苏伊士水务技术与方案
Water Technologies & Solutions

SUEZ 工业分离膜

产品技术手册



ready for the resource revolution

苏伊士 (SUEZ)

苏伊士集团 —— 全球资源（水和固废）可持续管理领导者，凭借 160 余年的丰富经验，为全球五大洲提供先进的水务及固废管理解决方案。每天向 9,200 万人提供饮用水，向 6,500 万人提供污水处理服务，向近 5,000 万人提供固废收集服务，每年回收 1,600 万吨废弃物，并生产约 7,000 吉瓦时的再生能源。

苏伊士水务技术与方案 (SUEZ – Water Technologies & Solutions)

2017 年 9 月 30 日，苏伊士集团正式完成对前通用电气水处理及工艺过程处理 (GE 水处理) 的收购交割，通过整合 GE 水处理业务和苏伊士工业水务业务，苏伊士集团内成立了全新的业务单元 —— 水务技术与方案，简称“SUEZ-WTS”，致力于解决互联世界最艰巨的资源挑战。

四大核心价值



广阔的地理覆盖，得以服务全球客户



完备的解决方案组合，助力循环经济



领先的数字化及智能技术，推动流程优化与资源保护



专业的研发和技术团队，更快捷地为本地客户带来创新的解决方案

为各行各业的客户提供创新性的解决方案与一体化服务

10,000 全球员工

50,000+ 工业及市政用户

17 个研发与卓越中心

10,000+ 专项技术

不同应用

- 纯水处理
- 饮用水和脱盐
- 成份水
- 锅炉水处理
- 冷却水处理
- 水质监控
- 工艺侧方案
- 强化石油采收
- 粉尘控制
- 重金属去除
- 污泥处理
- 废水处理
- 中水回用
- 液体零排放
- 有机固态物与有机废料
- 资产效能服务

不同行业

- 油气（上游与下游）
- 化工与制药
- 电力
- 食品与饮料
- 造纸与纸浆
- 冶金与采矿
- 汽车、交通与航空
- 电子与微电子
- 建造、报废与材料
- 工程总承包
- 公用事业

苏伊士水务技术与方案在中国
(SUEZ-WTS in China)

我们的大中华区团队拥有近 600 名员工分布各地，凭借专业的知识与经验，竭诚为客户提供售前支持与技术服务。秉承全方位本地化的理念，我们具备本地生产、采购，本地技术支持，本地设计执行服务，本地研究开发的能力，将能够为本地客户提供灵敏高效、量身定制的方案与服务。

600 员工

28 个省市

2 个先进工厂

1 个全球研发中心

1 个工程设计执行中心

1 个客服中心



- **上海张江的全球研发中心** —— 独立的研发团队，研发实验室面积 1500 平方米。40 多名各领域专家，高级工程师占比 30%， 研究生以上学历比例 70%，组成化学与材料，化学工程，生物工程，环境工程四大专业研发团队，重点攻克难降解 COD 去除、废水回用，先进膜技术与电分离技术、液体零排放及分盐技术、数字化及技术服务，冷却水处理药剂，工艺过程处理药剂与服务等， 先后产生美国专利 170 多项， 新产品新工艺 30 多项，真正实现为中国客户度身定制研发产品并提供应用技术支持。

- **无锡生产基地** —— 始建于 2004 年，先后在 2008 年及 2011 年扩建的苏伊士 WTS 无锡工厂，大大缩减了向中国客户的交付时间，可生产高端水处理化学品，以及为各种工业客户提供行业领先的水循环、过滤和处理技术，是全球最大的卷膜基地，唯一的 E-Cell 生产基地，为全球超过 45 个国家提供优质水处理产品。

- **天津生产基地** —— 始建于 2012 年，专业生产臭氧发生设备，核心部件进口，国内组装提高供货周期的同时优化成本。

目录

第一章 产品和性能 1

1.1 产品命名法、分类 1
1.2 产品典型应用 2
1.3 产品特性 3
1.4 运输信息 9
1.5 产品选择指南 9

第二章 膜分离基础知识 20

2.1 膜基本介绍 20
2.2 工艺设计与操作模式 25
2.3 分离膜工艺开发实验方案 26

第三章 分离膜系统的运行和维护 29

3.1 膜元件的安装和拆卸 29
3.2 膜系统的启动和关停 30
3.3 膜元件的运输和储存 32
3.4 膜元件的清洗 33
3.5 运行日志 36

第四章 分离膜应用举例 37

4.1 Duratherm 高温膜 37
4.2 醇类回收 37
4.3 水溶性淬火剂的回收 38
4.4 电镀废水 39
4.5 淀粉加工 40
4.6 含酸废水处理 41
4.7 胶体硅去除 42
4.8 胶体铁去除 43
4.9 糖类加工 44
4.10 酿酒工业 45
4.11 乳清分级与脱盐 47
4.12 洗衣废水处理 48
4.13 饮料加工 50
4.14 鱼类蛋白浓缩 50
4.15 高浓度废水处理案例 52
4.16 垃圾渗滤液 NF/RO 设计导则 58
4.17 NF 强化分盐技术及 RO 塔高压反渗透盐浓缩 63

第五章 附件 66

5.1 温度校正系数 66
5.2 分离膜元件的化学兼容性 66
5.3 产品质保条款 68

第一章 产品和性能

1.1 膜元件命名法

膜元件名称由 6 位基本型号代码组成（有些元件可能例外）。例如：DK8040F30。

名称					
1	2	3	4	5	6
D	K	80	40	F	30
膜类型	膜通量	直径	长度	外套	隔网

DK8040F30 的第 1 位：第 1 位用一个字母或单词表示膜类型。在本例中，字母 D 表示 D 系列复合膜。其它膜类型如下表所示。

第 1 位	膜	产品	类型
S	RO	S 系列	TFM
D	NF	D 系列	TFM
G	UF	G 系列	TFM
P	UF	P 系列	PES
M	UF	M 系列	PAN
J	MF	J 系列	PVDF
DURACID	NF	K 系列	TFM
INDUSTRIAL	RO, NF	S 系列 , A 系列 , D 系列	TFM
DURATHERM HWS	RO, NF	A 系列 , D 系列	TFM
DURATHERM EXL	RO, NF, UF	D 系列 , G 系列 , S 系列	TFM
DURATHERM STD	RO, UF	A 系列 , P 系列	TFM,PES
DURASLICK	RO, NF	D, S 系列	TFM

DK8040F30 的第 2 位：第 2 位用一个字母表示膜通量（水渗透常数）。一些膜类型，例如 A 系列和 D 系列，可能有多个通量型号，因此可能会有若干个不同的通量字母。通量字母范围从 A 到 Z，其中 A 表示最低的水渗透常数。

DK8040F30 的第 3 位：第 3 位表示元件直径（英寸）。在本例中，膜元件的直径为 8.0 英寸。

DK8040F30 的第 4 位：第 4 位表示膜元件长度（英寸）。在本例中，膜元件长度为 40 英寸。

DK8040F30 的第 5 位：第 5 位表示膜元件外套。F 表示玻璃钢，C 表示网笼。

网笼外套消除了膜壳内的空隙和死角。工业网笼外壳膜元件采用胶水粘结的 ATD，同时可能采用盐水密封圈来限制元件周围的旁路。所有 Duratherm 膜元件都采用网笼外套。当使用网笼膜元件时，要求较高的进液流量使元件内达到充分的湍流和足够的压降。

玻璃钢（FRP）外套消除了旁路，优化了循环泵的能耗。它们为配合高压操作而设计。

DK8040F30 的第 6 位：第 6 位表示元件隔网。在本例中，第 6 位表示具有适合低固体含量应用的 30mil 隔网的膜元件。

第 6 位	隔网 (mm)
30	30milmil (0.76)
35	35milmil (0.89)
50	50milmil (1.27)

1.2 产品典型应用

膜类型	膜型号	典型应用
反渗透膜	SE- 系列 SG- 系列	1. 酸浓缩回收 2. 抗生素浓缩 3. 染料废水回收 4. 蒸发器冷凝水回收 5. 果汁浓缩 6. 洗衣店废水回收 7. 糖类浓缩 8. 垃圾渗沥液处理 9. 酒类的酒精度调节
纳滤膜	DK- 系列 DL- 系列 Durafoul Duraslick	1. 酸净化 2. 抗生素浓缩 3. 酒精净化 4. BOD ／ COD 脱除 5. 乳清脱盐 6. 清洁剂去除 7. 葡萄糖净化 8. 染料浓缩、脱盐 9. 乙二醇净化 10. 重金属去除 11. 电镀废水回收 12. 多聚糖脱盐 13. 糖类分馏 14. 垃圾渗沥液

膜类型	膜型号	典型应用
超滤膜	GE- 系列 GH- 系列 GK- 系列	1. 胶体铁去除 2. 胶体硅去除 3. 染料净化 4. 有机物净化、浓缩、分级 5. 蛋白质、肽的分离与浓缩 6. 淬火剂回收 7. 糖类中的色素去除
	PT- 系列 PW- 系列	1. 酶制剂浓缩 2. 蛋白质浓缩和分离 3. 聚乙烯醇（PVA）浓缩 4. 乳清浓缩 5. 超纯水（UPW）精处理
	MW- 系列	1. 油水分离 2. 细胞培养分离 3. 生化溶解产物澄清

1.3 产品特性

1.3.1 三层复合膜结构

SUEZ-WTS 是世界上首家将三层复合膜技术应用于反渗透膜和纳滤膜上的公司。三层膜结构主要应用在反渗透膜和纳滤膜上，通过在膜元件的聚酰胺薄膜层 (PA) 和聚砜层 (PS) 层之间插入 SUEZ-WTS 公司专利性的薄膜层 (见图 1-1 所示)，从而使膜表层更加光滑减少了污染物在膜表层的沉积，提高了膜元件的抗污染能力，减少了膜系统对预处理的要求。

美国耶鲁大学的最新研究证明：膜表面越粗糙，膜越容易被污染。图 1-2 原子显微镜 (AFM) 图象显示污染颗粒优先会积累附着于粗糙的膜表面的波谷中，导致波谷被堵塞，进而造成严重的膜通量下降，而具有光滑膜表面的三层复合膜则可以克服此缺点。也就是说：三层复合膜 = 更光滑的膜表面 = 更好的抗污染性。

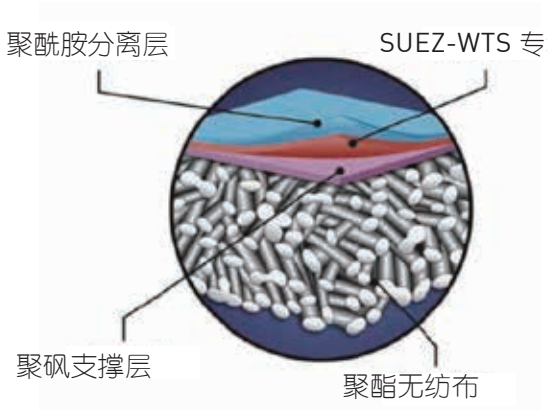


图 1-1：SUEZ-WTS 三层复合膜结构

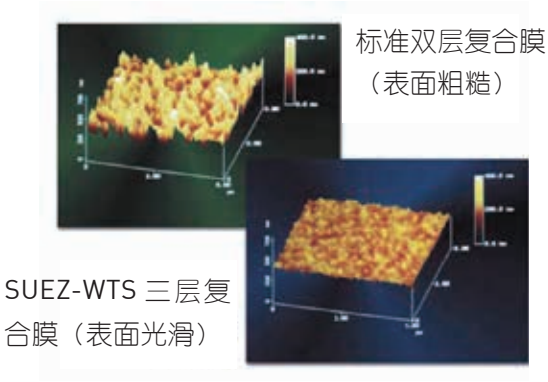


图 1-2：原子显微镜复合膜结构

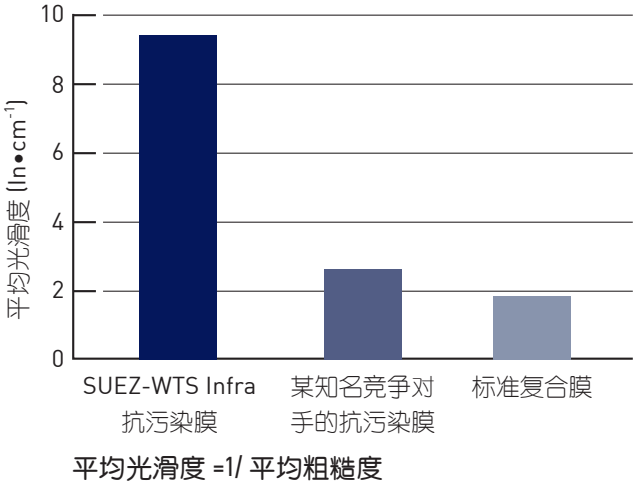


图 1-3 不同膜表面平均光滑度的比较

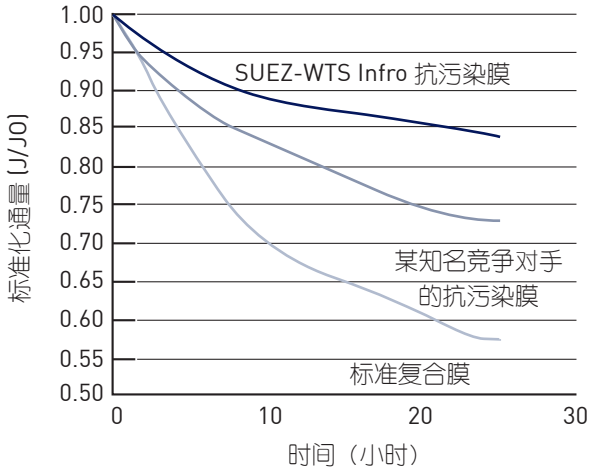


图 1-4 膜表面光滑度对标准化通量的影响

图 1-3 和图 1-4 给出了膜表面光滑度和标准化的膜渗透通量之间的直接关系，同时图 1-4 中的渗透通量曲线显示了低污染的三层复合膜与其他品牌的低污染膜以及标准的双层复合膜的性能比较。

1.3.2 纳滤分离膜的内涵

市场上曾有一种流行的说法：纳滤就是一种疏松的反渗透。实际上这是一种技术概念上的误导。表 1-2 为不同膜的截留率比较。真正分离概念上的纳滤是满足道南效应，并对离子具有选择截留性的过滤膜，一种氯化钠透过率与氯化钠浓度成正比、且该比例大于 0.4 的膜。其主要用于各种料液的脱盐和浓缩。

0% NaCl 截留率在 30,000 ppm 浓度的 NaCl 和其他种类的离子相混合条件下，纳滤膜测试得到的。在纯 30,000 ppm 浓度的 NaCl 溶液条件下。纳滤膜对 NaCl 的截留率为 5% -15%。当 NaCl 的浓度低于 30,000ppm 甚至更低的，纳滤膜 NaCl 的截留率在 15%以上。纳滤膜对 NaCl 等盐类实际截留率主要取决于进水的组成成份和膜属性（见图 1-5）。

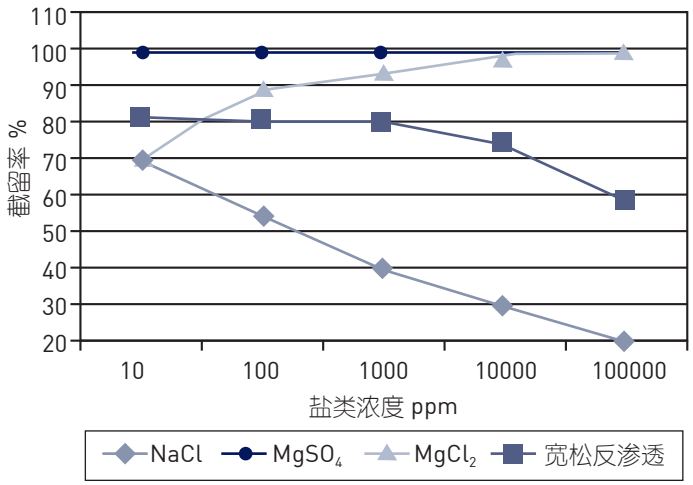


图 1-5 纳滤膜对不同盐类的截留率图

表 1-2：不同膜的截留率比较

物质种类	反渗透膜	疏松反渗透膜	纳滤膜	超滤膜
氯化钠	99%	70-95%	0-50%	0%
硫酸钠	99%	80-95%	99%	0%
氯化钙	99%	80-95%	0-60%	0%
硫酸镁	>99%	95-98%	>99%	0%
硫酸	98%	80-90%	0%	0%
盐酸	90%	70-85%	0%	0%
果糖	>99%	>99%	>99%	0%
蔗糖	>99%	>99%	>99%	0%
腐殖酸	>99%	>99%	>99%	0%
病毒	99.99%	99.99%	99.99%	99%
蛋白质	99.99%	99.99%	99.99%	99%
细菌	99.99%	99.99%	99.99%	99%

1.3.3 独特的浓水流道

在设计浓缩分离膜系统时，只考虑膜表面的抗污染能力是不够的，还应该考虑以下因素：料液的品质、料液在膜表面的切向流速、膜元件的浓水流道结构，标准的浓水流道为 28mil、34mil 菱形结构，多年实践证明膜的浓水流道结构对膜的抗污染能力影响极大，因此 SUEZ-WTS 公司对膜元件浓水流道的结构和厚度都进行改进，研发出多项专利：

- 浓水流道结构：菱形浓水流道和平行浓水流道，见图 1-6 和 1-7 所示
- 浓水流道厚度：47mil、83mil等（1mil=0.025mm）

当采用传统的菱形浓水流道时，污染物极易在菱角处积累，从而导致浓水流道堵塞，浓水测压损增加。而采用平行浓水流道时，即可消除污染物在菱角处积累的现象，减轻浓水流道的堵塞的程度，使浓水在膜管中分配更加均匀。当采用更厚的浓水流道时，可防止较大污染颗粒在浓水流道中堵塞的现象，同时由于浓水流道加厚，浓水切向流量和流速也都相应的增加，这样一来将增加浓水侧的紊流程度，从而减少膜元件的污堵。

更厚的平行浓水流道的优点：

- 大幅降低膜元件的浓水测压力损失
- 减少了污染物在浓水流道中的堵塞
- 使膜系统的前后段的膜通量更加平衡，减少膜表面的污染
- 膜系统压降更小，不易被污染， 易清洗

通过采用多种独特的浓水流道专利，SUEZ-WTS 公司浓缩分离膜元件可适应不同粘度、不同污染程度、不同温度的料液。

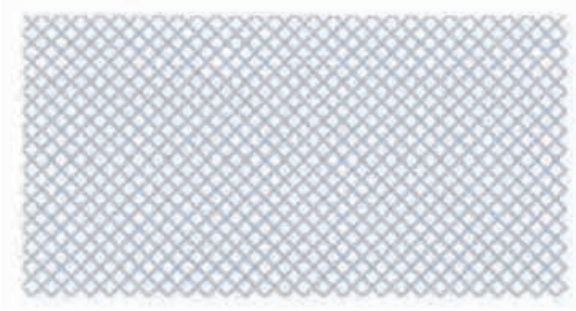


图 1-6 菱形流道

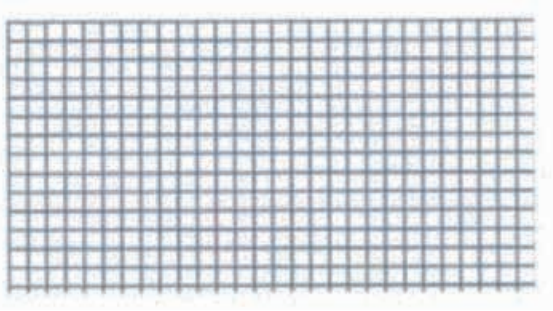


图 1-7 平行流道

1.3.4 Durasan 卫生级膜套

Durasan 是 SUEZ-WTS 公司研发的一种专利性的膜套 (见图 1-8)。此设计代替了传统的玻璃钢膜套，主要应用于乳制品、食品和饮料、制药等卫生级场合。

Durasan 是由硬质塑料制成的网格状膜外套，用于容纳和保护卷式膜元件。当流体穿过膜元件时，膜元件受压膨胀，Durasan 紧贴膜壳而对浓缩液起密封作用。因此勿需传统的橡胶浓水密封圈，同时少量的可控制的流体在 Durason 和膜壳之间形成切向流动旁路，防止形成流动死角而滋生细菌等微生物。

同一原理，此种设计也提高了膜元件的清洗杀菌效率。Durason 是一种卫生级结构，非常适用于卫生级 CIP 系统。



图 1-8 卫生级膜套 Durasan

1.3.5 Duratherm 耐高温膜

普通的有机膜元件的持续操作温度必须低于 50°C，如果超过此温度膜将很快丧失正常的性能。SUEZ-WTS 公司凭借其强大的膜技术研发能力开发出耐高温膜元件：Duratherm 系列，其主要应用于：食品和饮料，制药，电子等行业中。

Duratherm HWS 热水消毒型膜元件能够耐受周期性 90°C 热水清洗消毒，用于替代传统的膜系统化学消毒，同时可以在 ≤50°C 的条件下连续运行。在一些特定领域中，例如：在制药和生物工程中生物杀灭剂不能被采用，而高温热水消毒可以被采用。1865 年巴斯德发现了高温热水能够将细菌或微生物杀灭至一安全水平。此灭菌法被称为巴斯德加热灭菌法，其基本原理为：热水将热量传导给微生物，导致微生物体中的蛋白质链变性和凝结，从而导致微生物失去活性。在欧美地区，随着制药工业的生产标准的不断提高。特别是随着 USP 的要求越来越严格，热水消毒型水处理系统正越来越多地被采用。

膜型号	应用领域		
Duratherm HWS	饮料工业	乳制品	医疗
	生物工程	微电子工业	
	精细化工	食品工业	
Duratherm STD	饮料工业	乳制品	海水淡化
	生物工程	微电子工业	纺织工业
	精细化工	食品工业	
Duratherm PRO	饮料工业	冶金工业	制糖业
	生物工程	食品工业	食品加工
	乳制品	纺织工业	
Duratherm EXCEL	食品饮料工业	乳制品	纺织工业
	生物工程	微电子工业	制糖业
	精细化工	洗衣房废水处理	淀粉加工

Duratherm 应用领域

下列表格介绍了湿热灭菌法的操作条件（温度和时间）

微生物	酵母	真菌	细菌	病毒
耐受温度 / 时间	80°C/5-10 分钟	80°C/30 分钟	60-70°C/10 分钟	60°C/30 分钟

以上数据为对无性繁殖的微生物热消毒的最低理论参数，为了增加的热消毒的有效性，在实际应中热消毒的温度和时间应高于此理论参数。

Duralherm 膜元件采用先进的膜结构设计，即使在极端的操作条件下也能保持优良的工作性能。例如：Duratherm HWS 可在低压状态下用 90° C 热水消毒，同时可长期运行于 50° C 状态下。而普通的膜元件的运行温度必须低于 50° C，且必须采用化学品消毒。而 Duratherm Elite 可连续的处理 90° C 的工艺料液。由于采用了高质量的膜材料，Duratherm 膜元件满足了美国 FDA 认证（21 卷）。所有的 Duratherm 膜元件皆采用 SUEZ-WTS 公司专利的膜套 Durason，由于 Durasan 没有采用传统的橡胶浓水密封圈，少量的流体在 Durason 和膜壳之间形成切向流动旁路，防止形成流动死角而滋生细菌等微生物。Duratherm 膜元件涵盖了反渗透膜，纳滤膜，超滤膜。

表 1-3：Duratherm 系列耐高温膜选型表

膜型号	连续工作温度	应用描述
Duratherm HWS	≤50° C	该产品可耐 90° C 热水循环消毒，用于代替传统的化学品膜消毒方法。
Duratherm STD	≤70° C	该产品用于一些洁净性的热水应用领域，例如：蒸发器和锅炉的冷凝水的脱盐、除硅等。
Duratherm PRO	≤70° C	该产品用于一些高温料液的浓缩分离应用领域。
Duratherm Excel	≤80° C	该产品采用宽流道设计，处理含有大量悬浮物的料液时，膜压降极低，同时提高了膜的在线清洗（CIP）能力。

注：Duratherm HWS、STD、PRO 达到了美国 USDA 标准和乳制品业的 3A 标准。

为了更好的理解膜元件操作压力和操作温度对膜元件结构和性能的影响。SUEZ-WTS 公司推出了瓦格纳图 (Wagner Diagram)，见图 2-9 所示。其中瓦格纳单位 = 操作温度 (° C)× 操作压力 (bar)，瓦格纳图将帮助客户确定 Duratherm 高温膜元件的极限应用条件。

为了将 Duratherm 高温膜元件成功地应用工艺中，SUEZ-WTS 公司建议按照下列步骤进行：

- 彻底地分析整个系统，包括：进水或进料的组成成分；系统要求的操作条件。
- 查询瓦格纳图，以确定合适的膜元件型号和安全性。
- 进行现场小试实验。

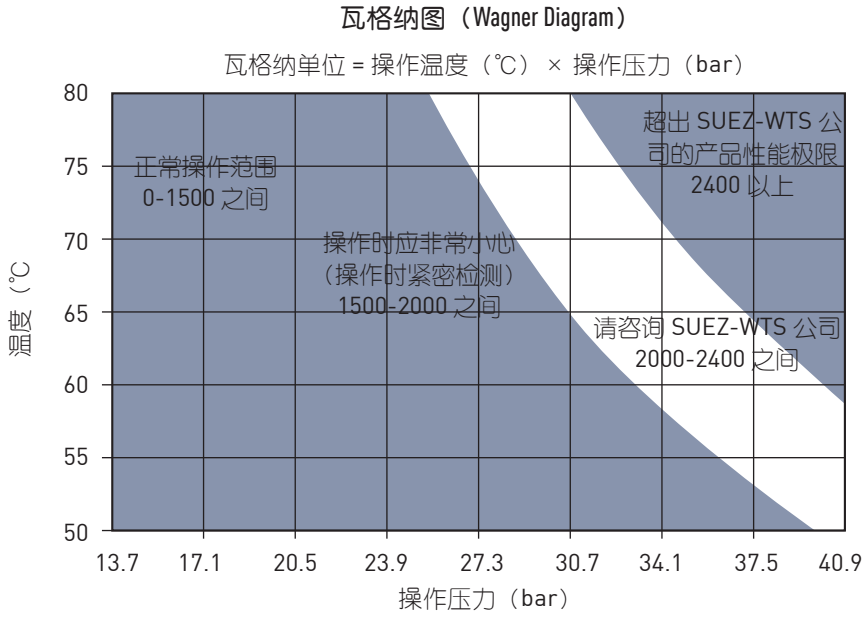
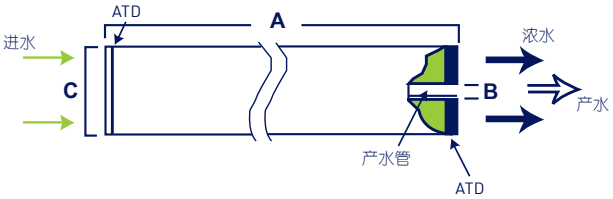
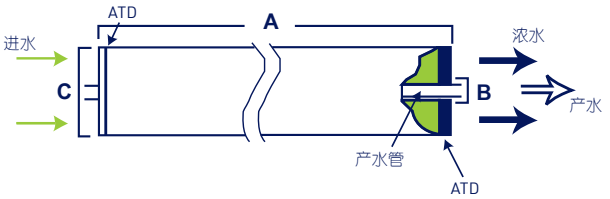


图 1-9：瓦格纳图（Wagner Diagram）

1.4 运输信息



有 ATD 的平接头膜元件



有 ATD 的凸接头膜元件

运输信息					
规格[1]	接头	直径，英寸 (cm)			参考毛重，kg
		A	B[2]	C[3]	
2540	凸接头	40.00 (101.6)	0.75 (1.9) OD	2.4(6.1)	1.9
4025	平接头	40.00 (101.6)	0.625 (1.6)	3.9 (9.8)	2.7
4040C[4]	平接头	38.75 (98.4)	0.625 (1.6)	3.98 (10.1)	4.0
4040F	凸接头	40.00 (101.6)	0.75 (1.9) OD	3.9 (9.8)	4.5
8040	平接头	40.00 (101.6)	1.125 (2.85)	7.9 (20.1)	15.7
8340	平接头	40.00 (101.6)	1.138 (2.89)	8.3 (21.1)	19.1

[1] 除有特殊标注外，所有膜元件均为干 / 半干膜运输。

[2] 除注明为 OD（外径）外，均为内径。

[3] 元件直径（尺寸 C）按照在 SUEZ-WTS 压力容器内达到最佳性能而设计。其它尺寸和公差的压力容器可能会导致过多的旁路和能量损失。

[4] 表中所列长度是未安装 ATD 时的膜元件长度。每个元件交付时带有一个配件包，里面装有 1 根内连管（0.75 英寸长）、8 个 O 形圈和 2 个防伸缩端板（0.25 英寸直径）。当元件、ATD 和内连管全部安装就位时，膜元件的长度为 40 英寸。

1.5 产品选择指南

膜保护很重要 - 为了更好地保护膜处理系统，我们提供一系列业内最佳的保安过滤滤芯。我们通过提供整套而不仅是部分解决方案，帮助客户延长膜寿命，降低操作成本。为了保护 RO 膜，30mil 隔网元件请使用 ROSave. Z-core（20 微米）滤芯，50mil 隔网元件请使用 ZCore（20 微米）深层过滤滤芯。关于过滤滤芯与膜配套使用的更多信息，请联系本司代表。

SE 膜元件									
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
SE2540F30	550 (2.1)	99%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207431	50˚C	500 ppm- 小时
SE2540F50	370 (1.4)	99%	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207427	50˚C	500 ppm- 小时
SE8040C30	8,500 (32.2)	99%	374 (34.7)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207488	50˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/L NaCl 溶液，操作压力 425psi (2,930kPa)，温度 25˚C，pH 6.5，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

SG 膜元件									
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
SG2540F30	590 (2.2)	98.5%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207546	50˚C	500 ppm- 小时
SG2540F50	370 (1.4)	98.5%	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207547	50˚C	500 ppm- 小时
SG4040C30	1,900 (7.2)	98.5%	89 (8.2)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207577	50˚C	500 ppm- 小时
SG8040F30	8,000 (30.3)	98.5%	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207614	50˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/LNaCl 溶液，操作压力 225psi (1,5510kPa)，温度 25˚C，pH 6.5，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

1.5.1 纳滤膜元件

D 系列纳滤膜元件采用专有复合膜，用不带电有机分子测截留分子量约为 150-300 道尔顿，它们能够使一价盐透过而截留二价盐。DK 和 DL 膜元件的典型应用包括盐水净化、染料脱盐 / 浓缩、稀酸净化和从污水中脱除 COD。与 DK 相比，DL 纳滤膜元件通量更高，同时产水侧透盐率稍高。

H 系列纳滤膜元件采用专有复合膜，用不带电有机分子测截留分子量约为 100-300 道尔顿，包括高脱盐率 HP 纳滤膜和低脱盐率 HL 纳滤膜。HL 和 HP 膜元件的典型应用包括水质软化，脱色，降低 THM 产水的风险。与 HL 相比，HP 纳滤膜元件通量更高，同时对一价离子的脱盐率更高。

DK 膜元件									
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 $MgSO_4$ 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
DK2540C30	560 (2.1)	98%	24 (2.2)	网笼	凸接头	30 (0.76)	1206918	50˚C	500 ppm- 小时
DK2540C50	350 (1.3)	98%	18 (1.6)	网笼	凸接头	50 (1.27)	1206919	50˚C	500 ppm- 小时
DK2540F30	540 (2.0)	98%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1206925	50˚C	500 ppm- 小时
DK2540F50	340 (1.3)	98%	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1206926	50˚C	500 ppm- 小时
DK4040C30	1,900 (7.2)	98%	89 (8.2)	网笼	平接头	30 (0.76)	1206947	50˚C	500 ppm- 小时
DK4040C50	1,400 (5.3)	98%	67 (6.2)	网笼	平接头	50 (1.27)	1206946	50˚C	500 ppm- 小时
DK4040F30	1,900 (7.2)	98%	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3050075	50˚C	500 ppm- 小时
DK4040F50	1,400 (5.3)	98%	66 (6.1)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3050073	50˚C	500 ppm- 小时
DK8040C30	8,100 (30.7)	98%	374 (34.7)	网笼	平接头	30 (0.76)	1206978	50˚C	500 ppm- 小时
DK8040C50	6,500 (24.6)	98%	300 (27.9)	网笼	平接头	50 (1.27)	1206979	50˚C	500 ppm- 小时
DK8040F30	8,100 (30.7)	98%	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1206993	50˚C	500 ppm- 小时
DK8040F50	6,500 (24.6)	98%	284 (26.4)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1206994	50˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

DL 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 $MgSO_4$ 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
DL2540C30	650 (2.5)	96%	24 (2.2)	网笼	凸接头	30 (0.76)	3028456	50˚C	500 ppm- 小时
DL2540C50	430 (1.6)	96%	18 (1.7)	网笼	凸接头	50 (1.27)	1207015	50˚C	500 ppm- 小时
DL2540F30	650 (2.5)	96%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207018	50˚C	500 ppm- 小时
DL2540F50	450 (1.7)	96%	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207019	50˚C	500 ppm- 小时
DL4040C30	2,400 (9.1)	96%	89 (8.2)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207030	50˚C	500 ppm- 小时
DL4040C50	1,800 (6.8)	96%	67 (6.2)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207028	50˚C	500 ppm- 小时
DL4040F30	2,400 (9.1)	96%	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3050068	50˚C	500 ppm- 小时
DL4040F50	1,800 (6.8)	96%	66 (6.1)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3050067	50˚C	500 ppm- 小时
DL8040C30	10,200 (38.6)	96%	374 (34.7)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207040	50˚C	500 ppm- 小时
DL8040C50	8,200 (31.0)	96%	300 (27.9)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207041	50˚C	500 ppm- 小时
DL8040F30	10,200 (38.6)	96%	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207048	50˚C	500 ppm- 小时
DL8040F50	8,200 (31.0)	96%	284 (26.4)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207049	50˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

HL 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 $MgSO_4$ 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
HL2540FM	780 (3.0)	98.0%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207230	50˚C	500 ppm- 小时
HL4040FM	2,400 (9.1)	98.0%	89 (8.2)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207236	50˚C	500 ppm- 小时
HL8040F	10,800 (40.9)	98.0%	365 (33.9)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1266702	50˚C	500 ppm- 小时
HL8040F-400	11,500 (43.5)	98.0%	400 (37.2)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207240	50˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，pH 7.5，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

HP 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
HP4040F30	2,400 (9.1)[1] 2,800 (10.6)[2]	85-95%[1] >98%[2]	89 (8.2)	玻璃钢	凸接头	30	3151070	50˚C	500 ppm- 小时
HP8040F30	11,000 (41.6)[1] 13,000 (49.2)[2]	85-95%[1] >98%[2]	400 (37.2)	玻璃钢	平接头	30	3149763	50˚C	500 ppm- 小时

[1] 测试条件：500 mg/L NaCl 溶液，操作压力 75psi(520kPa)，温度 25˚C，pH 7.5，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

[2] 测试条件：2,000 mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi(760kPa)，温度 25˚C，pH 7.5，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

1.5.2 超滤膜元件

G 系列超滤膜元件采用专有复合膜，膜表面光滑、抗污染。GE 膜元件用聚乙二醇测截留分子量为 1,000 道尔顿，用于有机溶液的精密分离。GH 膜元件用聚乙二醇测截留分子量为 2,500 道尔顿，用于脱色、降低 TOC 和从有机溶液中脱除硫酸盐。GK 膜元件用聚乙二醇测截留分子量为 3,500 道尔顿，用于化学物质净化。

P 系列超滤膜元件采用聚醚砜膜。PT 膜元件截留分子量为 5,000 道尔顿，通常用于化学工业有机溶液的分离或工艺水处理。PW 膜元件截留分子量约为 30,000 道尔顿，并对细胞色素 C（13,200MC 蛋白）的截留率超过 96%，常用于工艺水的预处理和超纯水的后处理。

M 系列超滤膜元件采用聚丙烯腈膜。与传统亲油性膜相比，MW 的亲水性极强，可最大程度降低浮油污染。MW 膜元件用于脱除水中的乳化油、浓缩含油污水以及保护 RO 或 NF 受到油污染。MW 膜元件可在温度最高为 75°C 的热乳液和工艺生产水中操作。它们通常要求某种形式的机械预处理，以除去浮油和固体颗粒。

GE 膜元件

型号	MWCO（道尔顿）	材质	平均流量 GPD (m^3/d)	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
GE2540F30	1,000	TFM	740 (2.8)	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207086	50°C	20-50 ppm- 天
GE2540F50	1,000	TFM	500 (1.9)	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207087	50°C	20-50 ppm- 天
GE4040C50	1,000	TFM	2,000 (7.6)	67 (6.2)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207091	50°C	20-50 ppm- 天
GE4040F30	1,000	TFM	2,600 (9.8)	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3050063	50°C	20-50 ppm- 天
GE8040F30	1,000	TFM	10,000 (37.8)	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207098	50°C	20-50 ppm- 天
GE8040F50	1,000	TFM	7,300 (27.6)	284 (26.4)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207096	50°C	20-50 ppm- 天

通量规格基于纯水，操作压力 410psi (2,827kPa)，温度 25°C，回收率 10%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

GH 膜元件

型号	MWCO（道尔顿）	材质	平均流量 GPD (m^3/d)	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
GH2540C50	2,500	TFM	370 (1.4)	18 (1.7)	网笼	凸接头	50 (1.27)	1207101	50°C	20-50 ppm- 天
GH2540F30	2,500	TFM	530 (2.0)	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207102	50°C	20-50 ppm- 天
GH4040F30	2,500	TFM	1,900 (7.2)	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3050661	50°C	20-50 ppm- 天
GH4040F50	2,500	TFM	1,300 (5.0)	66 (6.1)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3050660	50°C	20-50 ppm- 天
GH8040C30	2,500	TFM	7,000 (26.5)	374 (34.7)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207118	50°C	20-50 ppm- 天
GH8040C50	2,500	TFM	5,100 (19.3)	300 (27.9)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207119	50°C	20-50 ppm- 天
GH8040F30	2,500	TFM	7,400 (28.0)	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207120	50°C	20-50 ppm- 天
GH8040F50	2,500	TFM	5,500 (20.8)	284 (26.4)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207121	50°C	20-50 ppm- 天

通量规格基于纯水，操作压力 160psi (1,103kPa)，温度 25°C，回收率 10%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

GK 膜元件										
型号	MWCO（道尔顿）	材质	平均流量 GPD (m^3/d)	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
GK2540F30	3,500	TFM	420 (1.6)	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207129	50˚C	1,000 ppm- 天
GK2540F50	3,500	TFM	270 (1.0)	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207130	50˚C	1,000 ppm- 天
GK4040F30	3,500	TFM	1,600 (6.0)	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3050009	50˚C	1,000 ppm- 天
GK4040F50	3,500	TFM	1,000 (3.8)	66 (6.1)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3050008	50˚C	1,000 ppm- 天
GK8040C50	3,500	TFM	4,100 (15.5)	300 (27.9)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207151	50˚C	1,000 ppm- 天
GK8040F30	3,500	TFM	5,900 (22.3)	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207152	50˚C	1,000 ppm- 天
GK8040F50	3,500	TFM	4,000 (15.1)	284 (26.4)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207153	50˚C	1,000 ppm- 天

通量规格基于纯水，操作压力 85psi (586kPa)，温度 25˚C，回收率 10%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

PT 膜元件									
型号	MWCO（道尔顿）	材质	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
PT8040C50	5,000	PES	264 (24.5)	网笼	平接头	50 (1.27)	1240574	50˚C	5,000 ppm- 天
PT8040F30	5,000	PES	340 (31.6)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1229772	50˚C	5,000 ppm- 天

PW 膜元件									
型号	MWCO（道尔顿）	材质	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
PW2540C30	30,000	PES	23 (2.1)	网笼	凸接头	30 (0.76)	1207350	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW2540F30	30,000	PES	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207352	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW2540F50	30,000	PES	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207351	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW4025T	30,000	PES	50 (4.6)	胶带缠绕	平接头	50 (1.27)	1207369	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW4040C30	30,000	PES	82 (7.6)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207372	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW4040C50	30,000	PES	63 (5.8)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207371	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW4040F30	30,000	PES	79 (7.3)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3050051	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW8040C50	30,000	PES	264 (24.5)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207399	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW8040F30	30,000	PES	340 (31.6)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207404	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW8040F50	30,000	PES	269 (25.0)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207403	50˚C	5,000 ppm- 小时
PW8340C50	30,000	PES	276 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1223936	50˚C	5,000 ppm- 小时

MW 膜元件									
型号	MWCO（道尔顿）	材质	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
MW2540F30	50,000	PAN	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1233383	50˚C	200,000 ppm- 小时
MW4040F50	50,000	PAN	62 (5.8)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3050562	50˚C	200,000 ppm- 小时
MW8040C50	50,000	PAN	264 (24.7)	网笼	平接头	50 (1.27)	1220654	50˚C	200,000 ppm- 小时
MW8040F50	50,000	PAN	269 (25.0)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1229852	50˚C	200,000 ppm- 小时

1.5.3 微滤膜元件

J 系列微滤膜元件采用聚偏氟乙烯膜，用于工艺流体净化和电泳漆浓缩。

JX 膜元件									
型号	孔径微米 (u μ m)	材质	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
JX2540F30	0.3	PVDF	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1207253	50˚C	5,000 ppm- 天
JX2540F50	0.3	PVDF	22 (2.0)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	1207252	50˚C	5,000 ppm- 天
JX4040C30	0.3	PVDF	82 (7.6)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207264	50˚C	5,000 ppm- 天
JX4040F30	0.3	PVDF	79 (7.3)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	3049975	50˚C	5,000 ppm- 天
JX4040F50	0.3	PVDF	62 (5.8)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3049974	50˚C	5,000 ppm- 天
JX8040F30	0.3	PVDF	340 (31.6)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1207283	50˚C	5,000 ppm- 天
JX8040F50	0.3	PVDF	269 (25.0)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207284	50˚C	5,000 ppm- 天

1.5.4 特殊应用分离膜

酸回收膜

DURACID NF 是本司开发的专有纳滤膜，可在 pH 等于或低于零的极端酸性条件下连续操作。这些膜被设计为能够承受高压和最高为 70˚C 的操作温度，以实现在 20-25% 硫酸和磷酸溶液中的金属浓缩。DURACID NF 膜元件也可用于酸净化和低 pH 料液中的金属浓缩。DURACID NF 膜元件采用专利进料隔网、聚砜零件和玻璃钢外套。所有结构材料均耐低 pH 值。

DURACID 膜元件									
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 $MgSO_4$ 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
DURACID NF2540F30	155 (0.6)	98%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1231058	70˚C	500 ppm- 小时
DURACID NF4040F35	525 (2.0)	98%	77 (7.1)	玻璃钢	凸接头	35 (0.89)	3050564	70˚C	500 ppm- 小时
DURACID NF8040F35	2,050 (7.8)	98%	333 (30.9)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	1231068	70˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

盐脱硝膜

Durasalt 是本司开发的专有大通量纳滤膜，设计用于盐化工行业盐水净化单元的硫酸根和硬度脱除等。

DURACID 膜元件									
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均 $MgSO_4$ 截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高温度	耐氯性
Durasalt NF 8040F	11,500 (43,9)	96%	400 (37.2)	网笼	平接头	28 (0.71)	3151672	50˚C	500 ppm- 小时

测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

耐高温膜

Duratherm 耐高温膜元件的截留特性取决于温度。

Duratherm HWS 系列膜元件专门为采用热水消毒法以避免使用化学消毒法的系统而设计，以提高产品质量或满足行业法规标准。适合于低错流环境、无悬浮固体、温度最高为 50˚F (122˚F) 的水净化分离系统。

Duratherm STD 膜元件适合于低错流环境、无悬浮固体、温度最高为 70˚C (158˚F) 的热水净化分离系统。典型应用包括冷凝水回用等。

DURATHERM EXL 膜元件适合于最高温度为 70˚C(158˚F) 的分离系统（水或工艺流体）。所有元件采用聚砜 ATD 和中心管、专利 DURASAN* 网笼外套。该系统膜元件可用于浓缩高温工艺流体。其典型应用包括由于在较低的温度下黏度过高而难以使用膜工艺的高溶解固含量流体的浓缩、净化和分离。

DURATHERM HWS 膜元件										
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率 /MWCO	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作温度	最高消毒温度	耐氯性
DURATHERM HWS RO2540HR[1,4]	620 (2.3)	99.5%	24 (2.2)	网笼	凸接头	30 (0.76)	1263600	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS RO4040HR[1,4]	2,250 (8.5)	99.5%	89 (8.3)	网笼	平接头	30 (0.76)	1263435	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS RO8040HR[1,4]	9,000 (34.1)	99.5%	374 (34.8)	网笼	平接头	30 (0.76)	1263599	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS RO2540[2,4]	760 (2.9)	99%	24 (2.2)	网笼	凸接头	30 (0.76)	1228430	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS RO4040[2,4]	2,250 (8.5)	99%	89 (8.3)	网笼	平接头	30 (0.76)	1228459	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS RO8040[2,4]	9,000 (34.1)	99%	374 (34.8)	网笼	平接头	30 (0.76)	1228481	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS SG8040[2]	8,600 (32.6)	98.5%	374 (34.8)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207613	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时

DURATHERM HWS 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率 /MWCO	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作温度	最高消毒温度	耐氯性
DURATHERM HWS NF4040[3,4]	2,400 (9.1)	96%	89 (8.3)	网笼	平接头	30 (0.76)	1263437	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS NF8040[3,4]	10,200 (38.6)	96%	374 (34.8)	网笼	平接头	30 (0.76)	1262377	50˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM HWS UF8040	-	10,000 Da	348 (32.3)	网笼	平接头	30 (0.76)	1263602	50˚C	90˚C	5,000 ppm- 小时

[1]测试条件：在任何热水消毒之前，2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 225psi (1.1550kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[2]测试条件：在任何热水消毒之前，500ppm NaCl 溶液，操作压力 115psi (790kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[3]测试条件：在任何热水消毒之前，2,000ppm $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[4]运行 24 小时后的平均脱盐率。单支膜元件流量可能会有 +25%/-15% 的波动。最终产水流量受制于热处理过程的波动。在大部分情况下，热处理后的产水流量将稳定在比热处理前的正常流量低 30-50 %。对于保守设计，考虑产水量降低 50%。

DURATHERM STD 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率 /MWCO	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作温度	最高消毒温度	耐氯性
DURATHERM STD RO4040[1,2]	2,250 (8.5)	99.5%	89 (8.3)	网笼	凸接头	30 (0.76)	1228197	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM STD RO8040[1,2]	9,000 (34.1)	99.5%	374 (34.8)	网笼	平接头	30 (0.76)	1228225	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM STD UF8040HR	N/A	5,000Da	348 (32.8)	网笼	平接头	30 (0.76)	1207315	70˚C	90˚C	5,000 ppm- 小时

[1]测试条件：在任何热水消毒之前，2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 225psig (1,550kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[2]运行 24 小时后的平均脱盐率。单支膜元件流量可能会有 +25%/-15% 的波动。最终产水流量受制于热处理过程的波动。在大部分情况下，热处理后的产水流量将稳定在比热处理前的正常流量低 30-50 %。对于保守设计，考虑产水量降低 50%。

DURATHERM EXL 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率 /MWCO	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作温度	最高消毒温度	耐氯性
DURATHERM EXL RO2540HR[1,3]	350 (1.3)	98.5%	18 (1.7)	网笼	凸接头	50 (1.27)	1228306	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM EXL RO8040HR[1,3]	5,500 (20.8)	98.5%	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1228840	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM EXL NF2540HR[2,3]	350 (1.3)	98%	18 (1.7)	网笼	凸接头	50 (1.27)	1206922	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM EXL NF4040HR[2,3]	1,350 (5.1)	98%	65 (6.0)	网笼	平接头	50 (1.27)	1206950	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时

DURATHERM EXL 膜元件										
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率 /MWCO	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作温度	最高消毒温度	耐氯性
DURATHERM EXL NF4040[2,3]	1,500 (5.7)	96%	65 (6.0)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207032	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM EXL NF8040HR[2,3]	6,300 (23.8)	98%	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1206982	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM EXL NF8040[2,3]	7,600 (28.8)	96%	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1207045	70˚C	90˚C	500 ppm- 小时
DURATHERM EXL UF2 8040[3]	N/A	2,500	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	3002290	70˚C	90˚C	5,000 ppm- 小时

[1]测试条件：在任何热水消毒之前，2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 420psi (1,550kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[2]测试条件：在任何热水消毒之前，2,000ppm $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[3]运行 24 小时后的平均脱盐率。单支膜元件流量可能会有 +25%/-15% 的波动。最终产水流量受制于热处理过程的波动。在大部分情况下，热处理后的产水流量将稳定在比热处理前的正常流量低 30-50%。对于保守设计，考虑产水量降低 50%。

污水回用纳滤膜

Duraslick 和 Durafoul 系列纳滤膜元件用于二级和三级污水处理出水的净化、有机物和盐脱除，以满足排放法规或冷却水等工业用水需求。膜元件的设计采用了一种创新性三层膜，中间层为专有技术，极度光滑并呈电中性。与 Duraslick 相比，Durafoul 纳滤膜元件的流量较低，脱盐率较高。

DURASLICK 膜元件										
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作压力 psi(bar)	最高温度	耐氯性
DURASLICK RO2540[1,2]	550 (2.1)	98.5%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1231055	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时
DURASLICK RO4040[1,2]	1,900 (7.2)	98.5%	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1231048	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时
DURASLICK RO8040[1,2]	7,700 (29.1)	98.5%	369 (34.3)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1231014	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时
DURASLICK NF2540[1,3]	600 (2.2)	98%	28 (2.6)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1234385	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时
DURASLICK NF4040[1,3]	2,400 (9.1)	98%	85 (7.9)	玻璃钢	凸接头	30 (0.76)	1234307	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时
DURASLICK NF8040[1,3]	8,600 (32.6)	98%	369 (34.3)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	1234182	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时
DURAFOUL NF8040F[1,3]	8,100 (32.6)	98.5%	364 (33.8)	玻璃钢	平接头	30 (0.76)	3144563	600(41)	50˚C	500 ppm- 小时

[1]运行 24 小时后的平均脱盐率。单支膜元件流量可能会有 ±25% 的波动。

[2]测试条件：2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 225psi (1,550kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

[3]测试条件：2,000ppm $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，温度 25˚C，pH7.5，回收率 15%。

高压反渗透 / 纳滤膜

INDUSTRIAL 系列膜元件的特点是膜片的化学性质和膜元件的结构材料均适合于末端废水处理应用，例如继续降低二级和三级污水处理排放水的 COD 和总溶解固体含量。INDUSTRIAL RO F50 膜元件专为相对较高的悬浮固体含量而设计。INDUSTRIAL NF 膜元件专为 TDS 和 COD 都非常高的水质而设计。此外，INDUSTRIAL RO 膜元件可以用于高浓度盐分浓缩。

DURACON 系列膜元件采用专利的网笼状外壳。所有 DURACON 元件均可按照 HWS 程序实施热水消毒（水温最高 90°C）。DURACON RO 膜元件对糖分和低分子量有机成分具有很高的截留率，通常在食品相关过程中用于溶质的高压浓缩，包括蛋白质和糖液浓缩。DURACON NF 可在高压和最高为 65°C 的温度下连续运行，常用于糖液的单糖纯化。

INDUSTRIAL 膜元件

型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作压力 psi(bar)	最高温度	耐氯性
INDUSTRIAL RO3 4040F35[1]	1,800 (6.8)	99%	77 (7.1)	玻璃钢	凸接头	35 (0.89)	3050577	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO3 4040F50[1]	1,450 (5.5)	99%	61 (5.7)	玻璃钢	凸接头	50 (1.27)	3049999	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO3 8040F35[1]	7,800 (29.5)	99%	333 (30.9)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	1207451	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO3 8040F50[1]	6,500 (24.6)	99%	269 (25.0)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	1207450	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO5 4040F35[2]	2,200 (7.4)	99.5%	77 (7.1)	玻璃钢	凸接头	35 (0.89)	3050576	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO5 8040F35[2]	9,200 (34.4)	99.5%	333 (30.9)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	3144696	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO5 8040F50[2]	7,400 (28.00)	99.5%	269 (25.0)	玻璃钢	平接头	50 (1.27)	3097294	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO6 4040F35[3]	2,200 (7.4)	99%	77 (7.1)	玻璃钢	凸接头	35 (0.89)	3144699	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO6 8040F35[3]	9,200 (34.4)	99%	333 (30.9)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	3144697	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL NF1 4040F35[4]	1,600 (6.0)	98%	77 (7.1)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	3154540	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL NF1 8040F35[4]	6,600 (25.0)	98%	333 (30.9)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	3148906	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO5 HP 4040F35[2]	1,540 (5.2)	99.5%	77 (7.1)	玻璃钢	凸接头	35 (0.89)	3154755	1800(120)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO5 HP 8040F35[2]	6,640 (24.1)	99.5%	333 (30.9)	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	3153541	1800(120)	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO 6 HP 4040F35	1,540 (5.2)	99%	77 （7.1）	玻璃钢	凸接头	35 (0.89)	3154756	1200 （80）	50°C	500 ppm- 小时
INDUSTRIAL RO 6 HP 8040F35	6,640 (24.1)	99%	333 （30.9）	玻璃钢	平接头	35 (0.89)	3153542	1200 （80）	50°C	500 ppm- 小时

[1] 测试条件：2,000mg/L NaCl 溶液，操作压力 425psi (2,930kPa)，25°C，pH 6.5，回收率 15 %。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

[2] 测试条件：2,000mg/L NaCl 溶液，操作压力温度 225psi (1,550kPa)，25°C，pH 6.5，回收率 15 %。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

[3] 测试条件：500mg/L NaCl 溶液，操作压力 115psi (790kPa)，25°C，pH 6.5，回收率 15 %。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

[4] 测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，25°C，pH 7，回收率 15 %。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

DURACON 膜元件										
型号	平均流量 GPD (m^3/d)	平均截留率	有效面积 ft^2 (m^2)	外壳	接头	隔网 mil (mm)	订购编号	最高操作压力 psi(bar)	最高运行温度	耐氯性
DURACON RO1 8040C50[1]	5,250 (19.9)	98%	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1205116	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
DURACON RO5 8040C35[1]	8,750 (33.1)	99.5%	343 (31.9)	网笼	平接头	35 (0.89)	1226495	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
DURACON RO5 8040C50[1]	6,000 (22.7)	99.5%	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1231100	1200(80)	50°C	500 ppm- 小时
DURACON NF1 8040C35[2]	6,600 (25.0)	98%	343 (31.9)	网笼	平接头	35 (0.89)	1229933	1200(80)	65°C	500 ppm- 小时
DURACON NF2 8040C35[2]	9,100 (34.5)	96%	343 (31.9)	网笼	平接头	35 (0.89)	1227615	1200(80)	65°C	500 ppm- 小时
DURACON NF2 8040C50[2]	7,700 (29.2)	96%	275 (25.6)	网笼	平接头	50 (1.27)	1256119	1200(80)	65°C	500 ppm- 小时

[1]测试条件：2,000mg/L NaCl 溶液，操作压力 225psi (1,550kPa)，25°C，pH 7，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

[2]测试条件：2,000mg/L $MgSO_4$ 溶液，操作压力 110psi (760kPa)，25°C，pH 7，回收率 15%。单支膜元件流量可能变动 ±25%。

第二章 膜分离基础知识

2.1 膜基本介绍

2.1.1 概述

膜分离技术是一项新兴的分离技术，自从 60 年代开始大规模工业化应用，发展十分迅速，其品种日盖丰富，应用领域不断扩展，是 21 世纪初最有发展前途的高技术之一。

对于压力驱动膜，根据膜孔径的大小及分离物质的差别，膜分离技术可分为微滤、超滤、纳滤和反渗透（见图 2-1）。其中，微滤膜孔径在 0.05-2.0 μ m 之间，可阻留分子量为 20 万 ~100 万的物质，适用于细菌微粒等的分离；超滤膜孔径在 0.0015-0.1 μ m，截留分子量范围在 1000~50 万，适用于大分子（蛋白质、胶体等）与小分子（无机盐、糖等低分子量有机物）溶液的分离；纳滤膜孔径在 1~2nm 之间，截留分子量范围在 150~1000 之间，适用于糖等低分子量有机物与无机盐的分离。纳滤 (NF) 膜的出现及其相关过程的出现大大地促进了膜技术在液体分离领域的应用；反渗透膜孔小于 lnm，截留分子量小于 200 (100~200)，适用于无机盐及低分子量有机物的分离和浓缩。

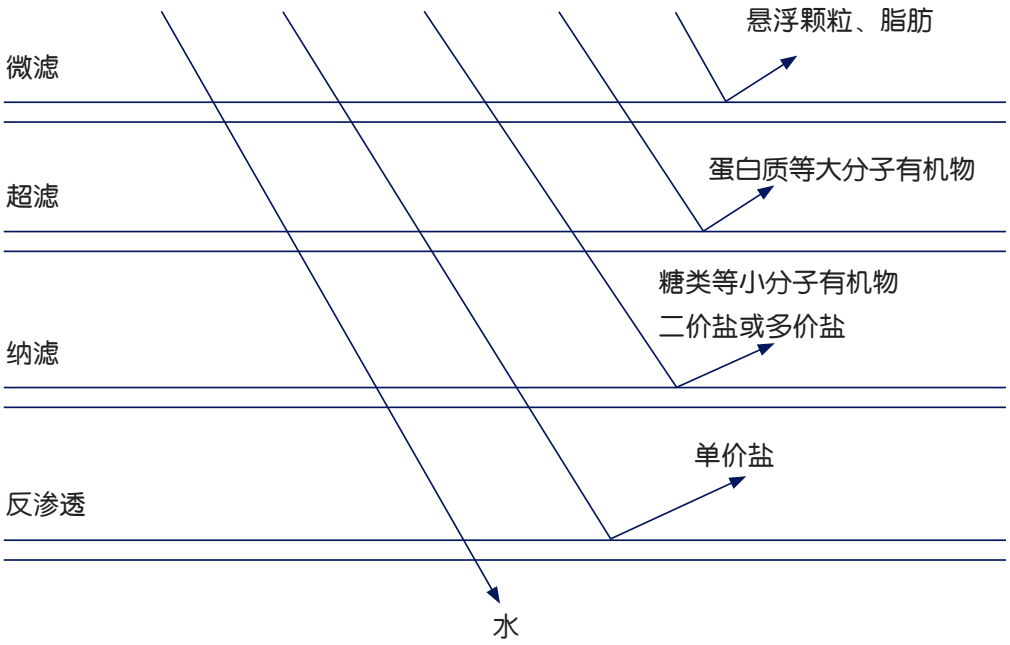


图 2-1：压力驱动膜的特性

表 2-1：四种膜过程的比较

	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；非对称膜
厚度	150 μ m	150 μ m	150-250 μ m	10-150 μ m
薄膜厚度	1 μ m	1 μ m	1 μ m	4-0.02 μ m
孔径	<0.002 μ m	<0.002 μ m	0.2-0.02 μ m	4-0.02 μ m
截留组分	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，1 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，卷式，
操作压力 MPa	1.5-15	0.5-3.5	0.1-1.0	<0.2

2.1.2 微滤

微滤是利用微孔径的大小，在压差为推动力下，将料液中大于膜孔径的微粒、细菌等悬浮物质截留下来，达到滤液中微粒的去除与溶液澄清的膜分离技术。通常，微孔膜孔径在 0.05—2.0 μ m 范围内，膜的孔数及孔隙率取决于膜的制备工艺，分别可高达 107 个 /cm^2 及 80%，微滤过程一般用于去除直径在 0.05—2.0 μ m 范围内的微粒、细菌等，由于微滤所去除的粒子通常远大于用反渗透和超滤分离的溶质及大分子，故没有渗透压，操作压差较小，约为 0.01~0.2MPa，而膜的通量远大于反渗透和超滤。

2.1.3 超滤

超滤可以分离直径大于 2nm 的溶质分子和分子量大于 1000 的分子和胶体。由于不同超滤膜存在不同范围的孔径分布，所以超滤不是一种分级技术，一般仅能对尺寸上差一个数量级的分子进行分离。对于混合体系，超滤可分离分子量相差 10 倍以上的高分子混合物。

2.1.4 纳滤

纳滤膜是介于反渗透膜和超滤膜之间的一种压力驱动膜，是近年来国际上发展较快的膜品种之一。该类膜对多价离子和分子量在 200 以上的有机物的截留率较高，而对单价离子的截留率较低。从图 2-1 中可以看到，反渗透膜脱除了所有的盐和有机物，而超滤膜对盐和低分子有机物没有截留效果。纳滤膜截留了糖类低分子有机物和多价盐 (如 $MgSO_4$)，对单价盐的截留率仅为 10% ~80%左右，具有相当大的通透性，而二价及多价盐的截留率均在 50%~90% 以上。由于单价盐能自由透过纳滤膜，所以膜两侧不同离子浓度所造成的渗透压要远低于反渗透膜。因此，纳滤膜比反渗透膜所要求的操作压力要低。

纳滤膜对盐的截留性能主要是由于离子与膜之间的静电相互作用，满足道南效应 (Donnaneffect)。盐离子的电荷强度不同，膜对离子的截留率也有所不同。对于含有不同价态离子的多元体系，由于膜对各种离子的选择性有异，根据道南效应不同离子透过膜的比例不同。例如，溶液中含有 Na_2SO_4 和 NaCl，膜对 SO_4^{2-} 的截留优先于 Cl。如果增大 Na_2SO_4 的浓度，则膜对 Cl 的截留率降低，为了维持电中性，透过膜的 Na^+ 也将增加。当多价离子浓度达到一定值，单价离子的截留率甚至出现负值，即透过液中单价离子浓度大于料液浓度。纳滤膜对中性物质（不带电荷，如乳糖、葡萄糖、麦芽糖、棉子糖、水苏糖等）的截留则是根据膜的纳米级微孔的分子筛效应。

根据纳滤膜的特性，其主要应用场合包括：

- 对单价盐并不要求有很高的截留率
- 欲实现不同价态的离子的分离
- 欲实现高相对分子量与低相对分子量有机物的分离

2.1.5 反渗透

反渗透（Reverse Osmosis），是近 40 年发展起来的膜分离技术。20 世纪 60 年代反渗透技术的崛起带动了整个膜分离技术的发展。

用一张只透过水而不透过溶质的理想半透膜把水和盐水隔开，则出现水分子由纯水一侧通过半透膜向盐水一侧扩散的现象，这是人们所熟知的渗透现象 (图 2-2a)。随着渗透现象的进行，盐水侧液面不断升高纯水侧水面相应下降，经过一定时间之后，两侧液面差不再变化，系统中纯水的扩散渗透达到了动态平衡，这一状态成为渗透平衡（图 2-2b)。π 为盐水溶液的渗透压。渗透平衡时纯水相与盐水溶液相中水的化学势差等于零。如果人为地增加盐水侧的压力，则盐水相中水的化学势增加，就出现了水分子从盐水侧通过半透膜向纯水侧扩散渗透的现象。由于水的扩散方向恰恰与渗透现象相反，因此人们把这个过程称为反渗透（图 2-2c)。由此可见，若用一半透膜分隔浓度不同的两个水溶液，其渗透压差为 π，则只要在浓溶液侧加以大于 π 的外压，就能使这一体系发生反渗透过程，这就是反渗透膜分离的基本概念。实际的反渗透过程中所加外压一般都达到渗透压差的若干倍。

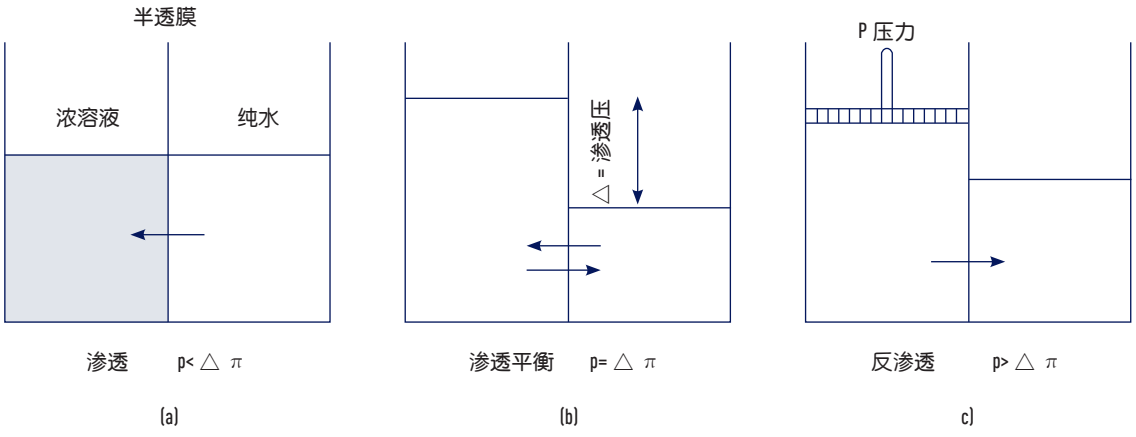


图 2-2：渗透与反渗透现象

目前膜工业上把反渗透过程分成三类：高压反渗透（5.6~10.5MPa，如海水淡化），低压反渗透（1.4~4.2MPa，如苦咸水的脱盐），和超低压反渗透（0.5~1.4MPa，如自来水脱盐）。反渗透膜具有高脱盐率（对 NaCl 达 95~99.9%的去除）和对低分子量有机物的较高去除，有机物的去除依赖于膜聚合物的形式、结构与膜和溶质间的相互作用。

2.1.6 膜的污染与清洗

在膜的使用过程中，一个主要问题是膜水通量随运行时间延长而降低，其影响因素有：

1. 浓差极化使得膜表面溶质浓度增高，导致膜表面渗透压增高，而且膜表面溶质要向本体溶液扩散，从而形成阻力，使水通量降低。
2. 被分离溶质与膜的相互作用或在膜表面的浓度高于溶解度使溶质在膜表面或膜孔内产生吸附或沉积，即膜污染，使膜水通量降低。

膜的污染可分为吸附和堵塞：

1. 吸附污染，污染物覆盖于膜的内外表面，此时膜仍有较高的水通量。
2. 堵塞，不仅膜有内外表面完全为污染物覆盖，而且膜孔受到一定程度的填塞．这时膜的水通量严重衰减，截留率上升。

膜污染与浓差极化有内在联系，但是二者在本质上截然不同，浓差极化是一个可逆过程，是膜系统动力学条件的函数，与膜本身的物理特性无关。浓差极化也不会直接影响膜孔隙度，当膜表面溶质浓度达到大分子溶液的可溶浓度的会形成凝胶层。而膜污染层是不可逆的，是由溶质与膜的相互作用而形成的。

在任何膜分离技术应用中，尽管选择了较合适的膜和适宜的操作条件，在长期运行中，膜污染问题必然发生，因此必须采取一定的清洗方法。使膜面或膜孔内污染物去除，达到恢复水通量与膜截留性能，延长膜寿命的目的。

在清洗程序设计中，通常需要考虑两个因素：

1. 膜的化学特性：耐酸、碱性、耐温性、耐氧化性和耐化学试剂性，这对选择化学清洗剂类型、浓度、清洗液温度等极为重要。
2. 污染物特性：指膜污染物在不同 pH 溶液中，不同种类盐及浓度溶液中，不同温度下的溶解性、荷电性和可氧化性及可酶解性等。

实际清洗操作中，往往几种清洗再生方法结合使用，利用它们的协同作用以取得最佳的再生效果。清洗再生工艺条件应根据污染膜的性质而确定，包括膜材质、阻塞程度及装置形式。

2.1.7 膜过程中的影响因素

操作压力

对于压力驱动膜（如反渗透、纳滤、超滤和微滤）过程，操作压力的增加通常会使膜通量增加，但是对于超滤过程会产生一个膜通量平台（见图 2-3 所示），且在超过某一操作压力的超滤膜通量甚至会下降。

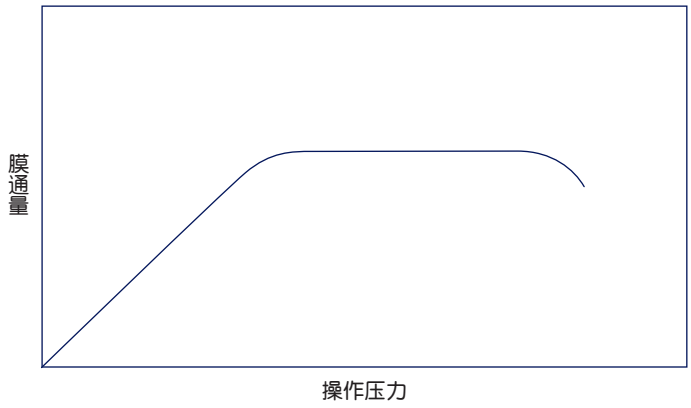


图 2-3：操作压力对超滤膜通量的影响

在反渗透膜系统中，操作压力的增力加会使截留率增加 ；而在超滤膜系统中经常会出现相反的现象。

温度

除了高温状态下料液变性沉淀而产生膜的污染之外，通常提高料液温度将增加膜的通量。一般温度每增加 1°C 膜通量增加 1.6%—3%左右。

对于反渗透膜，脱盐率一般随着温度的增加而降低。

料液浓度

随着料液浓度的增加，膜通量通常会减小。

错流速度

通过增加进膜料液流量，提高错流速度，可以增加膜面的紊流度，从而增加膜通量。

总之，在膜的应用过程中要解决的关键问题主要包括：

- 预处理
- 膜的筛选：膜孔径、膜材料、膜组件等
- 膜的污染与清洗、消毒
- 膜系统工艺操作参数：pH、温度、压力，流速、级段分配等

只有很好地解决这些问题才能保证膜系统的长期稳定运行。此外，膜应用的技术经济考核标准为：

- 膜应有选择性以满足分离要求
- 水通量要足够大，以保证可接受的投资与运行费用（能耗等）
- 长时间运行后经过清洗能够使水通量恢复
- 膜的使用寿命与更换费用要可接受
- 系统设计应合理

2.2 工艺设计与操作模式

2.2.1 膜元件、级和段

膜装置是由其基本单元—组件以级段的配置方式组装而成的。所谓级，指膜组件的产水再经膜组件处理。产水经 n 次膜组件处理，称为 n 级。所谓段，指膜组件的浓水，流经下一组膜组件处理。浓水流经 n 组膜组件，即称为 n 段。膜分离系统根据应用对象和规模的大小，通常采用连续式、部分循环式和循环式。

2.2.2 评价参数

通常，微滤用于料液的澄清处理，超滤用于料液的分级纯化与浓缩，纳滤用于料液的分级纯化、浓缩与脱盐，反渗透用于料液的浓缩和无害化处理。评价膜分离系统的好坏，用截留率表示：

体积浓缩倍数 VCR：$VCR = \frac{V_0}{V_R}$ （3-1）　　截留率 R：$R = 1 - \frac{C_P}{C_R}$ （3-2）

浓缩液浓度：$C_R = C_0 (VCR)^R$ （3-3）

透过液中有效成分回收率：

$$Y_P = 1 - (\frac{1}{VCR})^{1-R} = 1 - (1 - y)^{1-R}$$

浓缩液中有效成分回收率：

$$Y_C = \frac{M_r}{M_0} = (\frac{1}{VCR})^{1-R}$$

透过液中有效成分浓度：

$$C_p = C_0 \frac{1}{y} = [1 - (1 - y)^{1-R}]$$

浓缩液中有效成分浓度：

$$C_C = C_0 - (\frac{1}{1-y})^R$$

浓缩液中有效成分浓度：

$$Y = 1 - (\frac{1}{VCR})$$

其中：VCR 浓缩比，y 透过液体积回收率，R 截流率。

2.2.3 操作模式——渗滤

渗滤（Diafiltration）是超滤的一种衍生过程，现已应用于纳滤脱盐过程中，是膜分离过程中的重要操作模式。

渗滤的定义为：在超滤或纳滤过程中，为了提高浓缩液中大分子的纯度，在被膜滤的混合料液中加入纯溶剂（通常为水），以增加总渗透量，并带走残留在浓缩液中的小分子溶质，达到混合溶液的分离与纯化的目的，渗滤常用于小分子和大分子混合物的分离精制，要求被分离的两种溶质的分子量差异较大，通常选取截留分子量介于两者之间的膜，这种膜对大分子的截留率为 100%，而对小分子由完全透过。

2.3 分离膜工艺开发实验方案

2.3.1 项目概述

1. 项目基本信息

项目名称	
业主	
联系人联系方式	
料液名称	
处理量 m^3/h	
基本工艺要求	
项目进度要求	
工程公司	
联系人联系方式	

2. 料液分析，尽可能详细的料液成份分析，粘度以及流变性（粘度随剪切速率的变化趋势）、比重、温度、粘度和pH
3. 目标成分和杂质的分子结构式、物理化学性质（溶解度、热稳定性、酸碱稳定性、与膜材料的化学兼容性、可能发生的化学反应等）
4. 料液上游生产工艺（物料成分判断、对膜分离工艺的要求和影响等）
5. 膜分离工艺具体要求

2.3.2 选膜及可行性分析

- 依据目标成分和杂质的分子量和分子结构特性预选可能达到分离目的的分离膜
- 依据物料的物理化学性质预选适当的膜元件，运行压力较高、温度较高时要选 C 型膜元件，采用内循环模式（粘度较高、有机物溶液或含有悬浮物的物料）的系统要选宽流道型

2.3.3 试验步骤

试验一般包括以下几个部分：变量试验、参数优化试验、清洗工艺试验和模拟工业条件试验。

1. 变量试验：获得压力、循环流量、温度、浓缩比以及物料性质调整（比如 pH，离子强度）等对于分离率和通量的倾向曲线，在一个参数变化时，其他参数不变，但设置的恒量参数应该尽可能接近优化值。

   - **压力**

   保持工作泵流量 $1m^3/h$ (2540)、$3m^3/h$ (4040)、$12m^3/h$ (8040)，参考料液渗透压估算，调整压力，进行恒压批次试验（在同一压力下完成一批料液的浓缩或者过滤），定时记录透过液流量和截留率（透过率）*。

   * **注意：**多数情况下需要专门的浓度分析，可能无法分析很多样品，但一个批次至少要有三个截留率数据，即开始、中间和结束。

   - **循环流量**

   根据上述压力试验结果，选择一个适当的压力，在不同的循环流量下恒压进行批次试验，定时记录透过液流量和截留率。

- **浓缩比**

  上述试验都能够体现出浓缩比对分离效率和分离性能的影响，一般不需要进行更为仔细的浓缩比变量试验。但对于那些截留率 / 透过率会受到料液浓度影响较为敏感的渗滤过程，需要仔细研究浓缩比对于透过液流量和截留率的影响。

- **温度（可选）**

  对于必须加热或者降温运行的体系，需要在一定范围内，选择适宜的运行温度。在不同的温度下，进行恒温、恒压、恒定循环流量的批次试验。

- **物料性质调整（比如 pH，离子强度）**

  对于一些化学性质比较敏感的系统（比如两性物质），物料性质的调整可能是在其他变量试验之前就要完成的。

2. 参数优化试验：在变量试验的基础上设置优化参数组合，通过实际运行进行进一步的调整。
3. 模拟工业试验：参照参数优化试验结果，按实际工业生产条件运行，考核其可靠性。

系统操作参数说明

序号	设计参数	系统配置	影响设计参数的因素	系统参数对系统性能的影响
1	通量	膜元件数量	压力、膜面流速、粘度、悬浮物、浓度和温度等	分离率（截留率或透过率）、污染倾向
2	压力	高压泵 / 循环泵的选型，系统的耐压规格，膜元件选型（F 或 C 型）	粘度、悬浮物、浓度和温度	通量、分离率、污染倾向
3	料液流量	循环泵，管道，膜元件类型（流道宽度及类型），操作模式	粘度、悬浮物、浓度、浓缩比、分离率	通量、分离率、污染倾向
4	浓缩比 / 回收率（浓水侧 / 透过液）	膜组排列方式、系统操作模式	粘度、悬浮物、浓度、分离率	通量、分离率、污染倾向
5	运行温度	系统运行温度设计规格，各种硬件配置选型	粘度、悬浮物、浓度、分离率、膜元件选型	通量、分离率、污染倾向
6	pH	是否需要耐酸碱配置	溶质及料液性质，分离率、膜元件选型	通量、分离率、污染倾向
7	清洗周期，清洗条件	清洗设备的配置：材质、加热、加药和供水等	通过中试验证过的有效清洗工艺	系统工作效率、膜元件使用寿命

附：试验记录表

试验名称：□□变量试验

说明：恒定操作条件，调整变量范围

时间

地点

操作人员

料液初始体积、浓度、温度等

时间	设计参数		循环流量（浓水）	透过液流量	浓度		温度 / pH	取样纪录	其他说明
	进水	浓水			料液	透过液			

2.3.4 测试装置

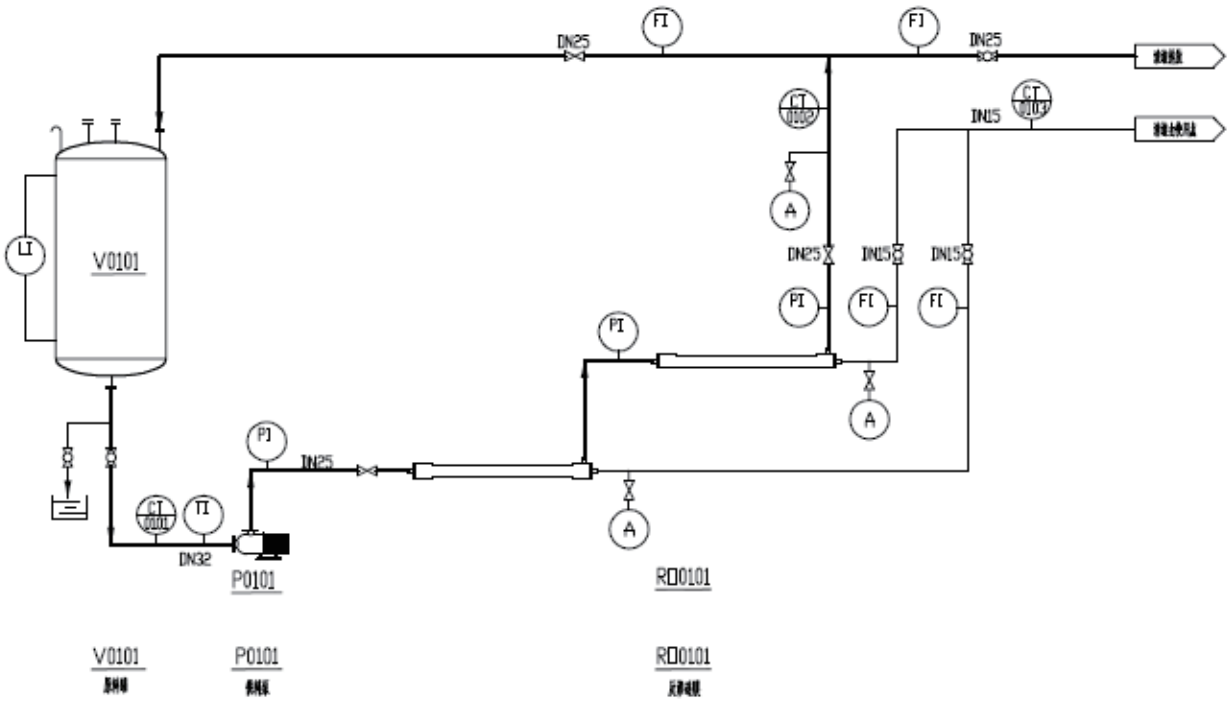
	1812	2540	4040
配件材质	316L	316L	双相钢 /316L
高压泵压力	30 bar	45 bar	45 bar/80 bar
高压泵流量	200l/h	1m^3/h	3 m^3/h
操作模式	批次式		批次 / 连续
流量计	浓水、产水	浓水、产水	参考附图
压力表	进水	进水、浓水	参考附图
高压泵变频器	可选	必须	必须
自控			可选

1812/2540 膜元件

1812 测试装置用于少量料液定性测试

2540 测试装置主要用于定性试验或小规模项目的现场试验

4040 测试装置主要用于现场测试



第三章 分离膜系统的运行和维护

3.1 膜元件的安装

3.1.1 膜元件安装说明

1. 将膜元件从压力容器的进水端平行推入，盐水密封应正对压力容器的进水端（露在压力容器进水端外面，并且开口朝外（参见下图），浓水密封圈的功能是密封膜元件与膜壳之间的间隙，防止设备操作过程中发生进水旁路，使进水能得到充分有效处理。压力容器外面留出 6 英寸长的膜元件以便接着装配后面的膜元件。将膜元件推入膜壳的时候，应该尽量做到平行推入，不要让膜元件与膜壳边缘接触，以防产生摩擦。

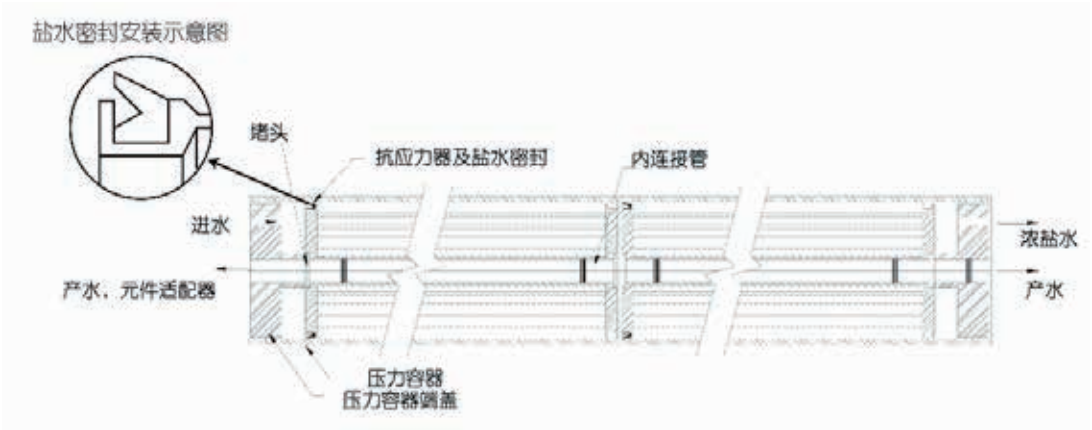


图 3-1 膜元件安装说明书

2. 记录膜元件的系列号以及膜元件在压力容器内的位置。
3. 在内连接管的 O 形圈上涂抹少量甘油或合格预处理的水。将内连接管旋入膜元件的产水管内。旋转内连接管，确保 O 形圈就位。安装时需注意 O 形圈及内连接管表面没有划伤或污物，O 形圈安装时候不得扭曲，若 O 形圈泄漏，进水就会混入产水中，导致产水水质下降。值得注意的是不允许使用甘油和纯水外的任何润滑剂（石油类，润滑脂，凡士林及洗涤剂），汽油类及稀释剂等，否则可能导致产水管破裂，从而使产水水质严重下降。
4. 将第二支膜元件不带盐水密封的一端对准第一支膜元件的内连接管。慢慢地推动并旋转第二支膜元件，将内连接管插入到第二支膜元件的产水管。
5. 平行将这两支膜元件推入压力容器，直至第二支膜元件露出仅 6 英寸为止。
6. 记录第二个膜元件的系列号以及在压力容器内的位置。
7. 重复步骤 5、6 安装剩余膜元件。
8. 所有膜元件都装入压力容器后，将元件适配器旋入容器两端的膜元件。旋入前，应将元件适配器涂上甘油。
9. 将浓水侧端板与膜壳连接（请参考膜壳生产厂的使用说明书）。完成浓水侧端板的安装后，应从进水侧向浓水侧推动膜元件，保证膜元件与浓水端板紧密连接。
10. 将进水侧端板与膜壳连接（请参考膜壳生产厂的使用说明书）。进行进水侧端板的安装时候，应注意测量端板与适配器之间的间隙，间隙应在 10mm 范围之内，如果间隙较大，应采用环状聚氯乙烯垫片消除存在的间隙。如果端板与适配器之间的间隙较大，系统启动和停机的时候，膜元件会在膜壳内来回窜动，加速密封圈的磨损，并可能导致膜元件的机械损坏。将浓水端板、进水端板与元件适配器连接；将端板固定好。
11. 安装图显示了压力容器内内连接管和膜元件的正确布置。

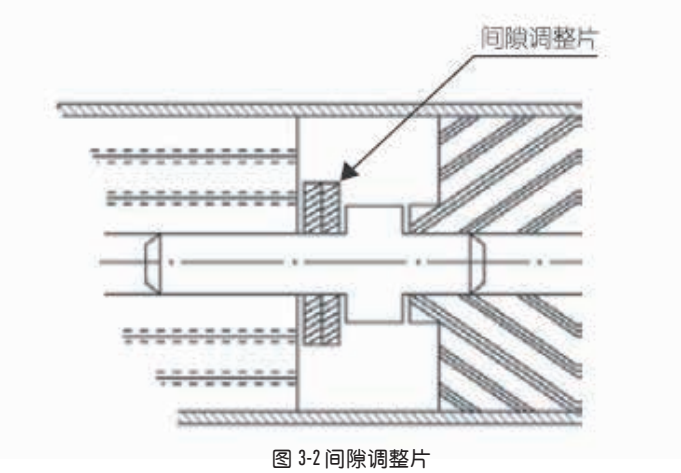


图 3-2 间隙调整片

3.1.2 膜元件拆卸说明

- 拆掉压力容器两端的外接管路，按要求拆卸端板，将所有拆下的部件编号并按次序放好。
- 从压力容器两端拆下容器端板组合件。
- 从压力容器进水端将膜元件依次推出，每次仅允许推出一支膜元件，当膜元件被推出时应及时接住该膜元件，防止造成膜元件损害或人员受伤。

3.2 膜元件的启动和关停

3.2.1 启动前确认

不合格的水进入了反渗透膜，会引起污堵、结垢、氧化等问题，因此在系统启动前加查预处理水的合格性十分重要。有两点必须注意：

1) 将系统加工过程中产生及系统本身带有的杂质冲洗干净

系统加工的时候，会在管道、容器内部残留金属屑、焊接屑、塑料屑等杂质，管道内部也存在铁锈、机械油等杂质，如果这些杂质进入膜元件，会引起严重的污堵，因此，安装膜元前充分清洗管道和装置是十分重要的。建议先用加压水冲洗预处理单元及管道和膜系统，然后再针可能存在的铁锈、械油进行酸洗和碱洗，最后用经过预处理的水将系统冲洗干净。

2) 预处理水水质合格

聚酰胺 RO 膜在给水的 pH 值略小于 7.0，LSI<0，污泥密度指数小于 3 的情况下运行起来效率最高；如果系统在水的 pH 值较高，且硬度较高的情况下运行，可能需要加酸，投加阻垢剂或者软化处理。为了把在膜上的碳酸钙、硫酸钙或其它矿物沉淀物出现的可能性降到最低，建议在启动前进行水质分析，用来确定是否存在潜在的问题，季节变化对于水的变化也需考虑在内，在确定预处理合格之后，才能安装膜元件。

备注：聚酰胺膜一定不能承受下列化学品，否则可能会导致去除率和 / 或渗透水量的持续下降。

- **游离氯或全氯**
- **臭氧**
- **油和油脂或有机化合物**
- **碘化物**
- **四元杀菌剂**
- **阳离子表面活性剂**
- **含有非离子型表面活性剂的去垢剂**
- **那些批准使用以外的清洁剂**
- **其他氧化剂**

3.2.2 开机启动步骤

水锤及过大的进水流量和压力易发生在开机时，这些因素会对膜元件造成不可逆的损害，因此按正确的开机步骤操作，才能使系统运行良好。

1. 系统进水、浓水及产水阀门完全打开；
2. 用低压、低流量合格预处理水将膜元件内和压力容器内的空气排净（冲洗压力及流量如下表），直至浓水管出口或流量计不再有气泡冒出时将流量逐渐升高。如果系统安装湿膜，冲洗时间为 30-60 分钟，如果安装了干膜，冲洗时间则应该在 8 小时以上；或者先冲洗 1 小时，然后浸泡 8-12 小时，最后再冲洗 1 小时。在冲洗期间，不允许投加阻垢剂。

	冲洗压力 (bar)	冲洗流量 (m^3/hr)
4”膜壳	2-4	1-2.8
8”膜壳	2-4	2.4-11

   冲洗过程中的所有产水和浓水均应该排放。在清洗过程中，检查所有阀门和管道是否漏水，如有漏水应固紧、缠绕生料带或修补漏水点。
3. 关闭进水控制阀，并确认产水阀和浓水控制阀处于打开位置。
4. 高压泵启动前，高压泵与膜元件的进水控制阀几乎处于全关位置，防止瞬间的高流量和高压力损伤膜元件。
5. 启动高压泵；启动阻垢剂等加药泵。
6. 启动高压泵后缓慢开启进水控制阀，逐渐提高 RO 装置的进水压力，使浓水流量达到设计值。
7. 缓慢打开高压泵出口进水控制阀的同时，慢慢关闭 RO 装置浓水阀，并保持浓水流量在设计值附近；注意产水流量的上升，并逐步调节使回收率达到设计值。
8. 检查阻垢剂、还原剂、酸等化学药剂投加量是否和设计值达到一致，并测定进水 pH 值。取浓水样，检查其朗格利尔饱和指数 (LSI)、$CaSO_4$ 和二氧化硅浓度。
9. RO 装置连续稳定运行 1-2 小时后，测量每支膜壳产水的电导率是否正常，如果发生异常，应检测 O 形圈是否存在泄漏或其他故障。
10. 产水合格后，打开产水输送阀门，将产水输送到产水箱或者其他后续设备。
11. 按表 5.5 章节记录运行数据。
12. 上述操作过程在手动模式下进行，待系统稳定后，将手动模式转换成自动模式。
13. 在连续运行 2/1 小时后，按表系统日志记录系统的运行数据。并将此时的数据作为系统运行的基准数据。

注意：装有湿膜元件的系统，在系统运行几小时或者 1-2 天之后，能较快地达到稳定的产水量和脱盐率；干膜元件则需要一个“活化”的过程，其初始产水量会稍微高一点，但其脱盐率可能偏低，可能需要几天的时间达到理想的状态。对于二级反渗透系统，第一级系统运行至少 1 天以上，其产水才能向第二级供水。

3.2.3 日常启动

日常启动常常由自动控制实现，手动控制同 3.2.2 的开机启动步骤 3-13。
系统启动和停机的时候会带来压力与流量的突变，会对膜元件产生机械冲击，因此应该尽量减少系统启停机。
日常性能数据必须记录在日志表中。

3.2.4 停机程序

- 关机前，需用 RO 产水或经过预处理的去离子水冲洗膜系统，冲洗压力为 3bar 左右。冲洗用水不能含有任何化学药剂，尤其不能含阻垢剂和氧化剂。冲洗的目的是将高含盐量的浓水和部分污染物从膜壳中冲出。将高含盐量的浓水冲出可以避免停机后的产水回吸，产水回吸可能导致脱盐层从膜的支撑层剥离。将部分污染物从膜壳中冲出，可以降低膜系统内细菌生长的可能性。
- 释放系统压力并关闭进水泵。
- 当系统稳定后，确保水不会从膜元件中排出。同时要保证膜元件的产水侧无背压。如果产水管线停机时带压，膜元件就可能遭遇静态产水背压，背压会导致产水从膜的产水侧压入进水侧，从而导致脱盐层从膜的支撑层剥离。背压不得超过 0.3bar。
- 如果系统停机多于一周，应向系统中添加防腐溶液，以防系统中微生物滋生。
- 如果系统停机不到一周，用经过预处理的清水每天冲洗系统一次，即可减少微生物滋生。

注意：如果运行过程中，产水管线的压力大于大气压，则必须在产水管线上安装止回阀，这样可以防止关机时产生背压，包括瞬时背压。

3.3 膜元件的运输和储存

3.3.1 短期保存

短期关闭 RO 系统(24-48小时)不需要任何特殊处理。RO 系统每隔 24-48 小时必须(以工作模式运行)运行 1 小时，以降低系统内生物的生长和停留的可能性。

关机时，有些系统使用 RO 产水冲洗或者自动 CIP 冲洗。这种循环将允许系统保持在“准备运转”状态。如果系统停机时能自动冲洗，那么运转间隔可以稍微增加。如果急需“停止 "RO 系统，则需要按以下步骤操作。这些步骤能防止微生物在膜元件上滋生。膜元件可以在膜壳中进行保存，也可以拆卸后单独保存。

在工业中，通常可以选用以下三种药剂中的任意一种来保存膜元件：

- 柠檬酸基产品 (如果用于饮料、饮用水或者医药行业，需要为 FDA 认证产品)。
- DPNPA 或者异噻唑啉基消毒剂。
- 1%亚硫酸氢钠 (食品级) 和 18%的丙二醇。

无论是用于工业水处理或者饮用水处理，都需要选择化学药剂。对饮用水 RO 系统，推荐使用亚硫酸氢盐。

采用亚硫酸氢盐保存 RO 膜时，应按照以下步骤进行操作：

1. 在线清洗 (CIP)RO 膜元件。
2. 使用用 RO 产水配置的 3.0% BetzOearborn DCL30 溶液冲洗 RO 段。
3. 当 RO 段充满该溶液 (要求保证完全充满) 时，关闭阀门将该溶液保留在 RO 段。
4. 温度低于 80˚F(27℃) 时，每隔 30 天用新鲜的清洗液重复步骤 1、2，当温度高于 80˚F(27℃) 时，每隔 15 天采用新鲜溶液重复步骤 1、2。溶液的 pH 值应控制在 3.5-9.5 之间，应定期进行监测。如果 pH 值不在以上范围之内，应更换保护液，因为长期暴露于酸性或碱性环境会对膜造成损坏。定期监测酸式亚硫酸盐的浓度如果溶液浓度低于 0.1%，应使用新的溶液；温度应该保持在 25℃以下。
5. 当 RO 系统准备重新启动时，打开出水阀，用低压进水冲洗系统近 1 小时；然后开启在高压条件下冲洗系统

5 到 10 分钟，产水排放。在恢复运行 RO 系统之前，需要检验产品水中消毒剂的残留情况。

3.3.2 长期保存

对于长期保存，为减少维护，可使用低 pH 值的清洗剂冲洗系统，按以下述步骤进行操作：

1. 进行在线清洗。
2. 在 CIP 水箱中充满 RO 产水 (充满 CIP 水箱)。
3. 向 CIP 水箱中加入低 pH 清洗剂 (如本司产品 MCT442 或 MCT882)，混合，配制成浓度为 2%的溶液。
4. 在 RO 单元中循环该溶液 15-20 分钟。
5. 关闭 RO 设备。
6. 关闭 CIP 水箱和排水槽中的阀门。
7. 可将酸溶液保留在 RO 单元中，或者缓缓排干 RO 单元。如果保存温度低于最大膜工作温度，膜元件可以在膜壳内保存一年时间而膜的性能不受影响。在启动期间，可能需要 24-72 小时的时间进行彻底冲洗。

对于长期保存，也可采用拆卸后保存，按下述步骤进行操作：

1. 进行在线清洗。
2. 拆卸膜元件，并使膜元件滴干。
3. 将膜元件置入含 1%亚硫酸氢钠 (食品级) 和 18%的丙二醇的混合溶液中，浸泡 30 分钟。监控浸泡液浓度，因为它可能随着时间而稀释，并进行相应的调节。
4. 膜元件滴干后，装入塑料袋并密封。塑料袋中不得含有浸泡液。
5. 将元件存贮于阴凉干燥的仓库中，或装箱后保存；温度应该保持在 10-20℃，因为冷藏有助于保存。
6. 在启动期间，可能需要 24-72 小时的时间进行彻底冲洗。

*** 本公司确信以上信息准确无误。但以上信息仅作推荐之用。因为使用方法和条件在本公司控制范围之外，所以本公司对该程序不做保证，对上述处理方法不承担任何责任。**

3.4 膜元件的清洗

3.4.1 化学清洗

当 NF 各级压力差增加 10% 或产水量下降 15%，则应进行清洗操作，以高流量清洗膜表面，去除附在膜表面的物质，对于沉积在膜表面的污垢，则难去除，需进行化学清洗。

清洗操作建议在冲洗操作后仍不能正常工作情况下进行

清洗液配制

配方见表格附表一，清洗 NF 膜

附表一 清洗配药表

清洗药品	无机盐 CaCO3 CaSO4 BaSO4	金属氧化物	无机胶质	二氧化硅	生物膜	有机物
NaOH 0.1%(W)Na4-EDTA pH=10.5 30℃ MAX				一般	最好	一般
NaOH 0.1%(W)Na-DDS（十二烷基硫酸钠） pH=10.5 30℃ MAX			好		好	好
0.1% (W) STP（三聚磷酸钠）0.1% (W) TSP（磷酸三钠）0.1% Na4-EDTA pH=10.5					好	好
HCl pH=2.0	最好					
H3PO4 pH=2.0	一般	好				
柠檬酸 pH=2.0	一般					
4.4% Na2S2O4	好					
柠檬酸 4.4%(W) NH4F-HF pH=1.5-4.5,30oC MAX				一般	最好	

需要更详细资料，请与本公司联系

附表二 循环流量表

输入压力（Mpa）	单元直径（英寸）	每根压力容器的输入流量 （m^3/h）
0.3 ～ 0.4	8	8

清洗步骤

1. 检查阀门状态
   进水阀门关闭
   清洗箱出水阀门全开
   清洗泵出口阀门全开
   高压泵进水阀门关闭
   清洗微过滤器出口阀门为调整状态
   NF 产水阀门关闭
   NF 浓水阀门关闭
   NF 产水回流阀门全开
   NF 浓水回流阀门全开
2. 选择
   将控制盘上清洗水泵选择开启位置
3. 小流量循环
   启动清洗水泵，运行压力控制 0.4MPa 以下，调节阀门控制流量，以低流量（参考附表约一半的流量）注入清洗液，低压排除设备（压力容器）余水，用仅够补偿从进水到浓缩出水的压降的压力进行清洗，此压力应基本上不产生渗透为宜，低压可使浓缩物在膜上再沉积减至最少，药液循环 30 分钟
4. 浸泡
   关闭清洗水泵，浸泡清洗单元，一般情况下，浸泡时间为 1 小时；但对于污染较严重的单元延长浸泡时间是有益的，可浸泡 10 ～ 15 小时
5. 大流量循环
   重新启动清洗水泵，以参考附表二的流量冲洗膜表面清洗剥落的污垢，如果单元污染严重，用高出附表 150% 的流量清洗，但高流量会引起压降，最大允许压降是每个清洗单元 0.14MPa，循环 30 ～ 60 分钟

冲洗

开启浓水阀门及所有产水取样阀，关闭浓水回流阀门和产水回流阀门。

启动冲洗，利用反渗透产水将 NF 设备内部药液置换出来，直到进水电导率和浓水电导率基本一致为止。此时设备可投入运行。

3.5 运行日志

日期：　　产品型号：　　检验员：

泵的型号：　　序列号：

参数	单位	时间 1	时间 2
进水 pH			
进水余氯（或者 ORP）	ppm（或 mV）		
进水 SDI_{15}			
进水浊度	NTU		
进水硬度	以 $CaCO_3$ 计 ppm		
产水量	m^3/hr		
浓水量	m^3/hr		
总流量	m^3/hr		
回收率	%		
保安过滤器入口压力	bar		
保安过滤器出口压力	bar		
第一段进水压力	bar		
第二段进水压力	bar		
浓水压力	bar		
产水压力	bar		
进水电导率	μS/cm		
第一段浓水电导率	μS/cm		
第二段浓水电导率	μS/cm		
总浓水电导率	μS/cm		
第一段产水电导率	μS/cm		
第二段产水电导率	μS/cm		
总产水电导率（仪表）	μS/cm		
产水电导率（手动检测）	μS/cm		
脱盐率	%		

备注（过滤器更换，清洗及运行评价）

第四章 分离膜应用举例

4.1 Duratherm 高温膜

当反渗透膜进水含有细菌等活性生物时，必须采取措施将其杀死以防止在膜表面形成生物污染，以及由此产生的膜性能损失。传统消毒方法为化学法，但是化学法具有低效率、费用高和有毒性残留等缺点，采用了 Duratherm 结构 S 系列反渗透膜（耐温高至 90℃）应用于热水消毒中，完全可代替传统的化学消毒法。Durotherm 膜还可被应用于蒸发器冷凝水处理；医药注射用水生产等。

实例 1：蒸发器冷凝水

在处理乳清加工过程中产生的蒸发冷凝水时，由于不可恢复的生物污染，普通反渗透膜的使用寿命很短。而且在乳制品加工厂中皆要求热卫生消毒，化学消毒法根本不能使用。因此卫生级热消毒型的 Duratherm S 系列反渗透膜成为最好的选择，只需采用 80℃高温水在低压状态下循环消毒，两周一次。

实例 2：医药注射用水

制药厂在生产注射用的高纯水时，通常采用热水对反渗透系统进行消毒灭菌。具体的操作方法为：将水加热至 80℃。然后在膜系统中循环 45 分钟。当消毒灭菌步骤完成后，恢复常温后继续正常的生产。

实例 3：轮胎制造厂冷凝水回收精制

典型的轮胎制造厂冷凝废水水质为：pH6-8，TOC50-500mg/L，硬度 1-100mg/L，碱度 1-20mg/L，二氧化硅 0,5-5mg/L，总铁 1-5mg/L，水温 50-80℃。通过采用 Duratherm D 系列和 S 系列反渗透膜可实现冷凝水的精制，这既可使废水回用和减量化同时回收水中的热能，减少高压锅炉的加药量。

实例 4：合成氨化工厂冷凝水回收

典型的合成氨厂冷凝废水水质为：pH9-11。硝酸胺 200-2000mg/L，氨 1000-3,000mg/L，TSS10-15mg/L，TDS1000-10,000mg/L，水温 50-80℃。通过采用多级 Duratherm S 系列反渗透膜可实现冷凝水的回收与精制，这既可使废水回用和减量化同时减少蒸发能耗和空气排放氨的问题。

4.2 醇类回收

纳滤膜用于低分子量醇的净化

实例 1：

低分子量的醇类主要是甲醇和乙醇。在许多工业应用中其被广泛用作溶剂和清洁剂。在使用过程中它们可能被污染，根据实际情况其中有一些需要被净化以便重新使用，而传统的净化工艺通常采用费用昂贵的蒸馏法，给使用者造成较大的经济负担。在绝大多数情况下，采用 D 系列纳滤膜对低分子量醇类进行净化回用比传统的蒸馏法更加经济、有效。

甲醇净化回收 D 系列纳滤膜系统设计

膜元件型号	DK4040
每支膜壳膜元件数量	3
排列	2:0
操作压力	0.827MPa
系统处理能力	5.4m^3/h

实例 2：

用作汽车防冻剂的乙二醇为一种有害的化学品。高昂的乙二醇废液处理费用使回用被污染的乙二醇变得更具经济性。D 系列纳滤膜能够让乙二醇透过，同时截留多价离子、油脂、悬浮物、色度等。因此 D 系列纳滤膜可用于乙二醇回收。

经 D 系列纳滤膜净化后的乙二醇既可以直接回用也可以被蒸发器再进一步浓缩。作为蒸发器的前处理时，D 系列纳滤膜提高了蒸发器的进料质量，从而减轻蒸发器的污染和清洗频率，同时由于提高了蒸发器的进料浓度，减少了蒸发器的能量损耗。

乙二醇净化回收 A 系列纳滤膜系统设计

膜元件型号	DK4040CJLK
膜元件数量	4
乙二醇浓缩后浓度	33%
膜通量	6.8-10.2L/m^2.h
操作压力	3.1MPa
系统处理能力	0.23m^3/h

4.3 水溶性淬火剂的回收

在对铝制品的热处理工程中，淬火工艺通常需要使用淬火剂（如聚碱乙二醇溶液）在对淬火完毕的铝制品进行冲洗的过程中通常会将淬火剂稀释，因此必须进行频繁的淬火剂浓缩。常规浓缩方法是加热法，通过加热将淬火剂从稀溶液中蒸发出来，但是这种方法的缺点是：耗能高而且还会导致淬火剂损失。

现在一些铝制品加工厂已经开始应用 GM 系列超滤膜对淬火剂进行浓缩。通过采用 GM 系列超滤膜系统，减少了能量的消耗和淬火剂的损失。从而大大降低了厂家的生产成本。

现场数据；现有一套 GM 系列超滤淬火剂回收系统的各种运行参数如下；操作压力为 13.79-20.68Kg/cm^2；渗透通量为 10gfd；淬火剂（聚碱乙二醇）溶液的进料浓度为 20%。

下面所列为此套超滤淬火剂回收系统和传统的热蒸发回收系统的运行成本比较。成本计算是建立从 20%的淬火剂溶液中去除 1000 加仑水的基础上。

运行成本比较 (USD)

	热浓缩	UF 浓缩
乙二醇 ($6.50/ga)	$260.00	无
能量成本		
热量 ($7 / 106BTU)	$285.00	无
电耗（$0.10 / KWHI）	$0.10	$2.00
膜费用	无	$10.00
人工成本 ($25 / H）	$25.00	$12.50
维修费用	$5.00	$5.00
小计	$575.00	$29.50

4.4 电镀废水

一套 D 系列纳滤膜系统被安装，用于从电路板电镀废水中回收铜，此套系统的进水流量为 23m^3/h，进水 pH=1.5-3.5；硫酸铜的浓缩倍数为 10。其中膜系统的浓缩水被输送到离子交换设备中以制取纯硫酸铜。而洁净的渗透水被输送回清洗水储槽中重新使用。此套设备已使用超过四年，给用户带来巨大的经济效益。

D 系列纳滤膜性能参数

料液成分	进料液浓度（mg/L）	透过液浓度（mg/L）	浓缩液浓度（mg/L）	截流率（%）
Fe	0.21	0.02	0.352	91.4
Mn	0.13	0.04	0.236	69.2
Cu^{2+}	27.70	0.35	55.055	98.7
Zn^{2+}	0.15	0.027	0.28	82.0
Cl^-	71.20	44.60	97.812	37.4
Si	13.10	5.50	20.698	58.0
NO_3^-	4.60	2.10	7.009	54.5
SO_4^{2-}	411.5	2.88	820.2	99.3
Ca^{2+}	32.0	2.48	61.52	92.3
Mg^{2+}	20.48	0.73	40.24	96.4
Na^+	189.45	110.55	268.35	41.7
K^+	11.09	5.625	16.55	49.3
F	91.2	36.5	145.0	60.0
TDS	1200.0	340.0	2060.0	71.7
pH	3.9	3.9	3.9	3.9

注：系统回收率为 50%

4.5 淀粉加工

淀粉作为纺织，制胶及食品工业的重要原料，在其制备工艺的许多方面都可以与膜技术相结合，并且极有潜力。淀粉主要从谷物、小麦、马铃薯等农作物中提取的，这些农作物经过浸泡，碾磨，蒸煮及清洗等工艺后可生产出淀粉。在此过程中，15%—30%的提取物留在溶液中。在淀粉提取及制备的过程中需要使用和排放大量的水，因此必须减少水的使用和废水的排放。膜技术可以完成以上的要求，同时提高淀粉的品质和产量。

膜技术的特点

使用微滤 (MF)、超滤 (UF)、纳滤 (NF) 及反渗透 (RO) 等膜技术，既可提高现有淀粉加工工艺水平，又实现了新的操作模式。由于淀粉料液中含有大量的固形物（悬浮物和溶解物），膜技术在淀粉加工中成功应用的关键在于防止膜元件的污染，采取以下措施可减轻膜元件的污染；采用适当的预处理工艺；采用抗污染性膜结构；改善膜元件内部的水力特性。

SUEZ 膜产品采用了多种专利性膜技术，以适应淀粉加工中的各种苛刻条件。例如：SUEZ 膜元件中的 MF、UF、NF 及 RO Duratherm Excel 和 Duratherm Elite 膜元件皆可在此种苛刻条件下 [高温、高污染、频繁清洗等] 工作。另外 SUEZ-WTS 公司的卫生级膜元件的设计符合 3A 级卫生标准，并且达到 USDA 要求。

主要应用

- 澄清净化糖液（去除 MUD）
- 浸泡水的浓缩
- 发酵产品浓缩和分离
- 净化工艺用水

实例 1：澄清净化糖液 (去除 MUD)

通过酶制剂或酸的水解作用。淀粉被分解成更小的单元 [例如：多聚糖、葡萄糖等] 在这些糖液中可能会含有一些有机化合物 [例如；蛋白质、脂肪酸]，这些有机化合物通常被称为 MUD，同时其以 0.3% -1%固形物存在。传统的 MUD 的去除方法为：用涂有硅藻土的真空转鼓进行离心分离。与此类传统的分离方法相比，MF 或 UF 膜技术是一种更经济实用的选择。

SUEZ 膜技术澄清净化糖液的优点

- 与传统的离心技术相比，膜技术可生产出品质更好的淀粉产品，例如其产品中含有更少的浊度、色度及微生物。而且膜系统的维护费用较低。
- 消除了传统离心工艺中存在的滤饼处理难题，并减少设备停机时间。
- 膜系统浓缩液中含有大量的蛋白质和脂肪，可作为动物饲料。
- SUEZ 膜元件中的 JX 系列、MX 系列膜元件在此项应用中通过了中试实验。
- SUEZ 膜元件中的 Duratherm Excel 膜元件具有优良的耐高温能力（可长期运行在 80℃状态下）。通过在高温状态下运行，可大大降低糖液（主要组分是糖，其地为 30%的 TS）粘度，以减少糖液对膜元件的污染，同时可抑制微生物的繁殖。

实例 2：浸泡水的浓缩

浸泡和清洗水中含有大量的有机物（例如：淀粉、蛋白质、油），使用 MF、NF、RO 技术对其加以处理后可被回用。

在一个用马铃薯制造淀粉的工厂中，安装了一套微滤 (MF) 一纳滤 (NF) 的两级膜法废水处理系统。废水中含有：5%蛋白质、4%多聚糖以及少量的薯皮，经过传统的生化处理时，所遇到的难题之一；降解废水的微生物被废水中大量的硝酸盐杀死。

在进微滤 (MF) 前，废水先经过 75 微米的格栅进行初步过滤。在操作压力为 30 psi 操作温度为 57℃，总悬浮物 (TS) 为 6%的条件下，微滤系统的平均渗透通量达到了 20 gfd。微滤系统的渗透液进入纳滤系统，其中纳滤系统可在总悬浮物 (TS) 浓度高于 12.5%条件下运行。纳滤系统的渗透水被循环回生产工艺中重新使用，而微滤和纳滤系统中的浓缩液则被输送至蒸发器浓缩。

膜技术浓缩的优点

- 废水达到排放要求
- 一部分水被回用
- 浓缩液经过进一步的蒸发处理，成为有价值的动物饲料

实例 3：发酵产品的浓缩 / 分离。

通过发酵技术，糖液可被转化成各种各样的高附加值产品（例如：乙醇、有机酸、氨基酸等）。利用膜技术、乙醇、有机酸、氨基酸等物质能够被有效的浓缩与分离。

4.6 含酸废水处理

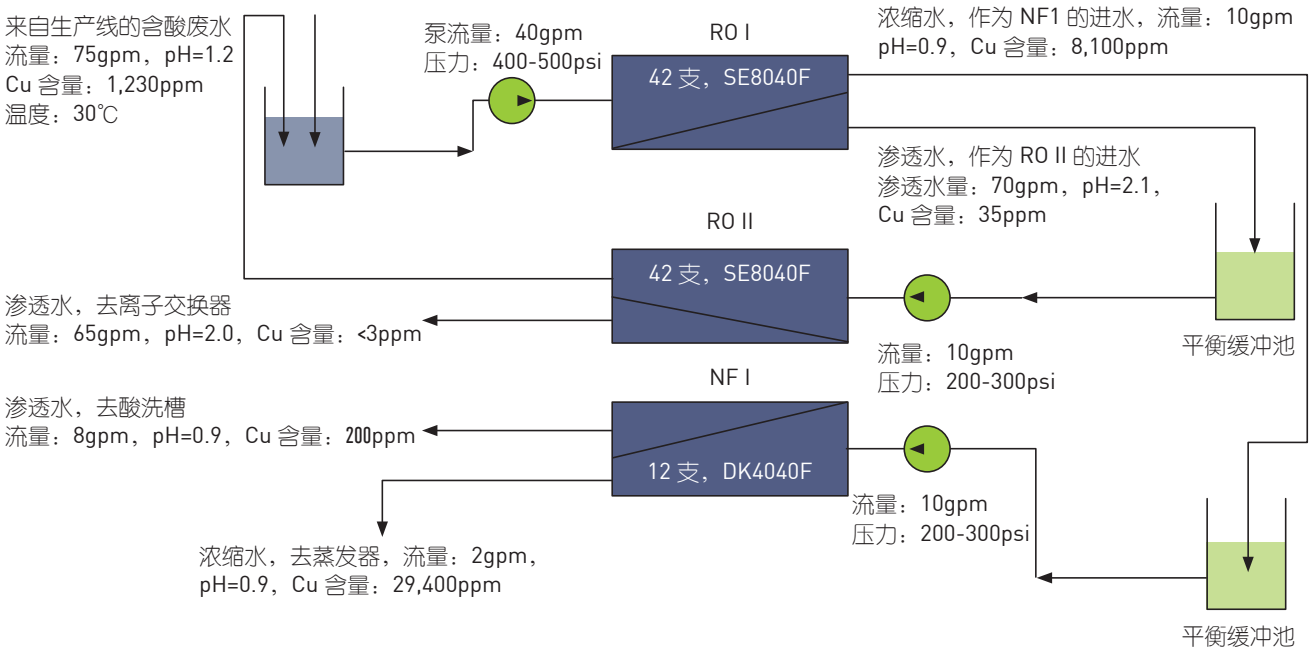
在许多工艺中都会产生酸性废水，普通膜元件能够被这种废水轻易的腐蚀损坏，但是 SUEZ-WTS 公司专利性 S 系列反渗透膜和 D 系列纳滤膜能够用于浓缩和净化含酸废水，从而减少废水的排放同时回收各种有价值的物质。

一铜棒精炼厂每天都会有 75gpm 浓度为 2%的硫酸废水产生，其中还含有 1200ppm 的可溶性铜。如果采用传统的中和沉降工艺不但会产生污泥处理问题，而且经过处理后的排放水中的 TDS 值和可溶性铜仍然极高。一套膜处理系统被安装后，通过浓缩和净化硫酸回用。回收和浓缩可溶性铜，净化回收水，从而大大减少了废水的排放量。

此套系统的设计如下，ROI 和 ROll 共装有 84 支具有特殊结构的 SE8040 反渗透膜元件。ROI 工段将硫酸从 2%浓缩至 10%。ROll 进一步净化 ROI 段的渗透水以作为工艺用水回用。NFl 段装有 12 支具有特殊结构的 DK8040 纳滤膜元件。其将 R01 工段的浓水中的硫酸和可溶性铜进行分离。

这套系统进水量为 17m^3/h，经过处理后每天大约能够回收 333kg 的硫酸铜。14.8m^3/h 的工艺用水和 1.8m^3/h 10%的浓缩硫酸（PH=0.9)。此套设备的每年能够节省的费用为 560,000 美元，在不到一年的时间即收回设备的全部投资。

工段	pH	酸浓度（%）	铜浓度（%）	回收率（%）
ROI				
进水	1.2	2	1，200	35
透过水	2.1	0.1	35	
浓缩水	0.9	10	8,100	
ROII				
进水	2.1	0.1	35	95
透过水	2.8	<50mg/L	<3	
浓缩水	1.3	1	600	
NFII				
进水	0.9	l0	3,100	800
透过水	0.9	10	220	
浓缩水	0.9	10	29,400	



4.7 胶体硅去除

胶体硅存在于绝大多数的自然界水中，在高压锅炉补给水时必须将其从水中去除。因为在高温高压状态下，胶体硅变成汽态随同蒸汽一起运动，并且在汽轮机的叶轮形成玻璃态结垢。同时胶体硅也能够与锅炉补给水中的其它污染物结合形成结垢。而以上结垢将对汽轮机造成极大的损害。

传统的过滤设备不能将胶体硅有效的去除。而大多数离子交换设备仅能将溶解态的硅去除。而对胶体硅则无能为力，G 系列超滤则表现出极高的胶体硅截留率，其不需要添加絮凝剂和辅助过滤设备。同时克服传统过滤工艺中的胶体硅穿透现象。

以下所列数据为墨西哥的一家发电厂提供的。胶体硅测定方法如下：总硅含量（通过比重法测定）中减去溶解态硅含量（通过比色法测定）即为胶体硅含量。此系统采用了 4040 的膜元件，其中操作压力为 0.62MPa；进水流量为 0.59m^3/h。

下列数据显示在较宽的操作参数范围内，G 系列超滤膜对胶体硅仍然具有稳定的截留率。

超滤膜型号	膜系统回收率（%）	二养化硅浓度（mg/L）		截留率（%）
		进水	透过水	
GM 系列	50	3.0	0.12	91.0
	75	3.1	0.24	92.2
	85	3.0	0.10	96.6
	95	0.25	0.015	94.0
GK 系列	50	0.25	0.008	96.8
	75	0.25	0.008	96.8
	85	0.25	0.009	96.4
	95	0.25	0.009	96.4

4.8 胶体铁去除

Fort ST，Vrain 是一家位于美国克罗拉多州的 285MW 的核电站，其被要求将电站锅炉进水中的铁离子从 200ppb 降至 10ppb。因为过量的铁离子存在将导致以下两个问题：

第一，铁离子将会在蒸汽发生器的蒸发管内壁上形成结垢，导致过热而发生管道爆炸。

第二，胶体铁也会导致凝结水混床离子交换器被污染而失效。

经过一系列成功的实验后，一套 GH 超滤系统被安装，其成功的将铁浓度降至 10ppb 以下。GM 超滤膜为 SUEZ-WTS 公司的一种专利性复合超滤膜元件，它具有耐高温，pH 范围广，低压操作等优点。这套处理量为 560gpm (127m3/h) 的超滤系统已经工作了十年以上，至今运行良好。此套超滤系统的优点是减少了处理铁离子所花费的时间，同时使核电站的起动时间从数天降至 8 个小时。

Fort ST，Vrain 核电站的超滤系统由并列的三套子系统组成，每套子系统由 6 支膜管组成，每支膜管中装 3 支 GM8040F 膜，因此整套系统由 54 支 GM8040F 膜组成。其它的一些结构材料为：FRP 膜管；碳钢进水管道；不锈钢渗透水收集管道。

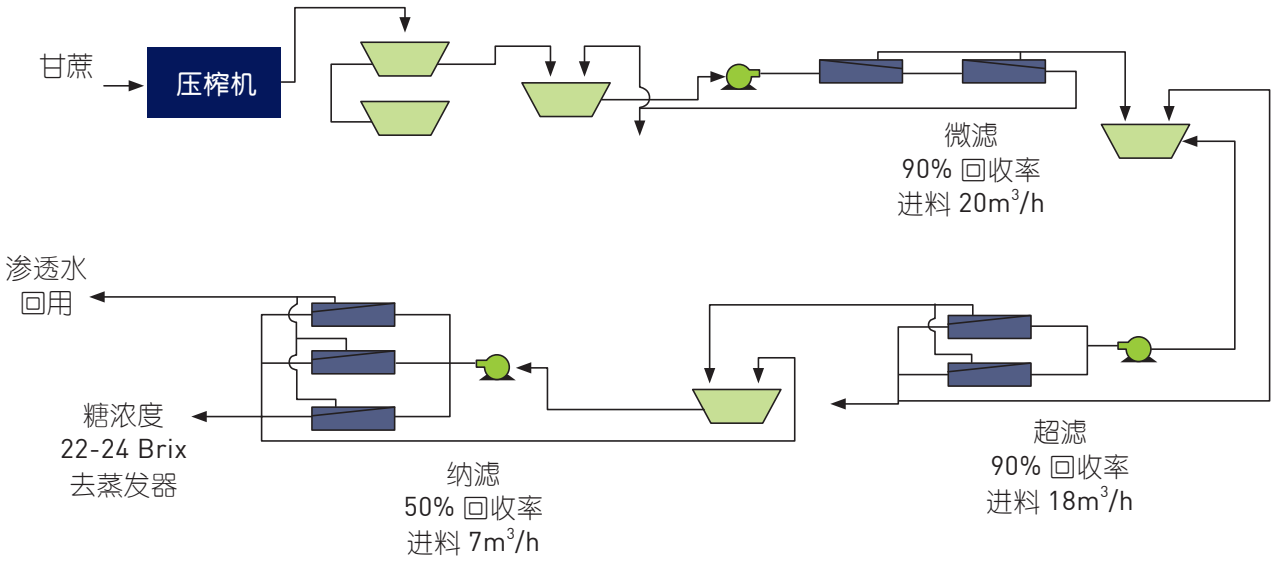
铁离子与悬浮物分析

	进水浓度（ppb）	透过水浓度（ppb）	去除率%
TSS	100	<10	>90
总铁离子	17	<3	>83*

*** 总铁离子是采用原子吸收方法分析。其检测精度为 3ppb。**

4.9 糖类加工

中国是世界上主要的食糖生产国和消费国之一，目前仍采用传统的双碳酸法、亚硫酸法 / 磷酸法制糖工艺，而膜分离技术由于其节能、高效、工艺简单、易于操作等优点将逐步替代传统的分离工艺。SUEZ 卷式膜元件已被广泛应用于糖类的浓缩分离、脱色。对于糖类的浓缩，如采用传统的热浓缩工艺则有投资大、耗能高等弊端，而采用 D 系列纳滤膜来对糖类进行浓缩渗滤分离，由于其具有稳定的分子截留率，因此可保证在低压状态下对糖类具有极高的截留率，达到浓缩效果。D 系列纳滤膜能够将糖度从 12 Brix 浓缩至 30 Brix，同时让无机物从糖液中透出。在糖度为 30 Brix 时，D 系列纳滤膜对水的脱除率高达 60%。G 系列 GM 超滤膜和 P 系列 PW 超滤膜可被应用于糖液的净化，能够脱除糖液中色度，可取代传统的活性炭吸附工艺。在以上的应用中，所有的膜元件皆采用特殊的膜流道，以减少对糖液的预过滤要求。



典型的制糖膜工艺图

原料液的组成包括葡萄糖、果糖、蔗糖、葡聚糖、盐及其他有机物（色度）和悬浮物，整个膜浓缩分离工艺为高温（55℃）低压操作，采用微滤—超滤—纳滤的组合工艺，最终产品的特性见表所示。采用膜分离工艺替代或改造传统制糖工艺将产生显著的效益：

- 更小的糖损失
- 生产更高质量的糖
- 无化学药品使用，不存在二次污染问题
- 无滤泥排放
- 更高的生产效率：采用传统的制糖工艺每吨甘蔗产 125kg 糖，而采用膜工艺每吨甘蔗产 95—105kg 精制糖

不同工艺结晶糖的产品特性

糖的特性	高级结晶糖（传统工艺）	结晶糖（膜工艺）
极化度	99.55	99.60
湿度	0.1	0.08
色度	480	133
灰分	0.1	0.02

各膜单元可描述为：

1. 微滤
   - 0.3 μm 孔径，（JX8040C，PVDF 材质）
   - 稳定渗透通量在 140 L/m^2h
   - 切向错流通量 20m^3/h
   - 去除原料液浊度
2. 超滤
   - 30,000 MWCO（PW8040, PES 材质）
   - 去除葡聚糖，胶质，脂肪
3. 纳滤
   - 300—150 MWCO（DK8040C，DL8040C 三层复合膜）
   - 在高温高浓度状态下，对蔗糖具有极高去除率

4.10 酿酒工业

酿酒工业已成功的将膜技术应用于酿酒工艺中。酒类主要是通过发酵法制取。在发酵罐中，果汁中的糖液被发酵制成乙醇，然后通过膜设备进行澄清。应用 MF、UF、NF、RO 等膜技术，酒类生产商能够提高现有的生产工艺。酒类生产商能够利用膜技术进行如下工艺：

- 净化和浓缩糖类
- 酒的澄清
- 调节酒精度
- 酒的分离／净化（脱酸过程）
- 净化工艺用水

调节酒精度：采用膜技术对酒中的乙醇浓度进行提高或降低。

- 降低酒精度：应用 NF 或 RO 膜时，酒中的大多数组分能够被浓缩，同时乙醇、水和少量其他组分会透过膜。在此工艺过程中或结束时，向膜系统的浓缩液中加入补给水，以达到降低酒精度的目的。
- 提高酒精度；应用 RO 膜能够部分提高产品酒的酒精度，同时提高产品酒的色度。
- 综合优势：在不改变发酵时间和初始糖浓度等发酵参数的条件下，膜技术允许酒类生产商能够生产出不同酒精度的酒。如果不采用膜技术。同时想生产不同酒精的酒，必须采取以下措施：为了生产低酒精度的酒，发酵过程在完成之前即需要被停止，这将严重影响酒的口感和风味；为了生产高酒精度的酒，进发酵罐的料液糖度需要被提高。而如果采用膜技术将避免对这些工艺参数进行大规模的修改。

酒的净化与分离：采用膜技术对酒进行净化，能够将酒中的酒石酸氢盐的沉淀轻易的去除；同时减少了离子树脂在去除有机酸过程中的污染。

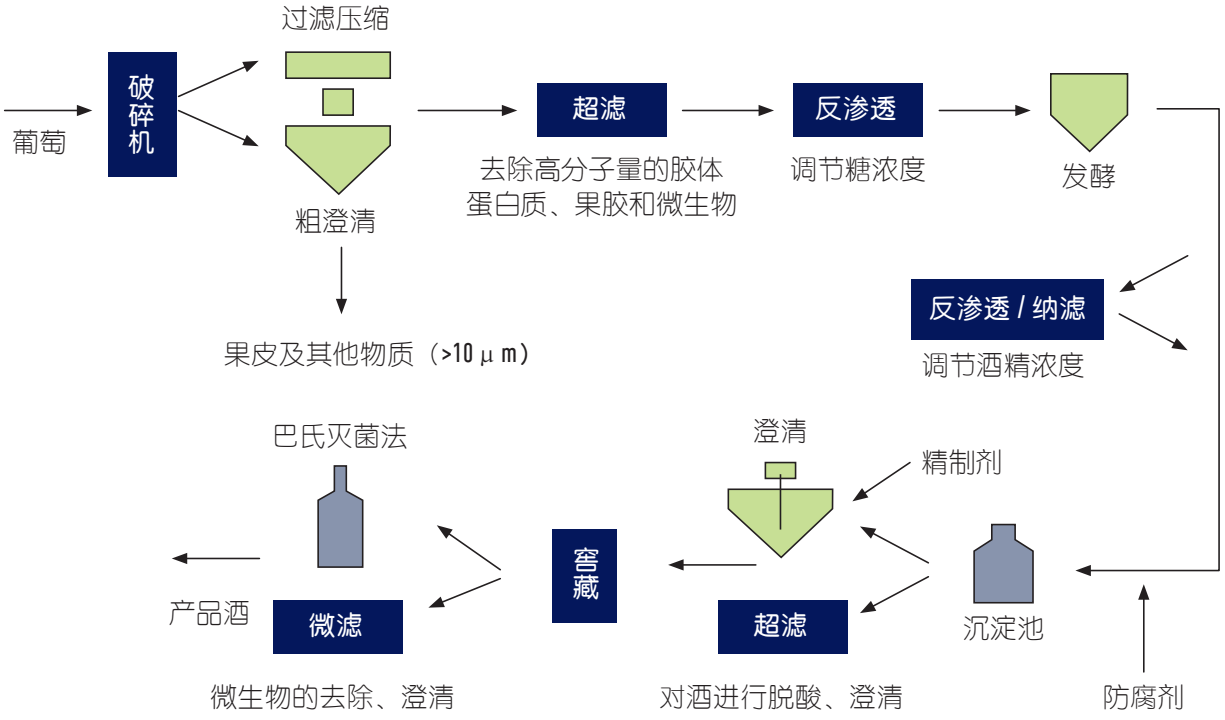
- 稳定过程：酒的稳定过程是将酒中的酒石酸氢钙，酒石酸氢钾去除。为了将酒石酸氢盐从 2,500ppm 降到几百 ppm，传统的冷稳定过程是将酒在低温状态储存几个星期甚至几个月。由于酒石酸氢钾的沉淀速率受其自身的过饱和度的影响，如果采用膜技术对酒类进行浓缩，将提高酒石酸氢钾的沉淀速度。酒石酸氢钾分子量为 188，因此 NF 膜能够被用来浓缩酒溶液，以提高酒石酸氢盐的沉淀速率。随后，NF 系统的浓缩液进入 MF 系统，以将酒石酸氢盐沉淀除去。最后 NF 渗透液和 MF 渗透液重新混合。

- 脱酸过程：酒中的有机酸（例如草酸、柠檬酸、酒石酸、丁二酸、甲酸）浓度是不同的。当酒类生产商想从酒中去除过量的有机酸时，离子交换是最常用的方法。然而离子交换树脂易被高分子量的有机物污染。UF 膜可将酒中高分子量有机物去除，这样离子交换树脂才能有效的避免有机物的污染。一旦有机酸被降到理想水平，经过离子交换后的溶液和 UF 渗透液再重新混合。
- 综合优势：实践已经证明膜技术能够生产出高品质的酒类，同时显著降低生产成本。处理 1000 加仑酒时，仅使用离子交换工艺其生产成本为 $3100，而采用 UF 系统生产成本为 $1200。如果将两种技术结合在一起：生产成本将降至 $3100 以下。

酒的澄清净化：传统的酒类澄清工艺是添加澄清剂，但其具有一些不良影响。如果采用膜技术对酒进行澄清净化，则可消除这些不良影响。

- 去除丹宁酸和浑浊物：在酒被窖藏以前，它们必须先经过澄清精制，以去除酒中过量的丹宁酸和浑浊物。丹宁酸是一种多酚物质，其形成了酒的颜色和香味；但是如果其含量过高将会形成白灰道和涩味，反而破坏颜色和香味，浑浊物在白酒中最常出现，主要是酒中的蛋白质在一定的 pH 条件下沉淀而成。传统用于酒类澄清的精制物为硅藻土和凝聚精制胶。但他们都存在诸多弊端，例如：凝聚精制胶被加入用于沉淀去除丹宁酸，其沉淀物必须经沉淀或过滤去除。硅藻土被加入用于去除浑浊物：但现在研究发现一些香味成分也同时被去除了。采用UF膜装置去除浑浊物和丹宁酸会产生更高质量的酒。这种酒保持着正常的颜色、香味和芳香族成分。
- 去除酵母：酒被窖藏合理的时间后进行罐装。罐装以前还需经过硅藻土过滤和巴氏灭菌，但是有时侯不能完全将酵母杀死和去除。如果采用膜技术能够保证去除所有的酵母。

下图介绍了膜技术在酿酒中的应用。



4.11 乳清分级与脱盐

实例 1：P 系列超滤膜用于乳清分离

乳清是乳酪生产工业中很重要的副产品。一般而言，加工 100 磅的牛奶将得到 10 磅的乳酪和 90 磅的液体乳清。由于含有很高的 BOD，乳清废液的排放处理成本极高。为了有效回收乳清废液中的乳清蛋白，必须增加乳清溶液的固物含量，同时减低乳糖含量对蛋白含量的比率。超滤可以同时进行分离、纯化和浓缩液体乳清，以制成成乳清蛋白粉，这种蛋白粉可被广泛应用于食品及添加剂。

现有一套超滤系统可将乳清蛋白浓缩了 5 倍，制取较纯的乳清蛋白必须采用渗滤纯化工艺，通过此方法可将乳清蛋白的纯度提高至 80%，下列第一个表中列出了乳清蛋白浓缩过程中的各种组分变化。超滤的透过液中主要包含一些低分子量的组分如乳糖、酸及灰分。在第二个表中列出了典型的超滤系统的设计及操作参数。

乳清超滤浓缩

料液组分	进料液浓度	浓缩液浓度	透过液浓度
脂肪	0.06	0.33	0
乳清蛋白	0.69	3.70	0.01
非蛋白氮	0.18	0.21	0.17
乳糖	5.01	5.74	4.85
乳酸	0.15	0.15	0.15
溶解性盐类	0.65	0.88	0.62
非溶解性盐类	0.03	0.16	0
总固形物	6.79	11.16	5.81

设计与操作参数

膜系列段数	2-4
每支膜壳膜元件数	3—6
膜元件类型	PW4040
每支膜壳的进料流量	5.7—6.8m^3/h
进料温度	最高达 54℃
每支膜元件透过液量	0.18—0.23 m^3/h

实例 2：D 系列纳滤膜去除乳清中的盐

D 系列纳滤膜允许水和单价离子（如，NaCl）透过，同时能够截留并浓缩有机物。它的这种独特性能使其在乳制品加工业中具有极大的实用价值：脱除含盐乳清中的盐。一套装有 D 系列纳滤膜的脱盐系统运行参数如下：盐的脱除率为 95%；进料量和浓缩液量比为 4：1；浓缩液中矿物含量与普通的奶酪乳清中矿物质含量相同。

以下数据是从一套 D 系列纳滤膜系统的设备现场获得的。（以下数据是由美国过滤工程公司提供）

含盐乳清进料液	测定值（kg）
产量 / 天	9.080kg
总固形物	1,089.6kg；12 w ／ o
盐	544.8 kg；6 w ／ o
有机物	544.8 kg；6 w ／ o
BDD	408.6kg；45,000mg/L
渗率用水	6,810kg

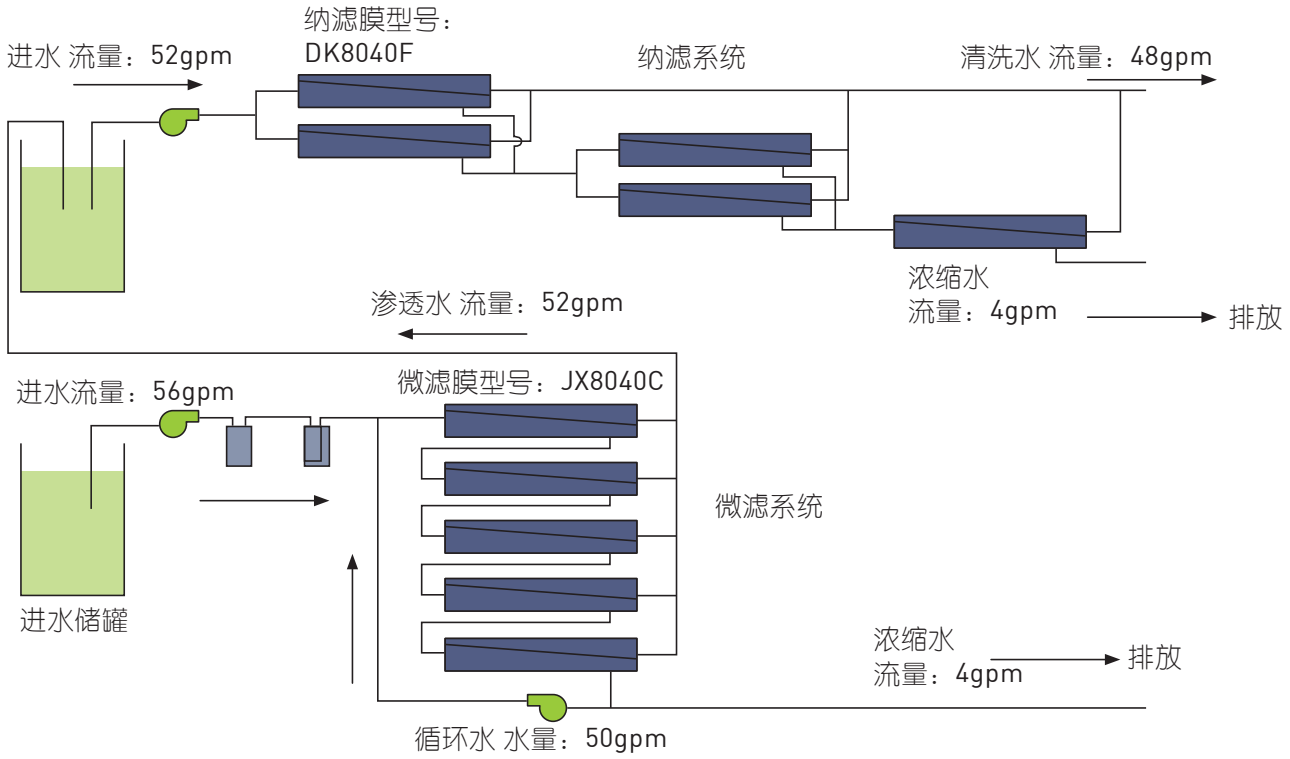
浓缩液	测定值（kg）
产量 / 天	2,270 kg
总固形物	492.5kg
盐	29.5kg
有机物	463 kg；20w/o

透过液	测定值（kg）
产量 / 天	13.620 kg（包括渗滤水）
总固形物	597 kg
盐	515.3kg
有机物	81.7kg
BDD	40,9kg

4.12 洗衣废水处理

商业洗衣店排放的废水中含有大量的 BOD、COD、洗涤剂和表面活性剂。为了减少废水的排放而不得不将一部分废水回用，因此回用水中的上述污染物必须去除。纳滤和微滤设备结合在一起能够将废水中油脂、TDS、TSS，洗涤剂和表面活性剂去除，系统的渗透产水则被循环回洗衣工艺中使用。

系统设计：下图的一套洗衣店废水处理系统采用先微滤后纳滤的两级膜设计。其中微滤设备用于去除各种纤维、油脂、污垢；而纳滤设备用于去除 TDS。洗涤剂和表面活性剂。微滤设备中有将近 50gpm 的浓水被循环回微滤设备进口，其目的是为了提高微滤膜表面的切向流速以防止微滤膜表面污染。纳滤设备的渗透水被循环回洗衣工艺中。此套设备至今已运行 5 年多。



系统设计及操作参数

	微滤	纳滤
排列	5:0	2:2:1
膜元件数	15	20
膜元件型号	JX8040C	DK4040F
膜元件结构	DurasanTM 卫生级膜壳	普通玻璃钢膜壳
	特殊浓水流道	特殊浓水流道

纳滤系统运行参数

	进水 (mg/L)	透过水 (mg/L)	截留率 (%)
油脂	12.0	<0.06	993
甲基蓝活性物质	36.0	0.36	99.0
总溶解性固体 (TDS)	460	110	76.1
总悬浮固体 (ISS)	53.0	<0.3	99.5

注：以上参数是建立在 100psi (0.689MPa) 操作压力，pH=7.8，22℃条件下的测试结果。

4.13 饮料加工

在饮料加工业中，G 系列超滤膜可被用于去除水中的各种胶体和有机污染物。一般情况下饮料加工厂的用水为自来水，而自来水水中都会含有色度（来自有机污染物的分解）和浊度。众所周知，自来水在氯化消毒时有机污染物化会转化为三氯甲烷 (THMs)，而三氯甲烷 (THMs) 是一种致癌性物质，因此水中各种有机污染物将对人体健康产生一种潜在的威胁，采用传统的处理方法不能有效的去除这些污染物。实践证明 G 系列超滤膜能够有效完成此项任务。

下列数据在 G 系列超滤膜对自采水进行现场实验获得的。

系统设计及操作参数

组成	原水	G 系列透过水	截留率 (%)
细菌	0.00	0.00	N/A
酵母	43.00	0.00	l00
浊度	0.52	0.09	83
颜色	深	无色	100
铁 (mg/L)	0.15	<1.00	>93
TOC (mg/L)	3.00	<1.00	>67
THMs	40		

4.14 鱼类蛋白浓缩

通过浓缩蒸发来自鱼类加工分离机、离心机、压榨机、破碎机的料液，鱼类食品被制取。蒸发器是一种高耗能、高运行成本的设备，因此鱼类加工业正在致力于减少蒸发器的能量的消耗。此外，含有大量有价鱼血蛋白的鱼类加工过程废水常常被直接排入大海，造成了严重的环境问题。由于鱼血蛋白为一种有价的副产物，因此鱼类加工商正在考虑将这些废水的回收利用。

为了提高蒸发器效率和减少废水排放，采用 G 系列超滤膜系统实现鱼血蛋白的浓缩，具有以下优点：

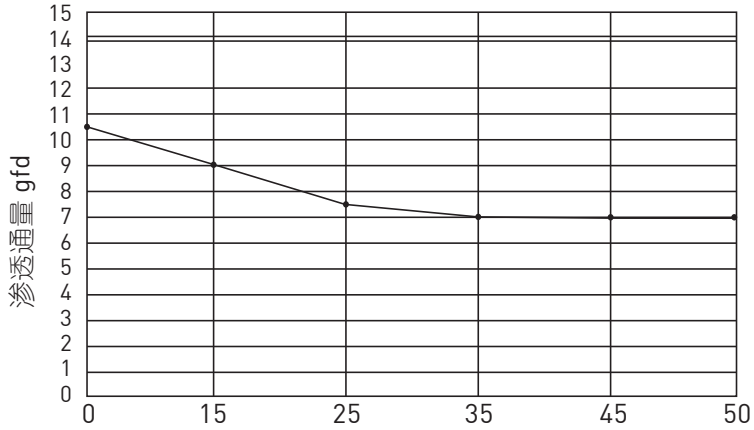
- 增加现有蒸发器的产能
- 减少整个加工系统的能量消耗
- 通过循环回用膜系统透过水以减少水的消耗和废水排放
- 提取废水中的有价鱼血蛋白，同时提高产品质量
- 增加了鱼类加工商的利润

研究结果：

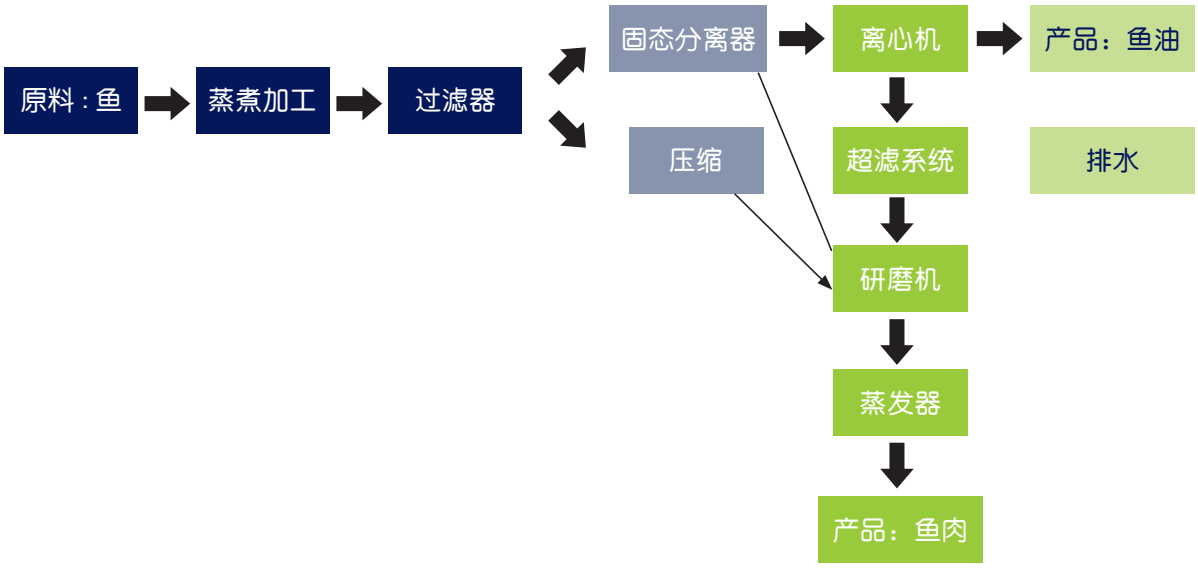
在 Peru 的一家鱼类食品加工厂安装了一套实验膜系统，以验证膜系统的可行性。被称为 Aquo deCala 的鱼类加工废水的各种参数如下：

- 鱼蛋白含量： 6%
- 鱼油含量： 0.5%
- 悬浮物含量： 最多 1%
- 废水水温： 65℃—85℃
- 废水流量； 260 gpm
- 鱼加工设备数量： 30 台

此套膜系统要用了 SUEZ-WTS 公司的 G 系列超滤膜，其能够在 65℃—85℃温度下成功的将鱼类蛋白的含量由 6%浓缩至 12%，由于此鱼类加工废水为含有大量悬浮物的含油性高温废水，这些苛刻的操作条件对膜技术是一个巨大的挑战。但其仍凭借 G 系列超滤膜优良的抗污染性和耐高温性以及良好的前处理，此套膜系统完全克服以上诸多难题。其由 70 μ m 预过滤以及的 G 系列 Duratherm™ Excel 耐高温超滤膜组成。其工作参数为：操作压力 0.48Mpa，50%的回收率。渗透通量达 7-10 gfd。其在八小时的运行过程中膜通量从 10gfd 降至 7gfd（见下图所示）。其中膜通量的下降主要是由于鱼油的污染，但是经过清洗后，其渗透通量能够被迅速恢复。



下图解释了现代鱼类食品加工的过程，G 系列膜被应用于当中。



总结：

考虑到燃料价格的不稳定、市场竞争的加剧以及环境问题等因素，选用膜技术来进行鱼类蛋白的浓缩，主要应考虑：

- 减少能源密集型设备（例如；蒸发器）的能量消耗
- 回收废水中有价值物质，同时减少环境污染
- 在全球经济的竞争条件下，成本的降低和产品质量的提高显得日益重要

4.15 高浓度废水处理案例

工艺分离与高浓度废水处理

通常的卷式 RO/NF 膜元件对于进水的水质条件有严格的限制，其中包括 SDI、pH、温度和 COD /TOC 等。因此，RO/NF 在废水处理应用中基本上是作为以回用为目的的深度处理工艺，其给水多数处理后为达标排放废水。显然垃圾渗沥液、煤化工废水和冷轧废水等 COD 和色度等污染指标 >100mg/l 的高浓度废水超越了一般水处理膜的运行范围。我们认为正确的水处理策略应该是把有机物负荷尽可能交给生化过程，然而现实的情况是，生化处理在许多情况下并不能百分百完成任务，比如垃圾渗沥液和煤化工废水，高浓度的难降解有机物只有寄希望于物理化学方法做进一步的处理，才能实现达标排放或者回用。

卷式膜元件被用于高浓度废水处理可以视同于工艺分离应用。事实上 SUEZ-WTS 工艺分离膜在食品、制药和化工等高浓度料液的分离浓缩中早已是成熟工艺，将其引入高浓度废水处理，也就是将工艺分离膜过程的理念引入了水处理，比如对于给水 / 浓水流量的强调和系统参数的精细控制等。当然工艺分离应用中的高运行费用和严格的操作条件与废水处理工艺的期望还是相差甚远，我们在这里介绍的几个高浓度废水应用成功案例，就其操作费用、管理强度及 CIP 频率等要素比较，虽然比常规的 RO/NF 水处理系统高一些，但已经比较接近了。分离膜在高浓度废水领域非常突出的成功应用是垃圾渗沥液处理，目前纳滤技术已经成为渗沥液处理的首选工艺，在一些项目上，膜元件寿命达到了 3-4 年，CIP 周期 1-2 月。垃圾渗沥液的成功经验鼓励了在其它高浓度废水的积极探索，就作者了解到的情况，近两年来轧钢废水、煤化工废水、抗生素废水和印染废水等高浓度废水处理也获得了初步的成功。

纳滤分离膜的选择性

纳滤是较晚发展的膜技术，早期的纳滤被定义为分离范围介于反渗透和超滤之间的膜过程，由于纳滤在系统设计、操作模式等方面与反渗透比较接近，也有人认为纳滤就是一种疏松的反渗透。严格来讲，这种说法是一种技术概念上的误导。真正分离概念上的纳滤是满足道南效应，并对离子具有明显选择透过性的分离膜，纳滤膜的氯化钠透过率与氯化钠浓度成正比，该比例一般大于 0.4。而疏松的反渗透膜对于各种离子的脱除率都较低，并且其脱除率随浓度增加而降低。

这种选择性透过特性应用在高浓度废水处理中，纳滤膜可以部分透过基本无害的氯化钠和碳酸氢根，脱除大部分有机物，同时完全脱除毒性重金属及较为有害的硫酸盐。与反渗透相比，纳滤系统能够在明显较低的压力下，获得较高的产水通量和回收率，其原理在于这种离子选择性脱盐。系统的产水通量是取决于运行压力与渗透压的差值，而只有被膜截留的部分才产生渗透压。

纳滤技术的特点

- 对小分子溶质的选择透过性
- 溶质分子（离子）的电性对 NF 膜的选择性影响明显
- 膜品种多，分离性能有差别
- 压力、温度、浓度、pH 以及离子强度各种操作条件对于 NF 系统的分离性能影响大
- 应用范围广，技术条件变化多

垃圾渗沥液

垃圾渗沥液是一种非常典型的高浓度难处理废水，含有大量有害有机物、无机盐和重金属。大部分可降解有机物可以通过膜生物反应器（MBR）组合生化工艺（比如反硝化 + 硝化 + 反硝化 + 超滤）进行有效处理，但由于难降解有机物、重金属和溶解性无机盐含量高，完全依赖生化处理和过滤工艺不可能达到垃圾无害化处理的要求。纳滤和反渗透膜过程是一种物理分离技术，纳滤膜能够有效分离大部分生化过程残余有机物和多价无机盐（包括重金属），反渗透膜可以分离绝大部分溶解性小分子有机物和无机物。近年来越来越多的纳滤和反渗透装置被用于垃圾渗沥液的终端处理，纳滤装置出水可以达到一级排放标准，反渗透出水可以达到回用水标准。

城市垃圾的主要来源是生活垃圾，不同的城市、气候和季节以及填埋场的管理和使用时间所产生的渗沥液的成分会有很大的差别。但是对于作为终端处理的纳滤、反渗透系统来说，我们主要关心的是容易造成膜系统污染的结垢的 COD、碱度、硬度、难溶盐和重金属等水质指标。渗沥液经过组合生化工艺处理后，难降解有机物含量体现为 COD，碱度（主要是 HCO_3-）是有机碳氧化的直接产物，硬度和重金属和生化工艺无关，直接来自于城市垃圾。COD、碱度和硬度是卷式纳滤 / 反渗透膜工艺需要面对的主要挑战。

表 -1：卷式纳滤与反渗透垃圾渗沥液处理系统实际运行状况比较

	纳滤 NF	反渗透 RO	说明
运行压力 bar	10-15 bar	20-80 bar	取决于渗透压
回收率 %	> 85%	60-70%	取决于结垢和污染倾向
清洗周期	45-75 天	< 15 天	调节 pH，投加阻垢分散剂
膜实际寿命	> 3 年	< 1 年	正确运行维护，不发生严重堵塞、结垢
COD 去除率	80-90%	> 95%	与前处理生化工艺有关
电导脱除率	40-60%	> 95%	与进水 pH 有关
运行维护	简单	需要精细控制	RO 系统需要密切关注结垢和污染状况，及时调整进水水质，CIP 操作复杂

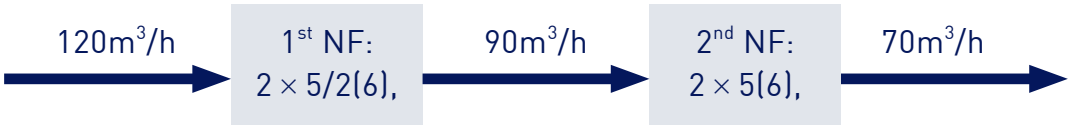
北方某填埋场纳滤垃圾渗沥液处理系统实际案例：

- 膜元件型号、数量 DK8040F 15 支；
- 处理能力 250m^3/ 天；
- 投运时间 2004 年底；
- 24 小时连续运行；
- 第一次换膜 2009 年 3 月。

2008 年 5 月运行数据：

- COD 去除率大于 90%；
- 回收率大于 85%；
- 电导脱除率 40-60%；
- 硬度、硫酸盐脱除率 > 96%；
- 运行压力 < 15 bar，一般 <10bar；
- 清洗周期 45 天左右（按设计要求进行）；
- 与调试初期相比，脱除率和产水量变化不大。

冷轧废水回用处理



项目概况

- 投运时间 2008 年 1 月
- 膜元件型号、数量 Duraslick NF8040F, 2 ×（第一级 42 + 第二级 30）= 144 支
- 处理量 80m^3/h
- 基本工艺 UF (陶瓷膜) + 两级纳滤
- 膜元件 Duraslick NF 8040F

原水水质：

- COD 200-1000 mg/l；
- EC 2000-6000 μ s/cm；
- Ca 1000mg/l 左右；
- SO_4^{2-} 50 mg/l。

回用水要求：最终出水 COD<200mg/l。冷轧废水经过陶瓷膜过滤除油之后，其 COD 值依然在 200-1000mg/l 之间，不能满足回用要求。经过长期的现场试验后，发现纳滤膜在该水质状况下可以长期稳定运行。试验装置单支纳滤膜对 COD 的脱除率在 70% 左右，而且该脱除率不随来水 COD 值的变化而变化。需要注意的是，实际工业系统对于 COD 的脱除率比单支膜元件测试值低许多，完全超出了早先的预期，也造成了用户对系统的质疑。其实对于这个问题的解释并不复杂。单支膜元件测得的是瞬时脱除率，而工业系统测得的是累计脱除率。

按照下面的公式，可以推算出第一级和第二级的产水水质，如果第一级的回收率为 75%，系统 COD 脱除率为 55%，如果第二级的回收率也是 75%，两级系统的总脱除率 80% 左右。

$$C_P = C_0 \frac{1}{y} [1 - (1 - y)^{1-R}]$$

其中 C_p 和 C_0 分别为产水浓度和原水浓度，y 和 R 分别为产水回收率和脱除率。

该系统投运之后一直运行稳定，未发生严重的膜污染现象。即便是该项目二级 NF 采用了不甚合理的一段制设计，致使二级 NF 的清洗比一级频繁得多，但在常规清洗之后，系统的性能也完全恢复了。从这一点也充分反映了 Duraslick NF 纳滤膜对轧钢废水具有良好的耐污染性。

煤化工废水（中试）

煤化工废水为典型难处理废水，现有处理装置经过一级预处理、二级生化处理、三级混凝处，出水达到《钢铁工业水污染物排放标准》(GB13456-92) 的二级排放标准，出水用作熄焦用途。出水特点：色度、COD、SS、油含量较高，所含有机物基本不能被微生物降解；硬度、含盐量较高，传统方法很难去除。

表 -2：煤化工废水原水水质

项目	数值	项目	数值
pH 值	6.5 ～ 9.0	Cl-	≤ 500
总硬度	≤ 150	总磷	≤ 2
SS	≤ 70	Mn	≤ 0.1
TDS	≤ 2000	Fe	≤ 0.1
COD	≤ 150	BOD5	≤ 10
油	≤ 5	氨氮	≤ 20

表 -3：纳滤处理出水水质 *

项目	出水指标	项目	出水指标
pH 值	6.5 ～ 9.0	Cl-	≤ 250
总硬度	≤450	Fe	≤ 0.3
总碱度	≤ 350	Mn	≤ 0.2
BOD5	≤ 10	NH4—N	≤ 10
TDS	≤ 1000	TP	≤ 1
COD	≤ 60	粪大肠菌群，个 /L	≤1000

*《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002) 规定的工业循化冷却水水质标准。

试验装置：

- 试验时间 2008 年 2-8 月；
- 膜元件型号、数量 DK8040F2 支；
- 试验装置工艺 UF+NF。

试验结果：

- 试验周期 180 天
- 产水量 1-1.2 m^3/ 小时
- 运行模式 24 小时连续运行
- 通量 15-18 LMH
- NF 回收率 90%
- COD 脱除率 >90%
- Mg 脱除率 95.8%
- Ca 脱除率 84.8%
- CIP: >30 天

纳滤对水中有机物、总硬度、Ca2+、Mg2+ 等离子去除效果明显，纳滤装置运行稳定，达到预期效果。进水有机物、含盐量高、硬度、浊度高，纳滤装置运行稳定，纳滤膜有机物去除率、产水量、产水电导率、脱盐率、膜压差等稳定，没有明显变化，表明纳滤膜没有受到污染。

在此试验基础上， 确定了 180m^3/ 小时处理量的工业装置的设计方案，按项目计划要求， 2009 年 6-7 月出水。

讨论

高浓度废水 NF 解决方案的几点心得

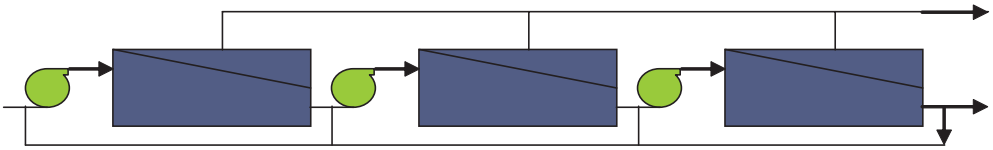
1. 关于膜元件选型
   工艺分离纳滤膜 DK/DL 系列传统用于物料分离和浓缩，也被用于高浓度有机污水处理，其结构设计具有广谱性，适用于各种物料和污水。随着污水深度处理要求的增多，近来一些项目采用了专用于污水处理的抗污染纳滤膜 Durafoul NF/ Duraslick NF 系列，其结构设计具有针对性，专用于特定污水处理。
2. 原水水质及预处理研究
   - 水质分析，尽可能详细的料液成份分析，粘度以及流变性（粘度随剪切速率的变化趋势）、比重、温度、粘度和 pH。
   - 污水充分的分子结构式、物理化学性质（溶解度、热稳定性、酸碱稳定性、与膜材料的化学兼容性、可能发生的化学反应等）。
   - 上游水处理工艺分析（废水成分判断、对膜分离工艺的要求和影响等）。
3. 工艺条件优化
   由于纳滤膜品种多、分离性能有差别较大且技术条件变化多，压力、温度、浓度、pH 以及离子强度各种操作条件对于 NF 系统的分离性能影响大，所以需要在原水处理工艺及水质分析的基础上进行仔细的工艺优化分析，以获得满意的截留率、产水量及清洗周期等系统性能。一般来说，如果没有可以借鉴的运行数据，高浓度废水处理项目都需要计划周密、操作严格的现场试验，进行工艺可行性验证并获得工业系统参数选择设计依据。

高浓度废水处理 NF 系统的系统设计

预处理、系统设计和运行维护是保证纳滤 / 反渗透系统性能的三大要素。目前国内超滤 / 微滤工艺的普遍推广为卷式膜的稳定运行奠定了良好的基础。

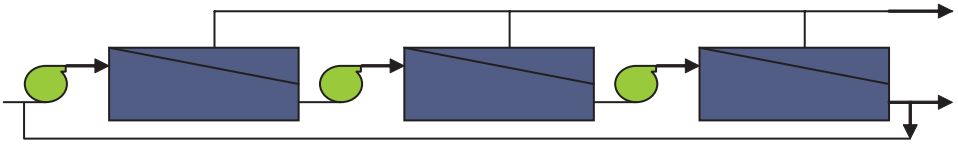
下面对正在运行的一些纳滤系统设计进行简单的归纳分析。

(1) 分段浓缩大循环设计



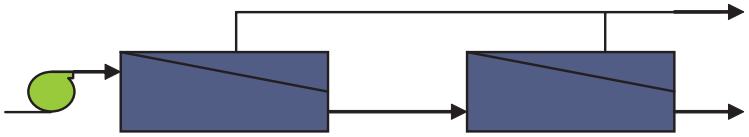
这种设计是分离膜工艺的常见模式，每一段都有独立的循环泵，保证分离过程在足够的高错流速率下运行。各段的浓缩比可以按需要进行调整，也可以将其中一段分离出来进行独立清洗。优点是保证了错流流量，分散了与浓缩比相关的膜污染问题，缺点是能耗高。

(2) 诸段增压部分浓水循环设计



诸段增压与部分浓水循环相结合的方式，在提高了错流速率同时，有效弥补了由于高流速带来的压力损失，保证了每段膜元件的工作效率。

(3) 分段渐缩直排设计



分段渐缩（后段的压力容器数小于前段，一般为两段，常见的前后压力容器数比例为 3/2、2/1 和 3/1 等）直排方式是水处理工艺标准设计。在来水浓度较高时，为了弥补渗透压增加和自然的压力损失，要设置段间增压泵来保证后段膜元件的产水量。分段渐缩方式要求来水预处理好，无需特意提高错流速率来控制可能的悬浮物污染。

通过实际运行结果比较，我们发现上述三种系统模式都能够稳定运行。然而第三种方式无疑是成本最低的，系统简洁、造价便宜且能耗低。而且我们发现，即便是设计回收率已达到了 85%，没有设置段间增压泵的纳滤系统也没有出现后段产水量不足的问题。这是由于被浓缩的有机物和多价盐浓度较低，而且一价盐的透过率会随着多价盐和自身浓度的增加而增加。

4.16 垃圾渗滤液 NF/RO 设计导则

垃圾渗沥液是一种非常典型的高浓度难处理废水，含有大量有害有机物、无机盐和重金属。大部分可降解有机物可以通过膜生物反应器（MBR）组合生化工艺（比如反硝化 + 硝化 + 反硝化 + 超滤）进行有效处理，但由于难降解有机物、重金属和溶解性无机盐含量高，完全依赖生化处理和过滤工艺不可能达到垃圾无害化处理的要求。纳滤和反渗透膜过程是一种物理分离技术，纳滤膜能够有效分离大部分生化过程残余有机物和多价无机盐（包括重金属），反渗透膜可以分离绝大部分溶解性小分子有机物和无机物。市政垃圾的主要来源是生活垃圾，不同的城市、气候和季节以及填埋场的管理和使用时间所产生的渗沥液的成分会有很大的差别。但是对于作为终端处理的纳滤、反渗透系统来说，我们主要关心的是容易造成膜系统污染的结垢的 COD、碱度、硬度、难溶盐和重金属等水质指标。渗沥液经过组合生化工艺处理后，难降解有机物含量体现为 COD，碱度（主要是 HCO3-）是有机碳氧化的直接产物，硬度和重金属和生化工艺无关，直接来自于城市垃圾。

本文总结了基于 SUEZ 膜元件的垃圾渗沥液 NF、RO 系统的主要技术特点和基本设计参数选择范围，所推荐参数仅供相关方面参考之用，不作为产品及系统性能担保依据。

4.16.1 系统特点及说明

表 -1 垃圾渗沥液 NF、RO 系统基本特点

	NF	RO
分离目标	高倍率浓缩 COD 及多价盐，初步达标排放	进一步去除 COD 及 TDS
进水水质	可降解 COD 很低的 MBR 出水，TDS 7000-15000mg/l，COD250-2500 mg/l，碱度 >5000mg/l。	NF 出水
COD 脱除率	80-90%	50-85%
TDS 脱除率	20-35%	>90%
主要污染物	COD、碳酸钙结垢	COD
膜污染预防措施	1）针对 COD，采用适当较高错流速率，要求浓水流量不小于 6-8m^3/h(八寸膜)； 2）针对碳酸钙结垢，控制 pH<7。	控制浓水流量不小于 5-6m^3/h(八寸膜)
系统排列方式	采用循环增压泵的多段（2-3 段）循环浓缩工艺	直通式诸段（2-3 段）增压工艺，或者采用循环增压泵的多段（2-3 段）循环浓缩工艺
设计运行时间	20 小时 / 天	20 小时 / 天
膜元件	DK8040F 或 Durafoul NF8040，DK 膜为工业分离膜，后者为中水回用膜，DK 的结构更为坚固耐用，是垃圾渗沥液处理的标准用膜。	AG8040F400LF、INDRO5 8040F35
平均通量	15 – 18 LMH	15-20 LMH
回收率	80-85%	75-80%，受限于 TDS/ 操作压力
系统排列及增压循环泵配置的目的	保证错流流量，调节膜通量分布。 1）尽量采用较多段数有利于提高产水水质，分散膜污染； 2）由于 TDS 较高，膜系统扬程渗透压增加较快，合理的增压循环泵或增压泵是保证系统通量分布的关键。	

	NF	RO
高压泵、增压泵及增压循环泵	高压泵扬程可选 120m，一般 7-10bar 运行；增压循环泵参考表 -4 建议值。	高压泵一般 >20bar, 可以按 10000mg/l TDS 运行 RO 设计软件模拟计算选择适当增压泵。
加药	盐酸，阻垢剂	阻垢剂
流量监测	每段	每段
CIP 系统	能够单段清洗	能够单段清洗
CIP 周期	2-4 周，酸碱洗	>4 周，碱洗为主

4.16.2 设计参数推荐

常见处理规模系统配置

表 -2 常见处理量规模 NF 系统配置推荐

日处理量 m^3/d	膜元件	段数	膜壳	排列	增压循环泵
50	DK4040	3	5	1/1/1	2
100	DK8040	2	4	1/1	2
150	DK8040	2	6	1/1	2
200	DK8040	3	6	1/1/1	2
300	DK8040	3	6	2/1/1	3

表 -3 常见处理量规模 RO 系统配置推荐

日处理量 m^3/d	膜元件	段数	膜壳	排列	增压循环泵	增压泵
50	AG4040F LF	2	5	2/1	1	
100	AG8040F LF	2	4	1/1	2	
150	AG8040F LF	2	6	1/1	1	
200	AG8040F LF	3	6	1/1/1	1	1
300	AG8040F LF	3	6	2/1/1		2

表 -4 NF 系统循环泵参数建议

工艺	循环泵			平均通量 LMH	回收率 %
	膜壳长度	扬程 m	单支膜壳流量 m3/h		
2-3 段循环浓缩	4	30-35	10	14-16	80-85
	5	35-40	11		
	6	40-45	12		

采用循环增压泵的多段浓缩工艺设计

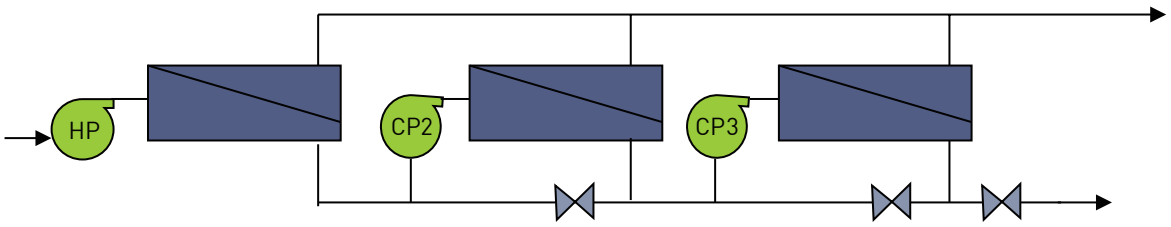


图 -1 增压循环泵和调压阀示意图

在传统的多段循环浓缩工艺设计中，多段系统的运行压力基本相等，在无机盐或小分子成分的高倍率浓缩应用中，由于渗透压随浓缩比的提高有明显增加，这种等压多段循环设计就会出现产水量快速递减的状况。循环增压泵设计模式，如图 -1 所示，是在在本段回流浓水管路上加设调压阀，通过该阀门就可以有效利用增压泵的扬程来提升本段的工作压力，从而保证了膜通量的调节控制。结合增压循环泵变频器调节调压阀，控制标准是各段设定的浓水流量和产水量。

附：关于多段循环系统现逐段增压设计的计算说明

计算符号设定说明

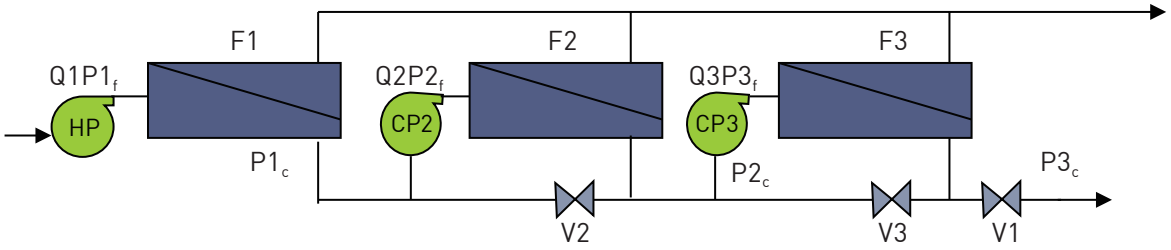


图 -1 增压循环泵和调压阀示意图

图 -1 为垃圾渗沥液系统常见的三段循环式设计，在第一段进水流量适当时，采用直通式，省略循环泵。图中标记符号说明如表 -5，未在图 -1 中标注的计算变量说明如表 -6。

表 -5 图 -1 中标注变量说明

	增压 / 循环泵	泵流量	进水压力	浓水压力	产水流量	调压阀
第一段	HP	Q1	$P1_f$	$P1_c$	F1	
第二段	CP2	Q2	$P2_f$	$P2_c$	F2	V2
第三段	CP3	Q3	$P3_f$	$P3_c$	F3	V3

表 -6 未在图 -1 中标注出来的计算变量说明

	膜组压力损失	浓水流量	浓水循环流量	浓水排放流量	调压阀压力损失
第一段	DP1	QC1			
第二段	DP2	QC2	$QC2_c$	$QC2_d$	DPV2
第三段	DP3	QC3	$QC3_c$	$QC3_d$	DPV3

计算推导

压力损失的精确计算比较复杂，但我们可以从下面的局部压力损失公式

$$DP= \zeta (u^2 \rho)/2$$

可以看出，特定管路及设备的压力损失与流速 u 和系数 ζ 相关，流速的意义很明确，系数 ζ 更设备的构造和流态有关，可以通过调节流速和系数 ζ 来改变压力损失，可以理解膜组的结构是既定的，系数不变，可以通过流速在一定范围来调节压力损失，而对于阀门来说，由于我们的流量设计范围是一定的，阀门主要是通过改变开度即阻力相关的系数 ζ 来调节压力损失的。

各段膜组压力损失与流量正相关，在一定范围内更流量的平方呈比例关系：

$DP1=P1_f-P1_c \propto Q1^2$

$DP2=P2_f-P2_c \propto Q2^2$

$DP3=P3_f-P3_c \propto Q3^2$

调压阀压力损失与回流流量平方呈比例关系，但调压阀主要是调整系数压力损失的：

$DPV2= P2_c- P1_c \propto (QC2_c)^2=（QC2- QC2_d）^2$

$DPV3= P3_c- P2_c \propto QC3_c^2=QC3- QC3_d）^2$

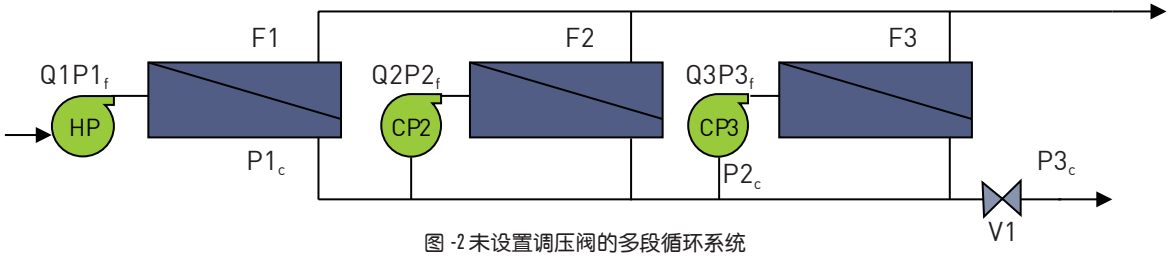


图 -2 未设置调压阀的多段循环系统

如图 -2 所示，当系统设计没有调压阀设置时，循环泵没有增压作用，相当于当调压阀全部开放：

DPV2=DPV3=0

$P1_c=P2_c=P3_c$

$P2_f=DPV2+DP2+P2_c= 0+DP2+P1_c=DP2+P1_f-DP1$

$P3_f=DPV3+DP3+P3_c= 0+DP3+P1_c=DP3+P1_f-DP1$

没有调压阀起作用，循环泵的流量并不能有效调整各段的运行压力，各段浓水压力相等，相当于等压运行。

当系统如图 -1 所示，在循环回路上设置了调压阀，并有效使用时：

$P2_f=DPV2+DP2+P1_c= DPV2+DP2+P1_f-DP1$

DPV2+DP2>DP1，故

$P2_f>P1_f$

同理

$P3_f=DPV3+DP3+P2_c= DPV3 +DP3+ P2_f-DP2$

DPV3+DP3>DP2，故

$P3_f>P2_f$

通过适当调压阀使用，达到系统运行压力逐段升高的效果，在各段设定近似进水流量时，可以认为膜组压力损失接近：

$P3_f= DPV3 +DP3 -DP2+P2_f=DPV3+P2_f$

$P2_f= DPV2+DP2+P1_f-DP1=DPV2+P1_f$

$P3_f>P2_f>P1_f$

因此可以得到逐段增压的运行效果，后段压力增加值取决于设计产水流量，增压的最大值受增压循环泵的参数限制。

为什么将调压阀安装在膜组浓水出口如图 -2，不能起到有效调压的作用?

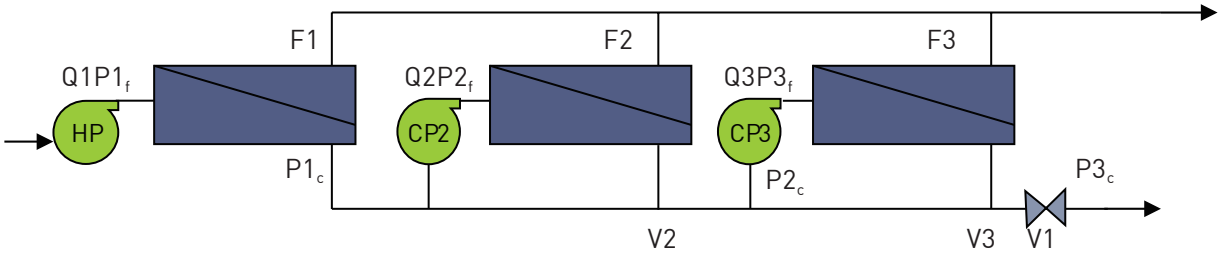


图 -2 错误的调压阀配置设计

各段膜组压力损失与流量正相关，在一定范围内更流量的平方呈比例关系：

$DP1=P1_f-P1_c \propto Q1^2$

$DP2=P2_f-P2_c \propto Q2^2$

$DP3=P3_f-P3_c \propto Q3^2$

调压阀压力损失与回流流量平方呈比例关系，但调压阀主要是调整系数压力损失的：

$DPV2= P2_c- P1_c \propto (QC2c)^2$

$DPV3= P3_c- P2_c \propto QC3c^2$

由于各段膜组浓水是相通的，压力相等：

$P1_c=P2_c- DPV2=P3_c-DPV3$

第 2、3 段的进水压力为：

$P2_f=DPV2+DP2+P2_c= DPV2+DP2+P1_c= DPV2+DP2+P1_f-DP1$

$P3_f=DPV3+DP3+P3_c= DPV3+DP3+P1_c= DPV3+DP3+P1_f-DP1$

故得到的运行结果为：

$P3_f \sim P2_f>P1_f$

无法得到逐段增压的效果。

4.17 NF 强化分盐技术及 RO 塔高压反渗透盐浓缩

HCRTM 大错流高回收率抗污染 NF/RO 系统

WO2014139116 A1

- 渐缩直排式与内循环式的杂化设计（Hybrid design of Christmas tree and Recirculation）
- 高错流速率、高回收率（High Cross-flow & Recovery）
- 高浓度废水回用处理（High Concentration Reuse）

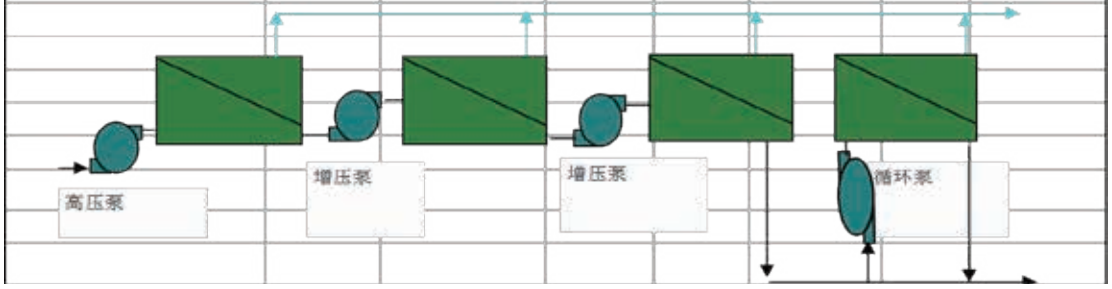
HCR 是针对高浓度废水高回收率处理的要求开发的一项专有技术，自 2008 年以来在 50 多个焦化废水、煤化工废水、化工废水等多种高浓度废水高回收处理项目中得到了广泛的成功应用。

摆脱了常规减缩式系统排列中浓水流量与系统回收率的关联，可以做到对每一段的膜通量和浓水流量即浓差极化系数进行精确控制，从而有效降低膜污染强项。一般采用 3-4 段，在最后一段配置了循环增压泵即采用段内循环式。对于 3 段或 4 段系统，1-2 段或 1-3 段为诸段增压渐缩直排式，前段可以在达到较高浓水流速的情况下获得较好的直排式产水水质和较低的能耗，在末段进水浓度较高时，通过循环增压泵可以充分提高错流速率，在设定的高回收率条件下保证系统的稳定运行。

焦化废水系统设计举例，各段进水 COD 浓度及运行参数

Stage	Cf, mg/l	Cp, mg/l	Cc, mg/l
1st	150	19.8	270
2nd	270	34.3	447
3rd	447	51.9	607
4th	919	104.0	1162

单套进水流量 m3/h	70	系统回收率	85%	产水流量	59.5		
膜元件型号	DK8040F						
平均膜通量LMH	16.8148						
膜元件数量	104						
6米膜壳数量	17						
				增压泵		循环泵	
	进水流量	产水流量 m3/h	膜壳数量	扬程 m	流量 m3/h	扬程 m	流量 m3/h
第一段	70	34	8	120	70		
第二段	36	16	4	20	36		
第三段	21	6	2	30	21		
第四段	15	8	3			40	34



ROTOWER 超浓反渗透，克服渗透压限制的创新膜浓缩技术

CN201610375454.6

1. 传统 RO 浓缩过程的局限性

1) 渗透压限制

$$J_a = \frac{Q_p}{S} = A\ (\Delta P - \pi)$$

25℃氯化钠渗透压 100bar@115g/l,140bar@150g/l, 考虑浓差极化及温度的影响，实际测试中 SWRO 膜压力大于浓缩液渗透压 10bar 才能有效浓缩。

2)RO 膜性能限制，在 TDS 远高于常规脱盐应用的条件下，RO 膜的实测膜通量远低于传统模型预测值，与 ED 及热法等高能耗浓缩的优势比不及想象中的高。

3) 高压的困局，超高压力意味着高能耗，极其昂贵的系统造价和用户对于高压风险的恐惧。

4) 段间增压泵的限制，较小流量进水压力 >50bar 的增压泵商业化产品极少，高倍率浓缩常用的多段逐段增压设计实际上很难实现。

2. ROTOWER 设计原理

1)ROTOWER 可以在低于浓缩液绝对渗透压的经济操作压力 (80-100bar) 下实现高倍率浓缩。

2) 通过适当的类型的膜组合 Industrial RO4/5/6/7, 在一个系统中同时获得符合要求的净化水和浓缩溶液。进水端脱盐率较高 B 值较低，用于产出合格的脱盐水和预浓缩，浓缩液端脱盐率较低（B 值较高），B 值较高的膜实现浓缩的要求，进水测浓度与透过液测的渗透压差低于操作压力，其透过液返回进水端。

透过液通量

$$J_a = \frac{Q_p}{S} = A\ (\Delta P - \Delta \pi)$$

膜两侧渗透压压差

$$\Delta \pi = \theta\ T\Delta C = \theta\ T\ (Cf - Cp)$$

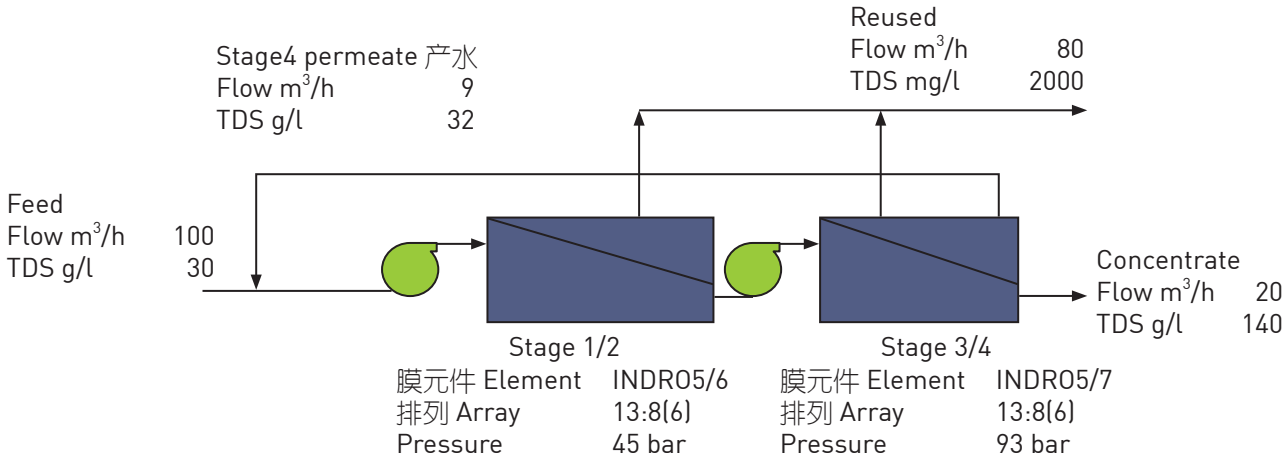
溶质通量

$$J_b = \frac{Q_p C_p}{S} = B\Delta C$$

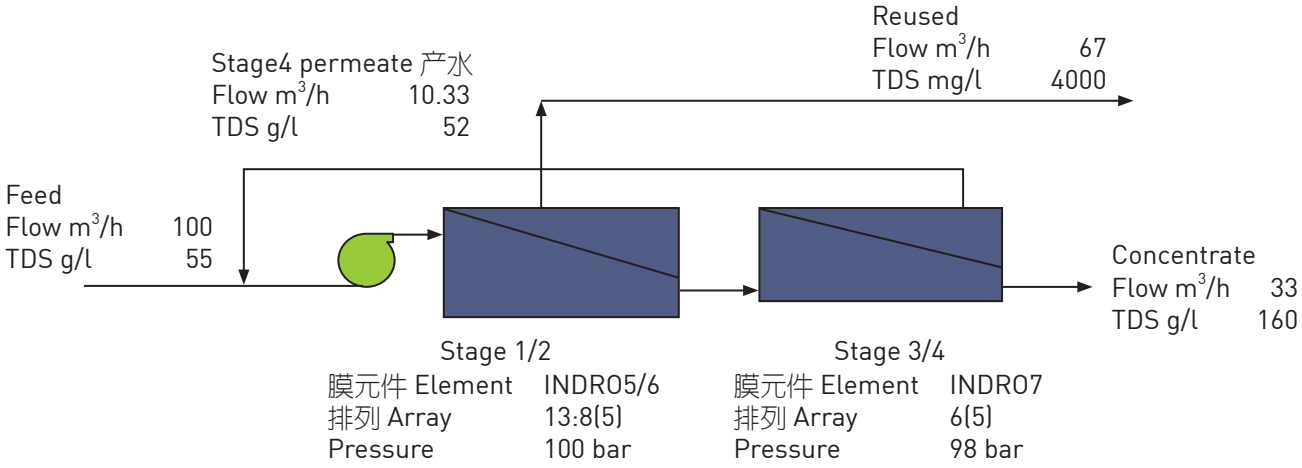
3) 通过不同性能膜元件的组合，减少或避免耐高压段间增压泵的使用，降低了系统的建造、管理成本。

3. ROTOWER 典型设计

1）减少段间增压泵的设计

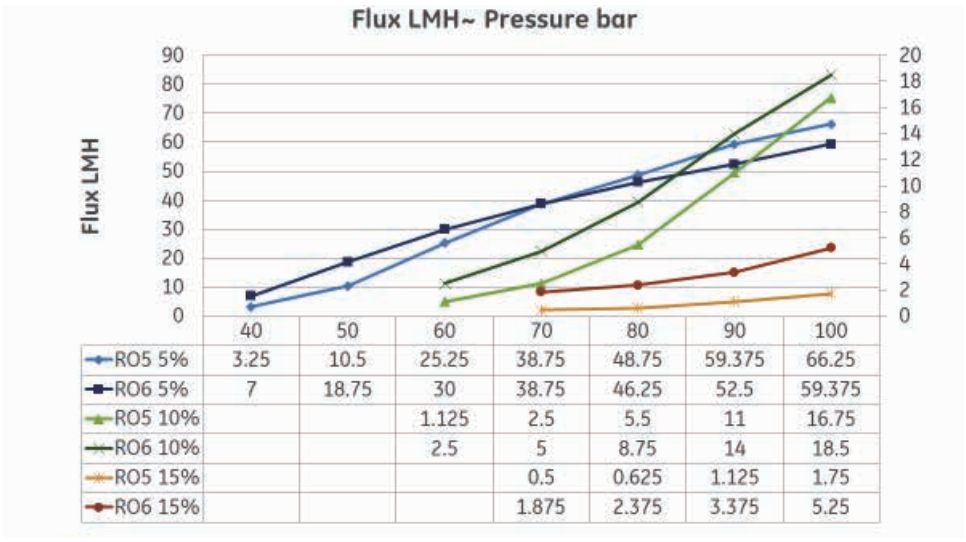


2）等压浓缩设计：无段间增压泵



4. 膜元件测试数据

4040HP 膜元件 5%、10%、15%NaCl 测试



	40	50	60	70	80	90	100
RO5 5%	3.25	10.5	25.25	38.75	48.75	59.375	66.25
RO6 5%	7	18.75	30	38.75	46.25	52.5	59.375
RO5 10%			1.125	2.5	5.5	11	16.75
RO6 10%			2.5	5	8.75	14	18.5
RO5 15%				0.5	0.625	1.125	1.75
RO6 15%				1.875	2.375	3.375	5.25

第五章 附件

5.1 温度校正系数

温度修正系数 (TCF, Temperature Correction Factors) 当操作压力、进料液流量一定时，透过液量随温度升高而增加，其温度修正系数 TCF 见下表所示。

SUEZ-WTS 公司分离膜产品温度校正系数 TCF（基准温度 25）

料液温度（℃）	D 系列和 S 系列	E 系列、G 系列、J 系列和 P 系列
4	0.48	0.54
10	0.60	0.64
16	0.73	0.76
21	0.88	0.90
25	1.00	1.00
27	1.06	1.05
32	1.26	1.22

5.2 分离膜元件的化学兼容性

在实际应用中各种各样的化学品将有机会和膜元件接触：如，膜的清洗或防止污染等。下表所列为 SUEZ-WTS 公司的浓缩分离膜元件的化学兼容性。

	TFM 膜元件 A.S.D.H.G 系列	醋酸纤维膜 CA 系列	聚砜，聚醚砜 E 系列，P 系列	聚偏二氟乙烯膜 J 系列
有机物类				
链（脂肪族）烃	可以	可以	可以	可以
芳香烃	不可以	可以	不可以	可以
全卤代烃	可以	不可以	可以	可以
非对称卤代烃	不可以	不可以	不可以	可以
碳水化合物				
醇类	可以	不可以	可以	可以
酮类	不可以	不可以	不可以	可以
醚类	不可以	不可以	不可以	可以
脂类	不可以	不可以	不可以	可以
有机酸	可以	不可以	可以	可以

	TFM 膜元件 A.S.D.H.G 系列	醋酸纤维膜 CA 系列	聚砜，聚醚砜 E 系列，P 系列	聚偏二氟乙烯膜 J 系列
有机聚合物				
阳极聚合电解质		可以 *		
非离子性助滤剂		可以 *		
备注：聚合性絮凝剂，悬浮固体以及其地一些水处理药剂都可能会产生严重污染				
氧化剂				
过氧化氢	GM 系列：100.000ppm-days	可以	5-10%用于消毒	5-10% 用于消毒
过乙酸类	不建议使用	可以	可以	
臭氧	不建议使用	不可以		
高锰酸钾	不建议使用	不可以		
次氯酸钠	GM 系列 100,000ppm-days			
Povidine iodine	GM 系列 100,000ppm-days			
氯胺 T	GM 系列 100,000ppm-days			
氯	须去除余氯	<1ppm 连续工作可以 30pp 阶段性工作 30 分钟 OK	5,000+ppm day	5,000+ppm day
	A.D 系列：100,000ppm hour			
	S- 系列；500ppm hour			
	H- 系列：<0.1ppm 余氯	连续加入 2-4ppm		
	GM 系列：1000ppm-days	硫酸盐，易滋生微生物		
	GK 系列：500ppm-days			
	GH 系列：20-50ppm-days	易受 Mg、Ca、Fe 的污染		
	GE 系列			
阻垢剂				
六偏磷酸钠	可以	可以		
有机阻垢剂	当与其地水处理化学品如阳离子有机聚合物一起使用时会造成胶体沉淀			
润调剂				
甘油（醇）	可以	可以		
藻蛋白酸钠	可以	可以		
乳化液清洗剂	可以	可以		
凡士林	不可以	不可以		
矿物曲	不可以	不可以		
凝结剂				
氯化物 硫酸铝 硫酸铁	这些凝结剂通常被用于 RO 系统前处理工艺，其最终产物和金属氢氧化物会造成潜在的膜污染，用酸洗得方法可以解决。			
溶剂	可以		可以	

	TFM 膜元件 A.S.D.H.G 系列	醋酸纤维膜 CA 系列	聚砜，聚醚砜 E 系列，P 系列	聚偏二氟乙烯膜 J 系列
PH	A- 系列：最佳操作：6.5-7.0	正常操作：5.0-6.5		正常操作：2.0-11.0
	一般操作：4.0-11.0	清洗：3.0-8.0		清洗：1.0-11.5
	清洗：2.0-11.0			
	S- 系列：最佳操作：5.5-7.0			
	一般操作：2.0-11.0			
	清洗：1.0-11.5			
	D.H 系列：最佳操作：2.0-11.0			
	一般操作：1.0-11.5			
	使用特殊结构：<1.0			
	G 系列：最佳操作：2.0-11.0			
	清洗：1.0-11.5			

备注

对于所有 TFM 膜元件建议用投加亚硫酸氢钠或采用活性碳过滤等方法去除余氯。

由于进料液的性质和浓度等各种因素存在不确定性，所以 SUEZ-WTS 公司不能绝对保证实际应用中膜元件的化学兼容性，此表仅供参考。

5.3 产品质保条款

分离膜元件的质保和按比例质保书

质保条款

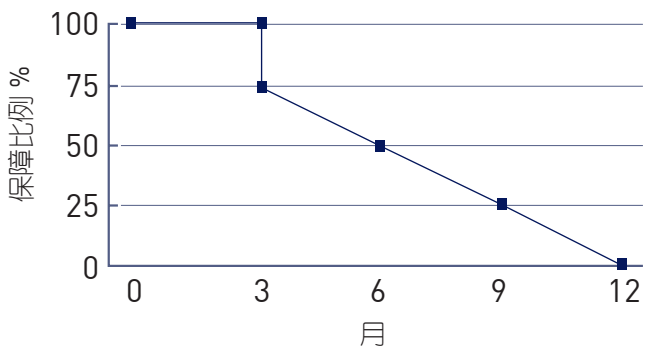
卖方对所生产的卷式分离膜元件（以下简称为“元件”）提供质量保证，这一保证的前提是系统的设计和操作必须满足卖方推荐的设计及操作规范，且买方需遵守的操作条件和义务如下所述。

卖方担保膜元件在系统内首次使用或从卖方厂家装运之日起 6 个月（以两者最早开始日期为质保期起始日）后 90 天内不存在材料和做工上的缺陷；作为前述的补充，卖方提供以下的按比例性能保障。

A. 标准应用

卖方自质保期起始日起为其膜元件提供 12 个月的按比例性能保证。在比例分配期间内，卖方承诺，在标准测试条件下（见膜元件规格说明书），膜元件在符合本质保文件所述的贮存和操作条件下运行，并经过适当的清洗之后，将按照膜元件规格说明书中所述规格运行。

12 个月按比例质保

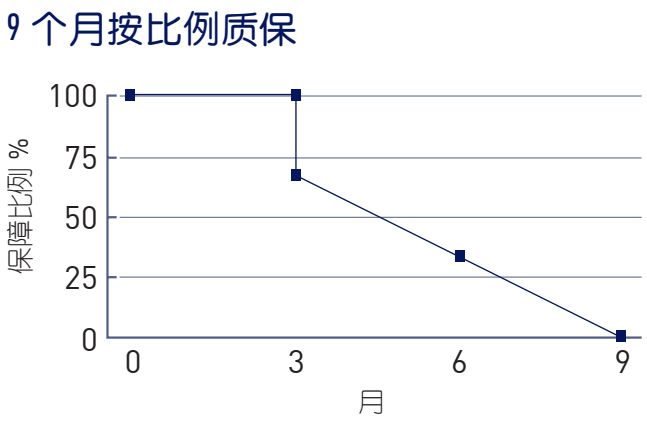


B. 非标准应用

对于允许的非标准条件下应用，卖方自质保期起始日起为其膜元件提供 9 个月的按比例性能保证。在前述比例分配期间内，卖方承诺，在标准测试条件下（见膜元件规格说明书），膜元件在符合本质保文件所述的贮存和操作条件下运行，并经过适当的清洗之后，将按照膜元件规格说明书中所述规格运行，对于热水消毒的应用，消毒后膜元件流量会有不同程度的下降。

本段中提到的“允许的非标准应用”指膜元件应用于以下非标准情况之一：

- 该应用使用了进水流道大于或等于 60 密尔（相当于 1.534mm）的膜元件。
- 应用于大于或等于百分之二十二（22%）的固体浓缩。
- 应用于连续操作温度超过 122˚F 或 50˚C 但是符合膜元件规格说明书的规定。



买方责任

除了其他文件列举的适用买方的责任外，买方还应承担以下责任：

贮存条件

1. 在首次使用之前，所有膜元件必须在原包装和原包装的保存条件下（包括但不限于真空密封，包装袋完好无损）保存。
2. 保存温度在 0℃ 到 3 0℃ 时，所有干的，干燥的或沥干的膜元件（除醋酸纤维膜元件外）可储存不超过 12 个月。

对于醋酸纤维膜元件：

1. 存放在凉爽、干燥、不受阳光或人工照明直接照射的地方，保存温度在 0℃ 到 30℃ 时，可储存 3 个月。

操作条件

此处以及其他可应用的文件中的质保条款，均严格要求买方始终遵循下述操作条件（与“操作条件”一起），如果操作条件未满足，该质保条款将失效。

a) 膜元件的进水不得含有油、脂、胶体、颗粒物质或者有微生物滋生。
b) 膜元件的进水不得含有臭氧、高锰酸、六价铬、自由氯、次氯酸、次氯酸盐和其它会对膜元件造成损坏的氧化剂。
c) 运行条件，如温度、压力、PH、进水 SDI15、浊度和其他环境和运行参数不得超出元件技术说明书中所规定的范围。
d) 当保持膜元件完好、清洁。当标准化产水量下降了 10% 时，买方必须使用卖方认可的清洗程序进行清洗。

e) 膜元件系统设计应该符合有关工程标准，膜元件在任何时候都不能暴露于水锤或产水背压。这里的产水背压指产水静压力减去浓水静压，该值为正值。

f) 只可使用经过卖方许可的适用于元件的清洗剂、杀菌剂、分散剂或其他化学品。买方有义务了解膜元件材料信息，并且确保对于膜或材料有损害的化学药品不得与膜元件接触。

g) 应该对膜元件的系统运行参数和系统性能进行常规 1) 记录，2) 基准条件校正，3) 检查，4) 按照一定的格式进行归档。运行参数至少应该包括：进水温度和 PH 值、进水和运行压力、进水电导率、日期、使用时间和系统采用的清洗药品。

h) 如果涉及到质保责任，买方在卖方提出要求的时候，买方应该向卖方提供 f) 和 g) 项所收集的数据。

i) 如果涉及到质保责任，买方应该允许卖方参观和检查质保责任相关膜元件的设备和操作程序。

质保索赔流程

任何质保范围内的索赔必须以书面形式及时提出申请，且买方应该按照以下程序向卖方提供有缺陷的膜元件，否则该索赔申请无效。

买方需联系其卖方销售或者客户服务代表来完成退货授权表（“RGA”）。收到退货授权码和产品退货说明后，买方需支付运费将膜元件运送到卖方指定的质量保证部门。在退回之前，膜元件必须始终保持潮湿、清洁、并装入防水密封袋。卖方有权对这些被声称有缺陷的膜元件及使用它们的膜系统进行检查或测试。此外，卖方有权要求买方进行这类检查或测试并将检测结果发送给卖方，或要求买方退回所有或部分质保期内的元件。

如果在检测买方膜系统时发现，膜元件的损坏由质保之外的原因引起，买方应每天向卖方支付 500 美元，并支付卖方代表在检测和测试这些膜元件和膜系统时所发生的全部直接费用。买方认同卖方的实际发生费用将是难以衡量的，因此上述所列的每日费用及由卖方代表发生的所有直接费用都是合理的，而且它是代替所有这些实际成本费用而并不是罚金。

如果卖方判定被退回的膜元件性能符合质保，那么膜元件将被寄回给买方，此运费以及任何与膜元件分析和诊断工作相关的费用将由买方支付。

请登录以下网址和您所在区域的客服代表联系。

https://www.suezwatertechnologies.cn/contact-us

维修和更换

由膜元件或任何违反这些质保及担保的行为所导致的或与之相关的卖方的全部责任以及买方的唯一补救措施仅限于维修或更换（按卖方意愿）有缺陷的产品。卖方所有责任不应超过没有达到保证性能膜元件的价值。在更换不合格的膜元件时，价格以进行更换时的膜的出厂价为准。因材料或做工的缺陷导致更换的元件，将获得全额更换，对于按比例质保部分，对于剩余的未使用的月数退还每月 1/12 或 1/9 的元件采购价格，用于抵消购买更换所需元件的费用。更换膜元件的数量仅限于需要被装回膜系统中达到质保性能的数量。在按比例分配的性能保证下维修或更换的膜元件将运给买方，运费由卖方承担，以继续完成剩余的质保月份中原有的按比例性能担保。为清晰起见，有缺陷膜元件的维修或更换不能超过或重新享有适用的质保期限或按比例性能质保期。

排他性质量保证

虽然其他文件（包括膜元件被销售给买方的销售合同和 / 或任何有优先权的协议）中有条款，但只要涉及到元件，如果有相冲突的条款，均以此保修文件为准。

除非其他购买膜元件的买方签署的销售协议中有明确规定，卖方不会就膜元件的工艺效果和性能做出保证和承诺，包括但不限于产品质量、流量、生产、产能、膜寿命、化学药品消耗量、合规性或能耗。

本质保及质保文件中的保修说明将替代并排除所有其他书面或口头的、法定的、明示的或暗示的保证书，包括商品性能保证或产品适用于特定目的的保证。

免责声明与责任限制

在法律允许的最大范围内，无论索赔是否基于合同（包括保修或赔偿），卖方不对任何利润或收入下降、产能下降、设备或服务或相关设备无法使用、业务中断、资金损失、水电重置成本、停机成本、运营成本增加、买方客户对这类赔偿的追讨、或任何特殊的、直接的、偶然的、间接的、惩戒性或后果性损害所产生的相关结果、或该协议涉嫌违规、合同外责任、侵权（包括疏忽或严格责任）、章程、股东权益或其他法律理论负责任。

转让

在未事先取得卖方书面许可的情况下，买方不得将本保证进行转让或转移。

定义

本质保文件中的词定义如下：

买方是指从卖方购买设备的一方。
设备是指由卖方卖给买方的卷式膜元件以及膜元件所被安装在的膜系统。
卖方是指销售设备的法律实体。

ready for the resource revolution

苏伊士水务技术与方案
大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
400-887-8280
www.suezwatertechnologies.cn

*SUEZ的商标可能在一个或多个国家已经注册。
@2018 SUEZ保留所有权利。

官 方 微 信　　官方中文网站

M_RO_Technical_CN