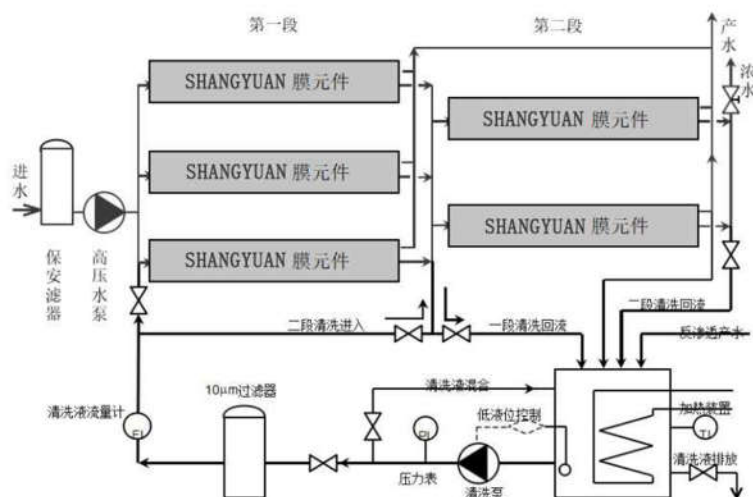


3-4.反渗透膜系统化学清洗部分设计

反渗透膜系统经过长期运行后会被进水中的污染物所污染，系统通量、脱盐率下降，须进行相应的化学清洗以便恢复系统初始性能。

3-4.1.典型的反渗透膜在线清洗系统工艺流程图



典型反渗透膜系统在线化学清洗工艺流程图

3-4.2.清洗系统的组成

清洗系统一般由清洗水箱、清洗泵、保安压力器、加热装置、流量计、压力表等组成。因清洗液 pH 范围 2~12，清洗系统上的各个设备材质应耐酸碱腐蚀。清洗水箱的容积可根据《反渗透膜系统的清洗导则》中清洗液体积的计算来确定；清洗泵的压力一般为 3bar~5bar，泵流量可根据一段压力容器数 x 推荐的单支压力容器流量来确定。

(1) 清洗注意事项

1. 当使用任何化学清洗药品时，必须熟悉并遵循相应的安全操作规程。
2. 清洗时，清洗液 pH 范围 2~12；清洗液 pH=2 时清洗液温度不超过 45 度，清洗液 pH=12 时清洗液温度不超过 35 度。
3. 清洗后应采用高品质的不含余氯等氧化剂的水对膜元件进行冲洗(最低温度>20°C)，推荐用反渗透膜系统的产水。开始冲洗时应该在低流量和低压力下进行，冲洗一段时间后逐步恢复到正常操作压力和流量。此外，在清洗过程中清洗液也会进入产水侧，因此，初始产水必须排放掉直至产水清澈为止。

4-5.反渗透膜系统的清洗导则

4-5.1. 膜元件污染简介

进水中存在的悬浮物、胶体、有机物、微生物以及浓缩后沉淀析出的盐等都会对膜元件产生污染。反渗透系统的预处理可除去这些污染物，减少对膜的污染，延长系统运行的时间。但是由于预处理不能完全去除水中的上述污染物，所以经过一段时间的运行后便会产生膜元件污染，造成系统的性能下降。膜系统的性能下降主要表现为：产水量下降，脱盐率降低（电导升高），进水与浓水之间的压差增加。

4-5.2 膜系统清洗时机判断

由于反渗透膜系统的性能随着温度、压力、pH、进水 TDS 等因素的变化而变化（如温度每降低 3℃，产水量降低 10%；pH 有较大变化是对产水电导产生影响），故有时膜系统性能的变化并非是膜系统受到污染所致，为了准确判断系统的清洗时机，应依据膜元件生产商提供的标准化软件对运行数据进行标准化计算，运行数据标准化后若出现下列情况之一时应及时对反渗透膜系统进行化学清洗：

- 数据标准化后，系统产水量比初始值下降 15%以上。
- 数据标准化后，盐透过率比初始值增加 10%以上。
- 数据标准化后，进水与浓水之间的压差比初始值增加 15%以上。

达到化学清洗条件后必须及时进行化学清洗，一般情况下清洗后都能基本恢复初始性能；但若不及时清洗将会造成膜系统的深度污染，导致化学清洗效果甚微，则很难恢复系统较好的性能。

4-5.3 膜系统清洗步骤

第一步：低压冲洗

最好使用反渗透产品水冲洗，也可以用预处理出水（原水中若含有特殊化学物质，如能与清洗液发生反应的不能使用）。

第二步：配制清洗液

用反渗透产品水配制清洗液，准确称量药剂并混合均匀，检查清洗液的 pH 值、温度（温度不低于 25℃）及药剂含量等条件是否符合要求。

第三步：低压低流量输入清洗液并循环

用正常清洗流量（表 1）的 1/3 流量及 20-40psi 的压力向反渗透系统输入清洗液，刚开始的回水排掉，防止清洗液被稀释。让清洗液在管路循环 5-10 分钟。观察回流液的浊度和 pH 值，若明显变浊或者 pH 值变化超过 0.5，可加入适量药剂或重新配制清洗液再进行上述操作。

表 13.膜元件推荐的正常清洗流量

清 洗 流 量	
膜元件直径 (in)	每根压力容器的流量 gpm (m ³ /h)
2.5	5 (1.2)
4	10 (2.3)
8	40 (9.1)

第四步：浸泡及间歇循环

停止清洗泵循环，防止清洗液流出压力容器，可关闭清洗液进水阀、清洗液浓水回流阀、清洗液产水回流阀。视组件污染情况，膜组件全部浸泡在清洗液中 1 小时左右或更长时间（10~15 小时或过夜）。期间可以间歇的开启循环泵保持恒定的清洗液温度（25~30℃）。

第五步：大流量循环

加大清洗液流量到正常清洗流量的 1.5 倍进行清洗，循环 30-60 分钟。此时压力不能太高，以系统无或稍有产水的压力为限，注意膜元件压差和压力容器的压差不能超过极限值。

第六步：冲洗

先用产品水（最低冲洗温度为 20℃）冲洗系统约 5 分钟，然后用预处理合格产水冲洗系统 20-30 分钟，为防止沉淀，最低冲洗温度为 20℃，将清洗液完全冲出无残留。开启系统运行，检查清洗效果，产水排掉不用。若要停机不用的要按相关方法保存好组件。

4-5.4.反渗透膜系统污染后的症状及清洗方法

反渗透系统日常的运行记录是判断系统是否出现污染及污染后采取合理的清洗方法的主要依据。反渗透系统的管理中必须重视数据的记录。

4-5.4.1.无机盐结垢污染及清洗

无机盐结垢污染后的症状：

首先膜系统二段产水电导异常（电导升高），产水量出现较大的降低，压力逐步变大，二段的压差也逐步变大。最显著的症状是产水量降低比较明显。

反渗透膜系统中最常见的是碳酸钙、硫酸钙结垢；对于膜系统几小时或几天内产水量出现大幅下降的情况，多数属于此类污染。

无机盐结垢通常是由于过高的回收率、阻垢剂的投加量不足、离子交换软化树脂未及时再生等原因造成。

碳酸盐结垢的清洗

碳酸盐结垢可按照以下配方进行清洗：

主要污染物质	推荐清洗液	备注
碳酸盐沉淀物	0.2% 盐酸 (HCl)	优选，最高温度 45℃，pH=2
	2.0% 柠檬酸 (C ₆ H ₈ O ₇)	可选，最高温度 45℃，pH>2

清洗时按照前述步骤进行清洗。

硫酸盐结垢的清洗

硫酸盐结垢的清洗是无机盐结垢中比较难清洗的一种，对硫酸盐结垢的清洗应该及早进行，结垢形成一周以上后，清洗后性能恢复的可能性极低，因此对高硫酸根含量特征的水源，预处理要求较高，必须加强对系统的监控，一旦出现硫酸盐结垢现象，立即进行相应的清洗。

硫酸盐结垢可按照以下配方进行清洗：

主要污染物质	推荐清洗液	备注
硫酸盐垢	0.1% 氢氧化钠(NaOH) +1.0% EDTA 四钠(Na ₄ -EDTA)	NaOH、Na ₄ -EDTA，pH=12， 最高温度 30℃

清洗时按照前述步骤进行清洗。

4-5.4.2.胶体污染的症状及清洗

反渗透进水中的胶体包括淤泥、无机胶体、胶体硅及部分有机物等，通常采用絮凝过滤、活性炭吸附等方式去除。

无机胶体污染的症状：

反渗透膜系统中污染首先出现在第一段，产水量逐渐下降，压差逐渐变大，产水电导轻微上升；胶体污染最主要的症状是产水量及压差缓慢变化。

无机胶体污染可按照以下配方进行清洗：

主要污染物质	推荐清洗液	备注
无机胶体	0.1%氢氧化钠 (NaOH) + 0.025%十二烷基苯磺酸钠 (Na-DDBS)	NaOH、Na-DDBS，pH=12，最 高温度 30℃
	2.0% 柠檬酸 (C ₆ H ₈ O ₇)	可选，最高温度 45℃，pH>2

清洗时按照前述步骤进行清洗。

4-5.4.3.有机物污染的症状及清洗

以地表水、废水、海水等做水源的反渗透系统存在较高的有机物污染风险，这些有机物的成分主要是腐殖质、有机酸等。

有机物污染的主要症状是产水量大幅下降，脱盐率基本不变。发生有机物污染时可按照以下配方进行清洗：

主要污染物质	推荐清洗液	备注
有机物	0.1%氢氧化钠(NaOH)+ 0.025%十二烷基苯磺酸钠 (Na-DDBS) 0.2%盐酸(HCl)	优选，先用 NaOH 和 Na-DDBS 溶液清洗，pH=12，最高温度 30℃；再用 HCl 溶液清洗，pH=2，最高温度 30℃。
	2.0%三聚磷酸钠（STPP） +0.025%十二烷基苯磺酸钠 (Na-DDBS)	可选，Na ₅ P ₃ O ₁₀ 、Na-DDBS，pH=10，最高温度 30℃。

清洗时按照前述步骤进行清洗。

4-5.4.4.微生物污染的症状及清洗

微生物污染通常出现在反渗透系统停机期间，以及以地表水、中水（三级废水）、海水等为进水水源的反渗透系统中，发生微生物污染时通常还会伴有有机物污染。生物污染应在初期及时清洗，一旦形成生物膜后，清洗就非常困难，只有更换膜元件。

微生物污染的症状：

污染出现在所有段，一段、二段压差迅速增加，产水量下降，产水电导基本不变；最主要的症状是压差增加。

发生微生物污染时可按照以下配方进行清洗：

主要污染物质	推荐清洗液	备注
微生物	0.1% 氢氧化钠（NaOH）+ 0.025%十二烷基苯磺酸钠 (Na-DDBS)	优选，用 NaOH 和 Na-DDBS 溶液清洗，pH=12，最高温度 30℃
	0.1%氢氧化钠（NaOH）	优选，用 NaOH 溶液清洗，pH=12，最高温度 30℃

	2.0%三聚磷酸钠 (STPP) +0.025% 十二烷基苯磺酸钠 (Na-DDBS)	可选, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 、Na-DDBS, pH=10, 最高温度 30℃。
--	--	--

清洗时按照前述步骤进行清洗。

对于发生微生物污染的反渗透膜系统化学清洗后还需要进行系统的消毒处理, 改进预处理防止微生物污染。

4-5.4.5. 金属化合物的污染

金属化合物污染主要是金属氧化物、金属氢氧化物等, 尤其以铁污染为主。发生的原因主要是预处理缺陷、管路锈蚀等, 其症状是产水量和脱盐率下降, 膜元件压差增大, 可按照以下配方进行清洗:

主要污染物质	推荐清洗液	备注
金属化合物	1.0%焦亚硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, pH=5, 最高温度 30℃
	2.0% 柠檬酸($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$, pH>2, 最高温度 45℃

清洗时按照前述步骤进行清洗。

4-5.4.6. 清洗液体积的计算

清洗液的总体积包括压力容器、清洗管道、高压管路和过滤器的体积及 20%的裕度。清洗液体积计算包括粗略估算和精确计算两种方式。

粗略估算清洗液体积: 根据膜元件型号和污染程度而定

对于一般污染情况: 每支 4040 型膜元件需配制 10 升清洗液;
每支 8 英寸膜元件需配制 40 升清洗液。

对于严重污染情况: 每支 4040 型膜元件需配制 18 升清洗液;
每支 8 英寸膜元件需配制 55 升清洗液。

精确计算示例: 压力容器和清洗管道的体积估算见下表所示。

常用管路的容积率

管路直径 (in)	容 积 率
3	0.37 加仑/英尺 4.6 升/米
4	0.65 加仑/英尺 8.1 升/米

压力容器的容积

压力容器容积	
膜元件尺寸	每支膜元件的容积 加仑（升）
4040	2（8）
8040	8（32）

以 36 支 8040 膜元件为例计算如下：

膜系统 4：2 排列，每个压力容器内装 6 个 8040 膜元件，采用分段清洗。

公称直径为 3 英寸的清洗管道长 15 米，则清洗管路体积=15x4.6=69L；保安过滤器内能储存 60 升水；一段压力容器体积=4x6x32=768L；清洗液总体积为=69+60+768=897 升，即第一段清洗需要配制 897+897x20%=1076 升清洗液。同理第二段清洗需要配制 615 升清洗液。

表 4：所需清洗液总体积

清洗液总体积估算		
	体积 （升）	
	第一段	第二段
压力容器	$4 \times 6 \times 32 = 768$	$2 \times 6 \times 32 = 384$
清洗管路	$15 \times 4.6 = 69$	$15 \times 4.6 = 69$
保安过滤器	60	60
20%裕度	180	102
总体积	1076	615

注意：1. 进行化学清洗时请注意防止化学药剂伤害操作人员，尤其是在使用某些腐蚀性较强的化学药剂时（如清洗硅污染时可能使用含氟药剂），建议在专业人员指导下进行清洗。

2. 清洗液体积的计算示例仅供参考。