

膜系统的运行与管理

6.2 系统的运行及停止

6.2.1 初始运行时需确认的事项

① 保安过滤器 (< 5 μm)

为防止金属屑、异物、沙子和纤维进入到膜元件内，请在原水泵后安装保安过滤器 (< 5 μm)。在运行开始前，请确认滤芯确实安装了而且没有泄露。

② 系统运行前膜元件的冲洗

安装时为防止装置内残留异物（金属屑、焊接屑和机油等）、粘结剂等进入到膜元件中，在安装膜元件前要充分清洗管道。通过冲洗去除管道内残留的金属屑、焊接屑；通过酸洗去除管道内的锈；碱洗去除机械油。一切杂质都被去除后，最后再用清水冲洗。

③ 原水的 SDI₁₅ 值

预处理产水的 SDI₁₅ 值要做到 5.0 以下。要定期检测 SDI₁₅ 值，发现超出正常值后要检查预处理的运行。

④ 原水的残留余氯

通常要求运行时原水的余氯含量为 0 mg/L。原水中残留余氯浓度若超出此要求会造成膜元件脱盐率下降。若原水中有残留余氯，请用亚硫酸氢钠(SBS)中和。若残留量为 1 mg/L，对应则需要 SBS 1.8 – 3 mg/L。

⑤ 原水 pH 值

原水 pH 值若超出以下范围，可能会导致膜元件性能下降。

表 6.3 不同膜元件连续运行的 pH 值范围

膜型号	pH 值范围
PROC	2 – 11
ESPA、CPA、LFC、SWC、ESNA	3 – 10

⑥ 原水温度

运行时原水温度应在 40 °C 以下（最高不能超过 45 °C）。若原水温度超出此范围，可能会引起膜性能下降¹。

⑦ 低溶解度盐类

为防止膜表面盐类结垢，可以采用调节 pH 值、进行软化处理、添加阻垢剂等方法解决。

¹ 主要是由于粘接剂在高温下的粘接性能下降，当然水温过高时也会对膜元件的分离皮层带来损伤。可以进行热消毒的卫生级膜元件 SanRO-HS™ 的粘接剂是特殊类型，不受影响。

⑧ 硅酸类（二氧化硅）

为防止膜表面二氧化硅结垢，通过预处理去除二氧化硅以及通过调整 pH 值、温度等防止在浓水侧产生结垢。

⑨ 确认好① – ⑧项后、开始安装膜元件。

6.2.2 系统的日常启动

① 全部开启浓水及产水阀门。

② 反渗透系统的冲洗。

供水时以低压、低流量的给水排出残留在膜元件及压力容器中的空气。给水泵启动后慢慢打开给水阀门调节流量。浓水管出口或流量计处不在有气泡冒出时将流量升高，冲洗 30 分钟左右。在冲洗过程中要检查阀门管道是否有泄漏。冲洗过程中浓水及产水应全部排放。冲洗过程中不要添加阻垢剂等药品。但若原水中残留余氯则要充分添加 SBS。

在冲洗步骤中，要注意以下的运行条件：

- 压力：< 0.3 MPa;
- 单支压力容器的浓水排放量：8 英寸（8040）膜元件：7.2 – 12 m³/h
4 英寸（4040）膜元件：1.8 – 2.5 m³/h

③ 高压泵启动前，通过调节高压泵和反渗透系统间的阀门控制好流量，否则瞬间的高流量和高压力可能会损伤膜元件。

④ 启动高压泵后必须匀速提升压力，并将给水阀门缓慢开启，使浓水流量达到设计值。

⑤ 一边调节高压泵出口的给水阀门，一边慢慢关闭浓水阀门。在保持浓水流量的同时，要注意产水流量的上升，并随时调节使其达到设计产水。添加阻垢剂等药品的泵要在关闭浓水阀门的同时开启，确认添加药品流速及测定原水 pH 值。

⑥ 一小时连续运行后测定产水电导分析水质，并将产水引入产品水箱。

⑦ 记录运行初期数据，数据记录格式请参见附录 7 反渗透和纳滤系统运行数据参考记录表格。

6.2.3 停运

① 关闭高压泵。

② 冲洗。浓水阀门全部打开，并确认产水阀门也全部打开。启动给水泵，逐渐打开给水阀门，设定冲洗流量。运行 5 分钟冲洗。

③ 停止运行。给水阀门逐渐关闭，全部关闭后停止给水泵。设备长时间停止运行时，

请参见第三部分第六章 6.3.3 反渗透系统的停运保护。

6.2.4 注意事项

① 启动和停止时，流量和压力会有波动。过大流量和压力波动可能会导致膜元件破裂。故在启动和停止操作时需缓慢增加或降低压力和流量。

② 原水中的残留余氯。若原水中残留余氯会破坏膜元件的分离皮层。所以必须要用 SBS 来中和。原水中的残留余氯必须为 0 mg/L 时设备才能运行。

③ 产水侧压力（背压）。产水侧压力高于原水侧压力 0.05 MPa 以上时，膜片会受到物理性损伤。背压通常发生在反渗透设备阀门开闭的瞬间。例如，系统停止运行时，关闭原水泵前，产水侧阀门还在关闭状态时通常会发生背压现象。充分确认阀门的开和关及压力的变动，保证运行过程杜绝背压现象发生。产水管道若高于膜堆中最下部膜壳 5 米以上时，系统停止时产水侧的静压头（0.05 MPa）会从产水侧施力给原水侧。即发生背压现象，导致膜受到伤害。因此要务必注意原水管道是否高于产水管道，同时要注意产水管道在膜壳上部的高度。

6.3 运行管理

6.3.1 反渗透系统的管理

反渗透预处理主要是去除对反渗透有危害的污染物。预处理做得不充分时会影响到反渗透系统的运行。因此每天的运行管理十分重要。监测预处理系统产水（反渗透的给水）的浊度及 SDI₁₅。若所测指标远远大于日常测定值，则可证明预处理出现异常。必须要对预处理系统进行检查，又必要时可以采取清洗等措施使其恢复状态。

表 6.4 反渗透系统的管理

项目	现象	采取措施
残留余氯浓度	大于 0 mg/L	加入 SBS
pH 值	在允许范围外	产生结垢可能性很大，调整加药泵
保安过滤器压差	压差急剧上升	可能是预处理效果不好，检查预处理
流量平衡	回收率及产水量不正常	发生结垢及膜堵塞可能性很大，需调整流量平衡

6.3.2 反渗透系统运行数据的管理

为了使膜性能最大程度地得到发挥，并保持长期稳定运行，关键在于保持其适当的运行条件，及时记录每天的运行数据。及时确认并坚持正确的运行管理能够延长膜元件的使用寿命。在本小节中以一般性制水设备为例，着重介绍运行数据的记录方法。

6.3.2.1 反渗透膜运行数据管理的重要性

反渗透膜制水装置受外界影响因素很大，在运行管理时要注意以下几点：

- 不要超出规定以上的回收率和运行压力；
- 要充分保证浓水流量；
- 禁止异物、污染物和氧化剂流入；
- 定期物理冲洗和化学清洗。

6.3.2.2 测定运行数据

产水量、脱盐率和压差是作为反渗透膜性能管理的重要指标。每天记录运行数据，就能及时发现这些性能管理指标的异常。此外，作为查明异常原因的补充项目还要记录回收率、运行压力、pH 值、浓水流量和温度等。

表 6.5 反渗透和纳滤装置运行日常管理用检测项目

No.	测定项目	记号	单位
1	产水流量	Q_p	m ³ /h、L/min、gal/min
2	浓水流量	Q_b	
3	第一段压力	P_1	kgf/cm ² 、bar、MPa
4	第二段压力	P_2	
5	浓水侧压力	P_3	
6	产水压力	P_4	
7	原水电导率	EC_f	μs/cm
8	浓水电导率	EC_b	
9	产水电导率	EC_p	
10	原水温度	T_f	℃
11	原水 pH 值	pH_f	N/A
12	保安过滤器入口压力	PF_1	kgf/cm ² 、bar、MPa
13	保安过滤器出口压力	PF_2	

6.3.2.3 运行数据整理

对记录的数据进行整理十分重要。表 6.6 对记录数据进行分析。

① 标准化产水量。反渗透膜的产水量会根据操作压力、温度等发生变化。因此比较每天的运行数据记录可以补正其效果达到标准化。通常，25℃时压力为 0.1 MPa 得到的产水为标准、可以确认其变化。

② 原水平均浓度。由于反渗透系统的给水含盐量（电导率）随着水流的流动是变化的，这导致位于不同位置的反渗透膜元件接触的给水电导率不同，所以在计算脱盐率，或采用电导率的阻止率替代脱盐率时，给水的浓度就十分重要，而不能简单地用进水电导率替代。通常有两个方法来计算相对准确的给水电导率：

- 算术平均电导率 = $(EC_f + EC_b) / 2$

式中： EC_f —— 进水的电导率， $\mu\text{s}/\text{cm}$ ；

EC_b —— 浓水的电导率， $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

- 对数平均电导率 = $EC_f \times \ln [\text{Rec.} / (1 - \text{Rec.})]$

式中： Rec. —— 系统的回收率。

在一般情况下应该采用算术平均给水电导率来计算系统的实际脱盐率(这里的脱盐率并非真实的脱盐率,而是采用电导率的阻止率表征的脱盐率),但是当系统的回收率大于 85 % 时,就应该使用对数平均给水电导率来计算脱盐率,这样才能得到更为准确的系统脱盐率。

表 6.6 反渗透装置运行管理用计算项目

No.	计算项目	记号	单位	计算公式
1	第一段压差	dP_1	kgf/cm ² 、bar、MPa	$P_1 - P_2$
2	第二段压差	dP_2		$P_2 - P_3$
3	全体平均压力	P_{av}		$(P_1 + P_2 + P_3) / 3$
4	全体有效压力	P_n		$P_{av} - P_4$
5	温度校正系数	TCF	N/A	$\exp \{2700 \times [1 / (273 + T) - 1/298] \}$
6	标准化产水量	J	m ³ /(h·MPa)	$Q_p / P_n \times \text{TCF}$
7	电导率的阻止率	Rej.	%	$(1 - EC_p / \text{给水平均电导率}) \times 100 \%$
8	回收率	Rec.	%	$Q_p / (Q_p + Q_b) \times 100 \%$
9	预处理过滤器压差	dP_{pr}	kgf/cm ² 、bar、MPa	$PF_1 - PF_2$

6.3.2.4 将数据图表化

表 6.5 和 6.6 中的各项用 Excel (Microsoft® 公司 Office 应用软件的一个组件) 软件记录后,可以作成图表以便一目了然地掌握运行状况的变化,尽早采取应对措施。通过确认标准化产水量、电导率的阻止率和压差这三项数据表变化,可以分析出系统运行情况。这三项性能管理指标以外的测定值及计算值也是探究膜性能发生变化的重要数据。

6.3.3 反渗透系统的停运保护

① 杀菌。为防止微生物污染,一天一次注入亚硫酸氢钠 (NaHSO₃) 500 mg/L 水溶液 30 – 60 分钟,进行间断性杀菌。另外,装置停止前也要用含有 500 mg/L 亚硫酸氢钠的反渗透产水来替换原水。

② 膜元件保存

- 停运 30 日以内: 用含有 500 mg/L 亚硫酸氢钠的反渗透产水替代原水,并保持压力容器内充满这种水并关闭阀门密封。
- 停运 30 日以上: 用药品清洗膜元件(请参见第三部分第八章 8.3),然后用含有

500 mg/L 亚硫酸氢钠的反渗透产水替代原水，并保持压力容器内充满这种水，关闭阀门密封。当液体温度在 30 °C 以下时，要每 30 天采用新的 500 mg/L 亚硫酸氢钠溶液替换原有溶液。当液体温度在 30 °C 以上时，则每 15 天要更换一次。

③ 系统重新投入运行时，前 10 分钟的产品水应该排放，当确认产水中没有残留亚硫酸氢钠后，才可以使用产品水。