

膜过滤应用手册

实践技巧和提示

2000 年 6 月

介 绍

这是膜过滤应用手册第二版。为了提高这本手册的应用价值，新增了预处理、自动控制和泵的描述。

这本手册是在膜过滤领域许多年实践的产物，它也是一个信息的综合。目的是提供一些常见问题的信息，为初步介入膜过滤领域的新人提供一些帮助，回答一些问题。这本书对已从事膜设备设计及建设的工程师和在已建工厂工作的工程师都能提供许多有用的信息。同时对膜系统的设计和操作的学习也有较大的帮助。

本书提供的信息相对于理论计算和思索，更多的是实践经验。因此，它并不是技术学院里的一本传统的教科书。虽然书中没有太多的数学计算，但它对于工业和学术应用都是非常有用的，因为它含有膜过滤领域许多“老到”的经验，即使对于业内行家而言，它也并不是一本出版物而已。

这本手册并不适用于那些纯粹的初学者，因为书中对膜和膜技术的描述比较具体，而简略了一些基础的膜和化学知识。

本书中大多数的实例是基于平板膜（DDS 板框系统）和卷式膜组件(DESAL)。卷式膜组件占了世界大多数的销售市场份额，而纤维膜系统、陶瓷膜系统和管式膜系统分享的市场份额则相当小。由于他们在领域的地位，在 2000 年以前纤维膜系统、陶瓷膜系统和管式膜系统想成为市场主导的机会极小。因此在本书关于他们的信息比较少。

在当今时代，膜正在被努力推广，但还未被消费者熟知，因为膜一般都隐藏在整个工业系统中。有些行业依靠膜生产一些基础的产品，有些则利用膜解决一些复杂的分离过程，另一些则用膜达到一些环保的标准。膜就象计算机一样：很少人理解它们，而只有一些人喜欢它们，但是我们都需要它们。即使我们不喜欢它们，但我们知道它们可以使生活更简便和舒适。

开发高效、完好、经济的膜来处理各种液体包括废水的工作已进行 35 年。但是对于如何让人们普遍了解建设和操作一个膜工厂的工作还有很长的路要走。希望本书能帮助避免许多以往很容易的犯的错误。

同时我要真心感谢 Bjame Nicolaisen 提供的许多宝贵的技术上和语言上意见和建议，同时感谢我的妻子作为我的同事参与了许多技术问题的讨论。同时也感谢以不同方式参与本书的其它朋友！

Jorgen Wagner

专业名词解释及约定

表 1、专业名词解释及约定

ATD	反套装置，可以防止卷式膜由于液体流动的张力而压缩。
CA	醋酸纤维素，一般有二价或三价醋酸。
CIP	清洗装置。在不拆除的情况下清洗系统。
Concentrate(浓水)	流经系统但不通过膜的液体的体积。可解释为进水不透过部分，也可称为盐水、废弃物或在渗析过程中未通过半透膜而保留下来的滞留物。
Feed(进水)	进入膜系统的液体的体积。
Flow(流量)	一般指流经膜表面的液体的体积。
Lph	升/小时
Gpm	加仑/分钟
Gpd	加仑/天
Flux,water(水通量)	在特定条件的水的通量。在反渗透系统中水通量有特定的意义，而在其它的膜系统中，它只用来指示膜是干净的，运行良好。
Flux(通量)	每单位面积、时间渗透的体积。
Lmh	升/（平方米.小时）： $lmh=gfd*1.7$ （基于 US 加仑）
gfd	加仑/（平方英尺.天）： $gfd=lmh/1.7$ （基于 US 加仑）
Gallon(加仑)	1 美国加仑=3.785 升
	1 英国加仑=4.546 升
HF	超过滤;反渗透(RO)的另一名称.
HMWC	大分子组分,如蛋白分子.
Housing(膜壳)	安装卷式膜组件或其它类型膜膜元的膜过滤设备，也指压力容器
IC	内部接头，用于连接两个卷式膜组件。
Langelier index(见 SDSI.)	如果指标是正值，则可能指 $CaCO_3$ 比例。 如果指标是负值，则不可能指 $CaCO_3$ 比例。
MWCO（切割值）	分子量切割被称为道尔顿值，意味着超过 MWCO 的 90%的分子量将被截留。对于反渗透，MWCO 有一个清楚的定义，但随着其值越高，它的含义和值越含糊。

	它和测试的膜的类型有关，对微滤则没有意义。
PAN	聚丙烯腈
Permeate(透过液)	透过膜的液体的体积（也可称滤液）
ppm	每百万分子一。严格的讲，为每 1000 毫克溶液的毫克溶质。 与 mg/l 相当。
Pressure,average(平均压力)	平均压力， $(P_{\text{进水}}+P_{\text{浓水}})/2$
Pressure,average(平均压力) NDP	平均净驱动压力是驱动液体通过膜的可用压力。 $(P_{\text{进水}}+P_{\text{浓水}})/2 - P_{\text{透过液}} - (H_{\text{浓水}} - H_{\text{透过液}})$
Pressure drop(压降)	膜系统、膜壳（压力容器）或膜组件进出口的压力损失
进水压力	进水泵的压力(标准说法)或在循环系统中进口至膜室的压力
渗透压	事实上是理论值。渗透压是盐含量和其它小分子量溶质的函数。理论上大分子量组分不产生渗透压，但实际现象却象渗透压。电解液和小分子量组分的渗透压可以比较精确地计算，但大分子量组分的“渗透压”只能根据经验来定。渗透压一般写成 Π 或 Π ， $\Pi = I \cdot n \cdot R \cdot T$
压力单位	PSI(磅/平方英寸): 14.5PSI=1bar Bar: 1bar=0.1MPa=100kPa
PS(PSO)	聚砜(聚醚砜或聚芳香醚砜)
PVDF	聚偏二氟乙烯
Rentate(滞留物)	浓液的另一种名称
SDSI 索引	Stiff 和 David 饱和度索引。同 Langelier 索引，但用于高盐度水。见 Langelier 索引
TFC,TFM	复合薄膜的缩写
THM	三卤甲烷。未说明其化学特性的一些化学组分，同卤素反应如氯生成有机基质，如腐殖酸。它们被认为是致癌物质。
TMP	传导膜压。见平均压力
TS TDS	总固体；溶解性和悬浮固体的总和。 总溶解性固体。 以上值可表示为：mg/l, ppm 或%

四种膜过程

反渗透(RO)是液体/液体分离过程中最可能使用的膜分离过程。原则上水是唯一通过膜的物质；特别是所有的溶解和悬浮的物质被截留。有时一些开放类型的 RO 膜和纳滤(NF)膜会产生混淆。

真正的纳滤只截留超过一价的负电荷离子，如硫酸盐、磷酸盐，而能通过单价的负离子。根据分子的大小和形状，纳滤也能截留不带电荷、溶解性物质和正电荷离子。纳滤对氯化钠 0~50% 的截留率主要决定于进水的浓度。而“宽松的反渗透”是一种减少了盐截留率的反渗透膜。由于盐截留率的减少可以降低压力和能耗，因此在有些项目上也是可以接受的。

超滤(UF)是大分子量组分(HMWC)，如蛋白质、悬浮固体被截留，而所有的小分子量组分自由通过膜的过程。因此，单价和二价的糖类、盐、氨基酸、有机物、无机酸或氢氧化钠都不能通过。

微滤(MF)过程理论上只有悬浮固体被截留，而其它甚至蛋白质都可以自由通过膜。但是实际情况和理想状态有一定的差距。

下表是对以上内容的总结。

表二 四种膜过程的比较

	反渗透 RO	纳滤 NF	超滤 UF	微滤 MF
膜类型	非对称膜	非对称膜	非对称膜	对称膜 非对称膜
厚度 薄膜厚度	150 μm 1 μm	150 μm 1 μm	150~250 μm 1 μm	10~150 μm
孔径	<0,002 μm	<0,002 μm	0,2~0,02 μm	4~0,02 μm
截流组分	HMWC, LMWC 氯化钠 葡萄糖 氨基酸	HMWC 单糖、多糖 和多聚糖、 多价负离子	小分子组分, 蛋白质, 多糖, 病毒	颗粒, 粘土, 细菌
膜材质	醋酸纤维素 (CA), 薄膜	醋酸纤维素 (CA), 薄膜	陶瓷, 聚砜(PSO), 聚偏二氟乙烯 (PVDF), 醋酸纤维素 (CA), 薄膜	陶瓷, 聚丙烯(PP), 聚偏二氟乙烯 (PVDF)
膜组件类型	管式, 卷式, 板框式	管式, 卷式, 板框式	管式, 中空纤维, 卷式, 板框式	管式, 中空纤维
操作压力 bar	15~150	5~35	1~10	<2

产品和膜过程

许多产品使用膜来处理，但已销售的 80% 以上的膜用于水的脱盐处理。剩余的部分 20% 被用于乳制品的处理，其余被用于各种液体的处理。其中某些液体属于废弃的产品，而某些则是非常贵重的主要产物。表 3 列出了一些典型的应用，阴影部分代表主要的产物。注意：透过液和浓水都可以是需要的产物，而可以同时成为产物。

表 3 某些产物的膜过程类型

		透过液	浓水
RO	染色工艺排水	洁净水	BOD, 盐, 化学品, 废弃产品
	纯水	低盐水	含盐水
	乳清	低 BOD 透过液	乳清浓水
NF	抗生素	含盐废弃物	脱盐浓缩抗生素
	染色工艺排水	澄清含盐水	BOD/COD, 色素
	纯水	软化水	废弃物
	乳清	含盐废水	脱盐的乳清浓缩液
UF	抗生素	澄清的发酵肉汤	废弃物
	生物废气	用于交换的澄清液	可循环的微生物
	胶	废弃物	浓缩胶
	酶	废弃物	高价值产品
	牛奶	乳糖溶液	用于奶酪产品的蛋白质浓缩液
	乳化油	含油水(游离油<10ppm)	高度浓缩的乳化油
	洗涤废水	清水	脏水(废弃物)
	纯水	清水	废弃物
	乳清	乳糖溶液	乳清蛋白浓缩液
	黄原胶	废弃物	浓缩黄原胶

膜的材料、结构和使用限制

膜材料

在商务上由不同供货商提供的膜的选择方案看起来令人迷惑，因为许多材料都可以用来做膜，而它们又有许多商务名称，实际上，真正使用的材质很少，并且大多数销售和使用的膜只是一些很基本的类型。

◇ 整膜

醋酸纤维素(CA)是“最初的”膜，被用作 RO、NF 和 UF 应用。这种材料有一些缺陷，特别是针对于 pH 和温度。CA 其主要的优点是低价，以及由于它的亲水性使其不易阻塞污染。如今还有一些“顽固的”用户坚持购买“同样的膜直到最后”，他们坚持使用 CA 膜是因为它们还可以工作，但实际上 CA 膜的弱点是它们易被微生物吞噬。

聚砜(PSO)自从 1975 年以来已被广泛应用于 UF 和 MF 膜。PSO 的主要优点是它良好的耐温和耐 pH 能力。实际上在食品和乳制品行业中，聚砜是唯一被大量使用的膜材料。原则上，聚砜(PSO)膜不能抗油、油脂、脂肪和两极溶剂。然而，也有一种亲水类型的聚砜膜能违反此原则，在乳化油行业应用良好。

聚偏二氟乙烯(PVDF)是一种传统的膜材料，但是它并未被广泛使用，因为它很难使膜具有良好且稳定的分离特性。它的主要优点是其高度的抗碳氢化合物和氧化环境的能力。

◇ 复合膜

也称薄膜复合膜，它一般被缩写为 TFC 和 TFM，被用来代替醋酸纤维 RO 膜。其主要的优点是同时具有较高的通量和很高的盐截留率，用复合 RO 膜氯化钠的截留率一般可达 99.5%。它们也有好的抗温度和 pH 的能力，但不能耐氧化环境。

复合膜有二层和三层的設計，但所有的都有精确的组分。一般来讲，一种薄膜复合膜由一个 PSO(聚砜)膜作为其非常薄的表面层的支撑，在 PSO 超滤膜的表面层是一种聚合物。而三层设计则在 PSO 支撑膜的上部有二层薄膜。

大约在 1980 年，Film Tec 主导了二层膜设计的市场，并很快成为水脱盐处理的行业标准，直到现在这种类型的膜都占领了水脱盐处理的市场。

多年以来膜已有了很大的发展，但基础设计没有改变，如今已有好几家公司制造这种类型的膜。

二十世纪八十年代中期，Desal 开始进行三层复合膜的设计。在水脱盐处理方面这种膜很难和二层竞争，但在工业分离领域被证明可以工作得更好。三层膜更稳定，更不易阻塞污染。它们一般用于 RO 和 NF，对于处理许多较难的分离过程，也是最佳的选择。Desal 是唯一生产三层复合膜的制造商。

以下是根据膜的表面积来划分的全世界膜的消耗量。

复合 RO 膜	85%
复合 NF 膜	3~5%
聚砜 UF 和 MF 膜	5~7%
其它膜	3~5%

“其它膜”包括聚丙烯(PAN)、陶瓷材料(SiO_2)和纤维素(水解醋酸纤维素)等。

膜材料的选择

对于一个给定的分离过程选择合适的膜和膜材料是比较困难的，为了作出合适的选择必须先提供一些有关分离过程环境的概要信息。第一步现确定可取的过程(RO、NF、UF 或 MF)和适用的膜材料。可以选择对于过程环境最适合的膜材料。表 2(四种膜过程的比较)，表 3(产品和过程)以及表 4(一些膜材料的抗化学品性能)可能对膜的选择有些帮助。

表 4 一些膜材料的抗化学性能

	复合膜	CA	PSO	PVDF	PAN	SiO ₂	纤维素
3<Ph<8	√	√	√	√	√	√	√
Ph<3 或 Ph>8	√		√	√	√	√	√
温度>35℃	√	×	√	√	√	√	√
腐殖酸	(√)	√	×	×	(√)	×	√
蛋白质	√	(√)	√	(√)	(√)	√	√
多糖	(√)		√		(√)	√	×
纺织品	√		√	(√)	√	×	×
脂肪族烃	×	×	×	(√)	√	√	√
芳香烃	×	×	×	√		√	(√)
氧化剂	×	(√)	√	√	(√)	√	(√)
酮，酯	×	×		√		√	(√)
酒精	√	×	√	√	√	√	√

√ 表示基于理论的信息或在实践应用中有不确定性。

除了已经应用的案例外，膜材料的选择是比较困难的，因为可以考虑的往往不止一种材料。按一般原则，对于一个分离过程只有通过良好的计划和成功的试验才能为膜的选择提供最佳方案。

PH 和温度耐受力

在“膜材料”部分已讨论了不同的材料的 pH 耐受力。当确定一个膜过程的时候，仅仅考虑膜材料是不够的。膜有好多种构型(板框式、管式、卷式等)。同一个膜系统包括许多其它的组件，它们都有严格的 pH 限制。许多膜供货商规定的 pH 限制实际上是存在于整个膜系统中的限制，而不只是膜本身，在整个系统中耐受力最差的材料决定了整个系统的 pH 限定范围。

目前主要的膜类型是卷式膜组件，虽然以下的说法对所有膜类型都适用，但我们还是以卷式膜为例。

通常膜表面的衬背材料是一个限制因素。目前使用最广泛的衬背材料是聚酯(PE)。它具有非常良好的温度稳定性，但受限于高 pH 环境。因此，许多膜说明书中列出了最高 pH 11.5 的限制。然而，许多膜可以以聚丙烯(PP)作为衬背，它具有非常良好的 pH 稳定性，但温度受

限制，会给膜产品带来麻烦。因此我们的观点是当选定了合适的膜材料和膜构型后，必须确定这种组合对于耐受过程的工作环境是可行的。

由于卷式膜组件含有许多其它的不同的高分子材料，因此除了 PE 衬背材料外，还可能有一些其它的限制因素。一般**中心管**和**反套装置/内部接头**由 PVC 或 ABS 制成，这些材料都没有良好的温度耐受力。**聚砜(PSO)**是一种价格贵得多的材料，但是可以提供良好的 pH 和温度耐受力，因此它一般在工业过程中被选作中心管和反套装置/内部接头。

一个规定的 pH 限制一般有一个灵活的变化范围，在其它条件正常的情况下短时间超过范围不会有太大影响。通常低 pH 比高 pH 要好些。温度和 pH 同时超出范围一般都会引起较大的问题。

复合膜和氧化环境

目前世界上还在寻找能耐受 20ppm 次氯酸钠的用于 RO 和 NF 的好的复合膜。一些现有的**复合 RO 膜有氯耐受力，但它们仍不能满足目前的一般行业需要。**_____?_____。相反，多数**薄膜复合膜(TFM)能较好地耐受过氧化氢，至少在限制浓度、低温和较短持续时间的条件下。**

膜结构

从表面看，所有的 RO、NF 和 UF 膜都是非对称型的。这将多数膜和一般的过滤器区分开来，如咖啡过滤器，它们是对称型的，换句话说，在过滤器的两侧是对称的。

面向被处理的产品一侧膜有一个不透水的致密表层，这也称为皮肤层。它很薄，一般 $<0.1\ \mu\text{m}$ 。而膜本身在 $150\sim250\ \mu\text{m}$ ，大多数膜为皮肤层提供结构支撑。非对称结构意味着膜孔径远大于致密表层的孔径，这样可以避免膜孔被堵塞。因此膜具有较好的抗污染能力，污染物要么被完全截留要么全部通过。

以下是在较宽范围内列出的膜的孔径。

表 5 一般的膜孔径， μm

MF	5~0.1
UF	0.1~0.01
NF, RO	0.001 理论上

迄今为止，还无法用显微镜从 RO 膜和 NF 膜中观察到小孔，但水还是透过了膜而盐被截留了。这意味着自从制造出第一张膜后的 35 年来研究膜的科学家并不真正了解膜是怎样的或为什么有这些功能的，或至少他们并不了解其中的细节。而第一张膜是有人亲眼看到脱盐水通过膜而产生的。如果他只是通过显微镜来观察膜，则他可能会拒绝接受这个事实，因为显微镜中根本无法看到小孔，因此也不可能透过水。

尽管我们还无法了解以上的现象，但我们可以预言 RO 膜的应用将得到推广。而 NF 膜则更困难些。但如果现在有三种溶剂在一种溶液中，我们只能选作 NF 膜进行分离，当然必须先对进水进行精确而完整的分析。

表 6 膜制造商 1996 年以来主要制造商的不完全统计

	所属	公司 规模	管式 膜	卷式 膜	纤维 系统	陶瓷 膜		R O	N F	U F	M F	分离	水
ATM		小		√			美国			√		√	
DESAL	Osmonics	中等		√			美国	√	√	√		√	√
DSS		小		√			丹麦	√	√	√		√	√
Film Tec	Dow Chemicals	大		√			美国	√	√			(√)	√
Fluid Systems	Koch	中等		√			美国	√	√	√		(√)	√
Hoechst		小		√			德国	√		√		√	
Hydranautics	Toray	中等		√			美国	√					√
Kiryat Weizman	Koch	小	√	√			以色列	√	√	√		√	√
Koch/Abcor		中等	√	√	√		美国	√		√	√	√	
Membratex		小	√				SA			√	√	√	
Osmonics		中等		√			美国	√	√	√	√	√	√
PCI	Thames Water	小	√				UK	√	√	√		√	
SCT		小				√	法国				√	√	
Stork Friesland		小	√				荷兰	√				√	
Tami		小				√	法国				√	√	
Toray		中等		√			日本	√	√				√
Trisep		中等		√			美国	√	√	√		√	
XFLOW		小					荷兰			√	√	√	√

膜组件/组件设计

就象前面所提到的那样，目前市场上有许多种膜构型。

卷式构型占膜市场的主导。卷式膜的设计原本专用于水脱盐处理，但其紧凑的设计、低廉的价格已吸引了其它行业。经过了许多试验和失败后，重新设计的组件已经可以用于许多工业行业，如乳制品行业、纸浆和造纸行业、高纯水以及一些高温和极端 pH 的场合。但是，大多数膜公司只为极端项目提供一种卷式膜。

管式膜已存在较长一段时间了。它的设计简洁而易于理解。许多大学院校喜欢用管式膜，因此它易于计算雷诺数并将其传递系数理论化。管式膜有一个较大的优点，它们能较大范围地耐悬浮固体和许多令人讨厌的纤维。

但所有的管式膜有以下几个缺点：

- 占地面积大；
- 膜的更换困难且耗时多；
- 大口径(1 英寸)的管式系统能耗大；
- 内部体积大，周期性使用化学品和水冲洗和反冲洗耗费昂贵；
- 制造商改变管式设计投资大且困难。

有时管式系统的优点超过缺点，管式膜在市场上有一定的地位，虽然比较小。

板框式（板式）系统早先由 DDS 主导，并在欧洲占据乳制品市场 15 年了。在 1989 年~1995 年期间缺乏研发和居高不下的价格结构或多或少地扼杀了其设计进步。

目前在欧洲有一些新的适用的板框式系统。最有名的由 ROCHEM 设计。板式系统虽然价格较贵，但能提供周密而完善的设计。现代的板式系统可以耐非常高的压力，超过 100bar。因此在处理垃圾填埋沥出液和船上海水脱盐处理中需要极端压力情况下有一定的应用市场。

纤维构型（有一种例外）类似于管式系统。只是纤维的内径很小，一般<2mm。同大口径管式膜最大的不同点在于纤维系统通常无需支撑，它们上市容易但价格相当昂贵。纤维系统抗机械力差。因此它们一般仅在一定范围内使用，如纯牛奶超滤和乳化油等。

陶瓷膜构型也非常昂贵。理论上说，陶瓷系统对微滤（MF）非常有效。事实上，其市场非常小。

中空纤维构型早先由杜邦公司用于海水脱盐。由于需要非常严格的预过滤，它们几乎不用于销售。

卷式膜组件的分类和参数

市场上有许多种卷式膜组件。下表列出一部分。更多信息见 P16。

表 7 卷式膜组件的分类和参数

尺寸	组件外径；组件长度；中心管内径
外包装	纤维玻璃；带子；一些卫生级设计
组件末端	雄接头；雌接头
中心管	使用多种类型的聚合材料，聚砜成为工业应用的标准。
产品流道	30mil 相当于 0，75mm 47mil 相当于 1，20mm 90mil 相当于 2，30mm 甚至还有更宽的流道。(1mil-1/1000 英寸)

流道类型	菱形(标准); 市场上有些自由通道设计
膜支撑	聚酯; 聚丙烯
密封	U 形密封; 唇形密封; 无密封
ATD 防压缩装置	星形; 盘孔形(hole-plate type)?
胶水	较多类型

管式膜的分类和参数

表 8 管式膜的分类和参数

尺寸	管内径, 一般 1~0.5 英寸; 管长, 一般 3.3~5 米; 每个模块管的数量。
膜壳材料	不锈钢; PVC; 无支撑
端盖	在一个包内平行并列连接管子; 串联连接管子。

板框系统的分类和参数

“板框式”这个名称包括了许多不同构型的膜组件, 所有的都使用平板式膜。其它系统则包括卷式组件、管式膜或纤维系统。对于板框式系统, 除了它们都是平板膜外, 在组件中板和膜的排列有较大的区别。表 9 列出了主要的板框式产品。

表 9 板框式产品和组件列表 (不完全)

DDS M30	用作 RO 和 NF 的带有圆形膜的垂直组件, 这种构型已陈旧。
DDS M35-M39	编号 35~39 的具有椭圆形膜的一组平行组件。用作 UF 和 MF, 多数用于乳制品行业。特别适用于高粘滞性的产品。膜装于聚砒支撑盘上。
Millipore	正方形盘式系统, 多数用于实验室或小形制药产品。
Rochem	为圆盘—管式的 8inch 圆形膜, 用于 RO、NF 和 UF, 使用与卷式膜类似的膜壳。这种类型的组件的工作压力可以超过 200bar。
Rhone Poulenc	同位素正方形组件, 类似于一个盘式热交换器, 只用于 UF 系统。这种系统使用许多大的垫圈。几乎因陈旧而废除。
Valmet Flootek	CR 过滤器是一个独特的系统, 可以在很脏的水中操作, 还能达到高通量。但是其投资非常高。

纤维系统的分类和参数

表 10 纤维系统的分类和参数

尺 寸	纤维的内径 纤维的长度 每个模块纤维的数量
壳材料	不锈钢 PVC 聚砜

不同膜组件之间的比较见表 11。

膜组件和组件的比较

下表是不同类型膜组件和组件性能的定性比较。

表 11 几种膜组件的比较

	卷式膜	管式膜		板框式	中空促纤维系统	中空精细纤维系统	陶瓷
		高价	低价				
膜密度(m ² /m ³)	高	低		平均	平均	很高	低
设备投资	低	高	低	高	很高	中等	很高
污染趋势	平均	低		平均	低	很高	中等
清洗难易	易	易		易	低	不能	易
可变成本	低	高	低	平均	平均	低	高
膜的更换, 见“注意 1)”	不能	可以	不能	可以	不能	不能	可以
流量要求	中等	大	中等	中等	大	小	很大
预处理(也可见表 26)	≤50 μm 不含纤维	滤网		≤100 μm 很少纤维	≤100 μm 很少纤维	≤5 μm 严格预处理	滤网

注意：1)膜系统只能按一种方式设计，膜的更换意味着整个硬件的更换。但管式和板式膜换膜时可以仅换膜，其余系统不变。

✧ 卷式膜组件

膜壳设计 在市场上有许多不同的膜壳设计，可以根据材料(不锈钢和高分子)或功能(侧面端口进出或通过端盖进出)进行分类。

高分子膜壳一般都由加固的聚酯玻璃钢制成。这种设计已有 30 多年并工作良好。但也并不是毫无问题。它们在地面水和海水的脱盐处理中运用良好，但对其余的产品却有些问题。多数高分子膜壳使用一个拉紧环来稳固端盖。

不锈钢膜壳早先专用于乳制品行业。如今它们的应用已越发广泛了。结构上以侧端口作为标准。一些不锈钢膜壳的结构和玻璃钢膜壳相同，这样会造成其端盖的难以移开。不锈钢膜壳的内部需电镀磨光。否则几乎不可能将组件推进推出。

玻璃钢膜壳只有三种标准直径：2.5 英寸、4 英寸和 8 英寸。不锈钢膜壳则有一个非常宽泛的标准范围，且无标准直径。

不幸地是在欧洲，使用的大多数不锈钢膜壳运用的都是美国英寸度量标准，且标准的乳制品尺寸较常见，但 2.5 英寸、4 英寸和 8 英寸直径的膜壳却较难找到。

表 12 是以上内容的总结。

表 12 玻璃钢和不锈钢膜壳的比较

	玻璃纤维	不锈钢
压力	200bar	极少超过 80bar
温度	<50℃	<100℃
侧端进入	困难/很少	简单/标准
端盖进入	标准	非标/难用
卫生级	非	是(可能)
价格	100%	150~200%
2.5 , 4.0 " , 8.0 "	纯水标准	很少
3.8 , 5.8 " , 6.3 "	不适用	乳制品标准
6.0	军用标准	不使用
4.3 , 8.3 "	不适用	KOCH 乳制品标准

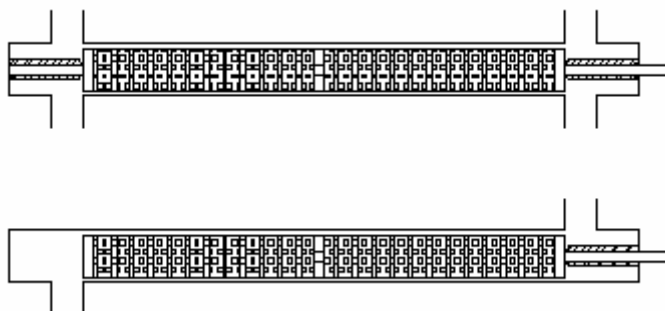


图 1

侧端进出口的不锈钢膜壳有两种：4 口型，使用这种膜壳可以作为无外部产品副件的模块，且另一种类型则使用内部副件的排列。(见图 1)使用者可以自己确定使用哪种类型，但事实上大多数的系统都建成外部副件型。

侧端进入型的主要优点是在卫生级系统中允许高流量。但在水脱盐中很少使用。

卷式膜组件的尺寸在当今是非常关键的。外径、组件长度和中心管的内径都没有标准化。因此更换组件使供货商变得非常困难，也给模块制造商带来许多麻烦。

每个膜壳内的组件数量—压降

为了确定每个膜壳内的组件数量，必须考虑以下几点：

- 首先确定使用的是 RO/NF 还是 UF/MF；
- 然后审查整个处理过程；
- 第三，确定每个膜组件能耐受的压降值。

以下两点应更值得注意：

- 传导膜压(TMP)(膜壳进口和出口之间的压力变化)；
- 通过每个膜壳的压降。

传导膜压代表了一个膜壳进口和出口之间的压力改变值。压力的降低是负荷通过膜组件的结果。具体例子见表 13。

我们很容易理解的是，如果进水压力是 10bar，则进出口之间的压力变化很小，并可忽略不计。但如果进水压力只有 1~5bar，那就完全不同了。因此，在一个膜壳中所有的组件最好有相同的传导压力。而在低压操作中，组件的最大数量将减少。下表将作出相应说明

表 13 卷式膜组件的压降举例

例如：一个膜壳中有 4 个组件，每个组件的压降是 0.7bar，相当于每个膜壳的压降为 2.8bar。		
进口压力， bar	出口压力， bar	平均传导压力， bar
4， 0	1， 2	2， 6
16， 0	13， 2	14， 6

表 14 每个 40" 组件的压降(bar)

组件类型	Mil	尺寸	最大运行压力， bar	一般压力， bar	最终用户使用压力， bar
标准纯水	30	2.5	0.7	0.3	0.1~0.7
		4.0			
		8.0			
乳制品	30	3.8	1.0	1.0	0.7~1.2
		4.2	1.0	1.0	0.7~1.2
		5.8	1.0	0.7	0.5~1.2
		6.3	1.0	0.7	0.5~1.2

特殊场合	47	4"	1,2	1,0	0,5~1,0
	90	4"	1,2	1,2	0,5~2,0
	90	6"	1,0	1,0	0,5~1,2

表 15 每个膜壳内的组件数量

	RO	NF	UF	MF
纯水： 一般 范围	6 1~8	6 1~6	3 1~4	2 1~2
液体分离： 一般 范围	4 1~4	4 1~4	3 1~3	2 1~2

膜和系统的局限性

温度

膜的一般简介

以醋酸纤维作材料的膜有其本身的温度限制，其上限操作温度大约在 35℃。

PSO、PVDF 和 PAN 材料能耐较高的温度。PSO 和 PVDF 膜据称可在 95℃下操作而没问题。PSO 的操作温度更可达 120℃。

一般来说复合膜的操作温度至少可达 80℃，在低压情况下，它们可经受更高的温度，如热消毒时。

膜系统的耐温能力大多数情况下并不仅受膜本身的温度限制而限制，而更主要受膜的构型和膜系统中的其它组件的限制。

◇ 卷式膜组件

一般卷式膜组件的温度上限为 45℃。这个限制对用于水脱盐的标准组件是有效的，但目前市场上已有能耐更高温度的卷式膜组件。虽然在水脱盐中 45℃并不是一个最高温度限制，但对于食品和分离行业的个案却有问題。经过了许多试样和失败后，一些公司已经成功地研制出了耐温稳定的膜组件。

多年来用于乳制品行业的组件已可以在比供货商原先说明的更高的温度(和压降)下操作了。如今，在乳制品行业标准组件的真正温度限制是 55℃，在正常操作中很少会在这个温度下操作。

一种新型的具有标准的 30mil 菱形流道的组件可以耐受更高的温度。这种组件的销售名称为 Duratherm®。这些组件可以在 70℃下持续操作，短时期可加温到 90℃，而同时可保持正常的膜使用寿命。但必须注意通量，并保持低于 35lmh，这样可以确保操作压力保持低压。关于标准进水流道的使用，这种类型的组件只用于纯水操作。

有较宽进水流道的组件可以在进水含较高溶解性固体的情况下操作。标准膜组件使用 50mil 的流道，但较宽的流道可达 90mil，可以处理较难处理的液体。用这种类型的膜，这些组件可以持续操作在 90℃温度下。来自 DESAL™ 公司的此种类型的膜其销售名称为

DURATHERM®EXCEL。好的温度稳定性可以确保这些组件彻底灭菌，或者它们可以持续操作在理论上微生物不会有任何生长的温度下。

膜的超滤中的膜可以喜爱 80~90℃ 下操作多年。最近一个个案表明除硅石的蒸发器冷凝物的 RO 处理其操作温度接近 90℃。

记录表明：DESAL™ 膜组件已经在工业领域起主导地位，可以在 140℃ 无水操作。这可能已经非常接近高分子膜的极限。

表 16 卷式膜已经的温度限制

		持续最大温度, °C	短时间最大温度, °C
标准纯水组件	最大温度, °C (最大压力, bar)	45 (42)	50 (42)
4", 6" 乳制品组件	最大温度, °C (最大压力, bar)	50 (42)	55 (42)
DESAL™ 组件, 特殊流道	最大温度, °C (最大压力, bar)	45 (42)	80 (5)
Duratherm®组件	最大温度, °C	70	90
Duratherm®EXCEL 组件	最大温度, °C	80	90

请仔细阅读供货商提供的有关膜组件的说明书，关注如 pH、通量和压力等方面的限制。

高温操作一个正面的影响是：高温可以增加通量(见优化压力和温度一节)。90℃ 下操作可以在相同压力下将通量从 100% 提高到 300%。但更好的方法是将压力(NDP)减少到三分之一，这样可以减少电耗。

高温一般被认为问题比较多。但作者也经常发现：即使在高温下比常温必须对一些细节予以更多的关注和重视，但高温膜操作还是有许多优点。我们应注意主要的原则：温度越高，必须越关注其组件和膜的物理特性。

一过大的传导膜压力将使膜变得非常平(压紧)，导致不可挽回的通量的下降。

一过大的压降将导致膜和/或构件的高分子材料移动，有时破裂，最终导致膜的彻底损坏。除了卷式膜外的其它系统。

- 纤维系统一般可耐温达 80℃；
- 无支撑磨管的低价管式膜系统一般注明最大操作温度为 35℃；
- 有支撑的高价管式膜系统，如一个不锈钢的支撑排列可以耐温超过 80℃；
- 中空精细纤维系统温度限制<50℃；
- 板框式系统，根据实际设计，操作温度可>80℃，但一些较陈旧的系统在高温操作时压力稳定性有些问题。

压力

所有的膜对压力都是敏感的。“压紧”(compaction)一词常用于描述由于压力而导致膜的不可反转的“变平”。除了膜本身受到的危害外，其至关重要的是要有适当的支撑，防止压力将

膜挤压入支撑材料。

因此仔细地阅读和遵守供货商的说明书是非常重要的。通常这类说明书不仅基于理论计算而且得之于实践经验，因此我们何必去重复别人的失败经历呢？

表 17 典型的压力限制，bar

	标 准	特 殊
管式膜，有支撑	42	70
管式膜，无支撑	7	—
管式膜系统	42	70， 120
板框式系统	40	200
粗纤维系统	25	—
精细纤维系统	70	200

“压紧”是由于压力和温度引起的。(见表 18)

表 18 避免压紧的指导方针(不适用于 CA 膜)

压 力	<20bar	压紧最小
温 度	<15°C	压紧最小
	15~50°C	限制压力最大 30bar
	>50°C	可能引起严重压紧
	>80°C	保持压力低于 5bar，有些不可避免的压紧

关于膜的最大允许温度和压力没有固定的准则。表 18 内的指导方针除了 CA 膜外适用于所有的膜。表 18A 提供了一些用 Wagner 单位换算的关于温度/压力关系的一般原则。注意：**温度比压力更危险！**因此，当操作接近上限温度时，建议尽可能限制压力。

表 18A 避免或使压紧最小化的指导方针

压力(bar)×温度(°C)=Wagner 单位	
<1200	安全操作，标准组件
1200~2000	较困难，特殊组件设计

>2000	很困难，不太可能实现，非常特殊的组件设计
-------	----------------------

pH

除了 CA 膜外大多数的膜对极端 pH 有较好的耐受力。一般对许多膜主要的限制是因为使用了聚酯衬背，经实践应用其 pH 上限为 11.5。在很高的 pH 值下许多膜的性能将发生改变，但还可以用。多数膜在低 pH 值下比较稳定。

表 19 不同膜材料的 pH 限制

	pH 下限	PH 上限
PSO *)	1	14
PVDF	0	12
CA	4	7
TFM	1 **)	12 ***)
陶瓷	0	12~14

*)同时低 pH 和高温可能减少水通量，有时会达到零，并不可逆转。

**)目前的趋势应增加 TFM 的高 pH 稳定性。

***))在室温下有效。温度提高膜的损坏老化将加快。不同类型的聚酯胺薄膜在低 pH 下稳定性方面有较大不同。

进水流量

对膜没有绝对的进水流量限制。但膜或组件的机械强度对其有所限制。

粘性

进水的粘度本身并不是个问题，但高粘度将导致较高压降。因此只要压降允许，通量满足要求并稳定，粘度才不能为操作问题。可见除了高粘度进水对于一个膜系统来说不仅是个膜的问题，更是一个工程问题。

系统组件

一个膜系统不仅仅包括膜本身。本节将看重讨论膜系统中的主要组件。

加热/冷却和热交换器

在膜系统中常用多管(管式和壳形)热交换器用于加热和冷却。加热或冷却的介质在管子外面，而产品在内部。这种结构可以耐高压，因此可以耐压达 70bar 的设备还是比较常见的。

多管热交换器其工作方式不同于传统的盘式热交换器。主要不同点在于：

- 在一个信道内产品的温度变化很小，一般仅 0.5℃或更小；
- 相比于热交换介质的流量，产品流量大。

由于产品的冷却需求不仅仅为了产品的加热或冷却还受水泵能耗的限制，因此一般选择多管热交换器。温度一般能保持一段较长时间。而通过一个多管热交换器的压降都比较低。

多管热交换器可以从 APV-Pasilac 和 Uniq Filtra tion 公司处购买。

阀门

在膜系统中不同行业需要不同类型的阀门，以下是一些例子：

- 乳制品行业：卫生级蝶阀和针式阀；
- 纯水行业：球阀和针式阀；
- 纸浆和造纸行业：任何型号，多数为球阀；
- 废水专案：任何型号，多数为球阀。

一些机械工程师声明，球阀和蝶阀不能用于流量或压力控制。理论上这可能是对的，但在膜行业中实践同这种观点相矛盾。这些类型的阀门用于控制目的比较困难，但也不是不可能。球阀和蝶阀的一个有利的方面是，它们具有允许流量和压降有较大不同的性能，如此被用来获得生产和清洗的正确条件。

在膜系统设计中一个主要头痛的问题是低体积浓缩率的回流设备，这意味着系统必须根据小流量浓缩来控制。在这儿用的阀门是一种针式阀。如果浓液中不含有悬浮固体，这种类型一般能运行良好，但很少的悬浮固体却能通过针式阀，严重阻塞浓缩口而导致控制问题。

当在含有悬浮固体很多的液体中操作时，控制问题可以通过“止水浓缩阀”来解决。方法如下：系统中安装有两个定时器和一个自动阀，此阀一般情况下全关。定时器 1 控制阀门开启的周期长度，定时器 2 控制阀门开启的时间。当定时器 1 启动时，浓缩阀全开，浓缩快速进行。当定时器 2 启动时，浓缩阀完全关闭。用这种方法可以得到精确的浓缩控制。

用于浓缩的控制阀对在反冲洗过程(CIP)中所需的大水量来说太小。因此，需要平行于浓缩阀安装一个反冲洗阀门，(见图 2)，反冲洗阀一般是一个 3 或 4 路蝶阀，如果从 T 形接头到阀门的管道的长度短于或等于管道内径的三倍，这种设计可以被认为是卫生级的。在 RO 系统中，可能可以使用一种大口径的低压活塞阀，虽然这有些违背原则。其诀窍是通过挤压出口的密封将高压引向活塞的一侧，换句话说将水流引向标准方向的相反，在生产过程中，压力使阀门保持关闭，阀门无法打开。在反冲洗和冲刷过程中，管线的压力很低以致阀门无法打开。(发明者：Tom Sirnes)

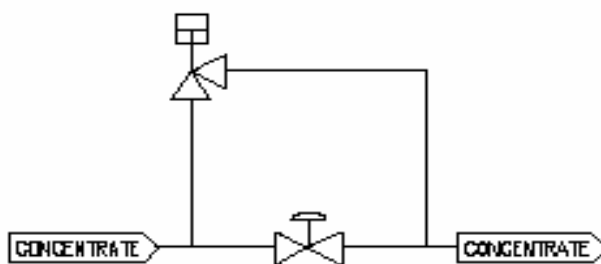


图 2 浓缩阀

根据教科书所说，球阀和蝶阀由于其性能因素不适合用于调节。但经验表明这类阀门在膜过滤工厂中可以用于调节。

泵也可用作特殊的阀门。在处理有高粘度产品和许多悬浮固体的液体的系统中，带变频器的正位移泵可以用作背压阀。这也可以用来剪切敏感产品如蛋白。

压力测量

在膜过滤系统中压力是驱动力，必须被监测。以前只可以使用含有振动板的测量仪，并且必须经过充分减振。使用 Bourdon 类型的测量仪的一个主要问题是无法调节并且无法精确地读出压力。

本人喜欢使用**压力变速器**，因为它们可以提供更加精确的读数并很容易标定。采用信号

可以用于数据记录，并实现膜系统的电子控制。压力变速器的精确度一般高于 Bourdon 类型的测量仪 10 倍，这对于膜系统中压降的确定非常重要，是一个非常重要的测量参数。如果压降的增加超过正常值，而流量条件正确，那么表明发生了物理缩比例或膜阻塞。

用普通的测量仪几乎无法测量压降，因为对于一个 40bar 的操作压力，压力测量仪可能的最大压力指示会达到 60 或 100bar。即使是很好的压力计其误差值有 1%，通过转换达 1bar。为了计算压降，用读出的进口压力减去出口压力。如果一个压力计显示 40bar，另一个为 38bar，由于压力计本身的误差，真正的差值一般在 0~4bar。换句话说，压力计导致较高的错误结果，而压力变速器可以提供更可靠的资料。

流量测定仪

在膜系统中需要严格的流量测量和控制。一般使用转子流量计，它们在由操作员进行日常读数的系统中足够了，但也有些缺点，它们一般只提供一个视觉的读数而不提供可以数据记录的数据。因此，如果产品是比较混浊或带有颜色，它们几乎没有用，且如果产品的密度或粘度不同于水它们的读数也不正确。总之，它们只能用于日常监测。

如今一直使用的流量计是电磁流量计。虽然电磁流量计看起来较贵，但它非常精确，可以测出系统中的实际流量。丹麦 Sikeborg 公司的 ProceData 流量计价格不贵且质量相当好，可以满足乳制品行业的卫生级标准，还有许多大的电磁流量计供货商，如 Krohne(德国)、Siemens(德国)、Fischerard、Porter(英国)、Danfoss(丹麦)。

市场上多数流量计都用于普通场合，其实还有许多其它的类型，如 Burchert 流量计使用一个小的信号装置指示流量。由于这种流量计可以耐受 90℃ 高温和高压，因此可以用于许多案例的测试。但不适用于流量大、产品中颗粒和纤维多的场合。

我们应特别注意透过液流量计。这里的问题主要是用于生产和反冲洗循环过程的透过液流量计是很不同的。在超滤系统中，反冲洗流量一般要高 10~30 倍。在这种情况下，流量计变成了一个喉结，这不是我们所希望和接受的。解决的方法之一是为反冲洗装置设置一个旁路阀，另一种方法是选择的电磁流量计口径应同时适合于生产和反冲洗的流量。

极少的流量计能耐受 RO 和 NF 系统中的压力、pH 和温度。因此为这类膜过程选择流量计时必须特别注意。

储罐设计

膜系统中使用的储罐为了便于排水彻底应作成圆锥形或斜底。否则一些颗粒、晶体或其它沉淀物质将积在储罐底部，迟早导致一些化学的、机械的或生物细菌的问题，或者三种问题同时发生。同时储罐的盖子应较松，便于冲洗和人工清洗。

不管是否可能，储罐内部不设加热盘或液位开关也是非常重要的。所有的测量装置应该置于储罐外部。液位控制最好使用压力传感器，温度测量装置可以用管子连通装置而不要置于储罐内。

储罐最适宜的材料是不锈钢。其它多数材料都有内在的温度限制。

在大型的超滤(UF)系统中，一般在进水平衡槽旁设置一个渗透液槽，按一般惯例是建两个储罐作为一个溢流单元。这样可以在生产过程中将透过液和浓液分离开，但是当把超大流量作为透过液时，在冲刷过程和反冲洗过程中允许透过液自流入进水平衡槽，这样的作法在许多膜系统中被证明是很切实可行的。

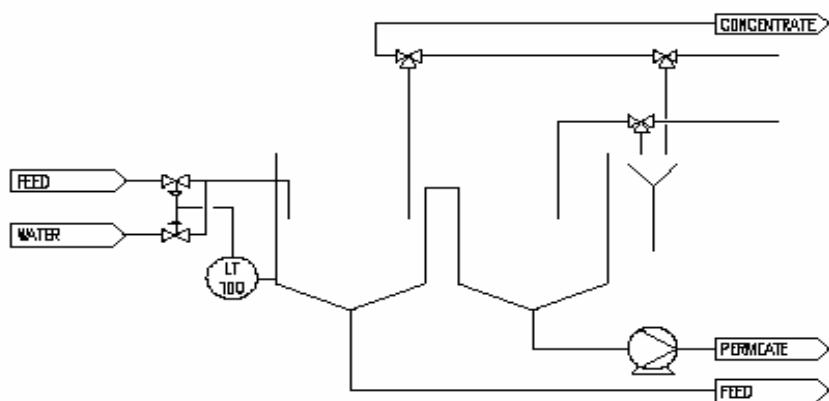


图 3 两个进水储罐

使用一个压力传感器和两个气动阀可以使液位控制比较便宜。储罐内的液位传感器可以将液位转换成 3~15psi 的信号，而两个控制进水和出水压力的气动阀负担各自的范围，一个在 3~9psi(水阀)下操作，而另一个在 9~15psi(产品阀)下操作。见图 3，两个进水储槽。Uniq Filtration 生产了用于食品行业的卫生级液位传感器。

当储罐是空的时候，两个阀门全开。当液位上升时，水阀全关，到达某一稍高液位时，产品阀门开始关闭，准备调节进入储罐的产品的量。这是一个很好的方法，供水作为一个安全措施，也使清渣和清洗变得容易，开始清渣时，先停止产品流量。

我们建议采用手动的可调节的压力传感器进行进水阀门的调节；这种方法比较简单，而在实际运用中工作良好。

夹子、法兰和螺纹

在所有的项目中被证明使用良好、稳定、可靠的唯一的连接系统是**三叶型夹子**(Trillaer type clamp)。虽然此类夹子价格有些贵，但它对于夹住直径 6 英寸内的管件时有许多优点。**对于直径超过 6 英寸的管件，一般使用其它品牌的高质量法兰，因为三叶夹子(Tri-clamp®type)允许的压力有限。人们不太接受三叶夹(Tri-clamp)，但还被广泛使用，Tri-clamp®的名称已被广泛使用，且被用来取代传统的 Triclover 产品的名称。**

如果是经济上的原因，不应使用**螺纹接头**。因为它们**不够卫生且难于正确地拆卸和安装**。

法兰的类型很多，但卫生级的实际上只有一种类型，它们一般都是体积庞大且重，因此一般用于化学工业。

结构材料

根据作者的观点，有一个简单的原则可以避免膜系统中的许多机械问题：在膜系统中**和液体接触的所有部件和设备都使用高质量的不锈钢**。这听起来似乎是一个昂贵的建议，但是当您经过几年的操作运行后，看到了高分子材料、非不锈钢材料的失败和缺陷，不得不耗资改型时，对于我的建议就不会感到奇怪了。和分离液体直接接触的组件不能使用普通的钢铁，否则铁锈的形成，并且铁屑、薄片进入膜系统将带来无数的麻烦。

在许多行业中，使用不锈钢作为结构材料不仅普遍而且还是强制性的，象乳制品、制药和石油化工行业。在水脱盐处理一般还使用 pvc、铜和一些低档的不锈钢。但实践证明，长期运行后，其缺陷将较难被接受。

一般直径 3 英寸以内的不锈钢的价格还较易被接受，甚至直径 4 英寸的也不是太贵。但 4 英寸以上的价格却涨势惊人，因为大口径不锈钢的需求量很小。

注意“不锈钢”这个定义并不是很确切，因为**材料的耐腐蚀性只是在特定的条件下的**。

例如，北海(North Sea)的海水问题较多，但可以用普通不锈钢处理，大概是因为海水较冷。而来自红海(Red Sea)的海水比较温热，具有很强的腐蚀性，因此需要使用更好、更贵的不锈钢。

在膜系统中，**有效的清洗系统有助于防止不锈钢的部分锈蚀，而且终有一天通过彻底地清洗可以解决这个问题。更好的清洗方式可以用硝酸使不锈钢表面钝化。实践证明这种操作可以使系统保持许多年，除非系统很快被腐蚀。**

在膜系统中一般只使用高质量的高分子材料，包括聚砜(PSO)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、C—PVC、Delrin 和一些其它耐化学品、耐温的机械强度较高的材料。然而，在低价水市场中应用最广泛的是聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)，因为对于这类场合它们已可以适用了。

以下产品是纯质材料：

ABS—在水脱盐系统中是非常有用的材料；

Delrin—亦称为 DOM；是一种非常好的材料，最大的缺陷是抗低 pH 环境的能力较差；

PE—聚乙烯化学稳定性好，但温度稳定性有限；

PP—聚丙烯是一个纯化学的耐受力强的高分子材料，温度稳定性有限，但已有增强的趋势；

PSO—在膜应用工程中有许多不同类型的聚砜材料。在膜系统中它具有完全地耐温和耐 pH 能力。其主要缺点是易脆，且对酮和芳香族化合物较敏感；

PVC—PVC 大都用于低压管，价格便宜，但有很严格的温度限制，只能用于无特殊要求的项目，如地面水脱盐等；

C—PVC—氯化 PVC 比一般的 PVC 的温度稳定性更好些。但目前由于 PVC 行业的政治原因可能在将来会把 PVC 材料排除在外；

PVDF—一种非常好的材料，但价格相当贵，其热稳定性好，且化学稳定性几乎和特氟隆(Teflon)一样稳定。

以下是一些复合材料：

GRP—玻璃纤维增强聚酯(玻璃钢)被广泛应用于膜壳。虽然它有一些明显的缺点，但已成为水脱盐处理中的标准材料，其主要的优点是防腐性能好，价格低廉；

Epoxy(环氧)—一种仅由德国 Membrtec 制造的很特殊的类型，膜壳是薄壁型的，但不能耐高压。

确定垫圈的材料往往是一个容易被人遗忘的部分。在许多场合经常适用 EPDM。在这里，不要仅为了省钱，象腭橡胶这种便宜的材料使用寿命短。因此每次更换垫圈的费用和麻烦都比较大。

管道

在膜系统中许多管道，通常很容易找到需要材料。**通常乳制品类型的管道最好，且价格最便宜，只因此其生产数量庞大，乳制品管的内壁的质量和性质非常好。**

由于焊接产生许多潜在的腐蚀危险，因此应尽可能避免焊接。在管道系统中使用抽拔方式制造 T 型接头和支管。这种方式在乳制品行业应用广泛，且对薄壁管道很容易制作。

泵的类型和选择

没有泵，没有膜过滤！这个道理非常简单。有幸地是，可供选择的泵很多。但在膜过滤过程中只有几种类型适用。

在膜系统中泵是一个薄弱环节，而且单靠泵也不可能做到太好。以下是在膜过滤系统中使用的泵的类型：

- 单级离心泵
- 多级离心泵；
- 活塞泵；
- 隔膜泵；
- Mohno 类型的泵(很少使用)。

膜系统需要每年 365 天，每天 24 小时连续运转，因此泵的质量必须能满足这个要求。膜系统的操作条件经常与泵供货商提供的数据不符，因为系统的流量和压力的变化比较大，很少位于设计点。

大多数场合都使用普通的带封闭叶轮的离心泵(3000/3600rpm)。对于乳制品行业离心泵特别有用，因为它们具有“单一”的特性，有利于用作循环泵。

正位移泵若不是特别需要，一般应尽量避免使用。因为它们价格较贵、笨重，且大多数振动大而引起管道系统的震动。因此必须设置一个安全阀避免管道系统和膜的损坏。在大型系统中可以换用离心泵。但由于离心泵很难达到低流量高扬程，因此对小型的 RO 系统需要使用正位移泵。作者也注意到，一些厂内使用正位移泵，但这并不能改变避免使用正位移泵的一般建议。

应该特别注意循环泵的使用。主要的问题是因为虽然由泵增加的压力比较小，如 2bar，但进水管线中的压力可能已达到 40bar，因此循环泵的安装必须非常坚固，其机械密封必须特殊设计。泵的轴向轴承也必须非常坚固。这种不太多，且价格昂贵。在欧洲，有五家公司占领了这个市场。他们是：APV—Pasilac，Stamp，Grundfos，Tetra Laval 和 KSB。

泵的类型

定 义	
低速	转速低于 3600rpm
高速	转速高于 3600rpm

单级离心泵

✧ 低速

一般低速离心泵用途比较广泛，其转速规定如下：50Hz 电流 3000 转/分钟；60Hz 电流 3600 转/分钟。也可以使用更低转速的，但投资也将相应增加。低速主要用于大流量。

当流量超过 100m³/h 时，可以考虑使用 1500rpm/1800rpm 的泵。有些泵可以操作在 1000rpm(在欧洲)，它们的主要优点是效率非常高。有些用于糖加工业的大流量泵可输送 6000m³/h，其初期投资可以因其低能耗而得以补偿。

泵一般使用封闭式叶轮，这样对产品的处理比较温和，且效率高。在膜过滤厂中使用的泵极少使用开放式叶轮。

✧ 高速

高速离心泵主要用于海水脱盐。在市场上有一些不同类型的高速离心泵。

Sunstrand(美国)公司销售转速在 30000rpm 以上的一级离心泵已有很多年了。这意味着一级离心泵可以传递 70bar 或更高的压力。小一些的泵的效率会比人们所期望的低些，而大泵的操作效率比较合理。小泵真正的优点是泵壳较小，但需要复杂的齿轮箱，且噪音大。这些年

为了更高效的多级离心泵人们展开了激烈的竞争。

Enviro Tech(美国)公司销售一种特殊的泵, Roto Jet, 其整个高压端是静态的。带水的鼓室快速旋转, 一根皮托管插入鼓室外围高速运行的液体中, 将液体的速度动能转化为压力能量。泵设计方案使我们看到产生压力的皮托管。这是一种不同寻常的设计。

多级离心泵

✧ 低速

多级离心泵使用得很多, 且似乎有一根行业标准: 其输出最大压力为 26bar。压力在 26bar 以下的泵比较容易做, 而超过 26bar 则比较麻烦。

Grundfos(丹麦)公司在欧洲是流量大于 50m³/h, 压力小于 26bar 的泵的市场领导者。他们同欲分享市场的其它泵生产商展开了激烈的竞争。这些泵往往可以运行许多年而不需要维修。还可以在恶劣的环境中运行, 如带有破坏性的冰冻环境。

Tonkaflo(美国)生产用于 RO 系统的泵。其在欧洲不太出名, 它们和 Grundfos 形成竞争。Tonkaflo 泵传递压力可达 40bar, 因此在超过 26bar 高压场合销售良好。

KSB(德国)生产很多类型的泵, 大多用于工业场合。他们也生产很有趣、大型的工业多级离心泵, 它们可以在高压下传输每小时几百立方米的流量。

Sulzer(瑞士)制造的泵类似于 KSB, 但不如 KSB 有名。

✧ 高速

Grundfos(丹麦)公司可以生产运行转速在 5000~6000rpm 的多级离心泵。这种类型的泵通过几级压力达到 70bar。它们通过一个扁的带式装置达到这个速度。通常由一个 Pelton 涡轮驱动, 同时由反渗透离心机驱动(能量回用)。

正位移泵

正位移泵不管压力如何, 传输几乎恒定的流量。当然也有些实际的应用限制。正位移泵的种类挺多, 其中有一些一说起来一比其它的更“正”一些。

✧ 活塞泵

最初的柱塞泵有一个或多个活塞。市场上有许多生产小型、三个活塞的柱塞泵, 但只有很少的产品适用于膜系统。

✧ 均质泵

是一种价格非常昂贵, 但也非常牢固的泵。主要用于牛奶均质和其它一些含脂肪的物料的处理。

✧ 隔膜泵

和均质泵一样好, 价格更贵。一般用于低流量和高压的场合。

所有的正位移泵都会在管线系统中引起震动。一般安装震动缓冲器, 只要运行良好有助于减震。但还是有些震动, 长时间运行后会引发管线破裂以及螺钉螺母松动等问题。在实验室中, 很难避免使用正位移泵。而在工业系统, 则被尽量避免使用。

预处理方法和策略

预处理的策略可以有非常广泛的目的, 有时还可能完全相反. 见表 25。

表 25 预处理

增加溶解性	PH、温度及综合因素
降低溶解性(使结晶化)	控制结晶化，使产生微小晶体，如加热并保持
延迟结晶化	使用阻垢剂
减少低溶解性的溶质	使用离子交换介质(如钙—钠交换)
减少悬浮固体	使用过滤器、离心分离机、沉淀、沉降、浮选
减少有机溶剂	蒸馏
减少重金属、氧化重金属	$\text{Cr}^{+6} \rightarrow \text{Cr}^{+3}$, $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$ ，以氢氧化物形式沉淀
杀死微生物	巴氏杀菌法、消毒和化学处理，同时去除死去的微生物
微生物变异的高度浓缩	蛋白的发酵
在反渗透前去除不溶性的有机固体	使用纳滤或超滤，例如去除腐殖酸或不溶解的矿物油。

料液中的悬浮固体是非常难处理的问题。到目前为止，一般采用的预处理方法是传统的过滤。在最初的乳制品行业中也会使用离心的方法。

微生物代表了一个特殊的问题。不管它们是死或活，都可能阻塞膜片。活的微生物可能通过自生的新陈代谢产物或与料液中的细菌反应而引起阻塞。死的微生物的细胞残害，主要是细胞膜，可以引起阻塞。从物料中去除细胞残骸和新陈代谢产物是非常困难的，因为由细胞产生的各种物质一般具有抗氧化能力和抗高 pH 值环境的能力。

表 28 和表 29 列出了在预处理中使用的常规方法。虽然能列出的预处理方法非常多，但一般使用的方法很少。因此，如果你需要处理一种没有在此列出的产品，可以采用在此表中列出的同类产品相同的预处理方法。虽然这部分信息是通过行业整理的，也可以象以下列出的那样，通过产品的类型归类。

例如：

蛋白质：奶酪、奶类(母牛奶、羊奶、马奶、水牛奶)、黄豆蛋白、豌豆蛋白、酵素蛋白、血浆、鱼刺水和鱼冻。

多糖：角叉(菜)胶、果胶、琼脂、树脂、黄原胶。

果汁：苹果汁、梨汁、菠萝汁。

预过滤的要求变化很大。管式膜对料液中的颗粒有耐受力，其它的所有系统都要求对料液进行过滤。表 26 提供了一些指导。

表 26 预过滤要求

	流道	亦可见表 11
管式系统	1 英寸	过滤至毫米级
管 系统	0.5 英寸	应在 0.5mm 左右

纤维系统	<2mm	必须达 100 微米或更小
板框系统	<1mm	必须达 5 微米或更小
卷式组件	90mil	必须达 100 微米或更小
卷式组件	47mil	必须达 5 微米或更小
卷式组件	30mil	必须达 10 微米或更小
中空精纤维系统	未定义	非常敏感，建议物料进行超滤或微滤

表 27 列出了在膜表面发现的最常见的物质。

表 27 与膜相对抗的物质

对抗物质	无机材料	有机材料	生物量	纤维
酸	×		×	
海藻				
氢氧化铝($\text{Al}(\text{OH})_3$)	×			
氧化铝(Al_2O_3)	×		×	
细菌				
硫酸钡(BaSO_4)	×			
碳酸钙(CaCO_3)	×			
磷酸氢钙(CaHPO_4)	×			
阳离子		×		
动物卵黄系带		×		
氢氧化铬($\text{Cr}(\text{OH})_3$)	×			
染色、聚酰胺、聚酯、棉制品		×		×
脂肪		×		
纤维(纺织品)		×		×
过滤器	×	×		

提纯(水果、奶酪、酵素等)		×		×
凝聚剂				
青草、大麻			×	×
油脂		×		
头发			×	×
腐殖酸		×		
氢氧化铁($\text{Fe}(\text{OH})_3$)	×			
橡胶		×		
碳酸镁(MgCO_3)	×			
氢氧化锰($\text{Mn}(\text{OH})_2$)	×			
中密度玻璃纤维排水		×		×
金属锉屑	×			
油		×		
油漆		×		
造纸加工排水	×	×		×
蛋白质		×		
纸浆排水	×	×		×
砂、二氧化硅(SiO_2)	×			
硅油	×			
淤泥	×			
溶剂		×		
硫化锶(SrSO_4)	×			
酵母、发酵粉			×	

表 28 预处理方法—1

	物理法	化学法	加热法	电化学法
--	-----	-----	-----	------

离心/分离	×			
联合体		×		
不溶性空气浮选	×			
电子凝聚作用		×		×
过滤器	×		×	
絮凝作用		×		
加热并保持	×			
膜	×		×	
臭氧		×		
巴氏杀菌法				
PH		×		
沉淀	×			
蒸馏	×			
热交换			×	
UV				×

表 29 预处理方法—2

	乳制品	食品	废水	应用水	处理水
离心/洗涤机	×	×			×
复合物				×	
不溶性空气浮选			×		×
电子凝聚作用			×		
过滤器	×	×	×	×	×
絮凝作用			×		
加热并保持	×				
膜				×	×
臭氧，氯气				×	

巴氏杀菌法	×	×			
PH	×	×			
沉淀			×		
蒸馏		×			×
热交换	×	×	×		×
UV				×	
UV+H ₂ O ₂			×		

名词“过滤器”代表了许多类型的过滤器。一般大都是终端过滤器，但也存在错流过滤器。大多数与膜过滤系统相连接的过滤器有套筒过滤器、袋式过滤器、砂砾过滤器、移动带式过滤器、预涂助滤剂的过滤机。

藻类、细菌、酵母、vira?

一般原则上藻类、细菌、酵母、vira 等的计数应少于 100 个/ml。然而有时即使少得只有 10 个/ml 也会成问题，但 10⁸ 个/ml 却不一定有问题。因此，必须咨询有经验的工程师，因为经验和试验是选择合适的预处理方法时唯一可靠的方法。

在常规的过滤方法后增加热处理或加氯消毒也有一些成功的案例。

生物堵塞

“生物堵塞”一词一般用于描述微生物、细菌、酵母、细胞尸体或新陈代谢产物的沉淀。生物堵塞远没有很好的界定，但不管怎样，一般经验表明它很难去除。预处理的成功仅限于证明物料中有一些非常小的细胞物质，膜过滤装置可以在细菌安全的温度下进行操作。

只要不间断地处理，有一些预处理方案可以达到抑制或阻止微生物生长的目的，但一旦处理停止，细菌将在留下的一些液体中继续生长。但也有两种情况是例外的：

- ✧ 加入强化学剂，如足够浓度的次氯酸盐并过量，确保阻止微生物的继续生长。
- ✧ 在 75℃ 或更高的温度下加热和操作，这种方法一般除了用在一些系统，如高纯水、处理纸浆排水和处理蒸汽冷凝水外不常被使用。

血浆

血是屠宰场的副产品。有些地方直接把血浆倒入下水道，有些地方则将它们收集以来后和其它废料混合后在非常高的温度下蒸干。高质量的血浆制品有一定的市场需求。

如果极少或没有足够的钙，血就不能凝结。因此阻止血的凝结可以添加钙的结合试剂。大多数情况下添加柠檬酸钠，但有时也用磷酸钠。如果使用膜处理血浆，柠檬酸盐和磷酸盐的添加是非常重要的预处理方式。只要确保没有污染，血浆可以以某些方式直接抽取，但在抽取过程中必须马上添加柠檬酸盐或磷酸盐，同时血浆应该马上处理。

用膜处理全血时比较困难的。一般先通过离心作用从全血中去除红细胞。重要的是为了避免细胞破裂，离心过程必须相当柔和。细胞的破裂将释放血红素进入血浆，使膜的过滤过程以及随后的设备清洗工作复杂化。如果没有来自血红素的红色，这种血浆制品的质量一般被认为是较低等的。

角叉胶

这种产品是在非常高的 pH 值下从海藻中分离出来的，含有高浓度的悬浮固体。

角叉胶的分离一般都必须进行预过滤。大都在超滤前使用预涂助滤剂的过滤器。预过滤从去除一定数量的蛋白质、色度以及悬浮固体开始。使用辅助过滤器、硅藻土并在超滤系统前使用一个保安过滤器是很有效的。如果发生辅助过滤器穿透，那么保安过滤器将阻塞，这样可以减少膜过滤装置的堵塞。

一般过滤器的正常孔径是 200μ 。事实上，过滤结果会更好些，因为过滤器很快会堆积。即使在水处理中一般要求过滤至 0.5μ 或 10μ 。但由于种种原因，要求更好的预过滤是不太实际或没有必要的，因为：

- ✧ 在技术上完成更好的过滤几乎是不可能的。
- ✧ 在行业中已运用多年。
- ✧ 由一个 90mil 平行物料隔层提供的流道相当于 2200μ ，是颗粒尺寸的 10 倍。

如果被预过滤的液体 pH 接近于 14，那一般用醋酸调节至 8。若在超滤前没有 pH 调节，膜的寿命将缩短，因为膜在非常高的 pH 下会变脆。事实上，在操作温度高于 80°C 时情况将更加严重。

角叉胶的粘性很高，因此作为预处理方式的一种，必须将产品温度加热至更高。

阳离子

一些物质组分(如阳离子清洁剂)在许多情况下对膜通量是不利的，将导致通量显著下降，有时至零。

这样唯一可行的预处理方式是加入足够的阴离子化学药剂，以中和阳离子物质，一般可加入一些普通的清洁剂如十二醇磺基酸，这是一种普通且不太昂贵的产品。

反冲洗装置(CIP)使用的液体

反冲洗装置使用的液体在膜过滤中引起一些特殊的问题，因为它们的组分还不是非常清楚。CIP 表示反冲洗装置，这是在食品和奶制品加工厂中一个普通的过程设备清洗的程序。

唯一可进行的预处理方法是净化液体，这可以由许多类型的过滤器来完成。最常使用的是套筒式过滤器。它们给人印象最深的除了不能重复使用外还相当昂贵。因此另外一个相当有效的方法是在离心分离机中进行净化。这类设备一般用于从牛奶中去除脂肪，但 CIP 液体必须得到有效净化。由于离心分离机被用于许多食品和奶制品工厂，因此这类设备的可利用性是不容置疑的。

有色物质

在食品中许多天然产生或人造染色材料在膜过滤中会产生问题，尤其是自然发生的有色物质最严重。染色材料水溶性越好，越不容易引起问题。

由于许多场合颜色作为某些产品的重要的特性，因此不太可能去完成一个去除颜色的预处理，例如红酒中的红色。从一些食品加工过程的废水处理案例中，絮凝取得了一些成功，通过絮凝可以在去除颜色的同时不破坏产品的质量，但是棘手的是絮凝剂本身会污染膜。因此最好使用微量絮凝剂，同时在产品中残留一部分颜色。这样在大多数情况下可以确保产品不含无用的絮凝剂，而渗过液具有足够好的质量，但燃料沉淀可能引起很小的问题。

有色物质存在于许多食品与和食品相关的产品中，如生产豌豆和胡萝卜的废水中，糖制品的浓汁、果汁、啤酒中。一些其它的引起麻烦的有色物质天然存在于 fulvic 和腐殖酸中。所有这些有色物质在水中的溶解度都很低，在膜上容易发生沉淀。它们具有一个普遍的化学

特性，在分子结构中具有一个或多个苯环，使聚砜膜非常容易被污染。这是因为聚砜有许多芳香环，容易与有色物质形成化学键，导致严重的、有时甚至是不可反转的污染。在这类项目中，膜材料应选择纤维素、PVDF 和其它的非芳香族聚合物。

至今还没一个好的，可以令人接受的去除有色物质的预处理方法，这是一个需要我们去解决的问题。

纺织品、染色废水

电抗染色、聚酰胺和聚酯染色。

棉制品的染色时世界上最大的染色工作。近 50% 的染色工作都是用于棉制品的电抗染色，加上棉织品染色中的聚酰胺和聚酯染色，几乎覆盖了大多数的染色工作。

其预处理方法非常简单：过滤、去除纤维。通常使用常规的 10~20 μ 的布袋过滤器就足够了。而酵素的处理，如所谓的酵素的石洗，将导致纤维和纤维碎片更小，甚至可通过 1 μ 的过滤器。这时需对常规过滤器作出改进或使用价廉的管式超滤膜。

将排水从不同的染料卤水和纺织染料生产排水中分离是一个比较好地想法。着这可以避免综合出水的处理问题。

在常规使用的纳滤和反渗透膜前的预处理方式一般使用过滤即可。

洗涤废水

相同部分同上。主要的区别在于，采用的膜过程是超滤。因为废水中含有油，需要用过剩的清洁剂来乳化油。

蛋制品

卵黄系带是从蛋黄延伸至蛋内膜相反端的两条白色的线。膜过程被用于蛋白脱水，在进入膜系统前必须先去除卵黄系带。这可以用常规的过滤方法完成，但并不容易。卵黄系带由一个具有特色的回弹，它可以通过过滤器后又立即卷曲。因此为了不强迫卵黄系带通过，过滤必须在一个较低的压力下完成。

阻止所有的卵黄系带进入膜系统是不可能的，用日常的清洗很难去除，除了日常的碱洗外，一般在每周末采用含有大量可以消化卵黄系带的蛋白酶的清洁剂进行系统浸泡，这样可以较彻底的清洗系统。

蛋壳一般较容易通过过滤去除。

在处理蛋白时，通过加热或剪切力引起蛋白质改性才是真正危险的。泵或阀门的剪切力回很快地使溶解性蛋白质变性并变成非溶解性的蛋白而污染所有膜系统。因此使用低速均质类型的泵和正位移泵来解决剪切力的问题。在预处理中并不强求但也是有很大好处的。

众所周知，在膜过滤中蛋白的粘性也是一个麻烦。可以通过发酵减少蛋白的粘性(同时去除葡萄糖)。葡萄糖的去除有助于避免随后喷射烘干过程中的 Mailaid 反应(布朗运动)。一般发酵需要 10~20 小时，而事实上在一个批式反渗透系统运行时就已完成。

发酵的蛋白含有许多微生物，因此用反渗透来脱水看起来问题比较多。然而实验显示反渗透过程工作很好。由于在膜系统中必须避免微生物生长，因此看来唯一解决方法是同时进行发酵和反渗透。在这种情况下发酵并不会影响膜的功能。相反有助于减少产品的粘性，而且在室温下，一种微生物种类的高速生长有助于减少其它种类的生长。

纤维材料

在大多数的膜过滤系统中所有的纤维原料必须在进料中脱除。这通常可以用这一种常规的过滤方法来完成。

短纤维是很讨厌的而且很难脱除。极短的纤维在纺织、纸浆及造纸工业经常出现。唯一完整有效地脱除纤维的方法是采用超滤。这通常是作为最后的选择来做研究—因为价格的关

系。然而也不是所有的都是这样。超滤的使用在没有任何其它过滤的帮助下消除存在通道中的纤维，这使得整个系统的造价降低。

果汁

色素是一个通常的问题，而且在果汁分离中是一个新的挑战。因为色素是产品的一个很重要的部分。所有我们只能设计很低通量的膜系统，而且膜材料是可用而且易清洗的。

微粒并不是很复杂的问题。可以采用常规的过滤及离心的方法来脱除。怎样提高预过滤的可靠性及效率是唯一的问题。

果胶质及纤维素经常在果汁中存在，而且数量是变化的。通常的经验是加果胶酶来净化果汁，同时可以有效地防止膜系统的沉积物发生。加酶预处理并不是使膜系统运行的必要条件，但它实际上可以使膜通量加倍，从而使膜过程更加经济。人们尝试用膜过滤来取代酶处理，但不成功。

含乳胶的料液

原则上预处理很简单，在膜过滤前脱除所有乳胶。但实际上是很困难的。通常用离心的方法。但必须几个小时就打开清洗。

乳胶会堵塞卷式膜组件。因此含乳胶料液不能使用卷式组件。在某种程度上 1.5 英寸或 1 英寸的管式膜过滤系统可以耐受乳胶。

洗涤废水

当用膜过滤洗涤废水时纤维是主要的问题，因为纤维、脏东西和清洁剂形成大而松散的絮体。一般使用各种常规的过滤器。经验表明 20~40 微米的过滤器可提供足够好的预过滤效果，但更细密的过滤器可以延长膜的使用寿命。

在膜系统中清洁剂很少引起麻烦，因为清洁用的清洁剂一般都是阴离子型的，而唯一的麻烦由软化剂引起，因为它们是阳离子型的。唯一可行的预处理方法是确保这些含颗粒的水和洗涤操作中使用的其它物质充分混合。这样阳离子被有效中和后水中含有大量剩余的阴离子。

在工业洗涤废水中含有大量的油、脂肪和溶剂。最好的预处理方法是在洗涤前挤干溶剂。而唯一可行的预处理是确保有些剩余的清洁剂，这样可使脂肪和油脂被乳化。加入过量的洗涤剂并不是浪费。因为这样可以提高超滤系统的运行效率，同时洗涤剂进入透过液后可以重复使用。

金属加工业

在机械加工，如切削和磨床中乳化油被大量使用。由于金属颗粒比较重，能很快沉淀。因此沉降作用之后加常规过滤是唯一适合的预处理方法。

在矿山和许多金属的表面处理中广泛使用矿物酸。例子如下：

磷酸(H_3PO_4)用于铝的表面处理。

硫酸(H_2SO_4)用于铜铈的蚀刻。

硫酸(H_2SO_4)用于大量的溶解过程。

盐酸(HCl)/氢氟酸(HF)/硝酸(HNO_3)用于不锈钢的表面处理。

盐酸用于铁的清洗。

常规的过滤是唯一可行和必要的预处理方法。

乳制品行业

毛发、青草和苍蝇。在这里提起毛发、青草和苍蝇似乎有些可笑，但在乳制品行业却是

一个非常现实的问题。苍蝇很容易去除，而毛发很难发现和去除。在处理稀释原汁牛奶时，可以发现数量惊人的奶牛的毛发和刷子的毛，同时还经常有些青草。解决这些问题通常使用可以清洗和消毒的袋式过滤器，而且效果相当好。

酪蛋白。在乳清中含有大量酪蛋白细小颗粒。通常使用可以自清洗的筛子去除较大的颗粒，而剩余的酪蛋白颗粒通常使用离心作用去除。如果离心机的运行效率很低，则通过膜系统处理乳清时，颗粒物也会有效减少。经验表明具有 47mil 流道的 RO 系统可以处理一定数量的通过酪蛋白过滤器的悬浮固体，这样就不需要离心机了。

牛奶、脂肪和 phospholipids。牛奶含的天然脂肪比例范围在 3.0%~4.5%。膜系统可以处理牛奶中的脂肪，但脂肪含量低于 0.05% 时运行得更好。在乳制品加工厂中，最常用的设备是使用离心机撇去牛奶中的脂肪。Phospholipids 形成于脂肪球的表皮，因此非常讨厌，它们需要用高 pH 和高温来进行清洗。目前还没有办法将 Phospholipids 从牛奶和乳清中去除。

巴氏杀菌法。毫不夸张地讲在膜过滤前进行巴氏消毒已成为一个行业标准。巴氏消毒需要加热至 72℃ 并保持 15~20 秒，以后再冷却至操作温度。针对这个原则很少有例外。巴氏消毒的目的是减少细菌的活动能力，同时形成磷酸钙晶体(见有关磷酸钙章节)。如果没有进行巴氏消毒，系统的性能会降低，同时由于乳酸的形成，在操作几个小时后产品的 pH 会下降。PH 的降低导致产品成为废品。虽然巴氏消毒法已应用了 25 年，为了减少投资和运行费用，目前已开始逐渐避免使用本方法了。如果要使不使用巴氏消毒的膜过滤取得成功，必须对运行设备进行非常深入细致的研究。

磷酸钙。磷酸钙或者磷酸氢钙存在于所有的乳制品中。温度越高，磷酸钙的溶解度越低。而麻烦的是许多乳制品的加工必须提高温度，同时很难在膜过滤前从牛奶和乳清中去除磷酸钙。预处理可以使沉淀的数量在可被接受的范围内，但也不能完全避免这种现象。

一般的经验做法是在膜过滤前对乳制品进行巴氏消毒，即加热至 72℃ 并保持 15~20 秒，然后冷却至操作温度。如果不马上冷却，并且根据所谓的“热保持”的方法，产品(大多数是甜奶酪)的温度在 55~60℃ 下保持一小时，那么将形成数量惊人的磷酸钙微晶体，并沉淀。一部分晶体可以作为污泥排出，它们不会影响膜过程。相反有助于防止进一步沉淀在膜上。当膜系统产生浓缩，磷酸钙的浓度超过其溶解度，那么已经形成的晶体将继续增长，这样可以从大量的液体中脱除过量的磷酸钙。

这种方法可以和被许多其它行业熟知的晶体种植技术相比较。虽然并不完全有效，但也可以在清洁循环中操作 20 小时。

变形蛋白。也是膜系统料液中的麻烦。微小的变形通常会降低溶解度，而彻底的变形会产生一种类似于煮硬的蛋白的物质。还能溶解的轻微变性的蛋白不能通过预处理去除，因此会导致通量的降低，增加膜污染。沉淀的蛋白可以用常规的过滤方法很容易地去除。

氧化环境。膜对氧化剂的耐受力变化很大。薄膜不能耐受除次氯酸外的任何氧化环境。所有的聚砜膜(Desal E-F 和 P 系列)、PVDF 膜(Desal J 系列)、PTFE 膜(Desal K 系列)、和聚丙烯腈膜(Desal Q 系列)对各种氧化剂都有很好的耐受力。

因此原则上料液进入膜系统前所有氧化物质必须去除。以后讨论的仅仅是和卷式膜有关的氧化剂。

✧ 氯气、次氯酸钠

如果料液中有氯气或次氯酸钠，则必须进行脱氯预处理。可以使用以下的方法：

- 一般使用的方法是加入减氯剂，如亚硫酸钠。结果系统中将形成硫酸盐。
- 也常用活性炭过滤器。但应注意的是它可能是一个微生物生长并造成生物阻塞的潜在可怕来源。另外存在炭的回用处理问题。
- 使用 UV 光可能最好些，但比较昂贵。

✧ 次氯酸

据报道次氯酸对薄膜无害，但缺乏真正有说服力的证据。次氯酸很难处理，并且难形成游离氯，因此很少在膜过滤工厂中使用。

✧ 过氧化氢(H₂O₂)、醋酸(Peracetic acid)

两者都是相当弱的氧化剂，被用于每周一次的薄膜的消毒维护。但如果它们在料液中，则必须通过加入药剂将它们去除。

✧ 溴、碘

类似于氯，可以用相同的方法进行预处理。

✧ 硝酸

在室温下，普通浓度(<<0.5%)的硝酸可用于每日一次的清洗。但不可再更高温度下使用或使用更高浓度。我们极力主张不使用硝酸，而用其它的非氧化性的酸代替。较好的替代品有磷酸、盐酸和柠檬酸。

✧ 铬酸盐

料液中的六价铬是一个麻烦，因为它是一种相当强的氧化剂。铬酸盐的危害性和 pH 有关。在中性 pH 下危害最大。在 pH 7 和含高浓度铬酸盐的系统中薄膜的使用寿命是以星期而不是以月来计的。大多数的膜在 pH 低于 2 时可以运行良好。其它的预处理方法有：减少对薄膜有害的六价铬，使之成为三价铬。这种方法使铬酸盐的回收使用成为可能。

✧ 涂料

涂料中含有无机的颜料，而涂料本身却常是有机的。一般涂料都含有粘性的高分子量组分。一般认为颜料并不至于引起麻烦，因为严格地讲它们看起来像小圆石子，可以滚过膜而不产生阻塞。

传统涂料生产过程中产生的废水主要来自储罐和管道的冲洗废水。唯一可行的预处理方法是常规过滤法，但软的、粘性的沉淀物较难去除。

作者认为，管式系统可能最适合于涂料废水的膜过滤，因为它几乎不需要预过滤。一个细孔筛子就足够了，泡沫球很容易清洗。其它的系统都需要有效的预过滤。这样比较昂贵。

通过电学原理(电泳漆、电渗析)使油漆废水沉淀被用于汽车工业的第一遍喷涂。膜过滤系统中，唯一可行的预处理方法是采用可自清洗的细孔筛子去除大量小块的油漆。过滤主要是为了确保有个光滑的表面。油漆和颜料几乎可以通过所有的膜组件。

阴离子漆较容易处理。阳离子漆相当难处理。

当 pH 在 5 左右，温度低于 30℃ 时，醋酸纤维膜用于阳离子漆的处理，工作良好。

✧ 造纸废水

造纸工业产生许多不同种类的废水，包括：

CTMP 化学热机造纸
KBE 牛皮纸漂洗污水
KBL 牛皮纸黑液
MDF 中密度纤维板
NSSC 半化学中性亚硫酸盐
SSL 剩余的亚硫酸盐液体
VBL 香兰醛黑液

纤维素。来自纸浆和造纸工业的所有排水都含有许多纤维。常规的自清洗过滤器一般足以去除纤维。一般使用带不锈钢网眼的鼓式过滤器。越来越多纤维素的循环利用导致了短纤维的大量增加，这样需要更加精致的预过滤器，如：廉价的超滤系统。

钙盐。是采用亚硫酸盐造纸中的一个麻烦。亚硫酸钙和硫酸钙可能在液体中形成沉淀，更糟糕的是在膜组件中也会形成沉淀。目前还没有有效的方法解决这个问题。在一个大型的超滤系统中，一段时间后必须安装一个钙—钠离子交换器来解决钙盐的沉淀问题。

沥青(树脂)。是亚硫酸盐排水中一个极严重的问题。它们非常粘稠，并且数量庞大。作者本人也没有发现任何有效的预处理方法，但可能可以使用浮选。

有人已使用超滤去除树脂，但并没有普通应用。

◇ 硅油

硅油对膜是有毒的。唯一有效的预处理方法是完全不使用硅油。大多数情况下可以使用对膜没有危害的替代品，如硅氧烷。

◇ 溶剂和碳氢化合物

表 30 水溶性有机溶剂

酒精	无害
酮类	浓度最好低于 1000ppm
酯 四氢化呋喃 二甲基—硫氧化物 二甲基—乙酰胺 N 甲基—吡咯烷	浓度最好低于 10000ppm

表 31 不溶性有机溶剂/碳氢化合物

芳香族碳氢化合物	对聚砜膜有害 对聚砜膜部分有害 用于 RO 系统外 在纳滤系统中<50ppm
脂肪族碳氢化合物	用于 RO 系统外 在纳滤系统中<50ppm 大多数的超滤系统有较好的耐受力

有机溶剂是有机化学品中一个非常广泛的种类，有的对膜有危害，有的没有，因此很难提供好的指导。有一种防护措施是尽可能去除溶剂，在液体中只留下百万数量级的量来处理，必须区分水溶性溶剂和非水溶性溶剂。非水溶性溶剂可以作为碳水化合物处理。

注意：只有有些膜，严格地讲只有一些 Desal 膜对有机溶剂有耐受力。同时与之配套的必须选用一些同样耐有机溶剂的特殊的组件。

✧ 淀粉

膜被用于一些大型的淀粉加工业的废水处理系统。预处理采用常规过滤法去除悬浮固体。来自土豆加工废水中的皂草是个麻烦，而且很难甚至可能通过预处理解决问题。只有频繁地清洗膜才能稍加改善。

土豆加工废水很快就会发酵。唯一的预处理方法，如果可以称为预处理的话，就是“立即”处理排水。如果产品的等级较高的话，可以设计特殊的设备，要使不遵循这个原则，将产生酸化作用，并导致随后的蛋白质沉淀。

✧ 悬浮固体、污泥

一般原则上，在膜过滤前应将悬浮固体数量减少至百万分之数量级。可以通过常规过滤沉淀、浮选或这些方法的组合来达到目的。

如果悬浮物质是小而硬的颗粒，则通常问题不大。

如果悬浮物质是纤维状的、较脏或较大，则通常会对膜过滤设备带来麻烦，必须去除。然而这些东西通过预处理都很难去除。

✧ 水处理

硬度可以由碳酸钙(CaCO_3)、硫酸钙(CaSO_4)和硫酸镁(MgSO_4)的沉淀作用来表示。它不只引起膜的问题，同时也是水处理中的最普通的问题。一般通过计算 Langelier 指数或 Stiff 和 Davis 指数来测量沉淀的危险性。然后测算采用预处理的可能性，**如果 Langelier 指数是正值，则可认为水正在结垢。**

一般可采用三种方法防止沉淀。

- 酸化作用
- 软化作用
- 加入阻垢剂

➤ 酸化作用

是一种比较老，且已被证实的方法。

硫酸价廉且有效，是大型系统中最常选用的酸。但如果钙含量高的话，也会引起硫酸钙沉淀。处理硫酸必须非常小心，使用硫酸比阻垢剂便宜许多。

盐酸相对来说贵一些。它具有腐蚀性，很少用于和水处理有关的抗沉淀剂。

有机酸如柠檬酸比较有效，但很少使用。

奇怪的是注射二氧化碳也可能有效。但由于较难处理所以很少使用。

额外加酸可以导致二氧化碳(CO_2)释放，导致渗透加强。因此在反渗透系统前必须去除二氧化碳，而在反渗透之后必须用碱来调节 pH 值，以防止配管网络的腐蚀。

➤ 软化作用

是一种更新的工艺。

有一种离子交换介质用于钙和钠的交换。软化水中钠含量的增加将导致渗透液中钠含量的增加。此工艺需要大量高质量的氯化钠，而在离子交换中产生的含盐水的处理也是一个麻烦。

阻垢剂被用于控制水中的沉淀。

阻垢剂加入的量非常小，一般只有百万数量级。其工作原理是：阻止结晶化过程，而促使高度过饱和。有一个惊人的事实，例如：即使硫酸钡的浓度达到饱和度的 30 倍还不会沉淀。阻垢剂相当贵，因此配药必须非常正确。太少会导致沉淀，太多则浪费且有导致通量跌落的潜在危险。

氢氧化铁、铝和镁必须从进水去除。因为这些金属的氢氧化物的溶解度很低，一般在 0.05mg/l。在氧饱和的水中，其 pH 值接近中性，则大多数的过滤方法都能有效去除铁、镁和铝。砂滤较常使用，因为砂滤器可以进行反洗。在小型系统中通常使用终端过滤(Dead end filtration)(袋式过滤器、过滤棒)。

铁锈很容易去除，几乎可以使用任何类型的过滤器去除。如果铁锈发生在预过滤中，那最好找到起源，因为这表明有不溶解的离子，这会一起非常严重的问题。

腐殖酸污染会对所有类型的膜造成麻烦，但如果工作条件合适的话，膜也可以用于去除腐殖酸。一般方法很难去除或破坏腐殖酸，除了通过加入大剂量的次氯酸或者通过能量密集的光化学工艺。后者使用 UV 光和过氧化氢产生氢氧根，可以完全地击破所有的有机物质，将它们氧化成水和二氧化碳。一般防止腐殖酸污染膜的方法是保持低通量(<20Lmh)，且经常清洗。这样可以避免使用或减少预处理设备。

二氧化硅通常存在于原水中，其溶解度随着温度而变化。如果二氧化硅沉淀引起麻烦，那一般有效的方法是使温度略微升高。也可以加入阻垢剂，这类产品的供货商承诺的二氧化硅浓度可达到 300mg/l 以上。

硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶的溶解度都很低。硫酸钙(石膏)是一个很普遍的麻烦，特别在中东地区。而在地表水中针对硫酸钡和硫酸锶的实践较多。一般使用少量的阻垢剂就可以相当容易地防止沉淀，这种阻垢剂可以延缓或阻止结晶化，甚至可以在高于饱和浓度时确保膜系统中不发生沉淀。

砂砾可以通过沉淀或过滤很容易地去除。由于砂砾具有很强的研磨作用，因此必须在料液进入任何膜过滤系统前被有效去除。

给水和排水

冲洗用水必须同时满足流量和质量方面的要求。在超滤和微滤系统中所需水流量一般在 1000LPM。在多数情况下，在很短时间内，4 英寸水管可在膜系统中提供此水量，同时必须用一个分离水罐。

冲洗用水必须按其提供的同样的比率进行调整。因此，下水道或接纳这些冲洗水的系统都必须能接纳同样的流量。现存的下水道一般都无法满足这些需求，因此操作人员在冲洗时必须穿橡胶靴子，因为地板上经常到处溅满水。

以下冲洗用水的一般水质要求：

铁 <0.05ppm； 镁 <0.02ppm； 硬度 <20 度(宜采用软化水)；

硅 <10ppm； 腐殖酸 不存在；

其它 质量要求同饮用水。

温度 无一般要求，但在有些时候温度需满足产品更换的需要。

化学清洁剂-问题较多的化学品

清洁用化学用品和清洁方法

膜系统必须进行周期性清洗以确保最佳的操作条件。但是清洗也只是在需要时进行。因为它对膜的寿命有不利影响，同时需要耗费化学药剂和水。为了尽可能避免清洗，而且使需要时的清洗容易些，可以采用较好的预处理方法，选择能防止污染和沉淀的操作参数。

如果 RO 系统的渗透液数量足够，通常是理想的冲洗、漂洗和清洗液。

膜系统的清洗本质上非常简单，但也有一些必须注意和遵守的原则。

有许多不同的清洗方法，针对一个膜系统其正确的清洗程序必须根据处理的产品、膜的类型和设计的系统来确定。以下是一个完整的初步的清洗程序，它可以根据特定的情况进行

修改，其中第 5~10 点一般是应该避免的。

- 1、 减压：超滤/微滤采用 1~2 巴，反渗透/纳滤采用 2~8 巴。
- 2、 将产品冲出直到浓缩液看上去相当清。
- 3、 先碱洗。循环渗透液和浓缩液。加热到指定的温度。一般从 45℃到 75℃。加入碱性清洁剂。如 Diversey 生产的 DIVOS 100 或 Henkel 生产的 Ultrasil 90。一般浓度达到 1%，循环 30~60 分钟或由清洁剂供货商制定。仔细观察 pH 值。
- 4、 用小水量冲洗。
- 5、 酸洗。循环渗透液和浓缩液。加热到指定的温度。一般从 45℃到 75℃。加入酸性清洁剂。如 Diversey 生产的 DIVOS 100 或 Henkel 生产的 Ultrasil 75。一般浓度达到 1%，循环 20~40 分钟或由清洁剂供货商制定。仔细观察 pH 值。
- 6、 用小水量冲洗。
- 7、 第二次碱洗。循环渗透液和浓缩液。加热到指定的温度。一般从 45℃到 75℃。加入碱性清洁剂。如 Diversey 生产的 DIVOS 100 或 Henkel 生产的 Ultrasil 90。一般浓度达到 0.1%，循环 20~30 分钟或由清洁剂供货商制定。仔细观察 pH 值。
- 8、 用小水量冲洗。
- 9、 循环渗透液和浓缩液。加热到指定的温度。一般从 20℃到 50℃。加入消毒剂。如 Diversey 生产的 DIVOSAN FORTE 或 Henkel 生产的 Ultrasil Active。一般浓度达到 0.1%，循环 10~20 分钟或由清洁剂供货商制定。必须增加压力，以便得到一个较好的渗透流量，这对于消毒膜渗透液一侧是有必要的。
- 10、 用小水量冲洗。
- 11、 在膜供货商指定的温度和压力下测量水通量。温度一般在 25℃。

直到现在，膜系统必须进行“尖叫”清洗(“Squeaky” clean)。如果不这样做，就由一个操作性问题需要进行研究。针对这些问题，较好的方法是将系统在中性消毒剂中浸泡 48 小时以上。如果问题是由酶可以消化的蛋白质或其它任何东西引起的，则可以加入大剂量的合适的酶，如木瓜蛋白酶、bromelaine 或 alkalase®。

引起争论的是碱—酸—碱或酸—碱冲洗程序哪个更好。这个选择关系到大量的相关产品。如果要减少产品中的糖和蛋白质，就必须先使用酸。这可以使在碱性环境中发生浓缩反应的危险最小，同 Maillard 反应。浓缩的结果是产生红棕色的粘性的沉淀物。这些物质很难从膜中去除，只有使用氧化剂。通过许多次交替清洗，可以慢慢地恢复水通量。

冲洗的压力也引起争论。在超滤和微滤系统中，压力无疑应减小到 1~3%。在纳滤和反渗透系统中，保持压力在 10%左右更好些，这样可以确保流量完全打开。压力更低时，最终堵塞流道的脏物会保留在膜的某些地方。而在高压下，流道始终打开着，流道获得良好的冲刷。

清洁剂供货商

世界上有三大主要的清洁剂供货商，直接销售或通过代理商销售。

表 32 主要的清洁剂供货商

Diversey-Lever A/S Smedeholm 3-5 DK-2730 Herlev 丹麦	Henkel-Ecolab GmbH & CO P3-E/Milchwirtschaft Gebäude L 34, Ritastrasse 67/Tor 2 D-40554 Dusseldorf	Novadan A/S Platinvej 29 DK-6000 Kolding 丹麦
---	---	--

电话：+45 7010 6611 传真：+45 7010 6610	德国 电话：+49 211 989 3694 传真：+49 211 7141 709599	电话：+45 7550 3577 传真：+45 7550 4370
--------------------------------------	---	--------------------------------------

化学药剂—问题

不要随意尝试新的或不同的清洁剂：它可能引起较大的问题。象 Henkel 和 Diversey 等公司已经历了一个很长的学习过程，也为学会如何清洗膜支付了许多学费。许多更小的、当地的清洗药剂供货商想进入这个市场，但在尝试节约清洗药剂上都非常谨慎。**药剂价格也正是膜完整的一部分。**

有关清洗药剂的几个首要原则：

- **阳离子=大事故；**
- **非离子=没问题；**
- **阴离子=适用的。**

但是也有一些例外。譬如非离子清洁剂会损坏一些高分子，如聚砜可能引起严重的腐蚀。

✧ 抗泡沫剂

有许多不同种类的抗泡沫剂。它们的工作原理是：通过改变表面张力，以此来破坏泡沫的形成能力。达到此目的可以加入疏水化合物，这是最普通的方法，且持续时间最长。或者加入亲水化合物，通常仅能持续较短时间。有一种非常有用的疏水化合物是硅油，而常见的亲水化合物是酒精。

需要注意的是，膜工艺和膜表面密切相关。

- 膜的表面越亲水，水越容易透过；
- 如果膜表面越来越疏水，则将导致渗透通量衰竭，整个过程将停止。

有些抗泡沫剂只会使通量略微降低，并且是可逆转的，如硅氧烷。

也有些抗泡沫剂会使通量降至零且是不可逆转的，最出色的例子是硅油。

原则是：所有的抗泡沫剂对膜都有影响，区别仅在于影响的程度不同。最好对进入的与膜表面接触的化学品都进行测试，特别是抗泡沫剂。经常在一个膜的测试室测试抗泡沫剂。否则一旦膜系统瘫痪，只有更换新的系统才能解决问题。

✧ 凝聚剂

对于凝聚剂的使用没有固定的原则。许多凝聚剂是天然阳离子型的。就象在化学清洁剂一章中提到的那样，这是比较危险的。凝聚剂也可能是高分子量的聚合物，如果过量使用，也会对膜有不利的影晌。

巴氏灭菌法、消毒法、灭菌法

加热消毒、灭菌

在药典里消毒灭菌被定义为用湿蒸汽加热至 121℃ 达 20 分钟。如果使用干蒸汽则需要更长的持续时间或更高的温度。极少有膜系统可以用这种方法进行杀菌。据说只有陶瓷系统才适用于这种杀菌方法，并且也是不十分可靠的。

这里所讲的所有的膜系统都是用来设计处理液体的。气体包括蒸汽，处理起来比较困难，也不在本文讨论范围之内。

除了消毒杀菌法，巴氏灭菌法也可以加热各种类型的膜系统超过 80℃。这类加热处理在乳制品行业中已足够了，它们在许多单元操作中使用巴氏灭菌法防止细菌生长。事实上巴氏灭菌法也适用于其它一些非乳制品行业中的消毒处理。作者相信它也适用于除了制药行业中

有非常特殊需要的膜应用场合外的所有地方。根据作者的经验，所有能耐受加热到 80℃ 的膜系统都可以“消毒”到这个点而“恰好”。重要的是，不只是膜，还有管道、水泵、储罐等膜系统前、后的所有设备都被加热到 80℃，病保持足够长的时间。

✧ 化学品消毒法

膜系统采用化学品“消毒”已有许多年了。要达到化学杀菌的目的被证明比较难，因为微生物具有较强的适应性，能逐渐自我保护。它们产生新的抵抗力，甚至在非常恶劣的化学环境中。

甲醛已被运用许多年且结果良好。它非常有效，但现在由于法规规定，已很少使用。

次氯酸钠也有效，但并不很普及。它是一种非常有害的化学品。大多数人都不愿处理。它会引起间接污染，因为水银仍然是次氯酸钠生产过程中一种致命的化学品。它也有形成三氯甲烷(THM)的前兆，而三氯甲烷是致癌的。一般来说，薄膜不能耐受大量的次氯酸钠。简而言之，次氯酸钠非常有效，但很少使用。

臭氧也有效，但很昂贵。事实上在膜系统中不会使用，没有任何薄膜可以耐受任何数量的臭氧。

亚硫酸氢钠和亚硫酸钠是较弱的还原剂，对微生物也有些效果。它们的应用很普遍，因为所有的薄膜都可以耐受这些化学品，但它们并不十分有效。

过氧化氢和过氧乙酸(peracetic acid)在乳制品行业被广泛使用。过氧乙酸是一种非常有效的化学品，但薄膜对的耐受力有限，因此这些化学品的使用必须严格控制。

二氧化氯也可以用于薄膜，除了不含氯或数量很少。

流量、压力、总固体等测量装置

一套自动化控制系统需要一些需要控制参数的输入点，这些输入点来自一些不同的设备，并有不同的形式。

✧ 流量

流量大概是最常见的测量参数。市场上有许多流量测量仪。由于微处理机的快速发展，使流量测量仪的发展很难跟上其进程。然而，以下这些产品作者认为是有效的。

转子流量计是唯一的大量使用的纯机械类流量计，但现在已被认为是老式的了。有一些也配了传感器，但并不普遍。转子流量计对于现场指示非常优秀，但几乎无法用于数据传输。它在流量指示方面比较准确，但对液体的粘度和密度非常敏感。如果有漂浮物或透明度变差，则流量指示将完全错误。

电磁流量计是膜过滤系统中对所有产品都能提供良好和可靠的流量数据的测量仪。唯一的缺陷是它不适用于超纯水。电磁流量计通常输出一个 4~20mA 的信号。

电磁流量计的优点：

- 流道和障碍物完全隔离；
- 不会引起压力下降；
- 直径同液体流经的管径相同；
- 测量范围大于大多数的其它流量计。

目前有许多电磁流量计的生产厂家。以下是一些在欧洲常用的型号，但未全部列出：

- Siemen(德国)
- Danfoss(丹麦)
- F & P(英联邦)
- Bürkert(德国)

- Endress & Hauser(德国)
- Process Data(丹麦)

很难找到一个可以在反渗透系统中操作的流量计。另一个问题是用于乳制品行业的电磁流量计，它要求为卫生级。Process Data 和 Danfoss 能提供这类设计。

流量值既可现场显示又可送控制盘显示。一般还可进行温度显示和流量累计数显示。

涡街流量计从原则上讲完成与电磁流量计相同的工作，但价格更低。但涡街流量计方向性很差，因此不适合在膜过滤系统中使用。

超声波流量计，许多年来一直被推荐为一种性能良好，有价廉的流量测量仪。但只有当液体(固体或气泡)中的颗粒能反射声波时，超声波流量计才能准确测量。在膜过滤系统中悬浮固体和空气极少。因此这些测量仪很少在膜行业中使用。

质量流量计是用于测量实时流量、密度和质量的精致的仪器。它们被用于控制蒸发器。测量原理包括惯性、质量和共振。从外表看，它们象一个长的 U 型管，通常接近 1 米长。通过与蒸发器连接的伸缩接头连接的管子浓缩测量管中物体的重量，值，再计算出物体的密度。液体流速越快，改变流体方向 180 度所需要的力引起的管子弯曲度越大，通过测量弯曲度，再根据液体的密度可计算出流速。知道速度和密度后，就可以计算质量流量。通过加入一个高频声音发生器可以间接测量粘度。

质量流量及对于测量含大量固体的流体非常适合。但在处理低固体流体的膜系统中却更不可靠些。

这里提到的 5 类流量计分别依据线性速率、液体的电磁特性、流速、声波反射、液体的密度和液体的惯性等原理。还有许多利用这些和其它原理精心设计的流量计。

本文作者认为使用含移动部件的流量计比较危险。悬浮固体会堵塞机械装置，漂浮物会堆积，轴承会断裂，齿轮会因疲劳而断开。因此作者建议使用电磁流量计，以避免这许多的问题。

✧ 压力

电子压力传感器是相当新的。它们相当于传统的布林登(管式)压力计较易提供 0.1% 的精确读数，这在膜系统中是有必要且相当有益的。电子压力传感器的另一个优点是测量仪表值可到达零点，而老式的布林登压力计却达不到。

电子压力传感器可现场显示也可在控制盘显示。

用一个量程 100bar 的压力计测量误差小于 0.1bar，就可以在不买昂贵和复杂的压差变送器的情况下，正确测出膜壳内的压降。

布林登压力计也可以使用，但只用于现场指示，且要求操作人员用眼睛来估计压力读数，而不能得到一个精确的读数。但通过匆匆一瞥获得压力的视觉估计值，而不是一个读书也是很有用的。就象开车时看一眼标尺来测算温度和油压一样：不用知道其精确数值；只要知道指示位置就足够了。

如果使用布林登压力计，则必须使用一个标尺，并用一个隔膜将物料和仪器分开。

✧ 其它传感器

使用电子温度传感器已成为行业标准，而传统的温度计几乎已不再使用。它一般输出 4~20mA 的信号。

安培表只用于产品具有较大粘性的系统中和用粘度来调整系统的场合。测量电动机消耗的电流很简单，其输出的信号是一个模拟量数字。

工业折射计用于不溶解固体的在线测量和控制。通常用于特殊处理的乳制品行业。虽然折射计实际上只测量折射系数而不是总固体，在大多数情况下还是工作良好。因为折射系数

和不溶解固体有良好的相关性。

其测量单位一般使用度 Brix($^{\circ}\text{Bx}$)。 1°Bx 定义为 25°C 时 1WW% 蔗糖的折射指数, 水的折射系数是 0°Bx 。在乳制品行业, 将折射系数提高至 0.82°Bx , 可获得不溶性固体。而对造纸和纸浆排水, 其指数应增加至 0.78°Bx 。由于折射指数($^{\circ}\text{Bx}$)和真实固体之间的关系并不是在所有范围内都不变的, 因此建议建立一根实际处理物料的标准曲线。

悬浮固体会产生特殊的问题, 因为它们不能被折射计“看见”。这在将全奶的超滤作为主要工艺的乳制品行业是一个挑战。为了得到正确的读数, 必须在物料进入超滤系统前确定其实际的组分。当然这个建议对所有其它含悬浮固体的物料也是适用的。

放置折射计时必须确保在所有生产阶段中有可靠、连续的物料流经棱镜。在一个环路中流量很大, 但应确保环路一直在运行中。如果折射计被放在浓缩管在线, 则应将一根来自最终循环泵的压力侧的小细管与折射计相连, 以确保棱镜能发光, 见图 16。? P75

PLC、PC 和总线控制系统

本世纪控制设备经历了快速发展, 这个发展已从纯机械控制系统进入各方面都非常杰出的微机控制系统。

从模拟量到数字信号的过渡还没有完成。测量装置输出 $4\sim 20\text{mA}$ 信号还是一个普遍标准。然而, 数字信号的发展也已是一个明确的发展趋势。

过去流行的气动控制器和继电器有一个优点: 它们完全可以用一把小折刀进行维修。因此, 当今世上还有一些地方适用简单技术。但人们似乎并不喜欢简单的方法, 许多最终用户需要最新、最好的微机控制系统, 因此供货商也喜欢销售这类系统。

PLC 已经发展了许多年了, 有许多制造商。本人并不特别指定使用何种产品, 但竭力建议选择好的品牌。虽然购买不出名的品牌可以省一些钱, 但这样懂得维护和编程的人也少。当然这样不能满足工业操作的要求。

PLC 编程发展很快, 但还不能提供和用户友好的接口。本人相信它会慢慢超越或与普通的微机编程结合起来。

微机控制的应用还不太多, 但也有一些供货商承诺提供可以简易编程的强大但简单的系统。

总线计算机控制系统已发展很多年了。它们应用于非常大型的场合如热炼厂和造纸厂。西门子和 Allen Bradley 在这个领域中有非常良好的声誉。这类控制系统价格也非常昂贵, 但往往赠送服务和维修。几乎很少有最终用户能自行编制这些计算机程序。已经拥有一个系统的最终用户经常考虑的是控制系统的型号和品牌, 希望使用同一型号和品牌也是很容易理解的。

不要为了节省而购买一套便宜的控制系统。一旦系统瘫痪则得不偿失!

如何控制膜系统

大致来说, 有一些不同的方法控制膜过滤系统, 至少当你认可主流的控制系统的話。控制系统的选择主要依据处理物料的种类和整个工厂的设计方案。另一方面, 报警和控制点数与工厂的设计方案更密切些, 而和处理的物料种类则关系不大。

主要的控制方法有:

- 压力控制
- 比率控制
- 总固体控制
- 粘度控制

■ 手动控制

压力控制法最常用，因为它被广泛应用于水脱盐工厂中。

在工业项目中，比率控制法用得最多。

总固体控制法用于一些乳制品系统。

粘度控制法用于一些少见的系统，如多糖的处理等。

手动控制很少用于工业系统。

一般介绍

可以将几个控制方法组合获得一个更稳定的最终产品。

下表列出了一些简单的必须注意的原则。

表 33 工厂控制方法的组合

	比率控制法	总固体控制法	+ 恒流量控制
反渗透 RO	Yes	Yes	Yes
纳滤 NF	Yes	Yes	Yes
超滤 UF	Yes	Yes	No
微滤 MF	Yes	Yes(?)	No

在膜系统中常见的控制环路

压力控制

我们必须控制系统中的压力使其达到某一点。

几乎所有的纳滤和反渗透脱盐系统都采用压力控制系统。系统中操作参数可以在很长一段时间内保持恒定。在反渗透和纳滤系统中，压力和通量成线性关系，这样其控制系统也比较简单和直接。因此压力控制容易实现，但很难实现进一步保护膜和保持稳定其的性能。

流量比例控制

一个流量比例控制器的功能是保证进入系统的体积与离开系统的浓液的体积的比例能达到操作人员设置的一个平稳的设定值，即体积浓缩率或度。在进料管线和浓缩液管在线必须各装一台流量计。真正的控制功能由一个具有调节器和定位器的气动或电动浓缩阀来实现。流量计信号送到控制器，控制器根据接收到的信号发送一个指令使浓缩阀到达指定的位置。见图 13。

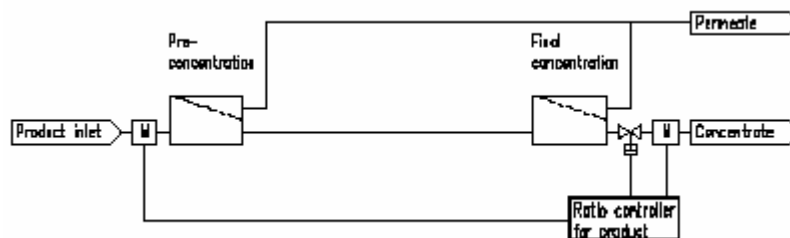


图 13 比例控制器

设计和操作一个比例控制器比较简单。当物料组分比较稳定时，控制功能也会令人满意的。

有人曾经多次建议使用渗透液流量代替浓缩液流量来进行调节。这种系统可以在许多场合运行，但也不是所有的，它有一些根本性的问题。有时在过滤过程中加入一些水以减少通过膜(全过滤)的某一组分的量。这时根据渗透液流量的控制系统无法运行，而且当浓缩比率比较高时，即使一个很小的调节错误也可能导致非常糟糕的结果。

因此测量浓缩液流量更好些，它“总是”有效。

当涉及到全过滤时，有两个流量比例要控制：体积浓缩比例、水与浓液之比。建立一套如图 14 所示的只有三套流量计的系统是很具有吸引力。全过滤的体积决定于进料流量，但这显然也是危险的。调节错误或操作错误将导致全过滤体积超过来自前一段的浓液的流量，结果浓液流量消失。这样固体将堆积，随后膜会阻塞。

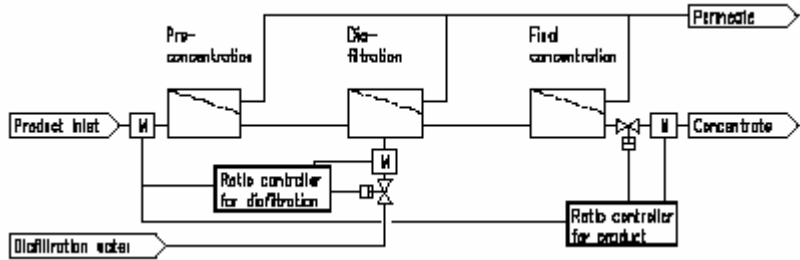


图 14 带全过滤以及三台电磁流量计的比例控制系统

一个安全的操作系统应象图 15 那样有 4 台流量计。这类设计可以确保全过滤水的流量不超过前段浓缩液的流量。

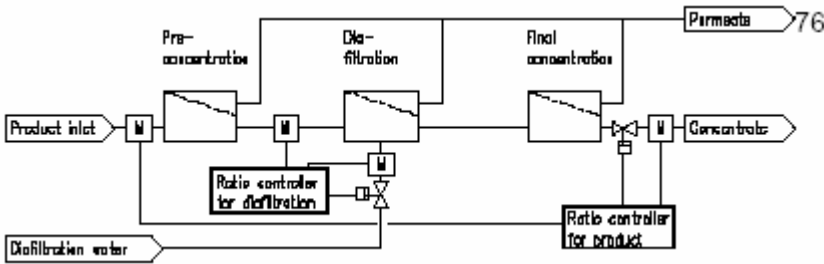


图 15 带全过滤以及四台电磁流量计的比例控制系统

总固体控制器

总固体(TS)或总不溶解性固体(TDS)是不常用于膜过滤的控制参数。而全牛奶的超滤却是例外，在这里这种方法常被使用。因为超滤牛奶时浓缩常用于乳清类产品，因此总固体的正确性很重要。另一个例外是有时使用折射计的造纸和纸浆行业。

折射计需放置在两个确切的位置。第一个位置放在浓液管在线，但是启动系统相当困难，操作必须非常仔细，保证浓液阀不能完全关闭(见图 16)。第二个位置放在最终循环段(见图 16)，缺点是这一段常常处于操作当中。

折射计的一个引人注意的优点是不含移动部件。而缺点是可能因与液体接触的棱镜的污染而影响读数。而棱镜显然可能会被污染，因为需要相当强烈的光源以获得检测信号。物料现场加热会引起物料沉淀并粘在棱镜上。一个相当简单的减少管理麻烦的方法是在系统最后一段的循环泵的压力端拉一个小细管与折射计相连。这样可以对棱镜进行小流量但较有力的冲刷。

另外一个比较严重的问题是折射计中灯会烧坏。这种情况下需要报警和必要的快速反应。否则系统将完全失控。

折射计的读数会比较发散，在含固率高的时候发散程度更高，特别是在含脂肪的乳制品

产品中。工业折射计具有人眼所不具备的能力。电子传感器可以简单综合这些发散信号，因此许多场合对于折射计来说非常发散的信号并不是问题。而对人来说却是一个严重的问题。

工业折射计不能耐高压。在超滤系统中压力限制并不严格，但在纳滤和反渗透系统中却是一个重要问题。

粘度对折射计的读数没有影响。

温度对读书有影响。因此，必须在操作温度下进行标定。

使用带折射计的全过滤来控制系统很常见(见图 16 和 17)。其控制系统与以前介绍的全过滤相同。

在膜行业中，折射计制造商只有几家。据作者了解有以下几家：

- Anacon
- The Electron Machine Company
- Siegrist
- X-control

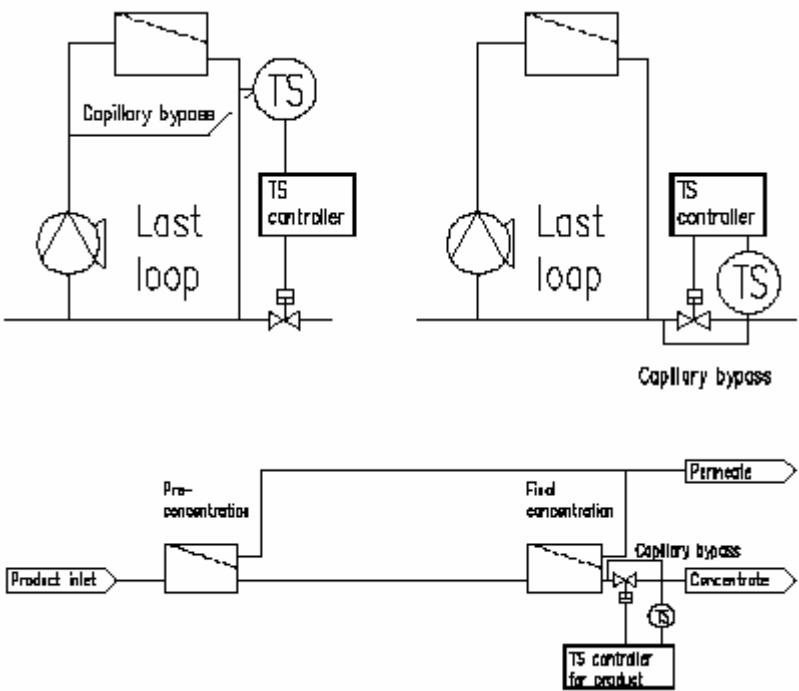


图 16 无全过滤段、带总固体控制器的系统

上图为折射计安装的可能位置

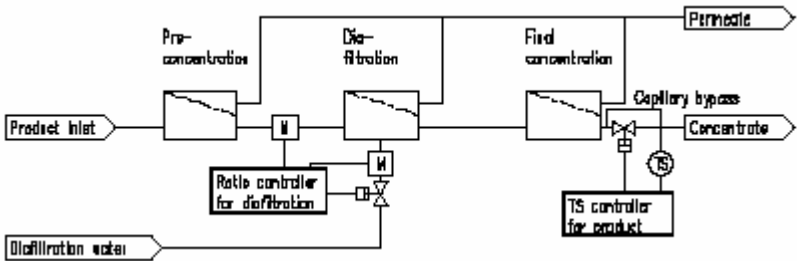


图 17 带总固体控制器的系统。带比例控制器的全过滤段

压力控制器和进水流量控制器

在一个膜过滤系统中压力值常需要保持稳定或轻微调节，以保持一定的运行水平。这对于水脱盐系统是非常常见的。事实上在水脱盐过程中，几乎只使用一种控制方法并且也仅需要一种。在工业反渗透及纳滤系统中同样，但在这些系统中，压力控制并不是其唯一的控制过程。

对于反渗透和纳滤系统来说，压力控制器实际上相当于一个物料流量控制器，同时也可以看作一个系统容量控制装置。

对超滤系统而言，物料压力控制被用来保证压力不超过最高允许值或最高设定值。它也被用来减少在清洗膜后系统启动时不可避免的高通量的发生。

如图 23 所示，在超滤和微滤系统中压力不能用于控制容量。容量由物料的性质和膜的特性决定。

在超滤和微滤系统中进水流量只能被间接控制。一般在一个多级系统中，在产品循环的初期，不同时启动所有的段。如在一个五级系统中，开始一般启动三级，过一段时间，可能 30~60 分钟，再启动第四级达到系统容量，再过几小时启动第五级。

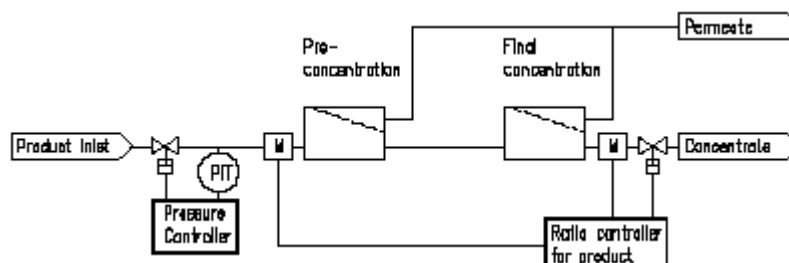


图 18 恒压和浓缩比例。变流量

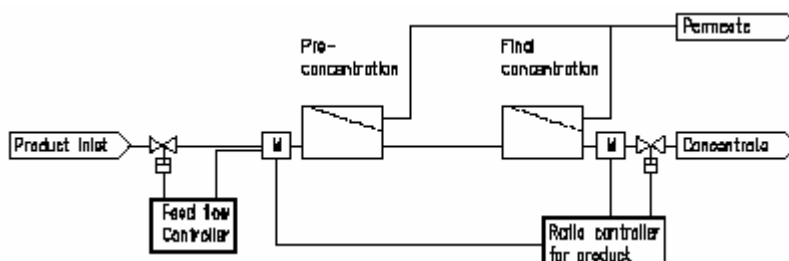


图 19 恒流量和浓缩比例。变压力

渗透流量控制器

一般我们都希望有稳定的渗透流量，在纳滤和反渗透工艺中，可以通过在渗透液管线中安装一台流量计和使用信号控制进水压力来达到此目的。具体作法如下(1)改变进料泵的转速，最好使用变频器 或(2)使用控制信号来打开或关闭进料泵和系统间的截止阀。

批式系统。如果进料泵是一台正位移泵，那么浓缩比例可以保持稳定。如果进料泵是一台离心泵，浓缩比例实际上很难确定。

连续系统。如果进料泵是一台正位移泵，那么浓缩比例可以保持稳定。如果进料泵是一台离心泵，则需要一台比例控制器。

渗透流量控制引起一些争论。例如它几乎不能用于带全过滤的系统中。然而在相对无污染进料的纳滤和反渗透批式系统中看起来运行良好。

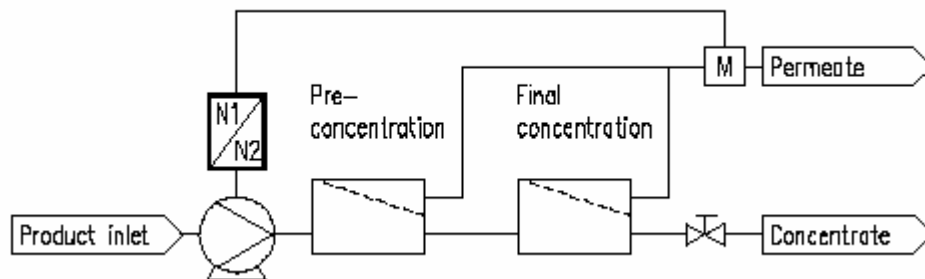


图 20 稳定渗透流量控制器

粘度控制器

当浓缩菜胶和黄原胶类产品时，粘度是一个严重的问题或挑战。它几乎不能使用折射计或浓缩比例来控制系统，因为这些参数与粘度相关性很小或几乎无关。因此设计了一个非常间接的控制方法。

在系统最后一级安装一台正位移泵，它能提供一个与压力无关的流量。在膜组件的压降和粘度之间有着比较清晰的关系。压降随着粘度的增加而增加。由此水泵提供的压力也增加。当流量稳定时电动机的电流消耗与水泵提供的压力虽然并不是线性关系，但也直接相关。因此在粘度和电机电流之间有明确的关系。通过一个控制器，电流消耗信号可以控制一个浓液出口阀，以确保浓液的粘度保持稳定。在最后一级中不能使用离心泵。

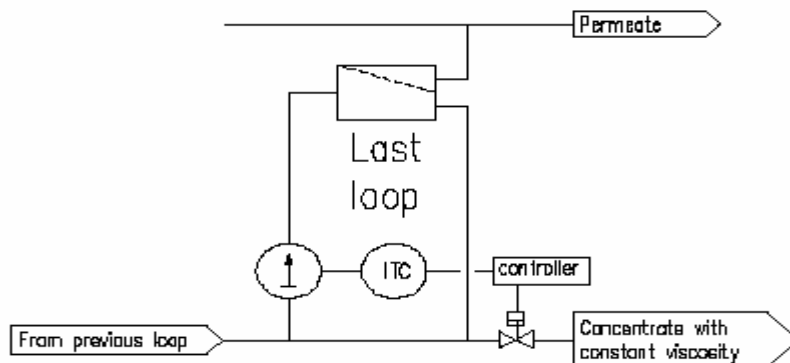


图 21 稳定粘度控制器

如何防止启动时总固体(TS)的波动

启动一套大型的多级超滤或微滤系统并不是件容易的事情。按惯例，操作者先启动第一级，然后陆陆续续第二级、第三级-----。超滤系统被沉淀的蛋白质或其它物质堵塞的“灾难”发生后，引起人们对一个充满水的系统从启动到稳定阶段过渡中堆积的固体外形的仔细研究，得到了一些有趣的发现。

如图所示，有一个 5 级系统，内部容量为 800L，是一个工业级系统的代表，用于处理 30000Lph 的奶酪。假设其浓缩比例为 30: 1。为了简便起见，无全过滤。这就意味着稳定后系统将产生 1000Lph 的浓液和 29000Lph 的渗透液。假设系统由一台比例控制和一个进料压力调节器控制。理想状态下，系统稳定前需要注入的量为 $15 \times 800 = 12000$ ，但实际情况却往往不能理想化。因此需要的流量要高些。

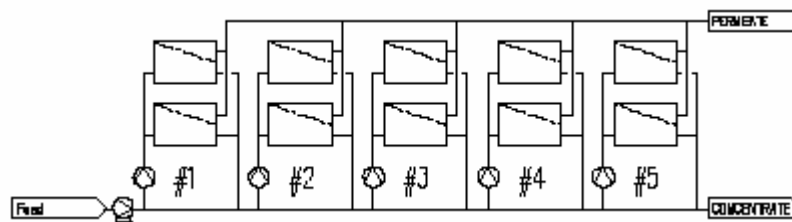


图 22 5 级进料和渗出系统

这里有个例子，“不能”如此启动一个系统：工厂中一个懒惰的操作员将所有泵的按钮钉在同一块木板上，这样所有的泵可以同时启动。结果每台 18.5kw 的 5 台电机同时启动，引起电量的巨大波动。即使采用更为柔和的操作程序，大流量的物料还是会流入系统。同时系统中的水开始和物料混合，结果一些固体、即非常纯的蛋白质从第一级被推至后续几级。

由于初始通量较高，因此第一级的浓缩率高于正常。当过渡浓缩的物料向前最终到达最后一级，由于蛋白质浓度太高而发生凝胶。最终可能导致糟糕的结局。所有的或大多数的流道被堵塞，无法彻底清洗。唯一的办法只有彻底更换组件，重新启动系统。

这些年来，许多工厂都遭遇了这类事件。因此引起了众多思索和策划如何来解决问题。

最好的方法是采用以下的步骤来启动一个多级系统，以一个 5 级系统为例：先启动第 5 级，而 1~4 段关闭。当第 5 级的通量接近正常值时启动第 4 级，当第 4 段的通量接近正常值时启动第 3 段，依此类推。注意：要使堆积的固体正好在正常值以下，特别是在最后一段中。

采用传统的启动方法将导致进水流量比正常值要高 50%。而预处理设备却无法处理这么多流量而保持运行正常。一般来说，所有情况降到正常流量条件要花 30 分钟左右。

最新的方法要求进水接近正常值，因为初始活化的膜面积较小。显然当一个新的段启动时，流量的变化还是比较快，但是它发生在某一时间相对较小的活化的膜面积上，因此，进水流量的处理比较容易。

最近的方法采用渐进的手段从低端改正浓液的总固体，这样可能会有些过浓缩的趋势。传统的方法可以越过这个步骤，然后渐渐从高端校正总固体。

电动、气动操作阀

有关电动阀和气动阀的争论已有许多。作者采用气动操作阀的理由有以下几点：

- 如果弄湿了也不影响运行；
- 即使短暂堵塞也不会烧坏；
- 维修简单；
- 多数型号防爆。

当然，要根据自身的体验和在生产设备中已使用的设备来选择。

◇ 泵的控制

泵几乎不能传输确切的流量和所需的压力，因此必须用某种方式来控制。我们必须区分离心泵和正位移泵。下面列出了两种类型泵的主要的特性。

表 34 泵的特性

	单级离心泵	多级离心泵	正位移泵
压力	几乎是恒定的	变化很大	从 0~无限大变化
流量	从 0~无限大变化	变化很大	几乎是恒定的

从名字理解，正位移泵的流量几乎恒定，而与压力无关。比较常见的类型是柱塞泵和隔

膜泵。

当单级离心泵在接近最大效率操作时，提供几乎恒定的压力，而与流量无关。

多级离心泵大概介于两者之间。泵的级数越多，其性能曲线越陡。因此，压力随流量发生显著变化。

以上这些只是基本的介绍，若要详细、精细地描述一台泵，则需要用一本书来讨论。

了解了以上提到的这些泵的特性后，就可以用下表列出的方法来控制一台泵了。当然以下列出的是实际应用的方法，而不仅是理论上的。

表 35 泵的调节方法

	单级离心泵	多级离心泵	正位移泵
截止阀	×	×	
变频器	×	×	×
机械变速			×

在正位移泵后不要设置全关阀门，因为如果这个阀门关系，管线会破裂。许多年来，控制泵的流量和压力的唯一方法是通过机械变速装置改变泵的转速。而近年来，已越来越多地使用变频器，它们可以很好地控制正位移泵。机械变速装置比电子变频器更易损坏。

使用一个截止阀就可以简单、方便地控制离心泵。这种方法很常规，它很简便并廉价，但有一些缺点。如下：

- 噪音大，对人体有害；
- 浪费能源，每小时可能损失两度电，一年中浪费的钱可以买一台变频器了；
- 它在运行中产生热量，那么物料可能需要冷却，耗费较大；
- 运行中较大的剪切力会损坏处理的物料。

而变频器没有以上这些缺陷。使用变频器唯一的缺点是费用，但这是留待将来解决的技术问题。变频器的价格已有所下降，而且看起来越来越便宜。目前市场上有些泵本身就带变频器。

优化参数和系统的操作

一个良好运行的膜过滤系统必须具有合理和稳定的通量，并且能耗尽可能低。为了达到这些目标，必须优化相关的物料通量、压力和温度方面的操作参数。就象前文所说的那样，过分大的渗透通量并不是系统的目标，而且还会导致不稳定的操作。

如图 23 所示，通量是压力的函数，它是一个综合性图表，然而却是基本正确的。

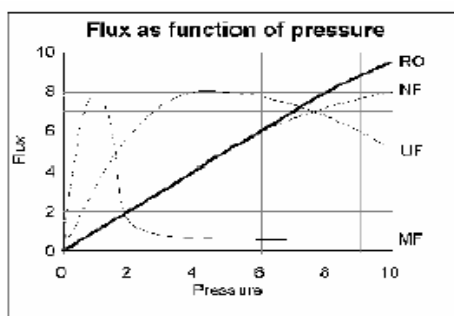


图 23 通量——压力的函数

通量——压力的函数

反渗透系统中的一般原则是：当平均压力(NDP)翻倍，通量也翻倍。

纳滤和反渗透相同，但通量和 NDP 的关系并不象反渗透一样是线性的。

超滤则更困难些。如果进水压力提高几个巴，而通量实际上却下降。对大多数的物料来说，最大的有用的压力在 3~5bar，很少有例外。这就意味着事实上超滤系统的容量更依赖于物料而不是膜本身。几乎所有的用户都赞成观察通量，并选择最优化的操作系统。

从选择操作压力立场看，微滤是最难操作的膜工艺。通量几乎要减少超过 0.5bar 左右。因此几乎不可能在理想的压力和流量条件下运行一个微滤系统。这就是为什么微滤系统供货商 15 年来一直在宣传“明年微滤的销售将真正迅速发展”的原因之一。事实上，1995 年微滤系统只占整个膜销售额的 1% 以下。

综上所述，得出以下结论：

- 在反渗透和纳滤工艺中压力被用作一个优化渗透通量的变数；
- 在超滤和微滤工艺中压力不能决定渗透通量。

通量——温度的函数

如果一定要改变物料的温度，那么我们建议尽可能采用简单的方法提高温度，因为通量随温度的增加而增加。但是物料的特性或容量或经济原因，使我们不得不接受任何温度下的物料。

多数膜的水通量每升高 1℃ 增加 3.3%，因此温度提高 30℃，将使水通量翻倍。但可惜仅对极少数物料是正确的，因为化学和微生物现象会在许多方面限制通量。实际上根据温度增长的这么大的通量只发生在纯水或纸浆造纸行业的排水上。大多数情况下，以每增加 1℃ 提高 1% 通量计算更合理些。

提高操作温度可能引起：

- 钙盐的沉淀，如磷酸氢钙(CaHPO_4)；
- 蛋白质的沉淀，如蛋白；
- 微生物的生长，导致粘泥的形成。

对许多乳制品和医药产品而言，更应该“少即是更多”，意思是如果在低温和低通量下启动系统，结果在运行一天后会获得比在高温、高通量时启动更高的渗透通量。

只有当物料有粘性时，例如处理凝胶剂，高温操作才是真正有好处的。可能并不能提高通量，但至少可以防止系统被物料堵塞。

计算通量变化很容易。

<25℃ 系数 = $(1 + \text{TC}/100)^{(\text{温度} - \text{测试温度})}$

>25℃ 系数 = $1 + (\text{TC}/100) \times (\text{温度} - \text{测试温度})$

其中

系数是 25℃时增加通量的系数。

TC=每升高 1℃增加的通量百分比。

水	薄膜	3.3%/℃
水	PSO(聚醚砜)、CA（醋酸纤维膜）	2.7%/℃
多数物料	所有膜	1%/℃

系统操作优化

首先应选择操作温度，然后必须定出或选择优化的压力。

反渗透和纳滤的优化相对简单。应该根据供货商的建议选择进水流量、压力。当渗透通量增加到适当时，通量一般在 20~35Lmh 之间。

超滤则稍微更困难些，压力和通量的函数关系曲线前文已举过一个例子。如果通量曲线是根据实验的结果建立的，那就具有实际应用价值。

一个超滤系统的操作优化可以从以下几点入手：

- 1、 采纳供货商的建议；
- 2、 将压力设置得低些，如浓缩压力为 0.5bar，并在这个压力下至少操作 1.5 小时，最好几小时；
- 3、 然后将压力升高至 1.0bar，再操作一段时间；
- 4、 继续升高 0.5bar 压力，直到通量不再增加。

在工业应用条件下，一个系统的操作压力应比我们建议的优化值更低些。因为实际上经过一段时间的操作通量可能降低。起始通量越低，超时压降可能更小。

微滤系统的优化这里不讨论，因为相对于其它工艺，微滤系统具有复杂性和完全不同的特性。

不要做……

A、——强制系统传输高渗透通量。一般来说，对于极少的物料才能这么做，并且不能持续长时间。同时高渗透通量在所有的项目中会增加膜的污染。对卷式组件通量应限制在≤35Lmh。对大多数的其它系统则应不超过 50~70Lmh。

B、——在处理工业物料时执行渗透通量 100Lmh 的承诺——排除你能得到书面保证。到目前为止只有 Valmet Flootek 生产的 CR 过滤器在通量超过 100Lmh 时能持续稳定地运行一段时间，且可以运行 24 小时不清洗。

C、——超越膜制造商的限制。虽然有些限制可以被打破，但需要许多实际经验、洞察力或与膜相关的许多知识。

D、——希望超过以下行业列出的总固体浓度：

溶 质 类 型	例 子
多糖	4% Xantan
低组分离子溶质	5% NaCl
二价盐溶质	15% NiSO ₄
单糖	15% 葡萄糖
蛋白质	22% 蛋白或乳清蛋白质

二糖类	25% 普通糖
牛奶浓缩物	42% 羊奶酪产品
乳化油	70% 水中的矿物油

文献引用值经常高于这里列出的值。这在实验室的试验或短期的工业应用中可能实现，但大多数的这类信息被列入纯理论范畴。

E、——希望或要求不切实际的产品保证。因为保证是保险的一种，而保险是需要钱的。因此最好先进行安全试验性质的测试，并且在确定操作责任前与膜和系统的供货商一起优化系统的设计和操作。当优化成功后，还应牢记：

- 未来产品会发生变化；
- 系统操作员是最了解产品的。

价格、系统和膜

本节中提到的价格是指“整机系统”。这里指的“整机系统”一般指装配好的系统，具有膜组件、内部管线和管件、阀门、泵和控制设备。这里提到的价格不包括建筑、系统或辅助设施的安装，如给水、排水、电力和压缩空气等。

膜系统的价格在欧洲从二十世纪七十年代中期至 1989 年一直很平稳，同期美国的价格则在下跌，知道两者价格相差不大。1989 年，卷式组件被大量引入乳制品行业。因此整机系统的价格下降三分之一，从约 US \$ 2,000/M² 膜面积降至 US \$ 550/M² 膜组件。价格的下降发生在几个月内。1989 年以后，价格还在下跌。二十一世纪早期医药系统的价格在 US \$ 300~400/M²。乳制品行业一般卖到 US \$ 200~240/M²，纯水系统则在 US \$ 100~150/M²。

显然这样可以吸引更多的最终用户，但系统供货商的低利润率将导致最终用户很难得到好的服务和担保。

卷式组件

许多年来，卷式组件是市场上每 m² 膜面积最便宜的。虽然价格下降缓慢，但确实在下降，直到二十一世纪早期，价格已很难再下降了。事实上，销售价格已残酷地接近生产价格了。

卷式组件价格。注意：这个价格各地区不同，同时也和订货数量和组件结构有关。

薄膜反渗透膜组件 销售价 US \$ 15~25/M² 膜面积

薄膜纳滤膜组件 销售价 US \$ 20~40/M² 膜面积

聚砜超滤膜组件 销售价 US \$ 25~50/M² 膜面积

特殊组件 销售价 US \$ 35~70/M² 膜面积

卷式系统的集成费用一般在 US \$ 300~500/M² 膜面积。

管式膜系统

就象前文提到的那样，这类膜系统通常有两种价格等级。

市场上有一些低价的管式膜系统，其销售价格大致上和卷式膜系统差不多。它们有严格的温度和压力限制，除了针对一些不常见和要求不高的项目外，几乎没有竞争力。

高价的管式系统其售价超过 US \$ 1000/M² 膜面积。虽然市场有限，但也有一些项目适用。膜更换费用一般 US \$ 120/M² 膜面积左右。

板框式膜系统

板框式膜系统的价格最高时在 US \$ 200~300/M² 膜面积之间，现空膜也卖到 US \$ 130~180/M² 膜面积，因此几乎没有贬值。

事实上，完整的板框式系统的制造和销售的价格接近于卷式膜系统。在早期的膜过滤中，由于政治原因，板框式系统的销售在 US \$ 2000~3000/M² 膜面积之间。但板框式系统并没有在膜发展早期市场竞争不强时快速涌入市场，而是仅仅留了其“Rolls Royce”的地位，如今几乎消声匿迹了。

纤维膜系统

这类膜系统售价很高，一般>US \$ 1700/M² 膜面积，用于乳化油和全牛奶处理，很少用于其它类型的项目。

更换膜的价格一般> US \$ 700/M² 膜面积。

目前有一些新的纤维系统出现，售价接近于 US \$ 300/M² 膜面积，但是否成功还有待观察。如果成功，则会给卷式膜带来真正的竞争。

陶瓷膜系统

这类膜系统价格非常、非常高，达> US \$ 10,000/M² 膜面积。许多年来，陶瓷膜的制造商一直在宣布明年市场将兴旺，但他们一直只是在承诺。陶瓷膜的使用者要么很有钱，要么需要处理的产品非常非常特殊。即使陶瓷膜将来便宜些，但在价格上和其它膜形成竞争还有很长的一段路要走。

系统设计

为一个现有的膜过滤项目选择系统设计相对容易，可以在几分钟内完成，但准备一个详细的、引证充分的系统设计却是一项综合性的任务。然而我们可以提供一些有助于进行初步估价的一般原则和快捷方式，通过它们我们可以有 h

效地决策一个膜过滤方案是否经济可行。

需要了解的信息包括：

- 处理容量，一般表示为 l/h；
- 浓缩比例或渗透体积(一般为进水容量的 75~95%)；
- 要求的渗透通量，一般表示为 l/h。

不管是现有的还是假定都必须有一个通量数据。如果遵循以下原则，不难作出有根据的假定：

- 反渗透：15~25Lmh；
- 纳滤：20~30Lmh；
- 超滤：25~50Lmh；
- 微滤：无一般原则。

无疑，所使用的通量值都较低。

膜系统的“圣诞树”设计完全依赖于可靠的流量，因此在选择设计参数方面也没有多少可变性。以下内容对设计多级循环系统有帮助。

表 37 系统设计的必要步骤

#1	选择、估计或测量通量 Lmh
#2	用通量除以渗透液体积计算出膜面积

#3	选择膜组件，并找出每个组件的膜面积(m ²)
#4	计算膜组件的数量(膜面积/每单位膜面积)
#5	核算单位是否合理？ 如果“不合理”，则返回#4步； 如果“合理”，继续#6。
#6	每个膜壳里是否超过一种膜组件，如卷式膜？ 如果“是”：在每个膜壳内选择单位的数量，并计算膜壳的数量； 如果“否”：继续#7步。
#7	计算循环环路的数量比较复杂，因为有关的一些参数必须先确定。 如果通量曲线较陡，则选择相对多的环路； 如果通量曲线较平，可选择少些环路。 选择环路数量，并平衡分配膜组件。核算膜壳/单位的数量是否对选择的环路数量足够大？(系统越昂贵，越应该减少环路，以增加效率，减少膜费用)
#8	确定指定的进水流量和每单元的压降。由于在一个环路中所有的单元/膜壳是并列的，应确定循环泵的类型； 确定要处理的容量和操作压力，就可选定进水泵。
#9	选定流量、压力和泵后，消耗的功率(KW)就可计算出。
#10	有关膜系统的投资费用，可提供一个粗略的参考。 对工业专案来说： 大多数的卷式膜系统安装费用在 US \$ 400~600/m ² 。 对于管式膜或纤维膜系统可能翻倍。 对于脱盐： 比工业系统略便宜。
#11	内部容量一般是 1.5l/m ² 膜面积。这个数字对计算冲洗用水量是很重要的。
#12	冲洗用水是内部容量的 3 倍。
#13	每 m ³ 透过液可变的费用是 US \$ 0.4~1.0。 作为可变费用利息和分期偿还还是相同的。 一般 US \$ 1/m ³ 渗透液。
#14	对于平面布置没有好的规则。 一个实验室一般占地 2~3 平方米。 一个 1000 平方米卷式膜面积的生产系统需要 30 平方米的平面空间。相对于其它过程处理，膜过滤

	装置占地较小。																													
#15	<p>膜是易耗组件。所有的用户都想知道膜的使用寿命,但实际上在各个项目中膜的使用寿命变化很大。以下是一般高分子膜的数据,但即使在组分上的很小的差异对膜的使用寿命都可能有较大影响,同时系统的操作方式也是影响因素之一。</p> <table><tr><td>处理水的</td><td>反渗透、纳滤</td><td>3~6 年</td></tr><tr><td>处理水的</td><td>超滤</td><td>2~4 年</td></tr><tr><td>处理乳清</td><td></td><td>1.5~2.5 年</td></tr><tr><td>奶制品</td><td></td><td>1~2 年</td></tr><tr><td>制药</td><td></td><td>0.5~1.5 年</td></tr><tr><td>乳化油</td><td></td><td>0.5~3 年</td></tr><tr><td>果胶等</td><td></td><td>0.5~1.5 年</td></tr></table>			处理水的	反渗透、纳滤	3~6 年	处理水的	超滤	2~4 年	处理乳清		1.5~2.5 年	奶制品		1~2 年	制药		0.5~1.5 年	乳化油		0.5~3 年	果胶等		0.5~1.5 年						
处理水的	反渗透、纳滤	3~6 年																												
处理水的	超滤	2~4 年																												
处理乳清		1.5~2.5 年																												
奶制品		1~2 年																												
制药		0.5~1.5 年																												
乳化油		0.5~3 年																												
果胶等		0.5~1.5 年																												
#16	<table><tr><td colspan="2">整个系统的一般投资</td><td>价格包括泵、管路、膜和控制系统。</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>根据 2000 年 1 月的利率</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>US \$ /M²</td></tr><tr><td>卷式组件</td><td>纯水</td><td>150</td></tr><tr><td>卷式组件</td><td>工业</td><td>350</td></tr><tr><td>管式膜</td><td></td><td>1400</td></tr><tr><td>板框式</td><td></td><td>>1700</td></tr><tr><td>纤维系统</td><td></td><td>>1700</td></tr><tr><td>陶瓷膜</td><td></td><td>>3000</td></tr></table>			整个系统的一般投资		价格包括泵、管路、膜和控制系统。			根据 2000 年 1 月的利率			US \$ /M ²	卷式组件	纯水	150	卷式组件	工业	350	管式膜		1400	板框式		>1700	纤维系统		>1700	陶瓷膜		>3000
整个系统的一般投资		价格包括泵、管路、膜和控制系统。																												
		根据 2000 年 1 月的利率																												
		US \$ /M ²																												
卷式组件	纯水	150																												
卷式组件	工业	350																												
管式膜		1400																												
板框式		>1700																												
纤维系统		>1700																												
陶瓷膜		>3000																												

看起来在许多行业，价格是唯一具有竞争力的参数。但是作者认为许多最终用户购买一个低价系统是错误的。因为低价引发的许多问题，如服务、有价值产品的流失、生产线的停工、工艺参数的改变和系统的扩张都比初期投资耗资更多。可能由于水脱盐反渗透系统已非常标准化了。因此低价系统成为可以接受的选择。但是对于分离和废水膜系统仍应采用高质量的组件和高水平的设计。只有这样才能确保达到满意、可靠和成功地运行。