

Nitto

Innovation for Customers

HYDRANAUTICS

RO SYSTEMS

反渗透系统

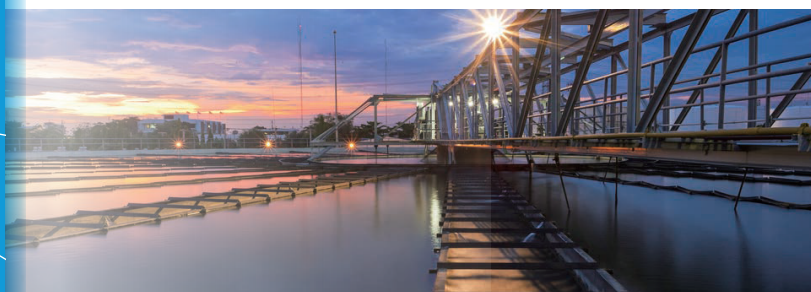
设计



运行



维护



**Solution You Need.
Technologies You Trust.**

美国海德能
WE MAKE LIFE BETTER

目 录

Contents

分离膜的世界	2
主要膜过程的基本原理	4
反渗透膜过程的基本概念	5
影响膜性能的主要因素	9
反渗透和纳滤系统的预处理	14
反渗透和纳滤系统的设计	21
膜元件的运输、安装和运行	43
系统故障的诊断和排除	52
反渗透和纳滤系统的清洗	59
全球工厂及驻华代表机构	74

分离膜的世界

膜可以对溶液中的物质进行过滤、分离、提纯和浓缩。按照分离过程的不同可以分为：微滤（MF）、超滤（UF）、纳滤（NF）、反渗透（RO）、电渗析（ED）、透析（DA）、电脱盐（EDI）、渗透汽化（PV）、膜萃取（ME）、膜蒸馏（MD）、液膜（LM）和气体分离（GS）等。通常用于水处理领域的主要有MF、UF、NF、RO和EDI等。



美国海德能公司目前生产的分离膜产品包括分离离子类物质的 NF 膜及 RO 膜、分离高分子物质的 UF 膜和分离微粒子的 MF 膜。这几种分离膜可以被制成卷式 (Spiral)、中空纤维 (Hollow Fiber) 和平板式 (Flat Sheet) 等不同的结构。膜的种类及结构的异同，导致膜的性能和用途也不同。此外，分离膜的运行方式也分为错流过滤和全量过滤两种。

01.

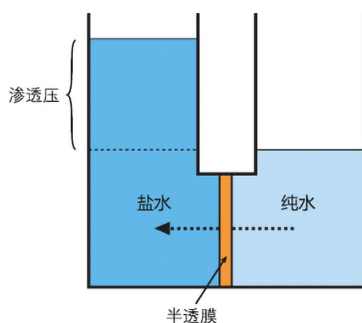
主要膜过程的基本原理

1 反渗透 (RO) 和纳滤 (NF)

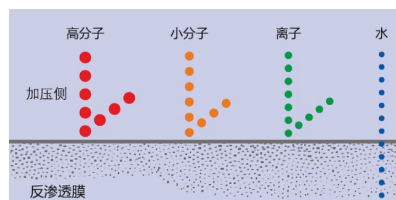
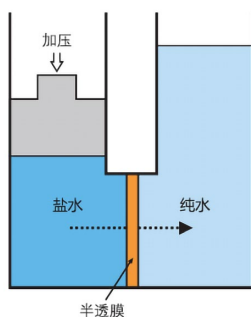
在用半透膜分隔开的容器两边分别加入盐水和纯水，渗透压会使纯水透过半透膜进入盐水一侧，使该体系达到平衡，这种现象被称为“渗透”（Osmosis）。而“反渗透”（RO：Reverse Osmosis）是指，在盐水侧施加大于渗透压的压力，盐水中的水通过半透膜流回纯水一侧。反渗透膜正是利用这种原理而生产出来的。

纳滤（NF）膜可以选择性的分离溶液中的一价离子（如： Na^+ 和 Cl^- 等）和二价及二价以上离子（如 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 等）以及色素等有机物。

● 渗透的原理

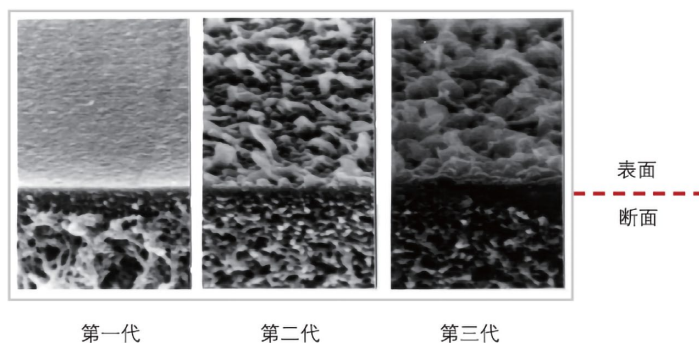


● 反渗透的原理



自 1972 年开发出目前成为主流产品的芳香聚酰胺反渗透复合膜以来，反渗透膜一直向操作压力降低的方向发展。从表面脱盐层致密、运行压力高的第一代产品逐步发展到测试压力 1.55MPa 等级的第二代低压产品，并逐步被推广应用于苦咸水淡化、废水再利用以及超纯水制备等领域。为了进一步降低运行压力，美国海德能公司着眼于脱盐层的改进，通过控制脱盐层的结构，制造出测试压力更低的第三代反渗透膜，使反渗透膜的测试压力等级下降到 0.70MPa-1.05MPa 范围，大大节约了制取纯水的能耗，保护了环境。

反渗透膜的发展



02.

反渗透膜过程的基本概念

反渗透的脱盐机理到目前仍没有一个公认的统一解释，很多数学模型被建立来解释反渗透现象，但遗憾的是没有一个模型可以完全解释反渗透过程。目前，氢键理论及结合水 - 空穴有序扩散模型、优先吸附 - 毛细孔流理论和溶解扩散理论三个机理和模型获得的关注较多，其他的还有扩散 - 细孔流理论、自由体积理论等等。

1 渗透压

不论哪个模型或理论，渗透压都是反渗透的主要概念，即反渗透就是克服溶液渗透压而制取溶液中纯水的分离过程。溶液渗透压的数值可以通过下式计算：

$$\pi = c R T$$

式中： π - 渗透压，KPa

c - 离子浓度，mol/L

R - 气体常数，8.314 (L kPa) / (mol K)

T - 热力学温度，K

25°C下典型物质的渗透压数据

溶液	浓度，mg/L	渗透压，MPa
NaCl	35,000	2.8
海水	32,000	2.4
苦咸水	5,000	0.28
Na ₂ SO ₄	1,000	0.042
MgSO ₄	1,000	0.025
MgCl ₂	1,000	0.068
CaCl ₂	1,000	0.009
蔗糖	1,000	0.00292
葡萄糖	1,000	0.0055

2 膜的水透过系数 -A 值

A 值反映的是膜的水透过特性，膜的水透过量可以用下式表征：

$$Q_w = K_w \times \frac{S}{d} \times (\Delta P - \Delta \pi)$$

式中： Q_w - 产水量
 K_w - 膜的纯水渗透系数
 S - 膜面积
 d - 膜分离皮层厚度
 ΔP - 膜两侧压力差
 $\Delta \pi$ - 膜两侧渗透压差

上式可以简化为：

$$Q_w = A \times NDP$$

式中：A- 膜的水透过系数
NDP- 净驱动力（Net drive pressure）

从上式中可以看出，产水量仅仅与 A 值和净驱动力有关。当分离膜确定后，A 值反映的膜面积、分离层厚度以及膜的纯水透过系数就被确定了，不会再发生变化，则产水量仅仅与净驱动力相关，且净驱动力越大，产水量就越高。这也就是为什么在一定范围内，反渗透系统的工作压力越大，系统的产水量越高。

3 膜的盐透过系数 -B 值

B 值反映了膜的溶质透过特性，即盐分（TDS）的透过特性。和水可以透过分离膜一样，溶解在水中的溶质也会透过膜的分离层，膜的透盐量可以使用下式表征：

$$Q_s = K_s \times \frac{S}{d} \times \Delta C$$

式中： Q_s - 盐分的透过量
 K_s - 膜的盐分渗透系统
 S - 膜面积
 d - 膜分离皮层厚度
 ΔC - 膜两侧盐分浓度差

上式可以被简化为：

$$\text{水 } Q_s = B \times \Delta C$$

式中：B- 膜的盐透过系数

从上式可以看出，盐的透过与 B 值和膜两侧盐分的浓度差有关。当分离膜被确定后，B 值所反映的膜面积、分离皮层厚度以及膜的盐分透过系数就被确定了，不会再发生变化，则盐的透过仅与膜两侧的浓度差有关，且浓度差越大，盐分的透过量就越高，产水水质越差。这里需要注意的是，盐分的透过与系统运行的压力以及净驱动力无关。这也就是说，当反渗透处理的水源确定后，含盐量不发生变化时，系统的运行压力不会影响盐分的透过。但是由于前面已经提到，系统运行的净驱动力的升高，会导致系统产水量的上升，这就是为什么当反渗透系统的工作压力升高时，系统表现出来的脱盐率会上升。

4 脱盐率和透盐率

透过液中的盐浓度 (C_p) 取决于透过反渗透膜的盐量和水量的比, 即下式:

$$C_p = \frac{Q_s}{Q_w}$$

由于水分子和盐分子在膜中的传质系数不同, 从而达到了水与盐分离的目的。没有什么理想的膜能够 100% 脱除盐分, 因此各种盐分均具有一定的透过率。原水中盐分透过膜的百分率可以采用下式计算:

$$SP = \frac{C_p}{C_{fm}} \times 100\%$$

式中: SP- 透盐率

C_p - 透过液中的盐浓度

C_{fm} - 原水中的平均盐浓度

将以上两式合并, 可得:

$$SP = \frac{Q_s}{Q_w C_{fm}} \times 100\%$$

即:

$$SP = \frac{B \Delta C}{A(NDP)C_{fm}} \times 100\%$$

由上式可以看出, 净驱动力 (NDP) 的增加可以降低透盐率, 这同样可以说明随着系统运行压力的升高, 脱盐率也会上升。

脱盐率是由下式得出的:

$$Rej = 100\% - SP$$

式中: Rej- 脱盐率

5 产水量和水通量

产水量反映了反渗透系统实际产出脱盐水的量, 通常以单位时间内的产水体积或质量来表征, 单位为: m^3/h 或 t/h 。

水通量则是表征单位时间、单位膜面积下透过膜盐水的体积, 通常单位为: $L/m^2 \cdot h$ (LMH) 或 $gal/ft^2 \cdot d$ (GFD)。

6 回收率

通常, 将回收率定义为进水转化为产水的百分率。回收率是反渗透系统设计和运行的重要参数, 其计算公式为:

$$Rec = \frac{Q_p}{Q_f} \times 100\%$$

其中：Rec- 回收率

Q_p - 产水产量

Q_f - 进水流量

回收率的大小直接影响透盐率和产水量。回收率增加时，浓水侧的盐浓度增加更快，致使透盐率增加、渗透压上升以及净驱动力（NDP）降低、产水量减少。

7 特性水通量

由于反渗透系统的产水量与系统的净驱动力正相关，因此系统的运行压力会影响产水量和水通量。为了考察分离膜的真实透水性能，就必须排除压力的影响，在相同的净驱动力下评价水的透过性能，这就引入了特性水通量的概念。即：单位时间、单位膜面积、单位压力下的水透过量，单位为：LMH/MPa 或 GFD/psi。

8 浓差极化和浓差极化因子 β

浓差极化是指当水透过膜并截留盐分时，在膜表面会形成一个流速非常低的边界层，边界层中的盐浓度比进水本体溶液的盐浓度要高，这种盐浓度在膜面增加的现象叫做浓差极化。浓差极化会时实际的产水通量和脱盐率低于理论估算值。浓差极化效应如下：

- 膜表面上的渗透压比本体溶液中要高，从而降低 NDP
- 降低水通量 (Q_w)
- 增加透盐量 (Q_s)
- 增加难容盐的浓度，超过其溶度积并结垢

浓差极化因子 (β) 被定义为膜表面盐浓度 (C_s) 与本体溶液盐浓度 (C_b) 的比值：

$$\beta = \frac{C_s}{C_b}$$

那么哪些参数会影响浓差极化因子 (β) 呢？通常产水通量的增加会增加边界层的盐浓度，从而增加 C_s ；而给水流量的增加会增大膜表面流速，消减边界层的厚度。因此 β 值与产水流量 (Q_p) 成正比，与平均进水流量 (Q_{favg}) 成反比：

$$\beta = K_p e^{\frac{Q_p}{Q_{favg}}}$$

式中： K_p - 比例常数，其值取决于反渗透系统的构成方式。平均进水流量可采用进水量和浓缩液流量的算术平均值， β 值可以进一步表达为膜元件透过液回收率的函数：

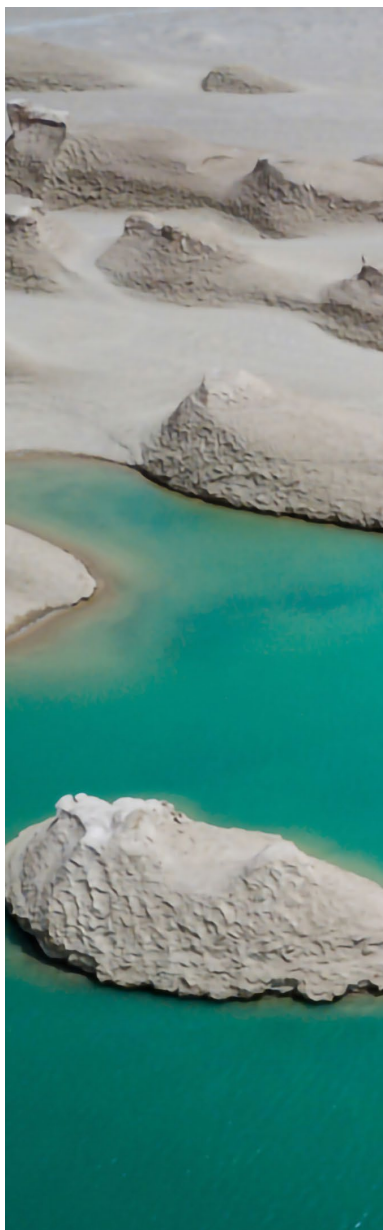
$$\beta = K_p e^{\frac{2Rec}{2-Rec}}$$

美国海德能公司推荐的一级反渗透系统浓差极化因子极限值为 1.20，对于一种 40 英寸长的膜元件来说，大约相当于 18% 的回收率。对于双级反渗透系统的第二级，由于其进水含盐量已经显著降低，因此浓差极化因子极限值可以放宽到 1.40，在某些情况下可以容忍到 1.70。

03.

影响膜性能的主要因素

1 水源与预处理



① 河川水

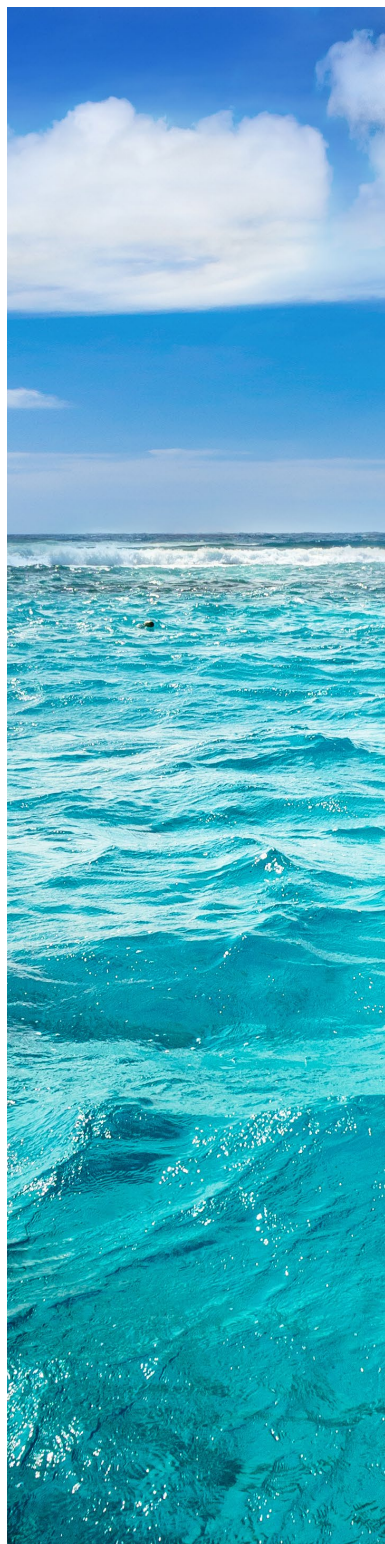
由于降雨而落在地表的水，通过地表或者经由低下汇入河流。径流地表的水通常含有较多的悬浊物质；而径流低下的水则含有较多的溶解性无机盐。特别是大雨过后，大量的水流入河流时，河水中的悬浮物质会变得非常多。到了雨少的季节就会变得相对清澈。河水中的悬浊物质变化幅度非常大。河水的温度随季节变化也十分的明显。由于水生生物的存在，河流中的有机物含量也很多。这些污染物都会对反渗透和纳滤系统造成污染。当河流被市政污染、工业废水污染时，其含有的污染物成分就更为复杂。这时需要对水质进行足够的调查，更要对预处理系统的设计做必要的考虑。

② 湖泊水和水库水

河川水在湖泊或者水库中长时间滞留后悬浊物质因为沉降其含量会变少，但又容易受微生物的影响。湖泊水和水库水容易发生富营养化，致使藻类过度繁殖，有时可能会造成反渗透预处理系统的堵塞，更会因为消耗水中的溶解二氧化碳，造成湖水的 pH 值升高。湖泊内部形成水的分层时，水的底层由于处于缺氧的状态会形成厌氧性氛围，造成硫化氢生成，并引起铁、锰的再溶解等等。由此，在引用湖泊或者水库水作为原水的时候，必须深入调查水质状况并对预处理方式慎重选择。

③ 地下水

地下水在地层内的流速极为缓慢，由于自然的过滤作用，在水中几乎不含有悬浊物质，但受流经地层的影响十分明显。比如，流经石灰盐带的水中钙的浓度就非常高，通过火山地带的地下水中，硅的浓度也会变高。通常地下水由于含氧量不足，略显还原性，地层的影响可能还会导致硫化氢、钡和锶等成分的变化。地下水的悬浊物质较少，全年的水温也较稳定，作为反渗透系统的原水时，需考虑在预处理中除去的硬度和硅等物质。



④ 市政自来水

自来水厂经过处理产出的用于饮用自来水，会因为自来水厂的水源不同、采取的处理工艺不同，水质状况也会有所不同。有时由于自来水厂在原水中添加部分絮凝或助凝药剂，导致反渗透系统发生污染。此外，市政管网的材质也可能对原水造成二次污染。因此不能因为反渗透或纳滤系统的给水是市政自来水，就放松对预处理的要求。此外，芳香聚酰胺反渗透膜的耐氯性有限，而为了保证市政供水不会在管网中被细菌和微生物污染，通常要求自来水管网的末梢要保持一定的余氯浓度，这些氧化性物质会对芳香聚酰胺反渗透和纳滤膜元件造成不可恢复的伤害。在预处理中必须采用活性炭或者亚硫酸氢钠（SBS）去除残余的氧化性物质。

⑤ 海水

海水中 NaCl 的含量在 3.5% 左右，还含有镁、钙、钾、硫酸根、碳酸根、溴和氟等 10 余种成分。不同区域海水的含盐量由于江河入海口、降水、潮汐和水温的影响有所不同。中国是海洋大国，海域面积约为 473 万千米，分布着 5,400 多个岛屿，海岸线总长约为 3.2 万千米，其中大陆海岸线长约 1.8 万千米。这些数据表明，在中国不同海域的海水水质有很大的不同。目前我国大陆已经建成投运的大型海水淡化工程给水的含盐量主要集中在 25,000-35,000mg/L 范围内，低于外海的平均含盐量，这主要是由于很多取水点离江河入海口较近，河水将近海的海水稀释了。从一些角度来说，这是有利的，比如我们可以用更低的能耗获取淡水，海水淡化系统的回收率也可以适当提高，这些都可以降低海水淡化的成本。但是河流在稀释海水的同时也会带入大量的泥沙和有机物，这对海水淡化的预处理系统的要求就会更加严格。

⑥ 市政污水和工业废水

市政污水和工业废水等伴随着生产、生活产生的排水越来越多的成为膜法处理的给水，这受全球水资源短缺的大趋势影响的。在反渗透和纳滤系统的预处理中去除污染物是一个严峻的课题。某些工业废水中甚至含有导致膜材料降解的化学成分。膜法水处理，包括微滤、超滤、纳滤和反渗透，并不是包治百病的良药，并不是所有的水源水质都可以直接采用膜法进行处理。当进水水质是市政污水、工业废水时，应该对水质成分进行详细的分析，并采用恰当的预处理工艺。即使这样也不是所有的工业废水都适合采用反渗透或纳滤来脱盐。

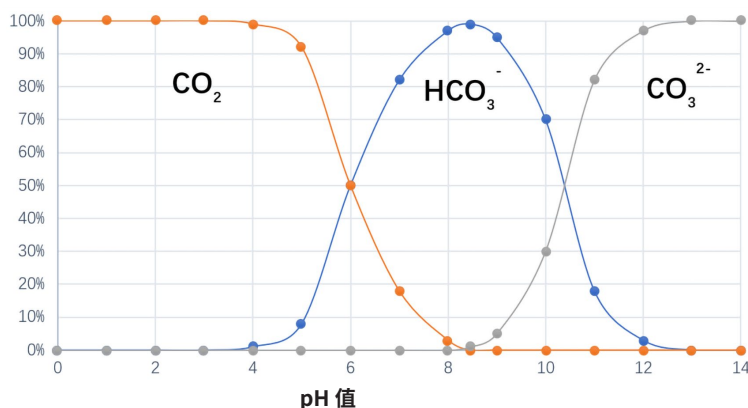
2 水质

① 水温

随着温度的升高，水的粘度（粘性系数）则降低。在相同操作压力下，水温每相差 1°C ，产水量就会有 3% 左右的波动。由此可以看出，在为了确保稳定的产水量，系统设计中温度的设定是非常重要的。在处理硅和难溶性硫酸盐含量较高的水体时，温度降低可以导致这些无机物的溶解度降低。在冬季低温运行时，如果不对温度进行控制，就会导致硅和难溶性硫酸盐结垢。在这种情况下，可以采用热交换器升高水温。而在温度控制比较困难时，需要采取加入阻垢剂或者适当降低回收率的方法来调整系统的运行。

② pH 值

水中的氢离子浓度的负对数值被称为水的 pH 值。pH 值的变化直接影响到反渗透膜的脱盐率和水中的某些难溶盐的溶解度，进而影响反渗透系统的运行。通常反渗透膜在 pH 值 7.5-7.8 之间脱盐率最高。此外，如下图所示，碳酸盐在水中的平衡也会影响反渗透系统的脱盐。



③ 悬浮物

水中的悬浮物，就是指在水滤过的同时，在过滤材料表面残留下的物质，以粒子成分为主。悬浮物含量高会导致反渗透和纳滤系统很快发生严重的堵塞，影响系统的产水量和产水水质。根据光线或者激光的散射，可以把悬浮物用浊度量化并读取出来。不仅仅可以取样在实验室分析，还可以在现场进行在线监控。反渗透对悬浮物是有明确规定的，通常要求给水中的浊度小于 1NTU。

④ 金属成分

铁、锰、铜和镍等金属物质在水中的含量虽然很少，但是作为可能导致氧化反应进而造成膜性能劣化的触媒，也是需要注意的成分。特别需要指出的是，具有触媒机能的胶体状不溶解物质是无法用分析可溶解离子的方法检出的。因此铁、锰等具有催化氧化的金属物质必须在预处理过程中尽量去除。特别是在使用次氯酸钠之类的强氧化剂时，就必须更加严格的限制给水中的铁和锰的含量，通常我们希望给水中具有氧化性的三价铁 (Fe^{3+}) 的浓度不高于 $20\mu\text{g/L}$ ，在特殊的场合也应尽量避免超过 0.1mg/L 。

有时我们进行原水水质分析时，并未发现过量的铁和锰，但是反渗透膜元件却发生了劣化，这时往往都是由于预处理系统采用了投加絮凝剂的工艺，过量的含铁絮凝剂会在水中残留，进而进入反渗透系统破坏膜元件。这时就必须对加药系统进行调整，控制加药量避免过量的铁进入反渗透系统。

类似的事情还经常发生在投加含铝絮凝剂时，铝是一种两性金属，在碱性条件下以氢氧化物的形式存在，氢氧化铝不易溶于水，这时残留在原水中的铝就会污染反渗透膜元件。因此不论加入何种絮凝剂，都必须结合进水的水质严格控制加药量，以免人为带入对反渗透和纳滤膜有影响的化学物质。

另外，水中的钡和锶同钙一样，也属于易结垢物质。在某些地域的地下水中会出现钡、锶含量很高的情况。原水中发现有钡和锶存在的，就必须采用反渗透设计软件（如美国海德能公司提供的 IMSDesign™）进行模拟计算，来确定不会发生结垢的运行条件。

⑤ 有机成分

水体中有机成分主要有：细菌、油脂、腐殖酸、表面活性剂、农药或其它人为排放出的化学物质。通常用总有碳、BOD 和 COD 等指标对有机物成分进行表征。反渗透膜系统可以有效的去除有机物，分子量大于 200 的有机物可去除 99% 以上，小于 200 的依分子量、形状、带电的不同，其去除率也不同。由于每个水质中有机物成分复杂、分子量大小不同，美国海德能公司设计导则中只给出大致范围的定量指导。

针对废水回用的项目，当系统进水中有机物含量超出设计导则范围时，可能会加速系统污染，缩短化学清洗周期。

⑥ SDI

SDI 值的评价不溶解物质的量的一个方法。SDI 的测定方法是采用直径 47 毫米、过滤孔径 0.45 微米的微滤膜片，在 0.21Mpa 的恒压下进行的。测定时，将过滤出第一个 500 毫升所需的时间记为 T_0 ，过滤 15 分钟后，再测定一个过滤 500 毫升所需时间，结尾 T_{15} 。最后按照下式即可求出 SDI_{15} 的数值。 SDI_{15} 的下标数字 15 是表示该 SDI 值是在过滤 15 分钟后测定的结果。有时由于给水水质恶劣。污染成分多，导致在过滤 15 分钟后过滤速度极慢，甚至已经停止，这时 SDI_{15} 的数值就无法计算。遇到这样的情况，说明该水源不具备直接进入反渗透或纳滤系统的条件，需要进行严格的预处理。

$$SDI_{15} = \frac{1 - (T_0/T_{15})}{15} \times 100$$

从上式可以看出， SDI_{15} 存在一个最大值，即 T_0/T_{15} 等于零时 SDI_{15} 最大，约等于 6.67。反渗透系统允许的最大进水 SDI_{15} 为 5.0，从实际工程经验出发， SDI_{15} 小于 3.0 可以更好的保证反渗透系统的运行。当然控制水质的指标很多，SDI 并不能涵盖全部问题。国内外也经常发现 SDI_{15} 数值低于 5.0，甚至 3.0，但是反渗透系统运行仍不稳定的实例。因此，全面考虑给水水质才能避免发生问题和风险。

3 水通量

在影响反渗透系统性能的众多因素中，水通量是其中重要的一个。这是因为反渗透膜对不同给水水质，有一定的水通量设计范围限制。原则上，给水水质越差，水通量的选择应该越小。这主要是避免膜的负荷过大，导致短时间发生严重的膜污染。具体的水通量设计选择请参考设计导则。

4 回收率

回收率是指产水量和进水流量的比值。在压力一定时，回收率提高，膜表面的浓差极化现象也更加严重，有效压力则相对减少，这导致产水量下降，脱盐率降低。反渗透系统在设计和调试时，回收率的确定与原水水质密切相关。回收率增高，溶解于溶液中的盐会更加接近饱和状态，有可能析出后在膜表面沉淀并结垢，会对膜性能带来很大的危害。

5 排列方式

通常处理量小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 的系统，应该采用 4 英寸的膜元件，并且尽量 2:1 方式串联排列，大于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 的系统应该采用 8 英寸膜元件，通常采用 6 芯装或 7 芯装压力容器，两段式 2:1 排列方式。正确的排列方式可以发挥膜元件使用寿命。而错误的排列会导致系统运行故障、严重时会导致膜元件污染甚至损伤。

6 药剂

水处理系统经常会添加很多药剂以帮助系统稳定运行，常见的有：阻垢剂、氧化剂、还原剂、絮凝剂和酸碱等化学试剂。这些试剂投加不当都会引起反渗透膜元件的损坏，即使是阻垢剂，过量投加也可能导致膜污染发生。因此，在投加相关药剂前最好能够确认水源水质以及确定的投加剂量。

04.

反渗透和纳滤系统的预处理

预处理的目的是去除给水中会对反渗透和纳滤膜产生污染或导致劣化的物质。一旦预处理系统不能发挥作用，有污染物进入反渗透和纳滤系统，这些物质可能会在膜表面堆积，若给水中含有微生物，它的繁殖会导致更严重的后果。正确把握原水的特性，设计并选择适当的预处理工艺是非常重要的。

预处理系统的目的不外乎以下几点：

- 保证 SDI_{15} 最大不超过 5.0，争取低于 3.0
- 保证浊度低于 1.0NTU，争取小于 0.2NTU
- 保证没有余氯或类似氧化物，如臭氧、次氯酸钠等
- 保证没有其它可能导致膜污染或劣化的化学物质，如油类等

预处理一般可以分为传统预处理和膜法预处理。所谓传统预处理是对膜法预处理出现前反渗透预处理工艺的总称，包括絮凝、沉淀、多介质过滤和活性炭过滤等。随着高分子分离膜技术的不断发展，微滤和超滤逐步出现在反渗透和纳滤的预处理系统中，并在部分案例中替代了传统预处理工艺。美国海德能公司提出的集成膜解决方案 (Integrated Membrane Solutions™, 缩写 :IMS™) 就是采用超滤技术作为反渗透处理的集成膜工艺。

1 结垢的防止

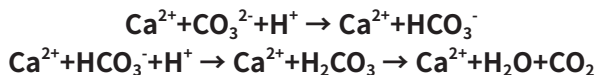
结垢是难溶性的盐类在膜表面析出固体沉淀，防止结垢的方法是保证难溶性盐类不超过饱和界限。结垢不仅会在膜表面发生，有时甚至在系统的管路内部也会发生。

在反渗透和纳滤系统中析出的垢主要是无机成分，以碳酸钙为主。碱性时会形成包括氢氧化镁在内的各种难溶性氢氧化物。在天然的水源中存有的难溶性盐类主要有：碳酸钙 ($CaCO_3$)、硫酸钡 ($BaSO_4$)、硫酸钙 ($CaSO_4$)、氟化钙 (CaF_2)、硫酸锶 ($SrSO_4$) 和二氧化硅 (SiO_2)。一般来说，盐的溶解度、pH 值、温度以及共存的其它盐分浓度均会对结垢产生影响。难溶盐的溶解度通常用溶度积 (K_{sp}) 来表示，溶度积越小溶解度就越低。

在反渗透系统设计的时候特别有必要注意的是钡 (Ba^{2+}) 和锶 (Sr^{2+})。钡一般只存在天然水体中，井水中的钡浓度约在 0.05-0.2mg/L 之间，钡的检出级别是 $1\mu g/L$ 。原水中钡的临界浓度在海水中是 $15\mu g/L$ 以下，苦咸水中是 $5\mu g/L$ 以下。当在原水中投加硫酸时，需注意把给水中钡的浓度控制在 $2\mu g/L$ 以下。锶的分析必须检测到 $1\mu g/L$ 数量级。硫酸根浓度的增加以及水温的降低，会导致硫酸锶的溶解度下降。通常井水中的锶含量在 $15mg/L$ 以下。此外，一些天然水体中含量不高的无机物由于人为原因（如加药等）会被带入给水中，例如磷酸根、铁和铝，这些无机盐往往溶度积很低，极易发生结垢因此当系统投加药剂时，必须注意这些人为引入离子成分的影响。有时甚至会出现投加的不同药剂发生相互作用导致难溶物质析出，进而污染膜元件的情况。因此在投加多种药剂时，应该注意药剂的成分，有条件的最好通过试验确认它们的兼容性。

① Langelier 指数 (LSI) 和碳酸钙沉淀势 (CCPP)

水溶解物质的能力根据水的 pH 值不同有很大变化。原水中的碳酸钙依据加酸量的不同，碳酸根会变成碳酸氢根或二氧化碳气体。下列化学反应式就描述了碳酸盐在水中的平衡。



根据以上平衡，调节 pH 值到酸性区域，可以起到防止碳酸钙析出的作用，从而避免结垢。是否生成碳酸钙垢的表征指标可以用朗格利尔饱和指数 (LSI) 进行评价：

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (\text{TDS} < 4,000 \text{mg/L})$$

式中：pH_s- 水中的碳酸钙饱和时的 pH 值
pH- 实际水溶液的浓水 pH 值

在大多数反渗透系统中，浓水侧的 pH 值会高于进水的 pH 值，因此在考虑 LSI 时务必要考虑浓水侧的 pH 值。通常评判是否结垢的方法如下：

$$\text{LSI} \leq 0 \rightarrow \text{不结垢}$$

$$\text{LSI} > 0 \rightarrow \text{会结垢}$$

用已知的经验公式可以方便的算出 pH_s 和 pH 值。

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{pH} = \log_{10} \frac{[\text{碱度, 以 CaCO}_3 \text{ 计}]}{[\text{CO}_2]} + 6.3$$

$$\text{式中：} A = \frac{\log_{10} [\text{TDS}_{\text{浓水}} - 1]}{10}$$

$$B = -13.12 \times \log_{10} (t + 273.15) + 34.55 \quad (t - \text{水温, } ^\circ\text{C})$$

$$C = \log_{10} [\text{Ca}^{2+}_{\text{浓水, 以 CaCO}_3 \text{ 计}}] - 0.4$$

$$D = \log_{10} [\text{碱度}_{\text{浓水, 以 CaCO}_3 \text{ 计}}]$$

CCPP 指碳酸钙沉淀势，它与其它饱和指数如 Langelier, Stiff&Davis 和 Ryzner 等不同，只表明 CaCO₃ 的沉积或溶解。它不能表明 CaCO₃ 多少含量时会沉积或溶解。它表示水中 CaCO₃ 沉积或溶解的趋势。这种方法更关注 CaCO₃ 沉积和溶解的水质问题。

CCPP 是预计沉淀的或被特定的水溶解以达到平衡的 CaCO₃ 的计算质量。它以 mg/LCaCO₃ 为单位。在平衡状态下，水中 CaCO₃ 饱和，CCPP 值是 0。如果水中 CaCO₃ 过饱和，CCPP 是正值；如果是不饱和的 CCPP 是负值。

如果没加阻垢剂，RO 浓水中的 CCPP 应该是负值。加合适阻垢剂后可以允许更高值。美国海德能模拟软件 IMSDesign 中，CCPP 的高限值为 850mg/L CaCO₃。

② 阻垢剂

有许多厂商在供应各种各样用于反渗透和纳滤系统性能改善的阻垢剂和分散剂。阻垢剂是一系列用于阻止结晶矿物盐的沉淀和结垢形成的化学药剂。大多数阻垢剂是一些专用有机合成聚

合物（比如聚丙烯酸、羧酸、聚马来酸、有机金属磷酸盐、聚磷酸盐、膦酸盐、阴离子聚合物等），这些聚合物的分子量在 2,000-10,000 道尔顿不等。

选择阻垢剂时，要确认其与反渗透膜是兼容的，不兼容药剂会造成膜的不可逆损坏。

阻垢剂阻碍了 RO 进水和浓水中盐结晶的生长，因而可以容许难溶盐超过饱和溶解度。阻垢剂的使用可代替加酸，也可以配合加酸使用防止碳酸钙垢。

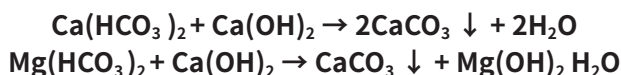
除碳酸盐以外，很多其他无机盐同样具有较低的饱和溶解度。在反渗透系统中经常遇到的有：硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶、一些磷酸盐以及部分金属的氢氧化物，甚至还有硅。这些物质需要有针对性采用不同的专用阻垢剂。

由于实际工程中给水水质复杂、工程设计以及配置不同，选择阻垢剂的依据也会有所不同。强烈建议在选择阻垢剂前与药剂制造商联络，并提供水质数据、反渗透设计方案和所选择的膜型号，通过药剂制造商提供的软件计算以获得恰当的阻垢剂类型以及投加剂量。

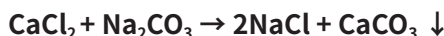
③ 软化

含有钙、镁等硬度成分的水作为锅炉或者冷却水使用时，硬度成分会在传热面或管线内侧沉淀。可以采用絮凝、沉淀、过滤、化学软化或者离子交换等方法对水进行软化。

石灰软化法是通过添加氢氧化钙而起到降低硬度的目的。



非碳酸硬度通过添加碳酸钠可以起到降低的作用。



石灰软化工艺还可以降低硅的浓度。添加铝酸或者三氯化铁，在沉淀物中会含有碳酸钙、硅酸、氧化铝和铁的混合物。采用 60-70°C 的高温石灰脱硅酸工艺，加入石灰和氧化镁，可以把硅酸浓度降低到 1mg/L 以下。而且通过石灰软化处理还可以明显的降低钡、锶以及部分有机物。

④ 回收率

反渗透以及纳滤系统的回收率和原水中溶解物质的浓缩倍率有直接关系，回收率 50% 的系统，浓缩倍数 2 倍；回收率 75% 时，浓缩 4 倍；回收率 80% 时，则浓缩 5 倍；回收率达到 90% 时，相当于浓缩 10 倍。膜系统内由于浓差极化现象的存在，膜表面的料液含盐量会更高。因此，原水由于被浓缩，膜表面的污染会比想象中发生的更快，一般回收率在苦咸水脱盐处理中设在 50-80% 的左右。系统的运行条件、原水的特性状态等因素会影响回收率的确定，一旦选择过高的回收率，就会面临结垢的形成和急速污染的风险。因此，按照实际情况适当的设定回收率就显得尤为重要。基于原水的水质分析数据结合把握其四季变动范围，考虑前处理和产水的回收率、运行温度等相关的反渗透系统设计方式，设定运行条件。

2 胶体污染的防治

胶体是具有 1 纳米 (nm) 到 1 微米 (μm) 粒径, 像粘土一样很难自然沉降的微粒子。在水中通常带负电, 因此胶体粒子间由于静电斥力的作用, 不会发生聚合。反渗透系统的给水中如果含有胶体物质, 会堵塞卷式膜元件的进水隔网, 造成系统压差上升, 进而导致膜元件发生机械破损。

① 介质过滤

按照过滤的速度可分为缓速过滤和急速过滤两大类, 下表列出了不同过滤方式的不同特征。介质过滤可以有效的去除反渗透和纳滤给水中的悬浮物, 降低浊度和 SDI 值。仅靠絮凝、砂滤无法把原水中的粒子有效捕捉时, 还可以配合使用絮凝沉淀和气浮组合。但是, 添加过滤辅助药剂或者絮凝剂, 有可能会造成反渗透和纳滤膜污染。因此需要做小型烧杯实验, 以确认药剂的添加是否对反渗透和纳滤系统有影响。

在选择滤速时, 依据原水水质的不同可以有所变化。通常对于地下水水源, 由于水中的胶体、悬浮物含量较少, 可以选择较高的滤速; 对于污染较严重的地表水, 滤速的设定一定不能太高, 以免对反渗透和纳滤系统造成严重污染 (通过多年的实际经验, 对于受污染的地表水, 过滤速度应尽量小于 8 米 / 小时, 有条件的可以接近 6 米 / 小时, 最高也不要超过 10 米 / 小时)。

类型	缓速过滤	急速过滤
目的	去除细小的难溶物质	去除粒径 0.1-0.5 微米的颗粒物
过滤速度	约 5 米 / 天	4-10 米 / 小时
过滤材料的层高	约 0.7-1.0 米	约 0.6-0.9 米
滤料的粒径	0.30-0.45 毫米	0.45-0.70 毫米
均等系数	< 2.0	< 1.7
过滤层的再生	阻力增加时, 将表层取出进行清洗	反洗

② 絮凝

絮凝是加入絮凝剂中和胶体粒子表面的电荷, 使得胶体粒子间的排斥力变弱, 最终导致微粒子之间变得更容易聚集。絮凝通过以下三个方式起作用:

- 胶体间的引力和反作用力
- 粒子和粒子的接触、冲撞
- 化学作用 (金属氢氧化物的溶解度)

多数常用絮凝剂与水中的碱性成分反应易生成金属氢氧化物, 如果加入絮凝剂的量过多, 会导致生成的氢氧化物析出并对膜元件造成污染。

影响絮凝的因素除了絮凝剂的投加量以外, 还有 pH 值、搅拌条件、共存离子以及水温等。在实际设计中, 必须预先对这些絮凝条件进行预测。最适合的条件要用测试器进行测试, 由生成的絮凝体特性状态决定设计条件, 当然最终还需要用实际的溶液来决定确切的絮凝条件。

③ 活性炭

活性炭可以用来吸附溶解性有机物以及游离氯和臭氧等氧化剂，用活性炭作为反渗透和纳滤膜系统的预处理已经被广泛使用。通常被采用的活性炭有两种类型：颗粒活性炭 (Granular Activated Carbon, 缩写：GAC) 和粉末活性炭 (Powdered Activated Carbon, 缩写：PAC)，它们各自的特征如下：

种类	GAC	PAC
使用方法	和介质过滤一样	添加到搅拌槽中与水混合
使用中的特点	可以再生，可长期连续运行	一次性投加不能再生，可随时改变加药量和品牌
经济上的特点	设备投入较大	设备简单，但需对废炭进行处理，长期连续运行成本较大

④ 微滤和超滤

微滤 (MF) 和超滤 (UF) 是近几年才大规模应用的反渗透和纳滤预处理工艺。同絮凝、沉淀以及砂滤比较，其过滤的水质稳定、设备管理比较简单，也不会产生过滤残渣或絮凝污泥等废弃物。

作为预处理，微滤和超滤膜的使用可以完全去除不溶解的物质，降低颗粒物的污染风险，使得反渗透的设计水通量可以适当增加约 10-20%。但是微滤和超滤也不能包治百病，并非采用了微滤和超滤就可以排除一切对反渗透和纳滤产生污染的物质。

这一方面是由于微滤以及用于反渗透和纳滤预处理的超滤膜都属于筛分过滤，过滤孔径大约在 0.02-0.05 微米之间，虽然大部分不溶解的物质都会被截留，但是很多溶解在水中的有机物同样会对反渗透和纳滤系统产生污染，而这恰恰是微滤和超滤预处理不能解决的。

另一方面，微滤和超滤预处理系统经常要伴随着药剂的加入，例如：絮凝剂、助凝剂、氧化剂、酸和碱等，这些化学物质有可能在微滤和超滤的产水中存留，进而导致反渗透和纳滤膜的污染和劣化。其中尤其要注意的是絮凝剂和氧化剂，从目前大量的双膜法 (MF/UF+RO) 案例来看，大多数微滤和超滤系统会在线投加絮凝剂，种类以铁盐和铝盐为主，这是为了在原水中造成微絮凝以提高微滤和超滤的产水水质，部分絮凝剂未能充分反应并透过微滤和超滤膜进入产水侧，由于在产水水箱中有一定的停留时间，导致这些透过的絮凝剂发生二次絮凝，这对反渗透和纳滤膜会造成严重的污染。氧化剂的投加主要是为了杀灭水中的微生物，在微滤和超滤的反洗步骤中也经常使用，但是残留的氧化剂如果没有充分的还原，就会造成反渗透和纳滤膜的氧化，导致不可恢复的破坏。

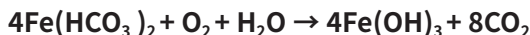
因此，在选择微滤和超滤作为预处理时，一定要严格控制药剂的投加量、严格按照微滤和超滤制造商提供的设计参数设计，虽然微滤和超滤系统自动化程度高、运行操作简单，但也同样要做好维护工作，确保系统稳定地运行。

⑤ 保安过滤器

通过预处理的水在进入反渗透和纳滤系统之前通常会设置 5μm 左右的保安过滤器，这是为了防止管路和中间水箱带入污染物。需要注意的是保安过滤器可能会成为微生物污染的发生源，保安过滤器同样需要定期清洗和杀菌。

⑥ 除铁和除锰

在有的井水中含有还原态的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。这种水在氧化后或者当水中的氢氧根超过 5mg/L 时, Fe^{2+} 会转变为 Fe^{3+} , 生成氢氧化物胶体。



铁比锰更容易造成反渗透和纳滤膜的污染。用反渗透系统来处理这样的水时, 重要的是不要接触空气。在进入反渗透装置前对原水进行氧化, 然后使用过滤器脱除, 也可以防止铁和锰带来的污染。

3 生物污染的防治

反渗透和纳滤系统给水中的微生物会在膜表面沉降、凝结形成一层生物膜。一般来说生物膜的厚度若超过了一定的界度就会形成生物污染。使得原水侧的通路阻力增大, 原水和浓水之间的压差增加。同时, 由于微生物膜阻挡, 系统运行的有效压力也会减少, 从而导致系统脱盐率的下降。以下这些消毒方法均含有氧化性物质, 适用于反渗透和纳滤系统前面的设备和管道。采用这些方法消毒后, 必须清洗干净所有管路, 确保没有氧化性物质之后, 给水才能流入反渗透和纳滤系统。

① 紫外线杀菌

采用紫外线杀菌完全没有药剂残留, 也没有副产物的生成。消毒效果会依据作用对象的不同而不同。采用 UV253.7 在 $1\text{--}21\text{mJ/cm}^2$ 的照射剂量下可以进行细菌消毒 (90% 不活化)。

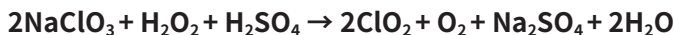
② 药品杀菌

● 氯消毒

用氯消毒的方式效果明显, 在处理上也很容易实现, 对效果的确认可以用余氯残留量或者浓度测定。因为易于管理而被广泛运用。但氯会和腐殖质等溶解性有机物发生反应, 产生三卤代烷烃 (THM) 等对人体有害的副产物, 目前已经有许多替代氯的消毒剂。

● 二氧化氯消毒

二氧化氯 (ClO_2) 作为消毒剂使用越来越广泛, 由于其物理、化学性质上的不稳定性使其无法贮藏, 因此都在现场通过反应生成 ClO_2 并直接使用, 反应大都遵循以下方程式。



通常 ClO_2 的注入量约在 $0.6\text{--}2.0\text{mg/L}$ 以下。和氯的使用相比, ClO_2 的消毒效果是氯的 $1/10\text{--}1/2$ 左右。

● 氯氨消毒

氯氨在市场上没有单独销售, 一般采用在原水中同时注入氨氮和氯, 在某些氨氮含量较高的水体中可以直注入氯, 生成氯氨。用氯氨消毒时, 不会生成过多的类似于 THM 的有害物质, 比较安全。

● 臭氧消毒

被臭氧 (O_3) 处理过的水, 如果含有溴化物则会生成次溴酸根离子 (BrO^-), 进而生成溴酸根离子 (BrO_3^-)。 BrO_3^- 被确认有致癌性, 为回避风险不推荐使用臭氧杀菌。

4 有机污染的防治

芳香族聚酰胺反渗透复合膜是含有苯环的有机物, 通常显负电性。带正电荷的有机物即使在低浓度时, 也会吸附在膜的表面造成水通量的急剧下降。有机物污染的特征一般用肉眼很难判断。用高感度的傅立叶红外光谱 (FT-IR) 分析难以判断时, 可以采用 Zeta 电位测试法帮助判断膜表面吸附情况。表面活性剂中的非离子型和两性的物质对膜性能的影响也非常严重。通常的药剂清洗很难使膜性能恢复。平常使用的家用洗洁剂因含有表面活性剂, 在装填膜元件时禁止作为润滑剂使用。油脂类物质、部分天然有机物等也会对膜元件造成严重的污染, 需在反渗透和纳滤系统的预处理过程中尽量去除干净。

5 膜劣化的防止

膜的劣化, 主要是受物理或化学作用发生不可逆的细微构造或分子构造变化, 导致膜性能下降的现象。

① 物理劣化

已知物理劣化的显著事例是从水泵发出的超声波会造成膜破损 (脱盐率下降), 超过允许压力或超过上限温度 ($45^{\circ}C$) 的运行, 也都会造成膜劣化导致膜性能下降。

② 化学劣化

化学劣化就是指反渗透和纳滤膜受氧化剂影响, 芳香族聚酰胺的聚合链被切断, 或者因过量酸、碱等药剂清洗, 导致膜分离性能的衰减。运行时应禁止氧化剂进入膜系统, 并注意清洗 pH 值不超过该膜元件规定的范围。

05.

反渗透和纳滤系统的设计

反渗透和纳滤系统通常包含预处理设备、反渗透/纳滤设备和后处理设备。设置预处理部分的目的是调整原水的水质使其符合反渗透和纳滤系统的进水水质要求。后处理工序的目的有两个，一是调节反渗透和纳滤的产水成分使其符合使用目的，二是使浓水符合排放标准。在设计反渗透和纳滤系统时，正确掌握原水水质和对产水的要求是最基本的要素。对各个装置的设计进行优化组合是保证系统的正常运行必不可少的重要环节。

1 系统配置

在反渗透和纳滤系统的设计中，(1) 膜元件型号的选择；(2) 水通量选择（单位膜面积的产水量，GFD 或 LMH）；以及 (3) 回收率，都是重要的事项。一般尽可能设计高的回收率，这样可以降低供给水的量，减少预处理的成本。但是，系统的回收率设计高时会有以下的不利因素需要考虑。

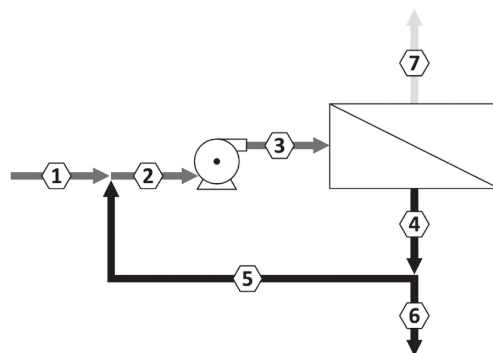
- 结垢的风险增大，需要添加阻垢剂
- 产水的水质下降
- 运行操作压力增高，泵和相关设备的费用增加

产水量和回收率的设计一定要符合安全标准。一般建议要有一定的设计弹性。使用美国海德能公司的膜元件时，请参看美国海德能公司反渗透和纳滤膜元件设计导则。

系统的运行方式一般分为连续操作和批式操作两种。批式处理是指储存一定量的进水，一定期间内处理产水和浓水，一般在小规模浓缩工程和水量小或连续供水不足场合被采用。连续操作是设定一定的回收率和产水量，基本上以一定的操作压力进行连续地分离处理产水和浓水，大规模的反渗透和纳滤装置都采用连续过滤。

① 单元件系统

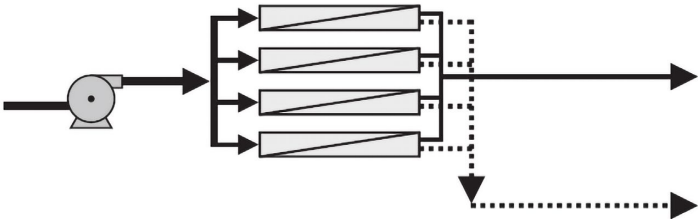
单元件系统是最小的反渗透或纳滤系统，虽然只包含一支膜元件，但是配套设备却很完整。因此熟悉了解单元件系统的结构和设计，对理解大系统的设计是十分有帮助的。右图所示为一个单一膜元件的系统。控制适当的给水范围（最大给水流量和最小浓水流量），防止由于浓差极化所引起的水通量减少和膜污染非常重要。由于该系统仅采用一支膜元件，而设计要求单支 40 英寸长的膜元件浓水排放量与产水量比的最小值为 5:1（约相当于 18% 的回收率），因此单一膜元件系统很难达到较高的系统回收率。



为了提高回收率，系统流出的浓水的一部分可以返回到给水处，如图中的第 5 点位置。采用部分浓水回流的方式可以增加回收率 (一般可增加到 50%)，但是由于有部分浓水返回到进水，会导致产水的水质下降。

② 单段系统的排列

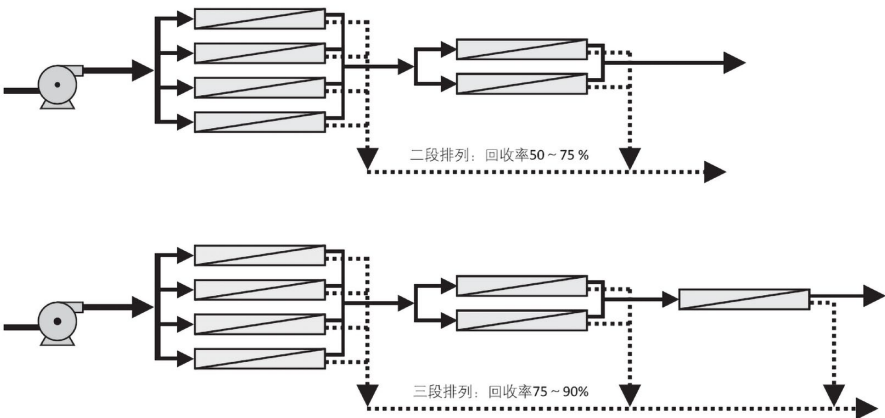
把单支膜元件并联起来排列就形成了单段式系统。单段系统中包含两个以上的膜元件。单段系统排列如下图所示。单段系统的排列和单元件系统的排列意义相同，系统的回收率一般在 15-50% 之间。为了提高回收率，可以在每一个压力容器内串联更多的膜元件。下表中显示串联膜元件的数量和回收率之间的关系。



串联膜元件数量	1	2	3	4	5	6
回收率，%	16	29	38	46	53	59

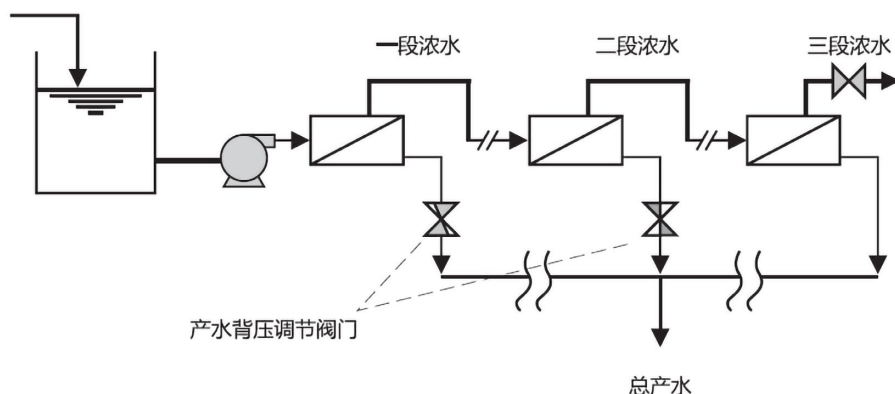
③ 多段系统的排列

当要求系统的回收率高于 50% 时，可以采用多段系统。多段系统是指第一段的浓水作为第二段的进水，第二段的浓水作为第三段的进水，以此类推。每段的进水一部分变成产水，后一段的进水流量会减少，含盐量会升高，所以后段的膜元件数量要比上一段的膜元件数量少，以保证适当的进水流量。一般的排列方式是 2：1 或 4：2：1。通常，两段系统可以把回收率做到 50-75%，三段系统回收率做到 75-90%，如下图所示。



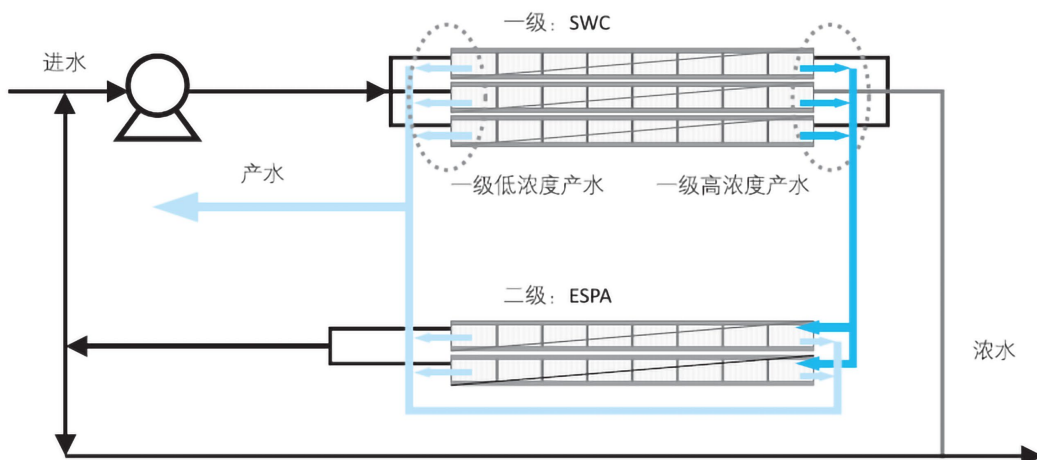
在多段系统中，浓水侧的渗透压力不断升高，有时会发生净驱动力 (NDP) 不足的现象。造成前段产水和后段产水不平衡。这时有三个解决方法：

- 在每个段间加增压泵，以提高后段的驱动力。
- 在第一、第二段产水侧设置节流阀门，如图所示。通过增加产水背压的方式，降低前段产水量，保持整体有效压力 (NDP) 的均衡。采用这个方法时，系统停止运行时有可能造成背压（产水侧压力 > 进水侧压力）。在设计以及操作时必须谨慎处理。
- 前后各段采用不同过滤阻力的膜元件。前段采用阻力大的膜元件，例如 PROC10 或 CPA3-LD，甚至 SWC™ 系列海水淡化膜元件，人为降低前段的产水量，后段采用阻力小的膜元件，例如 ESPA™ 系列，以保证产水量。



④ 多级系统

在一些应用中，单级反渗透的产水水质无法满足用水的要求，为了尽可能的降低产水含盐量，前一级反渗透的产水作为下一级反渗透的进水被称谓多级反渗透系统。设计多级反渗透系统时，根据产水水质的要求可以考虑第一级的产水全部进入第二级或部分进入第二级反渗透系统。如下图所示的海水淡化系统中，第一级中采用海水淡化反渗透膜元件 SWC™ 系列，后端高浓度的产水作为第二级超低压型 ESPA 膜的进水，经过二级处理的产水和第一级前段低浓度的产水进行混合。第二级反渗透的浓水可以循环回第一级反渗透系统进水中。第二级反渗透浓水中的含盐量通常比第一级进水的含盐量还要低，所以将第二级浓水返回到第一级进水会降低进水含盐量，增加整体的回收率。这就是分流式部分二级设计。

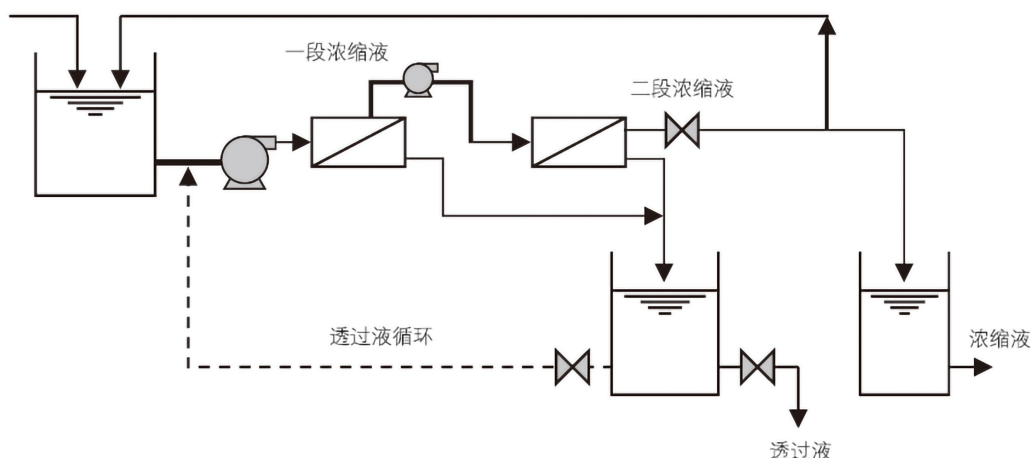


与第一级不同，在第二级反渗透系统的设计中，还应该注意以下几点：

- 选择大通量的超低压反渗透膜元件，如 ESPA2 和 ESPA2 MAX
- 第二级反渗透系统在设计时可以选择更高的水通量，一般一支 8 英寸的膜元件可以设计产水 1.5-2.0m³/h，即 40-54LMH
- 第二级反渗透中，浓差极化指数 (β) 最高可以达到 1.70
- 第二级反渗透系统的排列最好接近 3:1
- 回收率应大于等于 85%，最好能达到 90%

⑤ 采用批式操作的浓缩循环系统

茶叶、果汁和制药等工业，常以浓缩为目的。在设计反渗透和纳滤系统时，要考虑处理量和处理时间问题。如下图所示，以浓缩为目的的系统，批式处理比连续处理要多。采用批式处理时，被处理液的浓水以一定的流量循环回原液槽中，循环一定时间后，原液中的浓度会上升，随着浓缩倍率的增大，渗透压也会显著的上升。所以要掌握压力的调整和膜污染的情况。设计时要考虑原液温度的控制、腐蚀以及清洗杀菌的方法等。



2 系统设计步骤

为了有效发挥反渗透系统的性能，需要准确了解给水水质、用水点对产水水质和水量的要求，参考预处理和后处理工艺，以达到设计上的最优化。下面讲述的反渗透系统设计建立在进水水质符合反渗透系统进水要求的前提下。

① 水源

掌握水源的种类和水质情况以及水质变动的情况。水源大致可分为地表水（河川、湖泊和水库），地下水（井水），废水（工业废水和市政污水）和海水（直接取水和打井取水）。

② 膜元件的选择

根据原水的含盐量、进水水质的情况和对产水水质的要求，一般将膜元件分为五大类，苦咸水脱盐、超低压、抗污染、纳滤和海水淡化。膜元件的基本选择依据请参见右页的图示。

③ 平均水通量和回收率的确定

根据进水水质和对产水水质的不同要求，决定单位面积的产水通量（单位：LMH 或 GFD）和回收率。产水通量可以参照第 17 页设计导则。回收率的设定要考虑原水中含有的难溶盐的析出极限值。通常，单位面积产水量和回收率设计的过高，发生膜污染的可能性会大大增加，造成产水量下降，清洗膜系统的频率增多，维护系统正常运行的费用增加。所以，进行设计系统时，在可能的条件下，希望采用有余量的产水通量和回收率。

④ 理论膜元件数量的计算

当确定了设计产水通量和产水量值时，所需理论膜元件数量可以按下式计算。

$$N_e = \frac{Q_p}{J \times S}$$

式中：Qp- 产水量，m³/h

J- 单位面积产水通量，LMH

S- 膜元件面积，m²

N_e- 理论膜元件数，支

⑤ 压力容器数量的计算

决定了每支压力容器可装填膜元件的数量后，通过膜元件的数量 N_e 除以 V_e 就可以得到所需压力容器的数量。

$$N_v = \frac{N_e}{V_e}$$

式中：N_v- 压力容器的数量

V_e- 单支压力容器装填膜元件数量

⑥ 膜元件的排列方式

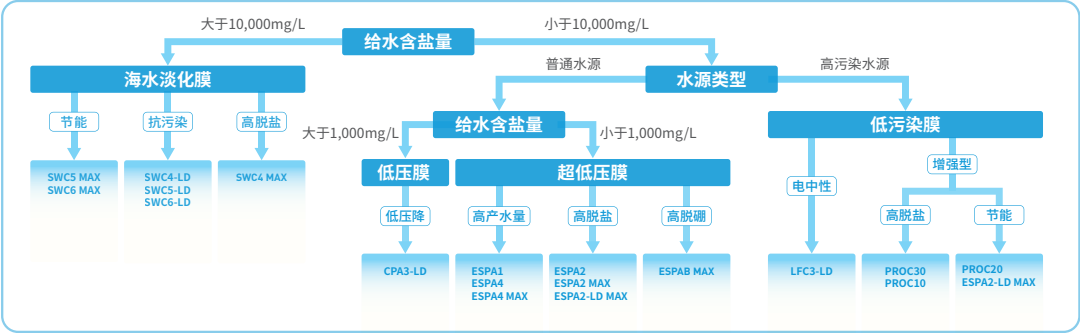
根据设计的回收率设定理论段数和每段的压力容器排列。通常反渗透系统排列方式以 2：1 的近似比例为多。

⑦ 系统的优化

根据设定的单位面积产水通量、回收率、水温变动范围、研究讨论膜组件的排列方式，设计计算压力、流量。这时使用美国海德能公司提供的反渗透设计软件 IMSDesign™ 可以很方便的帮助客户完成这个任务。

附录 1：膜元件的选择

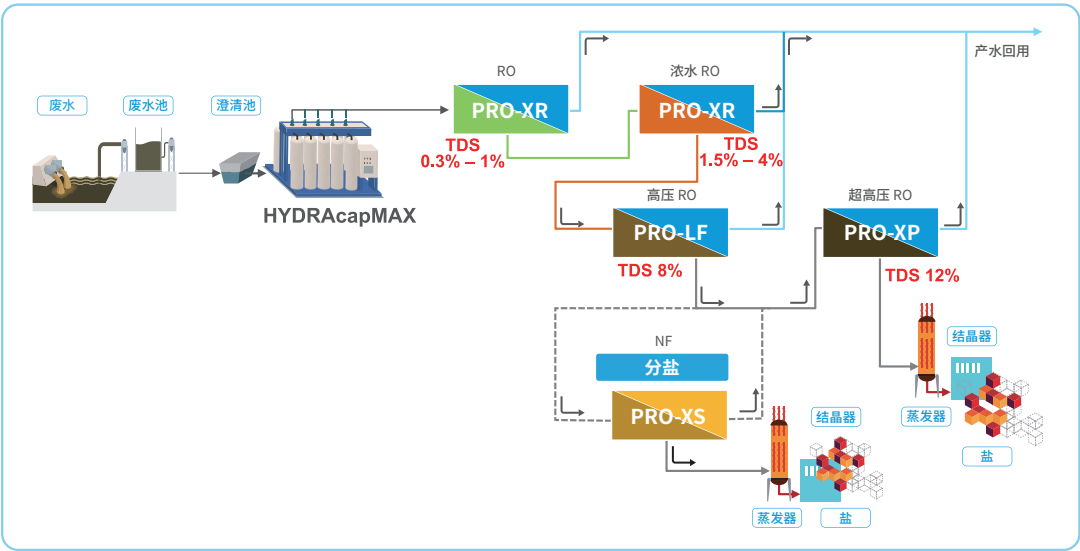
● 第一级反渗透系统膜元件的选择



● 第二级反渗透系统膜元件的选择



● 零排放/近零排放系统膜元件的选择



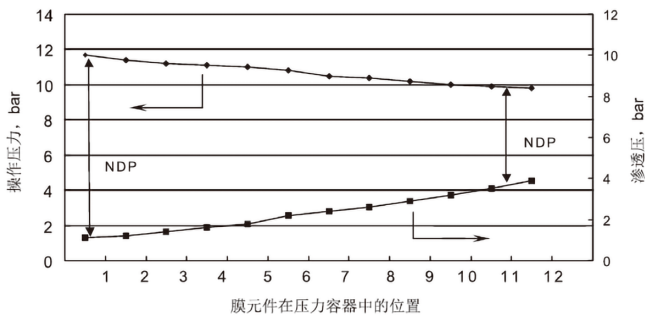
附录 2：美国海德能公司反渗透和纳滤膜元件设计导则

原水水源		RO 产水	地下水		地表水		海水			工业废水 / 市政污水		
预处理方式		RO	无污染	高污染	传统	MF/UF	地下	地表传统	地表MF/UF	传统	MF/UF	
进水 SDI 值		常规值	< 1	< 3	< 3	< 5	< 2.5	< 3	< 4	< 2.5	< 4	< 2.5
进水浊度 , NTU		常规值	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 0.1
系统平均水通量 GFD/LMH		保守值	18/31	14/24	11/19	10/17	14/24	8/14	7/12	8/14	7/12	8/14
		常规值	21/36	16/27	13/22	12/20	16/27	10/17	8/14	10/17	10/17	12/20
		激进值	25/43	20/34	15/26	14/24	18/31	12/20	10/17	12/20	12/20	14/24
首支膜最大水通量 GFD/LMH		保守值	29/49	24/41	16/27	15/26	18/31	19/32	17/29	19/32	11/19	12/20
		常规值	33/56	27/46	19/32	18/31	21/36	25/42	20/34	25/42	15/26	16/27
		激进值	35/60	30/50	21/36	21/36	24/41	31/52	24/41	31/52	18/31	19/32
β 值	标准膜元件	保守值	1.30	1.18								
		常规值	1.50	1.20								
		激进值	1.70	1.20								
	全填充膜元件	保守值	2.00	1.20							1.20	
		常规值	2.20	1.50							1.30	
		激进值	2.20	1.50							1.30	
水通量的年衰减率 , %		保守值	7	10	10	10	10	10	10	10	18	15
		常规值	3	5	7	7	7	5	7	5	15	12
		激进值	0	3	5	5	5	3	5	3	10	7
透盐率的年增加率 , %		保守值	7	10	10	15	10	10	15	10	18	15
		常规值	5	7	7	10	7	7	10	7	12	10
		激进值	3	5	8	8	5	5	8	5	10	8
每支压力容器 最大给水流量 GPM/m³/h	4 英寸	常规值	16/3.6									
	8 英寸	保守值	75/17	75/17	65/15	65/15	75/17	65/15	60/14	75/17	60/14	75/17
		常规值	75/17									
每支压力容器 最小浓水流量 GPM/m³/h	4 英寸	常规值	2/0.45	3/0.68							4/0.80	3/0.68
	4 英寸全填充	常规值	5/1.1	6/1.4							7/1.6	6/1.4
	8 英寸	常规值	6/1.4	12/2.7							14/3.2	12/2.7
	8 英寸全填充	常规值	17/3.8	25/5.7							29/6.6	25/5.7
最大压力损失 , MPa	6 芯装压力容器	-	0.35									
	单支膜元件	-	0.07									
投加阻垢剂后 各种难溶盐的 饱和度限制	LSI	常规值	2.5									
	CaSO ₄ (%)	常规值	400									
	SrSO ₄ (%)	常规值	1200									
	BaSO ₄ (%)	常规值	10000									
	Ca ₃ (PO ₄) ₂ (%)	常规值	1.0									
	SiO ₂ (%)	常规值	140									
	CaF ₂ (%)	常规值	5000									

3 主要系统参数的变化

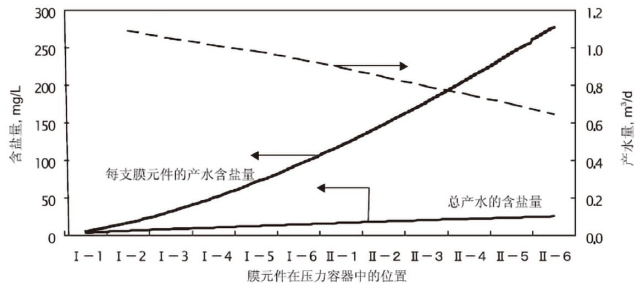
① 压力和渗透压在系统中的变化

原水通过高压泵加压进入膜系统,会有压力损失,进水操作压力 P_f ,随着水流的方向不断降低。同时原水透过膜元件不断有产水产出,进水被浓缩,原水浓度不断升高,产水侧的渗透压不断增大,净驱动力 (NDP) 降低。



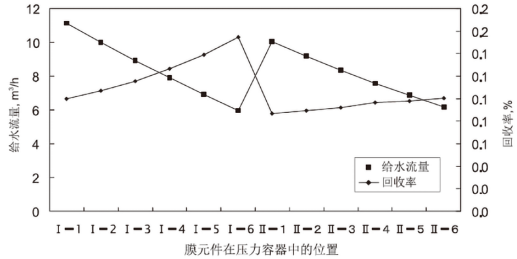
② 产水流量和产水水质在系统中的变化

压力容器中的每支膜元件的性能由于所在位置的不同变化很大。如下图显示两段排列每支压力容器装有 6 支膜元件的情况,压力容器中膜元件的位置与产水量和产水水质变化的示意图。原水进入膜系统,原水透过膜元件不断有产水产出。进水被浓缩,原水浓度不断升高、渗透压增大、有效压力降低,膜元件的产水量沿着进水侧到浓水侧的顺序变小。由于原水浓度升高,产水中含盐的浓度也随之升高。



③ 回收率和进水流量的变化

膜元件的位置与进水流量和回收率的变化示意图显示在右图中。前一支膜元件的浓水作为下一支膜元件的进水,水量不断减少,回收率不断增加,设计计算时一定要注意每段最后一支膜元件的回收率不要超过规定回收率的极限值和不要低于最小浓水流量。



4 系统设计软件 IMSDesign™ 的使用方法

① IMSDesign 云

IMSDesign 云是美国海德能公司的云计算膜设计软件，能使您灵活地进行膜系统设计，无论何时何地、无论采用何种设备。

这个新一代集成膜设计软件能让您无缝链接地设计 RO、NF 和 UF 等不同膜组合工艺，并分享给您的同事或海德能技术人员。海德能的超滤膜模拟软件 HYDRAcapMAX 网络模拟器已整合至 IMSDesign 云。

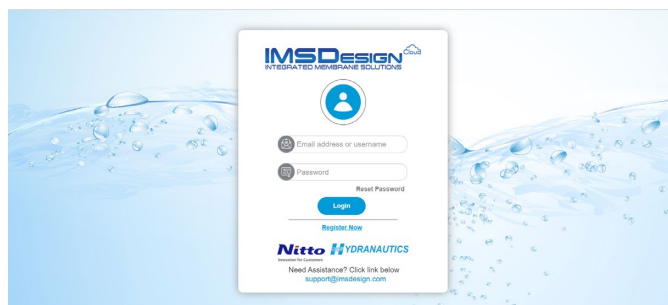
IMSDesign 云的主要功能：

- 采用用户友好界面，简单易学
- 可运行以前版本的设计文件，并保存在云里
- 可以从不同设备中进入到您的设计文件，无论是 Windows、macOS、Android 操作系统
- RO、NF、UF(HYDRAcapMAX) 集成技术设计文件
- 可输入进水压力来预测运行参数
- 包括有机物如 BOD、COD、TOC 等参数
- 可以在两级系统的六段排列中任何位置采用“混合膜”功能
- 支持七种语言：英语、汉语、日语、法语、西班牙语、葡萄牙语、俄语

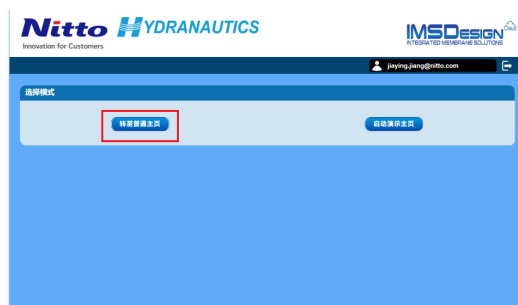
使用说明

- 请登陆网址 www.imsdesign.com 进行注册 IMSD 云软件

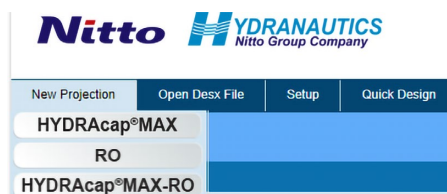
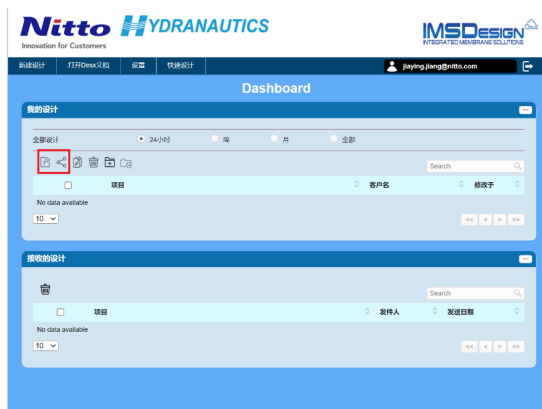
* 请使用商务邮箱进行注册，否则将无法获取 HYDRAcapMAX UF 超滤系统设计权限。



- 注册成功并进入您的帐号后，请选择“转至普通主页”模式进入欢迎页面。



- 在欢迎界面中，在导航栏“**新建设计**”下拉条中选择“**RO**”开始进行设计。本界面还可以快速检索到最近设计的10个项目。当您想要分享一个设计时，请勾选该设计文件，并用“分享”或“电邮”图标来发送。



- **HYDRAcapMAX:** 仅针对 HYDRAcapMAX UF 进行设计。
- **RO:** 如果您使用我们的标 RO 或 NF 产品对常规水处理或废水处理进行系统设计，所有型号均可在我们的官网 (www.hydranautics.cn 或 www.membranes.com) 上找到。如果您想使用特殊的 RO 或 NF 产品进行设计，请联系海德能当地的技术或销售人员。请登陆 <http://www.hydranautics.cn/contact-us/corporate-address/> 获取联系方式。
- **HYDRAcapMAX-RO:** HYDRAcapMAX UF 和 RO/NF 集成膜系统设计方法，选择后，将首先提示用户进行 RO 系统设计。完成后，将根据 RO 系统的单列进料要求自动生成和设计 HYDRAcapMAX UF 系统。用户可以据此继续修改 UF 系统的设计。

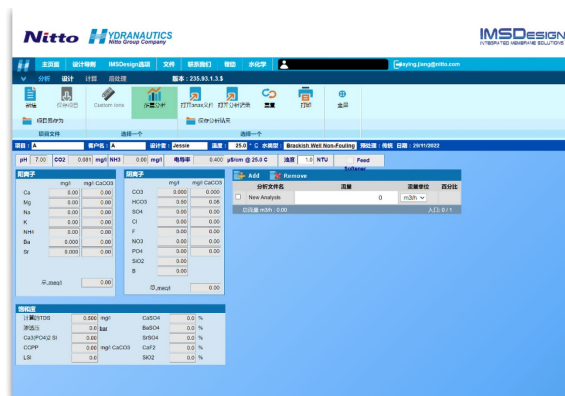
- 最先出现的是水质分析输入界面。开始新设计时，输入项目名称、设计者、温度、水源种类等信息。
- 按表中各项输入已知进水水质，包括 pH 值，各项阳、阴离子浓度。阴离子 CO_3 和 CO_2 不需要输入，当输入 HCO_3 和 pH 值后软件会自动根据平衡计算出两者的数值。表格中的阳、阴离子各项代表了绝大多数自然水体中的成分，但系统还是允许分析报告阴、阳离子有 10% 的差别。当输入的阴、阳离子毫克当量浓度 (meq/L) 差别大于 10% 时，需要进行离子平衡。可用于平衡的阳离子有 Ca、Mg、Na，阴离子有 Cl 和 SO_4 。点击有下划线的相应离子，系统会自动进行平衡。在实际应用时，设计者应对水质中应该含有的成分有一定认知，例如采用生活饮用水标准的水质报告时，可能没有 HCO_3 分析，此时如果阴离子少时应该手动加入 HCO_3 以达到阳、阴离子的平衡，以便于更接近真实的水质情况。



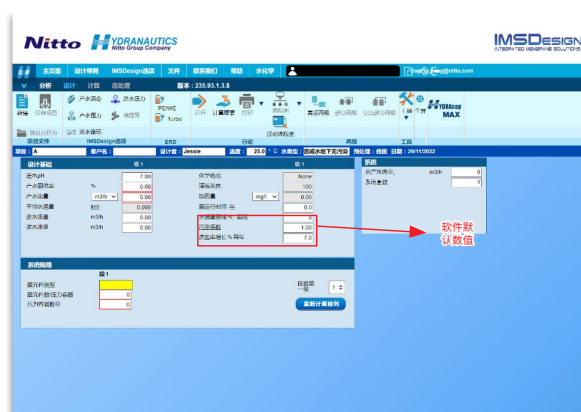
- 如果水质报告输入后阳、阴离子是平衡的，或者是经过自动平衡后，软件自动计算出含盐量、TDS、总阳阴离子当量浓度、电导率、 CO_3 、 CO_2 、各种难溶盐饱和度，LSI 指数、离子强度和渗透压等数据。
- 软件中允许输入自定义离子。当点击“自定义离子”后，可以输入一些其它离子浓度。13 个阳离子备选，分别为 Cu、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Mo、Ag、Al、Pb、Zn、Ra、U，最多可以选 3 个；3 个阴离子 Br、I、S 中最多可以选 2 个。



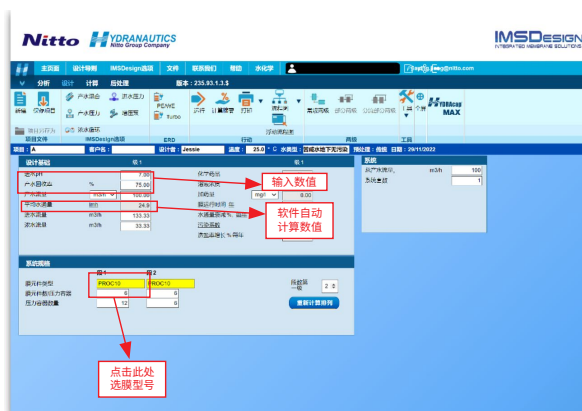
- 软件拥有混合水质的功能。点击“[多重分析](#)”后，可以加入其它保存过的水质分析，然后输入各股水的流量，系统可以自动计算出混合水流的水质。



- 如果仅知道 TDS 且没有详细水质分析，可以在“**计算 TDS**”处选择输入 TDS 数据，系统自动分配 Na、Cl 离子浓度值，然后进行设计计算。但此时由于没有详细水质报告，无法模拟出反渗透／纳滤系统可能受到何种污染。
- 点击“**设计**”菜单，进入以下所示的反渗透设计界面。项目、设计者、日期、pH 值、温度等信息自动出现在本页面中。
- 水通量衰减率、透盐率年增长率、污染系数等数值是软件默认值，无需改动。当遇到特殊项目需要输入非默认数值时，请向美国海德能公司技术人员进行咨询。

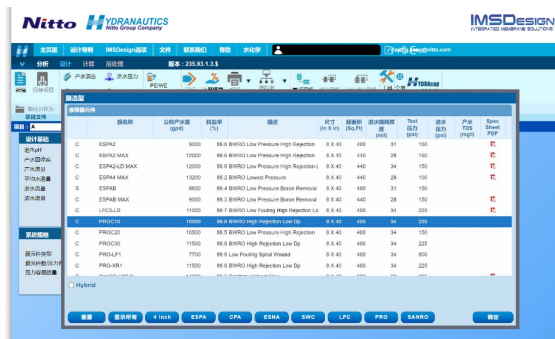


- 按照项目情况输入系统回收率和单套反渗透／纳滤系统产水量。因为反渗透／纳滤系统一般采用单元制，输入单套系统产水量可以直观确定相应高压泵参数。此时软件会自动计算出进水流量和浓水流量。根据项目要求选择段数、级数，然后点击“**膜元件型号**”。



- 在跳出的膜元件选择窗口选取合适的膜元件型号，并点击“**确定**”键。一般地，根据进水水源种类、产水水质要求等进行膜元件选型，请参见附录 1：膜元件的选择方法及依据。
- 系统会自动推荐出一些膜元件供选择，也可以点击“**显示所有**”或“**按产品系列**”等来看到全部膜元件型号等。当选好一个膜型号时，系统会自动计算出其进水压力和产水 TDS 值。

此时也可以多选几种膜型号，在对比各自的进水压力和产水 TDS 值后，再选定合适的膜型号。



- 软件自动推荐出膜排列方式并计算出平均水通量数值。此排列不一定会适用于每个项目，因此需要设计人员对膜系统排列再进行调整，以达到预定的水通量数值为止。



- 点击“运行”按钮，会显示下面的计算结果界面。当输入的条件和参数不符合要求时，系统参数栏会提供棕色或红色警告信息。下表中列出常见错误信息的原因和纠正方法。



常见的错误信息的原因和纠正方法

设计参数	错误原因	纠正方法
平均水通量	超过正常设计范围	增加膜元件数量
单支压力容器进水流量	超过正常进水流量范围	增加该段排列数量
单支压力容器浓水流量	低于最小浓水流量	减少该段排列数量
进水压力	进水压力过高	增加膜元件数量或改变膜型号
浓差极化因子 β 值	一级超过 1.20 或二级超过 1.70	调整排列方式或降低回收率
难溶性盐含量	难溶性盐含量超过溶解度饱和和极限	降低回收率或添加阻垢剂
LSI 或 SDSI	超过极限值有结构的危险	加酸调节 pH 值或添加阻垢剂

- 用户可根据项目需要输入膜运行时间，或进行加药剂调节 pH 值等以便更近似模拟实际运行状态。软件还设有一些其它模拟功能，产水与进水勾兑时选择“**产水混合**”，产水需有一定压力时选择“**产水背压**”：浓水部分回到进水中时选择“**浓水循环**”；段间进行增压时选择“**增压泵**”，且如果采用能量回收装置运行时，可选择合适的能量回收方式和相应参数。
- 做两级系统设计时，点击“**常规两级**”处，即可进行两级系统的模拟计算，软件默认为第二级浓水直接回流至第一级进水处。如果需要做部分两级等计算时，减少第二级产水量，即可以启动“**部分两级**”和“**分流部分两级**”设计功能。
- 点击“**流程图**”或“**打印**”旁边的下拉菜单箭头 (▼) 时，可以选择不同的离子出现在设计结果和流程图中。系统默认流程图在计算结果后面一起打印出来。

设计软件的其他附加功能：

这部分功能包括：产水的后处理、能耗的计算、制水成本的估算、以及不同运行参数下的运行结果计算摘要。这些辅助功能可以帮助用户获取更多的有用信息。如有关于软件使用的任何疑问，请向美国海德能公开司技术人员进行咨询。

② IMSDesign™ 软件

IMSDesign™ 设计软件采用原生工具、主界面、可视化效果等提供强大和全面的膜系统设计体验，并通过报告功能提供海德能 RO 和 NF 的系统运行模拟结果。

用户可以从美国海德能公司网站 (www.membranes.com 或 www.hydrationics.cn) 免费下载 IMSDesign™。

注意：IMSDesign™ 已停止更新，后续将不再新增产品类目，建议使用 IMSDesign 云进行膜系统设计。

③ RODataXL 使用说明

RODataXL 介绍

美国海德能公司提供反渗透系统运行数据管理和标准化程序。我们推荐您“标准化”您录入的运行数据来确定您的系统是否存在问题。“标准化”的电脑程序，如 RO Data XL，可以用图表来表示标准化的产水量、脱盐率和从进水到浓水的压差。这些标准化的参数是某特定一天运行数据与第一天运行数据对比后计算出的。当主要的运行工况比如温度、进水 TDS、回收率和压力等有改变时可以做出调整。利用这种方法，可以甄别并解决与运行参数无关的性能衰减。

* 本标准化程序遵守 ASTM 标准 D 4516-85 “标准化反渗透运行数据的实践标准”。

备注：

准确的标准化数据可以通过以下方式获得：

- (1) 使实际的系统操作数据的条件尽可能地与系统参考数据的条件接近；
- (2) 采集准确数据，包括合适校正后采集数据。标准化数据的值并不由一套数据计算得出，而是在能反映一段时间内污染对系统造成的影响的趋势下分析得出的。

大部分情况下，如果 RO 系统在运行参数不变，不发生污堵，膜不受损的情况下可以稳定运行很长的时间。然而实际情况是，运行参数（比如温度，进水 TDS，产水流量，回收率）等会改变而且膜元件进水通道的污堵也会发生。通常水仅是一个运行参数改变，因此确定 RO 膜系统是否按预期那样运行的情况更复杂。标准化程序的价值在于它可以重新计算系统在某一时间点时的即时表现并与参考数据比较。

* 标准化软件可以免费授权给用户使用。软件程序不受版权保护的，可以免费复制或传播。但标准化软件拥有版权，并且程序的源代码归美国海德能公司所有。

新建项目

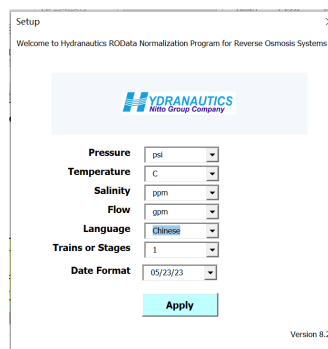
当你第一次打开 RODataXL Excel 文档时，你需要：

- 选择显示单位为美制单位还是公制单位。显示单位之后不可以修改，请保存好原始数据。

以下表格列出了工程单位

参数	美制单位	公制单位
压力 (Pressure)	psi	bar
温度 (Temperature)	° F	°C
含盐量 (Salinity)	ppm	µs/cm
流量 (Flow)	gpm	m ³ /h
膜元件产水量	gpd	m ³ /d

- 选择语言 (Language)
- 选择系统的套数或段 (Trains or stages)
- 选择日期格式 (月 / 日 / 年或者日 / 月 / 年) Date Format
- 点击应用 (Apply)



参考数据

这会打开新建项目的系统参考数据的输入界面。一个项目的一套或一段只允许设置一套系统参考数据。

备注：

该界面键入的数据对于计算标准化数据非常的重要，因为键入数据将作为未来参考数据的基准。RO 系统应当达到一个稳定的操作水平，这一般在启动后的一到两天可以实现。

列：用数字区分套或段。你可以为项目设置任意数字的套或段，且每套或段都有自己的系统参考数据。

日期：利用下拉菜单键入数据或者手动输入。

时间：用 24 小时制输入数据录入开始的时间。

备注：

下列参考数据的部分所列项目可以用来计算系统标准化产水量，标准化脱盐率，和标准化压差。在参考数据部分之后列出的元件部分的项目用于计算水传递系数和盐的传递系数。标准化产水量和标准化透盐率在大多数情况下是更好反映真实系统运行的指数，因为它们是基于现场真实的膜元件初始运行数据。

给水温度：输入 RO 进水的温度。允许的温度范围是 33-122° F 或者 1-50°C。

备注：

正确的进水温度对于生成有意义的标准化数据绝对是必要的，因为它对进水压力和产水水质有很大影响。

给水含盐量：输入 RO 进水含盐量。进水 TDS 以 ppm(美制) 或 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (公制) 来表示。PPM(百万分之一) 也可以表示为 mg/l (毫克每升)。

产水含盐量：输入 RO 产水的含盐量。测量 RO 产水水质，以 ppm 或 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 表示。产水含盐量的值必须比进水含盐量低。

产水背压：输入产水离开 RO 膜时的背压。美制单位是 psi 和公制单位是 bar。

备注：

产水背压的读数很重要，因为它是需要从进水压力和浓水压力的差值中减去来计算净驱动力的。净驱动压力是克服渗透背压和产水背压后使水透过膜的净进水压力。

浓水流量：输入 RO 的浓水流量。美制单位为 gpm，公制单位 m^3/h 。

产水流量：输入 RO 的产水流量。美制单位为 gpm，公制单位 m^3/h 。

备注：

本程序进水流量是将浓水流量和产水流量加起来得出的。

进水压力：输入进入第一段 RO 膜的进水压力。美制单位为 psi，公制单位 bar。

浓水压力：输入浓水离开最后一段 RO 膜时的浓水压力。美制单位为 psi，公制单位 bar。

备注：

在本程序中进水压力减去浓水压力可以得到压差 (ΔP)。在用户用压差测量仪来监控进水到浓水的压差时，建议输入进水压力测量仪读数，然后进水压力减去压差表读数得到的浓水压力可以由操作员输入。计算出的压差值增加说明进水隔网有污堵现象。

Optional Data(备选数据)：进水 pH、SDI、浊度为备选数据。这些数据并不会用在标准化计算里，但是，出于将来故障处理目的最好记录这些数据。

进水 pH：输入进入第一段 RO 的进水 pH。允许的 pH 值范围为 1 到 14。

SDI(15)：输入 RO 进水 15 分钟时的 SDI 值。

浊度：输入浊度值，单位 NTU。

膜元件选择：从下拉菜单中选取膜型号。一旦膜元件被选中标准测试条件页面将自动填充。选中膜元件的标准测试条件不能改变。

膜元件数量／每支压力容器：输入每个膜壳的膜数量。通常一个膜壳最多可以装 8 支膜。

压力容器数量：输入整套或段的膜壳数量。系统会根据每个膜壳的膜元件数量、膜壳数量、单支膜的有效膜面积来计算系统水通量。

加入数据：通过点击加入数据选项，系统参考数据将被记录并且该项目新的套／段数据将被建立。一旦参考数据录入用户可继续输入系统运行数据。

继续添加数据可点击界面左上角的 data entry 选项 (A1 格)。

标准化计算

计算单位：一旦某个参数的单位被选定，比如 0°C ，那么为了得到正确的结果只能使用 $^{\circ}\text{C}$ 这个单位。当存在两种单位时，比如 gpm 或 m^3/h ，那么美制或者公制单位只能选择一种。

美国海德能 RO Data XL 标准化程序的计算值在被检查之后就可以利用了。但是，用户应该意识到真正的标准化值并不是由一套数据计算得来的，而是从一段时间的标准化数据的趋势中分析得到的。

本程序使用的公式可以在分析表的 "help file" 中找到。这些公式的编码可以通过进入可视化 Basic 语言然后进入主模块 "ModMain" 并进入子程序 "Formulas"。

图表

操作员可以选择阅览一系列的系统操作数据和标准化数据的图表。这些图表是按时间点自动生成的。如果某一天有超过一组数据，那么有最早时间值的一组数据将用于做图表。图表的数据点之间用直线连接。

图表类型包括：

- **产水—时间图：**绘制了实际的产水流量，单位为 gpm 或 m^3/h 。
- **进水压力 - 时间图：**绘制了实际的 RO 进水压力，单位为 psi 或 bar。
- **产水含盐量—时间图：**绘制了实时的产水含盐量，单位为 ppm 或 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。
- **透盐率—时间图：**绘制了整个系统的透盐率百分比。计算值是用实际的产水含盐量除以进水和浓水的平均含盐量。平均进水含盐量可以根据系统的回收率估算出浓水含盐量并计算出进水和产水含盐量的算数平均数。
- **标准化透盐率—时间图：**绘制了标准化透盐率百分比相对于启动时的系统参考值。
- **标准化产水流量—时间图：**绘制了标准化产水流量（单位 gpm 或 m^3/h ）相对于启动时的系统参考值。
- **标准化压差—时间图：**绘制了标准进水—浓水的压差相对于自启动起的系统参考数据。标准化压差值反映了对于不同的进水和浓水量的压差改变的调整。
- **盐传递系数—时间图：**这个数字的重要性在于它测量了盐通过膜的速率有多快，以 m/sec 来表示。此数值使得膜在不同的地点的表现可以被比对，不受不同地点的实际操作条件的影响。进水的离子组成会影响这一数据。比如，二价离子（比如硬度或硫酸盐）的增加会导致盐传递系数的减小。
- **水传递系数—时间图：**这个数字的重要性在于它测量了水通过膜的速率有多快，以 $\text{m}/\text{sec-kPa}$ 来表示。此数值使得膜在不同的地点的表现可以被比对，不受不同地点的实际操作条件的影响。

* 免责声明: 美国海德能对 IMSDesign 和 ROData 程序以及其说明参考材料不作代表和担保，这包括但不限于暗示的适销性或某一特殊用途的适用性。在任何情况下，美国海德能都不对该软件或手册中存在的错误或疏漏、任何服务的中断、生意或预期利润的损失、采用本材料的设备和性能造成相应的和附带的损害等负责。

5 系统构成的要素

① 高压泵

为了维持产水量、控制操作压力不超过允许极限值，就必须控制高压泵的出口压力。美国海德能公司的膜元件允许最大操作压力:ESPA™、CPA™、PROC™和LFC™系列膜元件是4.14MPa;SWC™系列是8.27MPa。以下对使用的离心泵和高压柱塞泵的异同以及使用时的注意点作简要说明。

● 离心泵

离心泵适用于要求较低压力和较高流量的系统。2.0MPa 以下的低操作压力反渗透系统一般采用高压泵。使用具有恒转速电机的泵时，常在泵的出口管线上设置节流阀控制出口的流量和压力。对于进水温度变化显著的反渗透和纳滤系统，建议使用可变频调节电机转速的泵，以减少不必要的能量消耗。但是变频泵的价格要高一些。

● 高压柱塞泵

高压柱塞泵的工作原理是依靠固体壁的移动挤压方式，适用于需要高压、小流量的系统。5.0MPa 左右的海水淡化系统常采用这种类型的泵。由于柱塞泵的吐出压力过高，不能使用节流阀控制柱塞泵出口的流量和压力。压力和流量的调节依靠泵出口处设置的背压防止阀。一般柱塞泵自身设有背压防止阀，但是泵自身的防止阀按泵本身的压力设定的，一般要远远高于膜元件允许的最高压力。在泵的出口处安装安全泄压阀以防止过剩压力冲击反渗透膜。此外，如果泵本身没有安装压力缓冲装置，应该在出口处安装缓冲装置降低压力脉冲。

② 管路要求

● 材质和强度

管路要求选择耐腐蚀性强，可以承受阀门关闭时系统压力的材料。管路的设计压力>阀门关闭时压系统压力>操作压力。一般的低压反渗透系统使用 SUS 304 以上规格的不锈钢。产水等低压管路一般使用 PVC 材质。

● 管径

管路的直径大小的选择一定要避免在系统流量范围内产生过大压力损失。尤其是产水的管路直径大小更重要，产水管路过细，容易产生产水背压损坏膜元件。流量和最大流速与管路内径的关系列于下表。

流量和最大流速与管路内径的关系

流量, GPM	管路内径, 英寸	最大线速度, m/s
0-4	1/2	1.98
4-10	3/4	2.19
10-20	1	2.50
20-50	1-1/2	2.77
50-100	2	3.11
100-175	2-1/2	3.47
175-300	3	4.15

③ 水箱

为了防止水在水箱中有积留现象，要考虑水箱入口和出口的位置。小型水箱，不用考虑强度问题，可以使用聚乙烯 (PE) 和玻璃钢 (FRP) 等耐腐蚀的塑料材质。水箱设置在室外时，有必要考虑水箱内微生物滋生等二次污染问题，建议选用遮光材质。大型水箱，必须考虑强度问题，一般选用金属材料。

④ 传感器

为了保护反渗透系统以及膜元件，通常采用各种类型的传感器。比如：

- 给水液位传感器：为了防止给水泵空转。给水水箱要设置液位计量开关，当液面过低时，给水泵会自动停止。
- 压力传感器：防止异常高压对膜元件的伤害。设置压力传感器，当进水压力过高时高压泵停止工作。
- pH 值传感器：为了防止结垢，设置进水 pH 值传感器。

⑤ 药剂

药剂注入点的位置一般选在泵的入口等混合效果较好的地方。需投加多种药剂时，注入点间隔最小应在一米以上。为了加强药剂的混合，可以设置混合器。

药剂使用的注意事项

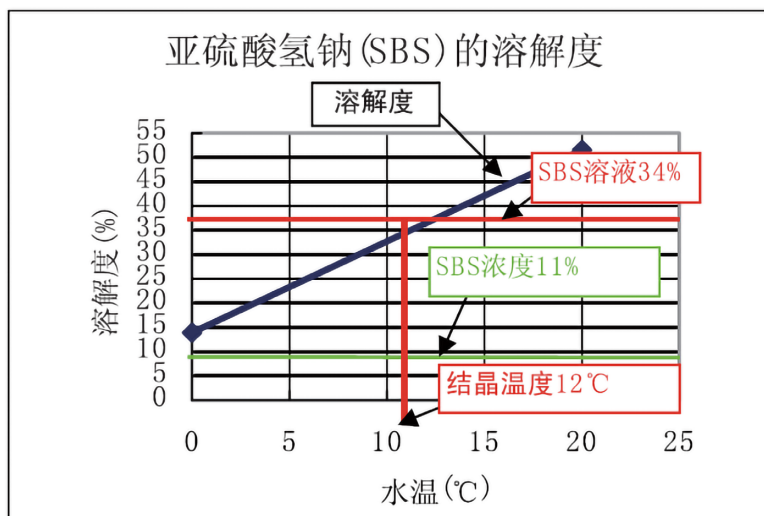
● 阻垢剂、分散剂

- ◇ 采用聚丙烯酸类阻垢剂时要特别小心，在铁含量较高时可能会引起膜污染。这种污染会增加膜的操作压力，遇到这类污染要进行酸洗。如果在预处理中使用了阳离子混凝剂或助凝剂，在使用阴离子性阻垢剂时要特别注意。会产生一种粘稠的粘性污染物，污染会造成操作压力增加，而且这种污染物清洗非常困难。过量投加阻垢剂／分散剂会导致在膜面上形成沉积，造成新的污染问题。在设备停机时一定要将阻垢剂或分散剂彻底冲洗出来，否则会留在膜上产生污染问题。在用 RO 进水进行低压冲洗时要停止向系统注入阻垢剂或分散剂。
- ◇ 注入阻垢剂／分散剂的加药泵要调到最高注入频率，建议最少 5 秒钟一次。阻垢剂 / 分散剂的典型添加量为 2-5mg/L。为了让加药泵以最高频率工作，需要对药剂进行稀释。每次配制的阻垢剂稀释液使用量建议为 7-10 天左右。

● 亚硫酸氢钠 (SBS)

- ◇ 亚硫酸氢钠 (SBS) 或焦亚硫酸钠是反渗透和纳滤系统常用的还原剂。市售 SBS 和焦亚硫酸钠一般为固体粉末，配制时有一定刺激气味。SBS 溶液在空气中不稳定，会与氧气发生反应，所以推荐 2% 的溶液的使用期为 3-7 天，10% 以下的溶液使用期为 7-14 天。理论上，1.4mg/L 的 SBS (或 0.7mg/L 焦亚硫酸钠) 能够还原 1.0mg/L 的活性氯。设计时考虑到安全系数，设定为每 1.0mg/L 余氯投加 1.8-3.0mg/L SBS。当系统既注入酸，也注入 SBS 时，SBS 的注入点应该位于加酸点之后。这是因为如果在加入 SBS 后加入酸，会产生亚硫酸气体。
- ◇ SBS 的溶解度随温度降低而降低。如下图所示，当 SBS 浓度为 34% 时，如果温度低于 12℃ 会结晶；而 SBS 浓度为 11% 时，即使在 0℃ 也不会结晶。因此在低温时需将 SBS 稀释到不至于结晶的浓度，以避免 SBS 在加药泵和加药管路内部结晶而堵塞，使实际加药量降低。

亚硫酸氢钠的溶解度和温度的关系

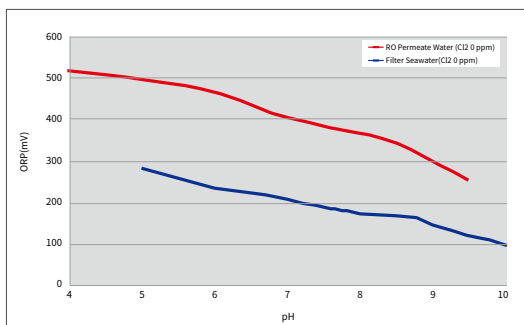


- ◇ 有研究表明过量投加 SBS 能导致聚酰胺膜氧化。Sommariva et al. 曾报告某厂使用 SBS 来还原氧化物时聚酰胺膜元件发生了氧化 (Sommariva, C., et al.(2012).IDAJ. 脱盐与水回用 4(2), 40-44)。他们得出过量投加 SBS 会导致膜元件快速氧化且脱盐率降低的结论。特别地, 他们发现除了过量的 SBS 之外, 还有高 pH 值和过渡金属的存在。因此, 用户应注意投加足够 SBS 来防止膜元件氧化, 但不能过量投加 SBS。

● 次氯酸钠 (NaClO)

反渗透和纳滤进水中不能含有游离氯或其它氧化剂。即使很低的余氯或其它氧化剂浓度也会造成膜元件不可修复的氧化损坏。因此, 运行人员必须确保没有任何氧化剂进入 RO 系统。为避免膜元件被氧化, 美国海德能公司建议在 RO/NF 系统的进水处安装有 ORP 表计, 以便于随时监测氧化性物质的浓度。除了废水回用的项目中采用不高于 5mg/L 氯胺之外, ORP 的读数应一直低于 300mV; 或者为了保持稳定运行, 应在现场测试并确定没有氧化性物质的最高 ORP 值。如果 ORP 高于报警设定值, 运行人员应该接到报警信号, 并采取相应措施, 例如投加 SBS(亚硫酸氢钠)或增加 SBS 的投加浓度。海德能推荐测试残余 SBS, 以确认没有余氯且减少 SBS 过量投加, 残余 SBS 目标值为 1-2mg/L。如果 ORP 超过最高点, 系统应立即停机, 直到 ORP 降至安全值以下后才能重新运行。请向系统集成商咨询其它去除膜系统进水中游离氯的方法。

根据进水种类和 pH 值的不同, ORP 值会变化, 例如下图。不同水在同样 pH 值时, ORP 值也可能不同。例如海水 pH 值 7 时, ORP 为 200mV; 但 RO 产水 ORP 为 400mV。在 pH5 时, 两种水的 ORP 值都更高。在现场设定 ORP 报警值时, 建议先验证余氯为 0 时的 ORP 值。



无余氯时RO产水和过滤后海水的pH与ORP值关系图

⑥ 计量仪表

- 压力表：进水、段间、浓水、产水侧分别配置压力表；
- 流量计：产水和浓水处设置流量计，可以计算进水流量（进水＝浓水＋产水）；
- 温度计：进水压力容器入口处设置；
- 进水 pH 计；
- 进水电导仪；
- 进水 ORP 表（氧化——还原电位表）

06.

膜元件的运输、安装和运行

系统在投入运行之前，必然要经历远距离运输以及保存的问题，选择正确的运输方式以及保存条件，可以最大限度保护膜元件的性能，相反就可能对膜元件造成损害，严重时将会影响系统运行时的性能。

在反渗透及纳滤系统的搭建中，安装膜元件是最后步骤，这时往往其他设备和组件已经安装完毕。这看似是一个简单的步骤，但是若不做好细节仍可能影响系统的性能和膜元件的使用寿命。

系统启动后，在运行期间的数据记录、运行管理以及停运保护等方面仍需要有条理的进行，只有这样才能确保膜系统以及膜元件的安全、稳定运行。

本部分即针对膜元件的运输、保存、安装、以及系统运行的管理进行详细的说明，力求帮助用户了解正确的步骤和过程，避免发生不必要的问题。

1 膜元件的运输和保存

① 出厂状态

4 英寸和 8 英寸的膜元件的包装都采用塑料袋包装，在包装箱内用缓冲材料固定，再放置在纸箱中。运输以及保管时主要的注意事项有：

- 放在室内温度 5-35℃ 的干燥通风处
- 禁止阳光直射
- 禁止粗暴的搬运行为，如：投抛、从高处丢落等
- 避免长时间竖直摆放

膜元件在出厂前采用亚硫酸氢钠 (SBS) 保护液，以避免发生膜元件污染。因此，在膜元件开封时，请注意防护，一旦 SBS 溅入眼睛，请立即用大量清水进行冲洗，严重时请遵医嘱。药品溅到身体或者衣服上，请立即用清水冲洗。

② 运输

	注意事项	理由	影响程度
1	保管温度不能低于 5℃ 以下、绝对不能使膜元件受冻。	受到冰冻会使膜受到影响，可能无法发挥膜的原有性能。	非常高
2	搬运途中不要粗暴、投掷或者使包装摔落。	本产品采用的保护液是浓度 1% 的亚硫酸氢钠。包装箱内的塑料袋若发生破损，保护液则会流出，失去对膜元件的保护效果，并会润湿外包装箱，造成包装箱的强度降低。因此在运输途中应避免野蛮操作且不能拆散已固定好的大包装，请不要使用可能会导致包装破损的设备。	高
3	请勿使用锐利物损坏包装箱。		
4	请勿把包装箱浸泡在水中。		
5	请勿竖直放置。		

③ 出厂后的保存

注意事项		理由	影响程度
1	放在室内 5-35℃ 的阴暗处保管	保管温度超出范围，甚至发生低温冰冻，产品的性能可能无法保证。	非常高
2	搬运途中不要粗暴、投掷或者使包装摔落。	本产品采用的保护液是浓度 1% 的亚硫酸氢钠。包装箱内的塑料袋若发生破损，保护液则会流出，失去对膜元件的保护效果，并会润湿外包装箱，造成包装箱的强度降低。因此在运输途中应避免野蛮操作且不能拆散已固定好的大包装，请不要使用可能会导致包装破损的设备。	高
3	请勿把包装箱浸泡在水中。		
4	请勿竖直放置。		
5	即使膜元件在恰当环境中保存，仍请尽早使用建议膜产品在购买一年内使用。	本产品自购买之日起请尽早使用。如果在使用前经过了长时间的保存，保护液可能会发生分解导致性能变化，因此如果膜元件内的保护液已经完全挥发了，则应该重新调配保护液并加入到膜元件的包装中。	高

2 膜元件的安装

安装膜元件首先要注意以下问题，若不能严格遵守这些事项，将可能会对操作人员、膜元件造成不同程度的伤害，不能充分发挥膜元件性能或导致人员受伤。

注意事项		理由	影响程度
1	从包装袋中取出膜元件，使用剪刀或刀子时注意不要划伤膜元件表面和手	使用剪刀或刀子切开包装袋时，若插入袋中太深，可能会伤及膜表面，用力过大可能导致割伤皮肤。	很高
2	包装袋中填装了 1% 浓度的亚硫酸氢钠，请务必佩戴保护眼睛及手套。	由于使用了 1% 浓度的亚硫酸氢钠，故请在通风良好的地方打开包装。同时开包装时务必佩戴眼镜和保护手套。一旦药品不慎流入眼中，请立即用清水冲洗，并及时就医。若药品溅在身体及衣服上，请立即用清水冲洗。	对膜性能无影响，但对人身体有一定危险
3	密封圈应用清洁水或甘油沾湿。不要使用任何润滑剂（石油类、润滑脂、凡士林及洗涤剂），汽油，稀释剂等。	集水管等材质是塑料，若在上涂用了石油、润滑脂、凡士林及洗涤剂会导致集水管再短时间内裂化。同时严禁使用汽油类稀释剂。否则可能会导致膜性能的严重下降。在往膜壳中安装膜元件时，使用清水或甘油将连接部件和密封圈沾湿以便安装。	极高
4	小心拿放膜元件。禁止乱扔，摔落膜元件。	乱扔、乱放膜元件而对其造成的损伤会对膜元件性能造成影响。	很高
5	禁止使用锤子敲打野蛮安装。	这样会导致玻璃钢外壳破裂，故严禁使用锤子敲打膜元件，野蛮安装。此种情况下，难以保证膜元件性能。	很高

① 膜元件安装前准备

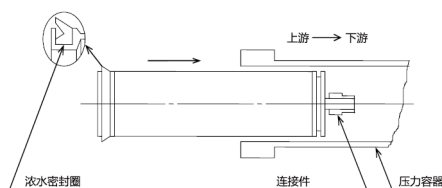
- **冲洗系统管路:** 如果系统是全新的，在安装膜之前需充分冲洗系统管路，以避免碎片、溶剂、或余氯等与膜元件接触。

- **清洁压力容器：**在安装膜元件之前需清洁压力容器的内部，防止污垢或碎片沉积在膜元件外表面。建议用海绵球浸入 50% 的甘油溶液后，采用合适的工具在膜壳内部来回擦洗，将膜壳内壁清洗干净。在清洁过程中，请注意不让工具划伤膜壳内表面。

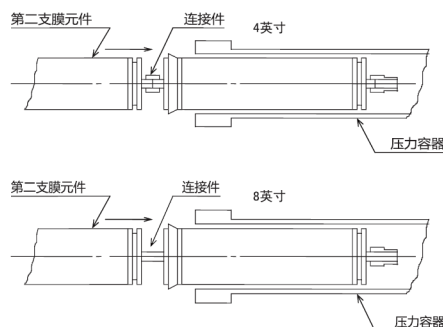
② 安装程序

请将膜元件务必安装在其对应压力容器中。

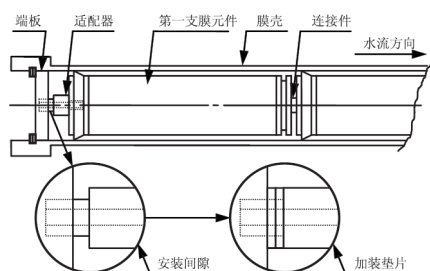
- 通常膜元件置于 1% 浓度的亚硫酸氢钠溶液中保存，首先应用纯水充分冲洗。
- 如下图所示，膜元件的给水侧有一个浓水密封圈、注意密封圈的安装方向是口朝上游张开。浓水密封圈的功能是保证原水全部流到膜元件内不发生旁流。原水自身流速会使浓水密封圈的开口朝压力容器内壁紧压密封。若密封圈的安装方向相反，原水不能密闭，造成一部分原水流到膜元件外侧，致使膜表面流速降低，导致产生结垢现象，从而缩短膜的使用寿命。



- 确认“O”型圈安装在连接配件指定位置上。安装时要注意“O”型圈及连接件表面没有划伤或附着物。注意不要将“O”型圈扭曲安装。若连接件发生泄漏，原水就会进入到产水中，会导致产水水质下降。安装在集水管上时，“O”型圈和集水管的表面用清水或甘油沾湿以便于安装。
- 卸下压力容器两侧的端板安装膜元件。将适配器安装在第一支膜元件的集水管浓水侧（下游）。然后将膜元件沿原水水流方向推进，装入压力容器内。数支膜元件连续安装时，前一支膜元件完全进入膜壳之前，就要准备下一支膜元件与连接件连接。同时要注意不要让膜元件与压力容器边缘接触，以防产生擦伤，尽量平行推入压力容器中。



- 确认压力容器的适配器连接后，将浓水侧端板与膜壳连接。端板的连接方法请参照压力容器生产厂的使用说明书。
- 完成浓水侧端板的安装后，应再次从进水侧向浓水侧推动膜元件，保证其完全紧密连接。然后再进行进水侧端板的安装，安装进水侧端板时应注意测量端板与适配器之间的间隙。如果有间隙，安装内径大于适配器外径的厚度为 1/4" - 1/8" 的塑料（或其它合适材料）垫片，直致使端板不能完全安装到位，此时取下一支垫片后再安装好端板即可。端板的连接方法请参照膜壳生产厂的使用说明书。



③ 拆卸程序

- 拆下压力容器周围的管道，卸下压力容器两端的端板。
- 从原水入口处将膜元件朝下游推出，在浓水出口侧将膜元件一支接一支的取出。膜元件推出时请不要使用坚硬工具。

3 系统的启动和停止

① 初始运行前需确认事项

● 保安过滤器 (<5 μ m)

为防止金属屑、异物、沙子和纤维等物质进入到膜元件内，请在原水泵后安装保安过滤器 (<5 μ m)。在运行开始前，请确认滤芯已正确安装。

● 进水的 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修正预处理的配置和运行参数。

● 进水的残余氯

通常要求运行时进水的余氯含量为 0mg/L。进水中残余氯浓度若超出此要求会造成膜元件脱盐率下降。若进水中有余氯，请用亚硫酸氢钠 (SBS) 中和。若残余氯量为 1mg/L，对应则需要 SBS 1.8-3mg/L。余氯采用 ORP 表在线监测，或是比色法测定。

注意：过渡金属如铁、锰等，将加剧余氯对膜元件的氧化。因此进水中含有过渡金属时，应确保进水中没有余氯存在。

● 进水的残余 SBS(亚硫酸氢钠)

当采用 SBS 中和余氯时，美国海德能公司推荐采用滴定法测 SBS 浓度，以确保余氯全部被还原。因为在有些废水中，余氯或 ORP 测定会受到干扰而不准确，SBS 残余量为 1-2mg/L 时可确保余氯全部被还原。

● 进水油类

油脂严禁进入反渗透系统，必须在预处理中脱除掉。

● 进水 pH 值

进水 pH 值若超出膜元件规定范围，可能会导致膜元件性能下降。

● 进水温度

运行时进水温度应在 40℃ 以下 (最高不能超过 45℃)。若进水温度超出此范围，可能会引起膜性能下降。40℃ 以上运行时请向美国海德能公司技术人员咨询安全运行条件。

● 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。

● 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。

确认好上述 9 项后，在膜已正确安装的条件下，可以启动系统。

② 启动

● 全部开启浓水及产水阀门。

- 反渗透系统的冲洗：供水时以低压、低流量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再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添加足够的 SBS。在冲洗步骤中，要注意以下的运行条件：

压力：<0.4MPa；冲洗时最大压差以 6-7 芯装系统来计，不应超过 0.35MPa。

单支压力容器的冲洗流量：

◇ 8 英寸 (8040) 膜元件：≤ 10.9 m³/h

◇ 4 英寸 (4040) 膜元件：≤ 2.7m³/h

- 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。
- 启动高压泵后必须使升压速度在任何时候不能超过 0.07MPa/ 秒。压力上升速度过快可能会导致膜元件机械损伤，包括轴向压力过大使膜元件产生望远镜现象，或导致 FRP 裂

纹甚至严重到破损。将给水阀门缓慢开启，使浓水流量达到设计值。

- 一边调节高压泵出口的给水阀门，一边慢慢关小浓水阀门。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小浓水阀门的同时开启，确认添加药品流速及测定原水 pH 值。
- 一小时连续运行后测定产水电导率、分析水质，并将产水引入产品水箱。
- 记录运行初期数据。

③ 停运

- 停止高压泵：如果高压泵采用变频控制，可使高压泵逐渐减速至停止。
- 冲洗：浓水侧阀门全部打开，并确认产水阀门也全部打开。启动冲洗水泵，调节冲洗进阀门至合适冲洗流量，运行 5-15 分钟冲洗。
- 停止冲洗：停止冲洗水泵，关闭各阀门。停机冲洗水源应该是 RO/NF 产水、软化水或脱盐水。这些水质比进水好，且应不含污染物如硬度、铁、锰、有机物等，或其浓度不至于污染膜。另外当进水在膜系统内停留一段时间不会使膜元件污染或结垢时，可以采用进水为水源。冲洗水的 pH 值应在膜元件的常规运行 pH 值范围内，停机冲洗不应加阻垢剂。可根据实际情况进行冲洗回路设定，可用化学清洗系统作低压冲洗。

④ 注意事项

- 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，升、降压速度不应超过 0.07MPa/秒。
- 原水中残留的余氯。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 来还原。原水中的残留余氯必须为 0mg/L 时设备才能运行。
- 产水侧压力（背压）。产水侧压力高于原水侧压力 0.035MPa 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 3.5 米以上时，系统停止时产水侧的静压头 (0.035MPa) 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。

4 运行管理

① 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 SDI_{15} 。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。

项目	现象	采取措施
残余氯浓度	大于 0mg/L	加入 SBS
SDI 值	大于 5	导致膜元件迅速污堵，调整预处理工艺参数
pH 值	在允许范围外	脱盐率下降，产生结构可能性很大，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	发生结垢及膜污堵可能性很大，需要调整流量平衡

② 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。

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

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。

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	进水电导率	EC_f	$\mu S/cm$
8	浓水电导率	EC_b	
9	产水电导率	EC_p	
10	进水温度	T_f	$^{\circ}C$
11	进水 pH 值	pH_f	N/A
12	进水 ORP	OR_p	mV
13	保安过滤器入口压力	PF_1	kgf/cm^2 、bar、MPa
14	保安过滤器出口压力	PF_2	

③ 运行数据的整理

对记录的数据进行整理十分重要。下表对记录数据进行了分析。

● 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 0.1MPa 得到的产水为标准、可以确认其变化。

● 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，μs/cm
EC_b - 浓水的电导率，μscm

对数平均电导率 = EC_f × [-ln(1-Rec)/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，而是采用电导率的脱除率表征的脱盐率），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。

	测定项目	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 _{avg}		(P ₁ + P ₂ + P ₃) / 3
4	全体有效压力	P _n		P _{avg} - P ₄
5	温度校正系数	TCF	N/A	exp {2700 × [1/(273+T) - 1/298]}
6	标准化产水量	J	m ³ /h (MPa)	Q _p / P _n × TCF
7	电导率脱除率	Rej	%	(1 - EC _p / 给水平均电导率) × 100%
8	回收率	Rec		Q _p / (Q _p + Q _b) × 100%
9	预处理压差	dP _{pr}	kgf/cm ² 、bar、MPa	PF ₁ - PF ₂

④ 停运保护

● 短期保存

短期保存方法适用于那些停止运行 5-30 天的膜系统。此时膜元件仍安装在系统的压力容器内。保存操作的具体步骤如下：

- ◇ 给水冲洗膜系统，同时注意将气体从系统中完全排除。采用膜系统产水冲洗膜系统会有助于防止污染；
- ◇ 将压力容器及相关管路充满水后，关闭相关阀门，防止气体进入系统；每隔 5 天按上述方法冲洗一次。

● 长期停用保存

长期停用保护方法适用于停止使用 30 天以上，膜元件仍安装在系统的压力容器内。这种方法可保存 6 个月，取决于保存温度和保护液种类保存的具体步骤如下：

- ◇ 对膜元件进行化学清洗；
- ◇ 采用膜系统产水配制合适的亚硫酸氢钠溶液（请向美国海德能公司相关人员咨询可替代的保护液）；并循环冲洗膜装置；当保护液充满膜系统后，关闭阀门和泵使保护液保留于膜系统中，此时应确认系统完全充满；
- ◇ 如果温度低于 27°C，应每隔 90 天用新的杀菌剂进行 2-3 步操作；如果温度高于 27°C，则应每隔 30 天更换一次杀菌剂；
- ◇ 每 15 天检测一次 pH 和 TDS，以便确定是否需要换新保护液；
- ◇ 如果膜系统设计有水或溶液漏泄、阀门关闭不严，亚硫酸氢钠溶液的 pH 可能会降到 3 以下。此时需要排掉现有保护液，并重新充入新 SBS 溶液。
- ◇ 请考虑检查系统顶部的阀门检查是否有漏泄，以帮助来排查 SBS 在系统内的状况，不同膜系统可能存在不同变化。
- ◇ 确认膜系统管路中没有死角，不影响保护液的有效性。
- ◇ 在膜系统重新投入使用前，用低压给水冲洗系统 30~60 分钟，然后再用高压给水冲洗系统 30~60 分钟。无论低压冲洗还是高压冲洗时，系统的产水排放阀均应全部打开。在恢复系统至正常操作前，应检查并确认产品水中没有残留杀菌剂。

07.

系统故障的诊断和排除

膜元件的故障通常表现为膜性能下降、物理破损和化学劣化等现象。比较具有代表性的现象是膜元件脱盐率下降（产水电导率上升）、产水量变化（运行压力的增加或者减少）和压力损失（压差）增加等。

膜元件自身以外原因表现出的故障症状往往也呈现在膜元件上。因此调查原因时，往往总是把注意力集中在对膜性能分析上。在发现膜系统发生故障时，通过对运行记录的查阅和原水水质的分析，对取得正确判断是不可缺少的。

对故障的诊断可以按照下列顺序进行：

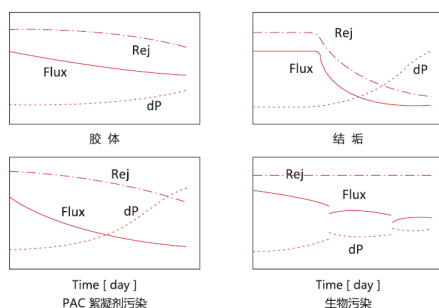
- 查阅运行记录。在有日常运行数据记录被保存的前提下，对系统运行状况、条件进行确认，调查是否有异常的运行条件
- 追加必要的的数据。把握系统是整体性能下降还是部分性能下降。若是系统部分性能下降，可以拆卸发生问题的膜元件，检查其外观及连接件的密封圈等状况
- 原水的特性状态调查和分析
- 对装置卸下的膜元件进行性能检测，膜元件解体检查（膜的分析、清洗测试）。

1 故障诊断

① 系统的诊断

系统整体的故障由于故障原因的不同，表征出来的现象也不尽相同。当出现性能下降的征兆时，迅速及时的采取对策尤为关键，这样可以避免故障扩大。因此在日常通过记录数据，用图表的形式将参数标准化，会起到事半功倍的效果，至于标准化方式则由各个反渗透厂家提出（美国海德能公司提供标准化软件 RODATA[®] 供用户免费下载，详情请登录 www.hydranautics.cn）。

膜元件的故障原因多种多样，比较具有代表性的是膜劣化和污染。以下介绍根据造成污染原因物质的种类，就性能随时间变化的一般模型作简单介绍。



Rej: 脱盐率 $[(\text{原水浓度} - \text{产水浓度}) / \text{原水浓度}]$; Flux 产水流速; dP: 膜组件的压力损失

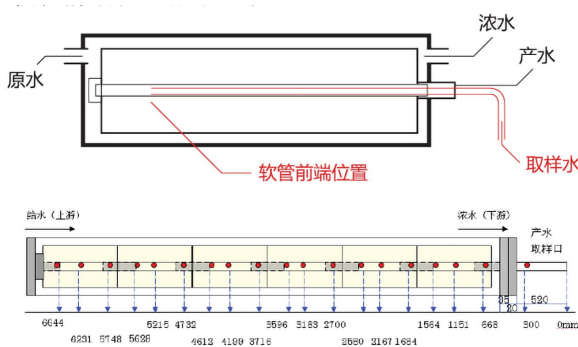
② 各个压力容器的诊断

观察每支压力容器的性能数据，对于探明系统故障原因是非常重要的。连接件和密封圈的密封不良或者膜元件的破损等故障都会造成以压力容器为单位的性能下降发生。系统在第一段和第二段的膜元件是否有类似的性能下降也说明不同的故障原因。由于膜劣化或者污染的原因引起的故障也是可能的。若无法分段取得性能数据，则对每个压力容器进行测试。通常是测试每个压力容器中的产水电导。取样时要注意调查配管设置方法，被测定的压力容器的产水是否受到其他的压力容器的产水影响。一般对每个压力容器测量其产水水量是非常困难的。

③ 压力容器内各个膜元件的诊断

检查各个压力容器内填装的膜元件的哪个部分发生了脱盐率下降，可以采用探针法（在线检测）或抽出检测法（离线检测）。这里我们将着重介绍探针法的使用。

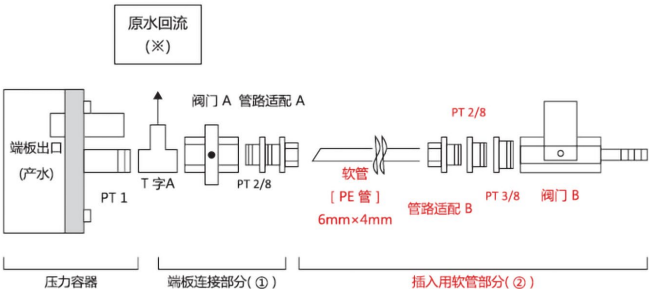
探针法是采用塑料管插入中心集水管且贯穿全长进行测试不同位置膜元件产水电导率的方法。被采样的产水来自软管前端位置上游的产水，表示软管前端位置的水质。



各个膜元件性能的测定和连接管密封处是否有泄漏的检测点的位置如下：

- 膜元件上游：连接管密封处的确认（“O”型密封圈下游处 20 毫米处，超过 60 毫米以上的地方，会和中心集水管的开孔相通，结果受膜性能的影响）。
- 膜元件中央：膜元件性能测定。
- 膜元件下游：连接管密封处的确认。

探针法使用的测试工具如下图所示分端板连接部分（①）和插入用软管部分（②）这两部分组成。在连接端板和产水出口之间安装 T 型三通（T 字 A），使不经由软管流过的产水回流至原水水箱。



探针法的实施方法如下：

- 端板连接部分 (①) 的管线安装并固定在产水出口上 (端板连接部分和集水管必须保持在一直线上)。端板连接部和产水集之间加入 T 型三通 (T 字 A)，为了使不从探针法软管中通过的产水回流至原水水箱。
- 把插入用的软管部分从软管适配器 A 处插入，并打开阀门 A。
- 把软管插入集水管内部深处。
- 软管遇到阻碍，无法再向前的地方就停住。遇到阻碍的位置就是软管和保护帽的接头处 (集水管的最前端)，可以把那里作为起点 (标记为 0 毫米)。建议在进行测试前可以把软管插入，事先确认软管前端到保护帽位置的长度位置。
- 在起点位置，把阀门 B 打开开始采样。采样前需要把软管内已有的液体置换出来，因此在先排出 300 毫升左右以后开始采样。
- 在采样结束后，把软管向外拉出一定间隔，继续下一个位置的采样。若事先能在软管上注上间隔标记，则采样时更易操作。
- 对压力容器内的膜元件按照一定间隔对全长度取样直至结束。一支膜元件的长度是 1016 毫米。

使用探针法需要注意的事项如下：

- 被抽样的产水水质是采集的测量点上游制造的产水的平均值，无法表示测量点产水的水质性能。
- 调换膜元件的方向，进行正、反两方向的测试，对于测量点 (采样位置) 的产品水性能可以做到更准确的掌握。
- 压力容器中若是单支膜或者是多支膜的情况，对测量点的选择是不一样的，对这一点需要注意。

2 故障的现象、原因以及解决方法

查看运行条件以及数据，若发现系统运行已超出可运行范围，向用户提出改善要求。但往往因为原因不明确采取对膜元件进行分析的方法比较多。

现象			原因	解决办法
脱盐率	水通量	压差		
↓	↗	→	氧化：余氯、臭氧	换膜，改善预处理
↓	↗	→	背压、水锤	换膜
↓	↗	→	连接件密封不严	更换“O”型圈
↘	↓	↗	胶体污染	改善预处理、清洗
↘	↓	↗	无机盐结垢	调整 pH、回收率、清洗
→	↓	↗	微生物污染	定期杀菌、清洗
→	↓	→	吸附表面活性剂、油	改进预处理
→ ↘	↗ ↘	→	温度高	在允许范围内调整
→ ↘	↗ ↘	→	压力高	在允许范围内调整

3 膜元件的分析

确认好系统的运行条件和运行记录后，为了使分析更明确，需要对膜元件进行分析。掌握性能下降的现象，把握污染物究竟是何种物质，抓住性能下降的原因寻找对策、确立清洗方法。包含分析的膜组件的确认方法请参照下表。表中列出的测试项目中的分析方法，通过组合分析，可得出较为综合的判断结果，其中又以用膜元件的性能检查、附着物的外观、SEM-XMA/FT-IR 的组合分析，可以做出比较准确的判断为多。

需要分析时，将膜元件从设备上取下，须对膜元件的安装位置和压力容器中的膜元件的特定位置进行记录并在返回的样品上标注（希望用户在取下膜元件的同时记录它们的位置）。

对原水的检测要把会对膜性能产生影响的物质尽量分析出来，关于 ss 或者微粒子、结垢物质（钙、硅、重碳酸盐和硫酸根离子等）包括氧化剂等等项目请事先和设备厂商或者膜元件厂商商量以后决定。

① 外观和重量

可以通过对外观的观察，确认膜元件是否有物理破损或者存在有机物附着。测量重量就可以对污染物的量做出大致判断。但仅仅通过一个重量指标是无法得出最终结论的。

确认方法	劣化	滤饼层	垢层	吸附层	堵塞	流道堵塞
外观、重量	×	○	○	×	○	○
染色测试	○	×	×	×	×	×
膜的观察	○	○	○	△	○	○
原水分析	○	○	○	○	×	×
膜元件性能	○	△	△	△	○	○
附着物定量分析	×	○	○	×	×	○
SEM	○	○	○	×	○	○
XMA	×	○	○	×	○	○
X 射线衍射分析	×	×	○	×	○	○
FT-IR	○	○	○	○	×	×
化学清洗	×	○	○	×	×	×

② 膜元件性能检查

膜元件性能的复查只能在膜元件解体前实施。即使在已经确认有污染成分时，也应该先测试膜元件的性能，然后再解剖膜元件分析污染物的组成，但是复测性能时可能导致污染物发生变化影响分析结果。因此我们希望能确保有两支样品，一支用于性能检查，另一支直接解体。

膜元件的性能测试中包含以下检测项目：

- 真空保持检查和水密检测，可以确定平膜的破损和破损位置。
- 用标准测试条件复测膜元件，对比脱盐率产水量、压差的变化，可以判断膜破损、膜性能劣化、污染、流路堵塞和连接件是否接触不良。

以上的性能检测数据和出厂数据进行对比以确认性能变化状况。在压差的测定中使用压差检测计，测试中要达到 0.001MPa 的精度。

③ 染色试验

想确定膜的性能是否发生劣化或者想发现膜元件出现破损的位置时，可以进行染色测试。若要同时进行污染物分析的话，最好用另外样品进行以免染色试验影响污染物分析的准确性。

通常使用染料 Direct Blue(分子量约 1,000 Daltons) 或者 Ultra Violet(分子量约 300 Daltons) 在膜元件的标准测试条件下加压约 10 分钟。染色后，对膜元件进行解体就可以确定膜的破损和膜元件密封泄漏等缺陷的位置。

④ 膜元件的解体

一般按以下步骤进行：

- 拍摄膜元件的外观照片（全体和两个端面的特写）；
- 取下两端的端板，清晰的注明原水流动的方向；
- 把外层的玻璃钢取下；
- 把膜组件打开，调查每片膜叶，对膜叶的全体或者必要的部分进行拍照。为了让看照片时就能明白膜叶上何处为原水侧、何处为浓缩侧，请事先标注或作上记号；
- 有大量的附着物时，需要采集附着物样本。为了分析膜表面的状况并满足 FT-IR 的分析条件，最少需取 40×20 毫米的平膜样本。

⑤ FT-IR 分析

依据 FT-IR 分析所提供的信息，可以对以下问题作出判断：

- 由于化学变化而造成的膜性能劣化情况。根据与新膜之间的差别，若有膜的官能团减少的话，可以判明存在化学反应的影响，但是当有较多的污染物附着在膜表面时则无法进行判定。

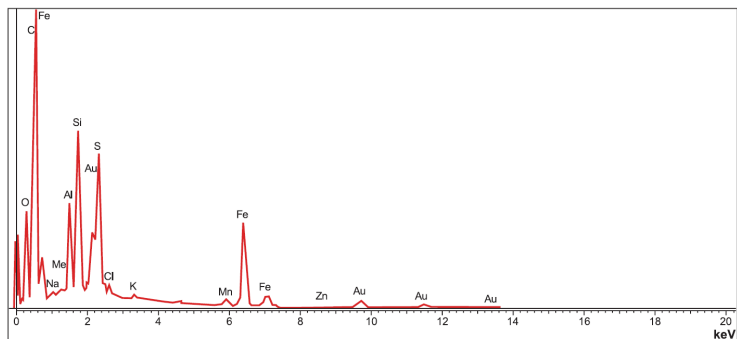
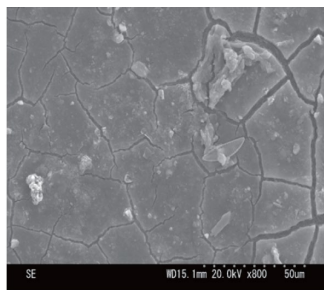
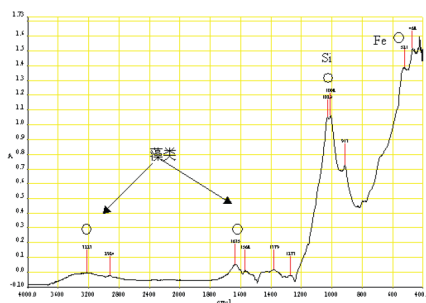
- 膜片上附着物的鉴别。根据和新膜的差谱分析，测定附着物的吸收曲线可以推测出主成分。与标准物质的吸收光谱作比较可以得出污染物大致所含的组分。若附着物可以采集的话，建议直接用 FT-IR 对这些附着物进行测试，也可以判断出附着物的成分。
- 可以就附着物的成分进行判断是污染物（金属氧化物、微生物污染和絮凝剂）或结垢物质（碳酸钙、硅和硫酸钡等）。
- 吸附层一般很薄，由于 FT-IR 的分析深度是 100 微米，因此对很薄的吸附层显得办法不多。可以用大量的超纯水对这些吸附物进行抽取，然后降压浓缩后再用 FT-IR 测试。关于吸附物质的判定请咨询仪器分析专家。
- 仅用 FT-IR 是无法单独判别详细的成分构成的，必须结合 XMA 等其它测试才能对附着物进行更详细的判断。

⑥ SEM 和 XMA 射线分析

通过 SEM 和 XMA 分析，可以得到以下信息：

- 用 SEM 可以观察膜片表面的外观，判断膜表面的破损状况，推测附着物的大小和类型。判断附着物是属于结晶性或非结晶性物质。还可以观察膜表面的污染程度。但是 SEM 只能对非常窄小的部分进行观察，因此需要选取多个的样品才可以做出判断。
- 用 XMA 可以对污染物的无机元素进行推断。附着的元素和用 FT-IR 所得的化合物吸收对应组合，可以推断附着物。例如通过 XMA，看出有 Si、Fe 的附着，SEM 发现藻类物质，用 FT-IR 发现有 Si、Fe 和藻类的吸收光谱，参考标准的频谱，可以判定有 Si、Fe 和藻类污染的存在。

参见下图：



⑦ 化学清洗测试

为了对污染物质进行推断并判断膜劣化的程度，需要进行化学清洗测试。从化学清洗的效果可以反推出污垢的种类。为了选择恰当的化学药品，可以解体膜元件，取平膜样品进行化学清洗测试。膜解体后的平膜样品可以做成① 75 毫米的样品，用化学试剂在常温下浸泡 8 小时，再和空白样品（纯水浸泡的膜片）一起进行平膜性能测试来判断化学清洗的效果，最终确定有效的化学试剂，从而大致推断污染物的种类，进而可以指导被污染膜元件的清洗工作。

08.

反渗透和纳滤系统的清洗

反渗透系统运行时，进水中含有的悬浮物质，溶解物质以及微生物繁殖等原因都会造成膜元件污染。反渗透系统的预处理应尽可能的除去这些污染物质，尽量降低膜元件污染的可能性。污染物的种类、发生原因及处理方法请参见表 1。通常，造成膜污染的原因主要有以下几种：

- 新装置管道中含有油类物质和焊接管道时的残留物，以及灰尘且在装膜前未清洗干净；
- 预处理装置设计不合理；
- 添加化学药品的量发生错误或设备发生故障；
- 人为操作失误；
- 停止运行时未作低压冲洗或冲洗条件控制得不正确；
- 给水水源或水质发生变化。

表 1 反渗透膜污染的种类、原因及处理方法

污染物种类	原因	对应方法
堆积物	胶体和悬浮粒子等在膜表面堆积	提高预处理的精度或采用 UF/MF
结垢	由于回收率过高导致无机盐析出	调整回收率、加阻垢剂
生物污染	微生物吸附以及繁殖	定期杀菌处理
有机物吸附	荷电性 / 疏水性有机物和膜之间的相互作用	膜种类的选择正确

污染物的累积情况可以通过日常数据记录中的操作压力、压差上升、脱盐率变化等参数得知。膜元件受到污染时，往往通过清洗来恢复膜元件的性能。清洗的方式一般有两种，物理清洗（冲洗）和化学清洗（药品清洗）。物理清洗（冲洗）是不改变污染物的性质，用力量使污染物排除膜元件，恢复膜元件的性能。化学清洗是使用相应的化学药剂，改变污染物的组成或属性，恢复膜元件的性能。吸附性低的粒子状污染物，可以通过冲洗（物理清洗）的方式达到一定的效果，像生物污染这种对膜的吸附性强的污染物使用冲洗的方法很难达到预期效果。用冲洗的方法很难除去的污染应采用化学清洗。为了提高化学清洗的效果，清洗前，有必要通过对污染状况进行分析，确定污染的种类。在了解了污染物种类时，选择合适的清洗药剂就可以适当的恢复膜元件的性能。

1 物理清洗（冲洗）

① 冲洗的作用

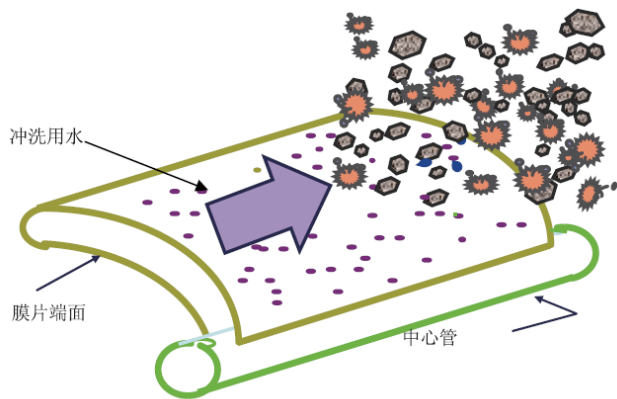
冲洗是采用低压大流量的进水冲洗膜元件，冲洗掉附着在膜表面的污染物或堆积物。

② 冲洗的要点

装置运行时，颗粒污染物逐渐堆积在膜的表面。如果冲洗时的流速和制水时的流速相等或略低，则很难把污染物从膜元件中冲出来。因此，冲洗时要使用比正常运行时更高的流速。

通常，单支压力容器内的冲洗流速为：

8 英寸膜元件：≤ 10.9m³/h
4 英寸膜元件：≤ 2.7m³/h



正常高压运行时，污染物被压向膜表面造成污染。所以在冲洗时，如果采用同样的高压，污染物仍会被压在膜表面上，清洗的效果不会理想。因此在冲洗时，应尽可能的通过低压、高流速的方式，增加水平方向的剪切力，把污染物冲出膜元件。一般进水压力不能大于0.4MPa。

条件允许的情况下，建议经常对系统进行冲洗。增加冲洗的次数比进行一次化学清洗更有效果。一般冲洗的频率推荐一天一次为好。根据具体的情况，用户可以自行控制冲洗的频率。

表 2 冲洗的条件

膜尺寸	流量 *，m³/h	压力，MPa	频度，次 / 日	时间，分钟
8 英寸	≤ 10.9	< 0.4	> 1	10-15
4 英寸	≤ 2.7	< 0.4	> 1	10-15

* 流量越大越好，但不要超过这个值。

③ 冲洗的步骤：

停止反渗透系统的运行。缓慢地降低操作压力并停止装置。如果快速停止装置，压力会急速下降，这可能会对管道、压力容器以及膜元件造成损坏。

● 调节阀门

- ◇ 全开浓水阀门
- ◇ 关闭进水阀门
- ◇ 全开产水阀门（如果运行时产水阀门没有全开的情况）。

如果错误地关闭产水阀门，压力容器中的后半部的膜元件可能发生产水背压，造成膜元件破损。

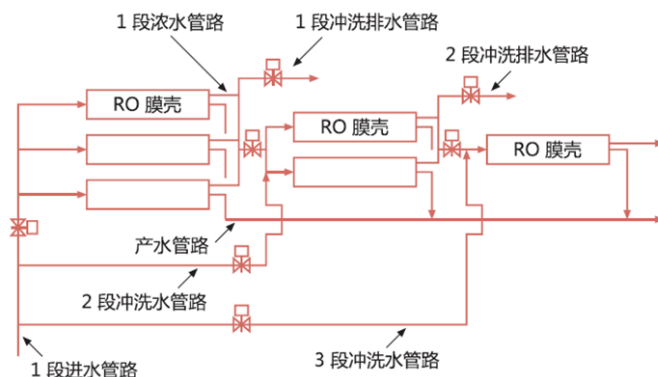
● 冲洗作业：

- ◇ 启动低压冲洗泵；
- ◇ 在缓慢打开进水泵的同时，查看浓缩水流量计的流量；
- ◇ 调节进水阀门，调节流量和压力达到标准值；
- ◇ 10-15 分钟后慢慢地关闭进水阀门，停止进水泵。

● 恢复正常运行。按日常启动程序启动系统。

④ 注意事项

- 进水水泵需要满足正常运行时的进水流量（进水流量=产水流量+浓缩水流量），同时必须考虑满足冲洗流量的要求。
- 浓缩水管路和阀门的选择也要考虑冲洗时的大流量。制水时，因为回收率高，浓缩水流量相对很小。冲洗作业时，要求低压高流量，几乎所有的进水都从浓水管路排除，所以设计浓水管路和阀门时不仅要考虑制水时的流量也要考虑符合冲洗时的流量需要。如果仅仅考虑制水时的流量来设计管路和阀门，则在冲洗时浓水管路以及浓水阀门处的压降升高，有可能达不到要求的流量或超过冲洗要求压力。当然也可以考虑另外设置冲洗专用管路。
- 选定流量计时要考虑到可以读取冲洗时的最大流量。
- 对于多段反渗透系统，如下图所示，为了能够更有效的冲洗膜元件，系统的设计有必要按可以分段冲洗进行设计。
 - ◇ 如果进行全段冲洗，前段的冲洗水和污染物会一起流入后一段中，容易造成后段的堵塞。
 - ◇ 段数的增加同时也意味着冲洗水流经的膜元件数量增加。为了能够达到流量要求，需要加大进水压力。由此可能会超过冲洗压力的允许值，导致膜表面的压力升高，降低冲洗的效果。
 - ◇ 进行第一段冲洗时，全开第一段冲洗浓水排水管路的阀门，关闭第一段浓水和第二段进水间阀门、第二段和第三段的冲洗阀门。
 - ◇ 进行第二段冲洗时，全开第二段冲洗浓水排水管路的阀门，关闭第一段，第三段的进水冲洗阀门，关闭第一段浓水和第二段进水间阀门，关闭第二段浓水和第三段进水间阀门。
 - ◇ 进行第三段冲洗时，全开第三段冲洗浓水排水管路的阀门，关闭第一段，第二段的进水冲洗阀门，关闭第二段浓水和第三段进水间阀门。



2 化学清洗

① 化学清洗的标准

污染性质和污染速度取决于各种因素，如进水水质和系统回收率。通常污染是渐进发展的，如不尽早控制，污染将会在相对较短的时间内影响膜元件性能。当膜元件有受到污染现象，或是在长期停机之前，或是作为定期日常维护需要时，应对膜元件进行化学清洗。膜元件应该在较干净的状态下运行。一般情况下，标准化后数据在达到表 3 中“典型”值时进行化学清洗。但某些特定情况下，例如工业污水或市政污水应用时污染会更严重，可根据需要在标准化后数据达到表 3 中“高污染”数值时进行清洗。此种情况下，标准化数据表中的基准值应该是运行稳定后的值，可能是运行一周后。

表 3 污染数值变化

	典型	高污染
标准化后的产水量下降	10%	20%
标准化后的产水水质下降	10%	20%
标准化后的压差增加	15%	30%

清洗应该在上述数值达到之前进行，从而维持膜元件在比较干净的状态。当标准化后的运行数据恢复到系统初始运行值时，表明化学清洗有效。在运行数据未标准化的情况下，如果关键运行参数没有改变，上述清洗原则仍适用。

有研究表明，当进水中可溶性有机物含量高时，标准化后的流量和透盐率会在初期有明显下降，在 2-4 周运行期间下降 10-20%。研究表明这种初期下降是有机物在膜表面发生了吸附。当膜表面单层有机物层饱和后，这种现象不会再明显影响系统性能。强烈化学清洗可以恢复大部分损失，但研究也表明这种恢复一般是短暂的，系统很快又回到其之前的性能。因此，化学清洗决定应建立在系统初期稳定运行之后的数据上。

② 化学清洗的频率

膜的清洗周期根据现场实际污染情况而定。正常的清洗周期是每 3-12 个月一次。如果在 1 个月内清洗一次以上，需要改善预处理例如追加投资或重新设计膜系统；如果清洗周期在 1-3 个月一次，应侧重于调整和优化现有系统的运行参数。即使系统长期没有发生污染，为了能够更好的保证系统正常运行，一般可考虑每 6 个月进行 1 次化学清洗。

当预处理工艺中采用了无机絮凝剂，经常会有反应不完全的无机盐没有形成可过滤掉的絮凝体。用户应确保没有过量的絮凝剂进入到膜系统中。过量的絮凝剂能通过 SDI 测试装置测定出来，例如 SDI 膜片上的铁为 3μg/片，任何时候不应超过 5μg/片。除了采用浊度和 SDI 测定之外，颗粒计数器也可以精确衡量 RO/NF 进水是否合格。粒径大于 2μm 的颗粒物应 <100 个/ml。

③ 清洗药剂的选择

不同污染物应采用不同的清洗药剂。污染发生时通常不是只有一种污染物，因此常规化学清

洗需要包括高 pH 值清洗和低 pH 值清洗两大步骤。可以使用的常规化学清洗药剂请参见表 5。选用哪个清洗剂进行化学清洗，可以按以下方法判断：

- 按反渗透进水水质判断；
- 进行全系统膜元件清洗之前，可以从系统中取出一、两支膜元件，通过进行清洗试验，选择最佳的清洗药品。

一般来说，应先采用高 pH 清洗液清洗油类和微生物污染，然后采用低 pH 清洗液清洗无机垢类或金属氧化物污染。有时也先酸洗后碱洗，或者只采用一种药剂清洗，例如地下水源的铁污染，采用简单的低 pH 清洗即可。有时清洗液中加入洗涤剂以便去除微生物和有机污染物；有些加入螯合剂如 EDTA，以便更好地去除胶体、有机物、微生物和硫酸盐垢。如果选择清洗剂不当，或清洗顺序不当，可能会使污染恶化。

④ 污染物的种类及其影响

污染物的种类以及发生污染时系统运行的变化列在表 4 中。

表 4 污染的种类和系统显示现象

故障类型	发生的位置	系统压降	进水压力	透盐率
金属氧化物污染 (如 Fe、Cu、Zn 等)	首段，前端膜	迅速增加	迅速增加	迅速增加
胶体污染 (有机和 / 或无机混合物)	首段，前端膜	逐渐增加	逐渐增加	轻微增加
无机盐结垢 (如 Ca、Mg、Ba、Sr)	末段，末端膜	中度增加	轻微增加	明显增加
聚合硅垢	末段，末端膜	正常到增加	增加	正常到增加
生物污染	任何位置 / 通常前端膜	明显增加	明显增加	正常到增加
有机物污染 (溶解性天然有机物)	所有段	逐渐增加	增加	降低
阻垢剂污染	末段最严重	正常到增加	增加	正常到增加
膜氧化 (如 Cl_2 、 O_3 、 KMnO_4)	首段最严重	正常到降低	降低	增加
膜水解 (超出 pH 使用范围)	所有段	正常到降低	降低	增加
膜面磨损 (活性炭粉等)	首段最严重	正常到降低	降低	增加
O 型圈泄露 (内连接管或适配器)	无规则 / 通常进水端适配器	正常到降低	正常到降低	增加
胶层泄露 (运行或备用时的产水背压)	首段最严重	正常到降低	正常到降低	增加
胶层泄露 (清洗或冲洗时产水阀关闭)	段内末支膜元件	增加 (有污染且压降高时)	增加 (有污染且压降高时)	增加

⑤ 美国海德能公司推荐的常规清洗液介绍

- **溶液 1:** 2.0% (W) 柠檬酸 ($C_6H_8O_7$) 的低 pH 清洗液。对于去除无机盐垢（如碳酸钙垢、硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢等），金属氧化物或氢氧化物（铁、锰、铜、镍、锌等），及无机胶体十分有效。市售柠檬酸为粉末固体。
- **溶液 2:** 2.0 (W) %STPP 三聚磷酸钠 ($Na_5P_3O_{10}$) 和 0.8% (W) 的 Na-EDTA 混合的高 pH(pH 值为 10) 清洗液。它专用于去除硫酸钙垢和轻微至中等程度的天然有机污染物。STPP 具有无机螯合剂和洗涤剂的功用。Na-EDTA 是一个具有螯合性的有机螯合清洗剂，可有效去除二价和三价阳离子和金属离子。市售 STPP 和 Na-EDTA 均为粉末固体。
- **溶液 3:** 2.0 (W) %STPP 三聚磷酸钠 ($Na_5P_3O_{10}$) 和 0.25% (W) 的 Na-DDBS[十二烷基苯磺酸钠, $C_6H_5(CH_2)_{12}-SO_3Na$] 混合的 pH 值为 10 的溶液。该清洗液用于去除重度的天然有机物 (NOM) 污染。STPP 具有无机螯合剂和洗涤剂的功用，Na-DDBS 则为阴离子洗涤剂。
- **溶液 4:** 0.5% (W) 盐酸低 pH 清洗液 (pH 为 2.5) 主要用于去除无机物垢（如碳酸钙垢、硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢等），金属氧化物／氢氧化物（铁、锰、铜、镍、铝等），及无机胶体。这种清洗液比溶液 1 要强烈，盐酸是强酸溶液，配制时需遵守相关注意事项。
- **溶液 5:** 1.0%(W) 连二亚硫酸钠 ($Na_2S_2O_4$) 低 pH 清洗液 (pH=4-6)。它用于去除金属氧化物和氢氧化物，且可一定程度地去除硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶垢。连二亚硫酸钠是强还原剂，本溶液有强烈气味需合适通风环境。连二亚硫酸钠为粉末固体。
- **溶液 6:** 0.1% 氢氧化钠和 0.03% (W) SDS (十二烷基硫酸钠) 高 pH 混合液 (pH 为 11.5) 它用于去除天然有机污染物、无机／有机胶体混合污染物和微生物（菌素、藻类、霉菌、真菌）污染。SDS 是会产生一些泡沫的阴离子表面活性剂型的洗涤剂。请注意采用此清洗液时不能超过最高 pH 值与温度极限。
- **溶液 7:** 0.1% (W) 氢氧化钠高 pH 清洗液 (pH 为 11.5) 。用于去除聚合硅垢，这是一种较为强烈的碱性清洗液。请注意采用此清洗液时不能超过最高 pH 值与温度极限。

重要提示：建议从化学品供应商处得到化学药剂的性能参数、操作指南和安全注意事项，并且在处理和保存所有化学品时严格按照说明书要求执行。

表 5 污染物质和推荐的清洗溶液

污染物	常规化学清洗	增强化学清洗
碳酸结垢	1	4
硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢	2	4
金属氧化物、金属氢氧化物	1	5
无机胶体污染	1	4
无机有机混合胶体污染	2	6
聚合硅垢	无	7
生物污染	2 或 3	6
天然有机污染物	2 或 3	6

表 6 提供的清洗溶液配方是将一定重量（或体积）的化学药品加入到 100 加仑（379 升）的配制水中。清洗溶液是按所用化学药品量和水量的比例配制的。配制用水应为 RO 产品水或除盐水，且不含游离氯和硬度（具体请见表 7）。清洗液进入膜元件之前，要求彻底混和均匀，并按照目标值调节 pH、温度。除非其它说明，清洗设计参数是基于用化学清洗溶液循环清洗一小时并浸泡一小时而设定的。

表 6 美国海德能公司清洗液配方
[以加入到 379 升 (100 加仑) 水中计]

编号	药品	药剂量	pH 目标值	温度目标值
1	柠檬酸 (100% 粉末)	7.7 公斤	无需调整 pH	40°C
2	三聚磷酸钠 (STPP) (100% 粉末) Na-EDTA (100% 粉末)	7.7 公斤 3.18 公斤	用硫酸或盐酸调节 pH=10.0	40°C
3	三聚磷酸钠 (STPP) (100% 粉末) 十二烷基苯磺酸钠 (Na-DDBS) (100% 粉末)	7.7 公斤 0.1 公斤	用硫酸或盐酸调节 pH=10.0	40°C
4	盐酸 (36%HCl 溶液)	1.78 升	用盐酸或氢氧化钠缓慢调节 pH=2.5	35°C
5	连二亚硫酸钠 (100% 粉末)	3.86 公斤	无需调整 pH	35°C
6	氢氧化钠 (100% 粉末) (50% 溶液) 十二烷基硫酸钠 (SDS) (100% 粉末)	0.38 公斤 0.49 升 0.11 公斤	用氢氧化钠或盐酸缓慢调节 pH=11.5	30°C
7	氢氧化钠 (100% 粉末) (50% 溶液)	0.38 公斤 0.49 升	用氢氧化钠或盐酸缓慢调节 pH=11.5	30°C

备注：pH 和温度目标值仅为推荐值。具体膜元件的 pH 值范围和最高温度极限值，请参见表 8。

表 7 清洗和冲洗用水要求

参数		数值
活性氯		0mg/L
pH		6.5-7.5
硬度	RO 产水、脱盐水、软化水	< 30mg/L 以 CaCO ₃ 计
	钙 (Ca)	< 5mg/L
铁 (Fe)		< 0.05 mg/L
锰 (Mn)		< 0.02 mg/L
铝 (Al)		< 0.05 mg/L
铜 (Cu)		< 0.01 mg/L
钴 (Co)		< 0.01 mg/L
二氧化硅 (SiO ₂)	溶解硅	< 10 mg/L
	胶体硅	< 0.1 mg/L
颗粒物		< 5μm
浊度		< 0.5NTU
SDI ₁₅		< 1
TOC		< 1mg/L
油、脂类		0mg/L

表 8 给出了具体膜元件的最大 pH 和温度极限值，超出这一限制会造成不可恢复的膜元件损坏。美国海德能公司建议的最低清洗温度是 21℃，但在更高温度下清洗药剂的溶解性和清洗效果会有明显提高。

表 8.1 常规膜元件 pH 值和水温极限的关系

膜型号	连续运行 pH 值		清洗 pH 值		
	< 45℃	≤ 35℃	< 45℃	≤ 35℃	≤ 25℃
ESNA™ 系列	3-9.5	2-10	2-10.5	1-11	1-12
ESPA™、YQS™ 系列	3-10	2-10.6	2-10.5	1-11	1-12
ESPAB 系列	3-10.5	2-11	2-11	1-11.5	1-12.5
LFC™ 系列	3-9.5	2-10	2-10.5	1-11	1-12
CPA™ 系列	3-10.5	2-11	2-11.5	1-12	1-13
PROC™ 系列	3-10.5	2-11	2-11.5	1-12	1-13
SWC™ 系列	3-10.5	2-11	2-11	1-12	1-13

注意：本表列出的是不同 pH 值范围的最高温度，在极限条件下清洗效果会更好，但可能会因为水解缩短膜的使用寿命。美国海德能公司建议在确定有效清洗的前提下，采用相对温和清洗方式或控制好药液与膜元件的接触时间。进水和清洗液 pH 值应密切监控并控制。pH 表计应定期校准以确保其读数精确。通常清洗时药液循环 1 小时。在上述 pH 极限清洗时，温度低于 40℃时循环不能超过 60 分钟，超过 40℃时循环不能超过 30 分钟。浸泡是可以的，但溶液 pH 支需要温和，更多内容请参见后面清洗方法和步骤相关内容。

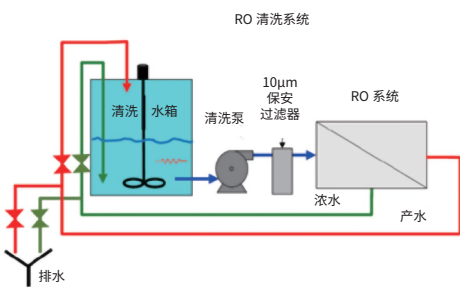
表 8.2 PRO 系列膜元件 pH 值和水温极限的关系

膜型号	连续运行 pH 值		清洗 pH 值		
	< 45℃	≤ 35℃	< 45℃	≤ 35℃	≤ 25℃
PRO-XS	3-8.5	3-9	2-10.5	1-11	1-11.5
PRO-XR	3-10.5	2-11	2-11	1-12	1-13
PRO-LF	3-10.5	2-11	2-11	1-12	1-13
PRO-XP	3-10.5	2-11	2-11	1-12	1-13

注意：本表列出的是不同 pH 值范围的最高温度，在极限条件下清洗效果会更好，但可能会因为水解缩短膜的使用寿命。美国海德能公司建议在确定有效清洗的前提下，采用相对温和清洗方式或控制好药液与膜元件的接触时间。进水和清洗液 pH 值应密切监控并控制。pH 表计应定期校准以确保其读数精确。通常清洗时药液循环 1 小时。在上述 pH 极限清洗时，温度低于 40℃时循环不能超过 60 分钟，超过 40℃时循环不能超过 30 分钟。浸泡是可以的，但溶液 pH 支需要温和，更多内容请参见后面清洗方法和步骤相关内容

⑥ 在线化学清洗

RO 系统在线清洗需要良好设计的清洗装置。对于多段系统，建议采用单段清洗来优化清洗错流流速。用于配制清洗的溶液应是 RO 产水或脱盐水，不含硬度、过渡金属（例如：铁）、游离氯。设备必须没有腐蚀。主要清洗系统包括：



- **清洗水箱：**水箱体积应该能容纳膜元件、管道、软管中的水替换出来。表 10 中列出单支 RO 膜元件所需要的清洗溶液量。水箱设计时应考虑 100% 排放，方便投加药品和混合，清洗泵循环管路，合适排气口和溢流口，循环回路应接近于底部以减少采用表面活性剂时的泡沫。
- **清洗泵：**清洗泵需要设计达到足够冲刷膜元件的错流流速的流量。RO 系统入口的清洗压力最高是 0.4MPa，尽可能减少清洗过程中的产水量降低对流防止污染物再重新沉积到膜表面。单支膜壳清洗流量范围请参见表 9。高压泵不能用于清洗。
- **清洗保安过滤器：**通常选择 5-10 μ m，过滤洗下来的污染物。
- **水箱加热（换热）器：**最高温度是 45℃。请注意在清洗泵循环时会产生并传导热量。也可以考虑在清洗泵排出口加个回路到清洗水箱，管路垂直到水箱底部，以减少泡沫和空气混入。
- **混合器：**建议用混合器来达到最佳药液混合效果。有些设计仅靠启动清洗泵使药液回流到水箱来混合。
- **表计：**清洗系统表计需要包括可能监测、流量、压力、温度、水箱液位的表计。
- **取样点：**在清洗泵出口和清洗液循环回流管路上应有取样阀门，可以取样测试 pH 和 TDS。
- **产水回流管路：**少量清洗液能透过膜，因此设计产水回流管路是必要的。产水回流管路不应与浓水回流管路连在一起。如果产水回流管路与浓水管路连在一起，膜产水侧和产水管路可能被清洗液污染。产水回流管路终端应高于清洗液位，避免膜产水侧或产水管路被清洗液污染。
- **浓水回流管路：**浓水回流管路的终端应接近于清洗水箱的底部，避免空气混入造成的泡沫。

重要提示：在清洗和冲洗过程中，产水管路和产水阀门必须保持全开，至大气压；否则可能会损坏膜元件。如果产水管路关闭，会产生产水压力且高于末端膜元件的进水压力。膜元件的背压（产水静压超出进水压力值）在任何时候都不能超过 0.035MPa。

表 9 单支 RO 压力容器清洗和冲洗流量（压力容器入口压力不要超过 4 bar）

膜元件直径	单位 GPM	单位 LPM	单位 m ³ /h
4 英寸 - 非 34mil 隔网	9-12	34-45	2.0-2.7
4 英寸 - 34mil 隔网	10-13	38-49	2.3-2.9
8 英寸 - 非 34mil 隔网	36-48	136-182	8.2-10.9
8 英寸 - 34mil 隔网	40-53	151-201	9.1-12.1

注意：当膜元件压差特别高时，清洗开始时流量应限制在常规清洗流量的 1/3，以便避免膜元件叠缩错位（望远镜现象）和隔网窜动。当污染物脱除后，流量可以缓慢提升至正常清洗流量。化学清洗前和后的冲洗，应为表 9 中数值的一半。

表 10 单支 RO 膜元件所需清洗液量
(不包括保安过滤器、管路和初始 20% 排放所需的清洗液量)

膜元件	所需清洗液量（最小值）*
8040	34L
4040	9.5L

(*) 上述仅为最小值。当污染很严重时，可能需要更换清洗溶液，实际清洗液量更大。

化学清洗和冲洗程序

RO 膜元件保留在压力容器中，通过低压和相对高流量来循环清洗。RO 清洗程序取决于现场情况。单段清洗需要 4-8 个小时。建议分别记录清洗前和清洗后的标准化数据，以评估清洗效果。在第一次清洗（碱洗或酸洗）后运行一下系统并记录数据，有助于评估每个化学清洗步骤。

常规清洗步骤如下：

注意：在清洗或冲洗过程中，产水阀门始终保持开启。如果产水阀门关闭，产水侧压力会与进水压力相同。这样产水压力可能会高于浓水压力即产水压力高于末端膜元件的进水压力，可能会造成膜片分层影响性能。

- 在 <0.4MPa 压力下进行低压冲洗，即从清洗水箱中（或合适的水源）向压力容器中注入冲洗水，把膜元件中原有的进水／浓水冲掉排放。冲洗水应是 RO 产水或脱盐水，不含硬度、过渡金属和游离氯。冲洗流量一般应为表 9 中清洗流量的一半。
- 在清洗水箱中配制选定的清洗溶液。配制用水必须是不含硬度、过渡金属和活性氯的 RO 产水或脱盐水。将清洗液的温度和 pH 应调到目标值。检查并记录清洗液的 pH、温度、电导率、浊度和铁浓度
- 开始按设定时间循环。循环初始阶段，先排放系统内滞留的水以免稀释清洗溶液，然后再排掉约 20% 的带下来污染物的清洗液然后再将清洗液回流至清洗水箱中。在开始循环 5 分钟内，缓慢地将流速调节到最大清洗流速的 1/3，以避免进水通道被大量洗下来的污染物污堵；之后增加流速至最大设计流速的 2/3 循环 5 分钟，最后再增加流速至最大清洗流速值。如果需要，当 pH 的变化大于 0.5，就要重新添加药品调节至目标 pH 值。清洗液温度在整个循环过程中都需要控制在最高允许范围内。每个循环步骤后，都需检测清洗液的电导率、浊度、铁含量等。如果这些数值明显高于初始值，清洗液应该排掉并更换成新的，以便提高清洗效果。

注意：不要超过表 8 中具体膜型号的最高 pH 值和温度极限值。

- 清洗时通常交替采用循环清洗和浸泡程序。浸泡时间可根据制造商或化学品供应商的

建议选择 0.5-8 小时。典型的清洗周期包括循环 30 分钟，浸泡 30 分钟。在整个清洗过程中要保持合适的温度和 pH 值，因为浸泡增加了膜元件与化学药品的接触时间。

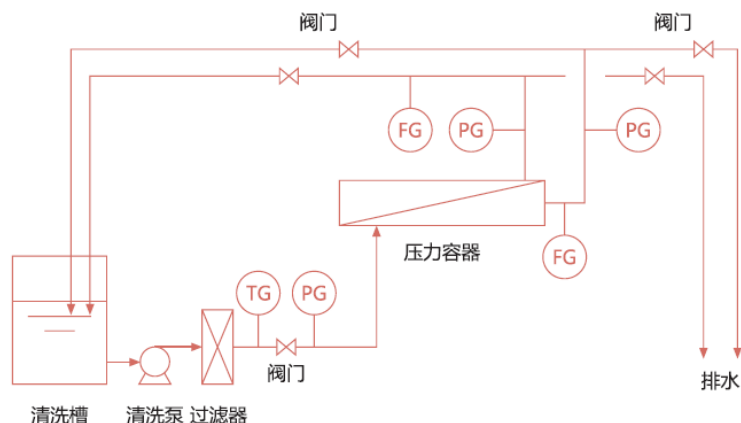
注意：不要超过表 8 中具体膜型号的最高 pH 值和温度极限值。

- 采用一种药剂清洗结束后，要用清洁水（不含硬度、过渡金属和游离氯的 RO 产水或脱盐水）进行低压冲洗，冲洗掉 RO 系统和清洗系统中的残留化学药剂。排放并冲洗清洗水箱，然后再用清洁水完全注满清洗水箱。将清洗水箱中全部注入压力容器冲洗并排放掉有必要时再重复冲洗一次。漂洗流量一般应为表 9 中清洗流量的一半。
- 采用清洁水彻底冲洗后，就可用经过预处理的进水进行最后的低压冲洗，产水排放。进水压力应低于 4bar，最终冲洗持续进行直至冲洗水干净，且不含任何泡沫和清洗剂残余物。通常这需要 15-60 分钟。运行人员可用干净的烧杯取冲洗排放水样并摇动，通过没有泡沫来判断清洗液已冲干净。可采用电导率测试冲洗排放液，当排放水的电导率与进水电导相差 10-20% 以内，可认为已冲洗干净；pH 表也可用来比较冲洗水与进水的 pH 值。

当各段都清洗后，且药剂都冲干净后，RO 系统可以重新开始运行，但初始的产水要进行排放并监测，直至 RO 产水可满足工艺要求（电导、pH 值等）才真正产水。有时需要从几小时到几天，才得到稳定的 RO 产水水质，尤其是在经过高 pH 清洗后。

⑦ 离线清洗

下图为单支膜元件的清洗系统：



离线清洗是指从大系统中取出一支膜元件，用特定的清洗装置进行化学清洗。离线清洗有三个优点：

- 对系统中出现问题的膜元件进行有针对性的检测；
- 对大系统进行清洗前，检验单支膜元件的清洗效果试验；
- 用于小系统清洗，单支膜的清洗方式可以增加清洗的效果。

⑧ 系统消毒

在保存或消毒膜元件之前，运行人员应熟悉所使用膜元件的常规保存步骤。运行人员应确定系统中膜元件的材料类型，以确保采用合适的杀菌剂。

下述信息都是建立在采用通用化学品的研究基础上。美国海德能公司不证明具体药品品牌的合格性。化学品提供商应对其药品与膜产品的适用性负责。如果不确定膜元件的材料类型，请向美国海德能公司的技术人员咨询确认。

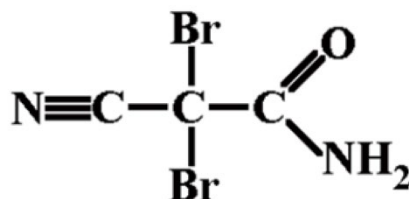
警告：下面所列的某些杀菌剂对人体有害。请充分冲洗系统以便在系统投入运行前彻底清除残余杀菌剂。美国海德能公司对错误使用下面所列的化学品不承担任何责任，全部安全责任由消毒或保存的操作方承担。请向化学品生产商咨询下列化学品的正确使用和排放方法。

● DBNPA

膜行业都知道聚酰胺膜元件对于游离氯基的氧化剂耐受能力非常有限。因此，在对于 RO/NF 系统进行杀菌或防止微生物滋生/污染时，可选其它安全性高的化学品。其中一个化学品是 DBNPA(2,2- 二溴 -3- 次氨基丙酰胺)，是反应快速的非氧化性杀菌剂。采用低浓度的 DBNPA 即可以有效控制好氧菌、厌氧菌、真菌和藻类的生长。

DBNPA 的结构式是：

DBNPA 是有优势的杀菌剂，因其在水相环境中可快速分解为二氧化碳、铵和溴离子。



即使在敏感水体也可以安全排放。它可以通过水、亲核反应、紫外线等来分解，速度取决于 pH 值和温度。DBNPA 的半衰期估计为 24 小时 @pH7、2 小时 @pH8、15 分钟 @pH9。绝大多数微生物在与其接触 5-10 分钟后被杀死。

产品：用于 RO/NF 系统的市售 DBNPA 一般为 5-20% 的溶液，或白色结晶固体。

推荐使用方法

冲击投加时，推荐每 5 天加入 30 分钟至 3 小时，投加浓度为 10-30mg/L 活性成分。冲击投加可以采用化学清洗系统在系统运行或低压冲洗时进行。即使低压膜对 DBNPA 的脱除率估计超过 98%，海水淡化膜则超过 99.5%，某些现场可能会要求投加药剂时排放 RO/NF 产水。对于进水中菌落数超过 100CFU/ml、或已形成生物膜的 RO/NF 系统，推荐采用 30mg/L 活性成分投加 3 小时。如果产水是由于饮用水，投加时产水应排放。

连续投加时，应加入 0.5-2mg/L DBNPA 活性成分。连续投加成本会比较高，请根据现场情况确认是否采用这种方式。

还原剂会使 DBNPA 钝化, 如果进水中含有还原剂 (例如 SBS), DBNPA 浓度应更高。如果运行或冲洗时进水中加有亚硫酸氢钠 (SBS), 1mg/L SBS 需投加 1-1.3mg/L DBNPA 钝化反应, 另外多投加的浓度才会有杀菌作用。

虽然 DBNPA 不具有氧化性, 当其浓度 0.5-3mg/L 时, ORP 值约为 400mv。(1mg/L 余氯时, ORP 读数为 700mv)。

化学清洗用时, 建议 30-50mg/L 溶液循环 1 小时。对于严重生物污染系统, 之后应进行碱洗。

化学药剂商有相应测试装置, 可以确认 DBNPA 的浓度以及是否完全从系统中冲洗掉。

注意:

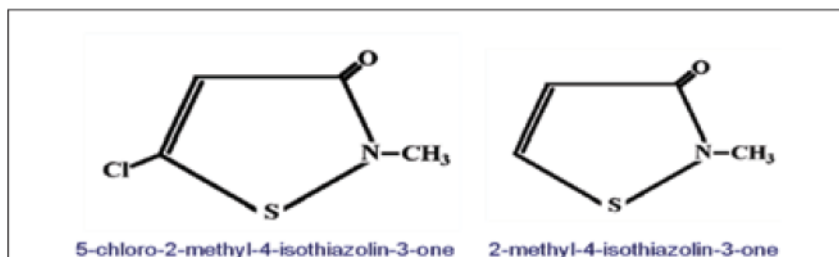
- ◇ DBNPA 对金属有腐蚀性, 保存时应采用塑料桶, 且采用加药泵投加。
- ◇ DBNPA 毒性极低, 但是供应商推荐在冲击投加时产水排放。饮用水应用时, 仅在非产水运行时使用。
- ◇ DBNPA 是弱致敏物。请按化学品安全说明书 (MSDS) 注意事项, 适当使用和储存。
- ◇ DBNPA 不适用于膜元件的长期保存。

重要: 用户应审阅全部技术文件且与供应商沟通, 确保 DBNPA 使用的安全注意事项信息是更新且准确的。

● 异噻唑啉

异噻唑啉是另一种非氧化性广谱杀菌剂, 用于控制好氧菌、厌氧菌、真菌和藻类等。其常见形式为:

异噻唑啉杀菌速度比 DBNPA 慢很多。冲击投加时一般为 50-100mg/L, 时间为 4 小时。在高有机物含量进水中, 异噻唑啉比 DBNPA 更有效。使用时 pH 范围应为 6-9。可以在



运行时连续在 10-20mg/L 低浓度下投加。连续投加异噻唑啉是阻止生物生长, 应尽量在系统上游来使用, 以便控制整个生产工艺中的微生物滋生。在使用异噻唑啉前, 建议先清洗 RO/NF 系统中污染物, 特别是天然有机物。异噻唑啉可用作系统停运保护期间的保护液。长期保护时浓度为 500-1000mg/L, 时间不超过 6 个月。

注意：

- ◇ 供应商推荐在冲击投加时产水排放。饮用水应用时，仅在非产水运行时使用。
- ◇ 异噻唑啉是致敏物。请按化学品安全说明书（MSDS）注意事项，适当使用和储存。

重要：用户应审阅全部技术文件且与供应商沟通，确保异噻唑啉使用的安全注意事项信息是更新且准确的。

● 亚硫酸氢钠

亚硫酸氢钠 (SBS) 在较高浓度投加时能抑制微生物生长，特别是针对好氧菌。投加较高浓度 SBS 时具有抑制微生物生长的生物静电特性，去除好氧菌需要的氧气，创造不利于细菌、藻类和真菌生长的环境。采用 SBS 控制微生物时，每天加入 500mg/L 的亚硫酸氢钠溶液 30-60 分钟。

长期保存时可采用 1% 的亚硫酸氢钠保护液。膜元件采用 1% SBS 溶液保护在膜壳内时，需每月检查一次。如果溶液因空气氧化 pH 值降到 3 以下时，保护液必须进行更换。

● 甲醛

浓度为 0.1-1.0% 的甲醛溶液适用于系统消毒或长期保存使用，至少应在膜元件使用 24 小时后才可与甲醛接触。

● 戊二醛

浓度为 0.1-1.0% 的戊二醛溶液适用于系统消毒或长期保存使用，至少应在膜元件使用 24 小时后才可与戊二醛接触。

注意：

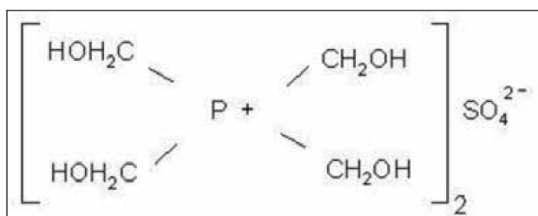
对新膜元件使用甲醛或戊二醛可能会导致水通量下降 10-50%，因此应至少在膜元件使用 24 小时以后才允许与上述杀菌剂接触。无论如何，第一次与甲醛或戊二醛接触可能会造成水通量永久性降低；接下来继续使用这两种杀菌剂会导致水通量的暂时性降低，需要充分将残余杀菌剂冲洗干净至系统恢复到使用前的水通量为止。

● 过氧化氢

如果进水中含有硫化氢、或溶解的铁、锰等，不能使用过氧化氢。过氧化氢或含过氧乙酸的过氧化氢溶液可用来消毒。在采用过氧化氢杀菌时，必须确保配制溶液的水中没有过渡金属（铁、锰等），以免催化氧化而损坏膜元件。过氧化氢的浓度不应超过 0.2%，且温度不应超过 25℃。过氧化氢不能做为膜长期停运的保护液。

● 四羟甲基硫酸磷

四羟甲基硫酸磷在钻井平台的膜系统中，用于控制硫酸盐还原菌 (SRB)。有报告表明四羟甲基硫酸磷是环境友好型杀菌剂，对 SRB 很有效。



四羟甲基硫酸磷在酸性非生物条件下是稳定的。当 pH 高于 8 时，它在一周内会分解。分解产物是三羟甲基磷 (THP) 和三羟甲基氧化磷 (THPO)。冲击投加时浓度为 50-100mg/L。连续投加时浓度为 10-20mg/L。用作钻井平台上的 RO/NF 系统长期保护液时，浓度为 600-1000mg/L。加药后会导致 25-30% 的通量下降。有研究表明可通过碱洗或某些表面活性剂清洗来恢复水通量。

全球工厂及驻华联系方式



美国海德能公司总部

401 Jones Road, Oceanside CA 92058



日东电工（上海松江）有限公司

上海市松江工业区联阳路 716 号



日本滋贺事业所

61-7, Azasasadani, Yamadera Kusatsu
Shiga, 525-0042



北京 北京市朝阳区曙光西里甲5号院凤凰置地广场A座1903室
电话:(010) 65900688 传真:(010) 65900788

网址 www.hydranautics.cn
www.membranes.com

上海 上海市长宁区遵义路150号南丰城C座16楼
电话:(021) 52082255 传真:(021) 52081910

Email info@hydranautics.cn





海德能™

©2022美国海德能公司版权所有, 未经许可不得擅自使用

美国海德能公司确信我们所提供的信息和数据是准确和有用的, 但由于无法控制用户的使用方法和使用条件, 因而这些信息和数据仅处于友好目的, 不作为保证值。美国海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害, 用户应自行确认美国海德能公司的产品对于其特定用途的适应性。

2023年6月发行



反渗透系统设计运行维护手册

书脊

