

选用反渗透和纳滤设备时需要考虑些什么？

1. 摘要

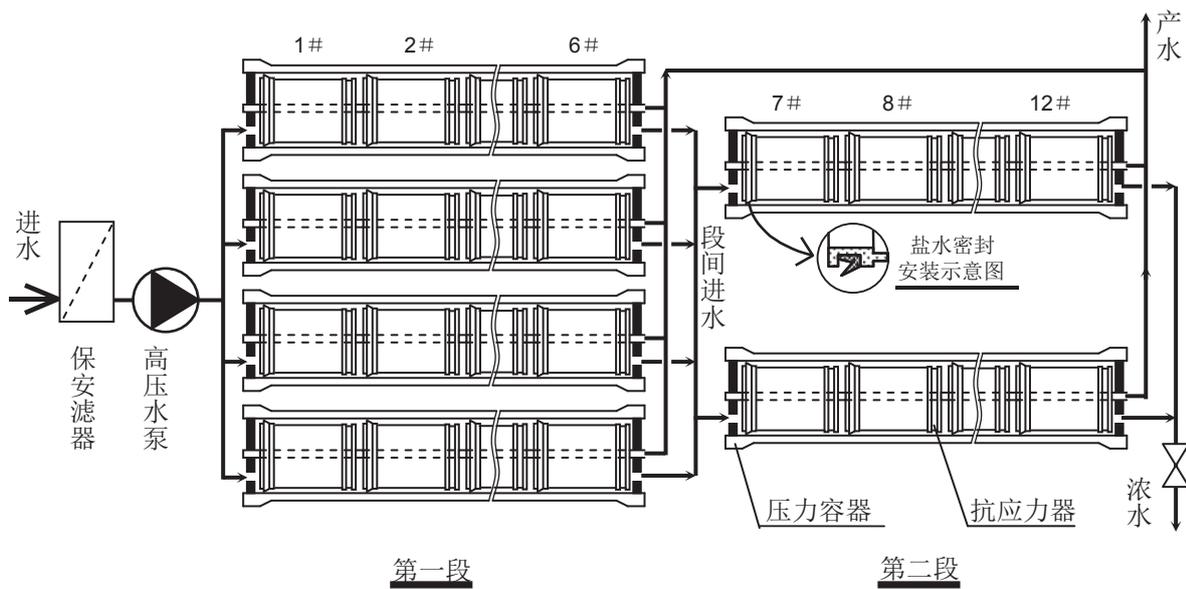
反渗透（RO）和纳滤（NF）系统的实际运行效果达不到用户的预期设计结果时，在很多情况下，常会导致最终用户运行费用的增加、失望和对供应商的不满。这些未预料到的结果，有部分原因是有一些最终用户对系统运行条件正确管理的必要性不太了解或没有引起足够的重视，以致使系统达不到预期的运行效果。更多的原因是 RO 技术和设备理解的不全面，导致在项目准备和计划阶段不完善的选择。本文力图为用户阐述 RO 和 NF 系统的一些重要设计参数，以便使最终用户在选购设备时根据 RO 和 NF 的特点和自身的需要，使 RO 和 NF 的运行达到最佳的期望值。

2. 前言

RO 和 NF 的应用技术日新月异。许多反渗透和纳滤膜性能的不断提高和新型反渗透和纳滤膜的诞生令人振奋，用户可针对不同用途作出相应的选择。更为周全、合理地设计 RO 和 NF 系统，使得系统的运行更佳、运行费用更低成为可能。然而，还会时常出现运行并不能达到用户的要求，引起用户对系统供应商的失望。只要用户增加一些当今 RO 和 NF 系统关键技术细节的基本了解，这种情况是可以避免的，有了较好的理解，才可以作出更合理的购货规划和工程公司的选择，使所需设备、控制以及运行管理培训达到要求。

对于在系统扩建或新建中的每一项必要的资金投入抉择，都应经过全面的经济分析，必须做到技术可靠、经济合理。了解就近相似的成功系统、咨询系统供应商，会有助于用户完善系统的选择，减少风险和花费。

迄今为止安装的所有工业规模的 RO 和 NF 系统，几乎都采用了卷式膜元件，本文将不讨论各种膜元件本身的详细结构，本文的着重点是介绍为潜在的 RO 和 NF 用户介绍在采购 RO 和 NF 设备时应该注意的事项。



3. RO 和 NF 基础

为了优化系统的设计和运行，用户必须考虑 RO 和 NF 设计中的一些概念。RO 和 NF 是一种错流过滤技术，可以去除水中杂质，其分离能力达到去除离子的水平。毫无疑问，它可以去除较大的各类物质。但由胶体、水垢及微生物（细菌、病毒和藻类）引起的污染，是 RO 和 NF 系统运行面临的最主要的问题。为避免发生这些问题而造成不必要的花费，在系统设计阶段，对这一潜在的污染问题应采取考虑充分的预防措施。当你明白细菌怎样随时间繁殖，你就会明白为什么生物污堵

是 RO 和 NF 系统最应重点关注的因素，地表水、废水和海水等富含微生物活性的水源是极易污染膜系统的水源。表 1 表明经过预处理后，即使只有一个细菌存活，在不长的时间内也可能引发严重的膜系统微生物污染问题。

时间 (小时)	细菌数量 (个)	时间 (小时)	细菌数量 (个)
0	1	3.33	1,024
0.33	2	3.67	2,048
0.67	4	4	4,096
1	8	5	32,768
1.33	16	6	262,144
1.67	32	7	2,097,152
2	64	8 (第 1 班)	16,777,216
2.33	128	16 (第 2 班)	281,470,000,000,000
2.67	256	24 (第 3 班)	4,720,400,000,000,000,000,000
3	512		

一个标准的工业 RO 和 NF 装置如图 1 所示，膜元件串联排列在压力容器内，几个压力容器并联排列成一段、两段或更多段，构成特定的一个系列，第二段通常用来处理第一段的浓水，以提高进水总体回收率。

让我们分析一下，当水流通过串联在一起的膜元件时产品水和浓缩水流量的变化趋势：全部进水被高压泵泵入膜元件内时，经过膜的过滤成为产水，余下的水对于该元件来讲成为它的浓水，该浓水继续进入后续元件内，成为后续元件的进水，由于水量减少，水流流速降低，而水中的杂质浓度却不断升高，这一状况在所有的压力容器内沿水流方向连续变化，直至流速减慢至刚好维持涡流状态流过膜表面。用计算机进行设计计算时，应确保最后一段最末一支膜元件内的流速和浓度保持在最低极限之内，不致于在膜系统运行中发生因膜面流速过低，降低了元件错流自净的能力而产生杂质沉淀污染膜表面的问题。这就是为什么 RO 和 NF 系统必须在设计范围内进行操作，任何变化如进水温度、进水化学特性或进水流速变化、水流分布不均匀和不平衡都将导致 RO 和 NF 系统操作超过设定的参数范围，引发膜系统污染。

4. 进 水

接下来需要考虑的是进水，诸如预期的水量、水质以及水源及其可能存在的问题。有时目前的原水流量可以满足要求，但请你确定在预估原水量当中还应包括将来的用水量增加的计划，并且目前所需要水量的变化也应在设计时予以考虑。

产水的水质要求由最终的用水工艺所决定。产水的制造成本随最终产水的纯度增加而增加。如果用水的要求并非需要达到 RO 出水的高质量，就应慎重考虑采取其他处理方法，在设计时应充分考虑这一因素。

水源的化学组成和特性必须深入了解。任何系统的设计必须能够应付最好或最坏的条件，井水的温度和化学成份通常比较稳定，悬浮固体 (SS) 较低，但每一眼井应视为不同的水源。地表水的变化很大，一般溶解固体 (TDS) 较低，但悬浮固体 (SS)、有机物和微生物含量很高，通常市政自来水的取水水源为地表水，系统运行工况常常变化，因而市政供水水质也会有很大变化。

保存水源水质的原始数据非常重要，只有妥善取样和分析方法正确的数据才可以信赖。水样瓶应经过酸洗，瓶盖应配塑胶衬垫，取水点应在自由流动水域而不能在死角，仅一个取水点是绝对不行的，必须获得一系列水样，覆盖所有季节和条件，例如雨后或干旱期，任何一个未来可能会取水的潜在的水源都必须作仔细的水质分析。

5. 预处理

现在在我们已完全掌握了水源的特性基础上，对原水进行合理的预处理成为系统运行成功与否的关键。一般的预处理过程包括：澄清或石灰软化，多级过滤器如多介质过滤器、软化器、活性炭过滤器、保安过滤器及微孔过滤器，保安过滤器后还会设置紫外线杀菌器（UV）以消除细菌的滋生。正确的分析和认真的中试将可避免许多因预处理不合格而引起的麻烦。预处理阶段的所有过滤器或软化器的容器须作衬胶处理或采用耐腐蚀的材质，以减少 RO 和 NF 进水中的铁离子含量。

实践证明，较保守的设计通常使系统运行更好，且能增强对水质波动的适应性。尽管保守的设计带来初期投资费较高但其长年累月的总运行成本减低，成功的经验表明，投资费和运行费应综合考虑，合理的保守设计所造成的较高的投资费是有价值的。表 2 列出在 RO 和 NF 预处理过程中常见设备的合理设计数据。

表 2 预处理设备设计参数

设备类型	主要工艺参数（流速）	备注
澄清池	1.83~2.07m/h	去除浊度物质，悬浮物和胶体
多介质过滤器	地表水 5~8m/h 地下水 7~10m/h	精制石英砂和无烟煤；合理级配和填充高度；要求过滤精度优于 10 μ m
软化器	15~25m/h	需高质量再生剂，脱除硬度物质
活性炭过滤器	10~15m/h	精制粒状果壳活性炭，脱除有机物和游离氯

一个合理的预处理设计方案应充分考虑到膜的清洗频率。表 3 的标准将指导您评估 RO 和 NF 预处理的效果。

表 3 预处理评估准则

清洗周期	预处理状况
大于 3 个月	预处理设计与运行管理合适
1~3 个月	可能预处理设计偏紧或运行管理需要加强
小于 1 个月	必须加强预处理的设计或运行管理

投加化学药剂也会影响预处理，对于澄清及过滤时添加的阳离子混凝剂、絮凝剂一定要严格控制，谨防过量。如果混凝剂和絮凝剂添加量合理，它们会在澄清或过滤过程中随污泥排出，但若投加过量，残余溶解状混凝剂和絮凝剂就会附着在膜表面造成膜的污染。另外还有一个问题是，当阳离子混凝剂与阴离子阻垢剂相遇，时常会发生反应，产生沉淀并污染膜元件。如果采用 NaHSO₃ 对原水作除氯处理，它的投加点应在整个预处理流程中尽可能靠后，通常位于保安过滤器前，预处理过程中的 pH 值也应该严格控制，因为它们会影响絮凝和氯化杀菌效果。

6. RO 和 NF 装置

现在，让我们来考虑 RO 和 NF 装置本身，实际上，RO 和 NF 的设计取决于所选用的膜类型。当前市场上有很多膜元件供应商，对膜的选择十分关键，这绝非易事。目前对膜材料的选择仅限于复合膜和醋酸纤维膜（CA 或 CA-CTA）。工业应用多数使用复合膜，型号较多，如高通量、高脱盐率、高表面积、超低压、极低压、低污染及高温型等。这些膜的化学成份和组成材料都不尽相同，设计合理时不同膜元件也可以在同一系统中同时使用，以适应不同处理要求。在根据您的应用要求选择最佳膜元件时，应咨询膜元件生产商和工程公司与其共同决策，因为不同的膜元件均有最佳的使用方法和适用范围，否则就不会生产出各种型号和规格的膜元件了。

在进行 RO 和 NF 装置设计时，应考虑每一根膜元件的运行参数，包括以下三个主要参数：

- 1) 系统中第一支膜元件的产水通量
- 2) 系统中最后一支膜元件的浓水流量
- 3) 每一支膜元件的回收率

通量定义为单位时间单位面积上的透过水量。常用单位是加仑/平方尺/天 (gpd) 或升/平方米/小时 (l/m^2h)。

膜元件制造商能够提供膜系统计算机设计程序，用户应保留一张系统设计的打印结果。这些程序也可以估计出在参数改变后新条件下的系统可能性能结果，必须认真观测系统的水流分布和运行压力平衡性问题，尤其是当使用高通量膜元件时更需要注意。设计程序可以帮助你各种给定的试验条件下比较使用不同膜元件或膜元件不同组合的结果。

设备和系统的安装空间也是一个必须考虑的因素，在 RO 和 NF 装置末端是否留有足够的空间供今后膜元件的更换与安装？清洗是否方便？是否消除了死水区？系统启动时能否自动冲洗（置换或排气）或停止时能否自动低压冲洗？在备用状态下系统是否能保证不排干失水，且启动时能否实现软启动以避免对膜元件的冲击损坏？这些问题都是在选用 RO 和 NF 设备时应考虑的。RO 和 NF 的高压管道应考虑采用不锈钢或其它耐腐蚀材质。

7. 废弃物

设计 RO 和 NF 时，废弃物（浓水）的处理是不容忽视的，尤其是当设计大于 $500m^3/h$ 的大型膜系统。从乐观的角度讲，RO 和 NF 产生的废水无非是原水的浓缩，因而并无大碍，然而一般废水量约占进水量的 25%，这是一个很大的水量，考虑周全的设计应涉及各种的浓水处理可能性，尽量利用待排放的浓水。

8. 清 洗

经过一段时间的运行，膜必须清洗，对于操作者来讲，这项工作越简单越好。一般膜法水处理系统都应安装一套就地清洗系统并与 RO 和 NF 装置通过硬管或快速软管连接，一套就地清洗系统可以服务多套 RO 和 NF 装置。清洗泵的选择，应保证第一段每个压力容器的进水量要求，清洗液越湍流，清洗效果越好。为了提高清洗效率，应该尽量对多段反渗透系统进行分段的、针对不同污染条件的清洗操作。

大型水处理系统应该考虑设置一台独立的单元清洗方法评估测试平台，当只有前端的一两个膜元件受到污染时，清洗全段的所有膜只会使前段清洗下来的污物流入后续污染并不严重的膜元件，造成对系统清洗效率的降低，单独元件清洗测试平台就可以避免这一不利状况，它也可以用来测定每一支元件的运行性能。

9. 结 论

当您想要在您的工厂使用 RO 和 NF 系统时，需要考虑的问题很多，建议组织一个项目小组花足够的时间对全过程作全面的了解，考察所有的能够达到水量水质要求的处理技术。如果您选择了 RO 和 NF 技术，可安排操作主管前往其他已有 RO 和 NF 系统的公司中进行必要的现场操作培训，使其了解这一新技术的实际操作，就可避免系统建成之后运行时可能会发生的许多麻烦和经济损失。

运行中出现问题是难免的，但是可以尽量避免昂贵的失误，只要不断增加对这一技术的了解，就会对它的优点和缺点同时了如指掌，使 RO 和 NF 设备长期安全、经济、稳定、可靠地运行。