



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

第 3 部分 反渗透和纳滤基础

3-1 反渗透和纳滤技术发展历史

自从上世纪五十年代末六十年代初期，反渗透（RO）和纳滤（NF）技术产品商品化投放市场，尤其是陶氏化学公司全资子公司发明的超薄聚酰胺复合膜进入实用阶段，使得 RO 和 NF 成为实用化的化工分离单元，它们的应用领域得到不断地扩展。起初，反渗透主要用于海水和苦咸水脱盐，由于工业领域对保护水源、减少能耗、控制污染以及从废水中回收有价值物质的需求日益增加，反渗透和纳滤的新用途变得更有经济价值。此外，伴随着膜分离技术的发展，促进了生物技术和制药行业的技术进步，相对于传统蒸馏法，膜法分离浓缩技术更加节省能量消耗，同时也不会引起产品热分解变质。

1963 年在美国明尼苏达州明尼亚波里斯市开展的膜基础研究，成为成立 FilmTec 公司和著名的 FILMTEC™FT30 膜化学的技术基础。

自从那时起，原有产品得到不断地改进，并不断地推出了新产品，提高了膜元件地产水水质，降低了水处理总成本。

现在反渗透膜能够在显著地降低运行压力的条件下，实现更高的脱盐率和产水量，纳滤膜也可在相对低的操作压力下提供对某些盐类或化合物的更高的分离选择性。

1977 年成立 FilmTec 公司之后，于 1981 年至 1984 年间复合膜技术和产品以及公司本身发生了长足的发展。1985 年 8 月，FilmTec 公司成为陶氏化学公司全资子公司。

为了满足快速增长的反渗透和纳滤膜市场对 FILMTEC 产品的需求，以全球最大的化工行业高科技公司为依托，将陶氏公司的巨大资源提升和扩充了其全资子公司 FilmTec 公司的研发、制造和生产能力，使其成为膜工业界公认的膜技术的领导者，实现了陶氏膜产品的世界最高长期稳定性、可靠性和综合性能，保证了 FILMTEC 产品及其用户在市场上的成功。

3-2 脱盐技术及膜法分离过程

陶氏 FILMTEC 反渗透和纳滤膜技术被广泛认为最有效和经济的分离过程之一，用于小型到特大型规模到处理苦咸水和海水，其产水满足目前的饮用水标准。

反渗透和纳滤过程单独、或与离子交换法、或其它分离过程相结合，可以降低再生剂的费用和废水排放量，也可以用来制备高纯水，在电厂当与热法结合时，可以提高设备的利用率和水的利用率。

图 3.1 示意性地给出了主要脱盐过程适用于进水含盐量所对应的经济范围，即离子交换法、电渗析法、反渗透法及蒸馏法四种脱盐方法的最典型的操作范围，也同时标出了几类陶氏 FILMTEC 膜元件的使用范围。

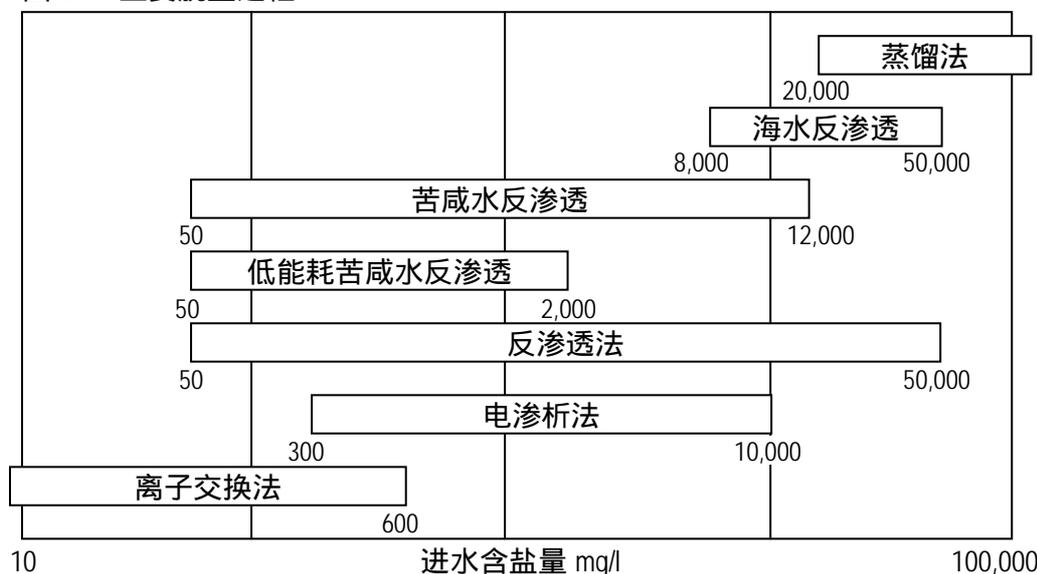
目前常规的过滤过程可以按照脱除颗粒的大小进行分类，传统的悬浮物的过滤是通过水流垂直流过滤介质来实现的，全部的水量完全通过过滤介质，全部变成出水流出系统，类似的过滤过程包括：滤芯式过滤、袋式过滤、砂滤和多介质过滤。这种大颗粒过滤形式仅仅对粒径大于 1 微米的不溶性固体颗粒有效。

为了除去更小的颗粒和可溶性盐类，必须使用错流式的膜过滤，错流式膜过滤对与膜表面平行的待处理流体施加压力，其中部分流体就透过了膜表面，流体中的颗粒等被排除在浓水中，由于流体连续地流过膜表面，被排除的颗粒不会在膜表面上累积，而是被浓水从膜面上带走了，因此一股流体就

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

变成两股流体，即透过液和浓缩液。

图 3.1 主要脱盐过程



膜法液体分离技术一般可分为四类：微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和反渗透(RO)，它们的过滤精度按照以上顺序越来越高。

微滤(MF)

微滤能截留 0.1~1 微米之间的颗粒，微滤膜允许大分子有机物和溶解性固体（无机盐）等通过，但能阻挡住悬浮物、细菌、部分病毒及大尺度的胶体的透过，微滤膜两侧的运行压差（有效推动力）一般为 0.7bar。

超滤(UF)

超滤能截留 0.002~0.1 微米之间的颗粒和杂质，超滤膜允许小分子物质和溶解性固体（无机盐）等通过，但将有效阻挡住胶体、蛋白质、微生物和大分子有机物，用于表征超滤膜的切割分子量一般介于 1,000~100,000 之间，超滤膜两侧的运行压差一般为 1~7bar。

纳滤(NF)

纳滤是一种特殊而又很有前途的分离膜品种，它因能截留物质的大小约为 1 纳米（0.001 微米）而得名，纳滤的操作区间介于超滤和反渗透之间，它截留有机物的分子量大约为 200~400 左右，截留溶解性盐的能力为 20~98%之间，对单价阴离子盐溶液的脱除率低于高价阴离子盐溶液，如氯化钠及氯化钙的脱除率为 20~80%，而硫酸镁及硫酸钠的脱除率为 90~98%。纳滤膜一般用于去除地表水的有机物和色度，脱除井水的硬度及放射性镭，部分去除溶解性盐，浓缩食品以及分离药品中的有用物质等，纳滤膜两侧运行压差一般为 3.5~16bar。

反渗透(RO)

反渗透是最精密的膜法液体分离技术，它能阻挡所有溶解性盐及分子量大于 100 的有机物，但允许水分子透过，醋酸纤维素反渗透膜脱盐率一般可大于 95%，反渗透复合膜脱盐率一般大于 98%。它们广



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

泛用于海水及苦咸水淡化，锅炉给水、工业纯水及电子级超纯水制备，饮用纯净水生产，废水处理及特种分离等过程，在离子交换前使用反渗透可大幅度地降低操作费用和废水排放量。反渗透膜两侧的运行压差当进水为苦咸水时一般大于 5bar，当进水为海水时，一般低于 84bar。

离子和分子		大分子		微粒	
微米	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	
纳米	1	10	10^2	10^3	
离子 硝酸根、硫酸根 氰化物、硬度、砷 磷酸根、重金属	富里酸	腐殖酸		藻类	
	非挥发有机物/色度/消毒副产物/致癌前驱物		小假单胞菌	细菌	大肠杆菌
合成有机化合物 杀虫剂，表面活性剂 挥发性有机物，染料 二噁英，生物耗氧量 化学耗氧量	蛋白质	酶制品			
	氨基酸	小红细胞	流感病毒	似隐孢菌素	
		病毒		酵母细胞	
		脊髓灰质炎病毒		粘土	淤泥
	胶体	乳化油	胶体硅		
反渗透		微滤			
纳滤					
超滤				颗粒过滤	

3-3 反渗透和纳滤原理

渗透

我们知道渗透是指稀溶液中的溶剂（水分子）自发地透过半透膜（反渗透膜或纳滤膜）进入浓溶液（浓水）侧的溶剂（水分子）流动现象。

渗透压

定义为某溶液在自然渗透的过程中，浓溶液侧液面不断升高，稀溶液侧液面相应降低，直到两侧形成的水柱压力抵消了溶剂分子的迁移，溶液两侧的液面不再变化变化，渗透过程达到平衡点，此时的液柱高差称为该浓溶液的渗透压。

反渗透原理

即在进水（浓溶液）侧施加操作压力以克服自然渗透压，当高于自然渗透压的操作压力施加于浓溶液侧时，水分子自然渗透的流动方向就会逆转，进水(浓溶液)中的水分子部分通过膜成为稀溶液侧的净化产水（请参见下图）。

纳滤原理

纳滤与反渗透没有明显的界限。纳滤膜对溶解性盐或溶质不是完美的阻挡层，这些溶质透过纳滤膜的高低取决于盐份或溶质及纳滤膜的种类，透过率越低，纳滤膜两侧的渗透压就越高，也就越接近反渗透过程，相反，如果透过率越高，纳滤膜两侧的渗透压就越低，渗透压对纳滤过程的影响就越小。

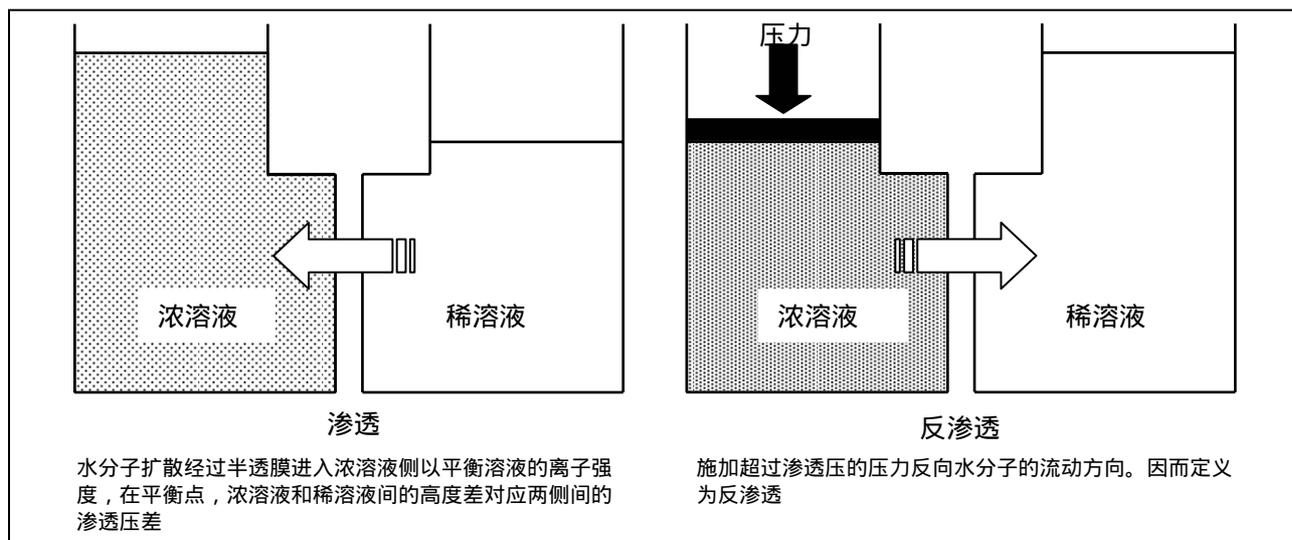
陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

反渗透和纳滤过程

根据反渗透和纳滤原理可知，渗透和反渗透及纳滤必须与具有允许溶剂(水分子)透过的半透膜(反渗透膜或纳滤膜)联系在一起才有意义，才会出现渗透现象和反渗透或纳滤操作。

反渗透膜：允许溶剂分子透过而不允许溶质分子透过的一种功能性的半透膜称为反渗透膜；

纳滤膜：允许溶剂分子或某些低分子量溶质或低价离子透过的一种功能性的半透膜称为纳滤膜；



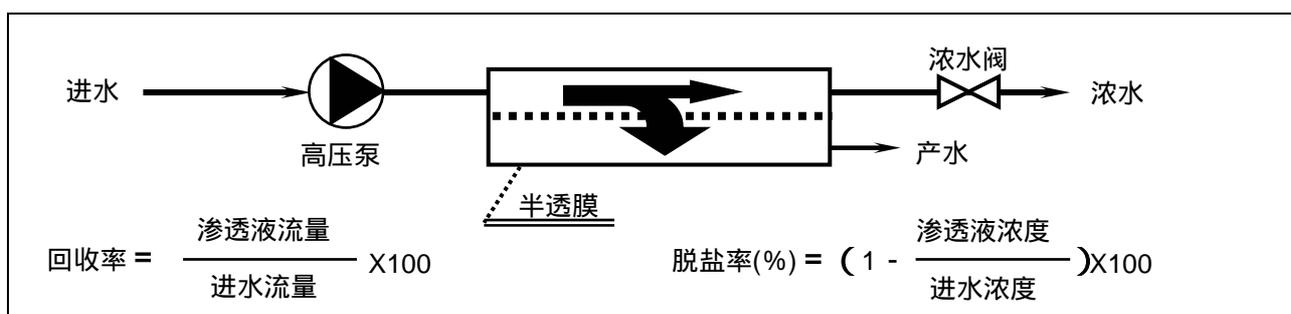
膜元件：将反渗透或纳滤膜膜片与进水流道网格、产水流道材料、产水中心管和抗应力器等用胶粘剂组装在一起，能实现进水与产水分开的反渗透或纳滤过程的最小单元称为膜元件；

膜组件：膜元件安装在受压力的压力容器外壳内构成膜组件；

膜装置：由膜组件、仪表、管道、阀门、高压泵、保安滤器、就地控制盘柜和机架组成的可独立运行的成套单元膜设备称为膜装置，反渗透和纳滤过程通过该膜装置来实现；

膜系统：针对特定水源条件和产水要求设计的，由预处理、加药装置、增压泵、水箱、膜装置和电气仪表连锁控制的完整膜法水处理工艺过程称为系统。

待处理的进水经过高压泵被连续升压泵入膜装置内，在膜元件内进水被分成浓度低的或更纯的产水，称为透过液和浓度高的浓水。浓水调节阀控制成为产水和浓水的比例即装置回收率。





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

3-4 影响反渗透和纳滤膜性能的因素

产水通量和脱除率是反渗透和纳滤过程中的关键参数，针对特定系统条件，水通量和脱除率是膜的本征特性，而膜系统的水通量和脱除率则主要受压力、温度、回收率、进水含盐量和 pH 值影响。本文将对这些关键术语给出定义并扼要介绍影响反渗透和纳滤膜性能的因素，如操作压力、温度、进水含盐量、产水回收率和系统 pH 值。

定义

回收率：指膜系统中给水转化成为产水或透过液的百分率。膜系统的设计是基于预设的进水水质而定的，设置在浓水管道上的浓水阀可以调节并设定回收率。回收率常常希望最大化以便获得最大的产水量，但是应该以膜系统内不会因盐类等杂质的过饱和而发生沉淀为它的极限值。

脱盐率：通过反渗透膜从系统进水中除去总可溶性的杂质浓度的百分率，或通过纳滤膜脱除特定组份如二价离子或有机物的百分数。

透盐率：脱盐率的相反值，它是进水中溶解性的杂质成份透过膜的百分率。

渗透液：经过膜系统产生的净化产水。

流量：流量是指进入膜元件的进水流量，常以每小时立方米 (m^3/h) 或每分钟加仑表示 (gpm)。浓水流量是指离开膜元件系统的未透过膜的那部分的“进水”流量。这部分浓水含有从原水水源带入的可溶性的组份，常以每小时立方米 (m^3/h) 或每分钟加仑表示 (gpm)。

通量：以单位膜面积透过液的流率，通常以每小时每平方米升 (l/m^2h) 或每天每平方英尺加仑表示 (gfd)。

稀溶液：净化后的水溶液，为反渗透或纳滤系统的产水。

浓溶液：未透过膜的那部分溶液，如反渗透或纳滤系统的浓缩水。

压力的影响

进水压力影响 RO 和 NF 膜的产水通量和脱盐率，我们知道渗透是指水分子从稀溶液侧透过膜进入浓溶液侧的流动，反渗透和纳滤技术即在进水水流侧施加操作压力以克服自然渗透压。当高于渗透压的操作压力施加在浓溶液侧时，水分子自然渗透的流动方向就会被逆转，部分进水（浓溶液）通过膜成为稀溶液侧的净化产水。

图 1. 进水压力对通量和脱盐率的作用

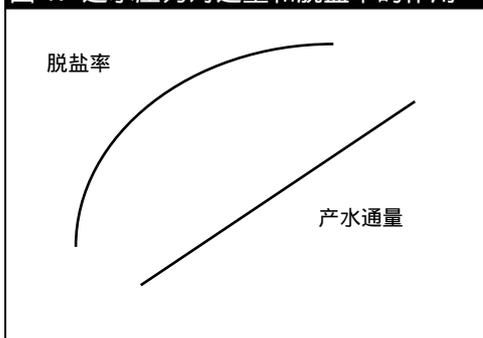
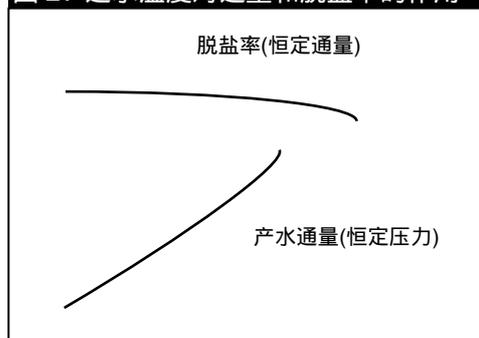


图 2. 进水温度对通量和脱盐率的作用



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

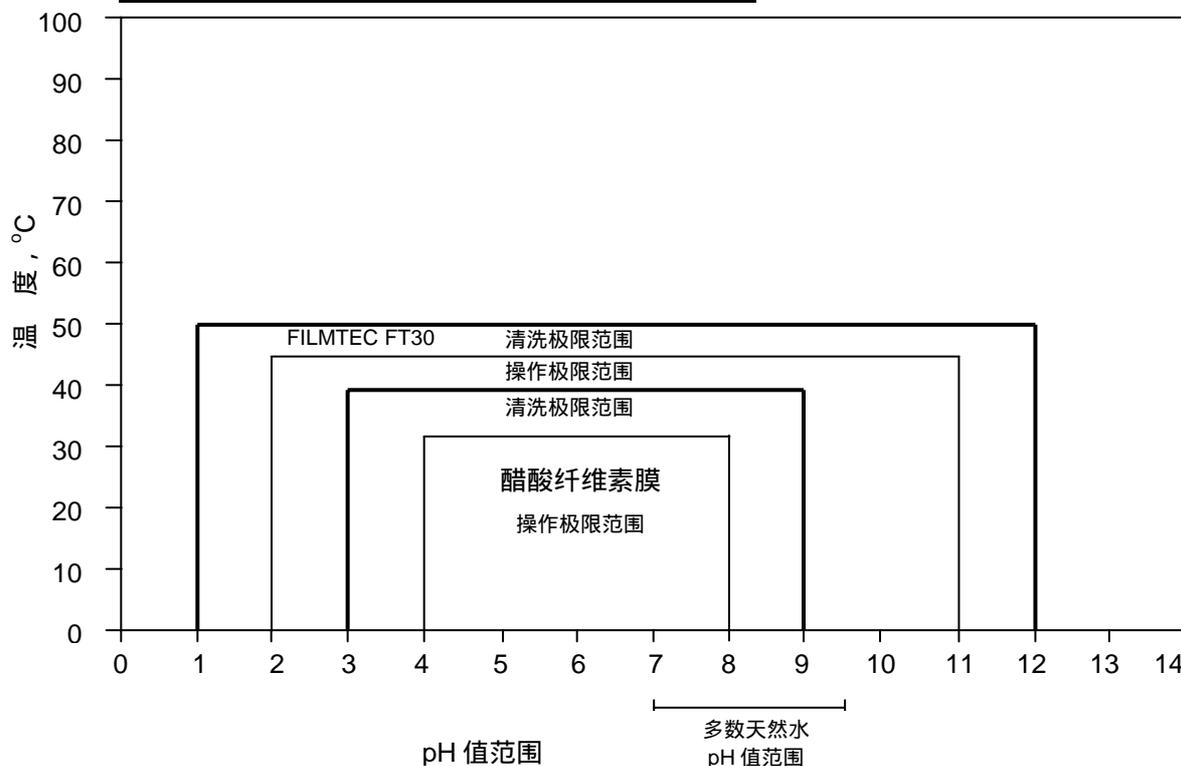
正如图 1 所示，透过膜的水通量增加与进水压力的增加存在直线关系，增加进水压力也增加了脱盐率，但是两者间的变化关系没有线性关系，而且达到一定程度后脱盐率将不再增加。

由于 RO 和 NF 膜对进水中的溶解性盐类不可能绝对完美地截留，总有一定量的透过量，随着压力的增加，因为膜透过水的速率比传递盐分的速率快，这种透盐率的增加得到迅速地克服。但是，通过增加进水压力提高盐分的排除率有上限限制，正如图 1 脱盐率曲线的平坦部分所示那样，超过一定的压力值，脱盐率不再增加，某些盐分还会与水分子耦合一同透过膜。

温度的影响

如图 2 所示，膜系统产水电导对进水温度的变化非常敏感，随着水温的增加，水通量几乎线性地增大，这主要归功于透过膜的水分子的粘度下降、扩散能力增加。增加水温会导致脱盐率降低或透盐率增加，这主要是因为盐分透过膜的扩散速率会因温度的提高而加快所致。

图 3. FT30 超薄复合膜和 CA 膜运行和清洗参数比较



膜元件能够承受高温的能力增加了其操作范围，这对清洗操作也很重要，因为可以采用更强烈和更快的清洗程序，FILMTEC™ FT30 超薄复合膜和醋酸纤维素（CA）膜的允许 pH 和温度范围比较详见图 3。

盐浓度的影响

渗透压是水中所含盐分或有机物浓度和种类的函数，盐浓度增加，渗透压也增加，因此需要逆转自然渗透流动方向的进水驱动压力大小主要取决于进水中的含盐量。图 4 表明，如果压力保持恒定，含盐量越高，通量就越低，渗透压的增加抵销了进水推动力，同时如图 4 所示，水通量降低，增加了透过膜的盐通量（降低了脱盐率）。

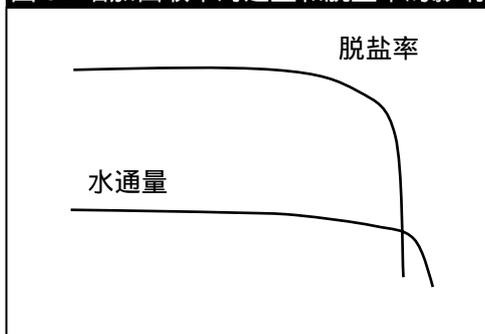
陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

回收率的影响

通过对进水施加压力当浓溶液和稀溶液间的自然渗透流动方向被逆转时，实现反渗透过程。如果回收率增加（进水压力恒定），残留在原水中的含盐量更高，自然渗透压将不断增加直至与施加的压力相同，这将抵销进水压力的推动作用，减慢或停止反渗透过程，使渗透通量降低或甚至停止（参见图 5）。

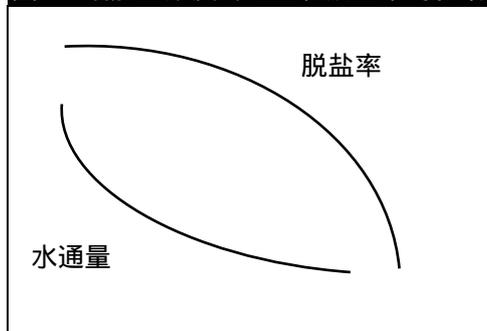
RO 系统最大可能回收率并不一定取决于渗透压的限制，往往取决于原水中的含盐量和它们在膜面上要发生沉淀的倾向，最常见的微溶盐类是碳酸钙、硫酸钙和硅，应该采用原水化学处理方法阻止盐类因膜的浓缩过程引发的结垢。

图 5. 增加回收率对通量和脱盐率的影响



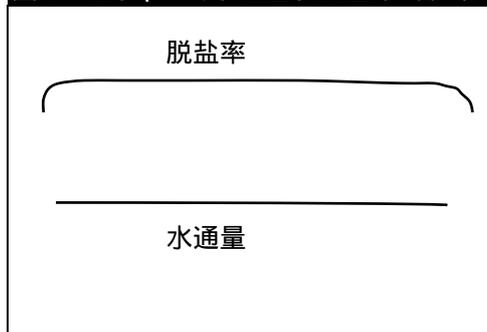
回收率

图 4. 增加盐浓度对通量和脱盐率的影响



原水浓度

图 6. 进水 pH 对水通量和脱盐率的影响



pH 值

pH 值的影响

各种反渗透和纳滤膜元件适用的 pH 值范围相差很大，象 FILMTEC™FT30 这样的超薄复合反渗透和纳滤膜与醋酸纤维素反渗透和纳滤膜相比，在更宽广的 pH 值范围内更稳定，因而，具有更宽的操作范围（请见图 3）。

膜脱盐率特性取决于 pH 值，水通量也会受到影响，图 6 表明 FILMTEC FT30 膜在宽广的 pH 范围内水通量和脱盐率相当稳定。正如图 3 所示的那样，与醋酸纤维素膜相比，FT30 在很宽的 pH 范围内所具有稳定性允许我们采用更强烈、更快和更有效的化学清洗程序。

增加	产水量	透盐率
有效压力↑	↑	↓
温度↑	↑	↑
回收率↑	↓	↑
进水含盐量↑	↓	↑

↑ 表示增加； ↓ 表示降低。

3-5 了解反渗透膜元件脱盐率规范

理解反渗透膜元件脱盐率指标

陶氏 FILMTEC 膜元件 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

最近针对苦咸水反渗透膜元件脱盐率指标，出现了大量的讨论。某些膜元件供应商根据标准测试条件下单元件的性能规范，证明他们的产品有更高的脱盐率，这些膜元件供应商仅凭其初始单元件脱盐率指标，与包括陶氏 FILMTEC™元件在内的竞争品牌作比较，表明其最主要的产品性能区别。

这些膜元件制造商仅仅让人们关注产品样本上脱盐率性能参数却忽略了影响反渗透元件性能的其它重要因素。更有甚者，他们未考虑更为重要的事实：在用户系统条件下反渗透元件实际长期脱盐率要比膜元件制造商出厂试验时的单支元件的性能重要得多，因为膜元件的长期稳定性是影响膜系统运行成本、运行管理和维护保养最为重要的因素。

现在，你可能感到困惑，难道膜元件制造商公布的脱盐率指标不能成为实际系统中的性能预期值吗？这取决于出厂检验的标准条件与用户系统实际条件的接近程度如何。假定实际系统条件中反渗透系统进水组成出现巨大的变化，包括温度、压力和 pH 值在内的其它系统条件与出厂测试条件出现明显差异，膜元件出厂时获得的测试结果就根本无法与用户实际系统的结果较好的吻合。

此外，膜元件供应商制造膜元件的方法、测试的准备条件和采用的测试条件均对测试结果有很大的影响，仅根据产品样本上的脱盐率，进行有意义和完全对等的比较是很困难的。

当选择膜元件时，是否意味着应该忽略脱盐率指标呢？完全不是这个意思。我们强调的是在考虑脱盐率指标时应该综合考虑表征系统性能的其它重要指标，就是说用户应该理解各个膜元件制造商是怎样建立它们的产品性能规范的，以及他们提供的产品性能参数与已有用户实际系统所表现的实际性能将会有多少差异。让我们从论述脱盐率定义和如何测量 RO 元件性能入手进行讨论。

脱盐率的定义

反渗透膜用于从水中脱除可溶性的盐份，当水分子快速透过反渗透膜时，溶解性的盐份透过膜的速度十分缓慢。在自然渗透条件下，水分子经扩散透过半透性膜进入高浓度含盐量侧，以便膜两侧溶质强度达到平衡。为了克服或逆转这一自然渗透的趋势，对高浓度进水施加压力，就会产生纯净的透过液。

脱盐率是膜元件排斥可溶性离子程度的一种量度，反渗透元件能够脱除许多不同的离子，除了个别特殊情况外，反渗透对二价离子比一价离子的脱除率要高，因此，如果膜对 NaCl 表现出优异的脱除率的话，可以预见，膜将会对二价离子如铁、钙、镁和硫酸根有更好的脱除率。因此，NaCl 被广泛地用于作为评价反渗透膜元件离子脱除率性能的标准物质。

在此，我们需要重点记住的是，以上仅说明了膜对离子态杂质的脱除性能，膜也能除去或至少承受进水中其它的杂质，例如有机物、二氧化碳和气体，当用户评估反渗透元件时，也应该包括其脱除或承受这些非离子类杂质的能力。

正确考虑脱盐率

记住在评价反渗透长期综合性能时，还应包括除脱盐率之外的其它重要性能指标这一点很关键。在选择反渗透元件时，膜的通量值、膜元件的流量、系统所需压力、膜污染的速率、膜的可清洗性和对化学清洗过程的耐受能力以及膜元件的长期坚固性等等都应是重要的考虑因素。上述每一个影响因素都将影响用户水处理系统的故障率、总产水量以及与其相关的投资及运行费用。

怎样测定脱盐率？

盐份透过膜的传递速度是以质量体积浓度度量的，现有的仪表能测定出产水比电导值（即电导



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

率)，这一数值可以十分容易地换算成透过膜的渗透液中每升所含盐份的毫克数。脱盐率由下述公式的百分数来表示：

$$\text{脱盐率} (\%) = \frac{\text{Concf} - \text{Concp}}{\text{Concf}} \times 100$$

$$\text{Concf} = \text{进水与浓水含盐量的对数平均} = \text{进水含盐量} \times \frac{\ln[1/(1 - Y)]}{Y}$$

Y = 回收率；Concp = 产水含盐量

不同的测试方法得出不同的脱盐率性能

最明显的问题是膜元件供应商的脱盐率是基于人工配制的测试条件下针对单支膜元件的数据，并未考虑特定应用现场的具体条件，这些现场的条件将决定反渗透元件在长期实际使用过程中的真正性能，但仅凭膜元件制造商的初始脱盐率数据选择反渗透元件，还是存在不易明显地被发觉的其它问题。

仔细分析膜元件制造商所采取的测试条件表明，测试结果就会不一样，使其无法用样本上的脱盐率进行直接比较，并因此对结果产生了误导。表 1 说明了这一点，这是目前三家主要膜元件供应商所采用的评价条件的比较。

表 1：三家主要膜元件供应商的测试条件

测试参数	FILMTEC	品牌“X”	品牌“Y”
温度	25	25	25
pH	8	7.5	6.5~7.0
回收率	15%	10%	15%
进水压力	225psig	225psig	225psig
进水浓度	2,000ppm	2,000ppm	1,500ppm
测试时间	20 分钟	30 分钟	30 分钟

显然这里没有统一规定的“标准”测试条件，同时，脱盐率（包括产水量）采用含盐份的进水进行测试计算时，它是测试条件的函数。如果测试采用低浓度的条件（如品牌“Y”）或低回收率（如品牌“X”），获得的数据就无法与更高条件下的数值进行比较。FilmTec 执行的测试条件是目前反渗透工业界最严格的。

此外，测定脱盐率的时间长短对数据结果有十分明显的影响，这是因为反渗透膜元件的性能仅当达到稳定操作条件时，才能达到最高脱盐率。测定时间越长，膜元件就越接近这种稳定化的结果与状态。

正因为制造商测定条件的不同，按照一一对应单独比较样本中的技术条件，即使不是行不通的话，那也是十分困难的。

膜元件制造工艺的不同如何影响脱盐率的测定结果

膜元件制造工艺的不同将严重影响膜脱盐率数据，某些反渗透元件制造商采用直接干燥方法制造膜元件，在生产过程中，未反应的成膜化学品也被干燥了，使得膜元件在投入使用前必须将这些化学品冲洗掉，这种膜元件必须冲洗 24 小时以上，以除去残留化学品，然后对这些元件进行测定。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

在 FilmTec 公司的膜元件生产过程中，无需额外的冲洗步骤除去成膜化学品，在膜干燥之前，成膜化学品就通过水浴漂洗干净了，无需 24 小时的冲洗步骤，在测试和装运前，仅需简单的元件冲洗即可。

FilmTec 生产过程与其它制膜厂家的明显不同之处表明，它们需要额外长时间冲洗，因其膜元件在经过长时间的湿润后会表现出更高的脱盐率。某些制造商必须进行 24 小时冲洗，以便溶出残留化学品，预整定他们的元件，以便在出厂前得到更好的脱盐率数据。

膜制造商脱盐率规范真正意味着什么？

膜制造商出版的脱盐率是基于元件出厂质保检验所获得的数据，或是某些膜元件制造者用于分类它们所制造的产品时，在生产后期检验所获得的数据。

【质量保证检验】在膜元件生产过程，需要质保（QA）检验，特别是在精密制造环境中，以确保元件生产过程中的完整性，膜制造者所用的 QA 或适应性检验是一种盐水测试，在元件出厂前，在规定的测试条件下，测定元件的脱盐率和产水量。虽然，这些 QA 测定条件并不能在实际使用时重现，也不能成为现场使用时的性能参数，许多年来，某此膜制造商却一直引导用户朝测定条件下得到的结果来解释今后的现场数据。

【元件制成后进行分类检验】第二种方式是某些膜元件制造商用于元件成品后再进行测定性能，然后根据性能范围的不同来细分他们的产品，当这些制造商的生产过程缺少保证产品高度一致性的精确性生产技术和装备时，就不得不采用这种分类检验，膜制造商必须测定所有元件的脱盐率，并分别重新命名产品或标注出用于销售该类产品时的特殊性能值。

FilmTec 的精密制造工艺过程及设备不再需要这种等到元件制成后再进行分类检验的做法，这是因为在我们先进的生产线上制造出的膜元件，性能非常一致，而且它们的综合性能也是可预测的。事实上，FilmTec 的生产过程与技术是如此的精密，进行产品质保检验的脱盐率检验项目也可以一起省略掉，这就是为什么只有我们可以提供无需通水检测的干式膜元件。这样产生了非常明显的优势，由于脱盐率检验不再需要，也不需要对所生产的元件进行湿润。这意味着从我们工厂装运出来的膜元件可以是干燥元件，干式元件的优点十分明显：

- ❖ 在装运和贮存时，无需针对微生物滋生进行保护
- ❖ 膜元件具有更长的贮存期
- ❖ 干式元件易于搬运，特别是寒冷地区
- ❖ 由于干元件重量轻，运输成本低
- ❖ 在装入系统投运时，费时的冲洗膜元件保护液的步骤不再需要

FilmTec 公司自 1985 年起就开始销售干式膜元件，现在我们提供的干元件范围从家用低压元件到特大型市政和工业应用系统中的 8 英寸苦咸水膜元件，确保全球供应品质的一致性。

系统稳定脱盐率比 QA 检验中的脱盐率更重要

正如你所看到的，过份注重膜元件制造时所获得的脱盐率数据是不全面的，这些数据对帮助你估计实际系统的性能也不是十分有用。

由于膜元件的制造过程不同，膜元件的脱盐率仅能在经过一个星期左右的“湿态”运行之后进行



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

公正的比较，针对某一进水水质和系统条件，分析对比膜元件在使用现场所表现的实际性能，就可最好的代表该元件在该现场的脱盐率情况，因为它消除了人工设计的测试条件、预冲洗和其它测试前进行元件处理的所有误导因素。

大量的现场测定结果表明时，当元件达到稳定运行条件时，陶氏 FILMTEC 膜元件的脱盐率性能均超过我们的 QA 数值，通常情况下，要经过几小时运行之后，事实上，许多操作者发现陶氏 FILMTEC 膜元件在刚投运时就表现出远高于样本规定的最低脱盐率。这也反映了其它品牌膜元件装运过程中或按装前的贮存与浸泡在保护液中的影响结果。

基本的现象是在实际水处理系统中，陶氏 FILMTEC 元件常常表现出 99.5%以上的稳定脱盐率，当然，正如所有膜元件一样，系统进水水源情况和操作条件将会是影响某一特定水处理系统的实际脱盐率的决定性因素。

难道经过初始几小时的运行后，对所有的膜元件的脱盐均会有所提高吗？未必这样。如果膜元件在制造商那儿进行脱盐率检验前已经过 24 小时的冲洗，它的脱盐率就已经达到高数值，当在系统实际运行条件下随着时间的增加，若脱盐率有增加的话，其可能性也是很少的。

绝大多数情况是，如果膜元件经过了标准测试条件下，经历非常长测定时间的出厂检验，这类膜元件一旦投入运行，它们会以出厂时的脱盐率水平作为最高起点，开始下降。相反，对大量反渗透膜元件的使用现场观察表明陶氏 FILMTEC 膜元件对于大量的水源和极宽的操作条件，显示了非常高的脱盐率稳定性。

产品样本上脱盐率指标较好又怎样呢？

由于实际运行条件与人为测定条件不同，产品样本上的脱盐率并不能反映实际系统条件下的稳定脱盐率，由于不存在完全相同的标准评测方法，同时由于制造生产过程的不同将引起出厂测试结果的偏差，所以不能仅依靠制造商的脱盐率进行公正的一一对应比较。然而，样本上的性能的确与该类元件在该条件下这个制造商的质量保证或产品分类标准有关。这些性能如果是建立在比较保守的基础上，并且不被过分夸大用来预测所安装的膜系统，你就可以得到同样长期的结果，而且作为判断元件最低性能指标还是很有意义的。

拿陶氏 FILMTEC 元件为例，我们所设定的最低脱盐率是为了质保目的，以保证我们产品的完整性，我们开始公布 99.5%的稳定脱盐率是对膜元件最低脱盐率的补充，除了使膜元件达到稳定状态，延长测试时间之外，稳定脱盐率由实验室用盐水经过较长时间测定所得，其它测定条件与进行最低脱盐率测定时的条件完全相同。

陶氏 FILMTEC 的稳定脱盐率指标更加接近我们的元件在场所表现出来的性能，当然，我们的实验室条件不可能考虑各种实际现场的运行条件。但是，结合已有的现场数据，最低脱盐率和稳定脱盐率能够帮助人们作为预测 FILMTEC 膜元件在实际特定系统中的性能的根据。

如果不依靠脱盐率指标，根据什么选择最适宜的元件？

过分关注单个元件的性能，进行实际水处理系统的总体性能估算的不合理性是显而易见的。陶氏化学公司液体分离部开发的反渗透系统分析计算软件 ROSA 是基于陶氏 FILMTEC 元件性能来模拟系统性能，结合了用户系统的特定系统资讯，该程序能模拟在实际系统条件下采用陶氏 FILMTEC 膜元件所能得到的系统性能。ROSA 设计程序重点关注系统总性能，考虑了



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

- ❖ 进水水质（包括 NaCl 的浓度和其它杂质离子的含量和二氧化硅）
- ❖ 操作条件包括 pH、温度、进水压力和回收率
- ❖ 用户特殊的水质要求
- ❖ 使用寿命

当然，当你选择膜元件时，你也同时选择了元件供应商，它表明你不仅对所选膜元件作出了评价决定，同时也是对膜制造商的技术专家和成功运行项目记录的评价决定。陶氏 FILMTEC 膜元件具有膜工业界无可比拟的全套技术支持。正如我们先进的精密制造能力那样，干元件技术的创新表明陶氏全资子公司 FilmTec 公司是先进技术和技术支持的领导者。