

## RO 和 NF 的化学预处理

可以向反渗透进水中加入以下化学药剂，从而提高反渗透系统运行效果：

- 酸
- 碱
- 还原剂
- 阻垢剂和分散剂

### 酸：

酸通常指盐酸（HCl）或硫酸（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>），注入到 RO 进水中来降低 pH 值。

硫酸比盐酸更常用。一个原因是硫酸比盐酸运行费用相对更低，另外硫酸不象盐酸那么容易挥发，对金属件腐蚀相对更少。RO 膜对于硫酸根脱除率也比氯根高，这有时也是选择硫酸的一个因素。

无添加剂的工业级硫酸，可以用于 RO 系统。市售硫酸溶液一般为 20%和 93%浓度。稀释 93%硫酸溶液时会发生大量放热反应，因此要注意稀释浓酸时需要将酸缓慢注入到水中并不断搅动，以防止溶液过热。

当有 CaSO<sub>4</sub>、BaSO<sub>4</sub>、SrSO<sub>4</sub> 结垢倾向时，可采用盐酸。加入硫酸会升高 RO 进水中的硫酸根值，直接提高硫酸盐结垢的可能性。工业级盐酸（无添加剂）可以用于 RO 系统，一般市售浓度为 30-37%的溶液。

降低进水 pH 值的主要目的是降低 RO 浓水 CaCO<sub>3</sub> 结垢的倾向，这个采用朗格里尔饱和指数（简称 LSI）来表示。LSI 是建立在 CaCO<sub>3</sub> 饱和度上的，用于判断低 TDS 苦咸水的结垢或腐蚀的可能性的方法。LSI 用于判断水质是否会形成 CaCO<sub>3</sub> 垢是非常重要的。LSI 是负值时，对金属管道有腐蚀性，且不会形成 CaCO<sub>3</sub> 垢。LSI 是正值时，对金属管道没有腐蚀性，但有形成 CaCO<sub>3</sub> 垢倾向。

LSI 值是水的实际 pH 值减去 CaCO<sub>3</sub> 饱和溶液的 pH 的计算结果。CaCO<sub>3</sub> 的溶解度随着温度、pH 值、Ca 浓度、碱度等值的升高而降低。LSI 值可以通过 RO 进水加入硫酸或盐酸来降低。RO 浓水的 LSI 建议目标值为-0.2（即浓水 pH 值比 CaCO<sub>3</sub> 饱和溶液 pH 值低 0.2）。阻垢剂可以用于防止 CaCO<sub>3</sub> 结垢。有些阻垢剂品牌声明采用他们的产品，浓水 LSI 可以控制在 2.5（虽然 LSI 的保守设计值为 1.8）。

### 碱：

碱，在某些应用中，可以注入 RO 进水中来提高 pH 值。碱液一般选择氢氧化钠（NaOH）溶液，因其价格、易买和易溶等优势。

## 技术应用公告

2020.04 TAB111

绝大多数情况下，可以采用无添加剂的工业级 NaOH。如果工业级碱有颜色，可以采用更高一些等级的碱。市售 NaOH 一般为 100% 的粉末或 20-50% 的溶液。如果是储存 50% 的碱液，需要注意其在 15.5°C 以下会结冰，低温时保存时要有相应措施。

提高 pH 值时会降低铁、锰和  $\text{CaCO}_3$  的溶解度，需要注意。

加碱的工艺在第二级 RO 系统中最常见。在两级 RO 系统中，第一级 RO 产水进入到第二级 RO 系统中，第二级 RO 进水中加碱有以下 4 个原因：

- 在 pH 8.2 以上， $\text{CO}_2$  气体转化成  $\text{HCO}_3^-$ ， $\text{HCO}_3^-$  可以被 RO 去除。 $\text{CO}_2$  会全部透过 RO 膜，在产水侧为下游工艺带来负荷。
- 某些 TOC 物质在更高 pH 时脱除率更高
- $\text{SiO}_2$  在更高 pH 下（特别是  $\text{pH} > 9$ ）溶解度更高，脱除率也更高
- 脱硼率随着 pH 提高而提高（特别是  $\text{pH} > 9$ ）

HERO™工艺，一般会提高 pH 至 9 或 10。提高 pH 值后  $\text{SiO}_2$  保持在溶解状态，微生物和有机污染减少，化学清洗次数减少。

如果第一级 RO 进水是苦咸水，会包含一些潜在污染物，在高 pH 值下会带来问题，例如硬度、碱度、铁、锰等。预处理可采用软化、过滤、弱酸阳床、除碳器等来去除。钙镁硬度可以通过预处理加石灰方法进行软化，过滤后再进入到 RO 系统。弱酸阳床可以去除碱度和硬度。弱酸阳床中的氢离子与碱度反应，生成碳酸后被除碳器去除。通过预处理后，碳酸盐和硫酸盐结垢可能性明显降低，从而允许系统可以在较高 pH 值下运行。

### 还原剂：

任何时候 RO 系统进水中不能含有活性残余氯。即使很低浓度的余氯，也会对膜元件造成不可逆转的氧化损伤。因此运行人员应注意不能让氧化性物质进入到 RO 膜系统。两个重要的除余氯的工艺为活性炭过滤器，或加还原剂如亚硫酸氢钠。

出于成本考虑，活性炭过滤器一般用于小型 RO 系统（ $20\text{m}^3/\text{h}$  以下）。建议采用优等品的活性炭。活性炭应用酸洗过，去除重金属和硬度，并且会污染 RO 膜的炭粉含量需要很低。当新炭全部装入过滤器后，需要充分冲洗，直至全部炭粉都冲出外面（可能持续几小时到几天）。不能仅依靠  $5\ \mu\text{m}$  保安过滤器来保护 RO 膜不受炭粉的污染。

活性炭过滤器的优势：1) 能去除部分污染 RO 膜的有机物；2) 对各种进水水质来说，比化学预处理更可靠。但活性炭的缺点也非常突出，其易让细菌繁殖，会导致 RO 膜系统的生物污染。有研究表明，活性炭的细菌数在 24 小时就会翻倍。定期杀菌是控制细菌数量的唯一答案。蒸气消毒（例如制药行业的纯化水系统）可以每 1-7 天进行一次。

亚硫酸氢钠（SBS）是大型 RO 系统最常用的还原剂。

注意：SBS 不能是钴催化的。SBS 溶液是由焦亚硫酸钠溶于水制成的，1%的溶液 pH 为 4.6。1%SBS 溶液是 0.51 磅焦亚硫酸钠溶于 1 加仑水制成。市售焦亚硫酸钠的纯度为 97.5%-99%，在干燥环境下可以安全储存至 6 个月。SBS 溶液并不稳定，与空气和余氯都会反应。建议 2%以下的亚硫酸氢钠溶液只用 3-7 天，2-10%的溶液可以使用 7-14 天。理论上，1.47ppm SBS (或 0.7ppm 焦亚硫酸钠) 可以中和 1.0ppm 余氯。设计时一般考虑到安全余量，对于 1ppm 余氯采用 1.8-3ppm SBS 来还原。SBS 注入点需要保证距离进入 RO 膜系统之前至少有 20 秒的反应时间，且有要合适的在线混合器以便药液混合均匀。

- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaHSO}_3$
- $\text{NaHSO}_3 + \text{HOCl} \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}$
- $\text{NaHSO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaHSO}_4 + 2 \text{HCl}$

对于大型系统来说，采用 SBS 还原余氯比活性炭更具有投资成本优势。反应后的副产物可以被 RO 去除，残余 SBS 也可以被 RO 去除。

SBS 的缺点是需要配制少量溶液，有时因监测或控制不足，药液不足且没来得及配制而导致没有及时还原余氯，提高余氯进入 RO 系统的风险。也有案例表明，如果进水中含有硫酸还原菌（SBR），亚硫酸盐会成为其营养源，加速生长。SBR 经常会在佛罗里达的无氧（氧含量低）的浅水井中发现。SBR 新陈代谢过程中， $\text{H}_2\text{S}$  会是个副产物。

监测还原效果可以采用余氯计，残余 SBS 浓度，或 ORP 表计。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。除了是废水回用的项目中采用氯胺之外，ORP 的读数应一直低于 300mV 以确保系统安全运行。如果 ORP 高于 300mV，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。如果 ORP 超过 350mV，系统应立即停机，直到 ORP 降至 300mV 以下后才能重新运行。

CPA 膜在透盐率翻倍前，对活性氯的耐受能力估计为 1000-2000ppm·h。1000ppm·h 相当于是如果进水中余氯含量 0.038ppm，可以运行 3 年。设计人员应该注意，在几个案例中曾发现，当温度升高（>32℃）、pH 升高（pH>7）、或有过渡金属（如铁、锰、锌、铜等）存在等造成的催化，活性氯耐受能力会大幅下降。

CPA 膜在透盐率有明显增加前，对于氯胺的耐受能力为 50,000-200,000 ppm·h。50,000ppm·h 相当于进水氯胺 1.9ppm，可以运行 3 年。设计人员应注意高温、低 pH 值、过渡金属等会催化作用会造成氯胺耐受能力的下降。在加州的一个市政污水的项目中，进水氯胺 6-8ppm 时，系统脱盐率在 2-3 年时从 98%降到 96%。设计者应了解氯胺后可能也需要还原。氯胺是由活性氯和氨混合生成的。如果没有足够的氨，余氯对膜的氧化降解要比氯胺快得多。因此注意氨需要过量，系统监测需要确保这一点。关于氯胺的更多信息，请与美国海德能公司相关技术人员联系。

### 阻垢剂和分散剂:

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、聚膦酸盐、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。反渗透系统阻垢剂技术由冷却循环水和锅炉用水化学演变而来。对为数众多各式各样的阻垢剂化学应该注意，不同的应用场合和所采用的有机化合物所取得的效果和效率差别很大。

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运行压力，常规来说用酸洗可以恢复。

如果在预处理中使用了阳离子混凝剂或助滤剂，在使用阴离子性阻垢剂时（如聚丙烯酸类）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，而且难以清除。

六偏磷酸钠（SHMP）是早期在反渗透中使用的一种普通阻垢剂，但随着专用阻垢剂的出现，用量已经大大减少了。SHMP的使用有一些限制。每2—3天要配制一次溶液，因为暴露在空气中会水解，发生水解后不仅会降低阻垢效果，而且还会造成磷酸钙结垢的可能性。使用SHMP可减少碳酸钙结垢，LSI可达到+1.0。

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。

有许多因素会影响盐类结垢的形成。温度降低会减小盐类的溶解度（碳酸钙除外，与大多数物质相反，它的溶解度随温度升高而降低），TDS的升高会增加难溶盐的溶解度（这是因为高离子强度干扰了晶种的形成）。

最普遍的结垢性矿物质有：

- 碳酸钙【CaCO<sub>3</sub>】
- 硫酸钙【CaSO<sub>4</sub>】
- 硫酸锶【SrSO<sub>4</sub>】
- 硫酸钡【BaSO<sub>4</sub>】

不太普遍的结垢性矿物质有：

- 磷酸钙【CaPO<sub>4</sub>】
- 氟化钙【CaF<sub>2</sub>】

分散剂是一系列合成聚合物用来阻止膜面上污染物的聚集和沉积。分散剂有时也叫抗污染剂。通常也有阻垢性能。对于不同的污染物，不同的分散剂的效率区别很大，所以要知道所对付的污染物是什么。

需要分散剂处理的污染物有：

- 矿物质结垢
- 金属氧化物和氢氧化物【铁、锰和铝】
- 聚合硅
- 胶体物质【指那些无定型悬浮颗粒，可能含有土、铁、铝、硅、硫和有机物】
- 生物污染

二氧化硅的超饱和溶解度难以预测，在水中有铁存在时，会形成硅酸铁，浓水中允许的二氧化硅浓度值也会降低。其它重要因素还有温度和pH值。

预测金属（如铁、锰和铝）最大值也非常困难。金属离子的溶解状态容许更高饱和度，不溶性离子形式更像是颗粒或胶体。

理想的投加量和结垢物质及污染物最大饱和度最好通过药剂供应商提供的专用软件包来确定。美国海德能IMSD反渗透设计软件中采用的是较为保守的难溶盐超饱和度估算。

合适的阻垢剂/分散剂投加量是非常重要的。投加量不足时，会导致结垢或污染。过量时会导致阻垢剂/分散剂在膜面上形成沉积，造成新的污染问题。在设备停机时一定要将阻垢剂/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及分散剂。

阻垢剂/分散剂注入系统的设计应该保证在进入反渗透元件之前能够充分混合。静态搅拌器是一个非常有效的混合方法，但会增加系统成本。大多数系统的注入点设在RO保安过滤器之前，靠在过滤器中的缓冲时间及RO进水泵的搅拌作用来促进混合。如果系统采用酸调节pH，推荐加酸点要在上游足够远的地方，在到达阻垢剂/分散剂注入点之前已经完全混合均匀。一大块浓缩的酸会毁坏阻垢剂/分散剂的有效性。

注入阻垢剂/分散剂的加药泵建议调到最高注射频率，建议的注射频率是最少5秒钟一次。阻垢剂/分散剂的典型添加量为2—5ppm。为了让加药泵以最高频率工作，需要对药剂进行稀释。阻垢剂/分散剂商品有浓缩液，也有固体粉末。稀释阻垢剂用水必须不含硬度，建议用RO产水。稀释了的阻垢剂/分散剂在储槽中会被生物污染，污染的程度取决于室温和稀释的倍数。推荐稀释液的保留时间在7—10天左右。正常情况下，未经稀释的阻垢剂/分散剂不会受到生物污染。

## 技术应用公告

2020.04 TAB111

下面的表中是一些药剂厂商提供的运行饱和度上限数据，以及海德能设计软件所采用的保守警戒线。这些数值基于浓水的情况，以正常未加药时的饱和度为100%计算。海德能一直推荐用户要向厂商确证其产品的实际效率。

垢物或污染物	厂商报告最大饱和度	海德能推荐警戒线
LSI值（碳酸钙）	+ 2.9	+ 1.8
硫酸钙	400%	230%
硫酸锶	1,200%	800%
硫酸钡	8,000%	6,000%
氟化钙	12,000%	未给出
二氧化硅	300 ppm 或更高	100%
铁	5 ppm	未给出
铝	4 ppm	未给出

选择阻垢剂/分散剂的另外一个主要问题是要保证与要使用的反渗透膜完全兼容。不兼容药剂会造成膜的不可逆损坏。海德能相信供应商会进行药剂的RO膜相容性测试和效率测试。推荐用户向阻垢剂和分散剂厂商咨询下列一些问题：

- 与相关RO膜的相容性如何？
- 有没有成功运行1000小时以上的最终用户列表？
- 与反渗透进水中的任何成分（比如铁、重金属、阳离子聚电解质等）有没有不可逆反应？
- 推荐投加量和最大投加量是多少？
- 对于某些污染物的最大溶解度为多少？
- 有没有特殊的排放问题需要注意？
- 是否适于自来水应用（有必要时）？
- 该厂商还供应与阻垢剂相容的混凝剂、杀菌剂和清洗剂等其他反渗透药剂吗？
- 该厂商是否提供膜解剖或元件清洗一类的现场技术服务？

### 名词解释

**碱度：**碱度主要是指二氧化碳、碳酸氢盐、碳酸盐与氢氧化物。在自然界中水是碱性体，在中和酸雨过程中其 pH 值变化不大。二氧化碳与碳酸氢盐溶液的 pH 值为 4.4 至 8.2；pH 值为 4.4 或更低时，碱度以二氧化碳形式存在；pH 值 8.2 时，不存在二氧化碳，全部碱度均为碳酸氢盐。在 pH 值为 8.2 至 9.6 时碳酸氢盐与碳酸盐溶液相互平衡。pH 值为 9.6 时，不存在二氧化碳与碳酸氢

盐，全部碱度为碳酸盐。当 pH 值在 9.6 以上时，由于氢氧根离子的存在，出现了氢氧基碱度。大部分自然界中水源的 pH 值为 6.0 至 8.4，所以氢氧化物的出现是人为的。碱度（特别对于锅炉水化学）可表示为 M 碱度与 P 碱度。M 碱度是指以碳酸钙计的 ppm 值表示的水的总碱度（用甲基橙作指示剂，酸滴定终点为 pH=4.2）。P 碱度测量碳酸氢盐、碳酸盐及氢氧化物的量（用酚酞作指示剂，酸滴定终点为 pH=8.2）。

**钡离子 (Ba):**钡是二价阳离子。硫酸钡 ( $\text{BaSO}_4$ ) 的溶解度很低，能够在 RO 系统的浓水侧造成沉淀。温度降低与硫酸盐浓度增高均使硫酸钡的溶解度进一步下降。钡一般出现在井水中，浓度一般小于 0.05~0.2 ppm。钡的检测必须在精度为 0.01ppm (10 ppb) 水平的仪器上进行。饱和度为 100%，使用阻垢剂时可达 6000%。

**碳酸氢根离子 ( $\text{HCO}_3$ ):**碳酸氢根是单价阴离子。碳酸氢钙的溶解度很低，能够在 RO 系统的浓水侧形成沉淀。碳酸氢钙的溶解度测量单位，对苦咸水应该用 LSI (朗格里尔饱和指数)，对海水应该用史蒂夫戴维斯指数。温度升高与 pH 值增加均使碳酸氢钙的溶解度进一步下降。碳酸氢根是碱性物，pH 值在 4.4-8.2 之间时它与二氧化碳相平衡，pH 值在 8.2-9.6 之间时它与碳酸根相平衡。

**钙离子 (Ca):**钙是二价阳离子，钙与镁同为苦咸水中硬度的组成部分。在使用阻垢剂时，硫酸钙 ( $\text{CaSO}_4$ ) (石膏) 的溶解度可达 230%。碳酸钙的溶解度极限为 LSI (朗格里尔指数) 1.8~2.5。

**二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ):**二氧化碳为气体，当溶于水时与水反应生成弱碳酸 ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )。如纯水中二氧化碳处于饱和状态，其浓度约为 1600ppm，pH 值约为 4.0。自然界水体中二氧化碳的来源是基于 pH 值的碳酸氢根平衡。水体中的二氧化碳浓度间接的决定于 pH 值与碳酸氢根浓度的对应关系。二氧化碳与碳酸氢根离子在 pH 值的 4.4-8.2 区间保持平衡。pH 值为 4.4 时的碱度为二氧化碳，pH 值为 8.2 时碱度为碳酸氢根。RO 设计程序运用碳酸氢根浓度与 pH 值计算出进水中二氧化碳浓度。由于二氧化碳为气体，RO 膜对其不具有脱除或浓缩作用，其浓度在进水、产水与浓水中相同。在给水中加酸降低 pH 时，部分碳酸氢根转化为二氧化碳。

**碳酸根离子 ( $\text{CO}_3$ ):**碳酸根是二价阴离子，碳酸钙的溶解度很低，可在 RO 系统尾端结垢。其溶解度对苦咸水用 LSI (朗格里尔饱和指数)，对海水用 SDSI (史蒂夫戴维斯指数) 表示。温度上升或 pH 值增高均使其溶解度下降。碳酸根是碱度成分，pH 值在 8.2-9.6 之间时，其与碳酸氢根平衡。pH 值大于 9.6 时，不存在二氧化碳与碳酸氢根，全部碱度为碳酸根。

**离子强度:**给水中 TDS 增加时难溶盐的溶解度随之增加。为在计算硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶或 SDSI 的溶解度时计及上述现象的影响，需要计算水中的离子强度：单价离子的强度是其以碳酸钙计 ppm 浓度乘以  $1 \times 10^{-5}$ ，二价离子的强度是其以碳酸钙计 ppm 浓度乘以  $2 \times 10^{-5}$ ，依此计算各价离子的强度。总加各类离子的强度即为水的总离子强度。

**铁离子 (Fe):**铁是以两种形式存在的污染物。溶于水的形式为二价铁。未经曝气的井水中的二价铁类似于钙、镁，可通过软化器去除，或在 RO 原水中加入分散剂以控制 RO 系统浓水侧的沉淀。不溶于水的形式为三价铁。膜生产商建议 RO 给水中的总铁含量低于 0.05ppm。如果全部的铁均为可溶的二价状态且 pH 值低于 7.0，可以允许 0.5ppm 含铁浓度（尽管此时建议使用分散剂）。空气与可溶二价铁的接触可将其氧化为不溶的三价铁。井水之中一般存在可溶性二价铁，当井水被置于容器或水泵密封不严时，即可使二价铁变为不溶的三价铁。可溶铁可以用分散剂处理，或用铁过滤器、软化器、石灰软化去除。而不溶的三价铁氧化物或以胶体形式存在的氢氧化铁，会污染 RO 系统的前端。不溶铁的来源是暴露于空气中的井水、地表水、无衬胶管路与容器的铁锈。不溶铁的去 除可采用铁过滤器、石灰软化法、软化器（部分去除）、超滤器（部分去除）及在给水中加有聚电 解质的多介质过滤器（部分去除）。在锰砂过滤器中使用高锰酸钾须特别注意，因该氧化剂可损伤 任何聚酰胺膜。使用阳离子聚电解质同样需要注意，它能够永久污染带负电荷的聚酰胺膜。建议 RO 系统、预处理系统及 RO 的供水配水系统中的容器或管道使用耐腐蚀材料（如：FRP、PVC 或不锈钢）。铁污染会造成给水压力迅速升高及且产水 TDS 升高。有时铁还会造成生物污染问题，因为它会成为 食铁还原菌的食品。食铁还原菌能够生成粘性的生物膜，造成 RO 给水通道的阻塞。

**朗格里尔指数 (LSI):** LSI是低盐度苦咸水中碳酸钙的饱和度，表示碳酸钙结垢或腐蚀的可 能性。在反渗透水化学中，LSI是确定是否会发生碳酸钙结垢的是个重要指标。当LSI为负值时，水 会腐蚀金属管道，但不会形成碳酸钙结垢。如果LSI为正值，水没有腐蚀性，却会发生碳酸钙结垢。 LSI由水的实际pH值减去碳酸钙饱和的pH。碳酸钙的溶解度随温度的上升而减小（水壶中的水垢就 是这样形成的），随pH、钙离子的浓度即碱度的增加而减小。LSI值可以通过向反渗透进水中注入 酸液（一般是硫酸或盐酸）即降低pH的方法来调低。推荐的反渗透浓水的LSI值为负0.2（表示浓度 低于碳酸钙饱和浓水0.2个pH单位）。LSI为负0.2也是实际操作中pH漂移的可允许范围。还可以使 用聚合物阻垢剂来防止碳酸钙结垢，一些阻垢剂供应商声称其产品可以使反渗透浓水的LSI高达 +2.5（比较保守的设计是LSI为+1.8）。六偏磷酸钠是无机阻垢剂，在早期的RO系统中使用，其允 许的LSI值是0.5，因其容易被氧化，药剂储存时间短。

**镁离子 (Mg):**镁是二价阳离子。镁在苦咸水硬度中约占三分之一，但在海水中可比钙的含量 高出五倍。镁盐的溶解度较高，在 RO 系统中通常不会造成结垢问题。

**锰离子 (Mn):**锰是井水与地表水中的污染物，其含量可达 3ppm。如铁一样，地表水的有机物 中存在锰。在无氧气的水中锰呈溶解状态，氧化后呈不溶的黑色二氧化锰沉淀。暴露于空气中的反 渗透进水中锰的警戒水平是 0.05ppm。由于会产生黑锈，在饮用水标准中规定了锰含量限值为 0.05ppm。用于控制铁污染的分散剂也可以用于控制锰污染。

**pH 值:**进水的 pH 值是表示水的酸碱性。pH 值为 7 时是中性；为 0-7 时呈酸性；为 7-14 时呈 碱性。在分析化学中，pH 值是氢离子浓度负对数。在水化学中，pH 值用于定义二氧化碳、碳酸氢

根、碳酸根、氢氧根离子的碱度平衡是十分重要的。浓水的 pH 值一般较给水 pH 值偏高，这是由于碳酸氢根、碳酸根离子浓度高于二氧化碳浓度。RO 设计软件允许用户用盐酸与硫酸调整给水的 pH 值，用酸降低给水 pH 值将 LSI（朗格里尔）指数下降，且降低碳酸钙沉淀的可能。给水与浓水的 pH 值也影响着二氧化硅、铝、有机物与油脂的溶解度与污染程度。给水 pH 值的变化还影响了离子的脱除率，pH 值下降时氟、硼与二氧化硅的脱除率随之下降。

**SDSI (Stiff Davis 饱和指数)**：SDSI 指数与 LSI 指数相似，是高盐度海水中碳酸钙的饱和度，表示碳酸钙结垢或腐蚀的可能性。SDSI 与 LSI 最主要的区别是当离子强度提高时，溶解度也提高。难溶盐在高含盐量和高离子强度的水中的溶解度的提高，是因为高盐量干扰了难溶盐的沉积。

**二氧化硅 (SiO<sub>2</sub>)**：二氧化硅在某种情况下是一个阴离子。它的化学性质很复杂，甚至是不可预测的。TOC（以碳计）表示有机物总量而未指明有机物的构成，同样，硅浓度仅表示了硅的总浓度（以硅计），但没有指明硅的各种构成的浓度。水中的总硅中包括活性硅与胶体硅。活性硅是可溶硅，它被弱电离且未聚成长链。活性硅是 RO 与离子交换工艺中希望的形式，也是 RO 设计软件所使用的二氧化硅的形式。虽然活性二氧化硅有阴离子特性，但在水质分析中它未以阴离子方式计入阴阳离子平衡，却以盐的形式计入 TDS。胶体硅是聚合硅或胶体状，就其性质而言更接近固体。胶体硅可以被 RO 系统去除，但可能在 RO 前端造成胶体污染。胶体硅的直径可小到 0.008 微米，但只有大于或等于 0.45 微米的部分才能用 SDI 来测量。粘土、淤泥、沙石等微粒状的硅混合物一般有 1 微米或更大的直径，可用 SDI 仪测量。以二氧化硅做基本粒子的聚合硅在自然界以水晶或玛瑙形式存在，它也是活性硅超饱和的结果。在使用硅分散剂条件下，活性硅的溶解度限值为 200-300%。温度的升高、pH 值在 7.0 以下或 7.8 以上均会使硅的溶解度上升；对硅聚合起催化作用的铁离子存在时，活性硅溶解度下降。在 RO 系统中，硅的脱除率与原水 pH 值密切相关，随 pH 值的增加，该脱除率也增加，这是因为活性硅更多的是以盐的形式存在，而不是酸的形式。

**锶离子 (Sr)**：锶是二价阳离子。硫酸锶的溶解度很低，可能在 RO 系统的后端造成沉淀。当硫酸根浓度增加或温度降低时，硫酸锶的溶解度将降低。通常，铅矿附近的井水中含有小于 15ppm 浓度的锶。硫酸锶的饱和浓度为 100%，而使用阻垢剂时，饱和浓度可达 800%。

**硫酸根 (SO<sub>4</sub>)**：硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶的溶解度很低，能引起膜系统末端的结垢问题。当温度下降时，这些盐的溶解度也降低。从口感角度，建议饮用水中的硫酸盐不高于 250ppm。