



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 20468-5:2021

水再利用系统处理技术绩效评价指南 第 5 部分：膜过滤

Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse
systems—Part 5: Membrane filtration

(ISO 20468-5:2021, IDT)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

20XX – XX – XX 发布

20XX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 3

4 再生水膜过滤技术基础概念 4

 4.1 概述 4

 4.2 膜类型与处理目标 4

 4.3 过滤单元工艺 5

 4.4 膜过滤工艺设计及出厂、到货检测内容 6

5 性能评价的基本原理与通用导则 6

 5.1 概述 6

 5.2 膜过滤工艺的功能性指标要求 6

 5.3 膜过滤工艺的非功能性指标要求 6

6 功能要求的效能评价 6

 6.1 总则 6

 6.2 基于水质的效能评价 7

 6.3 基于工艺的效能评价 7

 6.4 完整性监测 7

7 非功能性要求的效能评价 9

 7.1 总则 9

 7.2 能耗 10

 7.3 药剂消耗 10

 7.4 浓水处置或处理 10

 7.5 固体废弃物处置 11

 7.6 生命周期成本 11

附录 A（资料性） 规格表中的参数示例 12

附录 B（资料性） 推荐数据采集频率 13

附录 C（资料性） 常用化学药剂使用示例 14

参考文献 15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用ISO 20468-5:2021《水再利用系统处理技术的绩效评价指南 第5部分：膜过滤》。与ISO 20468-5:2021相比，本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——术语“通量”定义中的举例内容转成示例的格式；

——指南标准中不能包含要求性条款，将标准中的要求性条款改成陈述性条款。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国节水标准化技术委员会（SAC/TC442）提出并归口。

本文件起草单位：上海城投污水处理有限公司、清华大学、中国标准化研究院、北京碧水源膜科技有限公司、青岛理工大学、中国膜工业协会、北控水务（中国）投资有限公司、北京市节水用水管理事务中心、四川兴澳环境技术服务有限公司、金科环境股份有限公司、武汉盛太环保装备制造有限公司。

本文件主要起草人：王晓鹏、王小仉、陶珺、张蕊、唐琪、冯建勇、孟慧琳、韩梦凡、林虹、刘文恺、段卫军、张涛、于杰、王雪霞、黄福友、黎泽华、吴璨。

引 言

对于市政当局、公用事业部门和再生水用户而言，水回用系统效能评价准则在不损害公众健康且满足水质要求方面发挥着至关重要的作用。ISO 20468-1《水再利用系统处理技术效能评价准则》规定了整个水再利用系统的基本要求，主要侧重于出厂水的水质。在运行水再生系统时，对各个水再生工艺进行效能评价，有助于发出早期预警，使运行人员能够采取应对性措施，避免对公众健康造成不利的影响，并达到最终水质目标。这一举措对以膜法水再生工艺尤为重要，这些工艺通常是去除污水中的主要成分（如颗粒物、溶解性固体和病原体）的最重要屏障。此外，从环境和经济效能的角度制定各个处理工艺的效能评价准则，也有助于对水再生技术做出合理选择的决定，这对水再利用而言至关重要。本文件旨在为利益相关方提供针对膜过滤技术提供典型的效能评价方法。此外，本文件还可为工艺设计人员、水厂管理人员和操作人员参与的水再利用项目的建设和运行工作提供帮助。与ISO 20468-1类似，本文件主要包括膜过滤技术效能评价的功能性和非功能性要求。

本文件是GB/T XXXXX《水再利用系统处理技术绩效评价指南》的第5部分。GB/T XXXXX拟发布以下部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：基于温室气体排放的处理系统性能评价方法；
- 第3部分：臭氧处理技术；
- 第4部分：紫外线消毒。

水再利用系统处理技术绩效评价指南 第5部分：膜过滤

1 范围

本文件为使用膜技术的水再生系统的效能评价方法提供了准则。本文件为膜过滤污水处理工艺产水处的水质保障提供帮助。本文件还为评价膜过滤工艺在水再利用中的环境和经济效能提供了可用的方法。本文件将有助于水厂设计人员、运行人员和最终用户有效设计和操作膜法水再生系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 7027-1 水质 浊度的测定 第1部分：定量方法（Water quality — Determination of turbidity — Part 1: Quantitative methods）

3 术语、定义和缩略语

ISO和IEC在以下地址维护用于标准化的术语数据库：

——ISO 在线浏览平台：可从 <https://www.iso.org/obp> 获取

——IEC Electropedia：可从 <http://www.electropedia.org/> 获取

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

反冲洗 backwash

反转水的流向，使其反向过膜（即从渗透侧流向进水侧），可辅助气体擦洗。

注：用于清除膜上沉积的异物（污染物）。

3.1.2

泡点压力 bubble point pressure

将多孔膜浸入水中，利用空气施加压力到膜的一侧，当该膜的另一侧表面出现第一个气泡时，膜两侧的压力差。

3.1.3

清洗 cleaning

使用膜清洗系统，采用或不采用化学试剂来清洗膜的操作。

示例：反冲洗、冲洗、化学清洗。

[来源：AWWA B110-09]

3.1.4

浓水 concentrate

在错流（3.1.5）模式下从膜组件中流出的被截留液体。

注：由于进水中被膜截留组分的累积，浓水中这些组分的浓度比进水高。

3.1.5

错流过滤 cross-flow

膜组件内料液的流动方向与膜表面平行。

注：膜组件内滤出液的流动方向与膜表面垂直。

[来源：AWWA B130-13]

3.1.6

死端过滤 dead-end flow

膜组件内料液的唯一去向是通过膜。

[来源：ASTM D6161-19]

3.1.7

进水 feed

料液 feed

从膜组件或膜系统入口端进入的溶液。

3.1.8

通量 flux

膜通量，通常用单位时间内通过单位膜表面积的渗透液体积（3.1.17）来表示。

示例：在给定温度下或归一化温度（通常为 20 ℃）下每小时每平方米的渗透液体积（升）。

注：可以表示单位时间内通过单位膜表面积的特定成分的摩尔数、体积或质量。

3.1.9

污染 fouling

由于膜表面或内部堵塞而导致膜通量下降的过程。

[来源：AWWA B130-13]

3.1.10

完整性测试 integrity test

与膜系统的膜截留能力相关联的非破坏性物理检测。

注：旨在确保膜系统不存在物理性缺陷。

3.1.11

膜完整性 membrane integrity

膜在允许水通过的同时，成功截留或保留特定目标成分的相对程度。

3.1.12

膜生物反应器 membrane bioreactor;MBR

将悬浮生长生物处理和膜过滤系统（超滤/微滤膜）相结合的集成污水处理工艺，其中膜取代了传统的二沉池。

注：微滤或超滤膜浸没在生物反应器中（浸没式膜生物反应器）。另一种构型是将压力式膜组件与生物反应器进行外部连接，生物质通过泵在膜组件和生物反应器之间不断循环（外置式膜生物反应器）。

3.1.13

微滤 microfiltration;MF

压力驱动膜分离工艺。

注：旨在去除约0.05至2微米范围内的颗粒物和分子。

[来源：ASTM D6161-19]

3.1.14

截留分子量 molecular weight cut-off

膜对某不带电溶质的截留率为90%时，用该溶质的分子量指示该膜的截留能力。

注1：也被称为标称截留分子量（NMWC0）。

注2：截留分子量通常以道尔顿表示。

[来源：AWWA B130-13]

3.1.15

纳滤 nanofiltration;NF

其膜孔大小能够去除特定盐类和大多数分子量在300道尔顿以上的有机物的错流（3.1.5）工艺。

注1：纳滤（NF）有时也被称为疏松反渗透。

注2：纳滤（NF）是一种压力驱动分离工艺，通过此工艺，大于约2纳米的颗粒物和溶解性分子会被截留。

[来源：ASTM D6161-19]

3.1.16

渗透液 permeate

料液中透过膜的部分。

[来源：ASTM D6161-19]

3.1.17

渗透性 permeability

膜作为屏障允许某物质（即气体、液体或溶质）通过或扩散的能力，也用于度量水透过某微滤膜、超滤膜、纳滤膜或反渗透膜的相对快慢，通常用单位时间内、单位压力下通过单位膜表面积的渗透液体积（3.1.17）表示。

示例：在给定温度下或在校正（归一化）温度下（20℃或25℃）升每平米每小时每巴。

注：也被称为比通量。

[来源：AWWA M53]

3.1.18

孔径 pore size

多孔膜开口的尺寸，用标称值（平均值）或绝对值（最大值）表示，单位通常为微米。

3.1.19

反渗透 reverse osmosis;RO

在半渗透膜料液端施加压力使料液流动并使其中的溶剂克服渗透压差选择性透过该半渗透膜，从而将料液中的一部分与另一部分分离的分离工艺。

注：反渗透（RO）可基于电的和化学的作用力去除离子以及胶体和分子量小至150道尔顿的有机物，也称为高滤。

[来源：ASTM D6161-19]

3.1.20

淤泥密度指数 silt density index;SDI

反渗透系统中水的膜污染能力指数，用206.8千帕（30磅/平方英寸）恒定水压下该水堵塞0.45微米滤膜的速度衡量。

[来源：ASTM D4189-07（2014）]

3.1.21

跨膜压差 transmembrane pressure

膜两侧的水压差（净驱动力）。

[来源：ASTM D6161-19]

3.1.22

超滤 ultrafiltration;UF

使用半透膜在水压差的作用下分离溶液中组分的压力驱动工艺。

注：膜孔的尺寸小于0.1微米，允许溶剂通过，但会主要基于物理尺寸而非化学势截留除离子以外的溶质。

[来源：ASTM D6161-19]

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- BOD: 生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand)
- COD: 化学需氧量 (Chemical Oxygen Demand)
- LCC: 生命周期成本 (Life Cycle Cost)
- MBR: 膜生物反应器 (Membrane Bioreactor)
- MF: 微滤 (Microfiltration)
- MLSS: 混合液悬浮固体 (Mixed Liquor Suspended Solids)
- MWCO: 截留分子量 (Molecular Weight Cut Off)
- NF: 纳滤 (Nanofiltration)
- NTU: 散射浊度单位 (Nephelometric Turbidity Units)
- RO: 反渗透 (Reverse Osmosis)
- SDI: 淤泥密度指数 (Silt Density Index)
- SS: 悬浮固体 (Suspended Solids)
- TMP: 跨膜压差 (Transmembrane Pressure)
- TOC: 总有机碳 (Total Organic Carbon)
- TSS: 总悬浮固体 (Total Suspended Solids)
- UF: 超滤 (Ultrafiltration)

4 再生水膜过滤技术基础概念

4.1 概述

本章梳理再生水领域膜过滤技术的基础理论。膜过滤依靠优异的分​​离性能,可作为物理截留屏障应用于再生水处理,是一套成熟且获得行业公认的可行工艺。现阶段大量再生水工程均采用膜过滤与其他工艺组合的处理路线,实现污水中多类污染物同步去除(见表1)。

表 1 膜类型及目标去除污染物

膜类型	跨膜压力大致范围 MPa	目标去除污染物
微滤	<0.2	粒径0.07 μm~1.0 μm颗粒: 总悬浮固体、浊度; 对原生动物、细菌可实现至少4个数量级的去除, 但无法截留病毒
超滤	0.05~0.5	粒径0.008 μm~0.05 μm物质: 总悬浮固体、浊度、大分子、胶体颗粒; 对原生动物、细菌可实现4个~6个数量级去除, 对病毒可实现1个~6个数量级去除
纳滤	0.5~3	粒径0.001 μm~0.02 μm物质: 农药及其他高分子有机物、色度、胶体、全部类别病原微生物、多价阳离子
反渗透	0.5~7	粒径0.0001 μm~0.002 μm物质: 溶解盐、胶体、低分子量有机物、色度、总溶解固体、一价与多价离子(如氯化物、硫酸盐、硝酸盐、钠离子、硼、金属离子及其他各类离子)

4.2 膜类型与处理目标

膜的主流分类共四类: 微滤、超滤依据膜孔径尺寸划分, 纳滤、反渗透则依据分离性能划分(见表1)。流体透过各类膜的驱动力均为进料侧与渗透侧之间的跨膜压差。

再生水回用工艺中，微滤、超滤膜过滤主要用于去除悬浮颗粒与胶体类污染物。在污水再生处理体系内，微滤/超滤工艺可有效替代生物处理后置单元中的二沉池与介质过滤池。依托优异的颗粒截留性能，二者常作为纳滤、反渗透工艺的预处理单元，以缓解后续膜组件的污染问题。

微滤膜可高效截留悬浮固体、大型病原微生物（细菌、原生动物）及部分病毒；超滤膜标称孔径小于微滤膜，在此基础上还可截留污水中的小分子污染物，例如病毒与大分子有机物。

将微滤/超滤与生物处理工艺耦合形成的组合工艺，称为膜生物反应器工艺。

纳滤、反渗透膜可产出高品质再生水，出水适用于多数工业回用场景，以及存在较高人体接触风险的用水场景。纳滤膜可有效截留重金属等多价离子，以及大部分分子量大于200 Da~300 Da的微量污染物；反渗透膜可截留钠离子、氯离子等一价离子，以及分子量小于200 Da~300 Da的微量污染物。

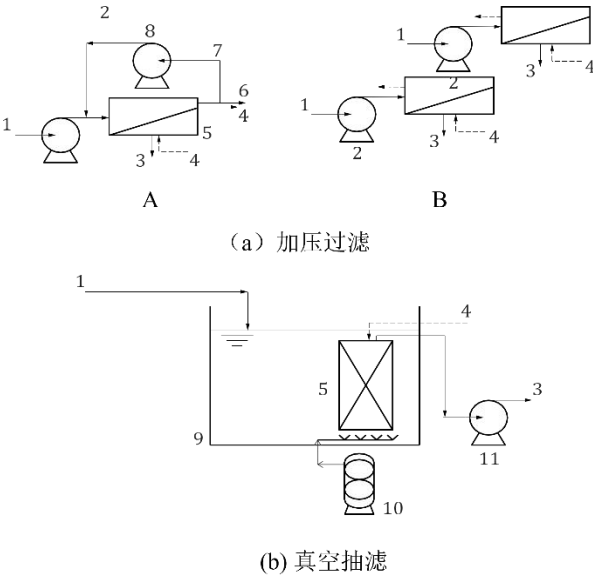
纳滤、反渗透采用卷式膜元件，元件通常装填于压力容器内，整套工艺多为连续运行模式；因此系统必须配置完善预处理工艺以控制膜污染（反渗透进水污染密度指数SDI控制目标通常小于3）。

压力驱动膜处理工艺的后端可增设消毒单元，作为水质安全保障屏障，提升水处理系统的冗余度与运行可靠性。

4.3 过滤单元工艺

膜过滤分为两类：加压过滤与真空抽滤（见图1）。加压过滤体系依靠进料管路配套的增压泵提供过滤所需驱动力；真空抽滤体系则通过渗透侧管路的抽吸泵形成负压，以此产生过滤驱动力。

- a) 加压过滤包含错流过滤和死端过滤两种运行模式。
- 1) 错流过滤：大部分进料流体沿平行于膜表面的方向流动，可冲刷剥离膜表面污染物，有效缓解浓差极化现象。纳滤、反渗透膜的自由孔道孔径极小，且运行过程存在渗透压差，需要较高运行压力，因此几乎所有纳滤、反渗透膜元件均装填于压力容器内，采用压力式错流模式运行。
 - 2) 死端过滤：无横向错流流体，进料流量与渗透液流量相等。微滤、超滤系统会定期采用渗透液、空气或气水联合开展间歇反洗，恢复衰减的膜通量。
- b) 真空抽滤工艺将膜组件浸没于敞口进水池内；膜生物反应器采用真空驱动构型，把微滤或超滤膜布置于曝气池内，依靠渗透侧的真空泵形成压差，提供过滤驱动力。



标引序号说明：
A——错流过滤；
B——死端过滤；
1——进料液；

- 2——进料泵；
- 3——渗透液；
- 4——反洗管路；
- 5——膜组件；
- 6——浓水；
- 7——回流浓水；
- 8——循环泵；
- 9——水池/反应池；
- 10——鼓风机；
- 11——抽吸泵。

图 1 典型膜过滤系统

4.4 膜过滤工艺设计及出厂、到货检测内容

合理选型膜元件是实现再生水回用膜过滤系统优质设计与顺利施工的核心前提。设计人员开展膜过滤系统设计工作前，必须先核验膜产品各项技术参数，包含孔径、纯水渗透率、分离性能，以及膜组件构型、膜材质、运行工况、清洗方案等全套技术资料；膜产品详细技术参数详见附录A。

膜组件/膜元件需在出厂前、现场到货验收阶段、系统调试阶段完成性能核验，核验内容包含膜产品存储条件合规性、产品指标是否符合出厂标准。若存在相关需求，提前规划系统调试前膜元件在现场的合规存储方案。

5 性能评价的基本原理与通用导则

5.1 概述

对膜过滤技术开展性能评价，旨在判定膜过滤工艺能否长期稳定满足规定的膜性能指标要求。本章将膜性能评价的核心指标划分为功能性指标与非功能性指标两类。

各项性能指标需按照标准化试验规程开展评价，规程内容包含水样采集方法、监测手段、辅助数据采集频次与采集方式、资料留存规范及有效数据分析流程，相关详细内容见第6章和第7章。

5.2 膜过滤工艺的功能性指标要求

膜过滤技术的功能性指标核心要求为截留进水中各类污染物，产出深度处理出水，使其符合再生水水质标准。膜过滤工艺的功能性性能评价分为三类：

- a) 基于水质指标的性能评价；
- b) 基于工艺运行工况的性能评价；
- c) 膜完整性检测。

5.3 膜过滤工艺的非功能性指标要求

非功能性指标涵盖环境性能与经济性能两大维度：

- a) 膜过滤工艺的环境性能可通过能耗、药剂消耗量、废液与固体废弃物产生量开展评价；
- b) 膜过滤技术的经济性能可依托全生命周期成本体系进行评估，该体系包含建设投资成本与运行成本。

6 功能要求的效能评价

6.1 总则

水再生的效能评价主要通过对其出厂水（再生水）的水质分析实施，以确保其满足再生水的水质要求。这些要求通常在水处理系统的末端（或再生水厂的出口）予以规定。但是，对工艺单元（如膜过滤）的水质进行监测，可提供更多信心，并对不符合水质要求的情况发出报警。其还可作为早期预警，以识别在出厂水进行常规取样间隔期间可能出现的水质相关问题。

当膜长期使用时，膜组件可能会因物理缺陷或化学变质而损坏。这可能会导致膜分离效能下降，但可能无法通过水质监测反映出来。因此，基于水质分析的效能评价通常会辅以其他效能评价方法，用于在系统运行期间监测膜的完整性。这些辅助方法包括直接完整性监测和间接完整性监测。直接完整性监测是一种准确、可靠的策略，能够在各类需要高品质水的应用中识别出轻微的膜效能衰减。间接完整性监测通过替代参数测量来测定膜的完整性，其灵敏度虽不如直接完整性监测，但可方便地应用于任何类型的膜过滤系统，而无需考虑制造商的规格。其通常可提供在线或实时的膜完整性指示。

为使膜过滤工艺的运行可持续，保留膜系统的设计和运行记录非常重要，以便在故障排除时找到潜在的原因和解决方案。制造商建议的典型数据收集频率示例见附录B。

6.2 基于水质的效能评价

膜过滤工艺中常监测的水质指标见表2。产水浊度是微滤和超滤系统中通常监测的水质指标，用于确保产水水质和膜完整性。通过微滤或超滤，可很容易地将浊度控制在0.1 NTU以下。其他常用水质指标包括pH值和电导率，这些参数通常在使用纳滤和反渗透获取高品质再生水时采用。由于进水中的二氧化碳可渗透到产水中，反渗透产水的pH值通常低于其进水的pH值。电导率监测通常被用作纳滤膜和反渗透膜去除水中离子组分的替代指标。表2中所列的所有水质指标，除大肠菌群和BOD外，均可使用市售在线仪器进行测量。也可以进行人工采样和实验室水样分析。

对膜技术而言，采样点可设在各个膜单元的产水侧，也可设在所有膜单元产水的汇水总管上。除产水外，监测和记录进水水质也是一种常见的做法，这取决于当地要求和工艺效能控制的需要。

表 2 膜过滤工艺中监测的水质指标示例

类别	参数	水再利用系统	
非饮用水再利用的典型监测指标（ISO 20468-1）	浊度 ^a	X	
	埃希氏大肠杆菌 ^b	X	
	BOD	X	
膜过滤工艺中的其他指标	pH 值 ^a	微滤/超滤	纳滤/反渗透
	电导率 ^a	X	X
	TOC ^a	X	X
^a 通常在线监测的指标。			
^b 可根据当地要求使用其它微生物指标。			

6.3 基于工艺的效能评价

为实现膜过滤工艺的稳定运行，需要对膜的运行条件进行监测，以检查是否符合设计范围。需监测的运行条件参数有跨膜压差（TMP）、通量、过滤周期时长和出水温度。

影响膜水力性能的膜污染和膜老化现象，通过监测运行温度或归一化温度下膜的渗透性进行跟踪/控制。膜的渗透性参数根据TMP、通量和水温计算得到。

6.4 完整性监测

6.4.1 直接完整性监测

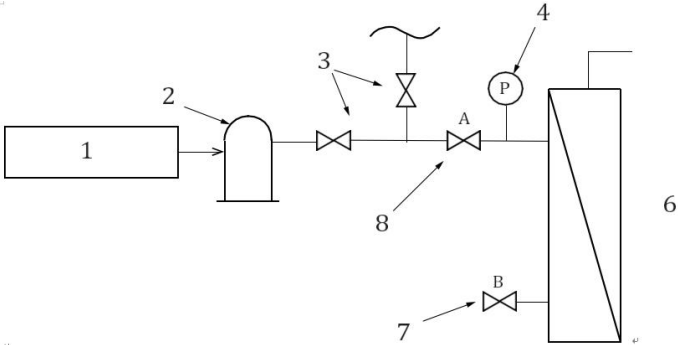
直接完整性监测通过在线或离线的完整性测试进行。其可应用于方案实施的任何阶段（验证、运行和纠正）。

直接完整性监测的效能由分辨率、灵敏度和检测频率三个关键参数决定。

通过直接完整性监测发现显著影响膜效能和水质的缺陷或故障，将损坏的膜组件或单元与整个水再生系统隔离。完整性测试的频率取决于具体情况，需考虑膜的驱动因素和预期性能、间接完整性监测的存在及结果、若存在完整性缺陷时综合考虑完整性测试的灵敏度和整个处理线的效能对再生水水质进行的风险评估。完整性测试可每天一次、每周一次或更低频率进行（视具体情况而定），这主要取决于每座水厂的自身条件。

用于膜法水再生系统直接完整性测试的方法包括三种。

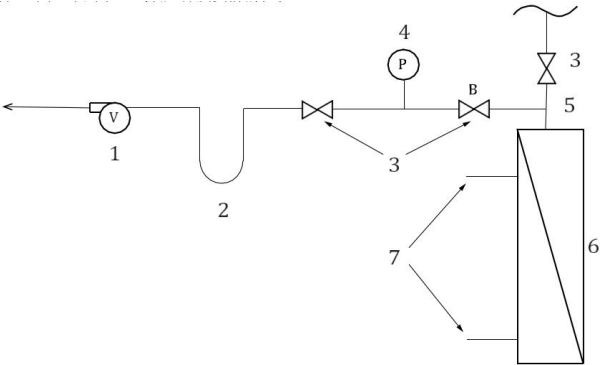
- a) 压力衰减测试：基于对压力损失的测量，其针对膜破损的检测分辨率通常为几微米。压力衰减测试可应用于单个膜组件，也可应用于整个膜组单元。压力衰减测试所需的典型测试配置见图 2。测试前，先将待测膜组件或膜组单元与膜系统其它部分隔离，再排干膜某一侧（进水侧或产水侧）的水。使用压力低于膜泡点的压缩空气对水已排干的一侧加压。测试期间对加压侧的压力进行监测。膜组件上的任何损坏均可通过压力下降速度识别。未损坏的膜在一定时间内的压力损失可忽略不计。该测试可在线或离线进行。



- 标引序号说明：
- 1——压缩空气；
 - 2——气空；
 - 3——隔离阀；
 - 4——压力表；
 - 5——产水连接（与大气连通）；
 - 6——膜组件；
 - 7——浓水出口阀门（打开时进行排水，关闭时进行检测）；
 - 8——进水口阀门（打开时进行加压，关闭时进行测试）。

图 2 压力衰减测试装置示意图

- b) 真空衰减测试：基于对真空度衰减的测量，其针对膜破损的检测分辨率通常为几微米。真空衰减测试所需的典型测试配置见图 3。在膜的一侧抽真空，通过监测真空度的下降速率来检测膜的损坏情况。其通常用于卷式膜元件发货前的检验。



标引序号说明：

- 1——真空泵；
- 2——水阱；
- 3——隔离阀；
- 4——真空计；
- 5——产水集管；
- 6——膜组件；
- 7——进水/浓水连接（与大气连通）。

图 3 真空衰减测试装置示意图

- c) 气泡法检测：用于识别相对较大的膜破损。当出现较大的膜破损时，空气可在低于膜泡点的压力下通过这些破损区域。该测试与较大的膜完整性破坏直接相关，检出后需进一步的诊断测试或更换膜组件。气泡测试所施加的压力（真空度）与压力衰减测试所施加的压力相当。气泡法检测可通过肉眼观察或仪器自动测量来实现，其中自动测量利用光电管检测因气泡导致的折射率差异实现。

6.4.2 间接完整性监测

间接完整性监测是直接完整性监测的一种辅助方法。间接完整性监测是通过监测用于替代膜损伤程度的水质指标来进行；与直接完整性监测相比，间接完整性监测在检测膜完整性的微小变化方面灵敏度较低。通过检测水质指标相对于其基线值的变化，可识别潜在的完整性破坏。水质指标的控制阈值根据再生水的水质要求确定。当被监测的水质指标数值超过控制阈值时，需要启动直接完整性测试进行确认，并采取纠正措施。

目前有许多不同的方法和相关设备可用于连续间接完整性监测，包括颗粒计数、浊度、激光浊度和电导率监测等方法。提供产水中与颗粒物相关组分浓度水平的分析方法（如颗粒物数量和浊度）用于多孔膜（即微滤膜和超滤膜）。测量产水中溶解成分浓度水平的分析方法（如电导率）适用于纳滤/反渗透系统。

水质指标浓度的任何异常上升均可能是膜过滤系统出现缺陷的迹象，进行直接完整性测试，以确定存在膜破损的具体膜组件。用于间接完整性监测的三种最重要的方法如下：

- a) 细颗粒监测：采用传统的在线颗粒计数器，该计数器由基于激光的光散射技术组成，用于计量特定尺寸范围内的颗粒物。使用激光二极管的微颗粒计数器可对水中小至 0.05 μm 的颗粒进行计数和分组；
- b) 浊度监测：采用传统的在线浊度计，该仪器显示样品中散射光的强度。浊度不代表任何可计数的物质，但与水中颗粒物的浓度呈正比关系。使用浊度仪的浊度监测常被用作间接完整性监测的默认方法。浊度监测通常使用符合 ISO 7027 标准的高精度非接触式散射浊度仪；
- c) 电导率或电阻率监测：检测水中离子成分最常用的指标。电导率探头通常直接插入产水主管道中，以实现连续监测。纳滤/反渗透产水的电导率可能因 pH 值和温度等运行条件而变化，但通常还是用于确定纳滤/反渗透膜组件或单元、O 型环和密封件的泄漏点。

7 非功能性要求的效能评价

7.1 总则

膜过滤技术的非功能性要求包括环境效能、经济效能和可靠性。关键的环境和经济性效能指标包括能耗、药剂消耗以及液态和固态废弃物的量。关键的经济效能指标是全生命周期成本（LCC），其中包

括投资成本和运行成本。运行成本包括膜的预期寿命。可靠性是另一个关键的非功能性要求，在ISO 20468-1中介绍。

7.2 能耗

膜过滤的能耗因过滤方式（加压过滤或真空抽滤）而有所不同。两种过滤方式的计算方法如下：

用于评价膜过滤系统效能的能耗指标通常以某代表性时间段（如一年）内生产单位体积的再生水量的能耗表示，再生水产量按公式（1）计算：

$$Ev = \frac{E_{mem}}{V} \quad (1)$$

式中：

Ev ——单位体积的再生水量的能耗，单位为千瓦时每立方米（kWh/m³）；

E_{mem} ——膜系统的能耗，单位为千瓦时（kWh）；

V ——再生水产量，单位为立方米（m³）。

加压式膜过滤

如4.3所述，加压式膜过滤系统可以错流过滤模式或死端过滤模式运行。加压式膜过滤系统的总能耗基本上等于主要动力源（如进水泵、用于错流过滤的循环泵和清洗水泵）的能耗之和。其他一些小型电源，如电动阀、用于气动阀门的空气压缩机、仪表和控制面板也可能需要包括进去。每种类型的膜的主要能耗因素如下。

- 微滤/超滤：进水/循环泵是滤芯式过滤系统的主要能耗项目。考虑反冲洗泵和鼓风机是至关重要的。
- 纳滤/反渗透：需使用高压泵，能耗大。能量回收装置可为高压进水泵从浓水中回收剩余能量。压力交换器（也称为等压装置）有助于减少进水泵的能耗。
- 外压式 MBR：最耗能的设备是用于使混合液悬浮固体在膜面形成错流的进水泵循环泵。
- 真空抽滤式膜过滤：对于真空抽滤式膜过滤系统，主要能耗设备包括用于膜气擦洗的鼓风机和产水抽吸泵。公式（1）也适用于能耗计算。能耗会因进水水质、处理系统构型及运行模式的不同而有很大的差异，这些因素会影响到真空抽滤式膜过滤系统所需的供气量。在真空抽滤式膜生物反应器工艺中，影响能耗的主要因素是用于膜气擦洗和生物处理曝气的鼓风机、污泥循环泵和产水抽吸泵。公式（1）也适用于能耗计算。

7.3 药剂消耗

随着膜过滤的进行，膜会受到污水中物质的污染。污染物包括有机物、无机物和微生物。无法通过反冲洗和气擦洗等定期的物理清洗清除的膜污染称为不可逆膜污染。不可逆污染的累积会导致膜分离性能和水渗透性的下降。通过化学清洗来恢复膜的效能非常重要。

对化学清洗药剂的选择根据污染物的类型、膜污染的程度以及化学药剂的管控、毒性和价格来决定。每种水再生工艺通常使用的化学药剂及使用目的的示例见附录C。膜供应商对化学清洗通常有自己的要求和/或建议。在制定化学清洗方案时遵循厂家的指导很重要。建议对化学清洗前后的膜性质（如水渗透性）进行监测和记录，因为这些参数可用于评价清洗工艺的效率，以及膜的老化程度或使用寿命。

膜清洗的化学药剂用量根据某特定时间段内（如一年）生产单位体积再生水量所用每种化学药剂的体积（升）或重量（千克）来计算和评价。

7.4 浓水处置或处理

需要特别注意的是，在纳滤/反渗透膜用于水再利用时，会产生总溶解固体（TDS）浓度较高的浓水。浓水的处理处置包括排入下水道，蒸发以尽量减少浓水量及采用零排放（ZLD）系统。对浓水的管理取

决于当地的法规和特定条件。当浓水排入下水道时，注意其TDS高的问题。浓水管理的详细可用方案见ISO 23070。

7.5 固体废弃物处置

膜组件/元件由不同类型的塑料或陶瓷材料组成，很难回收利用。使用过的膜组件通常会依照当地法规当作工业废弃物处置。固体废弃物的量可根据膜组件/元件的使用寿命来计算。对于清洗过程中产生的剩余化学药剂和中和废液，最终的处置方案取决于其可生物降解性和毒性。清洗废液可返回生物处理过程，排入下水道，或必要时作为工业废弃物收集处置。药剂的体积/重量将作为废弃物处置评估的依据。化学品的管理取决于当地的法规和特定条件。

7.6 生命周期成本

膜过滤工艺的LCC由投资成本、运行成本和设备折旧构成。膜过滤系统的投资成本涉及土建施工成本、膜组件/单元及其配套管道、仪表和控制系统的采购成本。膜过滤系统的资产折旧通常需要结合通货膨胀率和项目使用寿命期。而运行成本为系统运行所需的成本，如化学药剂、电力、膜更换和人工等成本。膜过滤工艺的LCC是以上所有成本的总和。为了公平比较，LCC除以项目使用寿命期内可回收再利用的再生水体积（即单位为“成本/立方米”）。

膜的使用寿命可根据膜供应商的建议进行计算。膜寿命的计算标准包括但不限于：化学清洗后分离性能的恢复情况和膜的完整性。如果分离性能随运行时长出现大幅降低，则更换膜元件/膜组件。

附录 A
(资料性)
规格表中的参数示例

膜产品详细技术参数见表A. 1。

表 A.1 规格表项目

类别	指标	微滤/超滤	纳滤/反渗透	MBR
水再利用中膜的关键性能	膜孔径或截留分子量	×		×
	脱盐率		×	
	处理后水中的 TDS	×	×	×
	处理后水中的 TSS	×	×	×
	处理后水中的大肠杆菌群	×		×
	处理后水中的其它污染物	×	×	×
	渗透通量	×	×	×
	适用压力	×	×	×
通用规格	膜类型（中空纤维膜、管式膜、平板膜、卷式膜等）	×	×	×
	运行模式（加压过滤或真空抽滤、错流过滤或死端过滤）	×	×	×
	膜材料	×	×	×
	膜表面积	×	×	×
	尺寸（元件/模块和连接件）	×	×	×
	重量	×	×	×
	元件/模块的水压降	×	×	×
	运输/储存条件	×	×	×
	处置方法	×	×	×
推荐运行条件和方法	推荐的水流运行方案（错流或死端）	×	×	×
	推荐的清洗程序	×	×	×
	浊度、BOD、COD 的适用范围	×		×
	进水最大 SDI 值		×	
	进水最高氯浓度	×	×	
	其它进水条件的最大值（如油脂、重金属）	×	×	×
	运行时 MLSS 范围			×
	运行时水温范围	×	×	×
	运行时 pH 值范围	×	×	×
	运行时操作压力范围	×	×	×
	运行时进水流量范围（加压过滤）	×	×	×
	运行时产水流量范围（真空抽滤）	×	×	×
注：本清单适用于所有类型的膜：微滤/超滤、纳滤/反渗透和MBR。				

附录 B
(资料性)
推荐数据采集频率

微滤/超滤推荐数据采集频次见表B. 1。

表 B. 1 微滤/超滤推荐数据采集频次（采用 ASTM D 7285）

	每 8 小时	每日	连续	每月
流量	× ^a	×	×	
压力	×	×	×	
水温	×	×	×	
pH 值	×	×	×	
浊度	×	×	×	
膜的完整性（ASTM D6908）	×	×	×	
注：出现异常情况时，即时进行测量。如果系统未配备自动监控与数据采集（SCADA）系统，每4 h记录一次人工读数。				
*实际采集频次宜根据应用类型和操作人员值守情况确定。				

纳滤/反渗透推荐数据采集频次见表B. 2。

表 B. 2 纳滤/反渗透推荐数据采集频次（采用 ASTM D 4472）

	每 8 小时	每日	每周	每月
流量	× ^a	×	× ^a	×
压力： 进水口和产水口 浓水口	×	×		
水温	× ^a	×		
pH 值	× ^a	×	× ^a	×
电导率：进水口和产水口浓水口	× ^a	× ^a		
SDI、浊度或两者	× ^a	×	×	
朗格利尔饱和指数				
注：出现异常情况时，即时进行测量。				
^a 实际采集频次宜根据应用类型和操作人员值守情况确定。				

附 录 C
(资料性)
常用化学药剂使用示例

常用的化学药剂见表C. 1。

表 C. 1 化学品使用示例

用途	药剂类型	化学品
预处理和后处理	混凝剂	氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铝、聚合硫酸铁
	pH 调节剂	盐酸、氢氧化钠
	消毒剂	次氯酸钠、次氯酸、氯胺
	阻垢剂	硫酸、六偏磷酸钠
化学清洗	酸	硫酸、硝酸、盐酸、柠檬酸
	碱	烧碱（氢氧化钠）
	消毒剂/生物污染控制药剂	次氯酸钠、过氧化氢、次氯酸、氯胺、有机类药剂过乙酸
	其他清洗剂	表面活性剂、螯合剂、酶洗涤剂

参 考 文 献

- [1] CECS152 MBR technical requirement for Environment Protection Product 2003 / China
- [2] ISO 15839:2003 Water quality — On-line sensors/analysing equipment for water — Specifications and performance tests
- [3] ISO 16075-1:2015 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 1: The basis of a reuse project for irrigation
- [4] ISO 16075-2:2015 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 2: Development of the project
- [5] ISO 16075-3:2015 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 3: Components of a reuse project for irrigation
- [6] ISO 16075-4:2016 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 4: Monitoring
- [7] ISO 17381:2003 Water quality — Selection and application of ready-to-use test kit methods in water analysis
- [8] ISO 20468-1 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 1: General
- [9] ISO 20760-1:2018 Water reuse in urban areas — Guidelines for centralized water reuse system — Part 1: Design principle of a centralized water reuse system
- [10] ISO 20760-2:2017 Water reuse in urban areas — Guidelines for centralized water reuse system — Part 2: Management of a centralized water reuse system
- [11] ISO 20761:2018 Water reuse in urban areas — Guidelines for water reuse safety evaluation — Assessment parameters and methods
- [12] ISO 22238 Wastewater reuse — A guideline to wastewater disinfection and equivalent treatments
- [13] ISO 23070 Water Reuse in Urban Areas — Guidelines for reclaimed water treatment: Design principle of an RO desalination system of municipal wastewater
- [14] ISO 24510 Activities relating to drinking water and wastewater services — Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users
- [15] ISO 31000 Risk management — Guidelines
- [16] CWA15897 Submerged Membrane Bioreactor Technology (2008) / EU
- [17] ASTM D1125-14 Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water
- [18] ASTM D1889-00(2007) Standard Test Method for Turbidity of Water
- [19] ASTM D4189-07(2014) Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water
- [20] ASTM D4194-03(2014) Standard Test Methods for Operating Characteristics of Reverse Osmosis and Nanofiltration Devices
- [21] ASTM D4472-08(2014) Standard Guide for Recordkeeping for Reverse Osmosis and Nanofiltration Systems
- [22] ASTM D6161-19 Standard Terminology Used for Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration and Reverse Osmosis Membrane Processes

- [23] ASTM D6698-14 Standard Test Method for On-Line Measurement of Turbidity Below 5 NTU in Water
 - [24] ASTM D6908-06(2010) Standard Practice for Integrity Testing of Water Filtration Membrane Systems
 - [25] ASTM D7285-06(2010) Standard Guide for Recordkeeping Microfiltration and Ultrafiltration Systems
 - [26] AWWA B110-09 Membrane Systems
 - [27] AWWA B130-13 Membrane Bioreactors Systems
 - [28] JAPAN SEWAGE WORKS ASSOCIATION Design Standards for Municipal Wastewater Treatment Plants 2013 / Japan [<http://gcus.jp/wp/wp-content/uploads/2011/10/October-2013-Revised-Design-Standard-of-WWTP2.pdf>] (<http://gcus.jp/wp/wp-content/uploads/2011/10/October-2013-Revised-Design-Standard-of-WWTP2.pdf>)
 - [29] USEPA Membrane Filtration Guidance Manual
 - [30] USEPA Guidelines for Water Reuse 2012
 - [31] USEPA Wastewater Management Fact Sheet Membrane Bioreactors
 - [32] EPA Wastewater Management Fact Sheet Membrane Bioreactors, AWWA / USA
 - [33] AWWA M62 Membrane Applications for Water Reuse
-

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第5部分： 膜过滤》国家标准（征求意见稿）编制说明

一、工作简况

1. 任务来源

本标准由全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）提出并归口，由上海城投污水处理有限公司、中国标准化研究院、清华大学等单位负责组织相关专家共同转化起草。

标准立项信息如下：

项目编号：20256309-T-469

项目名称：水再利用系统处理技术绩效评价指南 第5部分：膜过滤

制、修订：制定

主管部门：国家标准化管理委员会

归口单位：全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）

起草单位：上海城投污水处理有限公司、清华大学、中国标准化研究院、北京碧水源膜科技有限公司、青岛理工大学、中国膜工业协会、北控水务（中国）投资有限公司、北京市节水用水管理事务中心、四川兴澳环境技术服务有限公司、金科环境股份有限公司、武汉盛太环保装备制造有限公司。

2. 制定背景

水是维系自然生态系统运转、保障人类生产生活的核心基础载体，

贯穿生态保护、民生保障与产业发展全过程，水资源稳定供给是区域经济社会可持续发展的重要前提。我国人均淡水资源总量不足，水资源时空分布不均，水资源供需结构性矛盾长期存在。伴随城镇化提速、工业产业扩容与生态治理常态化推进，常规水资源消耗持续增加，区域水资源承载压力加大。同时，污水处置带来水体纳污负担，部分区域水生态退化、水环境脆弱等问题凸显。在此背景下，推进污水再生利用是缓解水资源紧缺、修复改善水生态环境的重要途径，也是构建水资源循环利用体系、实现生态与经济协同可持续发展的关键举措。

当前国际社会已形成水再利用系统绩效评价相关指导性框架，但各国在膜过滤处理技术性能评价的具体指标和测试方法方面存在差异，评价结果可比性有待提升，需要建立统一规范提升评价方法的可实施性。

ISO 20468-5 作为水再利用系统处理技术绩效评价系列标准之一，规定了采用膜技术的再生水系统性能评价方法指南，对保障膜过滤工艺出口出水水质提出指导，同时提供膜过滤工艺环境、经济性能的评价方法，可供工艺设计者、水厂运行人员及终端用户用于膜法再生水系统的设计与运行参考。标准将评价内容划分为功能性、非功能性两类评价要求，覆盖水质评价、工艺运行评价、膜完整性监测、能耗评价、药剂消耗评价、浓水及固废处置评价、生命周期成本评价等关键评价环节，为膜法再生水处理技术规范应用、性能判定与质量管控提供国际通用参考依据。

我国多项政策文件明确部署推进污水资源化利用，为膜深度处理

技术的推广应用与行业标准化建设提供了政策支撑。《关于推进污水资源化利用的指导意见》（发改环资〔2021〕13号）明确提出健全污水资源化利用法规标准，制修订污水资源化利用相关装备、工程、运行等标准。《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》（发改环资〔2021〕827号）部署加强再生利用设施建设，推进污水资源化利用，扩大再生水应用场景与利用规模。膜过滤作为再生水深度处理的主流技术之一，契合我国污水提质增效、污水资源化利用的发展方向。

现行国家标准中，虽已发布再生水工程设计、再生水分级、膜产品及组件检测、污水再生处理工艺通用评价等相关标准，但针对膜过滤系统全过程工程绩效评价的专项国家标准尚缺失。行业缺少专门适用于膜过滤系统的统一评价框架、测试流程与指标判据。及时转化 ISO 20468-5 国际标准形成我国国家标准，可进一步完善我国水再利用标准化体系，为国内再生水膜过滤工程的技术选型、系统性能核验、运行优化、第三方绩效评估提供统一技术依据，助力落实国家污水资源化相关政策，推动膜法再生水技术安全、规范、规模化应用。

（1）膜过滤处理技术绩效评价现状

膜过滤是水再利用实现污水深度净化、保障再生水水质安全的重要处理单元，可有效截留悬浮物、胶体、部分微生物及溶解性物质，在市政再生、工业回用、生态补水等场景得到大规模工程应用。

水再利用全流程中，膜过滤单元运行受进水水质、膜组件选型、运行工况、清洗维护策略等多重因素影响，不同项目的系统处理效能、

能耗药耗、膜寿命差异较大。现行标准体系缺少专门面向水再利用场景的膜过滤处理技术绩效评价统一技术规范。现有膜过滤相关标准（如 GB/T 25279-2022《中空纤维帘式膜组件》侧重膜组件产品技术要求与试验方法、HY/T 0303-2021《中空纤维微滤膜组件细菌截留性能检测方法》聚焦特定功能检测）均主要针对膜组件产品本身；GB 50335-2016《城镇污水再生利用工程设计规范》仅规定工程设计层面原则性条款，均未覆盖水再利用系统中膜过滤处理的全流程系统性能评价，难以实现不同工程系统之间的绩效横向比对、工艺优选与运行水平客观评判。

（2）膜过滤处理技术绩效评价国内外标准体系现状

当前水再利用中膜过滤处理技术应用场景涵盖市政再生水、工业回用水、生态补水等多个领域。膜过滤包含微滤、超滤、纳滤、反渗透等不同工艺类型，系统配置差异较大；预处理方式、运行通量、清洗策略、浓水处理方案各不相同，不同工艺配置的处理效率、产水能力、经济性差异显著，亟需统一的绩效评价方法实现横向对标和工艺优选。

国际层面，ISO 20468-5:2021《Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 5: Membrane filtration》于2021年发布，是ISO 20468系列标准中专门针对膜过滤技术的专项国际标准。该标准统一给出膜过滤处理技术的绩效评价方法指南，明确划分功能性、非功能性两类绩效指标体系；规范了出水水质、膜完整性、工艺运行状态等功能性

绩效评价框架，以及能耗、药剂消耗、固废与浓水处置、生命周期成本等非功能性绩效评价要求，完整覆盖膜过滤处理技术的系统性绩效评价。标准具有方法指引性、指标可量化、适用性广的特点，适用于不同规模、不同膜工艺类型的水再利用膜过滤系统。但该国际标准中的参考案例、部分引用文件基于欧美等国家和地区的工程实践，未完全适配我国膜产品标准体系、电力能耗基准、水质标准体系及国内典型进水工况，无法直接作为国内统一评价依据。

国际标准化组织发布的 ISO 20468-1:2018 为该系列标准的通用框架标准，规定了水再利用系统处理技术绩效评价的通用原则、术语，为膜过滤处理技术绩效评价提供基础支撑；该标准提出水再利用处理技术通用的功能性要求与非功能性要求，但不涉及膜过滤技术的个性化评价指标与实施细则。

世界卫生组织（WHO）2017 年发布《再生水饮用回用：安全饮用水生产指南》、美国 EPA 2012 年发布《污水再生利用指南》、欧盟 2020 年出台再生水农业灌溉法规（EU 2020/741）等文件，均以再生水最终出水水质管控为核心；文件涉及膜过滤工艺内容多为工艺选型参考，并未建立针对膜过滤处理系统完整的绩效评价指标与测试体系。

我国已发布多项与再生水、膜产品相关的国家标准、行业标准，见表 1。

表1 再生水、膜产品相关标准

标准编号	标准名称	主要技术内容
GB 50335-2016	城镇污水再生利用工程设计规范	规定城镇污水再生利用工程总体设计要求，包含膜分离工艺原则性设计条

标准编号	标准名称	主要技术内容
		款，侧重工程设计，不规定系统绩效评价方法。
GB/T 41017-2021	水回用导则 污水再生处理技术与工艺评价方法	规定污水再生处理工艺通用绩效评价框架、指标与流程，仅为通用要求，未针对膜过滤系统制定专项细则。
GB/T 39808-2021	生活饮用水外置式膜过滤系统设计规范	规定生活饮用水外置式膜过滤系统的设计流程、产水量/通量设计、预处理、进水、过滤、产水、清洗、后处理、检测与控制等单元的设计要求。
GB/T 20103-2006	膜分离技术术语	规定膜分离领域通用术语、定义，用于统一概念表述。
GB/T19249-2003	反渗透水处理设备	反渗透水处理设备产品要求、测试检验，针对设备产品，非现场工程系统评价。
HY/T 112-2008	超滤膜及其组件	超滤膜、膜组件产品实验室检测、性能指标，聚焦膜元件产品检测，不针对工程系统运行绩效。
HY/T 233-2018	超滤膜性能检测方法 第1部分：总则	超滤膜产品实验室性能测试通用方法，用于膜元件出厂检测。
HY/T 165-2013	连续膜过滤水处理装置	膜过滤装置产品技术与测试要求，面向设备产品，无工程现场绩效评价内容。

上述现有标准分别覆盖再生水工程设计、工艺通用评价框架、膜材料与膜组件产品检测等不同维度，尚未建立面向水再利用工程现场的膜过滤系统全过程专项绩效评价方法和完整指标体系。

3. 起草过程

（1）预研阶段

2025年9月，上海城投污水处理有限公司、中国标准化研究院、

清华大学等通过资料梳理分析、调研等方式开展相关研究论证，成立编制组，按照《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1—2020)和《标准化工作导则 第2部分：以ISO/IEC标准化文件为基础的标准化文件起草规则》(GB/T 1.2-2020)要求，起草标准草案，并开展标准立项准备工作。

(2) 立项阶段

2025年12月，国家标准化管理委员会标准项目立项申请通过。

(3) 标准起草阶段

2026年1月—7月，成立标准编制组，由上海城投污水处理有限公司牵头，中国标准化研究院、清华大学等科研院所、企事业单位共同成。编制组根据前期调研情况，完成ISO 20468-5:2021英文原版的翻译工作。

2026年8月，各章节负责单位完成标准内容校核，牵头单位完成标准征求意见稿和编制说明等相关材料。

4. 协作起草单位及起草人所做的工作

主要起草人：王晓鹏、王小佺、陶琚、张蕊、唐琪、冯建勇、孟慧琳、韩梦凡、林虹、刘文恺、段卫军、张涛、于杰、王雪霞、黄福友、黎泽华、吴璨。

主要起草单位：上海城投污水处理有限公司、清华大学、中国标准化研究院、北京碧水源膜科技有限公司、青岛理工大学、中国膜工业协会、北控水务(中国)投资有限公司、北京市节水用水管理事务中心、四川兴澳环境技术服务有限公司、金科环境股份有限公司、武

汉盛太环保装备制造有限公司。

本标准各主要起草单位发挥自身专业领域与业务优势，各司其职、协同配合，共同完成标准编制全流程各项工作任务，具体分工如下表 2 所示。

表2 参编单位具体工作分工

序号	起草单位	单位类型	负责章节	核心职责
1	上海城投污水处理有限公司	企业	全文统筹、校核标准	1. 统筹协调起草组各项工作，制定起草工作计划，组织召开起草工作会议；2. 牵头完成标准总体框架搭建、国际标准内容转化及全文整合；3. 统筹全流程标准转化，包括标准文本翻译、校对审核与报批材料整合；4. 负责意见征集、汇总处理及标准修改完善工作；5. 牵头编制标准编制说明、意见汇总处理表等相关材料；6. 对接主管单位、技术委员会，汇报工作进展，协调解决起草过程中的重大问题；7. 负责标准报批相关材料的整理、报送工作。
2	中国标准化研究院	科研机构	第 1-3 章节	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核第 1 章范围；4. 翻译校核第 2 章规范性引用文件；3. 翻译校核第 3 章术语和定义及缩略语，主要包括 3.1 术语和定义和 3.2 缩略语列表。
3	清华大学	高等院校	第 4-5 章节	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核第 4 章再生水膜过滤技术基础概念，主要包括 4.1 概述、4.2 膜类型与处理目标、4.3 过滤单元工艺和 4.4 膜过滤工艺设计及出厂、到货检测内容；4. 翻译校核第 5 章性能评价的基本原理与通用导则，主要包括 5.1 概述、5.2 膜过滤工艺的功能性指标要求和 5.3 膜过滤工艺的非功能性指标要求。
4	北控水务（中国）	企业	第 6 章节	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核

	投资有限公司			第 6 章功能要求的效能评价，主要包括 6.1 总则、6.2 基于水质的效能评价、6.3 基于工艺的效能评价和 6.4 完整性监测。
5	北京碧水源膜科技有限公司	企业	第 7 章节	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核第 7 章非功能性要求的效能评价。
6	四川兴澳环境技术服务有限公司	企业	附录及参考文献	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核附录 A 规格表中的参数示例；4. 翻译校核附录 B 推荐数据采集频率；5. 翻译校核附录 C 化学品使用示例。
7	青岛理工大学	高等院校	附录及参考文献	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核附录 A 规格表中的参数示例；4. 翻译校核附录 B 推荐数据采集频率；5. 翻译校核附录 C 化学品使用示例。
8	中国膜工业协会	行业协会	前言、引言	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核前言、引言部分内容；4. 校核膜过滤相关术语与定义；5. 校核膜过滤相关技术参数。
9	北京市节约用水管理事务中心	行政机关	前言、引言	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 翻译校核前言、引言部分内容；4. 校核膜过滤相关术语与定义；5. 校核膜过滤相关技术参数。
10	金科环境股份有限公司	企业	校核全文	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 校核全文内容。
11	武汉盛太环保装备制造有限公司	企业	校核全文	1. 协助牵头单位开展标准总体框架搭建及国际标准内容转化；2. 协助完成标准全文专业翻译、语言润色与表述规范化；3. 校核全文内容。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据，修订国家标准时，还包括修订前后技术内容的对比

1. 编制原则

本标准的编制主要依据《关于推进污水资源化利用的指导意见》《节约用水条例》《水污染防治行动计划》《关于加强非常规水源配置利用的指导意见》《国家节水行动方案》《城镇节水工作指南》《关于将非常规水源纳入水资源统一配置的指导意见》等制度文件。

本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》和 GB/T 1.2—2020《标准化工作导则 第2部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则》的规定起草。本标准应具有科学性、先进性、系统性和可行性，同时标准要具有普适性、操作性、规范性。

2. 标准主要内容与技术指标的确立依据

（1）范围

本文件为使用膜技术的水再生系统的效能评价方法提供了准则。本文件为膜过滤污水处理工艺产水处的水质保障提供帮助。本文件还为评价膜过滤工艺在水再利用中的环境和经济效能提供了可用的方法。本文件将有助于水厂设计人员、运行人员和最终用户有效设计和操作膜法水再生系统。

本文件涵盖膜过滤的系统构成（膜类型、过滤单元工艺、膜过滤工艺设计等）、功能性绩效评价（基于水质指标的性能评价、基于工艺运行工况的性能评价、膜完整性检测）和非功能性绩效评价（环境性能、经济性能）等核心内容。

（2）规范性引用文件

本文件引用了多领域核心标准，构建了完整的技术支撑体系。

引用了术语类标准 ISO 20670:2023 水再生利用术语 (Water reuse—Vocabulary), 确保关键概念在行业内认知统一, 避免歧义。

(3) 术语和定义

条文 3.1.1 反冲洗 (backwash)

反转水的流向, 使其反向过膜 (即从渗透侧流向进水侧), 可辅助气体擦洗。

条文 3.1.2 泡点压力 (bubble point pressure)

将多孔膜浸入水中, 利用空气施加压力到膜的一侧, 当该膜的另一侧表面出现第一个气泡时, 膜两侧的压力差。

条文 3.1.3 清洗 (cleaning)

使用膜清洗系统, 采用或不采用化学试剂来清洗膜的操作。例如反冲洗、冲洗、化学清洗。来源 AWWA B110-09《膜系统》

条文 3.1.4 浓水 (concentrate)

在错流 (3.1.5) 模式下从膜组件中流出的被截留液体。由于进水中被膜截留组分的累积, 浓水中这些组分的浓度比进水高。

条文 3.1.5 错流过滤 (cross-flow)

膜组件内料液的流动方向与膜表面平行。来源 AWWA B130-13《膜生物反应器系统》

注: 膜组件内滤出液的流动方向与膜表面垂直。

条文 3.1.6 死端过滤 (dead-end flow)

膜组件内料液的唯一去向是通过膜。来源 ASTM D6161-19《微滤、超滤、纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

条文 3.1.7 进水/料液 (feed)

从膜组件或膜系统入口端进入的溶液。

条文 3.1.8 通量 (flux)

膜通量，通常用单位时间内通过单位膜表面积的渗透液体积 (3.1.17) 来表示，如：在给定温度下或归一化温度（通常为 20 °C）下每小时每平方米的渗透液体积（升）。它也可以表示单位时间内通过单位膜表面积的特定成分的摩尔数、体积或质量。

条文 3.1.9 污染 (fouling)

由于膜表面或内部堵塞而导致膜通量下降的过程。来源 AWWA B130-13《膜生物反应器系统》

条文 3.1.10 完整性测试 (integrity test)

与膜系统的膜截留能力相关联的非破坏性物理检测，旨在确保膜系统不存在物理性缺陷。

条文 3.1.11 膜完整性 (membrane integrity)

膜在允许水通过的同时，成功截留或保留特定目标成分的相对程度。

条文 3.1.12 膜生物反应器 (membrane bioreactor; MBR)

将悬浮生长生物处理和膜过滤系统（超滤/微滤膜）相结合的集成污水处理工艺，其中膜取代了传统的二沉池。

注：微滤或超滤膜浸没在生物反应器中（浸没式膜生物反应器）。另一种构型是将压力式膜组件与生物反应器进行外部连接，生物质通过泵在膜组件和生物反应器之间不断循环（外置式膜生物反应器）。

条文 3.1.13 微滤 (microfiltration; MF)

压力驱动的膜分离工艺，旨在去除约 0.05 至 2 微米范围内的颗粒和大分子。来源 ASTM D6161-19 《微滤、超滤、纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

条文 3.1.14 截留分子量 (molecular weight cut-off)

膜对某不带电溶质的截留率为 90% 时，用该溶质的分子量指示该膜的截留能力。它也被称为标称截留分子量 (NMWCO)，截留分子量通常以道尔顿表示。来源 AWWA B130-13 《膜生物反应器系统》

条文 3.1.15 纳滤 (Nanofiltration; NF)

其膜孔大小能够去除特定盐类和大多数分子量在 300 道尔顿以上的有机物的错流 (3.1.5) 工艺。纳滤 (NF) 有时也被称为疏松反渗透，纳滤 (NF) 是一种压力驱动分离工艺，通过此工艺，大于约 2 纳米的颗粒物和溶解性分子会被截留。来源 ASTM D6161-19 《微滤、超滤、纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

条文 3.1.16 渗透液 (permeate)

料液中透过膜的部分。来源 ASTM D6161-19 《微滤、超滤、纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

条文 3.1.17 渗透性 (permeability)

膜作为屏障允许某物质 (即气体、液体或溶质) 通过或扩散的能力，也用于度量水透过某微滤膜、超滤膜、纳滤膜或反渗透膜的相对快慢，通常用单位时间内、单位压力下通过单位膜表面积的渗透液体积 (3.1.17) 表示，如：在给定温度下或在校正 (归一化) 温度下 (20 °C

或 25 °C) 升每平米每小时每巴。它也被称为比通量。来源 AWWA M53
《饮用水微滤和超滤膜》

条文 3.1.18 孔径 (pore size)

多孔膜开口的尺寸, 用标称值 (平均值) 或绝对值 (最大值) 表示, 单位通常为微米。

条文 3.1.19 反渗透 (reverse osmosis; RO)

一种分离工艺, 即在半渗透膜料液端施加压力使料液流动并使其中的溶剂可克服渗透压差选择性透过该半渗透膜, 从而将料液中的一部分与另一部分分离。反渗透 (RO) 可基于电的和化学的作用力去除离子以及胶体和分子量小至 150 道尔顿的有机物, 也可称为高滤。来源 ASTM D6161-19《微滤、超滤、纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

条文 3.1.20 淤泥密度指数 (silt density index; SDI)

反渗透系统中水的膜污染能力指数, 用 206.8 千帕 (30 磅/平方英寸) 恒定水压下该水堵塞 0.45 微米滤膜的速度衡量。来源 ASTM D4189-07《水的淤泥密度指数 (SDI) 标准测试方法》

条文 3.1.21 跨膜压差 (transmembrane pressure)

膜两侧的水压差 (净驱动力)。来源 ASTM D6161-19《微滤、超滤、纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

条文 3.1.22 超滤 (ultrafiltration; UF)

使用半透膜在水压差的作用下分离溶液中组分的压力驱动工艺。膜孔的尺寸小于 0.1 微米, 允许溶剂通过, 但会主要基于物理尺寸而非化学势截留除离子以外的溶质。来源 ASTM D6161-19《微滤、超滤、

纳滤和反渗透膜工艺用标准术语》

3.2 缩略语列表

本节汇总标准全文高频使用缩略语，同步标注中英文全称，统一全文缩写表述。其中 BOD、COD、SS、TOC、TSS、NTU、MLSS 分别为生化需氧量、化学需氧量、悬浮固体、总有机碳、总悬浮固体、浊度、混合液悬浮固体，为水质指标的标准化缩写；MF、UF、NF、RO 分别为微滤、超滤、纳滤、反渗透，为膜过滤的类型；LCC、MWC0、TMP 分别为生命周期成本、截留分子量、跨膜压差，为膜过滤的性能评价指标。

(4) 再生水膜过滤技术基础概念

条文 4.1 概述

本条文为第 4 章统领性条款，梳理膜过滤技术的基础理论，明确膜过滤依靠优异的分离性能，可作为物理截留屏障应用于再生水处理，是一套成熟且获得行业公认的可行工艺。

条文 4.2 膜类型与处理目标

本条文根据膜孔径尺寸、分离性能将膜类型分为微滤、超滤、纳滤和反渗透，明确不同膜类型对应的跨膜压力范围、去除污染物的粒径范围和适用范围。其中微滤跨膜压力 $< 0.2 \text{ Mpa}$ ，可去除粒径 $0.07 \sim 1.0 \text{ }\mu\text{m}$ 的总悬浮固体、浊度；超滤跨膜压力 $0.05 \sim 0.5 \text{ Mpa}$ ，可去除粒径 $0.008 \sim 0.05 \text{ }\mu\text{m}$ 的总悬浮固体、浊度、大分子、胶体颗粒；纳滤跨膜压力 $0.5 \sim 3 \text{ Mpa}$ ，可去除粒径 $0.001 \sim 0.02 \text{ }\mu\text{m}$ 的农药及其他高分子有机物、色度、胶体、全部类别病原微生物、多价阳离子；反渗透跨膜压力 $0.5 \sim 7 \text{ Mpa}$ ，可去除粒径 $0.0001 \sim 0.002 \text{ }\mu\text{m}$ 的溶

解盐、胶体、低分子量有机物、色度、总溶解固体、一价与多价离子。

本条文明确微滤、超滤膜过滤主要用于去除悬浮颗粒与胶体类污染物，可有效替代生物处理后置单元中的二沉池与介质过滤池，常作为纳滤、反渗透工艺的预处理单元；纳滤、反渗透膜可产出高品质再生水，出水适用于多数工业回用场景，以及存在较高人体接触风险的用水场景。

条文 4.3 过滤单元工艺

本条文对膜过滤工艺进行分类，分为加压过滤与真空抽滤。其中加压过滤包含两种运行模式：错流过滤与死端过滤。

条文 4.4 膜过滤工艺设计及出厂、到货检测内容

本条文明确膜过滤系统设计的关键技术参数，包括孔径、纯水渗透率、分离性能，以及膜组件构型、膜材质、运行工况、清洗方案等。本条文明确膜组件/膜元件需对存储条件合规性、产品指标进行性能核验。

（5）性能评价的基本原理与通用导则

条文 5.1 概述

本条文为第 5 章统领性条款，明确膜性能评价的核心指标划分为两类：功能性指标与非功能性指标。本条文明确各项性能指标评价的标准化试验规程包括水样采集方法、监测手段、辅助数据采集频次与采集方式、资料留存规范及有效数据分析流程。

条文 5.2 膜过滤工艺的功能性指标要求

本条文明确膜过滤技术的功能性指标核心要求为截留进水中各

类污染物，产出深度处理出水，使其符合再生水水质标准。将膜过滤工艺的功能性性能评价分为三类：基于水质指标的性能评价、基于工艺运行工况的性能评价和膜完整性检测。

条文 5.3 膜过滤工艺的非功能性指标要求

本条文明确膜过滤技术非功能性指标涵盖环境性能与经济性能两大维度。明确环境性能可通过能耗、药剂消耗量、废液与固体废弃物产生量开展评价；经济性能可依托全生命周期成本体系进行评估，该体系包含建设投资成本与运行成本。

(6) 功能要求的效能评价

条文 6.1 总则

本条文为第 6 章统领性条款，明确水再生效能评价主要通过水质分析实施，辅以其他效能评价方法包括直接完整性监测和间接完整性监测。直接完整性监测能够在各类需要高品质水的应用中识别出轻微的膜效能衰减；间接完整性监测通过替代参数测量来测定膜的完整性，可方便地应用于任何类型的膜过滤系统，可提供在线或实时的膜完整性指示。

条文 6.2 基于水质的效能评价

本条文明确膜过滤工艺中监测的水质指标包括浊度、埃希氏大肠杆菌、BOD、pH 值、电导率和 TOC，其中浊度、pH 值、电导率通常采用在线监测。

条文 6.3 基于工艺的效能评价

本条文明确膜过滤工艺效能评价指标包括跨膜压差(TMP)、通量、

过滤周期时长和出水温度。

条文 6.4 完整性监测

本条文明确完整性监测分为直接完整性监测与间接完整性监测。其中直接完整性监测的效能有三个关键参数：分辨率、灵敏度、检测频率，常用于膜法水再生系统直接完整性测试可采用压力衰减测试、真空衰减测试、气泡法检测。间接完整性监测是直接完整性监测的一种辅助方法，包括颗粒计数、浊度、激光浊度和电导率监测。

(7) 非功能性要求的效能评价

条文 7.1 总则

本条文为第 7 章统领性条款，明确膜过滤技术的非功能性要求包括环境效能、经济效能和可靠性。关键的环境和经济性效能指标包括能耗、药剂消耗以及液态和固态废弃物的量。关键的经济效能指标是全生命周期成本（LCC），其中包括投资成本和运行成本。

条文 7.2 能耗

本条文明确膜过滤的能耗计算方式为：再生水量的能耗(kWh/m^3) = 膜系统的能耗(kWh) / 再生水产量(m^3)。加压式膜过滤系统的总能耗基本上等于主要动力源（如进水泵、用于错流过滤的循环泵和清洗水泵）的能耗之和。真空抽滤式膜过滤系统的主要能耗设备包括用于膜气擦洗的鼓风机和产水抽吸泵。

条文 7.3 药剂消耗

本条文明确膜清洗的化学药剂用量应根据某特定时间段内生产单位体积再生水量所用每种化学药剂的体积来计算。

条文 7.4 浓水处理或处理

本条文明确纳滤、反渗透膜会产生总溶解固体（TDS）浓度较高的浓水。浓水的处理处置包括排入下水道，蒸发以尽量减少浓水量及采用零排放（ZLD）系统，当浓水排入下水道时，应注意其 TDS 高的问题，浓水管理的详细可用方案见 ISO 23070。

条文 7.5 固体废弃物处置

本条文明确固体废弃物的量可根据膜组件的使用寿命来计算。清洗过程中产生的剩余化学药剂和中和废液，按药剂的体积、重量将作为废弃物处置评估的依据。

条文 7.6 生命周期成本

本条文明确膜过滤工艺的 LCC 由投资成本、运行成本和设备折旧构成。膜过滤系统的投资成本涉及土建施工成本、膜组件及其配套管道、仪表和控制系统的采购成本。膜过滤系统的资产折旧需要结合通货膨胀率和项目使用寿命期。运行成本为系统运行所需的成本，如化学药剂、电力、膜更换和人工等成本。膜过滤工艺的 LCC 是以上所有成本的总和。

（8）资料性附录

附录 A（资料性）规格表项目

本附录为资料性附录，提供水再生利用系统中膜过滤的关键性能、通用规格、运行方法中主要指标的参数。

附录 B（资料性）推荐数据采集频率

本附录为资料性附录，提供微滤、超滤、纳滤、反渗透的主要监

测指标的采集频次。

附录 C（资料性）化学品使用示例

本附录为资料性附录，提供水再生利用系统中膜过滤中实用的主要化学品。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

本标准等同采用 ISO 20468-5:2021，适用于各类水再利用膜过滤设施，可为设计单位、运营单位、第三方评价机构等开展技术绩效评价提供指导，实施后具备显著经济效益、社会效益和生态效益。

技术经济论证：本标准绩效评价依托膜过滤系统现有用电量、药剂等常规计量数据，结合浊度、pH 值等常规检测项目，无需新增大型监测设备，配套资料性附录简化操作，落地门槛低、兼容性强。企业无需增加大额固定资产投入，仅产生少量人工核算成本。

经济效益方面：通过本标准开展膜过滤技术绩效评价，可精准定位膜过滤工艺运行中高能耗、高药耗等问题，实施节能降耗改造以降低日常运维成本；标准统一绩效评价要求，推动膜过滤设备、膜材料等产业发展。

社会效益方面：本标准填补国内水再利用领域膜过滤技术绩效评价标准空白，完善水再利用领域标准体系，为行业主管部门开展技术评价提供统一依据；统一评价规则实现不同类型膜过滤设施公平横向对标；借助标准宣贯培训提升从业人员技术能力，促进膜过滤技术在水再利用领域的规范化应用。

生态效益方面：以标准化技术绩效评价引导膜过滤技术在水再利用领域的规范化应用；膜过滤技术可提供高品质再生水，可广泛代替自来水应用于工业生产，减少地表水、地下水开采，缓解区域水资源紧缺压力，助力绿色低碳发展与循环经济落地，为水资源可持续利用与生态环境保护提供行业示范。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

本文件等同采用 ISO 20468-5:2021 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 5: Membrane filtration（水再利用系统处理技术绩效评价指南—第5部分：膜过滤）

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本文件等同采用 ISO 20468-5:2021 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 5: Membrane filtration（水再利用系统处理技术绩效评价指南—第5部分：膜过滤）

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

与本标准密切相关的法律及政策文件有《节约用水条例》《水污染防治行动计划》《关于加强非常规水源配置利用的指导意见》《国家节水行动方案》等。

本标准与有关的现行法律、法规和强制性国家标准无交叉、无矛

盾、无冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准遵循各方参与原则，制定时充分吸收了有关领域专家的意见，无重大分歧意见。

八、涉及专利的有关说明

本文件的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准对水再利用设计单位、运营单位、管理部门等组织开展膜过滤技术绩效评价、运行管理等活动具有重要指导意义。建议标准发布后，针对标准的使用者进行培训和宣传。

本标准为新制定标准，不涉及对现行标准的废止或替代。建议标准发布后三个月实施。

十、公平竞争审查

根据《公平竞争审查条例》、《公平竞争审查条例实施办法》及国家标准起草中开展公平竞争审查的有关要求，对本标准草案进行了公平竞争审查。审查内容包括是否限制或者变相限制市场准入和退出、是否限制商品和要素自由流动、是否违法影响生产经营成本以及是否干预经营者自主经营等。

本标准主要规定水再利用系统处理技术中膜过滤系统的功能性

和非功能性效能评价、监测方法及相关绩效指标。标准未限定特定地区、所有制形式、企业规模、品牌、设备供应商或检测机构，未设置排除或者限制经营者参与市场竞争的资质条件，未规定强制交易、指定交易、地方保护、歧视性待遇或不合理增加经营者成本等内容，对各类经营主体适用统一的技术评价要求。

经审查，本标准不存在排除、限制市场竞争的内容，符合公平竞争审查相关规定。

十一、其他应当说明的事项

本文件等同采用 ISO 20468-5:2021 Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems — Part 5: Membrane filtration (水再利用系统处理技术绩效评价指南—第5部分：膜过滤)。

本文件与 ISO 20468-5:2021 相比做了下述编辑性改动：

- 更改了“前言”中部分表达形式，以符合标准编制规范；
- 更改了“引言”中部分表达形式，以符合标准编制规范；
- 将缩略语列表英文简称调整为英文全称，以符合标准编制规范。

《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第5部分：膜过滤》

国家标准起草组

2026年8月

国家标准《水再利用系统处理技术绩效评价指南 第5部分：膜过滤》（征求意见稿）

意见反馈表

姓名		电话		E-mail	
单位 (盖章)		通信 地址		邮编	
章条号	修改建议	修改理由 (请详细说明修改的依据)			

(篇幅不足，可续页)
请于 2026 年 10 月 24 日前返回至 313086375@qq.com。