

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

SUEZ 纯水膜

产品信息及应用维护手册



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

1 个全球研发中心

28 个省市

1 个工程设计执行中心

2 个先进工厂

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 产品信息	1
1.2 产品选型指南	2
1.3 产品参数	3
第二章 反渗透膜零部件	9
2.1 术语	9
第三章 反渗透系统设计	11
3.1 过滤和分离原理	11
3.2 预处理	19
3.3 反渗透系统设计	25
第四章 设计软件使用指南	33
第五章 反渗透系统的运行维护	34
5.1 膜元件的安装和拆卸	34
5.2 膜元件的启动和关停	35
5.3 膜元件的储存	37
5.4 膜元件的清洗	39
5.5 运行日志	42
第六章 反渗透系统故障诊断和排除	43
6.1 常见故障情况及判断	43
6.2 故障分析方法	50
6.3 故障分析检测项目	51
6.4 故障解决方法	55
第七章 质量保证书	56
第八章 常见问题	59
第九章 附件	61
9.1 水质转化表	61
9.2 常用公式	62

第一章 产品和性能

1.1 产品信息

1.1.1 命名

以 AK8030F-400, WET 为例

A	K	80	40	F		400	WET
1	2	3	4	5	6	7	8
膜类型	膜通量	元件直径	元件长度	外壳形式	元件结构	膜面积	附加信息

位置 1：表示膜的类型。不同的字母表示不同的膜类型

代号	膜	产品	类型
A	RO	A 系列	TFM
C	RO, NF, UF	C 系列	CA
H	NF	H 系列	TFM
Duratherm	RO, NF, UF	多种系列	TFM, PES

位置 2: 表示膜的通量，从 A-Z，表示通量逐渐增大

位置 3: 表示膜元件的直径，单位英寸

位置 4: 表示膜元件的外壳类型

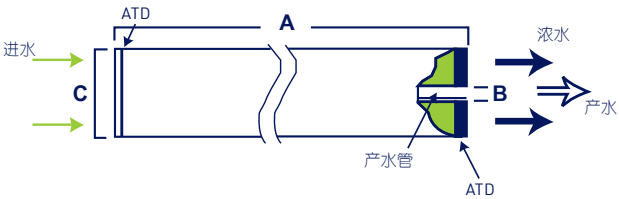
代号	F	N	T	C
外壳	玻璃钢	网式	胶带式	笼式

位置 6: 表示膜的结构形式，M 表示凸接头，空白表示平接头

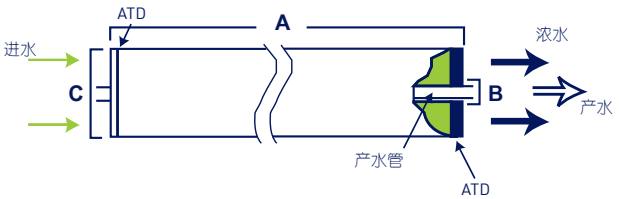
位置 7: 表示膜元件的有效面积

位置 8: 表示膜元件的附加信息

1.1.2 尺寸及运输信息



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]			参考半干膜毛重, 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

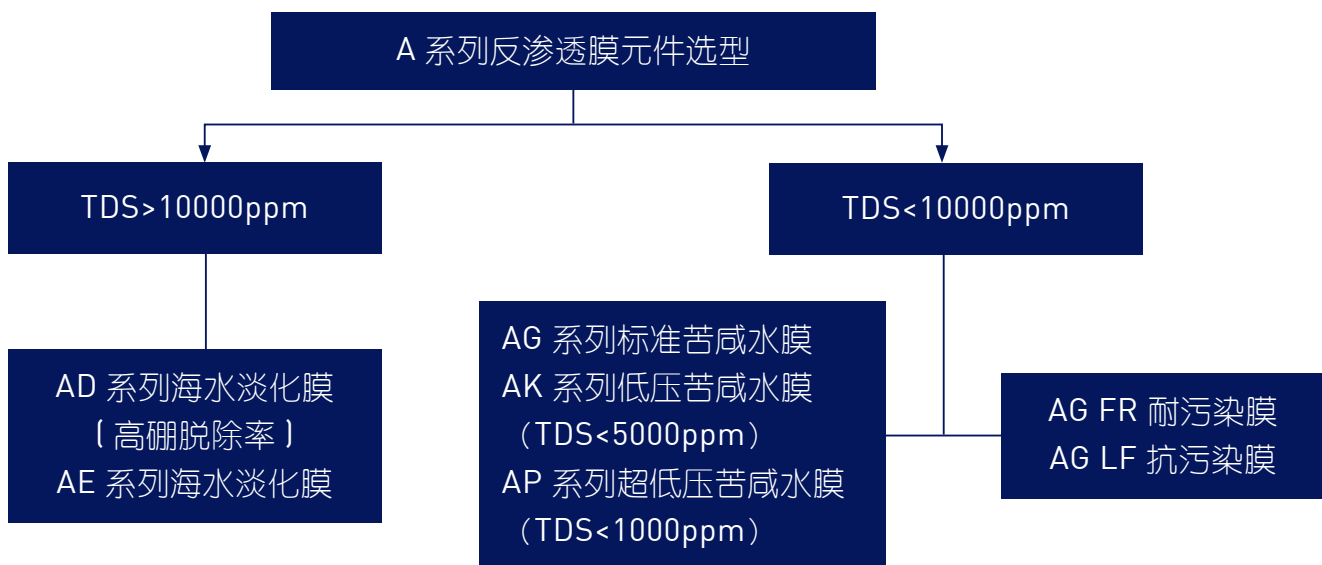
¹ 除有特殊标注外, 所有膜元件均为干 / 半干膜运输。干膜重量较半干膜可能略轻 1-2kg。

² 除注明为 OD (外径) 外, 均为内径。

³ 元件直径 (尺寸 C) 按照在本司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。

1.2 产品选型指南



1.3 产品参数

AD HR 系列海水淡化反渗透膜

AD HR 系列专利反渗透符合膜元件具有高氯化钠截留率和优异的硼截留率为特征。高压结构。适宜对于产水 TDS 要求高的海水淡化应用。AD HR 系列采用了新的成膜工艺，在海水淡化操作条件（操作压力不小于 800psi（5,516kpa）且温度较高）下获得高脱盐率。

AD 膜元件						
型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头	物料编号
AD-365	6,000 (22.7)	99.75%	365 (33.9)	玻璃钢	平接头	3056652
AD-400, 34	6,500 (24.6)	99.75%	400 (37.2)	玻璃钢	平接头	3056654
AD-440	7,100 (26.9)	99.75%	440 (40.9)	玻璃钢	平接头	3056655

测试条件：32,000mg/L NaCl 和 5mg/L 硼溶液，操作压力 800psi (5,516kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 8.0，回收率 7%。最低硼截留率 = 93.0%。

AD 系列运行清洗参数

一般操作压力	800psig(5,516kPa)
一般操作通量	7-11GFD(12-19LMH)
最大压力	1200psig (8,274kPa)
最高温度	连续运行：122°F(50°C) 化学清洗（CIP）：122°F(50°C)
清洗	122°F(50°C)
最大压差	单支膜元件：12psig(83kPa) 单支膜壳：50psig(345kPa)
推荐最大压差	最佳脱盐率 pH 范围 7.0-7.5
操作 pH 范围	4.0-11.0
清洗 pH 范围	2.0-11.5
耐氯性	1,000 ppm hrs. 建议去除余氯
进水	NTU<1, SDI<5

AE HR 系列海水淡化反渗透膜

AE HR 系列专利反渗透符合膜元件具有高氯化钠截留率和优异的硼截留率为特征。高压结构。适宜于对于产水 TDS 要求高的海水淡化应用。AE HR 系列采用了新的成膜工艺，在海水淡化操作条件（操作压力不小于 800psi（5,516kpa）且温度较高）下获得高脱盐率。

AE 膜元件						
型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头	物料编号
AE-400,34	9,000 (34.1)	99.8%	400 (37.2)	玻璃钢	平接头	3056662
AE-440	9,900 (37.5)	99.8%	440 (40.9)	玻璃钢	平接头	3056663

测试条件：32,000mg/L NaCl 和 5mg/L 硼溶液，操作压力 800psi (5,516kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 8.0，回收率 10%。最低硼截留率 = 90.0%。

AE 系列运行清洗参数

一般操作压力	800psig(5,516Pa)
一般操作通量	7-11GFD(12-19LMH)
最大压力	1200psig (8,274kPa)
最高温度	连续运行：122°F(50°C) 化学清洗（CIP）：122°F(50°C)
清洗	122°F(50°C)
最大压差	单支膜元件：12psig(83kPa) 单支膜壳：50psig(345kPa)
推荐最大压差	最佳脱盐率 pH 范围 7.0-7.5
操作 pH 范围	4.0-11.0
清洗 pH 范围	2.0-11.5
耐氯性	1,000 ppm hrs. 建议去除余氯
进水	NTU<1, SDI<5

AG HR 系列苦咸水淡化反渗透膜

A 系列专利反渗透复合膜具有高通量、高氯化钠脱除特性，AG HR 苦咸水膜元件适用于操作压力小于 200psi（1.379Mpa）的高脱盐应用。建议进水含盐量 TDS 范围在 1000-10000mg/L；当要求很高的一价离子截留率而操作压力低至 200 psi (1,379 kPa) 的操作压力时，请选择 AG HR 苦咸水膜元件。

AG HR 膜元件						
型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头	物料编号
AG-90	2200 [8.3]	99.8%	90 [8.4]	玻璃钢	凸接头	3056665
AG-365	9,600 [36.3]	99.8%	365 [33.9]	玻璃钢	平接头	3056666
AG-400	10,500 [39.7]	99.8%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头	3056667
AG-400, 34	10,500 [39.7]	99.8%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头	3056668
AG-440	11,500 [43.5]	99.8%	440 [40.9]	玻璃钢	平接头	3056669

测试条件：2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 225 psi (1,550kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 7，回收率 15%。

AG 系列标准苦咸水淡化反渗透膜

A 系列专利反渗透复合膜具有高通量、高氯化钠脱除特性，当要求很高的一价离子截留率而操作压力低至 200 psi (1,379 kPa) 的操作压力时，请选择 AG HR 苦咸水膜元件。

型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头
AG2540TM	700 [2.7]	99.5%	29 [2.6]	胶带缠绕	凸接头
AG4040FM	2,200 [8.3]	99.5%	85 [7.9]	玻璃钢	凸接头
AG8040F	9,600 [36.3]	99.5%	365 [33.9]	玻璃钢	平接头
AG8040F-400	10,500 [39.7]	99.5%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头

测试条件：2,000ppmNaCl 溶液，操作压力 225psi(1,550kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 7.5，回收率 15%。

AG 系列抗污染苦咸水淡化反渗透膜

低污染膜元件设计用于污染水源的脱盐和现有 RO 系统的改造，以减少结垢、降低总能耗和延长清洗周期。当要求高截留率和低至 200 psi (1,379 kPa) 的操作压力时，请选择 AG LF 膜元件。当对清洗频率要求高时，请采用 AG FR 膜元件。

型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头
AG4040LF	2200 [8.3]	99.5%	85 [7.9]	玻璃钢	凸接头
AG4040F FR, 34	2200 [8.3]	99.5%	85 [7.9]	玻璃钢	凸接头
AG8040F-400 FR, 34	11,000 [41.6]	99.5%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头
AG-400 FR, 34	11,000 [41.6]	99.7%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头
AG8040F-400 LF, 34	11,000 [41.6]	99.5%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头

测试条件：2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 225 psi (1,551kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 7，回收率 15%。

AG 系列高脱盐率抗污染苦咸水淡化反渗透膜

A 系列专利反渗透复合膜具有高通量、高氯化钠脱除特性，AG HR LF 苦咸水膜元件使用于水质差，同时要求高脱盐率的应用。AG HR LF 膜表面电荷更接近中心，因此可以减少与进水（污染地表水或三级废水）中潜在的污染反应，提高抗污染性。

型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头
AG-90 LF	2200 [8.3]	99.8%	90 [8.4]	玻璃钢	凸接头
AG-400 LF, 34	10,500 [39.7]	99.8%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头
AG-440 LF	11,500 [43.5]	99.8%	440 [40.9]	玻璃钢	平接头

测试条件：2,000ppm NaCl 溶液，操作压力 225 psi (1,551kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 7，回收率 15%。

AG 系列运行清洗参数

一般操作压力	200psig(1,379kPa)
一般操作通量	10-20GFD(15-35LMH)
最大压力	600psig (4,137kPa)
最高温度	连续运行：122°F(50°C) 化学清洗（CIP）：122°F(50°C)
清洗	122°F(50°C)
最大压差	单支膜元件：12psig(83kPa) 单支膜壳：50psig(345kPa)
推荐最大压差	最佳脱盐率 pH 范围 7.0-7.5
操作 pH 范围	4.0-11.0
清洗 pH 范围	2.0-11.5
耐氯性	1,000 ppm hrs. 建议去除余氯
进水	NTU<1, SDI<5

AK HR 系列超低压高脱盐率苦咸水淡化反渗透膜

系列专利反渗透复合膜具有高通量、高氯化钠脱除特性，AK HR 苦咸水膜元件适用于操作压力 100psi (689kPa) 的高脱盐应用，节能显著。建议进水 TDS 小于 5000mg/L 的苦咸水。显然，AK HR 能在相当低的压力下产生接近标准苦咸水膜的水质。

型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头
AK-365	9,600 [36.3]	99.5%	365 [33.9]	玻璃钢	平接头
AK-400	10,500 [39.7]	99.5%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头
AK-440	11,500 [43.5]	99.5%	440 [40.9]	玻璃钢	平接头

AK 系列超低压高脱盐率苦咸水淡化反渗透膜

A 系列专利反渗透复合膜具有高通量、高氯化钠脱除特性，AK 低压苦咸水膜元件适用于操作压力极低的情况。该膜元件可在 100psi（689kPa）的低压操作条件下达到很好的脱盐效果，从而大大的节省了能源。

型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头
AK2540TM	700 [2.6]	99.0%	29 [2.6]	胶带缠绕	凸接头
AK4040FM	2,200 [8.3]	99.0%	85 [7.9]	玻璃钢	凸接头
AK4040FM	2,200 [8.3]	99.0%	85 [7.9]	玻璃钢	凸接头
AK8040F-400	10,500 [39.7]	99.0%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头

测试条件：500ppm NaCl 溶液，操作压力 115 psi (793kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 7.5，回收率 15%。

AK LE 系列超低压高脱盐率苦咸水淡化反渗透膜

A 系列专利反渗透复合膜具有高通量、高氯化钠脱除特性，AK LE 苦咸水膜元件适用于高脱盐率、高流、超低压的应用。AK LE 元件是一种低能、高流量的产品，适用于饮料、商业、居民及一般工业应用。AK LE 系列膜元件采用玻璃钢外壳缠绕。

型号	平均流量， 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积， ft² (m²)	外套	接头
AK-90 LE	2,800 [10.6]	99.3%	90 [8.4]	玻璃钢	凸接头
AK-400 LE	12,300 [46.6]	99.3%	400 [37.2]	玻璃钢	平接头
AK-440 LE	13,500 [51.1]	99.3%	440 [40.9]	玻璃钢	平接头

测试条件：500ppm NaCl 溶液，操作压力 115 psi (793kPa)，温度 77°F (25°C)，pH 7，回收率 15%。

AK 系列运行清洗参数

一般操作压力	100psig(689kPa)
一般操作通量	10-18GFD(17-30LMH)
最大压力	600psig (4,137kPa)
最高温度	连续运行: 122°F(50°C) 化学清洗 (CIP) : 122°F(50°C)
清洗	122°F(50°C)
最大压差	单支膜元件: 12psig(83kPa) 单支膜壳: 50psig(345kPa)
推荐最大压差	最佳脱盐率 pH 范围 7.0-7.5
操作 pH 范围	4.0-11.0
清洗 pH 范围	2.0-11.5
耐氯性	1,000 ppm hrs. 建议去除余氯
进水	NTU<1, SDI<5

AP 系列极低压苦咸水淡化反渗透膜

当要求极高的流量和低至 70psi 的操作压力，盐浓度 (TDS) 最高为 1,000 mg/L 时，请选择极低压大流量 AP 膜元件。

AP 膜元件					
型号	平均流量, 加仑 / 天 (m³/d)	平均 NaCl 截留率	有效面积, ft² (m²)	外套	接头
AP-90	2,400 (10.2)	95%	90 (8.4)	玻璃钢	凸接头
AP-365	11,000 (41.6)	95%	365 (33.9)	玻璃钢	平接头
AP-400	12,500 (47.2)	95%	400 (37.1)	玻璃钢	平接头

测试条件: 500ppm NaCl 溶液, 操作压力 75 psi (520Pa), 温度 77°F (25°C), pH 7, 回收率 15%。

第二章 反渗透膜零部件

2.1 术语

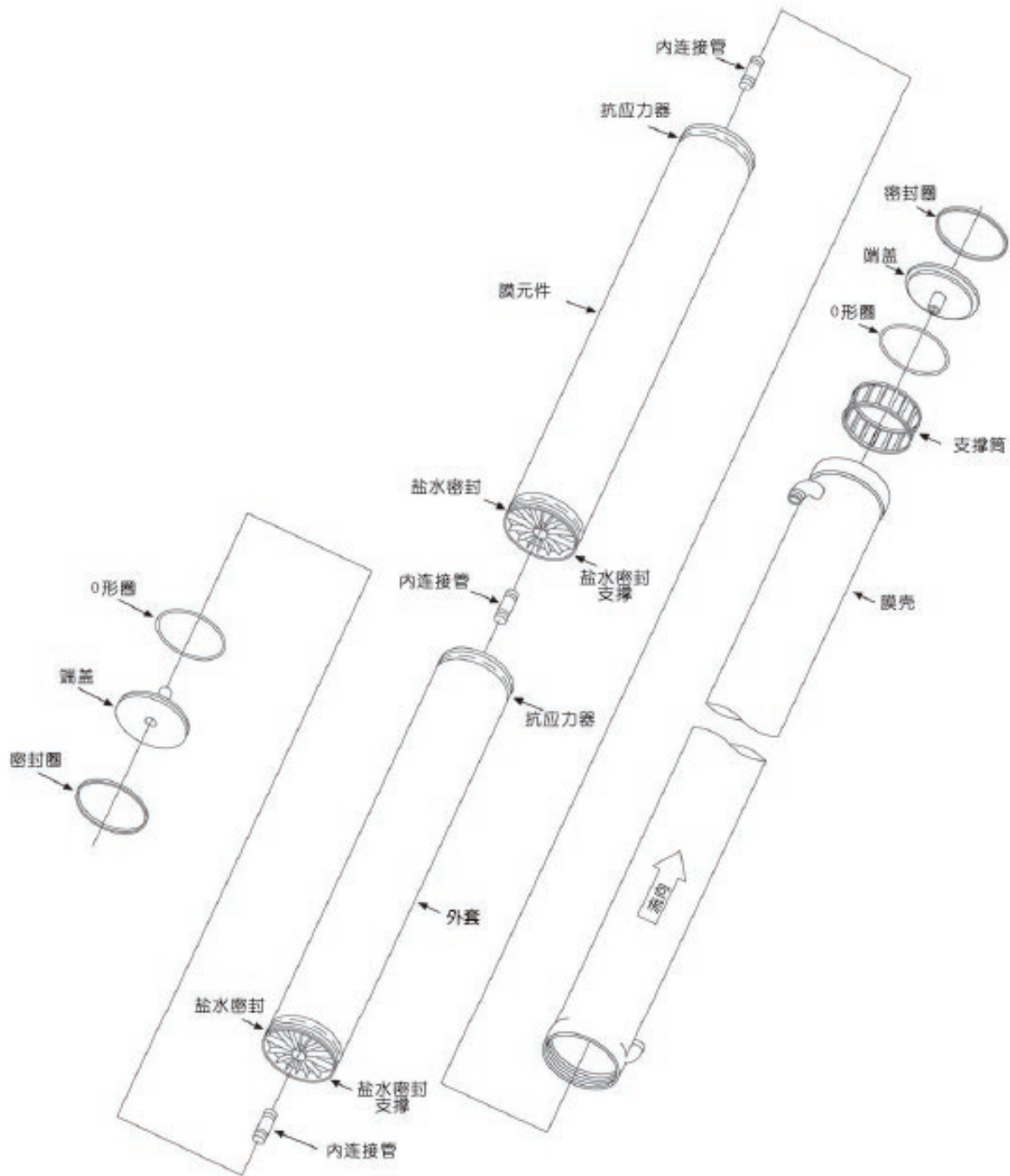


图 2-1 零部件

内连接管 (IC)

内连接管用来连接相邻膜元件的产水管。



元件适配器

元件适配器用来连接膜元件产水管和压力容器端板的产水口。



间隔管

间隔管可用作产水管的延伸，它可以对上游膜元件和端板产水口之间的缝隙进行填充。它通常与元件适配器或堵头一起用于改装。间隔管与由生产商提供的止推环一起防止压力容器内膜元件发生位移。



抗应力器 (ATD)

抗应力器连接在膜元件上，为膜元件末端提供支撑，它可防止膜元件外部相对产水管发生位移。



盐水密封

盐水密封通常安装在膜元件的进水端，对膜元件的末端与压力容器内壁进行密封，引导进水进入卷式膜。盐水密封缩短了进水在膜元件外部流经的通道，优化了卷式设计配置。



堵头 (DEP)

当产水仅从容器的一端排出时，堵头被用来封闭离压力容器产水口最远的产水管开口。它通常在上游膜元件和压力容器端板之间有空隙，需进行改装的情况下使用。



第三章 反渗透系统设计

3.1 过滤和分离原理

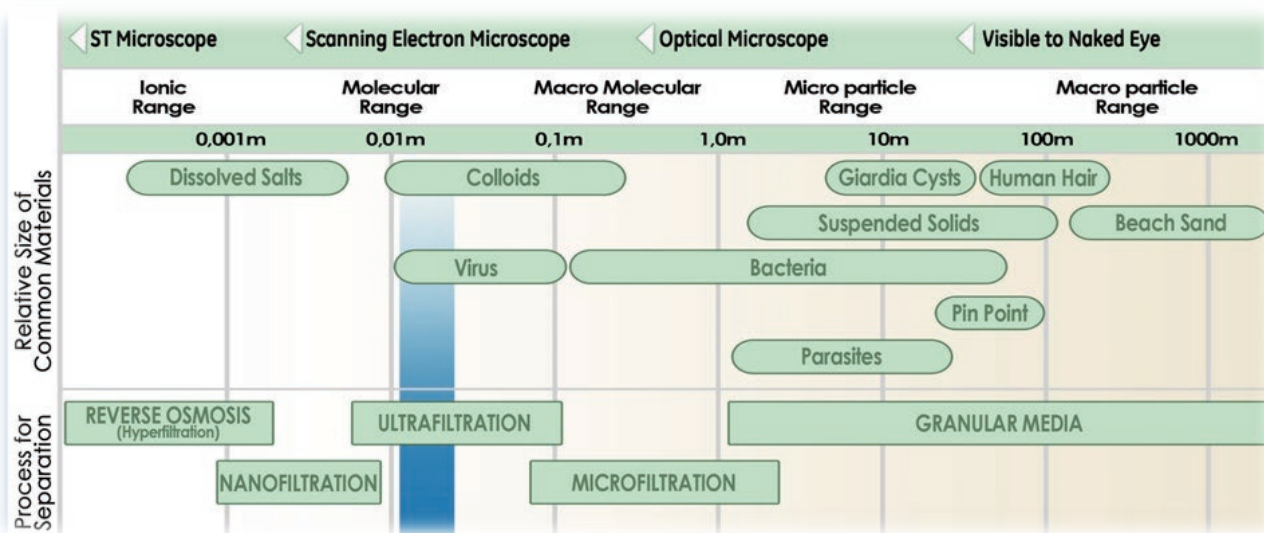
利用膜从水中有选择性地去除、分离，或者浓缩微小物质是现代的一大技术革命。膜技术在许多方面优于传统过滤技术。目前使用的膜基本上有 4 种，每种都可以从特定的进水中去除不同种类或粒径的物质。这 4 种膜或分离技术为：反渗透 (RO)、纳滤 (NF)、超滤 (UF) 和微滤 (MF)。

尽管这 4 种膜外观相似，但是他们各自有其独特的功能，这是由生产膜所采用的材料和技术不同决定。将不同类型的聚合物和塑料薄层镀到底层材料上，需要先进的聚合物化学技术和生产技术。采用不同的材料、工艺和化学反应，可以生产 RO 膜、NF 膜、UF 膜、MF 膜。

这 4 种膜之间的主要区别是孔径的大小，RO 膜、NF 膜、UF 膜、MF 膜的孔径依次增大。各种膜在不同应用环境中所起的作用不同。通常，RO 膜和 NF 膜能够将离子大小的物质从进水中分离出来，而 NF 膜和 UF 膜通常用来分离较大的分子。微滤主要用于截留悬浮颗粒物、细菌、病毒等。所有四种膜都允许水通过。

膜分离技术可以去除离子、分子大小的物质。这些物质非常小，他们通常都以“埃”为测量单位（1 埃 = 1 百分之一米）。不同膜的孔径和化学特性不同，这使得膜能去除大小在 1 到 5 万个埃之间的离子、分子和有机物。

RO 膜通常用来截留各种离子。NF 膜通常用来截留多价或二价阳离子，而允许单价离子通过；这个特点使它能根据化学特性来分离不同的离子，这也是 NF 膜特有的能力。UF 膜和 MF 膜依据分子大小来截留分子，UF 膜截留大于 30 埃的粒子，而 MF 膜能截留大于 500 埃的粒子。UF 膜和 MF 膜通常按照膜孔的大小和孔隙率分级，而 RO 膜和 NF 膜通常是按照特定盐的截留率和流量来分级。



错流过滤和传统过滤的对比

RO, NF, UF 和 MF 分离技术均采用特定的膜, 在一定的工作压力下, 去除或浓缩进水或流体中的物质。不过, 错流过滤有别于传统过滤, 错流过滤基于不同的流体力学原理, 这也是它的一大优势。通过过滤, 进水被分成两部分: 产水和浓水。在不同的应用中, 可根据用户的需要, 获得产水或浓水。

如下图所示, 错流过滤中, 进水流经膜表面时, 一部分透过膜, 成为产水, 而另一部分则沿膜平行流动, 成为浓水。错流过滤系统不同于传统的死端过滤, 进水并非仅沿着透过滤层的方向流动。

错流过滤的主要的优点是, 膜截留下来的物质被流体不断地冲走, 这在一定程度上相当于膜表面被连续地清洗, 这样就延长了膜的寿命, 并降低了维护和清洗的费用。相反, 传统过滤中被截留的物质积累在过滤介质上, 必须定期清洗更换介质, 这明显不经济, 也不利于环保。

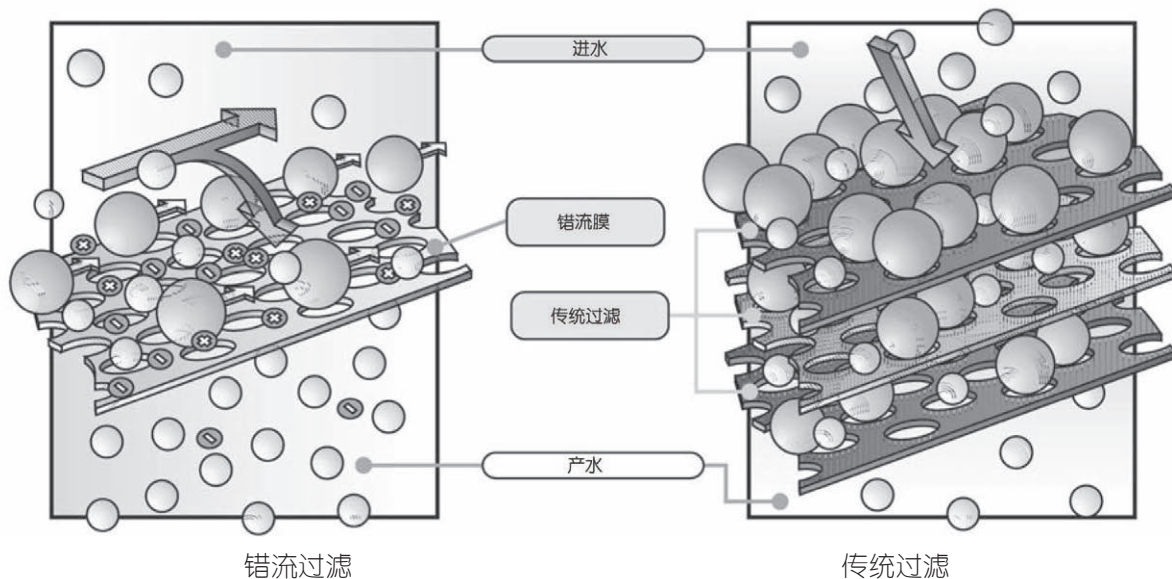


图 3-1 错流过滤与传统过滤

膜技术的应用

一般应用中, 常将膜元件装入压力容器 (膜壳) 中, 用泵提供加压的进水。

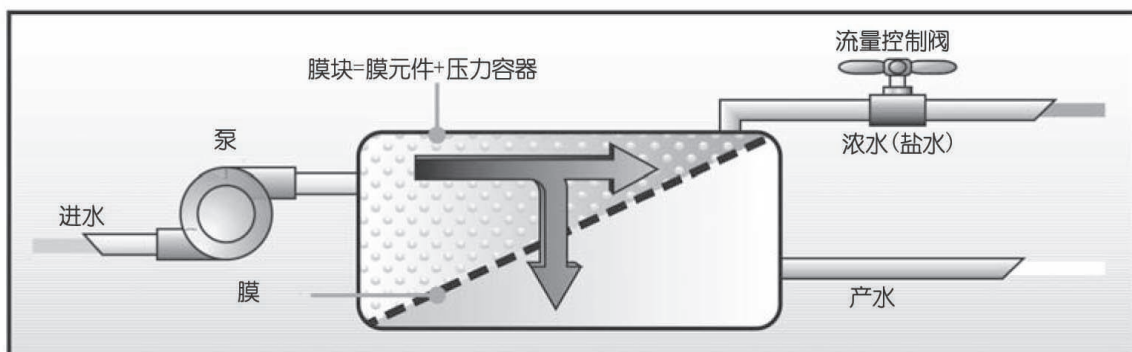


图 3-2 错流过滤膜工艺

产水的回收率由浓水流量控制阀调节。控制该阀门调节压力，使足量的进水流过，这对于膜表面的清洗是至关重要的，调节不当就可能会发生膜污堵。同时，控制该阀门调节压力，使膜表面达到最佳压力，这对于产生产水也同样重要。

在不同的应用中，膜的作用显得非常重要，其功能对于流经膜的加压进水来说，相当于具有选择性的“守门人”。在不同的压力下，对不同进水，“守门人”的不同反应可能导致不同的结果。这也就是为何选用合适的膜对达到最高效率非常关键的原因。本司膜产品种类极多，能充分满足各种客户不同的需求。

3.1.2 反渗透原理

渗透

渗透是一种常见的自然现象，当两种含有不同浓度的溶液被一张半透膜隔开时，就会发生渗透现象。在自然渗透过程中，水从离子含量较低的一侧穿过膜进入离子含量较高的溶液一侧。这个过程会一直持续到半透膜两侧离子浓度相等，或者，直到水透过膜所形成的压差和溶液的渗透压相等（如果水溶液装在如图3-3所示的容器内）。

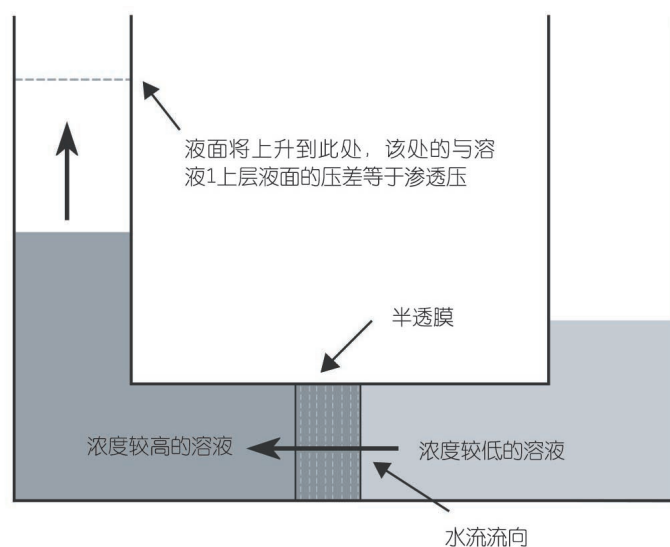


图 3-3 渗透

反渗透

反渗透是渗透这一自然现象的逆过程。如果在高浓度溶液一侧加上一个大于渗透压的压力，高浓度溶液中的水就会在压力作用下以相反的方向穿过渗透膜，进入低浓度一侧，而留下离子和悬浮固体物质。该过程如图3-4所示，反渗透过程中，穿过膜的水通常被称为产水，而和溶解固体和悬浮固体一起留在膜另一侧的水被称为浓水，盐水，或废水。

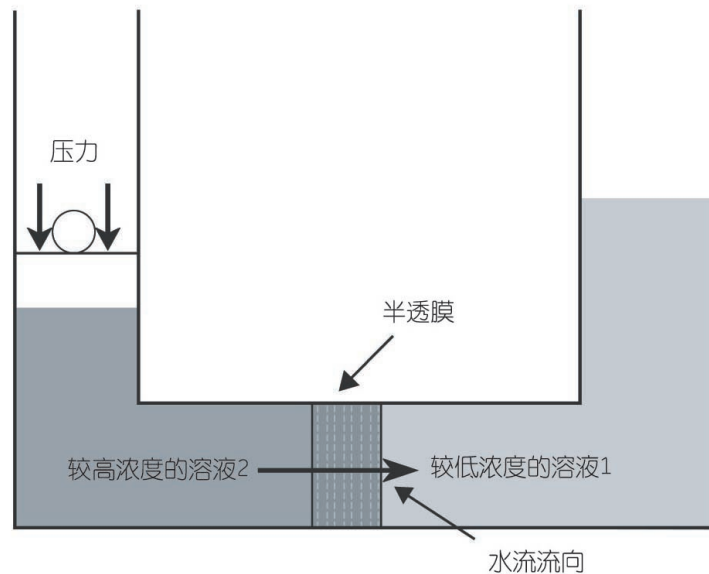


图 3-4 反渗透

反渗透膜元件

当将合成半透膜材料制成膜元件时，就可以用于水的反渗透处理。通常，膜元件的材质有两种，一种是醋酸纤维素或三醋酸纤维，另外一种为塑料材质如聚酰胺或聚砜材料。根据结构来分，膜元件可分为 4 种，包括平板膜、管式、中空纤维、卷式膜元件，目前常用的是后两种膜元件。膜材质和膜结构类型的选择取决于诸多因素，包括水化学、空间限制，产品水水质要求，和系统预处理设计。本手册仅对如图 3-5 所示的卷式膜元件进行说明。

卷式膜由平板膜片制造，首先将平板膜片折叠，然后用胶粘剂密封成一个三面密封、一端开口的膜封套（类似于信封状）。在膜封套内置有为多孔支撑材料，将膜片隔开并构成产水流道。膜封套的开口端与塑料穿孔中心管连接并密封，产水将从膜封套的开口端汇入中心管，如图 3-5 所示。

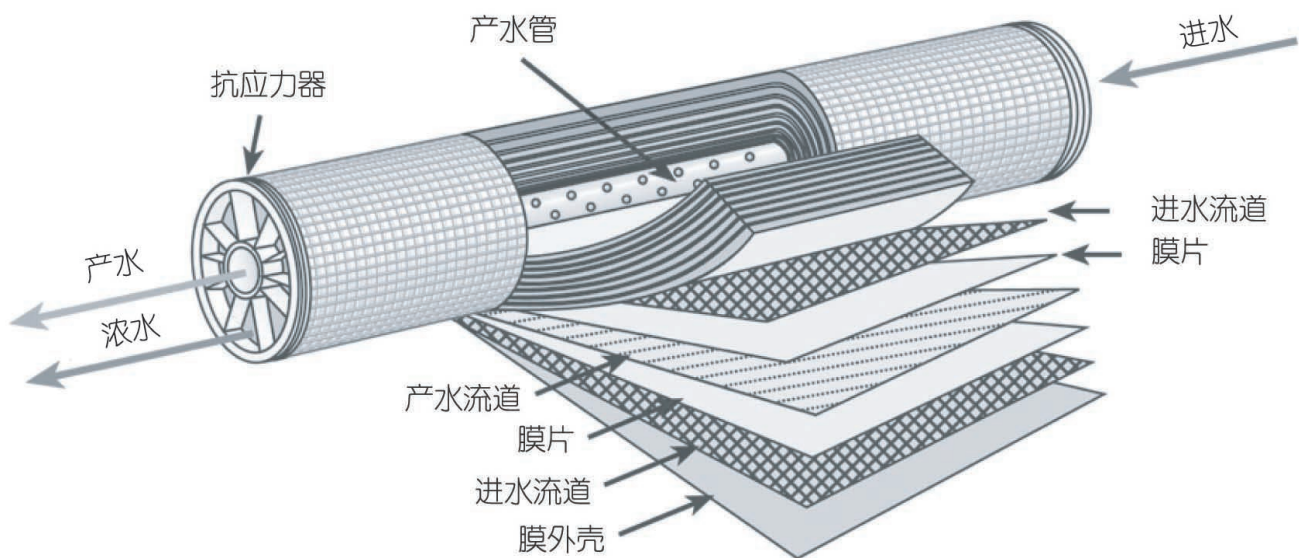


图 3-5 膜元件

为了使设备更加紧凑，将多个膜封套螺旋卷缠中心管。膜封套之间为塑料滤网（称为进水流道），该滤网在膜的表面上形成流道，进水通过这个流道进入元件，浓水沿流道排出元件，如图 3-5 所示。最后用半刚性的玻璃丝外缠绕层包绕形成保护层，并维持膜元件的形状，该玻璃丝外缠绕层被称为玻璃钢外壳。元件的成品尺寸通常长常为 40 英寸，直径常为 4 英寸或 8 英寸。

表 3-1 近似渗透压

盐类	浓度	近似渗透压 psig (bar)
氯化钠 (NaCl)	0.5	55 (3.8)
	1	125 (8.6)
	3.5	410 (28.3)
硫酸钠 (Na2SO4)	2	110 (7.6)
	5	304 (21.0)
	10	568 (39.2)
氯化钙 (CaCl2)	1	90 (6.2)
	3.5	308 (21.2)
硫酸铜 (CuSO4)	2	57 (3.9)
	5	115 (7.9)
	10	231 (15.9)

注：百分浓度乘以 10,000 之后相当于 ppm 或 mg/L

1 oz. / gal 等于 7,500 mg/L。

将所有的水都转化为产品水是不切实际的，因为随着膜一侧离子浓度的增大，需要克服的渗透压力将增大，而且，如果不能去除浓水悬浮固体，它们将对膜的表面造成污染。

水的传递与水通量

水的传递可以用水通量来表示。

透过膜的产水速率称为通量，可以由下式确定：

$$J_w = A(25^{\circ}\text{C}) \times \text{TCFA} \times (\Delta P - \Delta \Pi)$$

式中 J_w 是产水通量 (gallons/ft² × d) [gfd], L/(m² × h), m/s]

$A(25^{\circ}\text{C})$ 表示 25°C 时的纯水渗透系数，单位为 gfd / psi, cm / (s × atm)

TCFA 是 A 值的温度校正系数

ΔP 膜两侧的压差（进水压力 - 产水压力）

$\Delta \Pi$ 膜两侧的渗透压差（进水渗透压 - 产水渗透压）

其中 $\Delta P - \Delta \Pi$ 被定义为“净推动力”，在其他条件一定的时候，“净推动力”与水通量成正比。

在一般苦咸水处理环境中 $\Delta \Pi \ll \Delta P$, 因此, J_w 可近似正比于 ΔP , 即 J_w 将随进水压力呈线性增加。由上式可见，某一特定膜的通量通常受温度、净推动力的影响，此外通量也受到为保持膜表面不受悬浮固体污堵所需的冲刷要求限制。通常，通量越高，污染速率越高，当通量超过一定值时污染速度的增加几乎是指数级的。

盐的传递和脱盐率

盐的传递速度可以用下式表示：

$$J_w \times C_p = B[25^{\circ}\text{C}] \times \text{TCFB} \times (C_m - C_p)$$

C_m - 膜的浓水侧溶质浓度
C_p - 膜的产水侧溶质浓度
C 表示溶质浓度 (mg/L, wt%, mol/L)
B[25°C] 表示 25°C 时的盐渗透系数, (cm/s, gfd)
TCFB 表示 B 值的温度校正系数
下标 m 和 p 表示浓水侧和产水侧
当 C_p<<C_m 时 S.P. = C_p / C_m = B[25°C] × TCFB/ J_w
脱盐率 R= 1-S.P.

膜的脱盐率表示膜限制溶解性离子穿过膜的能力，通常以百分比表示。也就是说，如果膜装置的进水 TDS 含量为 100 ppm，而产品水的溶解固体含量为 2 ppm，则相应的脱盐率为 98%。有时，也使用和脱盐率相对的指标，即透盐率，在以上例子中，透盐率等于 2%。因为膜本身和膜元件制造工艺的限制，要达到 100% 的去除率是不切实际的。

膜的透盐率表示离子穿过膜的百分率，透盐率 =1-R。

反渗透复合膜的标准脱盐率特性如下表所示。值得注意的是表中各种离子的脱除率的测试条件不同于膜元件规范中的测试条件，因此其值略低于膜元件规范中所列出的脱除率。

成分	符合	脱除率	成分	符合	脱除率
钠	Na+	99.0-99.4	铅	Pb2+	99.5-99.8
钙	Ca2+	99.8	氯化物	Cl-	99.0-99.4
镁	Mg2+	99.8	碳酸氢根 *	HCO3-	98.0-99.8
钾	K+	99.0-99.4	硝酸根 *	NO3-	95.0-98.0
铁	FE2+	99.0-99.4	氟化根	F-	98.0-99.0
锰	Mn2+	99.0-99.4	硅酸根 *	SiO2-	98.0-99.0
铝	Al3+	99.5-99.8	磷酸根	PO43-	99.5-99.8
铵 *	NH4+	85.0-99.0	铬酸根 *	CrO42-	99.0-99.4
铜	Cu2+	99.0-99.4	亚硫酸根	SO32-	99.0-99.4
镍	Ni2+	99.5-99.8	硫代硫酸根	S2O32-	99.0-99.4
锌	Zn2+	99.5-99.8	亚铁氰化物	Fe(CN)63-	99.0-99.4
锶	Sr2+	99.5-99.8	溴化物	Br+	99.0-99.4
镉	Cd+2+	99.5-99.8	硫酸盐	SO42-	99.8
银	Ag+	99.0-99.4	砷	As	99.0-99.4
汞	Hg2+	99.0-99.4	硒	Se2-	99.0-99.4
钡	Ba2+	99.5-99.8	细菌和病毒		99.9
铬	Cr6+	99.0-99.4	热原		99.9

脱盐率的测试条件：进水溶液 TDS 200 mg/L，操作压力 200 psi（13.8 bar）、77° F [25°C]、pH7.5、回收率为 15%，连续运行 24 小时后测试。

* 脱盐率 [%] 取决于 pH 值。

回收率

反渗透系统运行过程中，大多数溶解性离子和有机物被膜元件截留，并随浓水一同排放。反渗透产水的杂质含量很低，适用于多种应用。

排放的浓水必须有足够大的流量，以带走杂质，并防止膜的进水侧发生机械性的堵塞或沉淀。为了方便系统操作，产水和进水之间的比例通常作为一个重要的运行参数使用。这个比例称为“回收率”，通常以百分比表示。例如，如果 RO 装置的进水流量为 200 m³/hr，产品水流量为 150 m³/hr，则回收率为 75%。剩下的未通过膜的 50 m³/hr，也就是浓水通常将被排放。回收率在数学上定义为：

$$\text{回收率} [\%] = \text{产水流量} \times 100 / \text{进水流量}$$

产水流量和浓水流量之和等于进水流量，也可以表示为：

$$\text{进水流量} = \text{产水流量} + \text{浓水流量}$$

根据具体应用，反渗透系统回收率通常在 70% -80%之间。如果进水 TDS 高，则需要采用较低的回收率；相反，如果进水 TDS 低，则可以采用较高的回收率。

从以上说明容易推断出来，当回收率为 50%时，浓水中的 TDS 含量大约为进水 TDS 含量的两倍；当系统回收率为 75%时，浓水 TDS 含量将为进水 TDS 的 4 倍，因为几乎全部 TDS 都被截留在这四分之一的浓水一侧。

被反渗透去除的一些离子杂质具有饱和特性，该特性可能引起离子在膜表面的沉积和结垢，阻碍产水流过膜，并最终损坏系统。最典型的这类离子为铁和钙。因此，几乎所有的反渗透生产商都规定进水中的铁应小于 0.05 ppm。

碳酸钙是温度、硬度、TDS、碱度和 pH 值的复合函数，可以通过 Langelier 饱和指数 [LSI] 公式进行分析。该分析应该对预期浓水进行分析。该测定方法考虑了以上讨论的回收率，并提供了合理的安全系数（只要浓水量充分）。

回收率的极限

如前所述，回收率是产水量和进水量之比。通常，一种理想情况是希望回收全部进水，但是这是不现实的，因为有如下原因：

如果所有进水都转化为产水，将没有水可以用来冲走膜表面上截留的悬浮固体物质。这样，悬浮固体物质将在膜的表面积，并逐渐阻止产水流过膜，直至无法产生产水。

一些溶解固体，如硅、钡、锶、或钙和镁，如果和碳酸盐、硫酸盐根等阴离子同时存在，将比其它溶解固体更能限制 RO 装置的回收率，这是由它们在水中溶解度的限制引起的。例如，进水中的硅（二氧化硅）通常是 RO 回收率的限制因素，因为当浓度达到 100- 120 ppm 时，硅（二氧化硅）将会从溶液中析出。这也就是说，如果进水 SiO_2 含量达到 30 ppm，那么产品水回收率应控制在 75% 以下，因为这种回收率情况下， SiO_2 浓度将浓缩 4 倍，导致 RO 浓水中硅的浓度大约为 120 ppm，即其溶解度的上限值。如果试图回收 80% 的水， SiO_2 浓度将浓缩至进水浓度的 5 倍，也就是说， SiO_2 的浓度大约在 150 ppm 左右， SiO_2 将开始沉淀，并对膜的表面造成污染。新型阻垢剂的开发可以帮助提高部分系统回收率。

3.1.3 影响反渗透膜性能的因素

水通量和脱盐率是反渗透膜性能的关键参数。反渗透系统的水通量、脱盐率主要受进水压力（净推动力）、温度、回收率、进水水质、污堵的影响（其影响可详见故障诊断与解决），其关系如下表所示：

	水通量	脱盐率
净推动力增加	上升	上升
温度上升	上升	下降
回收率增加	下降	下降
进水含盐量增加	下降	下降

从水通量方程可见 ($J_w = A(25^\circ\text{C}) \times \text{TCFA} \times (\Delta P - \Delta \pi)$)，当净推动力增加的时候，水通量成正比地增长；同时，盐的透过速度并不显著增加，相当于将产水稀释了，因此膜的脱盐率上升。值得注意的是，上述结论在净推动力超过一定限度的时候，水通量和脱盐率将不再增加，当然在正常的运行条件下，净推动力不会超过该限度。

当温度升高时，TCFA 增大（水的粘度降低），而水通量方程的其他因素基本不变，因此水通量上升；温度对脱盐率的影响比较复杂，因为其一方面引起水通量上升，一方面也使盐扩散能力提高，这两种因素对于脱盐率的影响正好相反；但对于一般的苦咸水淡化系统来说，当温度上升的时候，盐扩散能力提高所带来的影响更大，从而使脱盐率下降。在其他条件不变的情况下，如果是摄氏温度每降低 1 度，RO 机器产水量将下降 3%。在冬天水温明显降低的气候环境下，为了保持产水量可以选择用换热器加热，或者通过变频提高高压泵的压力。

当回收率增加（进水压力恒定），此时浓水侧的盐浓度会上升，引起渗透压增大，导致净推动力降低，从而导致水通量下降；同时，从式 $J_w \times C_p = B(25^\circ\text{C}) \times \text{TCFB} \times (C_m - C_p)$

可见，浓水侧盐浓度上升，会导致 $C_m - C_p$ 增大，引起盐透过膜的速度增大，从而导致脱盐率下降。

进水含盐量增高，渗透压增大，抵消了净推动力，导致水通量下降；同时，进水含盐量增高还会引起盐透过膜的速度增大，从而导致脱盐率下降。

3.2 预处理

RO 或 NF 卷式膜元件主要用于去除溶解固体，如盐类。如果进水含有悬浮固体，这些悬浮固体会被元件截留并有一部分会累积在元件内部，如果进水中含有溶解性固体，在正常的运行过程中，这些固体会沉积到膜元件内，卷式膜元件将比较容易受污染。因此，膜过滤前的预处理过程十分重要，预处理可以有效发挥膜过滤的效率，并延长膜的使用寿命。预处理的目的是减少或防止膜元件的污堵和结垢，防止膜性能下降，并尽可能降低膜的清洗频率。

结垢

在膜处理装置浓缩过程中，当溶解固体的浓度超过其溶解度限值时，这些杂质将在膜的表面沉积。这种现象称为结垢。天然水体中，最可能在运行过程中发生沉降的杂质为碳酸钙 (CaCO_3)、硫酸钙 (CaSO_4)、硫酸钡 (BaSO_4)、硫酸锶 (SrSO_4) 和硅酸盐。结垢通常首先发生在下游膜元件上，其原因是下游浓水侧的含盐量较高。

污堵

污堵是指由于进水中的杂质在膜表面沉积或被膜表面吸附而引起的膜性能下降。这种类型的污染通常在上游膜元件中更为严重。污堵表现为中度到严重的通量下降、透盐率增加和系统压降增大。造成污堵的污染物类型包括：

- 微生物污染。无论是单独的微生物污堵，还是伴随其它污染，活性微生物和他们的新陈代谢物都会引起严重的污堵问题。微生物在膜表面上附着之后，随着微生物代谢物如多糖和粘液的产生，可能形成菌落。
- 胶体和颗粒物质，如粘土、泥沙、微生物残骸、金属氧化物和金属氢氧化物。预处理部分如果工作不正常，氧化物和氢氧化物将会进入后续处理设施。
- 膜对杂质的吸附会引起水通过膜的阻力增加。天然水体中通常含有腐殖质、富里酸和丹宁酸等杂质。在预处理段添加的化学药剂（如絮凝剂），如果进入膜装置，也可能被膜所吸附。

膜降解

膜的化学性质发生改变而引起的膜的性能下降称为膜降解。高锰酸盐、过硫酸盐和六价铬等氧化剂，清洗过程中过高或过低的 pH 值都可能引起膜降解。

当进水水来自于天然水体时，聚酰胺膜降解最常见的原因是氧化剂（如氯）进入膜装置。

醋酸纤维薄膜由天然高分子材料制造，因此多种微生物都可以降解这类膜。因此，当使用醋酸纤维膜时，必须在进水中加消毒剂，以防止膜的退化。醋酸纤维膜具有一定的氯耐受能力。

3.2.1 水质指标解释

3.2.1.1 反渗透系统常规进水水质要求

参数	范围
浊度	最佳值 <0.4NTU，最大不得超过 1.0
SDI15	最佳值为 ≤3，最大可接受值为 5
铁 (Fe)	<0.1ppm (运行 Argo 分析程序)
锰 (Mn)	< 0.05ppm (运行 Argo 分析程序)
铝 (Al)	<0.1ppm (运行 Argo 分析程序)
硼 (B)	<0.05ppm
总有机碳 (TOC)	<3ppm
二氧化硅	<40 ppm
pH 值	TFC 膜: 5.0 - 9.0
	CA 膜: 4.0-6.0
温度℃	最佳运行温度为: 12.7 to 29.4℃
LSI	运行 Argo 分析程序
钡	运行 Argo 分析程序
锶	运行 Argo 分析程序
磷酸根	运行 Argo 分析程序

注:

1. 为了保证 RO 系统的性能，推荐使用以上反渗透进水水质标准。清洗频率一般是 6 个月或者更长时间清洗 1 次。
2. 如果 RO 系统进水水质超过以上推荐范围，或者温度高于 / 低于上表中的温度范围，则需要重新进行工艺评价或者变更设计。并需要增加预处理设备。[详细信息请参见水源与预处理设备章节。]
3. 二氧化硅浓度 (水溶性): 设定以上二氧化硅限值，以确保系统回收率为 75% 时，盐水中二氧化硅的最高浓度不超过 160 ppm。本公司已开发出一种新型阻垢剂，这类阻垢剂允许反渗透系统在二氧化硅浓度高达 260ppm 下的高浓度条件下，仍然能正常运行。关于详细的操作规程与推荐使用的阻垢剂，请咨询销售工程师。
4. “运行 Argo 分析程序”，表示这些指标对 RO 系统性能的影响取决于反渗透系统中是否投加了酸，需要运行 "Argo Analyzer"，请咨询本公司工程师。

3.1.2.2 水源性质和过滤预处理要求

为选择正确的预处理方法和处理程度，终端用户必须了解不同水源的水质情况。和下表对应的是常用预处理设备。

常用水质指标					
	浊度 (NTU)	色度	TOC	TDS	SDI
河水	高, 随季节变化大	中等	中等到高	低	>5
湖水 / 池塘	低, 随季节变化高, 并随季节变化	高	低		~5
井水	低	低	中等	低	~5
市政	低到中等	低	低到中等	低到中等	>5 或 <5
苦咸水	低	低	低到中等	中等到高	>5
海水	低到中等	低	低	高	高

表征定义			
参数 / 单位	低	中等	高
浊度 (NTU)	1-10	10-25	>25
色度 (PtCO)	<10	15-30	>30
TOC(ppm)	<1	2-10	>10
TDS(ppm)	10-150	150-2,500	>2500- 苦咸水

预处理设备的选择应该在原水的性质和浊度的基础上进行。

基于原水性质和浊度的预处理设备选择		
水源	主要水质参数	推荐使用处理设备
河流湖泊等地表水	浊度 >25*NTU	澄清池 *+MMF 或 MF
	浊度 10 - 25 NTU	凝聚 +MMF 或 NF
	浊度 <10 NTU	(可能需要絮凝)MMF 或 MF
	硬水和总有机碳 浊度 >25*NTU	石灰软化 + 澄清池 +MMF 澄清池 +MMF 或 MF
	浊度 <25 NTU	MMF 或 MF
井水	铁 + 锰	加氯 +MMF
		绿砂过滤
	浊度 <10 NTU	UF / MMF 或 MF
苦咸水	浊度 >10 NTU	MMF
	浊度 <10 NTU	UF / MF 或 MMF
海洋水	浊度 >50 NTU	澄清池 *+MMF
	浊度 <50 NTU	MF - 与 MF 供应商确认
	浊度 <25 NTU	MF

TOC= 有机物, MF= 微滤, UF= 超滤, MMF= 多介质过滤

* 总悬浮固体含量大于 100 mg/L 时, 需澄清。

3.2.2 预处理工艺操作

介质过滤器

最通常使用介质过滤器是向下流双介质过滤器，其反冲洗采用上流模式。过滤器的上层通常为较粗大的无烟煤，主要截留较大的颗粒物质，而底层介质通常为细砂，用于截留较小的颗粒物质。上层较粗大介质的密度小于下层较细介质的密度，因此在反冲洗期间介质的层结构不会发生变化。正常运行过程中的标准流率为 5gallons/[minute·Ft²]。在介质过滤器的上游加凝聚剂（通常为氯化铁或明矾），可以大大改善胶体物质的去除率。这通常称为在线澄清或在线过滤。如果悬浮固体物质浓度高，应使用三层滤料过滤器以延长反冲洗周期。如果原水悬浮固体物质含量超过 50-100 mg/L，则可以在过滤器上游采用沉淀或澄清工艺，以去除大部分悬浮固体物质，以避免介质过滤器负荷过高。

凝聚剂

凝聚剂用于凝聚小胶体颗粒，这些胶体颗粒如不经处理将会穿过整个预过滤器，并造成反渗透膜污染。最常用的凝聚剂是氯化铁。氯化铁可以在较宽的 pH 值范围内发挥作用，并且很少进入后续膜装置引起膜污染问题。硫酸铝也可以作为凝聚剂使用，但是相对而言，不如氯化铁常用。因为硫酸铝只能在较窄的 pH 范围内使用，并且容易进入膜装置，形成氢氧化铝沉淀。不过，这种氢氧化铝沉淀在将 pH 值降低到 4 左右时可以非常容易地去除。聚合氯化铝是一种铝盐，用于凝聚处理，这种凝聚剂可以在较宽的 pH 值范围内发挥作用。阳离子聚合电解质也是比较有效的絮凝剂。然而，如果阳离子聚合电解质进入膜装置，可能会引起严重的膜污染，其或者直接被膜吸附，或者与阴离子阻垢剂共沉淀，形成一种胶状沉淀物，造成膜的污堵。

为了确保介质过滤器更有效地去除原水中的胶体物质，需要根据胶体的浓度确定所需凝聚剂的浓度。在原水组分迅速变化的情况下很难达到稳定的胶体去除效果。这种情况下，如果不采用介质过滤，而在絮凝剂加药之后直接微滤或超滤通常可以得到非常好的过滤效果。

除铁

二价铁通常都存在于井水中，如果水不接触氧化性物质，如空气，不会产生任何沉淀问题。空气中的氧气可以将二价铁氧化成三价铁，三价铁和水反应生成氢氧化铁，因而在膜表面沉积，对膜造成污染。该反应速率很大程度上取决于 pH 值。当 pH 值低于 5 时，可以不必考虑铁沉淀问题。二价铁通常可以通过绿锰砂过滤器过滤、曝气及 / 或加氯处理加介质过滤去除。因此，经曝气或氯化处理的进水中，全部铁离子已经得到沉淀，而这些沉淀物质由介质过滤器去除。

加酸

对于在高 pH 条件下会降解的膜，通常要加酸以降低 pH 值，降低 pH 值还可以改变水的化学性质以防止膜结垢或膜污染。醋酸纤维膜通常在 pH 值为 5-6 的范围内工作，这种条件下，膜的使用寿命比 pH=7 时的寿命要长很多。pH 值在 3-10 范围内，聚酰胺膜对 pH 的变化不敏感。但是有一点非常重要，就是加入的酸必须为铁杂质含量低的高纯酸。多数工业用酸铁离子含量很高，如果在原水中加入这类酸，会形成铁沉淀并造成膜的污染。最常使用的酸为硫酸和盐酸。硫酸会在原水中形成硫酸盐，RO 膜和 NF 膜对硫酸盐的去除率都非常高。加硫酸的一个缺点是原水中过量的硫酸盐会降低 RO 装置的最大产水回收率，因为硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶的溶解度比较低。

降低 pH 值可以减少进水中的碳酸盐和重碳酸盐浓度，防止反渗透元件发生碳酸钙结垢。如上所述，如果在反渗透装置的上游加硫酸铝，降低 pH 值还可以防止氢氧化铝污染，并减慢氢氧化铁的形成。加酸的缺点是会生成二氧化碳，而膜不能去除二氧化碳。水中高含量的二氧化碳使水具有腐蚀性，这在很多应用中是不能容忍的，必须加以去除。采用加阻垢剂代替加酸的方法，可以省去加酸之后在去除二氧化碳这一繁琐处理过程。阻垢剂可以有有效的防止碳酸钙结垢，但是不能防止氢氧化铝污染。

阻垢剂和分散剂

随着浓水在膜系统中的浓缩，一些盐类的浓度将达到其溶解度限值，阻垢剂将用于防止发生结垢。阻垢剂可以延缓，但并不能永久性地阻止盐类结垢。阻垢剂可以吸附在盐晶体表面，防止或减慢盐晶体的形成。因此，带有阻垢剂的浓水应该尽快排出膜系统。在停机期间，必须立即使用淡水，或者 RO 产水冲洗 RO 装置。

不同类型的阻垢剂可以防止不同盐类的结垢。对于防止碳酸钙结垢非常有效的阻垢剂用于防止硫酸钙结垢并非一定最有效。而对硫酸钙结垢最有效的阻垢剂对于硫酸钡结垢并不一定是最有效的选择。阻垢剂有各种配方，可以减缓碳酸钙、硫酸盐硅和几乎所有杂质的晶体生长。阻垢剂生产厂家应该对他们的产品功效和加药量要求提供咨询意见。

分散剂是用来防止胶体微粒凝聚的化学药剂，因此可以帮助穿过膜元件的胶体颗粒重新返回到浓水。一些药剂配方既含有阻垢剂也含有分散剂。一些阻垢剂和分散剂含有机物，这些有机物是微生物的营养物质，因此会促进微生物在膜装置中的生长。如果可能，应该尽量避免使用这类药剂。

离子交换软化

除了加酸或加阻垢剂之外，离子交换软化也可以用于防止膜设备结垢。软化器可以去除二价和多价阳离子，这些离子在浓水浓缩过程中会发生沉淀。

小的胶体微粒总是能够进入膜装置。如果他们足够小，并且带有负电荷，因此互相排斥，就可以很容易的离开设备并不会引起膜的污堵。如果水中含有电荷密度高的二价和多价阳离子，他们将和胶体颗粒所带负电荷中和，从而消除胶体颗粒之间的排斥力，促使胶体颗粒凝结。在浓缩过程中，这些凝聚物将会对膜造成污染。离子交换软化器可以去除二价和多价阳离子，因而减少污染的倾向。处于经济的考虑，离子交换软化主要用在小型系统中。仅当进水硬度含量相对较低时，才可以应用于大型系统。

保安过滤器

通常使用 5-10 微米微纤维聚丙烯熔喷深度过滤滤芯。不得使用螺线滤芯。大多数螺线滤芯都采用表面活性剂（湿润剂）处理，这种药剂在运行过程中会释放出来，并可能干扰下游反渗透膜的运行。棉芯过滤器可能释放纤维碎屑，因而促进膜的污染。

滤网

更换滤芯时，在新的滤芯过滤器下游可能会出现异物。如果这些物质进入泵内，可能对泵造成损坏，这些碎屑还可能会损坏膜元件。因此，通常要在膜装置的进水泵前加滤网。

消毒剂

如果微生物含量较高，为了保证预处理部分的正常运行，需要加入消毒剂以杀死微生物。最常用的消毒剂为次氯酸盐，因为它具有低成本、高效率的特点。次氯酸盐的缺点是它会损坏聚酰胺膜，大部分的 RO 膜和 NF 膜都采用这种材质制造。因此，在进入膜装置之前，必须去除次氯酸盐。残存的微生物可能在膜元件内部生长，因为次氯酸盐破坏水中的微生物之后释放出了高含量的营养物质。

在使用聚酰胺膜的 RO 设备中，中空纤维微滤或超滤用作预处理，氯胺消毒已经有多年的成功经验。有一种说法是氯胺会损坏聚酰胺 RO 膜。2002 年盛行的一种说法是，当存在颗粒状态的重金属，如铁的沉淀物时，氯胺会和膜发生反应，而这些重金属颗粒将作为催化剂催化这种反应。UF/MF 预处理之后，重金属微粒物不会对膜造成污染，因此进水中的氯胺也不会影响聚酰胺膜。然而，如果存在重金属颗粒污染的风险，则不应让聚酰胺膜接触氯胺。

在浓度仅为 0.5 mg/L 时，二氧化氯就具有很强的消毒能力。一项试验室研究表明，将聚酰胺 RO/NF 膜浸泡在 10 mg/L 的二氧化氯溶液中数月，不会对膜造成任何损害。二氧化氯很可能可以有效控制聚酰胺膜的 RO/NF 系统中微生物生长。比较重要的一点是它不会产生游离氯。二氧化氯的缺点是它很不稳定，因此不得不现场生产，而且与氯相比，其成本也相对较高。水处理药剂公司将供应用于膜系统中微生物生长控制的专利化学药剂。一个常见的方案是向进水中间歇地加入一种消毒剂，然后定期的停止膜设备，进行清洗并用另外一种消毒剂进行消毒。

氧化剂的去除

应监测进水氧化还原电位（ORP），以及时发现进水中的氧化剂，并立即采取措施处理。膜装置进水中可能存在的氧化剂主要包括氯、臭氧和高锰酸盐。

当使用聚酰胺膜时，必须从进水中去除上述的所有氧化剂。否则将会缩短膜的使用寿命。去除氯的方法同时也可以用来去除氯胺，不过该方法的去除速率较低。如在消毒剂部分所述，氯胺也可能损坏聚酰胺膜，这种情形主要发生在有三价铁存在的条件下。

当使用醋酸纤维膜时，进水中绝对不能含有三价铁、臭氧和高锰酸盐，而应含有 0.5-1ppm 的游离氯。

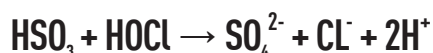
亚硫酸氢钠去除游离氯

亚硫酸氢钠（ NaHSO_3 ）能够快速与氧化剂发生反应，进而去除氧化剂。通常都以焦亚硫酸钠（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ）的形式购买。一个焦亚硫酸钠分子由两个亚硫酸氢钠分子脱去一个水分子后组成。该药剂还可以以亚硫酸氢钠和亚硫酸钠的形式购买。

亚硫酸氢钠的最佳加药点在保安过滤器和水泵之间，这样保安过滤器内的微生物将受到氧化剂的控制。游离氯在水中以次氯酸和次氯酸盐离子形式存在。测定水中的游离氯浓度之后，将以需要用来产生实际次氯酸或次氯酸盐的氯分子数量表示。分子氯和水之间的反应如下：



次氯酸分解成为次氯酸根离子的数量取决于溶液的 pH 值。次氯酸或次氯酸根离子中的氯原子和亚硫酸氢根发生反应，如下式所示：



因此每去除进水中一摩尔游离氯需要加入一摩尔亚硫酸氢盐。从亚硫酸氢盐的分子量来计算，需要以下浓度以去除游离氯。

去除 1mg/L 游离氯所需要的亚硫酸氢盐			
化合物	焦亚硫酸钠	亚硫酸氢钠	亚硫酸钠
mg/L	1.34	1.47	1.78

为安全起见，大约需要在进水中加入两倍所需亚硫酸氢盐用量，即每 mg/L 的游离氯通常需要加入 3mg/L 的亚硫酸盐。

在加入膜设备的进水之前，需要将亚硫酸盐溶解在水中，并在水箱中储存。溶解之后，贮水箱中的亚硫酸盐和亚硫酸氢盐浓度会随着时间的下降，因为他们会和水中的氧气发生反应，并且溶液中会有二氧化硫产生，二氧化硫气体将跑出贮水箱。因此，溶解在水中的亚硫酸盐化合物应在以下表格规定的时间范围内使用。

亚硫酸盐的浓度 wt%	2	10	20	30
最长的使用时间	1 星期	3 星期	1 个月	6 个月

活性碳

在小型设备中，可以使用活性碳滤池代替亚硫酸氢钠去除氧化剂。碳过滤器不应释放任何碳粉末，因为碳粉末会沉积在膜的表面，而且一旦沉积，几乎不可能去除。因此，在活性碳过滤池和膜装置之间必须设保安过滤器，用以截留释放的少量碳粉末。活性碳床也会经常滋生细菌，会造成膜的微生物污染。活性碳的一个优点是它可以很好的吸附非极性的有机物，而这类有机物可能对膜造成污染。

紫外线灯

真空紫外线在波长为 185nm 处可以有效地去除氯和氯胺。

3.3 反渗透系统设计

3.3.1 系统设计概述

完整的反渗透 / 纳滤系统包括预处理系统、反渗透 / 纳滤装置和后处理系统。

预处理系统请参见第 3.2 章

反渗透 / 纳滤装置包括保安过滤器、高压给水泵、膜元件、以一定方式排列的膜壳、管道、阀门、仪表及控制系统、装置支架及 CIP 清洗装置、产水储存装置等。后处理是为了达到产水水质需要的调节，如海水淡化后调整 pH、硬度，并杀菌，超纯水通常要脱除二氧化碳，或者用 EDI 或混床进一步处理。

本章主要讨论的反渗透 / 纳滤设计主要为反渗透 / 纳滤装置的设计。

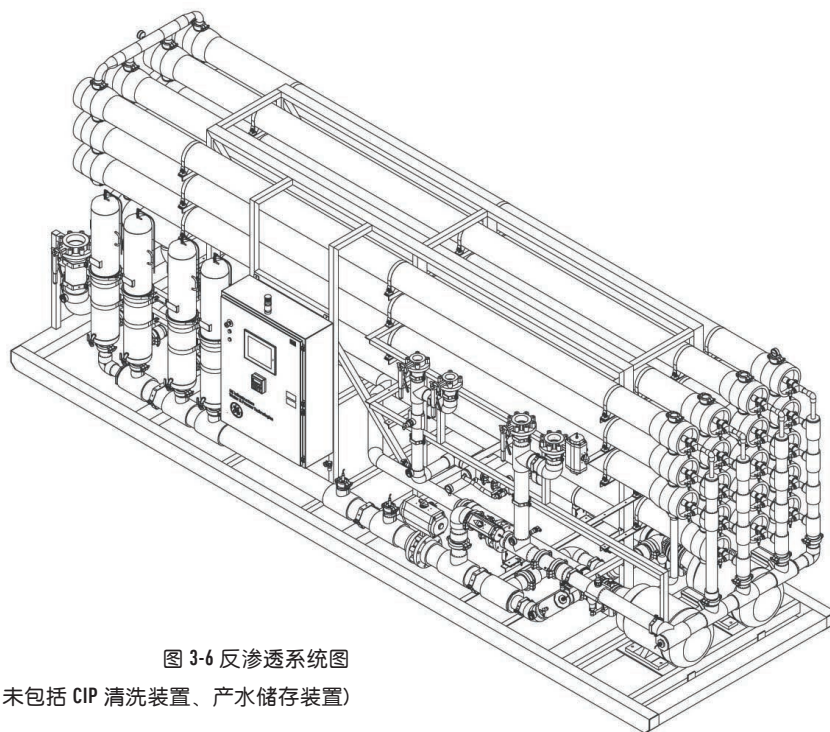


图 3-6 反渗透系统图
(未包括 CIP 清洗装置、产水储存装置)

反渗透 / 纳滤设计主要是根据客户的要求，确定反渗透系统的产水量、回收率和系统的脱盐率；在满足产水量的前提下，设计者应通过设计优化尽可能降低能耗和膜元件成本，同时能提高系统回收率和系统长期运行的稳定性。

3.3.2 流程配制

3.3.2.1 膜组件

元件将装入一个或多个圆柱形膜壳。根据系统设计，每支膜壳可以安装 1-8 个膜元件。膜元件装入膜壳之后的通常称为组件。（参见图 3-7）

受压进水由组件或膜壳的一端进入。一部分水在压力的作用下流过 RO 膜壳进水口，透过膜并进入产水管，并从膜壳的产水出口流出膜元件，这部分水已被去除了大部分溶解固体和几乎全部悬浮固体物质，被称为产水。未透过膜的水和浓缩的溶解固体和悬浮固体物质一起沿膜的表面流过，并从膜壳的浓水口流出，这部分水称为浓水。

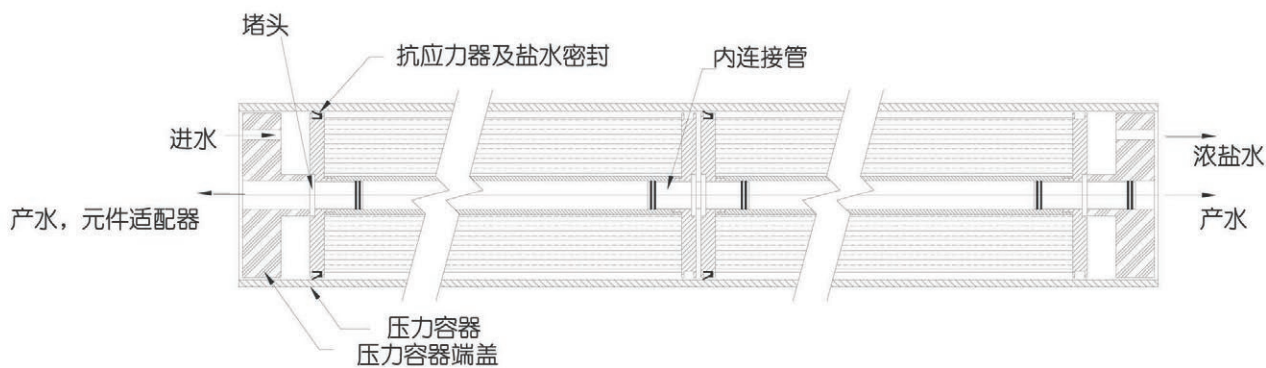


图 3-7 反渗透膜组件

当需要生产更多的产品水时，通常采用多个膜壳或组件按多段形式布置。

3.3.2.2 单段系统

在单段系统中，由一个或一个以上的膜组件并联在一起，所有组件的产水汇集到产水总管中；组件的浓水汇集到浓水总管中，浓水可直接排放，也可部分循环利用（回到 RO 高压泵入口），浓水循环可以提高系统的回收率。一般而言，单段系统的回收率往往小于 50%。

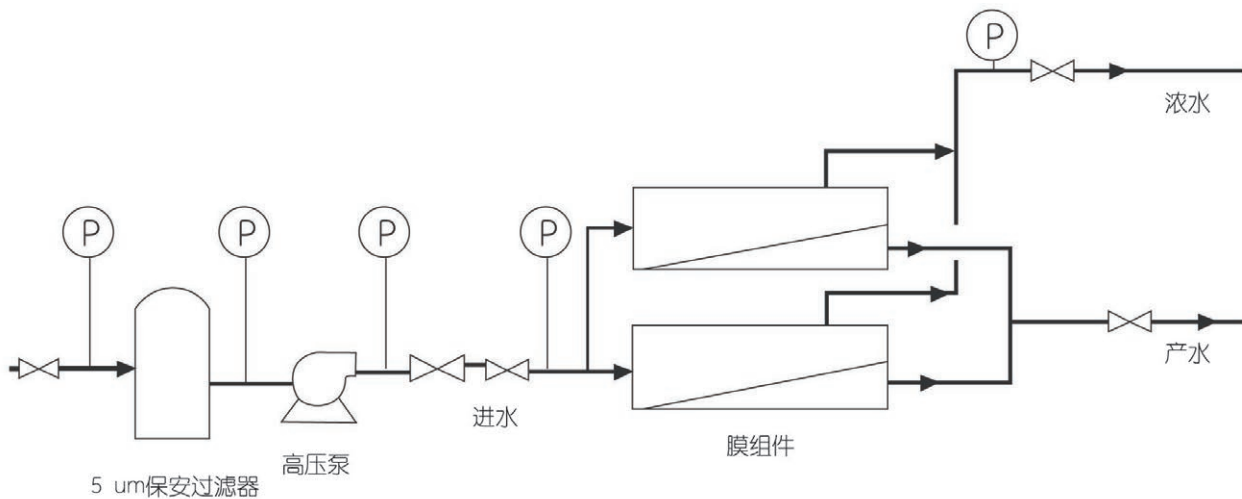


图 3-8 单段系统示意图

3.3.2.3 多段系统

为了提高系统回收率，可以采用二段或三段设计。

进水通过压力容器的流量分布呈圣诞树型，在第一段进水流量最高，然后逐段递减，随着进水流量降低，平行的膜组件数也逐段递减。所有组件的产水汇集到总管中，组件的浓水汇集到浓水总管中，浓水可直接排放，也可部分循环利用（回到 RO 高压泵入口），浓水循环可以提高系统的回收率。

这种膜组件逐段递减的圣诞树型设计，目的是用于优化流过膜表面的水流分配。系统中水流分配均匀可以帮助更好的冲洗膜表面，防止悬浮固体物质在膜表面积聚，引起膜污染，并降低产水率。

苦咸水淡化 RO 系统的设计中，一般单支膜元件的回收率为 9% 左右；对于流行的 6 芯膜组件构成的 RO 二段系统，第一段的回收率为 50% 左右，第二段的回收率为 50% 左右，其系统回收率为 70—80%，第一段和第二段的进水量约为 2:1，因此，第一段和第二段的膜组件数也一般设为 2:1。

对于一个含三支组件的系统，其中两个组件并联作为第一段，而第三个组件和前面两个组件串联作为第二段。这种情况下，进入膜装置的进水首先分成流量相等的两个部分，分别进入第一段的两个组件。进入两个组件之后，两个组件所产生的产品水将在两支膜壳的产水出口处收集，两部分产水在膜元件的外部汇合进入一个产水总管。没有透过膜的那部分水和截留的溶解固体以及悬浮固体物质一起作为浓水离开第一段组件。这部分浓水经第一段浓水集水管收集，然后作为进水进入第三个组件进行处理。第二段产水和第一段产水混合，同时第二段浓水（含有绝大多数溶解性和悬浮固体）通过控制阀排出。（参见图 3-9。）

两段系统示意图

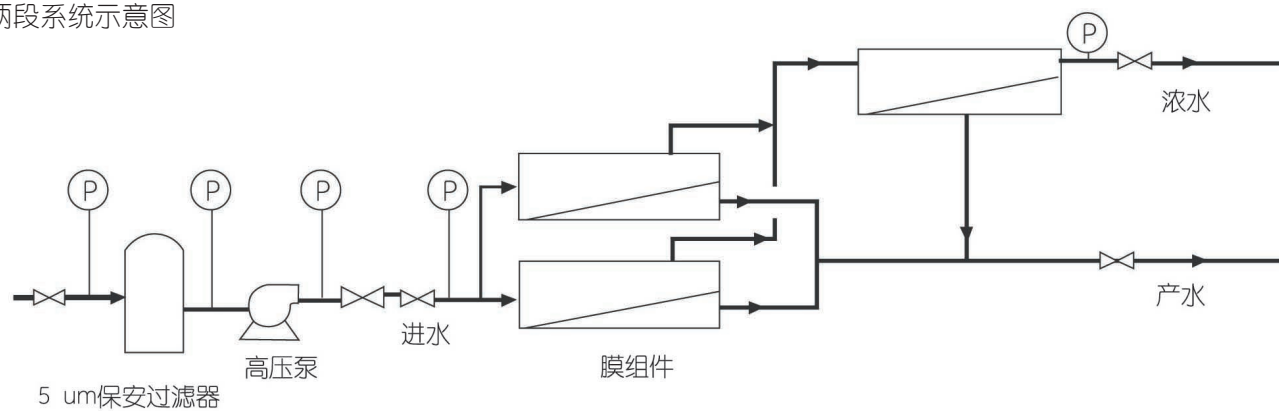


图 3-9 反渗透装置分段(2:1)

3.3.2.4 流量平衡

当进水的 TDS 含量较高的时候，为了使前后段膜元件的产水负荷均匀，可以选择在第一段产水管处安装节流阀，或者在后段进水管线上安装增压泵，下表的是两种方案的比较：

	优点	缺点
安装节流阀	投资成本低	节流阀增加了动力损失，导致系统能耗增加
安装增压泵	能耗较低	泵的投资成本较高

3.3.2.5 多级系统

为了得到品质更高的产品水，可以选择采用多级反渗透系统。

多级反渗透系统实际上是将两个传统反渗透系统串联起来，即第一级的产水可以直接作为第二级的进水。如前所述，第一级的浓水往往直接排放；不同的是，第二级的浓水水质往往比原水还要好，因此，第二级的浓水将全部回流到第一级的高压泵进口。

二级反渗透系统可以二级分别设泵，当然，从技术上来说只要不超过膜元件允许的最高压力 [41bar]，仅用一个高压泵是可行的。由于第二级的进水中悬浮物和 TDS 含量很低，进水十分干净，因此第二级的平均通量可以设的较高 (~20GFD)，对于六芯膜组件第二级的两段系统，其回收率可以达到 85~90%。

由于第一级反渗透的产水往往偏酸性，这不利于系统的脱盐（比如去除 CO₂ 或者 SiO₂），因此往往可以在第二级进水中加碱（NaOH 溶液），提高 pH 值，这样可以大幅提高 CO₂ 和 SiO₂ 去除效果，降低产水的电导。

3.3.3 SDI 测试仪

污泥密度指数（SDI）和浊度为了检查预处理部分是否能够去除足够的进水颗粒物和胶体物质，应该每天测定几次进水的浊度（NTU）或 SDI。通过 SDI 测定，可以及早检测到预处理部分的不正常，并在出现严重问题之前得到纠正。

SDI 用于测定由 0.45 微米孔径过滤器截留的大颗粒物的数量。进水中的颗粒物可能很小，可以通过 SDI 过滤器，这种情况下，SDI 的测定值可能很低，但是这种进水仍可能会对反渗透膜造成严重的污染。浊度通过光散射法测定，可以测定所有大小的进水颗粒物。然而，它不考虑由颗粒物形成的“滤饼”的水渗透率。通常，相对于浊度，SDI 是判断进水污染潜力的一项更好的指标。在使用卷式膜元件的系统中，通常 SDI15 应低于 5 或者浊度低于 1NTU。水流中的浊度和 SDI 没有很好的相关关系。

测试步骤：

- 1) 在过滤器上放置一个 0.45 微米的微孔滤膜（醋酸纤维素）。
- 2) 打开球阀，放出空气。关闭阀门，并拧紧过滤器的螺钉。
- 3) 充分打开阀门，使用秒表立即测定在量筒中收集 500 ml 滤液所需要的时间。
- 4) 在充满之后 15 分钟后，记录收集第二个 500ml 样品所需要的时间。

SDI15 以按照下式计算：

$$SDI = [1 - (t_o/t_f)] / 15 \times 100$$

式中，

SDI15-15 分钟测试测定的污染密度指数

t_o - 收集 500 ml 隔液的初始时间，秒

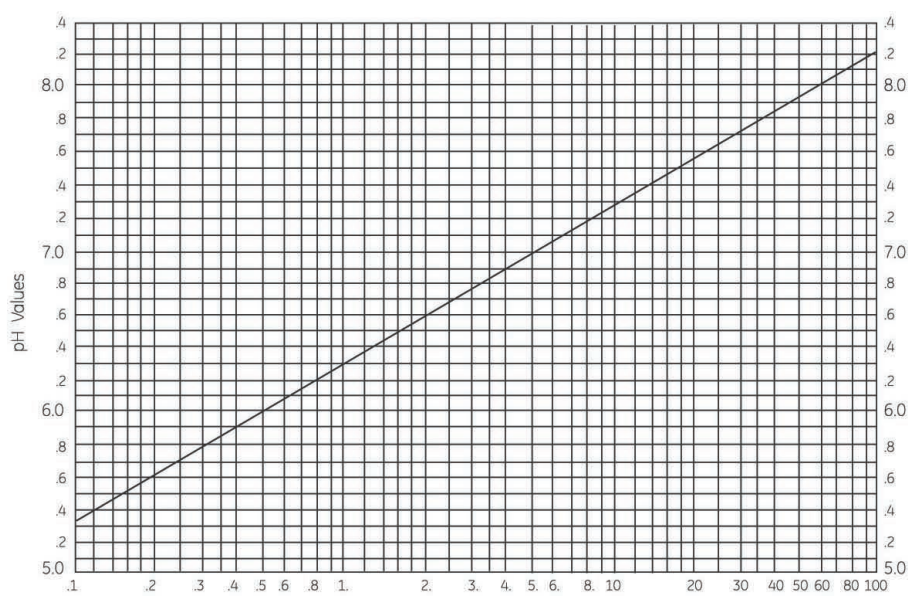
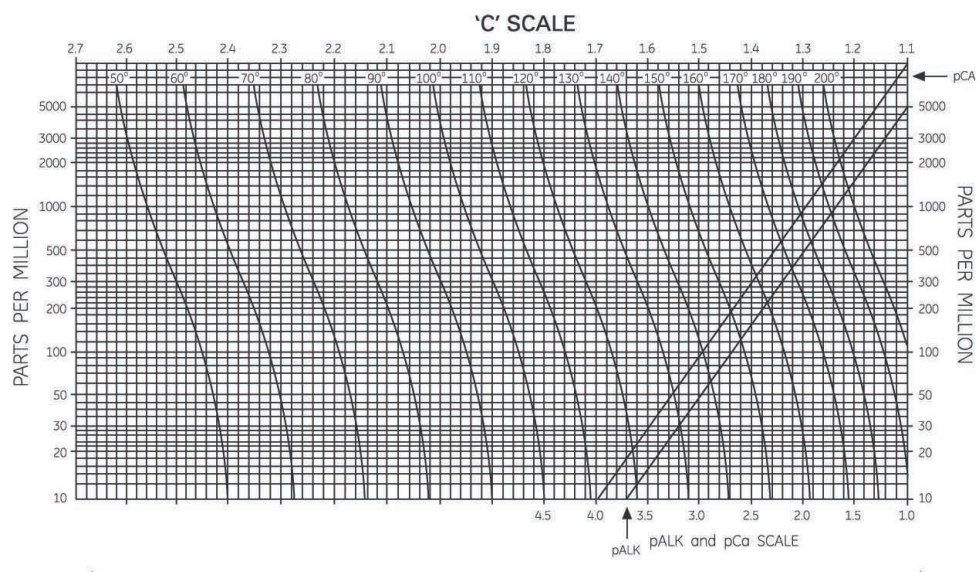
t_f - 在过滤 15 分钟后，再次收集 500 ml 滤液的最终时间，秒

3.3.4 防垢控制计算

保持浓水中的 Langelier 或 Stiff - Davis 饱和指数为负值，可以防止碳酸钙沉淀。浓水的 Langelier 饱和指数可以用以下方式计算：

- 1) 测定进水中的总碱度、钙、总溶解固体和 CO_2 含量。
- 2) 从 RO 系统的进水分析和回收率，计算浓水中的碱度、钙、总溶解固体和 pH 值。
- 3) 根据饱和曲线图，计算 Langelier 饱和指数。[$PHS = C' + PCA + PALK$]

LANGELIER 饱和指数计算图



比值 $\frac{\text{甲基橙碱度 (以 ppm CaCO}_3\text{ 表示)}}{\text{游离二氧化碳 (以 ppm CO}_2\text{ 表示)}}$

图 3-10 LANGELIER 饱和指数计算图

示例:

以下示例计算中, 在以下假定进水分析的基础上说明该计算程序。

pH = 6.0

总溶解固体 = 405 ppm

总碱度 (以 CaCO_3 计) = 10 ppm

钙 (以 CaCO_3 计) = 65 ppm

CO_2 = 16 ppm

温度 = 25°C

根据进水分析, 可以估算这些物质的去除率。假定回收率为 75%。

碱度 = $10 / (1 - 0.75) = 40 \text{ mg/l}$

$\text{CO}_2 = 16 \text{ ppm}$ (CO_2 没有被去除)

钙 = $65 / (1 - 0.75) = 260 \text{ mg/l}$

总溶解固体 = $405 / (1 - 0.75) = 1620$

pH = 6.7 (由碱度 / CO_2 -pH 曲线计算)

从 LSI 曲线, 可以查到 pHs 为 7.94

因此, LSI 值为 $6.70 - 7.94 = -1.24$

硫酸钙饱和度

根据硫酸钙在盐水中的溶解度计算最大回收率 ($R_{\max}$)。该值必须大于设备的设计回收率。最大回收率使用如右侧公式计算:

$$R_{\max} = \left[1 - \sqrt{\frac{1}{0.8 K_{sp} \{ \text{Ca}^{+2} \}_f \{ \text{SO}_4^{-2} \}_f}} \right] \times 100$$

式中:

$\{ \text{Ca}^{+2} \}_f \{ \text{SO}_4^{-2} \}_f$ - 进水 CaSO_4 的离子积

K_{sp} - 浓水中的 CaSO_4 溶度积

0.8 - 安全系数

K_{sp} 可以在以下曲线中查得。用于测定 K_{sp} 浓度的离子强度应该为浓水的离子强度。

离子强度 = $1/2 \sum M_i Z_i^2$

式中:

M - 浓水中离子 i 的摩尔浓度 (mol/kg 水)

Z - 离子 i 的电荷数

CaSO_4 的 K_{sp} 与离子强度的关系

离子强度，摩尔

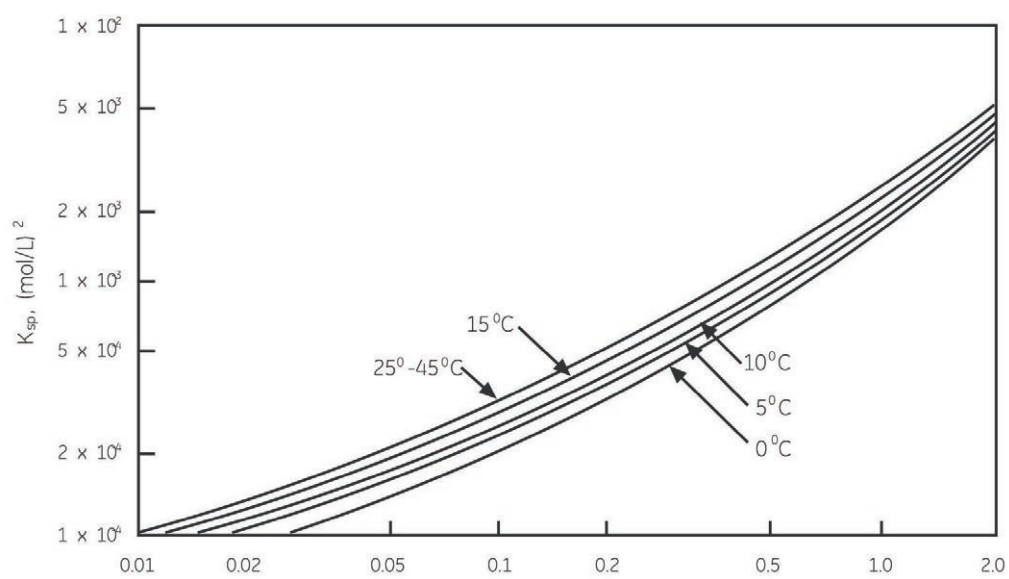


图 3-11 CaSO_4 的 K_{sp} 与离子强度的关系

第四章 设计软件使用指南

Winflows RO/NF 系统设计软件是一款界面简洁、功能完备且方便使用的工程化软件。

可以在同一个操作界面上完成水质分析输入、膜元件选型、工艺模式和运行参数选择等操作。即可以按照自动设计模式帮助初学者进行系统设计，也可以满足熟练工程师进行高级设计的复杂需求。

Winflows 软件同时具备膜药剂的投加计算功能等。

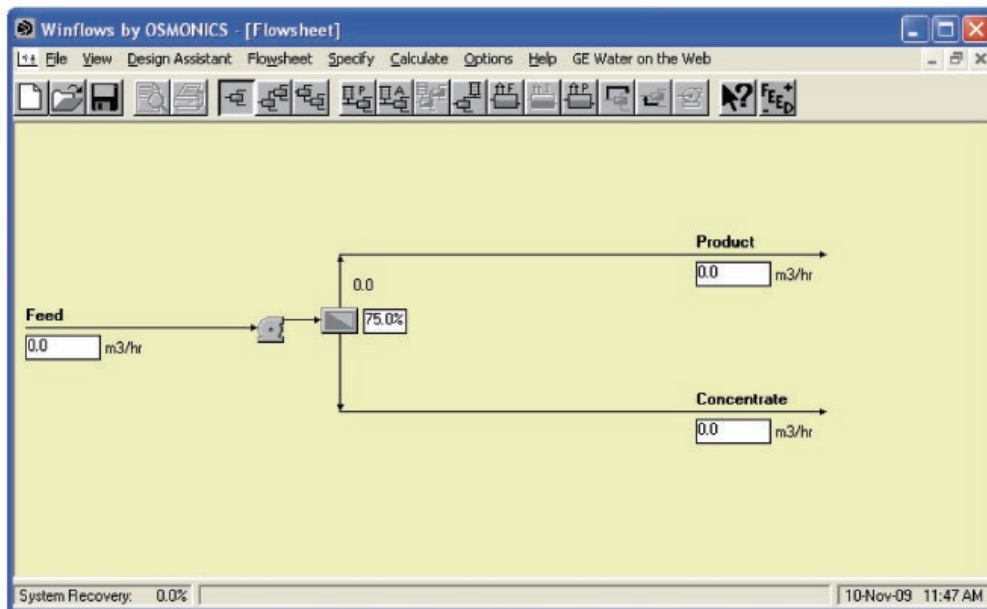


图 4-1 Winflows 设计软件界面

典型水质系统设计基本规律

- 污水回用：低通量（18-22LMH）、低单支膜元件回收率、高给水 / 浓水流速（前段流速相对较高）、较厚给水隔网（31 或 34）、大型系统推荐使用 7 米膜壳、<2:1 排列。
- 海水淡化：采用 7 芯或 8 芯制设计。
- 二级反渗透：高通量（35-43LMH）、高单支膜元件回收率、低给水 / 浓水流速、薄给水隔网 [26/28mil]，推荐采用 4-5 米膜壳、3:1 排列。
- 段间增压泵：给水 TDS 大于 2500mg/l 时需要考虑设置段间增压泵，大于 3500mg/l 时必须配置。

设计结果的评价

- 结垢可以控制：难溶盐饱和指数均在阻垢剂有效范围内。
- 产水通量分布均衡：前后段通量尽量接近。
- 浓差极化因子 β 值较小且分布平均。
- 各段单支膜壳浓水流量大于 4.0-5.0 m³/h。
- 需要考虑一些项目本身强调的因素，比如投资成本、运行成本、水利用率、产水水质及废水排放等，不同的设计侧重会有差别较大的方案。

* 需要了解 Winflow™ 的详细信息，请联系本公司销售代表

第五章 反渗透系统的运行维护

5.1 膜元件的安装和拆卸

5.1.1 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。

盐水密封安装示意图

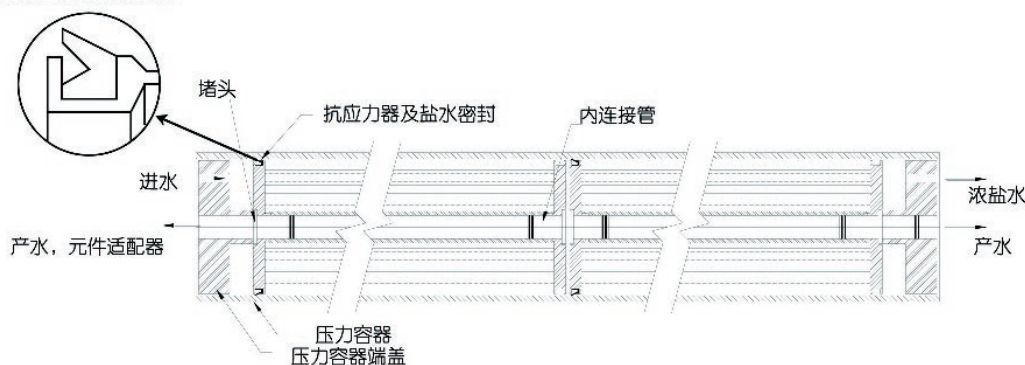


图 5-1 膜元件安装说明书

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。

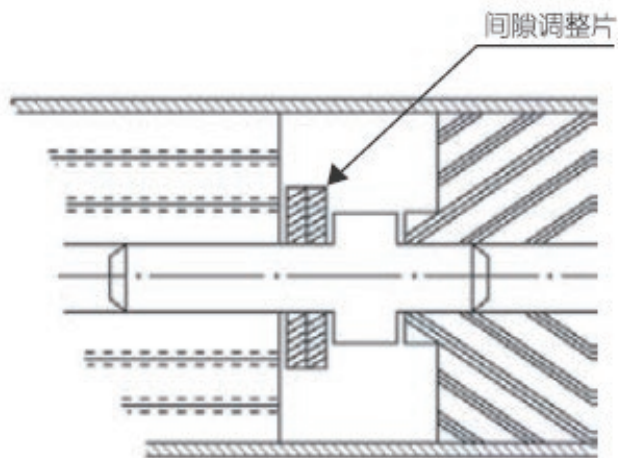


图 5-2 间隙调整片

5.1.2 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。

5.1.3 间隔管的安装

当希望降低系统的产水量的时候，有三种方法：

- 1) 将某些膜壳停运（主要对于大型的系统）；
- 2) 降低运行压力，但会导致产水水质下降；
- 3) 通过减少设备中元件的数量来减少设备产水量，这时候便需要安装间隔管。

每支膜壳仅允许安装一个间隔管，且必须安装在压力容器进水最前端位置，因为前端的位置受压最小，间隔管发生断裂的可能性最小。同一段的膜壳中必须同时安装长度相同的间隔管，否则系统的水力负荷会严重不均匀。在安装过程中，需要采用空心内连接件以及 ATD。在运行过程中应尽量避免间隔管振动。

5.2 膜元件的启动和关停

5.2.1 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，然后再针对可能存在的铁锈、机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。

(详细进水水质请参考第三章内容)

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 / 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

5.2.2 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)、CaSO₄ 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。

5.2.3 日常启动

日常启动常常由自动控制实现，手动控制同 5.2.2 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 (5.5 章)。

5.2.4 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。

5.3 膜元件的储存

5.3.1 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% BetzDearborn 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°C) 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°C) 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°C 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。

5.3.2 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（如本公司产品 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. 将元件存储于阴凉干燥的仓库中，或装箱后保存；温度应该保持在 10-20°C，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。但以上信息仅作参考之用。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。

5.4 膜元件的清洗

5.4.1 运行数据标准化

系统启动时，应记录 RO 膜的产水流量，透盐率和压降（进水压力减去浓水压力）。这些记录用来建立基准，以监测系统并确定适当的清洗时间。

透盐率通常用进水、产水和浓水的总溶解固体（TDS）或电导率来计算。产水 TDS（或电导率）与系统进水和浓水的平均 TDS（或电导率）的比率即为透盐率。利用 TDS 进行计算时的方程如下：

$$TDS_{\text{平均}} = \frac{TDS_{\text{进水}} + TDS_{\text{浓水}}}{2}$$

$$\text{透盐率}(\%) = \frac{TDS_{\text{产水}} \times 100}{TDS_{\text{平均}}}$$

比较当前产水流量和启动初期的产水流量时，将运行数据标准化十分重要，这样有助于更准确的比较不同条件下运行的系统性能。进水温度对产水流量的影响非常大，因此，为了得到可比较的数据，系统操作人员必须考虑温度的影响。

5.4.2 清洗剂的选择

最终每个 RO 系统都需要清洗，大多数系统需要常规清洗。典型的清洗过程通常按要求包括低 pH/ 高 pH 值清洗和消毒操作。清洗药剂的使用顺序以及是否需要加热等应据实际问题确定。如果不采用常规的先酸洗后碱洗的清洗程序，请咨询膜专家可以帮你做出正确选择。

在系统设计和安装时，可以考虑使系统能够分段清洗或者多段同时清洗，CIP 泵可以采用高压和低压清洗。每种方法都有优缺点。如需改变原有清洗系统的设计或者操作，请咨询 RO 系统设计工程师和膜工程师。

应根据污染物类型和膜类型来选择清洗剂，以避免损坏膜。

通常，酸性清洗王要用于去除结垢，不同特定的污染物采用不同的清洗剂进行清洗。碱性清洗王要用于去除微生物或者有机污染物。通常的清洗顺序是先进行酸洗，然后进行碱洗。在某些情况下，如果污染主要为有机物或者微生物，可以先碱洗，后酸洗，最后再进行一步碱洗。把碱洗作为最后一步的重要原因在于它能使得经过酸洗后的膜孔充分张开，以恢复产水流量。

推荐使用的清洗液 pH 范围如下：

膜	清洗 pH 范围
醋酸纤维 (CA)	2.0-8.0
聚砜 (PS)	1.0-12.0
聚酰胺 (PA)	2.0-12.0

某些情况下，遇到特殊生物污染物，为了加强消毒效果，需要在清洗后进行消毒。在采用高 pH 清洗时，或杀菌过程中，所有的采样阀和减压阀都应该处于开启状态，这样可以减少死角中微生物的繁殖。

计算化学药剂的用量通常很难且容易出错，会导致使用过稀的溶液而达不到理想的清洗效果。遇到这种情况，请使用 CIP 计算工具或者咨询销售工程师来计算每个 CIP 清洗操作中正确的药剂用量。在使用粉末状清洗剂时，一定要确保其完全溶解后才进入 RO 系统。CIP 水箱应有回流循环回路或者有搅拌器，以保证清洗药剂的完全溶解。

如果清洗后，系统性能不能恢复到原来的水平，那么就需要对污染物进行更详细的研究，并采取预防污染的措施。

5.4.3 清洗时间的确定

以下情况之一发生，应立即清洗膜元件：

- 初始流量稳定后，如果产水流量下降 5-15%，则需要对膜元件进行清洗，假设 RO 工艺进水的污染密度指数 (SDI) 小于 5.0（如果 SDI 大于等于 5.0，请咨询本公司）。在很多情况下，操作人员可以预计，在初始运行的前 100 小时中，产水流量有一定程度的不可逆损失，这由系统稳定调试造成。该损失为正常的流量损失，不必清洗膜元件。然而，对于该损失值仍然应认真监测，以防它是由 RO 预处理系统故障，或者系统设计过程中未预计到的条件引起。
- 当 RO 膜元件的透盐率上升了 30-40% 时，也应该考虑对膜元件进行清洗。例如，如果透盐率由初始值 5% 上升到 7% 时，则表明透盐率上升了 40%。注意：产水流量或透盐率急剧变化，也可能是由于其它因素引起的，如 O 形圈缺陷或密封圈失效导致浓水产生旁路。
- 标准化压差上升 25% 系统操作人员不应根据压差判断是否进行系统清洗，因为这样可能会导致系统清洗频率偏低。（当污染物和水垢阻塞卷式膜元件之间的进水流道时，膜元件压降会增大。）压差显著增大，说明膜元件表面已积累了大量污染物 / 沉降物。膜元件如果达到这种污染程度，再想恢复膜元件的流量和脱盐率会比较困难。为了防止这种现象发生，应依据产水流量或者透盐率确定清洗频率。

对于多段系统，可以对整个系统或者单段进行循环和浸泡操作，以维持本节推荐使用的流速和压力。在清洗液循环过程中，必须十分谨慎，防止通过单支膜元件的最大进水流量超过推荐值，而对膜元件造成损坏。各种膜元件的最大进水流量的资料可以在膜元件技术说明中找到，这个值的大小取决于膜元件的类型。

同时，还必须考虑系统流体力学。大多数情况下，推荐使用较低的循环压力 (20-60Psi)。目的是用最小的压力，使清洗液在系统中循环。在低压力、高流速的条件下进行操作，可以防止在清洗循环的浸泡阶段脱落的污染物重新沉降到膜表面。只要系统流体力学允许，较高压力的清洗也是可以接受的。关于这方面的建议，请咨询系统生产商。

5.4.4 清洗操作

推荐使用的清洗液循环和浸泡次数

大部分清洗液应该先循环 10-20 分钟，紧接着浸泡 10-30 分钟，此后在冲洗错流过滤器之前，再循环 10 分钟。用反渗透出水彻底冲洗膜元件，将清洗液排放掉。注意：使用酶清洗液时，需要较长的停留时间以便它能够和污染物充分反应。在冲洗之前，含酶清洗液的循环和浸泡时间至少为 1-2 个小时。

当污染物难以去除时，增加循环和浸泡时间可能会起一定作用。增加一个采用新鲜清洗液的清洗循环通常更为有效。一种污染物可能由各种不同类型的物质组成，这就需要采用不同的清洗液和 / 或多个清洗循环以增强清洗效果。

在清洗过程中，循环液流动方向应和系统正常运行过程水流方向保持一致。要避免逆向冲洗，逆向冲洗的产水通过反渗透膜时会导致膜元件的损坏。

清洗液的温度

因为高温可以加快化学反应速度，所以使用热清洗液来清洗元件通常效果更好。通常，热清洗液比常温清洗液脱除污垢和 / 或污染物的速度要快。但是，使用以上指南中列出的清洗液时，清洗液的最高温度应控制在各型号膜元件特定的温度范围以内。如果清洗液温度超过最大推荐清洗温度，对操作人员而言就存在着对膜元件造成损坏的风险。

安全警告

使用任何清洗用化学药品时，请遵循安全惯例。查看清洗化学药品容器上的标签并参考错流过滤器操作手册。如果对操作、安全或者处理程序有任何疑问，在配制或使用清洗液之前，请与清洗液供应商联系以获取详细信息。

清洗液的配制

清洗液进入系统前，所有固体清洗化学药品应该充分溶解并混合。使用 RO 水，或经过滤的低硬度水（小于 1g / gal 或者 17 毫克硬度 / 升水）配制清洗液。能否使用氯或其它氧化剂配制的清洗液，取决于膜的材质。

不推荐重复使用清洗液。某些清洗液有保存期限限制，因此，在使用之前应检查清洗液的生产日期。

推荐的清洗设备

推荐使用配备盖子和温度计的清洗液混合容器。同时推荐使用适当的阀门、取样口、流量计、pH 计、压力计、循环泵和保安过滤器。当选择清洗系统设备时，系统部件的结构材料应在化学性质、物理性质方面与所用清洗液和温度相兼容。在清洗液返回容器管线或错流过滤器进水管线上安装有保安过滤器，该保安过滤器用来去除从膜元件上排出的颗粒物。

清洗液的需要量

估计清洗循环管路和膜元件容器中容纳的清洗液体积，二者之和即为清洗液的需要量。然后向 CIP 罐中加入足够的水，以防止在向系统中注水时被抽干。清洗循环开始后，清洗液逐渐代替系统中的生产用水，这部分水则应排放至下水道。这一处理过程可以防止清洗液被稀释。

系统消毒

为了防止微生物在错流过滤系统中滋生，需要使用适当的化学药剂进行定期消毒。消毒程序和化学药品的使用取决于膜元件的种类和微生物滋生的严重程度。

清洗后关闭系统

如果系统在清洗后要关闭 72 小时或更长时间，应配制灭菌储备液，并在系统中循环。（优先选用 0.5% 的甲醛溶液，也可以选用其它灭菌剂。首先必须确定选用的灭菌试剂是否和膜兼容。注意：对于新安装的（聚酰胺）RO 膜组件，使用甲醛溶液作为灭菌剂时之前，膜元件在系统中至少运行 8 小时，否则会发生严重的流量损失。

关于用于本司膜元件的推荐清洗液，请参考以下页面。如果要使用不同的清洗液，请向本公司咨询其兼容性。我们推荐的清洗液清单为一系列在许多应用领域中非常有效的专利清洗液。因为污染物可能由多类物质组成，有时会需要采用多重清洗和 / 或多种清洗液组合清洗。

本公司推荐客户使用 Argo Scientific 反渗透膜专用清洗药剂针对不同的污垢进行清原洗。Argo Scientific 反渗透膜专用清洗药剂为世界反渗透药剂的领导者，其具有很好的清洗效果，而且经常使用对膜元件没有损害。

5.5 运行日志

日期：
泵的型号：

产品型号：
序列号：

检验员：

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	μ S / cm		
第一段浓水电导率	μ S / cm		
第二段浓水电导率	μ S / cm		
总浓水电导率	μ S / cm		
第一段产水电导率	μ S / cm		
第二段产水电导率	μ S / cm		
总产水电导率 (仪表)	μ S / cm		
产水电导率 (手动检测)	μ S / cm		
脱盐率	%		
备注 (过滤器更换, 清洗及运行评价)			

第六章 反渗透系统故障诊断和排除

6.1 常见故障情况及判断

6.1.1 金属氧化物污堵

如果发现如下情况，则可能发生金属氧化物污堵：

标准化产水量	下降
标准化透盐率	增加
标准化压降	正常或增加
故障点	主要发生在第一段

检测进水中的铁、铝和锰含量。
打开第一段的膜壳，并观察第一支膜及其附近膜壳内壁，可以看到黄色、棕色或者黑色的污垢。
下图是受到铁污堵的膜元件解剖图：



图 6-1 铁污染图

发生金属氧化物污堵后，可对清洗液中的离子进行分析作进一步判断。
针对不同的金属氧化物污堵清洗可以采用 MCT103、焦亚硫酸钠溶液清洗。应强化预处理对金属氧化物的去除效果，否则系统运行会再次出现污堵。

6.1.2 胶体污染

如果发现如下情况，则可能发生胶体污染：

标准化产水量	下降
标准化透盐率	稍有增加或正常
标准化压降	正常或增加
故障点	主要发生在第一段

可以通过检测进水 SDI 进一步作判断，如果进水 SDI 不理想 (>4 甚至 >5)，那么应该引起重视，并对 SDI 膜片和保安过滤器上的截留物进行分析。或者可以打开膜壳，观察第一段第一支膜元件端面和附近膜壳内表面是否有沉积物。

6.1.3 微生物污染

如果发现如下情况，则可能发生微生物污染：

标准化产水量	下降
标准化透盐率	正常或者增大
标准化压降	增大
故障点	所有段都可能

可以通过检测进水、浓水和产水中的总细菌数来进一步作判断，如果进水、浓水或者产水中含有大量的细菌，表示已经产水或者存在微生物污染。如果可以打开被污染的膜壳，可以发现膜壳内壁和受污染的膜，用手触摸微生物有一种滑腻的感觉，并常常伴随着恶臭。微生物污染是膜系统最常见的问题，且常常伴随着有机物污染。

下图是一个受微生物污染的膜元件端面实图：



图 6-2 微生物污染图

微生物的放大图片：

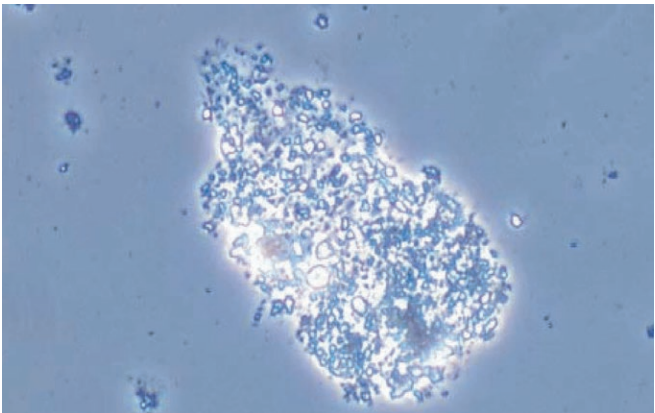


图 6-3 微生物放大图

6.1.4 结垢

如果发现如下情况，则可能发生结垢：

标准化产水量	下降
标准化透盐率	增加
标准化压降	上升
故障点	主要发生在最后段

检测原水水质，并分析浓水中的 Ca，Mg，Sr，SO₄²⁻，SiO₂，F⁻，PO₄³⁻ 等离子和 LSI 或者 S&DSI
打开最末段的膜壳，并观察最后一支膜及其附近膜壳内壁，可以看到白色的垢物，用手触摸垢有一种粗糙的感觉。
将最后一支膜取出来称重，会发现该膜元件比正常元件重许多。

下图是结垢膜元件的解剖图：



图 6-4 结垢污染图

垢样的 SEM 图

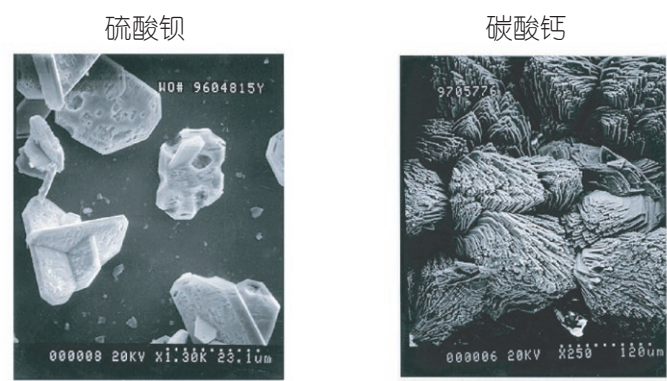


图 6-5 垢样的 SEM 图

发生结垢后，对垢样进行化学分析或者 X- 射线分析，或者对清洗液作金属离子分析可以确定垢样的类型。

6.1.5 有机物污染

如果发现如下情况，则可能发生有机物污染：

标准化产水量	下降
标准化透盐率	降低或者略有增加
标准化压降	正常
故障点	所有段都可能

可以通过检测进水的 TOC 和 BOD5 来进一步作判断，如果进水中的 TOC 和 BOD5 含量很高，表示有机物的污染可能性较大。检测进水的 SDI15，可分析 SDI 膜片上的截留物来作判断。

打开被污染的膜壳，可以观察膜壳内壁和受污染的膜，用手触摸有机污垢有一种滑腻的感觉。有机物污染往往伴随着微生物污染。

有机物的污染如下图所示：

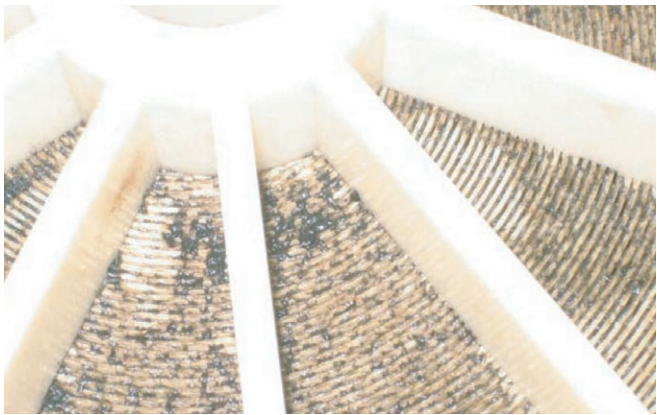


图 6-6 有机物污染图

当有机物污染产生的时候，清洗可以采用可以采用 Argo 碱性清洗剂 MCT511 或者 NaOH 等溶液。应采取比如改进活性碳运行状态或者更换活性碳等措施优化预处理，否则系统运行会出现再次污染。

6.1.6 O 形圈，膜封套泄漏

如果发现如下情况，则可能发生 O 形圈，密封圈，膜封套泄漏：

标准化产水量	正常或上升
标准化透盐率	增加
标准化压降	正常
故障点	随机

测定每个膜壳的产水电导率，找到有产水不合格的膜壳。然后，对产水不合格的膜壳，采用产水管内产水电导率探测技术，以检查内连接件和适配器处的 O 形圈是否泄漏，如果发现泄漏，可以更换 O 形圈，或者将 O 形圈缠上生料带达到密封效果。

通常，O 形圈泄漏主要由于安装不正确（如膜元件之间或膜元件与适配器之间留有间隙），或者机械应力（如水锤）导致。膜封套泄漏有几种可能：产水背压导致脱盐层和支撑层脱离，膜片受到颗粒物磨损。

6.1.7 氧化

如果发现如下情况，则可能发生膜氧化：

标准化产水量	上升
标准化透盐率	增加
标准化压降	正常
故障点	主要发生在第一段

检测进水中余氯、臭氧、溴、高锰酸钾等氧化物或者 ORP，当上述指标超标的时候，说明膜氧化的可能极大。

下图是受到氧化的膜元件解剖图（染料测试结果）：



图 6-7 受到氧化的膜元件解剖图

6.1.8 颗粒物、悬浮物污堵

如果发现如下情况，则可能发生颗粒物、悬浮物污堵：

标准化产水量	下降
标准化透盐率	正常或增加
标准化压降	增加

打开第一段的膜壳，并观察第一支膜的端面及其附近膜壳内壁，可以看到污堵的颗粒物和悬浮物。

下图是颗粒物污堵的膜元件端面图



图 6-8 颗粒物污堵的膜元件端面图

下图是受悬浮物污染的膜元件解剖图



图 6-9 受悬浮物污染的膜元件端面图

当膜元件受到颗粒物，悬浮物污堵的时候，应该检查保安过滤器和多介质过滤器、活性炭等是否发生了泄漏或者严重的运行不良。

6.1.9 其他

高压降与水锤

进水与浓水的压力差称压降，对于常见的 6 芯膜壳，其最大承受压降为 3.45bar，单支 膜元件承受的最大压降为 0.69bar。当压降超过上述极限的时候，膜元件可能受到机械应力的损伤，可能导致膜的玻璃钢外壳破裂和进水隔栅被挤出。玻璃钢外壳破裂和进水隔栅被挤出不一定立即影响到膜元件产水的水质，但是膜元件的正常工作的寿命会缩短。高压降往往由于膜元件进水隔栅被堵塞而导致。此外，系统启动过程中发生水锤，也会导致高压降。



图 6-10 高压降导致玻璃钢外壳破坏图

高压降导致进水隔栅被挤出：



图 6-11 高压降导致进水隔栅被挤出图



图 6-12 水锤导致膜的抗应力器损坏图

误用润滑剂

石油，润滑剂，凡士林及洗涤剂，汽油类及稀释剂等润滑剂会可能导致产水管破裂，从而使产水水质严重下降。本公司建议客户不使用甘油和纯水外的任何润滑剂。

下图是误用润滑剂而导致产水管破裂的图片

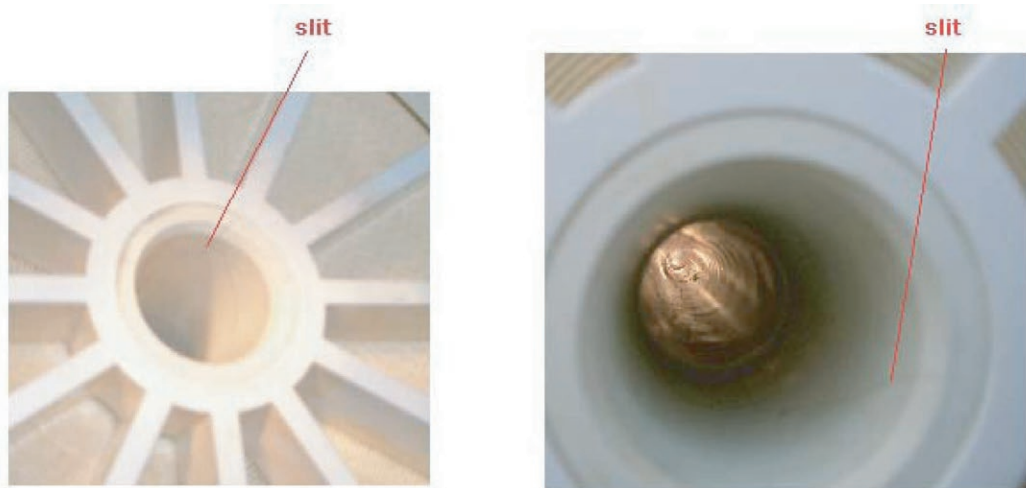


图 6-13 误用润滑剂而导致产水管破裂图

6.2 故障分析方法

- **数据分析、现场调查：**数据分析和现场调查工作是进行诊断、排除系统故障的基础，要对系统运行实际数据进行全面分析，跟踪系统性能指标变化的细微过程，掌握现场运行过程中所有相关事件的具体情况。
 - 开始变化的时间点及相关事件。
 - 进水水质或水源的变化：TDS、温度、SDI、余氯、个别离子浓度、pH。
 - 系统运行参数的调整及结果。
 - 系统性能变化时相关的特殊事件，比如开关机、关机保护措施（关机系统快冲、停机保护、高压泵前中间水箱停留时间等）、更换保安过滤器滤芯、产水用水量变化、操作人员变化等。
 - 系统加药的变化：阻垢剂、分散剂、还原剂、加酸、预处理系统加药，包括药剂供应商的变化。
 - 变化的方式确认，比如缓慢的平稳变化，较快的但均匀的变化，加速的变化，突变。
- **数据标准化：**确认系统性能参数下降的实际值，排除水质及运行参数变化对系统性能的影响。
- **运行 Winflows：**核查系统设计的合理性，检查系统预置参数可能存在的问题。膜元件选型、膜元件排列方式、泵配置、系统运行参数、结垢倾向、浓差极化比、预测产水水质等。
- **压力容器探测：**发现问题膜元件，绘制系统脱盐率分布图，了解系统脱盐率下降的规律性，为污染性质判断提供依据。
- **O 型圈检索**
- **膜元件污染观察分析：**首末端膜元件端头目测观察，膜元件称重，污染物化学分析和仪器分析，确定污染物的物理化学特性。
- **污染原因分析：**查明系统污染的原因，尽量从源头控制膜污染。

R0 故障分析汇总表				
标准化产水量	标准化透盐率	标准化压降	故障点	可能原因
降低	正常或升高	正常到增大	第一段	金属氧化物污染 胶体污染 生物污染
降低	升高	上升	最后段	结垢 [CaCO ₃ , CaSO ₄ , BaSO ₄ , SiO ₂]
降低	降低或略有升高	正常	所有段	有机污染
正常或下降	升高	降低	所有阶段	回收率太高
正常或上升	升高	降低	随机	O 形圈泄漏，膜封套密封胶泄漏
升高	升高	降低	第一段	氯化剂破坏。膜材料被晶体磨损

6.3 故障分析检测项目

除了其多样化的产品受到广泛赞誉，本公司还拥有一批技术纯熟的专业人员以及丰富的资源来为客户提供全面的应用协助。从系统设计、产品选型、启动运行及售后服务，我们欢迎客户在售前、销售期间或者售后利用我们特有的资源。以下是本公司提供的各种服务项目。

标准水质分析

为客户的水样提供标准的水质分析。其中包括电导率、pH、碱度、溶解性硅和铁及常见离子（如锰、钙、钠、硝酸盐、磷酸盐、硫酸盐等等）的分析。如果需要对非常见离子（如碘化物、溴化物、醋酸盐等等）进行分析，需要客户提出特别要求。对 TOC、BOD、和 COD 的分析也需要客户提出特别要求。

初步筛选试验

在本公司可以进行初步筛选试验服务，该试验又称单元试验。在特定的条件下，对进水水样进行试验，以确定处理效果较理想、应用上可行的膜。客户至少要提供 5gal 水样进行筛选试验。

大规模单元试验

这种单元试验可以用来确定客户所需要的最佳的膜。同时还给出满足客户分离要求的运行参数。

单元试验装置的租赁

客户也可以租赁单元试验装置。租赁设备时，会随机提供给客户一组试验用膜。在装运租赁设备之前，本公司要求客户支付保证金。这笔保证金可用作租赁费用。

您也可以选择购买单元测试设备。许多本公司客户因为需要为大量的进水样本进行筛选，通常会选择购买单元试验设备。本公司提供的单元试验装置有低压力 (PDF 318KB) 单元试验设备以及高压 (PDF 230KB) 不锈钢试验装置。

小试装置

小试装置用于单元试验之后，用来确定膜的筛选是否可行。在客户设计他们的商业用膜系统之前，小试可以用来对卷式膜进行全面测试。小试还能对系统运行参数进行优化。同时，清洗程序也可以通过小试装置确定。小试装置租赁费用包括全套测试元件的费用，以及美国境内的任何地点的现场试运行协助费用。在设备装运之前，需要交纳一笔定金，这笔定金可用作租赁费用。小试装置可选择带有循环泵的设备或者不带循环泵的设备。这些设备也可供购买。

外观检验和元件重复试验

该试验包括外观检查和实验室湿测试，用来确定膜元件流量和脱盐率（如果适用）。正确定出现的问题是否和膜有关时，对实验室测试结果和现场测试结果的比较通常具有一定价值。

膜的解剖分析

膜元件解剖分析是一种科学的解剖分析方法，用来确定膜性能损失的原因。化学、物理以及微生物的分析方法可以确定污染物种类以及它们对膜性能的影响。

通过使用光学显微镜，经验丰富的技术人员通常可以根据视觉、嗅觉和触觉识别出现的问题。需要进一步研究时，可以使用以下方法：

- SEM(扫描电子显微镜)
- ED(能量散射式 X 射线光谱测定法)
- FTIR(傅立叶变换红外光谱法)

解剖分析是一种破坏性分析方法，分析完成后膜将不能恢复使用。因为更换膜元件、解剖分析和系统停机涉及的成本很高，所以解剖分析通常是最后的选择。

进行解剖分析时，应小心地从压力容器中取出膜元件，以免发生外部交叉污染。然后将元件装入防水袋并密封，迅速送到实验室进行分析。不得使用任何形式的防腐剂处理元件，以免影响生物检验。本公司将对所有受检膜元件出具检测报告。

FTIR- 傅立叶变换红外光谱法

傅立叶变换红外光谱法用于确定复杂的有机物沉积。通过红外照射，FTIR 能够确定试验样品中不同的官能团和它们的相对数量。样品对不同波长的光的吸收，可以确定存在哪些官能团。FTIR 光谱分析得到的曲线为吸收率—波数曲线，其中波数为波长的倒数。对新膜和污染膜的两种 FTIR 曲线进行比较，可以确定是否有某种未知的化合物附着在被污染的膜表面而引起污堵。下图为某样品的 FTIR 曲线：

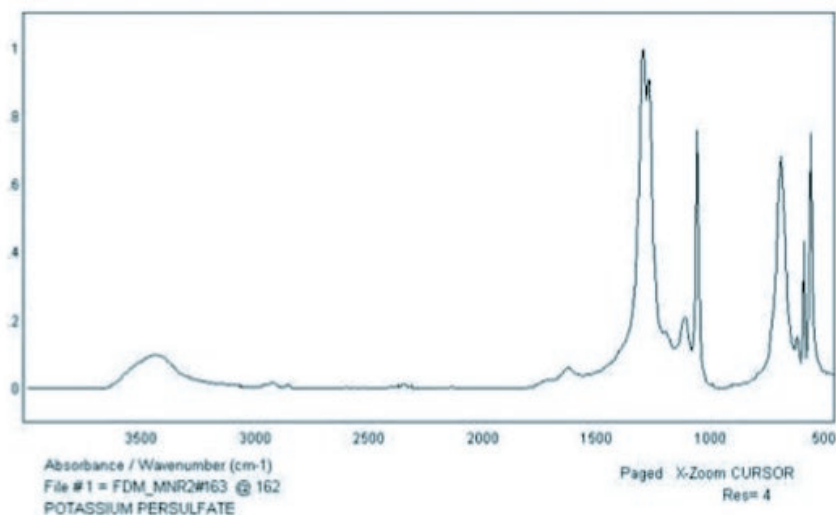


图 6-14 某样品的 FTIR 曲线图

UV(紫外) / 可见光谱

该方法的用途和 FTIR 相似。唯一的区别在于 UV / 可见光谱法使用的光谱段不同。该方法用来检测红外光检测不到的官能团。

扫描电子显微镜 (SEM)

扫描电子显微镜通过向膜的表面发射电子束来检查其微观结构。通过电子的反向散射和特性 X 射线构造可以确定膜表面的形态。利用 SEM 可以得到放大 50,000 倍的显微照片。使用该技术，我们可以对新膜和污染膜进行比较，确定产生污染的原因。右边为一个膜的横截面的 SEM 样品照片。

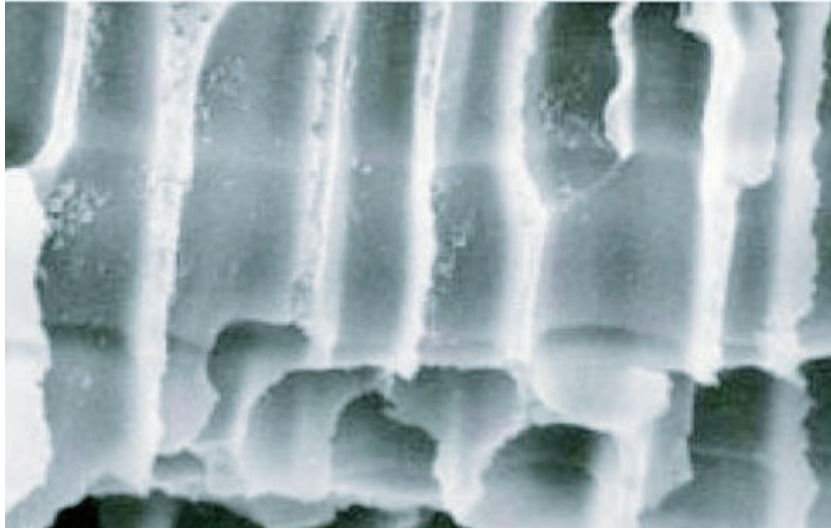


图 6-15 膜横截面的 SEM 样品图

HPLC- 高效液相色谱

高效液相色谱 (HPLC)，通过色谱柱对不同化合物进行分离，进而确定试验样品中的不同化合物种类并进行量化。柱体包括固定相和流动相，根据化合物对两相的亲水性不同而对它们进行分离。

GC- 气相色谱

气相色谱法 (GC) 和液相色谱法用途相同，只是后者涉及样品的气化。该方法同样包括一个带有固定相和流动相的色谱柱。气相色谱法的优点在于测试过程无需消耗大量的样品。

EDS—能量散射式 X 射线光谱谱法

能量散射式 X 射线光谱谱法通过电子束照射样品来确定样品的元素组成。不同的元素会发射不同的 X 光信号，将检测到的信号转换成电压信号，可以检测到元素组成。使用 EDS，可以确定膜表面的组成，并确定引起特定膜的污染原因。

以下样品的 EDS 曲线显示了氧、氯、碳、铁、铝、硅和硫等元素的电压脉冲曲线。

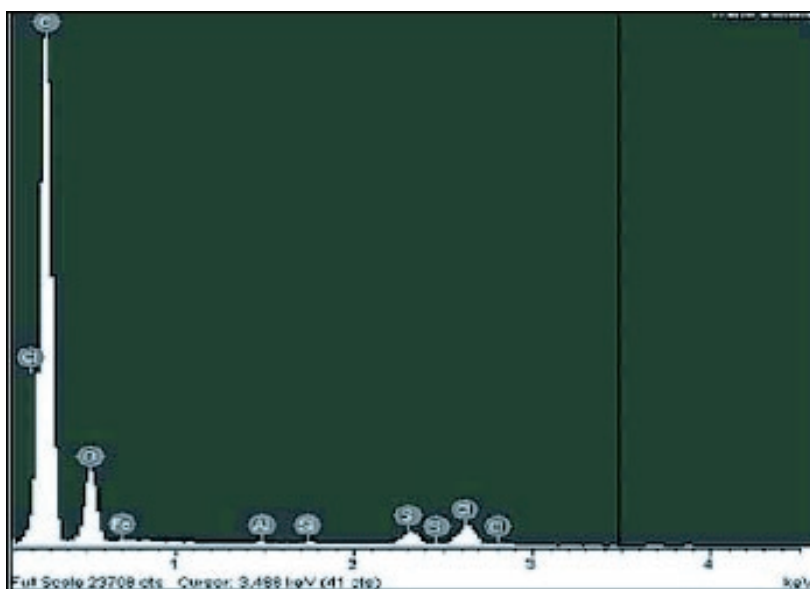


图 6-16 样品的 EDS 曲线图

原子力显微镜

原子力显微镜 (AFM) 通过一个锋利的钻石探头在原子水平上检查固体物体的表面。当探头在表面进行探测时，它在原子水平上探测并测量膜表面和其自身之间的相互作用力。这个过程可以确定膜表面的原子构成。有了这样一个强大的工具，用肉眼就可以观测到附着在膜表面的极小污垢。样品图片如下图所示。

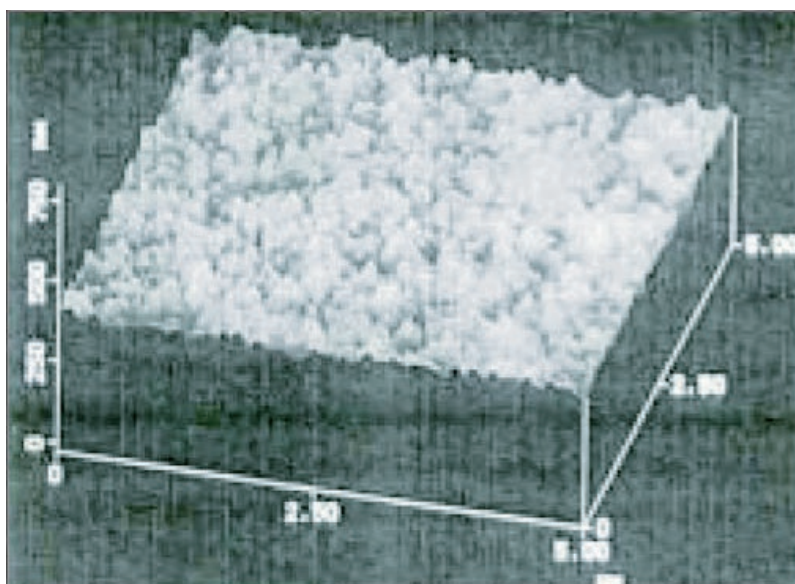


图 6-17 膜表面的显微镜放大图

6.4 故障解决方法

下表简要汇总了故障解决方法：

可能原因	确定方法	可能的排除方法
金属氧化物污堵	分析清洗液中的金属离子浓度	强化预处理过程除去金属；用酸性清洗液清洗
胶体污堵	进水 SDI 检测，对清洗液中的残留物进行 X 射线衍射分析	优化预处理系统，提高胶体污染物去除能，用高 pH 值的阴离子洗涤剂清洗
生物污堵	管道和容器中的泥浆，容器中或者过滤器壳体中有腐臭	冲击投加氧化性消毒剂；（非直饮水）用碱性（高 pH 值）阴离子清洗剂；清洗；查看消毒设备：更换滤芯
结垢 (CaSO ₄ , BaSO ₄ , SiO ₂)	分析清洗液中金属离子含量，检查浓水的 LSI，计算浓水中 CaSO ₄ BaSO ₄ , SiO ₂ 的最大溶解度	增加酸的加入量和降低 CaCO ₃ 和 CaSO ₄ 垢的生成；降低回收率；用酸性溶剂清洗 CaCO ₃ , CaSO ₄ 和 BaSO ₄
有机污染	破坏性测试如红外反射分析	优化预处理系统（如絮凝工艺）；树脂 / 活性炭处理；用高 pH 值清洗剂清洗。
回收率过高	依据设计指南检查流量和压力	降低回收率；校准传感器；增加数据采集和分析次数
氯氧化物破坏	进水余氯分析，膜解剖分析	检查加氯装置和脱氯装置
结晶材料对膜的磨损	进水显微固体分析，膜解剖分析	优化预处理系统；检查保安过滤器是否泄漏
颗粒物、悬浮物污堵	打开第一段的膜壳，并观察第一支膜的端面及其附近膜壳内壁	优化预处理系统（超滤 / 多介质过滤器 / 保安过滤器

第七章 质量保证书

质保条款

卖方对所生产的卷式纯水膜元件（以下简称为“元件”）提供质量保证，这一保证的前提是系统的安装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。

卖方向买方保证 12 个月内膜元件在材料和制造方面无影响元件性能实质性的缺陷。保证期开始日期从以下列表中最早开始日期为准（以下的时间点为“质保期的起始时间”）：

1. 湿元件

- a. 安装到系统中，首次投运之日起
- b. 从卖方厂家装运之日起 3 个月后

2. 干元件

- a. 安装到系统中，首次投运之日起
- b. 从卖方厂家装运之日起 6 个月后

除了上述提到的之外，对于买方从卖方购买的纯水 RO 系统中的膜元件（包括 OSMO*PRO 系列，OSMO BEV 系列和 OSMO MUNI 系列），卖方为这些膜元件提供自质保期起 36 个月按比例限制膜元件性能有限质量保证。在按比例有限质保期内，卖方保证在按照本质保文件的标准测试条件（参见膜元件产品说明）下储存和操作时，结合合适的清洗周期，膜元件的产水流量将不低于膜元件产品说明书中最小产水流量值的 70%，以及盐通量将不会超过膜元件产品说明书（按比例膜元件性能质保）中最大值的两倍。

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. 当保存温度在 0°C 到 30°C 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。
- 3. 当保存温度在 0°C 到 30°C 时，所有从卖方工厂装运的湿元件必须存放在凉爽、干燥、不受阳光或人工照明直接照射的地方，可储存 6 个月。

醋酸纤维膜元件（干膜或湿膜）的储存：

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°C 到 30°C 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 SDI_{15} 、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) 应当保持膜元件完好、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) 应该对膜元件的反渗透系统的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（“RGA”）表。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。

如果经卖方鉴定退回的膜元件性能达质保要求，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。

请登录本司网站或和您所在区域的客服代表联系。

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。更换价格应完全根据材料和制造保证书来执行，根据质保责任比例分配保修单，在有效期（每月 1/36）内按比例分配。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膜元件性能有限质保期。

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。

除非在膜元件的销售协议中明文规定，卖方不对膜元件使用效果或性能提供任何质量保证或担保，包括但不限于产水水质、流量、生产、产能、膜寿命、化学品消耗、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。

第八章 常见问题

Q: 为什么产水流量会下降？

A: 有四个因素影响产水量和产水压力。

进水温度：进水温度极大地影响产水量。RO 膜的额定流量是在理想水源温度为 25℃的条件下测得。温度每降低 1℃，产品水流量减少 3%。现在比较流行的 RO 高压泵为离心泵，选择高压泵时，要充分考虑温度波动对反渗透系统的影响，一般来说当水温度波动超过 5℃，则可考虑采用变频泵。

也可以选择一个较大的高压泵，同时在泵的出水口处安装一个截流阀，以用来调整不同季节的操作压力。

RO 泵压力：RO 膜设计在规定的压力下运行，以得到适宜的产水量和去除率。要得到同样的产水量，纤维素膜的所需的水泵压力通常为复合膜泵压力的两倍。在低于推荐泵压力的条件下运行 RO，产水量将低于设想值。

RO 膜的洁净度：泥沙、有机物、和无机结垢沉淀等污染物会沉积在膜表面。这些污染物会堵塞膜，并阻碍水流过膜，从而降低 RO 产水量。

低的城市供水 / 水源压力：对于市政供水系统来说，常常会有各种问题。这些问题有时会影响进入 RO 设备的进水压力。RO 高压泵的进水压力降低会导致操作压力低并引起产水量下降。

Q: RO 膜的使用寿命有多长？

A: 在适当的预处理，定期清洗和消毒，并很好的维护的情况下，RO 膜的使用寿命一般为 3 ~ 5 年。除了维护之外，水源水质也决定了膜的使用寿命。和低 TDS 进水相比，高 TDS 进水对膜造成的磨损更严重，因此高 TDS 进水的寿命较短。复合膜 (TF) 比醋酸纤维素 (CA) 膜更加耐用。相比 CA 膜，TF 膜能适应更宽的进水水质，具有更宽的 pH 值的耐受能力，并具有较长的寿命。

Q: 膜元件如何保存？

A: 新的干膜元件，在原包装中存放，在凉爽、干燥、不受阳光或者人工照明直接照射的环境中（温度低于 38℃）储存；新的湿膜元件，在原包装中存放，在凉爽、干燥、不受阳光或者人工照明直接照射的环境中（温度低于 30℃）储存。如果保存时间较长，可能会有微生物生长，因此使用之前需要进行碱性清洗，一般膜元件的性能能在清洗后得到很好的恢复。如果保存期超过一年，将有可能对膜造成不可逆转的损坏。

Q: 膜元件能否在低温环境下保存？

A: 膜元件保存的温度范围为 0 ~ 45℃。

如果怀疑保护液在低温下结冰了，那么在使用膜元件时候，应该让膜元件温度缓慢上升，将冰逐步融化。搬运过程中应该小心，以免冰晶划伤膜。

Q: RO 设备的实际产水量能否高于额定产水量？

A: 如果提高进水压力或温度，使用同样数量的膜元件，RO 设备可以生产更多的产水。如果增加产水流量而不增加浓水流量，设备的回收率将会增加。随着设备回收率的增加，进水中的无机盐呈指数级增加，因此可能发生无机盐结垢。如果回收率保持不变，而增加产水量，膜的寿命会因为负荷过大而缩短。

Q: 该如何判断是哪类污染物对膜造成了污染？

A: 对膜造成污染的常见污染物有两种：由矿物质形成的无机盐垢和由有机物累积或微生物生长而形成的污染。结垢的典型早期症状是初期产水电导率增加；随着污染物的累积，产水量开始下降，系统的操作压力增加；最后，情况严重时，系统的压降，尤其是在最后段的压降将增大。有机物污染的典型初期症状是产水流量降低；随着污染物的累积，系统的压差将增大，但是产水的电导率通常并不增加。

Q: 怎样判断清洗是否成功？

A: 如果污染严重，应当对预处理系统进行重新评估，以防止对膜设备造成损坏。如果污染类型为无机污染，应对酸、阻垢剂、或除铁方法的使用进行评估。使用酸性清洗剂通常可以成功的去除无机盐结垢；清洗后，CIP 水箱中水的颜色经常会变成茶色，这是因为沉淀矿物质的溶解，尤其当存在铁污染的时候更为明显。

如果污染类型为有机物或泥沙污染，可能需要使用增强过滤或氧化。使用碱性清洗剂通常可以有效地去除有机物或泥沙污染。高 pH 值作用可分解有机物污垢层，并从膜的表面去除污染。也可以使用酶清洗剂去除顽固的有机物累积。随着污染物质从膜上面的去除，CIP 水箱中水的颜色将变成暗褐色或黑色。有机物污染经常伴随着很重的臭味。

通常，即使怀疑污染类型为有机污染，仍先对系统进行酸洗，然后进行碱洗。完成一次成功的清洗之后，设备应恢复规定的流量、水质。操作压力和压降。

第九章 附件

9.1 水质转化表

换算表				
电导率	电阻	溶解固体	浓度 CaCO_3	浓度 CaCO_3
0.1	10.0M	0.05	0.082	0.005
0.2	5.0M	0.1	0.164	0.010
0.4	2.5M	0.2	0.327	0.019
0.7	1.4M	0.55	0.547	0.034
1.0	1.0M	0.5	0.82	0.050
2.0	500k	1.0	1.64	0.096
4.0	250k	2.0	3.27	0.19
7.0	141k	3.5	5.74	0.34
10.0	100k	5.0	8.2	0.50
20.0	50k	10.0	16.4	0.96
40.0	25k	20.0	32.7	1.90
70.0	14k	35.0	57.4	3.4
100	10k	50.0	82	5.0
200	5k	100	164	9.6
400	2,500	200	327	19
700	1,410	350	574	34
1000	1,000	500	820	50
2000	500	1,000	1,640	96
4000	250	2,000	6,270	190
7000	141	3,500	5,740	340
10,000	100	5,000	8200	500
20,000	50	10,000	16,400	960

注：ppm 通常被认为等于 mg/L。

9.2 常用公式

$1 \mu\Omega / \text{cm} = 0.4 \text{ mg} / \text{L}$, 以 NaCl 计
 $= 0.65 \text{ mg} / \text{L}$, 以离子计
 $= 0.5 \text{ mg} / \text{L}$, 以 CaCO_3 计

$\text{TDS}(\text{ppm}, \text{以 } \text{CaCO}_3 \text{ 计}) = \text{电导率} (\mu\Omega) \times 0.5$

$\text{电导率} (\mu\Omega / \text{cm}) = 1 / \text{电阻率} (\text{M}\Omega\text{-cm})$

$\text{电阻率} (\mu\Omega\text{-cm}) = 1 / \text{电导率} (\mu\Omega / \text{cm})$

$\text{浓缩系数} = 1 / (1 - \text{回收率}(\%))$ (以十进制数据表示)

$\text{回收率}(\%) = \text{产品水流量} \times 100 / \text{进水流量}$

$\text{脱盐率}(\%) = 1 - \text{产水电导率} \times 100 / (\text{进水电导率} + \text{浓水电导率}) / 2$

硬度计算公式:

$\text{CaCO}_3(\text{mg} / \text{L}) = 2.497 \times \text{Ca}(\text{Mg} / \text{L}) + 4.118 \times \text{Mg}(\text{Mg} / \text{L}) = \text{硬度} (\text{以 } \text{CaCO}_3 \text{ 计}) \div 17.1 = \text{GPG}$

活性炭过滤器尺寸计算公式:

空床接触时间: $V = Q(\text{EBCT}) \div 7.48$

V- 体积 (ft^3 碳)

Q- 流量

EBCT- 所需空床接触时间

注: 去除游离氯, 推荐使用空床接触时间为 6 分钟

去除氯胺, 推荐使用空床接触时间为 10 分钟。



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。

M_RO_Technical_CN



官方微信



官方中文网站