

聚酰胺反渗透和纳滤膜的污染和清洗

本技术服务公告提供美国海德能公司聚酰胺反渗透膜和纳滤膜元件污染物清洗的常规方法，适用于 4 和 8 英寸直径的反渗透和纳滤膜元件。

注意事项：

- 聚酰胺反渗透和纳滤膜的进水中不能含有游离氯。进水中游离氯会对膜造成不可修复的损坏。在管道或设备进行消毒时、化学清洗准备时、药剂储存时，都需特别注意确保清洗液没有游离氯进入到反渗透和纳滤系统的进水中。如有任何疑虑，需进行化学检测。采用亚硫酸氢钠还原余氯时，应确保混合均匀且有足够的接触时间来充分还原。还原 1.0ppm 的游离氯需投加 1.8-3.0ppm 亚硫酸氢钠。
- 反渗透膜元件在质量担保期内，建议每次膜元件的化学清洗应与美国海德能公司紧密联系协商。如有需要，美国海德能现场服务人员可协助进行现场化学清洗，服务费用请咨询美国海德能公司。
- 在清洗溶液中，严禁使用阳离子表面活性剂。因为这些药品与膜元件接触后，会导致膜元件不可逆转的污染。对于任何品牌专有药剂，美国海德能公司认为应该由药剂厂商负责确保他们的产品与美国海德能膜产品的兼容性。如果因不兼容带来的费用或其它任何负面反应，由药剂厂商全部承担。

膜污染和清洗

在系统正常运行一段时间后，反渗透膜元件会受到进水中可能存在的悬浮物或难溶盐的污染，常见污染物有：

- 碳酸钙结垢
- 硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶结垢
- 金属氧化物(铁、锰、铜、镍、铝等)
- 复合硅垢
- 无机胶体沉淀
- 无机与有机沉积混合物
- 天然有机物 (NOM)
- 合成有机物(如：阻垢剂/分散剂，阳离子聚合电解质)
- 微生物(生物粘泥、藻类、霉菌、真菌)

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下表中“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下表中“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。

| | 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¹。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。

产水流量、产水背压、回收率、温度和进水 TDS 等是应该保持稳定的运行参数。如果这些运行参数波动较大，强烈建议标准化数据以确定是否有污染发生，或者在关键运行参数有变化之前确认反渗透系统实际运行是否正常。美国海德能公司免费提供标准化软件 R0Data，请从美国海德能公司中文网站 (www.hydranautics.cn) 下载。

定时监测系统整体性能是确认膜元件是否已发生污染的基本方法。污染对膜元件的影响是渐进的，并且影响的程度取决于污染的性质。表 1 “反渗透系统故障诊断一览表”列出了常见的污染现象及其对膜性能的影响。

膜的清洗周期根据现场实际情况而定。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，需要追加投资在改善预处理方面或重新设计膜系统；如果清洗周期在 1-3 个月一次，应侧重于改善现有系统的运行状况。

当膜元件发生了轻度污染时，就应及时清洗膜元件。重度污染会因化学药剂不易深入渗透至污染层，且污染物也不易被冲出膜外，而影响清洗效果。如果膜元件的标准化后性能降低至正常值的 30-50%，清洗恢复到膜系统初始性能几乎是不可能的。

当预处理工艺中采用了无机或聚电解质絮凝剂，经常会有絮凝剂反应不完全且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，因为它会导致污染。聚电解质污染常常难以去除，造成进水压力超过预期值。过量的絮凝剂能通过 SDI 测试装置测定出来，例如采用铁剂絮凝剂时，SDI 膜片上的铁为 3 μg/片，任何时候不应超过 5 μg/片。对于聚合

¹ 污水处理厂 RO 污染研究，Craig Bartels, Rich Franks, AWWA/AMTA 膜技术会议，Glendale, AZ, 2012

絮凝剂，用户应与该药剂供应商讨论这个问题，让其确保此药剂对膜元件没有负面影响。

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 2 μm 的颗粒物应 < 100 个/ml。

一个经常被忽视的降低清洗频率的 RO 设计是采用 RO 产水冲洗污染物。在系统备用期间采用 RO 产水浸泡 RO 膜元件，有助于溶解结垢、沉淀物变松，从而降低化学频率。

根据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低 pH 值清洗和高 pH 值清洗两大步骤。

注意：膜元件进水中不能含油、脂或其它对膜元件有化学或物理损伤的有害物质。

表 1 反渗透系统故障诊断一览表

(压差指进水压力和浓水压力之差)

| 故障类型 | 可能发生的位置 | 系统压差 | 进水压力 | 透盐率 |
|--|---------------|----------------------|----------------------|-------|
| 金属氧化物污染(如 Fe、Mn、Cu、Ni、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 | 任何段/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 型圈泄漏(内接管或适配器) | 无规则(通常进水端适配器) | 正常到降低 | 正常到降低 | 增加 |
| 胶层泄漏(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 |
| 胶层泄漏(清洗或冲洗时产水阀关闭) | 段内末支膜元件 | 增加 (有污染且 压差高时) | 增加 (有污染且 压差高时) | 增加 |

各类污染物

碳酸钙垢：碳酸钙垢是一种矿物结垢。当阻垢剂/分散剂投加系统出现故障时、或是加酸调节 pH 系统出故障而引起进水高 pH 值时，碳酸钙垢有可能沉积出来。尽早发现碳酸钙结垢，对于防止膜表面沉积的晶体损伤膜元件是极为必要的。早期检测出的碳酸钙垢可由降低进水的 pH 值在 3-5 运行 1-2 小时的方法去除。对于沉积时间较长的碳酸钙垢，可用低 pH 值的柠檬酸溶液清洗去除。

硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢：硫酸盐垢是比碳酸钙垢坚固的矿物结垢，更难去除。在阻垢剂/分散剂投加系统出现故障，或加过量硫酸调节 pH 时可能会导致硫酸盐垢的沉积。对于硫酸盐

垢应尽早发现，以防止膜表面沉积的晶体损伤膜元件。硫酸钡和硫酸锶垢特别难去除，因为它们不溶于几乎所有的清洗液，因此应特别注意防止硫酸钡和硫酸锶垢的形成。

磷酸钙垢：磷酸钙垢在市政污水中含磷高的受污染水源的系统中是较为常见的。通常这种垢可用酸性清洗液去除。目前，在美国海德能公司的 IMSDesign 设计软件中已包含磷酸钙垢的模拟计算。如果进水中磷酸根 $\geq 5\text{ppm}$ ，请与美国海德能公司技术人员联系。

金属氧化物/氢氧化物污染：典型的金属氧化物和金属氢氧化物污染物为铁、锌、锰、铜、铝等。这种垢的形成原因可能是装置管路、容器的腐蚀产物，或是被空气、氯、臭氧、高锰酸钾等氧化的金属离子，或者来自于预处理过滤系统中使用的过量铁、铝絮凝剂。

聚合硅垢：来自于溶解性二氧化硅的过饱和或聚合的硅垢非常难以去除。硅垢与硅基胶体污染物不同，可能与金属氢氧化物或有机物污染一起。很难采用传统的清洗方法去除硅垢。如果传统清洗方法无效，请联系美国海德能公司。目前有些强化学清洗剂，如氟化氢铵，已在一些项目上得到了成功地使用，但它毒性很大，对设备也有害。

胶体污染：胶体是悬浮在水中的无机物或是有机与无机混合物的颗粒，它不会由自身重力而沉淀。胶体物通常含有以下一个或多个主要组份如：铁、铝、硅、硫或有机物。

溶解性天然有机物污染：溶解性天然有机物（NOM）污染通常是由地表水或浅井水中的营养物质分解所致。有机污染物的化学成份很复杂，主要为腐植酸或灰黄霉酸。溶解性 NOM 被吸附到膜表面可造成 RO 膜元件的迅速污染。当吸附发生后，凝胶或滤饼层开始缓慢形成。应注意不要混淆溶解性 NOM 污染机理与天然有机物与胶体颗粒结合形成污染的机理。

微生物沉积：由细菌粘泥、真菌、霉菌等组成的有机沉淀物，难以去除，特别是在进水通道被堵塞时。进水通道堵塞会使清洗液难以均匀的进入膜元件内。为抑制微生物污染的进一步生长，不仅要清洗和消毒 RO 系统，还要对预处理、管道、端头等进行清洗和消毒。膜元件清洗后，还需要采用美国海德能认可的杀菌剂消毒。有关杀菌剂内容，请参见 TSB110。

清洗药品的选择与使用

有几种因素决定清洗药品的选择和正确的清洗方法。第一次清洗系统时，建议与设备制造商、膜厂商和药剂技术服务商协商确定。当确定可能的污染物时，先选择合适的清洗药剂。清洗药剂可以是市售的常规药剂，也可以是品牌专用清洗剂。常规药剂采用化学级即可，在当地的化学试剂店可以买到。品牌专用清洗剂会更贵，但比较容易使用操作。一些专业的清洗公司可通过测试从系统中取出的受污染膜元件，来确定化学清洗药剂和步骤。

在一次化学清洗中通常会采用几种药剂。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。有时也先酸后碱，或者只采用一种药剂清洗。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，会使污染恶化。

建议运行人员在清洗之前全面了解污染情况，然后选择合适的药剂和清洗方式。一些污染，如地下水源的铁污染，采用简单的低 pH 清洗即可。对于复杂的污染现象，美国海德能公司建议采用以下步骤：

1. 采用膜系统产水冲洗系统，并加入非氧化性杀菌剂（如 DBNPA 或其它）
2. 高 pH 清洗：按后面介绍的内容控制温度和 pH
3. 冲洗系统直到 pH 低于 8.5
4. 低 pH 清洗
5. 冲洗，且加入非氧化性杀菌剂（如 DBNPA 或其它）

化学药剂选择和使用注意事项

- 如果采用品牌专用清洗剂，请确认该清洗剂与美国海德能膜产品的兼容性。该清洗剂的使用条件应不超过本文推荐的清洗参数和限值。
- 如果采用常规通用性药剂，应确认该药剂的适用性。
- 最小限度地采用强化学清洗。控制好 pH 值、温度和接触时间等清洗参数，这样有利于膜的长期使用。
- 在推荐的温度下清洗，优化清洗效果和膜元件寿命。
- 采用最少化学药品接触时间来优化膜元件寿命。
- 慎重调节 pH 值以延长膜使用寿命。温和 pH 值范围是 4-10，强烈是 2-12。
- 当有油或微生物污染时，不要先采用低 pH 清洗，以免油类和微生物污染凝结。
- 清洗和冲洗水流向应与正常运行时水流方向相同，以避免膜损坏。在某些情况下，当进水端发生严重污染时，反向清洗能有效去除污染物。请参见 TSB125，遵循推荐的导则以避免膜损坏。
- 对于多段系统，采用分段清洗是最有效的清洗方式，流速可以优化且前段洗下来的污染物不用再经过后段。
- 采用高 pH 产水冲洗含有洗涤剂的清洗液时，可减少泡沫问题。
- 必须遵守现场的清洗液排放规定。
- 当系统存在微生物污染时，可在清洗前或清洗后进行全面消毒。也可以定期消毒，如每周一次；或者是连续投加杀菌剂。请确认杀菌剂与膜元件兼容，不会带来健康风险，能有效控制生物活性，且价格不过高。
- 出于安全原因，应确认系统全部管道和配件能承受化学清洗的温度、压力和 pH 值。
- 出于安全原因，配药时需缓慢加药。
- 出于安全原因，做化学药剂相关工作时需戴上安全眼镜、手套。
- 出于安全原因，不能将酸与碱混合。当采用一种药剂清洗之后，要冲洗干净系统后再采用下一种药剂清洗。

选择化学清洗液

表 2 列出了在清洗不同的污染物时所推荐的化学溶液。表 4 列出各清洗溶液的具体配方。

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 2 美国海德能公司推荐的化学清洗溶液

| 污染物 | 温和清洗液 | 强烈清洗液 |
|------------------------|-------|-------|
| 碳酸钙垢 | 1 | 4 |
| 硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢 | 2 | 4 |
| 金属氧化物/氢氧化物(铁、锰、铜、锌、铝等) | 1 | 5 |
| 无机胶体污染物 | 1 | 4 |
| 无机/有机胶体混合污染物 | 2 | 6 |
| 聚合硅沉积物 | 无 | 7 |
| 微生物类 | 2 或 3 | 6 |
| 天然有机物(NOM) | 2 或 3 | 6 |

表 3 “美国海德能公司清洗液配方” 提供的清洗溶液是将一定重量(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 4)。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 3 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 | 主要组份 | 药剂用量 | 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) | 7.7 公斤 | 用硫酸或盐酸调节 pH=10.0 | 40°C |
| | Na-EDTA(100%粉末) | 3.18 公斤 | | |
| 3 | 三聚磷酸钠(STPP)(100%粉末) | 7.7 公斤 | 用硫酸或盐酸调节 pH=10.0 | 40°C |
| | 十二烷基苯磺酸钠(Na-DBS)(100%粉末) | 0.1 公斤 | | |
| 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 | 无需调节 pH | 35°C |
| 6 | 氢氧化钠 (100%粉末) | 0.38 公斤 | 用氢氧化钠或 盐酸缓慢调节 pH=11.5 | 30°C |
| | (50%溶液) | 0.49 升 | | |
| | 十二烷基硫酸钠(SDS)(100%粉末) | 0.11 公斤 | | |
| 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 |

*: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 5。

表 4 清洗和冲洗用水要求

| 参数 | | 数值 |
|--------------------------|---------------|--------------------------------|
| 活性氯 | | 0 mg/L |
| pH | | 6.5-7.5 |
| 硬度 | R0 产水、脱盐水、软化水 | <30 mg/L 以 CaCO ₃ 计 |
| | 钙 (Ca) | <5 mg/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 | | <5 μm |
| 浊度 | | <0.5NTU |
| SDI ₁₅ | | <1 |
| TOC | | <1 mg/L |
| 油、脂类 | | 0 mg/L |

表 5a 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°C | ≤35°C | ≤45°C | ≤35°C | ≤25°C |
| 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 值范围对应的最高温度。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 值应密切监测并控制。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°C 时循环不能超过 60 分钟,超过 40°C 时循环不能超过 30 分钟。浸泡是可以的,但溶液 pH 值需更温和。更多内容请参见后面清洗方法和步骤相关内容。

表 5 “清洗液 pH 和水温极限值的关系”表明了对具体膜元件的最大 pH 和温度极限值，超出极限值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 5b 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 | 联系海德能 | 1-10.5 | 1-11.5 |
| PRO-XT1 | 3-9.5 | 2-10 | 2-10.5 | 1-11 | 1-12 |
| PRO-XT2 | 3-10.5 | 2-11 | 2-11 | 1-12 | 1-13 |
| 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 值范围对应的最高温度。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 值应密切监测并控制。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 值需更温和。更多内容请参见后面清洗方法和步骤相关内容。

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/氢氧化物 (铁、锰、铜、镍、铝等), 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) 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 均为粉末固状。

溶液 3: 2.0 (W) %STPP (三聚磷酸钠 $Na_5P_3O_{10}$) 和 0.25% (W) 的 Na-DBS [十二烷基苯磺酸钠, $C_6H_5(CH_2)_{12}SO_3Na$] 混合的 pH 值为 10 的高 pH 洗液。用于去除重度的天然有机物污染。STPP 具有无机螯合剂和洗涤剂的功用, Na-DBS 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 要强烈些, 盐酸 (HCl) 是强酸, 市售为不同浓度的溶液。

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 (特别是铁垢), 且可一定程度的扩展至去除硫酸钙、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。此溶液是非常强烈的清洗配方。**请注意采用此清洗液时不能超过表 5 中所列的最高 pH 值与温度极限值。**

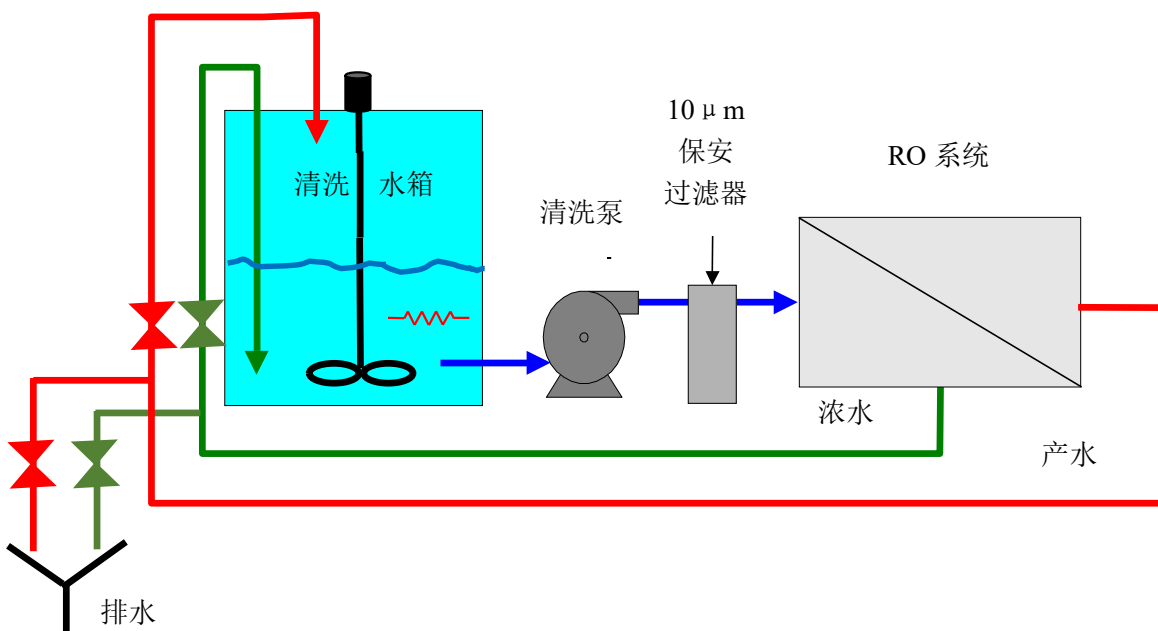
溶液 7: 0.1% (W) 氢氧化钠高 pH 清洗液 (pH 为 11.5)。用于去除聚合硅垢, 这是一种较为强烈的碱性清洗液。请注意采用此清洗液时不能超过表 5 中所列的最高 pH 值与温度极限值。

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。

化学清洗设备

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 (参见表 4)。设备必须没有腐蚀。主要清洗系统包括:

RO 清洗系统



- **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 7 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 4bar (60psi), 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 6。高压泵不能用于清洗。
- **清洗保安过滤器:** 通常选择 5-10 μm, 过滤洗下来的污染物。

Innovation for Customers

- 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。

| 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 6 中数值的一半。

表 7 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 | 34 L |
| 4040 | 9.5 L |

(*) 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。

1. 在 0.4MPa (60psi) 或更低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 6 中清洗流量的一半。
2. 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 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。
3. 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，缓慢地将流量调节到最大清洗流量的 1/3，以避免进水通道被大量洗下来的污染物污堵；之后增加流量至最大设计流速的 2/3 循环 5 分钟，最后再增加流量至最大清洗流量值。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 5 中具体膜型号的最高 pH 值和温度极限值。

4. 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 5 中具体膜型号的最高 pH 值和温度极限值。

5. 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 6 中清洗流量的一半。
6. 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 0.4MPa，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。
7. 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。

其它可选清洗方式

有恢复膜元件性能的其他方式可供考虑。美国海德能公司不保证以下其他方式的有效性，也不承担这些方式可能对于膜性能的负面影响责任。但是，美国海德能公司了解这些方式在某些项目中证实是有效的。

1. 电磁磁场 (EMF): 声称运行时, 在 RO 膜周围引入连续的电磁磁场, 能降膜污染趋势, 特别是降低结垢趋势。(参考: Ng, H. Y. 和 Winters, H., 一种用于水回用和海水淡化的新型 16 寸 RO 系统. 以色列脱盐协会年会, 2006. 12. 19-20)。
2. 高盐直接渗透 (DO-HS): 一种对于常压反渗透的日常反冲洗。正常运行且不停泵的情况下, 在高压泵的入口处脉冲注入 7% 的 NaCl 溶液 6-12 秒。随着这股高盐水在 RO 系统的行进, 反渗透水流立刻变成直接渗透, 产水被吸回到膜进水侧。如果定期采用此方法, 可能会将污染物抬起, 微生物脱水, 通过提高的流速把碎片从膜表面冲扫到浓水排放口。(参考: USA 专利 7658852, Pat. 新加坡, 澳大利亚, 以色列网址: www.membrane-recovery.com)
3. 专有化学药品: 现在有些化学清洗药剂厂商会有特别针对某些污染物设计的专有配方。这些专有配方是在通用化学配方的基础上, 通过厂商自己的研发进行了改进或加强 (请通过网络查找具体化学药剂公司)。
4. 气擦洗: 通过气泡和水协同作用提高剪力, 提高污染物从膜表面脱除率。更多会在单支膜元件的清洗中使用。
5. 反向清洗: 当污染主要位于 RO 系统的进水端时, 有时采用反向清洗会更有效。反向清洗时需注意确保膜元件不受到损伤, 反向清洗导则请参见 TSB125。
6. NaCl 轻盐清洗: 和上面的高盐直接渗透 (DO-HS) 相比, NaCl 轻盐清洗一般注入 1% 的盐溶液。盐在清洗水箱中溶解后, 可用两种方式来清洗。第一种是在标准高/低 pH 清洗之前单独使用; 第二种是做为标准高/低 pH 清洗的补充。NaCl 提高渗透压, 可压制清洗时的产水量。