



中华人民共和国国家标准

GB/T 38511—2020

中空纤维膜使用寿命评价方法

Evaluation method of service life for hollow fiber membrane

2020-03-06 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国分离膜标准化技术委员会(SAC/TC 382)提出并归口。

本标准起草单位:天津膜天膜科技股份有限公司、广州中国科学院先进技术研究所、北京科泰兴达高新技术有限公司、山东招金膜天股份有限公司、三达膜科技(厦门)有限公司、哈尔滨工业大学水资源国家工程研究中心有限公司、烟台金正环保科技有限公司、北京碧水源膜科技有限公司、海南立昇净水科技实业有限公司、杭州求是膜技术有限公司、宁波水艺膜科技发展有限公司、天津膜天膜工程技术有限公司。

本标准主要起草人:胡晓宇、王希、郭庆贺、梁恒、王乐译、洪昱斌、李越彪、李天玉、陈忱、谢柏明、计根良、梁义、陈顺权、韩爱龙、孙文挺、张卿、刘洋、冯磊。



中空纤维膜使用寿命评价方法

1 范围

本标准规定了水处理用中空纤维膜使用寿命的评价方法。

本标准适用于水处理用中空纤维超滤膜和中空纤维微滤膜使用寿命的评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 20103 膜分离技术 术语

3 术语和定义

GB/T 20103 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 20103 中的某些术语和定义。

3.1

中空纤维膜 hollow fiber membrane

外型为纤维状、空心的具有自支撑作用的膜。

注:对于反渗透膜,皮层在外表面;对于超滤膜和微滤膜,皮层在内表面、外表面或内、外表面。

[GB/T 20103—2006,定义 2.1.28]

3.2

微滤膜 microfiltration membrane

膜平均孔径大于或等于 $0.01\ \mu\text{m}$ 的分离膜。

[GB/T 20103—2006,定义 5.1.2]

3.3

超滤膜 ultrafiltration membrane

由起分离作用的一层极薄表皮层和较厚的起支撑作用的海绵状或指状多孔层组成,切割分子量在几百至几百万的膜。

注 1:表皮层厚度通常仅 $0.1\ \mu\text{m}\sim 1\ \mu\text{m}$,多孔层厚度通常 $125\ \mu\text{m}$ 。

注 2:超滤膜多数为非对称膜。

[GB/T 20103—2006,定义 5.1.1]

3.4

通量 flux

单位时间内单位膜面积透过组分的量。

[GB/T 20103—2006,定义 2.1.33]

3.5

跨膜压差 transmembrane pressure difference

膜进水侧与产水侧的压力之差。



注：改写 HY/T 112—2008，定义 3.6。

3.6

比通量 **specific flux**

通量与跨膜压差的比值。

3.7

化学清洗 **chemical cleaning**

利用化学药剂去除膜的污染物的过程。

[GB/T 20103—2006，定义 7.2.8]

3.8

产水量 **productivity**

在规定的运行条件下，膜元件、组件或装置单位时间内所生产的产品水的量。

[GB/T 20103—2006，定义 2.2.10]

3.9

使用寿命评价预期参数 **expected parameter for service life evaluation**

在规定的跨膜压差、水温和污染物浓度条件下，中空纤维膜经多次连续产水和化学清洗，根据膜因受污染导致比通量衰减至无法恢复下限值时的单位膜面积总产水量和拟设计平均运行通量的值，计算膜的可使用时间，表征膜在该特定条件下使用寿命的参考数值。

4 评价方法

4.1 原理

在一定的跨膜压差、水温和污染物浓度条件下，对中空纤维膜进行多次连续运行产水和化学清洗试验，计算试验过程中膜的比通量，在确保截留性能的情况下，根据膜因受污染导致比通量衰减至无法恢复下限值时的单位膜面积总产水量和拟设计平均运行通量的值，计算中空纤维膜在此条件下的可使用时间，以该可使用时间表征中空纤维膜在一定的跨膜压差、水温和污染物浓度条件下的使用寿命。

4.2 试验条件

水温：25 °C ± 1 °C；跨膜压差：0.10 MPa。

4.3 试剂

除非另有规定，仅使用分析纯试剂。

4.3.1 水，GB/T 6682，三级。

4.3.2 腐殖酸，CAS：1415-93-6。

4.3.3 氢氧化钠，CAS：1310-73-2。

4.3.4 次氯酸钠溶液，CAS：7681-52-9。

4.4 样品

截取外观完好的待测中空纤维膜中间段约 220 mm，用水浸泡 1 h 后漂洗，多次浸泡和漂洗至清洗水 pH 降为 7.5 以下，备用。

4.5 试验方案和试验装置

中空纤维膜使用寿命评价试验方案见附录 A 中 A.1，试验装置见 A.2。

4.6 试验步骤

中空纤维膜使用寿命评价预期参数试验步骤如下：

- 取已制备的膜样品，根据膜使用条件下污染物浓度水平的高低，选定 A.1 的试验方案，按 A.2 连接好试验装置；
- 在跨膜压差 0.10 MPa、水温 25 °C ± 1 °C 条件下稳定运行产水，并开始计时，每 10 min 记录 1 次时间 t_n 及对应的累计产水量 Q_{tn} ；
- 根据 Q_{tn} ，按式(1)计算单位膜面积累计产水量 Q_{sn} ，并按式(2)计算比通量 F_{sn} ；
- 当比通量衰减至表 A.1 中的下限值以下 80% 时，停止运行产水，将膜按表 A.1 中的清洗方式清洗，记为运行 1 次；
- 以 Q_{sn} 为横坐标， F_{sn} 为纵坐标作图，并拟合为相关系数在 0.99 以上的 Q_{sn} - F_{sn} 回归方程，根据方程计算 F_{sn} 的值为表 A.1 中的下限值时的单位膜面积累计产水量 Q_n ，记为本次运行的单位膜面积累计产水量；
- 重复步骤 b)~e)，进行多次运行试验，直到比通量 F_{sn} 衰减至表 A.1 中的下限值以下 80%，且清洗后比通量仍无法恢复至下限值以上时，停止试验；
- 根据每次运行中计算的单位膜面积累计产水量 Q_n ，按式(3)计算整个试验中膜的单位膜面积总产水量 Q_z ；
- 根据单位膜面积总产水量 Q_z 和膜的拟设计平均运行通量 F_d ，按式(4)计算该运行条件下膜的使用寿命评价预期参数 τ ；
- 以上试验平行进行 3 组，取算术平均数，试验示例参见附录 B。

4.7 数据处理

4.7.1 单位膜面积累计产水量

中空纤维膜的单位膜面积累计产水量 Q_{sn} ，按式(1)计算：

$$Q_{sn} = \frac{1\,000 \times Q_{tn}}{3.14 \times DL} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Q_{sn} —— 试验记录的第 n 个运行产水时间内的膜的单位膜面积累计产水量，单位为升每平方米(L/m²)；
 Q_{tn} —— 试验记录的第 n 个运行产水时间内的膜的累计产水量，单位为毫升(mL)；
 D —— 膜的外径，单位为毫米(mm)；
 L —— 膜的有效长度，单位为毫米(mm)。

4.7.2 比通量

中空纤维膜的比通量 F_{sn} ，按式(2)计算：

$$F_{sn} = \frac{60 \times (Q_{sn} - Q_{sn-1})}{(t_n - t_{n-1}) \cdot P} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- F_{sn} —— 比通量，单位为升每平方米小时兆帕[L/(m² · h · MPa)]；
 Q_{sn} —— t_n 时间内的单位膜面积累计产水量，单位为升每平方米(L/m²)；
 Q_{sn-1} —— t_{n-1} 时间内的单位膜面积累计产水量，单位为升每平方米(L/m²)；
 t_n —— 试验记录的第 n 个运行产水时间，单位为分(min)；
 t_{n-1} —— 试验记录的第 $n-1$ 个运行产水时间，单位为分(min)；
 P —— 跨膜压差，单位为兆帕(MPa)。

4.7.3 单位膜面积总产水量

单位膜面积总产水量 Q_z ,按式(3)计算:

$$Q_z = \sum_{n=1}^n Q_n \dots\dots\dots (3)$$

式中:

Q_z ——单位膜面积总产水量,单位为升每平方米(L/m²);

Q_n ——单次运行的单位膜面积累计产水量,单位为升每平方米(L/m²);

n ——运行次数。

4.7.4 使用寿命评价预期参数

中空纤维膜的使用寿命评价预期参数 τ ,按式(4)计算:

$$\tau = \frac{Q_z}{F_d} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

τ ——中空纤维膜使用寿命评价预期参数,单位为小时(h);

Q_z ——单位膜面积总产水量,单位为升每平方米(L/m²);

F_d ——设计平均运行通量,单位为升每平方米小时[L/(m²·h)]。

4.8 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 样品名称、材质、规格型号;
- b) 送检单位、生产单位;
- c) 样品数量、编号及外观质量;
- d) 试验压力、水温、进水污染物及其浓度;
- e) 样品单位膜面积总产水量、拟设计运行通量、使用寿命评价预期参数;
- f) 试验人员、送样日期、试验日期。

附录 A
(规范性附录)

中空纤维膜使用寿命评价试验方案及装置

A.1 试验方案

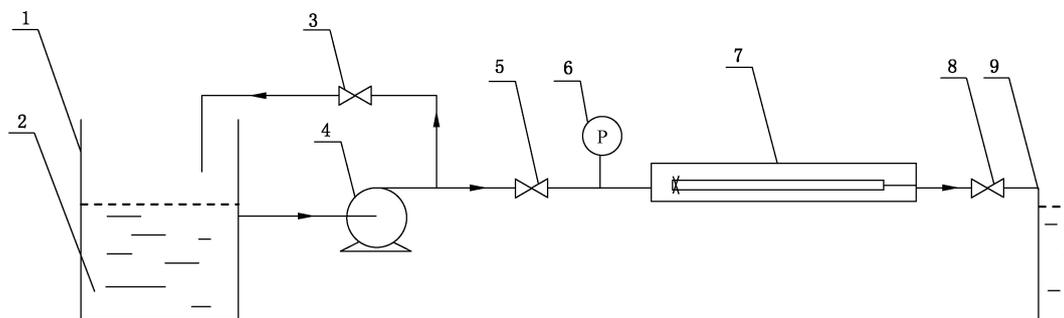
中空纤维膜使用寿命评价试验方案如表 A.1 所示。

表 A.1 中空纤维膜使用寿命评价试验方案

试验条件	低污染物浓度水平	高污染物浓度水平
腐殖酸分散液浓度	1 000 mg/L	10 000 mg/L
单位膜面积腐殖酸分散液负荷	$\geq 20\,000$ mg/L	
试验装置及过滤运行方式	正压试验装置、死端过滤	负压试验装置、死端过滤
清洗方式	质量分数 0.5% 的 NaOH 溶液 + 0.5% 的 NaClO 溶液浸泡 2 h， 多次漂洗至清洗水 pH 降为 7.5 以下	
比通量衰减下限值	500 L/(m ² · h · MPa)	

A.2 试验装置

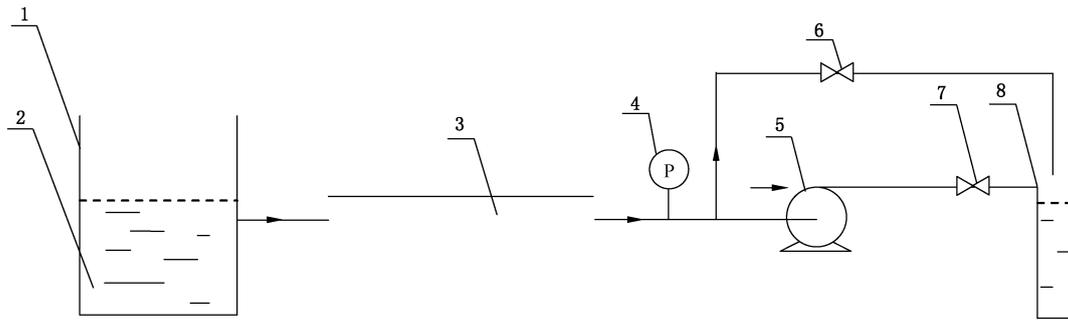
中空纤维膜使用寿命评价试验装置示意如图 A.1、图 A.2 所示。取有效长度为 200 mm 的中空纤维膜，水平连接在检验装置上，压力表应检定合格，最大量程宜为 0.16 MPa，准确度等级应不低于 1.6 级，且在检定周期内。



说明：

- 1 —— 水槽；
- 2 —— 腐殖酸分散液；
- 3,5,8 —— 调节阀；
- 4 —— 水泵；
- 6 —— 压力表；
- 7 —— 膜样品池；
- 9 —— 产水测量槽。

图 A.1 中空纤维膜使用寿命评价正压试验装置示意图



说明：

- 1 ——水槽；
- 2 ——腐殖酸分散液；
- 3 ——膜样品池；
- 4 ——压力表；
- 5 ——水泵；
- 6,7——调节阀；
- 8 ——产水测量槽。

图 A.2 中空纤维膜使用寿命评价负压试验装置示意图

附录 B

(资料性附录)

中空纤维膜使用寿命评价示例

B.1 试验概况

取有效长度为 200 mm 的中空纤维膜样品,以 10 000 mg/L 的腐殖酸分散液为进膜液,在跨膜压差 0.10 MPa、水温 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下稳定运行,连续产水和清洗,计算比通量衰减至 $500\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$ 时的单位膜面积总产水量,再根据设计平均运行通量,计算膜的使用寿命评价预期参数。

B.2 数据处理

使用寿命评价预期参数试验及计算步骤如下:

- 在跨膜压差 0.10 MPa、水温 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下稳定运行,每 10 min 记录 1 次时间 t_n 及对应的累计产水量 Q_{tn} ;
- 按式(1)计算单位膜面积累计产水量 Q_{sn} ,按式(2)计算比通量 F_{sn} ;
- 第 1 次运行试验数据如表 B.1 所示;

表 B.1 第 1 次运行试验数据

序号	记录时间(t_n) min	累计产水量(Q_{tn}) mL	单位膜面积累计产水量(Q_{sn}) L/m^2	比通量(F_{sn}) $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$
1	10	83.14	110.32	6 619.43
2	20	144.67	191.97	4 898.89
3	30	193.00	256.10	3 847.93
4	40	233.34	309.63	3 211.78
5	50	269.00	356.95	2 839.17
.....
26	260	605.41	803.36	597.93
27	270	611.82	811.86	510.35
28	280	617.64	819.59	463.38
29	290	623.47	827.32	464.17
.....
37	370	669.54	888.45	425.96
38	380	674.63	895.21	405.65
39	390	679.50	901.67	387.74

- 根据表 B.1 的数据,以 Q_{sn} 为横坐标, F_{sn} 为纵坐标作图,见图 B.1,并拟合为相关系数在 0.99 以上的 $Q_{sn}-F_{sn}$ 回归方程;

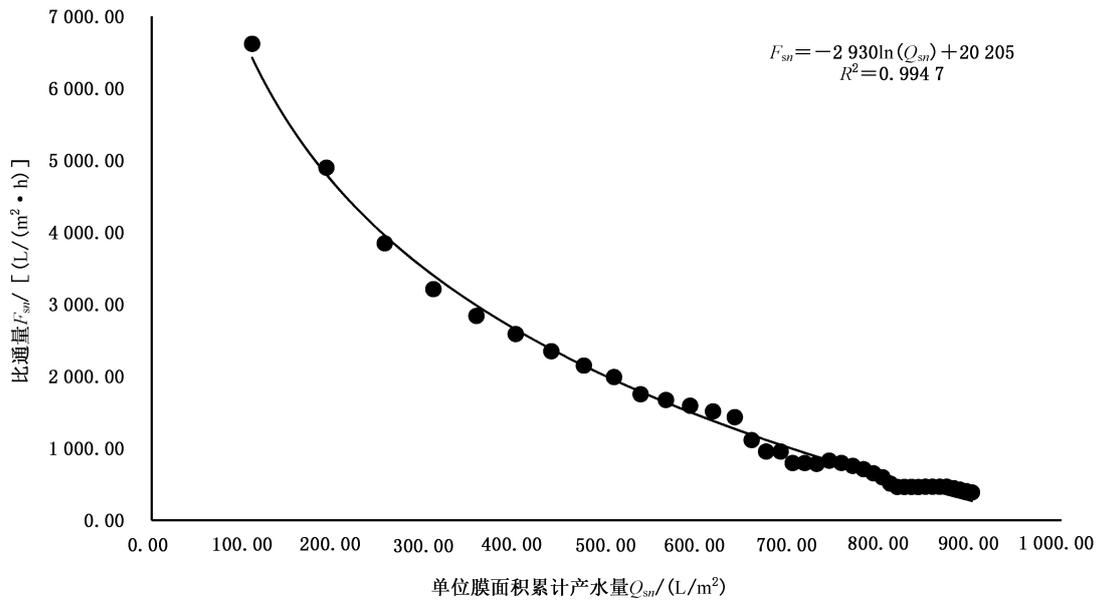


图 B.1 第 1 次运行试验 $Q_{sn}-F_{sn}$ 数据图

- e) 根据方程： $F_{sn} = -2930\ln(Q_{sn}) + 20205$ ，计算得出第 1 次运行试验中，比通量 F_{sn} 衰减至 $500 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$ 时，单位膜面积累计产水量 Q_1 为 $833.22 \text{ L}/\text{m}^2$ ；
- f) 将膜样品用 $0.5\% \text{ NaOH}$ 溶液和 $0.5\% \text{ NaClO}$ 溶液浸泡 2 h ，然后用水将膜多次漂洗，至清洗水 pH 值降为 7.5 以下后，继续进行运行试验；
- g) 重复 a)~f) 试验步骤，依次进行运行产水和清洗试验（运行次数根据试验过程中比通量的衰减和清洗恢复情况确定），分别绘制 $Q_{sn}-F_{sn}$ 的对应数据点图，并拟合为相关系数在 0.99 以上的 $Q_{sn}-F_{sn}$ 回归方程，计算比通量衰减至 $500 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$ 时，各次运行的单位膜面积累计产水量 Q_n ，得出各次试验数据如表 B.2 所示；

表 B.2 第 1~6 次运行试验所得 $Q_{sn}-F_{sn}$ 回归方程及单位膜面积累计产水量

运行次数 (n)	$Q_{sn}-F_{sn}$ 回归方程	$F_s = 500$ 时的单位膜面积累计产水量 (Q_n) L/m ²
1	$F_{sn} = -2930\ln(Q_{sn}) + 20205$	833.22
2	$F_{sn} = -997\ln(Q_{sn}) + 6646.2$	475.68
3	$F_{sn} = -609.9\ln(Q_{sn}) + 3577.8$	155.47
4	$F_{sn} = -509.5\ln(Q_{sn}) + 2863.4$	103.41
5	$F_{sn} = -417.9\ln(Q_{sn}) + 2016.2$	37.64
6	$F_{sn} = -331.6\ln(Q_{sn}) + 1644.4$	31.54

- h) 继续进行第 7 次试验，试验数据如表 B.3 所示；

表 B.3 第 7 次运行试验数据

序号(n)	记录时间(t_n) min	累计产水量(Q_m) mL	单位膜面积累计产水量(Q_{sm}) L/m ²	比通量(F_{sn}) L/(m ² ·h·MPa)
1	10	5.30	7.03	421.97
2	20	9.24	12.26	313.69

由表 B.3 数据可以看出,第 7 次运行试验中,膜样品的比通量在试验初期已衰减至 500 L/(m²·h·MPa)以下,且清洗后也无法恢复至 500 L/(m²·h·MPa)以上,膜样品已达到使用寿命,试验结束;

i) 根据表 B.2 中数据,按式(3)计算单位膜面积总产水量:

$$Q_z = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 833.22 + 475.68 + 155.47 + 103.41 + 37.64 + 31.54 \\ = 1\ 636.96(\text{L}/\text{m}^2);$$

j) 平行进行 3 组试验,得 3 组试验 Q_z 的算术平均数为 1 640(L/m²);

k) 若膜的设计平均运行通量为 20 L/(m²·h),根据式(4)计算其使用寿命评价预期参数 $\tau = 1\ 640 \div 20 = 82(\text{h})$ 。

B.3 评价结果

试验膜样品以 10 000 mg/L 的腐殖酸分散液为膜进水,在跨膜压差 0.10 MPa、水温 25 °C ± 1 °C 条件下稳定运行,连续产水和清洗,以膜的设计平均通量为 20 L/(m²·h),比通量衰减至 500 L/(m²·h·MPa)时所需的时间表征膜达到使用寿命,则膜的使用寿命评价预期参数约为 82 h。

参 考 文 献

- [1] HY/T 112—2008 超滤膜及其组件
-

