

环境保护产品技术要求 膜生物反应器

（征求意见稿）

编制说明

1 概述

1.1 任务来源

《关于开展2008年度国家环境保护标准制修订项目工作的通知》（环办函【2008】44号），项目序号349，项目统一编号1374-349，项目名称《环境环保产品技术要求 膜生物反应器》。

承担单位：中国环境保护产业协会（水污染治理委员会）、天津市兴源环境技术工程有限公司。

1.2 编制过程

为了做好该标准的起草工作，编制小组学习了《国家环保局国家环境标准（修）订管理办法》中的编制原则与基本要求，以及制定相关标准的国家标准。在此基础上编制小组广泛收集相关信息，了解了该产品国内外的基本情况、发展趋势以及水平情况等，然后按照国家标准 GB/T 1.1-2000《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写规则》和 GB/T 1.2-2002《标准化工作导则第2部分：标准中规范性技术要素内容的确定办法》的原则进行编写制定起草了《环境保护产品技术要求 膜生物反应器》（征求意见稿）。

2008年9月24日，环境保护部科技标准司在北京主持召开了《环境保护产品技术要求 膜生物反应器》开题论证会，参加论证会的有中国环境保护产业协会水污染治理委员会、机械科学研究院、北京市排水集团、天津工业大学膜天膜工程公司、北京纺织环保中心、中国环科院标准所等单位的专家和代表。与会代表和专家对本标准开题及初稿进行了审查；起草小组根据会议要求对初稿进行了修改，完成了标准的征求意见稿。

2 国内外情况以及发展趋势

2.1 膜生物反应器简介

膜生物反应器（Membrane Bioreactor）为传统活性污泥法与膜分离技术的结合。活性污泥中微生物对原水有机物进行生物降解，达到去除有机物的目的。膜分离单元代替了传统工艺中的二沉池，可大大减小占地面积，而且膜分离可以截留原水中的固体悬浮物、胶体物质等，保证优质而稳定的出水水质。

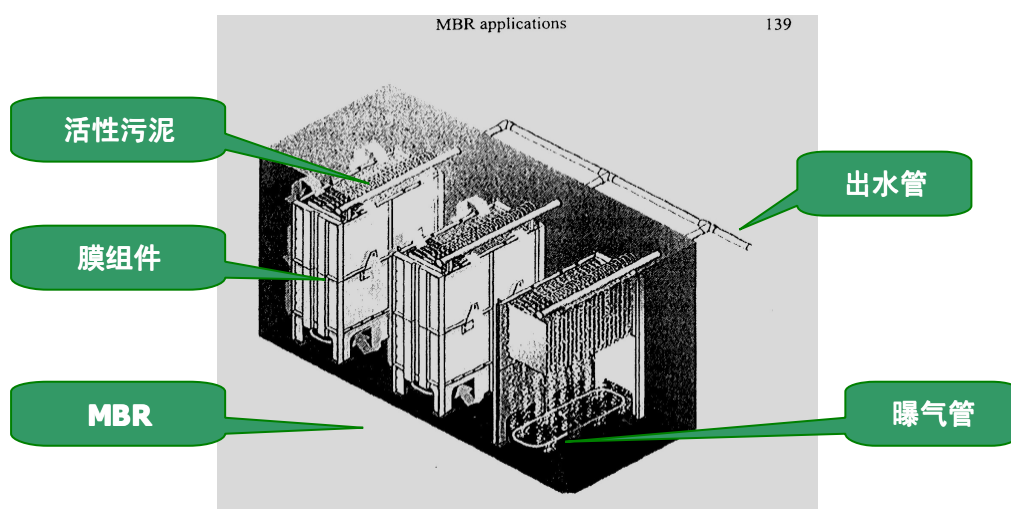


图1 膜生物反应器构造简图

概括起来，膜生物反应器与传统水处理工艺相比有以下优势：

占地面积小，仅为传统工艺的 1/3-1/2。出水水质好，可回用。浊度明显低于传统工艺，对于大肠菌、噬菌体和有毒的微污染物的去除很明显。生物处理单元中污泥浓度高，泥龄长，对有机物去除率高。对于氮磷污染物有较高的去除效果。与传统工艺相比，膜生物反应器产生的剩余污泥量少，降低了对剩余污泥处置的费用。膜生物反应器工艺简单、体积小、运行管理方便、易于实现自动控制。

2.2 膜生物反应器发展历程

膜生物反应器是由膜分离技术与生物反应器相结合的生物化学反应系统。用于水处理的膜生物反应器是一种新型水处理技术。开展膜与生物技术相结合的膜生物反应器技术的研究已经超过 30 年，膜生物反应器的商业应用也超过 20 年。

膜生物反应器最先用于微生物发酵工业。在废水处理领域中的应用研究始于 60 年代的美国。1969 年美国的 Smith 首先报导了活性污泥法和超滤结合，处理城市污水的方法；同年 Dorr-Oliver 发表了用超滤膜与活性污泥法生物反应器相结合处理生活污水的研究，并申报了专利，但当时由于受膜生产技术所限，膜的使用寿命短，水通透量小，使其在投入实际应用中遇到障碍。

1972 年，Shelf 等开始了厌氧型膜生物反应器的研究工作。70 年代后期，日本研究者根据本国国土狭小、地价高的特点对膜分离技术在废水处理中的应用进行了大力开发和研究，使膜生物反应器开始走向实际应用。但直到 1985 年膜生物反应器的研究仍处在基础研究阶段。

进入 80 年代以来，随着膜的开发，膜生物反应器更具实用价值，膜技术在北美、欧洲以及日本得到长足的发展。国际上对膜生物反应器的研究有了较快的进展。1985 年，日本建设省制订了“*Aqua Renaissance 90'*（水综合再生利用系统 90 年代计划）”大型研究计划，把膜生物反应器的研究在污水处理对象及处理规模上都向前大大推进了一步，其内容主要包括新型膜材料的开发，膜分离装置的研究等。法国、美国、澳大利亚等国对膜生物反应器的研究也投入了很大力量。使膜生物反应器的研究内容更加全面而深入，为 90 年代的进一步推广应用奠定了技术基础。总结起来研究的内容大致可分为以下几个方面：（1）探索新的膜生物反应器形式，扩大其适用范围；（2）探求合适的操作条件和工艺参数，尽可能提高膜组件的性能；（3）降低处理工艺的动力消耗；（4）进行机理及数学模型描述的研究；（5）实用化装置的研制。

现在膜生物反应器已成功地应用于市政污水处理回用、生活污水处理、粪便污水处理、垃圾渗滤液、化工废水等废水处理中。随着膜制备技术的进步，MBR 专用膜品种的开发，膜质量的提高和膜制造成本的降低，MBR 的设备投资也会随之降低，MBR 在水处理中的应用范围也将越来越广。膜生物反应器水处理技术的发展和广泛应用将成为生化水处理技术发展史上的又一次飞跃，在未来的水工业技术领域占有重要的位置。

2.3 膜生物反应器国外情况

国外在开发膜生物反应器技术中最有代表性的公司有 Zenon、Kubota、Mitsubishi、AsahiKASEI、X-Flow 公司等。前二者主要提供一体式膜生物反应器，X-Flow 主要进行分置式膜生物反应器技术的推广与运用。此外 AsahiKASEI 也进行了一体式 and 分置式膜生物反应器的工程与运用研究。

Zenon 公司的主导产品有 ZeeWeed 和 ZenoGem。ZeeWeed 采用聚乙烯中空纤维膜，曝气、进水、出水和清洗均采用可编程控制器控制，膜的工作通量约为 40~70 L/m².h，中空纤维膜寿命一般为 4~6 年。其特点之一是膜机械强度高，工作寿命长；其二是设计了水或专用清洗剂的反洗程序。该设备采用了较高的气水比，因而能量消耗较高。Zenon 公司生产的 ZeeWeed 超滤膜已经在 42 个国家 500 多个项目上得到运用。Kubota 公司开发的膜生物

反应器采用聚乙烯板式膜，工作通量约为 20~25 L/m²·h，板式膜的使用寿命可达 7 年。Mitsubishi 采用聚乙烯（PE）材质中空纤维膜，膜孔径 0.4 微米，在高浓度有机废水处理排放、生活污水处理回用等领域已经有众多工程实例。

目前，许多发达国家将膜生物反应器应用于水资源的保护与再利用工程上，有些国家和地区使用该技术处理后的生活污水再经适当深度处理可以直接饮用。目前，由于国外的膜生物反应器研制成本较高，产品造价较昂贵等原因，一定程度上限制了该技术在更广泛的范围内应用，尤其是在发展中国家的推广应用。

截至 2007 年底，全世界投入运行或在建的 MBR 系统已超过 2500 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 4.5×10^4 m³/d（峰值流量为 5×10^4 m³/d）。在建规模最大的是美国 Brightwater 污水处理厂，设计平均流量为 11.7×10^4 m³/d，峰值流量为 14.4×10^4 m³/d。

目前国外厂家主要提供整套膜生物反应器工程，而且膜生物反应器逐渐向着城市污水处理以及大规模化方向发展，很少有公司将膜生物反应器作为一种标准化设备推向市场。因此鲜有公司或政府制定的膜生物反应器产品标准。更多的是将膜生物反应器作为污水处理以及回用过程中的一种水处理工艺。

介绍水界动态的权威杂志“water 21”在 2007 年 4 月版刊物上的最新文献“Europe’s drive to standardise MBRs（欧洲膜生物反应器标准化进程）”指出：到目前为止，膜生物反应器产品都有自己的特殊性，所以想要实现不同技术之间的互换性很难。目前一个欧洲的组织试图形成高度标准化膜生物反应器标准。项目的两个合作方中一方主要负责分析研究不同产品项目替换的潜在可能性；另一方主要负责监测、控制质量方法。项目组亦编制了一份 MBR 标准化白皮书，提出了需进一步讨论的两点，即开发可更换的膜组件及标准化参数制定方法（膜应用、膜堵塞、完整性、膜老化）。这是 MBR 技术在国际领域第一次实施标准化，实施成功后将会为世界上其他国家提供参考。由于此标准化也还在研究过程中，所以世界上尚未有 MBR 现行的标准可供此次编制标准参考。

2.4 膜生物反应器国内应用情况

我国关于膜生物反应器的研究起步较晚，最早开始研究膜生物反应器的有天津大学、清华大学、中国科学院生态环境研究中心等单位。华东理工大学进行了完全混合曝气池与 PE 微孔过滤管系统处理模拟废水的研究。清华大学研究了平板超滤组件、无机陶瓷膜组件与活性污泥系统构成膜生物反应器，以及中空纤维一体式膜生物反应器。中科院生态研究中心进行了膜生物反应器净化石油化工废水的研究。随着研究的深入，也渐渐进入实用化阶段。

由天津大学研究的我国第一代膜生物反应器技术，经国家科技部 2000 年鉴定，达到“国际先进水平”。国内第一台膜生物反应器于 2000 年 8 月在天津投入商业使用，膜材质采用国产聚偏氟乙烯中空纤维膜。

近年，由于该项技术所具有的良好应用前景和巨大的市场潜力，受到了更多研究者的青睐，许多大学、研究所、环保公司也加入到了该项技术的研究开发中。目前国内从事膜生物反应器开发应用的公司有 30 余家，国内的膜生物反应器同时向着大型化和产品化两个方向发展。

国家科技部为了促进膜生物反应器技术的进步，提高国内膜生物反应器研究、运用水平，同时委托开展了 3 个与膜生物反应器有关的 863 研究课题，分别进行跟膜生物反应器相关的膜制造、机理研究、以及产业化与运用的研究，课题在 2005 年 12 月均已经结题。承担课题组长单位分别为浙江大学、清华大学以及天津大学。

随着膜生物反应器技术的发展国内近几年来出现了规模较大的一些膜生物反应器工程实例。如：密云污水处理厂再生水厂（ 4.5×10^4 m³/d）、内蒙古金桥污水处理厂（ 3.1×10^4 m³/d）、北小河污水处理厂（ 6×10^4 m³/d）等大型 MBR 污水处理工程相继投入或即将投入运

行。

2.5 膜生物反应器发展方向

2.5.1 应用的重点领域和方向

现有城市污水处理厂的更新升级，特别是出水水质难以达标或处理流量剧增而占地面积无法扩大的水厂。无排水管网系统的小区，如居民点、旅游度假区、风景区等生活污水的深度处理排放或回用。有污水回用需求的地区或场所，如宾馆、洗车业、客机、流动厕所等可以充分发挥 MBR 占地面积小、设备紧凑、自动控制、灵活方便的特点，实现就地处理、就近回用，节省污水转输费用。适合高浓度、有毒、难降解工业废水处理，如造纸、制糖、酒精、皮革、合成脂肪酸等行业的污染点源。MBR 可以对这些常规处理工艺无法达标的废水进行有效的处理，并实现回用。此外 MBR 对垃圾填埋厂渗滤液的处理及回用也是其重要运用方向之一。

2.5.2 未来的研究重点

低成本、高通量、抗污染、长寿命的膜以及高集成化膜组件的研制和运用，是 MBR 大规模运用的前提和重点，众多膜制造企业在该领域投入了大量的精力。

MBR 工艺流程形式及运行条件的优化。研究开发出应对不同水质的复合膜生物反应器技术，拓展膜生物反应器的运用领域。

研究 MBR 污泥产率与运行条件的关系，以合理减少污泥产量，降低污泥处理费用，也是 MBR 重要研究方向。

对 MBR 工艺经济性进行研究。在适应经济发展水平、膜产品供应状况和规范设计要求的条件下，对 MBR 用于污水处理的最大经济流量进行研究确定。

以节能、处理特殊水质对象、兼具脱氮除磷、操作维护简便、可以长期稳定运行等为目标，开发新型的膜生物反应器。

研究开发系统的 MBR 的工艺设计方法，并在工程实践中加以验证。

MBR 大型化、规模化运用也是该技术的一个重要发展方向，国内外知名的膜生物反应器供应商都在向这个方向努力。

3 编制原则以及主要技术内容

《环保产品技术要求》既是国家环保部实施环保产品制度的技术依据，更是我国环境保护行业开展环保产品质量监督的全行业性的产品技术要求，其编制、起草应遵循产品标准的一般性原则，即要体现政策性、先进性、适用性、协调统一性和规范性原则。因此，技术条件中所规定的技术内容应有利于促进环保产业技术进步；有利于提高环保产品技术水平，特别是环保产品的加工质量水平；既能真实反应我国现阶段产品的技术、质量水平，又能反映该产品的发展方向；有利于提高环境工程应用的工作可靠性等，符合国家产业发展政策。

膜生物反应器因其占地面积小、出水水质好、自动化程度高等优点，被誉为“21 世纪的水处理技术”之一，其市场份额每年在大幅度提升，其在今后污水处理、污水回用领域的主导地位越来越得以充分肯定。

目前膜生物反应器产品尚无相应的国家标准和行业标准，为了保证产品质量，提高产品信誉，经过认真讨论和研究，特制定本产品标准。

本标准规定了膜生物反应器产品的定义、分类与命名、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

3.1 标准名称

膜生物反应器实际上是三类反应器的总称，它们分别为：膜分离膜生物反应器（Biomass Separation Membrane Bioreactor, BSMBR，简称 MBR）；膜一曝气生物反应器（Membrane Aeration Bioreactor, MABR）；萃取膜生物反应器（Extractive Membrane Bioreactor, EMBR）。

人们常说的膜生物反应器是指膜分离膜生物反应器，由于约定成俗，故该标准名称采用“膜生物反应器（Biomass Separation Membrane Bioreactor，BSMBR，简称 MBR）”，特指膜分离膜生物反应器。

3.2 膜生物反应器分类

膜生物反应器的分类方法有多种。按照膜组件和生物反应器的相对位置分为淹没式膜生物反应器（submerged membrane bioreactor，SMBR）和外置式膜生物反应器（side-stream membrane bioreactor，SSMBR）。此外分类方法还有：按照膜过滤动力的提供情况分为重力式和压力式（重力式膜生物反应器在实际运行中没有商业价值）；后者按照泵与膜组件的相对位置分为加压式和抽吸式；按照微生物的生长环境分为好氧式和厌氧式；按照是否跟其他水处理工艺结合分为复合式和单一式。由于按照膜组件和生物反应器的相对位置进行分类是膜生物反应器的主要分类方法，在标准中提到的分类是按照此方法进行分类。

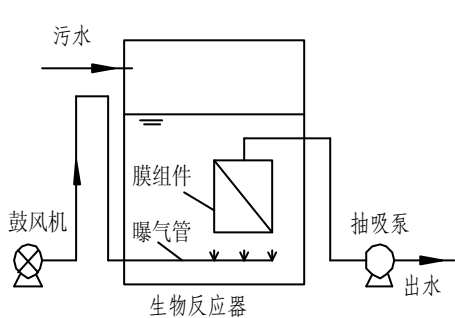


图 2 淹没式膜生物反应器

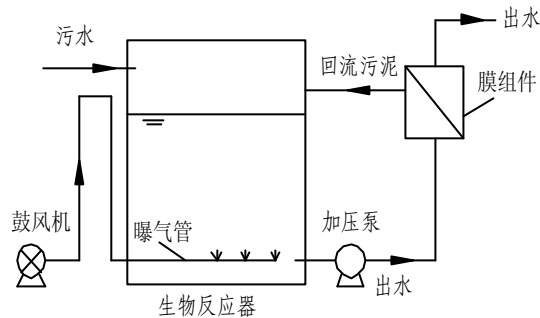


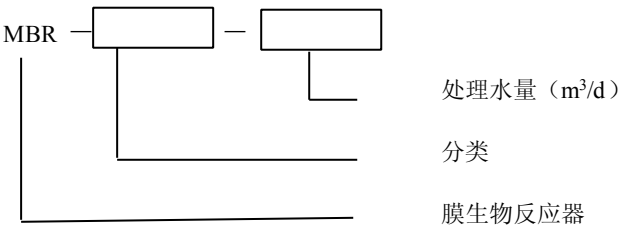
图 3 外置式膜生物反应器

膜生物反应器的规格采用处理规模来分，即日处理水量。由于膜生物反应器用于难降解的工业废水处理以及生活污水的处理回用，根据不同的处理水质，膜生物反应器的运行参数差别很大，很难用其膜面积、膜通量、生物反应器的容积、能耗等来表述其规格，而处理水量是一个很有代表性的规格参数，也被广大的厂商和用户关注，因此采用处理水量作为膜生物反应器的一个主要规格。

3.3 膜生物反应器的命名

膜生物反应器按膜组件和生物反应器的相对位置进行分类，膜组件置于膜生物反应器内部的为淹没式膜生物反应器（submerged membrane bioreactor，SMBR）；膜组件置于膜生物反应器外部的为外置式膜生物反应器（side-stream membrane bioreactor，SSMBR）。

膜生物反应器的型号由膜生物反应器的英文缩写（MBR）、分类的英文缩写（S 代表淹没式膜生物反应器，SS 代表外置式膜生物反应器）和处理水量（m³/d）的阿拉伯数字组成：



示例：MBR—SS—500

表示外置式膜生物反应器，处理水量为 500 m³/d 。

3.4 膜生物反应器组成

膜生物反应器由反应器壳体、膜组件、膜组件清洗装置、水泵、风机、管道、仪表及电气控制等组成。此外为了保持膜通量，需要配备一定的膜组件清洗装置。反应器壳体主要是活性污泥去除污染物质的场所，壳体内可以布置膜组件（淹没式）、曝气管道、出水管道等。膜组件是进行泥水分离的核心部分，其可以置于反应器壳体内部（淹没式），也可以置于反应器外部（外置式）。泵根据膜生物反应器类型不同可以分为抽吸泵（淹没式）、加压泵（外置式）以及公用的药洗循环泵和反洗泵（根据必要配置）。鼓风机为活性污泥提供新陈代谢所需要的空气，并为冲刷膜表面提供气源。自动控制装置及仪表为膜生物反应器的自动运行提供动力及控制。

为了有效保持膜通量，需要配置必要的膜化学清洗、水反冲等膜组件清洗装置，根据需要该装置可以跟膜生物反应器结合成一整套设备，也可以设计成移动式设备，实现一套清洗装置服务多个膜生物反应器装置。清洗方法跟膜的材质、膜的性能、运行环境、污染物类型等密切相关，不同的膜厂家对膜的使用维护均有详细的规定，在此不逐一列举。

膜生物反应器电器控制包括液位控制、曝气控制、膜污染检测预警、进出水控制以及故障报警保护等。

3.5 膜和膜组件的分类

膜生物反应器的膜以及膜组件种类很多，根据膜孔径不同，膜可分为微滤膜、超滤膜、纳滤膜以及反渗透膜。其中以微滤膜以及超滤膜运用较多，纳滤膜、反渗透膜由于操作压力大、抗堵塞性能不好，少用于膜生物反应器。根据膜材质不同可以分为有机膜和无机膜，有机膜有聚烯烃类膜、纤维素衍生类膜、聚酯类膜、聚砜类膜等。无机膜较为常见的有陶瓷膜、金属膜等。根据膜组件型式不同可以分为平板式、管式、螺旋式以及帘式等。

标准推荐膜组件宜采用常用的中空纤维膜、板式膜、管式膜等微滤膜或超滤膜，并对膜孔径和膜通量提出要求。根据过滤孔径分尺寸在 $0.05\sim 2\mu\text{m}$ 间为微滤膜，超滤多在 $0.005\sim 0.1\mu\text{m}$ 间。膜生物反应器多采用微滤膜和超滤膜组件，而主要的膜供应厂家的膜孔径多落在 $0.01\sim 0.4\mu\text{m}$ 间。结合各公司的推荐数值以及运用情况，标准中规定“膜组件宜采用中空纤维膜、板式膜、管式膜等微滤膜或超滤膜，膜孔径为 $0.01\sim 0.4\mu\text{m}$ ，膜通量为 $15\sim 40\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ （淹没式膜生物反应器）或 $40\sim 80\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ （外置式膜生物反应器）。”帘式膜、柱式膜、板式膜适用于淹没式膜生物反应器，柱式膜、管式膜适用于分离式膜生物反应器。

3.6 进出水水质

膜生物反应器是活性污泥技术与膜分离技术的有机结合，用于处理可生物降解的废（污）水，它有一定的适用范围，标准中规定的进水水质限值主要考虑到生活污水以及跟生活污水性能相近的工业废水的水质情况。

调研相关生活污水水质指标，本标准规定膜生物反应器进水中主要污染物浓度的上限如下：

$\text{COD}_{\text{cr}}\leq 500\text{mg/L}$ ； $\text{BOD}_5\leq 300\text{mg/L}$ ； $\text{SS}\leq 150\text{mg/L}$ ； $\text{NH}_3\text{-N}\leq 50\text{mg/L}$ ； $\text{n-Hex}\leq 50\text{mg/L}$ 且 n-Hex （矿物油） $\leq 3\text{mg/L}$ ； $\text{pH}=6\sim 9$ 。

在这种水质情况下膜生物反应器技术可以发挥其专长，易于将污水水质处理到目标值。对于原水水质超出准备之规定的污水，需要对其进行适当的预处理，或按照普通活性污泥法结合经验对膜生物反应器有关工艺参数进行调整，以保证产品性能。如：对于 SS 较大的原水需要采取必要的预处理工艺降低悬浮物含量，这些预处理法有：采用转鼓式格栅、平面格栅、筛分机、以及极细格栅（孔径 1mm ）等机械分离悬浮物；或采用自然沉淀、药剂沉淀、气浮法等去除悬浮物。当水中含有油脂时，随过滤的进行，油脂成份会广泛覆盖膜表面，从而有可能堵塞微细孔，因此原水最好不要含有过多的油脂，在 n-Hex 值（正己烷提取物）超过 50mg/L 的情况下要进行气浮除油，降到 50mg/L 以下。在含有矿物质油的情况下，有可

能对膜产生更恶劣的影响,因此在有矿物质油存在时, n-Hex 值应降到 3mg/L 以下。对于有机物高,可采取增加水力停留时间 HRT,提高 MLSS 浓度等措施来降低 BOD 污泥负荷。

膜生物反应器是一种高效的污水深度处理装置,根据调研结果规定膜生物反应器在满足其进水条件下,出水对 COD、BOD、SS、氨氮的去除效果分别不低于 90%、93%、95%及 90%。且当其出水有回用要求时,其出水水质满足《城市污水再生利用分类》(GB / T 18919—2002)、《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB / T 18920—2002)、《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB / T 18921—2002)、《城市污水再生利用 地下水回灌水质》(GB / T 19772—2005)、《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB / T 19923—2005)、《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》(GB 20922—2007)标准要求。当其出水排放时,应满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中相关要求。

如对出水水质有某项指标有更严格需要,膜生物反应器生产厂家可以加以适当的预处理措施或调整膜生物反应器有关工艺参数满足需要。如总磷有严格要求的场所采取化学方法辅助除磷。

3.7 主要工艺参数值

由于膜生物反应器是膜分离技术与生物处理工艺相结合而构成的污水和废水处理技术,它既有普通活性污泥法的特征,又不完全相同,同时还有膜分离工艺的特性。

对于有机废水的处理,混合液悬浮固体浓度 MLSS、BOD 污泥负荷、水力停留时间 HRT、污泥龄均为比较重要的工艺参数。在活性污泥的条件下,污泥浓度 (MLSS) 过高对膜分离会产生不利影响,且膜通透量与 MLSS 的对数呈线性下降关系。维持生物反应器内较高的污泥浓度,有利于增加基质的去除速率,但由于膜的污染加快,兼顾两者,微生物的适宜浓度为 6000mg/L 左右。混合液溶解性有机物的影响大于 MLSS 的影响,而 MLSS 在 4000~24000mg/L 时,对膜通透量无影响。存在以上不同的观点,主要是由于试验条件不同,同时也由于对膜污染物以及料液性质之间的相关性还缺乏定量的分析和考察。膜面流速并非越高越好,膜面流速的增加使得膜表面污染层变薄,有可能会造成不可逆的污染。以下是不同膜生物反应器厂家商业运行膜生物反应器的工艺参数汇总表:

表 1 膜生物反应器厂家工艺参数

厂家	Kubota	Mitsubishi	X-Flow	GE-Zenon	AsahiKASEI	兴源环境
MLSS (g/L)	10.6~12	8.9~11.6	7.2~10.6	10~11.2	8~15	6~10
COD 负荷 (kgCOD/kgMLSS•d)	0.049~0.1	0.043~0.083	0.063~0.091	0.075~0.11	0.05~0.15 BOD 负荷	0.08~0.15 BOD 负荷
氨氮负荷 (kgN/kgMLSS•d)	0.008~0.009	0.006~0.008	0.006~0.012	0.009~0.012		0.009~ 0.015
过膜压差 TMP (Kpa)		0~-60		7~-70	0~-40	0~-50
膜通量 (L / m ² • h)	设计: 30~40 实际: 20~32.5	设计: 10~20 实际: 20.3~30.6	41.7~60.0	推荐值: 9-13 高峰值: 23.6~41.3	8.3~29	10~12

膜孔径 (μm)	0.4	0.4	0.03	0.035	0.1	0.22
膜材质	chlorinated polyethylene	聚乙烯 (PE)		聚偏氟乙烯 (PVDF) 复合膜	聚偏氟乙烯 (PVDF) 复合膜	聚偏氟乙烯 (PVDF)

根据以上厂家膜生物反应器的运行参数,在本标准中规定**主要工艺参数值,见表2:**

表2 膜生物反应器主要工艺参数值

混合液悬浮固体浓度 (MLSS) mg/L	污泥负荷 kgBOD ₅ / (kgMLSS·d)	水力停留时间 (HRT) h	过膜压差(TMP) kPa
6000~12000	0.05~0.15	2~5	0~50 (淹没式膜生物反应器) 20~500 (外置式膜生物反应器)

表中对膜生物反应器的“混合液悬浮固体浓度”、“BOD 污泥负荷”、“水力停留时间”以及过膜压差”这四项膜生物反应器主要工艺参数提出了推荐值。

各厂家使用的膜生物反应器中混合液悬浮固体浓度范围在 6000-15000mg/L,考虑到高浓度污泥在膜表面产生的浓差极化现象,容易导致膜污染,因此推荐值选用 6000-12000mg/L。而普通活性曝气池污泥浓度为 2000-3000mg/L,生物曝气池为 4000-6000mg/L。

普通活性污泥法 BOD 污泥负荷多在 0.2~0.4 kgBOD₅/ (kgMLSS · d) 间,而膜生物反应器中的活性污泥浓度比普通活性污泥法大几倍,其 BOD 负荷远比普通活性污泥法小。结合各厂家运用实际标准中推荐值为 0.05~0.15 kgBOD/ (kgMLSS · d)。

膜生物反应器生化处理的水力停留时间主要根据污泥浓度、BOD 负荷以及膜组件在膜生物反应器内的布置所占据的空间等因素共同确定。在标准中推荐值是 2~5 小时。其中包含了淹没式膜生物反应器和外置式膜生物反应器两种结构形式。如采用淹没式膜生物反应器就是指其膜生物反应器壳体大小包含了膜组件占据的空间,而采用外置式膜生物反应器时,仅考虑其进行生化反应部分的体积。由于膜厂家众多,其生产的膜组件的材质、结构形式千差万别,选择不同的膜厂家之膜组件组成的膜生物反应器,其外形尺寸均不同,因此很难在标准中对膜生物反应器提出尺寸要求,而选用水力停留时间来表征膜生物反应器的相对大小。当设计选用 MBR 处理可生物降解的工业废水时,若进水水质不在标准规定“膜生物反应器进水中主要污染物浓度的上限”范围内,但又符合生物处理进水水质要求(即可进行生物处理)的情况下,可采用如下公式计算膜生物反应器容积:

(1) BOD—污泥负荷率计算法

$$V = \frac{QSa}{XN_s} \quad (m^3)$$

式中 N_s ——BOD-污泥负荷率

Q ——污水设计流量 m^3/d

S_a ——原污水的 BOD₅ 值 mg/L 或 kg/m^3

X ——池内混合液悬浮固体浓度 (MLSS) mg/L 或 kg/m^3

V ——MBR 池容积 m^3

(2) 污泥龄计算法

由于硝化菌的增殖速率很低，在活性污泥系统中，为了充分进行硝化反应，必须有足够大的污泥龄 θ_c ，所以要求设计污泥龄 θ_c^d 要大于硝化所需的最小污泥龄 θ_c^m ，按经验，取值为：

$$\theta_c = \theta_c^d \geq 3\theta_c^m = \frac{1}{\mu_N}$$

式中： μ_N ——硝化菌比增长速率， d^{-1}

$$V = \frac{Q \theta_c Y (S_a - S_e)}{X_v (1 + K_d \theta_c)}$$

式中： Q ——污水设计流量 m^3/d

θ_c ——设计污泥龄 d

Y ——污泥产率系数

S_a ——原污水的 BOD_5 值 mg/L 或 kg/m^3

S_e ——处理后水的 BOD_5 值 mg/L 或 kg/m^3

X_v ——池内混合液挥发性悬浮固体平均浓度 $mgVSS/L$

K_d ——衰减系数 d^{-1}

V ——MBR 池容积 m^3

其中算法一仅考虑对污水中 BOD 的去除，而算法二则考虑了氨氮的去除。式中的系数需根据经验及实验确定。同时膜生物反应器的相应运行参数也需根据工程实际情况进行调整。

由于膜组件是膜生物反应器核心部分，其使用寿命决定了膜生物反应器的运行成本。根据现有膜生物反应器膜组件的物理寿命以及污堵情况，标准规定应当选择强度高、抗污染、耐老化的膜材质。在正常运行条件下膜的使用寿命不得低于三年。由于膜生物反应器膜组件通量的维持不但需要设计合理的工艺，而且需要有必备的膜组件清洗装置。

过膜压差是衡量膜是否堵塞或其抗污堵能力的一项很重要的指标，考虑到淹没式膜生物反应器的过滤驱动原理是利用水泵抽吸和部分静压共同作用完成过滤的因此规定其过膜压差值为 $0 \sim 50 Kpa$ 。而外置式膜生物反应器是采用水泵加压完成过滤过程，因此其过滤压力较淹没式大，因此过膜压差推荐值在 $20 \sim 500 Kpa$ 。这些规定值是与现有运行的膜生物反应器相符合的。

3.8 试验方法

为便于对膜生物反应器的成品进行质量控制，标准对膜生物反应器的试验方法进行了详细规定，内容涵盖膜生物反应器的尺寸、焊接质量检验、严密性实验、膜组件质量、电气控制保护功能检测、电气安全特性检测、试运行及水质测定等内容。

3.9 贮存

膜生物反应器除膜组件外，其余均为通用设备，其贮存需要满足相关要求。

由于膜的材质型式多样性，膜组件的贮存应参照膜供应商的技术要求。

膜生物反应器成品应在洁净的空间内存放，应防止挤压和碰撞。

3.10 其他

运行环境潮湿，标准对产品中所配套电机设备进行的防护等级进行了规定。

由于膜生物反应器是产品，其检验需要符合相关产品检验要求，标准中对膜生物反应器的检验分类、出厂检验、型式检验、判定规则等作了明确规定。

同时膜生物反应器也是一种技术，它是组件、部件、设备控制系统的结合，因此出厂前需要进行联动试车，在使用现场进行试运行为宜。

由于膜生物反应器是一种新型产品，尚有许多不完善之处，因此仅对膜生物反应器产品的范围、术语与定义、分类与型号、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存等标准内容进行原则性的规定。对其具体设计、加工、安装、调试以及维护运行不做定性规定。待今后膜生物反应器规模化运用后进一步完善。