

ICS 13.030.50

CCS Z 13

# 团 体 标 准

T/ACEF 146—2024

## 反渗透和纳滤水处理膜修复再利用技术指南

Guidelines for remediation and reuse of water treatment reverse osmosis and  
nanofiltration membranes

2024-06-04 发布

2024-06-04 实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

## 目 次

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本规定 .....	2
5 工艺流程 .....	2
6 初筛 .....	3
7 化学清洗 .....	3
8 性能检测与再利用推荐 .....	5
9 性能修复 .....	5
10 再利用 .....	7

## 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。

本文件为首次发布。

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。

本文件由浙江大学、中华环保联合会水环境治理专业委员会提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件主编单位：浙江大学、河南一膜环保技术有限公司、安徽精高水处理有限公司、国能龙源环保有限公司、湖南沁森高科新材料有限公司。

本文件参编单位：深圳市长隆科技有限公司、沃顿科技股份有限公司、浙江易膜新材料科技有限公司、北京碧水源分离膜科技有限公司、浙江天行健水务有限公司、西安建筑科技大学、中芯膜（北京）科技有限公司、恩泰环保科技（常州）有限公司、杭州英普环境技术股份有限公司、河北奥丰环境工程有限公司、浙江奥氏芯材科技有限公司、启迪清源（北京）科技有限公司、河北源清环保科技有限公司、重庆海通环保科技有限公司、启成（江苏）净化科技有限公司、湖南澳维科技股份有限公司、苏州苏瑞膜纳米科技有限公司、苏州富淼膜科技有限公司、中化（宁波）润沃膜科技有限公司、北京低碳清洁能源研究院、苏州普希环保科技有限公司、中环博通环保咨询（北京）有限公司、中华环保联合会水环境治理专业委员会。

本文件主要起草人：张林、王金燕、姚之侃、刘愿军、苗伟、鲁丹、杨继、曲云翔、张鑫、王丽谦、周秀红、齐萨仁、李弘强、蒋璨、刘晓华、蔡杨慧、金焱、邱晖、丑树人、陈文松、李伟、吕永涛、王双、刘涛、茅李峰、崔玉良、岳鑫业、杨荣、刘国才、赵小阳、瞿睿、胡群辉、李成永、刘坤朋、邹昊、海玉琰、林小锋。



# 反渗透和纳滤水处理膜修复再利用技术要求

## 1 范围

本文件规定了反渗透和纳滤水处理膜修复再利用的基本规定、工艺流程、初筛、化学清洗、性能检测与再利用推荐、性能修复和再利用。

本文件适用于水处理使用的反渗透膜和纳滤膜的修复与再利用。

## 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。

GB/T 20103	膜分离技术 术语
GB/T 23954	反渗透系统膜元件清洗技术规范
GB/T 32360	超滤膜测试方法
GB/T 34241	卷式聚酰胺复合反渗透膜元件
GB/T 34242	纳滤膜测试方法
HY/T 112	超滤膜及其组件
HY/T 113	纳滤膜及其元件

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 膜元件 **membrane element**

由膜片、支撑体、流道间隔体、带孔的中心管等构成的膜分离单元。

[来源：GB/T 20103，有修改]

### 3.2

#### 报废膜元件 **discarded membrane element**

因分离性能或机械性能无法达到原设计使用要求的膜元件。

### 3.3

#### 修复再利用 **remediation and reuse**

将报废膜元件分类后，采用化学清洗和修复的方式恢复膜元件分离性能，并用于原应用场景或其他场景的过程。

### 3.4

#### 降级使用 **downgrade use**

将报废膜元件分类后，采用化学清洗部分恢复膜元件分离性能后，应用于较低压力要求场景中的过程。

### 3.5

#### 响应面分析 **response surface analysis**

一种通过合理的实验设计，数据收集，在多变量问题中优化目标响应值的统计方法。

## 4 基本规定

4.1 反渗透和纳滤水处理膜修复再利用应遵循资源利用最大化、环境污染最小化的原则。

4.2 反渗透和纳滤水处理膜应根据报废水处理膜元件特点，科学分类、合理回收利用，减少报废膜元件固废数量，对不能利用的报废膜元件应采用无害化处置。

4.3 报废膜元件贮存、处置应按 GB 18599 执行。

4.4 工艺过程中产生的清洗废液应经处理后，符合 GB 8978 和地方的相关规定排放。

## 5 工艺流程

报废膜元件修复再利用宜包括初筛、化学清洗、性能检测与再利用推荐、性能修复、再利用等，修复再利用工艺流程如图 1 所示。

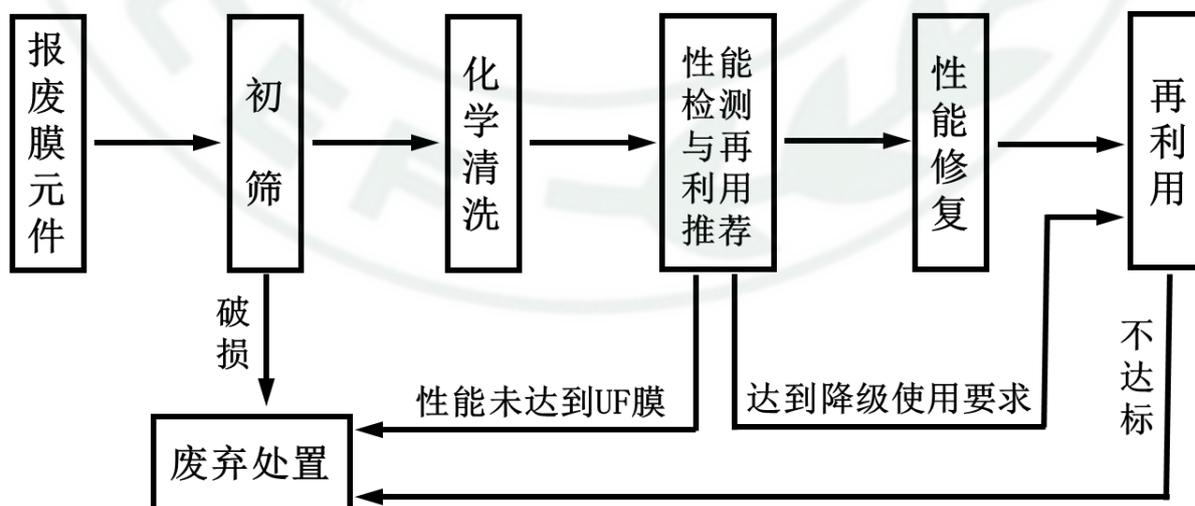


图 1 报废膜元件修复再利用工艺流程图

## 6 初筛

外壳破损的膜元件应进行废弃处置，未破损的膜元件应进入化学清洗等环节。

## 7 化学清洗

报废膜元件修复宜采用化学方法清理膜元件和膜片表面污染物，化学清洗去除膜表面污染物时，可根据膜表面污染物种类，参照 GB/T 23954 选择清洗剂成分，清洗剂配方宜采用响应面分析方法配制，膜元件化学清洗步骤应符合 GB/T 23954 的规定。

### 7.1 清洗剂成分选择

清洗剂成分应根据报废膜元件的污染物类型进行选择，报废膜元件的主要污染物类型及推荐清洗剂成分如表 1 所示。

表 1 报废膜元件主要污染物类型及清洗剂成分选择

原应用场景	主要污染物类型	常用清洗剂成分及浓度	
水软化	铁垢、钙垢、镁垢、有机物	酸性清洗剂：2.0%柠檬酸	碱性清洗剂：0.1%~0.4%的氢氧化钠、1.0%~2.0%的 EDTA 四钠
中水回用	有机物、铁垢、钙垢、镁垢	酸性清洗剂：2.0%柠檬酸	碱性清洗剂：0.1%~0.4%的氢氧化钠、1.0%~2.0%的 EDTA 四钠
地表水处理	硅垢、有机物、铝垢、钙垢、镁垢	酸性清洗剂：2.0%柠檬酸	碱性清洗剂：0.1%~0.4%的氢氧化钠、1.0%~2.0%的 EDTA 四钠、0.02%~0.04%的十二烷基硫酸钠
海水淡化	有机物、硅垢、铁垢、铝垢、钙垢、镁垢	酸性清洗剂：2.0%柠檬酸	碱性清洗剂：0.1%~0.4%的氢氧化钠、1.0%~2.0%的 EDTA 四钠、0.02%~0.04%的十二烷基硫酸钠

### 7.2 清洗剂配方制定方法

根据 7.1 选择清洗剂成分后，由于碱性清洗剂含多种成分，需对其进行复配，复配过程可采用响应面分析方法，具体可参照以下流程进行：

- a) 采用单一清洗剂成分在不同浓度梯度下清洗污染膜片，浓度参考范围见表 1 所示。具体清洗

步骤参照 GB/T 23954 的规定，其中膜片在清洗剂中的浸泡时间为 12 h，清洗后膜片性能按照 GB/T 34241 进行检测。根据实验结果确定各清洗剂成分的较优浓度范围。

- b) 进行响应面优化实验，获得各清洗剂成分的最佳配比。
- c) 对清洗剂配方进行验证实验，以验证配方的有效性。

### 7.3 主要清洗设备

修复清洗过程中主要设备包括离线清洗设备、用于 RO 膜和 NF 膜元件的离线测试设备和 UF 膜元件的离线测试设备，具体的设备类型及参数如表 2 所示：

表 2 修复清洗过程中的主要清洗设备

设备类型及系统	设备要求		
	离线清洗	RO 膜和 NF 膜元件的离线测试	UF 膜元件的离线测试
压力容器	一芯装 8 英寸反渗透膜元件压力容器	一芯装 8 英寸反渗透膜元件压力容器	一芯装 8 英寸反渗透膜元件压力容器
清洗/测试泵	耐腐蚀离心泵 流量宜为 $12 \pm 2 \text{ m}^3/\text{h}$ 扬程宜为 $32 \pm 4 \text{ m}$	耐腐蚀立式多级离心泵 流量宜为 $12 \pm 2 \text{ m}^3/\text{h}$ 扬程宜为 $160 \pm 16 \text{ m}$	耐腐蚀离心泵 流量宜为 $8 \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ 扬程宜为 $32 \pm 4 \text{ m}$
压力表	轴向压力表 进水压力表量程宜为 $0 \sim 0.6 \text{ MPa}$ ；浓水压力表量程宜为 $0 \sim 0.6 \text{ MPa}$	轴向压力表 进水压力表量程宜为 $0 \sim 1.6 \text{ MPa}$ ；浓水压力表量程宜为 $0 \sim 1.6 \text{ MPa}$	轴向压力表 进水压力表量程宜为 $0 \sim 0.6 \text{ MPa}$ ；浓水压力表量程宜为 $0 \sim 0.6 \text{ MPa}$
流量计	玻璃转子流量计 产水流量计量程宜为 $0 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ；浓水流量计量程宜为 $0 \sim 16 \text{ m}^3/\text{h}$	玻璃转子流量计 产水流量计量程宜为 $0 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ；浓水流量计量程宜为 $0 \sim 16 \text{ m}^3/\text{h}$	玻璃转子流量计 产水流量计量程宜为 $0 \sim 8.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ；浓水流量计量程宜为 $0 \sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$
电导率计	—	进水电导率宜为 $0 \sim 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，产水电导率宜为 $0 \sim 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$	—
电控系统	就地集中控制	就地集中控制	就地集中控制

注：对于 4 英寸膜元件，压力容器选用一芯装 4 英寸反渗透膜元件压力容器。

## 7.4 清洗步骤

### 7.4.1 采用复配后的清洗剂配方进行膜清洗

使用由 7.2 中获得的清洗剂配方对膜进行化学清洗，具体清洗步骤参照 GB/T 23954 的规定，其中将膜元件在清洗剂中的浸泡时间延长为 24 ~ 72 h。

### 7.4.2 采用氧化剂彻底清除膜表面污染物

膜表面污染物清除时，宜采用次氯酸钠浸泡膜元件，氧化去除膜表面污染物。宜采用氧化剂在膜元件中低速循环，次氯酸钠浸泡强度推荐在 7000 ~ 10000 ppm·h。完成浸泡后，对膜元件进行水力冲洗，将沉积在膜表面的污染物彻底清除，恢复膜元件水通量和压差，清洗后膜性能检测参照第 8 部分。

## 8 性能检测与再利用推荐

经性能检测后，根据膜元件的分离性能判断后续再利用的方式。

性能检测应符合下列规定：

a) 清洗后的 RO 膜元件，先按 RO 膜元件性能检测方法进行通量和截留率测定，检测过程应按 GB/T 34241 执行。对分离性能达到 RO 膜元件性能指标 90% 的膜元件作为 RO 膜元件再利用。对性能未能达到 RO 膜元件性能指标 90% 的膜元件，再按 NF 膜元件性能检测方法对通量和截留率测定，以判断可否降级作为 NF 膜使用。

b) 对于清洗后的 NF 膜元件和降级使用的 RO 膜元件，先按 NF 膜元件性能检测方法进行通量和截留率测定，检测过程应按 GB/T 34242 执行。对分离性能达到 NF 膜元件要求的可以作为 NF 膜元件再利用。对性能未能达到 NF 膜元件性能指标的膜元件，再按 UF 膜元件性能检测方法对通量和截留率测定，以判断可否降级作为 UF 膜使用。

c) 对于以上降级使用的膜元件，先按 UF 膜元件性能检测方法进行通量和截留率测定，检测过程应按 GB/T 32360 执行。对分离性能达到 UF 膜元件要求的可以作为 UF 膜元件再利用。对性能未能达到 UF 膜元件性能指标的膜元件，应进行报废处理。

8.2 对于化学清洗后无法达到性能要求的膜元件，可根据情况选择特定的修复方式提升膜性能。

## 9 性能修复

### 9.1 一般规定

9.1.1 对通量达不到使用要求的膜元件，需通过氧化等手段部分或完全氧化膜分离层以提升膜通量。

9.1.2 对截留能力达不到使用要求的膜元件，需通过化学手段修复膜分离层以提升膜截留能力。

### 9.2 性能修复技术

#### 9.2.1 膜元件性能修复

化学清洗后，对性能无法达到使用要求的膜元件可根据表 3 选择性能修复方式。

表 3 膜元件性能修复方式

化学清洗后膜元件性能	推荐性能修复方法
截留能力达到 RO 膜水平， 通量低于 RO 膜	宜采用氧化剂部分氧化聚酰胺分离层，提升膜水通量，使膜性能达到 RO 膜水平
截留能力达到 NF 膜水平， 通量低于 NF 膜	宜采用氧化剂部分氧化聚酰胺分离层，提升膜水通量，使膜性能达到 NF 膜水平
截留能力低于 NF 膜水平， 通量达到 NF 膜水平	宜采用膜化学修复剂修复聚酰胺分离层，提升膜截留能力，使膜性能达到 NF 膜水平
截留能力达到 UF 膜水平， 通量低于 UF 膜	宜采用氧化剂完全氧化聚酰胺分离层，提升膜水通量，使膜性能达到 UF 膜水平

其中，各修复方式推荐的主要药剂及修复条件如表 4 所示：

表 4 性能修复方式

修复方式	推荐主要药剂及其修复条件
部分氧化 PA 分离层	使用次氯酸钠（NaOCl）、高锰酸钾（KMnO <sub>4</sub> ）等浸泡，氧化去除部分聚酰胺分离层。 其中，NaOCl 溶液浸泡强度为 7000 ~ 10000 ppm·h；KMnO <sub>4</sub> 溶液浓度为 200 ~ 1500 mg/L，浸泡时间根据实际情况确定。

表 4 性能修复方式（续）

修复方式	推荐主要药剂及其修复条件
完全氧化 PA 分离层	使用 NaOCl 等浸泡氧化去除部分聚酰胺分离层。 其中，NaOCl 溶液浸泡强度为 50000 ~ 1000000 ppm·h。
化学修复剂修复 PA 分离层	利用苯胺盐酸（Ph-NHCl）和过硫酸铵（APS）的氧化聚合反应，在膜表面构建聚苯胺（PANI）修复层。 其中，苯胺盐酸的浓度为 0.1 ~ 0.4 M，过硫酸铵与苯胺盐酸的摩尔比为 5: 4，反应温度 25℃，反应时间 10 ~ 30 min。
	使用碳化二亚胺盐酸盐（EDS）和 N-羟基琥珀酰亚胺（s-NHS）活化 PA 层，进一步利用含氨基大分子丝胶接枝修复聚酰胺分离层。 其中，使用 4 ~ 6 mM EDS\s-NHS 进行活化，EDS: s-NHS = 0.8，活化温度为 35℃，反应时间 5 ~ 7 h；丝胶浓度为 4 ~ 6 wt%，接枝 5 ~ 7 h，反应温度 35℃。
	通过二次界面聚合的方式修复聚酰胺分离层。 其具体过程同常规界面聚合，即含 2 wt% 间苯二胺（MPD）的水相与含 0.1 wt% 均苯三甲酰氯（TMC）的有机相在膜表面进行聚合反应，形成聚酰胺分离层。

## 10 再利用

### 10.1 再利用要求

- 10.1.1 再利用膜元件应符合使用条件的机械强度要求、无毒无味。
- 10.1.2 再利用膜元件外观应洁净平整，无毛刺、破损、变形、污物等缺陷。
- 10.1.3 再利用膜元件外观包装上应标注有再利用的显著标识。
- 10.1.4 再利用膜元件在其对应膜类型的极限使用条件下（包括温度、pH、压力、进水添加污染物等）进行分离测试，以膜性能无法满足使用要求时的时间评估膜元件的使用寿命，使用寿命应不低于 2 年。

10.1.5 再利用膜元件浸入保护液中保存，标准的保护液含 1.5 wt%的亚硫酸钠（食品级）。

## 10.2 再利用场景选择

再利用场景选择应符合下列规定：

- a) 再利用膜元件应以 RO 性能水平的 90%、NF 膜以及 UF 膜性能水平作为评判指标，在满足性能要求的场景中使用；
- b) 再利用膜元件应符合应用场景使用条件；
- c) 再利用方式应以不对后续应用产生毒副作用为前提，再利用场景选择可按表 5 的规定，采用同等级别或降级选择。

表 5 应用场景分类表

级别代号	级别名称	应用场景
I	生活用水	饮用水生产等
II	工业用水	医药、石油化工、电厂等行业给水除盐/废水回用处理
III	中水回用	生活杂用水、中水回用等