

环境保护产品技术要求 中空纤维膜生物反应器组器

(征求意见稿)

编制说明

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358，项目名称《环境环保产品技术要求 中空纤维膜生物反应器组器》。

承担单位：中国环境保护产业协会、北京碧水源科技股份有限公司。

2、标准制定的背景和意义、法律及技术依据

2.1 标准制定的背景和意义

2.1.1 国内外发展情况

由于水资源的消耗量增加和自然界淡水资源的短缺，废水的再生利用或回用成为迫切要求。二沉池的排放出水尚无法达到中水回用的标准，所以二沉池出水还需要经过进一步过滤、活性炭吸附、杀菌消毒甚至反渗透等三级处理。这样的工艺太过复杂，并且还有化学处理产生的沉淀污泥有可能成为二次污染源。膜制作技术的进步促进了用超滤或微滤膜取代三级处理以简化工艺过程的尝试，工艺的进一步发展最终促使使用超滤或微滤膜取代二沉池的工艺方法。这时的膜工艺主要为外置式膜生物反应器。在 Hardt 等处理合成废水的好氧膜生物反应器里，采用终端超滤来实现泥水分离，污泥浓度高达 30g/L，是通常好氧系统的 23 倍，膜的水通量为 7.5L/(m²·h)

外置式膜生物反应器工艺的概念为 Dorr-Oliver 公司在 20 世纪 60 年代发展成为商业化的污水处理系统。外置式厌氧膜生物反应器系统的概念在南非得到进一步发展而形成厌氧消化超滤工艺。

外置式工艺需要较高的能耗（2kw·h/m³~10kw·h/m³）。为解决外置式工艺高能耗的缺点，浸没式膜生物反应器被发展起来。在浸没式工艺里，微滤或超滤膜直接浸没于生物反应池，并安置在曝气器的上方，借助曝气流引起的上升的气水混合流擦洗膜表面以去除滤饼层。浸没式工艺采用负压抽吸的方法实现泥水分离。浸没式工艺的能耗主要来自曝气，它占总能耗的 90%以上；而外置式工艺系统中，曝气仅占总能耗的 20%。和外置式工艺相比，浸没式工艺的膜的水通量都较低，因为后者一般在较低压力下运行；但是如果将水通量换算为比膜通量（水通量除以跨膜压差）进行对比，浸没式工艺的比膜通量比外置式工艺高 2~4 倍。

目前，各种工艺的膜生物反应器都有商业化应用，好氧膜生物反应器要比厌氧膜生物反应器更为普遍。

2.1.2 本标准制定的意义

膜生物反应器组器及以其为核心的水处理技术越来越成为污水再生利用、资源化的主要途径，被誉为“21 世纪的水处理技术”之一，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。膜组件单元是构成膜组器的基本元件，是膜组器的核心构件。膜组件的性能、规格、规范将直接影响膜生物反应器的质量及应用，进而影响污水的再生利用。因此进行膜组件生产即是污水再生利用的专项整治工作，也是环境保护的法律法规要求。

目前国内中空纤维微滤膜组件标准仅为 2003 年发布实施的中华人民共和国海洋行业标准《中空纤维微滤膜组件》（HY/T061-2002）。此项标准只规定了一种带外壳的柱形膜组件标准，已不适应市场现状及发展趋势；同时不适应《中华人民共和国水污染防治法》及大规模污水处理的需求。因此为了促进和规范膜组件以及相应的膜生物反应器组器的生产、推广及应用，保证产品质量，易于膜组器的生产及质量控制，便于我国环境保护行业开展环保产品质量监督，须制订新的中空纤维膜生物反应器组器标准。

2.2 标准制订的法律及技术依据

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国污水防治细则》、《国家环保局国家环境标准（修）订管理办法》及相关的国家环保总局实施环保产品制度的其他规定。

在起草过程中依据或参考了下列文件：

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》；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方法》；GB/T20001—2001《标准编写规则》；《环境保护产品技术要求制订技术导则》。

3、主要工作过程

北京碧水源科技股份有限公司接到标准编制任务后，预先查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函，进行广泛调查并征求对制订行业标准的意见，在此基础上组织了标准起草小组，并听取了中国环境保护产业协会的意见，共同制订了工作方案。首先进行标准大纲的编写，之后进行专家讨论对大纲进行修正，接着进行征求意见稿的编写，之后专家讨论征求意见稿，最终完成征求意见稿编写。

4、产品生产概况

4.1 产品生产、应用现状分析

应用膜生物反应器技术处理市政污水是以后污水处理技术的发展方向，其核心膜生物反应器更是有众多跨国企业参与制造研发的行列中，其中PVDF中空纤维微滤膜是2000年研发并开始工程应用的新型有机高分子材料膜，以耐热性好、耐化学稳定性高、耐细菌侵蚀和较高的机械强度等优点而成为用于废水处理的主要膜材料，是目前国外市场的主流膜产品。国外在开发膜组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组器，X-Flow 主要进行分置式膜组器技术的推广与运用。此外 AsahiKASEI 也进行了一体式和分置式膜组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序控制器控制，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 4.5×10⁴ m³/d（峰值流量为 5×10⁴ 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 11.7×10⁴ m³/d，峰值流量为 14.4×10⁴ m³/d。

目前国外主要厂家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。

4.2 产品技术、性能现状及分析

中国 MBR 市场占据 40% 的全球市场份额。但是，目前在中国市场上超过 50% 的工程应用的还是国外膜材料，使用国产膜的工程规模通常不超过 5000m³/day，国产膜材料和膜组器在价格上有优势，但性能方面还有待提高。目前中国市场上主要商业化的 MBR 膜组器及其性能参数如下表 4-1 所示。

表 4-1 膜组器厂家工艺参数

制造商	材料	使用寿命 (年)	膜通量 (L/m ² ·h)	出水浊度 (NTU)	出水悬浮物 (mg/L)
北京碧水源	PVDF	3	20	<1	<2
天津膜天	PVDF	3	10	<1	<1
杭州凯宏	PP	3	5	<0.2	——
山东招金	PVDF	3	10	<0.3	<1
GE 500C	PVDF	5	25	<0.2	<1
Mitsubishi Rayon	PVDF	5	26.7	<0.2	<2
Mitsubishi Rayon	PE	3	12	<0.2	<2
Asahi	PVDF	5	16.7	——	——

(注：由于各调研单位没有反馈数据，以上数据有一部分从其网站上获得)

从表 4-1 可知，目前市场上主流膜材料为 PVDF。该材料相对于 PP、PE 等材料在膜通量、使用寿命等方面有一定优势。国内外绝大多数厂家膜材料膜通量超过 10L/(m²·h)，出水浊度一般小于 1NTU，出水 SS 一般小于 2mg/L。但是经调研发现，在实际运行过程中尤其是应用于参有部分工业废水的市政污水时出水浊度和 SS 一般高于表 4-1 中数据。

4.3 产品发展预测及分析

应用中空纤维膜生物反应器组器的 MBR 工艺虽然有着出水水质好、占地少、污泥量少等优点。但它也存在着一次投资费用高，运行费用较传统工艺高，膜组器折旧费用高等缺点。

因此，膜组器正朝着膜材料寿命长、强度好、抗污染、价格低的方向发展；膜组器也正朝着低能耗，运行费用低的方向发展。

除新建项目外，已有 MBR 污水处理项目中膜组器的更换，将进一步拉动 MBR 的发展，因此有必要使得膜组器像 RO 设备一样进行标准化设计。

5、标准的结构及内容条文说明

5.1. 标准的结构

标准规定了中空纤维微滤膜组器的分类与型号、要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

标准共分 9 章，主要内容为：（1）范围；（2）规范规范性引用文件；（3）术语；（4）分类命名；（5）基本要求；（6）性能要求；（7）试验方法；（8）检验规则；（9）标志、包装、运输、贮存。

5.2. 内容条文说明

5.2.1 型号编制

5.2.1.1 分类的规定:

中空纤维膜生物反应器组器（简称膜组器）的种类繁多，根据膜过滤面积可以分成不同处理规模的膜组器，相同的有效膜过滤面积在不同的应用环境下膜通量会有所不同。因此本标准以膜有效过滤面积进行分类；浸没式膜组器需要长期置于活性污泥中，且膜池一直处于氧充足环境，因此膜框架需要一定的防腐蚀、放锈蚀性能。目前市场上应用的膜组器框架材料主要有碳钢防腐和不锈钢两种材料。其中：

S 是“stainless”的第一个字母；

C 是“carbon”的第一个字母；

5.2.1.2 命名的规定

命名以分类为基础，涵盖分类的主要要素，对膜组器的有效膜过滤面积，膜组器框架材料，改型顺序进行标识。MU 是英文 Membrane Bio-Reactor Unit(膜生物反应器组器)的缩写。

5.3 基本要求

中国环境标志产品标准的制定原则是：获得环境标志的产品必须是质量符合相应的质量标准的产品。对膜组器制造、加工和装配、使用材料进行要求。

5.3.1 中空纤维膜组器通过负压出水，集水管路存在一定的负压，因此出水装置需要有较好的气密性。就目前市场上所应用膜组器调研情况，其运行负压均不超过 60kPa。部分膜组器最大能够承受负压达到 80kPa。为保证系统在特殊情况下也能稳定运行，因此整体系统如果在 100kPa 压力条件下保持 3min 掉压不超过 3kPa，则可认为气密性达到要求。

5.4 性能要求

5.4.1 浊度性能要求

浊度作为水质的一项重要指标，中华人民共和国水力行业标准《再生水水质标准》中对出水浊度要求有严格的限定——浊度小于等于 3NTU。浊度与微生物浊度与微生物指标进行 Spearman 等级相关分析，两者的相关系数为 0.19728 ($P < 0.0001$)。即两者在统计学上存在相关性，且为正相关关系。根据加利福尼亚州“22 条”的规定：膜过滤出水浊度小于 2 必须有 95%的保证率；小于 5 必须有 100%的保证率。根据国内市场上主流膜组器应用情况，限定膜过滤出水浊度小于等于 3 的保证率必须达到 95%。

5.4.2 出水悬浮物浓度性能要求

中华人民共和国国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB181918-2002 中一级 A 标准限定出水悬浮物浓度日均值需小于等 10mg/L；

中华人民共和国城镇建设行业标准《再生水回用于景观水体的水质标准》CJ/T 95-2000 中人体非全身接触限定出水悬浮物浓度日均值需小于等 10mg/L；

中华人民共和国水力行业标准《再生水水质标准》中限定出水悬浮物浓度日均值需小于等 10mg/L。

综合以上标准要求，因此本标准限定膜组器出水水质必须小于等于 10mg/L。

5.4.3 膜通量性能要求

应用膜生物反应器技术建设或改造升级的污水处理厂相对于传统工艺投资稍高，主要是由于膜组器价格较高造成的。因此在一定条件下，膜通量越高相应使用的膜材料面积就越少，成本也就越低。根据表 4-1 所示，国内外绝大多数厂家膜材料膜通量超过 10L/(m²·h)。因此，本标准限定膜组器通量应大于 10L/m²·h。

5.4.4 出水粪大肠菌群性能要求

中华人民共和国国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB181918-2002 中一级 A 标准限定出水粪大肠菌群小于等于 1000 个/L；

中华人民共和国城镇建设行业标准《再生水回用于景观水体的水质标准》CJ/T 95-

2000 中人体非全身接触限定出水大肠菌群小于等 500 个/L;

中华人民共和国水力行业标准《再生水水质标准》中限定出水总大肠菌群小于等于 3 个/L。

美国加利福尼亚州“22 条”的规定：膜过滤出水粪大肠菌群应小于 2.2 个/100mL，即 22 个/L。

活性污泥中所含的微生物有病毒、细菌、真菌和原生生物，其中细菌占其中的绝大多数。细菌的大小大概为 0.1~750 μm 。经调研发现，目前市场上应用的绝大部分膜组器孔径均小于 0.4 μm ，当膜组器至于生物池中时，膜表面会形成一致密过滤层，这也是微滤膜和超滤膜（0.001—0.01 μm ）出水悬浮物浓度接近的原因。因此，活性污泥中绝大部分的细菌能够被截留在反应池中。

综合以上标准及细菌尺寸大小，本标准限定出水粪大肠菌群小于 100 个/L。

5.4.5 使用寿命性能要求

应用膜生物反应器工艺的污水处理厂建设或改造升级工程，膜组器费用占总投资费用比例较高，膜组器折旧费用相应也较高。因此，在一定条件下膜组器使用寿命越长越好。根据表 4-1 数据，本标准限定膜组器使用寿命不能低于 3 年。

5.5 试验方法

为便于对膜组器的成品进行质量控制，本标准对膜组器的试验方法进行了详细规定，内容涵盖膜组器外观、框架、管道、密封性、整机性能、出水浊度、悬浮物固体浓度、膜通量、出水粪大肠菌群个数等内容。

5.6 检验规则

具体规定了出厂检验和型式检验的项目、要求、试验方法和判定规则。明确规定了膜通量、出水浊度、出水悬浮物浓度、出水粪大肠菌群以及使用寿命不符合本标准要求时，视为不合格。

5.7 标志、包装、运输、贮存

根据 GB/T 13306、GB/T 14436、GB/T 9969.1、GB/T 191 的要求，以及产品本身的特点对产品标志、包装、运输、贮存进行了规定。

6、与国际、国外同类标准水平的对比情况

经调研，本产品尚无国际标准

7、国内外工程案例

7.1 法国 Perthes en Gatinais 污水处理厂

该污水处理厂应用 Zeeweed 膜组器，进水为市政污水。工艺流程如下图 7-1 所示，出水水质如下表 7-1 所示

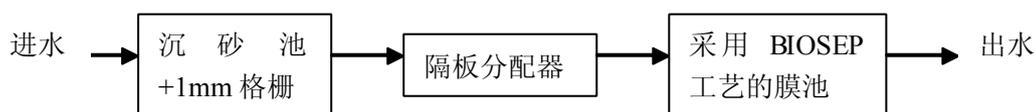


图 7-1 Perthes en Gatinais 污水处理厂工艺流程图

表 7-1 Perthes en Gatinais 污水处理厂出水水质

项目	单位	数值
COD	mg/L	40

BOD	mg/L	5
TSS	mg/L	5
TN	mg/L	10
TP	mg/L	2.5
总大肠杆菌	对数去除率	5

7.2 马萨诸塞州污水处理站

该污水处理站应用Mitsubishi PE膜组器，进水为中生活污水。出水水质如下表7-2所示

项目	单位	数值
BOD	mg/L	<2
TSS	mg/L	<2
细菌总数	CFU/100ml	10

7.3 Park Place 污水处理厂

该污水处理厂应用Memcor膜组器，进水为市政污水。工艺流程如下图7-2所示，出水水质如表7-3所示



图 7-2 Park Place 污水处理厂工艺流程图

表 7-3 Park Place 污水处理厂出水水质

项目	单位	数值
BOD	mg/L	<5
TSS	mg/L	<5
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	1
TKN	mg/L	<10

7.4 比利时 Sobelgra 污水处理厂

该污水处理厂采用PURON膜组器，进水为大麦发酵废水，出水水质如下表7-4所示

项目	单位	数值
COD	mg/L	100~200
BOD	mg/L	2~5
TSS	mg/L	0
TN	mg/L	1~2
TP	mg/L	<1

7.5 北京密云污水处理厂

该污水处理厂采用MitsubishiPVDF膜组器，进水为密云县生活污水和部分工业废水。出水水质如下表7-5所示

项目	单位	数值
COD	mg/L	<40

BOD	mg/L	<5
TSS	mg/L	<5
TN	mg/L	<15
TP	mg/L	<0.5
总大肠杆菌	个/L	<3

7.6 北京怀柔庙城污水处理厂

该污水处理厂应用 AsahiPVDF 膜组器，进水水质为市政污水，出水水质如下表 7-6 所示

项目	单位	数值
COD	mg/L	<30
BOD	mg/L	<5
TSS	mg/L	<5
TN	mg/L	<15
TP	mg/L	<0.1
总大肠杆菌	个/L	<3