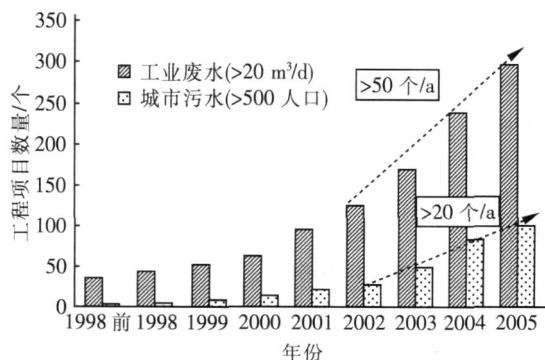


图 1 MBR 在欧洲城市污水和工业废水处理领域的发展情况

Fig 1 Development of MBR in European municipal and industrial wastewater treatment field

目前市场上已经商业化的系统中,大部分为浸没式 MBR。就膜组件来说,主要有中空纤维、平板和管式三种。中空纤维膜组件的主要供应商有三菱丽阳 (Mitsubishi Rayon)、通用泽能 (GE Zenon) 和 Siemens Memcor 等;平板膜组件的主要供应商有久保田 (Kubota)、东丽 (Toray) 和琥珀 (Huber) 等;管式膜组件的主要供应商有诺芮特 Norit X-Flow、Berghof

等。

近几年来,随着并购 (Siemens 并购 US Filter、GE 并购 Zenon、DOW 并购 OMEX、Koch 并购 Purion)、联盟以及许可协议等的出现,MBR 市场变化迅速而复杂。GE Zenon 是全球唯一的既提供膜和交钥匙工程,同时又做给水和废水处理项目的全球性公司,Kubota、Mitsubishi Rayon 和 Norit X-Flow 公司则主要提供膜组件。在欧洲,GE Zenon 已和 Veolia、Ondeo Degremont 及 VA Tech Wabag 公司达成许可协议。Kubota 与美国的 Enviroquip 公司、英国的 Copa 公司、法国的 Stereau 公司以及西班牙的 Hera 公司等达成许可协议。Mitsubishi Rayon 在英国和美国也有类似的许可协议,不过它的业务主要集中在中国、韩国和日本等。

MBR 广泛的应用前景和迅速发展的势头,使得越来越多的研究机构和公司参与进来,大量的科研成果和工程案例提供的理论和经验使得 MBR 处理系统的可靠性进一步得到提高。随着污水排放标准的日益提高、MBR 投资、运行费用的逐渐降低,以及对 MBR 技术信心的不断增强,未来的 MBR 市场具有更强劲、更广泛的增长潜力。因此,MBR 工艺将变得更具竞争力,在全球的应用将会更加广泛,市场份额将会持续增加。

2 MBR 的推广与工程应用

2.1 MBR 在城市污水处理中的应用

随着现代工业的迅猛发展,城市规模不断扩大,城市的用水量和废水排放量持续增加,造成城市水资源日益不足,水质日趋恶化。为解决水资源短缺的问题,许多国家相继开展了污水再生回用的研究,MBR 工艺因其出水水质优良稳定而受到广泛关注 [6]。早期的 MBR 能耗高、通量小、经济性差及膜污染控制技术不完善,使其推广应用受到了限制。随着浸没式 MBR 的出现和膜材料价格的稳步下降,对于城市污水的处理和回用,MBR 已成为一种很有吸引力和竞争力的选择,并逐渐进入大规模商业化的应用阶段。目前,城市污水处理中采用的绝大多数为浸没式 MBR。

在欧洲 MBR 工艺得到了广泛应用。1998 年,欧洲第一个大型 MBR 城市污水处理厂——英国 Porlock 污水处理厂投入运行。1999 年,MBR 工艺被用于德国生活污水的处理,随后采用 MBR 工艺的 B üchel, Rödigen 和 Perthes-en-Gâtinais 污水处理厂

相继投入运行。2004 年,德国 Nordkanal 污水处理厂投入运行,成为目前世界上运行规模最大的 MBR 污水处理厂。荷兰在处理规模为 $240\text{ m}^3/\text{d}$ 的 MBR 中试取得成功后,建造了处理能力为 $18\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ 的 Varsseveld 污水处理厂,并从 2003 年开始投资建设处理能力为 $(6\sim24)\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的 MBR 污水处理厂。截止到 2006 年,欧洲已有 100 多座服务人口 >500 人的 MBR 城市污水处理厂投入运行。

在北美地区,20 世纪 90 年代中期之前,由于能耗较高使 MBR 仅限于小型城市污水厂的应用。随着浸没式 MBR 的出现,MBR 在城市污水处理中的应用得以迅速发展。截止到 2005 年,北美地区已有 219 个 MBR 城市污水处理工程,其中 17 个处理规

模 $>1\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。目前世界上在建规模最大的 MBR 污水处理厂——Brightwater 污水处理厂,位于美国 Washington 地区,预计将于 2010 年投入运行。

日本早在 20 世纪 80 年代就开始了 MBR 的推广应用。日本三井公司采用 MBR 工艺处理大楼的生活污水,出水用作绿化、洗车用水,达到了污水再生利用的目的。目前,日本已建有几百套 MBR 污水处理设施。

我国对 MBR 的应用研究起步相对较晚,但发展迅速,密云污水处理厂再生水厂 ($4.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)、内蒙古金桥污水处理厂 ($3.1\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)、北小河污水处理厂 ($6\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$) 等大型 MBR 污水处理工程相继投入或即将投入运行。

表 1 MBR 在国内外城市污水处理中的应用情况

Tab 1 Application of MBR in municipal wastewater treatment at home and abroad

项 目	膜供应商	处理水量 / ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	投运时间	项 目	膜供应商	处理水量 / ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	投运时间
英国 Porlock	Kubota	1 900	1998 年	美国 Washington	Zenon	117 000 (144 000)	2010 年
英国 Swanage	Kubota	12 720	2000 年	美国 Michigan	Zenon	64 000	2004 年
英国 Lowestoft	Zenon	14 160	2002 年	美国 Georgia	Zenon	56 800	2005 年
英国 Buxton	Zenon	10 627	2004 年	美国 California	Zenon	14 000	2002 年
荷兰 Varsseveld	Zenon	7 200 (18 120)	2004 年	美国 Georgia	Zenon	7 600	2003 年
荷兰 Ootmarsum	Norit X-Flow	1 800	2006 年	美国 Georgia	Zenon	9 400 (19 000)	2002 年
荷兰 Heenvliet	Toray	4 800	建设中	美国 California	Zenon	9 400	2001 年
德国 Kaarst	Zenon	45 000 (50 000)	2004 年	加拿大 Ontario	Zenon	4 100	2001 年
德国 Markranstadt	Zenon	3 600	2000 年	阿曼 Muscat	Kubota	76 000	
德国 Monheim	Zenon	2 400	2003 年	阿联酋 Dubai	Kubota	14 000	
德国 Rodingen	Zenon	2 400	1999 年	阿联酋 Dubai	Kubota	40 000	
法国 Ile de Yeu	Zenon	2 260	2000 年	澳大利亚	Kubota	5 200 (9 200)	
法国 Guilvinec	Kubota	2 600	2004 年	韩国	Mitsubishi Rayon	30 000	2008 年
意大利 Brescia	Zenon	42 000	2002 年	中国·北京密云	Mitsubishi Rayon	45 000	2006 年
比利时 Schilde	Zenon	6 520	2003 年	中国·北京北小河	Memcor	60 000	2007 年
瑞士	Zenon	5 000		中国·内蒙古	Zenon	31 000	2006 年
美国 Delphos	Kubota	44 800					

注: 括号内为峰值流量。

2.2 MBR 在工业废水处理中的应用

相对于城市污水处理,MBR 在工业废水处理中更具竞争力,已经成功用于食品、啤酒、石化、屠宰、医药、垃圾渗滤液等废水的处理。

在欧洲,早期的 MBR 主要用于垃圾渗滤液的处理。20 世纪 90 年代,欧洲有 30 多个 MBR 垃圾渗滤液处理工程投入运行。随着浸没式 MBR 的出现,MBR 的应用范围逐渐扩展到食品、化工、啤酒等其他工业废水的处理。截止到 2006 年,欧洲已有 300

多座处理能力 $>20\text{ m}^3/\text{d}$ 的工业废水处理工程投入运行,平均处理能力为 $180\text{ m}^3/\text{d}$ 。欧洲的工业废水处理市场已趋于成熟,MBR 被视为“最佳实用技术”,其推动力主要来自于欧洲各国和欧盟的法规,以及企业内部废水再生回用的经济效益。按照目前的发展趋势,欧洲每年将新建 50~60 个 MBR 工业废水处理系统。

1991 年,北美第一个外置式 MBR 工业废水处理系统在通用公司 Mansfield 工厂投入运行。随后,

处理各种工业废水的 MBR 系统陆续在美国和加拿大投入运行。截止到 2005 年,北美已建成 39 个 MBR 工业废水处理系统,处理对象主要包括食品、啤酒、化工、医药和汽车生产废水及垃圾渗滤液等。

GE Zenon 是北美工业废水处理中主要的 MBR 供应商。未来在北美地区,MBR 有望在食品加工废水、屠宰废水和垃圾渗滤处理中进一步扩大其应用。与欧洲 MBR 在垃圾渗滤液中的广泛应用相比,北美地区仅有一家 MBR 垃圾渗滤液处理系统。

MBR 在东亚地区工业废水的处理中增长非常迅速。自 20 世纪 70 年代以来,日本已建成了 150 余座 MBR 工业废水处理项目。在中国和韩国,MBR 也开始得到广泛应用。特别是在中国,MBR 已经成功用于食品、石化、印染、啤酒、烟草等工业废水的处理,建设了数个 $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 级的 MBR 工业废水处理工程。这一地区的市场主要为 Kubota 和 Mitsubishi Rayon 所占据。

MBR 在工业废水处理中的应用情况见表 2。

表 2 MBR 在工业废水处理中的应用情况

Tab 2 Application of MBR in industrial wastewater treatment

项 目	膜供应商	处理水量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	废水类型	投运时间
爱尔兰 Kilkenny	Kubota	7 100	工业废水	1999 年
爱尔兰 Kildare	Kubota	1 720	工业废水	
比利时 Sobelgra	Puron	2 000	食品废水	2004 年
荷兰 Tilburg	Toray	1 100	工业废水	2004 年
美国 Black-foot, Idaho	Zenon	5 000	食品废水	2002 年
澳大利亚 Perth	Puron	1 700	食品废水	2006 年
印度 Tamil		5 000	印染废水	2006 年
中国·江苏徐州	Norit X-Flow	2 000	烟草废水	2007 年
中国·天津	Mitsubishi Rayon	4 000	啤酒废水	2006 年
中国·洛阳		4 800	化纤废水	
中国·山西		7 200	煤化工废水	2006 年
中国·慈溪		1 800	晴纶废水	
中国·天津空港	膜天膜	30 000	工业废水	
中国·惠州大亚湾		25 000	石化废水	
中国·海南	Asahi Kasei	10 000	石化废水	

3 未来发展

总体而言,MBR 是水工业发展历程中的一项新技术。相对于传统活性污泥法和 SBR 等工艺而言,它的投资和运行费用较高,但 MBR 工艺能够减少占

地面积,并提供优良的出水水质。特别是后续处理单元采用 RO 等工艺时,其出水水质有着更高的保障性,从而更能显示出 MBR 的优势。

优越的处理性能使 MBR 在工程应用中取得了相当大的成绩,但要在应用中进一步提高竞争力和扩大市场份额,仍面临着诸多挑战,主要体现在以下几方面:

① 提升膜材料和膜组件。进一步开发寿命长、强度好、抗污染、价格低的膜材料,对膜组件的研究应朝着处理能力大、能耗低的方向发展。

② 膜污染及其控制策略。利用分子生物学、显微可视化方法等深入研究膜污染机理,探索更为有效、简便的方法以控制和减缓膜污染的发生与发展。

③ MBR 的经济性。与传统工艺相比,MBR 费用仍偏高,需进一步降低其能耗以增强 MBR 的竞争力,因此需加强对 MBR 经济性的研究(如能耗、清洗费用、劳动力成本等)。

④ MBR 处理规模和应用领域。扩大 MBR 的处理规模和应用领域,尤其是对高浓度污水和难降解废水的处理,解决 MBR 用于大规模工程项目中出现的新问题。

⑤ 膜组件的更换与标准化。除新建项目外,已有 MBR 污水处理项目中膜组件的更换,将进一步拉动 MBR 市场的发展。以每年的市场增长率为 10% (新建项目)、膜组件的平均使用寿命为 5 年计,膜组件的更换最终将占到每年膜销售量的 40%。为进一步降低膜的成本费用,提高 MBR 工艺的经济性和竞争力,有必要对 MBR 的膜组件进行标准化设计。

⑥ 交流平台的搭建。构建膜供应商、科研院所、工程公司和最终用户的交流平台,有助于问题的解决和 MBR 工艺的完善,也利于膜行业的健康发展。欧盟的“MBR-Network”网络平台,国内的中国膜技术网(<http://www.mem-china.cn>)都在朝着该方面发展。

随着更为严格的污水排放标准和减少地下水使用量的要求,将污水处理后回用就显得更加重要;而地表及地下水污染带来的饮用水安全问题也逐渐提上日程,MBR 工艺为此提供了可靠的技术支持和新思路。这些必将促进 MBR 的进一步发展:

① 城市污水的再生回用。MBR 在这方面已

经有不少工程应用。随着处理规模的进一步扩大,大型 MBR 的设计、运行经验需要及时总结,应尽快建立 MBR 处理城市生活污水标准化设计准则;为了保证出水的安全性,MBR 对新型化学物质(EDCs, PPCP 等)的去除,及 MBR + RO (NF) 生产高质量的回用水将会受到更多关注。

② 工业废水的处理与回用。MBR 在各种工业废水处理中将会得到更为广泛的应用。在工业废水处理中,应注意组合工艺的开发和应用,如 MBR + 物化处理工艺、高效菌种 + MBR 工艺等。由于工业废水成分的复杂性,膜污染控制应予以特别重视。

③ 饮用水水源的净化。如微污染水源水净化、地下水脱氮处理等,都是今后值得研究的课题。

参考文献:

- [1] Hanft S Membrane Bioreactor in the Changing World Water Market [R]. US: Business Communications Company Inc, 2006

- [2] Frost and Sullivan MBR: A Buoyant Reaction in Europe [R]. US: Frost and Sullivan, 2003
- [3] Frost and Sullivan European Report: Introduction and Executive Summary [R]. US: Frost and Sullivan, 2005
- [4] Yang Wenbo, Cicek Nazim, Ilg John State-of-the-art of membrane bioreactors worldwide research and commercial applications in North America [J]. J Membr Sci, 2006, 270 (1 - 2): 201 - 211
- [5] Lesjean B, Huisjes E H Survey of European MBR market, trends and perspectives [A]. WA 4th International Membrane Technologies Conference [C]. Harrogate, UK: WA, 2007
- [6] Judd S The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment [M]. London: Elsevier, 2006

电话: (010) 62795275

E - mail: cft@tsinghua. edu. cn

收稿日期: 2007 - 10 - 17

· 技术交流 ·

“三位一体”供排水管网信息系统的应用

杭州高新(滨江)水务有限公司是一家专门从事自来水、污水、雨水处理的现代新型水务企业。2003 年,该公司与中地公司合作,成功开发了“三位一体”的供排水管网信息系统。

1 基本应用

数据管理系统实现了图形与属性相互检索的双向查询功能,通过 GIS 系统提供的阀门关闭方案,可有效控制停水面积,减小影响范围,同时节省现场查找阀门的人力。

2 应用创新

供排水“三位一体”创新式系统将供水、排水、治污、节水等涉水事务实行统一管理、统一配置、统一调度,建立起由“水源—水厂—水龙头—排水—治污”一条龙的管理机制,成功实现了辖区内集中供水、污水统一收集处理。通过供水、污水、雨水管网的一体化管理,实现各子系统数据的共享。

在移动电脑上安装单机版 GIS 系统,可由事故现场人员进行爆管分析操作,解决了原操作的流程多、响应时间长等问题,提高了抢修效率。

针对地形复杂、农村用户多且分散而导致的各类设备维护和管理难的问题,对现场设备进行了编号,并针对其制订相应的身份牌,强化了设备管理。此外,还制定了《GIS 管理办法》、《给排水工程文件验收归档管理办法》等制度,明确了数据的验收标准,建立了一整套完善的数据核对、导入及反馈机制。

3 应用效益

将传统意义上分散管理的自来水、污水、雨水系统集成营业 MIS、监控系统数据,实现数据共享,使公司信息化管理一体化,降低了生产和维护成本。同时规范了辖区内给排水设施的设置,降低了安全隐患,减少了对路面的破坏及对群众生产、生活的影响。

截止到 2006 年底,公司的检漏、水费回收等工作质量有了大幅度提高,产销差率降低 5%,直接经济效益为 220 万元。通过设施养护和设备编号,公司查处违法用水 87 起,直接挽回经济损失近 50 万元,与 2005 年相比,案件处理率同比增长 300%,挽回经济损失同比增长 240%,经济效益显著。

(杭州高新<滨江>水务有限公司 冯 炳)