

水处理设备效能评价指标体系  
膜蒸馏处理设备

Evaluation indicator system for effectiveness of water treatment  
facilities membrane distillation water treatment facility

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施



# 目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 缩略语..... 2

5 总则..... 2

6 评价指标体系..... 2

7 定量评价指标计算方法..... 4

    7.1 设备性能..... 4

    7.2 处理效果..... 6

    7.3 运行成本..... 7

    7.4 工程应用稳定性..... 7

    7.5 环境适应性..... 8

## 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。

本文件由中国质量检验协会水环境工程技术与装备专业委员会提出并归口。

本文件起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

# 水处理设备效能评价指标体系 膜蒸馏处理设备

## 1 范围

本文件规定了膜蒸馏处理设备评价的总则、评价指标体系、定量评价指标计算方法。  
本文件适用于膜蒸馏处理设备的效能评价和设备选择。

## 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 5750.4 生活饮用水标准检验方法 感官性状和物理指标

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**评价指标体系** evaluation indicator system

由表征评价对象各方面特性及其相互联系的多个指标构成的具有内在结构的有机整体。

### 3.2

**一级评价指标** first grade evaluation indicator

评价指标体系中具有普遍性和概括性的指标。

[来源：GB/T 29904-2013，3.4]

### 3.3

**二级评价指标** second grade evaluation indicator

一级评价指标之下，可代表水处理设备特点的、具体的、可操作的、可验证的指标。

[来源：GB/T 29904-2013，3.5，有修改]

### 3.4

**效能** effectiveness

用于评价水处理设备性能、处理效果、运行成本、工程应用稳定性、环境适应性、资源化利用等主要指标。

### 3.5

**膜蒸馏处理设备 membrane distillation water treatment facility**

由膜组件、加热系统、冷却系统、水泵、仪表、机架以及管阀件等构成的，以膜两侧蒸汽压力差为传质驱动力的膜分离设备。

[来源：GB/T 32359-2015，3.1，有修改]

## 3.6

**产水量 water yield**

在设定的运行温度和压力下，单位时间内进水经膜蒸馏处理设备处理后所得冷凝水的体积，单位为立方米每小时（m<sup>3</sup>/h）。

[来源：HJ/T 270-2006，3.4，有修改]

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BOD<sub>5</sub>: 五日生化需氧量（bio-chemical oxygen demand (5 days)）

COD: 化学需氧量（chemical oxygen demand）

SS: 悬浮物（suspended solids）

TDS: 总溶解固体（total dissolved solids）

## 5 总则

- 5.1 评价指标体系由一级评价指标和二级评价指标组成。
- 5.2 一级评价指标包括设备性能、处理效果、运行成本、工程应用稳定性和环境适应性。
- 5.3 二级评价指标根据设备功能和结构特点选择。
- 5.4 评价指标的设定应充分考虑评价设备的主要特征。
- 5.5 应充分考虑评价指标数据的可获得性，指标应简洁明确，易于计算。

## 6 评价指标体系

膜蒸馏处理设备核心效能评价指标体系见表 1。

表 1 膜蒸馏处理设备核心效能评价指标体系

序号	一级评价指标	二级评价指标	指标要求	定性/定量评价指标
1	设备性能	占地集成度	以日处理水量与占地面积之比为指标进行对比考核，占地集成度宜不小于 0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> 。	定量
2		系统完整性	包括膜的完整性、管路及附属设备的完整性。	定性
3		工艺自控系统合理性	自控系统及各相关控制回路能够很好地对系统设备的自动控制，保证系统的稳定、可靠运行，可实现远程控制。设置独立的控制站，现场控制站宜采用光纤环网进行数据通信。	定性
4		膜蒸馏通量 <sup>a</sup>	以 TDS 含量为 3000 mg/L ~ 80000 mg/L 的水为进水，膜蒸馏通量宜为 3 L/(m <sup>2</sup> ·h) ~ 8 L/(m <sup>2</sup> ·h)。	定量

表 1（续）

序号	一级评价指标	二级评价指标	指标要求	定性/定量评价指标
5	设备性能	产水量年平均衰减率 <sup>b</sup>	使用 1~3 年，产水量年平均衰减率宜不大于 7%； 使用大于 3 年，产水量年平均衰减率宜不大于 10%。	定量
6		截盐率年平均衰减率 <sup>c</sup>	使用 1~3 年，截盐率年平均衰减率宜不大于 0.15%； 使用大于 3 年，截盐率年平均衰减率宜不大于 0.2%。	定量
7		造水比	单效膜蒸馏，造水比宜不小于 0.3； 多效膜蒸馏，造水比宜不小于 2。	定量
8		水质稳定性	运行过程中水质合格率应不小于 95%，电导率、浊度、SS、细菌去除率等各项指标达标率均大于 98%为优。	定量
9		潜热利用	膜蒸馏系统宜对水蒸发潜热加以利用，宜采用多效蒸发的运行方式，多效的数量宜为 3 效~5 效。	定性
10	处理效果	截盐率 <sup>d</sup>	设备截盐率的额定值应不小于 98%，使用期应大于 1 年，截盐率应不小于 90%。	定量
11		水回收率	TDS<35000 mg/L，水回收率大于 80%； 35000 mg/L≤TDS≤80000 mg/L，水回收率大于 60%； TDS>80000 mg/L，水回收率大于 40%。	定量
12		产水电导率	膜蒸馏冷凝产水电导率应小于 50 us/cm。	定量
13		产水浊度	产水浊度应不大于 0.1 NTU。	定量
14	运行成本	产水能耗 <sup>e</sup>	单效膜蒸馏装置： 产水能耗宜不大于 650 kW·h/m <sup>3</sup> ； 多效膜蒸馏装置： 产水能耗宜不大于 220 kW·h/m <sup>3</sup> ；	定量
15		耗新鲜水量	耗新鲜水量宜不大于 200 kg/m <sup>3</sup> 。	定量
16		膜组件清洗费用	膜组件清洗费用宜不大于 1.8 元/m <sup>3</sup> 。	定量
17	工程应用稳定性	清洗周期	维护性清洗周期为 7 天一次，恢复性清洗周期半年一次。	定性
18		系统开工率	系统的实际运行时间一般不小于 330 d/a。	定性
19		负荷率	膜蒸馏系统实际负荷与设计负荷的比值即为负荷率，一般不小于 80%。	定量
20		寿命期内单位膜面积累计产水量	在膜系统的寿命周期内，按实际产水量计算单位膜面积产水量。膜蒸馏膜组件单位膜面积产水量不小于 70 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> （使用期以 5 年计）为优。	定量
21	环境适应性	温度适应性	在进水温度为 70℃，冷凝液温度为 25℃，常压运行的条件下，膜蒸馏膜组件处理纯水的通量不小于 10 L/(m <sup>2</sup> ·h)为优。	定量
22		原水水质适应性	不同原水水质条件下，检测膜组件通量。进水水质在 pH 值 6.0~9.0、SS≤20 mg/L、浊度不大于 5 NTU、BOD <sub>5</sub> ≤10 mg/L、COD≤50 mg/L、油不大于 1 mg/L 范围内时，膜产水水质合格率大于 98%。	定性

表 1（续）

序号	一级评价指标	二级评价指标	指标要求	定性/定量评价指标
23	环境适应性	工艺适应性	不同工艺组合条件下，检测膜组件的通量。膜组件抗冲击能力强，前序处理工艺对膜组件出水水质的影响小，出水水质稳定情况为优。	定性
24		热源利用性	膜蒸馏系统宜充分对地热、太阳能以及低品位余热 <sup>f</sup> 加以利用。	定性
<sup>a</sup> 膜蒸馏通量是表征膜组件生产能力的重要参数。 <sup>b</sup> 产水量衰减率反映水处理设备长时间运行产水量下降程度。 <sup>c</sup> 截盐率衰减率反映水处理设备长时间运行脱盐率下降程度。 <sup>d</sup> 截盐率是用来评价膜蒸馏系统的除盐效率。 <sup>e</sup> 产水能耗包括原料液加热所消耗的热能以及系统设备运行过程中所消耗的电能。 <sup>f</sup> 低品位余热是指品位低、浓度小、能量少，不被人们重视的废热能源。				

## 7 定量评价指标计算方法

### 7.1 设备性能

#### 7.1.1 占地集成度

占地集成度的计算按照公式（1）进行计算：

$$L_{oi} = \frac{Q_d}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$L_{oi}$ ——占地集成度，单位为立方米每平方米（ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ）；

$Q_d$ ——设备日处理水量，单位为立方米（ $\text{m}^3$ ）；

$A_0$ ——设备占地面积，单位为平方米（ $\text{m}^2$ ）。

#### 7.1.2 膜蒸馏通量

指单位膜面积在单位时间内产生的冷凝水的质量，膜蒸馏通量的计算应通过测定单位时间产冷凝水的质量计算取得，按照公式（2）进行计算：

$$J = \frac{W}{T \times A_c} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$J$ ——膜蒸馏通量，单位为千克每平方米每小时（ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ）；

$W$ ——冷凝水质量，单位为千克（ $\text{kg}$ ）；

$T$ ——运行时间，单位为小时（ $\text{h}$ ）；

$A_c$ ——膜蒸馏组件有效膜面积，单位为平方米（ $\text{m}^2$ ）。

#### 7.1.3 产水量年平均衰减率

膜组件因长时间运行，受到污染、频繁清洗和压密等作用而引起的设备产水量下降的程度。膜蒸馏水处理设备产水量年平均衰减率按照公式（3）计算：



$$A_Q = \frac{1-Q_t}{Q_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $A_Q$  ——产水量年平均衰减率，单位为百分比（%）；  
 $Q_t$  ——设备运行至第  $t$  年时的产水量，单位为立方米每小时（ $m^3/h$ ）；  
 $Q_0$  ——设备投入运行时的初始产水量，单位为立方米每小时（ $m^3/h$ ）；  
 $t$  ——运行时间，单位为年（a）。

#### 7.1.4 截盐率年平均衰减率

膜组件因长时间运行，受到污染、频繁清洗和压密等作用而引起的设备截盐率下降的程度。膜蒸馏处理设备截盐率年平均衰减率按照公式（4）计算：

$$A_R = \frac{R_0-R_t}{t} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $A_R$  ——截盐率年平均衰减率，单位为百分比（%）；  
 $R_0$  ——设备投入运行时的初始截盐率，单位为百分比（%）；  
 $R_t$  ——设备运行至第  $t$  年时的截盐率，单位为百分比（%）；  
 $t$  ——运行时间，单位为年（a）。

#### 7.1.5 造水比

造水比是用来衡量膜蒸馏过程的热量利用率。按照公式（5）、（6）、（7）计算：

$$GOR = \frac{J \times S \times H}{Q_{in}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $GOR$  ——造水比；  
 $J$  ——膜蒸馏通量，单位为千克/平方米每小时（ $kg/(m^2 \cdot h)$ ）；  
 $S$  ——膜蒸馏组件有效膜面积，单位为平方米（ $m^2$ ）；  
 $H$  ——料液的蒸发焓，单位为千焦每千克（ $kJ/kg$ ）；  
 $Q_{in}$  ——是外部热源提供的热量，单位为千焦每小时（ $kJ/h$ ）。

$$H = 2258.4 + 2.47 \times [373.0 - (T_0 + 273.15)] \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $H$  ——料液的蒸发焓，单位为千焦每千克（ $kJ/kg$ ）；  
 $T_0$  ——料液的平均温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}C$ ）。

$$Q_{in} = Q \times C_p \times (T_1 - T_4) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $Q_{in}$  ——是外部热源提供的热量，单位为千焦每小时（ $kJ/h$ ）；  
 $Q$  ——料液的循环流量，单位为千克每小时（ $kg/h$ ）；  
 $C_p$  ——料液的比热容，单位为千焦每千克每摄氏度  $kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$ ；  
 $T_1$  ——料液进口温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}C$ ）；  
 $T_4$  ——料液渗透测出水温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}C$ ）。

### 7.1.6 水质稳定性

以设备运行过程中水质合格率，电导率、浊度、SS、细菌去除率等指标达标率评价设备水质稳定性。按照公式（8）、（9）计算。

$$R_q = \frac{n_0}{N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$R_q$ ——水质合格率，单位为百分比（%）；

$n_0$ ——在设备一个运行周期内电导率、浊度、SS、细菌等指标均合格次数；

$N$ ——在设备一个运行周期内对电导率、浊度、SS、细菌等指标监测次数。

$$R_C = \frac{m_0}{M} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$R_C$ ——去除率达标率，单位为百分比（%）；

$m_0$ ——设备拟去除指标中去除率满足使用要求的项目指标数量；

$M$ ——设备拟去除的指标数量。

## 7.2 处理效果

### 7.2.1 截盐率

表明设备除盐能力的数值。设备截盐率按公式（10）进行计算：

$$R = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$R$ ——截盐率，单位为百分比（%）；

$\rho_1$ ——进水氯化钠浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$\rho_2$ ——冷凝产水氯化钠浓度，单位为毫克每升（mg/L）。

### 7.2.2 水回收率

水回收率表明设备对进水利用能力的数值。水回收率的测定按照公式（11）进行计算：

$$Y = \frac{Q_p}{Q_f} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$Y$ ——水回收率，单位为百分比（%）；

$Q_p$ ——进水流量，单位为立方米每小时（m<sup>3</sup>/h）；

$Q_f$ ——冷凝产水流量，单位为立方米每小时（m<sup>3</sup>/h）。

### 7.2.3 产水电导率

产水电导率依据 GB/T 5750.4 的检测方法进行测试。

### 7.2.4 产水浊度

使用在线浊度检测装置对设备产水浊度进行连续检测，产水浊度的保证率按照公式（12）进行计算：

$$R_g = \frac{m_{24}}{M_{24}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$R_g$  ——产水浊度不高于 0.1 NTU 的保证率，单位为百分比（%）；

$m_{24}$  ——在线浊度连续检测 24 h，浊度不高于 0.1 NTU 的次数；

$M_{24}$  ——在线浊度连续检测 24 h，浊度检测次数。

### 7.3 运行成本

#### 7.3.1 产水能耗

膜蒸馏处理设备产生 1 m<sup>3</sup> 冷凝水所需要消耗的电功率。产水能耗按照公式（13）、（14）计算：

$$P = \sum P_i / Q_j \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$P$  ——产水能耗，单位为千瓦时每立方米（kWh/m<sup>3</sup>）；

$P_i$  ——第 i 个装置的运行功率，单位为千瓦（kW）；

$Q_j$  ——设备产水量，单位为立方米每小时（m<sup>3</sup>/h）。

$$P_i = \sqrt{3} \times U_i \times I_i \times \cos \varphi_i \times 1000 \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$P_i$  ——第 i 个装置的运行功率，单位为千瓦（kW）；

$U_i$  ——第 i 个装置的运行电压，单位为伏特（V）；

$I_i$  ——第 i 个装置的运行电流，单位为安培（A）；

$\cos \varphi_i$  ——第 i 个装置的功率因数，一般取设备铭牌或说明书提供的值。如装置未提供，取 0.92。

#### 7.3.2 耗新鲜水量

膜蒸馏处理设备产生 1 m<sup>3</sup> 馏出液所需要消耗的新鲜水冷凝水。按照公式（15）计算：

$$Q_m = Q_w / q \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$Q_m$  ——耗新鲜水量，单位为千克每立方米（kg/m<sup>3</sup>）；

$Q_w$  ——膜蒸馏过程中消耗的新鲜冷凝水，单位为千克（kg）；

$q$  ——消耗  $Q_w$  千克新鲜冷凝水产生的馏出液体积，单位为立方米（m<sup>3</sup>）。

#### 7.3.3 膜组件清洗费用

膜组件受污染后维护清洗费用。以清洗截盐率恢复至 90%，生产单位馏出液所需费用。按照公式（16）计算：

$$C = C_m / c \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$C$  ——产生单位馏出液膜组件清洗费用，单位为元每立方米（元/m<sup>3</sup>）；

$C_m$  ——膜组件清洗至截盐率恢复至 90% 产生的药剂费，单位为元；

$c$  ——设备投入使用到需要清洗维护产生的馏出液水量，单位为立方米（m<sup>3</sup>）。

### 7.4 工程应用稳定性

#### 7.4.1 负荷率

负荷率按照公式（17）计算：

$$R_L = \frac{L_r}{L_d} \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- $R_L$ ——负荷率，单位为百分比（%）；
- $L_r$ ——设备运行过程中实际负荷，单位为千瓦（kW）；
- $L_d$ ——设备设计负荷，单位为千瓦（kW）。

#### 7.4.2 寿命期内单位膜面积累计产水量

寿命期内单位膜面积累计产水量按照公式（18）计算（寿命期以六年计）：

$$Q_A = Q_T/A \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- $Q_A$ ——寿命期内单位膜面积累计产水量，单位为立方米每平方（ $m^3/m^2$ ）；
- $Q_T$ ——寿命期内累计产水量单位，单位为立方米（ $m^3$ ）；
- $A$ ——总膜面积，单位为平方米（ $m^2$ ）。

#### 7.5 环境适应性

环境适应性是以纯水为进水，温度为 70℃，冷凝液温度为 25℃，常压运行的条件下，膜蒸馏膜组件的通量情况评价，按照公式（19）计算：

$$J_{pw} = \frac{V}{T \times A_c} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

- $J_{pw}$ ——膜整流组件处理纯水的通量，单位为升每平方米每小时（ $L/(m^2 \cdot h)$ ）；
- $V$ ——冷凝水体积，单位为升（L）；
- $T$ ——运行时间，单位为小时（h）；
- $A_c$ ——膜蒸馏组件有效膜面积，单位为平方米（ $m^2$ ）。