

FILMTECTM

反渗透和纳滤膜元件

产品与技术手册

2011版



总 目 录

第 1 部分 公司简介

1-1	陶氏化学公司概况	1
1-2	陶氏水处理及过程解决方案简介	2
1-3	陶氏全资子公司美国 FilmTec 公司简介	4

第 2 部分 陶氏 FILMTEC™ 产品特点和性能规范

2-1	陶氏 FILMTEC™ 膜片介绍	5
2-2	陶氏 FILMTEC™ 膜元件简介	8
2-3	陶氏 FILMTEC™ 系列产品命名一览表	10
2-4	陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤膜元件选型	
2-4.1	陶氏 FILMTEC™ 膜元件的用途	11
2-4.2	陶氏 FILMTEC™ 系列反渗透元件根据进水含盐量的选型指南	11
2-4.3	陶氏 FILMTEC™ 系列商用反渗透元件选型指南	12
2-4.4	陶氏 FILMTEC™ 八英寸系列苦咸水反渗透元件选型指南	12
2-4.5	陶氏 FILMTEC™ 八英寸系列海水反渗透元件选型指南	13
2-4.6	陶氏 FILMTEC™ 八英寸系列纳滤元件选型指南	13
2-4.7	陶氏 FILMTEC™ 系列船用海水反渗透元件选型指南	14
2-4.8	陶氏 FILMTEC™ 小型反渗透元件尺寸选择考虑	14
2-4.9	选用反渗透和纳滤设备时需要考虑些什么?	15
2-4.10	陶氏 FilmTec 的解决方案 – 应该认真考虑的膜元件特性	19
2-4.11	陶氏 FilmTec 的解决方案 – 膜元件不作氧化性后处理	21
2-4.12	陶氏 FilmTec 的解决方案 – 选用高有效面积膜元件降低投资和运行费用	23
2-4.13	陶氏苦咸水系列产品概述	24
2-4.14	陶氏海水淡化系列产品选用比较	29
2-5	陶氏 FILMTEC™ 膜元件选用情况汇报	
2-5.1	陶氏膜元件应用业绩概况	37
2-5.2	陶氏抗污染膜元件应用业绩简介	38
2-5.3	陶氏海水淡化膜元件应用业绩简介	39
2-6	陶氏 FILMTEC™ 家用膜元件	
	陶氏 FILMTEC™ 膜 新一代家用反渗透元件	
📁	TW30-1812-24 TW30-1812-36 TW30-1812-50 TW30-1812-75	41
	陶氏高产水量家用膜元件	
📁	TW30-1812-100	43
2-7	陶氏 FILMTEC™ 商用膜元件	
	陶氏胶带缠绕 2540 商用反渗透元件	

XLE-2540 LP-2540 TW30-2540 45 陶氏胶带缠绕四英寸商用反渗透元件	
XLE-4040 LP-4040 TW30-4040 47 陶氏 XLE 极低能耗商用反渗透元件	
XLE-2521 XLE-2540 XLE-4021 XLE-4040..... 49 陶氏 LP 超低压商用反渗透元件	
LP-2540 LP-4040..... 51 陶氏 BW30HR LE 超低压高脱盐率四英寸商用反渗透元件	
BW30HR LE-4040 53 陶氏 TW 胶带缠绕标准自来水反渗透元件	
TW30-4014 TW30-4021 TW30-4040 55 陶氏 BW 玻璃钢缠绕标准苦咸水反渗透元件	
BW30-4040 BW30-2540 BW30LE-4040 57 大型商用四英寸反渗透元件	
LC HR-4040 LC LE-4040 59 陶氏 FILMTEC™ 八英寸工业用苦咸水淡化反渗透元件	
标准型反渗透元件	
BW30-365 苦咸水淡化反渗透元件..... 61	
BW30-400 苦咸水淡化反渗透元件..... 63	
BW30-400/34i 端面自锁连接苦咸水淡化反渗透膜元件..... 65	
BW30-440i 端面自锁连接、高有效膜面积、苦咸水淡化反渗透膜元件..... 67	
BW30HR-440i 端面自锁连接、高有效膜面积、高产水量、高脱除率苦咸水淡化 反渗透元件..... 69 低能耗反渗透元件	
LE-400 高产水量、低能耗、苦咸水淡化反渗透元件..... 71	
LE-440i 端面自锁连接、高有效膜面积、低能耗苦咸水淡化反渗透元件..... 73	
HRLE-440i 端面自锁连接、高有效膜面积、低能耗苦咸水淡化反渗透膜元件..... 75	
XLE-440 高有效膜面积、极低能耗反渗透元件..... 77	
陶氏 FILMTEC™ 抗污染型反渗透元件	
BW30FR-365 抗污染型苦咸水淡化反渗透元件..... 79	
BW30FR-400 抗污染型苦咸水淡化反渗透元件..... 81	
BW30FR-400/34i 端面自锁连接、抗污染型苦咸水淡化反渗透膜元件..... 83	
BW30XFR-400/34i 端面自锁连接、极强型抗污染苦咸水淡化反渗透膜元件..... 85	
XFRLE-400/34i 端面自锁连接、极强型抗污染、低能耗苦咸水淡化反渗透膜元件..... 87	
陶氏 FILMTEC™ 海水淡化反渗透元件	
小型海水淡化反渗透元件	

SW30-2514 SW30-2521 SW30-2540 SW30-4021 SW30-4040	89
高脱盐率、低能耗四英寸海水淡化反渗透元件	
SW30HR LE-4040	91
高脱盐率、低能耗八英寸海水淡化反渗透元件	
SW30HR-380 高脱盐率海水淡化反渗透元件.....	93
SW30XHR-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、极高脱盐率海水淡化反渗透元件.....	95
SW30XHR-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、极高脱盐率海水淡化 反渗透元件.....	97
SW30HR LE-400 高脱盐率、低能耗海水淡化反渗透元件.....	99
SW30HR LE-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高脱盐率、低能耗海水淡化 反渗透膜元件.....	101
SW30HR LE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、高脱盐率、低能耗 海水淡化反渗透元件.....	103
SW30HRLE-370/34i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高脱盐率、低能耗、抗污染 海水淡化反渗透元件.....	105
SW30XLE-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、极低能耗海水淡化反渗透元件.....	107
SW30XLE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、极低能耗海水淡化 反渗透元件.....	109
SW30ULE-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、超低能耗海水淡化反渗透元件.....	111
SW30ULE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、超低能耗海水淡化 反渗透元件.....	113
SW30ULE-400i 及 SW30ULE-440i 元件质量保证测试	115
2-11 陶氏 FILMTEC™ 特殊应用反渗透元件	
热消毒型反渗透元件	
HSRO-4040-FF HSRO-390-FF.....	117
卫生级反渗透元件	
RO-4040-FF RO-390-FF.....	119
快速参考指南 – 反渗透浓缩分离	
RO-3840/30-FF RO-3838/30-FF RO-3838/38-FF RO-3838/64-FF RO-390-FF 80-8040/48-FF RO-8040/64-FF.....	121
2-12 陶氏 FILMTEC™ 纳滤膜元件	
小型试验用纳滤膜元件	
NF200-2540 NF200-4040 NF270-2540 NF270-4040 NF90-2540 NF90-4040.....	125
八英寸纳滤膜元件	
NF270-400 型纳滤膜元件.....	127
NF90-400 型纳滤膜元件.....	129

	工艺物料脱盐型纳滤元件	
	陶氏食品及乳制品加工用膜.....	135
	食品和加工领域的反渗透膜和脱盐纳滤元件.....	133
2-13	陶氏 FilmTec 公司膜元件标准测试条件.....	135
2-14	陶氏 FILMTEC™ 膜产品符合 FDA CFR 21 177-2550 标准.....	136
2-15	陶氏 FILMTEC™ FT30 反渗透元件三年有限质量保证书.....	137
2-16	陶氏膜温度校正系数 (TCF)	139
第 3 部分 反渗透和纳滤基础		
3-1	反渗透和纳滤技术发展历史.....	140
3-2	膜法分离过程分类.....	140
3-3	反渗透和纳滤原理.....	142
3-4	影响反渗透和纳滤膜性能的因素.....	146
3-5	了解反渗透膜元件脱盐率规范.....	147
第 4 部分 水化学与预处理		
4-1	序言.....	152
4-2	原水类型和水质分析.....	152
4-3	结垢控制	
4-3.1	引言.....	156
4-3.2	加酸.....	158
4-3.3	加阻垢剂.....	158
4.3.4	强酸阳树脂软化.....	158
4.3.5	弱酸阳树脂脱碱度.....	159
4.3.6	石灰软化.....	159
4.3.7	预防性清洗.....	160
4.3.8	调整操作参数.....	160
4-4	预防结垢	
4-4.1	预防碳酸钙结垢	
4-4.1.1	苦咸水水源.....	160
4-4.1.2	海水水源.....	161
4-4.2	预防硫酸钙结垢.....	161
4-4.3	预防硫酸钡结垢.....	161
4-4.4	预防硫酸锶结垢.....	161
4-4.5	预防氟化钙结垢.....	161
4-4.6	预防硅垢.....	162
4-4.7	预防磷酸钙结垢.....	162

4-5	预防胶体和颗粒污堵	
4-5.1	引言.....	163
4-5.2	介质过滤.....	164
4-5.3	氧化—过滤.....	164
4-5.4	在线过滤.....	165
4-5.5	絮凝—助凝.....	165
4-5.6	微滤或超滤.....	166
4-5.7	滤芯式过滤.....	166
4-5.8	其它方法.....	166
4-5.9	设计和操作考虑.....	166
4-6	预防生物污染	
4-6.1	引言.....	167
4-6.2	生物污染评估方法	
4-6.2.1	培养法.....	167
4-6.2.2	直接细菌计数.....	167
4-6.2.3	生物膜检测.....	167
4-6.2.4	其它方法.....	168
4-6.3	氯杀菌	
4-6.3.1	氯化反应.....	168
4-6.3.2	氯的投加量.....	168
4-6.3.3	海水加氯处理.....	169
4-6.4	脱氯.....	169
4-6.5	冲击式杀菌处理.....	170
4-6.6	周期性消毒.....	170
4-6.7	其它方法	
4-6.7.1	微滤或超滤.....	170
4-6.7.2	硫酸铜.....	170
4-6.7.3	臭氧.....	171
4-6.7.4	紫外照射.....	171
4-6.7.5	亚硫酸氢钠.....	171
4-6.7.6	粒状活性炭.....	171
4-6.8	预处理的设计和操作.....	171
4-6.9	选用抗污染膜元件.....	171
4-7	预防有机物污染.....	171
4-8	预防膜本身的降解.....	172
4-9	预防铁和锰的污堵.....	172

4-10	含 H ₂ S 水源的处理.....	174
4-11	预处理方法汇总.....	174
第 5 部分 系统设计与设计软件		
5-1	序言.....	176
5-1.1	系统设计资料及原水分析报告.....	177
5-2	分批过程与连续过程.....	179
5-3	单组件系统.....	180
5-4	单段系统.....	180
5-5	多段系统.....	181
5-6	原水一次通过式系统与浓水循环系统.....	181
5-7	多级系统.....	184
5-8	特殊设计的可能性.....	185
5-9	膜系统设计导则.....	186
5-9.1	陶氏 FILMTEC™ 8 英寸膜元件系统设计导则.....	187
5-9.2	陶氏 FILMTEC™ 中等尺寸膜元件系统设计导则.....	188
5-10	膜系统的设计步骤.....	189
5-11	系统性能预测	
5-11.1	系统操作特性.....	192
5-11.2	设计方程与参数.....	194
5-12	陶氏膜系统分析设计软件的下载.....	198
5-13	试验.....	204
5-13.1	筛选试验.....	204
5-13.2	应用试验	
5-13.2.1	确定操作压力.....	204
5-13.2.2	确定浓缩倍率和回收率.....	204
5-13.3	模拟试验.....	204
5-14	系统主要部件	
5-14.1	高压泵	
5-14.1.1	正位移泵（柱塞泵）.....	205
5-14.1.2	离心泵.....	205
5-14.2	压力容器.....	205
5-14.3	紧急开关.....	206
5-14.4	阀门.....	206
5-14.5	控制仪表.....	206
5-14.6	水箱	

5-14.6.1 原水水箱.....	207
5-14.6.2 产水水箱.....	207
5-14.6.3 产水回吸水箱.....	207
5-14.6.4 加药箱.....	208
5-14.6.5 清洗水箱.....	208
5-14.7 可选设备.....	208
5-15 材质选择和腐蚀控制.....	208
5-16 便于今后排除系统故障的设计建议	
5-16.1 装卸及故障排除空间.....	210
5-16.2 设有能探测单支元件和单个压力容器的取样接口.....	210
5-16.3 段间性能监视仪表.....	210
5-16.4 在线标准化.....	210
5-16.5 每段能够单独清洗.....	210
5-16.6 能够进行产水冲洗.....	210
5-16.7 SDI 测量装置及其测量点.....	210
5-16.8 现场试验台.....	210
5-16.9 单元件测试装置.....	211
第 6 部分 安装与操作	
6-1 装卸元件	
6-1.1 装卸准备.....	212
6-1.2 安装元件.....	212
6-1.3 调整膜元件在压力容器内的轴向间隙.....	214
6-1.4 拆卸元件.....	215
6-1.5 安装空白假元件.....	215
6-2 系统操作管理	
6-2.1 序言.....	216
6-2.2 首次启动	
6-2.2.1 仪器设备.....	216
6-2.2.2 启动检查.....	217
6-2.2.3 首次启动顺序.....	218
6-2.2.4 膜初始性能和稳定性能.....	220
6-2.2.5 特殊系统启动—两级反渗透系统.....	220
6-2.2.6 特殊系统启动—热消毒反渗透系统.....	220
6-2.3 日常启动.....	220
6-2.4 运行记录	

6-2.4.1 引言.....	221
6-2.4.2 开机报告.....	221
6-2.4.3 预处理运行参数记录.....	221
6-2.4.4 膜系统运行参数记录.....	221
6-2.4.5 维修保养记录.....	224
6-2.5 调整操作参数	
6-2.5.1 引言.....	224
6-2.5.2 苦咸水系统.....	224
6-2.5.3 海水淡化系统.....	224
6-2.6 系统停机.....	225
6-2.7 系统保存.....	226
6-2.8 微生物活动的监控.....	226
6-2.9 系统性能标准化.....	227

第 7 部分 清洗与消毒

7-1 序言.....	232
7-2 清洗条件.....	232
7-3 清洗安全注意事项.....	233
7-4 清洗设备.....	234
7-5 清洗步骤	
7-5.1 清洗单段系统.....	235
7-5.2 清洗多段系统.....	236
7-6 清洗药剂.....	237
7-7 膜系统消毒	
7-7.1 引言.....	237
7-7.2 清洗受生物污染的 FILMTEC™ FT30 膜元件.....	237
7-7.3 用 DBNPA 消毒.....	239
7-7.4 用 H ₂ O ₂ 杀菌与消毒.....	240
7-7.5 含氯杀菌消毒剂.....	240
7-7.6 其它杀菌消毒剂.....	241
7-8 特殊污染物的清洗	
7-8.1 清洗硫酸盐垢.....	241
7-8.2 清洗碳酸盐垢.....	242
7-8.3 清洗铁污染.....	243
7-8.4 清洗有机物污染.....	245
7-8.5 紧急清洗.....	246

第 8 部分 保存与运输

8-1	序言.....	247
8-2	FILMTEC™ 膜元件	
8-2.1	保护.....	247
8-2.2	元件再润湿.....	247
8-2.3	贮存.....	247
8-2.4	运输.....	248
8-2.5	废元件的处理.....	248
8-3	RO 和 NF 系统.....	248

第 9 部分 故障排除

9-1	序言.....	249
9-2	全系统故障分析	
9-2.1	整个系统调查.....	249
9-2.2	膜本体评估	
9-2.2.1	目测.....	251
9-2.2.2	污染类型及清洗对策.....	251
9-2.2.3	确定漏点位置	
9-2.2.3.1	寻找分布规律.....	251
9-2.2.3.2	探测膜元件.....	251
9-2.3	膜元件评估	
9-2.3.1	代表性元件的选择.....	252
9-2.3.2	DIRECTOR SM Service.....	252
9-2.3.3	目测和称重.....	253
9-2.3.4	泄漏分析.....	253
9-2.3.5	性能试验.....	254
9-2.3.6	清洗试验.....	254
9-2.3.7	解剖分析.....	254
9-2.3.8	膜面分析.....	255
9-3	故障起因、症状和纠正措施	
9-3.1	低产水量	
9-3.1.1	低产水量正常透盐率.....	255
9-3.1.2	低产水量高透盐率.....	257
9-3.1.3	低产水量低透盐率.....	259
9-3.2	高透盐率	
9-3.2.1	高透盐率正常产水量.....	260

9-3.2.2	高透盐率高产水量.....	261
9-3.3	高压降.....	262
9-3.4	故障排除总结.....	264
9-4	陶氏 FILMTEC™ 膜系统故障排除指南.....	265

第 10 部分 应用技术文献

10-1	赢得膜污染挑战的胜利.....	271
10-2	陶氏 FILMTEC™ 膜元件对不同溶质脱除率的估计.....	275
10-3	化学品与陶氏 FILMTEC™ 膜元件兼容性试验方法.....	277
10-4	用 DBNPA 对陶氏 FILMTEC™ 膜元件杀菌消毒.....	283
10-5	故障排除：膜元件性能评估-真空度下降测试.....	285
10-6	陶氏 iLEC™ 端面自锁连接技术和传统连接技术压力容器端板适配器.....	287
10-7	陶氏 iLEC™ 端面自锁连接和传统连接膜元件的混装.....	289
10-8	新加坡 SUT SERAYA 公司用抗污染反渗透膜回收废水.....	290
10-9	日供水 14 万吨大型纳滤饮用水系统.....	299
10-10	西班牙 Lanzarote 二级海水淡化新工艺.....	312
10-11	iLEC 端面自锁反渗透膜元件使海水淡化过程更简便更低廉.....	317
10-12	iLEC 端面自锁技术解决了半导体厂水处理系统泄漏问题并提高了能量利用率.....	321
10-13	iLEC 端面自锁联接膜元件经受恶劣的操作环境.....	327
10-14	FILMTEC™ 膜元件如何计算脱溴率.....	332
10-15	陶氏 FILMTEC™ 膜元件成功案例	
	FILMTEC™ BW30-400/34i 膜元件在美国中西电厂的应用经验.....	334
	FILMTEC™ 纳滤（NF）技术为瑞典度假胜地提供清洁饮用水.....	338
	FILMTEC™ 极低压（XLE）膜元件在低能耗成本下去除芬兰饮用水中的氟化物.....	340
	荷兰泰尔讷曾 DECO 水厂采用 FILMTEC™ 膜元件将海水淡化系统改造成以污水 为进水的苦咸水淡化系统.....	344
	FILMTEC™ 反渗透（RO）膜元件在美国羚羊谷发电厂（AVS）的 15 年运行经验.....	348
	西班牙 Agragua 海水淡化厂用螺旋卷式反渗透（RO）膜元件替换中空纤维膜元件.....	350
	FILMTEC™ 抗污染膜元件与非氧化性灭菌剂间歇投加结合使用的经验.....	354
	FILMTEC™ 膜元件在台湾中美石化厂双膜法废水回用系统中的应用.....	359

第 11 部分 附录

11-1	常见问题解答.....	364

第 1 部分 公司简介

1-1 陶氏化学公司概况

- 1897 年，Herbert H. Dow 在美国密歇根州米德兰市创建了陶氏化学公司
- 陶氏公司是全球领先的高科技化学品公司之一，位居世界 500 强前列
- 在 37 个国家运营有 214 个生产基地
- 生产和供应 3,300 多种产品和技术
- 客户遍布全球 175 多个国家和地区
- 全球拥有 52,000 名雇员
- 年营业额 580 亿美元

- 陶氏的产品与技术广泛服务于各类主要基本消费品市场

全新的业务结构包括:

功能产品和系统

- 功能系统
- 功能产品

高新材料

- 电子材料和特殊材料
- 涂料和基础设施

基础材料

- 基础塑料
- 基础化学品
- 碳氢化合物和能源

健康和农业科技

新的业务结构是基于优势竞争力和市场驱动力，进一步加强了陶氏对特种化学品及高成长高收益的创新型业务的战略定位，业务重心更倾向于高新材料及功能产品和系统。陶氏的产品应用涵盖民用、交通、纸张和印刷业、矿业、工业品市场、医疗健康与卫生保健、食品、电子产品和娱乐业、消费品、建筑、农业等领域。

陶氏化学（中国）投资有限公司

- 是陶氏在大中华地区所有投资的控股公司，成立于 1998 年，总部设在上海
- 陶氏化学公司原译名道化学公司，简称陶氏公司或陶氏，1930 年代就通过代理商开展对华贸易
- 主要办事机构设在北京、上海、广州、香港和台湾
- 大中华地区有五个业务中和 20 个生产基地
- 员工人数 3,900 多名
- 年销售额近 37 亿美元（2009 年）

如需了解更多有关陶氏化学公司的资讯，请访问：<http://www.dow.com/>

1-2 陶氏水处理及过程解决方案简介

美国陶氏化学公司是世界上唯一一家同时拥有膜和离子交换树脂两大类分离技术和产品的公司，膜产品注册商标为DOW™ FILMTEC™反渗透膜、DOW™ UF超滤膜、DOW™ EDI，离子交换树脂注册商标为DOWEX™、AMBERLITE™、AMBERJET™、MARATHON™、UPCORE™、MONOSPHERE™和AMBERPACK™，由陶氏水处理及过程解决方案负责，采用陶氏水处理产品，用户可实现“以最低的成本，获得最高的产水品质”。

自从陶氏 FilmTec 公司在世界上首先发明实用性的复合膜以来，膜及其应用技术就得到了前所未有的发展，许多领域的开拓及其规模化应用均是从使用陶氏膜元件开始的，FILMTEC™ 品牌的反渗透和纳滤膜产品被公认为性能更高、更一致且更稳定的分离膜著名品牌，市场占有率世界第一。

产品系列涵盖了家用元件到海水淡化及新型纳滤元件，经用户长期使用证明，寿命长，性能稳定，不易污染，清洗恢复性好，它仅在美国生产并最早通过了严格的 ISO9 000 质量体系认证。

- ❶ 复合膜由 FilmTec 公司首先开发成功，其专有的膜化学材料、配方及生产线使 FILMTEC™ FT 30 膜片具有极高的抗压密、抗磨损、抗化学降解性能；耐 pH 范围最宽，能用普通酸碱进行强力高效的清洗，因清洗更彻底从而使膜系统长期运行压力更低，可大幅度减低运行费用。
- ❷ FILMTEC™ FT30 膜片没有任何针孔等缺陷，没有由修补缺陷而产生的补丁。
- ❸ FILMTEC™ FT30 膜片脱盐层更厚、更均匀、更光滑，用这样的膜片卷制的元件更可靠，寿命更长，长期稳定性更有保障。
- ❹ FILMTEC™ 元件进水流动道更宽，流动更均匀，不易污染，即使发生污染，更易清洗。
- ❺ FILMTEC™ 元件膜叶更短，数量更多，使膜片局部最大通量值大幅下降，污堵速率显著降低。
- ❻ FILMTEC™ 元件源自最先进的全自动化生产线，FilmTec 公司唯一拥有干元件生产技术及装备，所生产的元件性能更一致，从而保证了系统的长期可靠性，干元件一般没有保存期限限制且更易保存，因而重要用户、著名设计单位和工程公司在设计水处理项目时总是优先选择陶氏 FILMTEC™ 品牌。

FILMTEC™ 反渗透膜元件广泛用于电力、石油化工、钢铁、电子、医药、食品饮料、市政及环保等领域，在海水及苦咸水淡化，锅炉给水、工业纯水及电子级超纯水制备，饮用纯净水生产，废水处理及特种分离过程中发挥着重要作用。

陶氏 DOWEX™ 离子交换树脂提供了树脂性能的更高标准，八十年代陶氏化学在世界上首先开发出凝胶型均粒树脂，是目前唯一能同时生产凝胶和大孔均粒树脂的供应商，品种有 200 多种，已被广泛应用于：

❶ 核电站水处理	❷ 超纯水制备	❸ 工业给水处理（软化水及高纯水制备）
❹ 凝结水精处理	❺ 甜味剂除灰、脱色及色谱分离	❻ 其他特种分离和化学反应

陶氏化学离子交换树脂具有更好的动力学性能，有更高的交换容量和运行流速，使再生时的废水量大幅下降，树脂颗粒更均匀，更易再生，冲洗速度快，离子泄漏率低，强度更高不易破损，树脂年补充量极低，使最终用户制水成本得到有效降低。经国内众多重点电厂和中外著名半导体企业多年使用表明，性能卓越。

欢迎垂询陶氏化学（中国）投资有限公司水处理及过程解决方案事业部：

上海分公司：

上海市张江高科技园区张衡路 936 号

邮编：201203

电话：(00)86-(0) 21-3851 1000

传真：(00)86-(0) 21-5895 1818

北京办事处：

北京市东长安街一号东方广场东方经贸城西三幢 1101 室

邮编：100738

电话：(00)86-(0) 10-8527 9199

传真：(00)86-(0) 10-8527 9299

广州办事处：

广州市天河区林和西路 3-15 号耀中广场 3616 室

邮编：510613

电话：(00)86-(0) 20-3813 0600

传真：(00)86-(0) 20-3839 6551

技术支持：

廖卓丹

电话：(00)86-(21)-3851 1817

初庆伟

电话：(00)86-(21)-3851 1639

韦昌健

电话：(00)86-(21)-3851 2543

何艳红

电话：(00)86-(21)-3851 2602

陶氏水处理及过程解决方案事业部

www.dowwaterandprocess.com

1-3 陶氏全资子公司美国 FilmTec 公司简介

反渗透与纳滤技术自从上世纪五十年代末六十年代初发展成为实用的化工单元操作以来，正不断地拓展其应用领域和规模，反渗透早期主要是用于脱除海水和苦咸水中的盐份，制备淡水；纳滤主要用于软化，脱除有机物和高附加值物质的浓缩分离。

由于淡水资源的短缺，工业界对节水和节能、污染控制及废水回用的需求日益增加，同时相对于蒸馏过程而言，膜法分离技术更有节能和不致产品过热变质，而成为高附加值物质浓缩分离的先进过程。随着人们生活水平的提高，膜法水处理技术在为人类提供安全、清洁、卫生的饮用水方面具有巨大的作用。

1963 年位于美国明尼苏达州明尼亚波里斯市的北极星研究所奠定了 FilmTec 公司和 FT30 膜技术的研究基础。从那时起，该机构发展及改进的产品有：

- ☐ 原始的复合膜
- ☐ 微孔聚砜膜
- ☐ 最早的非醋酸纤维素复合膜（NS-100）
- ☐ NS-200 和 NS-300 复合膜
- ☐ 超薄纤维血液透析膜

1967 年 John Caddotte 发明了微孔聚砜支撑膜，这是复合膜技术的一项重大发明，使得复合膜产水通量增加到超薄醋酸纤维素膜的两倍，Caddotte 还发明了四种重要的非醋酸纤维素复合膜：NS-100、NS-200、NS-300 和 FT30。这些发明有些被用于商品化反渗透和纳滤膜的生产，有些则广泛用于超滤膜的生产。

1977 年在美国的明尼亚波里斯市成立了 FilmTec 公司，从此，FilmTec 公司作为复合膜的发明者和复合膜合成技术及生产技术发展的领导者，引导着膜技术产业的发展。

1981 年至 1984 年，公司及产品经历了重大的变革，FilmTec 公司 1985 年成为美国陶氏化学公司的全资子公司。陶氏化学顶尖的化学品生产技术，进一步提升了 FilmTec 公司膜产品的综合性能，使其拥有唯一的干元件自动生产技术与装备，FilmTec 公司的产品具有极高的性能一致性、化学和物理稳定性及长期可靠性。

通过陶氏化学公司，FILMTEC™ 反渗透和纳滤膜产品得到了全球用户的认可，成为了世界分离膜的最著名品牌并拥有最大的市场占有率。

陶氏水处理及过程解决方案事业部

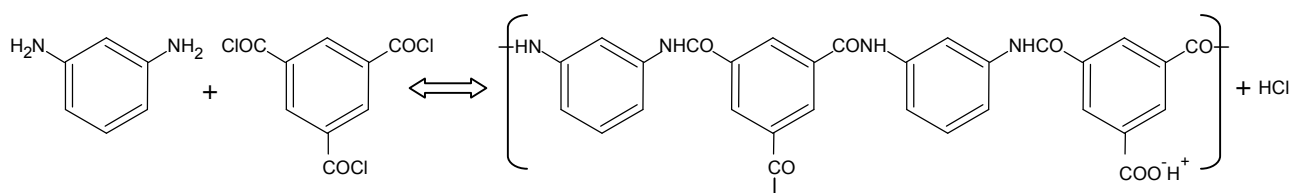
www.dowwaterandprocess.com

第2部分 陶氏FILMTEC™产品特点 and 性能规范

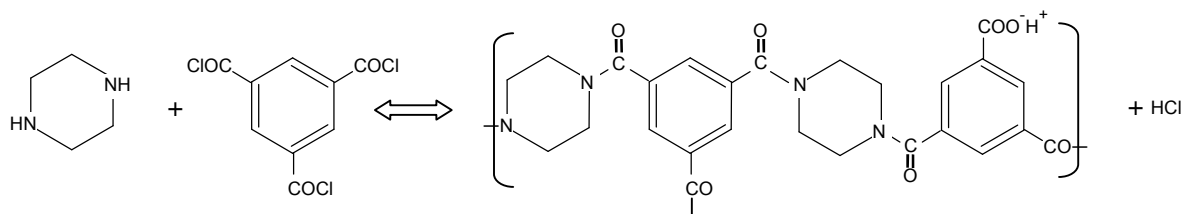
2-1 陶氏FILMTEC™膜片介绍

陶氏FILMTEC™膜化学

自从陶氏化学全资子公司FilmTec公司在世界上率先发明聚酰胺类复合膜，复合膜就取代醋酸纤维素类分离膜成为了全世界反渗透和纳滤膜产业的支柱。陶氏化学公司目前生产两类复合膜，第一类被称为FT30，其分离层化学组成是全芳香高交联度聚酰胺，用于所有FILMTEC™品牌的反渗透和NF90纳滤膜：



这种高度交联和全芳香结构，决定了其高度的化学物理稳定性和耐久性，能够承受强烈的化学清洗；高密度的亲水性酰胺基团则使其具有高产水量和高脱盐率的综合性能。



陶氏水处理及过程解决方案第二类膜分离层是由混合芳胺和杂环脂肪胺构成，有时也称其为聚哌嗪类复合膜，用于其余各类纳滤膜，这类膜化学也是由陶氏化学公司J.E. Caddotte所发明。

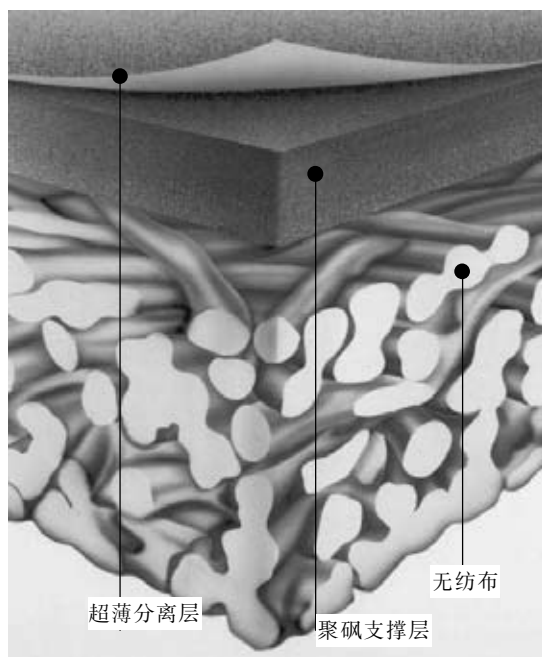
通过微量的添加剂、控制分离层聚合物中哌嗪的解离程度，可以调节其对一价或二价离子的截流能力，制造出对不同盐类或溶质有选择性截流的纳滤膜，以达到选择性分离的目的。

多年来，陶氏化学公司不断推出新产品，包括低压、超低压和极低压反渗透膜，高污染水或废水回用抗污染膜，高产水量海水淡化膜，高选择性纳滤膜等，以适应不同应用领域的处理需要。陶氏化学公司对复合膜微观的深入研究和领先的精密自动化生产线，使膜片和元件生产过程及最终性能得到最严格地控制，保持着高性能膜设计与制造技术遥遥领先的全球地位。

陶氏FILMTEC™膜片复合结构

陶氏膜片为复合结构，它由三层组成（参见右图）

1. 聚酯材料增强无纺布，约120μm厚；
2. 聚砒材料多孔中间支撑层，约40μm厚；
3. 聚酰胺材料超薄分离层，约0.2μm厚。每一层均根据其功能要求分别优化设计与制造。



- 复合膜的主要结构强度是由无纺布提供的，它具有坚硬、无松散纤维的光滑表面。
- 设计多孔中间支撑结构的原因是如超薄分离层直接复合在无纺布上时，表面太不规则，且孔隙太大，因此需要在无纺布上预先涂布一层高透水性微孔聚砜作为支撑层，其孔径约为150埃左右。
- 超薄分离层是反渗透和纳滤过程中真正具有分离作用的功能层，陶氏FILMTEC™膜片与其它任何品牌的产品相比，交联度高，功能分离层更厚，且厚度更均匀，决无针孔。它的高交联度性质决定了其具有极高的物理强度和抗化学生物降解的性能。

陶氏FILMTEC™膜片耐久性

陶氏FILMTEC™超薄反渗透（RO）和纳滤（NF）复合膜在各种应用领域表现出优异的性能，广泛用于市政自来水处理、单级海水淡化和苦咸水脱盐、化工工艺过程和废水处理等。该膜在水通量、脱盐率、脱除有机物和抗生物降解方面具有极高的性能表现，适应目前工业界最宽的运行和清洗pH值范围，具有极高的抗压密化能力，最高使用温度可达45°C（热消毒型元件耐温更高），能够承受pH1~pH13的无机酸碱强力清洗，极耐磨损，在非常恶劣的使用条件下，表现出比其它品牌更长久、更稳定的无故障运行性能。

陶氏FILMTEC™膜能够承受短期的氯和次氯酸根的攻击，但余氯的含量正常情况下应<0.1ppm，因为连续接触将会破坏膜的分离能力，由于氧化性破坏引起膜性能的下降，不在陶氏FilmTec公司的质保范围内，陶氏FilmTec公司建议在预处理部分应脱除水中的余氯。

表征膜性能的参数是水通量和溶质透过性。理想的反渗透膜要求有高的水通量而完全不让盐份透过；理想的纳滤膜也是要求有高的水通量，根据溶质特点和应用要求，完全不让指定的溶质透过，例如有些纳滤膜不让杀虫剂透过，但能让50%的钙离子透过，有些纳滤膜能让一价离子透过而不让二价离子透过等。

膜系统通常设计和运行在固定的水通量条件下，水通量高的膜所需的操作压力低，因而节约能耗，下表列出了常见膜系统中在相同通量条件下，不同膜性能的对比。

部分FILMTEC™膜性能

	SW30HR	BW30	XLE	NF270
进水压力（bar）	25	10	5	3.5
（psi）	365	145	73	51
脱盐率（%）				
氯化钠 NaCl	99.7	99.4	98.6	50
氯化钙 CaCl ₂	99.8	99.4	98.8	80
硫酸镁 MgSO ₄	99.9	99.7	99.2	99.3
测定条件：	30L/m ² h（18 gfd），2,000 mg/L溶质浓度，25°C，pH 7~8，回收率 10%，40英寸长膜元件			

一般规律是，水通量高的膜，盐透过量也高，盐透过量随下述因素的增加而降低：

- 解离度：弱酸，如乳酸，在高pH条件下，解离程度提高，故脱除率也提高；
- 离子价位：离子价位越高，其脱除率越高，二价离子比一价离子脱除率高
- 分子量：分子量越高脱除率越高
- 非极性：极性越低脱除率越高

5. 水合程度：水合程度高的离子如 Cl^- 比水合程度低的离子如 NO_3^- 脱除率高

6. 分子支链程度：异丙醇比正丙醇脱除率高

表2 FT30膜溶质典型相对脱除率

溶 质	分子量	脱 除 率 (%)		
		BW级反渗透膜	SW级海水淡化膜	SWHR级海水淡化膜
氟化钠 NaF	42	99	>99	>99
氰化钠 NaCN (pH11)	49	97	98	99
氯化钠 NaCl	58	99	>99	>99
二氧化硅 SiO_2 (50ppm)	60	98	99	>99
碳酸氢钠 NaHCO_3	84	99	98	99
硝酸钠 NaNO_3	85	97	96	98
氯化镁 MgCl_2	95	99	>99	>99
氯化钙 CaCl_2	111	99	>99	>99
硫酸镁 MgSO_4	120	>99	>99	>99
硫酸镍 NiSO_4	155	>99	>99	>99
硫酸铜 CuSO_4	160	>99	>99	>99
甲醛 HCHO	30	35	50	60
甲醇	32	25	35	40
乙醇	46	70	80	85
异丙醇	60	90	95	97
尿素	60	70	80	85
乳酸 (pH2)	90	94	97	98
乳酸 (pH5)	90	99	>99	>99
葡萄糖	180	98	99	>99
蔗糖	342	99	>99	>99
微量含氯杀虫剂	-	>99	>99	>99

测定标准条件：溶质浓度 2,000ppm，操作压力 1.6MPa (225psi)，溶液温度 25°C (77°F)，未标注溶液的 pH=7。

2-2 陶氏FILMTEC™膜元件简介

陶氏FILMTEC™反渗透（RO）和纳滤（NF）膜技术，不论用在小型系统还是巨型水处理系统，处理天然苦咸水和海水时，被公认为最有效能和最经济的关键部件。RO和NF可以单独或组合在一起使用，或与其它过程如离子交换结合，减少再生剂的消耗和废水量，同时制造出更高品质的纯水，或与蒸馏过程结合，提高设备利用率，减少能耗并得到符合要求的成品水。

陶氏FILMTEC™品牌的膜元件为螺旋卷式结构，简称卷式结构。它由多叶膜袋组成，每一叶膜袋由两片膜正面相背的膜片、置于两片膜片间的产品水流道和放置在膜表面的湍流网格状进水流道组成，该膜袋三边用胶粘剂密封，第四边开口于有孔的产水收集管上。与其它元件结构，如管式、板式和中空纤维式相比，具有水流分布均匀、耐污染程度高、更换费用低、外部管路简单、易于清洗维护保养和设计自由度大等许多优点，成为目前主要膜元件结构形式。

陶氏FILMTEC™膜元件有不同的型号，每种型号针对不同的应用和使用的条件：

- ❑ BW30 玻璃钢缠绕标准低压苦咸水反渗透膜元件，主要用于多支串联高脱盐率反渗透系统
- ❑ BW30HR 高脱盐率苦咸水反渗透元件
- ❑ BW30HR LE 玻璃钢缠绕高脱盐率低能耗苦咸水反渗透元件
- ❑ BW30FR 抗污染苦咸水反渗透元件
- ❑ BW30XFR 极强型抗污染苦咸水反渗透元件
- ❑ HRLE 高脱盐率低能耗苦咸水反渗透元件
- ❑ HSRO 热消毒卫生级反渗透元件
- ❑ LC HR 大型商用高脱盐率苦咸水反渗透元件
- ❑ LC LE 大型商用低能耗苦咸水反渗透元件
- ❑ LE 低能耗苦咸水反渗透元件
- ❑ LP 胶带缠绕超低压反渗透元件，为新一代高脱盐率商用超低压反渗透膜元件
- ❑ NF270 中等脱盐率和硬度透过率的纳滤膜，脱除有机物高，产水量高
- ❑ NF90 90%左右盐份的去除率的纳滤膜，具有很高的铁、杀虫剂、除草剂和TOC去除率
- ❑ NF 工艺物料浓缩用纳滤膜
- ❑ NF245 食品和乳制品脱盐用纳滤膜
- ❑ RO 卫生级反渗透元件
- ❑ SG30 超纯水用半导体级反渗透元件
- ❑ SG30LE 低能耗超纯水用半导体级反渗透元件
- ❑ SW30 海水和高盐度苦咸水（亚海水）反渗透元件
- ❑ SW30HR 标准高脱盐率海水反渗透元件
- ❑ SW30XHR 极高脱盐率海水反渗透元件
- ❑ SW30HR LE 高脱盐率低能耗海水反渗透元件
- ❑ SW30XLE 极低能耗海水或高盐度苦咸水（亚海水）反渗透元件
- ❑ SW30ULE 超低能耗海水或高盐度苦咸水（亚海水）反渗透元件
- ❑ TW30 胶带缠绕标准低压反渗透膜元件，主要用于进水为自来水的高脱盐率商用反渗透系统
- ❑ XFRLE 极强型抗污染低能耗苦咸水反渗透元件
- ❑ XLE 极低能耗（压）苦咸水反渗透元件，主要用于商用或大型市政水处理

标准元件长40英寸（1016毫米），对于极小型系统，可选用尺寸更短的元件，如14英寸（356毫米）和21英寸（533毫米），家用纯水机元件长12英寸，1.8英寸直径，适用于2英寸的家用纯水机元件外壳。陶氏FILMTEC™元件的标准直径系列为1.8英寸、2.5英寸、4英寸和8英寸。

具体的产品性能规范和使用条件请参阅本手册产品规范介绍，2-1节已经介绍了陶氏膜片的特点，现将陶氏膜元件特点简述如下：

- 1) 陶氏FILMTEC™膜元件进水流动更宽，流动更均匀，不易污染，一旦污染又具有极高的清洗效率；
- 2) 陶氏FILMTEC™膜元件膜叶更短且数量更多，使膜面各处的通量更均匀，污垢速率显著降低，提高了效率；
- 3) 陶氏FILMTEC™膜元件由目前领先的自动化生产线生产，唯一拥有产品出厂前单元件不作通水测试的干元件制造质控技术，是全球产品品质一致性供应的根本保证；
- 4) 陶氏FILMTEC™膜元件仅在美国生产，完全原装进口。

众所周知，膜片是膜元件的核心，膜元件又是膜分离系统的核心部件，陶氏FILMTEC™膜元件可最大程度地发挥系统性能，进而确保用户获得无故障、高效能、低运行维护费用的先进水处理系统。

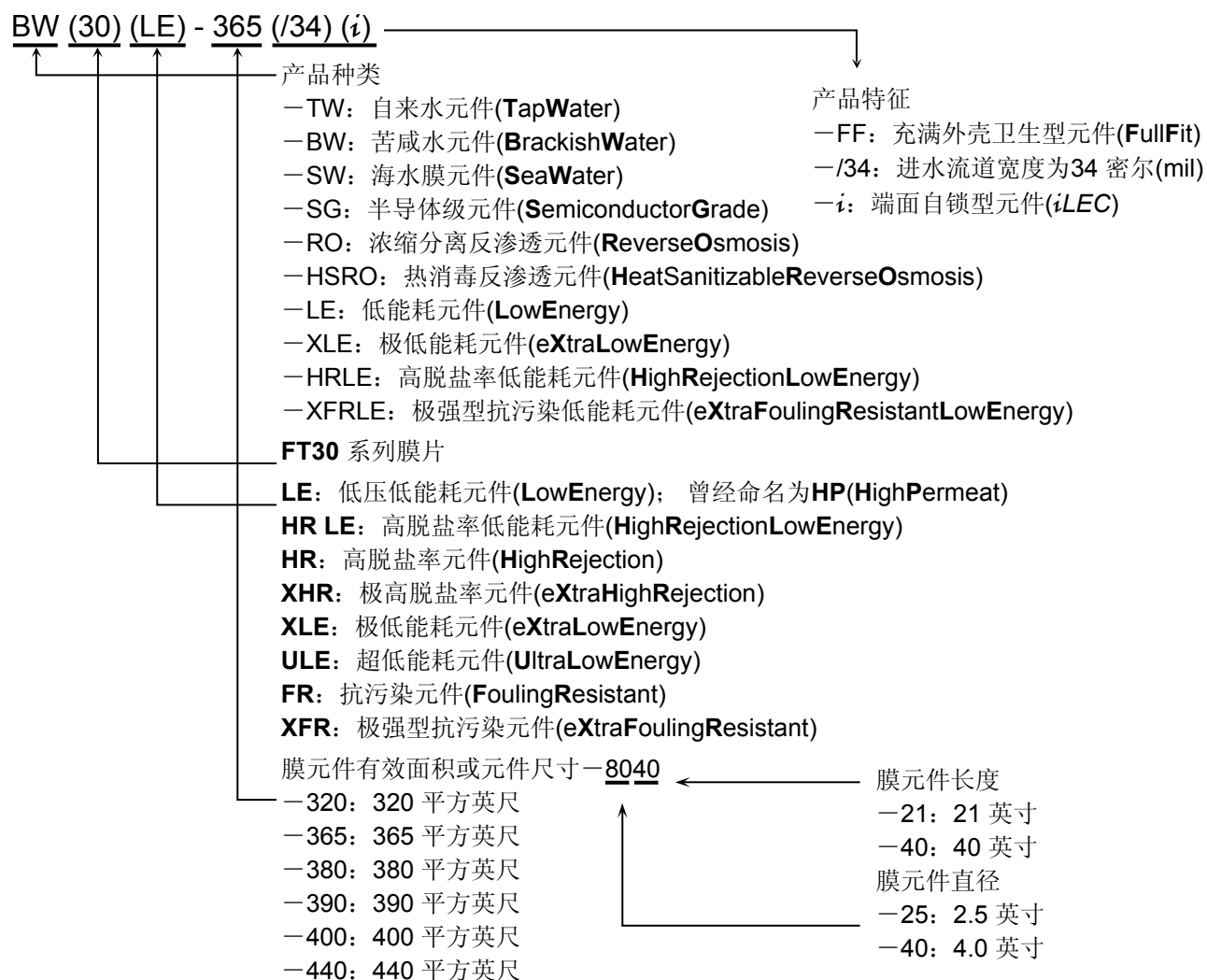
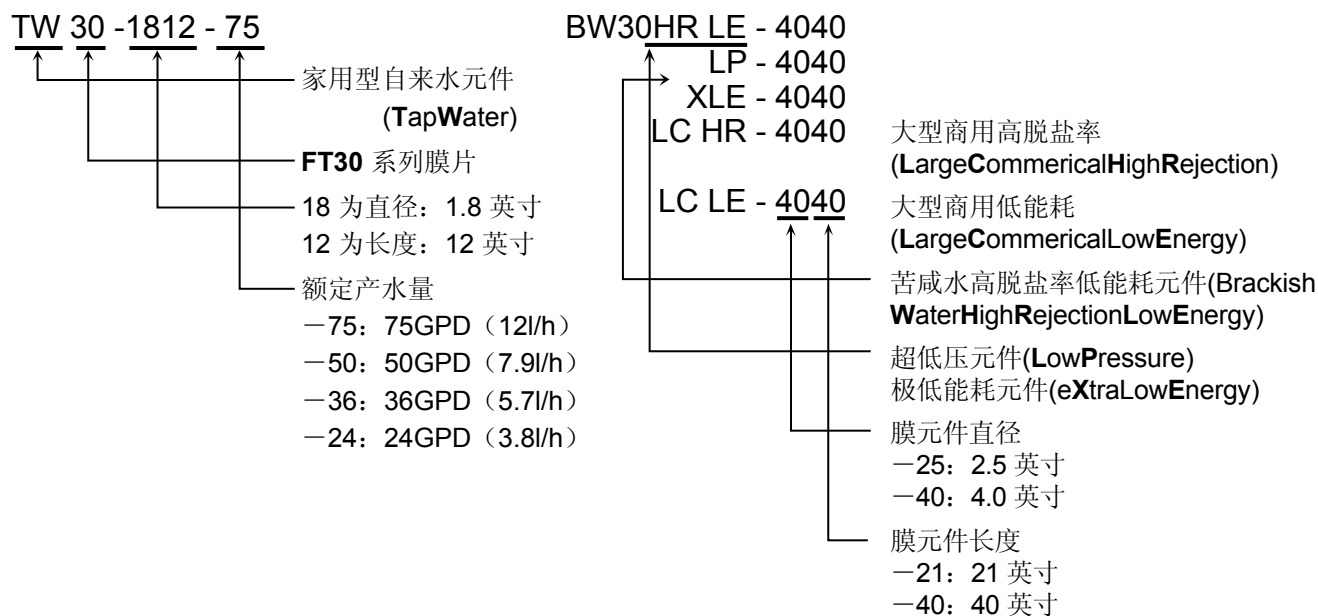
1. 即使是陶氏FILMTEC™家用膜元件也是由先进的自动化生产线生产的，元件间差异极小，而其它制作商仍在原始的生产线上用手工卷制；
2. 陶氏FILMTEC™膜比其它任何品牌的膜元件用于更多的系统和应用领域，经受了更多的系统配制水平和操作管理水平的长期考验，它们的性能先进性、一致性和可靠性举世公认；
3. 陶氏FILMTEC™膜在实际应用寿命期内，比其它任何膜元件具有更高的长期稳定脱盐率和产水量；
4. 陶氏FILMTEC™膜抗压密化、抗磨损、抗化学降解和微生物的攻击能力更高；

因而陶氏膜元件可以采用价廉，但清洗作用十分强烈的普通化学药品清洗，以恢复被污染的膜性能，长期运行期内的性能故障率极低，大幅度地降低了系统的运行和维护费用。

膜元件结构形式比较

系统成本	管式、板式»中空纤维、卷式	体积大小	管式»板式>卷式>中空纤维式
设计弹性	卷式»中空纤维>板式>管式	易污堵程度	中空»卷式>板式>管式
易清洗性	板式>管式>卷式»中空纤维式	能耗	管式>板式>中空>卷式

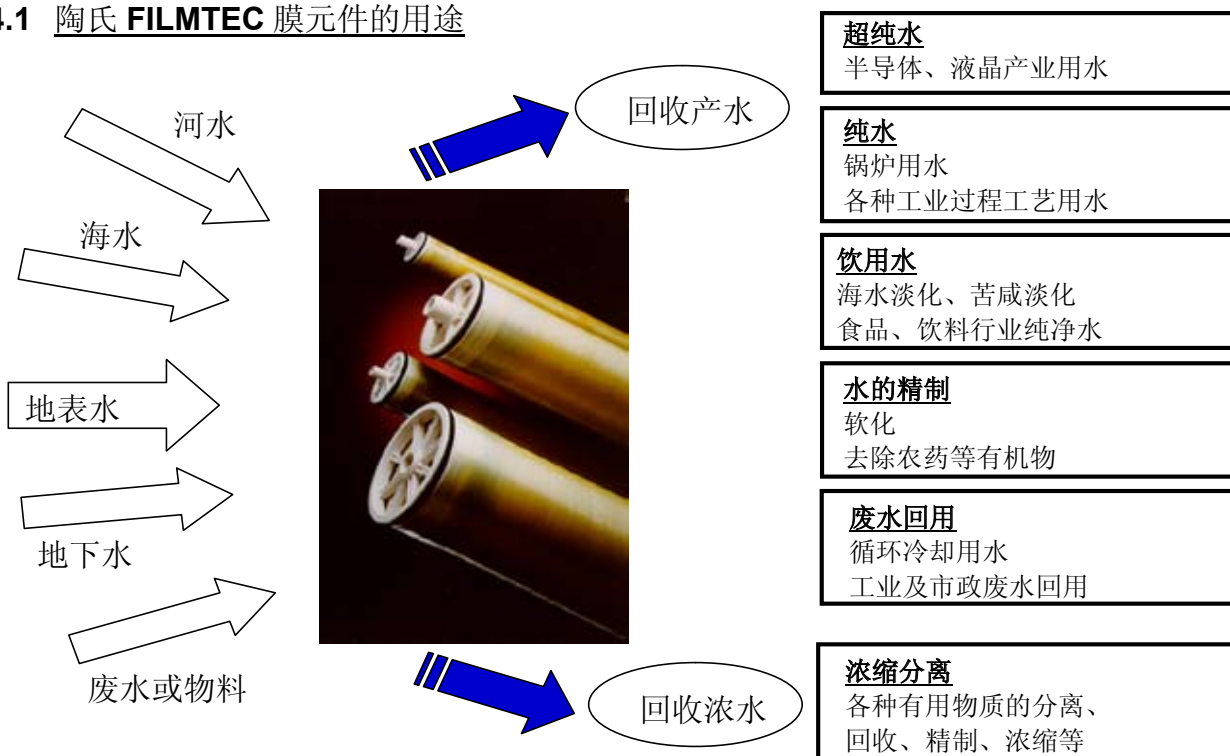
2-3 陶氏FILMTEC™系列产品命名一览表



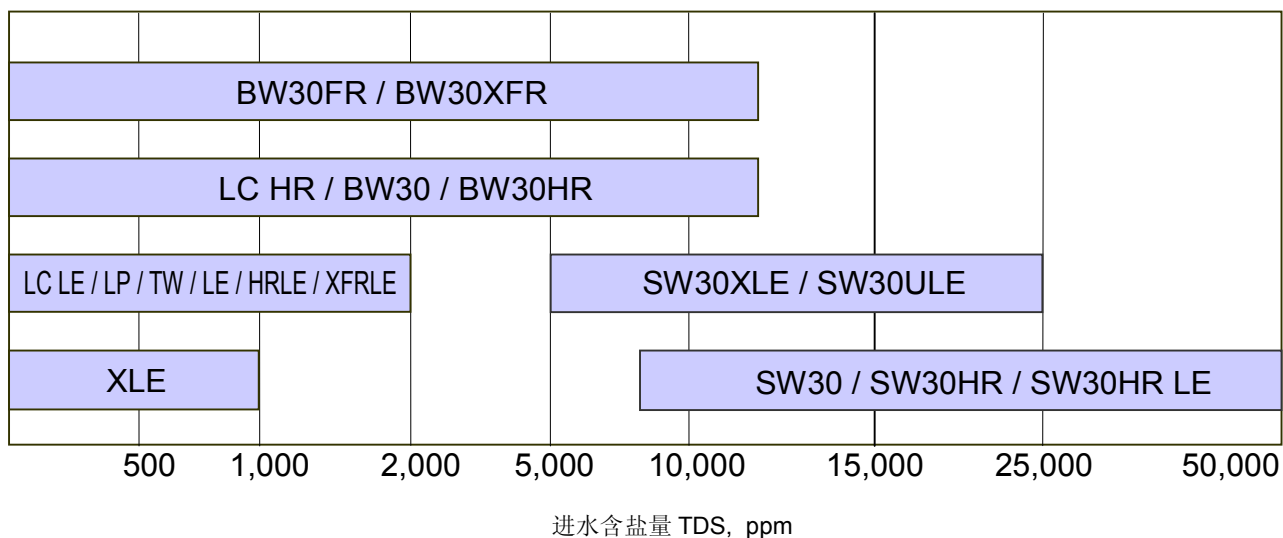
陶氏 FILMTEC 纳滤膜元件命名为**NF270**、**NF90**、**NF—**、**NF245** 和 **SR90**，请参阅相应的产品规范。

2-4 陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤膜元件选型

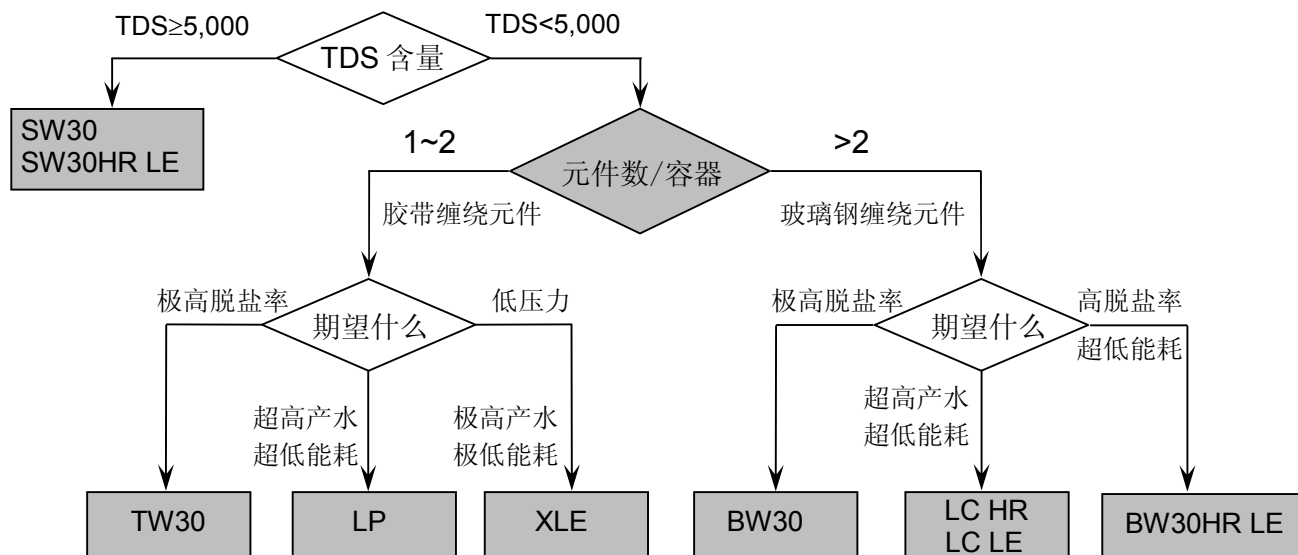
2-4.1 陶氏 FILMTEC 膜元件的用途



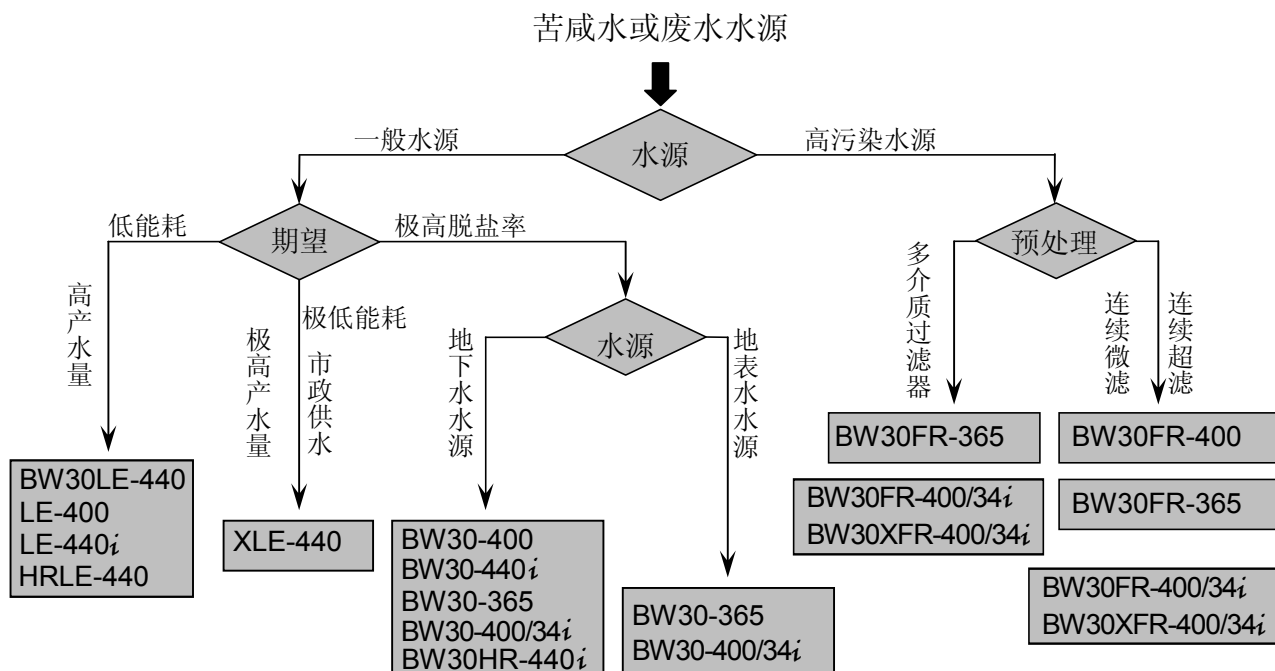
2-4.2 陶氏 FILMTEC 系列反渗透元件根据进水含盐量的选型指南



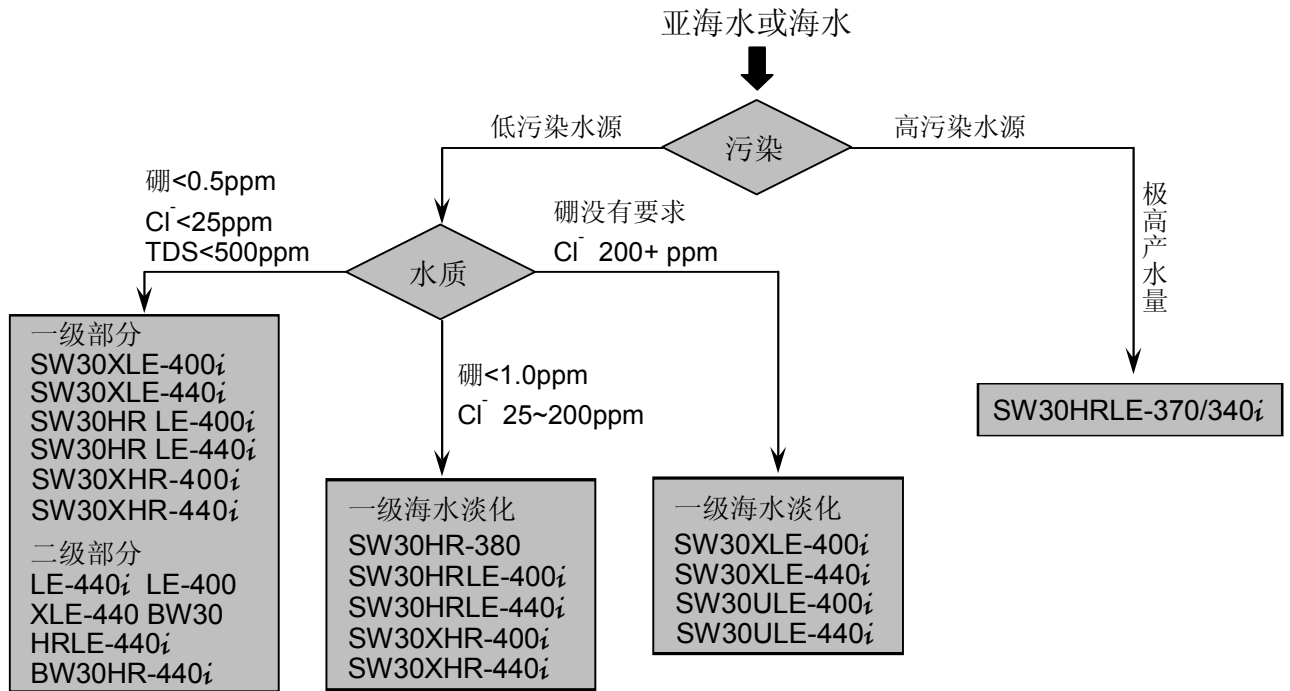
2-4.3 陶氏 FILMTEC 系列商用反渗透元件选型指南



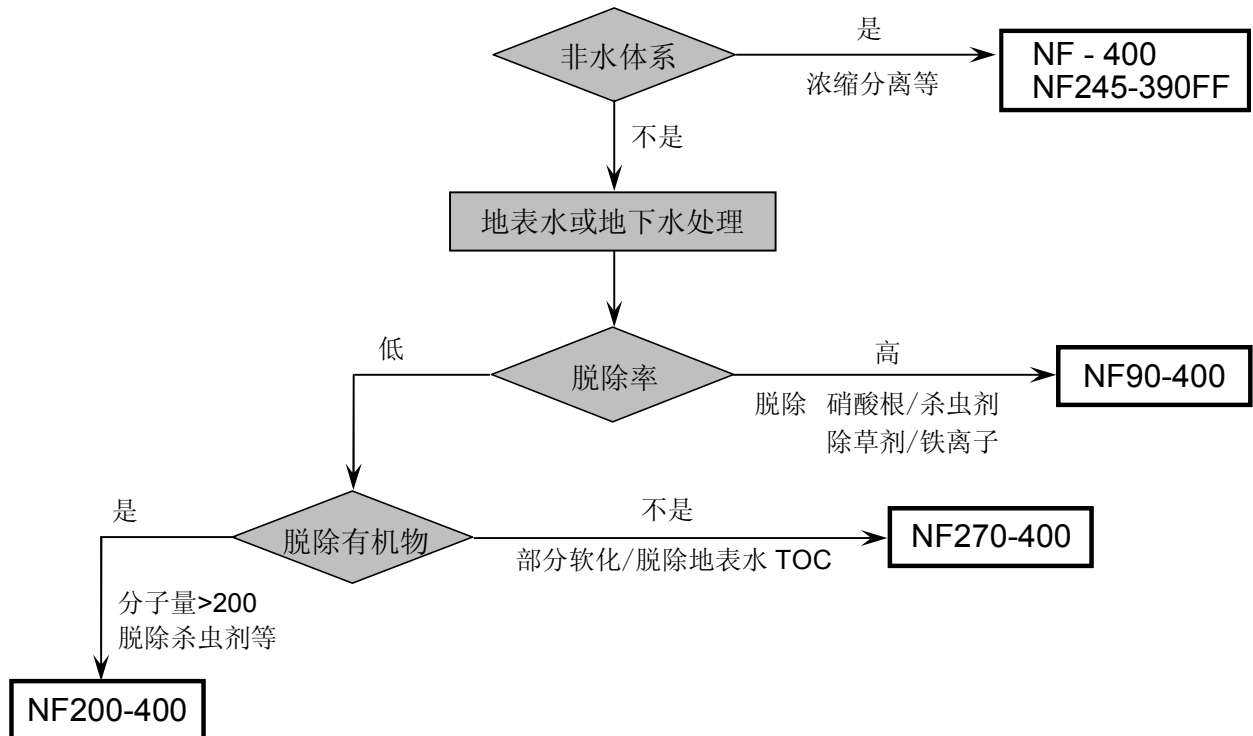
2-4.4 陶氏 FILMTEC 八英寸系列苦咸水反渗透元件选型指南



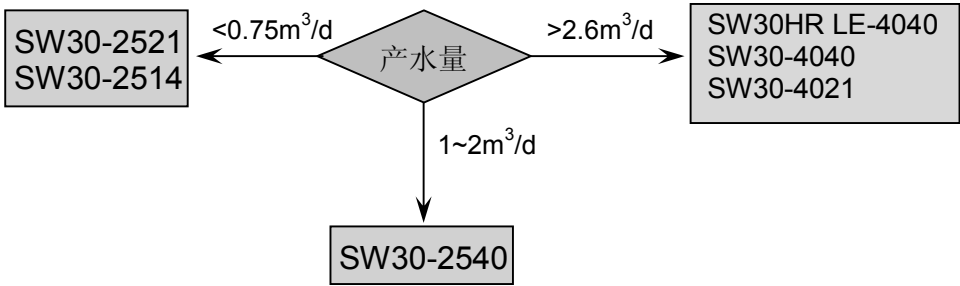
2-4.5 陶氏 FILMTEC 八英寸系列海水反渗透元件选型指南



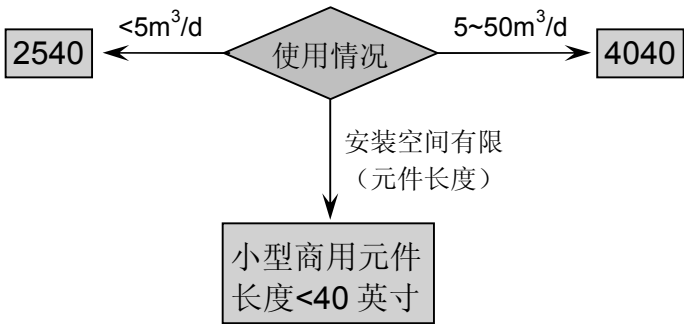
2-4.6 陶氏 FILMTEC 八英寸系列纳滤元件选型指南



2-4.7 陶氏 FILMTEC 系列船用海水反渗透元件选型指南



2-4.8 小型反渗透元件尺寸选择考虑



2-4.9 选用反渗透和纳滤设备时需要考虑些什么？

1. 摘 要

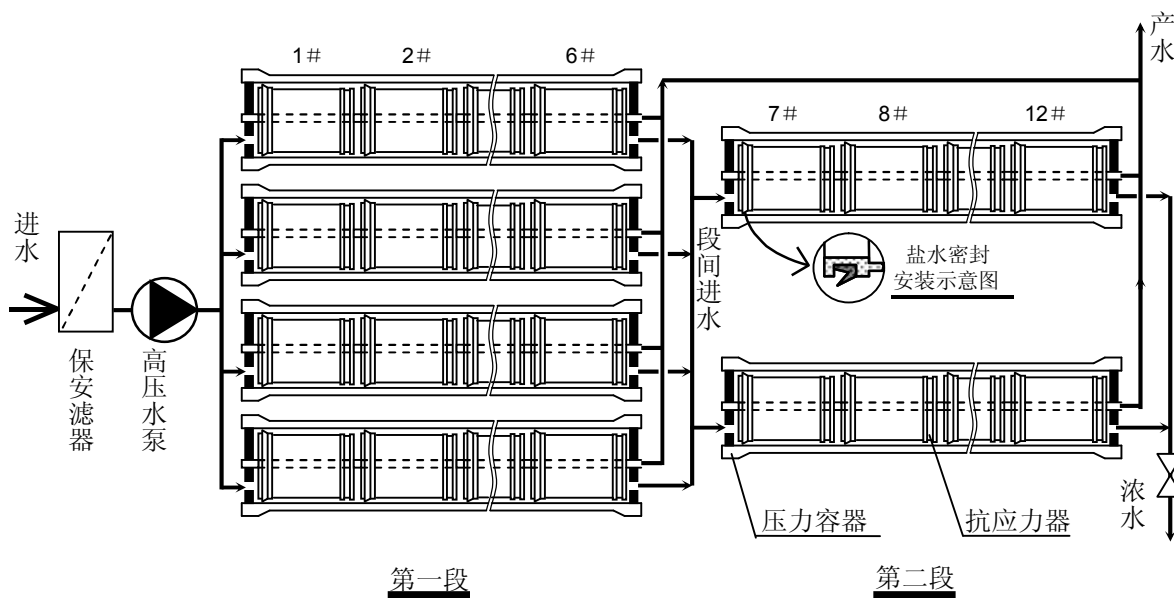
反渗透（RO）和纳滤（NF）系统的实际运行效果达不到用户的预期设计结果时，在很多情况下，常会导致最终用户运行费用的增加、失望和对供应商的不满。这些未预料到的结果，有部分原因是有一些最终用户对系统运行条件正确管理的必要性不太了解或没有引起足够的重视，以致使系统达不到预期的运行效果。更多的原因是对 RO 技术和设备理解的不全面，导致在项目准备和计划阶段不完善的选择。本文力图为用户阐述 RO 和 NF 系统的一些重要设计参数，以便使最终用户在选购设备时根据 RO 和 NF 的特点和自身的需要，使 RO 和 NF 的运行达到最佳的期望值。

2. 前 言

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

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

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



3. RO 和 NF 基础

为了优化系统的设计和运行，用户必须考虑 RO 和 NF 设计中的一些概念。RO 和 NF 是一种错流过滤技术，可以去除水中杂质，其分离能力达到去除离子的水平。毫无疑问，它可以去除较大的各类物质。但由胶体、水垢及微生物（细菌、病毒和藻类）引起的污染，是 RO 和 NF 系统运行面临的最主要的问题。为避免发生这些问题而造成不必要的花费，在系统设

计阶段，对这一潜在的污染问题就应采取考虑充分的预防措施。当你明白细菌怎样随时间繁殖，你就会明白为什么生物污堵是 RO 和 NF 系统最应重点关注的因素，地表水、废水和海水等富含微生物活性的水源是极易污染膜系统的水源。表 1 表明经过预处理后，即使只有一个细菌存活，在不长的时间内也可能会引发严重的膜系统微生物污染问题。

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

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

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

4. 进 水

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

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

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

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

5. 预处理

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

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

表 2 预处理设备设计参数

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

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

表 3 预处理评估准则

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

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

6. RO 和 NF 装置

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

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

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

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

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

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

7. 废弃物

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

8. 清洗

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

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

9. 结论

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

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

FILMTEC™ 膜元件

陶氏水处理及过程的解决方案 – 应该认真考虑的膜元件特性

问题 – 令人失望的反渗透膜元件性能

当设计一个反渗透系统并选择膜元件品牌时，除了产水量和脱盐率之外，其实有许多因素直接影响总的制水成本，需要极其慎重的加以考虑，下面将讨论在选择膜元件时对系统经济性有影响而必须考虑的因素。

陶氏水处理及过程的解决方案 – 高精度制造的FILMTEC™ 反渗透元件

反渗透有效膜面积，这是在设计系统时必需考虑的重要因素。总产水量与系统中膜元件的总有效膜面积成正比，由于反渗透系统是根据规定的通量（单位面积上的流量）作为设计基础，设计人员掌握元件的有效膜面积，才能设计出性能可靠的系统。当系统选用的膜元件的有效面积越大，同样的产水量，所需膜元件数、膜壳数及其它配件的量就越少，同时也意味着节省了设备空间，节约了系统的安装和维护费。陶氏 FilmTec 公司的高精度全自动生产线，能制造全系列达到规定有效膜面积的非常一致的膜元件。

进水流道的宽度，直接影响运行成本。进水流道越宽，系统对进水水质的要求和预处理设备不正常工况的要求相对来说越宽松。较宽的进水流道，还可以更有效的进行膜清洗，即使在高污染条件下，系统仍可维持较低的压降。陶氏 FILMTEC™ 膜元件拥有膜工业界最宽的进水流道，365ft² 膜元件为 34 密耳，400ft² 膜元件为 28 密耳，这意味着 FILMTEC™ 膜元件具有更长的使用寿命。

全自动膜元件卷制技术，才可制造出高度一致的、膜面积精确的元件。全自动生产技术不需要牺牲进水流道厚度，就可制造出最高膜面积的元件。此外，全自动生产技术在卷制时膜叶分布更均匀，这样进水流量分布也更均匀，全自动生产技术生产出的膜元件，其性能更一致更稳定，不再需要根据每支膜元件的测试数据，安装膜元件。陶氏所有 FILMTEC™ 膜元件均采用先进的全自动生产技术生产，系统投运更快，具有更稳定更长的系统性能。

更宽的清洗 pH 值范围，是实现有效清洗的关键所在。由于清洗液的 pH 值是去除膜元件内污染物的关键，膜元件本身所能承受的 pH 值范围越宽，则清洗效果就越好，而清洗越有效，清洗间隔时间就越长，每次清洗的耗时也就越少。陶氏 FILMTEC™ 膜元件具有膜工业界最宽的清洗 pH 值承受范围，即 pH1~13，这样，系统的清洗时间最省，清洗成本最低。

端面自锁连接技术，是陶氏对膜技术进步与创新承诺的表现，它成为系统设计者的另一个考虑因素。陶氏 FILMTEC™ 所研制的新型 iLEC™ 端面自锁连接技术的膜元件，不仅降低了系统运行费用，而且大大消除了因 O 型圈泄漏所导致的产水水质下降的风险。

制造过程中膜元件的氧化性氯处理，被许多膜制造商用来提高膜的初始性能。众所周知，氯或其它氧化剂会损害膜的性能，但行业内并没有多少人知道，许多膜制造商在出厂前用氯处理了膜元件。这样膜元件会表现出非常出色的初始性能，但随着时间的推移，膜性能衰减很快，更容易借故膜表面发生了氧化而拒绝客户的品保诉求。陶氏 FILMTEC™ 膜元件未经任何氯或其它氧化剂处理，因此使用寿命更长，客户就安心地知道，不需要与膜元件供应商妥协。

品种齐全的膜元件，适用于不同应用领域对膜元件性能的要求。无论是追求高脱盐率，低能耗还是低操作压力，总有一款陶氏 FILMTEC™ 膜元件满足你的需要，陶氏水处理事业部设计的膜元件适用于从井水低压处理到超纯水制备，请选择适合您最大效益的膜元件。

抗污染膜元件，比标准产品所需平均操作压力低（更低的压降），并可减少清洗频度。许多用户已经通过选用陶氏 FILMTEC™ 的 FR 抗污染膜元件降低了运行成本，有些 FILMTEC™ 膜元件采用了抗污染膜片。

FILMTEC™ 膜元件

陶氏水处理及过程的解决方案 – 膜元件不作氧化性后处理

潜在的问题

对膜元件进行氯化处理不仅大大缩短膜寿命，而且降低膜的长期性能。

当膜元件性能衰减很快，表现出脱盐率降低、难以在优化的条件下采取清洗方法恢复性能时，经过了氯化处理是其中一个很重要的原因。

多数膜制造商会警告用户避免让复合膜与氯接触，但实际上他们自己却在膜元件发运出厂前将膜元件预先氯化处理过，以获得短期的性能提升，但却带来了长期的性能快速下降。经氯化处理过的膜元件会带来许多长期缺陷：

- 膜的寿命会大大缩短。
- 膜对高 pH 清洗条件会高度敏感。
- 膜的脱盐率会随时间快速衰减。
- 膜对钠、硝酸盐、硼、荷电硅、砷酸盐等难脱除的“软离子”会呈现出更低的脱除率。
- 膜对低分子量有机物会表现出更低的脱除率。
- 运行过程中，膜会对水中的氧化性氯极其敏感。

陶氏水处理及过程的解决方案

卓越的质量和工艺控制，元件未经氯化工艺处理。

象多数膜制造商一样，陶氏水处理及过程解决方案业务部意识到膜与氧化性氯接触的危害性。这就是为什么我们坚持采用世界一流的质量控制和工艺控制手段，而摒弃氯化处理工艺，以确保我们的元件不仅具有短期的高性能，而且具有长期的最高性能——以便获得最长的使用寿命。

原子光谱化学分析 (ESCA) 实测的结果表明 FILMTEC™ 膜完全没有采用氯化处理 (见表 1)。

表 1.

名称	C	O	N	Cl	Br
BW30	73.5	16.2	10.4	未检测到	未检测到
SW30	74.2	15.3	10.5	未检测到	未检测到
SW30HR	74.8	15	10.2	未检测到	
XLE	75.9	10.9	13.4	未检测到	
品牌 A – 型号 1	72.2	14.8	11.8	0.97	
品牌 A – 型号 2	72.4	14.5	11.8	1.09	
品牌 A – 型号 3	74.1	14	11	0.87	
品牌 A – 型号 4	72.6	16.1	10.6	0.50	0.10
品牌 A – 型号 5	69.2	17.0	12.6	0.9	未检测到
品牌 B – 型号 1	75.2	11	12.3	0.4	
品牌 C – 型号 1	66.4	22.4	7.6	1.8	未检测到
品牌 D – 型号 1	71	17.7	10.4	0.75	

品牌 D – 型号 2	70.6	14.7	10.6	3.65
品牌 E – 型号 1	76.1	11.5	12.4	
品牌 F – 型号 1	73.6	13.5	11.8	0.98

† 多数制造商 – 包括那些预先将膜氯化处理 – 而后又警告用户不要让膜接触氯的制造商。比如，海德能公司就曾警告说，“聚酰胺反渗透复合膜无论如何不能与含氯给水接触。任何此类接触都会导致不可挽回的膜破坏”（摘自其技术服务公告 TSB107.09，2002 年 4 月）。

FILMTEC™ 膜元件

陶氏水处理及过程解决方案 - 选用高有效面积膜元件降低投资和运行费用

机遇 - 客户希望降低制水成本

具有高达 440 平方英尺有效膜面积的高有效面积的反渗透元件可使系统设计者具有更多的灵活性，提高系统的产水量和经济性。以下的例子说明系统设计者和操作者可自行选择，选用高有效膜面积的反渗透元件如何帮您减少初始投资（CAPEX）、降低运行费用（OPEX）或如何能够既减少投资又降低运行费用。

陶氏水处理及过程解决方案 - FILMTEC™ 高有效面积反渗透元件的灵活性

减少新系统的初始投资（CAPEX），设计者可以选用 FILMTEC™ 膜元件的高有效面积的优势，在设计同样产水通量时，减少了系统所需膜元件、压力外壳和别的系统配件组件的数量。例如，一个反渗透系统如选用 BW30-440i 膜元件的数量比选用 BW30-400 膜元件时要少 10%（比选用 365 平方英尺的膜元件时要少 20%），不仅膜元件的数量减少了，膜壳的数量和连接件的数量都减少了，因而不仅减少了总的初始投资，同时也缩小了系统的占地面积。

降低新系统和现行系统的运行费用（OPEX），设计者应该通过设计具有较低进水压力的系统来节约能耗。除了使用低能耗的膜元件之外，选用同样数量的高有效膜面积的标准膜元件，在低压和低通量参数下运行，同样可以降低系统进水压力。这种设计理念不仅降低了能耗，而且因为运行通量低，降低了膜元件的污染，最终节省了清洗费。

提高原有反渗透系统的出力，如果采用高有效膜面积的反渗透元件来替换系统原有的膜元件，在相同的进水压力和设计通量条件下，产水量将会提高 10%-20%，这样可节省原有系统扩容所需的系统改造费。

2-4.13 FILMTEC™膜元件 陶氏苦咸水系列产品概述

以最低的总成本获得最高的产水水质

陶氏公司生产的FILMTEC™反渗透膜元件适用于工业、市政、商用和饮用水应用的不同需要。我们先进的生产技术确保了FILMTEC™膜产品总是表现出卓越无比的性能和产水量以及最高的产品质量与稳定性。

无论你的水处理系统要求什么，FILMTEC™膜元件都能帮助你以最低的总成本获得最高的产水水质。基于对FILMTEC™膜及其它品牌产品的深入研究和评价，我们重新设计了苦咸水系列产品线，同时使设备投资和运行费用达到最优化，满足精确的成本与性能目标。

标准性能特征				结构特征			可靠性特征
测试进水压力 (psi)		产水流量 (gpd)	稳定脱盐率 (%)	iLEC™ 端面自锁技术	进水流道 宽度	有效膜面积 (ft²)	产水管内径 (in)
最高脱盐率	BW30-365	225	9,500	99.5		365	1.125
	BW30-400	225	10,500	99.5		400	1.125
	BW30-400/34i	225	10,500	99.5	■	400	1.125
	BW30-440i	225	11,500	99.5	■	440	1.125
	BW30HR-440i	225	12,650	99.7	■	440	1.125
低能耗	LE-400	150	11,500	99.3		400	1.125
	LE-440i	150	12,650	99.3	■	440	1.125
	HRLE-440i	150	12,650	99.5	■	440	1.125
	XLE-440	100	12,700	99.0		440	1.50
抗污染	BW30FR-365	225	9,500	99.5		365	1.125
	BW30FR-400	225	10,500	99.5		400	1.125
	BW30FR-400/34i	225	10,500	99.5	■	400	1.125
	BW30XFR-400/34i	225	11,500	99.65	■	400	1.125
	XFRLE-400/34i	150	11,500	99.4	■	400	1.125

BW30, BW30FR, BW30XFR- 膜元件的产水量和脱盐率基于以下标准条件: 2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.5 bar), 77°F (25°C), pH8, 回收率15%。
LE, HRLE, XFRLE- 膜元件的产水量和脱盐率基于以下标准条件: 2,000 ppm NaCl, 150 psi (10.3 bar), 77°F (25°C), pH8, 回收率15%。
XLE- 膜元件的产水量和脱盐率基于以下标准条件: 500 ppm NaCl, 100 psi (6.9 bar), 77°F (25°C), pH8, 回收率15%。

™陶氏化学公司或其附属公司的商标

你的主要希望是什么？



最高脱盐率				
需要抗微生物/有机物污染吗？				
是		否		
控制进水水质的能力		进水流量		
28mil	34mil	改进型 34mil 流量	28mil (进水流量较好控制)	34mil (进水流量有挑战或无法确定)
BW30FR-400	BW30FR-365 BW30FR-400/34i	BW30XFR-400/34i	最高产水量 +最低初期投资 选择 BW30-440i BW30HR-440i	较高产水量 +最低操作费用 选择 BW30-400/34i
			较高产水量 选择 BW30-400	元件价格低 选择 BW30-365

低耗能				
你选择的主要动机是什么？				
高脱盐 低能耗	最低耗能 选择	高脱盐率 +低耗能 选择	元件价格低 选择	
HRLE-440i	XLE-440	LE-440i HRLE-440i	LE-400	

FILMTEC™ 苦咸水膜元件的优点

每一支 FILMTEC™ 反渗透膜元件都采用了精心制造的 FILMTEC™ 反渗透膜片，并结合了我们独有的自动卷膜技术，生产出了目前世界上性能最稳定的产品。自动卷膜技术确保我们能在不牺牲进水流动宽度和外壳保护层厚度的前提下，制造出的膜元件有效膜面积最大，与其它品牌反渗透膜元件相比，FILMTEC™ 反渗透膜元件的膜片数量最多、长度最短，可以有效地减少污垢，使膜的产水效率最大，降低了运行成本。此外，不同于其它许多制造商对膜元件采用氧化性后处理提高产品性能，未经氧化性后处理，FILMTEC™ 反渗透膜元件就能提供很高的性能，比其它产品更耐用，并可经受更宽的 pH 范围（1-13），实现更有效地清洗。我们精心设计的产品独特优势如下：

① 最高脱盐率的 RO 膜元件

FILMTEC BW30HR-440i 膜元件

FILMTEC™ BW30HR-440i 元件是一款具有高产水量的高性能元件，实现了最高脱除率咸水的反渗透膜片和业界最大有效膜面积的完美融合。它不仅采用陶氏最新专有 BW30HR 膜片技术，旨在提供最高质量的（RO）产水，而且还采用了 28mil 进水流动道，具有良好的可清洗性，能在不增加操作通量的情况下最大限度地减少高纯度工业用水系统的投资成本。

- 在相同的工作压力下，与 FILMTEC BW30-400 元件相比，产水量增加 20%；与 BW30-440i 元件相比，产水量增加 10%，同时具有更高的脱除率，所以能减少新系统的投资成本，或提高现有系统的产水量。
- 在（RO）元件的使用寿命内，BW30HR 膜片对于系统操作人员最为关注的硅、硼、铵及硝酸根等溶质具有最大脱除率。
- 采用 iLEC™ 端面自锁连接技术，在降低系统运行成本的同时，减少了由于 O 型密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。
- 采用行业内标准的内径 1.125 英寸的产水中心管，便于同其它苦咸水元件互换。

FILMTEC BW30-440i 膜元件

FILMTEC™ BW30-440i 反渗透膜元件是目前工业领域里最大有效膜面积与高脱盐率 BW30 膜片完美结合的高产水量膜元件。适用于高纯水工业应用，不需要增加运行通量就可以减少设备投资。

- 在相同运行条件和高脱盐率下，产水量比 FILMTEC™ BW30-400 膜元件高 10%，能降低新系统设备投资，或增加现有系统产水量。
- 采用 iLEC™ 端面自锁连接技术，降低了系统运行成本并消除了由于 O 型密封圈泄漏造成产水水质下降的风险。

- 设计采用了工业标准的 1.125 英寸内径的产水管以便和其它苦咸水膜互换。

FILMTEC™ BW30-400/34i 膜元件

FILMTEC™ BW30-400/34i 反渗透膜元件适用于高污染或挑战性处理难度高的原水条件下使用，是高度耐用、高脱盐率、高产水性能的最佳产品，可在很低的制水成本下实现无故障运行。

- 进水流道为 34mil，降低了污垢对压力容器内压降的影响，并增强了清洗效果。
- 产品采用了业已被广泛验证的性能优越和产水量高的 FILMTEC™ BW30 反渗透膜片。
- 与膜面积为 365 平方英尺的元件相比，通过降低设备投资或运行成本，使制产总成本更低。
- 采用 iLEC 端面自锁连接技术，降低了系统运行成本并消除了由于 O 型密封圈泄漏造成产水水质下降的风险。

FILMTEC™ BW30-400 膜元件

该反渗透膜元件的高脱盐率性能价值，已经在工业领域得到广泛的认可和证明，在新系统中选用，可节约设备投资，替换现有系统膜元件可增加产水量。

与膜面积为 365 平方英尺的元件相比，该元件具有：

- 在新系统中选用，可节约设备投资。
- 替换现有系统膜元件产水量可增加 10% 的产水量。

FILMTEC™ BW30-365 元件

该反渗透膜元件在极宽的进水条件下，优良性能、脱盐率高和极其坚固、经久耐用，当价格是重要的选择依据时尤为合适。

- 进水流道为 34mil，降低了污垢并增强了清洗效果。
- 在工业水处理的应用领域，已有十多年的成功运行经验。

② 低能耗 RO 膜元件

FILMTEC™ HRLE-440i 膜元件

陶氏 FILMTEC™ HRLE-440i 元件代表了膜化学技术方面的突破性成就，与传统苦咸水元件相比，在提供 99.5% 同样出色的公称脱盐率的同时能将运行压力降低 33%；

- 与其它苦咸水反渗透元件相比，该新型低能耗反渗透系统能在提供同样产水水质的同时将能耗降低 1/3；
- 改装后，现有低能耗系统可实现比之前的低能耗元件更低的产水总溶解浓度；
- 低能耗和高脱除率的完美结合使其理想适用于二级海水反渗透和高纯水应用；
- 以陶氏建模软件为依托，可高效脱除二氧化硅、硼、硝酸盐及铵盐等；
- 可提高异丙醇脱除率（异丙醇脱除率通常可代替总有机碳脱除率）；
- 提供干式膜元件，贮存期更长并且便于搬运。

FILMTEC™ LE-440i 膜元件

FILMTEC™ LE-440i 反渗透膜元件是膜行业最大有效膜面积的低能耗膜元件。在工业和市政应用中表现了产水量高，运行能耗低，同时保持了高脱盐率、低运行费用和制水总成本低的优点。

- 在相同的产水量和运行通量下，操作压力比 FILMTEC™ BW30-440i 膜元件低 40%。
- 比 FILMTEC™ LE-400 膜元件产水量高 10%，产水水质相同，在超纯水应用领域，制水总成本最低。
- 采用 iLEC 端面自锁连接技术，降低了系统运行成本并消除了由于 O 型密封圈泄漏造成产水水质下降的风险。
- 设计采用了工业标准的 1.125 英寸内径的产水管以便和其它苦咸水膜互换。

FILMTEC™ LE-400 膜元件

FILMTEC™ LE-400 反渗透膜元件是适用于工业和市政领域的低压、低能耗元件。在新系统中使用或替换现有系统元件时可节省能耗，当能耗和元件价格是重要的选用依据时尤其适用。

- 当产水量相同时，比 FILMTEC™ BW30-400 膜元件运行压力低 40%。
- 表现出与 FILMTEC™ BW30-400 膜元件相同结构所具备的可靠性和高产水量，能耗和运行费用低。
- FILMTEC™ LE-400 新型膜元件采用了工业标准的 1.125 英寸内径的产水管，以便和其它元件互换。

FILMTEC™ XLE-440 膜元件

FILMTEC™ XLE-440 反渗透膜元件是适用于市政或二级海水淡化第二级中能能耗最低，有效膜面积最大的膜元件。

- 当产水 TDS 要求不太严格时，通过减少设备投资和运行费用，可实现总制水成本最低。
- 只需要 FILMTEC™ BW30-400i 膜元件不到一半的进水压力，就可获得相同的产水量。

③ 抗污染 RO 膜元件

1). FILMTEC™ BW30XFR-400/34i 极强型抗污染膜元件

FILMTEC™ BW30XFR-400/34i 是一款优化设计，采用优质材料生产而成的高耐用性、高脱除率、高产水量元件，可有效净化存在生物污染和有机污染倾向的用水。该反渗透膜 (RO) 元件结合陶氏具有一流抗有机污染能力和可清洗性的最新专利 BW30XFR 膜片技术，不仅提供了出色的抗污染能力、超强的耐用性，而且它还采用精心优化的 34 mil 进水通道，明显提高了清洗效果。以上新技术使得该螺旋卷式结构的苦咸水反渗透膜元件在整个生命周期中性能出众。

- 最先进的 FILMTEC™ 反渗透膜片具有最宽泛的清洗 pH 值范围 (pH 1-13)，可以快速有效地清除生物膜、有机化合物和结垢。
- 在相同工作压力下，与 FILMTEC BW30-400/34i 或 BW30FR-400/34i 元件相比，FILMTEC™ BW30XFR-400/34i 的产水量提高 10%，且具有更高的脱除率，从而可以降低新系统的投资成本，或提高现有系统的产水量。
- 采用全新的优化的 34mil 进水通道，提高了膜元件的清洗效果，有效降低膜污染的影响。
- 系统具有高度可靠的完整性与安全性，iLEC™ 端面自锁连接技术不仅降低了系统运行成本，而且最大限度地减少了由于 O 形密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。

2). FILMTEC™ XFRLE-400/34i 极强型抗污染低能耗膜元件

陶氏 FILMTEC™ XFRLE-400/34i 元件代表着陶氏在处理城市污水、工业废水或低质量地表水等具有高度生物污染或有机污染倾向的低水质给水方面的最新创新：

- 经验证，陶氏 FILMTEC XFRLE-400/34i 具有良好的抗污染化学性能，运行压力可降低 30% 以上
- 采用 34 mil 进水通道宽度，能最大限度地减少压降、降低污染影响、提高清洁效率
- 具备广泛的化学耐受能力，可在 1-13 的 pH 值范围内对生物膜、有机化合物及污垢进行高效清洗
- 可高效清除硝酸盐、铵盐或二氧化硅等特殊溶解物
- 采用专利 iLEC™ 端面自锁技术实现高度完整性，能最大限度降低密封圈泄漏导致的水质下降的风险

3). FILMTEC™ BW30FR-400/34i 抗污染膜元件（以前命名为 BW30-400/34iFR）

- 进水通道为 34mil，降低了污垢对压力容器内压降的影响，并增强了清洗效果。
- 该抗污染膜元件在高生物污染的进水条件下，减少了膜污染，降低了系统平均运行压力，延长了膜使用寿命。

- 产品采用了业已被广泛验证的性能优越和产水量高的 FILMTEC™ BW30 反渗透膜片。
- 与膜面积为 365 平方英尺的元件相比，通过降低设备投资或运行成本，使制产总成本更低。
- 采用 4LEC™ 端面自锁连接技术，降低了系统运行成本并消除了由于 O 型密封圈泄漏造成产水水质下降的风险。

4). FILMTEC™ BW30FR-400 抗污染膜元件（以前命名为 BW30-400FR）

该膜元件在大型系统中的抗污染性能得到广泛印证。

- 在用 UF/MF 等运行控制良好的预处理系统中，能处理有很高生物污染或有机物污染倾向的水源。
- 在大型高污染水处理系统中，表现了最佳的长期经济性和最低的故障率。

5). FILMTEC™ BW30FR-365 抗污染膜元件（以前命名为 BW30-365FR）

它已成为水处理系统膜元件抗污染性能的工业标准产品。

- 该抗污染膜元件在高生物污染的进水条件下，减少了膜污染，降低了系统平均运行压力，延长了膜使用寿命。
- 进水流量为 34mil，减少污垢对压力容器内压降的影响，尤其是在进水或预处理条件不稳定的系统中，提高了膜元件的清洗效果。

2-4.14 FILMTEC™ 膜元件 陶氏海水淡化系列产品选用比较

以最低的总成本获得最高的产水水质

陶氏公司生产的 FILMTEC™ 反渗透膜元件适用于工业、市政、商用和饮用水应用的不同需要。我们先进的生产技术确保了 FILMTEC™ 膜产品总是表现出卓越的性能和产水量以及最高的产品质量与稳定性。

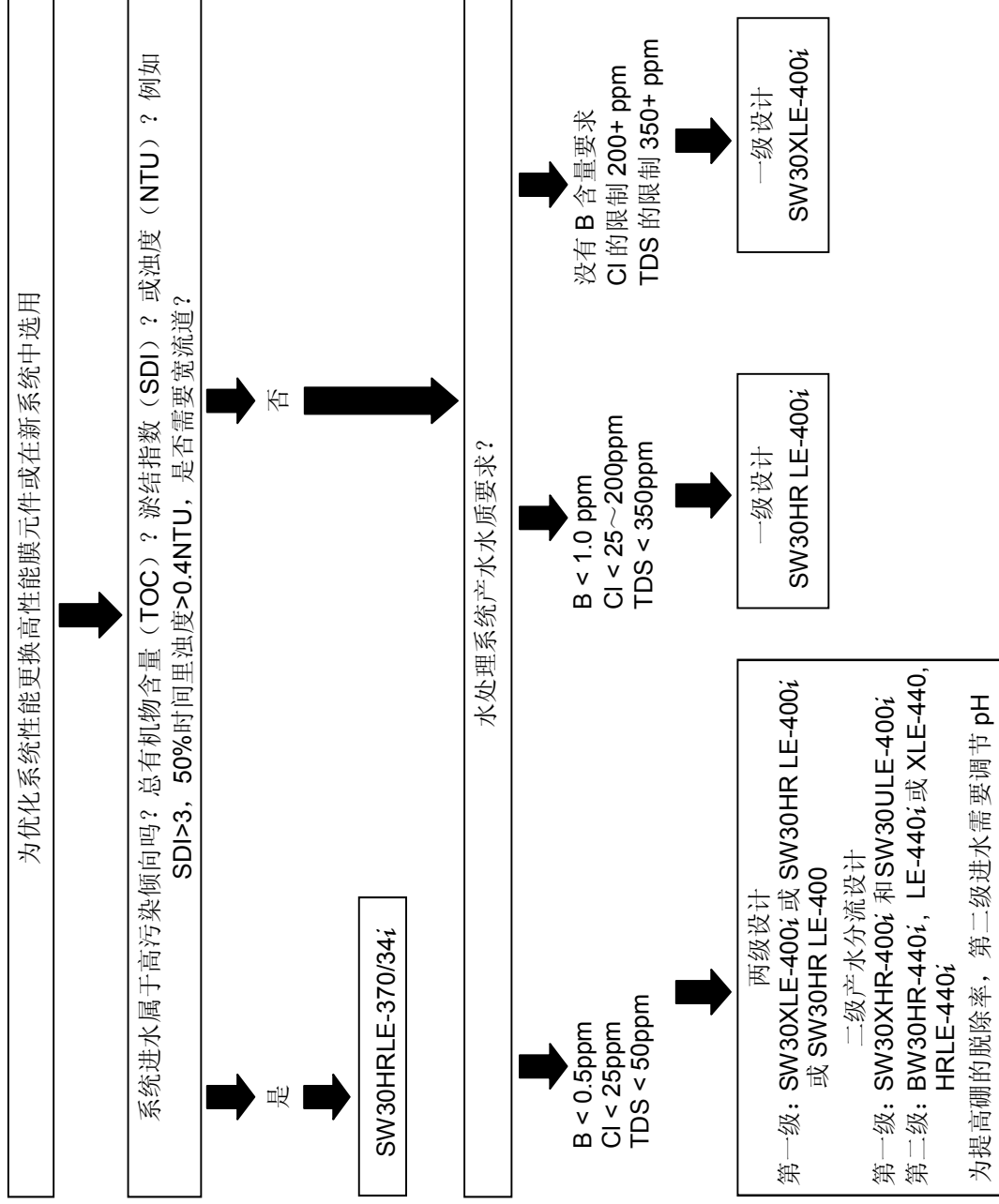
无论你的水处理系统要求什么，FILMTEC™ 膜元件都能帮助你以最低的总成本获得最高的产水水质。基于对 FILMTEC™ 膜及其它品牌产品的深入研究和评价，我们重新设计了海水淡化系列产品线，同时使水处理设备的投资和运行费用达到最优化，满足精确的成本与性能目标。

陶氏FILMTEC™ 海水淡化 8 英寸400、370平方英尺膜元件

产品名	SW30XHR-400i	SW30HR LE-400i	SW30XLE-400i	SW30ULE-400i	SW30HRLE-370/34i
定位	极高脱盐率的海水淡化元件，带有 iLEC™ 端面自锁连接技术	目前市场上广泛应用的海水淡化元件，在高/低含盐量进水条件下，以最低的总成本获得最高的脱盐率，可带有 iLEC™ 端面自锁连接技术	极低能耗的海水淡化元件，为海水淡化运行费用设定了新的标准，带有 iLEC™ 端面自锁连接技术	超低能耗的海水淡化元件，带有 iLEC™ 端面自锁连接技术	34mil 进水流道高脱盐海水淡化膜元件，带有 iLEC™ 端面自锁连接技术
产水量 gpd (m³/d)	6,000 (23)	7,500 (28.4)	9,000 (34.1)	11,000 (41.6)	6,700 (25.4)
稳定脱盐率 %	99.82	99.80	99.75	99.70	99.80
稳定脱硼率 %	93	92	88	89	92
最大操作压力 psi (bar)	1,200 (83)	1,200 (83)	1,200 (83)	1,200 (83)	1,200 (83)
有效过滤面积 ft² (m²)	400 (37.2)	400 (37.2)	400 (37.2)	400 (37.2)	370 (34.4)
浓水流道 mil (mm)	28	28	28	28	34

注：当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
同时也有 440 ft² 的膜元件，产水量可提高 10%。
以上数据基于标准测试条件：32,000 ppm NaCl, 800 psi (5.5 MPa), 77°F (25°C), pH 8 and 8% 回收率。
单支膜元件的产水量的波动范围 +/-15%。
膜元件类型后端的 “i” 表示 iLEC™ 端面自锁连接技术。

陶氏 FILMTEC™ 海水淡化膜元件选择指南



陶氏FILMTEC™ 海水 淡化膜元件的优点

每一支 FILMTEC™ 反渗透膜元件都采用了精心制造的 FILMTEC™ 反渗透膜片，并结合了我们独有的自动卷膜技术，生产出了目前世界上性能最稳定的产品。自动卷膜技术确保我们能在不牺牲进水流量宽度和外壳保护层厚度的前提下，制造出的膜元件有效膜面积最大，与其它品牌反渗透膜元件相比，FILMTEC™ 反渗透膜元件的膜片数量最多、长度最短，可以有效地减少污堵，使膜的产水效率最大，降低了运行成本。此外，不同于其它许多制造商对膜元件采用氧化性后处理提高产品性能，未经氧化性后处理，FILMTEC™ 反渗透膜元件就能提供很高的性能，比其它产品更耐用，并可经受更宽的 pH 范围 (1-12)，实现更有效地清洗。

我们精心设计的产品的独特优势如下：

FILMTEC™ SW30XHR-400i 膜元件

在陶氏 FILMTEC 元件中，陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-400i 元件是脱盐率最高的海水反渗透元件，在多数情况下，采用一级海水反渗透系统就可达到严格的水质要求。陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-400i 元件具有如下优点：

- 脱盐脱硼率极高，能以更高的成本效率满足世界卫生组织 (WHO) 及其它饮用水标准；
- 此元件采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，不仅能降低系统运行成本，而且还能减少 O 形密封圈泄漏导致的水质下降的风险；
- 拥有 400 平方英尺的保证有效膜面积，这不仅可实现生产率最大化，同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量；
- 在产水分流式海水淡化系统中实现有效利用，不影响下游工艺的性能；
- 由于不采用氧化后处理，从而保证在元件运行周期过程中提供高性能。因此，与其它反渗透元件相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且能够在更宽泛的 pH 值范围 (1-13) 内进行清洗；
- 采用自动化精密制造工艺，且拥有更多更短的电影片，从而降低了整体污染程度，并最大程度地提高了元件效率。

FILMTEC™ SW30XHR-440i 膜元件

在陶氏 FILMTEC 元件产品中，陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-440i 元件是脱盐率最高的海水反渗透产品，在多数情况下，采用一级海水反渗透系统都可完全达到严格的水质要求。此外，由于此元件的有效膜面积最大、进水流道较宽，有助于降低清洗频率并提高清洗效率，从而实现可持续的较低运行周期成本。陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-440i 元件具有如下优势：

- 脱盐脱硼率最高，能以更高的成本效率满足世界卫生组织 (WHO) 及其它饮用水标准；
- 拥有 440 平方英尺 (41 平方米) 的最大保证有效膜面积，这不仅可实现生产率最大化，使系统成本降至最低，同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量；
- 同时拥有最大有效膜面积和进水流道宽度 (28 mil)，有助于降低清洗频率并提高清洗效率；
- 此元件采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，不仅能降低系统运行成本，而且还能减少 O 形密封圈泄漏导致的水质下降的风险（有关成本节约优势的说明，请参考文件：609-00446）；

- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理，从而保证在元件运行周期过程中提供可持续的高性能。因此，与采用氧化处理的其它反渗透产品相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且在广泛的 pH 值范围 (1-13) 内达到更有效的清洗；
- 在产水式海水淡化系统中实现有效利用，不影响下游工艺的性能。

FILMTEC™ SW30HR LE-400 膜元件

- 更大的产水量和极高的脱盐率，确保处理高含盐量进水时总成本更低。
- 最高的 NaCl 脱除率和很高的硼脱除率，满足世界卫生组织及其它组织的饮用水标准。
- 当以更高的产水量和回收率运行时可减少设备投资，或通过最低的能耗降低运行成本。
- 在不牺牲进水流道厚度和外壳保护层厚度的前提下具有最大的有效膜面积。
- 在不牺牲下游性能的情况下，用于海水多级深度淡化系统中。

FILMTEC™ SW30HR LE-400i 膜元件

- 更大的产水量和极高的脱盐率，确保处理高含盐量进水时总成本更低。
- 最高的 NaCl 脱除率和很高的硼脱除率，满足世界卫生组织及其它组织的饮用水标准。
- 当以更高的产水量和回收率运行时可减少设备投资，或通过最低的能耗降低运行成本。
- 在不牺牲进水流道厚度和外壳保护层厚度的前提下具有最大的有效膜面积。
- 在不牺牲下游性能的情况下，用于海水多级深度淡化系统中。
- 采用 iLEC™ 端面自锁连接技术，降低了系统运行成本并消除了由于 O 型密封圈泄漏造成产水水质下降的风险。

FILMTEC™ SW30HR LE-440i 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-440i 元件不仅具有高脱盐率、低能耗等优异特性，同时还是陶氏膜元件中拥有最大有效膜面积和进水流道宽度的一款产品，在中高盐度进水条件下可实现可持续较低运行周期成本。陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-440i 元件具有如下优势：

- 该系统设计旨在通过降低能耗来减少运营成本；或者在较低运行通量条件下通过提高生产率来降低投资成本。
- 脱盐脱硼率高，能满足世界卫生组织 (WHO) 及其它饮用水标准。
- 拥有 440 平方英尺 (41 平方米) 的最大保证有效膜面积，这不仅可实现生产率最大化，使系统成本降至最低，同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量。
- 同时拥有最大有效膜面积和进水流道宽度 (28 mil)，有助于降低清洗频率并提高清洗效率。
- 采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，有助于降低运营成本和 O 形环泄漏导致的水质下降的风险（有关成本节约优势的说明，请参考文件：609-00446）。

- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理，从而保证元件运行周期过程中的可持续高性能。因此与采用氧化处理的其它反渗透产品相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且在更广泛的 pH 值范围 (1-13) 下达到更有效的清洗。
- 在产水式海水淡化系统中实现有效利用，不影响下游工艺的性能。

FILMTEC™ SW30HRLE-370/34i 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HRLE-370/34i 是一种高耐久性、高脱除率、高生产率海水元件，用于污染严重或给水条件严苛的情况下，有助于系统的稳定运行和产水成本的降低。

陶氏 FILMTEC™ SW30HRLE-370/34i 元件具有如下优势：

- 进水流道宽度 34 mil，能减少污染对容器压降的影响、改善清洗效果；
- 有效膜面积 370 平方英尺，不仅能实现生产率最大化，还能实现精确可预测的系统设计与运行通量；
- 采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，有助于降低系统运行成本和 O 形密封圈泄漏的风险，以免导致水质下降；
- 可有效用于产水分流式海水淡化系统，且不影响下游段的性能；
- 在整个运行周期内都能保持高性能，无需进行氧化后处理。陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且能在更广泛的 pH 值范围 (1-13) 内进行清洗；
- 采用自动化精密制作工艺，制造出更多更短的电影片，能够降低总体污染，实现元件效率最大化。

FILMTEC™ SW30XLE-400i 膜元件

- 同时具有卓越的产水量和脱盐率，实现最低的制水总成本。
- 市场上能耗最低的海水淡化膜元件，确保最低的运行成本。
- 可通过最低的能耗降低运行成本，也可以以更高的产水量和回收率运行，减少设备投资。
- 在不牺牲进水流道厚度和外壳保护层厚度的前提下具有最大的有效膜面积。
- 适合应用于两级海水淡化和高含盐量 (TDS) 苦咸水淡化系统。
- 在不牺牲下游性能的情况下，用于海水多级深度淡化系统中。
- 采用 iLEC™ 端面自锁连接技术，降低了系统运行成本并消除了由于 O 型密封圈泄漏造成产水水质下降的风险。

FILMTEC™ SW30ULE-400i 膜元件

FILMTEC™ SW30ULE-400i 是业界产水量最高的元件之一，具有优异的脱盐和脱硼能力，从而可使投资成本和运营成本大幅削减，特别是该元件在相同压力容器中采用“内部分段式设计 (ISD)”法与其他类型的元件混合使用的情况下。FILMTEC™ SW30ULE-400i 元件具有如下优点：

- 业界产水量最高的海水反渗透元件之一，能大幅降低海水反渗透系统的投资成本和运营成本。

- 高脱盐和脱硼能力，可满足世界卫生组织 (WHO) 及其它组织的饮用水标准要求。
- 有效用于产水分流式海水淡化系统，且不影响下游工艺的性能。
- 在整个运行周期内都能保持高性能，无需进行氧化后处理。
- 采用自动化精密制作工艺，制造出更多更短更薄的膜片，能够降低总体污染，实现元件效率最大化。

FILMTEC™ SW300ULE-440i 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW300ULE-440i 元件是中低给水盐度和温度条件下实现产水质量要求严格的产水分流系统和给水盐度较高的苦咸水应用的理想选择。其既具有业界最高的可持续流量，又具有优异的脱盐和脱硼能力。上述性能可使投资成本和运营成本大幅削减，特别是该元件在相同压力容器采用“内部分段式设计 (ISD)”法与其他类型的元件混合使用的情况下。此外，该款陶氏 FILMTEC 膜结合了最大的有效膜面积与较宽的进水流动，能够提升生产率并降低清洗频次，进而可持续地降低运行周期成本。陶氏 FILMTEC™ SW300ULE-440i 元件具有如下优势：

- 业界最高的海水反渗透元件流量。结合其高脱除率，能实现超低能耗，从而将海水系统的投资成本和运营成本降至最低。
- 最大的保证有效膜面积——440 平方英尺 (41 平方米)。这能够尽可能地提高生产率，实现精确和可预测的系统设计和运行通量，从而将系统成本降至最低。
- 将最大有效面积与进水流动宽度 (28mil) 相结合，可降低清洗频次，提升清洗效率。
- 使用出色的 iLEC™ 端面自锁连接技术，帮助降低系统运营成本，减少导致水质下降的密封圈泄漏风险（节约成本方面的优势请参见第 609-00446 号表单）。
- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理，从而保证元件运行周期过程中的可持续高性能。因此与采用氧化处理的其它反渗透产品相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且在更宽泛的 pH 值范围下达到更有效的清洗。
- 能在不降低下游段性能的情况下，有效地用于产水分流式海水淡化处理系统中。
- 自动化精密制造，能够生产出数量更多、更短更薄的膜片，从而降低总体污染情况，最大程度地提高元件效率，降低运行成本。

FILMTEC™ SW30HR-380 膜元件

- 高有效膜面积，高产水量和高脱盐率。
- 经过多年的成功应用经验证实，它已成为海水淡化膜元件的工业标准。
- 最高的硼脱除率，以满足世界卫生组织及其它组织的饮用水标准，适用于一级海水淡化系统。

2-5 陶氏 FILMTEC™膜元件选用情况汇报

2-5.1 陶氏膜元件应用业绩概况

众所周知，陶氏水处理及过程解决方案业务部是复合膜的发明者，其开发的芳香族聚酰胺复合膜（简称 FT30）成为世界膜分离技术发展的里程碑，八十年代中期 FilmTec 公司成为陶氏化学公司的全资子公司，加强了其科技领先的地位。经过世界各地二十多年各种使用条件的验证，陶氏 FILMTEC™表现出卓越的长期稳定性和可靠性，成为水和废水处理领域高质量元件的标志，陶氏水处理及过程解决方案业务部成为举世公认的全球最大反渗透和纳滤膜制造商和膜技术的领导者。近二十年来，膜法水处理系统经过国内工程公司和终端用户的共同努力，日益完善，并在海水淡化、废水 / 高污染水和市政给水处理等领域的推广应用取得了巨大的成功。与其它同类产品相比，陶氏 FILMTEC™元件为用户节约了相当可观的运行费用，国内重要项目选用情况简介如下：

一、国内最大的市政废水深度处理	→天津泰达新水源公司，规模 24,000 吨 / 天反渗透系统
	→北京经济技术开发区（BDA），规模 19,000 吨 / 天反渗透系统
二、国内最大的高污染黄浦江水处理	→上海宝山钢铁集团，规模 33,600 吨 / 天反渗透系统
三、国内最大的钢铁厂废水回用处理	→山西太原钢铁集团，规模 91,000 吨 / 天反渗透系统
	→河北邯郸钢铁集团，规模 150,000 吨 / 天反渗透系统
四、国内最大的石化废水回用处理	→北京燕山石化公司，规模 24,000 吨 / 天反渗透系统
五、国内最大的高污染地表水处理	→上海漕泾化工园区热电厂，规模 24,000 吨 / 天反渗透系统
	→浙江慈溪净水厂，规模 20,000 吨 / 天反渗透系统
六、国内最大的高波动盐含量地表水处理	→广东理文纸业，规模 72,000 吨 / 天反渗透系统
七、国内最大和最重要的海水淡化项目	→华能玉环电厂（规模 30,000 吨 / 天）、浙能乐清电厂（规模 20,000 吨 / 天）、 国电庄河电厂（规模 12,700 吨 / 天）、华能营口电厂（规模 9,600 吨 / 天）、 华能威海电厂、华能大连电厂、青岛电厂、王滩电厂、大连石化、山东 荣城万吨级国家攻关项目、浙江嵊泗和山东长岛市政给水海水淡化等， 陶氏海水淡化膜元件使用量最大，性能稳定；陶氏中小型海水膜元件成 为沿海岛屿、海军舰艇和远洋渔轮上小型海水淡化装置的关键部件
八、国内最著名的食品饮料项目	→可口可乐、雀巢、乐百氏、养生堂农夫山泉、正广和、康师傅、青岛啤酒等， 国内瓶装或桶装饮用纯净水事业源自九十年代中期使用陶氏 FILMTEC™ 品牌的反渗透复合膜；目前陶氏家用膜元件成为出口或高档家用纯水机 的核心标志
九、国内大型一流或重点电力电子通讯 石油化工汽车医药等企业	→电力系统如上海外高桥 / 石洞口 / 浙江嘉兴 / 山东众和电厂 / 周口电厂 / 白 洋河电厂，众多热电厂和自备电厂如太阳纸业 / 东海热电 / 天津热源 / 聊 城热电，济钢，邯钢，长城铝业，首钢 NEC / 华晶 / 华越电子 / 苏州和舰 UMC / 摩托罗拉，兰炼 / 宏信化工 / 东方化工 / 河南新乡白鹭化纤，国内 几乎所有显像管生产企业，上海通用汽车，广州宝洁，西安杨森 / 华瑞 / 中美华东制药等著名制药企业
十、世界上最高膜面积（440ft ² ）的 LE-440，BW30LE-440 膜元件， 成为超纯水系统的标准选型	→奇美电子（规模 86,000 吨 / 天）、美光、台积电 Fab3,4,6 厂、日月光集团、 广辉、统宝光电等均选用该产品

十一、陶氏纳滤膜在抗生素浓缩分离、重金属回收、管道饮用水净化系统（高档宾馆）上得到广泛应用，法国巴黎日产 14 万吨纳滤膜法市政供水系统已成功运行 6 年多，台湾高雄市也兴建相当规模的使用陶氏纳滤膜的市政供水系统，这将推动膜技术进入广阔的市政应用领域

如您需要了解更多陶氏膜元件的中文详细资料，请联络陶氏水处理及过程解决方案业务部。

上海：0086-(0)21-3851 1000

北京：0086-(0)10-8527 9199

广州：0086-(0)20-3813 0600

台北：00886-(0)2-2771 8000

www.dowwaterandprocess.com

2-5.2 陶氏抗污染膜元件应用业绩简介

1996 年初，陶氏 FilmTec 子公司在世界上首先推出第一代的抗污染膜（FR1）；1998 年第一季度，第二代的抗污染膜（FR2）开发成功，它增强了抵抗微生物在膜表面的吸附能力；2001 年，抗污染膜又进一步发展成统一的 FR 系列。FILMTEC™ 品牌的抗污染膜是公认的性能更高、更一致且更稳定的第一品牌。经用户长期使用证明，其寿命长，不易污染，清洗恢复性好，市场占有率世界第一。因而著名工程公司和重要用户在设计水处理项目时总是首先选择陶氏品牌，它广泛用于电力、石化、钢铁、电子、医药、食品饮料、市政及环保等领域，在海水及苦咸水淡化，锅炉给水、工业纯水及电子级超纯水制备，饮用纯净水生产，废水处理及特种分离过程中发挥着重要作用，目前国内最大的废水处理项目均选用了陶氏 FILMTEC™ 品牌。

众所周知，陶氏标准膜元件也拥有优越的抗污染能力，在抗污染膜开发成功之前已成功用于日本新日铁公司和印度马德拉斯化肥厂等地的废水回用项目上。现列举几个在亚太区特别是国内的抗污染膜应用业绩，其中包括采用传统预处理流程进行大型废水处理的项目（表中第一个项目，其预处理采用了二级传统多介质滤器，在 2002 年国际脱盐会议上介绍了其成功的经验，详见第十章），表中第二个项目为 2003 年投运的目前全世界最大抗污染应用项目：

编 号	使用点	进水水质	规 模	元 件 型 号	备 注
1	SUT/ 新加坡	二级废水	30,000 m³/d	BW30-365FR	传统预处理
2	EL ATABAL/ 西班牙	高污染地表水	165,000 m³/d	BW30-400FR	世界最大
3	Luggage/ 澳洲	二级废水	14,000 m³/d	BW30-365FR	英国石油
4	悉尼奥运会馆	二级废水	2,000 m³/d	BW30-365FR	环保型奥运
5	沧州 / 河北省	反渗透浓水回收	1,800 m³/d	BW30-365FR	提高回收率
6	嘉兴 / 浙江省	高污染地表水	8,640 m³/d	BW30-365FR	传统预处理
7	天津新水源 / 天津	开发区废水	24,000 m³/d	BW30-400/34iFR	预处理 MF
8	临沂 / 山东省	废水	150 支膜	BW30-365FR	有价值浓缩
9	兰州 / 甘肃省	黄河水	12,000 m³/d	BW30-365FR	石化系统
10	宝钢集团 / 上海	高污染黄浦江水	33,600 m³/d	BW30-365FR	钢铁系统
11	太钢集团 / 山西省	炼钢废水 / 城市中水等	91,000 吨 / 天	BW30-365FR BW30-400FR	钢铁系统
12	新乡 / 河南省	循环废水	14,400 m³/d	BW30-365FR	化纤行业
13	无锡市 / 江苏省	富营养化太湖水	5,760 m³/d	BW30-365FR	更换其它品牌
14	惠州 / 广东省	给水 / 反渗透浓水回收	12,000 m³/d	BW30-365FR	预处理 UF
15	定曲 / 河北省	电厂给水	5,400 m³/d	BW30-365FR	传统预处理

™陶氏化学公司或其附属公司的商标

16	燕山石化 / 北京	生产废水	24,000 m ³ /d	BW30-400FR	预处理 MF
17	漕泾化工园区 / 上海	高污染地表水	24,000 m ³ /d	BW30-400FR	预处理 UF
18	河北邯郸钢铁集团	钢铁废水 / 城市中水 / 高污染地表水	150,000 吨 / 天	BW30-365FR BW30-400FR	预处理 UF
19	北京经济技术开发区	城市中水	19,000 吨 / 天	BW30-365FR	预处理 MF
20	北京北小河污水处理厂 (供奥林匹克公园)	城市中水	12,000 吨 / 天	BW30-365FR	预处理 MBR
21	广东佛山	纺织废水	24,000 吨 / 天	BW30-400FR	预处理 UF
22	广东东莞	高污染、TDS 高波动地表水	72,000 吨 / 天	BW30-400FR BW30-400/34iFR	预处理 MMF+UF
23	天津	城市中水	30,000 吨 / 天	BW30-365FR	钢铁工艺用水
24	河北承德	钢铁废水	24,000 吨 / 天	BW30-365FR	钢铁工艺用水

陶氏抗污染元件具有优异的化学稳定性和品质一致性，耐强烈无机酸碱清洗，特别适应国内广泛多变的进水水质以及各种不同的操作管理水平，表现出长寿命和无故障的特点，使选用陶氏膜的系统实现了“以最低的运行成本，实现最高的产水品质”，在广泛的工业应用领域占有绝对的市场份额。

2-5.3 陶氏海水淡化膜元件应用业绩简介

因为海岸方位的原因，我国近海岸海水悬浮物及胶体杂质含量高，同时有机物和微生物等类污染严重，要求海水膜元件的抗污染能力更高、更坚固更耐清洗。陶氏水处理及过程解决方案业务部是复合膜的发明者，经世界各地多年来各种海水水源的使用表明，陶氏海水膜元件综合性能最高，因而著名工程公司和重要用户在设计海水淡化项目时总是优先选择陶氏 FILMTEC™ 品牌，造成了相当长时期的供不应求。国内用户反映，其稳定性高，寿命长，不易污染，清洗恢复性好。陶氏 FILMTEC™ 海水膜元件在大中型海水淡化项目上的稳定可靠运行得益于陶氏二十多年来在膜技术上的进步、工程公司和终端用户的共同努力，国内重要项目使用情况介绍如下：

- 一、国内最早的海水淡化项目 → 1997 年嵊山 500 吨 / 天；
- 二、中国政府外援的海水淡化项目 → 1999 年两套 75 吨 / 天；
- 三、国内最早的大型海水淡化项目 → 2000 年嵊泗 1,000 吨 / 天；
→ 2000 年长岛 1,000 吨 / 天；
- 五、国内年度最大的海水淡化项目 → 2000 年华能威海发电厂 2,500 吨 / 天；
→ 2001 年华能大连发电厂 2,500 吨 / 天；
- 六、万吨级海水淡化国家项目项目 → 2003 年山东荣城市海水淡化；
- 七、国内最大的石化海水淡化项目 → 2003 年大连石化 5,650 吨 / 天；
- 八、2005 年至今国内最大海水淡化项目 → 青岛发电厂（规模 2 x 2,800 吨 / 天）、王滩电厂（规模 7,200 吨 / 天）、华能玉环电厂（规模 30,000 吨 / 天）、浙能乐清电厂（规模 20,000 吨 / 天）、国电庄河电厂（规模 12,700 吨 / 天）、华能营口电厂（规模 9,600 吨 / 天）、

九、世界上最大的海水淡化项目

→以色列 Ashkelon 33 万吨 / 天的海水淡化选用了约 5 万支陶氏膜元件。

→以色列 Hadera 45 万吨 / 天的海水淡化选用了约 5 万 3 千支陶氏膜元件。

十、目前亚太区最大的海水淡化项目

→澳大利亚佩斯 Perth 海水淡化厂一期，海水淡化规模 145,440 吨 / 天选用了约 1.8 万支陶氏膜元件。

→澳大利亚佩斯 Perth 海水淡化厂二期，共使用了大约 17,000 支陶氏膜元件。其中一级采用超高脱盐率海水膜：2 x SW30XHR-440i 和超低压海水膜：5 x SW30ULE-440i 进行 (ISD) 内部分段设计和产水分流。

→澳大利亚悉尼 Kurnell 海水淡化厂，共使用了 36,736 陶氏膜元件

陶氏海水膜元件在各种不同海域、不同系统规模、不同系统配制和操作管理情况下，均明显地优于其它所有的品牌并占据了海水淡化市场的绝对份额，同时陶氏小型海水膜元件因产水量高、脱盐率高、运行压力低，在沿海岛屿、海军舰艇和远洋渔轮上的中小型海水淡化装置上获得了广泛的应用。

国内某电厂陶氏 FILMTEC™ 元件海水淡化系统脱除率：

测量项目	海水组成	海水淡化系统		二级苦咸水膜系统	
		SW30HR-380	%	BW30-400	%
氯离子, mg/l	9,400	66	99.30	0.52	99.21
钠离子, mg/l	18,048	110	99.39	0.94	99.15
TDS, mg/l	31,688	185	99.42	4	97.84
电导率, mg/l	48,990	383	99.22	8.42	97.80

如您需要了解更多陶氏膜元件的中文详细资料，请联络陶氏水处理及过程解决方案业务部：

上海：0086-(0)21-3851 1000

北京：0086-(0)10-8527 9199

广州：0086-(0)20-3813 0600

台北：00886-(0)2-2771 8000

www.dowwaterandprocess.com

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

新一代家用反渗透元件

性能特点

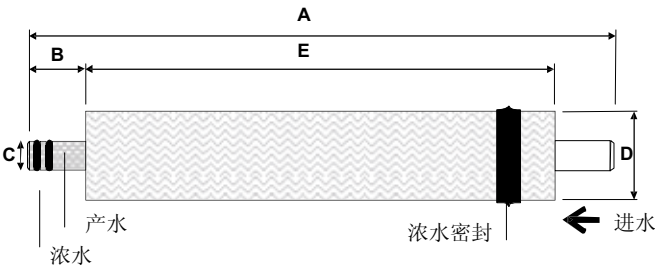
陶氏生产的用于家用饮用水处理元件的 FILMTEC™ 反渗透（RO）膜元件是业界最可靠和稳定性最好的一些元件。先进的膜技术和全自动生产线使得陶氏可以精确地生产每一个元件，满足严格的产品规格要求。在打造能可靠提供高纯净度的饮用水系统方面，陶氏品质始终如一的优质 RO 元件有助于客户树立和维持品牌知名度，并赢得良好声誉。陶氏 FILMTEC™ 元件采用干式发货，便于运输且延长保质期。陶氏的新一代元件可以完全替换现有的陶氏 FILMTEC™ 家用 RO 元件。

产品规范

产品	部件编号	应用测试压力 Psig (bar)	产水流量 gpd (L/H)	稳定除盐率 (%)
TW30-1812-24	339140	50 (3.4)	24 (3.8)	98
TW30-1812-36	338470	50 (3.4)	36 (5.7)	98
TW30-1812-50	339138	50 (3.4)	50 (7.9)	98
TW30-1812-75	339146	50 (3.4)	75 (12)	98

1. 产水量和脱盐率是基于以下测试条件：250ppm 的软化自来水、水温 77°F（25°C）、回收率 15% 和上述额定应用测试压力。
2. 最小脱盐率为 96.0%.
3. 单只元件的产水量可能在 +/-20% 的范围内变化。

图 1



元件尺寸：
英寸（毫米）

	A	B	C	D	E
TW30-1812	11.74 (298)	1.17 (30)	0.68 (17)	1.75 (44.5)	9.4 (239)

1. . TW30-1812 家用饮用水元件可置于内直径标称为 2 英寸的压力容器内

工作极限

膜元件类型	聚酰胺复合膜
最高工作温度	113°F (45°C)
最高工作压力	150 psig (10 bar)
最大原水流量	2.0 gpm (7.6 lpm)
pH 范围, 连续工作 ^a	2 – 11
原水最高污染指数 (SDI)	5
自由氯耐受量 ^b	< 0.1 ppm

^a. 当 pH 值超过 10 时，连续工作的最高温度是 95°F（35°C）。

^b. 在某些情况下，自由氯和其他氧化剂的存在会导致产水膜元件的失效。由于质保条款不包含氧化损伤，所以陶氏建议在膜元件接触这些氧化剂之前通过预先处理来去除这些残留的自由氯。请参阅技术公告第 609-22010 号以获取更多信息。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件
新一代家用反渗透元件
温度和压力对 TW30-1812 产水流量的影响

图 2. 压力对产水流量的影响
(固定温度, 回收率)

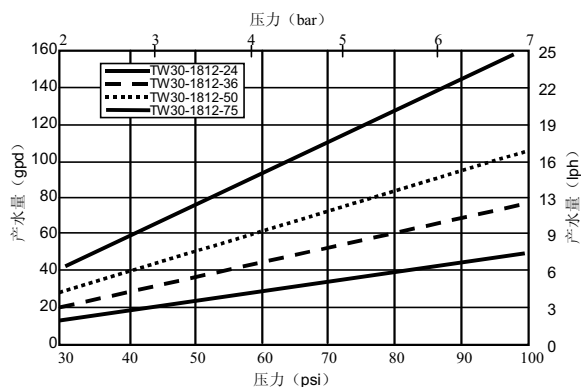
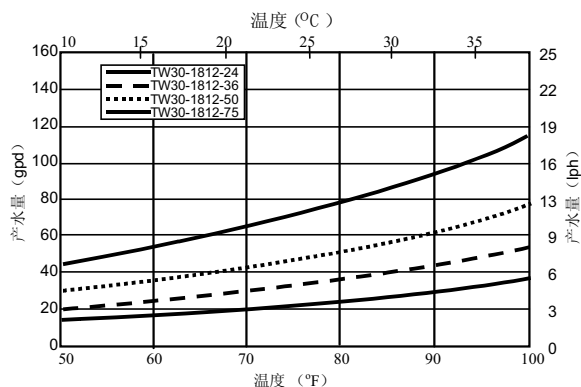


图 3. 温度对产水流量的影响
(固定温度, 回收率)



重要信息

- 为了满足 NSF/ANSI 58 标准的要求，建议在第一次使用之前，将使用到这些元件的系统清洗 24 小时。
- 第一满罐产水应该废弃。这种初始阶段的产水不可饮用，也不可作为烹调用水。
- 在最初润湿之后，需要永远保持元件处于润湿状态。
- 为了防止系统在较长时间停机时内部滋生微生物，建议将膜元件浸泡在保存溶液中。在使用之前，清洗掉保存溶液。
- 该膜元件对短时间内接触氯（次氯酸盐）尚有一些耐受能力。但是，连续的接触有可能导致膜元件的损伤，因此应该避免出现上述情况。
- 陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件三年按比例有限质保条款有可能涵盖陶氏 FILMTEC™ 家用饮用水反渗透元件，609-35010-1006 可延展至原产厂家 OEMs。这些有限质保均不可转让。了解详情请联系陶氏代表。
- 如果客户并未严格遵守本产品信息公告中所列的工作极限条件和各项指南，则有限质保是无效的。原产厂家 OEM 需要对不匹配的化学品和润滑剂对元件所造成的影响负全部责任。任何该类化学品或者润滑剂的使用将会导致有限质保的失效。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ 高产水量家用膜元件

性能特点

陶氏FILMTEC™家用型反渗透元件是市场上最高品质、最可靠的膜元件，采用领先的制膜技术和全自动卷制技术使得陶氏膜元件具有长久稳定的性能，脱盐率更高，使用成本更低，成为家用饮水机设备制造商、代理商和广大居民最为信赖的产品。陶氏FILMTEC™干式家用元件储存期更长且更便于运输。

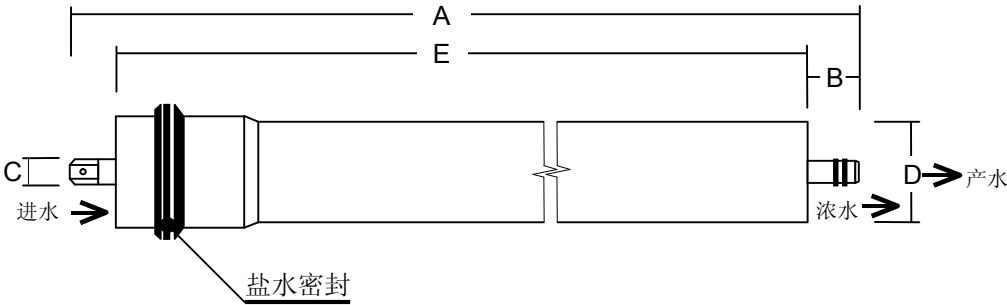
陶氏FILMTEC™ TW30-1812-100家用元件额定压力50psi（3.4bar），它比其它品牌的同等元件在额定压力60psi时的产水量还要高20%。

产品规范

产 品	元件 编号	应用测试压力 psig (bar)	产水量 gpd (l/h)	稳定脱盐率 Cl ⁻ %
TW30-1812-100	170102	50 (3.4)	100 (16)	90

1. 上述测试值是基于如下测试条件：250 ppm NaCl, 77°F（25℃），pH 8, 15% 回收率和上述额定应用测试压力。
2. 单支元件的最小脱盐率 90%
3. 单支元件的产水量可能的变化范围+/-20%。
4. 性能规范随产品改进会略有改变。
5. 为了更易安装，膜元件的 O 型圈已经涂上了甘油。

图 1



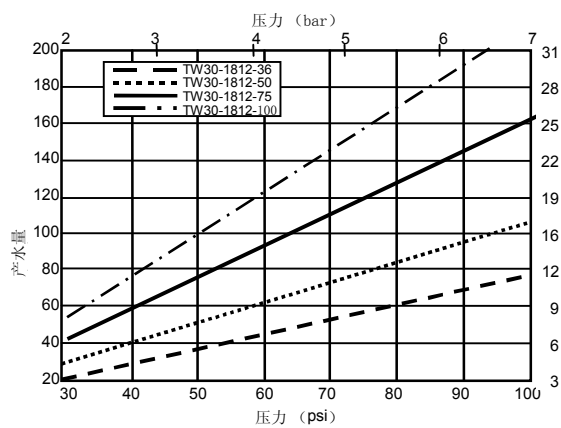
产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)				
	A	B	C	D	E
TW30-1812	11.74 (298)	0.87 (22)	0.68 (17)	1.75 (44.5)	10.0 (254)

1. TW30-1812 家用饮水机元件配公称内径 2 英寸外壳。1 英寸 = 25.4 mm

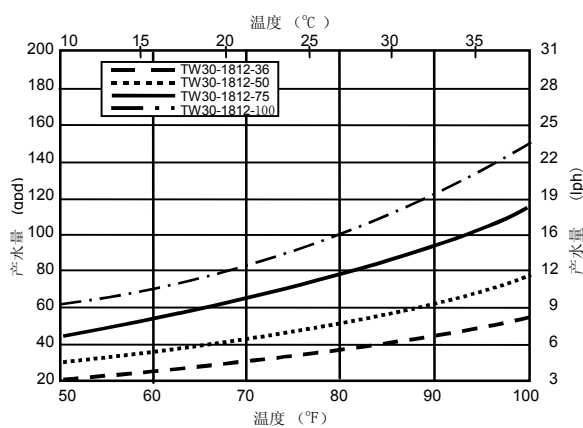
操作极限

- 膜片类型
 - 最高操作温度
 - 最高操作压力
 - pH 范围，连续运行^a
 - pH 范围，短期清洗（30 分钟）^b
 - 最大进水流量
 - 最大给水 SDI₁₅
 - 允许游离氯含量^c
 - ^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。
 - ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。
 - ^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。
- 聚酰胺复合膜
113°F（45°C）
300psig（21 bar）
2 – 11
1 – 13
2.0gpm（7.6lpm）
5
<0.1ppm

压力对产水量的影响（恒定温度和回收率）



温度对产水量的影响（恒定压力和回收率）



通用信息

- 膜元件首次使用时最初满满一储罐内的产品水应该放掉不用
- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 该膜对氯（次氯酸盐）的短期攻击有一定抵抗力，但连续接触会破坏膜，故应避免。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ 胶带缠绕 2540 商用反渗透元件

2-7

性能特点

陶氏全系列 FILMTEC™ 2540 膜元件能满足广大用户的各种要求，用于组建要求产水纯度最高到要求成本最经济的系统。

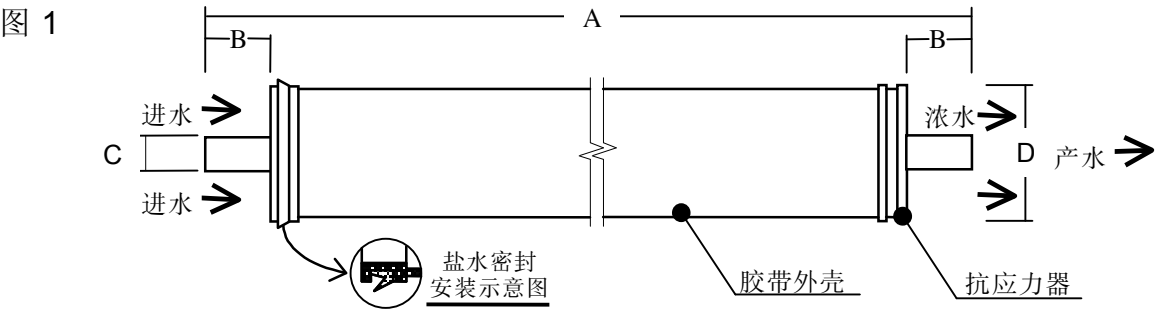
- 陶氏 XLE-2540 为目前世界上产水量最高、运行压力最低的反渗透元件，用该元件组装系统总成本最低。
- LP-2540 为新一代超低压高性能反渗透元件，用于替换原有的超低压反渗透元件，尤其在进水水温低的季节 或地区，可获得更多的产水量。
- TW30-2540 是目前反渗透膜工业界公认的性能最稳定、产水水质最高的标准商用反渗透元件。

胶带缠绕膜元件所采用的材料及元件结构与玻璃钢缠绕元件完全相同，较为经济。适用于采用短外壳，每支外壳含 1-2 支装膜元件的系统。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft ² (m ²)	应用测试压力 psi (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 Cl ⁻ %
XLE—2540	154543	28 (2.6)	100 (6.9)	850 (3.2)	99.0
LP—2540	231653	28 (2.6)	145 (10)	1000 (3.8)	99.2
TW30—2540	80643	28 (2.6)	225 (15.5)	850 (3.2)	99.5

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：水温 25°C，回收率 15% 及上表所列的压力。TW30-2540 测试浓度为 2000ppm NaCl，LP-2540 和 XLE-2540 测试浓度为 500ppm NaCl。
2. 单只元件的产水量可能在 +/-20% 的范围内变化。
3. 产品更新后，性能规范有可能变化。
4. LP-2540 可以取代 TW30HR-2540 以更低的压力运行。



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
XLE—2540	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
LP—2540	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
TW30—2540	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. TW30-2540, LP-2540 和 XLE-2540 元件配公称内径 2.5 寸的压力容器。

™陶氏化学公司或其附属公司的商标

操作极限	- 膜片类型 - 最高操作温度 - 最高操作压力 - 最高压降 - pH 范围，连续运行 ^a - pH 范围，短期清洗（30 分钟）^b - 最大进水流量 - 最大给水 SDI₁₅ - 允许游离氯含量 ^c ^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。 ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。 ^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	聚酰胺复合膜 113°F（45°C） 600 psig（41 bar） 13 psig（0.9 bar） 2 – 11 1 – 13 6 gpm（1.4 m³/hr） 5 <0.1ppm

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 该膜对氯（次氯酸盐）的短期攻击有一定抵抗力，但连续接触会破坏膜，故应避免。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。
- 单支压力容器的最大允许压降为 30psi（2.1bar）。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ 胶带缠绕四英寸商用反渗透元件

性能特点

陶氏全系列 FILMTEC™ 4040 膜元件能满足广大用户的各种要求，用于组建要求产水纯度最高到要求成本最经济的系统。

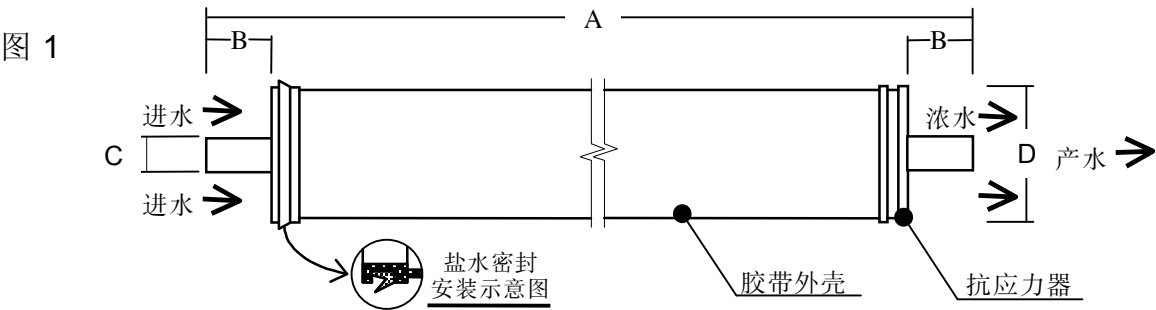
- 陶氏 XLE-4040 为目前世界上产水量最高、运行压力最低的反渗透元件，用该元件组装系统总成本最低。
- LP-4040 为新一代超低压高性能反渗透元件，用于替换原有的超低压反渗透元件，尤其在进水水温低的季节 或地区，可获得更多的产水量。
- TW30-4040 是目前反渗透膜工业界公认的性能最稳定、产水水质最高的标准商用反渗透元件。

胶带缠绕膜元件所采用的材料及元件结构与玻璃钢缠绕元件完全相同，较为经济。适用于采用短外壳，每支外壳含 1~2 支装膜元件的系统。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	应用测试压力 psi (bar)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %
XLE—4040	154546	87 (8.1)	100 (6.9)	28	2600 (9.8)	99.0
LP—4040	212819	78 (7.2)	145 (10)	34	2900 (11.0)	99.2
TW30—4040	80610	78 (7.2)	225 (15.5)	34	2400 (9.1)	99.5

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：水温 25°C，回收率 15% 及上表所列的压力。TW30-4040 测试浓度为 2000ppm NaCl，LP-4040 和 XLE-4040 测试浓度为 500ppm NaCl。
2. 单只元件的产水量可能在+/-20%的范围内变化。
3. 产品更新后，性能规范有可能变化。



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
XLE—4040	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
LP—4040	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
TW30—4040	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. TW30-4040, LP-4040 和 XLE-4040 元件配公称内径 4.0 寸的压力容器。

™陶氏化学公司或其附属公司的商标

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600psig 41 bar)
● 最高压降	13psig (0.9 bar)
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	14 gpm (3.2 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋生，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。
- 单支压力容器的最大允许压降为 30psi (2.1bar)。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ XLE 极低能耗商用反渗透元件

性能特点

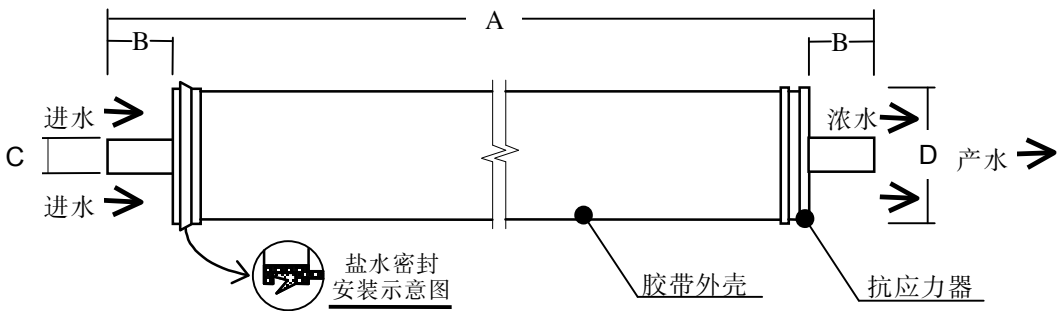
陶氏 FILMTEC™ XLE 元件以其极低的运行压力为客户提供最好的系统综合性能及运行经济性。XLE 膜元件采用了新型专利技术，为系统提供始终如一的可靠性能，生产健康饮用水。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	应用测试压力 psi (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %
XLE—2521	154530	13 (1.2)	100 (6.9)	365 (1.4)	99.0
XLE—2540	154543	28 (2.6)	100 (6.9)	850 (3.2)	99.0
XLE—4021	154540	36 (3.3)	100 (6.9)	1025 (3.9)	99.0
XLE—4040	154546	87 (8.1)	100 (6.9)	2600 (9.8)	99.0

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：500ppm NaCl，25° C 及如下表所示的回收率。
2. 单只元件的产水量可能在+/-20%的范围内变化。
3. 产品更新后，性能规范有可能变化。

图 1



产 品	最大给水流量	典型回收率	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	gpm (m³/h)	%	A	B	C	D
XLE—2521	6 (1.4)	8	21.0 (533)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
XLE—2540	6 (1.4)	15	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
XLE—4021	14 (3.2)	8	21.0 (533)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
XLE—4040	14 (3.2)	15	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 典型回收率是针对单只元件而言。回收率是用产品水流量除以给水流量得到的。
2. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案设计指南。
3. XLE-2521 和 XLE-2540 元件配公称内径 2.5 寸的压力容器。XLE-4021 和 XLE-4040 元件配公称内径 4 寸的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限	● 膜片类型	聚酰胺复合膜
	● 最高操作温度	113°F (45°C)
	● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
	● 最高压降	13 psig (0.9 bar)
	● pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
	● pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
	● 最大给水 SDI ₁₅	5
	● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
	^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
	^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
	^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息, 请参考技术公告: 609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 膜元件可承受的最大压差为 30psi（2.1bar）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ LP 超低压商用反渗透元件

性能特点

全系列 FILMTEC™膜元件能满足广大用户的各种要求，胶带缠绕的膜元件所采用的材料和元件结构与玻璃钢缠绕的元件完全相同，特别适用于短外壳，每支外壳含 1~2 支装膜元件的系统。

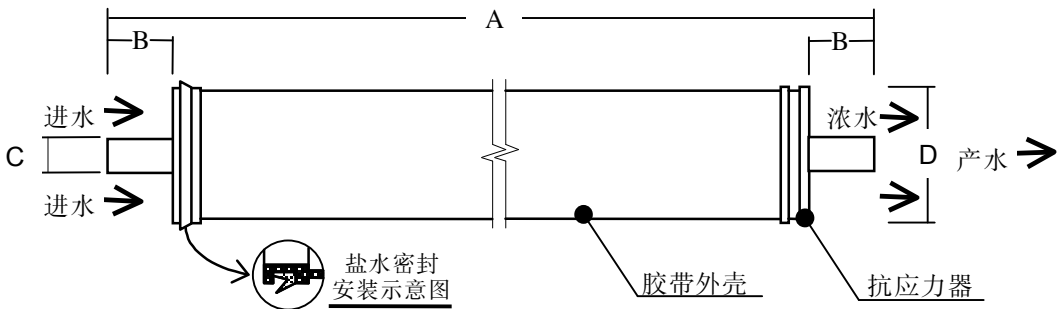
商用 LP 为新一代超低压高脱盐率反渗透元件，用于替换原有的超低压反渗透元件，尤其在进水水温低 的季节或地区，可获得更多的产水量。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	应用测试压力 psi (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %
LP—2540	231653	28 (2.6)	145 (10)	1000 (3.8)	99.2
LP—4040	212819	78 (7.2)	145 (10)	2900 (11.0)	99.2

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：水温 25°C，回收率 15%，压力 10bar，浓度 500ppm NaCl。
2. 单只元件的产水量可能在+/-20%的范围内变化。
3. 产品更新后，性能规范有可能变化。

图 1



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
LP—2540	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
LP—4040	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决设计指南。
 2. 元件分别配公称内径 2.5 和 4 寸的压力容器。
- 1 英寸 = 25.4 mm

操作极限	膜片类型	聚酰胺复合膜
	最高操作温度	113°F（45°C）
	最高操作压力	600 psig（41 bar）
	最高压降	13 psig（0.9 bar）
	pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
	pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
	最大给水 SDI ₁₅	5
	允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
	^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
	^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
	^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 单支压力容器的最大允许压降为 30psi（2.1bar）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30HR LE-4040 商用反渗透元件

性能特点

BW30HRLE-4040 是陶氏 FILMTEC™ 新近推入市场的 4040 系列膜元件之一，用于满足商用客户要求系统最高的产水品质，最低的总系统成本。

- FILMTEC™ BW30HR LE-4040 是现有商用膜元件中能同时达到最高产水品质和最低总系统成本的最高产水量和最低操作压力的新产品。

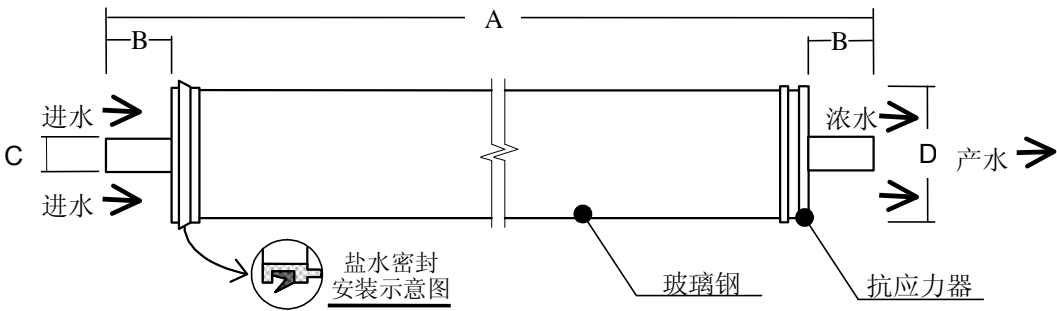
该元件为玻璃钢缠绕外壳，可以承受更高的运行压差，尤其适用于 3 支以上的多元件系统上。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	应用测试压力 psi (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %
BW30HRLE-4040	272036	78 (7.2)	145 (10)	3,000 (11.4)	99.3

1. 上述测试值是基于如下测试条件：500 ppm NaCl, 145 psi (10.0 bar) , 77°F (25°C) , pH 8, 15% 回收率。
2. 单只元件的产水量可能在+/-20%的范围内变化。
3. 最低脱盐率 99.0%。
4. 产品更新后，性能规范有可能变化。

图 1



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
BW30HRLE-4040	40 (1,016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. 元件配公称内径 4.0 寸的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围, 连续运行 ^a	3 – 10
● pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	2 – 12
● 最大进水流量	16 gpm (3.6 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。
^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息, 请参考技术公告: 609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献(文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态:

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5% (重量) 的亚硫酸氢钠 (食品级)。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ 胶带缠绕 4040 自来水反渗透元件

性能特点

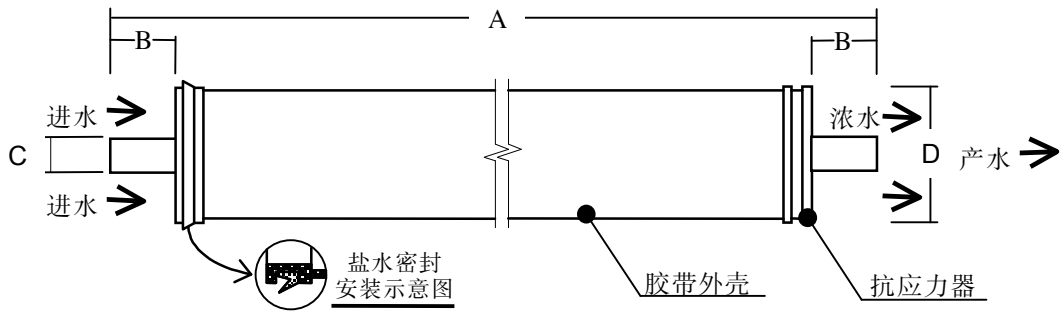
全系列 FILMTEC™ 4040 膜元件能满足广大用户的各种要求，用于组建要求产水纯度最高到要求成本最经济的系统。TW30 和 BW30 系列是目前反渗透膜工业界公认的性能最稳定、产水水质最高的标准商用反渗透元件。胶带缠绕的膜元件所采用的材料及元件结构与玻璃钢缠绕的元件完全相同，但较为经济。适用于采用短外壳，每支外壳含 1~2 支装膜元件的商用系统。

产品规范

产 品	元件 编号	产水量			最低脱盐率 Cl ⁻ %	稳定脱盐率 Cl ⁻ %
		gpd	m³/d	l/h		
TW30-4014	80605	525	1.99	80	98	99.5
TW30-4021	80608	900	3.41	142	98	99.5
TW30-4040	80610	2400	9.08	378	98	99.5

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：2000ppm NaCl，225psi（1.55MPa），25°C，pH=8，回收率见下表。
2. 元件的产水量变化范围-15%/+25%。
3. TW30-4014 和 TW30-4021 元件的脱除率将随设计而略有变化。

图 1



产 品	元件回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
		A	B	C	D
TW30-4014	5	14.0 (356)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
TW30-4021	8	21.0 (533)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
TW30-4040	15	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. 元件配公称内径 4.0 寸的压力容器。

操作极限	- 膜片类型 - 最高操作温度 - 最高操作压力 - 最高压降 - pH 范围，连续运行 ^a - pH 范围，短期清洗（30 分钟）^b - 最大给水 SDI₁₅ - 允许游离氯含量 ^c ^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。 ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。 ^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	聚酰胺复合膜 113°F（45°C） 600 psig（41 bar） 13 psig（0.9 bar） 2 – 11 1 – 13 5 <0.1ppm

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 单支压力容器的最大允许压降为 30psi（2.1bar）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ 玻璃钢缠绕 4040 苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ 苦咸水膜元件为苦咸水轻工业水处理系统提供可靠一致、稳定和卓越的系统性能。

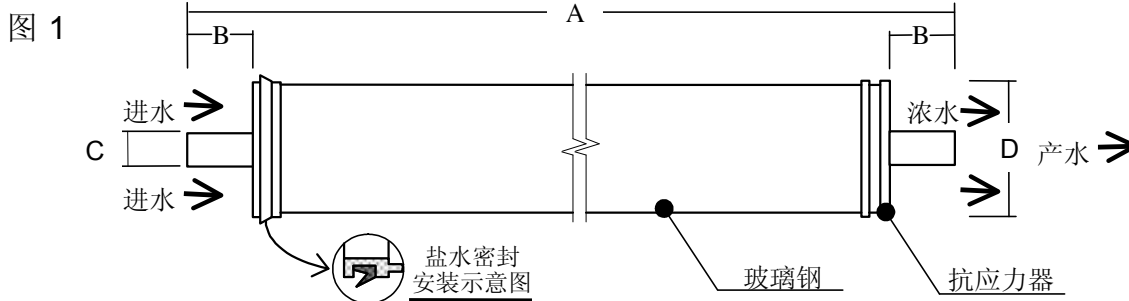
- 陶氏 LE-4040 在超低运行压力，低能耗和更低的运行成本下，表现出极高的系统综合性能；
- 陶氏 BW30-4040 成为目前反渗透膜工业界公认的性能最稳定、产水水质最高的反渗透元件标准。
- 陶氏 BW30-2540 是专门设计用于产水量小于 0.2m³/h (1gpm) 但又要求极高的元件外壳强度的小型系统。

玻璃钢缠绕的膜元件尤其适用于每一支压力容器内串联三支以上的膜元件，可承受更高的运行压降。

产品规范

产 品	元件 编号	有效膜面积 ft² (m²)	应用测试压力 psi (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %
LE-4040	275173	78 (7.2)	150 (10.3)	2500 (9.5)	99.0
BW30-4040	80783	78 (7.2)	225 (15.5)	2400 (9.1)	99.5
BW30-2540	80766	28 (2.6)	225 (15.5)	850 (3.2)	99.5

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：水温 25°C，回收率 15% 及上表所列的压力，测试浓度为 2000ppm NaCl。
2. 单只元件的产水量可能在 +/-20% 的范围内变化。
3. 产品更新后，性能规范有可能变化。
4. LE-4040 曾命名为 BW30LE-4040。



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
LE-4040	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
BW30-4040	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
BW30-2540	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决的设计导则。
 2. BW30-2540 元件配公称内径 2.5 寸的压力容器，BW30LE-4040 和 BW30-4040 元件配公称内径 4.0 寸的压力容器。
- 1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	2.5 英寸元件6 gpm (1.4 m³/hr) 4.0 英寸元件16 gpm (3.6 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。 ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。 ^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息, 请参考技术公告: 609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献(文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态:

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5% (重量) 的亚硫酸氢钠 (食品级)。
- 单支压力容器的最大允许压降为 50psi (3.4bar)。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

大型商用 4040 反渗透元件

性能特点

DOW FILMTEC™ LC 4040 产品系列可满足商业应用中的多种客户需求，从生产高纯度水到实现低总体系统成本。陶氏的膜元件均为全自动生产，为行业中最具一致性的产品，将水处理系统的总体所有成本降至最低。

- LC HR-4040 大型商用，高脱盐率四英寸膜元件，采用陶氏公司最先进的高脱盐率 RO 膜材料，产水水质更好。
- LC LE-4040 大型商用，低能耗四英寸膜元件，采用陶氏公司为低能耗应用开发的创新专有技术，能够在给水水质差、运行压力低条件下工作。

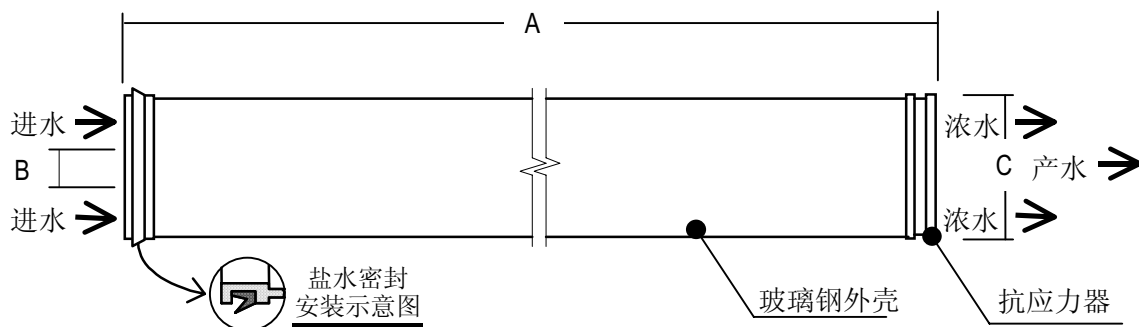
产品规格

产 品	元件编号 干 (湿)	给水流通厚度 (mil)	有效面积 ft ² (m ²)	产水量 gpd (m ³ /d)	最低脱盐率 (%)	稳定脱盐率 (%)
LC HR-4040	343771/ (343770)	28	94 (8.7)	2900 (11)	99.5	99.7
LC LE-4040	356603/ (356602)	28	94 (8.7)	2500 (9.5)	99.1	99.2

1. 产水量和脱盐率的测试条件：2,000 ppm NaCl, 77°F (25°C), 15% 回收率, pH 8, LC HR 应用压力 225psig, LC LE 应用压力 125psig;
2. 单个元件产水流量变动范围为 +/-15%;
3. 规格可能随改进定期更新。

LC HR-4040	溶解物	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SiO ₂	硼
	稳定脱除率 (%)	98.8	98.2	99.8	80.0

图 1



产品	A 英寸 (毫米)	B 英寸 (毫米)	C 英寸 (毫米)	D 英寸 (毫米)
LC HR-4040 及 LC LE-4040	40.00 (1,016)	1.05 (25.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 对多元件系统，请参阅《DOW FILMTEC™ 设计指南》
2. LC HR-4040 和 LC LE-4040 元件可安装在标称 4 英寸直径的压力容器内。

工作限制

膜类型	聚酰胺复合膜
最高工作温度 ^a	113°F (45°C)
最高工作压力	600 psig (41 bar)
最高压力差	15 psig (1.0 bar)
最大给水流量, gpm	16 gpm (3.6 m³/h)
pH 值范围, 持续工作 ^a	2-11
pH 值范围, 短期清洗 ^b	1-13
最高给水污泥密度指数 SDI ₁₅	5
自由氯浓度 ^c	<0.1ppm

^a PH 值在 10 以上时的最高连续工作温度为 95°F (35°C)

^b 参考规格表 609-23010 的《清洁导则》

^c 在特定的条件下, 自由氯和其他氧化物的存在会导致永久性的膜损坏。由于氧化造成的破坏不在质保范围内, 陶氏建议在给水与膜接触前用预处理段去除其中残余的自由氯和其他氧化物。请参考技术公告牌 609-22010 了解详细情况。

一般性提示

正确启动反渗透水处理系统对让膜准备好投入运行, 防止膜元件因为给水量过大或者液力震荡而损坏, 具有关键性的意义。遵循正确的操作流程还能保证系统的操作参数符合设计规格, 以实现系统水质和生产效率目标。

在初始化系统启动流程之前, 应完成膜元件预处理、膜元件加载、仪器校准和其他系统检查。请参考名为《启动流程》的应用信息手册 (表格编号 609-02077) 了解详情。

操作指南

在启动、关闭、清洁或者其他过程中, 注意避免螺旋形膜元件的压力突变或者错流突变, 以防止膜元件损坏。在启动过程中, 应建议按照下列步骤从静止进入操作状态:

- 给水压力应在 30 秒到 60 秒的时间内逐步提升上来
- 设定工作点的错流速度应在 15 到 20 秒内逐步提升上来
- 工作第一个小时的产水应排放不用

重要信息

在初次沾水后, 应随时保持元件处于湿润状态。

如果不遵守本产品说明中的工作限制和指南, 表格 609-35010 号提供的有限质保将会失效。为避免在系统长期关闭期间出现微生物滋生, 建议将膜元件浸渍在保护性溶液中。

客户应对在元件上使用非兼容性化学品和润滑剂负全责。

整个压力容器 (壳体) 的最大压差为 50psi (3.4 bar)。

应随时避免静态产水侧的背压。

合规性声明

这些膜产品在某些国家可能受饮用水应用限制的约束: 请在使用和销售前检查应用状态。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

2-8 陶氏 FILMTEC™ BW30-365 苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ BW30-365 膜元件公称有效膜面积 365 平方英尺，标准测试条件下产水量为 36m³/d（9500gpd），其外径与其它标准 8 英寸元件相同。

BW30-365 不是通过提高膜通量及增加操作压力而是通过增加膜面积来提 高产水量，因此能保持很低的污堵速率，从而维持长期高产水量，延长膜元件的寿命。同时其运行压力低，提高了系统运行的经济性。BW30-365 的高有效面积可使新设计的 RO 系统使用更少的元件，从而使系统紧凑，节省安 装费用。

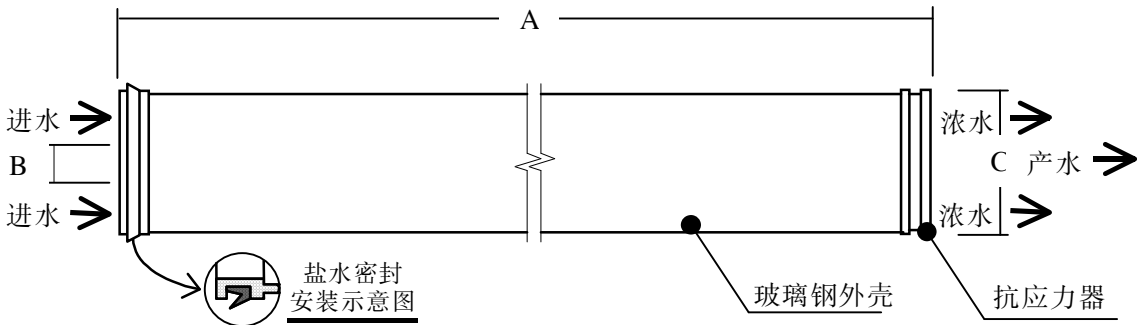
在改造旧系统时，BW30-365 可降低系统的运行压力，降低元件的污堵，延长元件的寿命。用该元件更换时，可增加原系统的产水量而无需扩建；或者可维持原产水量而缩小装置的外形尺寸。

产品规范

产 品	元 件 编 号	有效面积 ft² (m²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %	最小脱盐率 %
BW30-365	80773	365 (34)	34	9,500 (36)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.3 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的流量可能不同，但不会低于所列出的数值超过 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积将在所给出的数值正负 3% 内。Filmtec 计算有效膜面积的方法与其他厂家不同，具体详情请查阅编号为 609-00434 的文献。

图 1



产 品	典型回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
BW30-365	15	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 典型回收率针对单支元件，回收率指产品水流量除以给水流量的百分比值。
2. 设计多元件系统时请参考 FilmTec 的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
3. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高操作压力	600 psig（41 bar）
● 最高压降	15 psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
● 最大进水流量	85 gpm（19 m³/hr）
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋生，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30-400 苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

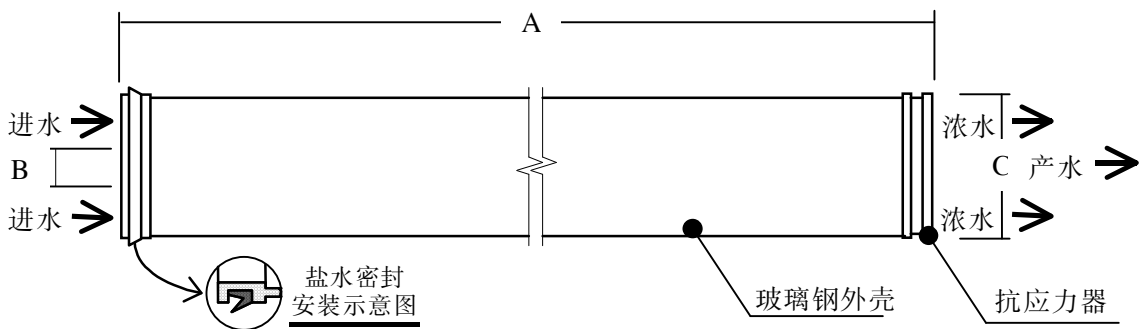
陶氏 FILMTEC™ BW30-400 膜元件的公称有效膜面积为 400 平方英尺，标准测试条件下的产水量 40m³/d（10,500gpd），其外径与其它标准 8 英寸元件相同。BW30-400 通过增加膜面积，而不是通过增加膜通量及给水压力来提高产水量，故能保持很低的污堵速率，从而维持长期高产水量，延长膜元件寿命。该元件运行压力低，增加了系统运行的经济性。增加了膜面积的 BW30-400 可使新设计的 RO 系统使用更少的元件，从而使系统更紧凑，节省安装费用。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 %	最小脱盐率 %
BW30-400	98650	400 (37)	28	10,500 (40)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi（15.5 bar），77°F（25°C），pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的流量可能不同，但不会低于所列出的数值超过 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积将在所给出的数值正负 5% 内。Filmtec 计算有效膜面积的方法与其他厂家不同，具体详情请查阅编号为 609-00434 的文献。

图 1



产 品	典型回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
BW30-400	15	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 典型回收率针对单支元件，回收率指产品水流量除以给水流量的百分比值。
2. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
3. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸（203 mm）的压力容器。
- 1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

• 膜片类型	聚酰胺复合膜
• 最高操作温度	113°（45°C）
• 最高操作压力	600psig（41 bar）
• 最高压降	15psig（1.0 bar）
• pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
• pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
• 最大进水流量	85 gpm（19 m³/hr）
• 最大给水 SDI ₁₅	5
• 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋生，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30-400/34i 采用 iLEC™ 端面自锁连接 苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ BW30-400/34i 是适用于原水状况为高污染或高挑战性条件下的耐久型、高脱盐率、高产水量的顶级反渗透膜元件，可在很低的产水成本下实现无故障运行。

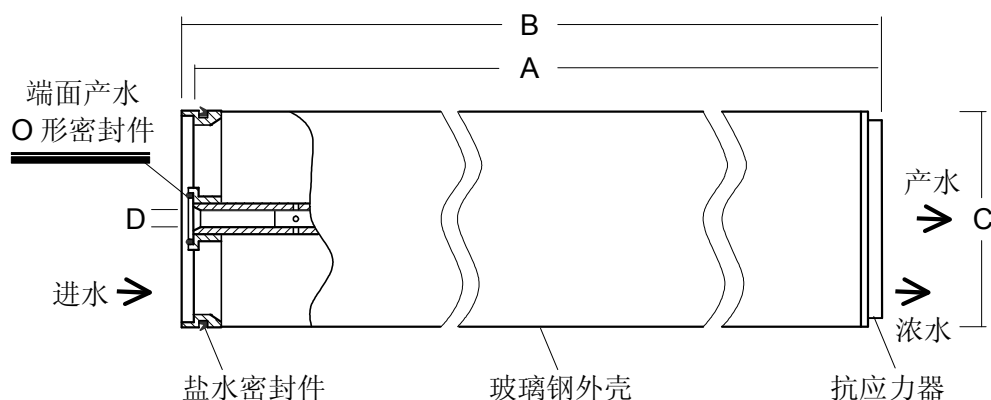
- 以进水流道为 34mil 为其显著特征，降低了污堵对压力容器内压降的负面影响，并明显提高了膜元件的清洗效果。
- 采用了亦已得到广泛验证的性能卓越而产水能力极高的 FILMTEC™ BW30 系列反渗透膜片。
- 相对于膜面积为 365 平方英尺的标准膜元件，通过降低设备投资以及运行成本，使用户进一步实现更低的总产水成本。
- 采用 iLEC™ 端面自锁连接技术，在降低系统运行成本的同时，减少了由于 O 形密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最小脱盐率 %
BW30-400/34i	248151	400 (37)	34	10,500 (40)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.5 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但不会低于所列出的数值的 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为+/-5%，该有效膜面积不同于有些膜供应商经常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
BW30-400/34i	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则和对不同水源下推荐的回收率。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长 40.5 英寸 (1,029 mm)。连接后的净长度为 40 英寸 (1,016 mm)。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	85gpm (19 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息, 请参考技术公告: 609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献(文件号: 609-00298)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态:

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5% (重量) 的亚硫酸氢钠 (食品级)。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ BW30-440i 具有高产水量，拥有世界膜工业界最高的有效膜面积，采用高脱盐率的 BW30 系列反渗透膜片。该元件设计用于在不增加膜通量的前提下，降低制备工业高纯水的投资成本。

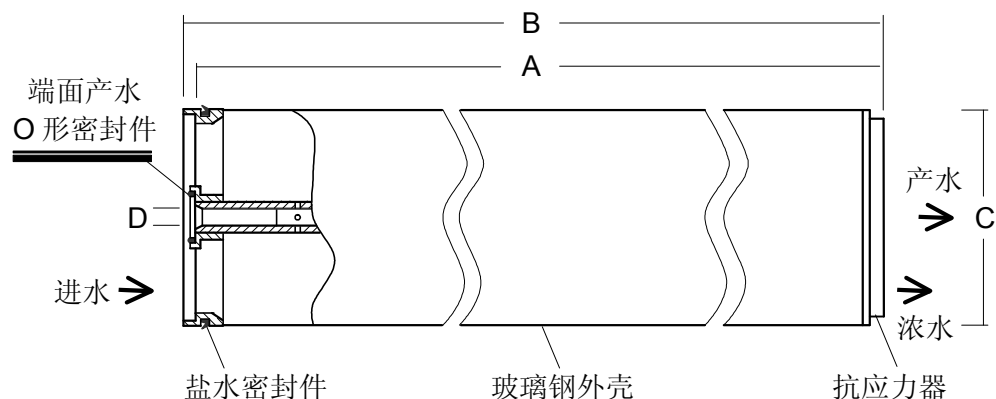
- 相对于陶氏 FILMTEC™ BW30-400 元件，同样的操作压力和高脱盐率的条件下，通过增加 10% 的有效膜面积，将产水量提高了 10%，可降低新系统的初始投资成本，亦可增加现有系统的产水量。
- iLEC™ 端面自锁连接技术，在减少系统运行成本的同时，降低了由于 O 形密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。
- 具有兼容性的设计，采用了现行内径为 1.125 英寸的工业标准产水管，因此可以与现有的插入连接的苦咸水膜元件相互配合联接。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最小脱盐率 %
BW30-440i	249107	440 (41)	28	11,500 (43)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.5 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但不会低于所列出的数值的 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为+/-3%，该有效膜面积不同于有些膜供应商经常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
BW30-440i	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则和对不同水源下推荐的回收率。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长 40.5 英寸 (1,029 mm)。连接后的净长度为 40 英寸 (1,016 mm)。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高操作压力	600 psig（41 bar）
● 最高压降	15psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 12
● 最大进水流量	85gpm（19 m³/hr）
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋生，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30HR-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、高产水量、高脱除率苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

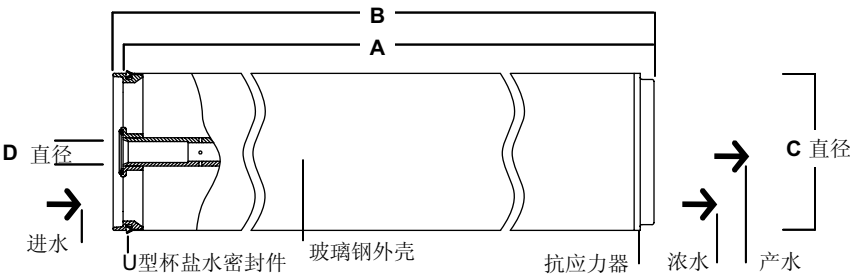
- FILMTEC™ BW30HR-440i 元件是一款具有高产水量的高性能元件，实现了最高脱除率咸水的反渗透膜片和业界最大有效膜面积的完美融合。它不仅采用陶氏最新专有 BW30HR 膜片技术，旨在提供最高质量的 (RO) 产水，而且还采用了 28mil 进水流道，具有良好的可清洗性，能在不增加操作通量的情况下最大限度地减少高纯度工业用水系统的投资成本。
- 在相同的工作压力下，与 FILMTEC BW30-400 元件相比，产水量增加 20%；与 BW30-440i 元件相比，产水量增加 10%，同时具有更高的脱除率，所以能减少新系统的投资成本，或提高现有系统的产水量。
 - 在 (RO) 元件的使用寿命期内，BW30HR 膜片对于系统操作人员最为关注的硅、硼、铵及硝酸根等溶质具有最大脱除率。
 - 采用 iLEC™ 端面自锁连接技术，在降低系统运行成本的同时，减少了由于 O 型密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。
 - 采用行业内标准的内径 1.125 英寸的产水中心管，便于同其它苦咸水元件互换。

产品规范

产品	元件编号	有效面积 ft² (m²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 (%)	最低脱盐率 (%)
BW30HR-440i		440 (41)	28	12,650 (48)	99.70	99.40
	溶质		NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SiO ₂	硼
	稳定脱除率 (%)		99.0	98.5	99.9	83.0

1. 产水量和脱盐率基于下列标准测试条件得出：2,000 ppm NaCl、225 psi (15.5 bar)、77°F (25°C)、pH 8 及 15% 的回收率。
2. 单支膜元件的产水量可能不同，但浮动不会超出 +/- 15%。
3. 产品销售规格可能会随设计改进稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-3%。陶氏水处理及过程解决方案事业部采用的有效膜面积不同于某些膜供应商经常采用的公称膜面积。其测试方法可参考文件 609-00434。
5. 具体溶质的稳定脱除率基于下列标准测试条件得出：2,000 ppm NaCl、225 psi (15.5 bar)、77°F (25°C)、pH 7 及 15% 的回收率。

图 1



外形尺寸 - 英寸 (毫米)

产品	A	B	C	D
BW30HR-440i	40.0 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 内径 (29)

1. 参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则以及各种进水水源的建议膜元件回收率的设计指南。1 英寸 = 25.4 毫米
2. 该元件配合公称内径为 8 英寸 (203 毫米) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长 40.5 英寸 (1,029 毫米) (B)。连接后的净长度为 40.0 英寸 (1,016 毫米) (A)。

操作限值

膜片类型	聚酰胺复合膜
最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
最高操作压力	600 psig (41 bar)
最大压差	15 psig (1.0 bar)
pH 值范围，连续运行 ^a	2 - 11
pH 值范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 - 13
最大进水量	85 gpm (19 m3/hr)
最大进水污泥密度指数 (SDI)	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时，连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于因氧化造成的损坏不在质保范围内，陶氏水处理及过程解决方案事业部建议用户在游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息，敬请参考技术公告：609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前，应完成膜的预处理系统调试，膜元件的装填，仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“ 启动顺序 ”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的破坏，应避免卷式元件产生任何压力或错流流量的突变。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 进水压力应该在 30-60 秒的时间内逐步提升。
- 错流流速应在 15-20 秒内逐步提升到设定值。
- 第一个小时内的产水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范给定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户应该对使用不兼容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全责。
- 单根压力容器（外罩）的最大压降是 50 psi (3.4 bar)。
- 应随时避免静态产水侧产生背压。

合规性提示

这些膜元件在某些国家受饮用水应用限制，请在使用和销售前查看其应用现状。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ LE-400 高产水量、低能耗苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ LE-400 膜元件是适用于工业和市政领域的低能耗元件，在新系统中使用该元件，操作压力低，而在电费较高的场合及看重单价的老系统更换时选用该元件，具有节能优势。

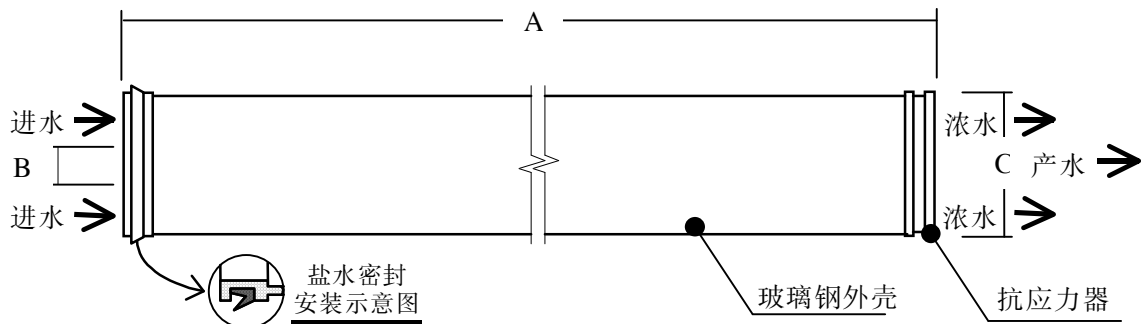
- 相对于陶氏 FILMTEC™ BW30-400 元件，同等产水量条件下，操作压力降低 40%。
- 具有 FILMTEC™ BW30-400 元件结构相似的可靠性能和高产水量，但能耗和操作费用更低。
- 新型 FILMTEC™ LE-400 膜元件采用了现行内径为 1.125 英寸的工业标准产水管，便于旧元件的更换。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最小脱盐率 %
LE-400	249109	400 (37)	28	11,500 (44)	99.3	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 150 psi (10.3 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 为便于比较，在有些元件生产商 1,500 ppm NaCl 测试条件下，产水量为 12,200 gpd (46m³/d)，稳定脱盐率 99.3%。
3. 单支元件的产水量可能不同，但不会低于所列出的数值的 15%。
4. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
5. 有效膜面积的保证范围为 +/-3%，该有效膜面积不同于有些膜供应商经常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



外形尺寸 - 英寸 (mm)			
产 品	A	B	C
LE-400	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则和对不同水源下推荐的回收率。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 中心管接头编号为 103971，每个接头带有两个 3-912 ERP O 形密封圈 (O 形密封圈编号为 151705)。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	85 gpm (19 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ LE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、低能耗苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ LE-440i 是世界膜工业界有效膜面积最高的低能耗苦咸水淡化反渗透元件，在保持高脱盐率的前提下，实现高产水量与低能耗的综合结果，降低操作费用，降低工业和市政供水处理的吨水成本。

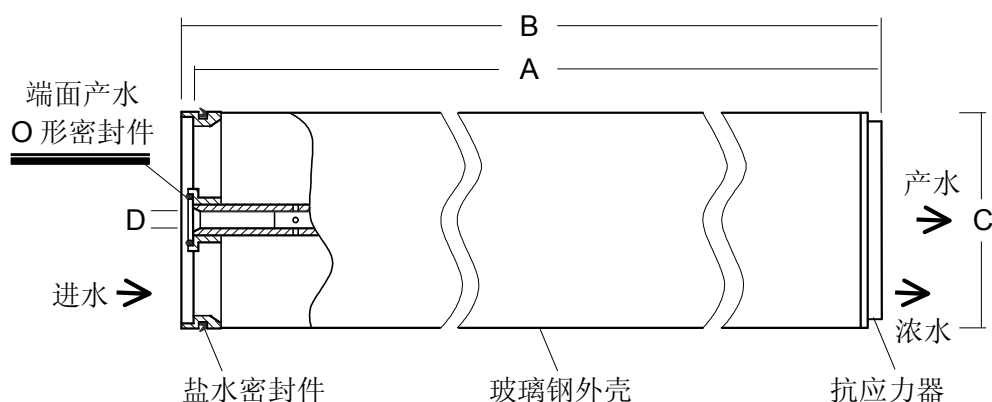
- 相对于陶氏 FILMTEC™ BW30-440i 元件，同等产水量和相同运行通量的条件下，操作压力降低 40%。
- 在出水水质相当的情况下，比 FILMTEC™ LE-400 的产水量高 10%，可实现最低的工业纯水制备总成本。
- iLEC™ 端面自锁连接技术，在减少系统运行成本的同时，降低了由于 O 形密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。
- 具有兼容性的设计，采用了现行内径为 1.125 英寸的工业标准产水管，因此可以与现有的插入连接的苦咸水膜元件相互配合联接。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最小脱盐率 %
LE-440i	246670	440 (41)	28	12,650 (48)	99.3	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 150 psi (10.3 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但不会低于所列出的数值的 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为±3%，该有效膜面积不同于有些膜供应商经常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。
5. 一些工程项目的数据显示，LE-440i 膜元件可以达到 13,400gpd (51m³/d) 的产水量和 99.3% 的稳定脱盐率。

图 1



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	A	B	C	D
LE-440i	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则和对不同水源下推荐的回收率。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长 40.5 英寸 (1,029 mm)。连接后的净长度为 40 英寸 (1,016 mm)。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	85 gpm (19 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC HRLE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、低能耗苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

- 陶氏 FILMTEC™ HRLE-440i 元件代表了膜化学技术方面的突破性成就，与传统苦咸水元件相比，在提供 99.5% 同样出色的公称脱盐率的同时能将运行压力降低 33%；
- 与其它苦咸水反渗透元件相比，该新型低能耗反渗透系统能在提供同样产水水质的同时将能耗降低 1/3；
 - 改装后，现有低能耗系统可实现比之前的低能耗元件更低的产水总溶解浓度；
 - 低能耗和高脱除率的完美结合使其理想适用于二级海水反渗透和高纯水应用；
 - 以陶氏建模软件为依托，可高效脱除二氧化硅、硼、硝酸盐及铵盐等；
 - 可提高异丙醇脱除率（异丙醇脱除率通常可代替总有机碳脱除率）；
 - 提供干式膜元件，贮存期更长并且便于搬运。

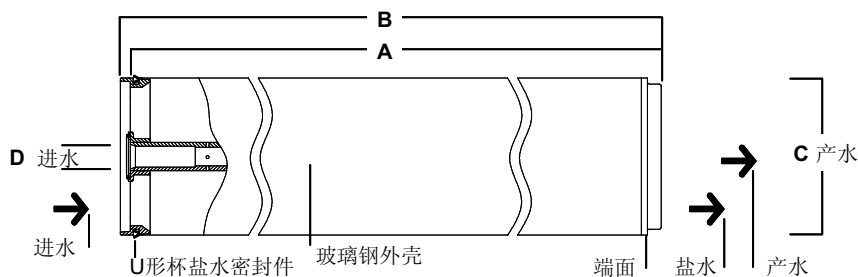
产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft² (m²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 %	最低脱盐率 %
HRLE-440i	347733	400 (41)	28	12,650 (48)	99.5	99.3

特定溶质脱除率				
二氧化硅脱除率 (%)	硼脱除率 (%)	硝酸盐脱除率 (%)	铵盐脱除率 (%)	异丙醇脱除率 (%)
99.8	68	97	97.5	94

1. 产水量与脱盐率基于如下标准测试条件：2,000 ppm NaCl、150 psi (10.3 bar)、77°F (25°C)、pH 值 8 和 15% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但变动幅度不超过 +/-15% 范围。
3. 当产品质量提高时，产品规格可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-3%。陶氏水处理及过程解决方案业务部采用的有效膜面积不同于有些膜供应商常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。
5. 特定溶质稳定脱除率基于如下标准测试条件：2,000 ppm NaCl、150 psi (10.3 bar)、77°F (25°C)、pH 值为 7 和 15% 的回收率、50 ppm SiO₂、5 ppm B、100 ppm NO₃、100 ppm NH₄⁺ 或 100 ppm IPA。

图 1



外形尺寸 — 英寸 (mm)				
产品	A	B	C	D
HRLE-440i	40.0 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 ID (29)

1. 参考陶氏 FilmTec 公司关于多元件应用的设计导则和针对不同进水源建议的回收率。
2. 该元件配合公称内径为 8.0 英寸 (203 毫米) 的压力容器。
3. 采用 iLEC 端面的单支元件长度 (B) 为 40.5 英寸 (1,029 毫米)。连接后的净长度 (A) 为 40.0 英寸 (1,016 毫米)。

操作限值

膜类型	新型聚酰胺复合薄膜
最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
最大操作压力	600 psig (41 bar)
最大压降	15psig (1.0bar)
pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大进水流	85 gpm (19 m³/h)
最大进水污泥密度指数	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH > 10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。

^b 参阅 609-23010 文件中的清洗导则。

^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

一般信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的损坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前, 应完成膜预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其它系统检查。

更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免螺旋卷式结构元件上压力或错流流量的剧烈变化, 以防止膜损坏。在启动过程中, 我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 进水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

请参阅产品技术手册。

重要信息

- 元件一旦润湿, 就应一直保持湿润。
- 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则, 有限质保将失效。敬请参考陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件三年按比例有限质保 (文件号: 609-35010)。
- 在系统长时间停运期间, 建议将膜元件浸入保护液中, 以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
- 单支元件的压力容器 (外壳) 允许的最大压降为 15 psi (1.0 bar), 多支元件的压力容器 (外壳) 允许的最大压降为 50 psi (3.4 bar), 以低者为准。
- 任何时候都要避免静态产水侧产生背压。

合规性说明

此类膜元件在某些国家可能受饮用水应用限制, 在使用和销售前请检查应用状况。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ XLE-440 高有效膜面积、极低能耗反渗透元件

性能特点

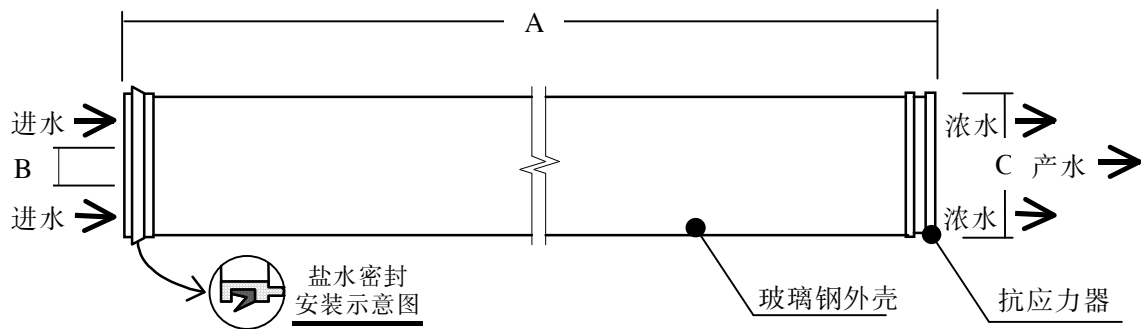
陶氏 FILMTEC™ XLE-440 苦咸水膜元件具有最大的膜面积和最高的产水量，它是专门针对当前市政水处理要求而设计的，在很低的操作压力下仍有很高的杂质脱除率。该元件针对的水源是低含盐量到中等含盐量的苦咸水，它是对以地表水和大多数以井水为水源的市政给水处理理想选择。当工业水处理领域不需要使用象 BW30LE-440 那样高的脱盐率时，因为操作压力低，使用 FILMTEC™ XLE-440 元件能带来显著的节能效益，XLE-440 元件除本身能节约运行费用外，在系统中也可以使用因压力低而成本也低的配套零部件。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流通宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 Cl ⁻ %	最小脱盐率 %
XLE-440	101060	440 (41)	28	12700 (48)	99.0	98.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：500 ppm NaCl, 100psi (6.9 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但不会低于所列出的数值的+25/-15%。
3. 单支元件的最小脱盐率 98%。
4. 上述产品规范是产品的基准值，必须按照系统设计导则运行设备。

图 1



产 品	典型回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
XLE-440	15	40 (1,016)	1.5 (38)	7.9 (201)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高操作压力	600 psig（41 bar）
● 最高压降	15 psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

2-9

陶氏 FILMTEC™ BW30FR-365 抗污染型苦咸水淡化反渗透元件 (以前命名为 BW30-365FR)

性能特点

随着反渗透技术被人们广为接受，其应用扩展到许多领域，包括用于高微生物污堵性的水源。为了提高反渗透元件在高微生物污堵条件下的性能，陶氏采用专利技术对 FT30 膜进行了化学及物理改性，开发了 FR 系列抗污染膜元件。FILMTEC™ BW30FR-365 既适用于饮用水也适用于非饮用水行业。该元件还采用了陶氏水处理及过程解决方案的“缩短膜片长度，增加膜叶数”的独特元件结构，不仅在产水量方面，而且在可清洗性方面，均具有了卓越的高效率。BW30FR-365 的有效膜面积高达 365 平方英尺，标准测试条件下的产水量 36m³/d (9500gfd)。

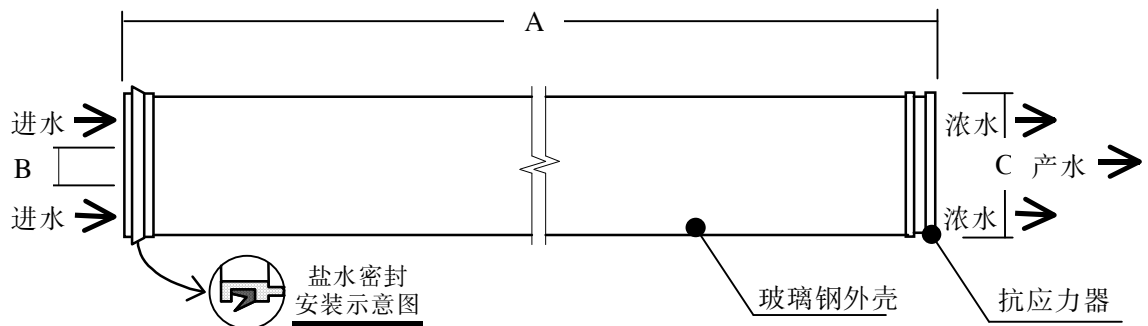
使用 FR 元件，用户仅需较少的元件便可达到设计产水量。从而使系统更紧凑，减少了系统的配件和安装费用。BW30FR-365 和 BW30-365 的产水量及脱盐率均相同。故在工程改造中，用 BW30FR-365 更换 BW30-365 元件就可减小系统污堵，降低系统运行压力，延长膜元件的使用寿命。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 Cl ⁻ %	最小脱盐率 %
BW30FR-365	174961	365 (34)	34	9,500 (36)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.3 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的流量可能不同，但不会低于所列出的数值超过 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积将在所给出的数值正负 3% 内。Filmtec 计算有效膜面积的方法与其他厂家不同，具体详情请查阅编号为 609-00434 的文献。

图 1



产 品	典型回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
BW30FR-365	15	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	70 gpm (16 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30FR-400 抗污染型苦咸水淡化反渗透元件(以前命名为 BW30-400FR)

性能特点

陶氏 FILMTEC™ BW30FR-400膜元件采用了陶氏专有抗污染膜技术进行化学及物理改性，专门针对有较严格的预处理，但原水仍富含生物和有机物等污染物的应用领域，它表现出了卓越的抗污染能力和可清洗特性。它是陶氏FILMTEC™ BW30FR-365产品的延伸，BW30FR-365 已在世界各地大量客户的使用中显示出了优秀的抗污染能力和系统运行经济性。BW30FR-400具有如下特点：

- 高有效膜面积（400ft²），在不提高运行通量的前提下，获得更高的产水量；
- 高脱盐率的 FILMTEC™ 反渗透膜是世界上清洗 pH 范围最宽（pH1~13）的元件，能对无机盐垢、有机物和微生物实现有效地清洗；
- 全自动、精确的制造技术，采用了缩短膜片长度，增加膜叶数的先进结构，降低了总体污染水平，最大程度地提高了膜效率。

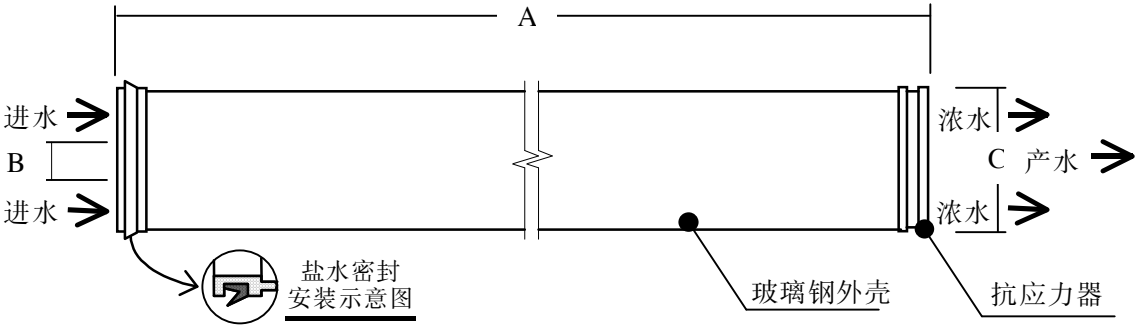
上述特征使用户和操作人员采用反渗透处理高污染水源时获得长期的经济性和最大的无故障操作。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %	最小脱盐率 (%)
BW30FR-400	202681	400 (37)	28	10,500 (40)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi（15.3 bar），77°F（25°C），pH 8, 15% 回收率。
2. 单支元件的流量可能不同，但不会低于所列出的数值超过 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积将在所给出的数值正负 3%内。陶氏水处理及过程解决方案计算有效膜面积的方法与其他厂家不同，具体详情请查阅编号为 609-00434 的文献。

图 1



产 品	典型回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
BW30FR-400	15	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案的设计导则，并根据给水类型遵循相应的回收率限值。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸（203 mm）的压力容器。

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高操作压力	600 psig（41 bar）
● 最高压降	15 psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ BW30FR-400/34i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、抗污染型苦咸水淡化反渗透膜元件(以前命名为 BW30-400/34iFR)

性能特点

陶氏 FILMTEC™ BW30FR-400/34i 在处理高生物污染的原水方面同时具有抗污染性，高脱盐率和高产水量。陶氏特有的抗污染膜技术具有卓越的抗污染能力和可清洗性，该产品结合了陶氏 FILMTEC™ BW30FR-365 和 BW30FR-400 膜元件的优点。

BW30FR-400/34i 膜元件具有如下特点：

- 34mil 的进水流道，降低了膜元件被污堵的几率，并明显提高了膜元件的清洗效果。
- 400 平方英尺的有效面积，无需增加通量即可得到更高的产水量。
- 高脱盐率的陶氏 FILMTEC™ 反渗透膜 在工业应用中具有最宽的清洗 pH 范围（pH 1-13），可以有效地清洗结垢，有机污染物和生物膜。
- 全自动精密制造技术，可以使膜页更短，数量更多，减少污染带来的综合影响，并最大化膜的使用效率。
- iLEC™ 端面自锁连接技术，在降低系统运行成本的同时，减少了由于 O 形密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。

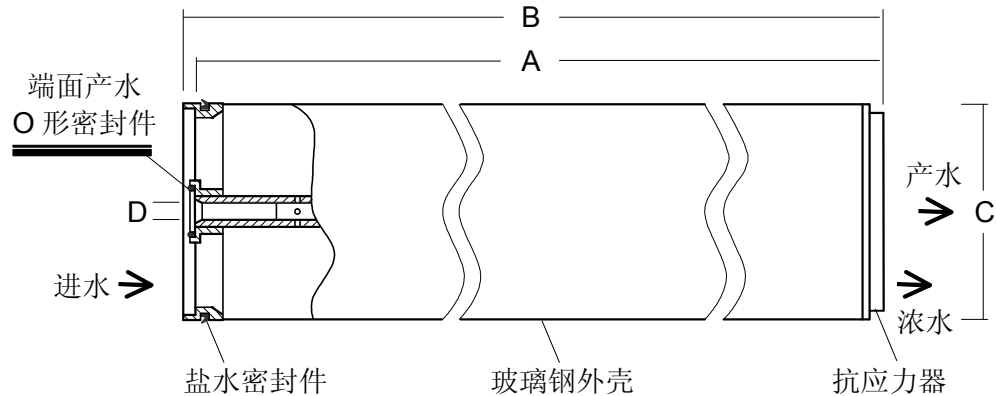
上述特征使用户和操作人员采用反渗透处理高污染源时获得长期的经济性和无故障操作。

产品规范

产品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 (%)	最小脱盐率 (%)
BW30FR-400/34i	273805	400 (37)	34	10,500 (40)	99.5	99.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.5 bar), 77°F (25°C), pH 8 and 15% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但不会低于所列出的数值的 15%。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 $\pm 5\%$ 。该有效面积不同于有些膜供应商经常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1.



外形尺寸 - 英寸 (mm)

产品	A	B	C	D
BW30FR-400/34i	40.0 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 ID (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. BW30FR-400 元件配合公称内径为 8-英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长 40.5 英寸 (1,029 mm) (B)。连接后的净长度为 40.0 英寸 (1,016 mm) (A)。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围, 连续运行 ^a	2 - 11
● pH 范围, 短期清洗(30 分钟) ^b	1 - 13
● 最大给水 SDI	SDI 5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
- ^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。
- ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。
- ^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围的, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息, 请参考技术公告: 609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前, 应完成膜系统的预处理系统调试, 膜元件的装填, 仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献(文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动, 停机, 清洗或其他过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态:

- 给水压力应该在 30-60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15-20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单支膜元件的最大允许压降是 15 psi (1.0 bar) 或者单根压力容器的最大允许压降是 50 psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC BW30XFR-400/34i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、极强型抗污染苦咸水淡化反渗透膜元件

性能特点

FILMTEC™ BW30XFR-400/34i是一款优化设计，采用优质材料生产而成的高耐用性、高脱除率、高产水量元件，可有效净化存在生物污染和有机污染倾向的用水。该反渗透膜（RO）元件结合陶氏具有一流抗有机物污染能力和可清洗性的最新专有BW30XFR膜片技术，不仅提供了出色的抗污染能力、超强的耐用性，而且它还采用精心优化的34mil进水流道，明显提高了清洗效果。以上新技术使得该螺旋卷式结构的苦咸水反渗透膜元件在整个生命周期中性能出众。

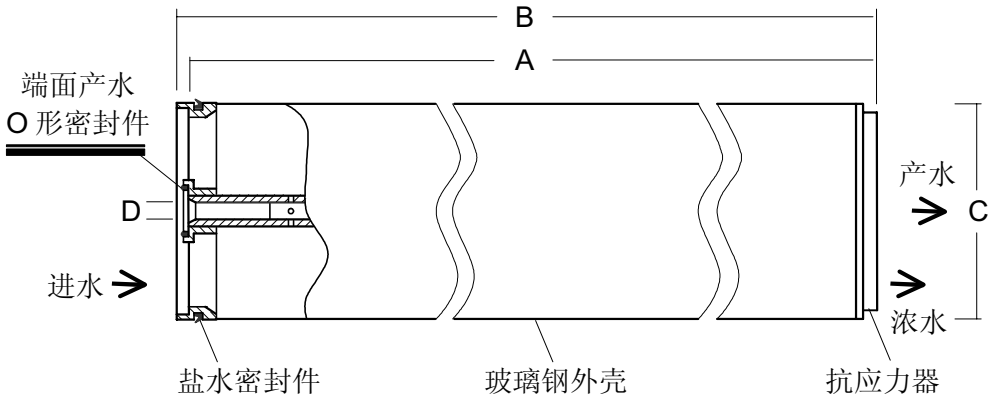
- 最先进的FILMTEC™反渗透膜片具有最宽泛的清洗pH值范围（pH 1-13），可以快速有效地清除生物膜、有机化合物和结垢。
- 在相同工作压力下，与FILMTEC BW30-400/34i或BW30FR-400/34i元件相比，FILMTEC™ BW30XFR-400/34i的产水量提高10%，且具有更高的脱除率，从而可以降低新系统的投资成本，或提高现有系统的产水量。
- 采用全新的优化的34mil进水流道，提高了膜元件的清洗效果，有效降低膜污染的影响。
- 系统具有高度可靠的完整性与安全性，iLEC™端面自锁连接技术不仅降低了系统运行成本，而且最大限度地减少了由于O形密封圈泄漏所致的产水水质下降的风险。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft² (m²)	进水流道宽度 (mil)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 (%)	最小脱盐率 (%)
BW30XFR-400/34i	315924	400 (37)	34	11,500 (43)	99.65	99.4
	溶质		NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SiO ₂	硼
	稳定脱除率 (%)		98.8	98.2	99.8	80.0

1. 产水量和脱盐率基于下列标准测试条件得出：2,000 ppm NaCl、225 psi（15.5 bar）、77°F（25°C）、pH 8 及 15% 回收率。
2. 不同膜元件的产水量会有所差异，但不会超过 +/- 15%。
3. 产品销售规格可能会随设计改进稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-3%。陶氏水处理及过程解决方案事业部采用的有效膜面积不同于有些膜供应商常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。
5. 具体溶质的稳定脱除率基于下列标准测试条件得出：2,000 ppm NaCl、225 psi（15.5 bar）、77°F（25°C）、pH 7 和 15% 回收率。

图 1



产品	A	B	C	D
BW30XFR-400/34i	40.0 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 内径 (29)

1. 参阅陶氏水处理及过程解决方案事业部有关多元件应用设计导则。
2. 该元件配合公称内径为 8 英寸（203 毫米）的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长 40.5 英寸（1,029 毫米）（B）。连接后的净长度为 40.0 英寸（1,016 毫米）（A）。

操作限值

膜片类型	聚酰胺复合膜
最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
最高操作压力	600 psig (41 bar)
最大压降	15 psig (1.0 bar)
pH 值范围, 连续运行 ^a	2 - 11
pH 值范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 - 13
最大进水污泥密度指数 (SDI)	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。
^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于因氧化造成的损坏不在质保范围内, 陶氏水处理及过程解决方案事业部建议用户在游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前, 应完成膜的预处理系统调试, 膜元件的装填, 仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献(文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中, 为防止潜在的破坏, 应避免卷式元件产生任何压力或错流流量的突变。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态:

- 进水压力应该在 30-60 秒的时间内逐步提升。
- 错流流速应在 15-20 秒内逐步提升到设定值。
- 第一个小时内的产水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范给定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户应该对使用不兼容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全责。
- 单支膜元件的最大允许压降是 15 psi (1.0 bar) 或者每个多元件压力容器(外罩)的最大允许压降是 50psi (3.4 bar), 不过这个值更具有局限性。
- 应随时避免静态产水侧产生背压。

合规性提示

这些膜元件在某些国家受饮用水应用限制, 请在使用和销售前查看其应用现状。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ XFRLE-400/34i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、极强型抗污染、低能耗苦咸水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ XFRLE-400/34i 元件代表着陶氏在处理城市污水、工业废水或低质量地表水等具有高度生物污染或有机污染倾向的低水质给水方面的最新创新：

- 经验证，陶氏 FILMTEC XFRLE-400/34i 具有良好的抗污染化学性能，运行压力可降低 30% 以上
- 采用 34 mil 进水通道宽度，能最大限度地减少压降、降低污染影响、提高清洁效率
- 具备广泛的化学耐受能力，可在 1-13 的 pH 值范围内对生物膜、有机化合物及污垢进行高效清洗
- 可高效清除硝酸盐、铵盐或二氧化硅等特殊溶解物
- 采用专利 iLEC™ 端面自锁技术实现高度完整性，能最大限度降低密封圈泄漏导致的水质下降的风险

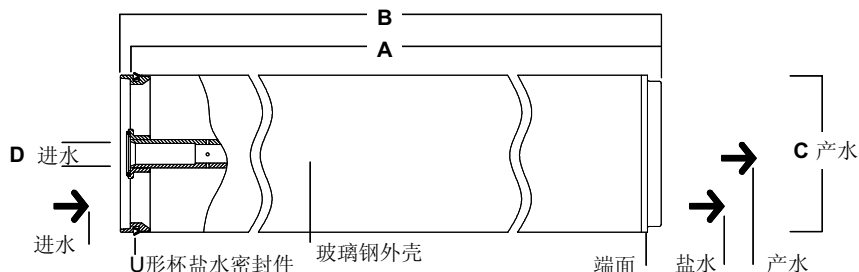
以极低的全生命周期成本提供长期的稳定性能。高溶解物去除能力使产水适合在多种应用中重复利用。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft ² (m ²)	进水通道宽度 (mil)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最低脱盐率 %
XFRLE-400/34i	347731	400 (37)	34	11,500 (44)	99.4	99.2
特定溶解物去除能力						
		二氧化硅去除率 (%)	硝酸盐去除率 (%)	铵盐去除率 (%)	异丙醇去除 (%)	
		99.7	96.4	97.0	92	

1. 产水量与脱盐 (NaCl) 率标准测试条件：2,000 ppm NaCl，150 psi (10.3 bar)，77°F (25°C)，pH 值为 8 和 15% 的回收率。
2. 为对比目的，按某些厂家使用的 1,500 ppm NaCl 溶液进行标准化测试，XFRLE-400/34i 的产水量为 12,300 gpd (46.6m³/d)，稳定脱盐率为 99.4%。
3. 单支元件的产水量可能在 +/-15% 的范围内变化。
4. 销售规格可能会随设计调整而变化。
5. 保证有效膜面积变化范围为 +/-3%。按陶氏水处理及过程解决方案业务部的说明，有效膜面积不等同于某些厂家所说的额定膜面积。测量方法见 609-00434。
6. 特定溶解物稳定去除率标准测试条件：2,000 ppm NaCl，150 psi (10.3 bar)，77°F (25°C)，pH 值为 7 和 15% 的回收率，50 ppm SiO₂ 或 100 ppm NO₃ 或 100 ppm NH₄⁺ 或 100 ppm IPA。

图 1



产品	A	B	C	D
XFRLE-400/34i	40.0 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 ID (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案业务部的多元件应用设计指南。
2. 该元件配合公称内径为 8 英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 采用 iLEC 端面的单支元件长度为 40.5 英寸 (1,029 mm)，见 B。连接后的净长度 (A) 为 40 英寸 (1,016 mm)。

操作限值

膜片类型	聚酰胺复合膜
最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
最高操作压力	600 psig (41 bar)
最高压降	15 psig (1.0 bar)
pH 值范围, 连续运行 ^a	2 – 11
pH 值范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大给水 SDI	5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH 值大于 10 时, 连续运行的最高允许温度为 95°F (35°C)

^b 参考规范 609-23010 中的清洗指南

^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏不在陶氏的质保范围内, 陶氏水处理及过程解决方案业务部建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。请参考技术公告 609-22010 了解更多详情。

一般信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或液压冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规格, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序之前, 应完成膜系统的预处理、膜元件的装填、仪器校准及其它系统检查工作。

如欲了解更多详情, 敬请参考标题为《启动顺序》的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免螺旋形元件产生任何突发压力或错流变动。在启动过程中, 建议按照如下流程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 给水压力应在 30-60 秒的时间范围内逐渐升高
- 设定工作点的错流流速应以每 15-20 秒为间隔逐步达到
- 工作第一个小时的产水应直接排出

重要信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润状态。
- 如未严格遵循本产品信息公告中的运行限制与指南, DOW™ FILMTEC™ 反渗透与纳滤元件三年期按比例有限质保 (文件号: 609-35010) 将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋生, 建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户对因使用不相容化学品与润滑剂而对元件造成的影响负全责。
- 最大压降为单支元件 15 psi (1.0 bar) 或多元件压力容器 (外壳) 50 psi (3.4 bar), 以低者为准。
- 在任何时候都应避免静态下产水侧产生反压。

合规性说明

此类膜元件在某些国家可能受饮用水应用限制, 在使用和销售前请检查应用状况。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

2-10

陶氏 FILMTEC™ 小型海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏又一次大幅度地提高了陶氏 FILMTEC™ 海水淡化反渗透膜元件的性能，在保证优异的脱盐率前提下具有最大的产水量。

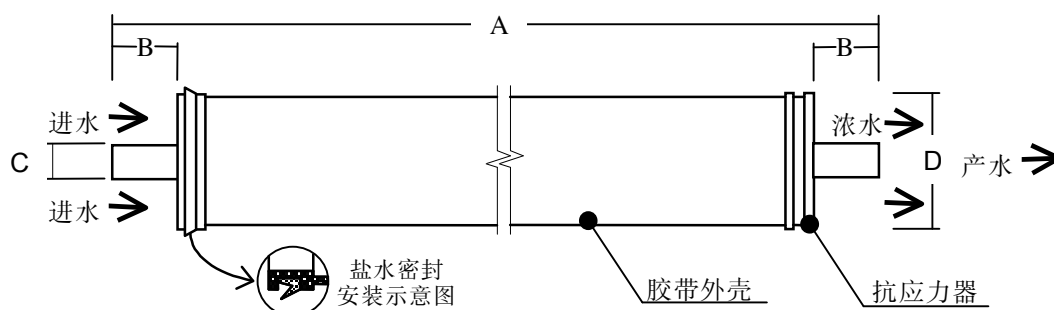
- 陶氏 FILMTEC™ SW30 的元件产水量最大，以满足海上和陆地安装的海水淡化的需要；
- 陶氏 FILMTEC™ SW30 的操作压力更低，可以减少高压泵的大小和成本，减少操作运行费用；
- 性能提高了的 FILMTEC™ 海水元件由于采用了先进的自动精密制造技术，元件性能最可靠、最稳定。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft ² (m ²)	运行压力 psi (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 Cl ⁻ %
SW30—2514	80733	6.5 (0.6)	800 (55)	150 (0.6)	99.4
SW30—2521	80734	13 (1.2)	800 (55)	300 (1.1)	99.4
SW30—2540	80737	29 (2.8)	800 (55)	700 (2.6)	99.4
SW30—4021	80740	33 (3.1)	800 (55)	800 (3.0)	99.4
SW30—4040	80741	80 (7.4)	800 (55)	1,950 (7.4)	99.4

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：32,000ppm NaCl，25°C 及如下表所示的回收率。
2. 单只元件的产水量可能在+/-20%的范围内变化。
3. 产品更新后，性能规范有可能变化。

图 1



产 品	最大给水流量		外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	gpm (m ³ /h)	典型回收率%	A	B	C	D
SW30—2514	6 (1.4)	2	14.0 (356)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
SW30—2521	6 (1.4)	4	21.0 (533)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
SW30—2540	6 (1.4)	8	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
SW30—4021	16 (3.6)	4	21.0 (533)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
SW30—4040	16 (3.6)	8	40.0 (1016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 典型回收率是针对单只元件而言。回收率是用产品水流量除以给水流量得到的。
2. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案设计指南。
3. SW30-2514, SW30-2521 和 SW30-2540 元件配公称内径 2.5 英寸的压力容器，SW30-4021 和 SW30-4040 元件配公称内径 4 英寸的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限	- 膜片类型 - 最高操作温度 - 最高运行压力 - 最高压降 - pH 范围，连续运行 ^a - pH 范围，短期清洗（30 分钟）^b - 最大给水 SDI₁₅ - 允许游离氯含量 ^c ^a pH>10 时，连续运行的最高允许温 95°F（35°C）。 ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。 ^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息，请参考技术公告：609-22010。	聚酰胺复合膜 113°F（45°C） 1,000 psig（69.0 bar） 15 psig（1.0 bar） 2 – 11 1 – 13 5 <0.1 ppm

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次开始启动程序前，应完成膜的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

欲获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-4040 海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-4040 是 SW30HR LE-400 的对应于 4 英寸产品，SW30HR LE-400 目前世界上最先进的海水淡化膜元件，同时具有前所未有的高产水率和脱盐率，因而能使淡化高含盐量进水的系统制水总成本最低。

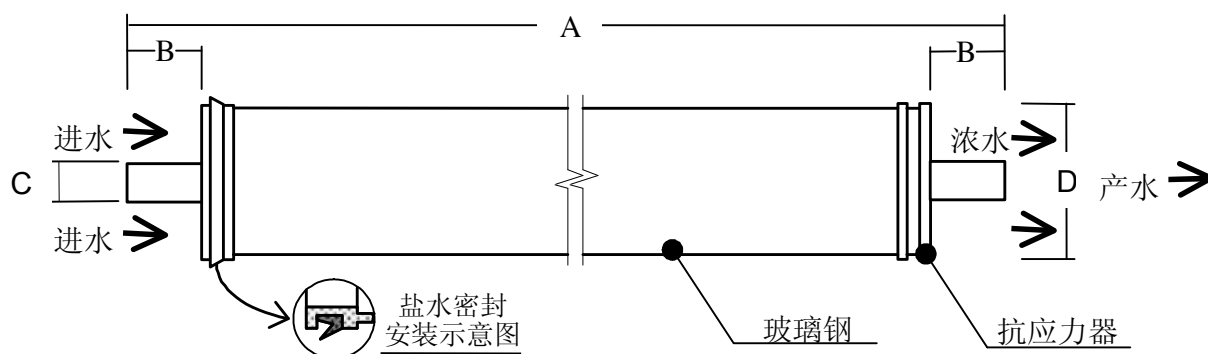
- SW30HR LE-4040 可作为试验用海水淡化膜元件，用于示范了解设计更大系统的运行性能。
- SW30HR LE-4040 元件具有最高的 NaCl 和硼脱除率，可以帮助客户满足世界卫生组织（WHO）的标准及其他饮用水组织的严格标准。
- SW30HR LE-4040 元件在制造过程中没有象其他元件制造商那样采用氧化性的后处理工艺提高短时的初始性能，因而能在长期运行中一直保持高性能。这就是为什么陶氏 FILMTEC™ 膜元件比其他品牌经久耐用，可在更宽的 pH 范围（1~13）内进行更有效的清洗的关键原因之一。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	产水量 gpd (m ³ /d)	最小脱盐率 %	稳定脱盐率 %	稳定硼脱除率 %
SW30HR LE-4040	255048	85 (7.9)	1,600 (6.1)	99.60	99.75	91.0

1. 上述测试值是基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl, 5 ppm 硼, 800 psi (5.5 MPa), 77°F (25°C), pH 8, 8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能在 +/-15% 的范围内变化。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。

图 1.



产 品	给水通道 (mil)	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
		A	B	C	D
SW30HR LE-4040	28	40 (1,016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合标准公称内径为 4.00-英寸的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高操作压力	1,200 psig（83.0 bar）
● 最高压降	15 psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次开始启动程序前，应完成膜的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

欲获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HR-380 高脱盐率海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FILMTEC™SW30HR-380 是高级海水淡化反渗透膜元件，它的有效膜面积高、脱盐率高，能为海水淡化系统带来长期的最佳经济性。

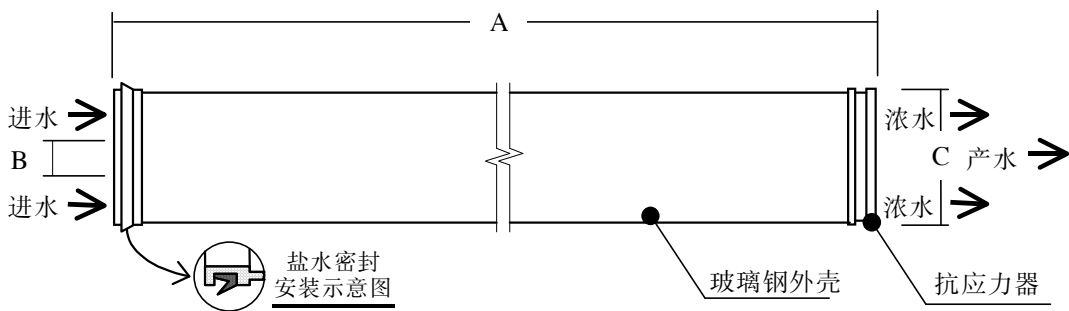
- 陶氏 SW30HR-380 对硼的脱除率极高，可满足世界卫生组织（WHO）和其它饮用水的严格标准；
- 陶氏 SW30HR-380 与其它品牌相比，在使用寿命期内具有更高的性能，元件制造过程中也无需进行后处理，这就是为什么陶氏 FILMTEC™ 元件更经久耐用，比其它品牌膜清洗 pH 范围更宽，清洗效率更高；
- 全自动精密制造技术，采用了缩短膜片长度，增加膜叶数的先进结构，降低了总体污染水平，最大程度地提高了膜效率。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	运行 压力 psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最小脱盐率 %
SW30HR-380	135137	380 (35)	800 (55)	6,000 (23)	99.70	99.60

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：32,000ppm NaCl，压力如上表，25° C，pH=8，8%回收率。
2. 单支元件的流量会在 15% 的范围内浮动。
3. 单支元件的最小脱盐率 99.6%。
4. 性能规范随产品改进会略有改变。
5. 28mil 进水流道。

图 1



产 品	给水通道 (mil)	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
SW30HR-380	28	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
 2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。
- 1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高运行压力	1,000 psig（69.0 bar）
● 最大压降	15 psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息，请参考技术公告：609-22010。	
^d 在特定设计条件下最高运行压力为 1200psig(83bar)，如有运行压力超过 1,000psig(69bar)的情况请垂询当地陶氏代表。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋生，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、极高脱盐率海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供各种优质海水反渗透（RO）元件，旨在生产高质量用水，同时降低海水反渗透系统的投资成本及运营成本。陶氏 FILMTEC™ 产品将优秀的膜性能和自动化精密制造工艺融为一体，可提供能够提供稳定可靠的、始终如一的高性能。

在陶氏 FILMTEC 元件中，陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-400i 元件是脱盐率最高的海水反渗透元件，在多数情况下，采用一级海水反渗透系统就可达到严格的水质要求。陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-400i 元件具有如下优点：

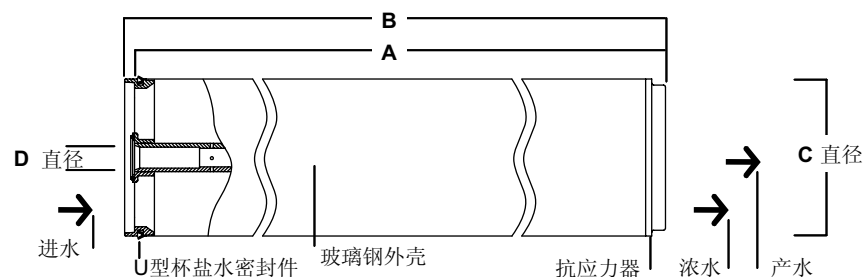
- 脱盐脱硼率极高，能以更高的成本效率满足世界卫生组织（WHO）及其它饮用水标准；
- 此元件采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，不仅能降低系统运行成本，而且还能减少 O 形密封圈泄漏导致的水质下降的风险；
- 拥有 400 平方英尺的保证有效膜面积，这不仅可实现生产率最大化，同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量；
- 在产水分流式海水淡化系统中实现有效利用，不影响下游工艺的性能；
- 由于不采用氧化后处理，从而保证在元件运行周期过程中提供高性能。因此，与其它反渗透元件相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且能够在更宽泛的 pH 值范围（1-13）内进行清洗；
- 采用自动化精密制造工艺，且拥有更多更短的膜片，从而降低了整体污染程度，并最大程度地提高了元件效率。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft² (m²)	最大运行压力 psig (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30XHR-400i	293991	400 (37)	1,200 (83)	6,000 (23)	93	99.70	99.82

1. 上述测试值是基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl、800 psi（5.5 MPa）、77°F（25°C）、pH 8 及 8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但变化幅度不超过 +/-15%。
3. 当产品质量提高时，产品规格可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-5%。陶氏水处理及过程解决方案业务部采用的有效膜面积不同于有些膜供应商常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



产品	外形尺寸 —— 英寸 (mm)				
	进水流道宽度 (mil)	A	B	C	D
SW30XHR-400i	28	40 (1016)	40.5 (1029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合标称内径为 8 英寸（203 毫米）的压力容器。

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度	113°F (45°C)
最大元件压降	13psig (0.9 bar)
pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
最大进水污泥密度指数（SDI）	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时，连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。
^b 参阅 609-23010 文件中的清洗导则。
^c 在某些条件下，游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围，故 FilmTec 公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息，敬请参考技术公告：609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的损坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其它系统检查。

更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免压力或错流流量的剧烈变化，以防止膜损坏。在启动过程中，我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态：

- 进水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应一直保持湿润。
- 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则，有限质保将失效。敬请参考陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件三年按比例有限质保（文件号：609-35010）。
- 在系统长时间停运期间，建议将膜元件浸入保护液中，以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
- 单支压力容器（外壳）允许的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免静态产水侧产生背压。
- 佩戴防护眼罩、手套和套袖，以避免眼睛、皮肤和衣服的长时间接触。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、极高脱盐率海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供各种优质海水反渗透（RO）元件，旨在降低脱盐系统的投资成本及运营成本。陶氏 FILMTEC™ 产品将优秀的膜性能和自动化精密制造工艺融为一体，使脱盐系统的生产率达到前所未有的水平。

在陶氏 FILMTEC 元件产品中，陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-440i 元件是脱盐率最高的海水反渗透产品，在多数情况下，采用一级海水反渗透系统都可完全达到严格的水质要求。此外，由于此元件的有效膜面积最大、进水流道较宽，有助于降低清洗频率并提高清洗效率，从而实现可持续的较低运行周期成本。陶氏 FILMTEC™ SW30XHR-440i 元件具有如下优势：

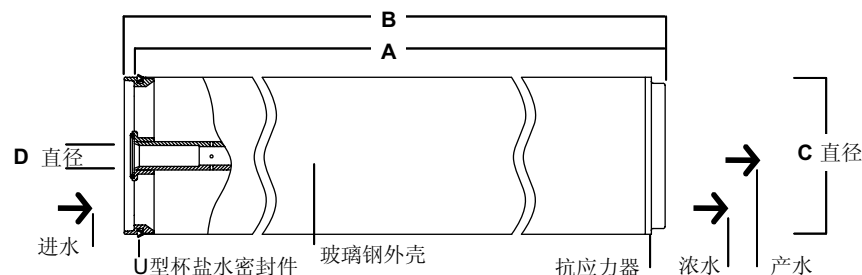
- 脱盐脱硼率最高，能以更高的成本效率满足世界卫生组织（WHO）及其它饮用水标准；
- 拥有 440 平方英尺（41 平方米）的最大保证有效膜面积，这不仅可实现生产率最大化，使系统成本降至最低，同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量；
- 同时拥有最大有效膜面积和进水流道宽度（28 mil），有助于降低清洗频率并提高清洗效率；
- 此元件采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，不仅能降低系统运行成本，而且还能减少 O 形密封圈泄漏导致的水质下降的风险（有关成本节约优势的说明，请参考文件：609-00446）；
- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理，从而保证在元件运行周期过程中提供可持续的高性能。因此，与采用氧化处理的其它反渗透产品相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且在宽泛的 pH 值范围（1-13）内达到更有效的清洗；
- 在产水分流式海水淡化系统中实现有效利用，不影响下游工艺的性能。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft² (m²)	最大运行压力 psig (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30XHR-440i		440 (41)	1,200 (83)	6,600 (25.0)	93	99.70	99.82

1. 上述测试值是基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl、800 psi（5.5 MPa）、77°F（25°C）、pH 8 及 8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但变化幅度不超过 +/-15%。
3. 当产品质量提高时，产品规格可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-5%。陶氏水处理及过程解决方案业务部采用的有效膜面积不同于有些膜供应商常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



外形尺寸 — 英寸 (mm)

产品	进水流道宽度 (mil)	A	B	C	D
SW30XHR-440i	28	40 (1016)	40.5 (1029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合标称内径为 8 英寸（203 毫米）的压力容器。

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度	113°F (45°C)
最大元件压降	13psig (0.9 巴)
pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大进水污泥密度指数 (SDI)	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。
^b 参阅 609-23010 文件中的清洗导则。
^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的损坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。
在膜系统初次启动程序前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其它系统检查。

更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免压力或错流流量的剧烈变化, 以防止膜损坏。在启动过程中, 我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 进水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

请参阅产品技术手册。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应一直保持湿润。
- 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则, 有限质保将失效。敬请参考陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件三年按比例有限质保 (文件号: 609-35010)。
- 在系统长时间停运期间, 建议将膜元件浸入保护液中, 以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
- 单支压力容器 (外壳) 允许的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免静态产水侧产生背压。
- 佩戴防护眼罩、手套和套袖, 以避免眼睛、皮肤和衣服的长时间接触。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-400 高脱盐率、低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏 FilmTec 公司为用户提供了多种优级海水淡化反渗透元件，以节省海水淡化系统的投资和运行成本。FILMTEC™ 的产品将优秀的膜性能和全自动、高精度的制造工艺融为一体，从而使系统的产水率提高到了前所未有的水平。

FILMTEC™ SW30HR LE-400 脱除率高，能耗低，因而能使海水淡化系统的制水成本最低。SW30HR LE-400 的优点如下：

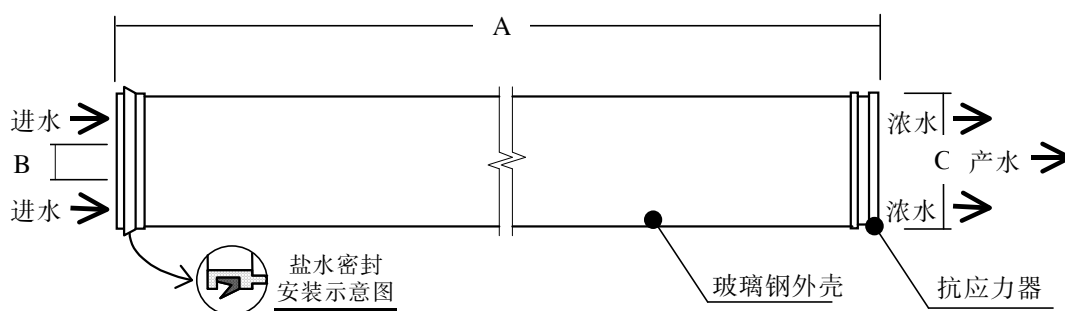
- 使用该元件设计的系统能够在更低能耗下运行，从而优化运行成本；或者在更低的通量下获得更多的产水量，从而优化投资成本。
- FILMTEC™ SW30HR LE-400 元件具有最高的 NaCl 和硼脱除率，可以帮助客户满足世界卫生组织（WHO）的标准及其他饮用水组织的严格标准。
- 在产水分段式海水淡化系统中选用该元件，不会削弱下游段的性能。
- FILMTEC™ SW30HR LE-400 元件在制造过程中没有象其他元件制造商那样采用氧化性的后处理工艺提高短时的初始性能，因而能在长期运行中一直保持高性能。这就是为什么 FILMTEC™ 元件比其他品牌经久耐用，而且可在更宽的 pH 范围（1~13）内进行更有效的清洗的关键原因之一。
- 全自动、高精度制造工艺，再加上“增加膜片数、缩短膜片长度”的优化设计，减少了膜面的整体污垢，使膜元件效率最大化，显著地降低了运行费用。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft² (m²)	最大 运行 压力 psig (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定的硼脱除率 %	最小脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30HR LE-400	217822	400 (37)	1,200 (83)	7,500 (28)	92	99.65	99.80

1. 上述测试值是基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl, 5 ppm 硼, 800 psi (5.5 MPa), 77°F (25°C), pH 8, 8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能在 +/-15% 的范围内变化。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 陶氏水处理及过程解决方案所述的有效膜面积与其他膜供应商标注的公称膜面积完全不同。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



产 品	给水通道 (mil)	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
SW30HR LE-400	28	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关元件应用的设计导则。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限	- 膜片类型 聚酰胺复合膜 - 最高操作温度 113°F (45°C) - 最高压降 15 psig (1.0 bar) - pH 范围, 连续运行 ^a 2 – 11 - pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b 1 – 13 - 最大给水 SDI₁₅ 5 - 允许游离氯含量 ^c <0.1 ppm ^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。 ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。 ^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息, 请参考技术公告: 609-22010。
重要信息	在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。 在膜系统初次启动开机程序前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。 如需获取更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献 (文件号: 609-02077)。
操作指南	在启动、停机、清洗或其他过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变: - 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。 - 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。 - 第一小时内的产品水应该放掉不用。
通用信息	- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。 - 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。 - 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5% (重量) 的亚硫酸氢钠 (食品级)。 - 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。 - 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。 - 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高脱盐率、低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏化学公司为用户提供多种优质海水淡化反渗透元件，以节省海水淡化系统投资和运行成本。FILMTEC™ 的产品将优秀的膜性能和全自动、高精度制造工艺融为一体，从而使系统产水率提高到了前所未有的水平。

FILMTEC™ SW30HR LE-400i 同时具有最高的产水率和脱盐率，因而能使海水淡化系统的制水成本最低。该元件采用独特的 iLEC 端面自锁连接专利技术，不仅能减少系统的运行成本，而且还能减少产水 O 形密封圈的泄漏，避免水质下降。SW30HR LE-400i 的优点如下：

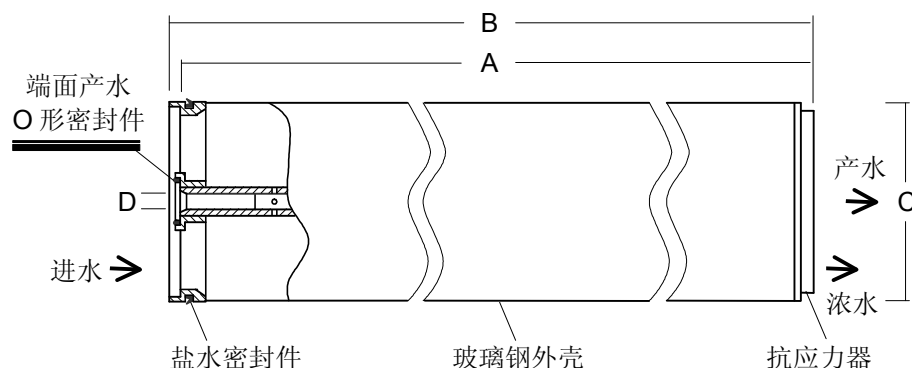
- 使用该元件设计的系统能够在更低能耗下运行，从而优化运行成本；或者在更低的通量下获得更多的产水量，从而优化投资成本。
- 该元件具有最高的 NaCl 和硼脱除率，可以帮助客户满足世界卫生组织（WHO）的标准及其他饮用水的严格标准。
- 在产水分段式海水淡化系统中选用该元件，不会削弱下游段的性能。
- 该元件在制造过程中没有象其他元件制造商那样采用氧化性的后处理工艺提高短时的初始性能，因而能在长期运行中一直保持高性能。这就是为什么 FILMTEC™ 元件比其他品牌经久耐用，而且可在更宽的 pH 范围（1~13）内进行更有效的清洗的关键原因之一。
- 全自动、高精度的制造工艺，再加上“增加膜片数、缩短膜片长度”的优化设计，减少了整体膜面的污垢效应，最大化膜元件的效率，并显著地降低了运行费用。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	最大 运行 压力 psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定硼脱除率 %	最小脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30HR LE-400i	246512	400 (37)	1,200 (83)	7,500 (28)	92	99.65	99.80

1. 上述测试值是基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl, 5 ppm 硼, 800 psi (5.5 MPa), 77°F (25°C), pH 8, 8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能在 +/-15% 的范围内变化。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 陶氏水处理及过程解决方案所述的有效膜面积与其他膜供应商标注的公称膜面积完全不同。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



产 品	给水通道 (mil)	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
		A	B	C	D
SW30HR LE-400i	28	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
 2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。
- 1 英寸 = 25.4 mm

操作极限	膜片类型	聚酰胺复合膜
	最高操作温度	113°F（45°C）
	最高压降	15 psig（1.0 bar）
	pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
	pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
	最大给水 SDI ₁₅	5
	允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
	^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。 ^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。 ^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、高脱盐率、低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供各种优质海水反渗透 (RO) 元件，旨在降低脱盐系统的资本成本及运营成本。陶氏 FILMTEC™ 产品集一流的膜质量和自动化精密制造工艺为一体，使淡化系统的性能达到前所未有的高水平。

陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-440i 元件不仅具有高脱盐率、低能耗等优异特性，同时还是陶氏膜元件中拥有最大有效膜面积和进水流道宽度的一款产品，在中高盐度进水条件下可实现可持续较低运行周期成本。陶氏 FILMTEC™ SW30HR LE-440i 元件具有如下优势：

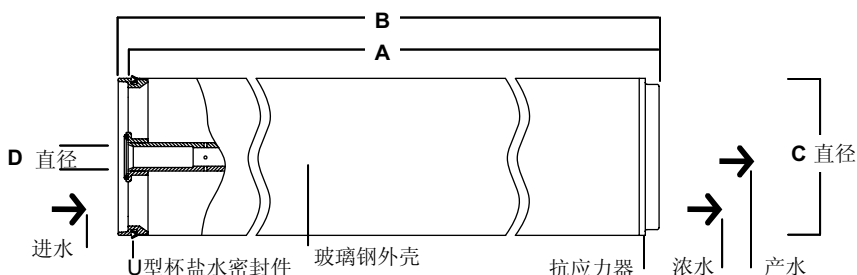
- 该系统设计旨在通过降低能耗来减少运营成本；或者在较低运行通量条件下通过提高生产率来降低投资成本。
- 脱盐脱硼率高，能满足世界卫生组织 (WHO) 及其它饮用水标准。
- 拥有 440 平方英尺 (41 平方米) 的最大保证有效膜面积，这不仅可实现生产率最大化，使系统成本降至最低，同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量。
- 同时拥有最大有效膜面积和进水流道宽度 (28 mil)，有助于降低清洗频率并提高清洗效率。
- 采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，有助于降低运营成本和 O 形环泄漏导致的水质下降的风险（有关成本节约优势的说明，请参考文件：609-00446）。
- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理，从而保证元件运行周期过程中的可持续高性能。因此与采用氧化处理的其它反渗透产品相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且在更宽泛的 pH 值范围（1-13）下达到更有效的清洗。
- 在产水分流式海水淡化系统中实现有效利用，不影响下游工艺的性能。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft² (m²)	最大运行压力 psig (bar)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30HR LE-440i		440 (41)	1200 (83)	8200 (31)	92	99.65	99.80

1. 上述数值按下列条件标准化：32,000 ppm NaCl、5 ppm 硼、800 psi (5.5 MPa)、77°F (25°C)、pH 8、8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同，但变化幅度不超过：+/-15%。
3. 当产品质量提高时，产品规格可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-5%。陶氏水处理及过程解决方案业务部采用的有效膜面积不同于有些膜供应商常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



外形尺寸 — 英寸 (mm)

产品	进水流道宽度 (mil)	A	B	C	D
SW30HR LE-440i	28	40 (1016)	40.5 (1029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合标称内径为 8 英寸 (203 mm) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长度 (B) 为 40.5 英寸 (1029 毫米)。连接后的净长度 (A) 为 40 英寸 (1016 毫米)。

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
最大元件压降	15psig (1.0 巴)
pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大进水污泥密度指数 (SDI)	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。

^b 参阅 609-23010 文件中的清洗导则。

^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

一般信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的损坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前, 应完成膜预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其它系统检查。

更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免压力或错流流量的剧烈变化, 以防止膜损坏。在启动过程中, 我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 进水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

请参阅产品技术手册。

重要信息

- 元件一旦润湿, 就应一直保持湿润。
- 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则, 有限质保将失效。敬请参考陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件三年按比例有限质保 (文件号: 609-35010)。
- 在系统长时间停运期间, 建议将膜元件浸入保护液中, 以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
- 单支压力容器 (外壳) 允许的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免静态产水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30HRLE-370/34i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高脱盐率、低能耗、抗污染海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供各种优质海水反渗透 (RO) 元件，旨在生产优质水、降低海水反渗透系统的投资成本与运营成本。这些产品结合优异的膜性能和自动化精密制作工艺，能提供稳定可靠的性能。

陶氏 FILMTEC™ SW30HRLE-370/34i 是一种高耐久性、高脱除率、高生产率海水元件，用于污染严重或给水条件严苛的情况下，有助于系统的稳定运行和产水成本的降低。

陶氏 FILMTEC™ SW30HRLE-370/34i 元件具有如下优势：

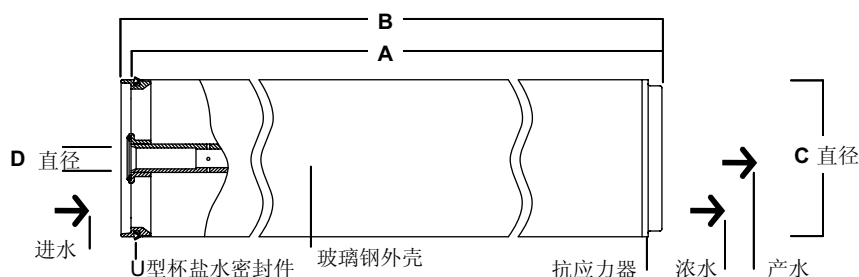
- 进水流道宽度 34 mil，能减少污染对容器压降的影响、改善清洗效果；
- 有效膜面积 370 平方英尺，不仅能实现生产率最大化，还能实现精确可预测的系统设计与运行通量；
- 采用独特的 iLEC™ 端面自锁连接技术，有助于降低系统运行成本和 O 形密封圈泄漏的风险，以免导致水质下降；
- 可有效用于产水分流式海水淡化系统，且不影响下游段的性能；
- 在整个运行周期内都能保持高性能，无需进行氧化后处理。陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且能在更广泛的 pH 值范围 (1-13) 内进行清洗；
- 采用自动化精密制作工艺，制造出更多更短的膜片，能够降低总体污染，实现元件效率最大化。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft ² (m ²)	最大运行压力 Psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30HRLE-370/34i	297258	370 (34.4)	1,200 (83)	6,700 (25)	92	99.65	99.80

1. 上述基准值基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl、800 psi (5.5 MPa)、77°F (25°C)、pH 值为 8 及 8% 的回收率。
2. 单支元件产水量可能不同，但变化幅度不超过 +/-15%。
3. 产品规范会随产品品质的提升而略有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-5%。陶氏水处理及过程解决方案业务部采用的有效膜面积不同于某些膜供应商通常采用的公称膜面积。测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



外形尺寸 — 英寸 (mm)

产品	进水流道宽度 (mil)	A	B	C	D
SW30HRLE-370/34i	34	40 (1016)	40.5 (1029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合公称内径为 8 英寸 (203 毫米) 的压力容器。

1 英寸 = 25.4 毫米

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度	113°F (45°C)
最高元件压降	13 psig (0.9 bar)
pH 值范围, 连续运行 ^a	2 – 11
pH 值范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大进水污泥密度指数 (SDI)	5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。

^b 参考 609-23010 文件中的清洗导则。

^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏不在质保范围内, 陶氏水处理及过程解决方案业务部建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

一般信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或液压冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序之前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪器标定及其它系统检查工作。

如欲了解更多详情, 敬请参考标题为《启动顺序》的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免压力或错流流量的剧烈变化, 以防止螺旋结构膜损坏。在启动过程中, 建议按照如下流程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 给水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应一直保持湿润。
- 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则, 有限质保将失效。敬请参考《DOW™ FILMTEC™ 反渗透与纳滤元件三年按比例有限质保》(文件号: 609-35010)。
- 在系统长时间停运期间, 建议将膜元件浸入保护液中, 以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全责。
- 整个压力容器 (外壳) 的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 在任何时候都应避免静态下产水侧产生反压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30XLE-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、极低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏化学公司为用户提供多种高级海水淡化反渗透元件，以节约海水淡化系统的投资和运行成本。FILMTEC™ 产品将优秀的膜性能和全自动、高精度制造工艺融为一体，从而使系统的产水率提高到了前所未有的水平。

FILMTEC™ SW30XLE-400i 将产水量和脱盐率提高到了无与伦比的水平，是目前市面上能买到的能耗最低的海水元件，因而能使海水淡化系统实现最低的制水成本。当设计两级海水淡化或高 TDS 苦咸水系统时，该产品是最理想的选择。元件采用独特的 iLEC 端面自锁连接专利技术，不仅能减少系统的运行成本，而且能减少 O 形密封圈的泄漏，避免水质下降。参见文件 No.609-00446 有关 iLEC™ 端面自锁连接无故障及节省成本的特点介绍，其优点包括：

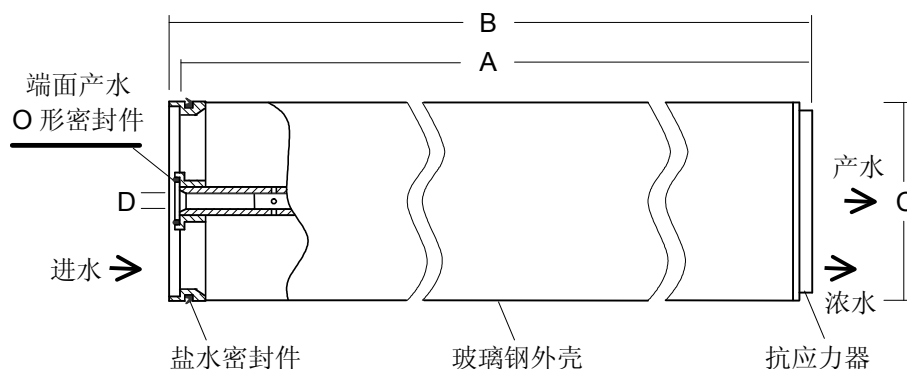
- 产水量在所有品牌中最高，有效膜面积 400 平方英尺。使用该产品设计的系统能够在更低能耗下运行，从而优化运行成本；或者在更低的通量下产出更多的水来，从而优化投资成本。
- 在产水分段式海水淡化系统中选用该元件，不会削弱下游段的性能。
- 该元件在制造过程中没有象其他膜制造商那样采用氧化性的后处理工艺提高短时的初始性能，因而能在长期运行中一直保持高性能。这就是为什么陶氏 FILMTEC™ 元件比其他品牌经久耐用，而且可在更宽的 pH 范围（1~13）内进行更有效的清洗的关键原因之一。
- 全自动、高精度的制造工艺，再加上“增加膜片数、缩短膜片长”的优化设计，减少了整体膜面的污垢效应，优化膜元件的效率，并显著地降低了运行费用。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft ² (m ²)	最大 运行压力 psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定的硼脱除率 %	最小脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30XLE-400i	219219	400 (37)	1,200 (83)	9,000 (34)	88	99.60	99.75

1. 上述测试值是基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl, 5 ppm 硼, 800 psi (5.5 MPa), 77°F (25°C), pH 8, 8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能在 +/-15% 的范围内变化。
3. 当产品质量提高时，产品规范可能稍有变化。
4. 陶氏水处理及过程解决方案所述的有效膜面积是其他膜供应商标注的公称膜面积完全不同。测量方法可参考文件：609-00434。

图 1



产 品	给水通道 (mil)	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
		A	B	C	D
SW30XLE-400i	28	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合公称内径 8.00-英寸 (203 mm) 的压力容器。

™ 陶氏化学公司或其附属公司的商标

操作极限	膜片类型	聚酰胺复合膜
	最高操作温度	113°F（45°C）
	最高压降	15 psig（1.0 bar）
	pH 范围，连续运行 ^a	2 – 11
	pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 13
	最大给水 SDI ₁₅	5
	允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F（35°C）。
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息，请参考技术公告：609-22010。

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30XLE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、极低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供各种优质海水反渗透 (RO) 元件, 旨在降低脱盐系统的投资成本及运营成本。陶氏FILMTEC™产品集一流的膜质量和自动化精密制造工艺为一体, 使淡化系统的性能达到前所未有的高水平。

陶氏FILMTEC™ SW30XLE-440i元件采用超低能耗和单级设计, 实现了高生产效率和高脱盐率的完美结合, 非常适用于中等盐度及中等温度进水条件。此外, 其还是两级海水淡化设计或高盐度苦咸水应用的理想选择。陶氏FILMTEC膜拥有最大有效膜面积和进水通道宽度, 不仅能大幅提高生产效率, 而且还可显著减少清洗频率, 从而实现可持续的较低运行周期成本。SW30XLE-440i元件具有如下优势:

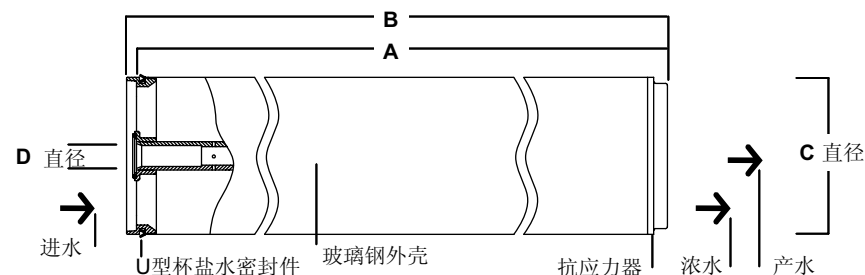
- 具有440平方英尺的有效膜面积, 并能通过优化能耗、系统生产效率以及运行通量实现最低的总产水成本;
- 拥有440平方英尺 (41平方米) 的最大保证有效膜面积, 这不仅可实现生产率最大化, 使系统成本降至最低, 同时还能够达到准确可预期的系统设计和运行通量。
- 同时拥有最大有效膜面积和进水通道宽度 (28mil), 从而降低清洗频率并提高清洗效率。
- 采用独特的iLEC™端面自锁连接技术, 有助于降低运营成本和O形环泄漏导致的水质下降的风险 (有关成本节约优势的说明, 请参阅文件: 609-00446)。
- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理, 从而确保了元件运行周期过程中的可持续高性能。因此与大多数采用氧化处理的其它反渗透产品相比, 陶氏FILMTEC元件更耐用, 且能在更宽泛的pH值范围 (1-13) 下达到更有效的清洗。
- 在产水分流式海水淡化系统中实现有效利用, 不影响下游工艺的性能。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft ² (m ²)	最大运行压力 Psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30XLE-440i		440 (41)	1,200 (83)	9,900 (37.5)	88	99.60	99.75

1. 上述数值按下列条件标准化: 32,000 ppm NaCl、5 ppm 硼、800 psi (5.5 MPa)、77°F (25°C)、pH 8、8% 回收率。
2. 单支元件的产水量可能不同, 但变化幅度不超过: +/-15%。
3. 当产品质量提高时, 产品规格可能稍有变化。
4. 有效膜面积的保证范围为 +/-5%。陶氏采用的有效膜面积不同于有些膜供应商常采用的公称膜面积。其测量方法可参考文件: 609-00434。

图 1



外形尺寸 — 英寸 (mm)

产品	进水通道宽度 (mil)	A	B	C	D
SW30XLE-440i	28	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合标称内径为 8 英寸 (203 毫米) 的压力容器。
3. 每支采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件长度 (B) 为 40.5 英寸 (1029 毫米)。连接后的净长度 (A) 为 40 英寸 (1016 毫米)。

1 英寸 = 25.4 毫米

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度 ^a	113°F (45°C)
最大元件压降	15 psig (1.0 bar)
pH 值范围, 持续运行 ^a	2 – 11
pH 值范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大进水污泥密度指数 (SDI)	SDI 5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。
^b 参阅 609-23010 规范说明书中的清洗导则。
^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

一般信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的损坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范, 从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前, 应完成膜预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其它系统检查。

更多信息, 请参考标题为“启动顺序”的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免压力或错流流量的剧烈变化, 以防止膜损坏。在启动过程中, 我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 进水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

请参阅产品技术手册。

重要信息

- 通用信息元件一旦润湿, 就应一直保持湿润。
 - 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则, 有限质保将失效。敬请参考陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件三年按比例有限质保 (文件号: 609-35010)。
 - 在系统长时间停运期间, 建议将膜元件浸入保护液中, 以防止系统中微生物滋生。
 - 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
 - 单支压力容器 (外壳) 允许的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免静态产水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30ULE-400i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、超低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供了集优异的膜性能和自动化精密制作工艺于一身的各种优质海水反渗透（RO）元件，可将系统产能提升到前所未有的水平。

FILMTEC™ SW30ULE-400i 是业界产水量最高的元件之一，具有优异的脱盐和脱硼能力，从而可使投资成本和运营成本大幅削减，特别是该元件在相同压力容器中采用“内部分段式设计（ISD）”法与其他类型的元件混合使用的情况下。FILMTEC™ SW30ULE-400i 元件具有如下优点：

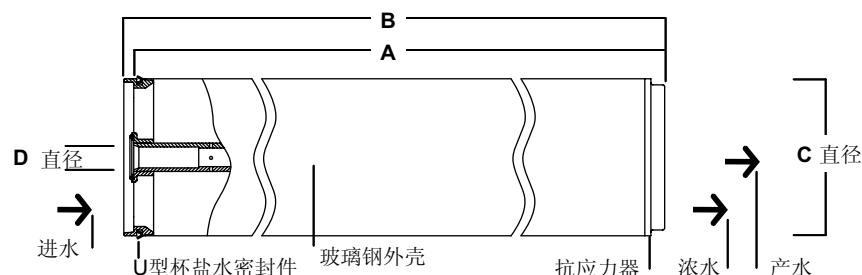
- 业界产水量最高的海水反渗透元件之一，能大幅降低海水反渗透系统的投资成本和运营成本。
- 高脱盐和脱硼能力，可满足世界卫生组织（WHO）及其它组织的饮用水标准要求。
- 有效用于产水分流式海水淡化系统，且不影响下游工艺的性能。
- 在整个运行周期内都能保持高性能，无需进行氧化后处理。
- 采用自动化精密制作工艺，制造出更多更短的膜片，能够降低总体污染，实现元件效率最大化。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft ² (m ²)	最大运行压力 Psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30ULE-400i	259124	400 (37)	1,200 (83)	11,000 (41.6)	89	99.55	99.70

1. 上述基准值的测试条件：32,000 ppm NaCl、800 psi (5.5 MPa)、77°F (25°C)、pH 8 及 8% 回收率。
2. 单支元件产水量可能不同，但变化幅度不超过：+/-15%。
3. 产品规范会随产品品质的提升而略有变化。
4. 新开发产品，现已供货。

图 1



外形尺寸 — 英寸 (mm)

产品	进水流道宽度 (mil)	A	B	C	D
SW30ULE-400i	28	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合公称内径为 8 英寸（203 毫米）的压力容器。

1 英寸 = 25.4 毫米

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度	113°F (45°C)
最高元件压降	13 psig (0.9 bar)
pH 值范围, 连续运行 ^a	2 – 11
pH 值范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最大进水污泥密度指数 (SDI)	5
允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时, 连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。

^b 参考 609-23010 文件中的清洗导则。

^c 在某些条件下, 游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏不在质保范围内, FilmTec 公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息, 敬请参考技术公告: 609-22010。

一般信息

在膜系统准备投入运行时, 为了防止给水过流或液压冲击对膜元件的破坏, 正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规格, 从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序之前, 应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪器标定及其它系统检查工作。

如欲了解更多详情, 敬请参考标题为《反渗透膜系统启动顺序》的应用文献 (文件号: 609-02077)。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中, 应避免压力或错流流量的剧烈变化, 以防止螺旋结构膜损坏。在启动过程中, 建议按照如下流程从静止状态逐渐过渡到运行状态:

- 给水压力应在 30-60 秒内逐渐升高
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用

重要信息

- 元件一旦润湿, 就应一直保持湿润。
- 如未严格遵循本产品信息公告中的操作限值和导则, 有限质保将失效。请参考 FILMTEC™ 反渗透与纳滤元件三年按比例有限质保 (文件号: 609-35010) 了解详情。
- 在系统长时间停运期间, 建议将膜元件浸入保护液中, 以防止系统中微生物滋生。
- 用户对因使用不相容化学品与润滑剂而对元件造成的影响负全责。
- 整个压力容器 (外壳) 的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 在任何时候都应避免静态下产水侧产生反压。
- 应穿戴护目镜、手套和袖套, 以避免长时间与眼睛、皮肤或衣物接触。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ SW30ULE-440i 采用 iLEC™ 端面自锁连接、高有效膜面积、超低能耗海水淡化反渗透元件

性能特点

陶氏水处理及过程解决方案业务部提供各种旨在降低淡化系统的投资成本和运营成本的高端海水反渗透 (RO) 元件。陶氏 FILMTEC™ 产品是优质的膜和自动化精确制造的结晶，能将系统性能提升到前所未有的水平。

陶氏 FILMTEC™ SW30ULE-440i 元件是中低给水盐度和温度条件下实现产水质量要求严格的产水分流系统和给水盐度较高的苦咸水应用的理想选择。其既具有业界最高的可持续流量，又具有优异的脱盐和脱硼能力。上述性能可使投资成本和运营成本大幅削减，特别是该元件在相同压力容器中采用“内部分段式设计 (ISD)”法与其他类型的元件混合使用的情况下。此外，该款陶氏 FILMTEC 膜结合了最大的有效膜面积与较宽的进水流动道，能够提升生产率并降低清洗频次，进而可持续地降低运行周期成本。陶氏 FILMTEC™ SW30ULE-440i 元件具有如下优势：

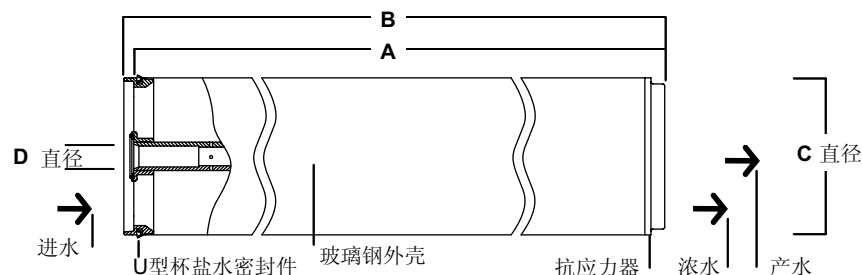
- 业界最高的海水反渗透元件流量。结合其高脱除率，能实现超低能耗，从而将海水系统的投资成本和运营成本降至最低。
- 最大的保证有效膜面积——440平方英尺 (41平方米)。这能够尽可能地提高生产率，实现精确和可预测的系统设计和运行通量，从而将系统成本降至最低。
- 将最大有效面积与进水流动道宽度 (28mil) 相结合，可降低清洗频次，提升清洗效率。
- 使用出色的 iLEC™ 端面自锁连接技术，帮助降低系统运营成本，减少导致水质下降的密封圈泄漏风险 (节约成本方面的优势请参见第 609-00446 号表单)。
- 由于膜生产过程中不采用氧化后处理，从而保证元件运行周期过程中的可持续高性能。因此与采用氧化处理的其它反渗透产品相比，陶氏 FILMTEC 元件更耐用，且在更宽泛的 pH 值范围内达到更有效的清洗。
- 能在不降低下游性能的情况下，有效地用于产水分流式海水淡化处理系统中。
- 自动化精密制造，能够生产出数量更多、更短的电影，从而降低总体污染情况，最大程度地提高元件效率，降低运行成本。

产品规范

产品	元件编号	有效膜面积 ft ² (m ²)	最大运行压力 Psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30ULE-440i		440 (41)	1,200 (83)	12,000 (45.4)	89	99.55	99.70

1. 上述基准值基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl、800 psi (5.5 MPa)、77°F (25°C)、pH 8 和 8% 回收率。
2. 单支元件产水量可能不同，但变化幅度不超过：+/-15%。
3. 产品规范会随产品品质的提升而略有变化。

图 1



产品	进水流道宽度 (mil)	外形尺寸 — 英寸 (mm)			
		A	B	C	D
SW30ULE-440i	28	40 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. 请参阅陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 元件配合标称内径为 8 英寸 (203 毫米) 的压力容器。

1 英寸 = 25.4 毫米

操作限值

膜类型	聚酰胺复合薄膜
最高操作温度	113°F (45°C)
最大压差	13 psig (0.9bar)
pH 值范围，连续运行 ^a	2 – 11
pH 值范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
最高进水污泥密度指数	5
允许的游离氯含量 ^c	<0.1 ppm

^a pH>10 时，最高连续运行温度为 95°F (35°C)。
^b 请参考 609-23010 规范中的清洗导则。
^c 在某些条件下，游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围，故陶氏建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息，敬请参考技术公告：609-22010。

一般信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的损坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和产水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动程序前，应完成膜预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其它系统检查。

更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免螺旋卷式元件上压力或错流流量的剧烈变化，以防止膜损坏。在启动过程中，我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态：

- 进水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设计错流流速值。
- 运行第一个小时内的产水应放掉不用。

请参考产品技术手册。

重要信息

- 元件一旦润湿，就应一直保持湿润。。
- 如不严格遵从本产品信息公告中的运行限制和指南，则有限质保无效。更多详细信息，请参见陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳米过滤元件三年按比例有限质保（609-35010）。
- 在系统长时间停运期间，建议将膜元件浸入保护液中，以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
- 单支压力容器（外壳）允许的最大压降为 50 psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免静态产水侧产生背压。
- 应佩戴防护眼镜、手套和袖套，避免长时间与眼睛、皮肤或者衣物接触。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏FILMTEC™ SW30ULE-400i及SW30ULE-440i元件质量保证测试

性能特点

陶氏公司提供各种优质海水反渗透（SWRO）元件，旨在降低海水淡化反渗透系统的投资成本及运营成本。陶氏FILMTEC™产品集卓越的膜材料性能和自动化精密制造工艺于一身，可将系统产能提升到前所未有的水平。

陶氏FILMTEC™ SW30ULE-400i和陶氏FILMTEC™ SW30ULE-440i元件是业界产水量最大的元件，具有高脱盐率和脱硼率，这将大幅削减投资成本和运营成本。

下表1显示了公称测试条件下测得的元件性能参数。

表 1: 800psi (5.5 Mpa) 压力下的产品规范

产品	有效膜面积 ft ² (m ²)	最大运行压力 Psig (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30ULE-400i	400 (37)	1,200 (83)	11,000 (41.6)	89	99.55	99.70
SW30ULE-440i	440(41)	1,200 (83)	12,000 (45.4)	89	99.55	99.70

1. 上述测试值基于如下测试条件：32,000 ppm NaCl、800 psi (5.5 Mpa)、77°F (25°C)、pH 8 及 8% 回收率。
2. 单个元件的产水量可能不同，但变化幅度不超过 +/-15%。
3. 当产品质量提高时，产品规格可能稍有不同。

为确保所生产的元件符合上述公称测试条件，我们采用各种测试方法，并将其纳入陶氏 FILMTEC™ 反渗透系统分析软件（ROSA）。各种测试方法的原则如下所示：

测试方法 1. 在 32,000 ppm NaCl、25°C、pH 值为 8、800 psi 及低回收率（由于板框式设备的原因，回收率为 1% 或更低）条件下使用板框式设备，对所生产膜的通量和脱除能力进行主动监控。主动质量准则是指，在膜片进入螺旋卷式结构膜元件制造流程之前观察膜片性能。未达到质量标准的膜片将被弃用并予以处置。这样就避免了因“坏”膜片而导致“坏”膜元件，从而提高膜元件质量。

测试方法 2. 在 32,000 ppm NaCl、25°C 及 pH 值为 8 的条件下进行 20 分钟的润湿测试。由于 SW30ULE 元件产水量高，在 800 psi 和 8% 回收率条件下的测试将导致给水（和盐）消耗过大，因此在 700 psi 和 8% 回收率条件下测试可降低用水量，因而减少了测试成本及环境影响。

测试方法 3. 使用投加了高浓度（12,700 ppm）MgSO₄ 的低压（15.5 bar）、低导电率水（纳滤过的自来水）进行脉冲完整性测试（PIT）。由于 MgSO₄ 脱除率高，因此该测试方法是业界最敏感的方法，也是检测出潜在影响海水反渗透元件成品脱除性能的结构缺陷的最可靠方法。此外，该项测试还可降低用水量，因而减少了测试成本及环境影响。

对每个陶氏 FILMTEC™ SW30ULE400i 或 SW30ULE-440i 膜元件，均采用测试方法 2 或测试方法 3 对其流量和脱除性能进行测试以检测潜在的元件结构缺陷。不符合质量标准的元件将被弃用。对测试方法 2 的结果，将出具以 700 psi 和 8% 回收率作为标准条件的检测分析报告（COA）。由于阐释困难，对于更严格的测试方法 3，检测结果通常不予报告。所有陶氏 FILMTEC 元件均符合上表中的性能指标。合格证明（COC）是对客户做出的有关陶氏 FILMTEC 膜元件符合特定性能标准的保证。

很明显，在 700 psi 和 8% 回收率条件下进行的测试方法 2 的结果与 800 psi、8% 回收率条件下的公称性能指标不同。表 2 列出了测试方法 2 预计的性能指标，以便更好地理解分析报告。

表 2: 在 700 psi（4.8 Mpa）条件下测试方法 2 的预计性能指标

产品	有效膜面积 ft ² (m ²)	最大运行压力 Psig (bar)	产水量 Gpd m ³ / 日	稳定脱硼率 %	最低脱盐率 %	稳定脱盐率 %
SW30ULE-400i	400 (37)	1,200 (83)	8,400 (31.0)	86	99.50	99.62
SW30ULE-440i	440 (41)	1,200 (83)	9,200 (33.8)	86	99.50	99.62

1. 上述测试值基于如下实际测试条件得出：32,000 ppm NaCl、700 psi (4.8 Mpa)、77°F (25°C)、pH 8 及 10% 回收率。

2. 单支元件的产水量可能不同，但变化幅度不超过 +/-15%。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

2-11

陶氏 HSRO 热消毒型反渗透元件

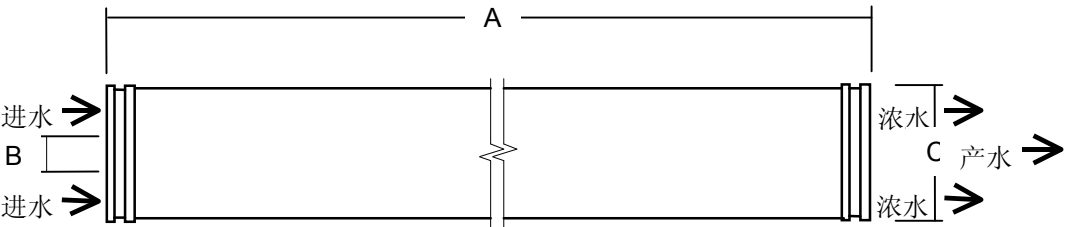
性能特点

陶氏 FILMTEC™ HSRO 热消毒型反渗透膜元件产水水质好，能经热水的消毒处理。由先进的全自动生产线生产的 HSRO 元件，具有膜工业界最高的有效膜面积，这一高膜面积允许系统设计成更低的运行通量或者保持相同通量使用较少的膜元件以节省系统成本。元件采用无外壳的 full-fit 的结构，消除了标准膜元件与压力容器内壁间的死水区，适用于有特殊卫生要求的应用场合。且所有的部件均符合 FDA 的标准。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft ² (m ²)	应用压力 psi (bar)	产水量 gpd (m ³ /d)	稳定脱盐率 Cl ⁻ %
HSRO-4040-FF	98592	90 (8.4)	150 (10.3)	1,900 (7.2)	99.5
HSRO-390-FF	170701	390 (36)	150 (10.3)	9,000 (34)	99.5

1. HSRO-4040-FF 曾被命名为 SG30-85-HS，HSRO-390-FF 曾被命名为 SG30-390-HS。
2. 产水量和脱盐率是基于测试条件：2000ppm NaCl，压力为上表值，25℃，15%回收率。
3. 元件投运前必须进行稳定性处理，在此过程中，会出现一次性的通量下降。上表的规范值为经过稳定处理后的性能数据。
4. 单只元件的产水量会在 20%范围内浮动。
5. 产品随时在作改进，产品规范有可能变化。



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
	A	B	C
HSRO-4040-FF	40.0 (1016)	0.75 OD (19)	3.9 (99)
HSRO-390-FF	40.0 (1016)	1.125 ID (29)	7.9 (201)

1. 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案设计指南。
2. HSRO-4040-FF 元件配公称内径 4 英寸的压力容器，HSRO-390-FF 元件配公称内径 8 英寸的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

• 膜片类型	聚酰胺复合膜
• 最高操作温度	113°F (45°C)
• 最高热消毒温度 (1.75bar, 25psi)	85°C
• 最高运行压力	600 psig (41.0 bar)
• 最大压降	15 psig (1.0 bar)
• pH 范围, 连续运行 ^a	2 – 11
• pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 12
• 最大给水 SDI ₁₅	5
• 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏已超出陶氏质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。欲获取更多信息, 请参考技术公告: 609-22010。	

重要信息

- HSRO 热消毒卷式元件在首次使用前应用热水进行热稳定处理。合适的热稳定步骤如下:
- 在低压低流量条件下用适当质量的净化水[†]冲洗。
 - 在很低压力下用热水作循环处理, 水温小于等于 45°C, 温水循环, 最大压力 45psi (3bar), 膜两侧压差必须小于 25psi (1.7bar)。
 - 将热水输入系统中, 直至温度升至 80°C。
 - 当使用水温为 45°C 或高于 45°C 的温水或热水时, 膜两侧的压差必须小于 25psi (1.7bar)。
 - 保温 60~90 分钟。
 - 让系统将温度降到 45°C 以下。
 - 在很低压力下用适当质量的净化水冲洗, 最大压力 45psi (3bar), 膜两侧压差小于 25psi (1.7bar) ^{††}。

操作指南

- 在启动、停机、清洗或其他过程中, 为防止潜在的膜破坏, 应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中, 我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变:
- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
 - 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
 - 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 60psi (4.1 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

[†]所有的元件热预稳定过程的用水必须是适当质量的净化水, 它应是不含游离氯、不会结垢或不含污染物的净水。推荐用 RO 产水, 经过过滤的出水也可以使用。
^{††}必须利用本步骤将元件冷却到 45°C 以下

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 RO 卫生级反渗透元件

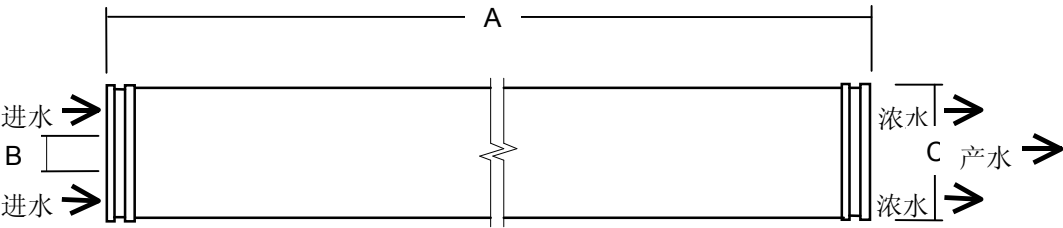
性能特点

陶氏 FILMTEC™ RO 型卫生级反渗透膜元件产水量高、产水水质好。元件采用无外壳的 full-fit 的结构，消除了标准膜元件与压力容器内壁间的死水区，适用于有特殊卫生要求的应用场合，且所有的部件均符合 FDA 的标准。

产品规范

产 品	元件 编号	有效面积 ft² (m²)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 Cl⁻ %
RO-4040-FF	84286	85 (7.9)	2,400 (9.1)	99.5
RO-390-FF	116314/100608	390 (36)	10,800 (41)	99.5

- RO-4040-FF 曾被命名为 BW30-4040-LW。
- RO-390-FF 替代 BW30-380-LW 和 BW30-8040-LW。
- 产水量和脱盐率是基于测试条件：2000ppm NaCl，225psi（1.55MPa），25°C，pH8，15%回收率。
- 单只元件的最小脱盐率 98.0%。



产 品	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
	A	B	C
RO-4040-FF	40.0 (1016)	0.75 OD (19)	3.9 (99)
RO-390-FF	40.0 (1016)	1.125 ID (28.58)	7.9 (200)

- 设计多元件系统时请参考陶氏水处理及过程解决方案设计指南。
- RO-4040-FF 元件配公称内径 4 英寸的压力容器，RO-390-FF 元件配公称内径 8 英寸的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限	● 膜片类型	聚酰胺复合膜
	● 最高操作温度	113°F (45°C)
	● 最高运行压力	600 psig (41.0 bar)
	● 最大压降	15 psig (1.0 bar)
	● pH 范围, 连续运行 ^a	3 – 10
	● pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 12
	● 最大给水 SDI ₁₅	5
	● 最大给水浊度 NTU	1
	^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
	^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	

重要信息

正确的启动反渗透水处理系统，将膜元件投入运行并防止因过高的给水流量或水力冲击对膜元件的破坏十分重要的，遵从正确的启动步骤才能确保系统的操作参数符合设计规范，达到系统的产水水质和水量。在启动系统前，必须完成膜系统的预处理、膜元件的安装、仪表的校正和其它系统部位的检查。请参考应用技术文献（文件号：609-00298）以获取更多信息。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐向运行状态转变：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 60psi（4.1bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件 >>> 美国原装进口膜元件

快速参考指南—反渗透浓缩分离

反渗透是什么？

反渗透（RO）是最精密的液体过滤方法，是压力驱动膜过程，它可将水分子从进水溶液中分离出来。反渗透的命名源于它是自然渗透过程的逆过程。

什么是 FILMTEC™ FT30 膜？

FT30 是半透性超薄复合膜，其孔径的尺度位于埃级范围内，FT30 表现出很高的产水量或通量，成为可溶性盐类和有机物的有效阻挡层。

对典型溶质的脱除率列于表 1 中。超薄复合的概念表示膜的多层组成结构，允许制造时实现每一层的优化。

陶氏 FILMTEC RO 元件某些特殊应用领域如下：

- 产品浓缩
- 蒸发器冷凝水精处理
- RO 透过液的精处理
- 水回收/再利用
- 能量回收
- 工厂给水或工程补给水的预处理
- 废水处理
- 物料蒸发前脱水；预浓缩
- UF/MF 透过液的处理

表 1 溶质的脱除率（近似值）

溶 质	分子量	脱除率%	溶 质	分子量	脱除率%
氯化钠	58	99	乙醇	46	70
硝酸钠	85	93	异丙醇	60	90
氯化镁	95	99	乳酸（pH2）	90	94
氯化钙	111	>99	乳酸（pH5）	90	99
硫酸镁	120	>99	乳糖	342	>99
溶解性活性硅	60	98	蔗糖	342	>99

2000ppm 溶质浓度，225psi（15.5bar）压力，77°F（25°C），pH7.0，15%回收率（除非另行说明）

为什么选用陶氏 FILMTEC™ 膜？

二十多年来，陶氏陶氏水处理及过程解决方案提供了世界领先的反渗透技术。FT30 膜化学被全球公认为是最先进的膜化学，陶氏 FILMTEC™ 的 full-fit 是经过优化的卷式元件，具有有效面积大，通过自动化涂布密封和制作设备实现了产品的高度一致性。

陶氏 FILMTEC™ 元件专为从工艺过程物料处理到水处理的众多应用领域所设计。我们的目标是通过产品性能和客户支持给客户提供的最好价值。适用于食品和奶制品的陶氏 FILMTEC™ 反渗透产品列于表 2。

表 2 适用于食品和奶制品加工的陶氏 FILMTEC™ 反渗透元件

产品型号	产品编号	典型有效膜面积 ft² (m²)
RO-3840/30-FF	108664	81 (7.5)
RO-3838/30-FF	80588/80589	80 (7.4)
RO-3838/48-FF	80590	60 (5.6)
RO-3838/64-FF	94761	50 (4.6)
RO-390-FF (8040 型)	116314/100608	390 (36.2)
RO-8040/48-FF	80593	280 (26.0)
RO-8040/64-FF	94762	225 (20.9)

注：3838 和 3840 元件设计采用 14 号等级的卫生级管壳；8040 元件设计采用 Schedule40 压力容器。

陶氏 FILMTEC™ 膜是否符合政府标准？

为食品和奶制品加工设计的陶氏 FILMTEC™ 膜元件符合食品和奶制品加工者的需要，FILMTEC™ 的 full-fit 食品加工用元件的所有部件均符合 FDA 和 3A 的规定要求。这些产品也是经 USDA 级服务认可的，可用于奶制品生产厂。

膜系统可以有经济优越性的例子

1. 蒸发器的极限

反渗透技术被加工厂广泛地用于需要增加蒸发器的容量而不打算购买新的蒸发器。通过 RO 技术进行原液浓缩过程中的预脱水，使后续蒸发器加工更高固含量的物料而增加产能。采用 RO 预浓缩的流程详见图 1 和图 3。通过浓缩原液 2~4 倍，反渗透系统会降低后续蒸发器的负荷。能使工厂实现以最小投资加工出更多的产品。

2. 废水回收/再利用

让使用过的水排放到下水道不仅仅增加排放费用，而且浪费资源，膜系统可经常用于处理废水以降低排放费用并将回收水加以重复利用。在某些情况下，浓缩后的废液可能成为可以销售的产品。反渗透通常是含有其它膜综合处理方法系统中，系列处理过程的最后操作单元。

图 1 工艺物料的预浓缩和精制

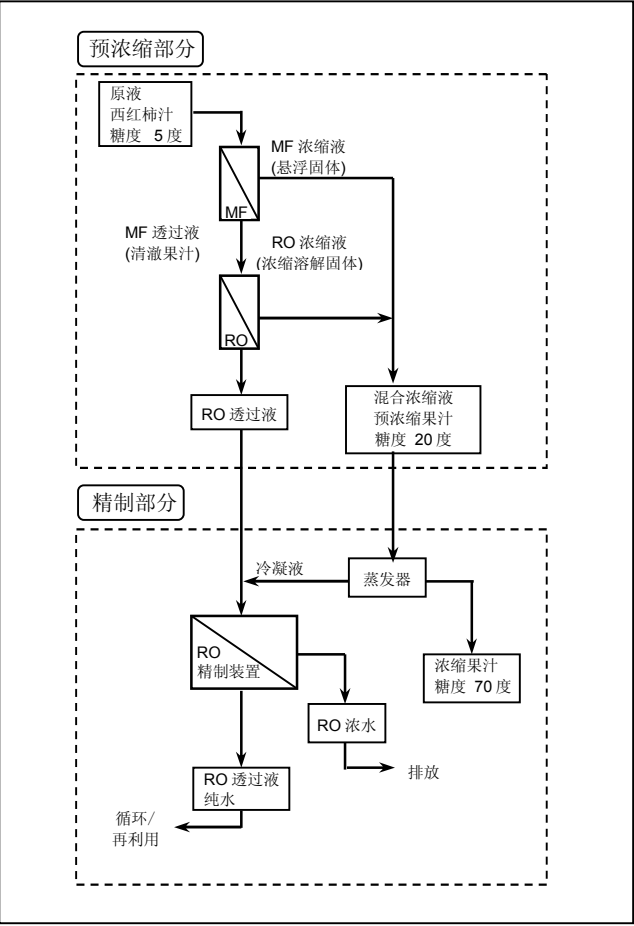


图 2 蒸发器冷凝液精处理

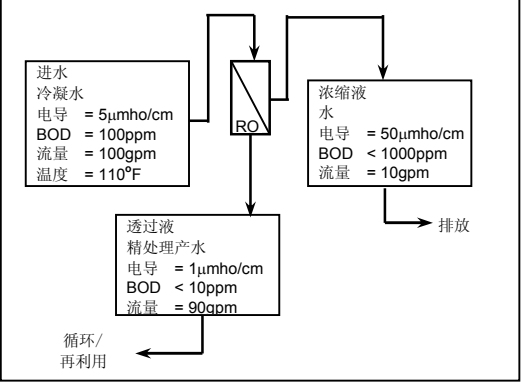
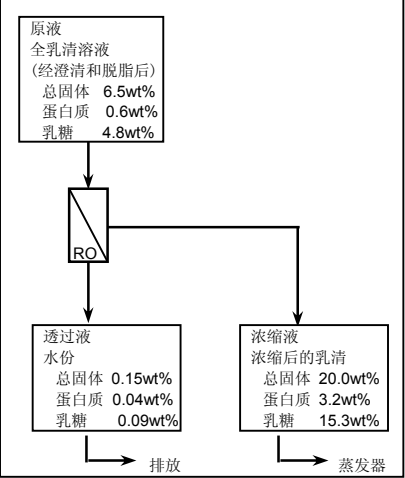


图 3 乳清的反渗透法处理



3. 蒸发器凝结水处理

蒸发器冷凝水精处理在过去几年成为非常普遍的反渗透的应用领域，经过 RO 处理的抛光冷凝水成为可再利用的清洁水源。经过热交换器还可以回收热量。RO 膜元件能将冷凝水中的 BOD 含量降低至 10ppm。相似的例子还有，抛光 RO 系统可以进一步降低前一级 RO 产水中的 BOD。这样的抛光系统示于图 1 和图 2 中。

4. 工艺过程用水处理

RO 常常用于全厂或某一工艺过程用水的净水处理。水质的提高能提高最终产品的质量并保证产品性能的一致性。它也能够保证不同工位产品加工的一致性。采用 RO 技术净化工厂生产所需新鲜补给水，是对含硅、硬度、结垢或含盐量原因而必须设置后续净化处理最为经济的工艺技术。

表 3 设计导则

产品型号	最大循环错流流量	最大元件压差 ΔP^{**}
RO-3840/30-FF	30gpm (6.8m ³ /h)	15 psi (1.0 bar)
RO-3838/30-FF	30gpm (6.8m ³ /h)	15 psi (1.0 bar)
RO-3838/48-FF	40gpm (9.1m ³ /h)	15 psi (1.0 bar)
RO-3838/64-FF	40gpm (9.1m ³ /h)	13 psi (0.9 bar)
RO-390-FF	80gpm (18.2m ³ /h)	13 psi (0.9 bar)
RO-8040/48-FF	100gpm (22.7m ³ /h)	13 psi (0.9 bar)
RO-8040/64-FF	100gpm (22.7m ³ /h)	13 psi (0.9 bar)

注：对每支管壳最大压降为 60psi (4.1bar)

反渗透不能做什么？

1. 全量过滤

普通过滤通常为物料完全垂直通过过滤介质达成过滤，当使用反渗透膜时，不允许有机物或盐分透过膜，如果采用全量过滤将导致膜的表面因这些物质的富集而产生堵塞和污染。

为防止在膜面上污染物的累积，在进水流动侧引入冲刷流动方式，这种过滤方式称为错流过滤，反渗透系统总是将进水分成两股水流，即被膜所截留的含浓缩溶质的浓缩液和透过膜面得到净化的透过液。

2. 极限浓度

自然渗透过程中，水分子会从纯水侧透过半透膜迁移到高浓度的溶质侧以平衡溶液的强度。针对膜而言，最后平衡点水压称为该溶液的渗透压。

溶液的渗透压取决于溶质的种类和浓度，随着进水不断被浓缩，就需要克服更高的溶液渗透压，这样也就需要施加更高的进水压力迫使水分子透过膜，由于反渗透膜面上的压力和溶质溶解度的极限之故，每一种溶液具有最大的实际允许运行浓度。

3. 过量的悬浮物质

高悬浮物（不溶物）含量的进料将迅速污染反渗透膜，需设置合适的预处理以优化这类进料的预处理过程。这时在反渗透前通常要设置超滤或微滤。

4. 绝对分离

虽然反渗透是最精细的液体过滤过程并能分离最小的溶质，但仍不能制造出理想和完美的反渗透膜，溶质脱除率取决于膜材料等，虽然可以实现 99.99%脱盐率，但是要达到 100% 的分离要求是不现实的。

陶氏 FILMTEC™ 小型试验用纳滤膜元件

下列纳滤膜元件适用于开展小规模的评价试验。

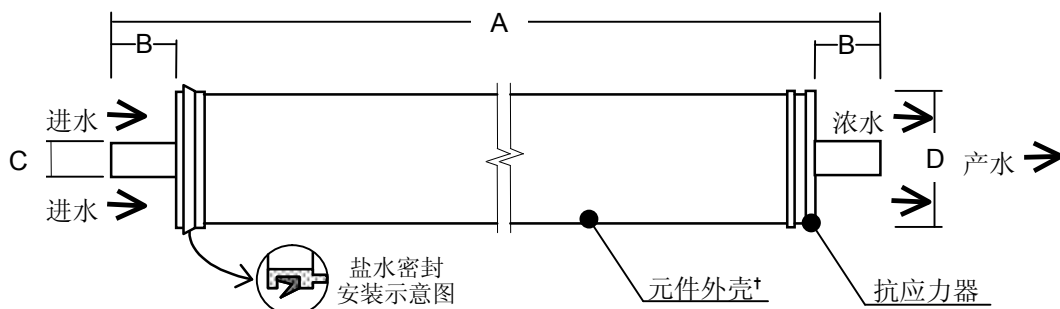
产 品	应用特点
NF270	高的透盐率，中等程度的钙的透过率（40~60%），很高的 TOC 的脱除率
NF90	高的盐去除率（90%），很高的铁、杀虫剂、除草剂和 TOC 的去除率

产品规范

产 品		公称有效膜面积 ft ² (m ²)	产品编号	产水量 gpd	流 量 l/h	溶 质 透过率%
NF270—2540	CaCl ₂	28 (2.6)	149986	1,000	157.7	40~60
	MgSO ₄			850	134	<3
NF270—4040	CaCl ₂	82 (7.6)	149987	2,925	461.3	40~60
	MgSO ₄			2,500	394.3	<3
NF90—2540	NaCl	28 (2.6)	149982	525	82.8	5~15
	MgSO ₄			600	94.6	<3
NF90—4040	NaCl	82 (7.6)	149983	1,400	220.8	5~15
	MgSO ₄			1,850	291.7	<3

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：500ppm CaCl₂，70psi（0.5MPa），77°F(25°C)，15%回收率；2000ppm MgSO₄，70psi（0.48MPa），77°F(25°C)。2000ppm NaCl，70psi（0.48MPa），77°F(25°C)，回收率如下。

2. 单只元件的产水量在±25%范围内变化。



产品名称	单只元件 回收率%	外形尺寸——英寸（毫米）			
		A	B	C	D
2540 元件 ²	15	40.0 (1016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.401 (61)
4040 元件 ³	15	40.0 (1016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.913 (99.4)

1. 当多支元件同时使用时，请参考最新的设计导则并选择适合各种水型的回收率。

1 英寸=25.4 毫米

2. 元件配公称内径 2.45 寸（64mm）的压力容器。

3. 元件配公称内径 4 寸（102mm）的压力容器。

† 2540 为胶带外壳，4040 为玻璃钢外壳。

操作极限

● 膜片类型		聚酰胺复合膜
● 最高操作温度		104°F (40°C)
● 最高操作压力		600 psig (41 bar)
● pH 范围, 连续运行 ^a		2 – 11
● pH 范围, 短期清洗 (30 分钟) ^b		1 – 12
● 最大进水流量	<u>2.5 英寸元件</u>	6 gpm (1.4 m³/hr)
	<u>4.0 英寸元件</u>	16 gpm (3.6 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅		5
● 允许游离氯含量 ^c		<0.1 ppm
^a pH>10 时, 连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。		
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。		
^c 在某些条件下, 游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围, 故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息, 请参考技术公告: 609-22010。		

通用信息

- 元件一旦润湿, 就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则, 有限质保将失效。
- 系统长期停机时, 为了防止微生物滋长, 建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5% (重量) 的亚硫酸氢钠 (食品级)。
- 元件至少需使用 6 小时后方可用甲醛消毒杀菌。如果在 6 小时内使用甲醛, 可能导致通量损失。
- 该膜对氯 (次氯酸盐) 的短期攻击有一定抵抗力, 但连续接触会破坏膜, 故应避免。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ NF270-400 纳滤膜元件

性能特点

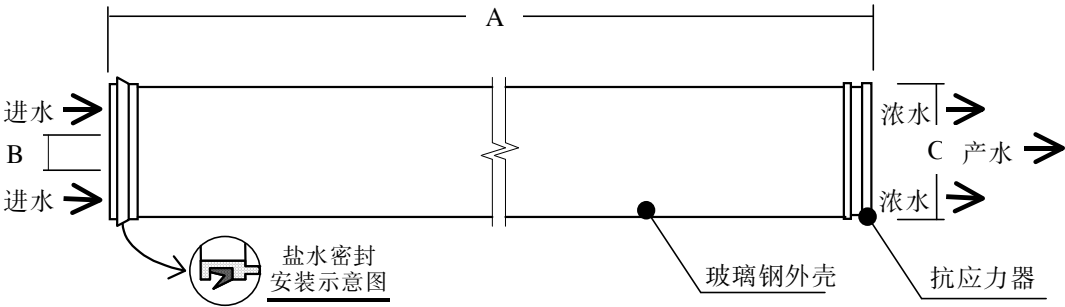
FILMTEC™ NF270-400 纳滤元件面积大，产水量高。是专门为了高度脱除总有机碳（TOC）和三卤代烷（THM）前驱物而开发的产品，同时允许硬度成份中等通过，其它盐分中等或较高程度通过。

陶氏 FILMTEC™ NF270-400 是脱除地表水和地下水中的有机物并进行部分软化的理想膜元件，以达到特定要求的水质硬度，保持口感，保护输水管网。该元件膜面积大所需净驱动压低，使得 NF270-400 低压运行就可去除水中有机化合物。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft² (m²)	产水量 gpd (m³/d)	稳定透盐率 %
NF270—400	148822	400 (37)		
	CaCl₂		14,700 (55.6)	40~60
	MgSO₄		12,500 (47.3)	<3

1. 产水量和脱盐率是基于测试条件：500ppm CaCl₂，70psi（0.48Mpa），25℃，15%回收率。2000ppm MgSO₄，70psi（0.48Mpa），25℃，15%回收率。
2. 单只元件的产水量在±15%范围内变化。
3. 上述规范值是公称测试值。操作时，请务必遵循陶氏的系统设计导则。



产 品	单元件回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
NF270-400	15	40 (1,016)	1.5 (38)	7.9 (201)

1. 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
2. 该元件配合公称内径为 8.00-英寸（203 mm）的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围，连续运行 ^a	3 – 10
● pH 范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 12
● 最大进水流量	70 gpm (16 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ NF90-400 纳滤膜元件

性能特点

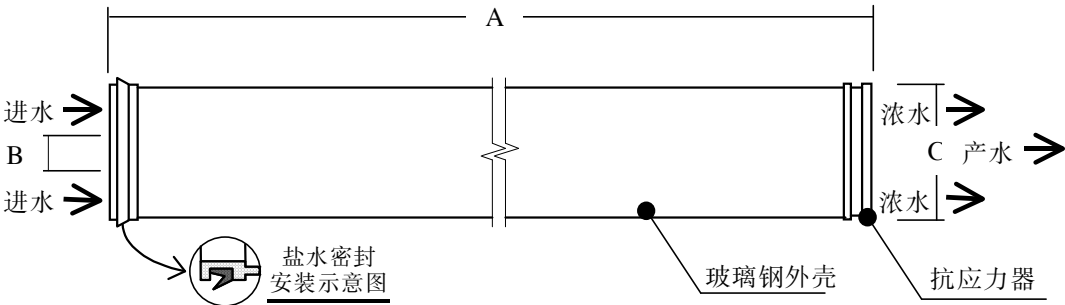
陶氏 FILMTEC™ NF90-400 纳滤元件面积大，产水量高。特别适用于高度脱除盐分，硝酸盐，铁，杀虫剂、除草 剂和 THM 前驱物等有机化合物。

NF90-400 膜面积大，所需净驱动压低，使得它在很低的运行压力下就可有效地 脱除这些杂质。

产品规范

产 品	元件编号	有效面积 ft² (m²)	产水量 gpd (m³/d)	稳定脱盐率 %
NF90—400	149985	400 (37)		
NaCl			7,500 (28.4)	85~95
MgSO ₄			9,500 (36.0)	>97

- 产水量和脱盐率是基于测试条件：2000ppm NaCl，70psi（0.48Mpa），25℃，15%回收率。2000ppm MgSO₄，70psi（0.48Mpa），25℃，15%回收率。
- 单只元件的产水量在±15%范围内变化。
- 上述规范值是公称测试值。操作时，请务必遵循陶氏的系统设计导则。



产 品	单元件回收率%	外形尺寸 - 英寸 (mm)		
		A	B	C
NF90-400	15	40 (1,016)	1.5 (38)	7.9 (201)

- 参考陶氏水处理及过程解决方案有关多元件应用的设计导则。
- 该元件配合公称内径为 8.00-英寸（203 mm）的压力容器。

1 英寸 = 25.4 mm

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F (45°C)
● 最高操作压力	600 psig (41 bar)
● 最高压降	15 psig (1.0 bar)
● pH 范围，连续运行 ^a	3 – 10
● pH 范围，短期清洗 (30 分钟) ^b	1 – 13
● 最大进水流量	70 gpm (16 m³/hr)
● 最大给水 SDI ₁₅	5
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a pH>10 时，连续运行的最高允许温度 95°F (35°C)。	
^b 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^c 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

在膜系统准备投入运行时，为了防止给水过流或水力冲击对膜元件的破坏，正确启动反渗透水处理系统是十分必要的。遵循正确的启动顺序有助于确保系统运行参数符合设计规范，从而使系统水质和水量达到既定的设计目标。

在膜系统初次启动开机程序前，应完成膜系统的预处理系统调试、膜元件的装填、仪表的标定及其他系统检查。

如需获取更多信息，请参考标题为“启动顺序”的应用文献（文件号：609-02077）。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。
- 第一小时内的产品水应该放掉不用。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。标准的保存液含 1.5%（重量）的亚硫酸氢钠（食品级）。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 单根压力容器的最大允许压降是 50psi (3.4 bar)。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

陶氏 FILMTEC™ 工艺物料脱盐型纳滤元件

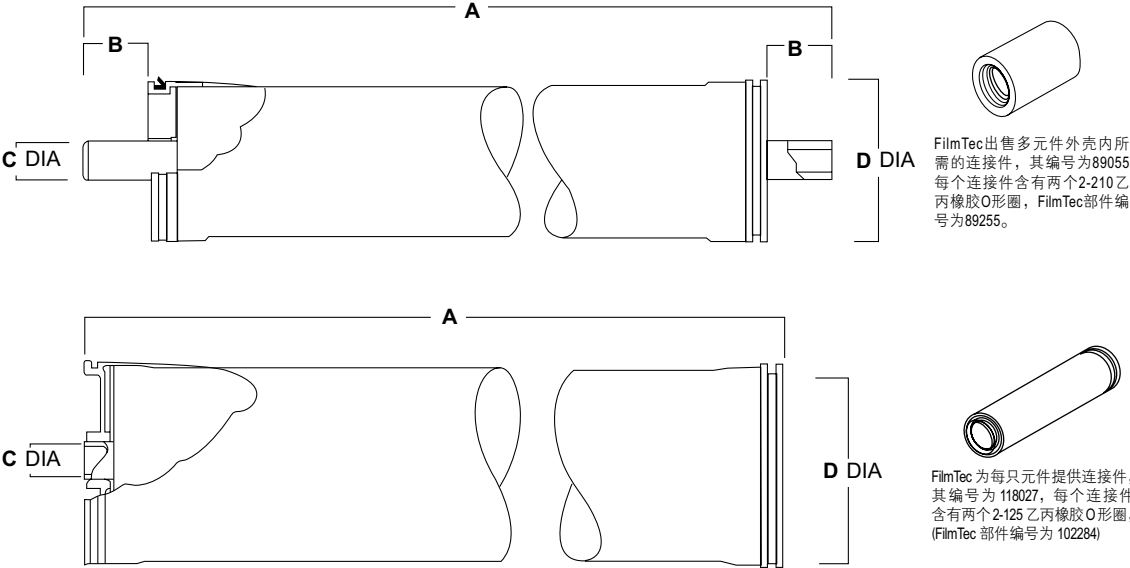
性能特点

陶氏 FILMTEC™ NF- 膜元件专为需要进行特殊溶质浓缩分离工艺过程所开发生产的，“NF-”纳滤膜元件十分可靠耐用，它能截留 200 以上分子量的有机物而允许单价盐份透过。陶氏 FILMTEC™ NF- 膜元件是原 NF45 型纳滤膜元件的性能升级产品，在有机化合物脱盐，酸处理，废水金属和抗冻液回收等领域得到了广泛应用。

产品规范

产 品	元件编号	有效膜面积 ft² (m²)
NF-2540	151538	28 (2.6)
NF-4040	151543	82 (7.6)
NF-400 (8040 型)	151544	400 (37)

1. 产水量和脱盐率是基于如下测试条件：2000ppm MgSO₄，130psig (8.9bar)，77°F (25°C)，pH=8，15%回收率。
2. 新元件的目标产水量为：NF-2540，920gpd (3.5m³/d)；NF-4040，3,050gpd (11.5m³/d)；NF-400，13,700gpd (51.9m³/d)。元件的产水量将随待处理料液的不同而不同。
3. MgSO₄最小脱除率为 98.0%，稳定脱除率 >99%。
4. 当产品有所改进时，上述产品规范将略有变化。



产 品	最大进水流量	单元件回收率	外形尺寸 - 英寸 (mm)			
	gpm (m³/h)	%	A	B	C	D
NF—2540	6 (1.4)	15	40.0 (1016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
NF—4040	16 (3.6)	15	40.0 (1016)	1.05 (25.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
NF—400 (8040 型)	70 (16)	15	40.0 (1016)		1.13 (28.6)	7.9 (201)

1. 典型元件回收率是针对单支元件而言，回收率定义为产品水流量除以给水流量。
2. NF—2540 元件外壳为胶带缠绕，配公称内径 2.5 英寸的压力容器。
3. NF—4040 元件外壳为玻璃钢缠绕，配公称内径 4.0 英寸的压力容器。
4. NF—400 元件外壳为玻璃钢缠绕，配公称内径 8 英寸的压力容器。

™陶氏化学公司或其附属公司的商标

操作极限

● 膜片类型	聚酰胺复合膜
● 最高操作温度	113°F（45°C）
● 最高操作压力	600 psig（41 bar）
● 最高压降	15 psig（1.0 bar）
● pH 范围，连续运行 ^a	3 – 10
● pH 范围，短期清洗（30 分钟） ^b	1 – 12
● 过氧化氢，连续操作（最高 77°F/25°C）	20ppm
短时消毒（最高 77°F/25°C）	1000ppm
● 允许游离氯含量 ^c	<0.1 ppm
^a 参考规范 609-23010 中的清洗导则。	
^b 在某些条件下，游离氯及其他氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏是超出陶氏膜的质保范围，故陶氏化学公司建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其除去。如需获取更多相关信息，请参考技术公告：609-22010。	

重要信息

由于该元件通常用于高价值的工艺物料，新元件在使用前应进行清洗，清洗程序应根据应用条件而定，如果没有外购的商品配方清洗液，推荐使用含润湿剂的碱性溶液进行新元件的清洗，该碱性清洗过程如下：

- 用水冲洗，冲洗水质要满足 609—00077 规定。
- 以循环方式加热水温至 113°F（45°C）
- 添加 0.2%Na-EDTA 和 NaOH 至 pH11 并循环 30 分钟
- 用水冲洗直至 pH 至中性。

操作指南

在启动、停机、清洗或其他过程中，为防止潜在的膜破坏，应避免卷式元件产生任何突然的压力或错流流量变化。启动过程中，我们推荐按照下述过程从静止状态逐渐投入运行状态：

- 给水压力应该在 30~60 秒的时间范围内逐渐升高。
- 系统以高产水量错流运行前（例如启动时为高进水水温），设定的操作压力应维持 5~10 分钟。
- 升至设计错流流速值应该在 15~20 秒内逐渐到达。

通用信息

- 元件一旦润湿，就应该始终保持湿润。
- 如用户没有严格遵循本规范设定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 系统长期停机时，为了防止微生物滋长，建议将膜元件浸入保护液中。
- 用户应该对使用不兼容的化学药品和润滑剂对元件造成的影响负责。
- 整个压力容器的最大允许压降是 50psi（3.4 bar）。
- 任何时候都要避免产品水侧产生背压。

陶氏 FILMTEC™ 膜元件

用于食品和乳制品加工领域的反渗透和脱盐纳滤元件

产品特性

陶氏反渗透膜元件中的 FT30 反渗透膜具有卫生、高脱盐率的特点，已成功应用于多种食品、饮料和乳制品的加工流程。这种元件在脱水和产品浓缩方面尤其有效。陶氏纳滤 (NF) 膜元件被食品及乳制品加工厂广泛用于各种脱盐、净化及其它分离流程。所有 NF245 元件均包含改进的纳滤膜片，可去除分子量大于 300 个原子质量单位的有机物，但一价盐类可自由透过。

陶氏食品与乳制品 RO-8038 和 NF245-8038 膜采用聚丙烯外壳，可经受严格的加工环境和条件。该元件采用最新的元件制造技术，可最小化过滤死角和旁路。

陶氏 RO-390-FF 是用于蒸发器凝结水精处理的业界一流膜产品。与同类竞争产品相比，RO-390-FF 具有更大的有效膜面积，这样在精处理应用中所需元件较少，从而最大化了性能，同时降低了投资成本。

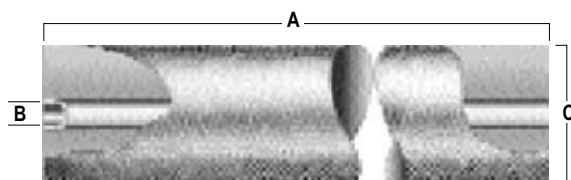
所有结构材料均符合美国食品与药物管理局 (FDA) 有关食品直接接触的规范要求。

产品规格

产品	元件编号	设计有效膜面积 平方英尺 (平方米)	外壳
食品及乳制品 RO-8038	302219 / (302218)	370 (34.4)	网格护套
RO-390-FF	116314 / (100608)	390 (36.2)	网格护套
RO-3840 / 30-FF	196310 / (108664)	81 (7.5)	网格护套
RO-3838 / 30-FF	80588 / (80589)	79 (7.4)	网格护套
RO-3938 / 30-FF	(117259)	85 (7.8)	网格护套
食品及乳制品 NF245-8038	(336673)	370 (34.4)	网格护套
NF245-390-FF	(324201)	390 (36.2)	网格护套
NF245-3840 / 30-FF	(319116)	81 (7.5)	网格护套
NF245-3838 / 30-FF	(316942)	79 (7.4)	网格护套

括弧中的元件号为湿元件

图 1



产品型号 / 尺寸 — 英寸 (毫米)	A	B	C
食品及乳制品 RO-8038 / NF245-8038 ¹	38.00 (965.0)	1.125 (28.58)	7.9 (200)
RO-390 / NF245-390 ²	40.00 (1,016)	1.125 (28.58)	7.9 (200)
RO-3840 / NF245-3840	38.75 (984.3)	0.83 (21.1)	3.8 (96)
RO-3838 / NF245-3838 ³	38.00 (965.0)	0.83 (21.1)	3.8 (96)
RO-3938 ⁴	38.00 (965.0)	0.83 (21.1)	3.9 (99)

1. 陶氏食品及乳制品 RO-8038 与 NF245-8038 配合 Schedule 40 8 英寸不锈钢管 (公称内径为 7.98)。

2. RO/NF245-390 按 8040 型式设计, 用 1 英寸裸露的产水管替代每端的冲洗切端。

3. RO/NF245-3838 和 RO/NF245-3840 元件配合 14 号不锈钢管 (公称内径为 3.83)。

4. RO-3938/30-FF 配合老式 APV 外壳 (公称内径 101 毫米)

操作限值

最大运行压力	800 psi (54.8 bar)
最高操作温度 ^a	122°F (50°C)
允许游离氯含量 ^b	无法检测
过氧化氢用量限制:	
连续运行	20 ppm
短期清洗 (在最高 77°F / 25°C 温度下)	1,000 ppm

^a pH>10 时，连续运行的最高温度为 95°F (35°C)。

^b 在某些条件下，游离氯及其它氧化剂的存在会导致膜片提早发生降解破坏。由于氧化破坏超出陶氏膜的质保范围，故陶氏水处理及过程解决方案业务部建议用户在残余游离氯接触膜片之前通过预处理将其去除。如欲了解更多相关信息，敬请参考技术公告：609-22010。

设计导则

产品	最大再循环错流流量 - gpm (m³/h)	最大元件压差ΔP† - psi (bar)
食品及乳制品 RO-8038 / NF245-8038	80 (18.2)	13 (0.9)
RO-390 / NF245-390	80 (18.2)	13 (0.9)
RO-3840 / NF245-3840	30 (6.8)	15 (1.0)
RO-3838 / NF245-3838	30 (6.8)	15 (1.0)
RO-3938	30 (6.8)	15 (1.0)

† 整个压力容器（外壳）范围的最大压降为 60 psi (4.1 bar)。

重要信息

新型反渗透螺旋结构元件，通常在初次使用前进行清洗。清洗程序应根据元件用途而定。若没有调配好的清洗剂，建议初次使用前采用碱洗加润湿剂的方法。

操作指南
一般说明

在启动、停机、清洗或其它过程中应避免压力或错流流量的剧烈变化，以防止膜损坏。在启动过程中，我们建议按照下述过程从静止状态逐渐过渡到运行状态：

- 运行前 4 个小时内的浓水和产水应全部排放掉。
- 给水压力应在 30-60 秒内逐渐升高。
- 在高产水流量条件下启动错流（比如在高水温条件下启动）之前，设定运行压力应保持 5-10 分钟。
- 应在 15-20 秒内逐渐达到设定的错流流速值。
- 元件一旦润湿，就应一直保持湿润。
- 如未严格遵守本技术公告规定的操作限值和导则，有限质保将失效。
- 在系统停运期间，建议将陶氏食品及加工元件浸入保护液中，以防止系统中微生物滋生。
- 用户应对使用不相容的化学品和润滑剂对元件造成的影响负全部责任。
- 整个压力容器（外壳）允许的最大压降为 60 psi (4.1 bar)。任何时候都要避免静态产水侧产生背压。

2-13 陶氏 FilmTec 公司膜元件标准测试条件

陶氏水处理及过程解决方案对所有发运的湿元件都曾进行了短时间的运行性能测试，测试结果包括产水量和脱盐率，对 40 英寸长的标准元件，该测试采用下列标准测试条件：

元件类型	测试进水	温度	压力 psi (bar)	pH	回收率	测试时间
NF270 NF90	MgSO ₄ , 2,000ppm	77°F (25°C)	70 (4.8)	8	15%	20 分钟
NF270 NF90	CaCl ₂ , 500ppm	77°F (25°C)	70 (4.8)	8	15%	20 分钟
NF90	NaCl, 2,000ppm	77°F (25°C)	70 (4.8)	8	15%	20 分钟
LPTW HRLE XFRLE LE	自来水, 250ppm	77°F (25°C)	50 (3.45)	8	15%	20 分钟
XLE LP BW30HRLE	NaCl, 500ppm	77°F (25°C)	100 (6.9)	8	15%	20 分钟
LC LE LC HR TW30 BW30 BW30FR BW30XFR	NaCl, 500ppm	77°F (25°C)	145 (10)	8	15%	20 分钟
LC LE LC HR TW30 BW30 BW30FR BW30XFR	NaCl, 2,000ppm	77°F (25°C)	125 (8.62)	8	15%	20 分钟
SW30 SW30HR SW30XHR SW30HRLE SW30XLE SW30ULE	NaCl, 2,000ppm	77°F (25°C)	225 (15.5)	8	15%	20 分钟
SW30 SW30HR SW30XHR SW30HRLE SW30XLE SW30ULE	NaCl, 32,000ppm	77°F (25°C)	800 (55)	8	10% [†]	20 分钟
SW30 SW30HR SW30XHR SW30HRLE SW30XLE SW30ULE	NaCl, 32,000ppm	77°F (25°C)	800 (55)	8	8%	20 分钟

[†] 2.5 和 4 英寸元件的回收率为 8%

需要注意的是，不同膜元件制造商采用的测试条件有所不同，当进行元件性能和规格比较时应记住这一点。再者，反渗透和纳滤元件性能在很大程度上取决于操作条件，在测试基准条件下得到的性能与系统的性能是有区别的，系统性能随系统条件的变化而变化。

为了帮助陶氏化学公司的客户，陶氏水处理及过程解决方案提供反渗透系统分析计算机软件 ROSA，可准确预测膜系统系统性能，ROSA 让用户根据使用点实际进水条件和操作条件估算一个系统的产水量、脱盐率和操作压力性能。

为了获得 ROSA 软件，请访问陶氏水处理及过程解决方案网站 <http://www.dowwaterandprocess.com/>，并从网站上下载该软件，或服务在您地区的陶氏水处理及过程解决方案业务部代表联系，寻求帮助。

如您需要了解更多陶氏膜元件的中文详细资料，请联络陶氏水处理及过程解决方案网站：

上海 0086-(0)21-3851 1000

北京 0086-(0)10-8527 9199

广州 0086-(0)20-3813 0600

台北 00886-(0)2-2771 8000

www.dowwaterandprocess.com

2-14 陶氏 FILMTEC™ 膜产品符合 FDA CFR 21 177-2550 标准

当成品膜元件不再作改性处理并按照GMP规范使用时，所有陶氏FILMTEC™膜元件均符合美国食品、药品和化妆品法案（简称FDA）中食品添加剂21款CFR 177-2550标准规定。它们可用于处理液体状食品或净化处理食品加工工艺用水。在使用过程中，膜产品必须按GMP的要求保持卫生状态。在投运前应进行清洗。

FDA 21 CFR 177-2550是专为反渗透膜设定的FDA标准，在该标准附件C中，规定了进行浸出物实验的定义和要求，浸出物总量必须小于1ppm，而且必须在3到6个月的使用期内均符合上述规定要求，进行符合要求的鉴定测试费用很低。它是由制造商自行申明其产品符合FDA的标准，可靠性赋予提出申明的公司本身，由工作在陶氏公司内的相关法规专家确认符合FDA标准的申明。所采用的评测设备位于美国和欧洲，专家本人工作场所在密西根州米德兰市，任何材料的变更必须预先完成或部分完成对是否满足该标准所进行的再审核。

FDA 组织位于华盛顿特区，是一个政府法规组织，它为与消费品健康有关的食物添加剂起草法规。最简明地说：FDA 的使命是通过协助使得符合安全和有效的产品及时准入市场，跟踪已进入市场的产品在使用过程中的安全性，促进和保护公共健康事业，它们的工作融合了法律和科学，以保护消费者权益。我们可以称 21 CFR 177-25 50 为 21 条 177 款 2550 节。177 款涉及有关聚合物作为非直接食品添加剂的标准。由于总是由制造商自行申明的，因而陶氏也仅申明其反渗透膜符合这一标准，但并不出具相关证书。

2-15 陶氏 FILMTEC™ FT30 反渗透元件三年有限质量保证书

陶氏水处理及过程解决方案对所生产的卷式反渗透元件的材料、制造和元件性能提供有限质量保证，这一保证的前提是系统的安装和操作必须满足陶氏水处理及过程解决方案推荐的设计及操作规范，质量保证条款如下*：

材料和制造的有限保证

陶氏化学公司保证其销售的反渗透元件在材料和制造方面是无缺陷的。仅当所购买的元件按照陶氏水处理及过程解决方案公布的规定和正确的工程实践操作和维护时，陶氏化学公司就承担产品到达买方指定口岸之日起 12 个月的材料和制造的有限保证义务，陶氏水处理及过程解决方案根据本条款检验发现确有缺陷时，由陶氏水处理及过程解决方案决定免费修理或更换。

按比例的性能有限保证

陶氏化学公司保证三年的元件性能，三年起始时间以下列任一时间条件先到为准：

对湿元件

- a) 安装到系统中，首次投运之日起；
- b) 从制造地美国明尼亚波利斯装运之日起计算，到达美国的其它地区，南美 Puerto Rico, 加拿大或墨西哥三个月后或；
- c) 从制造地美国明尼亚波利斯装运之日起计算到世界其它地区 6 个月后。

对于元件（仅指自来水和苦咸水元件）

- a) 安装到系统中，首次投运之日起；
- b) 从装运之日起 12 个月后。

初始性能

陶氏水处理及过程解决方案在此保证的元件初始最小产水量和最小脱盐率列于产品性能技术规范里，这些参数是根据陶氏水处理及过程解决方案确定的标准测试条件获得的。如果任何元件没有达到规定的初始最小产水量和最小脱盐率，请买方把相关缺陷及时通知陶氏化学公司，陶氏水处理及过程解决方案在确认性能缺陷后，将进行维修或退还缺陷元件的购买费，在这种情况下，运费也将由陶氏化学公司支付。

三年有限质保期内的性能

在初始的三年运转期内，当按照陶氏水处理及过程解决方案规定的运行条件，FilmTec 保证产品最小产水量不低于初始平均产水量的 70%。陶氏水处理及过程解决方案还保证当元件在标准测试条件和达到初始产水量的操作压力下，其最大的盐透过量不超过产品样本规定值的 1.35 倍。陶氏水处理及过程解决方案确认产品性能在三年保证期内未能达到上述规定范围时，对未使用的月数退还每月 1/36 的元件采购价，用于抵销购买更换所需的元件费用。

三年有限质保的条件

如果下列条件不能满足，陶氏化学公司在上述章节承诺的三年有限质保责任不成立：

- a) 膜元件系统的设计参数（排列和回收率等）以及仪表和其它零部件选择必须符合可靠的工程经验要求，陶氏化学公司保留查阅系统设计的权利；
- b) 进水温度必须低于 45°C；
- c) 进水 SDI（15min，30psi）必须小于 5.0；
- d) 进水不得含有臭氧，高锰酸盐或其它强氧化剂；
- e) 除非产品规范中另有说明，海水膜元件运行压力不得超过 6.9Mpa（1000psi），苦咸水和自来水元件运行压力不得超过 4.1Mpa（600psi）；

在化工过程处理、食品加工或废水处理应用领域，本质保书第2节和第4节不适用

- f) 任何时间背压（反渗透产水静态压力大于给水或浓水静态压力）不得超过 0.35bar（5psi）；
- g) 元件在操作过程中不得有水锤现象；
- h) 元件必须保证在干净的运行条件下使用，不得受颗粒、沉淀或生物滋生的污染；如果产生了结垢或污堵或元件的标准化产水量下降 10%，必须启动清洗程序，参见“FILMTEC™ FT30 清洗程序”（文件号：609-23010）；
- i) 连续操作的 pH 范围为 2.0~11.0；
- j) 元件内不得有胶体或可沉淀固体的污染；
- k) 在系统设计，操作和维护时必须设置防止微生物污堵的合适措施；
- l) 在清洗过程或停运期间，元件不得暴露在 pH 小于 1.0 或大于 12.0 的条件下；
- m) 不得使用非离子型表面活性剂或阳离子型表面活性剂进行化学清洗，也不得让反渗透膜元件与其接触，由买方自行承担使用与 FILMTEC™ 膜元件不兼容化学品所产生的后果，若使用这些化学品卖方将不承担相关膜元件的质保；
- n) 买方有责任提供用户合理的系统操作和维护手册，操作者和操作的管理者的培训，以保证有能力进行清洗和别的系统性能恢复以及故障诊断；
- o) 买主必须经常性和系统地记录整个系统和子系统的标准化性能数据并作评估，当依照质保条款向陶氏化学公司提出质保赔偿要求时，这些数据必须提供给陶氏化学公司。

元件的修理或更换

买主单方面对任何超出质保的元件进行修理是有限制的，并应完全同意由陶氏化学公司修理任何有缺陷的元件，或根据陶氏化学公司的判断，以陶氏化学公司工厂 F.O.B.的当前售价更换相同的元件。陶氏化学公司保留基于用户或买主所说的情形下重新测试有缺陷嫌疑的膜元件或反渗透系统、或要求买主进行这样的检查或测试并且将结果提交给陶氏化学公司的权利。当元件的性能下降不属于上述提到的质保范围，而买主提出要求让陶氏化学公司从事元件和系统的检查，买主须支付陶氏化学公司每天 1,000 美元外加陶氏化学公司员工的直接旅差费。运到陶氏化学公司进行质保检查的元件买主必须预付运费，只能部分质保的元件将退还给买主，退还方式为买主运费付款提货。

附加说明

1. 第一小时操作期内的产水必须排放掉；
2. 使用福尔马林作杀菌剂时，膜元件必须正常运行至少 6 小时以上。如果在 6 小时之内使用福尔马林，将会导致产水量的大幅度下降；
3. 在返回任何元件给陶氏化学公司作质保检查前，请参阅元件返回程序手册。

质保声明

拒绝或没有给陶氏化学公司提供元件使用和操作参数时，除了材料和制造的有限保证条款依然有效外，表明买主放弃其它的所有质保条件。

本质保排除任何连带的、偶然的、特殊的、可解释的和惩罚性的责任。

2-16 陶氏膜温度校正系数（TCF）

温度 °C	温度校 正系数 TCF	温度 °C	温度校 正系数 TCF	温度 °C	温度校 正系数 TCF	温度 °C	温度校 正系数 TCF	温度 °C	温度校 正系数 TCF
10.0	1.711	14.0	1.475	18.0	1.276	22.0	1.109	26.0	0.971
10.1	1.705	14.1	1.469	18.1	1.272	22.1	1.105	26.1	0.968
10.2	1.698	14.2	1.464	18.2	1.267	22.2	1.101	26.2	0.965
10.3	1.692	14.3	1.459	18.3	1.262	22.3	1.097	26.3	0.962
10.4	1.686	14.4	1.453	18.4	1.258	22.4	1.093	26.4	0.959
10.5	1.679	14.5	1.448	18.5	1.254	22.5	1.090	26.5	0.957
10.6	1.673	14.6	1.443	18.6	1.249	22.6	1.086	26.6	0.954
10.7	1.667	14.7	1.437	18.7	1.245	22.7	1.082	26.7	0.951
10.8	1.660	14.8	1.432	18.8	1.240	22.8	1.078	26.8	0.948
10.9	1.654	14.9	1.427	18.9	1.236	22.9	1.075	26.9	0.945
11.0	1.648	15.0	1.422	19.0	1.232	23.0	1.071	27.0	0.943
11.1	1.642	15.1	1.417	19.1	1.227	23.1	1.067	27.1	0.940
11.2	1.636	15.2	1.411	19.2	1.223	23.2	1.064	27.2	0.937
11.3	1.630	15.3	1.406	19.3	1.219	23.3	1.060	27.3	0.934
11.4	1.624	15.4	1.401	19.4	1.214	23.4	1.056	27.4	0.932
11.5	1.618	15.5	1.396	19.5	1.210	23.5	1.053	27.5	0.929
11.6	1.611	15.6	1.391	19.6	1.206	23.6	1.049	27.6	0.926
11.7	1.605	15.7	1.386	19.7	1.201	23.7	1.045	27.7	0.924
11.8	1.600	15.8	1.381	19.8	1.197	23.8	1.042	27.8	0.921
11.9	1.594	15.9	1.376	19.9	1.193	23.9	1.038	27.9	0.918
12.0	1.588	16.0	1.371	20.0	1.189	24.0	1.035	28.0	0.915
12.1	1.582	16.1	1.366	20.1	1.185	24.1	1.031	28.1	0.913
12.2	1.576	16.2	1.361	20.2	1.180	24.2	1.028	28.2	0.910
12.3	1.570	16.3	1.356	20.3	1.176	24.3	1.024	28.3	0.908
12.4	1.564	16.4	1.351	20.4	1.172	24.4	1.021	28.4	0.905
12.5	1.558	16.5	1.347	20.5	1.168	24.5	1.017	28.5	0.902
12.6	1.553	16.6	1.342	20.6	1.164	24.6	1.014	28.6	0.900
12.7	1.547	16.7	1.337	20.7	1.160	24.7	1.010	28.7	0.897
12.8	1.541	16.8	1.332	20.8	1.156	24.8	1.007	28.8	0.894
12.9	1.536	16.9	1.327	20.9	1.152	24.9	1.003	28.9	0.892
13.0	1.530	17.0	1.323	21.0	1.148	25.0	1.000	29.0	0.889
13.1	1.524	17.1	1.318	21.1	1.144	25.1	0.997	29.1	0.887
13.2	1.519	17.2	1.313	21.2	1.140	25.2	0.994	29.2	0.884
13.3	1.513	17.3	1.308	21.3	1.136	25.3	0.991	29.3	0.882
13.4	1.508	17.4	1.304	21.4	1.132	25.4	0.988	29.4	0.879
13.5	1.502	17.5	1.299	21.5	1.128	25.5	0.985	29.5	0.877
13.6	1.496	17.6	1.294	21.6	1.124	25.6	0.982	29.6	0.874
13.7	1.491	17.7	1.290	21.7	1.120	25.7	0.979	29.7	0.871
13.8	1.486	17.8	1.285	21.8	1.116	25.8	0.977	29.8	0.869
13.9	1.480	17.9	1.281	21.9	1.112	25.9	0.974	29.9	0.866

校正后流量=实测流量x对应于进水温度的温度校正系数（TCF值）。

第 3 部分 反渗透和纳滤基础

3-1 反渗透和纳滤技术发展历史

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

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

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

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

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

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

3-2 脱盐技术及膜法分离过程

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

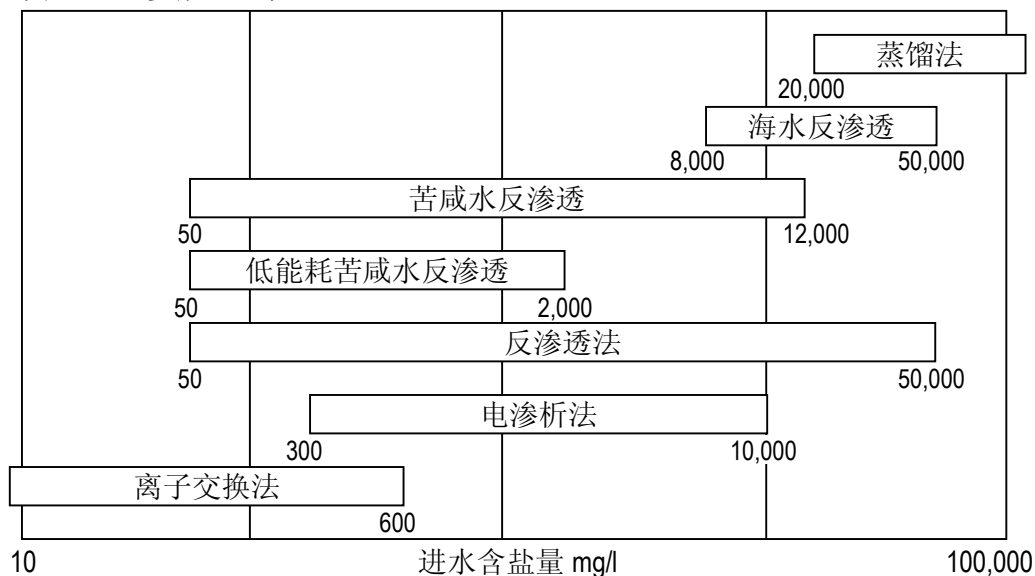
反渗透和纳滤过程单独、或与离子交换法、或其它分离过程相结合，可以降低再生剂的费用和废水排放量，也可以用来制备高纯水，在电厂当与热法结合时，可以提高设备的利用率和水的利用率。

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

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

为了除去更小的颗粒和可溶性盐类，必须使用错流式的膜过滤，错流式膜过滤对与膜表面平行的待处理流体施加压力，其中部分流体就透过了膜表面，流体中的颗粒等被排除在浓水中，由于流体连续地流过膜表面，被排除的颗粒不会在膜表面上累积，而是被浓水从膜面上带走了，因此一股流体就变成两股流体，即透过液和浓缩液。

图 3.1 主要脱盐过程



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

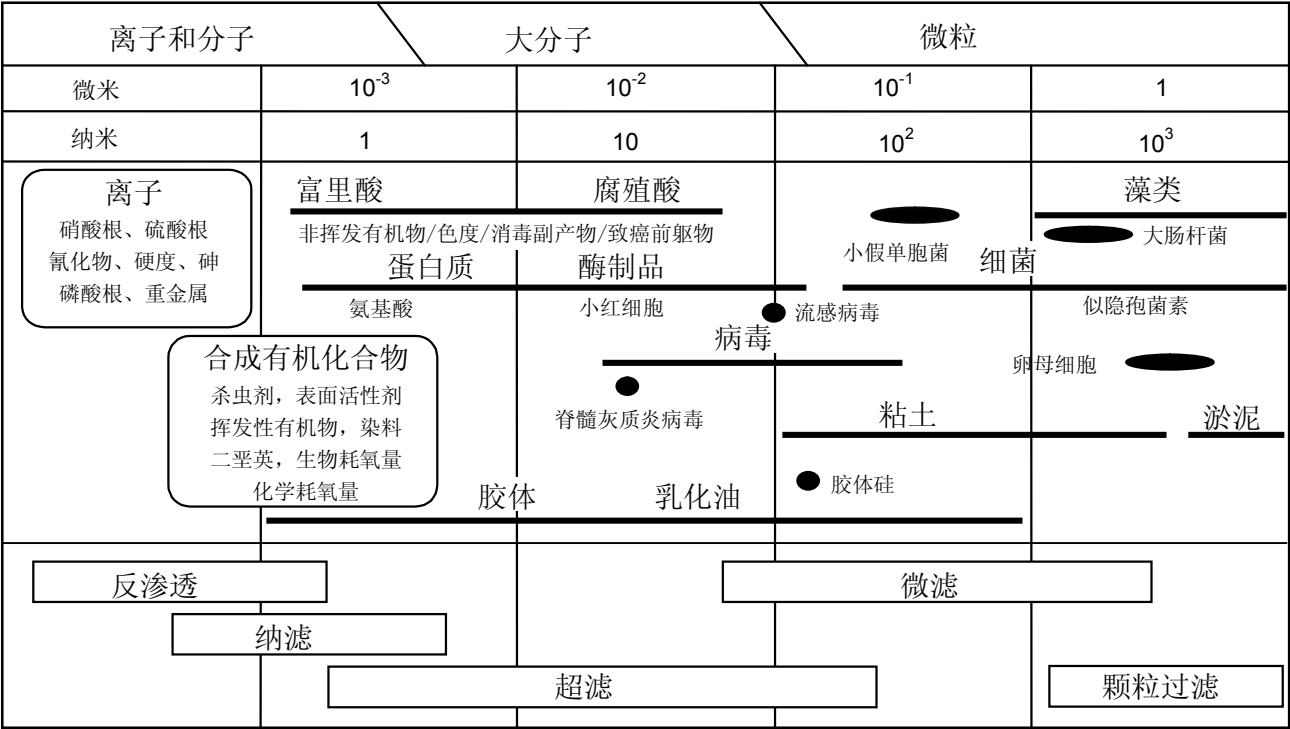
微滤(MF)

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

超滤(UF)

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

纳滤(NF)



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

反渗透(RO)

反渗透是最精密的膜法液体分离技术，它能阻挡所有溶解性盐及分子量大于 100 的有机物，但允许水分子透过，醋酸纤维素反渗透膜脱盐率一般可大于 95%，反渗透复合膜脱盐率一般大于 98%。它们广泛用于海水及苦咸水淡化，锅炉给水、工业纯水及电子级超纯水制备，饮用纯净水生产，废水处理及特种分离等过程，在离子交换前使用反渗透可大幅度地降低操作费用和废水排放量。反渗透膜两侧的运行压差当进水为苦咸水时一般大于 5bar，当进水为海水时，一般低于 84bar。

3-3 反渗透和纳滤原理

渗透

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

渗透压

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

反渗透原理

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

纳滤原理

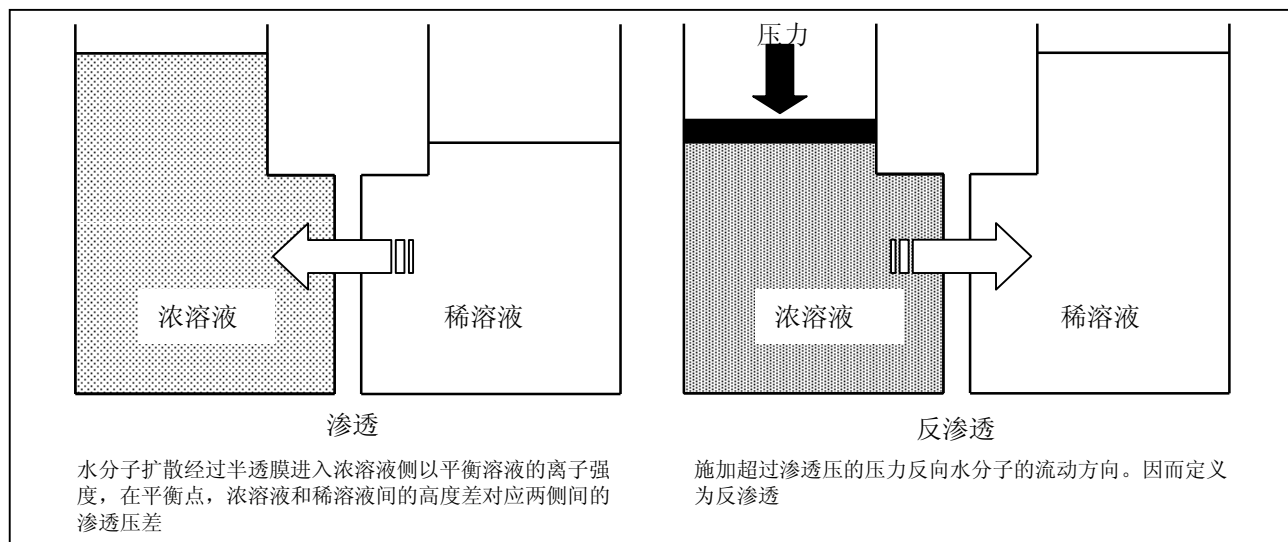
纳滤与反渗透没有明显的界限。纳滤膜对溶解性盐或溶质不是完美的阻挡层，这些溶质透过纳滤膜的高低取决于盐份或溶质及纳滤膜的种类，透过率越低，纳滤膜两侧的渗透压就越高，也就越接近反渗透过程，相反，如果透过率越高，纳滤膜两侧的渗透压就越低，渗透压对纳滤过程的影响就越小。

反渗透和纳滤过程

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

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

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



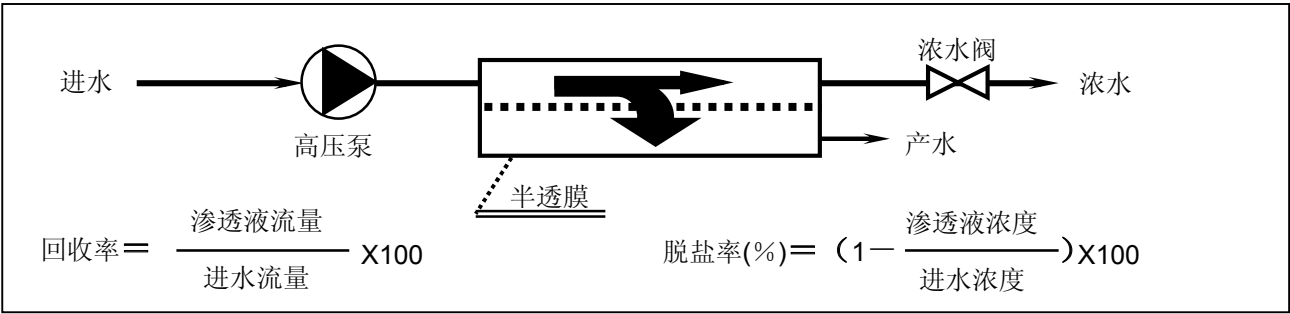
膜元件：将反渗透或纳滤膜膜片与进水流道网格、产水流道材料、产水中心管和抗应力器等用胶粘剂等组装在一起，能实现进水与产水分开的反渗透或纳滤过程的最小单元称为膜元件；

膜组件：膜元件安装在受压力的压力容器外壳内构成膜组件；

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

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

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



3-4 影响反渗透和纳滤膜性能的因素

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

定义

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

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

透盐率：脱盐率的相反值，它是进水中溶解性的杂质成份透过膜的百分率。

渗透液：经过膜系统产生的净化产水。

流 量：流量是指进入膜元件的进水流率，常以每小时立方米（m³/h）或每分钟加仑表示（gpm）。浓水流量是指离开膜元件系统的未透过膜的那部分的“进水”流量。这部分浓水含有从原水水源带入的可溶性的组份，常以每小时立方米（m³/h）或每分钟加仑表示（gpm）。

通 量：以单位膜面积透过液的流率，通常以每小时每平方米升（l/m²h）或每天每平方英尺加仑表示（gfd）。

稀溶液：净化后的水溶液，为反渗透或纳滤系统的产水。

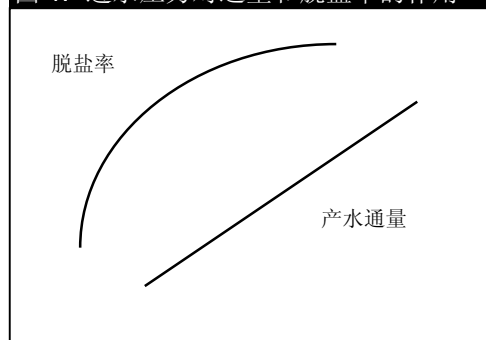
浓溶液：未透过膜的那部分溶液，如反渗透或纳滤系统的浓缩水。

压力的影响

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

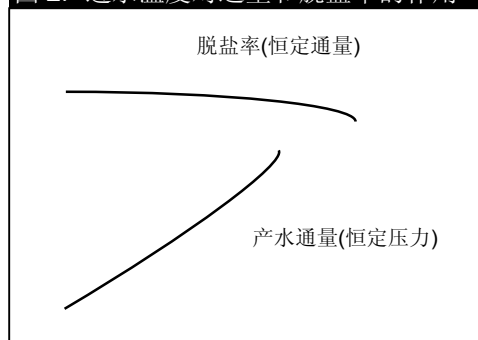
正如图 1 所示，透过膜的水通量增加与进水压力的增加存在直线关系，增加进水压力也增加了脱盐率，但是两者间的

图 1. 进水压力对通量和脱盐率的作用



压 力

图 2. 进水温度对通量和脱盐率的作用



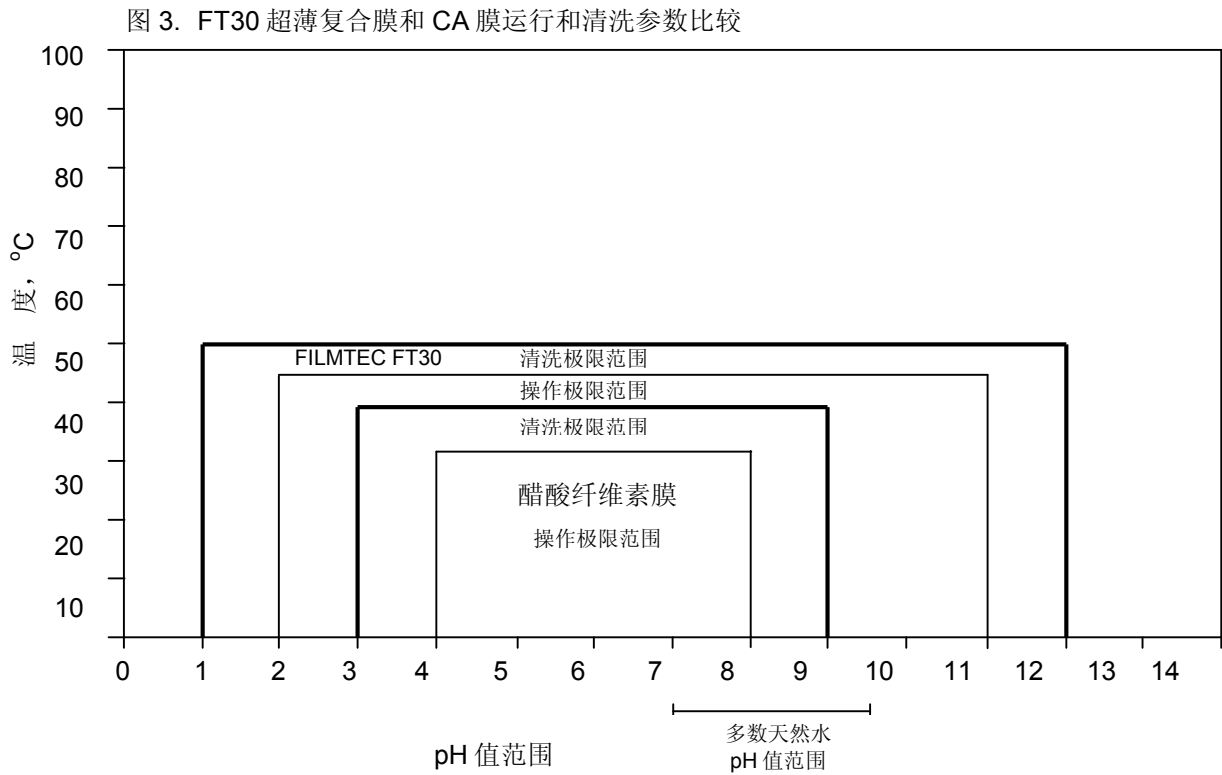
温 度

变化关系没有线性关系，而且达到一定程度后脱盐率将不再增加。

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

温度的影响

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



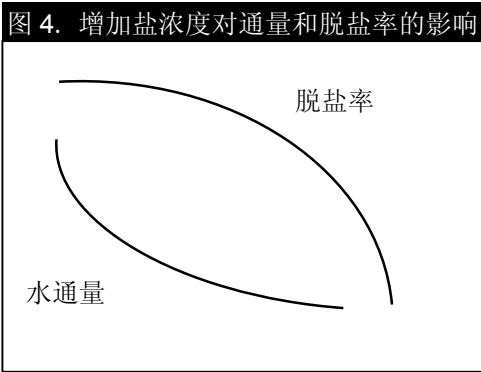
膜元件能够承受高温的能力增加了其操作范围，这对清洗操作也很重要，因为可以采用更强烈和更快的清洗程序，FILMTEC™ FT30 超薄复合膜和醋酸纤维素（CA）膜的允许 pH 和温度范围比较详见图 3。

盐浓度的影响

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

回收率的影响

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



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

pH 值的影响

各种反渗透和纳滤膜元件适用的 pH 值范围相差很大，象 FILMTEC™FT30 这样的超薄复合反渗透和纳滤膜与醋酸纤维素

图 5. 增加回收率对通量和脱盐率的影响

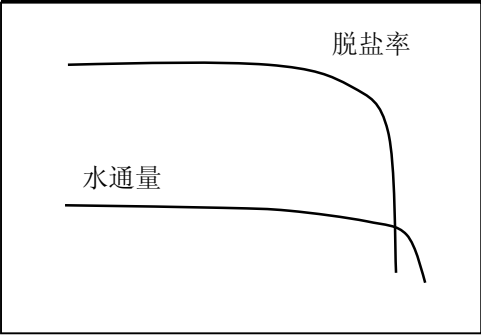
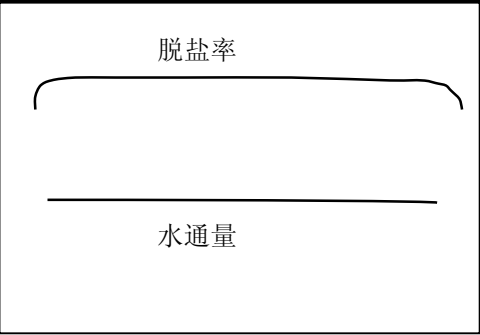


图 6. 进水 pH 对水通量和脱盐率的影响



反渗透和纳滤膜相比，在更宽广的 pH 值范围内更稳定，因而，具有更宽的操作范围（请见图 3）。

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

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

↑ 表示增加； ↓ 表示降低。

3-5 了解反渗透膜元件脱盐率规范

理解反渗透膜元件脱盐率指标

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

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

现在，你可能感到困惑，难道膜元件制造商公布的脱盐率指标不能成为实际系统中的性能预期值吗？这取决于出厂检验的标准条件与用户系统实际条件的接近程度如何。假定实际系统条件中反渗透系统进水组成出现巨大的变化，包括温度、压

力和 pH 值在内的其它系统条件与出厂测试条件出现明显差异，膜元件出厂时获得的测试结果就根本无法与用户实际系统的结果较好的吻合。

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

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

脱盐率的定义

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

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

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

正确考虑脱盐率

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

怎样测定脱盐率？

盐份透过膜的传递速度是以质量体积浓度度量的，现有的仪表能测定出产水比电导值（即电导率），这一数值可以十分

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

容易地换算成透过膜的渗透液中每升所含盐份的毫克数。脱盐率由下述公式的百分数来表示：

$$\text{Concf} = \text{进水与浓水含盐量的对数平均} = \text{进水含盐量}$$

$$Y = \text{回收率}; \text{Concp} = \text{产水含盐量} \times \frac{\ln[1/(1-Y)]}{Y}$$

不同的测试方法得出不同的脱盐率性能

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

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

表 1：三家主要膜元件供应商的测试条件

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

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

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

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

膜元件制造工艺的不同如何影响脱盐率的测定结果

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

在陶氏水处理及过程解决方案的膜元件生产过程中，无需额外的冲洗步骤除去成膜化学品，在膜干燥之前，成膜化学品就通过水浴漂洗干净了，无需 24 小时的冲洗步骤，在测试和装运前，仅需简单的元件冲洗即可。

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

膜制造商脱盐率规范真正意味着什么？

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

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

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

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

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

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

系统稳定脱盐率比 QA 检验中的脱盐率更重要

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

由于膜元件的制造过程不同，膜元件的脱盐率仅能在经过一个星期左右的“湿态”运行之后进行公正的比较，针对某一进水水质和系统条件，分析对比膜元件在使用现场所表现的实际性能，就可最好的代表该元件在该现场的脱盐率情况，因为它消除了人工设计的测试条件、预冲洗和其它测试前进行元件处理的所有误导因素。

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

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

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

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

产品样本上脱盐率指标较好又怎样呢？

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

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

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

如果不依靠脱盐率指标，根据什么选择最适宜的元件？

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

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

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

第 4 部分 水化学与预处理

4-1 序 言

为了提高反渗透和纳滤膜系统效率，必须对原水进行有效地预处理。针对原水水质情况和系统回收率等主要设计参数要求，选择适宜的预处理工艺，就可以减少污堵、结垢和膜降解，从而大幅度提高系统效能，实现系统产水量、脱盐率、回收率和运行费用的最优化。

【污 堵】定义为有机物和胶体在膜面上的沉积。

【结 垢】定义为部分盐类的浓度超过其溶度积在膜面上的沉淀，例如碳酸钙、硫酸钡、硫酸钙、硫酸锶、氟化钙和磷酸钙等。

【膜降解】定义为膜元件性能的衰减。

预处理必须考虑全系统连续可靠运行的需要，例如，若混凝澄清池设计或操作不合理时，会对砂滤器或多介质滤器产生超过其极限的负荷。这样的不合理预处理常常造成膜的频繁清洗，其结果是清洗费用、停机时间和系统性能的衰减将会十分明显。

适宜的预处理方案取决于水源、原水组成和应用条件，而且主要取决于原水的水源，例如对井水、地表水和市政废水要区别对待。通常情况下，井水水质稳定，污染可能性低，仅需简单的预处理，如设置加酸或加阻垢剂和 5 μ m 保安滤器即可。相反，地表水是一种直接受季节影响的水源，有发生微生物和胶体两方面高度污染的可能性。所需的预处理应比井水复杂，需要其它的预处理步骤包括氯消毒、絮凝/助凝、澄清、多介质过滤、脱氯、加酸或加阻垢剂等。工业和市政废水含有更加复杂的有机和无机成份，某些有机物可能会严重影响 RO/NF 膜，引起产水量严重下降或膜的降解，因而必须有设计更加周全的预处理。

一旦确定了所选用的进水水源，就须进行全面而准确的原水全分析。它是确立合适预处理方案和 RO/NF 系统排列设计最关键的依据。最后，行业的不同也往往决定了 RO/NF 预处理的类型或复杂程度，例如在电子行业，其预处理要比以市政膜法水处理行业复杂和严格得多。

4-2 原水类型和水质分析

进入 RO/NF 预处理系统的原水类型可按总含盐量（TDS）和总有机物含量（TOC）来划分：

- ❖ 来自一级 RO 产水的低盐度高纯度产水或超纯水系统中的抛光阶段的给水，总可溶性固体含量 TDS 最高为 50mg/L；
- ❖ TDS 小于 500mg/L 的低盐度自来水；
- ❖ 天然有机物（NOM）含量低，TDS 小于 5,000mg/L 的中等含盐量地下水；
- ❖ TDS 小于 5,000mg/L 的中等含盐量苦咸水；
- ❖ TOC 和 BOD 含量高，TDS 小于 5,000mg/L 的中等含盐量三级废水；
- ❖ TDS 介于 5,000~15,000mg/L 的高含盐量苦咸水；
- ❖ TDS 在 35,000mg/L 左右的海水。

海水

含盐量为 35,000mg/L 的海水称为标准海水，这是因为世界上绝大多数的海水具有上述的含盐量，其中的离子组成比例全世界也十分相近，但是实际总 TDS 变化范围很宽，从波罗的海的海水含盐量为 7,000mg/L 到红海和波斯湾的海水含盐量为 45,000mg/L。由于土壤影响和内陆水的渗入，近海岸井水的含盐量及组成却变化极大。

表 4.1 标准海水组成

离 子	浓度(mg/L)	离 子	浓度(mg/L)
钙	410	硫酸根	2,740
镁	1,310	氟	1.4
钠	10,900	溴	65
钾	390	硝酸根	<0.7
钡	0.05	碳酸氢根	152
锶	13	硼	4~5
铁	<0.02	其它项目	
锰	<0.01	TDS	35,000mg/L
硅	0.04~8	pH	8.1
氯	19,700		

不同含盐量海水的某些物理及化学性质见表 4.2 和表 4.3。

表 4.2 不同含盐量海水无机离子组成

海水	K(ppm)	Na(ppm)	Mg(ppm)	Ca(ppm)	HCO ₃ (ppm)	Cl(ppm)	SO ₄ (ppm)	SiO ₂ (ppm)
标准海水-32,000ppm	354	9,854	1,182	385	130	17,742	2,477	0.9
标准海水-35,000ppm	387	10,778	1,293	421	142	19,406	2,710	1.0
标准海水-36,000ppm	398	11,086	1,330	433	146	19,960	2,787	1.0
标准海水-38,000ppm	419	11,663	1,399	456	154	20,999	2,932	1.0
标准海水-40,000ppm	441	12,278	1,473	480	162	22,105	3,086	1.1
标准海水-45,000ppm	496	13,812	1,657	539	182	24,868	3,472	1.2
标准海水-50,000ppm	551	15,347	1,841	599	202	27,633	3,858	1.4

表 4.3 海水含盐量与电导率的关系

地点	含盐量 TDS(ppm)	电导率 K(μS/cm)	比值 K/TDS(μS/cm.ppm)
南太平洋	<36,000	<51,660	1.43 - 1.44
Gran Canaria (大西洋)	37,600	53,280	1.42
Sardinia (中东)	40,800	57,240	1.40
Bahrain	42,500	59,350	1.40
埃及 (红海)	44,000	62,990	1.38

在设计与运行海水淡化预处理及反渗透系统时必须考虑海水的特性，海水的高含盐量必然导致极高的渗透压，为了不超过膜元件的耐压极限、或为了降低高回收率所伴随的高压力所致的能耗、或为了降低产水中的含盐量及硼离子的含量，海水淡化系统的回收率一般限制到 40~50%。表面取水的海水淡化系统如果未采取防止生物污染的措施，将会在膜表面上发生生物污染。

苦咸水

苦咸水的组成变化范围极大，为了提出较佳的工艺设计方案，必须进行水质全分析。表 4.4 给出了几个苦咸水水质分析示例。

苦咸水处理系统的制约因素主要是化学性质，即碳酸钙或硫酸钙等化合物的结垢和沉积，因进水不断被浓缩，当超过其溶度积时，会在膜面上发生沉淀或结垢；潜在的微生物污染又是另一个影响因素，工业或市政废水处理系统存在大量有机物、无机物、病毒与细菌等微生物和藻类，这样其制约因素不仅仅是物理与化学因素，还有微生物指数，即与膜有亲和反应的有机碳或生物可降解的溶解性有机碳或潜在的磷酸盐垢。

表 4.4 苦咸水组成示例

参数	单位	井水 ^a	井水 ^b	湖水 ^c	地表水 ^d	处理过的三级排水 ^e
钙	mg/L	84	113	54	102	40 – 64
镁	mg/L	6	2.7	23	11	
钠	mg/L	36	23	87	20	150 - 200
钾	mg/L	3.3	2	6.6	4	
铁	mg/L	<0.05	0.2	0.05	ND – 0.50	0.02 – 0.09
锰	mg/L	0.01	0.1	<0.01	<0.01	<0.05
钡	mg/L	0.07	0.1	0.09		0.01 – 0.1
锶	mg/L	0.7	1	1		0.2 - 1
氨	mg/L	<0.05			0.3	22 - 66
铝	mg/L	0.02		0.02	ND-0.15	0.03
氯	mg/L	45	52	67	33	150 – 500
重碳酸根	mg/L	265	325	134	287	48.8 – 97.6
硫酸根	mg/L	24	8	201	56	120 – 160
硝酸根	mg/L	4.3	4	<1.0	15	40 – 60
氟	mg/L	0.14	0.7		0.25	0.7 – 0.7
磷酸根	mg/L	<0.05	0.6	0.01	1.2	6.1 – 12.2
硅	mg/L	9	11	3.1	7 – 17	6 – 10
硫化氢	mg/L		1.5			ND
TDS	mg/L	478	377	573	400	500 – 1,300
TOC	mg/L	1.5	10	3.6	2.4	20 – 30(COD)
色度	Pt	<5	40		<5	13(Hazen)
浊度	NTU				2 – 130	0.4 – 1.7
pH		7.5	7.4	8.2	8	6.6 – 7.4
电导率	μS/cm	590	----	879	400 – 700	700 – 2,200
温度	°C	12	23.28	----	3 – 25	25 – 35

- a. 井水：德国
- b. 井水：美国佛罗里达
- c. Mead 湖：内华达
- d. Oise 河：法国
- e. 三级废水：新加坡裕廊岛

正如本章节所述的那样，由于苦咸水进水水质波动范围很大，第一步必须了解水质特性，在进行反渗透或纳滤系统设计计算之前，必须掌握完整而准确的水质分析报告，需要提供如表 4.5 所列的完整的水质参数表，而且阴阳离子要平衡，如果阴阳离子不平衡，建议通过添加 Na⁺ 或 Cl⁻ 进行平衡。

表 4.5 用于 RO/NF 设计的原水分析报告

原水分析单位: _____		分析者: _____	
水源概况: _____		日 期: _____	
电导率: _____	pH 值: _____	水样温度: _____	°C

组成分析(分析项目请标注单位, 如 mg/L, ppm, meq/L, 以 CaCO₃ 计等):

铵离子(NH ₄ ⁺) _____	二氧化碳(CO ₂) _____
钾离子(K ⁺) _____	碳酸根(CO ₃ ²⁻) _____
钠离子(Na ⁺) _____	碳酸氢根(HCO ₃ ⁻) _____
镁离子(Mg ²⁺) _____	亚硝酸根(NO ₂ ⁻) _____
钙离子(Ca ²⁺) _____	硝酸根(NO ₃ ⁻) _____
钡离子(Ba ²⁺) _____	氯离子(Cl ⁻) _____
锶离子(Sr ²⁺) _____	氟离子(F ⁻) _____
亚铁离子(Fe ²⁺) _____	硫酸根(SO ₄ ²⁻) _____
总铁(Fe ²⁺ /Fe ³⁺) _____	磷酸根(PO ₄ ³⁻) _____
锰离子(Mn ²⁺) _____	硫化氢(H ₂ S) _____
铜离子(Cu ²⁺) _____	活性二氧化硅(SiO ₂) _____
锌离子(Zn ²⁺) _____	胶体二氧化硅(SiO ₂) _____
铝离子(Al ³⁺) _____	游离氯(Cl ⁻) _____

其它离子(如硼离子): _____

总固体含量(TDS) _____	生物耗氧量(BOD) _____
总有机碳(TOC) _____	化学耗氧量(COD) _____

总碱度(甲基橙碱度): _____

碳酸根碱度(酚酞碱度): _____

总硬度: _____

浊度(NTU): _____

污染指数(SDI₁₅): _____

细菌(个数/mL): _____

备注(异味、颜色、生物活性等): _____

注: 当阴阳离子存在较大不平衡时, 应重新分析测试, 相差不大时, 可添加钠离子或氯离子进行人工平衡。

Ba²⁺和 Sr²⁺必须分别检测到 1μg/L (ppb) 和 1mg/L (ppm) 数量级, 同时还要考虑到温度在一定范围内变化的可能, 因为温度变化也会引起系统出现结垢的危险, 特别是在原水中硅和碳酸氢根含量较高时更应注意这一点。

一旦系统投入运行, 原水还应该定期进行分析, 以便能随时掌握原水水质的波动情况, 并及时调整预处理运行工艺参数和整个水处理工厂的运行条件。可以参考的水质分析标准很多, 在此推荐参阅美国材料及试验协会 ASTM 标准 (www.astm.org)。ASTM D 4195 给出了适用于反渗透应用时的水质分析指南, 该指南亦适用于纳滤系统, 表 4.6 列举了相关的分析水与废水的 ASTM 程序和标准。

表 4.6 RO/NF 系统应用的水质分析标准程序和方法

	ASTM	标准方法
钙和镁	D511	3500-Ca, Mg
氯	D512	4500-Cl
二氧化碳, 重碳酸根, 碳酸根	D513	4500-CO ₂ , 2320
磷	D515	4500-P
硫酸根	D516	4500-SO ₄
铝	D857	3500-Al
锰	D858	3500-Mn
硅	D859	4500-Si
溶氧	D888	4500-O
铁	D1068	3500-Fe
氟	D1179	4500-F
COD	D1252, D6697	5220
余氯	D1253	4500-Cl
pH	D1293	4500-pH
锂, 钾, 钠	D1428, D3561	3500-Li, Na, K
氨氮	D1426	4500-NH ₃
颗粒及可溶性固体	D1888	2560
浊度	D1889	2130
总有机碳 (TOC)	D2579, D4129, D4839, D5904	5310
砷	D2972	3500-As
硼	D3082	4500-B
锶	D3352	3500-Sr
水样取法	D3370	1060
亚硝酸根 - 硝酸根	D3867	4500-N
淤结指数	D4189	
钡	D4382	3500-Ba
水中微生物污染	F60	
氧化 - 还原电位 (ORP)	D1498	2580
BOD		5210
AOC		9217

4-3 结垢控制

4-3.1 引言

当难溶盐类在膜元件内不断被浓缩且超过其溶解度极限时, 它们就会在反渗透或纳滤膜膜面上发生结垢, 如果反渗透水处理系统采用 50%回收率操作时, 其浓水中的盐浓度就会增加到进水浓度的两倍, 回收率越高, 产生结垢的风险性就越大。目前出于水源短缺或对环境影响的考虑, 设置反渗透浓水回收系统以提高回收率成为一种习惯做法, 在这种情况下, 采取精

心设计、考虑周全的结垢控制措施和防止微溶性盐类超过其溶解度而引发沉淀与结垢尤为重要，RO/NF 系统中，常见的难溶盐为 CaSO_4 、 CaCO_3 和 SiO_2 ，其它可能会产生结垢的化合物为 CaF_2 、 BaSO_4 、 SrSO_4 和 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ，下表列举了难溶无机盐的溶度积数据。

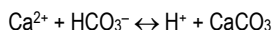
表 4.7 难溶盐溶度积

化合物	分子式	温度 °C	溶度积 K_{sp}	$-\text{Log } K_{sp}$
氢氧化铝	$\text{Al}(\text{OH})_3$	25	3×10^{-34}	33.5
磷酸铝	AlPO_4	25	9.84×10^{-21}	20
碳酸钡	BaCO_3	25	2.58×10^{-9}	8.6
硫酸钡	BaSO_4	25	1.1×10^{-10}	10
碳酸钙	CaCO_3	25	方解石: 3.36×10^{-9}	8.5
			文石: 6×10^{-9}	8.2
氟化钙	CaF_2	25	3.45×10^{-11}	10.5
磷酸钙	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	25	2.07×10^{-33}	32.7
硫酸钙	CaSO_4	25	4.93×10^{-5}	4.3
氢氧化亚铁	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	25	4.87×10^{-17}	16.3
硫化亚铁	FeS	25	8×10^{-19}	18.1
氢氧化铁	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	25	2.79×10^{-39}	38.6
水合磷酸铁	$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	25	9.91×10^{-16}	15
碳酸铅	PbCO_3	25	7.4×10^{-14}	13.1
氟化铅	PbF_2	25	3.3×10^{-8}	7.5
硫酸铅	PbSO_4	25	2.53×10^{-8}	7.6
氢化磷酸镁	MgNH_4PO_4	25	2.5×10^{-13}	12.6
碳酸镁	MgCO_3	12	2.6×10^{-5}	4.58
		25	6.82×10^{-6}	5.17
氟化镁	MgF_2	18	7.1×10^{-9}	8.15
		25	5.16×10^{-11}	10.3
氢氧化镁	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	18	1.2×10^{-11}	10.9
		25	5.61×10^{-12}	11.25
磷酸镁	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	25	1.04×10^{-24}	24
氢氧化锰	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	18	4.0×10^{-14}	13.4
		25	2×10^{-13}	12.7
碳酸锶	SrCO_3	25	5.6×10^{-10}	9.25
硫酸锶	SrSO_4	17.4	3.8×10^{-7}	6.42
碳酸锌	ZnCO_3	25	1.46×10^{-10}	9.84

为了防止膜面上发生无机盐结垢，应采用如下措施：

4-3.2 加 酸

大多数地表水和地下水中的 CaCO_3 几乎呈饱和状态，由下式可知 CaCO_3 的溶解度取决于 pH 值：



因此，通过加入酸中的 H^+ ，化学平衡可以向左侧转移，使碳酸钙维持溶解状态，所用酸的品质必须是食品级。在大多数国家和地区，硫酸比盐酸更易于使用，但是另一方面，进水中硫酸根的含量增加了，就硫酸盐垢而言，问题会严重。

CaCO_3 在浓水中更具有溶解的倾向，而不是沉淀，对于苦咸水而言，可根据朗格利尔指数(LSI)，对于海水可根据斯蒂夫和大卫饱和指数(S&DSI)，表示这种趋于溶解的倾向。在饱和 pHs 的条件下，水中 CaCO_3 处于溶解与沉淀之间的平衡状态。

LSI 和 S&DSI 的定为：

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (\text{TDS} \leq 10,000 \text{ mg/L})$$

$$\text{S\&DSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (\text{TDS} > 10,000 \text{ mg/L})$$

仅采用加酸控制碳酸钙结垢时，要求浓水中的 LSI 或 S&DSI 指数必须为负数，加酸仅对控制碳酸盐垢有效。

4-3.3 加阻垢剂

阻垢剂可以用于控制碳酸盐垢、硫酸盐垢以及氟化钙垢，通常有三类阻垢剂：六偏磷酸钠(SHMP)、有机磷酸盐和多聚丙烯酸盐。

相对聚合有机阻垢剂而言，六偏磷酸钠价廉但不太稳定，它能少量的吸附于微晶体的表面，阻止结垢晶体的进一步生长和沉淀。但须使用食品级六偏磷酸钠，还应防止 SHMP 在计量箱中发生水解，一旦水解，不仅会降低阻垢效率，同时也有产生磷酸钙沉淀的危险。因此，目前极少使用 SHMP，有机磷酸盐效果更好也更稳定，适应于防止不溶性的铝和铁的结垢，高分子量的多聚丙烯酸盐通过分散作用可以减少 SiO_2 结垢的形成。

但是聚合有机阻垢剂遇到阳离子聚电解质或多价阳离子时，可能会发生沉淀反应，例如铝或铁，所产生的胶状反应物，非常难以从膜面上除去。对于阻垢剂的加入量，请咨询阻垢剂供应商。必须避免过量加入，因为过量的阻垢剂对膜而言也是污染物。

在含盐量为 35,000mg/L 的海水反渗透系统中，结垢问题没有苦咸水中那样突出，海水受浓水渗透压所困，其系统回收率在 30~45%之间，但为安全起见，当运行回收率高于 35%时，推荐使用阻垢剂。

阳离子聚电介质可能会与负电性的阻垢剂发生协同沉淀反应并污染膜表面，必须保证当添加阴离子阻垢剂时，水中不存在明显的阳离子聚合物。

4-3.4 强酸阳树脂软化

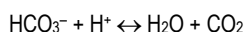
可以使用 Na^+ 离子置换和除去水中结垢阳离子如 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} 。交换饱和后的离子交换树脂用 NaCl 再生，这一过程称为原水软化处理。在这种处理过程中，进水 pH 不会改变。因此，不需要采取脱气操作，但原水中的溶解气体 CO_2 能透过膜进入产品侧，引起电导率的增加，操作者仍可以在软化后的水中加入一定量 NaOH （直到 pH8.2）以便将水中残留 CO_2 转化成重碳酸根，重碳酸根能被膜所脱除，使反渗透产水电导率降低，FT30 膜的脱盐率在中性 pH 范围内较高。

选用 DOWEX™ 离子交换树脂 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} 的脱除效率大于 99.5%，可消除各种碳酸盐或硫酸盐垢的危险。如果及时进行再生的话，采用强酸阳离子交换树脂进行软化是非常有效和保险的阻垢方法，但主要用于中小型苦咸水系统中，而海水淡化中不会使用软化法。

这一过程的主要缺点是相当高的 NaCl 消耗，存在环境问题，也不经济。选用 DOWEX™ MONOSPHERE™ 均粒树脂和逆流再生工艺，如 UPCORE™ 工艺，可以减少 NaCl 的耗量到 110% 的理论再生剂所需用量。

4-3.5 弱酸阳树脂脱碱度

采用弱酸阳离子交换树脂脱碱度主要是大型苦咸水处理系统，它能够实现部分软化以达到节约再生剂的目的。在这一过程中，仅仅与重碳酸根相同量的暂时硬度中的 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} 等为 H^+ 所取代而被除去，这样原水的 pH 值会降低到 4~5。由于树脂的酸性基团为羧基，当 pH 达到 4.2 时，羧基不再解离，离子交换过程也就停止了。因此，仅能实现部分软化，即与重碳酸根相结合的结垢阳离子可以被除去。因此这一过程对于重碳酸根含量高的水源较为理想，重碳酸根也可转化为 CO_2



在大多数情况下，并不希望产水中出现 CO_2 ，这时可以对原水或产水进行脱气来实现，但当存在生物污染嫌疑时（地表水，高 TOC 或高菌落总数），对产水脱气更为合适。在膜系统中高 CO_2 浓度可以抑制细菌的生长，当希望系统运行在较高的脱盐率时，采用原水脱气较合适，脱除 CO_2 将会引起 pH 的增高，进水 pH>6 时，膜系统的脱除率比进水 pH<5 时要高。

采用弱酸脱碱度的优点如下：

- ❖ 再生所需要的酸量不大于 105% 的理论耗酸量，这样会降低操作费用和对环境的影响；
- ❖ 通过脱除重碳酸根，水中的 TDS 减低，这样产水 TDS 也较低；

本法的缺点是：

- ❖ 残余硬度

如果需要完全软化，可以增设强酸阳树脂的钠交换过程，甚至可放置在弱酸树脂同一交换柱内，这样再生剂的耗量仍比单独使用强酸树脂时低，但是初期投资较高，这一种组合仅当系统容量很大时才有意义。

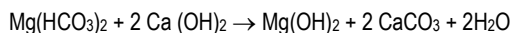
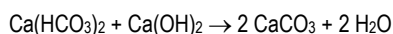
另一种克服这一缺点的方法是在脱碱度的水中加阻垢剂，虽然迄今为止，人们单独使用弱酸阳树脂脱碱时，还从未出现过结垢问题，但是我们仍极力建议你计算残留难溶盐的溶解度，并采取相应的措施。

- ❖ 处理过程中水的会发生 pH 变化

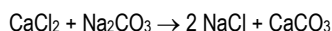
因树脂的饱和程度在运行时发生变化，经弱酸脱碱处理的出水其 pH 值将在 3.5~6.5 范围内变化，这种周期性的 pH 变化，使工厂脱盐率的控制变得很困难。当 pH<4.2 时，无机酸将透过膜，可能会增加产水的 TDS，因此，我们推荐用户增加一个并联弱酸软化器，控制在不同时间进行再生，以便均匀弱酸处理出水 pH，其它防止极低 pH 值出水的方法是脱除 CO_2 或通过投加 NaOH 调节弱酸软化后出水的 pH 值。

4-3.6 石灰软化

通过水中加入氢氧化钙可除去碳酸盐硬度。



非碳酸钙度可以经过加入碳酸钠（纯碱）得到进一步地降低。



石灰—纯碱处理也可以降低二氧化硅的浓度，当加入铝酸钠和三氯化铁时，将会形成 CaCO_3 以及硅酸、氧化铝和铁的复合物。通过加入石灰和多孔氧化镁的混合物，采用 60~70°C 热石灰硅酸脱除工艺，可将硅酸浓度降低到 1mg/L 以下。

采用石灰软化，也可以显著地降低钡、锶和有机物，但是石灰软化处理需要使用反应器，以便形成高浓度作晶核的可沉淀颗粒，通常需要采用上升流动方式的固体接触澄清器，本过程的出水还需设置多介质过滤器，并在进入 RO/NF 之前应调节 pH 值，使用含铁絮凝剂，不论是否同时使用或不使用高分子助凝剂（阴离子或非离子型），均可提高石灰软化的固—液分

离作用。仅当产水量大于 200m³/hr 的苦咸水系统才会考虑选择石灰软化预处理工艺。

4-3.7 预防性清洗

在某些场合下，可以通过对膜进行预防性清洗来控制结垢问题，此时系统可不需要进行软化或加化学品阻垢。通常这类系统的运行回收率很低，约 25%左右，而且 1~2 年左右就考虑更换膜元件。这些系统通常是以自来水或海水作水源，制造饮用水的单元件不重要的小型系统，其最简单的清洗方式是打开浓水阀门作低压冲洗，设置清洗间隔短的模式要比长的模式有效，例如常用每运行 30 分钟低压冲洗 30 秒。

也可以采用类似于废水处理中的批操作模式，即在每批操作之后清洗一次膜元件。清洗步骤、清洗化学品和清洗频率等需要作个案处理和优化。特别要注意采取措施不让结垢层随运行时间的延长进一步的加剧。

4-3.8 调整操作参数

当其它结垢控制措施不起作用时，必须调整系统的运行参数，以防止产生结垢问题，因为保证浓水中难溶盐浓度低于溶度积，就不会出现沉淀，这需要通过降低系统回收率来降低浓水中的浓度。

溶解度还取决于温度和 pH 值，水中含硅时，提高温度和 pH 可以增加其溶解度，二氧化硅常常是唯一考虑需要调节这些运行参数以防止结垢的原因，因为这些参数的调节存在一些缺点，如能耗高或其它结垢的风险（如高 pH 下易发生 CaCO₃ 沉淀）。

对于小型系统，选择低回收率并结合预防性清洗操作模式是控制结垢最简便的手段之一。在电脑上使用陶氏 FILMTEC™ 反渗透/纳滤系统分析软件，可以计算出系统是否会有结垢的倾向，以便提醒客户采取相应的对策。

4-4 预防结垢

4-4.1 预防碳酸钙结垢

4-4.1.1 苦咸水水源

对于浓水含盐量 TDS≤10,000mg/L 的苦咸水，朗格利尔指数（LSI_c）作为表示 CaCO₃ 结垢可能性的指标。

$$LSI_c = pH_c - pH_s$$

式中 pH_c 为浓水 pH 值 pH_s 为 CaCO₃ 饱和时的 pH 值

当 LSI_c ≥ 0，就会出现 CaCO₃ 结垢。

【LSI_c 的调节】

大多数天然水未经处理时，LSI_c 将会是正值，为了防止 CaCO₃ 结垢，除非在膜系统进水中投加阻垢剂或采取前面介绍的预防性清洗措施，否则必须确保 LSI_c 为负值。

控制 CaCO₃ 结垢的条件为：

LSI_c < 0，不需要投加阻垢剂；

LSI_c ≤ 1.8~2.0，单独投加阻垢剂或完全采用化学软化

LSI_c > 1.8~2.0，加酸至 LSI_c 达 1.8~2.0，然后再投加阻垢剂；或完全采用化学软化。

4-4.1.2 海水水源

当浓水含盐量 $\text{TDS} > 10,000 \text{mg/L}$ 的高盐度苦咸水或海水水源，斯蒂夫和大卫饱和指数（ $\text{S\&DSI}_c$ ）作为表示 CaCO_3 结垢可能性的指标。

$$\text{S\&DSI}_c = \text{pH}_c - \text{pH}_s$$

式中 pH_c 为浓水 pH 值

pH_s 为 CaCO_3 饱和时的 pH 值

当 $\text{S\&DSI}_c \geq 0$ ，就会出现 CaCO_3 结垢。

【 $\text{S\&DSI}_c$ 的调节】

大多数天然高含盐量水源未经处理时， $\text{S\&DSI}_c$ 一般是正值，为了防止 CaCO_3 结垢，必须通过加酸使 $\text{S\&DSI}_c$ 变为负值，如果通过投加阻垢剂防止 CaCO_3 沉淀的话， $\text{S\&DSI}_c$ 值可以为正值，最大允许 $\text{S\&DSI}_c$ 值和所需要的阻垢剂投加量，请参考阻垢剂制造商的技术资料。如果上述条件不能满足，就必须采取以下措施：

- ❖ 降低回收率，直到 $\text{S\&DSI}_c$ 值满足上述任一条件的规定；
- ❖ 采用石灰或石灰—纯碱软化方法，脱除进水中的钙硬和碱度，直到 $\text{S\&DSI}_c$ 值满足上述任一条件的规定；
- ❖ 在进水中加酸（ HCl ， CO_2 ， H_2SO_4 等），直到 $\text{S\&DSI}_c$ 值满足上述任一条件的规定。

针对海水淡化系统，通常投加硫酸，其加入量为 10mg/L ，以达到 $\text{pH}7$ ，使浓水 $\text{S\&DSI}_c$ 保证负值。

4-4.2 预防硫酸钙结垢

就 CaSO_4 垢而言，采用下述措施之一，就可以实现更高的反渗透回收率：

- ❖ 强酸阳树脂软化或弱酸阳树脂除碱，可以进行钙的全部或部分脱除；
- ❖ 石灰或石灰—纯碱软化，降低水中 Ca^{2+} 的浓度；
- ❖ 根据阻垢剂供应商的规定，在进水中投加阻垢剂；或
- ❖ 降低系统回收率。

4-4.3 预防硫酸钡结垢

硫酸钡是所有碱土金属中溶解性最低的盐类，当进水中存在硫酸钡时，会引起大量的沉淀现象，这是因为它对硫酸钙和硫酸锶垢的形成起促进作用。

大多数天然水中，钡的含量会导致浓水中硫酸钡的沉淀，海水中的钡极限浓度为小于 $15 \mu\text{g/L}$ ，苦咸水中钡的极限浓度为小于 $5 \mu\text{g/L}$ ，当前面加入硫酸的话，则应小于 $2 \mu\text{g/L}$ 。预防措施与硫酸钙的预防措施相同。

4-4.4 预防硫酸锶结垢

预防措施与硫酸钙的预防措施相同。

4-4.5 预防氟化钙结垢

如果钙的浓度较高，只要水中氟离子的含量达到 $0.1 \mu\text{g/L}$ ，就有可能产生氟化钙沉淀。预防措施与硫酸钙的预防措施相同。

4-4.6 预防硅垢

大多数水源溶解性二氧化硅（SiO₂）的含量在 1~100mg/L。过饱和 SiO₂ 能够自动聚合形成不溶性的胶体硅或胶状硅，引起膜的污染。浓水中的最大允许 SiO₂ 浓度取决于 SiO₂ 的溶解度。

浓水中硅的结垢倾向与进水中的情形不同，这是因为 SiO₂ 浓度增加的同时，浓水的 pH 值也在变化，这样 SiO₂ 的结垢计算要根据原水水质分析和反渗透的操作参数（回收率）而定。

如果出现一定量的金属，如 Al³⁺的话，可能会通过形成金属硅酸盐改变 SiO₂ 的溶解度。硅结垢的发生大多数为水中存在铝或铁。因此，如果存在硅的话，应保证水中没有铝或铁，并且推荐使用 1μm 的保安滤器滤芯，同时采取预防性的酸性清洗措施。

- ❖ 为了提高回收率，进行石灰—纯碱软化预处理时，应添加氧化镁或铝酸钠以减少进水中的 SiO₂ 浓度，同时确保软化过程有效运转十分重要，以防止反渗透系统会出现难溶金属硅酸盐；
- ❖ 由于 pH 值低于 7 或 pH 值高于 7.8，可以增加硅的溶解度，就防止硅的结垢而言，加酸或加碱可以提高水的回收率，但在高 pH 条件下，要防止 CaCO₃ 的沉淀；
- ❖ 当采用热交换器增加进水温度时，就二氧化硅的结垢而言，可以显著地提高水的回收率，但膜系统的最高允许温度为 45°C；
- ❖ 高分子量的聚丙烯酸脂阻垢剂可以用于增加二氧化硅的溶解度。

4-4.7 预防磷酸钙结垢

出现磷酸钙结垢的情况不太普遍，但是自从反渗透用于市政废水的处理时，情况就变了，目前，由于水资源的短缺，市政废水循环再利用成为陶氏反渗透的最主要应用领域之一，伴随这种大规模应用领域的出现，必须采取针对磷酸盐结垢的预防措施。

磷是自然界的丰度元素，存在于许多化合物中，在天然水和废水中，含磷化合物的存在形成有：

- ❖ 颗粒状磷酸盐；
- ❖ 正磷酸盐（PO₄³⁻），根据 pH 值的不同，正磷酸盐的表现形态为 H₃PO₄，H₂PO₄⁻，HPO₄²⁻，和 PO₄³⁻，在中性废水中，H₂PO₄⁻和 HPO₄²⁻为主要成份；
- ❖ 聚合磷酸盐，这是纺织品洗涤剂或其它洗涤产品中的重要成份，因产品的种类而异，一般含有 2~7 个磷原子；
- ❖ 有机磷，它是生命体的必需元素。

最常见的含磷矿为磷灰石，这是含有各种 OH⁻，Cl⁻，和 F⁻基团的磷酸钙，其它的含磷矿物质有时含有铝或铁，下列含磷化合物的溶解度偏低，会引起 RO/NF 的运行出现结垢。

表 4.8 低溶解度含磷化合物

化合物	分子式	pKsp
过钙磷石	CaHPO ₄ ·2H ₂ O	6.68
磷酸钙	Ca ₃ (PO ₄) ₂	28.9
酸性磷酸钙	Ca ₄ H(PO ₄) ₃ ·3H ₂ O	46.9
碱性磷灰石	Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	57.74

氟化磷灰石	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	60
磷酸氢镁	MgNH_4PO_4	12.6
磷酸铝	AlPO_4	20
磷酸铁	FePO_4	15

据报道，磷酸钙和磷灰石在中性或碱性条件下，不易溶解，但可以溶解在酸中。磷酸铝和磷酸铁在中等酸性条件下，也不易溶解，这样在预处理阶段，除去铝和铁就十分重要，由于磷化学的复杂性，也就难以预测发生磷酸盐垢的极限值。

为了降低磷酸盐垢的风险，降低正磷酸根的同时还应及其注重降低钙、氟和铝的浓度，市面上也有适宜的阻垢剂可供选择。在北美一家市政废水处理厂，对膜面上磷酸盐垢的分析表明，主要成份为钙和磷并伴有少量的铝，可在 pH2.4~2.8 左右采用柠檬酸进行清洗。建议采用的预防措施是将进水 pH 减低到 6。

4-5 预防胶体和颗粒污堵

4-5.1 引言

胶体和颗粒污堵可严重地影响反渗透及纳滤元件的性能，如大幅度降低产水量，有时也会降低系统脱盐率，胶体和颗粒污染的初期症状是系统压差的增加。

反渗透及纳滤进水中的淤泥和胶体的来源有相当大的差异，通常包括细菌、粘土、胶体硅和铁的腐蚀产物。澄清池或介质过滤器所用的预处理絮凝剂如聚合氯化铝、三氯化铁、阳离子聚电解质，会与微小的胶体和颗粒结合，聚集成大尺度絮凝体，以便于被填料介质或滤芯截留住，这类絮凝就使得人们对介质过滤器和滤芯的孔径要求降低了，仍能发挥出出色的过滤效果。当这些絮凝剂投加过量少许时，过量部分的絮凝剂本身之间会发生自凝聚生成大颗粒，可被过滤过程截留住，但应特别注意的是，如果超极限投加极有可能在元件内因被截留而污染膜表面。此外，带正电性的聚合物与负电性的阻垢剂也会发生沉淀反应而污染膜元件。

判断反渗透和纳滤进水胶体和颗粒污染程度的最好技术是测量进水淤积指数（SDI 值），有时也称为污染指数（FI 值）。它是设计 RO/NF 预处理系统之前应该进行测定的重要指标，同时在 RO 日常操作时也需定时地检测（地表水一般建议每天三次）。淤积指数测定方法在美国材料工程协会 ASTM 标准测试方法 D4189-82 中已作了规定。

测量仪器（向膜系统供应或服务商购买）

- ❖ 47 mm 直径测试膜盒
- ❖ 47 mm 测试用膜片（孔径 0.45μm）
- ❖ 1~5bar（10~70psi）压力表
- ❖ 调压针型阀

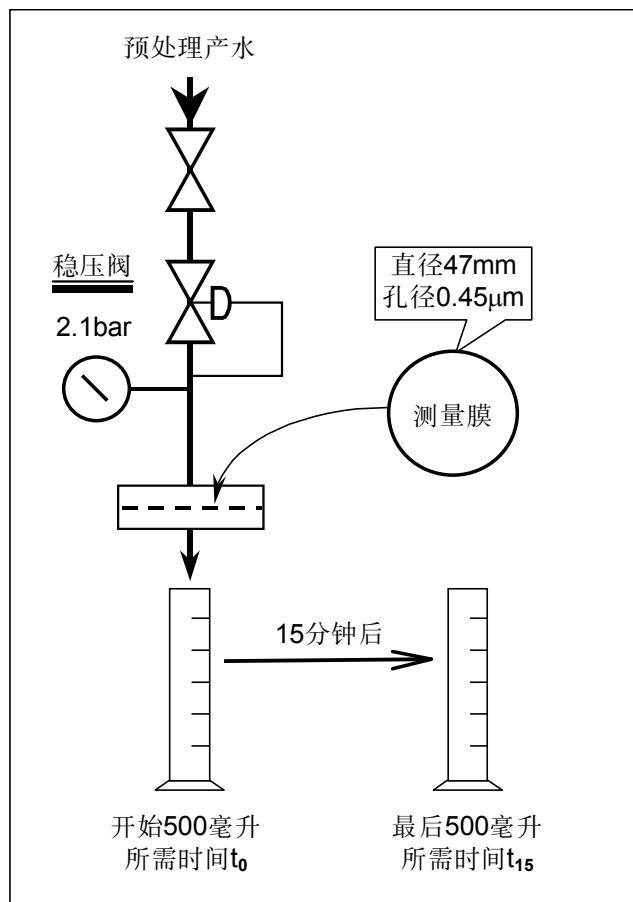


图1. 淤积指数测量仪

图 1 为 SDI 测量装置

测量步骤

1. 将测试膜片小心放在测试膜盒内，用少许水润湿膜片，拧紧“O”形密封圈，将膜盒垂直放置，还应注意膜片有正反面的区别
2. 调节进水压力至 2.1bar（30psi）并立即计量开始过滤 500mL 水样的时间 t_0 （通过连续不断的调节，使进水压力始终保持不变）
3. 在进水压力为 2.1bar（30psi）下连续过滤 15 分钟
4. 15 分钟后继续记录过滤同样 500mL 所需的时间 t_{15} ，保留滤器上的膜片以便作进一步的分析
5. 计算

当 t_{15} 是 t_0 的 4 倍时， SDI_{15} 值是 5。如果水样完全将膜片堵塞住时， SDI_{15} 值为 6.7。设计导则要求保持 SDI_{15} 小于等于 5。实际证明降低 SDI_{15} 的一些预处理技术包括介质过滤器（如石英砂和无烟煤），超滤和微滤。过滤器前通常添加聚电介质提高脱除 SDI_{15} 的能力。防止胶体污染的方法综述如下。

4-5.2 介质过滤

介质过滤器可以除去颗粒、悬浮物和胶体，这是基于当水流流过过滤介质的床层时，颗粒、悬浮物和胶体会附着在过滤介质的表面。过滤出水水质取决于杂质和过滤介质的大小、表面电荷和形状、原水组成和操作条件等，设计和操作合理的话，通常经过介质过滤器处理就可以达到 $SDI_{15} \leq 5$ 。

水处理系统最常用的过滤介质是石英砂和无烟煤，细砂过滤器石英砂颗粒有效直径为 0.35~0.5mm，无烟煤过滤器颗粒有效直径为 0.7~0.8mm，当采用石英砂上填充无烟煤的双介质过滤器时，它允许悬浮物等杂质进入过滤层内部，产生更有效的深层过滤而延长清洗间隔。过滤介质的最小设计总床层深度为 0.8m，在双介质过滤器中，通常填充 0.5m 高的石英砂和 0.4m 高的无烟煤。

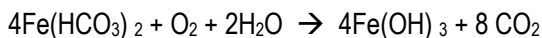
有两种形式的过滤器，重力过滤和压力过滤。因为压力滤器筒体可耐压，能用较高的过滤床层、较精细的过滤介质粒径和较高的过滤滤速，设计过滤流速通常小于 10~20m/h，反洗流速 40~50m/h。对高污染倾向的原水（如地表水、受污染的井水或废水），过滤流速必须小于 10m/h（一般为 5m/h）或采用二级介质过滤器。操作过程中，待过滤的原水进入滤器顶部，渗透过滤层，进入底部的集水系统，当压力式滤器进出口间压差增加 0.3~0.6bar，重力式滤器压差增加 1.4mH₂O 时，先反洗和然后正洗滤器以除去沉积物，反洗一般需要 10 分钟以上，大直径的滤器还须设置辅助气源擦洗。必须避免频繁地开机和

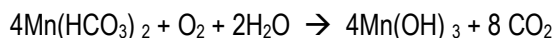
$$SDI = \left[1 - \frac{t_0}{t_{15}}\right] \times \frac{100}{15}$$

停机，因为每次流速的急剧变化会将原先已沉积在介质上的物质又释放出来。介质过滤的设计和运行细节可以在相关文献中获得。

4-5.3 氧化—过滤

通常含盐量为苦咸水范围的某些井水呈还原态，典型特点是含有二价的铁和锰，有时还会存在硫化氢和氨。如果对此类水源进行氯化处理，或当水中含氧量超过 5mg/L 时， Fe^{2+} 将转化成 Fe^{3+} ，形成难溶性的胶体氢氧化物颗粒。铁和锰的氧化反应如下：





由于铁的氧化在很低的 pH 值时就会发生，因而出现铁污染的情况要比锰污染的情况更多，即使 SDI 小于 5，RO 进水的铁含量低于 0.1mg/L，仍会产生铁污染问题。碱度低的进水铁离子含量要高，这是因为 FeCO_3 的溶解度会限制 Fe^{2+} 的浓度。

处理这类水源的一种方法是防止其在整个 RO 过程中与空气和任何氧化剂如氯的接触。低 pH 值有利于延缓 Fe^{2+} 的氧化，当 $\text{pH} < 6$ ，氧含量 $< 0.5\text{mg/l}$ 时，最大允许 Fe^{2+} 浓度 4mg/L，另一方法是用空气、 Cl_2 或 KMnO_4 氧化铁和锰，将所形成的氧化物通过介质过滤器除去，但需要注意的是，由硫化氢氧化形成的胶体硫可能难以由过滤器除去，在介质过滤器内添加氧化剂通过电子转移氧化 Fe^{2+} ，即可一步同时完成氧化和过滤。

海绿石就是这样一种粒状过滤介质，当其氧化能力耗尽时，它可通过 KMnO_4 的氧化来再生，再生后必须将残留的 KMnO_4 完全冲洗掉，以防止对膜的氧化破坏。当原水中含 Fe^{2+} 的量小于 2mg/L 时，可以采用这一处理方法，如原水中含更高的 Fe^{2+} 时，可在过滤器进水前连续投加 KMnO_4 ，但是在这种情况下，必须采取措施例如安装活性炭滤器以保证没有高锰酸钾进入膜元件内。

Birm 过滤也可以有效地用于从 RO/NF 进水中去除 Fe^{2+} ，Birm 是一种硅酸铝基体上涂有二氧化锰的过滤介质，它对溶解氧和二价铁之间的反应起催化作用，使可溶性二价铁和锰形成沉淀，并且通过过滤器反洗可将这些沉淀冲出滤器。由于该过程 pH 将升高，可能会发生 LSI 值变化，因而要预防滤器和 RO/NF 系统内出现 CaCO_3 沉淀。

4-5.4 在线过滤

如果过滤前对原水中的胶体进行絮凝或助凝处理，可以大幅度地提高介质过滤器降低 SDI 的效率，在线过滤可以用于 SDI 略高于 5 的水源，这种被称为在线絮凝或在线絮凝—助凝的方法在 ASTM D4188 标准中有详细的表述。原水中注入絮凝剂时经过有效地混合，与胶体形成的微小絮状物并能当即就被介质过滤器的介质所截留住。

硫酸铁和三氯化铁可以用于对胶体表面的负电荷进行失稳处理，它将胶体捕捉到新生态的氢氧化铁微小絮状物上，使用含铝絮凝剂其原理相似，但因其可能有残留铝离子污染问题，并不推荐使用，除非使用高分子聚合铝。迅速的分散和混合絮凝剂十分重要，建议采用静态混合器或将注入点设在增压泵的吸入段，通常最佳加药量为 10~30mg/L，但应针对具体的项目确定加药量。

为了提高絮凝剂絮体的强度进而改进它们的过滤性能，或促进胶体颗粒间的架桥，助凝剂与絮凝剂一起或单独使用，助凝剂为可溶性的高分子有机化合物，如线性的聚丙烯酰胺，通过不同的活性功能团，它们可能表现为阳离子性、阴离子性或中性非离子性。絮凝剂和助凝剂可能直接或间接地干扰 RO 膜，间接干扰是它们的反应产物形成沉淀并覆盖在膜面上，例如当过滤器发生沟流而使絮凝剂絮体穿过滤器并发生沉积；当使用铁或铝絮凝剂，但没有立即降低 pH 值时，在 RO 阶段会因进水浓缩诱发过饱和现象，就会出现沉淀。还有在多介质滤器后加入化合物也会产生沉淀反应，最常见的是投加阻垢剂，几乎所有的阻垢剂都是荷负电的，将会与水中阳离子性的絮凝剂或助凝剂反应。一些 RO 工厂曾被阳离子聚电解质和阻垢剂的反应凝胶层所严重污染。

当添加的聚合物本身影响膜导致通量的下降，这属于直接的干扰，水的离子强度可能对絮凝剂或助凝剂与膜间的界面有影响，若是如此，苦咸水条件下的结果会不同于海水时的结果。为消除 RO/NF 膜直接和间接的干扰，阴离子和非离子的助凝剂比阳离子的助凝剂合适，同时还须避免过量添加。

4-5.5 絮凝—助凝

当原水所含悬浮物高，SDI 很高时，最好采用传统的混凝—助凝处理工艺，产生的氢氧化絮体在特别设计的反应空间内长大沉淀，以淤泥形式排掉，上清液进入多介质滤器作进一步的处理。在混凝—助凝过程中，可采用固体接触型澄清器或紧

湊的混凝—助凝反应器，请参阅相关水处理教科书。

4-5.6 微滤或超滤

微滤（MF）或超滤（UF）膜能除去所有的悬浮物，根据有机物分子量和膜截留分子量的大小，超滤还能除去一些有机物，如果设计和操作管理得当，SDI 可以小于 1，此时将污染问题从 RO/NF 膜转移到 MF 或 UF 膜上了，并由微滤或超滤系统来解决，但是采用 MF 或 UF 作预处理之后，只是减轻了污染，RO/NF 部分仍须考虑很多因素，例如膜元件选择、排列和运行经济性，一般要求 MF/UF 系统回收率和膜通量要高，可用定期正向或逆向反洗，实现这些目标。如果微滤和超滤膜材料能耐氯，如聚砜膜或陶瓷膜，还应在清洗水中加氯防止生物污染。

4-5.7 滤芯式过滤

每台反渗透和纳滤系统应配置滤芯式保安过滤器，其孔径的最低要求为小于 10 μm ，它对膜和高压泵起保护作用，防止可能存在的悬浮颗粒的破坏，通常它是预处理的最后一道，我们推荐使用孔径小于等于 5 μm ，预处理做得越好，RO/NF 膜所需的清洗次数就越少。当浓水中的硅浓度超过理论溶解度时，建议滤芯孔径选择 1 μm ，以降低硅与铁和铝胶体的相互作用。

滤芯式滤器必须按制造商的建议选择过滤流量，在压降超过允许极限前及时更换，但最好不要超过三个月，由于清洗滤芯的效率较低并存在更高的生物污染的危险性，不推荐选用可清洗滤芯式滤器。滤芯材料必须是非降解的合成材料，如尼龙或聚丙烯，滤器应装有压力表指示压降，以便表示滤芯上截留污染物的数量。

定期检查用过的滤芯可帮助系统操作者获得污染危险警报和需要清洗的有用信息。如果滤芯式滤器压差增加过快，表示预处理过程或水源可能出现問題，在采取对策之前，滤芯式滤器仅提供某种程度地短暂保护。如果滤芯每 1~3 个月就得更换的话，说明预处理部分存在某些问题，滤芯式过滤器不是用来过滤大量杂质的设备，如果设计选择不当的话，不仅会产生昂贵的更换费用，而且还会因为某些物质极易穿透滤芯而导致膜系统过早的故障。当然也可以考虑在过滤孔径较小的滤芯式滤器的上游设置第二个更大孔径的滤芯式滤器。

4-5.8 其它方法

除了前面提到的方法之外，还有一些其它方法用来防止胶体及颗粒污染。

【石灰软化】可用于除硅，在结垢控制章节中已作了介绍，另一个优点是它能够去除铁和胶体。

【强酸阳离子交换树脂软化】不仅能脱除硬度，而且能够降低常会污染膜的铁和铝的浓度，经过软化的水表现出比未经软化的水具更低的污染倾向，因为胶体通常含负电荷，这样多价阳离子能自发地促进胶体的相互粘附。在滤芯式滤器上游或许需要设置可清洗的精密过滤器以避免发生这些情况，但不能代替更换型的滤芯滤器。

4-5.9 设计和操作考虑

防止胶体和颗粒污染不仅关系到合适的预处理技术，而且也涉及合理的系统设计和操作，举一个极端的例子，地表水可以采用絮凝—助凝或超滤进行预处理，RO/NF 系统可以以很高的通量运行，几乎无需清洗，但如果是相同水源，仅采用滤芯式过滤，那么，RO/NF 系统就会需要更多的膜面积，而膜本身还会需要更频繁的清洗和维护，一个不良的预处理只能依靠使用和更换更多的膜元件、调整系统运行参数或更频繁更严厉的清洗来弥补。但改善前处理可以节省膜的费用及运行费用。

为减低前处理负担、提高进水质量，应尽量使用较好水质的水源。地表水和海水处理系统的取水极其重要，原水如果受到废水排放的污染，那将引起 RO/NF 工厂严重的操作问题，因为现有的系统不是按照废水水源设计考虑的，最好从靠近海岸和河流的深井取水，如果必须采用表面开放式取水，应尽可能远离堤岸并要求取水口低于水面以下几米。新建井在使用最初几天会释放悬浮物，需注意先进行适当地清洗。氧化铁的污染也是普遍出现的问题，必须选用非腐蚀的材料制造系统。

4-6 预防膜生物污染

4-6.1 引言

所有的原水均含有微生物：即细菌、藻类、真菌、病毒和其它高等生物。细菌的一般尺寸为 $1\sim 3\mu\text{m}$ ，微生物可以看成是胶体物质，可以按防止胶体污染一节讨论的预处理方法进行除去，但它与无生命的颗粒不同之处在于他们有繁殖能力，在适宜的生存条件下形成生物膜。

微生物进入反渗透系统之后，找到了水中溶解性的有机营养物，这些有机营养物伴随反渗过程的进行而浓缩富集在膜表面上，成为形成生物膜的理想环境与过程。膜元件的生物污染将严重影响反渗透系统的性能，出现进水至浓水间压差的迅速增加，导致膜元件发生“望远镜”现象与机械损坏以及膜产水量的下降，有时甚至在膜元件的产水侧也会出现生物污染，导致产品水受污染。

一旦出现生物污染并产生生物膜，清洗就非常困难。因为生物膜能保护微生物受水力的剪切力影响和化学品的消毒作用，此外，没有被彻底清除掉的生物膜将引起微生物的再次快速的滋生。

因此微生物的防治是预处理过程中最主要的任务。地表水比井水出现生物污染的机会要多得多，这就是为什么地表水、海水、废水更难处理的主要原因。以下章节将讨论这种污染出现的可能性和针对生物污染应采取的措施。

4-6.2 生物污染评估方法

4-6.2.1 培养法

水中细菌的浓度与该水源生物污染可能性是有直接关系的，细菌总数（TBC）是水样中已有微生物总数的定量表示值，按照 ASTM F60 规定的方法，用膜过滤方式过滤一定量的水样来确定细菌总数。将截留在过滤介质表面的生物组织，置于一定的营养物中进行培养，形成菌落，通过低倍放大镜就可以观察到并对菌落进行计数。

这一方法的主要优点是无需昂贵的仪器设备就可以进行，但是测定结果要等到 7 天之后才能得出，被计数的菌落也仅为实际活微生物总量的 $1\sim 10\%$ 左右。然而，培养技术仍然是表示微生物污染可能性程度和趋势的有效方法。它可以用于观察进水、浓水和产水中的情况。如果浓水中总细菌数增加，就表明膜元件内出现了生物膜污染。

4-6.2.2 直接细菌计数

直接计数技术采取先过滤水样，然后在显微镜下直接对截留在过滤介质上的微生物进行计数。为了使得微生物能够观察到，必须对微生物用沙黄进行着色，然后在透光荧光显微镜下进行计数。

这样总微生物的精确数量就可以立刻获得，微生物的类型可以从沉积颗粒上进行区分。但是细胞组织的死活情况就无法进行区分。这时要采用 INT 技术，INT 出现着色减少的地方就是被活细胞富集所致，这样可以使用相差与微分干扰显微镜，从死细胞中区分出活细胞来。因为它比培养法更快更精确，应优先选择直接细菌计数法。

4-6.2.3 生物膜检测

未经处理的原水、膜装置进水和浓水中的微生物含量是评估潜在生物污染的重要指标。但其它因素如营养成份的浓度和种类、操作参数也决定了生物膜的发展，某些研究者开展生物膜形成的研究表明，人们还没有充分认识清楚生物膜，早期确认产生生物膜的最好办法是观察进水中试样的表面，即所谓“Robbin 试样”，它是将小型试样置于水样中的一个简单的装置，这些安置在表面的试样可以按一定时间间隔移走，检查所附着的细菌情况。实际系统操作过程中，定期仔细地检查保安过滤器滤芯以及进水和浓水管内表面，也是有效的做法，当出现粘泥和异味时就表明有微生物污染。

4-6.2.4 其它方法

可以用 Werner 方法估计某一水源细菌出现的可能性，它是样品进行移植的方法。水样经过滤并灭菌，然后加入灭菌过的无机盐营养液，用灭菌过的过滤器过滤水样，再从该过滤介质表面冲洗下来一定体积细菌悬浮物进行移植培养。用光散射的方法，定量地根据浓度的增加来确定细菌的产生速率。别的方法还有测量可吸收有机碳或生物可降解有机碳的含量。

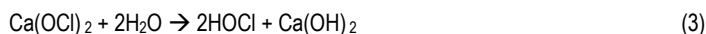
4-6.3 氯杀菌

长久以来，氯作为灭菌剂处理市政、工业给水和废水，这是因为它能使许多致病微生物快速失活。氯的效率取决于氯的浓度，接触时间和水的 pH 值。它常用在对饮用水进行灭菌消毒上，一般余氯浓度为 0.5ppm，在工业水处理流程中，通过维持水中余氯浓度 0.5~1.0ppm 以上就可预防热交换器和砂滤器上的微生物污染，氯加药量取决于进水中有机物的含量，因为有机物会耗氯。

针对地表水，通常需要在反渗透预处理部分采用氯消毒以防止微生物的污染，方法是在取水口加氯，并维持 20~30 分钟的反应时间，让整个预处理管线内保持 0.5~1.0ppm 余氯浓度。但在进入膜元件之前必须经过彻底地脱氯处理，防止膜受到氯的氧化破坏。

4-6.3.1 氯化反应

常用的含氯消毒剂为氯气、次氯酸钠或次氯酸钙。在水中，它们迅速水解成次氯酸。



次氯酸在水中会分解氢离子和次氯酸根离子：



Cl_2 、 NaOCl 、 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 、 HOCl 和 OCl^- 的总和称为自由氯（FAC）或残留余氯（FRC），并以 mg/L Cl_2 计，正如下面将讨论的那样，氯与水中氨类物质反应将形成氯胺，这类氯胺化合物被称为结合氯（CAC）或结合余氯（CRC），余氯和结合氯的总和称为总残留氯（TRC）。

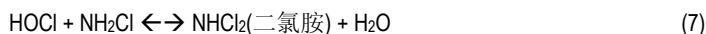
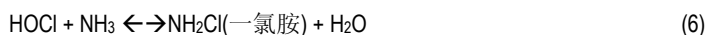


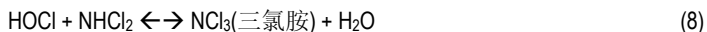
余氯的杀菌效率与未分解的 HOCl 的浓度成正比，次氯酸比次氯酸根的杀菌效力要高 100 倍，未解离次氯酸的比例随 pH 值的降低而增加。

在 $\text{pH}=7.5$ （ 25°C ， $\text{TDS}=40\text{mg/L}$ ）时，仅有 50% 的余氯以 HOCl 存在，但在 $\text{pH}=6.5$ 时，90% 为 HOCl ， HOCl 的比例也随温度的降低而增加，在 5°C 时， HOCl 的分子分数是 62%（ $\text{pH}=7.5$ ， $\text{TDS}=40\text{mg/L}$ ），在高含盐量的水中， HOCl 的比例很少（当 $\text{pH}=7.5$ ， 25°C ， $40,000\text{mg/L TDS}$ 时，比例为 30 % 左右）。

4-6.3.2 氯的投加量

加入的一部分氯与水中氨氮发生反应，按下列反应步骤形成结合氯：





上述反应主要取决于 pH 和氯/氮的质量比，氯胺也有杀菌作用，但是要低于氯的效果。另一部分的氯气转变成非活性氯，这部分的需氯量取决于还原剂如亚硝酸盐、氯化物、硫化物、二价铁和锰等，水中有机物的氧化反应也要耗氯。

为了确定最佳的加氯量、最佳的加药点、pH 值和接触时间，可以采纳 ASTM D1291 “确定水中所需氯的标准方法”，为了获得更多的资讯，请参阅氯化手册（Handbook of Chlorination）。

4-6.3.3 海水加氯处理

与苦咸水中的情况不同，通常海水中含有 65mg/L 左右的溴，当海水进行氯的化学处理时，溴会与次氯酸快速反应生产次溴酸



这样对海水进行氯的处理时，起杀菌作用的主要是 HOBr 而不是 HOCl，次溴酸会分解成次溴酸根离子。



HOBr 的分解程度比 HOCl 的分解程度低，在 pH8 时，仅有 28% 的 HOCl 不会分解，但却有 83% 的 HOBr 是不会分解的。换句话说，针对海水在高 pH 条件下，仍比在苦咸水时的杀菌效果好，次溴酸和次溴酸根离子会干扰余氯的测定，包含在余氯测量值内。HOBr 与其它化合物的反应与 HOCl 的反应情况相类似，溴胺和含溴化合物为其反应产物。

4-6.4 脱氯

当采用 FT30 膜元件时，为了防止膜被氧化，RO 的进水应进行脱氯处理。在出现明显的脱盐下降之前，FT30 膜具有一种程度的抗氯性，大约为与 1ppm 余氯接触 200~1,000 小时后，可能会出现膜的降解（简称 200~1,000ppm hr 的抗氯能力）。氯对膜的攻击速率取决于进水特征，在碱性条件下，氯的攻击速度比在中性或酸性条件下快。不管怎样，采用氯化灭菌工艺的话，酸性 pH 条件更为适宜，当重金属含量高（如铁）、高水温条件，氯的攻击也会加快，它们催化了膜的降解反应。

有经验的工程公司和用户了解到，其它生产商销售的聚酰胺反渗透和纳滤膜元件本质上完全不能耐氯，FT30 优异的耐氯性能要归功于其更厚的脱盐层（大约 0.2μm）和 FT30 聚酰胺脱盐层的全芳香高交联度的显著特点，假如使用 FT30 反渗透膜系统流程中的脱氯部分出现故障，但又能及时地、在膜性能出现下降之前排除脱氯设备故障，膜被完全破坏的情况不会发生。

FT30 对氯胺的承受能力是 300,000ppm.hr，这就意味着脱除氯胺是没有必要的，但是因为氯胺是由于将氨加入水中与氯反应形成的，反应结束后仍有可能存在余氯，所以仍应该采取脱氯措施。

余氯可以通过活性炭或化学还原剂将其还原成无害的氯离子，由下述反应可知，活性炭柱是非常有效的对 RO 进水脱氯：



焦亚硫酸钠（SMBS）是最常用的去除余氯以及抑制微生物活性的化学品，其它的还原剂如二氧化硫并未被证明比 SMBS 更有成本的优势：

当它溶于水时，SMBS 形成亚硫酸氢钠（SBS）



SBS 然后还原次氯酸：



根据理论计算 1.34mg 的 SMBS 可以脱除 1.0mg 的余氯，但是在工程实践中，每脱除 1.0mg 的余氯需要加入 3.0mg 的 SMBS。

在干燥阴冷的贮存条件下，固体 SMBS 的有效期为 4~6 个月，但在水溶液中，亚硫酸氯钠（SBS）会随时与空气中的氧发生氧化还原反应，根据所配制的溶液浓度的不同，溶液的有效期为：

溶液浓度（wt %）	2	10	20	30
最长有效期	3 天	1 周	1 个月	6 个月

SMBS 必须是食品级，不含杂质，还需是未经过钴活化过的产品，虽然脱氯本身速度很快，但仍应与待处理的水有完全的混合，建议的加药点设置静态混合器。为了保证保安滤器滤芯仍处在余氯的灭菌保护之下时，注入点可以设置在保护安滤器的出口处。此时，要求加入的 SMBS 溶液要经过过滤。不能让经过脱氯的水在水箱内贮存时间太长。

在混合点的下游管线上，可以安装氧化—还原电极，监测氯是否被脱除掉，当发现有余氯时，检测电极应能发出信号停掉高压泵。

4-6.5 冲击式杀菌处理

冲击处理方式是在有限的时间段内以及水处理系统正常操作期间，向反渗透或纳滤的进水中加入杀菌剂，亚硫酸氢钠常被用于这种处理目的，有一般情况下，500~1,000ppm 的 NaHSO_3 加入 30 分钟左右即可。

冲击处理可以按固定的时间间隔周期性地，例如每隔 24 小时一次，或怀疑出现生物滋生时处理一次。但是这种处理方法的有效性有待印证。在这种冲击处理期间所产的产水会含有所加入的亚硫酸氢钠浓度的 1~4%。根据产水的用途，可以决定是否应将冲击杀菌期间的产水回收还是排放掉，亚硫酸氢钠对需氧的细菌比对需氧的微生物更有效。因此，采用冲击杀菌处理应事先经过仔细评估。

4-6.6 周期性消毒

除了连续地向原水加入杀菌剂外，也可以定期对系统消毒以控制生物污染。这种处理方法用于存在中等生物污染危害的系统上，但在有高度生物污染危害的系统，消毒仅是进行连续杀菌剂处理的辅助方法。

进行预防性的消毒比进行纠正性杀菌更为有效，因为孤立附着的细菌比厚实、老化的生物膜要容易被杀死和清除掉。

一般的消毒间隔是每月一次，但有严格卫生要求的系统（如制药工艺用水）和高污染原水（例如废水）也许会每天一次，当然膜的寿命受到所用化学品种类、浓度的影响，经过强烈的消毒，可能会缩短膜寿命。

4-6.7 其它方法

4-6.7.1 微滤或超滤

它们具有除去微生物，特别是藻类的优势，藻类有时是难以由标准介质过滤工艺过程除去的，MF/UF 必须采用耐氯的材质制成，经受得起定期的消毒。

4-6.7.2 硫酸铜

能够用于控制生物生长，一般情况下，连续加入 CuSO_4 的浓度为 0.1~0.5mg/L，但不推荐广泛地使用 CuSO_4 ，原因如下：

- ❖ 商品 CuSO_4 可能含有杂质，它对 RO 膜有损坏可能

- ❖ CuSO_4 和 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 在一定的 pH 范围之外会产生沉淀，导致 RO 的污染，使得 CuSO_4 效果不佳。
- ❖ Cu^{2+} 离子对环境有害
- ❖ CuSO_4 仅对有限的微生物有效（如藻类），但对大多类细菌效果甚微
- ❖ 某些国家的环保法规限制对铜盐的排放总量，如果某一特定反渗透水厂需用它控制生物时，就难以更换成其它的化学品。

4-6.7.3 臭 氧

比氯的氧化性更强，但它能快速分解，因此，需要维持一定量的水平才能杀灭微生物，同时还要考虑所用设备的耐臭氧能力，通常应选用不锈钢。为了保护膜元件，必须仔细认真地脱除臭氧。紫外照射可以成功地达到这一目标。

4-6.7.4 紫外照射

254 纳米的紫外光被证明有杀菌作用，它已经在小型水厂得到应用，它不需要向水中加入化学品，设备维护要求低，仅需定期的清洗或更换水银蒸汽灯管。但紫外照射处理的适用情况非常有限，仅适用于较干净的水源，因为胶体和有机物会影响光辐射的穿透。

4-6.7.5 亚硫酸氢钠

当其浓度在海水淡化系统的进水中达到 50mg/L 时，控制生物污染就有效果。通过这种方法，还可以减少胶体污染。由于亚硫酸的酸性反应生成氢离子，因而无需加酸控制碳酸钙，这是亚硫酸的一个额外优点。



4-6.7.6 粒状活性炭（GAC）

人们发现当活性炭过滤作为预处理时有细菌再脱落的危险，导致膜的生物污染，活性炭内孔表面积大，会吸附有机营养物质，使得活性炭过滤器将促进生物滋生，仅当这类过滤器运行的流速足够低（2~10m/hr）并有足够高的床层高度（2~3m）时，所有的生物活动才会仅仅发生在滤层的上部区域，这样过滤后的产水就几乎不含细菌和营养物质了，这一设计技巧被广泛地用于公共水务工程的设计中。另一个值得注意的现象是如果进水经过臭氧处理后再进入活性炭过滤器的话，则会促进活性炭过滤器上的微生物活动。

在限定的区域采用促进微生物生长的策略，而不是企图杀灭它们，或许是一种控制膜生物污染的有效途径之一，但到目前为止，积累的实际经验仍很少。

4-6.8 预处理的设计和操作

为了防止膜受生物的污染，从取水到膜装置本体的整个系统，必须保持干净而卫生的状态。

4-6.9 选用抗污染膜元件

陶氏 FILMTEC™ FR（抗污染）膜元件能显著地减少或延缓生物污染的发生，请参阅相关章节或与陶氏液体分离部代表联络，以获得更多 FILMTEC™ FR 膜元件及其应用资讯。

4-7 预防有机物污染

有机物在膜表面上的吸附会引起膜通量的损失，特别严重的情况下会出现不可逆的通量损失。当高分子量的有机物是憎

水性的或带正电荷时，这种吸附过程更易进行；当 pH>9 时，膜表面及有机物均呈负电荷，因而，高 pH 值将有利于防止有机物污染。但以乳化态出现的有机物会在膜表面形成有机污染薄层，引发严重的膜性能衰减，必须在预处理部分除去。

在天然水体中存在的有机物主要为腐植酸类物质，其以 TOC 含量计通常在 0.5 至 20mg/L，当 TOC 超过 3mg/L 时，预处理部分应作专门的脱除有机物的考虑，腐植酸物质可以采用含氢氧根类絮凝剂的絮凝过程、超滤或活性炭吸附等方法除去，请参阅关于预防胶体和颗粒类污堵方面的信息。

当进入 RO/NF 的进水中油(碳氢化合物或硅基类)和油脂含量超过 0.1mg/L 时，必须采用絮凝或活性炭过滤。这些有机物质会随时吸附到膜表面上，然而，如果由此引起的通量值下降不超过 15%时，它们能被碱性的清洗剂清洗掉。

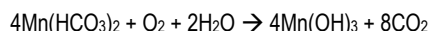
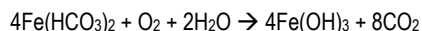
在废水处理应用中，脱除和浓缩有机物是主要目标，有机物含量即使在百分数范围内仍可以进行处理，这要取决于有机物的种类，而且需要针对每一个具体的对象进行现场试验。请参阅估计有机物和其它化合物脱除特性的单独资讯。

4-8 预防膜本身的降解

除了 RO/NF 进水中某些物质对膜有污染外，还需要考虑膜材料本身对这些物质的化学稳定性。一般情况下，所有的氧化剂对聚酰胺类复合膜均有损害作用，必须采用“预防膜生物污染”一节中所介绍的脱氯方法将它们脱除掉，其它化学品只要呈溶解状态，不会聚集成有机相，在 pH2~11 范围内，与其接触，膜元件对大多数化学品是稳定的。

4-9 预防铁和锰的污堵

一般地，含盐量为苦咸水范围的某些井水水源是呈还原态的，这类水源的典型特点是含有二价铁离子和锰离子，此时膜发生污堵的主要原因之一就是铁、铝和淤泥（硅酸铁或硅酸铝），如果对此类水源进行加氯处理，然后进行脱氯处理或水中含氧量达到 5ppm 以上，二价铁就会转化成三价铁，并形成难溶性的胶体氢氧化物颗粒，下面为亚铁和锰的氧化反应：



因为铁氧化发生的 pH 值更低，使得铁污堵出现的频度比锰污堵要高得多。即使 SDI₁₅ 小于 5，反渗透和纳滤进水中的亚铁含量低于 0.1mg/L，仍然会出现污堵问题。由于 FeCO₃ 的溶度积低，而 Fe²⁺ 的浓度则受到 FeCO₃ 溶解度的制约，通常碱度低的水源含铁的浓度比碱度高的水源要高。

引起膜面上沉积可溶性的二价铁和相关三价铁的污染物的可能情况为：

- ❖ 氧气进入到含二价铁的进水中；
- ❖ 高碱度水源形成 FeCO₃；
- ❖ 铁与硅反应形成难溶性的硅酸铁；
- ❖ 受铁还原细菌氧化作用影响，将会加剧生物膜的滋生和铁垢的沉积；
- ❖ 由含铁絮凝剂转变引起的胶体状铁；
- ❖ 来自钢管或其它部件腐蚀产物的沉淀；
- ❖ 含二价铁的水源与含 H₂S 的水源混合，形成黑色难溶硫化铁 FeS。

处理这类水源的一种方法是防止整个系统与空气或任何氧化剂(如氯)的接触，低 pH 值有利于抑制 Fe²⁺ 的氧化，当 pH<6，氧<0.5mg/L 时，最大允许 Fe²⁺ 浓度为 4mg/L，下表罗列了几种除去亚铁或铁离子以及防止铁的污堵的方法。

离子交换软化	采用阳树脂软化可以从水中除去溶解态铁，脱除效率取决于铁的种类，Fe^{2+}和 Fe^{3+}可以十分有效的被强酸阳树脂所吸附，但当进水中其含量超过 0.05ppm 时，会污染离子交换树脂并对树脂有催化降解作用。胶体或有机物-铁复合物通常完全不能被离子交换所吸附，仍残留在离子交换出水中，其颗粒的大小、离子交换运行流速和离子交换床层深度则决定了它们能否被树脂本身所过滤掉。 当处理亚铁含量高的水源时，人们必须特别关注铁污堵，有报道称，添加焦亚硫酸钠可以防止树脂受铁的污染。
絮凝	在线絮凝可以脱除亚铁
阻垢剂	某些阻垢剂对防止 Fe 污染有效，最大允许 Fe 含量因阻垢剂品牌不同而不同。
先氧化后介质过滤 【充气】 【加氯处理】 【臭氧处理】	经过氧化反应和紧接的过滤可以除去铁和锰。但即使在较高的 pH 值条件下，希望通过加气能有效脱除二价锰的氧化反应太慢。为了提高脱除效率，常常采用高锰酸钾或 ClO_2 氧化二价锰。 【充气】 利用空气可以将溶解态铁转化成难溶性铁，但当水中含有高浓度的二氧化碳时，会形成非常微小的胶体状铁沉淀，过滤脱除十分困难。 【加氯处理】 次氯酸钠或漂白粉投加到进水中用于将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+}，经氧化的进水再通过多介质过滤器将 Fe^{3+} 过滤掉。
同步氧化过滤 ❖ 锰砂 ❖ 软锰矿 MnO_2 ❖ 专门产品 (Birm 等)	通过电子转移反应，采用能氧化 Fe^{2+} 的过滤介质，可以使氧化和过滤同时完成，锰砂就是这类粒状介质，干燥状态时，锰砂为海绿矿石，当其失去氧化能力时，可以用 KMnO_4 进行再生。再生后再次投入运行时，必须充分地冲洗掉 KMnO_4，以防止其对膜的氧化损伤，当水中 Fe^{2+} 的含量小于 2mg/L 时，可以采用这一工艺过程；但当水源 Fe^{2+} 含量高时，KMnO_4 应连续不断地加入到锰砂过滤器的进水中，但应千万注意，必须采取有效防范措施，确保高锰酸不会接触到膜面上，例如可在锰砂滤器之后按装活性炭过滤器。 Birm 过滤可从 RO 进水中高效地脱除 Fe^{2+}，当采用 Birm 过程时，pH 值会增加，结果 LSI 值会随之发生变化，此时应采取措防止 CaCO_3 在过滤器和 RO 系统中发生沉淀。
氧化—MF/UF 过滤	这是相当新的处理技术，经过氧化形成的铁和锰颗粒可以经过 MF/UF 除去。

在反渗透或纳滤系统的第一段和最后一段常常发生硅酸铝的污堵，低浓度的铝（例如 50ppb）就会引起系统性能的下降，原因如下：

- 1) 铝会与硅反应，即使硅浓度较低（10ppm）同样会导致硅酸铝污堵，因此在预处理部分使用含铝的化合物将显著地增加铝污堵的风险，此时，建议不要使用含铝的产品，而是使用含铁的产品。
- 2) 低 pH (<7) 将影响铝的溶解度，根据原水组成，只要不会形成碳酸垢污染，建议系统运行 pH 在 7~9 之间。
- 3) 聚合物类阻垢剂（如丙烯酸类）对铁和锰等重金属更为敏感，因此选择适宜的阻垢剂十分重要，否则，阻垢剂就会失去作用（即阻垢剂本身中毒），从而出现膜的结垢现象或出现阻垢剂本身的污堵。阻垢剂本身的污堵产物将会成为微生物的养份，进而发生生物污染。
- 4) 微细淤泥/砂粒，处理部分应当设置多介质过滤器、超滤或微滤以除去淤泥/砂粒，有时还需要使用絮凝剂让它们变大以

提高多介质过滤器或微滤/超滤的脱除效率。

当不在原水中投加絮凝剂和阻垢剂时，一般允许进水中铁、锰和铝的指标如下：

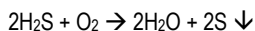
成 份	最大含量 (ppm)	条 件
亚铁	4	pH<6, 氧<0.5ppm
铁和锰	0.05	
铝	0.05	

注：由于絮凝剂和材料腐蚀也会引起铁和铝的污堵，必须在保安过滤器进水或出水中分析这些离子的含量。

4-10 含 H₂S 水源的处理

一般地，含盐量为苦咸水范围的某些井水水源是呈还原态的，有时这类水源含有硫化氢，当不存在氧时，硫化氢表现为溶解性气体。由硫化氢引发的胶体硫极难清洗，受污染的元件性能下降严重，例如产水量和脱盐率降低。胶体硫污染的早期信号常常是系统压差增加，当有二价铁存在时，还会与硫化氢反应生成硫化铁污染，只要按照陶氏水处理及过程解决方案清洗则选用磷酸清洗就可达到有效地清洗。避免胶体硫或硫化物污堵的建议如下：

- 1) 通过添加亚硫酸氢钠等还原剂维持系统的绝氧状态；
- 2) 对进水脱气以除去 H₂S，既可以设置在膜系统的上游，也可以设置在下游，如果 RO/NF 系统不能保证 H₂S 呈溶解气体状态，则建议将脱气设置在膜系统上游（进水侧），如果产水输送系统中不能保证 H₂S 呈溶解气体状态，则建议将脱气设置在下游（产水侧）；
- 3) 将 H₂S 氧化成难溶硫，此时可以使用空气、氯或高锰酸钾，难溶硫可以通过多介质过滤器或絮凝和 UF/MF 组合处理工艺：



4-11 预处理方法汇总

表 4.9 膜系统结垢和污堵预防措施一览表

预处理	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	SDI	Fe	Al	细菌	氧化剂	有机物
加酸	●							○				
投加阻垢剂	○	●	●	●	●	○						
离子树脂软化	●	●	●	●	●							
离子交换脱碱	○	○	○	○	○							
石灰软化	○	○	○	○	○	○	○	○				○
预防性清洗	○					○	○	○	○	○		○
调节操作参数		○	○	○	○	●						
多介质过滤						○	○	○	○			
氧化一过滤							○	●				
在线凝絮							○	○	○			○
絮凝一助凝						○	●	○	○			●
微滤/超滤						●	●	○	○	○		●
滤芯式过滤						○	○	○	○	○		

氯化氧化	●		
脱氯		●	
冲击处理	○		
预防性杀菌	○		
粒状活性炭过滤	○	●	●
○ 可能有效 ● 非常有效			

第 5 部分 系统设计与设计软件

5-1 序 言

完整的反渗透（RO）和纳滤（NF）水处理系统一般由预处理部分，膜处理部分和后处理部分组成，前面一章已经讨论了预处理的方法，为了达到最终产品水的水质要求，有时还需要采用后处理步骤。进行海水淡化时，后处理通常是进行pH 值调节、重新调整水中的硬度含量并进行杀菌处理；在超纯水制备过程中，膜系统的产水后处理通常是采用离子交换深度除盐。

本章将讨论膜装置本身，包括膜元件、以一定方式排列的元件压力外壳、给膜压力外壳供水的高压泵、仪表、管道、阀门和装置支架等。系统设计还应包括设置就地清洗系统，对膜进行化学清洗。

表征 RO/NF 膜系统的性能通常采用两个参数：产水流量和产水品质，而这些参数总是针对给定的进水水质、进水压力和系统回收率而言的，RO/NF 的设计者的主要职责是针对所需的产水量，使所设计的系统尽可能降低操作压力和膜元件的成本，但尽可能提高产水量和回收率以及系统的长期稳定性与清洗维护费用（故障率低，可采用低廉药品进行有效清洗）。

优化设计取决于上述各方面，苦咸水膜系统的回收率大小取决于难溶盐的溶解度，最大值大约为 90%；在海水淡化系统，由于浓水中渗透压和元件耐压能力的制约，一般回收率为 45%左右。

应根据对系统脱盐率的要求为依据选择膜元件，FILMTEC™ NF 纳滤膜和 FT30 反渗透膜系列按NF270、NF200、NF90、XLE、LP、LE、XFRLE、HRLE、BW30 (BW30FR)、BW30XFR、BW30HR、SW30HR、SW30ULE、SW30XLE、SW30HRLE、SW30XHR 的顺序脱盐率依次增加，当然同时所需的进水压力也按相同顺序增加，因此，从 NF 到 HRLE 范围的膜元件一般适用于进水TDS 最高为2,000mg/L 的低盐度自来水或苦咸水，BW30 适用于最高不大于12,000mg/L 的苦咸水，而 SW30HR、SW30ULE、SW30XLE、SW30HRLE、SW30XHR 适用于最高含盐量到 50,000mg/L 的海水等。

针对所选择的膜元件，达到设计产水量所需的进水压力取决于产水通量值的选择，设计时选择的通量值越大，则所需的进水操作压力就越高，海水淡化系统在膜元件最大允许的操作压力下，且产水通量值相对较低，但是对于苦咸水膜元件而言，一般不可能超过膜元件规定的最高 41bar 的极限压力时，产水通量就可能太高了。虽然为了减低膜元件的成本，设计时总是试图选择高的产水通量值，但是产水通量值的选择是有上限的，规定该上限的目的为了减少今后膜设备内的结垢和污染。

根据经验，系统的通量设计极限是应由进水的潜在污染程度而定，随着产水通量和元件回收率的增加，膜面上的污染物的浓度也随之增加，产水通量值高的系统其污染速率和清洗频率就高。只有凭丰富的经验针对不同水源类型设定合理的产水通量和元件的回收率标准，当对某一特定进水水源设计膜系统时，最好能了解其它膜系统处理该水型时的运行情况。但是，通常未必有这类膜系统可供参照，此时可以遵循本章所推荐的系统设计导则。

根据下列表 5-1 及表 5-2 收集设计膜系统所需要的设计基础资料是最好的做法，设计基础资料越全，最终为满足用户需求所设计的系统就更优化。

5-1.1 系统设计资料及原水分析报告

表 5-1: 所需系统设计资料如下:

登记序号: _____	联系人: _____ 电子信箱: _____
记录日期: _____	联系方式: 电话: _____ 传真: _____
工程所在地: _____ 工程公司: _____	
最终用户: _____ 地址: _____ 邮编: _____	
设计产水量(m ³ /h): _____ 期望回收率或最大原水供应量(m ³ /h): _____	
高峰用水量(m ³ /h): _____ 高峰时间(h): _____	
水源特性:	
☐ 地下水/深井水	☐ 地表水
☐ 软化水	☐ 微滤超滤产水
☐ 自备水源	☐ 市政废水
☐ 海水	☐ 反渗透产水
☐ 工业废水	
水温情况: 最低 _____ °C 最高 _____ °C 平均 _____ °C 设计 _____ °C	
预处理概况:	
药剂投加: ☐ 絮凝剂	☐ 助凝剂
☐ 还原剂	☐ 酸化剂
现有预处理: ☐ 无	☐ 有
☐ SDI ₁₅ 值(如有预处理)	
现有预处理设备名称: _____	

现场综合情况: _____	

系统用途: ☐ 电力行业	
☐ 石化行业	☐ 冶金行业
☐ 电子行业	☐ 食品行业(纯净水)
☐ 医药行业	
☐ 锅炉给水(高、中、低)	☐ 市政生活饮用水
☐ 废水回用处理	
后处理设备流程: _____	
系统运行方式: ☐ 24 小时连续	
☐ 8 小时连续	☐ 24 小时断续
☐ 8 小时断续	
其它要求及说明: _____	

表 5-2：所需原水分析报告如下：

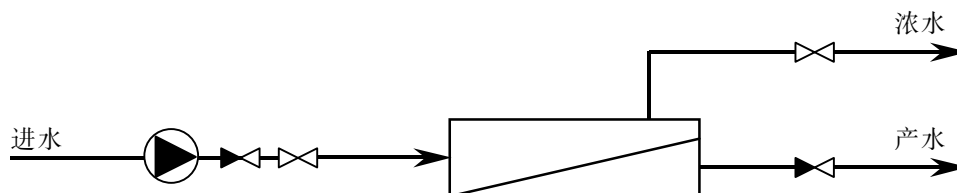
原水分析单位：_____		分析者：_____	
水源概况：_____		日 期：_____	
电导率：_____		pH 值：_____	
		水样温度：_____℃	
组成分析（分析项目请标注单位，如 mg/L，ppm，meq/L，以 CaCO ₃ 计等）：			
铵离子(NH ₄ ⁺)	_____	二氧化碳(CO ₂)	_____
钾离子(K ⁺)	_____	碳酸根(CO ₃ ²⁻)	_____
钠离子(Na ⁺)	_____	碳酸氢根(HCO ₃ ⁻)	_____
镁离子(Mg ²⁺)	_____	亚硝酸根(NO ₂ ⁻)	_____
钙离子(Ca ²⁺)	_____	硝酸根(NO ₃ ⁻)	_____
钡离子(Ba ²⁺)	_____	氯离子(Cl ⁻)	_____
锶离子(Sr ²⁺)	_____	氟离子(F ⁻)	_____
亚铁离子(Fe ²⁺)	_____	硫酸根(SO ₄ ²⁻)	_____
总铁(Fe ²⁺ /Fe ³⁺)	_____	磷酸根(PO ₄ ³⁻)	_____
锰离子(Mn ²⁺)	_____	硫化氢(H ₂ S)	_____
铜离子(Cu ²⁺)	_____	活性二氧化硅(SiO ₂)	_____
锌离子(Zn ²⁺)	_____	胶体二氧化硅(SiO ₂)	_____
铝离子(Al ³⁺)	_____	游离氯(Cl [·])	_____
其它离子（如硼离子）：_____			
总固体含量(TDS) _____		生物耗氧量(BOD) _____	
总有机碳(TOC) _____		化学耗氧量(COD) _____	
总碱度（甲基橙碱度）：			
碳酸根碱度（酚酞碱度）：			
总硬度：			
浊度（NTU）：			
污染指数（SDI ₁₅ ）：			
细菌（个数/mL）：			
备注（异味、颜色、生物活性等）：			

注：当阴阳离子存在较大不平衡时，应重新分析测试，相差不大时，可添加钠离子或氯离子进行人工平衡。

5-2 分批过程与连续过程

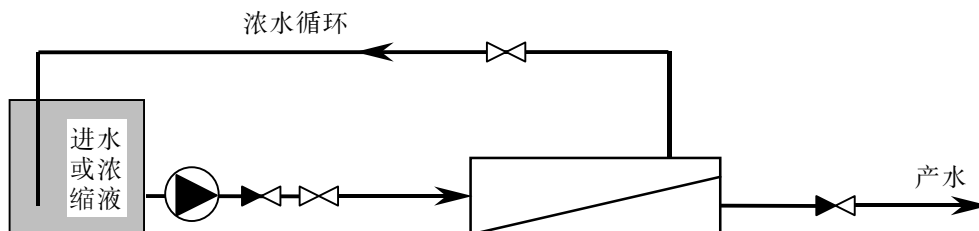
RO/NF 系统通常采用连续运行方式，系统中的每支膜元件的运行条件不随时间变化，连续过程如下图所示：

图 5-1 连续处理运行方式



在某些场合，水量小且不能连续供水，如废水或待回收的工艺物料，通常采用分批处理运行方式，预先将进水或原液收集在原水或原液箱中，再进行循环处理，渗透液不断从系统中拿走，但浓缩液则回流循环返回原液箱。批处理结束时，剩余部分的浓缩液，残留在原料箱中，待这些残留液排干后，更换新一批物料之前，一般需对膜进行一组清洗，分批过程如下图所示：

图 5-2 分批处理运行方式



部分批处理是完全批处理运行方式的变种，在部分批处理运行过程中，原水箱中同时还不断进水，当原液箱中浓缩液装满时，就停止分批处理，这种部分批处理运行方式的优点是，可以使用体积较小的原液箱。批处理通常设计为恒压运行，当浓度越来越高时，渗透流量会随之下降，批处理也可以使用设计导则，一般情况下，水通量值应保守选取，但也可以超限选取，完全根据预备运转试验结果来确定，且需综合考虑清洗频率是否合适。

分批过程与连续过程相比有如下优点：

- 当进水水质变化时，较具弹性；
- 易于进行清洗；
- 每一批的系统回收率可以达到极限；
- 投资费用省。
- 系统控制简单；
- 渗透液品质可通过中止系统运转的方式来控制；
- 易于扩充系统；
- 渗透液品质还可以结合全部或部分二级膜法处理进一步地提高；
- 较适合一支或膜元件数较少的系统操作，这是因为膜与最后很浓的浓缩液接触时间很短；

分批过程的缺点是：

- 渗透液流量不断变化；
- 渗透液品质不断变化；
- 需要较大体积的原液箱；
- 需较大的水泵；

- 动力消耗较大；
- 总运行费较高。
- 进水/浓水停留时间较长；

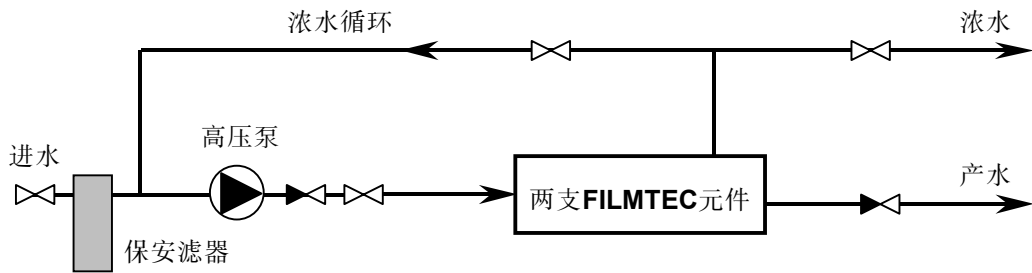
大多数 RO/NF 系统设计成连续操作模式，以便获得恒定的产水量和回收率，水温变化和膜面污染的影响可通过调节进水压力来弥补，因此，本手册重点讨论连续操作流程。

5-3 单组件系统

膜元件装入压力外壳内所组成的组合件称为膜组件，目前世界特大型水处理系统采用的压力外壳最多可串联 8 支 40 英寸长标准膜元件，第一支膜元件的浓水成为第二支元件的进水，以次类推。所有膜元件的产水管则相互连通，并与组件压力外壳端板上的产水接口相联，组件产水出口可以选择在组件的进水端或浓水端。

根据所需的产水量，当仅需要一支或几支膜元件时，选择单组件系统。下图为装有 2 支膜元件的单组件系统。

图 5-3 单组件系统



进水经过隔断阀进入膜系统，首先流过保安滤器，然后进入高压泵，通过高压泵升压后，再进入膜组件的入口，产品水离开膜组件时，为防止产水背压造成膜元件的损坏，产水压力不应高于 0.3bar。但是现实情况往往要求较高产水压力，例如需要将产水输送到后处理部分或不想再通过安装水泵向用水点供水等等，此时，必须增加高压泵出口压力以补充向后输送产水所需的压力，但需要注意高压泵出口压力不得高于膜元件最大允许进水压力，还应采取特别有效的措施在任何时刻（哪怕是瞬间）尤其是紧急停机时，产水压力超过进水压力的差值（产水背压）均不得大于 0.3bar。

浓水离开组件浓水端出口的压力几乎与进水压力相当，新系统从进水到浓水出口之间的压差通常在 0.3~2bar 之间，它取决于元件数量、进水流速和水温。浓水控制阀控制浓水流量和系统的回收率，系统回收率不得超过设计规定值。

在单组件系统中，常常需要浓水回流以满足设计导则对元件回收率的要求，为了达到系统回收率高于 50%，离开组件的浓水部分排放而其余部分则回流进入高压泵的吸入口，这样就增加了组件内的流速，高比例的浓水回流能帮助降低元件回收率，降低膜受污染的风险，但是另一方面，它也存在如下缺点：

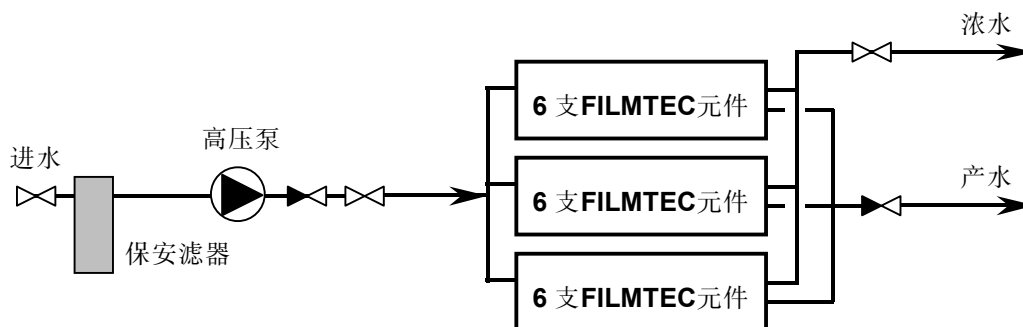
- 需较大的高压泵（成本更高）；
- 更高的能耗；
- 回流越高，产品水质越低；
- 在系统保存或清洗之后重新投运时，冲洗时间可能很长，最好在冲洗期间，暂时关掉浓水回流。

5-4 单段系统

在单段系统中，两个或两个以上的膜组件并联在一起，进水、产水和浓水均由总管管路系统分别相联。其它方面与单组件系统相同，单段系统通常用于要求系统回收率小于 50%，例如海水淡化。

下图为含 6 芯元件的组件所构成的单段系统：

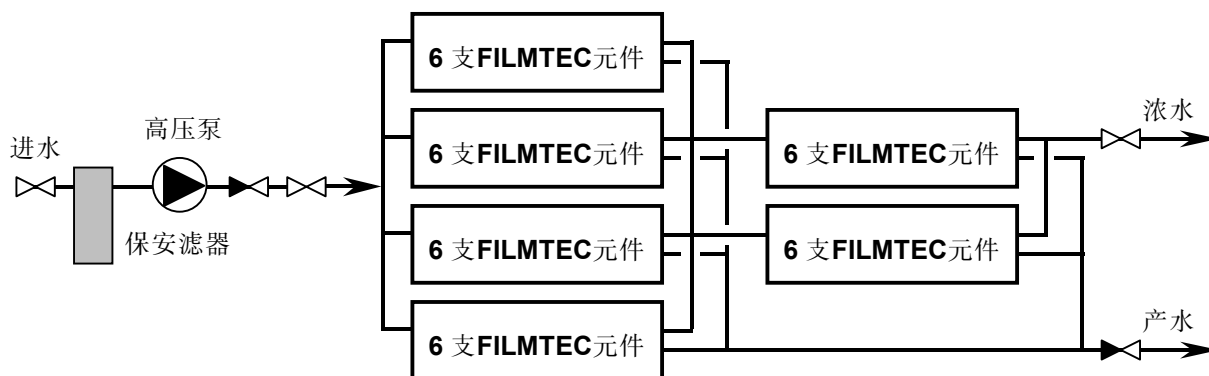
图 5-4 单段系统



5-5 多段系统

当要求系统回收率更高时采用一段以上排列系统，就不会超过单支元件的回收率极限，通常两段式排列系统就可实现 75% 的系统回收率，而三段式排列系统则可达到更高的系统回收率，这些回收率的确定是以每一段采用含 6 支膜元件的组件推算出来的，如使用仅能容纳 3 支元件的较短的压力容器时，为了达到相同的回收率，段数要加倍。一般而言，系统回收率越高，必须串联在一起的膜元件数就应越多。为了平衡被拿走的产水并保持每段内原水的流速均匀性，每段压力外壳的数量按进水水流方向递减。一个典型的排列比例为 2:1，排列比例定义为两个相邻段内压力容器数量之比，下图为 4:2 排列的两段系统：

图 5-5 两段式排列系统



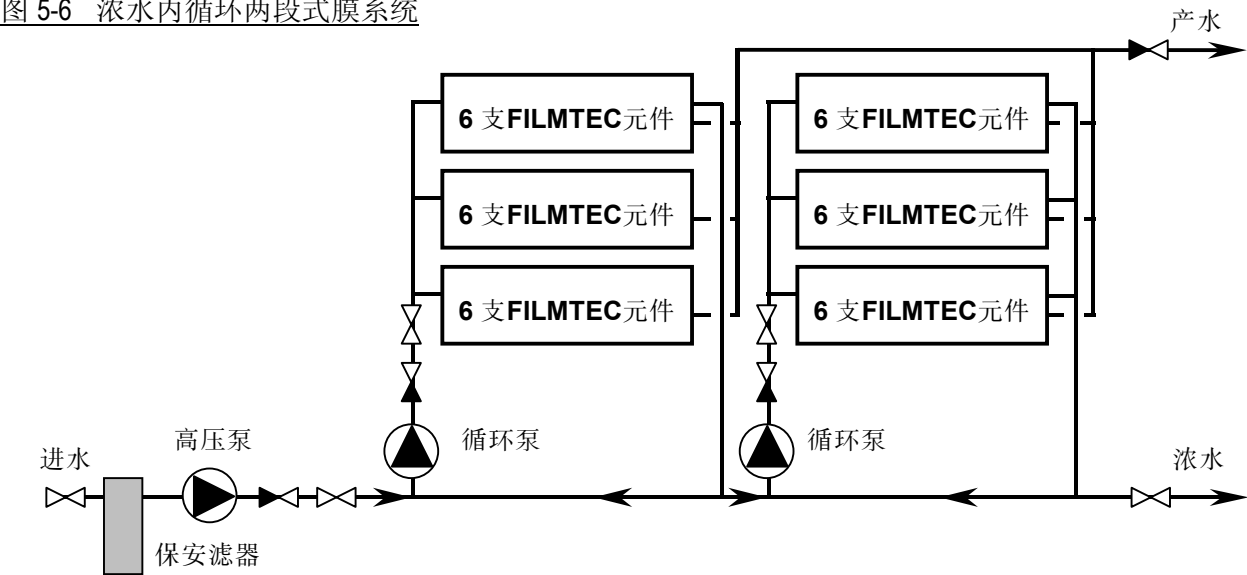
5-6 原水一次通过式系统与浓水循环系统

进行水脱盐的常规 RO/NF 系统通常采用原水一次通过式，在原水一次通过式系统设计概念中，进水只流过膜系统一次，进水中的一部分 (Y) 透过膜面成为产品水，余下的进水不断被浓缩，以较高的浓度离开系统，前面所示的图 5-1、图 5-4 和图 5-5 均为原水一次通过式系统。

当元件数量太少，而不能使系统达到的足够回收率要求时，可以采用浓水循环。浓水循环系统在某些特殊应用场合如工艺物料浓缩和废水处理上广泛采用，在一些含有内部浓水循环的系统中，部分浓水直接回到该组件或该段的进口，并与进水相混合，图 5-3 就是一种具有内部浓水循环的系统。

在多段系统内，每段可以设置单独的浓水再循环泵，图 5-5 的进水一次通过式系统就可以设计成图 5-6 的浓水循环系统。

图 5-6 浓水内循环两段式膜系统



浓水循环的主要优点是膜组件内进水流速可以维持恒定，不受前段膜组件污染程度或进水组成的变化而变化。

表 5-3: 原水一次通过式系统与浓水循环系统的比较

系统参数	原水一次通过式系统	浓水循环系统
进水组成	必须稳定	允许改变
系统回收率	必须稳定	允许改变
清洗管路	较复杂	简单
弥补污染	较困难	容易
膜进口至出口间压力	下降	一致
能耗	较低	较高（15~20%）
泵的数量（投资与维护）	较低	较高
系统扩展，改变膜面积	较困难	容易
从多段系统中隔离或投运某一段	不可能	可能
系统透盐率	较低	较高

系统表观透盐率 SP_s ，定义为产水中的特定组份的浓度 C_p （可以是某一特定离子、有机物或总含盐量 TDS）与进水种的对应浓度 C_i 之比：

$$SP_s = \frac{C_p}{C_f} \quad (1)$$

在进水一次通过式系统中， SP_s 是系统回收率 Y 和膜元件本身透盐率 SP_M 的函数：

$$SP_s = \frac{1 - (1 - Y)^{SP_M}}{Y} \quad (2)$$

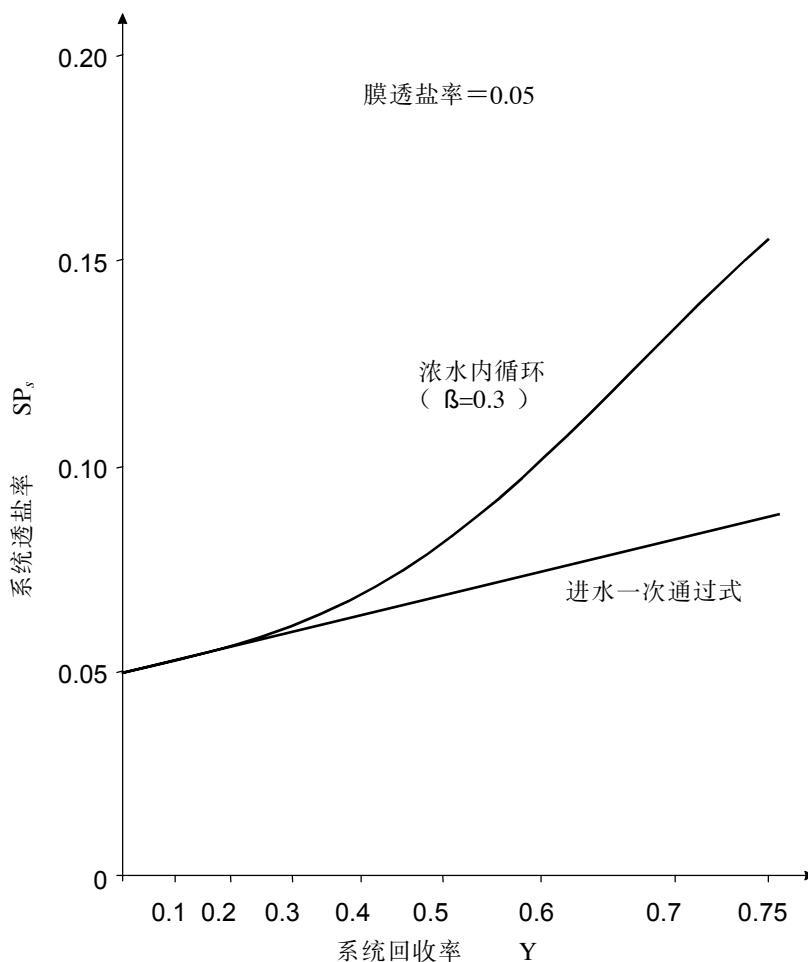
上式中的膜元件本身透盐率定义为产水浓度(C_p)与进水—浓水侧平均浓度(C_{fc})之比：

$$SP_M = \frac{C_p}{C_{fc}} \quad (3)$$

在有浓水内循环的系统中，还应考虑另一个参数 β 数，其定义为：

$$\beta = \frac{\text{离开组件的产水流量}}{\text{离开组件的浓水流量}} \quad (4)$$

图 5-7 进水一次通过式与浓水内循环式膜系统

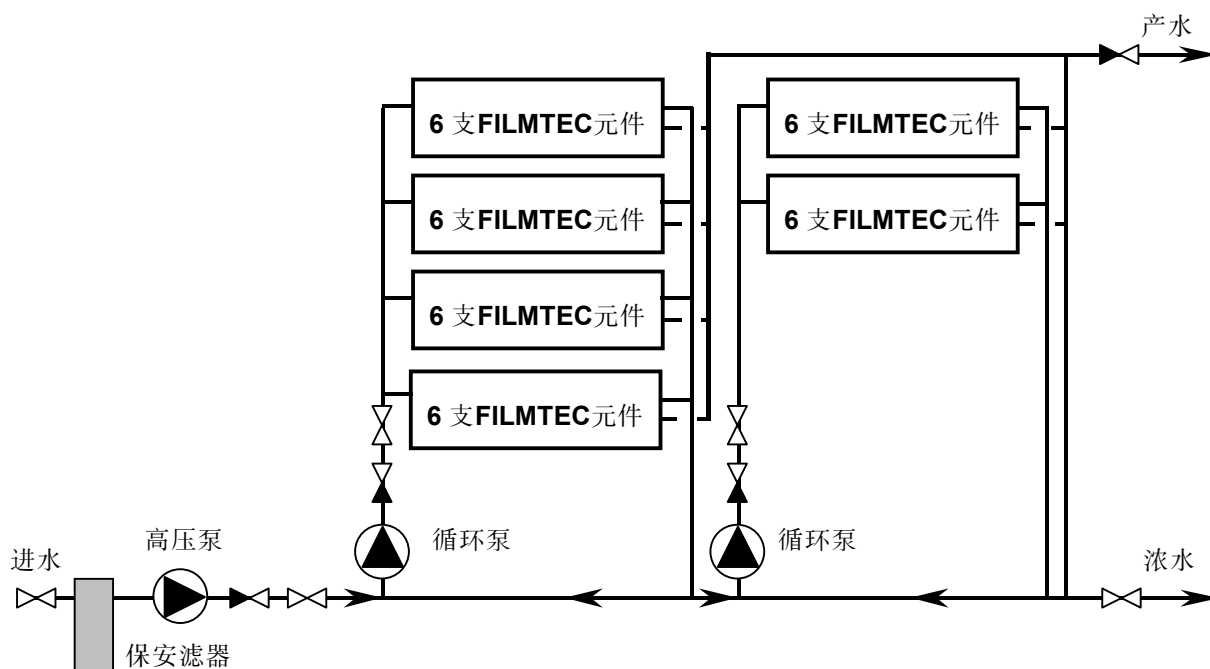


对于浓水部分回流到进水侧的系统，系统透盐率为：

$$SP_s = \frac{(1+\beta)^{SP_M} - 1}{Y(1+\beta)^{SP_M} - Y(1+\beta) + \beta} \quad (5)$$

特别对于高回收率的系统，带循环的系统透盐率会远远高于一次通过式的系统透盐率，如图 5-7 所示的模拟计算。对于带有浓水循环的多段系统（如图 5-6），必须按照方程(5)进行每一段的计算。

当循环流量接近 0 时， β 就接近 $1/[(1/Y)-1]$ ，浓水循环系统就成为原水一次通过式系统。图 5-8 所示的渐减式循环系统介于进水一次通过式与浓水循环之间的一种系统，从进水方向看，每一段比前一段递减所并联的组件数量。



在选择循环水泵时，可以仅让离开该段一小部分的浓水回流循环而大部分进入下一级，这样系统非常接近一次通过式的运行模式但是仍具有回流循环的优势。

5-7 多级系统

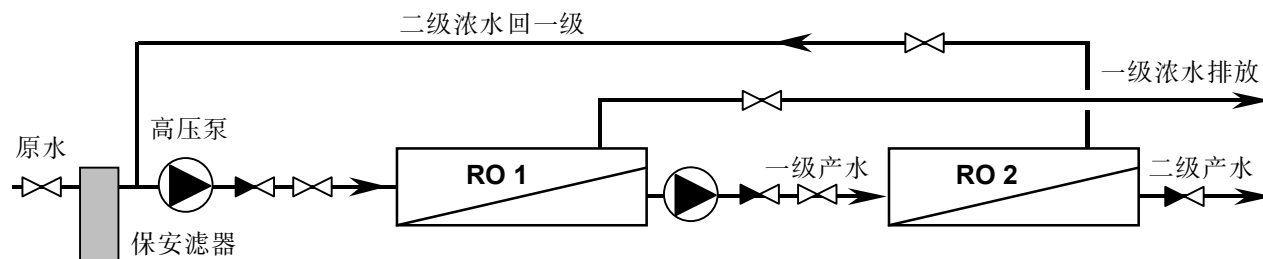
基于下列原因，设计多级膜法处理系统：

- ❖ 常规的产水出水品质不够理想；
- ❖ 不允许采用离子交换作为后处理(不允许采用再生药品)；
- ❖ 脱除病毒、细菌、热源和有机物特别重要；
- ❖ 需要极高的系统可靠性。

制药和医药生产工艺用水一般设计成产水多级系统，多级膜处理系统实际上是两个传统 RO/NF 系统的组合，第一级的产水作为第二级的进水，两级既可以是单段式，也可以是多段式，既可以是一次通过式，也可以有浓水再循环运行模式。

图 5-9 为多级 RO 系统的示意图，第二级（RO2）的浓水回流到第一级（RO1）的进水端，这是因为，其品质仍比进入系统原水水质好，同时 RO2 的进水水质高（RO1 的产水），因此 RO2 可比 RO1 有更高的水回收率，就可以使用较少的膜元件。

图 5-9 二级反渗透系统



只要不超过膜元件最高允许进水压力（对于 BW 系列元件，41bar），整个系统可以只设置一台高压泵，而不需要每一级单独设泵，此时，第二级由第一级 RO1 的产水压力来推动，但是在任何时间和条件下，同一级的产水压力与同一级的进水或浓水压力的差值（即背压）不得大于 0.3bar。也可以设置一个中间过渡水箱以收集第一级的产水，然后再利用高压泵向第二级反渗透装置供水，但该水箱要采取细致的措施防止受灰尘和微生物的污染。

产水电导率在多数情况下是产水品质最重要的参数，由于二氧化碳无法被膜所脱除，它会存在于成品水中，形成碳酸引起电导率的上升，通过将进水 pH 加碱调节到 8.2 左右，就可以阻止 CO₂ 透过反渗透膜，在此 pH 条件下，所有的二氧化碳会转化成碳酸，而碳酸能被膜很好地除去，在 RO1 的进水或产水中均可以加入 NaOH，在产水中加 NaOH 时，加入量非常小，这是因为 RO1 产水几乎不存在缓冲能力，但在第一级 RO1 的进水中加碱要千万小心，防止碳酸钙沉淀，在 pH8.2 左右最容易发生碳酸钙沉淀。采用加碱处理方法，一般情况下，原水含盐量不高时采用二级反渗透工艺，系统产水电导率可达 <1μs/cm（25℃）。

5-8 特殊设计的可能性

根据特殊要求，有几种特殊设计可供选择：

❖ 提高产品质量：

- 针对苦咸水水源，部份或全部选用海水元件；
- 在多级处理系统中的某一级选用海水元件或全部采用海水元件；
- 将最后一段的产水回流到进水中。

❖ 提高系统的回收率：

- 经过特殊预处理后，将浓水作为第二个系统的进水，即增设浓水回收系统。

❖ 针对中等含盐量的原水，实现系统高回收率和均衡一致的元件产水量：

- 在段间设置段间提升泵以抵消后段渗透压的增加；
- 从第一段到最后一段采用渐减方式对每段产水设置背压；
- 在第一段使用 SW 或 SWHR 膜元件。

❖ 制取不同品质的产水：

- 将不同段的产水分别收集，第一段的产水水质最好，尤其时当第一段选用海水淡化膜元件时。

- ❖ 降低系统产水量，以便正好获得所需的产水水质：
 - 产水与部分原水混合。
- ❖ 提供系统将来可扩充的机会：
 - 在压力容器中使用空白元件（即用产水管取代元件）；
 - 膜组件支架采用模块化设计，以便今后能安装额外的压力容器。

5-9 膜系统设计导则

膜系统设计的最大影响因素是原水的潜在污染趋势，原水中存在的颗粒和胶体会引起膜元件的污堵，并随着进水的逐渐浓缩而累积在反渗透膜表面，预处理后的产水其淤积密度指数（SDI，又称污堵指数）与水中上述残留污堵物质的含量有相当好的对应关系，膜表面这些污堵物的浓度与膜系统的通量和回收率成正比，通量设计得越高的系统，将会出现更快速的污堵并需要更频繁的化学清洗措施。

设计膜系统时应该保证系统内每支膜元件都处于推荐的运行范围内，以便减少污堵，杜绝膜元件的机械损坏，膜元件的运行条件范围包括：膜元件的最高回收率、最大通量、最小浓水流量和最高进水流量，原水潜在污染越高，就应该越严格执行上述运行参数，设计导则所推荐的运行极限是基于许多年陶氏 FILMTEC™ 膜元件的运行经验。

整个膜元件平均通量与系统内膜元件的总有效膜面积有关，是设计的特征参数，便于设计者快速的估算出某一新系统所需膜元件的数量，原水水质好可以采用较高的设计通量而原水水质差则应该采用较低的设计通量，当然，即使是在同一类的水质条件下，关注重点在初期投资的话，可以选择较高的设计通量值，而关注长期运行成本的话，应该尽量选择较低的设计通量值，设计导则中所列的通量值及其范围，是绝大多数系统设计时所选的典型取值，但并不代表不能超过该范围。

这些设计导则中的建议参数是基于设计考虑周全、运行管理良好、每年进行 4 次化学清洗且为连续运行模式这样的假设，如果超过所建议的参数极限将会产生更频繁的化学清洗，产水量会快速下降，进水压力会增加，膜的寿命会缩短，进而增加系统的故障率和运行成本。只要最大压差和最高压力不超过极限，短时间内稍微超极限一点运行是可以接受的，反之，较高的估计发生污堵的可能性，即选择了保守的设计方式，就会获得长久无故障运行和更长膜寿命的效果。系统设计者应根据项目特点进行设计优化，在设计之前必须充分收集原水水质分析报告等系统设计资料，资料越齐全，系统的设计就越有针对性，也就越能满足用户的需要。

5-9.1 陶氏 FILMTEC™ 8 英寸膜元件系统设计导则

使用 FILMTEC™ 8 英寸膜元件设计 RO/NF 系统时，根据进水类型推荐设计导则如下：

表 5-4：8 英寸 FILMTEC™ 元件在水处理应用中的设计导则

给水类型		反渗透产水				废水 (过滤后的市政污水)		海水	
		作进水	井水	地表水		MF ¹	传统过滤	沉井/MF ¹	表面取水
给水 SDI		SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
平均系统 通量	gfd	21-25	16-20	13-17	12-16	10-14	8-12	8-12	7-10
	l/m ² h	36-43	27-34	22-29	20-27	17-24	14-20	13-20	11-17
元件最大回收率%		30	19	17	15	14	12	15	13

有限膜面积	最大产水流量，gpd(m ³ /d)								
320ft ² 元件	9,000(34)	7,500(28)	6,500(25)	5,900(22)	5,300(20)	4,700(18)	6,700(25)	6,100(23)	
365ft ² 元件	10000(38)	8,300(31)	7,200(27)	6,500(25)	5,900(22)	5,200(20)			
380ft ² 元件	10,600(40)	8,600(33)	7,500(28)	6,800(26)	5,900(22)	5,200(20)	7,900(30)	7,200(27)	
390ft ² 元件	10,600(40)	8,900(34)	7,700(29)	7,000(26)	6,300(24)	5,500(21)			
400ft ² 元件	11,000(42)	9,100(34)	7,900(30)	7,200(27)	6,400(24)	5,700(22)			
440ft ² 元件	12,000(45)	10,000(38)	8,700(33)	7,900(30)	7,100(27)	6,300(24)			

元件类型	最小浓水流量 ² ，gpm(m ³ /h)								
BW(365ft ²)元件	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	16(3.6)	18(4.1)			
BW(400ft ² 和 440ft ²)	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	18(4.1)	20(4.6)			
NF 元件	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	18(4.1)	18(4.1)			
Full-Fit 元件	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)			
SW 元件	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	16(3.6)	18(4.1)	13(3.0)	15(3.4)	

元件类型	有效面积		最大给水流量 ² ，gpm(m ³ /h)							
	ft ² (m ²)									
BW 元件	365(33.9)	65(15)	65(15)	63(14)	58(13)	52(12)	52(12)			
BW/NF 元件	400(37.2)	75(17)	75(17)	73(16.6)	67(15)	61(14)	61(14)			
BW 元件	440(40.9)	75(17)	75(17)	73(16.6)	67(15)	61(14)	61(14)			
Full-Fit 元件	390(36.2)	85(19)	75(17)	73(16.6)	67(15)	61(14)	61(14)			
SW 元件	320(29.7)	65(15)	65(15)	63(14)	58(13)	52(12)	52(12)	63(14)	56(13)	
SW 元件	380(35.3)	72(16)	72(16)	70(16)	64(15)	58(13)	58(13)	70(16)	62(14)	
SW 元件	400(37.2)	72(16)	72(16)	70(16)	64(15)	58(13)	58(13)	70(16)	62(14)	

¹MF：连续微滤工艺，膜孔径 < 0.5μm。

²单支元件的最大允许压降为 15psi（1bar），含多元件的容器的最大允许压降为 50psi（3.5bar），这两条限制标准须同时遵守。我们建议系统中任何元件的压降最好不要超过最大压降的 80%（12psi）。

注：上述限制值已引入反渗透系统分析设计软件 ROSA（Reverse Osmosis System Analysis）中。当系统设计超过导则允许值时，在 ROSA 的计算结果中就会有报警信息。

5-9.2 陶氏 FILMTEC™中等尺寸膜元件系统设计导则

在轻工业和小型商业水处理系统中，选用 2.5 英寸或 4 英寸 FILMTEC™膜元件时，由于对系统的要求有所不同。请按照所推荐的相应 RO/NF 系统设计导则设计膜系统。

【轻工业和小型海水淡化系统】表 5-5 建议的轻工业和小型海水淡化系统的系统设计导则基于这类系统与大型系统有着同样的要求，即要求系统性能的稳定数年以上。在建造大型系统之前通常将它用作连续中试或小试，并配有 CIP 就地清洗设备，不设或很少量的浓水循环。预期膜元件的寿命超过 3 年。轻工业和小型海水淡化系统设计导则推荐如下：

表 5-5: FILMTEC™膜元件在轻工业及小型海水淡化系统中的设计导则

给水类型	反渗透产水		经过软化后的市政自来水		废水 (过滤后的市政污水)		海水	
	作进水	井水	水	地表水	MF ¹	传统过滤	沉井/MF ¹	表面取水
给水 SDI	SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
典型目标 通量	gfd	22	18	16	14	13	11	13
	l/m ² h	37	30	27	24	22	19	22
元件最大回收率%	30	19	17	15	14	12	15	13
元件直径	最大产水流量，gpd(m ³ /d)							
2.5- 英寸	800(3.0)	700(2.6)	600(2.3)	500(1.9)	500(1.9)	400(1.5)	700(2.6)	600(2.3)
4.0- 英寸	2,300(8.7)	1,900(7.2)	1,700(6.4)	1,500(5.7)	1,400(5.3)	1,200(4.5)	1,800(6.8)	1,500(5.7)
元件类型	最小浓水流量 ² ，gpm(m ³ /h)							
2.5- 英寸	0.7(0.16)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)
4.0- 英寸非 Full-Fit	2(0.5)	3(0.7)	3(0.7)	3(0.7)	4(0.9)	5(1.1)	3(0.7)	4(0.9)
Full-Fit 4.0- 英寸元件	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	不适用	不适用
元件类型	有效面积 ft ² (m ²)	最大给水流量 ² gpm(m ³ /h)		单元件最大允许压降 psig(bar)		最高进水压力 psig(bar)		
胶带缠绕 2540	28(2.6)	6(1.4)		13(0.9)		600(41)		
玻璃钢缠绕 2540	28(2.6)	6(1.4)		15(1.0)		600(41)		
海水 2540 元件	29(2.7)	6(1.4)		13(0.9)		1,000(69)		
胶带缠绕 4040	87(8.1)	14(3.2)		13(0.9)		600(41)		
TW30-4040	82(7.6)	14(3.2)		13(0.9)		600(41)		
玻璃钢缠绕 4040	82(7.6)	16(3.6)		15(1.0)		600(41)		
玻璃钢缠绕 4040 海水膜	80(7.4)	16(3.6)		15(1.0)		1,000(69)		
Full-Fit 元件	85(7.9)	18(4.1)		15(1.0)		600(41)		

¹MF：连续微滤工艺，膜孔径 < 0.5μm。

²单支元件的最大允许压降为 15psi（1bar），含多元件的压力容器的最大允许压降为 50psi（3.5bar），这两条限制标准须同时遵守。我们建议系统中任何元件的压降最好不要超过最大压降的 80%（12psi）。

注：上述限制值已引入反渗透系统分析设计软件 ROSA（Reverse Osmosis System Analysis）中。当系统设计超过导则允许值时，在 ROSA 的计算结果中就会有报警信息。

【小型商用系统】表 5-6 建议的典型小型商用系统使用 1~6 支中小型膜元件，它们或者定期更换，或者定期频繁清洗（每半年或一年），或者允许较快的膜元件性能衰减速度。膜元件的预期寿命小于 3 年。常常为间歇运行的系统，这是一个低成本的紧凑型水处理方案，小型商用系统设计导则推荐如下：

表 5-6: FILMTEC™膜元件在小型商业应用系统中的设计导则

给水水源		反渗透产水作进水	软化后的市政自来水	井水	地表水或市政自来水
给水 SDI		SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5
典型目标 通量	gfd	30	30	25	20
	l/m ² h	51	51	42	34
元件最大回收率%		30	30	25	20
元件直径		最大产水流量, gpd(m ³ /d)			
2.5- 英寸		1,100(4.2)	1,100(4.2)	900(3.4)	700(2.7)
4.0- 英寸		3,100(11.7)	3,100(11.7)	2,600(9.8)	2,100(7.9)
元件类型		最小浓水流量 ¹ , gpm(m ³ /h)			
2.5- 英寸元件		0.5(0.11)	0.5(0.11)	0.7(0.16)	0.7(0.16)
4.0- 英寸元件		2(0.5)	2(0.5)	3(0.7)	3(0.7)
元件类型		有效面积 ft ² (m ²)	最大给水流量 ² gpm(m ³ /h)	单元件最大允许压降 psig(bar)	最高进水压力 psig(bar)
胶带缠绕 2540		28(2.6)	6(1.4)	13(0.9)	600(41)
玻璃钢缠绕 2540		28(2.6)	6(1.4)	15(1.0)	600(41)
海水 2540 元件		29(2.7)	6(1.4)	13(0.9)	1,000(69)
胶带缠绕 4040		87(8.1)	14(3.2)	13(0.9)	600(41)
TW30-4040		82(7.6)	14(3.2)	13(0.9)	600(41)
玻璃钢缠绕 4040		82(7.6)	16(3.6)	15(1.0)	600(41)
玻璃钢缠绕 4040 海水膜		80(7.4)	16(3.6)	15(1.0)	1,000(69)

¹ 单支元件的最大允许压降为 15psi (1bar)，含多元件的容器的最大允许压降为 50psi (3.5bar)，这两条限制标准须同时遵守。我们建议系统中任何元件的压降最好不要超过最大压降的 80% (12psi)。

注：上述限制值已引入反渗透系统设计软件 ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) 中。当系统设计超过导则允许值时，在 ROSA 的计算结果中就会有报警信息。

5-10 膜系统的设计步骤

【第 1 步】：考虑进水水源、水质，进水和产水流量以及所需的产水水质。

膜系统的设计取决于将要处理的原水和处理后产水用途，因此必须首先按照表 5-4 及表 5-5 的要求详细收集系统设计资料及原水分析报告。

【第 2 步】：选择系统排列和级数

常规的水处理系统排列结构为进水一次通过式，而在较小的系统中常采用浓水循环排列结构，例如多数的商用水处理系统；所需元件数量较少的有一定规模的系统，采用进水一次通过式难以达到足够的系统回收率时，也采用浓水循环排列结

构；在特殊应用领域如工艺物料浓缩和废水处理，通常采用浓水循环排列系统。

RO/NF 系统通常采用连续运行方式，系统中的每一支膜元件的运行条件不随时间变化，但在某些应用情况下，如废水处理或工艺物料的浓缩或当供水量小较小时且供水不连续时，选用分批处理操作系统，此时，进水收集在原水箱中，然后进行循环处理，部分批处理操作是分批处理操作的改良，在操作运行过程期间，不断向原水箱注入原水。

多级处理（两级）系统是两个传统 RO/NF 系统的组合工艺，第一级的产水作为第二级的进水，每一级既可以是单段式或也可以是多段式，既可以是原水一次通过式也可以是浓水再循环式。制药和医药用水的生产常选用产水多级处理工艺。若想取代第二级膜系统，可以考虑采用离子交换工艺。

【第 3 步】：膜元件的选择

根据进水含盐量、进水污染可能、所需系统脱盐率、产水量和能耗要求来选择膜元件，当系统产水量大于 10gpm (2.3m³/h) 时，选用直径为 8 英寸长度为 40 英寸的膜元件，当系统较小时则选用小型元件。FILMTEC™膜元件的特点和特定领域的选型请参阅本手册有关章节的介绍或与陶氏化学液体分离部代表联络。当要求极高产水水质时，通常使用离子交换树脂对 RO/NF 产水进行深度处理。

【第 4 步】：膜平均通量的确定

平均通量设计值 f (gfd 或 L/m²h) 的选择可以基于现场试验数据、以往的经验或参照设计导则所推荐的典型设计通量值选取。

【第 5 步】：计算所需的元件数量

将产水量设计值 Q_P 除以设计通量 f ，再除以所选元件的膜面积 S_E ，就可以得出元件数量 N_E ：

$$N_E = \frac{Q_P}{f \cdot S_E}$$

【第 6 步】：计算所需的压力容器数

将膜元件数量 N_E 除以每支压力容器可安装的元件数量 N_{EPV} ，就可以得出圆整到整数的压力容器的数量 N_V 。对于大型系统，常常选用 6~7 芯装的压力容器，目前世界上最长的压力容器为 8 芯装，对于小型或紧凑型的系统，选择较短的压力容器：

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EPV}}$$

虽然以下部分所描述的方法适用于所有的系统，但最适合于以一定方式排列，使用较多 8 英寸膜元件和压力容器的场合。仅含有一支或几支元件的小型系统，大多设计成串联排列和部分浓水回流，以确保膜元件进水与盐水流动有最低流速。

【第 7 步】：段数的确定

由多少支压力容器串联在一起就决定了段数，而每一段都有一定数量的压力容器并联组成，段的数量是系统设计回收率、每一支压力容器所含元件数量和进水水质的函数。系统回收率越高，进水水质越差，系统就应该越长，即串联的元件就应该越多。例如，第一段使用 4 支 6 元件外壳，第二段使用 2 支 6 元件外壳的系统，就有 12 支元件相串联；一个三段系统，每段采用 4 元件的压力外壳，以 4:3:2 排列的话，也是 12 支元件串联在一起。一般地，串联元件数量与系统回收率和段数有如下关系：

表 5-7 苦咸水淡化膜系统的段数

系统回收率 (%)	串联元件的数量	含 6 元件压力容器的段数
40~60	6	1
70~80	12	2
85~90	18	3

如果采用浓水循环方式，单段式系统也可以设计成较高的回收率。

在设计海水淡化系统时，其回收率应该比苦咸水系统的回收率低，膜系统的段数取决于系统回收率，如表 5-8 所示：

表 5-8 海水淡化膜系统的段数

系统回收率 (%)	串联元件的数量	压力容器的段数		
		6 芯	7 芯	8 芯
35~40	6	1	1	
45	7~12	2	1	1
50	8~12	2	2	1
55~60	12~14	2	2	

【第 8 步】：确定排列比

相邻段压力容器的数量之比称为排列比，例如第一段为 4 支压力容器，第二段为 2 支压力容器所组成的系统，排列比为 2:1，而一个三段式的系统，第一段、第二段和第三段分别为 4 支、3 支和 2 支压力容器时，其排列比为 4:3:2。当采用常规 6 元件外壳时，相邻两段之间的排列比通常接近 2:1，如果采用较短的压力容器时，应该减低排比。另一个确定压力容器排列的重要因素是第一段的进水流量和最后一段每支压力容器的浓水流量，根据产水量和回收率确定进水和浓水流量，第一段配置的压力容器数量必须为每支 8 英寸元件的压力容器提供 8~12m³/h 的进水量，同样，最后一段压力容器的数量必须使得每一支 8 英寸元件压力容器的最小浓水流量大于 3.6m³/h，详细规定请参阅膜元件设计导则。

【第 9 步】：分析和优化膜系统

所确立的膜系统结构可以采用 FILMTEC™ ROSA 计算机系统分析软件进行分析和调整：

举例如下：假定：

- ❖ 水源为地表水，SDI₁₅<5
- ❖ 要求产水量 720m³/d
- ❖ 采用 6 芯压力容器（外壳）

第 1 步：SDI₁₅<5 的地表苦咸水，总产水量 720m³/d(132gpm)

第 2 步：选择进水一次通过式结构

第 3 步：BW30-365(苦咸水膜元件，有效膜面积 365ft²，即 33.9m²)

第 4 步：建议平均通量 15gfd (25LMH)，查阅设计导则

第 5 步：元件总数=

$$\frac{(720 \text{ m}^3/\text{d})(41.67 \text{ L/h})/(\text{m}^3/\text{d})}{(33.9 \text{ m}^2)/(25 \text{ L/m}^2/\text{h})} = 35 \Rightarrow \text{圆整到 } 35 \text{ 或}$$

$$\frac{(132 \text{ gpm})(1440 \text{ gpd/gpm})}{(15 \text{ gfd})/(365 \text{ ft}^2)} = 35 \Rightarrow \text{圆整到 } 35$$

第6步：压力外壳总数 = $35/6 = 5.83 \Rightarrow$ 圆整到 36

第7步：对于6芯外壳75%回收率 $\Rightarrow$ 段数选2

第8步：段排列比2:1，最适宜的排列为 $\Rightarrow$ 4:2

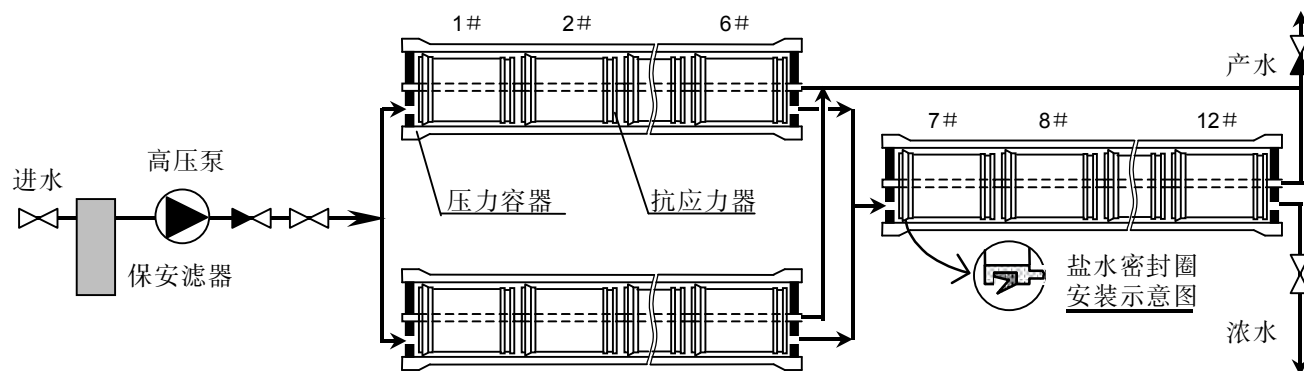
第9步：使用 FILMTEC™ 反渗透系统分析软件 ROSA 进行系统模拟运算。这个程序可以计算进水压力、系统产水品质以及每支元件的运行参数，并可十分方便地改变膜元件的数量、品种和排列来优化系统设计。

5-11 系统性能预测

5-11.1 系统操作特性

在预测某一系统性能之前，需先熟悉系统的操作特性，这里举例说明，图 5-10 为含 3 支 6 芯压力容器并按 2:1 排列的系统。含 6 芯压力容器的两段式系统前后有 12 支元件串联在一起，可有效地达到 55~75% 的系统回收率，每一支元件的平均回收率为 7~12%，若两段系统回收率高于 75%，单支元件的回收率将超过设计导则规定的最高回收率极限，此时需在系统中再添加一段，选择 18 支元件串联以降低单支元件的平均回收率。

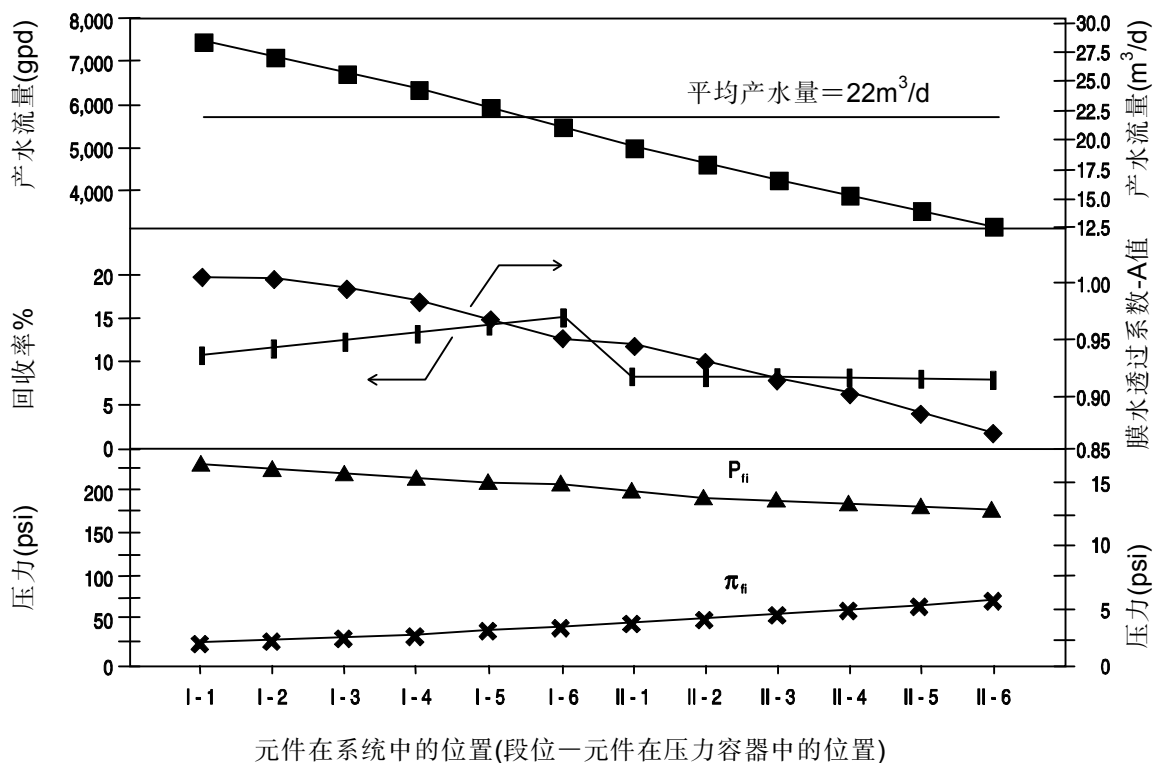
图 5-10 卷式 RO/NF 膜系统典型的两段式排列



若两段系统的回收率太低（如<55%），进入第一段的流量会太高，就会使得进水与浓水之间的压降过高，导致膜元件的水力剪切损伤，根据水质而定，一般情况下，FILMTEC™ 8 英寸元件的最高进水流量为 11~16m³/h。因此，回收率小于 55% 的系统应采用单段式排列，最大进水流量同时也限制了压力容器的排列比，一般不会采用超过 3:1 排列比的结构。当操作单支 RO/NF 元件系统时，所有的操作参数可随时测出，因而性能也可很快地推算出来。当大量的元件以很复杂的排列方式组合在一个系统中，而且只知道进口的操作参数时，预测系统的性能就相当困难。串联的每一支元件的进水压力及含盐量都在随时变化，这些变化的速度和程度不仅取决于进口条件和总回收率，而且也 and 系统排列如排列比例有关。

图 5-11 总结了给定系统内膜元件总体性能动态变化趋势，系统性能就是系统内每一支元件性能的综合表现，该图说明了在含 6 芯元件压力外壳的 2:1 排列系统中，5 种不同的元件性能参数是如何随元件在系列中的位置而发生变化的。此系统的操作情况：回收率 75%，水温 25℃，进水渗透压 1.4bar（20psi，含盐量约相当于 2,000mg/L）。

图 5-11 8 英寸 BW30 元件在 2:1 排列系统中每支元件性能变化趋势



调整进口压力使得第一支 BW30-8040（原 BW30-330）元件的产水量为 28.4m³/d（7,500gpd），此时为该元件在进水为 SDI₁₅<3 的井水时的最高允许产水量。

图 5-11 中最上面的变化曲线显示了每一支元件产水量很有规律地随元件在系统中的顺序递减，由第一段第一支元件的 28.4m³/d（7,500gpd）到第二段最后一支元件的 12.5m³/d（3300gpd），平均为 22m³/d（5,800gpd），约为最高容许产水量的 77%。

产水流量降低的原因是净渗透推动力， $\Delta P - \Delta \pi$ 均匀性地递减（ ΔP 为膜正面进水压力与膜背面产水压力之间的压差； $\Delta \pi$ 为两者之间的溶液渗透压之差）。由图最下面的两条变化曲线可明显地看出，上方的一条曲线表示每一支膜元件进水压力 P_{fi} 如何随每一支元件内上游浓水的压力损失而减低的。而下方的一条曲线表示，当含盐量低的产水不断从上游元件取出后，留下来越来越浓的浓水作为下一支元件的进水，这样下一支元件的进水渗透压 π_{fi} 如何随之增加的。这两条压力曲线的差值大约等于净渗透过程的推动力。

图 5-11 的中间部分的曲线较不明显但表示两个很重要的效应，图的右坐标表示每一支元件的回收率如何按顺序变化的，变化曲线的中断处代表了从第一段进入第二段，一般而言，单支元件的回收率在每一段内均按顺序逐渐增加，但第一段增加得较明显，系统设计工程师在使用膜系统设计软件时，必须确认第一段最后一支元件不要超过规定的回收率极限。随着元件回收率的逐渐增加，由于浓差极化之故，膜元件将经受更高的实际渗透压，如果让其恶化下去，会导致产水量的降低，产生膜面结垢或污堵。

图中间部分的另一曲线对应右坐标的刻度，表明了膜元件的另一个有趣的现象，膜的水力渗透系数或简称 A 值，为盐浓度的可逆函数，在高盐度时 A 值降低，在低盐度时 A 值增加。在该 12 支膜元件的实例里，前后 A 值相比整整下降了 15%，如要正确地设计系统产水流量，必须将这一点考虑进去。

5-11.2 设计方程与参数

某一具体的 RO/NF 系统性能包括给定进水压力条件下的系统产水量和脱盐率。简单地讲，RO/NF 系统的产水量 Q 与有效膜面积 S 和净渗透推动力 $\Delta P - \Delta \pi$ 成正比，比例常数称为膜的水力渗透系数 A 值，水力渗透方程式如下：

$$Q = (A)(S)(\Delta P - \Delta \pi) \quad (6)$$

盐份通过扩散作用透过膜正面，盐通量 N_A 与膜正反两侧盐份的浓度差成正比，比例常数称为盐扩散系数 B 值。

$$N_A = B(C_{fc} - C_p) \quad (7)$$

其中 C_{fc} = 进水和浓水间平均浓度

C_p = 产水浓度

基本上有如下两种方法计算某一具体设计的性能：

【元件逐渐逼近法】

这是一种最精确的计算方法，但采用人工手算相当麻烦，却适合采用电脑运算，第一支元件的所有操作条件包括进水压力，都必须预先假设。然后可以计算出该元件浓水的流量及压力，离开第一支元件的浓水就是第二支元件的进水。在计算完所有元件的结果之后，可能会发现原假设的进水压力过高或过低，因而必须假设一个新的第一支元件的进水压力，再次进行试差法计算。

采用陶氏 FILMTEC™ 反渗透系统分析软件，就可迅速获得上述试差法的精确结果，该软件可用于对系统的改进或优化设计。该软件的详细计算过程及方法在此不作具体叙述，但计算的方程式和参数列于表 5-7 中。

为了确定方程式 (6) 中的 A 、 ΔP 和 $\Delta \pi$ 值，产水量方程式 (6) 展开成方程式 (8)，经过转换方程式 (7)，产水浓度可由方程 (17) 导出，设计计算方程式列于表 5-9，所有符号的定义列于表 5-11。

【系统整体逼近法】

该方法较为容易，如果已知进水水质、温度、产水流量与元件数量，即可计算出进水压力与产水水质的平均值；如果已知进水压力而元件数目未知，则经过几次反复的计算即可推算出所需元件的数量，该法与元件逐渐逼近法计算结果的差距可在 5% 以内，设计计算方程式列于表 5-10，所有符号的定义列于表 5-11。

表 5-9 方程式中的下标 i 表示系统水流方向 n 支元件相串联中的第 i 支元件，为了计算出精确的系统性能，必须采用方程式 8，根据一组进水条件对每一支元件进行逐渐地计算，计算结果取决于每一支膜元件上的质量平衡，每支元件参数关系式如下：方程式 12 计算浓水浓度，方程式 17 计算产水浓度，方程式 25c 计算进水和浓水间平均流体阻力 P_{fi} ，方程式 14 计算温度校正系数 TCF，方程式 15 计算浓差极化系数 pf_i 和方程式 26 计算产水水力渗透系数 $A(\pi_i)$ 。这些结果通常涉及进水和产水侧的运行压力和渗透压的平均值。对于单元件低回收率系统，仅仅利用进出口间条件的算术平均值，就可以得到很高精确度的计算结果，即使在这种情况下，如果不能知道出口条件时，仍需采用试差逐步逼近算法。

表 5-9 RO 系统性能设计计算方程：单支元件的性能

计算项目	方程式	方程编号
产水流量	$Q_i = A_i \bar{\pi}_i S_E (\text{TCF})(\text{FF}) \left(P_{fi} - \frac{\Delta P_{fc_i}}{2} - P_{pi} - \bar{\pi} + \pi_{pi} \right)$	8
进水和浓水间平均渗透压	$\bar{\pi}_i = \pi_{fi} \left(\frac{C_{fc_i}}{C_{fi}} \right) (pf_i)$	9
产水侧平均渗透压	$\bar{\pi}_{pi} = \pi_{fi} (1 - R_i)$	10
比值：i 元件进水和浓水间浓度算术平均值与进水浓度之比	$\frac{C_{fc_i}}{C_{fi}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{C_{ci}}{C_{fi}} \right)$	11
比值：i 元件浓水与进水浓度之比	$\frac{C_{ci}}{C_{fi}} = \frac{1 - Y_i (1 - R_i)}{(1 - Y_i)}$	12
进水渗透压	$\pi_{fi} = 1.12(273 + T) \sum m_i$	13
FT30 膜温度校正系数	$\text{TCF} = \text{EXP} \left[2640 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]; T \geq 25^\circ\text{C}$ $\text{TCF} = \text{EXP} \left[3020 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]; T \leq 25^\circ\text{C}$	14a,b
FILMTEC™ 8 英寸元件浓差极化系数	$pf_i = \text{EXP}[0.7Y_i]$	15
系统回收率	$Y = 1 - [(1 - Y_1)(1 - Y_2) \dots (1 - Y_n)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Y_i)$	16
产水浓度	$C_{pi} = B(C_{fc_i})(pf_i)(\text{TCF}) \frac{S_E}{Q_i}$	17

表 5-10 RO 系统性能设计方程：系统平均性能

计算项目	方程式	方程编号
总产水量	$Q = N_E S_E \bar{A} \bar{\pi} (\text{TCF})(FF) P_f - \frac{\bar{\Delta P}_{fc}}{2} P_p - \pi_f \left[\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} p_f - (1 - \bar{R}) \right]$	18
比值：进水和浓水间系统平均浓度值与进水浓度之比	$\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{-\bar{R} \ln(1 - Y/Y_L)}{Y - (1 - Y_L) \ln(1 - Y/Y_L)} + (1 - \bar{R})$	19
极限系统回收率	$Y_L = 1 - \frac{\pi_f (\overline{pf})(\bar{R})}{P_f - \Delta P_{fc} - P_p}$	20
进水和浓水间系统对数平均浓度值与进水浓度近似比值	$\left. \frac{C_{fc}}{C_f} \right _{Y_L, \bar{R}=1} = -\frac{\ln(1 - Y)}{Y}$	21
平均元件回收率	$Y_i = 1 - (1 - Y)^{1/n}$	22
平均极化系数	$\overline{pf} = \text{EXP}[0.7 Y_i]$	23
进水和浓水间系统平均渗透压值	$\bar{\pi} = \pi_f \left(\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} \right) \overline{pf}$	24
8 英寸两段系统，进水和浓水间系统压降平均值	$\bar{\Delta P}_{fc} = 0.04 \bar{q}_{fc}^2$ $\Delta P_{fc} = \left[\frac{0.1(Q/1440)}{Y N_{V2}} \right] \left(\frac{1}{N_{VR}} + 1 - Y \right)$	25a,b,c
单支 8 英寸元件或单段系统进水和浓水间压降	$\Delta P_{fc} = 0.01 n \bar{q}_{fc}^{1.7}$	
进水和浓水间平均渗透压函数的膜水力渗透系数	$\bar{A}(\bar{\pi}) = 0.125; \bar{\pi} \leq 25$ $\bar{A}(\bar{\pi}) = 0.125 - 0.011 \left(\frac{\bar{\pi} - 25}{35} \right); 25 \leq \bar{\pi} \leq 200$ $\bar{A}(\bar{\pi}) = 0.070 - 0.0001(\bar{\pi} - 200); 200 \leq \bar{\pi} \leq 400$	26a,b,c
产水浓度	$C_p = B C_{fc} \overline{pf} (\text{TCF}) \left(\frac{N_E S_E}{Q} \right)$	27

表 5-11 符号定义

Q	元件 i 产水量(gpd)	$\sum_j$	所有离子总和
$A_i \pi_i$	25°C 时元件 i 水力渗透系数，它是进水和浓水间平均渗透压的函数(gfd/psi)	Y	系统回收率
S_E	元件膜面积(ft ²)	$\prod_{i=1}^n$	n 项串联乘积
TCF	膜产水温度校正系数	n	串联元件数量
FF	膜污堵因子	Q	系统产水量(gpd)
P_{fi}	元件 i 进水压力(psi)	N_E	系统中元件数量
ΔP_{fci}	元件 i 进水和浓水间平均压降(psi)	$\bar{Q}_i$	元件平均产水量(gpd) = Q/N_E
P_{pi}	元件 i 产水侧压力(psi)	$\bar{A} \pi$	25°C 时水力渗透系数，它是进水和浓水间平均渗透压的函数(gfd/psi)
$\bar{\pi}_i$	进水和浓水间平均渗透压(psi)	$\bar{C}_{fc}$	进水和浓水间系统平均浓度(ppm)
π_{fi}	元件 i 进水渗透压(psi)	$\bar{R}$	系统平均脱盐率
π_{pi}	元件 i 产水侧渗透压 (psi)	$\bar{\pi}$	系统进水和浓水间平均渗透压(psi)
pf_i	元件 i 浓差极化系数	$\Delta \bar{P}_{fc}$	进水和浓水间系统平均压差(psi)
R_i	元件 i 脱盐率 = $\frac{\text{进水浓度} - \text{产水浓度}}{\text{进水浓度}}$	Y_L	(最大) 极限系统回收率
C_{fci}	元件 i 进水和浓水间平均浓度 (ppm)	$\bar{Y}_i$	平均元件回收率
C_{fi}	元件 i 进水浓度 (ppm)	$\bar{pf}$	平均浓差极化系数
C_{ci}	元件 i 浓水浓度(ppm)	$\bar{q}_{fc}$	进水和浓水间算术平均流量(gpm) (=1/2(进水流量 + 浓水流量))
Y_i	元件 i 回收率 = $\frac{\text{产水流量}}{\text{进水流量}}$	N_V	系统中 6 芯压力容器数量($\approx N_E/6$)
π_f	待处理进水渗透压(psi)	N_{V1}	两段系统中第一段的压力容器数量($\approx 2/3 N_V$)
T	进水温度(°C)	N_{V2}	两段系统中第二段的压力容器数量($\approx N_V/3$)
m_j	第 j 种离子摩尔浓度	N_{VR}	段间压力容器排列比 (= N_{V1}/N_{V2})

5-12 陶氏膜系统分析设计软件的下载

陶氏 FILMTEC™ ROSA 设计软件可以用于预测系统的性能，同时使系统设计最佳化，还可以用于计算结垢倾向并可利用已有的运行数据评估现有系统的性能状况。

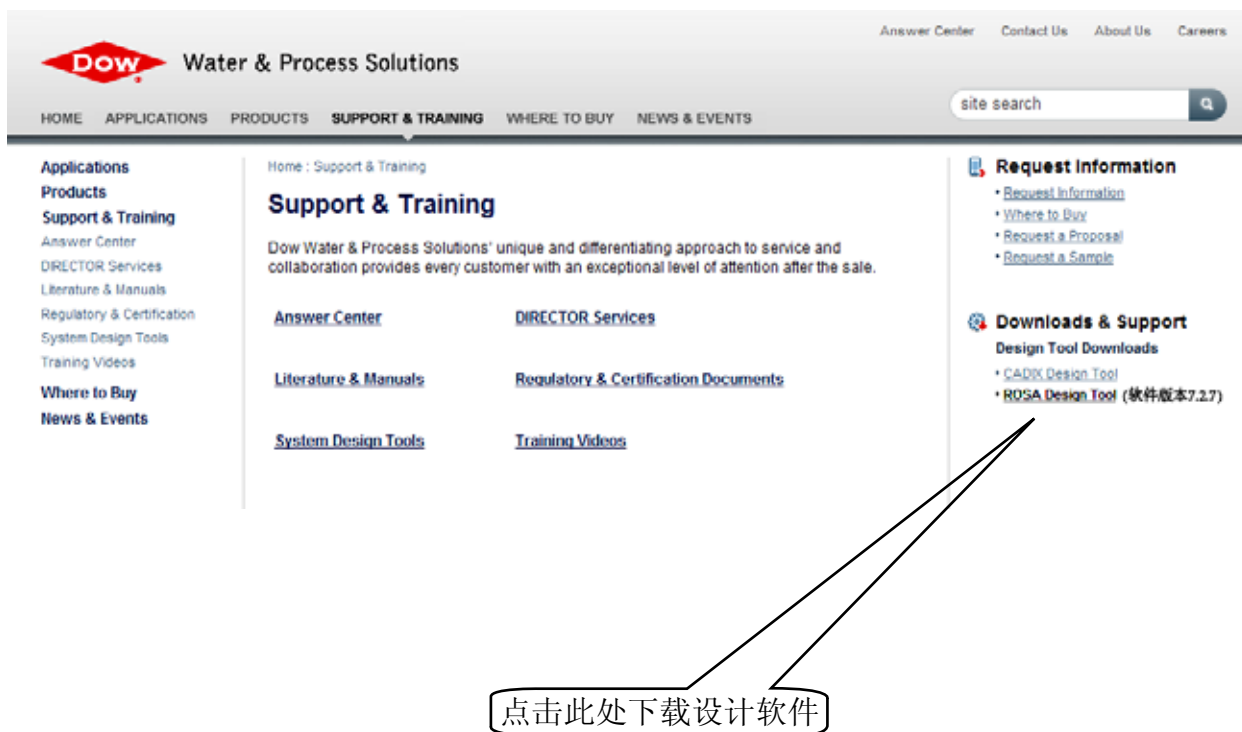
第 1 步 打开电脑，进入国际互联网 internet。

第 2 步 在地址输入框中输入网址：www.dowwaterandprocess.com

第 3 步 输入网址后，按回车（Enter）进入陶氏化学水处理及过程解决方案业务部的主页。

该主页有数个联接可以直接连到陶氏化学水处理及过程解决方案业务部相关产品主页。此外还包括：

- 问题解答中心（**Answer Center**）
- 联络我们（**Contact Us**）
- 下载设计软件（**Download Software**）
- 查询文献（**Literature**）等，如下图所示：



要下载陶氏膜设计软件 ROSA，只要在主页中点击左下角的 **Download Software** 超文本，即进入如下图所示界面。在该界面上除了可以下载 ROSA 及其安装说明之外，还可以下载陶氏离子交换设计软件 **CADIX** 及陶氏膜系统标准化软件 **FTNORM**，如需进一步的协助，可直接与陶氏公司液体分离部在中国的代表们联系。



第 4 步 在如下 ROSA 下载网页上，点击 **Download**：



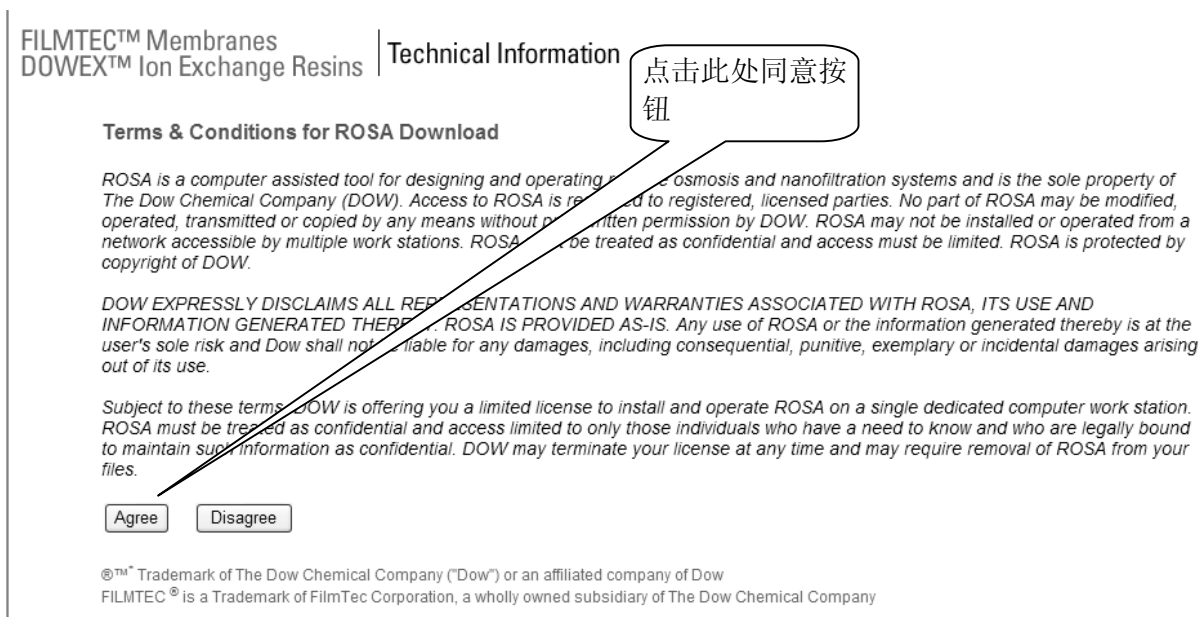
第 5 步 进入如下下载注册界面，要求您输入客户资料，便于今后的联络，然后按 **Continue** 提交资料，需特别说明的一点是，上述注册表中打“*”的部分为必须输入的内容。

[点击此处提交您的
登记资料](#)

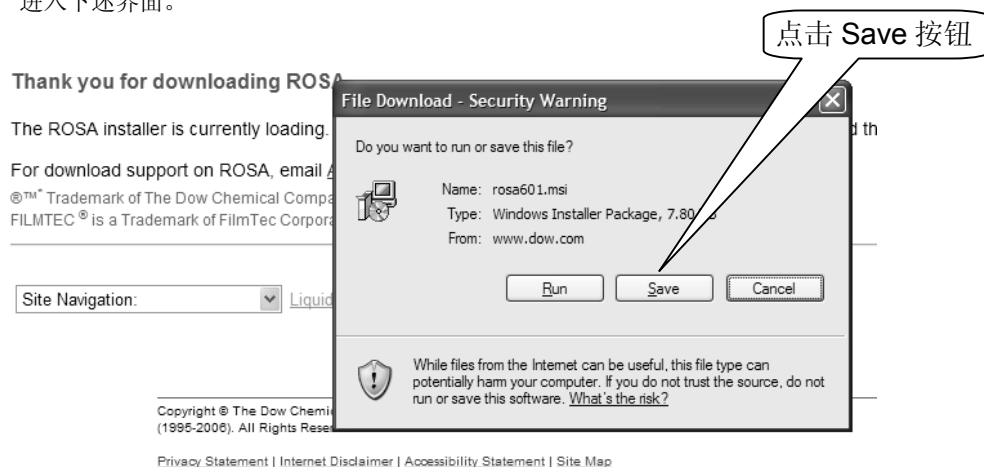


- 200 -

第 6 步 进入如下图所示 ROSA 下载协议条款界面，您必须选择同意 “Agree” 按钮，方能继续下载。



第 7 步 进入下述界面。



第 8 步 在上图中点击 “Save” 按钮，进入如下的保存界面。您可将 ROSA 安装文件保存在您指定的计算机路径下，然后再点击 “Save” 按钮进行下载。通过电话线下载时间约为 20~40 分钟左右，取决于网络的传输速度，通过局域网或宽带网下载仅需几分钟甚至几十秒。

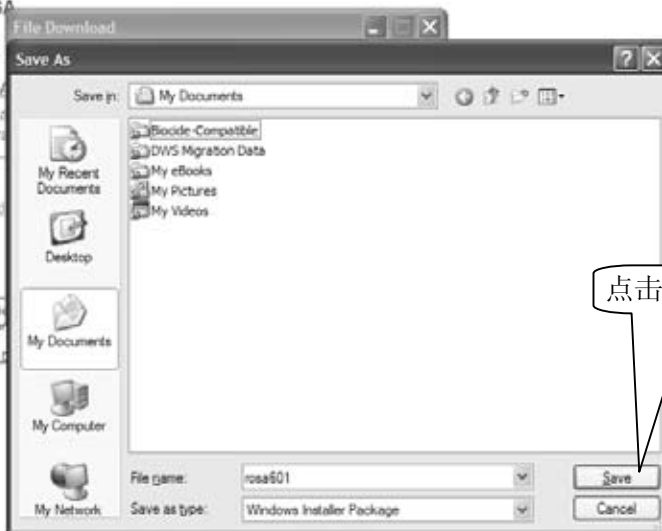
Thank you for downloading ROSA.

The ROSA installer is currently loading.

For download support on ROSA, email rosasupport@filmtec.com.
 ®™ Trademark of The Dow Chemical Company.
 FILMTEC® is a Trademark of FilmTec Corporation.

Site Navigation: [Home](#) [Products](#) [Support](#) [Contact Us](#)

Copyright © The Dow Chemical Company
 (1995-2006). All Rights Reserved.
[Privacy Statement](#) | [Internet](#)



Thank you for downloading ROSA.

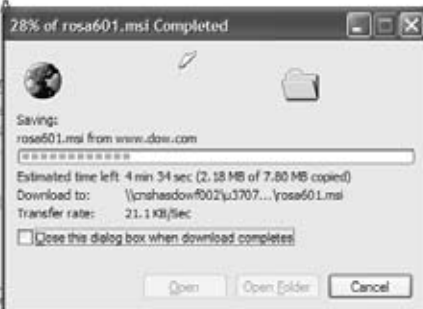
The ROSA installer is currently loading.

For download support on ROSA, email rosasupport@filmtec.com.
 ®™ Trademark of The Dow Chemical Company.
 FILMTEC® is a Trademark of FilmTec Corporation.

Site Navigation: [Home](#) [Products](#) [Support](#) [Contact Us](#)

Copyright © The Dow Chemical Company
 (1995-2006). All Rights Reserved.

[Privacy Statement](#) | [Internet](#) | [Accessibility Statement](#) | [Site Map](#)



Thank you for downloading ROSA.

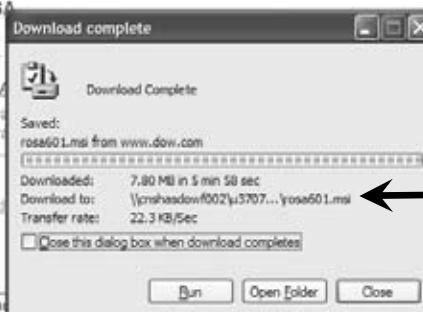
The ROSA installer is currently loading.

For download support on ROSA, email rosasupport@filmtec.com.
 ®™ Trademark of The Dow Chemical Company.
 FILMTEC® is a Trademark of FilmTec Corporation.

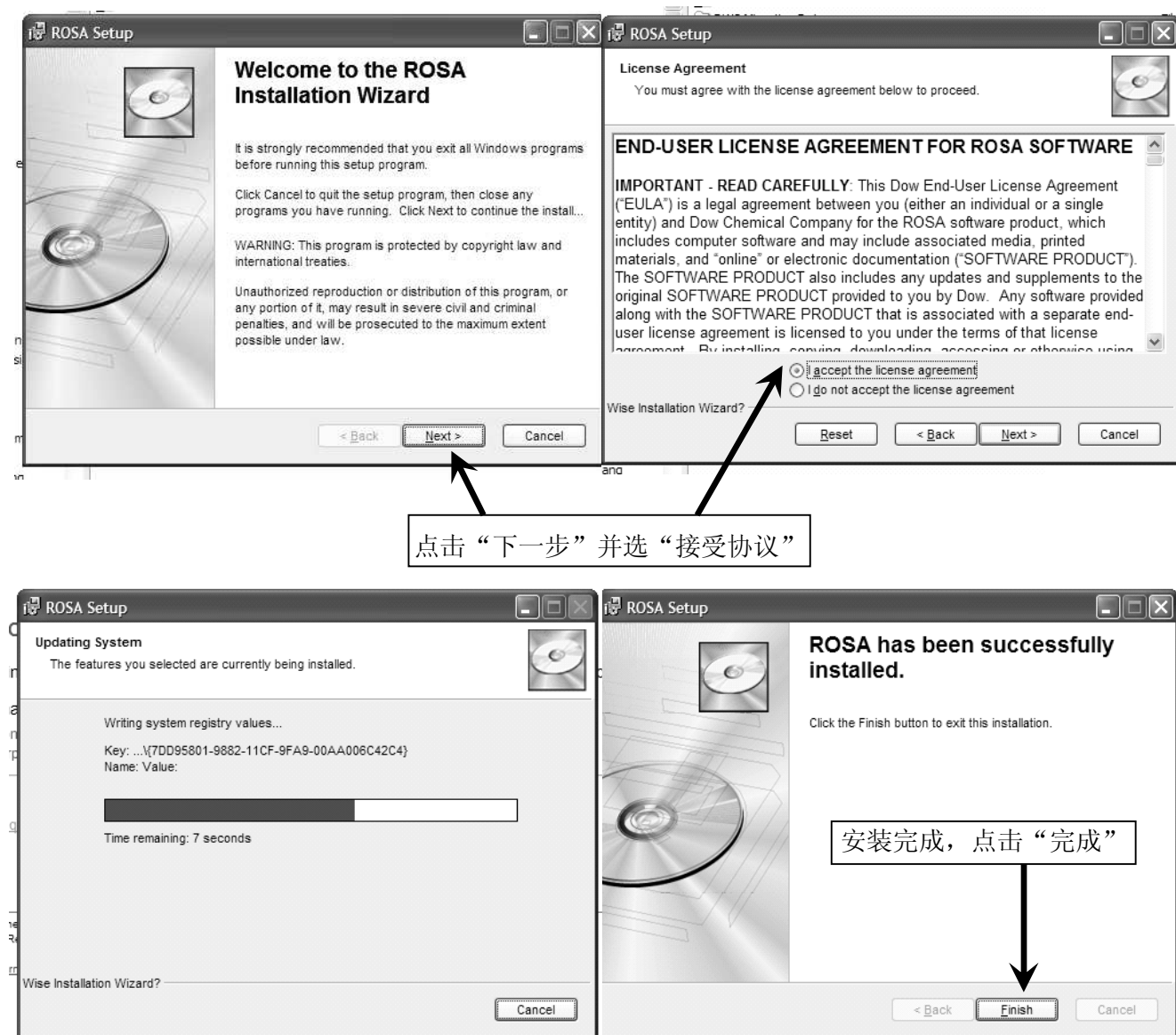
Site Navigation: [Home](#) [Products](#) [Support](#) [Contact Us](#)

Copyright © The Dow Chemical Company
 (1995-2006). All Rights Reserved.

[Privacy Statement](#) | [Internet](#) | [Accessibility Statement](#) | [Site Map](#)



第 9 步 在所存位置找到 **rosa.exe** 文件并双击，即可开始自动安装 ROSA 了。在安装过程中有问题，请与陶氏 液体分离部的代表联络，以便获得更多的帮助。



第 10 步 在“程序”中就可以找到 ROSA 设计软件并使用它了。

为了及时免费获得最新 ROSA 反渗透和纳滤系统设计软件的升级版本，敬请经常访问陶氏化学水处理及过程解决方案业务部网站 <http://www.dowwaterandprocess.com/>，按照<<ROSA 设计软件下载方法>>一节介绍免费下载。

5-13 试 验

对一来源和组成都清楚的一般水源的脱盐系统，其系统性能可以电脑设计软件 ROSA 很准确地预测出来，但在某些情况下，推荐经过试验来帮助获得合适的系统设计，这些试验包括：

- 无法了解进水水质；
- 特殊的产水水质要求；
- 无法了解进水水质的波动情况；
- 极高的系统回收率（> 80%）；
- 特殊或新应用领域，如新过程或废水处理；
- 大型系统，> 500m³/h（3.5 mgd）。

试验通常按下列不同层次依次进行。

5-13.1 筛选试验

筛选试验的目的是为所需的分离溶液体系选择合适的膜片，同时也能大概地了解该膜的水通量（L/m²h 或 gfd）及脱除率性能。试验方法为将一小片平膜装在小型评价池中，采用错流式对试验溶液体系进行运转，此法快速、低廉且仅需少量的试验溶液，但不能提供放大所需的工程资料和溶液对该膜的长期影响，也不能提供试验溶液对膜产生污堵的数据。

5-13.2 应用试验

应用试验将提供放大设计所需的资料如产水通量和产水水质随进水压力与系统回收率的变化趋势。通常用 2540 或 4040 膜元件，试验溶液需要 50~200 升（15~30 加仑），将膜元件安装在一套具有工程特点的应用试验评价装置上，在元件的操作极限范围内调整进水流量、进水压力和进水温度。

5-13.2.1 确定操作压力

通过调节进水压力直到所需的产水水质和产水通量值（一般为 10~34L/m²h，6~20gfd）来确定最佳的运行压力，当膜通量增加时，应维持足够的进水量，以保证低回收率（<5%），在第一阶段的试验里，产水和浓水均返回到进水水箱中去，在最佳产水通量和产水水质条件下得到的进水压力用于第二阶段的试验，第二阶段在该进水压力下确定回收率。

5-13.2.2 确定浓缩倍率和回收率

为了确定单支元件最大回收率，以分批处理的运行模式进行第二阶段的试验，此时可将产水输送到另一个水箱中而浓水回到进水水箱中，在试验过程中，同时监测产水流量和水质，当产水量降到不经济的低限或产水水质降为不合格时，停止试验运行，通过初始原水体积除去残留溶液体积计算浓缩倍率（CF），同时也可以通过原水体积减去残留溶液体积除以原水原始体积计算回收率。重复进行批处理试验，可以得到膜稳定性和污染方面的资料，但是包括清洗程序和长期性能的评估仅能通过模拟试验获得。

5-13.3 模拟试验

模拟试验通常取现场具代表性的部分原水以连续性模式操作，至少需要一支元件，建议长度为 40 英寸，最好选用与大型系统相同的元件排列，模拟装置的产水量至少应为该大型系统产水量的 1%且至少操作 30 天以上。其目的在于确认系统设计、对操作参数作细微的调整并减少大型系统中无法预见的风险。

5-14 系统主要部件

5-14.1 高压泵

必须控制高压泵的出口压力，既能维持设计产水量同时又不会超过膜元件最高允许进水压力，最大极限为：

- TW, BW 和 NF 元件 41bar;
- SW30 元件 69bar;
- SW30HR, SW30ULE, SW30XLE, SW30HRLE, SW30ULE 元件 82bar。

5-14.1.1 正位移泵（柱塞泵）

正位移泵（如柱塞泵）不允许在出口采用节流阀控制其出口流量和压力，只能利用设置泵进出口之间旁路上的背压阀来控制，需要在泵出口管线上安装缓冲装置，降低压力脉动，还应设置安全泄压阀，以保证任何情况下其出口压力不超过膜元件最大允许值。

5-14.1.2 离心泵

使用安装在离心泵出口管线上的节流阀来控制其出口流量和压力，大多数膜系统使用恒转速电机驱动离心泵，使用变转速电机驱动虽然投资较高，但运行能耗低，当进水高低温差超过 5 oC 时可考虑变速电机驱动离心泵。

在海水淡化系统中，一般 55~60% 的高压浓水以大约 60bar 的压力离开系统，这部分能量可以加以回收以降低系统的吨水单位能耗，能量回收方法如下：

- 冲击水轮式（Pelton Wheel）
- 反转透平
- 活塞型功交换器
- 压力交换式（PX）

高压浓水引入能量回收装置后，转换成旋转机械能输出，帮助主电动机一道驱动高压泵，能量回收装置节能可达 40% 左右。

5-14.2 压力容器

压力容器有各种不同直径、长度和压力等级，在选用压力容器时，所选择的压力等级必须高于因膜污染需要提高运行压力情况下的最高压力（一般要求，必须比 3 年后系统运行压力设计值高 10%）。当运行产水侧出现动态压力时，此时某些压力容器产水出口强度会成为制约因素，如某些采用聚氯乙烯（PVC）材质制造的压力容器，此时应咨询压力容器制造商。

5-14.3 紧急开关

当发生不正常操作状态时，必须保护膜元件，如果出现这类状况如预处理失误等，必须立即关闭设备。下表列举了一些不正常的操作情况及其处理的方法：

不正常情况	处 理 方 法
进水压力太高	在高压泵出口管线上装高压保护开关
供水水压不足	在高压泵吸入口管线上装低压保护开关
进水温度太高	在进水管线上设置高温保护开关
产水压力超过进水压力 0.3bar	在产水管线上设置压力泄放安全装置
进水颗粒、胶体浓度太高	在进水管线上设置浊度和 SDI 自动控制装置
进水难溶盐浓度太高	投加酸及阻垢剂的加药泵需与高压泵电机有电子联锁 设置进水高 pH 值保护开关
进水中存在氧化剂	进水中设置 ORP 控制器或氯自动监测装置，并能自动关闭系统
进水中含油脂	进水中设置油类监测设备

5-14.4 阀 门

在 RO/NF 系统中通常使用以下几类阀门：

- 整个系统进水阀，当需要对系统进行维修或保存系统时，起良好的切断作用；
- 离心泵泵出口端或正位移泵旁路上的调节阀，应能控制操作压力及系统升压速度；
- 泵出口端应该装设止回阀
- 产水管路上应装设有止回阀及防止产水压力超过进水压力的对地压力泄放阀；
- 浓水管路上应设有控制回收率的浓水流量控制阀（注意：不可使用背压阀）；
- 产水管线上应装有排放阀，用于清洗或开机时排放不合格产水；
- 进水和浓水管路上应设有连接清洗回路的阀门（每段能单独清洗）。

5-14.5 控制仪表

为保证 RO/NF 系统的正常操作，必须安装一些必要的仪表，仪表的准确度也相当重要，应按照制造商的规定进行仪表安装与校正。

- 压力表用于测量保安滤器的压降、泵进出口的压力、膜元件进口压力、系统段间压降和产水压力，充液的压力表应使用与膜相兼容的液体如水或甘油，而不允许使用油脂或其它不溶于水的液体；
- 流量计用以测量浓水和产水总流量以及每一段的产水流量；
- 产水和进水管线上的水表用以记录累积的产水量及系统耗水量；
- 计时器用以记录累积的操作时间；
- 在加酸之后的进水管路上安装 pH 仪用以监控碳酸盐是否结垢；

- 电导计安装于进水、浓水和产水管线上以检测产水水质和系统表观脱盐率；
- 在进水、浓水及产水管线上（总产水及各段分产水）均应设置取样口，便于评估系统的性能表现，并建议在每支压力容器的产水出口设置一个取样口，以方便今后的故障排除。

5-14.6 水箱

水箱内的的水位通常应保持在最低的水位以上，必须正确地安装水箱的进出口管线，避免水箱内存在死角，还须对水箱采取防止尘埃及微生物污染的措施，特别严格的使用条件下，要求水箱为密闭型，并设置特制的水箱呼吸过滤器。

5-14.6.1 原水水箱

当用氯进行原水处理时，该水箱必须提供 20~30min 的反应时间，介质过滤器内的自由空间也可起这样的作用。原水水箱还常常起到缓冲作用，以便 RO/NF 系统在滤器反洗期间仍可连续运行。系统的操作模式为分批或半分批时，总是需要有原水水箱。

5-14.6.2 产水水箱

当产水为所需的产品时，一般需要设置产水水箱，系统的起动与停机均与产水水箱的高低液位相连锁。RO/NF 系统的处理量与产水水箱的大小应作适当的设计，使得系统可以连续运转几小时。系统停机的频率愈低，则系统的性能表现愈佳。

5-14.6.3 产水回吸水箱（drawback tank）

当系统停机时，因自然渗透的作用，产水将从膜背面的产水侧返回穿过膜进入膜正面的浓水侧，设置产水回吸水箱（drawback tank）的目的是为产水管线提供足够的回吸所需的水量，一般容积较小，一般在海水淡化系统而不是在苦碱水系统中需要。未设置产水回吸水箱时，将可导致将空气吸入膜元件内，这可能会引起以下的问题：

- 空气中的细菌及真菌将污染膜的产水侧；
- 当下次开机空气从系统中强行排出时，水力与空气的冲击将损坏仪表并影响其设定值；
- 膜元件内的膜片将因失水而干燥（水通量的损失）；
- 如进水呈还原状态且含有 H₂S, Fe²⁺, Mn²⁺等，空气的侵入可能会导致膜氧化和胶体沉淀污染。

假如系统的产水已经过加氯处理，则必须使加氯过的产水不会回吸到膜元件内。如果设计产水回吸水箱，其中的产水水位必须高于压力容器的最高点，但不可超过系统最低压力容器 3 米。为避免造成污染，产水由回吸水箱的底部进入，而由上方流出，而且回吸水箱应该有盖，如果要求产水进行加氯后处理，则加氯点须在此水箱之后。

产水回吸水箱容积大小可按下式计算：

$$V_{DBT} = (25T_E) - V_{PP}$$

式中： V_{DBT} = 回吸水箱容积（公升）

T_E = 系统使用元件数

V_{PP} = 压力容器与产水回吸水箱间产水管线的体积（公升）。

5-14.6.4 加药箱

对进水进行投药处理时，必须设置加药箱，其容积一般为一天的药剂使用量。

5-14.6.5 清洗水箱

属于清洗系统设备的一部份，详见清洗与消毒部分的介绍。

5-14.7 可选设备

各种可选设备及其特点对于系统的操作和监控是有帮助的：

- 停机后的系统自动冲洗装置采用经预处理过的原水或直接用产水冲洗膜元件的浓水侧。当预处理投加抗垢剂时，必须设置系统停机自动冲洗装置；
- 报警装置
 - 1) 高产水电导；
 - 2) 高浓水电导；
 - 3) 低进水 pH 值；
 - 4) 高进水 pH 值；
 - 5) 高进水硬度；
 - 6) 高进水温度；
 - 7) 低加药箱液位。
- 连续纪录装置
 - 1) 进水温度；
 - 2) 进水 pH 值；
 - 3) 进水及产水电导；
 - 4) 进水 SDI 值；
 - 5) 进水及浓水流量。
 - 6) 进水、产水及浓水压力；
 - 7) 进水 ORP 值；

在完美的理想设计中，应安装一套能在线实时记录与处理系统所有重要操作数据的监控装置。

- 具有保证系统安全操作的自动控制装置和马达起动装置，包括过滤器自动反洗、膜元件自动清洗及系统自动低压冲洗。
- 压缩空气系统，包括空气压缩机、空气干燥器、空气控制站及整套空气管路。
- 1~2 年操作备品备件。
- 通用及专用工具。
- 其它选择包括系统操作培训、监督及维护。

5-15 材质选择和腐蚀控制

从腐蚀的观点来看，RO/NF 系统的运行环境普遍比较恶劣，因此其建造材质须具备相当程度的抗腐蚀性，包括暴露于有飞溅、潮湿和含盐雾中的设备外表面及接触不同水质的系统内表面。

如果不低估外表面的腐蚀问题时，一般采用表面涂层（如上油漆或镀锌等）对可能会腐蚀的材质如低碳钢和铸铁做防腐

处理，或建立一套定期冲洗、清洗和补漏等维修计划。

选择内部与溶液接触的材质才是一件更复杂的工作，所选用的材质除了必须承受系统的运行压力、振动及温度等变化之外，还须能够抵抗进水及浓水中的氯离子的腐蚀，产水低 pH 值对管路的腐蚀以及膜清洗化学药品的腐蚀等。腐蚀产物会造成膜的污堵，加快膜的非正常降解，因此从预处理系统开始，设计者一定要重视防备系统所有过流部分的腐蚀问题，必须选择由耐腐蚀材料制作的管道、仪表、阀门、水泵、过滤设备、水箱和储槽等。根据不同部件的使用特点以及原水和产水水质的特点，可使用塑料、不锈钢、钢衬胶或钢衬塑和玻璃钢复合材料等。

就反渗透和纳滤本体而言，高压泵、高压管路及保安滤器材质均应选用不锈钢，而产品水输送管和储槽一般采用非腐蚀的优质 PVC、UPVC、ABS 工程塑料和玻璃钢复合材料等，而选择衬胶管线通常不是现实，因为膜系统本体通常采用紧密的管线设计，而且需要使用不少的联接件与配件。

不锈钢的基本优点是对一般腐蚀具有很好的抵抗力。不锈钢很少产生电流腐蚀和应力腐蚀破坏，但不锈钢却容易发生点蚀和缝隙腐蚀，点蚀代表金属受到局部侵蚀，在其表面上造成凹陷孔洞，如果氧化铬钝化层被破坏，氯离子就会攻击裸露的金属形成点蚀。缝隙腐蚀与小孔、垫片表面、沉积物周围以及螺丝下的裂缝等处的一小撮静止水所导致的点蚀有关。为避免发生膜系统高压管路的点蚀及缝隙腐蚀，建议如下：

- 在一般水源条件下，可以选用 AISI304 材质的不锈钢（国内相似组成的不锈钢材质为 SS321，0Cr18Ni9 或 1Cr18Ni9Ti 等）
- 当原水含盐量在 2,000~5,000ppm 时，建议选用含碳量小于 0.08% 的 AISI316 不锈钢；
- 当原水含盐量在 5,000~7,000ppm 时，建议选用含碳量小于 0.03% 的 AISI316L 不锈钢；
- 当原水含盐量在 7,000~30,000ppm 时，建议选用含钼量为 4.0~5.0% 的 904L 不锈钢；
- 当原水含盐量在 32,000ppm 以上的海水时，建议选用含钼量大于 6.0% 的 254 SMO 不锈钢；

不锈钢组成如下：

项目	UNS No.	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Cu %	N %
AISI 316	S 31600	< 0.08	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	--	--
AISI 316L	S 31603	< 0.03	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	--	--
904L	N 08904	< 0.02	19.0~23.0	23.0~28.0	4.0~5.0	1.0~2.0	--
254 SMO	S 31254	< 0.02	19.5~20.5	17.5~18.5	6.0~6.5	0.5~1.0	0.18~0.22

除了上述建议外，在设计与加工时还应注意：

- 尽量减少管路缝隙及死角；
- 高压管道设计流速须高于 1.5 m/s；
- 焊接应采用内外惰性气体保护焊，如氩弧焊等，焊前应对焊接处作清洗干燥处理，焊后作热处理；
- 酸洗并钝化管线；
- 停机前用低含盐量原水或 RO 产水冲洗置换浓水。

5-16 便于今后排除系统故障的设计建议

当设计或购买大型膜系统时，为有利于今后进行故障排除，有些设备设计和附件应该包含。根据系统的规模和复杂程度，您应该与系统供应商讨论本节的部分或全部的建议。就系统的基本操作而言，这些均不是完全必须，但是所有这些内容能使日常操作和故障的排除更容易、更迅速、更有效。

5-16.1 装卸及故障排除空间

即使膜系统已经足够的紧凑，人们常常还想采用更加密集的方式布置设备、管道和支撑件，以致于达到十分拥挤的程度，限制了操作和维修时接近膜系统。良好的设计应该使操作和维护人员能无障碍地接近所有压力容器的进水和浓水端，从事元件装卸和故障排除。当装填元件时，压力容器进水端与最近的设备或支撑件间至少必须有一支元件的长度，当取出元件时，通常还需更多的空间，以便于使用木板或其它的工具将元件推向压力容器的浓水端。

5-16.2 设有能探测单支元件和单个压力容器的取样接口

当进行元件的故障排除时，第一步总是试图确定问题的所在部位，某一段，某一压力容器甚至某一支元件，在所有的压力容器产水出口处设置取样口非常有助于这些操作，取样口要能让单元件探测管通过。应设置专门的进水、浓水和段间取样点，便于将问题锁定在某一级，并便于作系统质量平衡，确认流量测定仪表的准确性和设定最大系统回收率。

5-16.3 段间性能监视仪表

除了简单的取样口外，系统完善的下一步是方便采集数据、进行系统性能的标准化，与投运初期的系统基准性能作比较。这就要求在系统段间安装合适的仪表测量段间进水、浓水和产水的电导或 TDS、压力、温度和流量，在获得这些数据后，每段的性能都能检测，从分析标准化数据就能在早期诊断故障，虽然通过系统的质量平衡计算可减少一些仪表的设置，但是配全仪表再作质量平衡，可以检验数据的一致性，同时还监视了仪表的可靠性。

5-16.4 在线标准化

按照系统跟踪的概念，最高级别的做法是用在线仪表将采集的现场数据不断地传输给标准化程序，进行连续的标准化。对特大型或进水条件不断变化的系统，理应设置在线控制。

5-16.5 每段能够单独清洗

许多大中型系统配有在线清洗系统（CIP），这一设计建议必须考虑配置足够的管路和阀门，以便对系统的每一段单独进行化学清洗，这一做法无疑将使清洗操作更为有效。如果多段同时清洗，第一段的污浊物、生物污染物和无机结垢物在从系统清除前必须经过下一段，降低了清洗效率，在线清洗系统还须为清洗提供合适的流量并设有加热清洗液的部件。

5-16.6 能够进行产水冲洗

减低清洗频率的一种配置是为系统设置定期产水清洗，通过循环反渗透产水进行产水冲洗或使产品水高流量通过系统，能够在污染层粘附膜表面前松动它并将其从膜元件内冲出。在处理废水时，设计带有产水自动冲洗功能特别重要。

5-16.7 SDI 测量装置及其测量点

最重要的系统预处理诊断工具是拥有和使用 SDI 仪表，就象能够探测单支元件和单个压力容器就可以锁定潜在的膜装置故障那样，在预处理部分设有测量接口并配置 SDI 仪就能迅速地锁定预处理故障点的位置。

5-16.8 现场试验台

如能够在水处理现场开展一些实验室工作就意味着能够进行水质跟踪分析，特别有利于预处理化学药品的投加。

5-16.9 单元件测试装置

能够在水处理现场进行单元件的试验确实很有意义，被怀疑有问题的元件可以得到迅速地测试和判断其性能好坏，此外，在对整个工厂进行清洗前，拟采取的清洗策略可从单个污染元件的清洗进行试验和印证。

条件允许时，对于使用标准 8 英寸规模大于 500 支膜的系统，尤其是进水为复杂水源、废水或浓缩分离体系，建议设置能同时清洗和评价一支压力容器内膜元件数的单元件装置（例如选用的压力容器为六芯装，就应设置六支单芯装压力容器组成的清洗评价装置），以便操作者探索最适宜清洗条件，或对污染严重的系列连续地取出每支压力容器内的元件，单独平行清洗，最大限度的恢复膜元件的性能。

第 6 部分 安装与操作

6-1 装卸元件

本节介绍装卸陶氏 FILMTEC™ 反渗透（RO）和纳滤（NF）元件的方法，当您组装或拆卸压力容器端板时，应该带上压力容器制造商提供的示意图作为参考。

6-1.1 装卸准备

为了记录每支压力容器和膜元件所处的相对位置，首先应设计一张用于辨别压力容器和膜元件安装位置的示意图，装卸元件的同时，请立即在示意图上填写 FILMTEC™ 膜元件的序列号（位于元件标签上）作为元件编号，标明压力容器和膜元件位置的示意图将有助于你跟踪系统中的每一支元件运行情况。建议装卸元件前还应准备下列物品：

- 安全橡胶靴
 - 防护眼镜
 - 甘油
 - 橡皮手套
 - 硅脂润滑剂
 - 钳子
 - 干净的布
- 1) 仔细检查上游进水管路并从中除去所有的灰尘、油脂、金属碎屑等，如有必要，应对进水管路和反渗透压力容器进行化学清洗，以保证所有的异物均被有效除去。
 - 2) 仔细检查进水质量。元件安装前，应该让经预处理系统的合格水流过膜压力外壳 30 分钟，同时检查进入反渗透的水质是否符合膜元件进水规范要求，检查管路是否有泄漏。
 - 3) 拆下压力容器的端板和止推环。不同压力容器制造商的端板结构可能不相同，拆卸时应参考其产品示意图。
 - 4) 用干净水冲洗已打开的压力容器，除去灰尘和沉积物。如果需要进一步清洗的话，可做一个大到能填满压力容器内径的拖把，让拖把吸满 50% 甘油水溶液，在压力容器内来回拖拉几下，直到压力容器内壁干净和润滑为止。
 - 5) 安装元件前，要保证安装和投运系统的所有零部件和化学药剂均齐全，预处理系统运转正常。
 - 6) 仅当计划马上投运系统，才可打开包装，安装膜元件，否则应在原包装内密封存放膜元件。

6-1.2 安装元件

- 1) 从包装箱内小心取出膜元件，检查元件上的盐水密封圈位置和方向是否正确（盐水密封圈开口方向必须面向进水方向，请参阅膜元件性能规范资料上的示意图，如图 6-1 所示）。
- 2) 将膜元件不带盐水密封圈的一端从压力容器进水端平行地推入，直到元件露在压力容器进水端外面约 10 公分左右。注意必须始终从压力容器进水端安装元件，如图 6-1 所示。
- 3) 将元件间的连接内接头插入元件产水中心管内，在安装接头前，可在接头“O”形圈上涂抹少量的硅基“O”形圈润滑剂（道康宁 111 可以使用，特殊不能使用的场合除外。陶氏化学公司推荐使用化学纯甘油作为连接接头和“O”形圈的主要润滑剂，甘油是符合 FDA 的规定化学品），如果没有，请直接用合格预处理水润湿即可。
- 4) 从包装箱内小心取出第二支膜元件，同样检查元件上的盐水密封圈位置和方向是否正确，小心托住该元件并让第一支元件上的内接头插入元件中心产水管内，此时不能让连接内接头承受该元件的重量，平行将元件推入压力容器内直到第二支元件大约露在外面 10 公分左右，如图 6-2 所示。

图 6-1

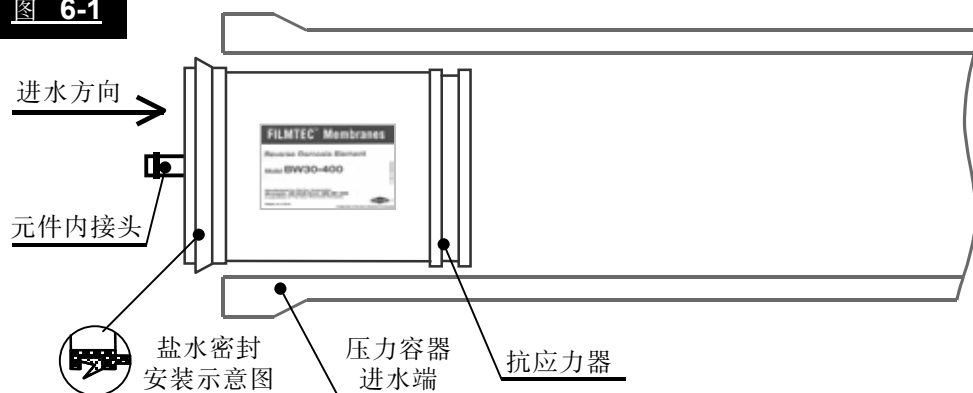
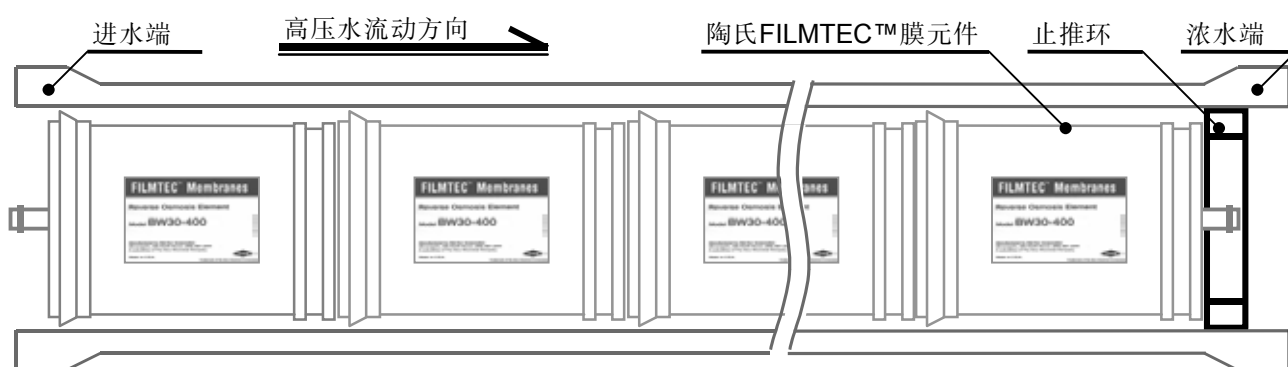


图 6-2



- 5) 重复步骤 3)和 4)直到所有元件都装入压力容器内，转移到浓水端，在第一支元件产水中心管上安装元件内接头，如图 6-3 所示，元件和压力容器的长度决定了单个压力容器内可装膜元件数量。

图 6-3



- 6) 在压力容器浓水端安装止推环，如图 6-3 所示，定位止推环时应参考压力容器制造商的示意图。不能遗忘止推环的安装，未在压力容器浓水端安装止推环将会严重损坏膜元件。
- 7) 按以下步骤先安装压力容器浓水端的端板。

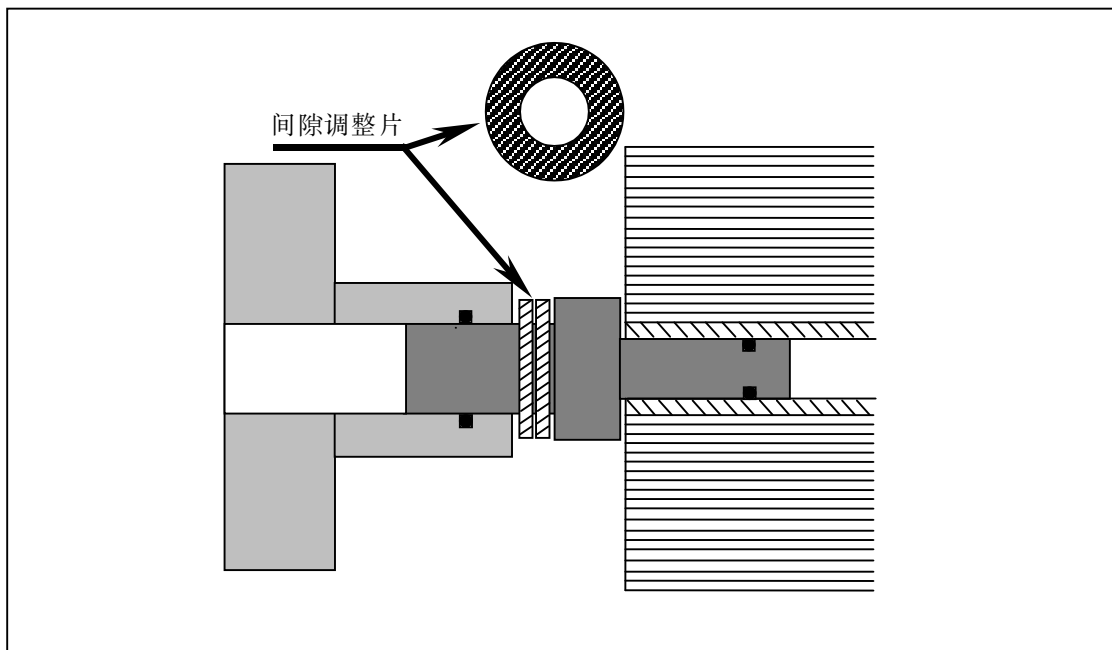
- 7-1) 认真地检查元件适配器（元件与端板间的过渡接头，俗称手榴弹）上的“O”形圈，将元件适配器插入浓水端板内，为了与外部管路的连接，应仔细定位压力容器浓水端端板，对准元件内接头将浓水端板组合件平行推入压力容器。
- 7-2) 旋转调整浓水端板组合件，使之与外部连接管对准。
- 7-3) 按照压力容器制造商的示意图，安装端板卡环。
- 8) 从进水侧将膜元件推向浓水侧直到第一支安装的膜元件与浓水端板牢固的接触。
- 9) 与步骤 7)相似安装进水端端板。在安装进水端板前，建议用调整片调节膜元件和端板间的间隙。安装调整片能够防止元件在系统开机和停机时的轴向窜动和元件间的冲击。请参阅<<调整膜元件在压力容器内的轴向间隙>>一节的详细介绍。
- 10) 重复以上步骤，在每一支压力容器内安装膜元件并连接所有的外部进水、浓水和产水管路。

6-1.3 调整膜元件在压力外壳内的轴向间隙

膜元件压力容器其内部长度会有一定的过盈尺寸允许元件长度的微小变化，由于过盈的存在，开机和停机时膜元件会在压力容器内前后滑动，加速密封件的磨损，此外升压时压力容器也将伸长，在极端情况下，与进水或浓水相邻的元件可能会从端板上脱离开来，从而产生严重的产水渗漏。在装配元件时调整膜元件在压力容器内的轴向间隙就可减少装置开停机时元件的窜动，保证内接头与最前面和最后面的元件均能牢固的接触密封。

调整间隙片可采用垫片状塑料环，通常为 5mm（0.20 英寸）厚，其内孔直径略比端板内接头外径大。图 6-4 是安装多个间隙片的典型示意图，它能保证将所有元件紧紧地顶住止推环和压力容器的浓水端板。

图6-4 调整垫片及其安装示意图



可从压力容器制造商处购买调整间隙片，也可截取合适的聚氯乙烯（PVC）管等自行制作，当从管子上下料时，必须去除毛刺，且端面平整而平行，才能正确地发挥作用。

必须将膜元件完全地推入压力容器内直至下游元件牢固地顶住压力容器浓水端板止推环，按如下程序安装膜元件调整间隙片：

- 1) 取走内接头上的“O”型密封圈和压力容器进水端板上与外壳间的密封圈，这样能够保证不会有任何来自密封件的干扰，并尽可能降低所需的预推入进水端板的压力。
- 2) 在连接膜元件产水口接头上装入 8 个 0.2 英寸厚（5mm）垫片，装上进水端板，装入足够多的垫片直至无法装上端板外的卡环为止。
- 3) 此时去掉一只垫片直到您正好可以装上端板及其卡环，轻微的元件松动是允许的。
- 4) 再拿出进水端板，重新装上内接头“O”型圈和端板密封圈。
- 5) 再按膜壳制造商的指南完成压力容器的安装。

当遇到压力容器特别长而膜元件总长又较短的极端情况时，您可能需要同时调整进水及浓水端的间隙，此时调整的步骤同上，但特别需要注意的是，在浓水端产水内接头上加装调整垫片的同时还必须在止推环上加装同等数量和厚度的 8 英寸直径的调整垫片。如果在浓水端加入调整垫片而未在止推环上安装调整垫片，膜元件就会发生“望远镜”型破坏的后果。

6-1.4 拆卸元件

当要从系统压力容器中止拆卸膜元件时，应由两人按如下方法执行：

- 1) 首先拆掉压力容器两端外接管路，按压力容器制造商要求拆卸端板，将所有拆下的部件编号并按次序放好。
- 2) 从压力容器两端拆下容器端板组合件。
- 3) 必须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元件，当元件被推出压力容器时应及时接住该元件，防止造成元件损坏或人员受伤。

6-1.5 安装空白假元件

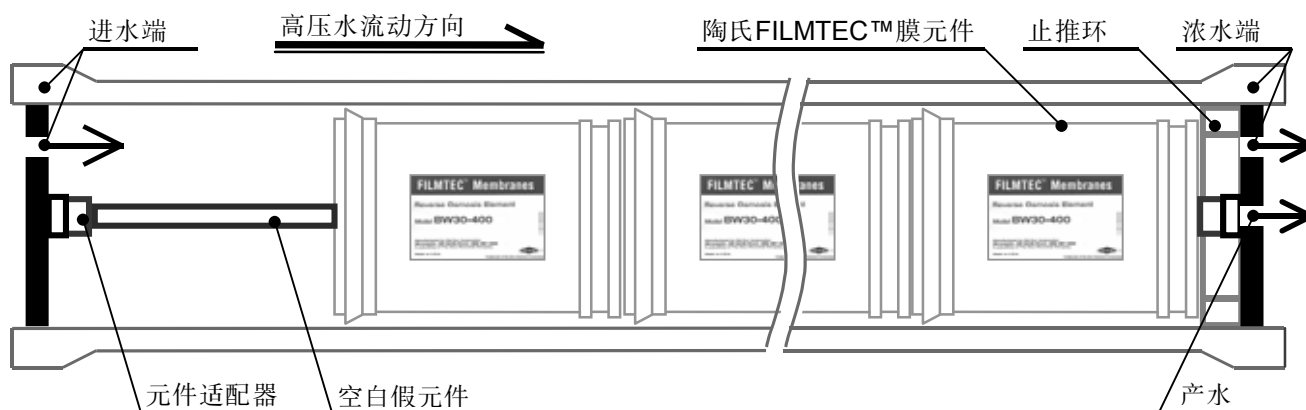
当希望减低系统总产水量时，在大型系统中，通常可以通过停运某些系列来实现；而在有些系统则可以采用降低运行压力的方法，但是降低运行压力将会降低总产水水质，此时有必要从系统中取出前端的膜元件，装入空白元件。空白元件有时又称为“假元件”，它实际上是没有产水小孔的标准产水中心管；有时为了优化较小系统的水力学分布，在系统设计时就应考虑空白假元件。

为了保证系统的安全，正确安装空白元件十分重要，每支压力容器仅允许安装一个空白元件，而且必须总是安装在压力容器进水最前端的位置（如图 6-5 所示），如果装在压力容器内的其它位置，空白元件产水管会受压发生断裂。同一段内的所有压力容器必须同时安装空白假元件，如果同一段压力容器内的真元件数量不一样，将会出现严重的系统偏流，这是不允许的，安装空白元件步骤如下：

- 1) 取出压力容器进水端第一支元件即最前端的膜元件。
- 2) 检查元件与端板间的适配器（俗称压力容器手榴弹）和元件上的内接头，确保上面的“O”圈完好无损，位置正确，否则必须更换成新的“O”形圈。
- 3) 在空白元件上插入内接头，先将压力容器内的所有元件完全推向浓水端板，然后将含内接头的空白元件推入第二支元件的进水端中心管内。

- 4) 部分插入元件内接头和压力容器适配器，以便让所有的部件能在同一直线上；另一种做法是，在进水端板外的产水出口处插入一根较长的导向棒或管子，以便于所有的部件能平行的推入压力容器内。
- 5) 安装压力容器进水端板，完成后空白元件在压力容器内的正确位置如图 6-5 所示。
- 6) 重复上述步骤，完成所有应该安装空白假元件的压力容器内的安装。
- 7) 安装所有外部连接管路。

图 6-5



6-2 系统操作管理

6-2.1 序 言

正确的系统操作和维护管理是保证 RO 和 NF 膜系统长期高性能稳定运转的关键，它包括系统的首次投运和日常开停机操作，膜元件污堵、结垢、堵塞、氧化降解以及水力冲击破坏等的预防。这些方面不仅在设计时应该给予充分的考虑，而且在制造、安装调试、操作培训和日常运转管理时更应密切关注。必须保存运行记录并进行数据的标准化，以便及时掌握系统实际性能，必要时立即采取纠正措施。当提出系统性能保证要求时，也需要提供完整和准确的记录。

6-2.2 首次启动

在第一次投运膜系统之前，必须完成预处理检查、膜元件的安装、仪表的校正和系统的其它检查工作。

6-2.2.1 仪器设备

通常系统首次试运行应在安装膜元件之后立即进行，试运行之前需要准备好如下的设备：

1. 防护眼镜
2. 温度计
3. pH 计
4. 电导率仪（应配齐测定产水、原水、浓水电导范围的对应电极）
5. SDI 测定仪
6. 称重磅称
7. 备用元件（必要时）
8. 单元件测试装置（必要时）
9. 水样取样瓶

- 体积，至少 125mL
- 材质，高密度聚乙烯 HDPE
- 数量，足以对取水点水源、系统进水、产水和浓水取样；如整个系统有多套膜系列，则每个系列应备一套取样瓶，如果每个系列分成多段排列，必须配备对分段单组件进行取样的取样瓶。

10. 分析仪器

— 总硬度	— 钙离子	— 总碱度
— 氯化物	— 硫酸盐	— 铁离子
— 二氧化硅	— 自由氯(活性氯)	— TOC
— 氧化还原电位 ORP	— 色度	

6-2.2.2 启动检查

在元件安装之后启动膜装置之前，应确保预处理出水达到膜进水规定的要求，下列各项指标必须稳定、合格：

— 流量	— SDI	— 浓度
— 温度	— pH 值	— 电导率
— 细菌数		

开机前检查事项：

- 所有设备包括管线、容器、仪表和水泵的过流部分均需采用耐腐蚀材料。
- 所有管线与设备均应符合设计压力的规定。
- 所有管线与设备均应能够符合设计规定的 pH 范围（如清洗系统）。
- 多介质过滤器已经反冲洗及清洗干净，出水合格。
- 紧接着高压泵上游安装了洁净的新保安滤器滤芯。
- 在联接压力容器之前，包括进水管路和高压管路均已进行了清洁冲洗。
- 化学药品投药点位置正确。
- 在投药管线上安装了合适的止回阀和防虹吸阀。
- 在投药进水管线内采取了适当的混合措施。
- 加药箱所配的药剂及其浓度均正确无误。
- 当投药计量泵停机时能连锁反渗透和纳滤装置停机。
- 当反渗透装置和纳滤停机时能连锁投药计量泵停机。
- 若使用氯等氧化剂时，应有保证膜系统进水中的氯被完全除去的措施。
- 按计划配有能有效地操作及监测前处理和反渗透及纳滤系统的测量仪器。
- 安装了计划所列的仪表并能正常工作。
- 确认仪表进行了校正。
- 安装了压力安全泄放阀，设定正确。
- 采取了措施产品水压力不会超过进水或浓水压力 0.3bar（5psi）。

- 正确设定了联锁、延时及报警装置。
- 每个组件可单独进行产水取样。
- 可对系统总进水、每段的进水、产水、浓水及总产水取样。
- 压力容器与操作和清洗管线连接正确。
- 按制造商的要求将压力容器牢固地固定在设备机架上。
- 按制造商的要求和组装注意事项装拆压力容器。
- 避免膜元件经受极端的温度条件，如堆放在冷冻、阳光直射、暖气出口等处。
- 水泵已作好操作的准备，联轴器对中良好，润滑充分并能轻松自如的旋转。
- 紧固了所有的接头。
- 开启产水出口阀门。
- 产水应对地直接排放（在双级系统中，应采取措施不让冲洗第一级期间的产水进入第二级反渗透，第一级安装干元件时，通常需要 6~8 个小时）。
- 开启浓水控制阀。
- 在启动高压泵之前，调整高压泵出水阀或旁通调节阀开度，控制膜系统进水流量小于操作运行进水量的 50%。

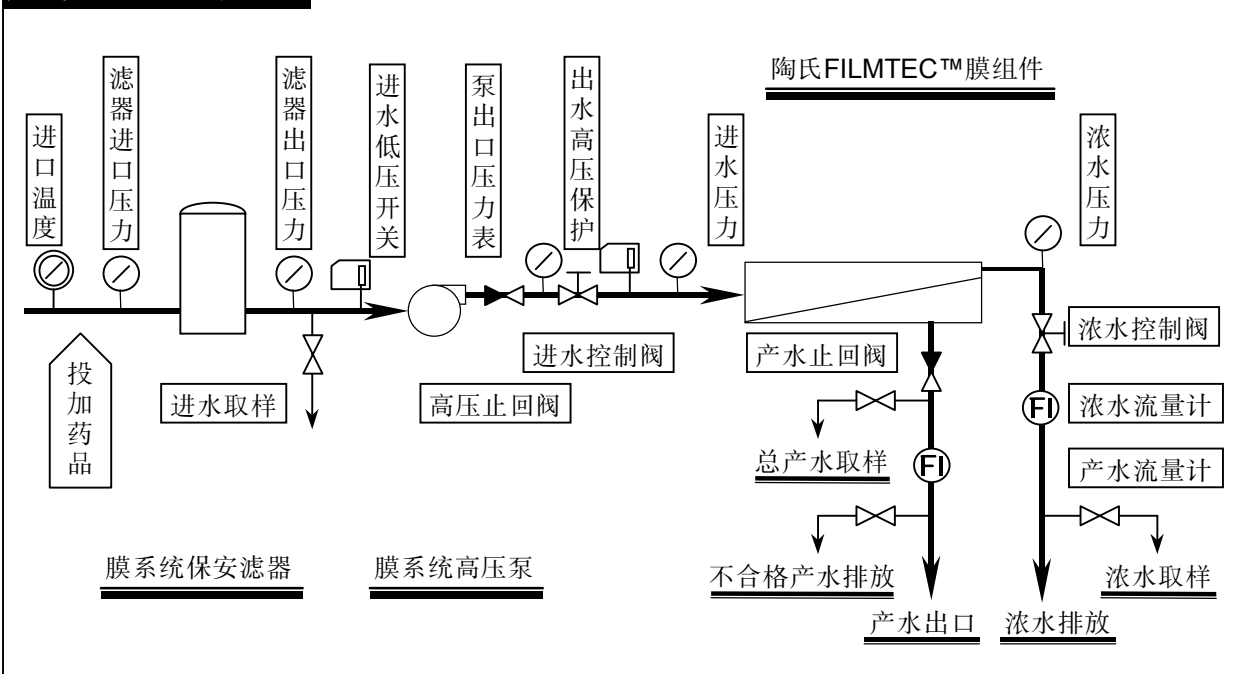
6-2.2.3 首次启动顺序

防止因超极限的进水流量和压力或水锤对膜的损坏，以合适的方式启动与投运反渗透和纳滤系统极为重要。按照正确的开机顺序操作，才能保证系统操作参数达到设计参数，系统产水水质和产水量达到设计目标。测量系统初始性能是启动过程中的重要内容，运行结果应当存档并将其作为今后衡量系统性能的基准。

在系统进入启动程序前，应该完成预处理的调试、膜元件的装填、仪表的校正和其它系统的检查，以下图所示的典型膜法水处理系统为例建议常规启动顺序如下：

- 1) 系统开机启动前，在确保原水不会进入元件内的前提下，按开机前检查事项的内容逐项检查，彻底冲洗原水预处理部分，冲掉杂质和其它污染物，防止进入高压泵和膜元件，特别应该检测预处理出水 SDI₁₅ 值是否合格，进水不含余氯等氧化剂。
- 2) 检查所有阀门并保证所有设置正确，系统产水排放阀、进水控制阀和浓水控制阀必须完全打开。
- 3) 用低压、低流量合格预处理出水赶走膜元件内和压力容器内的空气，冲洗压力为 0.2~0.4 MPa（30~60 psi），每支 4 英寸压力容器冲洗流量为 0.6~3.0 m³/h，每支 8 英寸压力容器冲洗流量为 2.4~12.0 m³/h，冲洗过程中的所有产水和浓水均应排放水至下水道。
- 4) 在冲洗操作中，检查所有阀门和管道连接处是否有渗漏点，紧固或修补漏水点。
- 5) 安装了湿膜的系统至少冲洗 30 分钟之后关闭膜进水控制阀。安装了干膜的系统，应连续低压冲洗 6 小时以上或先冲洗 1~2 小时，浸泡过夜后再冲洗 1 小时左右。在低压低流量冲洗期间，不允许在预处理部分投加阻垢剂。

典型反渗透和纳滤膜系统



- 6) 再次确认产水阀（图中未表示）和浓水控制阀处于打开位置。
- 7) 第一次启动高压泵必须在高压泵与膜元件之间的进水控制阀处于接近全关的状态，以防备水流及水压对膜元件的冲击，此时启动高压泵其启动电流也最小，对电网的冲击较低。
- 8) 启动高压泵。
- 9) 避免对膜系统超流量超压力冲击十分重要，因此在高压泵启动后应缓慢打开高压泵出口进水控制阀均匀升高浓水流量至设计值，升压速率应低于每秒 0.07 MPa（10 psi）。
- 10) 在缓慢打开高压泵出口进水控制阀的同时，缓慢地关闭浓水控制阀，以维持系统设计规定的浓水排放流量，同时观察系统产水流量，直到产水流量达到系统设计值，这样系统的回收率就不会超过设计值，检查系统运行压力，确保未超过设计上限。
- 11) 检查所有化学药剂投加量是否与设计值一致，如酸、阻垢剂和焦亚硫酸钠(亚硫酸氢钠)，测定进水 pH 值。
- 12) 检查浓水朗格利尔饱和指数（LSI）或斯迪夫一大卫稳定指数（S&DSI），这些指数由测量浓水 pH 值、电导、钙硬度和碱度并经适当的计算求得。
- 13) 检测每一支压力容器产水电导值，分析有无不符合预期性能的对压力容器，判断是否存在膜元件和压力容器“O”型圈的泄漏或其它故障。
- 14) 确认机械和仪表的安全装置操作合适。
- 15) 让系统连续运行 1 小时。一旦产水合格后，先打开合格产水输送阀然后关闭产水排放阀，向后续设备供水。
- 16) 记录第一组所有运行参数。

- 17) 上述系统参数调节一般在手动操作模式下进行，待系统稳定后将系统转换成自动运行模式。
- 18) 在连续操作 24~48 小时后，查看所有记录的系统性能数据，包括进水压力、压差、温度、流量、回收率及电导率。同时对进水、浓水和总系统产水取样并分析其离子组成。此时系统运行参数作为系统性能的基准。
- 19) 比较设计参数与系统实际性能参数。
- 20) 在步骤 16) ~18)获得的初始性能资料将作为今后评估系统长期性能稳定性的参考标准，在投运第一周内，应定期测量系统性能，确保系统在该初始投运重要阶段处于合适的性能范围内。

6-2.2.4 膜初始性能和稳定性能

RO/NF 系统性能从启动的初始状态上升到稳定状态所需时间取决于膜元件的贮存条件，正确存放的干元件和有保护液的湿元件，经过几小时或几天的操作之后就会达到稳定的系统性能，通常湿元件产水量一投运就能很快达到稳定状态，而干元件起始产水量略高，FILMTEC™ 膜元件的脱盐率在投运初期几小时或几天内将不断升高，然后处于长久的稳定状态，湿元件比干元件的脱盐率进入稳定状态要快。

6-2.2.5 特殊系统启动—两级反渗透系统

当首次启动两级系统时，第一级系统必须连续运行至少 24 小时以上，然后第一级的产水才能向第二级系统供水，否则将有可能出现第二级产水量的下降。两级进水的 pH 值必须根据脱盐率调节到最佳值，对于合适的苦咸水水源，采用两级 BWRO 膜系统，可使系统总产水的电导率达到 $<1\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

6-2.2.6 特殊系统启动—热消毒反渗透系统

新型热消毒元件在与热水接触之前，必须对该元件进行性能的预整定，其方法如下：

- 1) 在低压低产水量的条件下，采用合适的进水*冲洗热消毒膜元件。
- 2) 在膜进水与产水间跨膜压差小于 1.7bar (5psi) 最大进水压力又小于 3bar (5psi) 低压下，用温度不高于 45°C 的温水循环处理。
- 3) 继续向系统引入热水，直至温度达到 80 °C。
- 4) 当水温高于 45 °C 时，应维持膜两侧的跨膜压差小于 1.7bar (5psi)
- 5) 维持上述温度进行系统保温 60~90 分钟。
- 6) 让系统自然冷却到 45 °C 以下。
- 7) 在膜进水与产水间跨膜压差小于 1.7bar (5psi) 最大进水压力又小于 3bar (5psi) 低压下，用合格进水冲洗元件。**

* 在膜预整定期间，必须使用的合格进水为不含余氯、无结垢及污堵的水质，最好使用 RO 产水，亦可以采用预处理合格产水。

** 必须在膜元件冷却到 45 °C 以下进行这一步的操作。

6-2.3 日常启动

膜系统一旦开始投运，理论上讲应以稳定的操作条件连续地操作下去，而事实上，必须经常性的启动和停止膜系统的运行，每一次的启动和停止，都牵涉到系统压力与流量的突变，对膜元件产生机械应力。因此，应尽量减少系统设备的启动和

停止的次数，正常的启动、停止过程也应该越平稳越好，启动的方法原则上应与首次投运的步骤相同，关键在于进水流量和压力的上升要缓慢，尤其是海水淡化系统。

日常启动顺序常常由可编程序控制器和远程控制阀自动实现的，但要定期校正仪表、检查报警器和安全保护装置是否失灵、进行防腐和防漏维护。

6-2.4 运行记录

6-2.4.1 引言

所有与系统有关的资料都必须收集、记录和建档以便追踪RO/NF单元装置的性能。除了用于追溯系统性能之外，运行数据记录表还是发现并排除故障的有效工具之一，也根据保证条款下申请质保的依据之一。本节仅作为一般的指导，不能作为取代具体系统应有的详细操作维护手册，现场操作参数的记录保存还需视当时情况而定。

6-2.4.2 开机报告

- 1) 以流程图和仪器、设备及材料清单来表示水源，预处理系统，RO/NF系统排列结构和后处理系统，提供一个完整全面的RO/NF系统介绍。
- 2) 按6-2.2.2启动检查一节所列的开机前检查事项逐项记录检查结果。
- 3) 根据制造商的建议提供各种仪表的校正曲线。
- 4) 根据如下的表格记录预处理系统和RO/NF系统的起始性能。

6-2.4.3 预处理运行参数记录

因为 RO/NF 系统性能主要取决于预前处理操作是否合理，预处理仪器设备的运行特性必须记录下来，因为预处理的工艺因地而异，无法建议统一的记录表格，一般而言，需记录以下各项：

- 每天记录进水中总余氯浓度。
- 每天两次记录任何井水或增压泵的出水水压。
- 每天两次记录所有过滤器的压降。
- 每天测量酸及任何其他化学药品的消耗量。
- 至少每 3 个月一次根据制造商建议的方法校正各种预处理仪表。
- 任何不正常的操作，如故障或停机等。

6-2.4.4 膜系统运行参数记录

以下参数需监测并记录在合适的记录表上（下表所示），每班至少一次。

- 操作日期、时间及系统运转时数。
- 保安过滤器与每一段压力容器(膜组件)前后的压降。
- 每一段进水、产水与浓水压力。
- 每一段产水与浓水流量。
- 每一段进水、产水与浓水的电导度，每周测量一次每支压力容器的产水电导率。

- 每一段进水、产水与浓水的含盐量 TDS，可由水质化验分析获得，也可电导率 EC25（5°C 时）恰当的换算系数 K 进行计算。
$$TDS = K \cdot EC_{25}$$

具体水源的换算系数 K 必须预先标定，下表为典型的换算系数 K 值。

溶 液	EC ₂₅ [†] (ms/cm)	K 值
产 水	0.1~1	0.50
	30~80	0.55
海 水	4,500~6,000	0.70
浓 水	6,500~8,500	0.75

[†] EC₂₅ 不含溶解性 CO₂ 对电导的贡献。

- 进水、产水和浓水的 pH 值。
- RO/NF 进水 SDI 和浊度值。
- 进水水温。
- 当浓水 TDS 小于 10,000mg/L 时，最后一段浓水的朗格利尔饱和指数 LSI 值，或
- 当浓水 TDS 大于 10,000mg/L 时，最后一段浓水的斯迪文—大卫稳定指数 S&DSI 值。
- 根据制造商建议的方法与周期作仪表的校正，每三个月至少一次。
- 任何不正常的事件，例如 SDI15，pH，压力的失常及停机。
- 启动时及其后每星期对进水、产水、浓水和水源原水作完整的水质分析。

		设计值									
	日期										
	时间										
	运行小时数										
	第一段进水										
压力 (bar)	第二段进水										
	产水										
	浓水										
	保安滤器										
压差 (psi)	第一段										
	第二段										
	进水										
流量 (m³/h)	产水										
	浓水										
	回收率										
电导率 (µs/cm)	进水										
	第一段产水										
	第二段产水										
	总产水										
	第一段浓水										
	第二段浓水										
	混合浓水										
pH 值	原水水源										
	进水										
	产水										
	浓水										
进水	余氯(mg/L)										
	SDI ₁₅										
	浊度(NTU)										
	温度(°C)										
氧化剂	计量箱液位										
	补充量										
	浓度										
	投加量 L/h										
絮凝剂	计量箱液位										
	补充量										
	浓度										
	投加量 L/h										
加酸	计量箱液位										
	补充量										
	浓度										
	投加量 L/h										
还原剂	计量箱液位										
	补充量										
	浓度										
	投加量 L/h										
阻垢剂	计量箱液位										
	补充量										
	浓度										
	投加量 L/h										
标准化	产水量										
	脱盐率										
	运行压力										
备注											

6-2.4.5 维修保养记录

- 记录例行维修情况。
- 记录机械故障和更换情况。
- 记录任何膜元件安装位置的改变，标记元件的序列号。
- 记录 RO/NF 装置的更换或增加。
- 记录所有仪表的校正操作。
- 记录预处理仪器设备如保安过滤器的更换或增加，包括日期、厂牌及等级。
- 记录所有 RO/NF 膜元件的清洗操作，包括清洗日期、清洗持续时间，清洗剂及浓度，溶液 pH 值，清洗期间的温度，流量与压力（参见清洗程序介绍）

6-2.5 调整操作参数

6-2.5.1 引言

任何一个膜系统都是根据预先确定好的一组参数来设计的，如进水组成、水温、产水量和产水水质。在实际操作中，系统必须具备操作弹性以满足条件变化的需要。

6-2.5.2 苦咸水系统

苦咸水反渗透与纳滤系统运行的正确方法是保持产水流量、回收率、总浓水排放量和运行压力符合设计范围，任何由于温度或污染所引起的膜通量的变化需要通过调整进水压力来补偿，然而，不能超过规定的最高进水压力，也不允许让膜容纳太多的污垢，请参见清洗部分的介绍。

如果进水水质分析报告发生变化造成结垢倾向增加，则应增加系统浓水的排放量，降低系统的回收率，或者应该采取其它措施以符合新的系统状况，请参阅水化学和预处理部分的介绍。

最常见的情况是必须根据需要调节水处理系统的产水量。设计时通常按照用水高峰确定系统规模，因此，不能采取超过设计产水量的操作，系统产水量的调节就只能是指降低系统出力。当不需要产水时，最简单的方法就是停止系统的运行，然而系统的频繁启动与停止将会影响膜的性能和寿命，为了得到相对平稳的运行，可设计产水缓冲储罐；减低操作压力是另一种减少系统产水量的方法，此时选用转速可调高压水泵还可以节能。当降低产水量时，如果希望保持系统原有回收率不变，必须经过计算机膜系统分析软件进行核算，确保单支元件的回收率不会超出它们的极限，有时在低产水流量运行期间，系统脱盐率会比设计产水流量运行条件时低，同时您还必须注意在低流量运行时，确保系统的浓水流量超过最小浓水流量。还有一种降低产水量的做法是让多余的产水返回到反渗透或纳滤之前与原水混合，这样可以保证膜的水力学和压力状况基本恒定，这时最终产水品质将会提高，循环返回的产水对膜具有一定的清洗作用。

6-2.5.3 海水淡化系统

从原理上讲，海水淡化工厂的参数调整方式与苦咸水的方式相似，但是 6.9MPa（1,000 psi，有些系统可能允许更高的运行压力）的最大操作压力和产水 TDS 含量常常是制约因素。

当进水温度降低时可由提高运行压力来补偿，一旦接近规定的最高运行压力时，就只能让产水量随进水温度的进一步减低而减低；而进水温度的增加可以通过降低运行压力来维持相同的系统产水量，此时系统产水 TDS 将会上升；另一种办法是减少投运压力容器的数量，通过降低有效膜面积，进水压力和产水含盐量均可维持恒定，必须经过计算机膜系统分析软件进行核算，保证最大单元件产水量不会超过规定值，取走的压力容器必须与系统隔离并作恰当的保存维护。

当进水含盐量增加时，可通过提高运行压力来弥补产水量的下降，但不允许超过最高膜元件允许操作压力，如果运行压力已经接近上限，但产水量仍没有达到要求，就只能采取减低产水量和系统回收率的操作模式，进水含盐量减低时，可相应减低运行压力，或增加回收率，或增加产水量。

当所需产水量下降时，可以通过设置足够大的产水储罐的缓冲解决。大型水处理工厂通常设计成多套完全相同的系列，通过调节投运系列数量的多少就可满足用户对产水量需要的变化。

6-2.6 系统停机

当停运膜系统时，必须用产水或高品质的进水冲洗整个膜系统，以便将高含盐量的浓水从压力容器和膜元件内置换掉，直到浓水出水电导接近进水电导，冲洗应在约 3.0bar (40psi) 低压下进行，高流量有利于提高冲洗效果，但不应使元件或压力容器两端的压差超过最高规定值。

低压冲洗进水中不应含有用于预处理的化学药品，尤其不能含有阻垢剂，因此，冲洗前应停止加药（冲洗采用预处理产水时，为了预处理产水合格，仍需投加降低 SDI，脱除余氯等氧化剂的化学药品），冲洗结束之后，应完全关闭进水阀，如果浓水排放口低于压力容器，应在高于压力容器的浓水管线上，引入空气破坏虹吸作用。

当高压泵停运而进水和浓水又没有采用低压产水冲洗置换时，高盐度的膜处理系统会因自然渗透出现停机产水回吸，从清洗角度分析，一定程度的产水回吸有利于强迫运行时沉积的污染物从膜面上浮起，但是过量的产水回吸可能会导致复合膜膜片分层，复合层从多孔支撑层上剥离开来，造成膜的复合结构物理破坏。因此，无论何时何地都必须将这类产水回吸通量控制在 8.5L/m²h (5GFD) 以下，特别应该限制在系统浓水端的产水回吸速率，限制产水回吸的实用方法是在产水管线上安装高质量的止回阀。如果存在产水回吸，还须提供足够的产水回吸补充量完成产水回吸，以避免膜元件内吸入空气，关于回吸水箱的尺寸设计请参阅系统设计部分的介绍。

如果产水管线在运行和系统停机时带压，膜元件就可能会遭遇静态的产水背压。为了避免膜元件因背压产生膜片复合层的剥离破坏，任何情况下，净背压不得高于 0.3bar (5psi)，应务必在产水管线上设置止回阀或自动排放阀保护膜系统。

除了正常停机外，还存在各种非常突然的意外停机，例如停电或系统因报警等急停，此时尤其应当认真对待上述讨论的产水回吸和背压问题，经验丰富的设计人员与工程公司在设计时总是在设计阶段考虑了各种意外情况下的系统保护。

不同品牌膜元件能承受这种影响的能力有很大的不同，选择故障率最小的陶氏 FilmTec 膜元件并配以设计周全的保护措施，可让您的水处理系统高枕无忧。当系统必须停运 48 小时以上时，必须注意：

- 防止膜元件干燥，元件干燥后会出现产水量的不可逆下降。
- 采用适宜的保护措施防止微生物滋生或每 24 小时进行定期冲洗。
- 应避免系统受极端温度的影响。

膜系统不作任何防止微生物生长保护措施的最长停运时间为 24 小时，如果无法做到每隔 24 小时冲洗一次但又必须停运 48 小时以上时，必须采用化学药品进行封存，请参阅下一节的介绍。

6-2.7 系统保存

几乎所有的膜系统在停机保存前应进行一次化学清洗，当了解到膜元件已经存在污染时，先清洗后保存就更为重要。典型的清洗顺序如下：以 pH=11 的温和碱性清洗液清洗 2 小时，然后进行杀菌和短时酸洗。如果原水中不含结垢和金属氢氧化物成份，可以不进行酸性清洗，具体程序请参阅<<系统清洗与消毒>>。

清洗和杀菌之后，按如下步骤在 10 小时之内进行保存：

- 1) 赶走压力容器内的空气，将元件完全浸泡在 1~1.5%(wt)亚硫酸氢钠保护溶液中。为使系统内的残留空气最少，应采用循环溢流方式循环亚硫酸氢钠保护液，使最高压力容器开口处产生亚硫酸氢钠保护液的溢流。
- 2) 关闭所有阀门，使系统隔绝空气。否则，空气将会氧化亚硫酸氢钠使保护液失效。
- 3) 每周检查一次保护液的 pH 值，当 pH 低于 3 时，更换保护液；
- 4) 至少每月更换一次保护液。

在停机保护期间，系统必须处于不结冰状态，系统环境温度不得超过 45°C（113°F）。低温条件有利于停机保护。

6-2.8 微生物活动的监控

生物污堵是操作 RO/NF 系统时，最常见且最严重的问题，特别是在使用地面水或有细菌污染的水源，控制微生物的活动尤为重要，适当的设计与操作预处理系统十分必要。取样和分析过程的训练应作为操作培训的一部份，这样任何微生物活性的增加，早期时即可处理。

如果 RO/NF 现场没有分析微生物样品的实验设备，需找寻合适的实验室来做分析工作。若不能在现场分析，样品需先放置在冰箱内，并应在取样 8 小时内，进行分析。

【取样点】

应提供合适的取样点控制微生物，取样点最少需要的数目如下：

- 1) 在加氯之前地表水取水点或井水出水口。
- 2) 在澄清池、沉淀池、活性污泥接触单元或类似沉淀工艺过程之后。
- 3) 在砂滤、多介质过滤、活性炭或其他过滤单元之后。
- 4) 除氯并位于保安过滤器之后。
- 5) 浓水中。
- 6) 产水中

取样和分析的次数根据发生生物污堵的风险而定，对使用地表水的系统，上述提到的第 4 取样点应每日检查，其它各取样点则每周取样和分析一次。

【系统检查】

在启动系统前或可能会出现任何与微生物活动有关的问题时，应作下列检查：

- 若中间使用敞开式的容器时，需在该敞开式的容器及其下游进行杀菌。
- 若中间使用封闭式的容器时，其通气或通风系统须有防止细菌的设备，如呼吸过滤器。

- 需避免较长的盲管，当无法避免时，需定期消毒杀菌。
- 避免设置象砂滤或保安过滤器这样具有大面积的备用设备，若无法避免，需安装排放系统，用于排放系统经杀菌之后所残留的杀菌剂和该备用设备投运前的冲洗排放。
- 根据原水微生物负荷和系统特点，进行预处理的定期杀菌。
- 建议用含足够量氯的水反冲洗介质过滤器。一般而言，用于杀菌、冲洗和配置清洗溶液的水应不含微生物。
- 组成前处理系统的管线、接头、过滤器和贮罐应不透光，以免促进生物的生长。
- 所有管线、水箱、接头、贮罐、过滤设备及整个前处理系统在每次开机前、开机后以及 RO/NF 系统连续操作期间皆需定期杀菌。除 RO/NF 部位外，可采取重点加氯法，此时，需保护 RO/NF 系统免遭氯的接触，如使用盲板法兰将 RO/NF 部分与其他系统隔离，为此还应在靠近法兰下方安装排放装置。
- 在 RO/NF 系统现场需有足够用于保存、清洗及杀菌的化学药品。

6-2.9 系统性能标准化

膜系统的表观性能受进水组成、进水压力、温度和回收率的影响，例如：温度每下降 4°C，产水量就会降低约 10%，这属于正常现象。

为了区分这类正常现象与系统性能真正的变化，应对所实测的产水流量和脱盐率参数进行标准化，就是指在考虑了操作参数的影响后，系统的真实性能与系统基准性能的比较，基准性能可能为该系统的设计性能或最初测量性能。

当以设计（或保证）的系统性能作为基准进行标准化时，对于验证该水处理系统是否已经达到预期（或保证）的性能很有帮助。

当以系统最初测量性能作为基准进行标准化时，对于显示任何性能随时间的变化很有帮助。我们极力推荐这一做法，因为每日记录系统标准化后的数据，就可早期发现潜在的问题（如结垢或污堵），还可提供更早更有效的纠正措施。

FTNORM 为陶氏水处理及解决方案膜系统运行参数的标准化和直观图示的计算机标准化软件，可进行标准化的参数包括标准化产水流量、透盐量及压降，该软件程序可以从陶氏化学液体分离部网站上下载，也可以与陶氏当地代表处联络。

该标准化计算软件需使用微软公司的 EXCEL 软件。另一方法是将测得的系统性能按下列步骤计算将其换算成标准（或基准）状况下的系统性能：

【标准化产水量】

$$Q_s = \frac{P_{fs} - \frac{\Delta P_s}{2} - P_{Ps} - \pi_{fcs}}{P_{fo} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{Po} - \pi_{fco}} \times \frac{TCF_s}{TCF_o} \times Q_o \quad (1)$$

其中	P_f	=	进水压力
	ΔP	=	系统压降
	P_p	=	产水压力
	π_{fc}	=	进水与浓水间平均渗透压
	TCF	=	温度校正系数
	Q	=	产水流量
	下标 s	=	标准状况下

下标 o = 运行状况下

温度校正系数由下列公式算出：

$$TCF = \text{EXP}[2640 \times \{1/298 - 1/(273+T)\}]; \quad T \geq 25^\circ\text{C}$$

$$= \text{EXP}[3020 \times \{1/298 - 1/(273+T)\}]; \quad T \leq 25^\circ\text{C}$$

其中 T = 温度，以 °C 表示

我们以设计值或首次投运报告中的最初性能作为标准状况，以获得一个固定的比较基准点。查阅文献发现可以有不同的公式计算渗透压，以下的估算法简易可靠：

$$\pi_{fc} = \frac{C_{fc} \times (T + 320)}{491000} \quad \text{bar} \quad \text{当 } C_{fc} < 20,000 \text{mg/L}$$

$$\pi_{fc} = \frac{(0.0117 \times C_{fc}) - 34}{14.23} \times \frac{T + 320}{345} \quad \text{bar} \quad \text{当 } C_{fc} > 20,000 \text{mg/L}$$

其中 C_{fc} = 进水与浓水间平均浓度。

C_{fc} 可由下列公式计算：

$$C_{fc} = C_f \times \frac{\ln \frac{1}{(1-Y)}}{Y}$$

其中 Y = 回收率 = $\frac{\text{产水流量}}{\text{进水流量}}$

C_f = 进水 TDS mg/L

【标准化产水浓度 TDS】

$$C_{Ps} = C_{Po} \times \frac{P_{fo} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{Po} - \pi_{fco} + \pi_{Po}}{P_{fs} - \frac{\Delta P_s}{2} - P_{Ps} - \pi_{fcs} + \pi_{Ps}} \times \frac{C_{fcs}}{C_{fco}} \quad (2)$$

其中 C_P = 产水离子浓度，mg/L

π_P = 产水渗透压，bar

【举例如下】

系统初始性能数据

进水水质分析，mg/L

Ca:	200	Cl:	633	产水压力:	1bar (14.5psi)
HCO ₃ :	152	温度:	15 °C (59 °F)	回收率:	75%
Mg:	61	压力:	25bar (363psi)	产水 TDS:	83mg/L
SO ₄ :	552	压降:	3bar (43.5psi)		
Na:	388	流量:	150m ³ /h (660gpm)		

运行三个月后系统性能数据:

进水水质分析, mg/L

Ca: 200

HCO₃: 152

Mg: 80

SO₄: 530

Na: 480

Cl: 850

温度: 10°C(50°F)

压力: 28bar(406psi)

压降: 4bar(58psi)

流量: 130m³/h(573gpm)

产水压力: 2bar(29psi)

回收率: 72%

产水 TDS: 80mg/L

初始状况:

$$P_{fs} = 25\text{bar} \quad (363\text{psi})$$

$$\frac{\Delta P_o}{2} = 1.5\text{bar} \quad (21.74\text{psi})$$

$$C_{fs} = 1986\text{mg/L}$$

$$C_{fcs} = 1986 \times \frac{\ln \frac{1}{(1-0.75)}}{0.75} = 3671 \text{ mg/L}$$

$$\pi_{fcs} = \frac{3671 \times (15 + 320)}{491000} = 2.5\text{bar} \quad (36.3\text{psi})$$

$$TCF_s = \text{EXP}[3020 \times \{1/298 - 1/(273 + 15)\}] = 0.70$$

运行三个月后状况:

$$P_{fo} = 28\text{bar} \quad (406\text{psi})$$

$$\frac{\Delta P_o}{2} = 2.0\text{bar} \quad (29\text{psi})$$

$$C_{fo} = 2292\text{mg/L}$$

$$C_{fco} = 2292 \times \frac{\ln \frac{1}{(1-0.72)}}{0.72} = 4052 \text{ mg/L}$$

$$\pi_{fco} = \frac{4052 \times (10 + 320)}{491000} = 2.72\text{bar} \quad (39.4\text{psi})$$

$$TCF_o = \text{EXP}[3020 \times \{1/298 - 1/(273 + 10)\}] = 0.58$$

这些数值代入方程式 (1) 可得到相对于首次投运同等条件下的标准化产水量:

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{25 - 1.5 - 1.0 - 2.5}{28 - 2.0 - 2.0 - 2.72} \times \frac{0.70}{0.58} \times 130 \\ &= 147.6\text{m}^3/\text{h} \quad (650\text{gpm}) \end{aligned}$$

与首次开机时的状况相比，该系统产水量已下降了 1.6%，就三个月的运行而言，这一结果相当令人满意，因此系统尚不需要化学清洗。

这些数值代入方程式（2）可得到相对于首次投运同等条件下的标准化产水浓度 TDS:

$$\begin{aligned} C_{Ps} &= 80 \times \frac{28 - 2 - 2 - 2.72 + 0.06}{25 - 1.5 - 1 - 2.5 + 0.05} \times \frac{3671}{4052} \\ &= 77\text{mg/L} \end{aligned}$$

与投运初期的 83mg/L 产水含盐量相比，系统脱盐率稍有提高，该情形在初期投运期间相当普遍。

第 7 部分 清洗与消毒

7-1 序 言

水处理系统进水中存在各种形式可导致反渗透和纳滤膜表面污染的物质，如水合金属氧化物、含钙沉淀物、有机物及生物。污垢（fouling）就是指覆盖在膜表面上的各种沉积物，包括水中的结垢物。

膜系统预处理的目的在于尽量减少膜表面的上述污染，通过安装合适的预处理系统，选择恰当的操作条件，如产水流量，运行压力与产水回收率等，就能达到这一目标。

下列因素有可能引起膜系统污垢：

- 预处理系统不完善
- 预处理运行不正常
- 系统选材不合适（泵和管线等）
- 预处理投药系统失灵
- 系统停机后冲洗不及时或不充分
- 操作控制不当
- 膜面长时间累积沉淀物（钡和硅垢等）
- 进水组份或其它条件改变
- 进水受生物污染

发生膜表面的污垢将加速系统性能的下降，如减少产水流量，降低脱盐率。污垢的另一个负面现象是进水和浓水间的压差增加。

由于陶氏 FILMTEC™膜及膜元件具有全球膜工业界能承受最宽的 pH 和温度条件，只要措施得力及时，就可以很有效地进行系统清洗，最大限度地恢复膜系统的性能。但若拖延太久才进行清洗，则很难完全将污染物从膜面上清洗掉，针对特定的污染，只有采取相应的清洗方法，才能达到好的效果，若错误地选择清洗化学药品和方法，有时会使膜系统污染加剧。因此在清洗之前需先决定膜表面的污垢种类，有以下几种分析方法：

- 分析系统性能数据，请参阅故障排除一节的详细介绍
- 分析进水组成，发生污垢的可能性或许经过分析原水水质报告，就能显而易见的发现
- 检查前几次的清洗效果
- 分析测定 SDI 值的微孔滤膜膜面上所截留的污物
- 分析保安滤器滤芯上的沉积物
- 检查进水管内表面及 FILMTEC™膜元件的进出水端面，如为红棕色，则表示可能已发生铁的污染；泥状或胶状沉积物通常为微生物或有机物污染。

7-2 清洗条件

在正常操作过程中，反渗透元件内的膜片会受到无机盐垢、微生物、胶体颗粒和不溶性的有机物质的污染。操作过程中这些污染物沉积在膜表面，导致标准化的产水流量和系统脱盐率分别下降或同时恶化。当下列情况出现时，需要清洗膜元件：

- 标准化产水量降低 10%以上
- 进水和浓水之间的标准化压差上升了 15%
- 标准化透盐率增加 5%以上

日常操作时必须测量和记录每一段压力容器间的压差 (ΔP)，随着元件内进水通道被堵塞， ΔP 将增加。需要注意的是，如果进水温度降低，元件产水量也会下降，这是正常现象并非膜的污染所致。预处理、压力控制失常或回收率的增加将会导致产水量的下降或透盐量的增加。当观察到系统出现问题时，此时元件可能并不需要清洗，但应该首先考虑这类原因。为了对选用 FILMTEC™ 膜元件的系统性能数据进行标准化，陶氏化学公司开发了一个计算机标准化软件 FTNORM，这个软件程序可以帮助您决定何时应该清洗系统，它可从陶氏液体分离部的网站 (<http://www.filmtec.com>) 上下载。

1. 在下列各章节中，当使用任何清洗化学品时，必须遵循获得认可的安全操作规程。关于化学品安全性、使用方法和排放处置方面的细节请咨询该化学品制造商。
2. 当准备清洗液时，应确保在进入元件循环之前，所有的清洗化学品得到很好的溶解和混合。
3. 在清洗化学药品与膜元件循环之后，应采用高品质的不含余氯等氧化剂的水对膜元件进行冲洗（最低温度 $>20^{\circ}\text{C}$ ），推荐用膜系统的产水，如果对管道没有腐蚀问题时，可用经脱氯的饮用水和经预处理的给水。在恢复到正常操作压力和流量前，必须注意开始要在低流量和压力下冲洗大量的清洗液。此外，在清洗过程中清洗液也会进入产水侧，因此，产水必须排放 10 分钟以上或直至系统正常启动运行后产水清澈为止。

- 233 -

5. 对于直径大于 6 英寸的元件，清洗液流动方向与正常运行方向必须相同，以防止元件产生“望远镜”现象，因为压力容器内的止推环仅安装在压力容器的浓水端。在小型元件的系统清洗时也建议注意这一点，清洗流程如示意图所示。

7-4 清洗设备

清洗所需设备参见下面的清洗系统流程图，针对 FILMTEC™ 元件的清洗液 pH 值范围可能在 1~12 之间，因此清洗系统应采用耐腐蚀材料建造。

1. 作混合与循环的清洗水箱可以是聚丙烯或玻璃钢（FRP），清洗水箱应设有可移动的盖子和温度表计，提高清洗温度有利于提高清洗效率，在此建议清洗过程中应按表 7-2 的规定维持清洗液 pH 值和温度的恒定。由于低温下清洗化学动力学极低，清洗液温度不应低于 15°C（59°F），此外，某些化学品如月桂酸钠（十二烷基磺酸钠）在低温下可能发生沉淀，在某些地区，清洗系统中则需要安装冷却部件，因此设计清洗系统时应考虑加热和冷却要求。确定清洗箱大小的大致方法是将空的压力容器的体积与清洗液循环管路的体积之和，例如清洗 10 支含 6 芯的 8 英寸元件压力容器的系统，采用下列计算：

压力容器的体积

$$\begin{aligned}V_1 &= \pi r^2 L \\&= 3.14(4 \text{ in})^2(20 \text{ ft})(7.48 \text{ gal/ft}^3)/144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 \\&= 52 \text{ 加仑/压力容器 (0.20m}^3\text{)} \\V_{10} &= 52 \times 10 = 520 \text{ 加仑 (1.97m}^3\text{)}\end{aligned}$$

管线的体积，假设使用 50 英尺长，4 英寸 SCH80 管道

$$\begin{aligned}V_p &= \pi r^2 L \\&= 3.14(1.91 \text{ in})^2(50 \text{ ft})(7.48 \text{ gal/ft}^3)/144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 \\&= 30 \text{ 加仑 (0.11m}^3\text{)} \\V_{ct} &= V_{10} + V_p = 520 + 30 = 550 \text{ 加仑 (2.08m}^3\text{)}\end{aligned}$$

因此，所需配制的清洗液体积约为 550 加仑（2.08m³），由于清洗箱完全装满可能产生溢流，一般应考虑 20% 的裕度，本例应选择公称体积为 700 加仑（2.5m³）的耐腐蚀水箱作清洗箱。

根据元件型号及污染程度而定

对于一般污染情况：	每支 4040 型膜元件需配制 8.5 升清洗液；
	每支 8 英寸膜元件需配制 34 升清洗液。
对于严重污染情况：	每支 4040 型膜元件需配制 16 升清洗液；
	每支 8 英寸膜元件需配制 55 升清洗液。

2. 清洗泵的大小根据表 7-1 的流量和压力再加上管路和滤芯的压力损失来选择，水泵的材质至少必须是 316 不锈钢或非金属聚酯复合材料。

- 清洗系统中应设有必要的阀门、流量计和压力表以控制清洗流量，联结管线既可以是硬管也可以是软管，清洗管道流速应小于 3 米/秒（10 英尺/秒）。

7-5 清洗步骤

7-5.1 清洗单段系统

采取如下六个步骤清洗膜元件：

- 1) 配制清洗液
- 2) 低流量输入清洗液。

首先用清洗水泵混合一遍清洗液，预热清洗液时应以低流量（表 7-1 所列值的一半）。

然后以尽可能低的清洗液压力置换元件内的原水，其压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可，即压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压置换操作能够最大限度的减低污垢再次沉淀到膜表面，视情况而定，排放部分浓水以防止清洗液的稀释。

表 7-1. 高流量循环期间每支压力容器建议流量和压力

清洗压力 ¹		元件直径(in)	每支压力容器的流量值	
(psig)	(bar)		(gpm)	(m ³ /h)
20~60	1.5~4.0	2.5	3 ~ 5	0.7 ~ 1.2
20~60	1.5~4.0	4 ²	8 ~ 10	1.8 ~ 2.3
20~60	1.5~4.0	6	16 ~ 20	3.6 ~ 4.5
20~60	1.5~4.0	8	30 ~ 40	6.0 ~ 9.1
20~60	1.5~4.0	8 ³	35 ~ 45	8.0 ~ 10.2

¹ 取决于压力容器内元件数量；

² 4 英寸 full-fit 元件清洗流量为 12~14gpm（2.7~3.2 m³/h）；

³ 适用于 full-fit、400 和 440 平方英尺膜面积元件。

表 7-2. 清洗 pH 值和温度极限

元件类型	最高温度 50°C	最高温度 35°C	最高温度 30°C	连续操作
	pH 范围	pH 范围	pH 范围	pH 范围
SW30HR, SW30ULE, SW30XLE, SW30HRLE, SW30XHR	3~10	2 ~ 11	1 ~ 12	2 ~ 11
BW30, BWFR, BWXFR, BW30HR, LE, XLE, TW30, LP	2~10	1 ~ 11	1 ~ 12	2 ~ 11
NF200, SR90	3~10	2 ~ 11	1 ~ 12	3 ~ 10
NF270, NF90	3~10	2 ~ 11	1 ~ 12	3 ~ 9

- 3) 循环。
当原水被置换掉后，浓水管路中就应该出现清洗液，让清洗液循环回清洗水箱并保证清洗液温度恒定。
- 4) 浸泡。

停止清洗泵的运行，让膜元件完全浸泡在清洗液中。有时元件浸泡大约 1 小时就足够了，但对于顽固的污染物，需要延长浸泡时间，如浸泡 10~15 小时或浸泡过夜。为了维持浸泡过程的温度，可采用很低的循环流量（约为表 7-1 所示流量的 10%）。

5) 高流量水泵循环。

按表 7-1 所列的流量循环 30~60 分钟。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物。如果污染严重，请采用高于表 7-1 所规定的 50% 的流量将有助于清洗，在高流量条件下，将会出现过高压降的问题，单元件最大允许的压降为 1bar（15psi），对多元件压力容器最大允许压降为 3.5bar（50psi），以先超出为限。

6) 冲洗。

预处理的合格产水可以用于冲洗系统内的清洗液，除非存在腐蚀问题（例如，静止的海水将腐蚀不锈钢管道）。为了防止沉淀，最低冲洗温度为 20°C。

附注 在酸洗过程中，应随时检查清洗液 pH 值变化，当在溶解无机盐类沉淀消耗掉酸时，如果 pH 的增加超过 0.5 个 pH 值单位，就应该向清洗箱内补充酸，酸性清洗液的总循环时间不应超过 20 分钟，超过这一时间后，清洗液可能会被清洗下来的无机盐所饱和，而污染物就会再次沉积在膜表面，此时应用合格预处理产水将膜系统及清洗系统内的第一遍清洗液排放掉，重新配置清洗液进行第二遍酸性清洗操作。如果系统必须停机 24 小时以上，则应将元件保存在 1%（重量比）的亚硫酸氢钠水溶液中。在对大型系统清洗之前，建议从待清洗的系统内取出一支膜元件，进行单元件清洗效果试验评估。

7-5.2 清洗多段系统

在多段系统的冲洗和浸泡步骤中，可以对整个系统的所有段同时进行，但是对于高流量的循环必须分段进行，以保证循环流量对第一段不会太低而对最后一段不会太高，这可以通过一台泵每次分别清洗各段或针对每段流量要求设置不同的清洗泵来实现。

7-6 清洗药剂

表 7-3 列举了适宜的清洗药品，这些酸性和碱性清洗剂是标准的清洗药品，酸性清洗剂用于清除包括铁污染在内的无机污染物，而碱性清洗剂用于清洗包括微生物在内的有机污染物。由于使用硫酸会引起硫酸钙沉淀的危险，不应选作清洗剂。最好采用膜系统的产水配制清洗液，当然在很多情况下也可以使用经过预处理的合格预处理出水来配制清洗液。原水可能缓冲容量很大，需要消耗更多的酸或碱才能达到规定的 pH 值，酸性清洗的 pH 约为 2 左右，碱性清洗的 pH 约为 12 左右。

表 7-3. FT30 膜元件一般清洗液

清洗液 污染物	0.1%(W) NaOH 或 1.0%(W)Na ₄ EDTA 【pH12/30°C(最大值)】	0.1%(W) NaOH 或 0.025%(W)Na-SDS 【pH12/30°C(最大值)】	0.2%(W) HCl 盐酸	1.0%(W) Na ₂ S ₂ O ₄	0.5%(W) H ₃ PO ₄ 磷酸	1.0%(W) NH ₂ SO ₃ H	2.0%(W) 柠檬酸
无机盐垢 (如 CaCO ₃)			最好	可以	可以		可以
硫酸盐垢 (CaSO ₄ ,BaSO ₄)	最好	可以					
金属氧化物 (如铁)				最好	可以	可以	可以
无机胶体 (淤泥)		最好					
硅	可以	最好					
微生物膜	可以	最好					
有机物	作第一步清洗 可以	作第一步清洗 最好	作第二步 清洗最好				

- 1 (W)表示有效成份的重量百分含量；
- 2 按顺序污染物化学式符号为：CaCO₃表示碳酸钙；CaSO₄表示硫酸钙；BaSO₄表示硫酸钡。
- 3 按顺序清洗化学品符号为：NaOH 表示氢氧化钠；Na₄EDTA 表示乙二胺四乙酸四钠，陶氏化学生产该产品的商标为 VERSENE*；Na-SDS 表示十二烷基磺酸钠盐，又名月硅酸钠；HCl 表示盐酸；Na₂S₂O₄表示亚硫酸氢钠；H₃PO₄表示磷酸；NH₂SO₃H 表示亚硫酸氢胺。
- 4 为了有效的清洗硫酸盐垢，必须尽早的发现和及时处理，由于硫酸盐垢的溶解度随清洗液含盐量的增加而增加，可以在 NaOH 和 Na₄EDTA 的清洗液中添加 NaCl，当结垢一周以上时，硫酸盐垢的清洗成功率值得怀疑。
- 5 柠檬酸是无机盐垢的可选清洗剂。

7-7 膜系统消毒

7-7.1 引言

生物污染是 RO/NF 系统操作中最常见和最严重的问题之一，特别是当水源为地表水或富含细菌的进水，控制水中微生物的活动尤为重要，正确的设计和预处理操作是防止出现微生物污堵的先决条件，完整的取样和分析步骤是操作程序的一部分，这样微生物活动的增加在早期阶段就可发现。关于评估生物污堵可能性的方法请参阅 4-6 “预防生物污染”一节，关于微生物取样点设置和系统检查方法请查阅 6-2.8 微生物活动的监控一节。

7-7.2 清洗受生物污染的 FILMTEC™ FT30 膜元件

下列清洗程序是专门针对受生物污染的膜系统，对于所有清洗过程，其清洗系统配置、pH 和温度范围及建议清洗流量值完全相同，建议参考通用清洗导则的规定。

清洗步骤

采取七个步骤清洗受生物污染的膜元件：

- 1) 按表 7-4 配制清洗液。

表 7-4 生物污染清洗液

清洗液	清洗液组成
优选	0.1%(wt) NaOH pH12, 最高温度 30 °C
优选	0.1%(wt) NaOH 0.025%(wt) Na-SDS pH12, 最高温度 30 °C
可选	0.1%(wt) NaOH 1.0%(wt) Na ₄ -EDTA pH12, 最高温度 30 °C

¹ (wt)表示有效成份的重量百分含量;

² 按顺序清洗化学品符号为: NaOH 表示氢氧化钠; Na-SDS 表示十二烷基苯磺酸钠; Na₄-EDTA 表示乙二胺四乙酸四钠, 陶氏化学的品标 VERSENE 100 和 220。

2) 低流量输入清洗液。

当清洗水泵混合清洗液, 清洗液预热以及用清洗液置换元件内的原水时, 应按表 7-5 所列流量值的一半即按 低流量和低压操作条件进行, 所需的压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可。压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压能够最大限度的减低污垢再次沉淀到膜表面, 视情况而定, 应排放部分浓水以防止清洗液的稀释。

3) 循环。

当原水被置换掉后, 浓水管路中就应该出现清洗液, 可以让清洗液循环返回清洗水箱。循环清洗液 15 分钟或直到颜色不变为止。如颜色仍发生变化, 放掉清洗液重新按步骤 1)配置新的清洗液。

4) 浸泡。

停止清洗泵的运行, 让膜元件完全浸泡在清洗液中。元件浸泡时间 1~15 小时 (浸泡过夜将更好)。为了维持浸泡过程的温度, 可采用很低的循环流量 (约为表 7-5 所示流量的 10%)。浸泡时间随污染严重程度而定, 对于 轻度污染, 浸泡 1~2 小时足够。

5) 高流量水泵循环。

按表 7-5 所示的流量循环 45 分钟。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物。如果污染严重, 请采用高于表 7-5 所规定的 50%的流量将有助于清洗, 在高流量条件下, 将产生过高压降的问题, 单元件最大允许的压降为 1bar (15psi), 对多元件压力容器最大允许压降为 3.5bar (50psi), 以先超出为限。

表 7-5 在高流量循环期间每支压力容器推荐流量

清洗压力 ¹		元件直径(in)	每支压力容器的流量值	
(psig)	(bar)		(gpm)	(m ³ /hr)
20~60	1.5~4.0	2.5	3 ~ 5	0.7 ~ 1.2
20~60	1.5~4.0	4 ²	8 ~ 10	1.8 ~ 2.3
20~60	1.5~4.0	6	16 ~ 20	3.6 ~ 4.5
20~60	1.5~4.0	8	30 ~ 40	6.0 ~ 9.1
20~60	1.5~4.0	8 ³	35 ~ 45	8.0 ~ 10.2

¹ 取决于压力容器内元件数量;

² 4 英寸 full-fit 元件清洗流量为 12~14gpm (2.7~3.2 m³/hr);

³ 适用于 full-fit、400 和 440 平方英尺膜面积元件。

6) 冲洗。

经预处理的合格预处理出水可以用于冲洗清洗液，除非存在腐蚀问题（如静止的海水将会腐蚀不锈钢管道）。为了防止沉淀，最低冲洗温度为 20 °C，系统冲洗时间约 1 小时。

7) 重新启动系统。

必须等待元件和系统达到稳定后，记录系统重新启动后的运行参数，清洗后系统性能恢复稳定的时间取决于原先污染的程度。为了获得最佳的性能，有时需要多次的清洗和浸泡步骤。

附加信息

- A 实践表明，含 Na₄-EDTA 的碱性清洗液清洗效果不及标准碱性溶液或含 Na-SDS 的碱性溶液。
- B 对任何清洗液而言，清洗液与膜元件的接触时间最重要。为了恢复系统性能，有时需要数次清洗液浸泡过夜。在元件清洗之后，再清洗一次才可以非常有效地除去膜面上残留的生物污染膜。任何残留的生物污染膜将会吸引和捕捉污染物，所以，再清洗一遍将有利于延长清洗周期，提高系统性能。
- C 对于工业用水而言，或产品水不是以饮用为目的时，可以在步骤 1)前使用非氧化性的杀菌剂以消灭系统中的细菌和生物膜。请参阅膜系统消毒指南（即用非氧化性的 DBNPA 消毒）。如果只能使用氧化剂例如过氧化氢消毒，则必须先清洗后消毒。

7-7.3 用 DBNPA 消毒

膜通常易于受各种污染，其中产生微生物污染的一个原因是由于细菌活动所致。生物污染会形成富集其它腐殖质的基础条件并导致更为严重的问题，此时受污染的膜系统产水量下降，运行压力增加，脱盐率降低，当上述任一症状出现时，就应怀疑出现了微生物污染，用户应使用杀菌消毒剂，尝试“再生”膜系统，以下是对杀菌消毒剂的要求：

— 与膜兼容	— 不应透过膜进入产水中
— 能发挥较快的消毒作用	— 有广谱杀菌作用能力
— 成本较低	— 可生物降解
— 有易于运输，贮存和操作及稳定的特点	— 符合当前和未来的各种法规。

符合这些要求的杀菌消毒剂为 DBNPA（2,2-dibromo-3-nitrilo-propionamide，2,2-双溴代-3-次氨基-丙酰胺），目前有几种含 DBNPA 的产品可供选用，要了解更多关于 DBNPA 或希望找到供应商，请咨询陶氏抗菌剂网站，可联系www.dowbiocides.com。

消毒频率和步骤

RO/NF 系统运行在高微生物活动的进水中时，在接触各种微生物之后的 3~5 天就会出生物膜，因此，在生物活动旺盛期（夏季），最常规的消毒频率为每 3~5 天一次，在生物活动非旺盛期（冬季），大约每 7 天一次，最佳的消毒频率应根据每个系统的实际情况而定，有两种消毒方法可供选择，短暂或连续加药。

当短暂加药时，使用 DBNPA 的量取决于微生物污染的严重程度，生物活动低的水源，每 5 天加入 10~30ppm 的活性成份 30 分钟到 3 小时处理。如果水中含 100CFU/ml（菌落总数/毫升）或已经确诊为存在生物膜污染时，建议投加方式为连续 3 小时 30ppm。由于 DBNPA 可以被还原剂分解（例如亚硫酸氢钠），水中含有还原剂时，需投加更高浓度的 DBNPA，每 1ppm 残留还原剂要添加 1ppm 有效 DBNPA。为了清除杀死的生物膜，建议使用碱性清洗剂，详见“清洗受生物污染的 FILMTEC™ FT30 膜元件”一节介绍，杀菌剂、杀菌剂的分解产物和杀菌剂配方中的其它成份并不能被膜所完全脱除，因此在投加杀菌消毒剂期间，可能需要将产水排放掉不要。

一旦系统消除了严重的生物膜污染之后，必须采取连续的防范措施，建议连续投加 0.5~1.0ppm 的有效 DBNPA，加药量可

根据生物活动的程度的高低作相应调整，按照这种模式使用 DBNPA，就可以在膜系统内将细菌数量控制在零含量。

虽然 DBNPA 是非氧化性药剂，但当其浓度 $<0.5\text{ppm}$ 或 $>3\text{ppm}$ 时，它会在 ORP 上大约会有 $+400\text{mV}$ 的响应值，而每 1ppm 的氧化性氯和溴在 ORP 上的响应值是 $+700\text{mV}$ ，还会随浓度增加而增加响应值。

7-7.4 用过氧化氢杀菌与消毒

装有 FILMTEC™ FT30 膜元件的系统可以成功地使用过氧化氢或过氧化氢与过乙酸的混合物进行杀菌与消毒。例如 Minntech 公司生产的 Renalin®和 Minncare®就是含过氧化氢与过乙酸的溶液，这些产品是浓缩产品，使用前用膜系统产水按 1:100 比例稀释，得到 0.25%过氧化物稀溶液，在美国 Minneapolis 市一个使用 FT30 的反渗透系统中，四年每周一次在 Renalin 稀释液浸泡过夜，没有任何迹象表明膜出现降解现象。

但一般有两个因素，温度和铁，会引起过氧化氢对膜的攻击损伤，杀菌溶液不应超过 25°C ，以 0.5%过氧化氢在 34°C 时对 FT30 膜样品作试验发现，数小时之后，样品膜的透盐率就相当高了，但同样浓度当温度在 24°C 时，经过 96 小时接触，膜性能仍不受影响。

有铁或其它过渡金属的存在时，过氧化氢也会引起膜的降解，FT30 膜样品在 0.15%过氧化氢和含铁的自来水试验 150 小时之后，膜的透盐率显著地增加了。

当使用过氧化氢杀菌时，建议清洗杀菌步骤如下：

- 1) 在杀菌之前，膜面或系统其它部件任何形式的沉淀必须用碱性清洗液清除掉，清除掉这些蕴藏微生物的沉积物可以提高杀菌消毒效果，碱性清洗之后，再用膜系统的产水冲洗系统。
- 2) 酸洗膜系统，如用 0.1%HCl 或 0.4%磷酸，从膜表面除铁，再用膜系统的产水冲洗系统。
- 3) 控制温度 25°C 以下，以 0.2%过氧化氢溶液，循环 20 分钟，用 HCl 调节 pH3~4 获得最好的杀菌效果和更长膜寿命。
- 4) 将膜元件浸泡在杀菌液中 2~12 小时，浸泡 2 小时可以将 90%的细菌杀死，而 12 小时浸泡可以杀死 99%的细菌。
- 5) 用膜系统的产水冲洗整个系统。

7-7.5 含氯杀菌消毒剂

以下的建议适用 FT30 膜微生物防护和消毒灭菌，在使用以下各节所述化学品时，请遵循安全操作规范，有关化学品安全、处理和丢弃方面的详细问题，请咨询相应化学品供应商。

膜保存

在贮存，运输或系统停运期间，为防止微生物的生长，我们建议将 FILMTEC™ 膜元件浸泡在保护液中，标准保护液含 1%(wt)食品级亚硫酸氢钠，这种保护液不应影响膜通量或其它性能产生不利的影响。

含氯杀菌剂

陶氏 FILMTEC™ 膜可承受短期游离氯（次氯酸）的接触，但是膜对它的抵抗能力是有限的；膜元件可以在出现短暂性接触自由氯的系统里仍有良好的运行性能表现，大约与 1ppm 自由氯接触 200~1000 小时之后，会发生实质性的降解。

氯的攻击速率取决于进水的各种条件，在碱性 pH 条件下氯的攻击速度要高于在中性或酸性的 pH 条件，在含重金属（如铁）的条件下，氯的攻击速度也会加快，因为重金属能催化这一降解反应，因此不建议采用含氯的杀菌消毒剂，这类杀菌剂包括氯胺，氯胺-T 和 N-氯异氰酸酯（N-chloroisocyanurate），在低浓度下，FT30 膜对这类温和的含氯药剂有抵抗力，然而，在

低浓度范围内，作为消毒剂其杀菌效能也很有限，同时，这些化合物还会缓慢地破坏膜，因为它们会与少量的余氯存在平衡。

如系统膜元件的贮存期少于 1 周，可有效地使用浓度为 500ppm 的高纯度 ClO_2 作杀菌消毒剂。但是它不能作为更长贮存期内使用的有效杀菌剂，在使用现场由氯气和氯化钠反应就地制备的 ClO_2 中，总会含有余氯，这样膜元件就会受到含余氯的 ClO_2 攻击，氯胺和 ClO_2 可以透过 FT30 膜片，使得产水中会残留少量的杀菌剂。

7-7.6 其它杀菌剂

允许过氧化氢和过乙酸的最高浓度为 0.2%，最高温度为 25°C，否则会破坏膜，同时还不得存在重金属，因为它们会对膜降解过程起到催化作用。连续性地让膜接触上述浓度，最终也会出现膜的损坏，因此，建议间歇性地使用它。

甲醛 必须在膜元件连续运行至少 6 小时之后，才可以使用，否则会出现产水量的衰减，经过这一连续初始运行之后，可以使用 0.5%~3% 的甲醛进行系统杀菌及长期停用保护。但研究表明，甲醛具有致癌倾向，被逐渐限制使用。

硫酸铜 可用来控制藻类的滋生，通常硫酸铜连续投加量为 0.1~0.5ppm，同时 pH 必须足够低，以防止氢氧化铜的沉淀。碘、四价杀菌剂和酚类化合物会引起膜通量下降，不能作为杀菌消毒剂。

7-8 特定污染物的清洗

7-8.1 清洗硫酸盐垢

下列清洗程序是专门针对硫酸盐垢污染的系统，硫酸盐垢的污染是非常难以清洗的一类膜污染物，如果硫酸盐类垢不能在早期发现，膜系统性能能够清洗恢复的可能性极低，最有可能是将出现产水量的下降并难以恢复。对产生硫酸盐垢一周以上时，试图用清洗的方法恢复系统性能往往是不经济的，而更换元件可能是更好的选择。对于所有清洗过程，其清洗系统配置、pH 和温度范围及建议清洗流量值完全相同，建议参考通用清洗导则的规定。

清洗步骤

采取七个步骤清洗硫酸盐垢污染的膜元件：

1) 按表 7-6 配制清洗液：

表 7-6 硫酸盐垢清洗液

清洗液	清洗液组成
优选	0.1%(wt) NaOH 1.0%(wt) $\text{Na}_4\text{-EDTA}$ pH12，最高温度 30°C

¹ (wt)表示有效成份的重量百分含量；

² 清洗化学品符号为：NaOH 表示氢氧化钠； $\text{Na}_4\text{-EDTA}$ 表示乙二胺四乙酸四钠，陶氏化学产品商标为 VERSENE100 和 220。

³ 硫酸盐结垢的有效清洗，应尽早抓住和处理发生硫酸盐结垢的条件。由于硫酸盐的溶解度会随溶液含盐量的增加而增加，在 NaOH 和 $\text{Na}_4\text{-EDTA}$ 的清洗溶液中加入 NaCl 可能对清洗有所帮助。硫酸盐结垢一周以上，清洗硫酸盐结垢的成功可能性值得怀疑。

2) 低流量输入清洗液。

当清洗水泵混合清洗液，清洗液预热以及用清洗液置换元件内的原水时，应按表 7-1 所列流量值的一半即按低流量和低压力操作条件进行，所需的压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可。压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压能够最大限度的减低污垢再次沉淀到膜表面，视情况而定，应排放部分浓水以防止清洗液的稀释。

3) 循环。

当原水被置换掉后，浓水管路中就应该出现清洗液，可以让清洗液循环返回清洗液水箱。循环清洗液约 30 分钟。

4) 浸泡。

停止清洗泵的运行，让膜元件完全浸泡在清洗液中。元件浸泡时间 1~15 小时（浸泡过夜将更好）。为了维持浸泡过程的温度，可采用很低的循环流量（约为表 7-1 所示流量的 10%），浸泡时间随污染严重程度而定。

5) 高流量水泵循环。

按表 7-1 所列的流量循环 30 分钟。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物。如果污染严重，请采用高于表 7-1 所规定的 50% 的流量将有助于清洗，在高流量条件下，将产生过高压降的问题，单元件最大允许的压降为 1bar（15psi），对多元件压力容器最大允许压降为 3.5bar（50psi），以先超出为限。

6) 冲洗。

经预处理的合格预处理出水可以用于冲洗清洗液，除非存在腐蚀问题（如静止的海水将会腐蚀不锈钢管道）。为了防止沉淀，最低冲洗温度为 20°C，系统冲洗时间约 1 小时。

7) 重新启动系统。

必须等待元件和系统达到稳定后，记录系统重新启动后的运行参数，清洗后系统性能恢复稳定的时间取决于原先污染的程度。为了获得最佳的性能，有时需要多次的清洗和浸泡步骤。但是对硫酸盐结垢而言，预计会有永久性的通量损失。

7-8.2 清洗碳酸盐垢

下列清洗程序是专门针对存在碳酸盐垢沉淀膜系统的清洗，对于所有清洗过程，其清洗系统配置、pH 和温度范围及建议清洗流量值完全相同，建议参考通用清洗导则的规定。

清洗步骤

采取七个步骤清洗存在碳酸盐垢沉淀的膜元件：

1) 按表 7-7 配制清洗液：

表 7-7 碳酸盐垢清洗液

清洗液	清洗液组成
优选	0.2%(wt) HCl pH2，最高温度 45°C
可选	2.0%(wt) 柠檬酸
可选	1.0%(wt) Na ₂ S ₂ O ₄
可选	0.5%(wt) H ₃ PO ₄

¹ (wt)表示有效成份的重量百分含量；

² 按顺序清洗化学品符号为：HCl 表示盐酸；Na₂S₂O₄ 表示连二亚硫酸钠（亚硫酸氢钠）；H₃PO₄ 表示磷酸。

2) 低流量输入清洗液。

当清洗水泵混合清洗液，清洗液预热以及用清洗液置换元件内的原水时，应按表 7-1 所列流量值的一半即按低流量和低压力操作条件进行，所需的压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可。压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压能够最大限度的减低污垢再次沉淀到膜表面，视情况而定，应排放部分浓水以防止清洗液的稀释。

3) 循环。

当原水被置换掉后，浓水管路中就应该出现清洗液，可以让清洗液循环返回清洗液水箱。循环清洗液 10 分钟或直到颜色不变为止。如果任何循环过程中存在 pH 的变化和清洗液颜色的变化，放掉清洗液重新按步骤 1)配置新的清洗液，在清洗过程中应保持 pH2 以便实现有效的清洗。

4) 浸泡。

停止清洗泵的运行，让膜元件完全浸泡在清洗液中。元件浸泡时间 1~15 小时(浸泡过夜将更好)。为了维持浸泡过程的温度，可采用很低的循环流量（约为表 7-1 所示流量的 10%），浸泡时间随污染严重程度而定，对 轻度污染，浸泡 1~2 小时足够。

5) 高流量水泵循环。

按表 7-1 所列的流量循环 10 分钟。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物。如果污染严重，请采用高于表 7-1 所规定的 50%的流量将有助于清洗，在高流量条件下，将产生过高压降的问题，单元件最大允许的压降为 1bar（15psi），对多元件压力容器最大允许压降为 3.5bar（50psi），以先超出为限。

6) 冲洗。

经预处理的合格预处理出水可以用于冲洗清洗液，除非存在腐蚀问题（如静止的海水将会腐蚀不锈钢管道）。为了防止沉淀，最低冲洗温度为 20°C，系统冲洗时间约 1 小时。

7) 重新启动系统。

必须等待元件和系统达到稳定后，记录系统重新启动后的运行参数，清洗后系统性能恢复稳定的时间取决于原先污染的程度。为了获得最佳的性能，有时需要多次的清洗和浸泡步骤。

附加信息

- A 清洗液循环不得超过 20 分钟，因为长时间的循环，碳酸盐将再次沉淀并堵住元件的末端，使得清洗更加困难，清洗过程中，碳酸盐垢与盐酸的反应会释放二氧化碳。取决于污染的严重程度，或许需要重复清洗以除去所有的结垢。清洗严重的结垢可能并不经济，而此时元件更换可能是更好的选择。
- B 以柠檬酸为有效成份的酸性清洗配方原来是为清洗醋酸纤维素类膜元件设计的，实践证明用于聚酰胺类复合膜的化学清洗并不有效，而且清洗费昂贵。更为特别的是，它有成为系统内微生物养分的缺点，引起生物污染。然而其挥发性低，就操作安全性而言比盐酸使用方便，因为这一原因，将其列为可选清洗剂。

7-8.3 清洗铁污染

下列清洗程序是专门针对存在铁污染膜系统的清洗，对于所有清洗过程，其清洗系统配置、pH 和温度范围及建议清洗流量值完全相同，建议参考通用清洗导则的规定。

采取七个步骤清洗存在铁污染的膜元件：

1) 按表 7-8 配制清洗液：

表 7-8 铁污染清洗液

清洗液	清洗液组成
优选	1.0%(wt) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ pH5, 最高温度 30°C
可选	2.0%(wt) 柠檬酸
优选	0.5%(wt) H_3PO_4
可选	1.0%(wt) $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$

¹ (wt)表示有效成份的重量百分含量;

² 按顺序清洗化学品符号为: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 表示连二亚硫酸钠(亚硫酸氢钠); H_3PO_4 表示磷酸; $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ 表示亚硫酸氨。

2) 低流量输入清洗液。

当清洗水泵混合清洗液, 清洗液预热以及用清洗液置换元件内的原水时, 应按表 7-1 所列流量值的一半即按 低流量和低压力操作条件进行, 所需的压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可。压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压能够最大限度的减低污垢再次沉淀到膜表面, 视情况而定, 应排放部分浓水以防止清洗液的稀释。

3) 循环。

当原水被置换掉后, 浓水管路中就应该出现清洗液, 可以让清洗液循环返回清洗液水箱。循环清洗液 15 钟或直到颜色不变为止。如果任何循环过程中存在 pH 的变化和清洗液颜色的变化, 放掉清洗液重新按步骤 1)配置新的清洗液。

4) 浸泡。

停止清洗泵的运行, 让膜元件完全浸泡在清洗液中。元件浸泡时间 1~15 小时 (浸泡过夜将更好)。为了维持浸泡过程的温度, 可采用很低的循环流量 (约为表 7-1 所示流量的 10%), 浸泡时间随污染严重程度而定, 对 轻度污染, 浸泡 1~2 小时足够。

5) 高流量水泵循环。

按表 7-1 所列的流量循环 45 分钟。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物。如果污染严重, 请采用高于表 7-1 所规定的 50%的流量将有助于清洗, 在高流量条件下, 将产生过高压降的问题, 单元件最大允许的压降为 1bar (15psi), 对多元件压力容器最大允许压降为 3.5bar (50psi), 以先超出为限。

6) 冲洗。

经预处理的合格预处理出水可以用于冲洗清洗液, 除非存在腐蚀问题 (如静止的海水将会腐蚀不锈钢管道)。为了防止沉淀, 最低冲洗温度为 20°C, 系统冲洗时间约 1 小时。

7) 重新启动系统。

必须等待元件和系统达到稳定后, 记录系统重新启动后的运行参数, 清洗后系统性能恢复稳定的时间取决于原先污染的程度。为了获得最佳的性能, 有时需要多次的清洗和浸泡步骤。

附加信息

- A 连二亚硫酸钠具有非常刺激性的气味, 清洗间必须通风良好, 必须遵循所有的安全操作规定和程序。
- B 接触时间是成功达到清洗目的关键所在。有时清洗液会变成很多不同的颜色, 对这类清洗, 黑色、棕色、黄色均属正常。任何时候, 清洗液颜色发生变化时, 该清洗液应排放掉, 并配置新的清洗液, 浸泡的时间长短和次数取决于污染的严重性。
- C 以柠檬酸为有效成份的酸性清洗配方原来是为清洗醋酸纤维素类膜元件设计的, 实践证明用于聚酰胺类复合膜的化学清洗并不有效, 而且清洗费昂贵。尤其是, 它有成为系统内微生物养分的缺点, 引起生物污染。然而其挥发性低, 就操作安全性而言比连二亚硫酸钠 (亚硫酸氢钠) 使用方便, 因为这一原因, 将其列为可选清洗剂。

7-8.4 清洗有机物污染

下列清洗程序是专门针对存在有机物如腐植酸和富里酸、阻垢剂或油等污染膜系统的清洗，对于所有清洗过程，其清洗系统配置、pH 和温度范围及建议清洗流量值完全相同，建议参考通用清洗导则的规定。

采取六个步骤清洗存在有机物污染的膜元件，但这六个清洗步骤需要重复进行，一次为高 pH 清洗液，另一次为低 pH 清洗液：

1) 按表 7-9 配制清洗液：

表 7-9 有机物污染清洗液

清洗液	清洗液组成
优选	先用 0.1%(wt) NaOH, pH12, 最高温度 30°C 进行清洗， 再用 0.2%(wt) HCl, pH2, 最高温度 45°C 进行清洗。
优选	先用 0.1%(wt) NaOH, 0.025%(wt) Na-SDS, pH12, 最高温度 30°C 进行清洗， 再用 0.2%(wt) HCl, pH2, 最高温度 45°C 进行清洗。
可选	先用 0.1%(wt) NaOH, 1.0%(wt) Na ₄ -EDTA, pH12, 最高温度 30°C 进行清洗， 再用 0.2%(wt) HCl, pH2, 最高温度 45°C 进行清洗。

¹ (wt)表示有效成份的重量百分含量；

² 按顺序清洗化学品符号为：NaOH 表示氢氧化钠；Na-SDS 表示十二烷基苯磺酸钠；Na₄-EDTA 表示乙二胺四乙酸四钠，陶氏化学的产品商标为 VERSENE100 和 220。

2) 低流量输入清洗液。

当清洗水泵混合清洗液，清洗液预热以及用清洗液置换元件内的原水时，应按表 7-1 所列流量值的一半即按低流量和低压力操作条件进行，所需的压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可。压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压能够最大限度的减低污垢再次沉淀到膜表面，视情况而定，应排放部分浓水以防止清洗液的稀释。

3) 循环。

当原水被置换掉后，浓水管路中就应该出现清洗液，可以让清洗液循环返回清洗液水箱，循环清洗液 30 分钟如果清洗液颜色仍发生变化，放掉清洗液重新按步骤 1)配制新的清洗液。

4) 浸泡。

停止清洗泵的运行，让膜元件完全浸泡在清洗液中。元件浸泡时间 1~15 小时（浸泡过夜将更好）。为了维持浸泡过程的温度，可采用很低的循环流量（约为表 7-1 所示流量的 10%），浸泡时间随污染严重程度而定，对轻度污染，浸泡 1~2 小时足够。

5) 高流量水泵循环。

按表 7-1 所列的流量循环 30 分钟。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物。如果污染严重，请采用高于表 7-1 所规定的 50% 的流量将有助于清洗，在高流量条件下，将产生过高压降的问题，单元件最大允许的压降为 1bar（15psi），对多元件压力容器最大允许压降为 3.5bar（50psi），以先超出为限。

6) 冲洗。

经预处理的合格预处理出水可以用于冲洗清洗液，除非存在腐蚀问题（如静止的海水将会腐蚀不锈钢管道）。为了防止沉淀，最低冲洗温度为 20°C，系统冲洗时间约 1 小时。

7) 用 pH 为 2 的 HCl 溶液重复步骤 2)至 6)。

8) 重新启动系统。

必须等待元件和系统达到稳定后，记录系统重新启动后的运行参数，清洗后系统性能恢复稳定的时间取决于原先污染的程度。为了获得最佳的性能，有时需要多次的清洗和浸泡步骤。

附加信息

- A 为了最大地提高清洗效率，清洗液的温度必须高于 25°C，升高温度有利于帮助清洗液从膜面上除去有机污染物。
- B 有些有机物如油类非常难以清洗，为了除去它们，需试验各种清洗浸泡时间以获得最佳效率。此外，最有效的清洗液通常含有表面活性剂如 Na-SDS 或某些商品清洗剂含有表面活性剂及洗涤剂，它们能帮助除去油污染。请咨询该化学品供应商。
- C 如果有机污染源于预处理部分加入了过量絮凝剂，相反次序使用清洗剂(先用酸性清洗液后用碱性清洗液)更有效，为了确定合适的清洗液顺序（先高 pH 后低 pH 或反之），请设法获取系统污染物样品，针对样品先用碱性后用酸性溶液或反之，定性地确认何种顺序更好。如果效果相当，通常先用高 pH 清洗液清洗有机物更为合适。

7-8.5 紧急清洗

如果没有及时进行清洗操作，使得系统压差 ΔP 增加了两倍，标准化产水量下降了 50%，采用前面所介绍的清洗方法恢复系统性能可能会很有限，如果上述标准清洗技术难以除去污染物，就必须尝试更加严厉的清洗。

在这种情况下，请与你附近的陶氏公司代表联络，但是必须强调地是，经这类非常规清洗之后，无法保证应有的清洗效率或膜元件的性能。

第 8 部分 保存与运输

8-1 序 言

使用 FILMTEC™ 膜元件必须采取恰当的处理与保存方法防止膜元件在长期保存、运输或系统停运期间微生物的滋生和膜性能的变化。膜元件最好放置在出厂时的原始包装内，仅在系统投运前装入压力外壳内。

当使用杀菌剂作为膜组件的保护液时，应遵循规定的安全操作规程，必须配戴眼睛，并参阅相关化学品供应商的材料安全参数表。

8-2 FILMTEC™ 膜元件

8-2.1 保 护

FILMTEC™ 新元件出厂时大部分为干式元件，也有少部分是经抽查测试过含保护液的湿元件，这些经过测试过的湿元件保存在含 1%(wt)食品级亚硫酸氢钠（SMBS）的标准保护液中，它能在元件的贮运期间起到防止微生物滋生的作用。湿元件经陶氏水处理及过程解决方案的质量控制部门抽查测定后，在上述保护液中浸泡 1 小时，取出沥干后，采用双层塑料袋密封，其中的内层材料能隔绝氧气，FILMTEC™ 干元件没有经过单独的评测，仅采用了单层塑料包装，也不需要任何的保护液，在开封使用前，必须保证包装密封完好。

任何 FILMTEC™ 膜元件经过使用并从压力外壳内取出后，必须按下列方式对元件进行保护才能进行贮存或运输：

1. 配制含 1%食品级 SMBS（未经钴活化过）标准保护液，最好采用反渗透或纳滤的产水来配制上述溶液；
2. 将膜元件浸泡在该标准保护液中 1 小时，元件应垂直放置，以便能赶走元件内的空气，然后将元件沥干，放置在能隔绝氧气的塑料袋中，我们建议使用元件原有的塑料袋。也没有必需在塑料袋内灌入保护液，元件内本身所含的湿份就足够了，否则，一旦塑料袋破损会引起运输的麻烦；
3. 在组件塑料袋外面标注元件编号和保护液成份。

8-2.2 元件再润湿

经过使用之后的膜元件不慎干燥之后，可能会出现不可逆水通量的损失，请试用以下方式进行元件再湿润：

1. 在 50%乙醇水溶液或丙醇水溶液中浸泡 15 分钟；
2. 将元件加压到 10bar 并且将产水口关闭 30 分钟，但应切记在进水压力泄压之前必须先打开产水出水阀门，该步骤可在元件装入系统内进行，在这种情况下，当产水出口关闭时，进水端与浓水端的压差不应大于 0.7bar，否则在浓水端就会出现产水背压，引起膜片的损坏，最稳妥的做法是，将产水出口阀门关小，使产水压力接近浓水端压力，这样也就没有必要关心压降的限定问题了；
3. 将元件浸泡在 1%HCl 或 4%HNO₃ 中 1~100 小时，元件必须垂直浸泡，以便于排出元件内的空气。

8-2.3 贮 存

请遵循以下的规定保存 FILMTEC™ 膜元件：

- 存放地点必须阴冷干燥没有阳光直射；
- 温度范围- 4°C~45°C，新的未经使用的干式元件在低于- 4°C 时不会受影响；保存在 1%SMBS 标准保护液中的元件在- 4°C 以下时会结冰，因此应当避免；

- 将元件尽可能一直保存在原始的包装内，在温度低于 45°C 时干元件的保存时间没有限制；
- 用保护液保存的元件，每 3 个月必须检查一次微生物的生长状况，如果保护液发生混浊或超过 6 个月的话，应从包装袋中取出元件，重新浸泡在新鲜的保护液中 1 小时，沥干后再重新作密封包装；
- 如果没有设备进行保存（如新鲜的保护液、清洁的环境或封袋机），元件可以在原始的含保护液的袋中存放最多 12 个月，当元件装入压力容器中时，启用之前则应采用碱性清洗液进行清洗。
- 保存液 pH 不可低于 3，当亚硫酸氢钠氧化成硫酸时，pH 值会降低，这一点对海水淡化膜元件特别重要，因此此膜元件在低 pH 贮存时，脱盐率会受到影响。因此，亚硫酸氢钠保存液的 pH 值每 3 个月至少要抽样检测一下当 pH 低于 3 时，需更新保存液。

8-2.4 运 输

当必须将 FILMTEC™ 元件运往它处时，必须按照 8-2.1 节的规定对元件用保护液进行保存，并保证：

- 塑料袋不会渗漏；
- 元件已做了合适的标识；
- 保护液也做了合适的标识。

我们建议应使用原始包装中的聚苯乙烯泡沫垫防止膜元件受到机械的损坏。特别是尺寸小于 8" 的元件的两端最容易受到机械损坏。

8-2.5 废元件的处理

用过的废元件可以按照一般市政废物处理，只要组件满足下述条件：

- 元件内不含保护液或其它有毒液体；
- 膜面上不存在有毒物质（如果元件用于废水处理时）。

8-3 反渗透和纳滤系统

在 6-2.6 节中介绍了停运一个 RO/NF 系统的程序，膜元件在系统停运 48 小时以上时，必须进行保存处理，以防止微生物的生长，根据过去系统运行的历史经验，几乎所有系统的膜元件在停用或保存前均应进行化学清洗，当已知膜有污染或怀疑有污染的情况时这一步骤更加重要。

在清洗之后的 10 小时之内，必须实施如下的保护措施：

1. 将元件浸没在 1~1.5% SMBS 保护液中，并将空气从压力容器内赶走。建议采用溢流技术，通过循环 SMBS 溶液，使系统内的残留空气最少，才算完成循环；
2. 关闭所有阀门以防止空气与保护液接触，因为这样的接触会氧化 SMBS；
3. 每周检查一次保护液 pH 值，当 pH 低于 3 时，应更换保护液；
4. 每月更换一次保护液。

在停运期间，必须防止膜系统结冰，温度不可超过 45°C，满足上述条件时，保存环境温度，越低越好。

第 9 部分 故障排除

9-1 序 言

脱盐率和产水量的下降是反渗透和纳滤系统中最常见的故障，膜元件进水流道的堵塞并伴随着组件压差的增加是另一类典型的故障，如果脱盐率和产水量较平缓地下降，这就表明系统存在正常的污堵，它可以通过恰当和定期地清洗来处理。而快速或突然的性能下降表明系统有缺陷或误操作，尽早采取相应的纠正措施十分必要，因为任何的拖延处理将会丧失恢复系统性能的机会，同时也会出现极低的产水量和极高的产水含盐量 TDS。

正常地记录运行数据并对系统性能进行标准化处理，对尽早发现潜在问题十分必要，它包括对所有的仪表进行正确的校正，没有准确的数据，等到出现问题可能就会太迟了。

一旦发现性能下降，解决问题的第一步就是确定问题的所在位置以及找出问题的原因，可以使用运行参数记录表或某些在线测量仪表来实现，如果系统配套有必要的取样点或仪表，就能更加有效地进行故障排除。请参阅“便于今后排除系统故障的设计建议”一节的规定，如果系统数据不足以确定原因和采取纠正措施，必须从系统中取出一个或一个以上的膜元件进行分析，这种针对膜元件性能的分析包括非破坏性和破坏性的分析。

9-2 全系统故障分析

全系统故障分析由下述步骤组成：

- ❖ 整个系统调查
- ❖ 膜元件评估
- ❖ 系统评估
- ❖ 纠正措施

9-2.1 整个系统调查

如果整个系统性能不理想，第一步就是调查分析整个系统，对系统实际性能与 ROSA 设计软件的预测性能进行比较是很有帮助的。

ROSA 软件是用于估算某一特定 RO 或 NF 系统在设计或实际条件下的稳定性能的工具，这一预计的性能是基于所用 FILMTEC™膜系统的标准化性能，污染系数（Fouling Factor）为 1.00 的计算值用于估算新元件在标准产水量下的性能，污染系数 <1 用于设计长期操作的系统性能。在实际系统中，元件的产水量性能在标准产水量 $\pm 15\%$ 范围内波动，或在元件限定的产水量规范范围内波动，同时单支膜元件的脱盐率也可能比标准脱盐率略有高低但高于最低脱盐率，因此，从实际系统中测量得到的稳定脱盐率并不一定能正好与软件预测的性能完全吻合，但若是 36 支以上新元件的系统，两者应相当接近。

含 36 支以上新元件稳定系统的实际污染系数应该在 0.95 至 1.05 之间，产水中实测 TDS 值也不应该大于软件预测产水 TDS 值的 1.5 倍。但对于仅有一支或少数几支元件的系统，实测所得的系统性能与软件预测性能之间的差异会因个别元件的不同而有较大的偏差。

如果该系统实测性能不能足够接近软件预测性能，应根据既往经验按下列各项检查：

- ❖ 所有的仪表、传感器、显示器进行校核了吗？

故障分析小窍门 >>> 流量与电导的测量准确度

原理—应用基本质量平衡方程确认流量与电导测量仪表的准确度。

为了保证膜系统无故障运行，膜装置应该在设计流量和回收率特别是必须满足最小浓水流量的条件下操作。超极限的流量将导致膜元件的损坏，过低的流量将不利于带走浓水侧悬浮固体，会引起膜的污染。当超过设计回收率运行时，膜系统将会出现结垢或污染。

图 9-1 中的方程式给出了检验流量与电导测量仪表准确度的简单方法，这些方程必须作为一种准确度指示但不能代替定期的仪表校正。如果利用方程(2)发现偏离了 1，必须对仪表进行校正。

图 9-1.检验流量与电导测量仪表准确度的质量平衡方程

$$\begin{aligned} (1) \quad & \text{进水流量} = \text{产水流量} + \text{浓水流量} \\ (2) \quad & \frac{(\text{进水流量})(\text{进水电导})}{(\text{产水流量})(\text{产水电导}) + (\text{浓水流量})(\text{浓水电导})} = 1 \pm 0.05 \end{aligned}$$

为了确保公式(2)有效，要在所有化学条件准确反映膜系统进水之后读取电导测定值。

❖ 系统是否已经进入运行与性能稳定期？

读取系统的各参数，必须在其连续运行 24 到 72 小时左右，如果系统已经运行更长时间的话，必须研究分析系统标准化性能数据的变化趋势。采用 FTNORM 程序，就可以将非标准条件下的运行数据折算成系统在标准化条件下的性能。请参阅介绍 FTNORM 程序的相关章节。

❖ 产水压力是否已经考虑在内了？

有时系统运行时，产水压力较高，忽略产水压力的影响，会导致污染因子数值较小所致的不符合膜实际性能的结果。

❖ 从装置进水端至浓水出水端是否有很高的压降存在？

ROSA 软件中默认每段管道压力损失为 0.35bar (5psi)，如果在装置内进水或浓水管路上存在水流阻力，则会出现过高的压降损失或较小的污染因子数值。

❖ 检查系统的管道和仪表工艺流程图（P&ID 图）

1. 是否有预防产水背压的措施？
2. 设计是否考虑了便于故障排除的要求？请参阅“便于今后排除系统故障的设计建议”的规定。
3. 是否有防止压力外壳内出现虹吸的措施？

❖ 检查开机和停机的顺序规定，针对水锤、产水背压（背压定义为产水压力高于进水或浓水压力）和产水回吸（回吸定义为产水重新渗入进水或浓水侧，当进水为海水或高盐度时，产水回吸现象十分明显）等现象，膜系统是否仍很安全？

❖ 检查所采取的清洗步骤和所用的清洗药品，清洗步骤是否有效，清洗药品是否会损坏膜元件？

❖ 系统清洗频度怎样？过高的清洗频度表明预处理性能不好，频繁采用强烈的清洗会缩短膜寿命。

❖ 是否进行了水质分析？电导率的数值是不足以用于计算 TDS 脱除率的，尤其是原水中的 CO₂ 会完全透过膜进入产水中，转化成碳酸，将会导致产水电导率的上升。

❖ 检查氯或其它氧化性化学品的使用情况，表明会出现潜在氧化问题。

❖ 检查保安滤器的更换速率，过高的更换速率预示着膜系统会有潜在的污堵风险。

❖ 检查 SDI 数据，进水的 SDI 应根据设计的规定要求稳定地保持在<5 或<3。

❖ 检查结垢计算书并确认所加阻垢剂等化学品的加入量是否符合要求。

如果上述各条都已经充分考虑过了，而观察到的系统性能仍然超出了预期范围，应进行下述膜系统本体评估。

9-2.2 膜本体评估

在整个系统经过检查之后，应对系统进行更详细的评估。

9-2.2.1 目 测

❖ 整个水处理系统的洁净程度如何？

水箱和管道内壁的霉菌和微生物的滋生表明会有生物污堵故障，当系统停止运转时，空气会从渗漏点进入膜元件压力容器内，在系统下一次开机时，会产生膜元件的水力冲击。

❖ 打开压力容器的进水端板，第一支膜元件的端面上是否存在任何污染物？湿表面上的生物膜会有滑腻的感觉，是否有异味？膜元件是否进行了间隙调整？参见 6-1.3 “调整膜组件在压力外壳内的轴向间隙”的说明。

❖ 打开最后的压力容器端板，如果有结垢沉淀的话，摸上去的感觉就象砂布。

❖ 从压力容器内取出膜元件，检查其中的连接件，“O”型密封圈是否被扭坏、损伤或尺寸不配，如有上述情况，需要更换“O”形圈。

❖ 检查元件是否污堵、结垢或机械损坏，至少应查看系统内第一段中的第一支和最后一段的最后一支膜元件的情况。

9-2.2.2 污染类型及清洗对策

❖ 针对不同清洗方式，系统性能的恢复情况如何？

❖ 从系统内流出来的清洗液外观如何？分析及对比清洗排放液与新鲜清洗液中金属和 TOC 的含量。

9-2.2.3 确定漏点位置。

9-2.2.3.1 寻找分布规律

如果系统的透盐率偏高，进行故障排除的第一步就是要确定盐渗漏的位置，脱盐率的下降在整个系统内可能很均匀，也可能仅局限于系统的前端或末端。它可能是总体的系统故障，也可能是个别压力容器的故障，为了确定系统中高漏盐率的位置，首先建议找出系统中的透盐率分布规律。而为了做到这一点，应能够测定出所有压力容器单独的 TDS、电导率或其它水质相关数值。在取样过程中应防范其它压力容器内的产水混入而影响测定结果，然后测定所有产水样品中的溶解性固体 TDS 的浓度，可使用 TDS 仪或电导率仪来测定。在纳滤系统中，还必须采用测定硫酸根离子或其它相关组份的分析方法。在同一段内所有压力容器产水样品的测试结果应该位于同一区间，当然应该注意到从第一段到第二段，平均产水 TDS 或电导率值应该相应增加，这是因为第二段的进水是第一段的浓水的缘故。为了确定所有压力容器中的溶质的泄漏率，还应测定每一段的进水浓度。漏盐率是产水浓度与进水浓度的百分比。这样，高漏盐率可能出现在第一段或第二段，也可能出现在某些压力容器中。

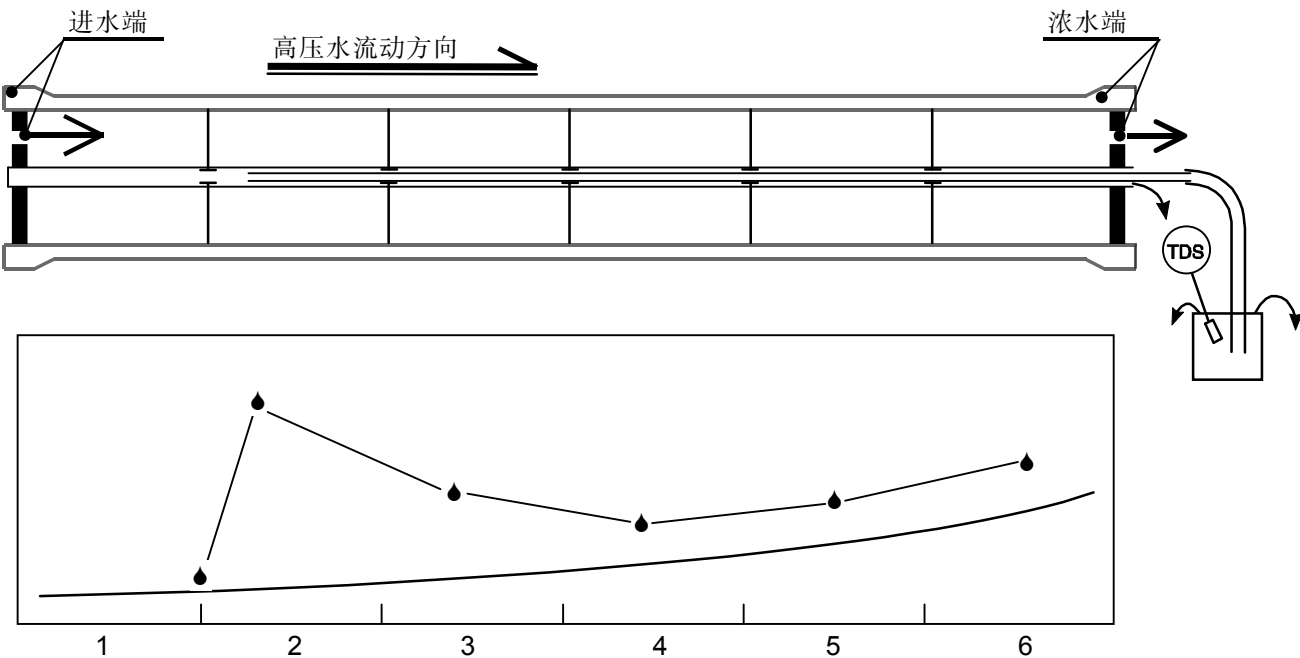
9-2.2.3.2 探测膜元件

如果某一压力容器表现出比同一段其它压力器更高的产水浓度，应该探测该压力容器内的膜元件性能，本节所介绍的方法允许在线无需拆下膜元件，在压力容器内就可确定故障的位置。探测法采用一根约 1/4 英寸直径塑料管插入整个膜组件的产水中心管内，如图 9-2 所示，它需要断开被测外壳的产水管与总产水管的接管或卸下压力容器另一端的产水出口堵头。如果没有拆开与产水总管的连接，则应确保其它压力容器的产水不会影响探测工作。

当 RO/NF 系统以正常操作条件运行时，从压力容器产水中心管内初始分流出来的水样是没有代表性的，应等待几分钟，使探测引水管得到冲洗，系统达到平衡，然后从探测管流出来的产水 TDS 数值可由手持式仪表进行测定，并作数据记录，它能反映出该位置膜元件的产水 TDS 值，探测管应从最深处拉出 6 英寸（根据不同外壳品牌而异），以测定压力容器端板和膜元件间适配器（俗称手榴弹）处的产水电导率，然后再拉出 8 英寸，测定出该处的产水电导率，按此间隔获得产水电导的分布规律如图 9-2 所示，取样的位置间隔必须为 8 英寸（200mm），以便每组中的第五个产水取样对应于两个组件间的内接

头。这种测量方法可以测量每一组件的多处数据，并同时检查了所有的内接头和适配器的“O”形圈。因此在测量时应在取样管上做上记号，以便快速找到所需的取样位置。

图 9-2 产水电导率分布规律



从容器的进水端到浓水端，正常产水的电导率分布显示平衡的增高态势。若出现非正常的偏离这一分布规律就可以确定高漏盐率故障的位置。“O”形圈故障一般会反映出对应于内接头或适配器处的电导率变化曲线上有一个突然变化。而其它位置的电导率显著增加说明相应膜元件存在故障。

9.2.3 膜元件评估

9.2.3.1 代表性元件的选择

当导致系统性能下降的原因不详或必须确定原因时，可单独分析系统内某一支或多支元件，它们是那些电导率突然增加的元件。

如果整个系统的故障较均匀，视问题的位置而定，需分别选取最前端和最末端元件，通常最前端元件故障为污堵（fouling）而最末端元件故障为结垢（scaling），当无法确定故障大体原因时，则需前后端各取一支元件进行分析。

当打算作清洗试验时，建议选择附近另一支元件作对比样品，这样其中一支元件用于作污染分析，并在实验室作清洗试验，而将实验室结果应用于另一支元件上作印证试验。

9.2.3.2 DIRECTORSM Services

陶氏化学公司提供一种称之为 DIRECTORSM Services 的服务，它包括各种检查、诊断和试验项目，在陶氏液体分离部网站上列有更详细的服务介绍，大型系统通常在现场设有评价膜元件的装置，现场目测和某些简易检查能够提供迅速而有价值的系统故障信息。

9-2.3.3 目测和称重

目测元件外观可以得出有关污堵或结垢故障的信息，膜元件出现望远镜现象或玻璃钢等外缠绕层的破坏表明存在超极限的水力冲击，极高的压降或不正确的元件安装问题；若检查发现产水管有机械损坏的话，就会引起高漏盐率；还应目测检查盐水密封圈是否完好，安装方位是否正确等。

元件的重量是判断其受污堵程度的重要指标，某些严重污堵的元件重量可能会增加一倍以上。

表 9-1 FILMTEC™ 元件重量一览表。

型 号	干元件		湿元件*		型 号	干元件		湿元件*	
	磅	公斤	磅	公斤		磅	公斤	磅	公斤
XLE-4040	5	2.3	7	3.2	BW30-365	25	11.3	31	14.1
LP-4040					BW30-400	26	11.8	32	14.5
TW30-4040					BW30-400/34i				
BW30-4040	6	2.7	8	3.6	LE-400	/	/	32	14.5
BW30LE-4040					RO-390-FF				
BW30HRLE-4040					NF90-400				
NF90-4040					NF270-400				
NF270-4040					NF200-400				
NF200-4040					NF-400				
NF-4040					XLE-440	28	12.7	33	15.0
RO-4040-FF	/	/	8	3.6	BW30LE-440	/	/	30	13.6
					LE440i				
					BW30-440i				
					SW30HR-320	/	/	31	14.1
					SW30HR-380				
					SW30-380				
					SW30XLE-400				
					SW30HRLE-400				
					SW30HRLE-400i				

* 注：湿元件为沥干后的重量

9-2.3.4 泄漏试验

膜元件若出现高漏盐率，首先要检查进水或浓水与产水间是否有短路，有时也会因为膜面出现穿孔、刮伤或粘接密封不良等所致，以下为检查 FILMTEC™ 元件是否有泄漏，即确定其完整性的方法。

对沥干的膜元件产水中心管抽真空，中心管内压力的增加速度会显示该膜元件的机械完整性或膜面是否泄漏，虽然受到化学药品破坏的膜元件仍能较好地维持真空度，但受到机械损坏的膜则不能维持真空度。该方法又被称为真空试验，是十分有效的筛选步骤，但不能用于确认渗漏，只能测出明显不能维持真空度膜元件的泄漏。方法如下：

1. 沥干膜元件；
2. 用一个合适的防漏真空橡皮塞住产水中心管的一端，将产水中心管的另一端与真空仪表和一台含阀门的真空设备相连接；
3. 将膜元件抽真空之至 100~300mbar 的绝对压力，关闭隔离阀，观察真空仪表上的读数，注意真空消失的速率，真空度以大于每分钟 200mbar 的速度迅速消失，表示存在元件泄漏；

4. 在解除连接管路之前缓慢地释放真空让膜元件恢复到大气压力。

9-2.3.5 性能试验

标准元件性能试验用于决定 FILMTEC™ 元件在 FILMTEC™ 标准试验状况下的脱盐率和产水流量，试验结果可与有疑问的元件性能数据作对比，元件性能应在任何清洗试验之前和之后各进行一次，以便评估清洗处理效果。

标准试验装置为一套装有恒温加热器，能维持进水温度为 25°C 的原水箱，增压泵，高压泵和一个膜组件，详细规定请参见 ASTM D4194-89。使用测试溶液为氯化钠水溶液，产水和浓水可再循环返回原水箱内。氯化钠或其它溶质的浓度与进水压力，请参阅有关 FILMTEC™ 元件标准试验条件规定，进水流量应作调整使元件的回收率符合标准试验状况的规定，采用 HCl 或 NaOH 调整测试溶液 pH 值至 8。

记录以下测试数据的时间为开机后 1 小时、2 和 3 小时，随后每 1 小时作记录，直至连续 3 次校正至 25°C 的产水流量及透盐率数据的偏差在 5%之内：

- ❖ 进水、浓水和产水压力；
- ❖ 产水温度；
- ❖ 产水及浓水流量（用校正后的流量计或含刻度的容器与秒表读数）；
- ❖ 进水、产水与浓水电导率或氯离子的含量。

产水流量应校正至 25°C，脱盐率可根据产水电导率 K_p 与进水电导率 K_f 计算得出：

$$\text{脱盐率, \%} = (1 - K_p/K_f) \times 100$$

9-2.3.6 清洗试验

当膜元件产水流量比规范值低很多时，应当尝试对膜元件进行清洗。但若膜元件本身已受到伤害或已经受到严重污染（当渗透流量小于原定值的 50%）时，将难以获得有效的清洗效果。

采用清洗来确定故障的方法包括建立清洗程序、确认代表性元件及随后的性能评测，清洗评估可以在性能测定之后对膜元件进行，也可以在膜元件作破坏性解剖之后对元件内的膜片进行，参阅第 7 章清洗与杀菌部分的介绍。

当证明清洗试验有效时，即可用来清洗整个膜系统。

9-2.3.7 解剖分析

确定性能损失原因的最终方法是对元件作破坏性解剖分析。破坏分析如为质保目的时，则需由陶氏技术服务与开发部门来参与。

当除去元件末端的抗应力器和缠绕外皮时，就可以打开元件内的膜叶。沿膜元件圆周轴向均匀切开 2~4 个切缝，切缝的深度正好深及缠绕的外皮，然后仔细打开膜元件，不至于伤及膜表面，检查膜叶完整性，全面认真地查看膜表面，裁剪膜样品或收集污垢物，进行化学分析或膜片平板性能测试。

加压染料试验

为了确定高漏盐率的原因和位置，在解剖元件前，应配制染料溶液对膜元件进行加压运行，所用染料为若丹明 B（碱性蕊香红，一种红色荧光染料），产水出现红色代表该膜受到破坏，解剖经过染料处理过的膜元件，查看染料的漏点，膜有损坏的区域会残留红色，这种评估方法能帮助人们辨别膜的化学损坏（如氧化）和机械损坏（如产水背压）。

9-2.3.8 膜面分析

沉积物的形态可借立体与标准光学显微镜或扫描电子显微镜来确定。

元件膜表面或污垢与水垢层所含化学元素可从能量散射 X-射线荧光分光法 (EDXRF) 确定, 通过 EDXRF 分析未经处理过的膜片样品、经清洗过和经冲洗过的膜片样品以及收集到的干燥污垢物等, 确定膜和污垢内化学元素的半定量结果, 这种方法可以作为膜被卤代化合物破坏的证据, 可能检测到的典型元素为 Ca, Ba, Sr, S (结垢物内), Fe, Si, Pb, Zn (胶体污物内) 和 Cl, Br, I (氧化性破坏)。但该方法不能确定完全由有机物和微生物污染所致的故障。

通过电子光谱化学分析 ESCA 可以鉴别与膜表面有机结合的杂质, 这一方法主要用于确定氧化性破坏的来源。

平板膜片评估

元件解剖之后进行这一评估测试: 裁剪下膜片样品, 该样品可采用各种不同的化学品清洗或处理, 根据样品的对比, 比较经过不同方法处理后的膜片样品的性能变化。

9-3 故障症状、起因和纠正措施

当提到 RO/NF 系统的故障通常表示至少出现下列某些现象之一:

- ❖ 标准化产水量下降, 常常需要提高运行压力来维持额定的产水量;
- ❖ 标准化的透盐率增加, 在 RO 中表现为产水电导率的增加;
- ❖ 压降增加, 在维持进水流量不变的情况下, 进水与浓水间的压差提高。

根据上述症状, 出现问题的位置和类型, 通常可以确定故障的起因, 下面将系统地讨论上述三种主要故障。

9-3.1 低产水量

如果系统出现标准化产水偏低的现象, 确定问题的一般规律是:

- ❖ 若第一段有问题, 则存在颗粒类污染物的沉积;
- ❖ 若最后一段有问题, 则存在结垢;
- ❖ 若所有段都有问题, 则存在污堵。

低产水量故障的同时还会伴随有透盐率正常, 偏高或偏低, 根据不同的组合, 可以总结出不同的故障原因。

9-3.1.1 低产水量正常透盐率

会有下列几种原因导致低产水量正常透盐率:

1) 微生物和天然有机物 (NOM)

下列操作参数的改变表示膜元件发生了微生物的污染, 尤其是在系统的前端:

- ❖ 当以相同的进水压力及回收率操作时, 产水流量降低;
- ❖ 当以相同进水压力运行时, 如果生物污堵滋生出大量的生物物质时, 系统的回收率降低;
- ❖ 如果在相同回收率下, 需要保证产水量不变, 就必须提高进水压力, 当长期这样操作时, 提高进水压力会产生恶性循环, 因其加快污堵速率, 使得今后的清洗更加困难;

- ❖ 当产生大片细菌污染，或同时伴有淤泥污堵时，系统压差就会显著增加，压力容器两端的压差可作为出现污堵的敏感性指标，因此在系统内每一段间安装压力监测装置十分必要；
- ❖ 刚开始时，透盐率正常甚至较低，当大量污垢出现时，透盐率就会迅速增加；
- ❖ 当进水、浓水或产水水样中含大量微生物时，表示已产生或存在生物污染，微生物的正确监测方法请参考“微生物活动的监控”一节介绍，当怀疑有微生物污染时，应依 6-2.8 节叙述的项目进行系统地检查；
- ❖ 触摸微生物膜就会感觉到十分滑腻并常有难闻的气味；
- ❖ 燃烧是一种快速判定微生物污染的方法，生物膜样品的气味就如同焚烧头发一样。

图 9-3 膜表面的生物污染层（膜元件解剖后所拍摄的膜表面照片）

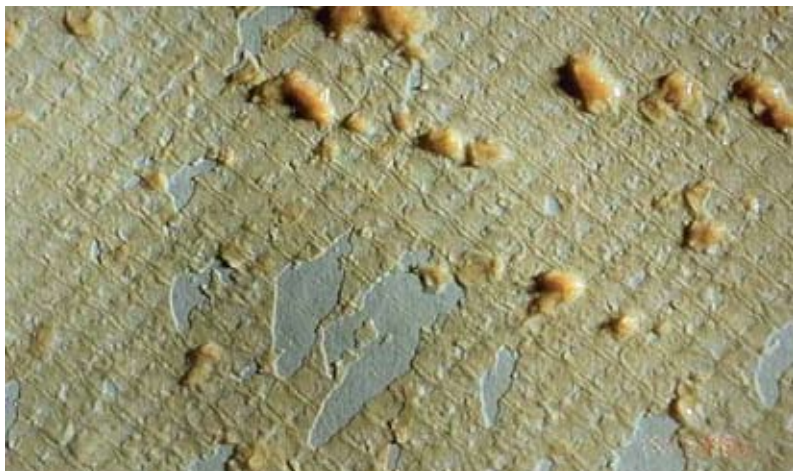
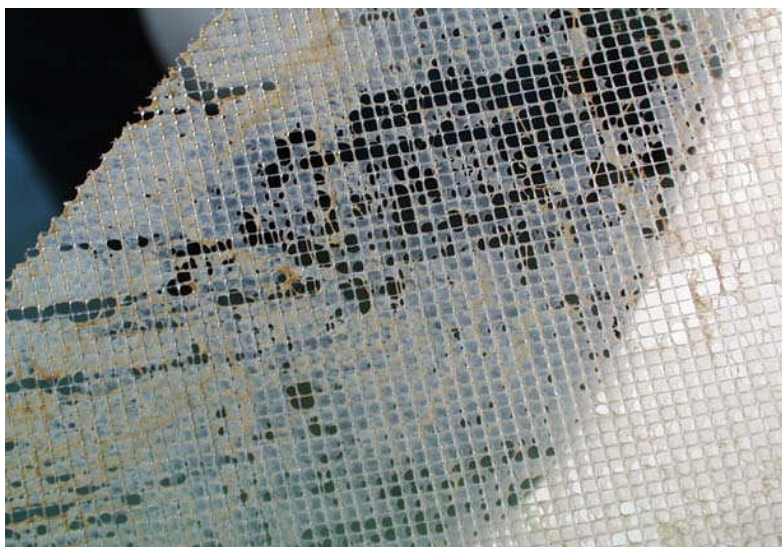


图 9-4 膜元件内进水网格上所黏附的生物污染层（膜元件解剖后所拍摄的膜表面照片）



造成生物污染的原因是因为进水的微生物活性高同时又未采取合适的预处理。纠正措施有：

- ❖ 清洗并消毒整个系统，包括预处理和膜本体部分，同时应注意如果清洗和消毒不彻底，会出现迅速的重新污染；
- ❖ 安装或优化预处理以应对原水的微生物污染，请参阅 4-6 预防生物污染；
- ❖ 碱性清洗液（pH11）浸泡和冲洗；
- ❖ 使用抗污染膜元件（FR）。

2) 保护液过期

如果保护液使用太久、太热或被已氧化，保存于亚硫酸氢钠溶液的膜元件或系统也可能产生生物污染，此时采用碱性溶液清洗或 1%(wt)硝酸浸泡，通常可以帮助恢复膜元件的产水流量，若需要继续保存膜元件，则应更新保护液，并将膜元件放置在阴冷干燥黑暗的环境下。

3) 润湿不完全

膜元件经干燥后，可能因为其中间支撑层聚砜的微孔尚未被润湿，而会使膜元件的产水量很低，请参阅 8-2.2 节 所介绍的“元件再润湿”方法恢复元件性能。

9-3.1.2 低产水量高透盐率

低产水量高透盐率是最常见的系统故障，其可能的原因是：

1) 胶体污堵

为了辨别胶体污堵，请

- ❖ 查看原水 SDI 值记录，故障通常源于测定 SDI 不够及时或预处理出现故障；
- ❖ 分析 SDI 测试膜膜面上的截留物；
- ❖ 分析保安过滤器滤芯上的截留物；

- ❖ 检查和分析第一段第一支元件端面上的沉积物。

纠正措施有：

- ❖ 根据污堵类型清洗元件；
- ❖ 调整、纠正或改造预处理。

2) 金属氧化物污堵

金属氧化物污堵主要发生在第一段，如果每段产水分别安装产水流量仪表的话，就十分容易地确定故障，通常的故障起因是：

- ❖ 进水中含铁或铝；
- ❖ 进水中含 H_2S 并有空气渗入，会产生硫化盐，若产水接触空气就会产生单质硫沉淀；
- ❖ 管道、压力容器或膜本体上游的零部件产生腐蚀产物。

为了辨别金属氧化污堵，请

- ❖ 分析原水中的铁和铝；
- ❖ 查看系统内的相关部件，寻找是否有腐蚀的证据。

图 9-5 膜元件进水端铁污染（伴随轴向机械力所致膜卷错位损坏）



纠正措施有：

- ❖ 正确清洗膜元件；
- ❖ 调整、纠正或改造预处理；
- ❖ 采用合适的材料改造系统的管路系统或选择适宜材质的部分。

3) 结 垢

结垢是微溶或难溶盐类的沉淀或沉积的水化学问题，一般出现在未设置恰当的预处理而且运行回收率很高的苦咸水系统中，结垢常常发生在最后一段，然后逐渐向前一段扩散，含钙、重碳酸根或硫酸根的原水可能会在数小时之内即因结垢堵塞膜系统，含钡和氟的结垢一般形成很缓慢，这是因为它们的浓度通常较低。为了辨别结垢，请

- ❖ 在系统设计回收率条件下，检查原水水质分析数据；
- ❖ 分析浓水中钙、钡、锶、硫酸根、氟、硅、pH 和苦咸水 LSI 或海水 S&DSI，应计算这些离子的质量平衡，同时分析原水和产水中上述成份的浓度；
- ❖ 查看系统的浓水侧是否有结垢；
- ❖ 取出最后一支膜元件称重，存在严重结垢的膜元件就象石头一样很重；
- ❖ 解剖最后一支元件，分析膜面上的结垢物，在显微镜下还可以观察到沉积物的晶体结构，与酸反应出现泡沫说明含有碳酸盐垢，通过化学分析或 X-射线分析可以辨别结垢类型。

图 9-6 已经结垢的膜表面（进水流动网格在垢类上形成的压痕清晰可见）



纠正措施有：

- ❖ 采用酸或碱性 EDTA 溶液清洗，再分析清洗后的溶液离子成份，将有助于鉴别结垢成份和提高今后的清洗效果；
- ❖ 根据结垢物的成份优化清洗方法；
- ❖ 针对碳酸盐垢，应降低进水 pH 值，调整阻垢剂的加入量；
- ❖ 针对硫酸盐垢，应降低回收率，调整阻垢剂的加入量和品种；
- ❖ 针对氟化物垢，应降低回收率，调整阻垢剂的加入量或品种。

9-3.1.3 低产水量低透盐率

1) 膜压密化

当膜被压密化之后通常会表现为产水量下降而脱盐率提高，正常操作时，FT30 膜片很少可能会有压密化现象，但在下列情况下就有可能发生明显的压密化倾向：

- ❖ 进水压力过高
- ❖ 高温
- ❖ 水锤

当系统中存在空气时启动高压泵，就会出现水锤作用。膜元件发生压密之后，必须更换被损坏的膜元件，或在系统的后面必须额外新增膜元件。

2) 有机物污染

进水中的有机物吸附在元件膜表面，会造成通量的损失，尤其是在第一段，在很多情况下，该吸附层对水中的溶解盐就象另一层分离阻挡层，堵塞膜面的孔道，导致脱盐率提高，高分子量且带有疏水基团或阳离子基团的有机物常常会造成这种效应，例如极微量的油滴或用于预处理部分的阳离子聚电介质等。为了辨别有机物污染，请

- ❖ 分析保安滤器滤芯和 SDI 滤膜上的截留物；
- ❖ 分析进水中的油和有机污染物；
- ❖ 检查预处理絮凝剂，特别是阳离子聚电介质；
- ❖ 检查清洗剂和表面活性剂。

纠正措施有：

- ❖ 清洗有机物，某些有机物易于清洗，而某些却根本无法清洗（如导热油）；
- ❖ 纠正前处理，应尽量使用最少的絮凝剂投加量，随时监测进水水质变化以避免絮凝剂过量投加；
- ❖ 改造预处理，如增加油/水分离器等；
- ❖ 油性污堵可尝试用碱性清洗液清洗，例如 pH12 的 NaOH 或 Henkel P3 Ultrasil 10；
- ❖ 阳离子聚电介质若不与阻垢剂等发生沉淀反应，可用酸性清洗液清洗；
- ❖ 有人曾用酒精有效地去除膜面吸附的有机物。

9.3.2 高透盐率

9.3.2.1 高透盐率正常产水量

1) “O” 形圈泄漏

“O” 形圈的泄漏可以用产水管内产水电导率探测技术检查内接头和适配器处的“O” 形密封圈，应该检查产水端板堵头安装是否正确，是否维护得象新的一样，否则应更换老旧和损坏的“O” 形密封圈。

当与某些化学品接触或受到机械应力时，如由于水锤作用引起元件的运动，“O” 形圈就会出现泄漏现象，在压力容器内的膜元件上正确设置调整片是将磨损降到最低限度的必要措施，有时还会出现在装元件时则根据未安装“O” 形圈、“O” 形圈装得不正确或者“O” 形圈不在该密封的位置处。

2) 望远镜现象

膜元件可能会遭遇称为望远镜现象的机械损坏，膜元件的外包皮与膜元件错开并移向下游，甚至套到下一支膜元件上，轻微的望远镜现象不一定会损伤膜元件，但严重时，可能会造成粘接线和膜片的破裂。

产生望远镜现象的原因是进水与浓水间的压差过大，8 英寸的元件因为膜截面面积更大更容易出现这种现象，必须确保在膜压力容器内安装抗应力环以支撑住 8 英寸膜元件的外包皮，较小直径膜元件由其产水管及其抗应力器来支持，防止外包皮的滑动。

出现望远镜现象后，应该用新元件更换被损坏的膜元件，并消除产生的原因。

3) 膜表面磨损

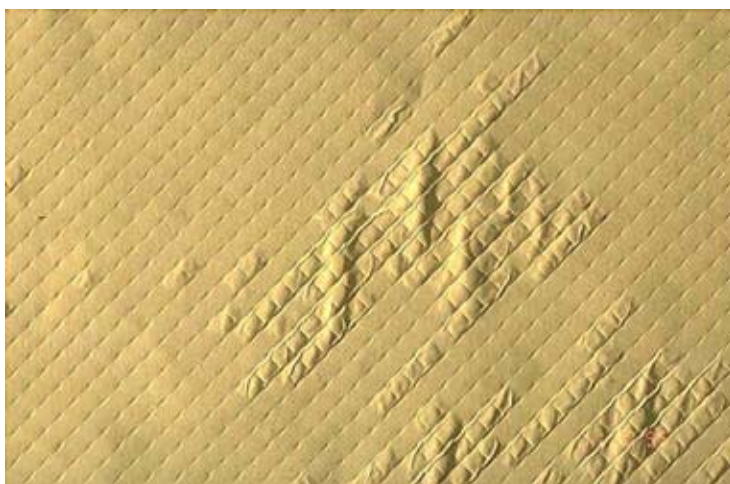
有时并非是个别元件出现这种故障，但前端元件常常最容易受到原水中结晶体或具有尖锐外缘的金属悬浮物的磨损。应检查来水中是否有上述物质，如焊渣等，进行膜面显微镜观察可检查出这类损伤，一旦发生这类故障就没有任何的补救方法，唯一的方法是改进预处理，并保证膜前高压管线内没有类似颗粒掉下来，然后更换所有受损的膜元件。

4) 产水背压

任何时刻，产水压力高于进水或浓水 0.3bar，复合膜就可能发生复合层间的剥离，可通过产水探测法来确定这类损坏，并按 9-3.2 节所述的“O”行圈泄漏试验或目测得到确认。

当打开受到产水背压严重损坏的膜叶时，通常还会看到平行于产水管的膜最外边出现拆痕，常常靠近最外侧的膜袋粘接处。膜的破裂最有可能出现在进水侧、最外侧和浓水侧这三处粘接密封线附近，其他位置受到进水网络地支撑，很多网格的小格内就会出现很多气泡状剥离，使得膜脱盐层受到强烈拉伸，元件的脱盐率降低。

图 9-7 膜表面被产水背压损坏示例



9-3.2.2 高透盐率高产水量

1) 膜氧化

当脱盐率降低并同时伴有较高的产水量，其主要原因是因为氧化损坏，在膜接触的来水中含有余氯、溴、臭氧或其它氧化剂时，通常前端的膜元件较其它位置更易受到影响，中性或碱性 pH 条件下氧化对膜的伤害更大。

如果不遵守 pH 和温度条件的限制，采用含氧化性的试剂进行杀菌消毒就会发生氧化破坏，在这种情况下，很可能出现所有元件较均匀的破坏。

遭氧化伤害的膜元件采用真空试验等机械的方法是检测不出来的，这类化学性的伤害，可通过对膜元件或其中的小片膜样品经过染料评测显示出来，膜元件的解剖和膜片的分析可以用来确定氧化性损坏，一旦膜元件受到氧化损坏，只能更换全部受损元件，别无其它补救措施。

2) 泄 漏

膜元件或产水中心管严重的机械损坏将导致进水或浓水渗入产水中，特别是当运行压力越高时，问题就越严重。真空试验会显示强烈的反应，下一节将讨论可能的起因。

9-3.3 高压降

进水与浓水间的高压差，有时又称为压降或 ΔP ，将会沿膜元件水流方向产生很高的阻力，小直径膜元件的产水中心管将不得不承受这种作用力，而使用 8 英寸膜元件时，会由同一压力容器内相邻元件的玻璃钢外包皮承受并传递这种作用力，这样用一压力容器内的最后一支膜元件受到的推力最大，它必须承受由上游元件压降引起的推力总和。

每一支装有多支元件的压力容器压降上限是 3.5bar，每一支玻璃钢缠绕的元件压降上限为 1bar，超过上限时，即使是很短的时间，膜元件也可能会受到机械损伤，8 英寸以下的元件就会发生望远镜现象，甚至膜元件两端的抗应力器也会从膜包皮处被拉出，而 8 英寸元件会在其最薄弱处破裂，此处通常为抗应力器与膜卷的联接处，幸运的是，玻璃钢外包皮的损坏有时不会影响膜元件性能，有时即使元件内的膜片和进水水道网格已经从裂开的外包皮处露出，但元件仍可能还会有良好的性能。

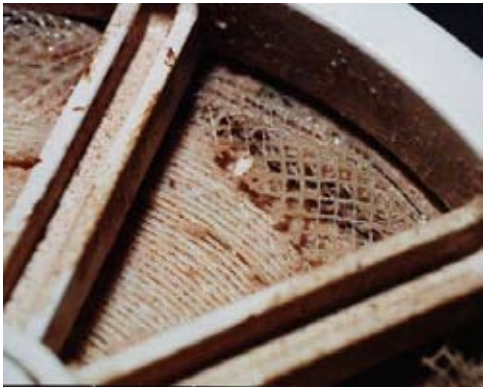
图 9-8 膜元件上抗应力器被拉掉了



9-9 膜表面缠绕玻璃钢高压差破裂



图 9-10 生物污堵所致高压差将流道网格冲出



虽然在某种程度下，玻璃钢包皮的裂纹只是一个外观的问题，但却表明压降过高，最后仍可能会导致产水量或脱盐率的下降。

当进水流量恒定时，压降的增加常常是由于元件进水网格流道内存在沉积物、污染物或结垢物，一旦进水水道网格被

堵，常常会伴有产水量的下降。当进水流量超过规定值时，会出现超极限压降，当开机时升压太快，也会发生同样的现象（水锤作用），当膜元件内已有污堵物存在，特别是生物污染时，这种效应极为明显，并产生极高的瞬间压降。

开机前，系统内的空气没有能赶走时，膜元件就会出现水锤或水力冲击，当已经漏掉水份的系统在初始开机或一般运行启动时，就会出现上述情况。当系统停机时，应确保压力容器内没有真空，在启动被部分排空的膜系统时，如果泵的出口仅有很小甚至无背压时，水泵就会以极大的速度吸水并向膜元件输水，接着就会对元件产生巨大的水锤作用，同时高压泵则会因为进水管道的空蚀同时受到破坏。

进水与浓水间的压降是水流经系统时水流阻力的量度，它取决于膜元件进水流道内流速和水温。因此，应尽量维持产水量和浓水量恒定，以便能在操作时注意和监测到引起压降增加的膜元件堵塞。

压降增加的位置和程度可作为辨别故障原因的有用的信息，因此应当监测每一段的压降以及进水与浓水间的总压降，以下讨论将涉及某些常见的起因和高压降防范措施。

1) 保安过滤器内短路

保安过滤器应能截留住大尺寸的杂质，防止前端膜元件的进水流道受到物理堵塞，当滤芯安装不紧密、滤芯间没有使用接头或遗忘安装时就会出现这种膜元件的堵塞。

有时操作过程中出现水力冲击或存在不兼容的物质时，保安过滤器的保护作用就会逐渐丧失。应避免使用纤维材质的滤芯，因为它们会降解，并堵塞膜元件。

2) 预处理介质过滤器穿透

有时，某些从砂层、多层过滤介质、活性炭、弱酸离子交换树脂或硅藻等预处理设备上穿透的极细粉末，会进入膜进水中。

3) 泵叶轮磨损

大多数多级离心泵中至少有一个塑料叶轮，当泵轴对中不好时，叶轮就会磨损出杂质，它们会进入和堵塞前端膜元件。

4) 结垢

结垢会引起尾部膜元件压降的增加，必须保证采取了控制结垢的适当措施，并采用合适的化学品清洗膜元件，同时保证不超过系统的设计回收率。

5) 盐水密封损坏

盐水密封的损坏会产生无规律的压降增加，在元件安装时，可能损坏或翻转膜元件抗应力器上盐水密封圈。它会导致某些进水短路不经过膜元件，而流经该元件的流量和流速偏低，这样就会实质性地超过了该处膜元件的最大回收率，当出现这种情况时，该元件及其相邻的下游元件就易于出现污堵和结垢，这是因为该压力容器内的浓水流量会偏低。

6) 生物污堵

生物污堵通常引起膜系统前端压降的显著增加，生物膜一般为胶状，且十分粘稠，会对进水水流产生极高的阻力，纠正措施请参阅相关章节中。

7) 阻垢剂的沉积

当聚合有机阻垢剂与多价阳离子如铝或残留聚合阳离子凝絮剂相遇时，将会形成胶状沉淀，严重污染前端的膜元件，这类污堵很难清洗，有时需要重复地使用碱性 EDTA 溶液进行清洗。

9-3.4 故障排除总结

在多数情况下，产水量、脱盐率和压降的变化是与某些特定故障原因相关联的症状，虽然实际系统中不同的故障原因会有重复相同的症状，但在很多特定的情况下，个别症状却多少起主导作用，下表汇总了这些症状、可能的原因及纠正措施。

表 9-2 故障症状，起因和纠正措施

故障症状			直接原因	间接原因	解决方法
产水流量	盐透过率	压差			
↑	↑	→	氧化破坏	余氯、臭氧、KMnO ₄ 等	更换膜元件
↑	↑	→	膜片渗漏	产水背压 膜片磨损	更换膜元件 改进保安过滤器过滤效果
↑	↑	→	O 形圈泄漏	安装不正确	更换 O 形圈
↑	↑	→	产水管泄漏	装元件时损坏	更换膜元件
↓	↑	↑	结垢	结垢控制不当	清洗；控制结垢
↓	↑	↑	胶体污染	预处理不当	清洗；改进预处理
↓	→	↑	生物污染	原水含有微生物 预处理不当	清洗、消毒 改进预处理
↓	→	→	有机物污染	油、阳离子聚电解质	清洗；改进预处理
↓	↓	→	压密化	水锤作用	更换膜元件或增加膜元件

↑ 增加 ↓ 降低 → 不变 ↑ ↓ 主要症状

9-4 陶氏 FILMTEC™ 膜系统故障排除指南

本故障排除指南是基于使用陶氏 FILMTEC™ 膜元件的系统而言的，即使您的系统没有选用陶氏膜元件，本节所提供的信息也对您有所帮助，但您还应该根据您以往的经验确认本节信息对您特定系统的适应性。

您有没有对系统的性能数据进行标准化？在评估您的系统时，运行数据的标准化非常重要。如果您没有标准化的方法，请与陶氏化学液体分离部代表联络。此外还须要注意，系统投运时间的长短。

压降高

症状	可能的原因	解决方法
产水量低（进水压力高）	碳酸钙沉淀	按陶氏FILMTEC™清洗导则在pH1的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢程度。
	硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶沉淀	按陶氏FILMTEC™的清洗导则用EDTA在pH13的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度（但钡和锶的结垢除外）。
	氟化钙结垢	用HCl在pH1的条件下按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。
	磷酸盐结垢	过量投加含磷酸根的化学品，通常很难清洗，建议更换新元件。
	二氧化硅结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	膜元件被异物堵塞或膜表面受到磨损（如砂粒等）	用探测法探测系统内的元件，找到已损坏的膜元件，改造预处理，更换膜元件。
	淤泥或粘土堵塞	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	胶体硅污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	微生物污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗和消毒整个系统。把系统最前面的元件取出称重就可了解微生物污堵的程度。
	活性炭粉末和砂粒	出现永久性产水量下降，需按照陶氏FILMTEC™清洗导则进行单支膜元件的单独清洗，可以部分恢复膜元件的性能。

透盐率高（脱盐率低）

症状	可能的原因	解决方法
透盐率高 产水量高 (进水压力低)	膜氧化	更换受损膜元件，根除氧化源，通常情况下，系统中的第一支元件首先受氧化攻击，可采用探测法确定。
	膜面剥离（产水背压所致）	更换受损膜元件，可采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定受损膜元件。
	清洗消毒方法不正确（存在铁污染）	更换受损膜元件，膜元件在采用任何含有潜在氧化性的消毒剂前，首先必须清洗掉铁和其它金属离子。通常情况下，系统中的第一支元件首先受损，可采用探测法确定。

	严重的机械损坏	更换受损膜元件，可采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定受损膜元件。
透盐率高 产水量正常	“O”形圈泄漏或未装	采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定泄漏位置，更换已受损的“O”形密封圈。建议采用合适的密封剂并调整膜元件在压力外壳内的间歇，限制由于元件在压力容器内的运动而引起的密封圈磨损。
	膜表面磨损	用探测法可找到已损坏的膜元件，整改预处理，更换膜元件。
	内部部件破裂	采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定泄漏位置，更换已受损的部件，如果膜元件产水管受损，更换膜元件。建议采用合适的密封剂并调整膜元件在压力外壳内的间歇，限制因元件在压力容器内的运动而引起密封圈磨损。
透盐率高产水量低（进水压力高）	有机物污染	检查有机物或油的含量或是否超回收率操作。按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，某些有机物容易清洗，但对聚电解质类有机物污染，清洗无效，而且也难于清洗油类有机物，此时可尝试用pH13的洗涤剂。
	碳酸盐结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH1的条件下对系统进行清洗，可能需要强烈重复清洗，如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度。
	硫酸盐结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下对系统进行清洗，可能需要强烈重复清洗，如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度。
	膜元件被异物堵塞或膜表面受到磨损（如砂粒等）	用探测法探测系统内的元件，找到已损坏的膜元件，改造预处理，更换膜元件。
	胶体硅污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，但胶体硅污堵的清洗十分困难，建议调整预处理，降低回收率。
	氧化铁污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则采用亚硫酸氢钠在pH5下进行清洗。
	其它重金属氧化物污堵	用HCl在pH1的条件下按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。
	硫化亚铁污堵	用HCl在pH1的条件下，按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。应严防空气进入膜系统。
	氟化钙污堵	用HCl在pH1的条件下按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。
	磷酸盐结垢	过量投加含磷酸根的化学品，通常很难清洗，建议更换新元件。
	二氧化硅结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，但胶体硅污堵的清洗十分困难，建议调整预处理，降低回收率。

产水量低（操作压力高）

症状	可能的原因	解决方法
产水量低（进水压力高）透盐率低	有机物污染	检查有机物或油的含量或是否超回收率操作。按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，某些有机物容易清洗，但对聚电解质类有机物污染，清洗无效，而且也难于清洗油类有机物，此时可尝试用pH13的洗涤剂。
	碳酸盐结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH1的条件下对系统进行清洗，可能需要强烈重复清洗，如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度。
	硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶沉淀	按陶氏FILMTEC™的清洗导则用EDTA在pH13的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度（但钡和锶的结垢除外）。
	超极限水锤破坏	更换受损膜元件。
产水量低（进水压力高）透盐率正常	微生物污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗和消毒整个系统。把系统最前面的元件取出称重就可以了解微生物污堵的程度。
	天然有机物污染	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗和消毒。
	保护液失效（投运前或投运后）	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	活性炭粉末和砂粒	出现永久性产水量下降，需按照陶氏FILMTEC™清洗导则进行单支膜元件的单独清洗，可以部分恢复膜元件的性能。
产水量低（进水压力高）透盐率高	油类有机物污染	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，改善预处理以减少进入膜元件的油类，对于油类有机物的清洗，可尝试采用pH13的洗涤剂。
	淤泥或粘土堵塞	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	胶体硅污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	氧化铁污堵	按陶氏FILMTEC™的清洗导则采用亚硫酸氢钠在pH5下进行清洗。
	其它重金属氧化物污堵	用HCl在pH1的条件下按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。
	硫化亚铁污堵	用HCl在pH1的条件下按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。应严防空气进入膜系统。
	碳酸钙沉淀	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH1的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度。
	硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶沉淀	按陶氏FILMTEC™的清洗导则用EDTA在pH13的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度（但钡和锶的结垢除外）。
	氟化钙污堵	用HCl在pH1的条件下按陶氏FILMTEC™的清洗导则进行清洗。

	磷酸盐结垢	过量投加含磷酸根的化学品，通常很难清洗，建议更换新元件。
	二氧化硅结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗。
	膜元件被异物堵塞或膜表面受到磨损（如砂粒等）	用探测法探测系统内的元件，找到已损坏的膜元件，改造预处理，更换膜元件。

产水量高（进水压力降低）

症状	可能的原因	解决方法
产水量增加（进水压力降低）透盐率增加	膜氧化	更换受损膜元件，根除氧化源，通常情况下，系统中的第一支元件首先受氧化攻击，可采用探测法确定。
	膜面剥离（产水背压所致）	更换受损膜元件，可采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定受损膜元件。
	清洗消毒方法不正确（存在铁污染）	更换受损膜元件，膜元件在采用任何含有潜在氧化性的消毒剂前，首先必须清洗掉铁和其它金属离子。通常情况下，系统中的第一支元件首先受损，可采用探测法确定。
	严重的机械损坏	更换受损膜元件，可采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定受损膜元件。

透盐率低

症状	可能的原因	解决方法
透盐率低产水量低（进水压力高）	有机物污染	检查有机物或油的含量或是否超回收率操作。按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，某些有机物容易清洗，但对聚电解质类有机物污染，清洗无效，而且也难于清洗油类有机物，此时可尝试用pH13的洗涤剂。
	碳酸盐结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH1的条件下对系统进行清洗，可能需要强烈重复清洗，如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度。
	硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶沉淀	按陶氏FILMTEC™的清洗导则用EDTA在pH13的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度（但钡和锶的结垢除外）。
	超极限水锤破坏	更换受损膜元件。

内漏嫌疑

症状	可能的原因	解决方法
透盐率高	“O”形圈泄漏或未装	采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定泄漏位置，更换已受损的“O”形密封圈。建议采用合适的密封剂并调整膜元件在压力外壳内的间歇，限制由于元件在压力容器内的运动而引起的密封圈磨损。
	内部部件破裂	采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（probing）确定泄漏位置，更换已受损的部件，如果膜元件产水管受损，更换膜元件。建议用合适的密封剂并调整膜元件在压力外壳内的间歇，限制因元件在压力容器内的运动而引起的密封圈磨损。
	元件内漏	采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（profiling）确定泄漏位置，通过单支元件的测试或对系统内元件重排，可以确认存在内漏的元件。如果泄漏点随元件位置的变化而变化，则该元件就是泄漏源，此时需更换该元件。

家用元件故障排除一览表

症状	可能的原因	解决方法
脱盐率低 产水水质低	氯的破坏	更换膜元件，安装或更换碳滤。
产水量低	污堵	家用元件易受到微生物的污染，从家用元件外壳内取出元件，观察元件两端，闻一闻元件的气味就可确认是否存在微生物污染，受微生物污染的元件，通常散发难闻的气味，更换膜元件，安装或更换滤芯。
产水量低	结垢	从家用元件外壳内取出元件，用手捏一些，如果发出如同充满砂子的声音，在很大程度上就可以判断出现结垢问题，更换膜元件，检查盐水密封圈。
		关于家用元件的更换，请咨询家用机供应商。

纳滤产水量增加

症状	可能的原因	解决方法
产水量高（进水压力低）透盐率高	膜氧化	更换受损膜元件，根除氧化源，通常情况下，系统中的第一支元件首先受氧化攻击，可采用探测法确定。
	膜面剥离（产水背压所致）	更换受损膜元件，可采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（profiling）确定受损膜元件。
	清洗消毒方法不正确（存在铁污染）	更换受损膜元件，膜元件在采用任何含有潜在氧化性的消毒剂前，首先必须清洗掉铁和其它金属离子。通常情况下，系统中的第一支元件首先受损，可采用探测法确定。
	严重的机械损坏	更换受损膜元件，可采用寻找分布规律法（profiling）和探测法（profiling）确定受损膜元件。
产水量高（进水压力低）透盐率降低	纳滤膜变得更致密、其透盐率低于产品规范值	对应某些纳滤系统。可以采用化学品处理的方法恢复其透盐率，请咨询陶氏液体分离部代表。

纳滤膜元件透盐率低

症状	可能的原因	解决方法
透盐率低产水量低（进水压力高）	有机物污染	检查有机物或油的含量或是否超回收率操作。按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH13的条件下进行清洗，某些有机物容易清洗，但对聚电解质类有机物污染，清洗无效，而且也难于清洗油类有机物，此时可尝试用pH13的洗涤剂。
	碳酸盐结垢	按陶氏FILMTEC™的清洗导则在pH1的条件下对系统进行清洗，可能需要强烈重复清洗，如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度。
	硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶沉淀	按陶氏FILMTEC™的清洗导则用EDTA在pH13的条件下对系统进行清洗，如果结垢严重，需要重复清洗；如果结垢十分严重或重复清洗不经济时，应更换膜元件。一般情况下，把系统最后的元件取出称重就可以了解结垢的程度（但钡和锶的结垢除外）。
	超极限水锤破坏	更换受损膜元件。
透盐率降低产水量正常	纳滤膜变得更致密、其透盐率低于产品规范值	对应某些纳滤系统。可以采用化学品处理的方法恢复其透盐率，请咨询陶氏液体分离部代表。

第 10 部分 应用技术文献

10-1 赢得膜污染挑战的胜利

1. 前言

以聚酰胺作分离功能层的超薄复合反渗透膜已经迅速地促进了反渗透技术的发展，成为水净化技术中非常经济有效的一个化工单元操作。结构紧凑的卷式膜元件已经历了革新性的发展，膜元件（组件）的产水量也得到大幅度地提高。由于反渗透技术得到广泛接收，拓宽了膜在各种领域的应用，包括在处理富含微生物水源上的应用。许多从事膜微生物表面污染的研究人员认为：生物膜形成起源于元件膜表面对生物物质的分子吸附，已经证明与下列的关键参数有关

— 原水的水源和细菌的种类	— 预处理方式
— 膜表面	— 各种无机颗粒
— 膜化学	— 操作参数，如进水压力、通量、回收率和温度
— 水中的营养物质	— 其他特殊现场条件

生物污染对反渗透（元件）的影响如下：

— 膜通量降低或损失，导致产水量下降	— 降产水水质降低
— 压差增加引起能耗增加	— 膜元件的使用寿命缩短
— 化学清洗频繁引起操作成本增加	

2. 生物膜在超薄反渗透复合膜表面和元件其他部位形成综述

前蒙大拿州立大学教授 William G.Characklis 描述过微生物污染是不希望的微生物累积沉淀于膜表面的结果。生物污染膜是由活的或死的微生物的有机体组成，并且包裹在微生物自身产生的聚合物内，这些有机体为微生物分泌的多糖物质（多糖的衍生物）。

原水中的细菌种类（菌株）和数量（浓度以 CFU/mL 表示）取决于水源。世界上的反渗透系统通常使用的水源为地表水、井水、海水、水库水及废水。本文不是罗列或描述各种细菌繁殖而形成生物污染膜的文献，通过研究文献资料可知，细菌的种类、活细菌和死细菌的含量，营养物质含量和水温等，所有这些因素对生物污染的形成均有重要的影响。研究表明大多数含多聚糖衍生物的微生物利用碳氢化合物作为其碳源和能源，利用铵盐或氨基酸作为其氮源。根据这一事实，有些膜的化学组成在适宜的条件下有时会促进 RO 膜表面生物污染膜的形成。分析受微生物污染的 RO 膜元件表明：膜表面或进水网格材料上存在粘泥层，因而在进水网格材料上累积微生物污染的现象，提醒人们提出了几何形状对微生物污染物的聚集有重要影响的假设。

自 1995 年下半年起，进行 RO 膜生产和工艺开发的同时，陶氏公司在聚合物化学、微生物学、分析化学领域的研究专家，会同 FilmTec 公司膜科学家，形成了膜抗污染发展评估方法，以各自的角度和方法了解生物污染。这些工作和已发表的文献表明：要开发一种性能优异的、比标准膜使用寿命长的抗污染的膜，必须考虑以下方面：

- 如何减少蛋白分泌物质的吸附？
- 如何降低由范德华力和静电吸引力（即 ξ 电位）引起的结合能？
- 如何在 0.2 微米厚的聚酰胺复合膜分离层上保持聚合物化学均一性？

- 如何延缓生物污染膜的形成？
- 如何确定合适的操作规范进行受污染的膜元件的化学清洗？
- 如何最好地发挥采用抗污染膜元件与有效的控制生物滋生手段相结合所产生的协同优势？

为实现上述目标，美国陶氏化学公司开发了针对 FT30 膜化学的专利膜改性方法，增强了膜元件的抗污染能力。

美国橘子县水利局的 Harry F. Ridgway 博士，作为一名开展二次和三次废水净化回用的开拓者，经过多年的努力已经探明了微生物吸附的复杂机理及其在醋酸纤维与聚酰胺复合反渗透膜上的生物污染。大量的 FILMTEC™ 平板膜膜片作为他研究许多特殊微生物菌株在标准聚酰胺膜和抗污染聚酰胺膜上吸附的研究对象。Ridgway 博士广泛的研究工作，发表的许多研究论文，扫描电子显微镜 SEM 和原子力扫描电子显微镜 AFM 的照片，让我们懂得了在制造抗污染膜方面什么是必须关注的。

3. 评定产品发展的性能验证

多年的研发工作包括：各种细菌在不同的预处理、环境和操作规程条件下与各种抗污染膜之间关系的细致实验研究。然而，这样复杂的研究，必须有一个经济有效实用的技术方案来解决市场上的急需。陶氏公司水处理及过程解决方案的研发人员，在研究的早期阶段就部分跳过精确控制的实验室研究方式，直接针对实际应用情况进行研究。通过与工程公司和最终用户的密切合作，我们选择了一些污染十分严重的膜系统进行研究。这些地方的试验结果，与具有良好控制的抗污染元件的试验研究平行进行。总之，在全球许多地表水和废水（二级和三级废水的再利用）现场进行了大量抗污染膜的试验。

由于工程公司和最终用户一开始就参与，使得陶氏公司水处理及过程解决方案研发人员用经济、有效、创新的方法加快了解决生物污染问题的速度。各地试验所得的结果已应用于抗污染膜技术开发之中。其他研究包括：杀菌剂用于标准和抗污染的 FILMTEC™ 反渗透复合膜元件的有效性试验，以及在 RO 膜前采用 MF 和 UF 的试验研究。

4. FILMTEC™ 抗污染膜性能的现场试验

在多段的 RO 系统中，生物污染首先影响第一段的膜元件。当第一段细菌繁殖后将消耗进水的营养物质，这样就会抑制下游的污染。

A) 产水量稳定为主要目的的系统

早期第一代的 FILMTEC™ 抗污染膜元件的最初应用源于美国德州的巨型石化厂。这里水污染十分严重，水温在 10~32°C，在进入反渗透之前必须先经过氯化、多介质过滤、树脂软化、保安过滤和脱氯。自 1992 年起发生的严重生物污染使得标准的聚酰胺 RO 膜元件每 2~3 周就需要进行清洗。频繁的清洗增加了操作成本，致使这一按照 BOOM（建造、拥有、操作和维护）运作的项目，对工程公司来说并没有什么经济上的吸引力。

1996 年上半年开始，FILMTEC™ 抗污染（FR）膜安装于一套标准 FILMTEC™ BW30-365 膜元件旁，两套系统的设计流量和通量一样。应 OEM 的要求，定期用非氧化性的杀菌剂杀菌控制细菌的生长。由于产水量是极其重要的指标，因而在没有化学清洗前让系统运行在相当高的压降条件下。间断性的杀菌减少了化学清洗的频率，FILMTEC™ FR 膜元件上生物污染膜形成和聚集的概率大大下降。稳定的压差保持了 115 天，超过了 OEM 设定的成功运行的标准。这套安装 FILMTEC™ FR 膜元件的大型系统目前仍在稳定运行。

B) 延长膜寿命为主要目的的系统

某大型炼油厂有许多套 RO 水处理系统，采用了传统的预处理，由非常敬业的技术人员进行操作，但仍经历每 4 周就需要化学清洗。当每段压差达到 4.2bar（60psi）时，开始清洗。在此条件下要求膜元件的使用寿命为三年。但结果是现场标准 RO 膜元件每 34 天就达到上述压差，不得不必须进行化学清洗。

1997 年 4 月安装了 FILMTEC™ BW30-365FR1 膜元件，到 1998 年 8 月上旬，只进行了两次化学清洗。这个炼油厂决定在所有系列上安装 FILMTEC™ BW30-365FR1，系统总容量达到 1500gpm (340m³/hr)。为了延长化学清洗之间的时间，RO 膜系统定期用非氧化性的杀菌剂进行灭菌。

C) FILMTEC™ 抗污染膜和标准膜在加速生物污染试验中的比较

1998 年第一季度，第二代的抗污染膜开发成功，它增强了抵抗微生物在膜表面的吸附作用。吸附被认为是膜元件表面生物污染膜形成的关键性的第一步。

为了对改进的膜进行评估，研发人员充分利用附近客户的便利条件，进行一周的短期的恶劣条件下的加速试验。该客户的 RO 系统进水为间断性工艺废水和自来水的混合水源。工艺水源于已污染十分严重的活性炭出水，其中细菌的含量超过 2×10^6 cfu/mL。由于是混合水源，水温变化很大，因而必须对数据进行非常仔细的标准化处理。

实验结果：

加速污染试验中产水量下降的比较

元件类型	FILMTEC™ 膜元件型号	平均通量	通量损失	清洗后通量恢复效率
抗污染膜	BW30-365FR2	24.2	7.6%	82.0%
标准膜	BW30-365	22.1	19.2%	36.5%

1. 运行 113 小时后，SDI15=6.3 2. 平均细菌含量= 6×10^5 cfu/mL，六支元件安装在一支压力容器内，回收率=66.8%。

结 论：

实验结果表明，FILMTEC™ FR2 抗污染膜元件显著地减少了产水量的下降，更易清洗，与截留细菌和生物污染膜 形成有直接关系的压降下降了一半。

5. 抗污染膜的经济性

任何产品的创新程度在于能否为客户提供更高的价值(经济性)。为此，自 1996 年开始使用至今，全球已有数以万计的 FILMTEC™ 抗污染膜不断投入运行。我们在拓展技术应用领域的同时，收集了工程公司和最终用户的操作费用。以下的三点主要原则可使我们定量抗污染膜元件的经济价值：

A) 减少了化学清洗次数

化学清洗费用包括：

— 劳动力；	— 废水处理费用；	— 水系统停产成本；
— 运输费用；	— 清洗药品费用；	— 电费。

估计每支膜元件上述费用在 44~110 美元。使用 FILMTEC™ 的抗污染膜元件，保守地估计每年每支膜元件减少三次清洗，以每支膜元件清洗的费用为 60 美元计算，可节约 180 美元。一个 100 支膜元件的系统，在三年使用寿命期内，就可节约 5.4 万美元。

B) 延长使用寿命

若原水是生物污染严重的水，因生物体的聚集生成的生物膜易导致压差增加，从而必须进行化学清洗。这样膜元件经常受到恶劣的磨损和水力剪切作用，对于反渗透膜元件而言是不正常操作。有些 RO 系统只关心系统产水量越大越好，在以污染严重的水源为进水对膜元件的负面影响更加明显。FILMTEC™ FR 膜元件，除了其抗污染膜片之外，也优化了膜叶的长度使

整个膜面上的通量分布更均匀，优化了进水网格的设计，使化学清洗效率更高。每片膜叶的粘结宽度不大于 0.25 英寸（0.63cm），最大限度地减少了死角防止细菌聚集和繁殖。用精密方法缠绕 FILMTEC™ FR 抗污染膜元件的环氧树脂外包层，使元件形成坚固的整体，从而能承受反复的化学清洗冲击。我们估计 FILMTEC™ FR 抗污染膜元件比标准膜元件寿命长 30%左右。

C) 降低能耗

抗污染膜的生物聚集和污染的速度低、运行阻力小，因而可降低系统进水压力，降低能耗。例如，对于一套 110m³/h（500gpm），按照美国每度电 0.1 美元计算，若进水增加 1.75bar（25psig，假设泵效率为 75%），则每年增加的电费就高达 7 千美元。

下表的目的是基于 FILMTEC™ FR 现场性能的总结，现场具体水质、预处理设计、操作方法、清洗方法是影响 FR 膜元件总体经济性的变量。

项 目	清洗相对费用	更换前相对寿命
标准反渗透膜元件	3X~8X	0.5Y
FILMTEC™ FR 元件	2X	0.7Y
FILMTEC™ FR 元件配以间歇式消毒	1X	1Y

D) 化学清洗考虑

FILMTEC™ FR 抗污染膜元件在清洗时具有与标准膜元件相似的化学兼容性，可清洗 pH 值范围在 1~12 之间，通常先碱洗后酸洗；而清除生物污染物最好在 pH 值大于 10，浸泡至少 4 小时，最后用足够的速度将剥离的生物污染物冲出元件。每支六芯装 FILMTEC™ BW30-365FR 膜元件压力容器，推荐清洗流量为 6.8~9.1m³/h（30~40gpm）。其他清洗参数都罗列在 FILMTEC™ FT30 的清洗规定一节内。

E) 间断性杀菌

在努力开发最耐用和最经济有效膜性能的过程中，我们也进行了 FILMTEC™ FR 膜元件间断性消毒与抗污染膜元件协同作用的研究。其目的是延长相邻两次化学清洗之间的时间或延迟反渗透膜表面生物污染膜的形成。为此，选用了一种含活性成份为 DBNPA（2,2-dibromo-3-nitrilo-propionamide，2,2-双溴代-3-次氨基-丙酰胺）的杀菌剂对系统进行间歇杀菌，夏天每 3~5 天一次，冬天每 7 天一次。程序是将 10~20ppm 的活性非氧化性杀菌剂在 RO 系统运行期间投加到系统进水中。如果水中含有还原物质，需要提高杀菌剂用量，一般投药时间为 30~60 分钟。在生物污染特别严重的情况下，通常投药的时间要延长一些。

F) 可提供产品

目前陶氏 FilmTec 公司生产两种新一代 FILMTEC™ FR 抗污染反渗透元件。FILMTEC™ BW30-365FR 适用于传统多介质过滤器为主要预处理的系统，FILMTEC™ BW30-400FR 适用于微滤或超滤作为主要预处理手段，当预处理为微滤或超滤，但仍选用 FILMTEC™ BW30-365FR，一旦预处理部分微滤或超滤出现问题，则具有更高保险度。

10-2 陶氏 FILMTEC™ 膜元件对不同溶质脱除率的估计

为协助客户估算出 FILMTEC™ FT30 膜的脱除率，我们进行了不同溶质的测试，并将每种溶质的脱除率以%为单位列于下表。

但是由于进水水质、pH 值、温度的变化，实际系统的性能可能不同于表中的数据。因此，此表仅供快速初选之用途，对于某一具体应用，必须通过专门的小试确定膜元件的实际性能。

溶质	分子量	脱除率%	溶质	分子量	脱除率%
1, 1, 1-Trichloroethane1,1,1-三氯乙烯	133	98	Calcium Chloride 氯化钙	111	99
1, 2-Dibromoethane1,2-二溴乙烷	173	15	Calcium Nitrate 硝酸钙	164	95
1, 2-Dichloroethane1,2-二氯乙烷	99	37	Carbon Tetrachloride 四氯化碳	153	98
1, 2, 3-Trichlorobenzene			Cesium Chloride		
1,2,3-三氯（代）苯	181	>57	氯化铯	168	97
1, 2, 4-Trichlorobenzene			Chlorobenzene		
1,2,4-三氯（代）苯	181	96	氯苯	112	0-50
1, 2, 4-Trimethylbenzene			Chloroform		
1,2,4-三甲基苯	120	57	氯仿	119	71-90
1, 2-Dichlorobenzene			cis-1, 2-Dichloroethylene		
1,2-二氯（代）苯	147	70-92	顺-1,2-二氯乙烯	97	20
1, 3-Dichlorobenzene1,3-二氯（代）苯	147	66-69	Clofibric Acid 安妥明酸	214	>99
1, 4-Dichlorobenzene1,4-二氯（代）苯	147	61	Copper Sulfate 硫酸铜	160	99
1-Chlorododecane1-氯（代）十二烷	204	87	Cyclohexanone 环己酮	98	95
1-Methylnaphthalene1-甲基萘	142	67	Dibromochloromethane 二溴氯甲烷	208	79
2, 2', 5, 5'-Tetrachlorobiphenyl			e-Caprolactum		
2,2',5,5'-四氯苯酚	290	46	羟基乙酸内酯	113	85
2, 4, 6-Trichlorophenol			Ethanol		
2,4,6-三氯苯酚	197	100	乙醇	46	38-70
2, 4-Dichlorophenol2,4-二氯苯酚	163	93	Ethyl Benzene 乙基苯	106	71
2, 6-Dimethylphenol2,6-二甲苯酚	122	92	Formaldehyde 甲醛	30	35
2, 6-Di-Tert-Butyl-4-Methylphenol			Furfural		
2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	220	96	糠醛	96	35
3, 8-Dimethylphenol3,8-二甲苯酚	122	92	Glucose 葡萄糖	180	98-99
3-Hydroxy-Capric Acid3-羟基癸酸	188	>98	Glycine 甘氨酸	188	78
3-Pentanone3-戊酮	86	74	Heptaldehyde 庚醛酐	114	100
4-Ethylphenol4-乙基苯酚	122	84	Humic Acid 腐殖酸		98
4-Isopropylphenol4-异丙基苯酚	136	84	Hydrochloric Acid 盐酸	36	28
5-Chlorouracil 氯嘧啶	146	88	Isophorone 异佛乐酮	138	96
Acetic Acid 乙酸	60	45	Isopropanol 异丙醇	60	90
Acetone 丙酮	58	70	Lactic Acid (pH 2) 乳酸（pH2）	90	94
Aluminum Nitrate 硝酸铝	213	86	Lactic Acid (pH 5) 乳酸（pH5）	90	99
Aluminum Sulfate 硫酸铝	342	89	Magnesium Chloride 氯化镁	120	98
Aniline 苯胺	93	64-75	Magnesium Sulfate 硫酸镁	120	99
Anthraquinone 蒽醌	208	93	Manganese (II) Sulfate 硫酸锰	151	97
Benzene 苯	78	19	Methanol 甲醇	32	25
Benzoic Acid 苯甲酸	122	92	Methyl Ethyl Ketone 甲基乙酮	72	73
Benzothiazole 苯并噻唑	133	79	Methyl Isobutyl Ketone 甲基异丁酮	100	98

Biphenyl 联苯	154	91	Naphthalene 萘	128	80
Bis (2-Ethylhexyl) Phthalate 双(乙基己基)酞酸酯	390	94	Nickel Chloride 氯化镍	130	96-99
Bromodichloromethane 一溴二氯甲烷	163	79	Nickel Sulfate 硫酸镍	155	97-99
Bromoform 三溴甲烷	94	>67	o-Cresol 正-甲(苯)酚	108	84
Cadmium Sulfate 硫酸镉	208	97	o-Xylene 正-二甲苯	106	67
Caffeine 咖啡因	174	99	p & m Xylene 对或间二甲苯	106	38
Phenol-80% 苯酚-80%	94	65	Pentachlorophenol 五氯苯酚	266	>86
Phosphoric Acid 磷酸	96	94	Sodium Orthophosphate 正磷酸钠	164	99
Quinoline 喹啉	129	97	Stearic Acid 硬脂酸	204	71
Silica 二氧化硅	60	98	Strontium Chloride 氯化锶	158	96
Sodium Acetate (1%) 醋酸钠(1%)	82	88	Succinic Acid 琥珀酸	118	35
Sodium Bicarbonate 碳酸氢钠	84	98	Sucrose 蔗糖	342	99
Sodium Bromide 溴化钠	103	96	Sulfuric Acid 硫酸	98	84
Sodium Chloride 氯化钠	58	99	Tetrachloroethylene 四氯乙烯	165	68-80
Sodium Cyanide 氰化钠	49	95	Tin (II) Sulfate 硫酸锡	215	85
Sodium Di-H Phosphate 磷酸二氢钠	120	98	Tributyl Phosphate 三丁基磷酸	266	49
Sodium Fluoride 氟化钠	42	98	Trichloroethylene 三氯乙烯	131	30-43
Sodium Hydrogen Sulfate 硫酸氢钠	120	76	Trimesic Acid 苯三甲酸	210	96
Sodium Iodide 碘化钠	150	97	Urea 尿素	60	70
Sodium Mono-H Phosphate 磷酸氢二钠	142	98	Zinc Chloride 氯化锌	136	93
Sodium Nitrate 硝酸钠	85	93-98	Zinc Sulfate 硫酸锌	161	98

10-3

化学品与陶氏 FILMTEC™膜元件兼 容性试验方法

概论

在膜法处理系统中，常常需要投加各类化学品，阻止微生物孳生，防止膜元件的污染和结垢。这些化学品本身不得对膜元件性能产生负面的影响，下面将描述所投加的化学品是否与超薄复合膜兼容的试验程序。这些特别设计的试验程序用于试验这些化学品是否溶解或影响膜的聚酰胺脱盐层，或者膜的产水水质是否受到影响。

试验程序包括两部分：1) 在试验溶液中进行膜片或膜元件的浸泡试验；2) 在膜系统运行期间，连续投加化学品的试验。当需要确认化学品是否降解膜时，浸泡试验最为合适。而在系统操作运行期间作连续投加试验，适用于模拟当使用该化学品时的实际情况，例如，在确定阻垢剂的兼容性时，推荐 1,000 小时的连续投加模拟试验。

需要着重说明的是，下述试验程序仅适用于检验化学品是否兼容，是否对膜有破坏性作用，这些试验程序不能用于确定该化学品的效率及是否适用。此外，虽然该程序是用来判断兼容性的方法，但现场的观察和实际试用经验是兼容性和适用性最可靠的评判指标。

还需要重点关注的是，还有其它的兼容性试验方法。某些膜系统化学品供应商开发了一些试验法，如将膜短时间暴露在高浓度的被测化学品中，而不是以正常用量进行长期试验，因而以 ppm-hours 表示与膜的兼容能力；也有利用表面电子显微观察或其它分析技巧判断化学品是否造成膜的变化或损伤。这些方法需要由经验丰富的、具有扎实的膜技术知识和待测化学产品本身的化学知识的专业技术人员完成。

即使化学品是兼容的，但并不等于使用该化学品就不会出现问题，例如，过量投加某一化学品，所有的膜都会因为大量的化学品由于对流而沉积在膜表面上的污染。可根据这种情况推论，某化学品在低浓度是兼容的，若不顾膜系统是否投运，连续投加的话，超限高浓度会引发灾害性的结果。再者，与膜兼容的化学品并不见得与系统中所用的其它化学品匹配，如阳离子絮凝剂常常与负电性的阻垢剂发生反应而污染膜元件，因此，必须综合整个系统的化学品投加予以考虑，最后，还要考虑化学品是否与系统和设备的材质兼容。

以下讨论五类化学品的兼容试验程序：

- 絮凝剂和助凝剂
- 阻垢剂
- 清洗剂
- 杀菌剂
- 膜元件保护液

详细描述——试验设备和具体试验步骤

试验设备

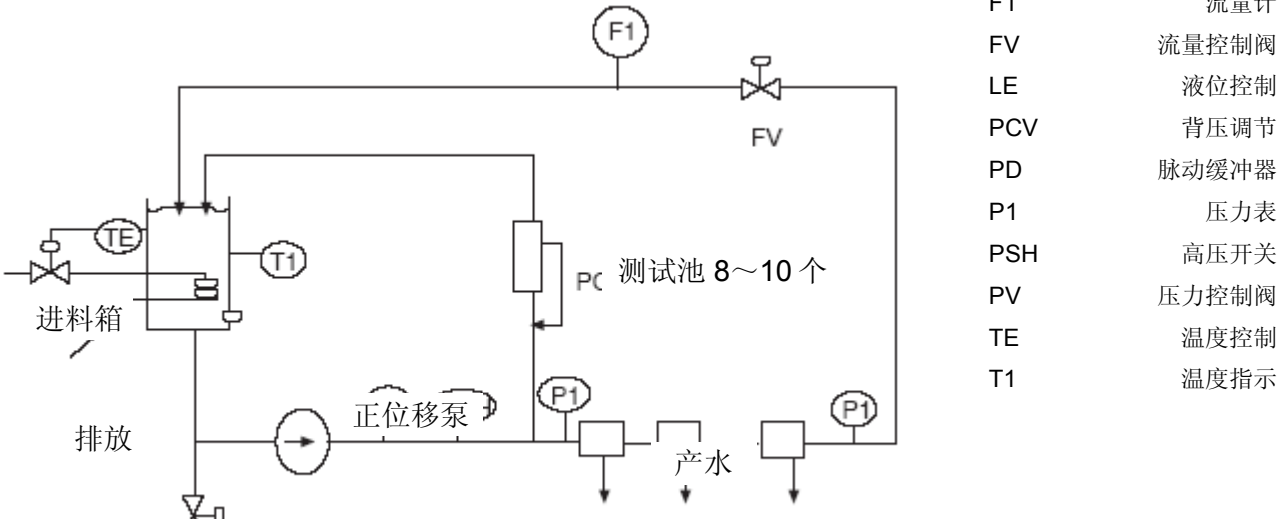
膜片测试池：在实验室采用两类试验流程进行化学品的兼容性试验，第一种是 8~10 个膜片测试池串联，如图 1a；将产水侧球阀关闭就可以停用该测试池，也可以采用流程类似的板框式装置代替膜片测试池。

陶氏 FILMTEC™ FT30 膜的标准测试条件是：2,000ppm 氯化钠，77°F（25℃），进水压力 225psi（1,550kPa）。开机后 2 小时取样，浓水流量根据特定的测试池而定，可咨询测试池制造商的建议。

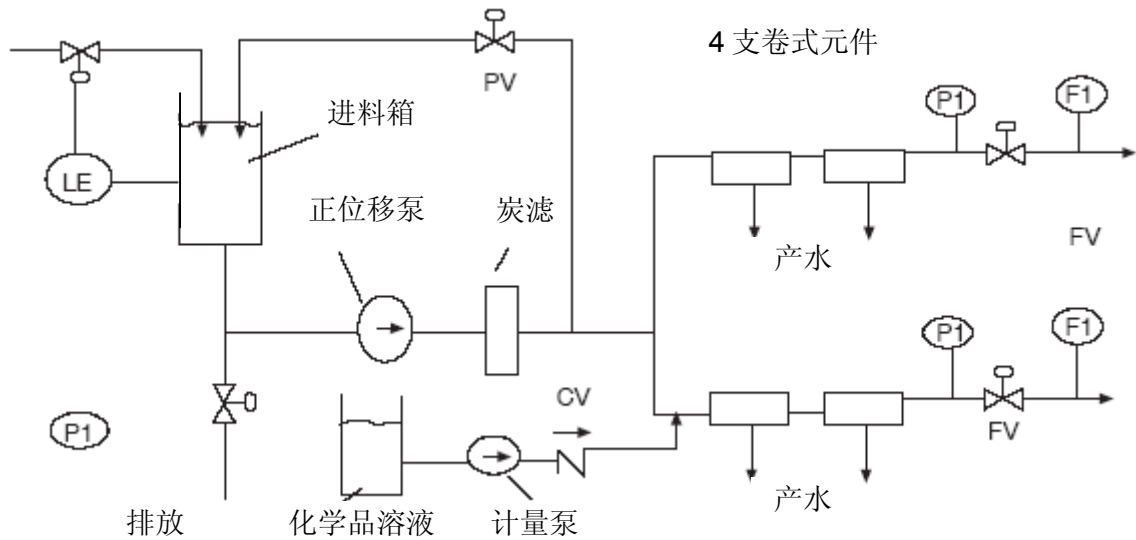
如图 1a 所示，浓水返回到进水箱，产水排放 10~30 分钟，然后收集到烧杯中，用于测试产水流量。

a. 膜片测试装置

图 1. 膜片测试池和元件测试装置



b. 膜元件测试装置



试验设备—续上

元件测试设备： 图 1b 给出了第二种测试流程，两个平行的试验线，每条线装有 2 个压力容器，常常用小型元件，如 2.5 英寸直径 14 英寸长的元件。由计量泵投加化学品兼容性待测溶液，浓水和产水均排放。如果进水影响膜性能，就会在两条测试线上同时反映出来了，使用这类试验设备，试验人员更有能力根据标准线和试验线，建立影响程度的性能指标。这类设备也可扩大到现场用 8 英寸 FILMTEC™ 膜元件进行试验。

在实验室试验中，进水一般是软化后的自来水，大约含 300mg/l HCO_3^- ，15mg/l Cl^- ，11mg/l SO_4^{2-} ，电导率 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。当可能含有游离氯时，必须用活性炭除去，测量进水和产水的电导率，表压范围为 5080psi (350~400kPa)，这样通量非常低，耗水量和消耗化学品的用量也非常低，每条线典型流量为 0.2~0.4l/min，进水水温必须非常稳定，这样就无需控制温度。

若进水压力大于 50psi (350kPa)，多数情况下，就无需设置进水箱或水泵。

阻垢剂

合适的阻垢剂必须通过两类试验，微生物生长试验和膜兼容性试验。

微生物生长试验： 阻垢剂一般以高浓度供应，使用前进行稀释，必须保证进入系统内的阻垢剂没有被微生物所污染，一般浓缩液不会有细菌孳生，但稀释到一定程度，就有可能出现细菌孳生问题。为了确定阻垢剂的允许最稀浓度，必须做微生物生长试验，通常由药剂生产商完成该试验。

在烧杯中，用不含氯的水将阻垢剂稀释成不同浓度，储存 1 个月。典型的浓度是浓缩液的 1%，6%，10% 和 25%，装有无氯水的烧杯作为参照系。每一浓度的阻垢剂溶液和烧杯均敞开到空气中，进行自然接种，在 1 个月的储存期间，每周进行微生物平板法计数，细菌平板计数值随时间有降低的最低阻垢剂浓度，就是阻垢剂被批准的最低允许稀释浓度。

微生物试验应在下面介绍的 1,000 小时膜兼容性试验之前，原因是，如果阻垢剂中的杀菌成分发生改变，就需要重新进行药剂对膜片的兼容性试验。

膜兼容性试验： 将候选的阻垢剂投加到装有卷式膜元件的膜系统中，必须达到连续运行 1,000 小时以上而不发生膜性能的下降，图 1b 介绍了进行这种膜兼容性试验的装置或类似系统，可以很好的满足这种评价要求。开始时，实验者必须建立比较基准，即让系统在不投加化学品的前提下，运行至少 12 小时以上，如果产水量比预期干净的膜元件的值低 15%，不能认为试验结果有效，上述不含阻垢剂的膜基准试验溶液操作条件为，2,000ppm 氯化钠，77°F (25°C)，运行压力 130psi (0.9MPa)。

完成基准试验之后，至少连续 1,000 小时投加阻垢剂，这期间，系统的标准化产水量和漏盐率必须保持相当稳定，才能说明被试验的阻垢剂与膜兼容，在浓水中候选阻垢剂的最高浓度就是该阻垢剂的兼容性上限浓度。

絮凝剂和助凝剂

仍用图 1b 所示的流程进行絮凝剂和助凝剂的兼容性试验，膜元件首先应该用软化后的自来水至少运行 1 天以上，以便确保系统已经稳定，然后，将待测的化学品投加到平行的其中一条线内，维持浓度大约 5ppm。如果运行一周之后，膜元件的标准产水量和漏盐率没有受到显著地影响，可认为该化学品的兼容性效果满意。

一般情况下，絮凝剂和助凝剂会对膜发生直接或间接的干扰，对膜间接干扰是指它们反应形成的沉淀沉积在膜面上，例如，介质过滤器的介质间的间隙让絮凝的絮状物穿透，进入膜元

清洗剂

件内并沉积在膜面上的情形；沉淀也可能是因为经过絮凝剂和助凝剂处理过的进水因浓缩后所发生的，例如含铝或含铁类的絮凝剂投加后，没有及时降低 pH 以预防系统中由于絮凝剂本身的过饱和所致。此外，还有介质过滤器之后再投加化学品所形成的沉淀，最为参见的是投加阻垢剂。几乎所有的阻垢剂是负电性的，将与水质残留的阳离子絮凝剂或助凝剂发生反应，不少的系统被阳离子聚电介质和阻垢剂间反应形成的凝胶所严重堵塞。因此，检验可能要与阻垢剂接触的所有助凝剂和絮凝剂十分必要。

直接干扰是指絮凝剂和助凝剂本身影响膜，导致其通量损失的情况，水的离子强度对此有影响，为了消除直接和间接的干扰，应该优先选用阴离子或非离子而不是阳离子的絮凝剂和助凝剂，同时还需要避免过量投加。

可以预见，清洗剂使用条件宽广，包括清洗频率、清洗时间和温度。由于这样的不确定性，在此讨论的清洗频率基于每月不到一次的情况。

图 1a 所示的平板测试池装置，用来进行清洗剂的兼容性测试。

具有优秀清洗效果的清洗剂往往也会导致膜元件随时间推移发生脱盐率的下降，这种清洗后的膜性能衰减，仅仅一次清洗可能观察不到，为了确定清洗剂的兼容性，必须将膜片（至少 3 份）浸泡在标准浓度的清洗液中 2 周，然后测试标准条件下的膜性能，浸泡温度必须是最高允许清洗温度。

清洗剂符合兼容性要求的条件是：2 小时的清洗不会降低膜通量或脱盐率并且 2 周浸泡也不会降低脱盐率。

2 小时清洗和 2 周浸泡步骤如下：

2 小时清洗

1. 标准条件下测试膜片（225psi，77°F，2,000ppm 氯化钠溶液）。
2. 在推荐的清洗温度和 50psig 压力条件下，用 2 倍浓度的清洗液循环 2 小时。
3. 冲洗并排放掉清洗液，请用低电导率的冲洗水，以便保证浓水侧和产水侧都冲洗干净了。
4. 标准条件下重新测试膜片，通量损失必须小于 5%，而漏盐率未增加。

2 周浸泡

1. 标准条件下测试膜片（225psi，77°F，2,000ppm 氯化钠溶液）。
2. 在正常清洗温度和浓度下浸泡 2 周。
3. 冲洗排放掉清洗液，请用低电导率的冲洗水，以便保证浓水侧和产水侧都冲洗干净。
4. 按照步骤 1 重复测试，必须没有出现漏盐率的增加。

杀菌剂

类似清洗剂一样，杀菌剂也会导致膜元件的脱盐率和产水量下降，杀菌剂可能与膜长期接触，例如，进行膜元件的保存、连续投加或间断投加，即进行周期性的杀菌或浸泡处理。满意的杀菌剂应该是在浸泡膜元件 1 年后，不会对膜性能有负面影响，就象其它兼容性测试一样，需要进行浸泡和连续投加试验以确定杀菌剂的化学兼容性和效果。

常常推荐观察初始 1 周连续投加杀菌剂对产水量的影响。如结果可以，再进行连续 1 年的浸泡试验。

最近几年，更为常用的方法是象阻垢剂试验一样，进行连续 1,000 小时的兼容试验。

所有杀菌剂的试验温度为 20~25°C，杀菌剂的 pH 对膜的影响很大，特别是杀菌剂分子结构随 pH 而改变时或会出现氧化反应的时候。

可选试验方案 1

1 周连续运行试验：当浸泡后出现膜的产水量下降，必须进行连续运行试验，这类情况时常发生，试验装置如图 1b。膜元件在接触杀菌剂前必须至少运行 1 天，以便保证膜元件已经稳定。

膜元件稳定运行后，投加最高允许浓度的杀菌剂，如果未见膜产水量和脱盐率在 1 周连续运行条件下下降，可认为它是满意的候选杀菌剂，再进行更长时间的浸泡试验。

浸泡试验：将杀菌剂溶液放入带盖子的玻璃容器内，杀菌剂浓度为需要批准的最高浓度。作为控制，选取含有标准保存液的玻璃容器（1%亚硫酸氢钠溶液）和空玻璃容器。每个容器内放置 20 片每种膜片，在浸泡下列时间结束后，取出每种膜片两个样本进行测试。

1 周；2 周；3 周；4 周；2 月；4 月；6 月；1 年

膜片仅用一次，测试后扔掉，某些杀菌剂有效期不到 1 年，必须以合适的间隔更换新鲜的杀菌剂。

如果经过 1 年浸泡后，漏盐率没有显著增加，可认为该杀菌剂不会降解膜元件，观察 1 年浸泡和 1 周连续运行试验，足以确认杀菌剂是否兼容。然而，如果其中之一或其它试验出现有疑问的结果，则需要在实验室或现场进行更长时间的试验。

如果该杀菌剂仅作间断投加，如每周几小时脉冲处理，就未必需要 1 年的浸泡试验，连续几小时的投加试验就足够。例如，实际使用每周 400ppm，30 分钟的间断投药时，连续 130 小时 400ppm 投加试验就足够了（30 分钟/周 x52 周/年 x5 年）。

可选试验方案 2

1,000 小时连续运行试验：与阻垢剂试验相似，如果膜元件与杀菌剂连续接触 1,000 小时没有发生性能损失的话，可认为该杀菌剂与膜元件兼容。近几年的经验表明，更为倾向这种试验方法，虽然耗时较多。测试装置如图 1b 所示，开始实验者需要建立基准结果，即不投加杀菌剂时运行至少 12 小时，如果产水量比干净的膜元件低 15%，就不能认为试验有效，陶氏 FILMTEC™膜片的性能指标可从公布的相应膜元件性能规范上折算获得。

建立对比基准之后，连续投加杀菌剂至少 1,000 小时，标准化后的产水量和脱盐率必须保持恒定，兼容性上限浓度是浓水侧杀菌剂的最高允许浓度。

保护液

膜元件保护液也是一种杀菌剂，用于防止微生物孳生以及膜元件储存期间膜性能的改变，这样的杀菌剂必须具有长寿命，并常常含有表面活性剂和湿润剂。同样，这类化学品可能对膜元件产生直接或间接的伤害。

与膜兼容的保护液在 1 年的膜元件保存期内，不会改变膜元件的产水量或脱盐率特性，试验方法是，浸泡 5 支受测试的膜元件，在 2，4，6，12 个月后分别测试性能，新元件在每次测试后放回保护液中，第 5 号元件作为备件，一旦任何一支测试结果有疑问时，再来测试它。2 支膜元件储存在目前常用的保护液 1%亚硫酸氢钠中，作为对照，这 2 支元件每次都要进行测试，用以作性能对比。如果保护液中膜的性能未变，应该继续该浸泡试验几年，每年测试 1~2 次，以便了解膜保存液的使用寿命。

在湿法保存膜元件前，膜元件应在保护液中浸泡 1 小时，然后沥干，装入包装袋中，储存期内包装袋中不得孳生微生物，不得发生膜性能的劣化。为了检查其它保存液是否能适用于包装袋保存膜元件，应先测试膜元件，然后将其浸泡在膜保护液中 1，2 或 20 小时。然后将膜元件沥干并装入包装袋，在储存 2，6，12，18，24，36 和 48 个月之后，每一储存期取出 2 支膜元件，进行微生物平板计数分析并测试膜元件。对产水侧施加压力前后，应分别测试膜元件性能，以便确定膜元件在储存期内是否失水变干，产水侧施加压力最容易的方式是将产水出口关闭，让产水侧的压力高于进水的渗透压，至少为 150psi (1,000kPa)。3 次浸泡，7 次测试，每次 2 支元件，每个保存液的评价需要 42 支元件。为了节省试验储存空间，常常选择小型元件作为试验对象，同时仍然用 1%亚硫酸氢钠作为参照系，由于 1 小时的浸泡时间就足够，这样就仅需 14 支作对比的膜元件。

10-4 用 DBNPA 对陶氏 FILMTEC™ 膜元件杀菌消毒

生物杀菌剂

通常情况下，膜元件在运行过程中会由于种种原因受到污染，其中一个原因就是由于细菌所造成的生物污堵。生物污堵会形成一个能黏附其他碎片的基底，这会带来一系列更为严重的运行问题，膜元件被污染的症状包括恒定进水流量时产水量下降、恒定产水量时操作压力升高以及脱盐率下降。当出现上述症状时，应当怀疑系统受到微生物的污染，用户通常会尝试使用生物杀菌剂对膜进行清洗杀菌以便再生膜元件，对生物杀菌剂的要求如下：

- 生物杀菌剂必须与膜元件兼容
- 杀菌作用快
- 成本低
- 生物杀菌剂必须易于运输、存储，并具有稳定易操作的特点
- 不会残留在产水侧
- 必须有广谱的杀菌控制能力：包括浮游类生物和固着类生物（藻类的控制视季节性和特定的情况而异）
- 必须是可生物降解
- 必须符合各种现行和即将执行的规范要求

DBNPA（2,2-双溴代-3-次氨基-丙酰胺）正是一种符合上述各种要求的杀菌剂。目前已有几种以 DBNPA 为有效成份的产品（要了解更多关于 DBNPA 的详细信息或希望找到供应商，请访问陶氏杀菌剂网站或发电邮至：antimicrobials@dow.com）

在 FILMTEC™ 膜元件上的应用效果

在进水为生物较高的反渗透系统中，3~5 天就会形成包括各种生物组织的生物膜。这样，在生物活动高峰期（夏天），清洗周期应为 3~5 天，生物活动低谷期（冬天），清洗周期应在 7 天左右。最佳的清洗频率应视项目的具体情况和该反渗透系统的运行特性而定。

生物杀菌剂有两种不同的使用方式：间断脉冲投加和连续投加。

对于间断脉冲投加，DBNPA 的投加量根据系统受生物污染的程度决定。对于一个生物污染不是很严重的系统而言，每 5 天持续 30 分钟~3 小时投加 10~30ppm 证明已经足以控制微生物的污染。若进水菌落总数>100CFU/ml 或者反渗透系统中肯定形成了生物膜的话，建议投加 30ppm，持续 3 小时。因为还原剂（如用于去除游离氯的亚硫酸氢钠）会使 DBNPA 失效，所以对有残余还原剂的进水，应投加更高浓度的 DBNPA，反渗透进水每含 1ppm 残余还原剂，活性成分 DBNPA 的浓度就应相应增加 1ppm。为了去除死掉的生物膜，还应采用碱性清洗（请查阅技术资料中有关清洗生物膜的介绍）。

生物杀菌剂的降解产物及其配方中的其他成份并不能被反渗透膜完全截留，因此，在间断脉冲投加杀菌剂时，投药期间的产水中可能会含有微量的有机污染，要排放掉这段期间的反渗透产水。

当希望系统中不会出现很明显的生物膜，可采用一套连续投加的运行方案，建议投加后的有效成分为 0.5~1ppm。剂量应根据细菌含量的正常波动作调整。同样的理由，由于还原剂

会使 DBNPA 失效，当进水中存在还原剂时，必须投加更高浓度的 DBNPA，反渗透进水每含 1ppm 残余还原剂，活性成分 DBNPA 的浓度就应相应增加 1ppm。采用这种投加杀菌剂的系统可以将细菌的含量控制在接近零的水平。

需要注意的是，虽然 DBNPA 没有氧化性，当其浓度<0.5ppm 到>3ppm 时，会产生 400mv 的氧化还原电位响应。举个例子，1ppm 的氯和溴会产生+700mv 氧化还原电位响应，并且响应值会随着浓度的增加而增加。

使用 DBNPA，对系统流速以及压力均没有任何特殊要求，在间断脉冲投加时也不需要改变任何操作条件。当产水的应用领域对有机物敏感的话，请将脉冲投药期间的产水排放掉。

10-5 故障排除：膜元件性能评估 - 真空度下降测试

真空度下降测试

当膜元件出现高漏盐率时，首先应该检查是否有进水或浓水泄漏到产水侧？是否存在膜表面被划伤，或因为产水背压与水锤造成反渗透复合膜脱盐层的剥离等物理损伤。下面介绍的真空度下降试验法可用来检查泄漏现象，确认膜元件的机械完整性，该方法基于 ASTM D3923 和 D6908 标准。

真空度下降试验法是检查膜元件泄漏，确定反渗透和纳滤膜元件运行后的完整性的工具，可以进行单支膜元件或装有几支膜元件的整个压力容器的检查，测试前，必须将膜元件进水和产水流动道内的存水排干，待测压力容器不能有水，将元件的产水管堵上，真空度的下降速率可以作为膜元件机械完整性或膜元件泄漏的指标。未受机械和化学损伤的膜元件将维持一定的真空度，但是受损的膜元件则不会维持真空度。

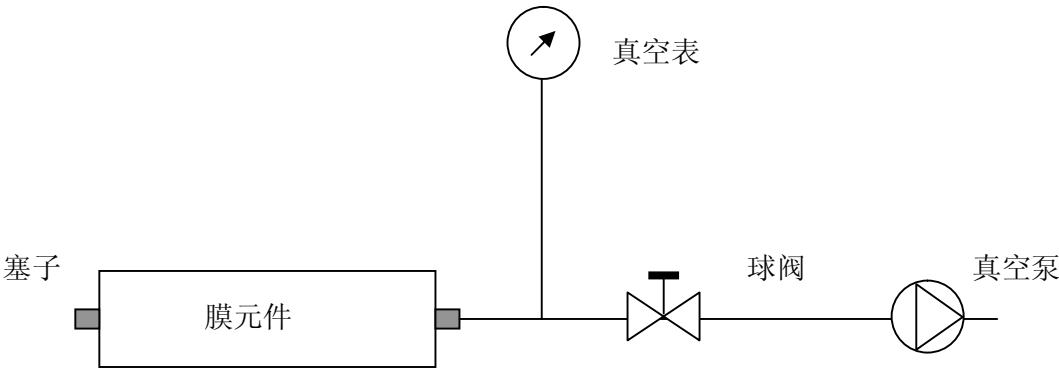
上述方法仅作为初步筛选，不作为确认泄漏的绝对方法，然而，该测试可在很短时间内辨别出有泄漏的膜元件或 O 形密封圈，有利于帮助人们区分膜元件发生了化学损伤（化学损伤不作为泄漏）还是机械损伤，当无法进行单支膜元件的筛选或没有足够的时间进行性能测试时，在现场可用该方法检查大量的膜元件。

试验程序如下：

- a. 排干膜元件内的积水。
- b. 用塞子将一端的产水中心管紧紧堵住。
- c. 将产水中心管的另一端连接到真空表上和真空设备（泵）上。
- d. 将膜元件置于 100~300 mbar 的绝对压力下。
- e. 关闭隔断阀并观察真空表上的读数，注意真空表上的真空度下降速率，当出现快速下降（每分钟大于 100mbar 的压力增加）时，就表示有膜元件的泄漏。
- f. 卸下测试连接管路前，缓慢释放真空度，让膜元件与大气压力平衡。
- g. 测试应该重复多次，确认测试结果的重现性。

对整个压力容器测试也包括了对元件间接头和元件与压力容器端板间的适配器的检测，试验程序与上述相似，将压力容器一端的产水出口堵住，从另一端的产水出口抽真空，连接压力容器的进水及浓水口有时需要打开。

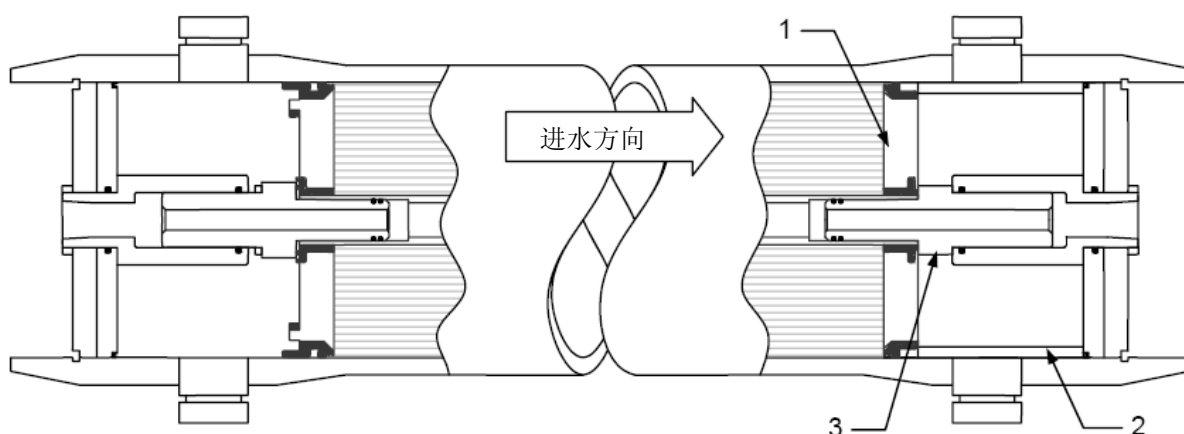
图 1. 真空度下降速率试验



10-6 陶氏 iLEC™端面自锁连接技术和传统连接技术压力容器端板适配器

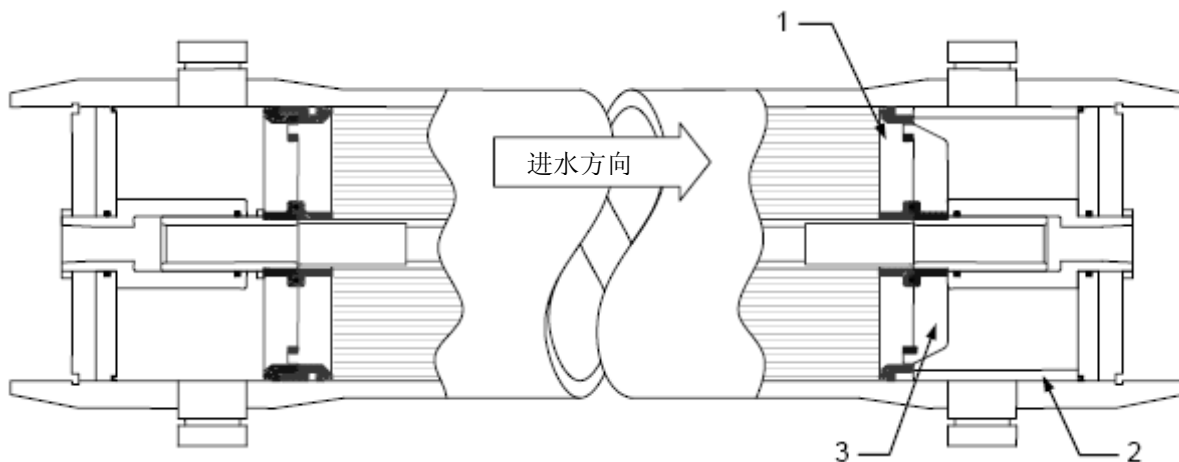
传统压力容器端板适配器

陶氏 iLEC™膜元件与传统压力容器端板适配器完全兼容，在仍使用传统压力容器端板适配器安装陶氏 iLEC 膜元件的最后一支膜元件（1）时，必须保证 iLEC 膜元件的下游端面顶住抗应力器（2），这样膜元件才能被压力容器适配器（3）及抗应力器同时有效地支撑住。



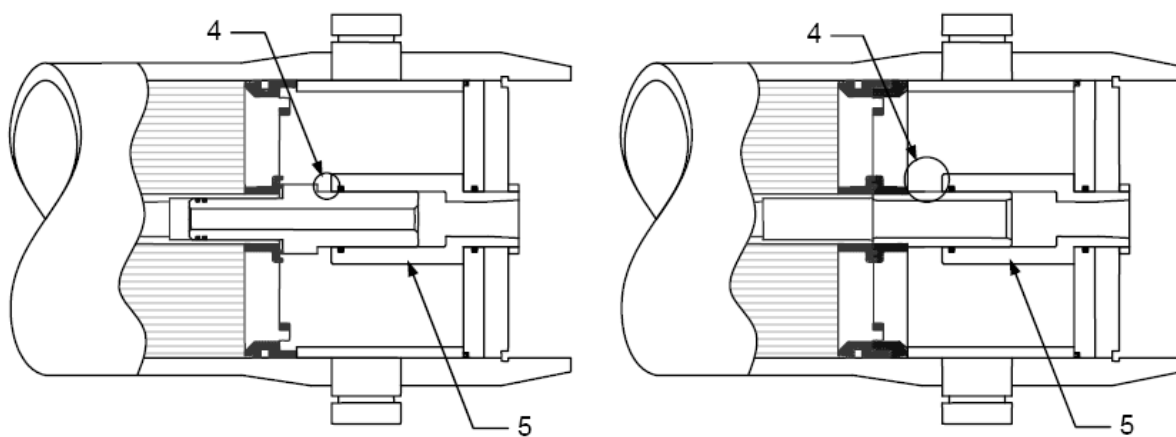
iLEC 端面自锁连接压力容器端板适配器

如下图所示，安装陶氏 iLEC 膜元件的最后一支膜元件（1）时，必须保证 iLEC 膜元件的下游端面顶住抗应力器（2），这样膜元件才能被压力容器适配器（3）及抗应力器同时有效地支撑住。



特别提醒：

如下图所示，若将膜元件进水方向安装反了，在压力容器端板出水口（5）和端板适配器之间将会出现较大间隙（4），运行时该膜元件无法得到恰当的支撑分散水流的推力，将会发生望远镜状膜元件损坏。



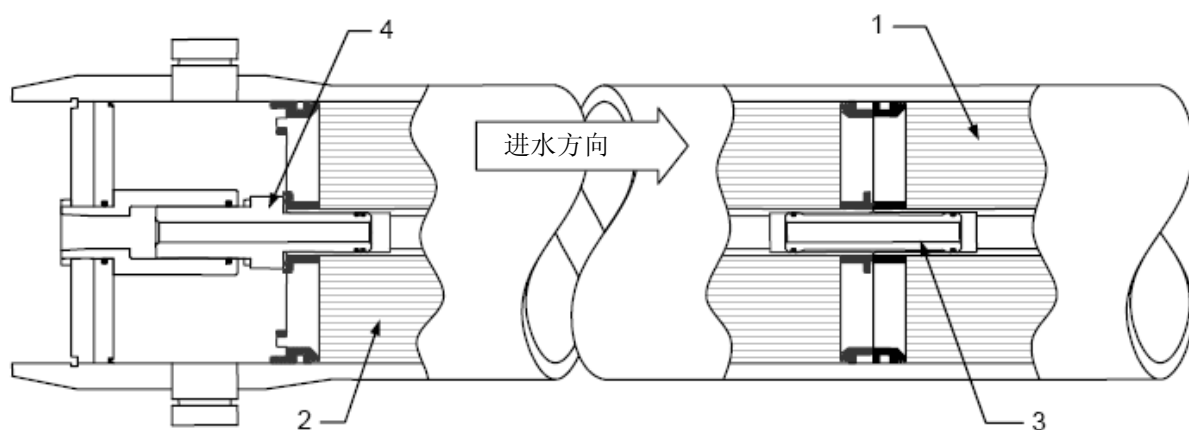
传统压力容器端板适配器

陶氏 *iLEC* 膜元件与传统压力容器端板适配器完全兼容，最后一支膜元件（1）的下游端面必须顶住抗应力器（2），这样膜元件才能有效地被压力容器适配器（3）及抗应力器同时支撑住。

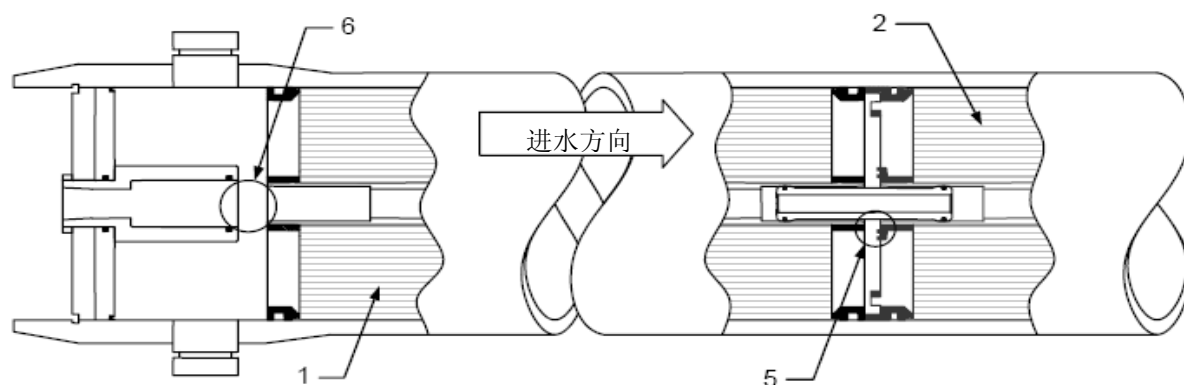
10-7 陶氏 *iLEC*™ 端面自锁连接和传统连接膜元件的混装

iLEC™ 端面自锁连接和传统连接膜元件的混装

在同一支压力容器内，可能会出现需将 *iLEC* 膜元件与传统连接膜元件混装的情况，为了防止压力容器内膜元件总长度的增加，传统连接膜元件（1）必须集中安装在压力容器浓水端，而 *iLEC* 膜元件（2）则必须安装在压力容器进水端，采用传统插入式内接头（3）将两种连接形式的膜元件连接在一起，可以任选传统压力容器端板适配器（4）或 *iLEC* 端面连接端板适配器。



特别提醒：任何与上述建议顺序不同的混装方式都将增加混装后元件总长度。每当将传统膜元件（1）安装在 *iLEC* 膜元件（2）的上游（进水端）一次，总长度就将增加 0.5 英寸（1.25cm），并会出现间隙（5），使得上游膜元件无法得到合适的支撑，必然发生望远镜状膜元件损坏，进水端压力容器端板产水引出接头与膜元件端面间的间隙长度（6）就不够，无法安装压力容器进水端适配器。



10-8 废水回用 - 裕廊岛的经验

• 新加坡 SUT SERAYA 公司用抗污染反渗透膜回收废水*

作者: Eu Hong Gay¹, C. Ravi², Kai-Uwe Hoehn³

¹ 运行经理,

新加坡 SUT Seraya 有限公司

² 工程技术付总裁, 美国 Aquatech 国际公司

³ 高级工程专家,

陶氏化学(澳大利亚)有限公司

译者: 陶氏化学(中国)投资有限公司

摘 要

新加坡作为岛国自然资源匮乏, 水则成为它的一项战略资源。目前新加坡的饮用水有一半来自邻国马来西亚, 但是它与马来西亚的两个供水协议将分别于 2011 年和 2061 年失效。随着工业的繁荣, 该国对水的需求也不断增长。这种情况促使新加坡政府及其工业界不断寻求创造性的供水办法, 使该国的水资源更加自给自足。

新加坡目前已建立起一个大型的反渗透工厂处理三级生化废水, 并将其转化成可用于蓬勃发展的石化工业的高级工业给水(HGIW)。该反渗透系统由美国 Aquatech 国际公司(AIC)供货, 安装了 2184 支陶氏化学公司生产的抗污染膜元件 FILMTEC™ BW30-365FR (现改名为 BW30FR-365)。该系统由 SembCorp 公用事业公司的子公司 SUT Seraya (SUT) 公司负责运营管理。整个系统为单级 RO, 共 6 列, 单列产水量 5000m³/d, 总产水量 30,000m³/d。每列分 3 段, 按 28:16:8 排列, 使用 52 个压力容器(7 元件的容器), 配置 BW30-365FR 元件 364 支。系统平均设计通量 10GFD (17l/m².h), 设计给水 TDS~1300mg/L。

通过利用 RO 技术及 30,000m³/d 的容量带来的规模经济效应, SUT 通过新加坡公用事业署不仅能将回收水出售给裕廊岛用户, 而且其价格比目前的饮用水更便宜。SUT 生产的高级工业给水作为工艺给水, 可进一步节省除盐费用, 因为其中的绝大多数溶解性固体已通过反渗透膜脱除掉了。

为了使该工程经济上更加合算, 要求系统回收率的设计突破常规。所以, SUT 对三级废水制定了高达 85% (常规为 75%) 的回收率设计目标, 将其转化成可回用的高级工业用水。其中, Aquatech 独特的常规预处理工艺可以将生物活性废水的 SDI₁₅ 值降到正常值 4 以下。并且, SUT 和 Aquatech 的工程师还发现: 陶氏水处理及过程解决方案的抗污染膜非常容易清洗, 常规化学药品就足以满足清洗的要求, 这样能够保持清洗成本低廉。

目 录:

1. 工程概况
2. 项目规划及发展历程
3. 中型试验及系统设计
4. 系统布局及运行性能
5. 结论及展望 - 保护稀缺的水资源

1. 工程概况

1-1 裕廊岛的形成

1994 年, 当新加坡政府开始实施其雄心勃勃的计划, 准备在亚太地区建立世界级的化工中心时, 就将其南部的七个小岛通过填筑水域的办法合并形成一个面积 2650 公顷的大岛, 这就是裕廊岛(JI)。

在裕廊岛规划和发展的同时, SembCorp 公用事业公司--通过它的子公司 SUT Sakra 公司和 SUT Seraya 公司--实施了一项“公用事业设施集中化”的概念方案。该方案可向预期在裕廊岛设立公司的众多石化、化学及精炼公司提供一系列公用设施, 诸如蒸汽供应、废水处理、除盐水供应、冷却水供应、产品贮存设施及终端设施等。

1-2 战略资源

新加坡地域狭小，只有 660 平方公里，相对而言，人口则高达 400 万，仅仅靠新加坡岛的集水量远不能满足对水的全部需求。所以，新加坡有一半的供水需依靠两个供水协议（分别于 2011 年和 2061 年终止）从邻国马来西亚提供。

基于战略重要性，早在 20 世纪 70 年代，新加坡已向裕廊岛工业区提供工业用水（IW）作为替代性的工业水源。这种工业用水主要是从 Ulu Pandan 废水回收厂排放的经过三级处理的废水，新加坡污水需处理到符合标准 20ppm BOD，30ppm SS。而工业用水（IW）的典型水质为 BOD<3ppm，SS<5ppm，TDS<1300ppm，为了鼓励回用它，其出售价格比饮用水便宜很多，因此，无论对直接的工业回用还是进一步深度处理均有很大的吸引力。

由于化学和石化部门的用水主要是非饮用目的，占新加坡整个饮用水量的 5%，所以这促使 SUT 和政府开发创造性的水源以替代现有的饮用水水源。

2. 项目规划及发展历程

2-1 为裕廊岛规划替代水源

早在裕廊岛规划阶段，人们就已经设想将位于裕廊工业区的工业水网加以延伸，以满足整个裕廊岛的工业需要。利用供给裕廊岛的工业用水，采用RO/EDR技术或相关技术可进一步将工业用水处理成高级工业用水（HGIW），这被认为在经济上是可行的。

2-2 高级工业用水（HGIW）规范

为使废水的回用对工业界更具吸引力，人们希望公共事业署（PUB）提供的高级工业用水（HGIW）应该比饮用水的水质稍好一点。将控制其目标电导率小于250 μ S/cm，相比而言，PUB提供给裕廊地区的饮用水电导率为350~650 μ S/cm。

1996年和1997年，通过对拟投资于新加坡裕廊岛的石化公司、化学公司及精炼公司开展了调查，预计饮用水级的工业用水量将达到50,000m³/d。因此，我们规划了一个日产30,000m³高级工业用水的工厂。在投产后，如果产品水以稍低一些的价格出售，那么将很容易取代PUB的饮用水。

接着，在1997年和1998年，SUT开始着手发展用工业用水（IW）作替代水源。人们预计工业用水（IW）能够进一步处理并制得可与饮用水相比的产品水，但只用于工业目的。这种水即被命名为高级工业用水（HGIW），与工业用水（IW）相区别，并通过独立的输水系统卖给裕廊岛的工业用户。

2-3 工业用水（IW）规范

设计HGIW水厂的基点是工业用水水质。到目前为止，新加坡公用事业署（PUB）经营裕廊工业水网（JIWW---处理来自Ulu Pandan废水回收厂排放的三级废水处理厂已长达20年，并积累了丰富的工业用水（IW）水质数据）。

然而，就象其他许多下水道陈旧、地下水位高的海岸城市一样，海水倒灌现象导致工业用水成份随着潮位而急剧变化。氯化物水平可从100mg/L变化到500mg/L，但正常的范围为250 $\pm$ 100ppm。

在相当长的时期内，我们观察到工业用水（IW）的电导率从最低800 μ S/cm可波动到高达1800 μ S/cm，有时甚至高达2000 μ S/cm。因此，为谨慎起见，应该提供安全设计裕度。在设计RO时，原水规范采用相当于TDS1300mg/L的最大电导率。另外，考虑到RO膜的逐渐污堵和盐通量随时间的增加，我们也需要较高的安全设计裕度。

2-4 技术招标及评估

在1997年初举行了建造30,000m³/d的工业用水深度处理厂项目招标，有10多家国际著名的水公司参与投标。评标则基于每

份标书的实际净值进行，结合了投资和长期运行成本的影响，同时考虑采用当时最可靠的先进技术。

提交的各种标书大概可以归类成三种不同的工艺：

- a) 频繁倒极电渗析技术（EDR）
- b) 用微滤（MF）作预处理的反渗透技术（RO）
- c) 用传统双介质过滤（DMF）作预处理的反渗透技术（RO）

频繁倒极电渗析技术和反渗透技术相比由于其达不到高脱盐率而未被采纳。

微滤膜作预处理工艺与传统介质过滤相比经济性上有两个不足。其一，每隔5年微滤组件必须更换；其二，微滤膜只能提供90~95%的系统水回收率。相比而言，传统双介质过滤没有昂贵的介质更换费用，因为石英砂和无烟煤十分便宜，更重要的是，由于双介质过滤器采用反渗透的浓水作反洗水，可使其水的回收率提高到99%。

令最终用户SUT感到放心的是，位于印度Chennai市的马德拉斯化肥有限公司（MFL），多年来已经成功地将传统双介质过滤与陶氏化学的标准反渗透膜相结合使用，实现了废水回用处理，规模为日产水12,250m³。因而确定了采用传统双介质过滤作预处理的反渗透方案。

2-5 系统回收率及项目经济性

由于公用事业署（PUB）对新加坡使用的每吨工业用水征收水费0.43新元，所以废水回收厂只有采用最高的运行回收率，方能使该项目经济上可行。同时，消费者也盼望有一个具有竞争性的水价。因此，筛选剩下的标书必须采用介质过滤作为RO的预处理，而且RO装置的回收率高达86%，结合预处理部分99%的回收率，最后整个系统的回收率达到85%。

3. 中型试验及系统设计

设计和建设污水回用厂的合同最后被美国Aquatech国际公司（AIC）中标。在设计的最初阶段，为了使SDI₁₅值达到RO膜要求的目标值（<4.0），承建项目的工程公司决定采用两级双介质过滤器：一级双介质过滤器（PDMF）和二级双介质过滤器（SDMF）作预处理。这就意味着为裕廊岛将来可能出现的水质不稳定状态提供了操作裕度。

3-1 中型试验

为模拟两级双介质过滤器，承建项目的工程公司建立了一套中试装置，以筛选、优化混凝和絮凝工艺，同时优化介质层。

3-1.1 混凝和絮凝的优化

承建项目的工程公司作了一系列的烧杯试验，测试了不同浓度的多种聚合物，并通过沉降性试验、絮体形成试验、浊度测量等方法确定每种聚合物的最佳效果。从该烧杯试验中，筛选出两种聚合物，作为进一步中试研究。中试主要测量不同浓度下的浊度和SDI值。基于测试结果，最后确定采用的聚合物和混凝剂。

3-1.2 双介质过滤器 – 滤层优化

由于中试中观察到存在SDI穿透（>5），基于初级过滤器的最小泥沙带出量，二级过滤器采用了细砂以提高机械过滤器出水SDI值的稳定性，SDI的设计目标为<4。

3-1.3 聚合物带出试验

现场工程师进行的聚合物带出试验表明，其带出结果为零。

3-1.4 预处理充分性及污堵研究

确定了化学药品及过滤介质的优化配置后，再建立了一套独立的闭合循环中试系统，以模拟反渗透系统的第3段最后一支元件的运行情况。该系统由单支陶氏FILMTEC™ BW30-365FR抗污染元件组成，运行回收率86%。该系统运行将近一月之后证明没有任何污堵。接下来，将回收率提高到90%，强制产生了一些污堵。但是，即使这样也没有产生严重的污堵。因此，证明膜元件的抗污染能力是显著的、预处理是充分的。这些试验也有助于减少今后大型系统现场调试所需的时间。

3-1.5 RO膜元件的特点及选择

SUT选择FILMTEC™ BW30-365FR抗污染膜，既是基于该膜在处理富含生物活性水方面的卓越性能业已得到实践的证明，也是基于陶氏可靠的技术服务和支持。陶氏在Chennai的马德拉斯化肥厂的跟踪记录使SUT更加放心。在将近10年中，陶氏膜成功地用于印度Chennai厂的废水处理系统中，以净化有机物含量很高的生物活性水。从前，膜技术因其污堵速度很快而被认为不能适应处理这类恶劣水质。

FILMTEC™ BW30-365FR是卷式复合膜，具有很强的抗污染性能。FILMTEC™ FR抗污染元件有着诸多性能优势和经济优势：先进的自动卷膜技术使精度达到手工卷制望尘莫及的水平；增加膜片数量，缩短膜片长度，显著地减小了产水侧的压力损失，这样元件内膜的效率更高，驱动压力更加均匀，产水通量分布也更均匀。元件的给水通道宽34mil，比其他品牌产品宽10~20%，使得清洗更容易。FILMTEC™ FR抗污染膜证明能抗细菌吸附，因而可大大延长清洗周期。FILMTEC™ FR元件的生物累积和生物污堵的速率很低，这样平均给水压力很低，从而显著降低了能耗。

3-2 AIC提供的独特的系统设计特点

3-2.1 高效的过滤器设计，以使SDI值始终保持低水平，为维持SDI值，过滤器设计具有如下特点：

a) 双室过滤器设计。通过将滤层分成两室可提高空气擦洗及反洗的效果。

这种设计使我们可更好地控制整个过滤流通面上的通量。并增加了过滤器的高度，以进一步提高流量分配的均匀性。初级过滤器主要为截留颗粒和污泥提供空间，次级过滤器则作为精滤器。初级和次级过滤器始终有一个以上保持在线运行。这样SDI值的稳定性更好，因为任何时候过滤系统都没有运行在刚反洗的状态。

b) 初级过滤和次级过滤交错反洗

设计上，初级和次级过滤器交错反洗，避免同步。由于初级过滤器的压差超标比次级过滤器更为频繁，故其反洗频率也更高。交错的概念有助于确保过滤过程一直在压实的滤床上进行。这一点有助于稳定SDI值。

3-2.2 通过段间升压泵节能

为达到86%的系统回收率，RO的第一、二段设一台高压泵，第三段设一台段间升压泵，并在第一段的产品水管线上设节流孔板以控制第二段的给水流量。这种设计允许第一、二段运行的同时，冲洗第三段。

3-2.3 第三段冲洗的特点

由于待处理水的特点及系统回收率高的特点，第三段RO浓水达到饱和的程度极高，极易导致污堵和结垢。而膜产水具有溶解性能，因此第三段采用产品水定期冲洗污染物和沉淀物，防止板结。每个运行班都要对第三段进行隔离，用产品水冲洗，同时前两段维持75%回收率继续制水。每次启停系统都遵循上述冲洗规程。

3-2.4 变频驱动装置（VFD）和节能

AIC公司在该系统中选用了变频驱动装置（VFD）作为节能设施。高压泵设计的扬程很高，足以满足膜污堵所需的高压力，使膜元件充分达到其使用寿命。

通过采用变频驱动，高压泵正好运行在使膜不产生污堵所需的压头下。因此，不必在泵的出口设置节流阀控制富余的压头。这样在最初几年就能节省大量能源。

VFD使软启停成为可能。这样，马达可以在较长的时间内逐渐加速或减速到期望值。这样还可防止水锤作用对膜的破坏，而水锤会使膜孔压实，进而导致通量损失。同时，因元件在压力容器内的移动导致的望远镜现象也可避免。

3-2.5 实现高回收率的方法

a) 回收排污水

过滤器反洗之前的排放水通过再循环管线送回入口回用。这个设计节约了相当可观的水，否则这部分水将被白白浪费掉。

b) 用经氯消毒的RO浓水反洗双介质过滤器

将RO浓水用于反洗过滤器也取得了显著的节水效果。反洗水箱由于浓水的不断流过而始终处于搅拌状态，这样水箱就能够保持满水位，而且新鲜的浓水不断更换原有的浓水。每次反洗工艺开始之前，对反洗用的浓水先进行氯消毒，以避免过滤器的底部发生任何污染。

c) 过滤器正洗水循环使用

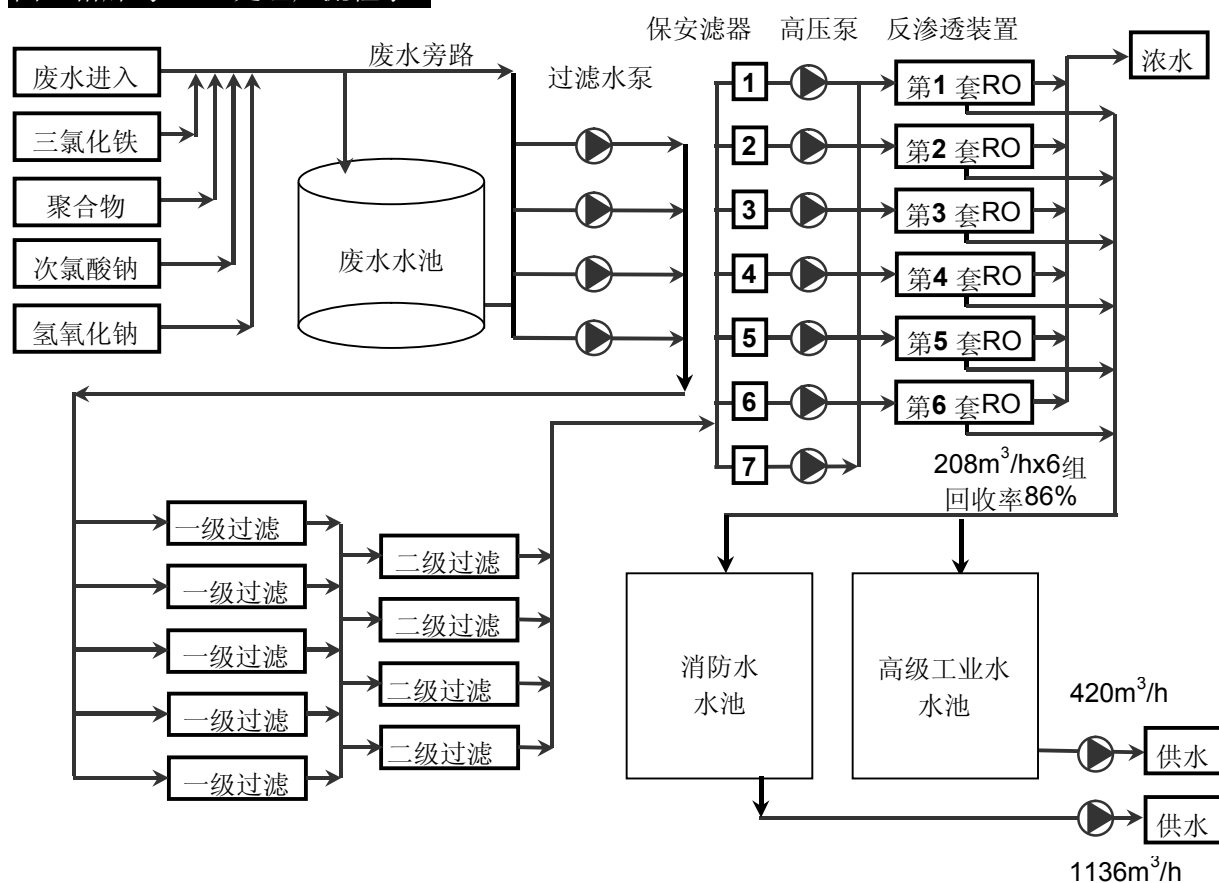
正洗步骤需消耗相当可观的水量。在正洗阶段，先将过滤器底部的浓水置换排放，而后的所有正洗排水全部再循环，送回入口水箱回用。这样，可以延长正洗步骤，更好地压实滤床，从而控制SDI值。AIC公司正是采用了上述各种方法减少了水的损失，提高了整个系统的水回收率。

4. 系统布局及运行性能

4-1 SUT整个水处理厂设计布局概况

三级废水（原工业用水IW）作为给水如图1所示通过预处理工艺步骤进行深度处理。在系统中加入NaClO，以尽可能控制生物及藻类的滋长处于低水平。在整个预处理阶段，游离余氯和化合氯维持一定的水平。在给水处理进入RO膜之前，加入亚硫酸氢钠（SBS），确保没有游离余氯接触膜元件。为防止难溶盐类结垢，RO给水往往需要加入阻垢剂。对进入RO元件的经过预处理的给水，在线监测其氧化还原电位（ORP）。在RO元件上游，每周加入非氧化性杀生剂一次，以防止RO系统滋生微生物。给水中氯胺的水平为~0.5mg/L。RO的给水压力980kPa（9.8bar，140psi）。图1中的RO装置，共6列，规格一样。

图1 裕廊岛 SUT 处理厂流程示



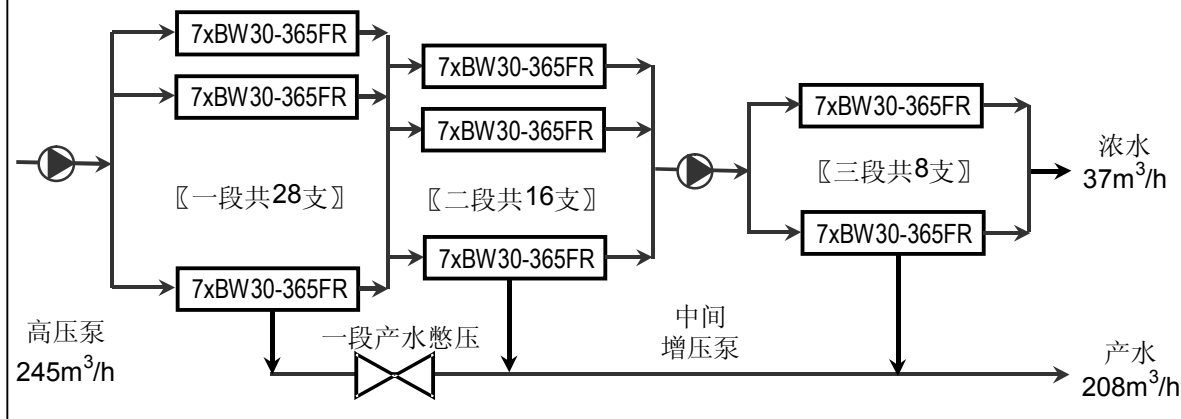
4-2 RO系统的布局

每列RO由3段组成，其布局如图2所示。

4-3 RO运行注意事项、清洗及膜分析

RO产品水水质始终符合高级工业用水（HGIW）的技术规范。见下表“工业用水（IW）和高级工业用水（HGIW）的实际值及规范值的比较”。

图2. 裕廊岛 SUT 废水水处理厂单列反渗透配置流程示意图



裕廊工业用水（IW）和高级工业用水（HGIW）的实际值和设计规范值的比较

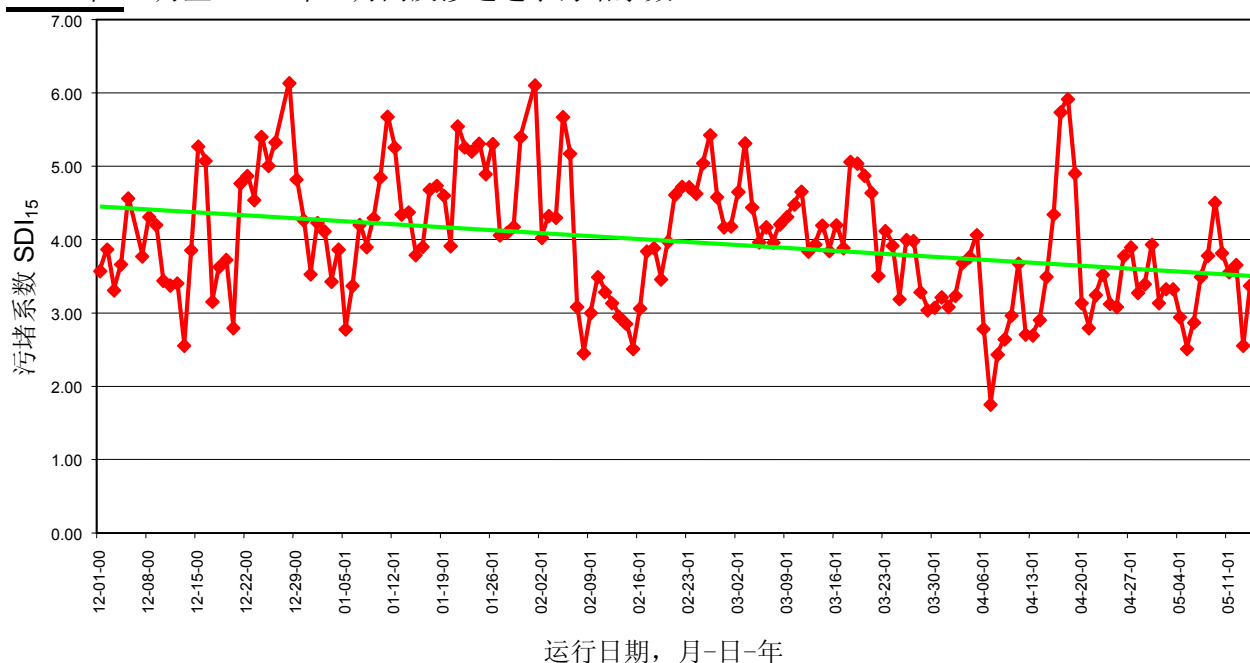
参 数 如无特别说明 单位为mg/L	IW 规 范	IW实际值 (min.-max.) 运行范围	HGIW 规 范	HGIW实际值 (min.-max.) 运行范围
pH	6.5 – 7.0	6.6 – 7.4	6.5 – 7.5	6.8 – 7.2
电导率 (μS/cm)	700 – 2200	700 – 2200	< 250	66 – 133
总溶解固体 (TDS)	350 – 1,300	500 – 1300	< 150	33 – 70
浊度 (NTU)	0.5 – 2.0	0.4 – 1.7	< 0.5	0.1 – 0.4
TSS-总悬浮固体	3.0 – 6.5	1-2	< 0.5	0.07 – 0.13
色度 (Hazen Unit)	5 – 15	13	< 5	<5
总硬度(as CaCO ₃)	100 – 250	100 – 160	< 60	1 – 3
总碱度(as CaCO ₃)	30 – 80	40 – 80	< 45	16 – 22
钠	65 – 300	150 – 200	< 50	10 – 12
氯	100 – 500	150 – 500	< 55	6 – 21
硫酸根(as SO ₄)	80 – 145	120 – 160	< 30	< 7
二氧化硅(as SiO ₂)	1-10	6 – 10	<2.0	0.1 – 0.4
氨-N (as N)	3 – 18	5 – 15	< 3	0.1 – 1.0
磷酸盐 (as P)	1-4	2 – 4	< 0.5	0.04 – 0.10
嗅味	U.O.	U.O.	U.O.	U.O.
BOD ₅	<5	<5	< 3	< 1
COD	30 – 60	20 – 30	< 10	2 – 4
细菌 CFU/100mL	< 0	<1000	<1000	<1
氟	0.2-1.0	0.2 - 0.7	<0.1	< 0.02
锶	N.M	0.2 – 1	N.M.	N.M.
钡	N.M	0.01 – 0.1	N.M.	N.M.
铝	0.09	0.03	< 1.0	< 0.1

铁	0.09	0.02 – 0.09	< 0.04	0.02 – 0.04
锰	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.05
铜	0.02	< 0.05	< 0.02	< 0.05
锌	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.02
As,Cd,Cr,Pb,Hg,Se	< 0.02	每个最大 50ppb	N.D.	< 0.0001
氰化物和 H ₂ S	< 0.02	N.D.	N.D.	CN ⁻ < 0.01

注： N.D. 表示检测不到； N.M. 表示未测； U.O. 表示无味。

原工业用水有时SDI值（>6）及TSS（6~6.5ppm）很高，偶尔导致RO给水的SDI值超过4。当RO给水的SDI值长期超过4时，要求系统的回收率从86%降到75%。而且在2000年元月启动及其后的几个月中，该系统的回收率被谨慎小心地控制在75%，在而后的半年期间缓慢增加到86%。

2000 年 12 月至 2001 年 5 月间反渗透进水污堵系数



预计的清洗周期在86%的回收率下，每月一次。在4周的清洗间隔中，标准化产水流量后一般会下降15~20%。清洗后，标准化的产水量能恢复到原有水平。FILMTEC™膜允许在很高的pH值（30°C时最高可到pH12，35°C时最高可到pH11.5）下进行清洗，而不会对膜性能造成负面影响。这比市场上其他品牌的膜都要高很多。清洗常用化学药品为NaOH，Na-EDTA和HCl。酸洗可用HCl在pH1~2下进行。

运行一年后，进行了一次例行膜解剖分析，以测试结垢物和污堵物的成分，并检查标准条件下元件性能。正如预料，仅存在轻微的生物污堵，并探测到少量Ca、Si、Fe，表明存在轻微胶体污堵。系统性能也正如所预料的一样，脱盐率和流量均在技术规范之内。没有任何迹象表明存在产水恶化、通量损失、需要增加给水压力等问题。

5. 结论及展望 – 保护稀缺的淡水资源

由于SUT，AIC及陶氏公司的紧密合作，在工程各阶段进行了大量审查工作，使该项目得以按时调试，并且产水水质超过了设定的规范值。自2000年元月初启动以来，该RO系统运行良好，参数稳定。

本项目开创的85%高回收率被视为三级废水回用的工业标准。

SUT和AIC的工程师发现FILMTEC™的FR膜正如严格实施的设计和运行条件下的预计，运行效果良好。采用普通价廉的化学药品就足以满足清洗要求，从而保持较低的清洗成本。与采用非抗污染膜的老系统相比，该系统显著降低了运行成本。

SUT提供的高级工业用水进一步节省了裕廊岛用户的除盐水生产费用，因为膜脱除了废水中大多数的溶解性盐类。其结果是双赢局面，不仅为工业界找到了廉价的水源，而且帮助新加坡保护了稀缺的淡水资源。

RO技术及FILMTEC™ FR膜未来的潜力及意义已远远超出其带给SUT及其裕廊岛用户的成功。RO是一项成熟的且用户用得起来的技术，它不仅能从海水制取淡水，而且能使废水回用，保护水资源。这一套十分经济的供水系统正在连续地运行之中，其出水水质和水量稳定，将为新加坡相关公司节省数百万美元，并成为吸引其他公司在此创业的重要因素。同样地，该技术也可用于世界其他缺水地区处理循环回用废水，从而保护重要的自然资源。

致谢：

作者对SUT公司的Seetharaman先生和Eugene Yan博士、AIC公司的M. N. Rao先生、陶氏（德国）公司的J. A. Redondo先生致以诚挚谢意，感谢他们在本文准备过程中的大力支持和见解深刻的讨论。

10-9 法国巴黎梅里奥赛特大型纳滤膜系统一年运行经验

- 日供水 14 万吨大型纳滤饮用水系统*

作者: Claire Ventresque^a, Valérie Gisclon^b, Guy Baboln^a, Gérard chagneau^c

^aVivendi/Générale des Eaux, Quatier Valmy, 32 Place Ronde. 92982 Paris la Défense France

Tel. +33 (1) 55 23 43 73; Fax +33 (1) 55 23 47 19; claire.ventresque@generale-des-eaux.net

^bVivendi/Générale des Eaux, Usine de Mery-sur-Oise, 2 avenue Marcel Perrin. 95540 Mey-sur-Oise, France

Tel. +33 (1) 34 48 28 77; Fax +33 (1) 34 48 28 41; valerie.gisclon@generale-des-eaux.net

^cSyndical des Eaux d'Ile de France, 131 rue du Bac, 75007 Paris, France

Tel. +33 (1) 53 45 42 12; Fax +33 (1) 53 45 42 69; g.chagneau@sedif.com

译者: 陶氏化学(中国)投资有限公司

摘 要

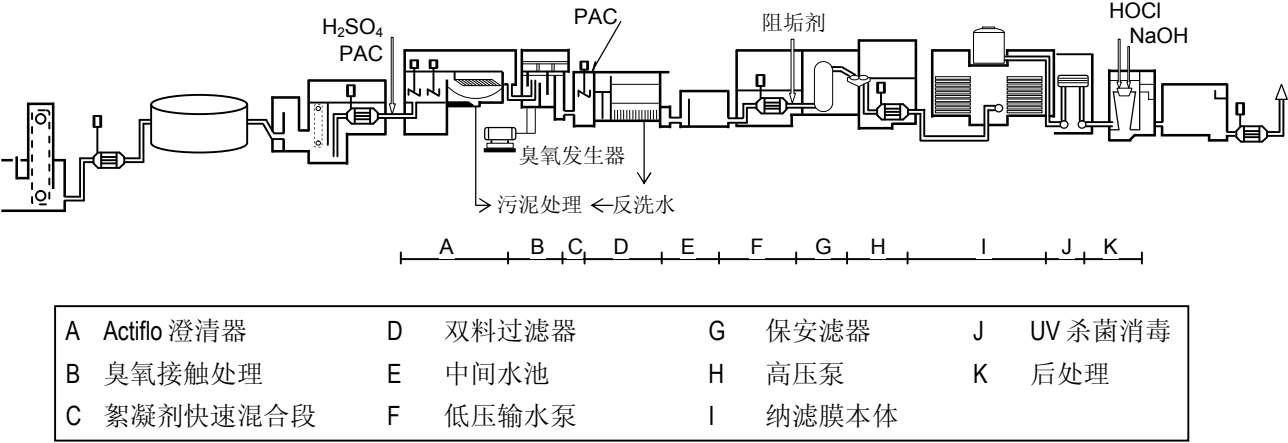
巴黎北郊梅里奥塞水处理厂是法国水务企业联合集团 (SEDIF) 建造的新型水处理系统, 在一年多时间内为大约 80 万居民供应了经过膜法处理的高品质饮用水, 这一新型水处理厂于 1999 年投运, 已有大量的文献^[1-4]报道了为何要选用膜处理方法对奥塞河水进行处理。被处理的原水是受污染的河水, 其温度变化范围为 1~25°C (33~77°F), 同时有机物的含量随季节发生巨大的变化。采用纳滤膜过程使其成为水处理领域的重大创新, 它的创新点还在于其水处理系统的过程控制。

该水厂采用了 1000 多台由计算机控制的预报控制屏, 450 多台在线传感器, 整个水处理厂完全实现了自动控制, 这意味着操作系统可以提供实时评估纳滤膜污堵状态, 也可以进行完全自动化地清洗, 操作者可以自行选择清洗配方。

该系统一年来的运行为我们提供了评价膜系统效率的基础数据, 由于膜的污堵是与原水水质密切相关, 本文论述了系统预处理的性能, 还介绍了各种膜的使用和清洗的改进方法。

1. 处理过程简介

图 1. 膜法水处理系统, 第 2 系列



本文为 2001 年美国水工业协会膜会议专题论文, 版权为美国水工业协会(AWWA)所有, 未经许可, 不得翻录

1.1 预处理系统

预处理部分供应给纳滤系统最大水量为 180,000m³/d (45.5MGD)，它由采用了 ACTIFLO 重力沉降器的一次絮凝沉降步骤、臭氧氧化和双层滤料过滤器（石英砂和无烟煤）所组成，采用的絮凝剂为聚合氯化铝 WAC HB，在水源污染严重的季节再加入阴离子聚电介质，以便大幅度减少 PAC 的使用量。通过加入硫酸使凝絮时的 pH 值位于 6.9，降低絮凝后水中溶解铝离子的含量。

1.2 保安滤器

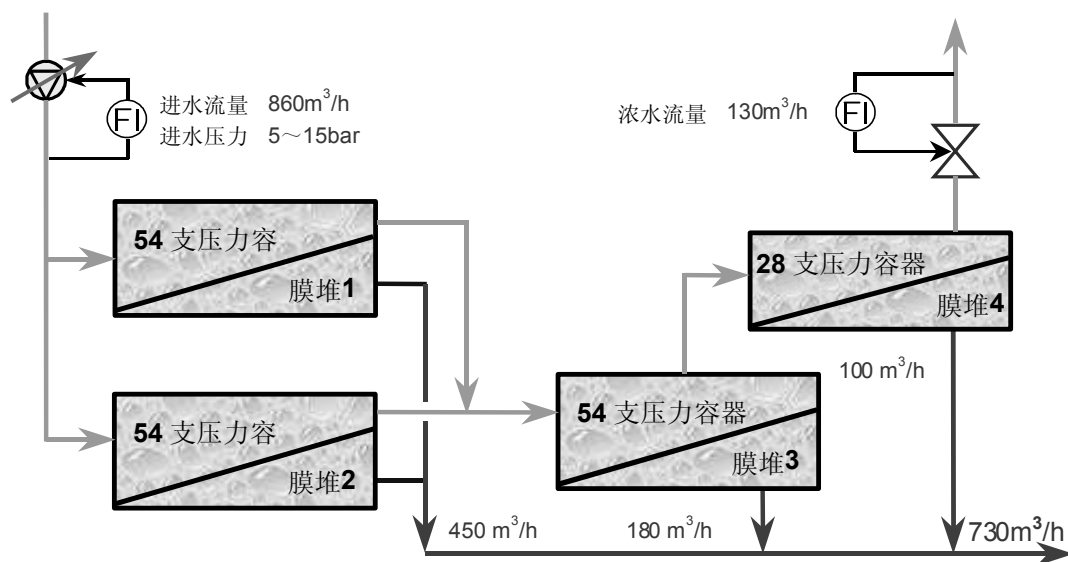
预处理产水经过中间提升泵后进入了 8 台 6μm 保安滤器^a，每台装有 410 支滤芯^b，这些设计成完全自动反洗的保安滤器能够根据其出水所含>1.5μm 颗粒的数量选择清洗频率，除了预处理部分出现故障之外，清洗频率一般为 24~36 小时之间。此外，还可对保安滤器进行周期性地化学清洗，以延长滤芯的使用寿命，一旦保安滤器水头损失达到约 650mbar (10psi) 时，控制系统就立即自动开始这种化学清洗。在这样的操作方式下，滤芯的设计使用寿命为 5 年。

设置保安滤器的目的是为了捕捉颗粒，这些颗粒有可能堵塞或损坏膜元件，一旦双介质过滤器的产水中含有过高的悬浮物质时，保安滤器的作用就象电气回路中的断路器一样，保护纳滤膜本体。保安滤器可以将>1.5μm 的颗粒降低 85% 以上。

1.3 纳滤系统本体

该特大型膜法水处理系统使用了 9,120 支卷式纳滤膜元件^c，每支压力容器装 6 支元件，共有 1,520 支压力容器，分成 8 个系列，每个系列进水量为 860m³/h (3,700gpm)，每个系列均采用变频器驱动，根据原水水温的不同，所提供的膜进口压力变化范围为 5~15bar (72~217psi)，通过在第三段浓水管线上设置的自动控制阀恒定系统的回收率为 85%。

图 2. 纳滤系列组成示意图



^a 保安滤器由法国颇尔公司生产，Pall France, 3 rue des Gaudines, Boite Postale n°5253, 78175 Saint Germain en Laye, France.

^b 保安滤器滤芯：Septra，由法国颇尔公司生产。

^c 美国陶氏化学公司全资子公司 FilmTec 公司卷式纳滤元件 NF200 B-400

将每个系列膜元件构成 4 个支架，第一段含两个支架，每个支架安装 54 支压力容器，第二段含 1 个装有 54 支压力容器的支架，第三段为装有 28 支压力容器的 1 个支架。每个支架上的流量、进出口压力、压力损失和电导率均可单独测量，压力损失 ΔL 定义为每组支架上高压进口压力与高压出口压力之差。

该特大型水处理系统所选用的膜元件是专为处理奥塞河水而设计的 FilmTec 卷式纳滤元件 NF200 B-400，它允许原水中的部分钙离子通过，但却能截留几乎所有的有机污染物。

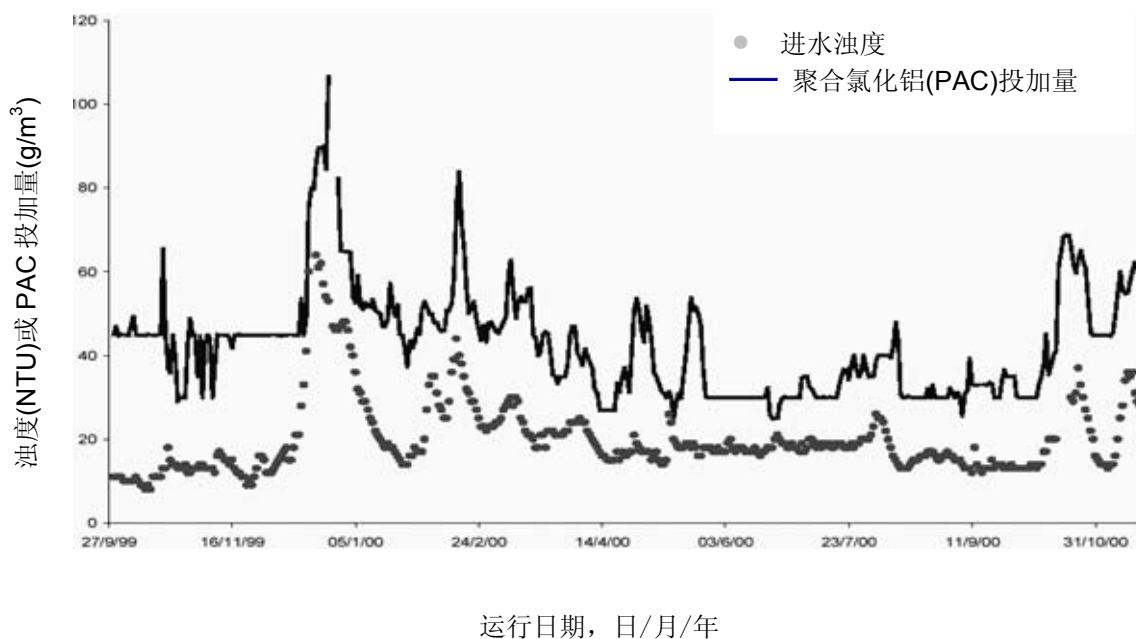
1.4 后处理

在后处理部分，首先采用脱气塔脱除纳滤产水中的 CO_2 ，然后经过 5 台辐射量为 25 毫焦耳/ cm^2 的紫外反应器作卫生保护措施，最后产水再经过投加 NaOH 进行水质 pH 调节，但无需添加其它矿物质。

2. 预处理和保安滤器性能

一年中河水水质随季节的变化范围相当大，不论进水浊度如何变化（8~60NTU 之间），均要求保证预处理在整个一年中出水稳定。图 3 表示絮凝剂 PAC 投加量随进水浊度变化的变化趋势，以保证 ACTIFLO 重力沉降池出口浊度为 1.1NTU 作为控制絮凝剂投加量运行参数指标，此时每毫升水中大于 $1.5\mu\text{m}$ 的颗粒约小于 5,000 个。

图 3. 根据进水浊度投加到 ACTIFLO 沉降池的絮凝剂 WAC HB 量



在 ACTIFLO 重力沉降池出口进行了初级臭氧氧化，它能将未经沉降除去的颗粒再次絮凝，然后在进入双介质滤器之前，再进行二次投加 PAC，当其与臭氧氧化作用相结合时，就可制得非常高品质的预处理出水（表 1），这种二次絮凝剂的加入量为 5~10g/m³，臭氧加入量为 1g/m³，经双介质滤器过滤的出水采用在线铝离子分析^a、颗粒^b和浊度^c实现了实时监控。

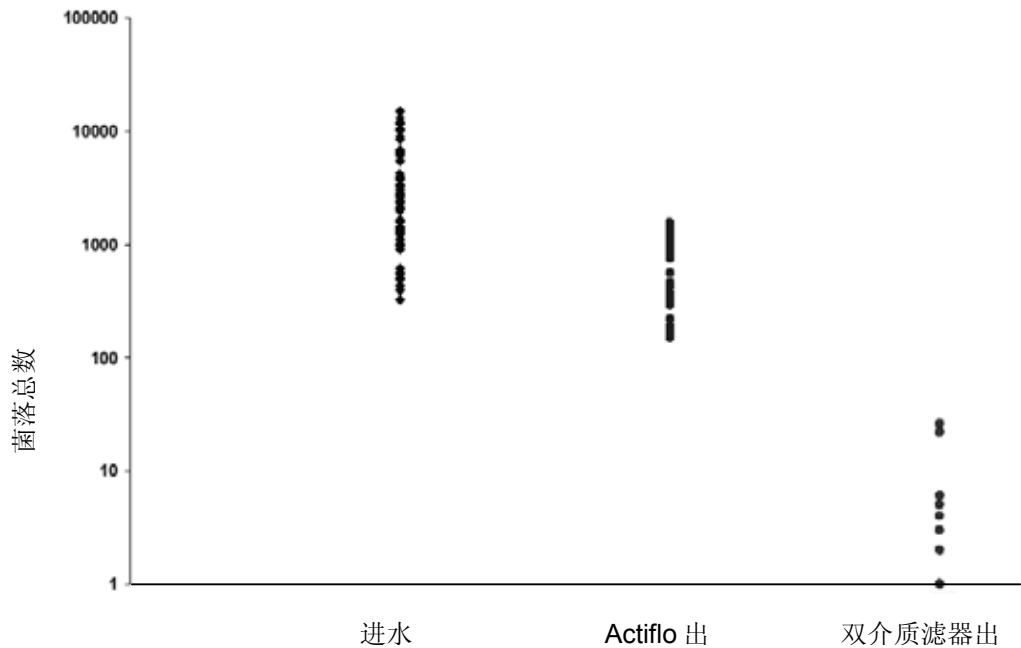
通过絮凝过程加酸调节进水 pH 值，能大幅度地下降可溶性的铝离子含量，这样也就减少了膜的污堵速率，预处理系统同时还能脱除 30~60%的 TOC 的含量，图 4 表示预处理系统脱除了大约 4log（10,000 倍）的细菌含量。

表 1 预处理系统平均水质，1999 年 9 月至 2000 年 11 月

参数	进水	Actiflo 出口	双介质滤器出口	保安滤器出口
与颗粒相关的参数				
悬浮物 SS（mg/L）	18.2	2.21	nm	nm
浊度（NTU） ^c	19.8	1.1	0.05	nm
颗粒计数>1.5µm/ml	nm	大约 5,000	24.8	3.8
颗粒计数>0.5µm/ml	nm	nm	nm	7,987*
总铝离子（µg/L）	nm	nm	< 20	nm
有机物:				
TOC（mg C/L）	4.2	nm	2.2	2.2
紫外（UV）吸收度（10 ³ /cm）	106.8	nm	nm	37.1

* 大于 0.5µm 以上颗粒的计数变化范围 5,000~12,000；nm：表示未进行测量。

图 4 预处理系统对菌落总数脱除的影响



^a AL9000 铝分析仪，由 Environmentat SA 公司生产，111, boulevard Robespierre, 78300 Poissy France。

^b HIAC Royco 2000。 ^c 浊度仪 SIGRIST CT65IR

显然，保安过滤器进水的颗粒含量很低（除了供水高峰期外），浊度和铝含量也被降到极低，但正如图 5 所示那样，表现在纳滤膜进口的河水 TOC 含量变化很大。

图 5 在系统进水和膜本体进口 TOC 的变化(mg C/L)

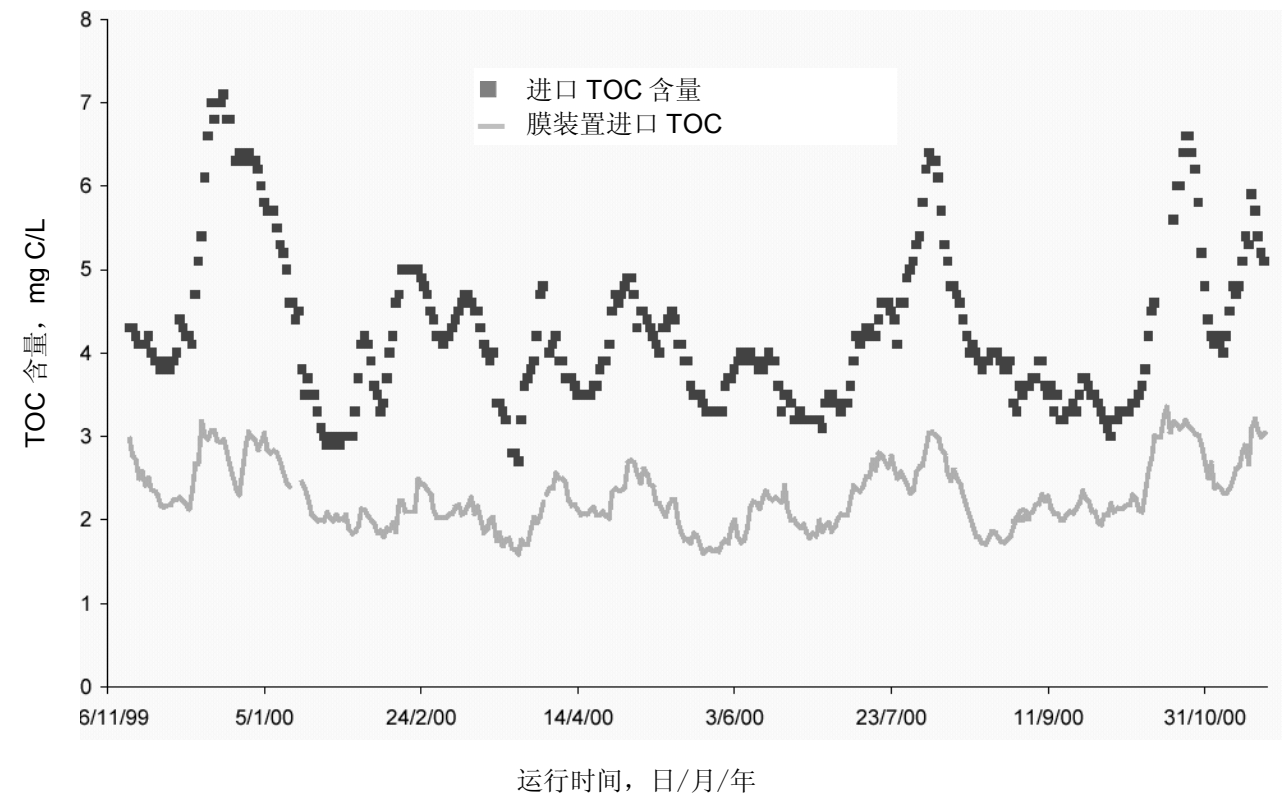
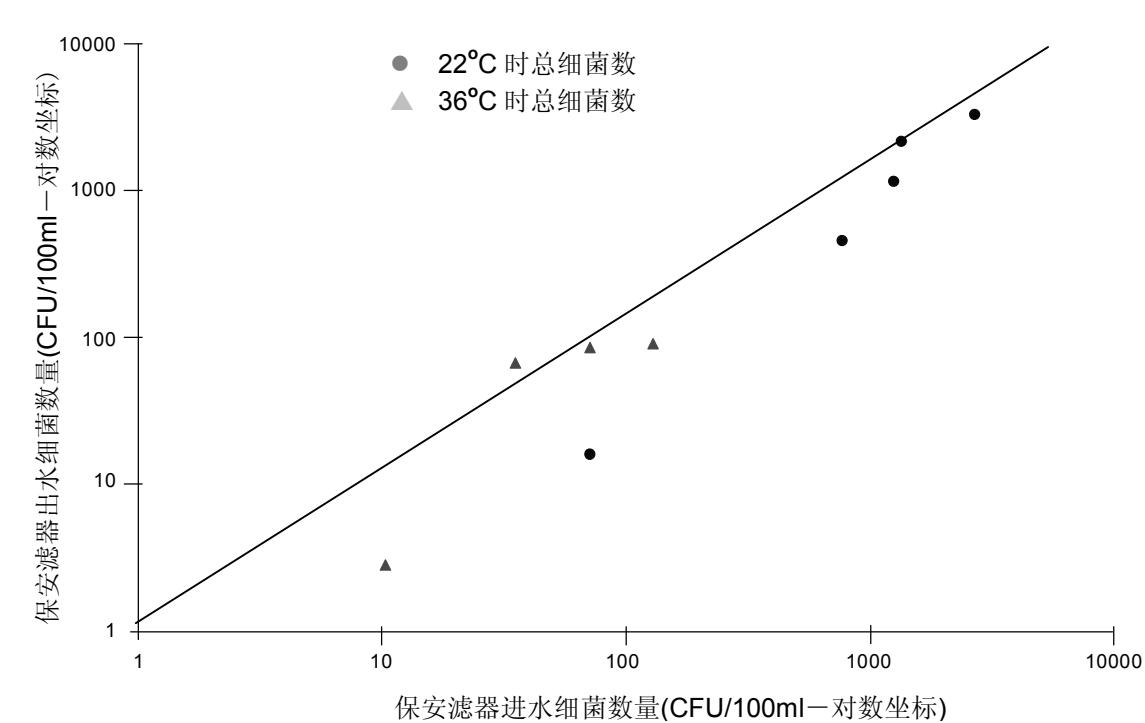


图 6 保安过滤器前后微生物的数量比较(CFU/100ml)



通过检测了解到保安滤器对水中微生物的截留作用，结果未发现其能够截留微生物，图 6 说明保安滤器前后水中微生物指标基本相同，这是可以理解的，因为细菌的大小要远小于滤芯的截留孔径。

2.1 由铝引起的堵塞

有几种情况会造成纳滤膜的污堵，膜系统的进水水质取决于河水水质，而且随季节发生变化^⑩，由于膜的污堵与给水水质密切相关，一年中不同的季节会出现特征明显不同的污堵现象。

碳酸钙（CaCO₃）沉淀取决于进水的 pH 值。由于使用了阻垢剂^a，为了防止浓水中碳酸钙沉淀，仅需使膜进水的 pH 值降至 7 即可，这样能够大大节省调节 pH 值的硫酸用量。在梅里市奥塞河畔对使用硫酸有限制，因为这将会增加水中硫酸根的含量，而引起硫酸盐沉淀就非常难以被清洗掉，出于操作安全方面的考虑，没有选用盐酸。

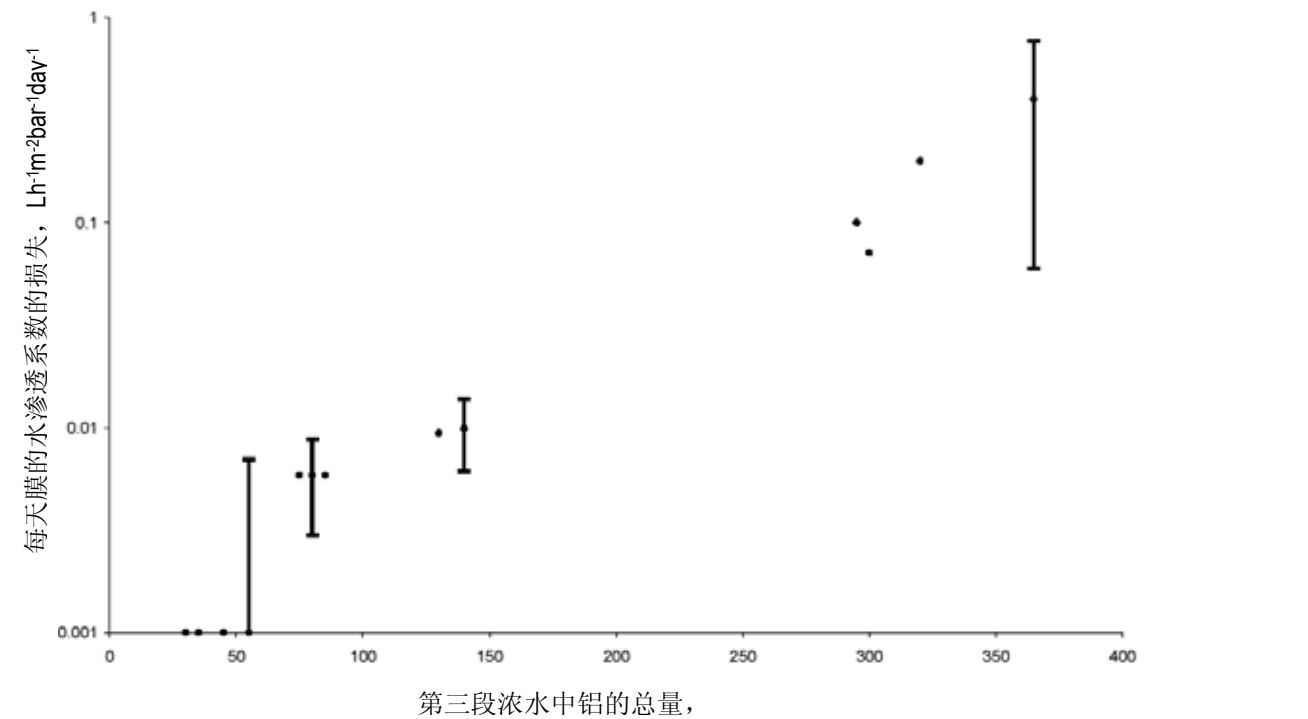
针对梅里奥塞纳滤系统，打算在絮凝阶段的整个系统进水中就降低 pH 值，以便在预处理阶段提高 TOC 和游离铝离子的脱除率。在 1999 年 5 月至 6 月的投运初期，预处理酸化处理部分出现了误操作，即在膜本体进口直接加硫酸将 pH 值调低到 7，导致了在膜系列第三段迅速地发生了污堵。

分析表明第三段浓水中铝的浓度很高，图 7 说明这种污堵可能是由于膜浓水侧存在大量铝所引起的，随着浓水中铝浓度的增加，产水量随时间的下降程度会加剧。

通过小试获得了使用铝盐进行絮凝的最优 pH 值范围，根据铝的溶解度曲线，pH 值在 6.8~7.0 之间，水中残留铝离子的量最低，此外，在预处理中，TOC 的脱除也取决于水的 pH 值，效果最好的 pH 值范围是 6.8~7.0。

凝絮如果不是在最优 pH 值范围进行，当再加入酸时，将会发生沉淀，在膜的浓缩过程中，这种现象会加剧，因为除了沉淀之外，在膜的浓水侧，还存在铝离子浓缩倍率因素的影响。

图 7 用标准化水渗透系数表示膜产水量下降与第三段浓水中铝离子含量的关系（25℃ 标准化）



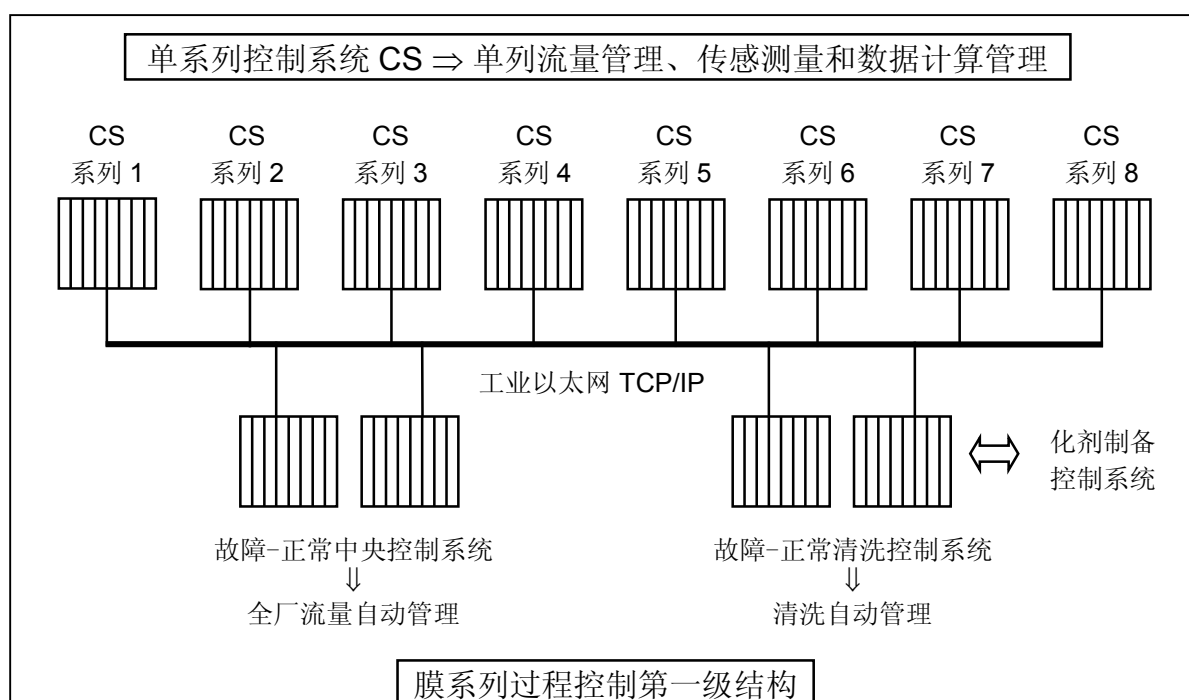
3. 纳滤膜的监测

该系统设置了膜性能的在线监测，在每个系列的每个支架上均安装了流量、压力和电导率传感器，实时自动计算膜的进水量、产水量和水头损失等。

由在线传感器获得的数值再传递到装置控制器上，这些控制器代表着第一级过程控制，进行装置和过程的运行，他们管理所有的传感器的测量值、报警值并报告系统故障。

所有膜系列的计算也是实时在线进行，上一级即第二级控制，是一个监管整个水厂的中央处理装置，它们从下一级即第一级的控制器收集数据，并可以以图表的形式打印出历史数据。

图 8 膜系列过程控制第一级结构示意图



膜的渗透水量被标准化到 25°C（77°F），根据每个支架上的产水和浓水安装的电导率仪进行计算，并考虑了膜两侧的渗透压。与浓水侧温度和流量有关的水头损失被标准化，计算水头损失系数，当某一系列一旦投入运行，就跟踪每一支压力容器流量的水头损失曲线。水头损失系数对应于考虑了流量波动之后由潜在污垢引起的水头损失，计算值也被标准化到 25°C。

根据标准化后的渗透水量的损失百分数或水头损失增加的百分数，激活污垢的设计极限值。

控制系统将计算渗透水量两种极限值：即根据清洗后每段开始投运条件下的水通量损失率和根据系列最初投运时为基准的水通量下降计算值。这样的计算结果将让操作者获得每个系列装置在其每一个产水 --- 清洗周期内的堵塞程度，可以评估膜以总产水量计随时间的变化趋势，并有可能估算出清洗操作的效率。当任一系列达到上述任一限制值时，该系列控制系统就会发出清洗本系列的命令，启动清洗的条件是产水量下降 25%或任一段标准压力增加 25%。

^a 中央故障-安全控制系统采用了双机热备份型以避免任何的控制故障

为了准确地实现这种监管，由传感器获得的测量结果的可靠性十分重要，为了确认测量结果，将执行如下的计算以检验传感器有无漂移现象。

对每个支架上的膜元件进行三种类型的物质平衡计算：

- 对于进水和出水流量：
$$\frac{Q_{\text{进水}} - (Q_{\text{产水}} + Q_{\text{浓水}})}{Q_{\text{进水}}} = X\%$$
- 对于进水压力和水头损失：
$$P_{\text{膜支架进口}} - \Delta L = P_{\text{下一段支架进口}}$$
- 根据流量测定值，计算电导率平衡：
$$\frac{\text{进水中离子含量} - (\text{浓水中离子含量} + \text{产水中离子含量})}{\text{进水中离子含量}} = Y\%$$

当误差率太大（流量和压力>5%，产水电导率>20%）时，激活“传感器不协调”报警，提示操作者需要对一台或几台传感器装置进行维护，大多数情况下，流量和压力的误差小于 1%，这就意味着操作者可对由系统获得的产水量和水头损失有极高的信任度。

4. 膜元件清洗

膜元件清洗为完全自动化进行的，设有两组清洗系统，每个由 40m³ 清洗配液水箱、变频泵和保安滤器组成，采用纳滤产水配制清洗液，它们在 60m³ 的水箱内被加热到 58°C(140°F)。

现场储备有 4 种化学药品来清洗膜系统，两种碱性产品：洗涤剂^a和氢氧化钠，一个为柠檬酸的酸性化学品，最后一种是由醋酸、过乙酸和双氧水配制而成的杀菌剂。上述所有化学品均为液态，所以可自动配制清洗液。

这里有三种方式让清洗溶液在膜组件内循环：

- 1) 回到相应的 40m³ 清洗配液水箱，以便在本支架膜组件内循环（闭路循环步骤）；
- 2) 如果清洗液排放 pH 值在 6.5~8.5 之间时，清洗废液排放到下水道；
- 3) 如果清洗液排放 pH 值<6.5 或>8.5 时，清洗废液排放到中和水池去。

整个系统设有三个中和池，每个 150m³，用于将清洗液排放到下水道前进行 pH 中和反应。

清洗循环系统中的变频泵可以提供宽广的清洗流量。设计的清洗流量有两种，即每支压力容器 2.1m³/h 的低流量（9.25gpm）和每支压力容器 7.8m³/h 的高流量（34gpm），当清洗 54 支外壳或 28 支外壳时，要求的清洗流量为 60m³/h（264gpm）到 420m³/h（1,850gpm）。

每个系列中的每组支架可以单独地与 2 套清洗系统中的任一套相连，由于两套清洗，可以针对不同支架上的膜元件进行平行清洗操作，表现出了最大的操作弹性，例如，第一套清洗装置可以连续清洗某系列中第一组支架上的膜元件，然后第三组支架上的膜元件，同时第二套清洗装置可以清洗该系列中第二组支架上的膜元件然后是第四组支架上的元件。

膜清洗系统允许操作者选择其所希望的清洗配方并决定下列参数，但不允许调整清洗流量：

^a 普通洗涤剂：P3 Ultrasil 110, 由汉高(Henkel)公司生产

- 清洗液的配制温度；
- 所用的药品量；
- 在膜装置内各种浸泡和溶液循环步骤。

浸泡步骤就是对应于停止清洗泵，关闭该组膜壳进出口阀门，以便使膜元件浸泡在清洗液中，循环模式即让清洗泵运行在闭路模式下，换句话说，清洗液(渗透清洗液和浓水)离开该组膜壳，然后又循环到相应的清洗水箱中。

每一种清洗药剂清洗之后应对系统立即进行水冲洗，为了安全，这种冲洗是必不可少的，不允许操作者省略该步骤。冲洗以两种阶段进行：

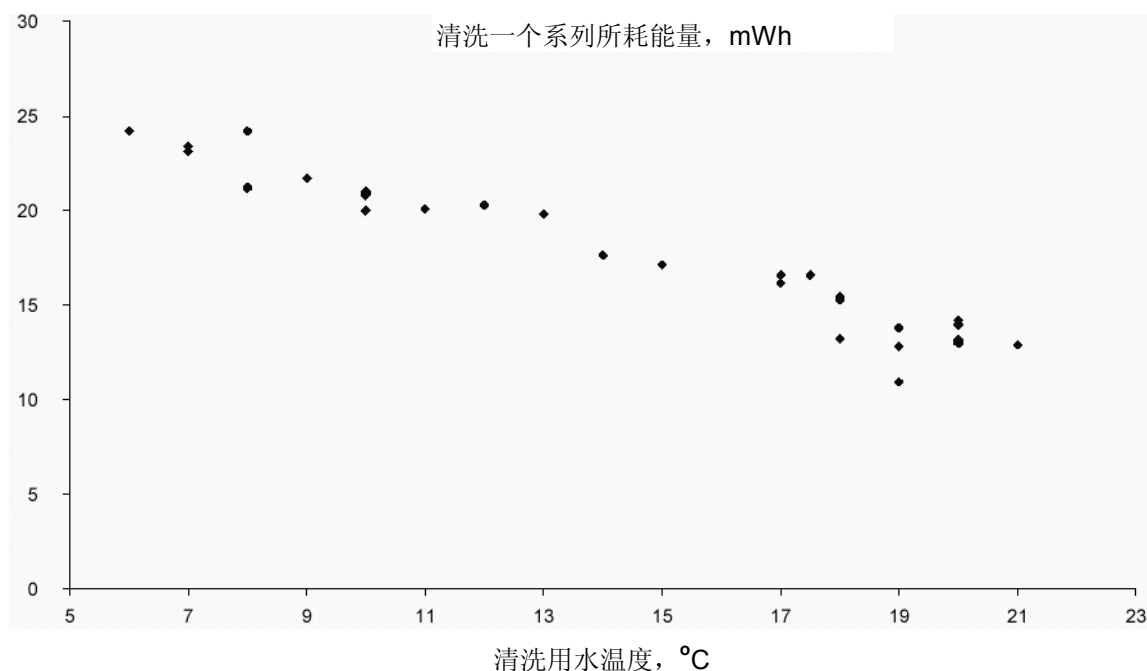
- 1) 每支压力容器 $2.1\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 低流量冲洗阶段，排放到下水道或中和水池；
- 2) 每支压力容器 $7.8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 快速循环阶段。

针对这些冲洗阶段，可调节循环时间，可以以同样的方式延长排放到下水道的时间、增加快速循环时间，延长膜元件的冲洗。这样，操作者可决定用两套清洗装置以普通热水平行对两个支架上的膜组同时进行工作的程序，最大限度节约时间。

在大多数情况下使用标准清洗配方由上位机系统确定并编程，针对 NF200B-400 膜元件，标准程序确定如下：

- 使用的第一类药品，碱性洗涤剂 P3 Ultrasil 110，在温度为 $30^\circ\text{C}(86^\circ\text{F})$ 时浓度为 0.3%。
- 使用的第二类药品，柠檬酸，在温度为 $30^\circ\text{C}(86^\circ\text{F})$ 时浓度为 0.3%

图 9 根据清洗用水温度清洗一个系列所需消耗的能量



每种清洗药剂的清洗程序如下：

1. 以平推流方式用清洗液低流量置换膜元件内所含的水；
2. 浸泡 30 分钟；
3. 快速循环清洗液 15 分钟；
4. 再次浸泡 30 分钟；
5. 快速再循环 30 分钟。

在每种清洗化学药剂清洗之后采用纳滤产水对系统进行冲洗，其程序如下：

1. 低流量冲洗，冲洗排放水排至下水道或中和池，直到 pH 值为 6.5~7.5 之间；
2. 快速闭路循环冲洗 10 分钟。

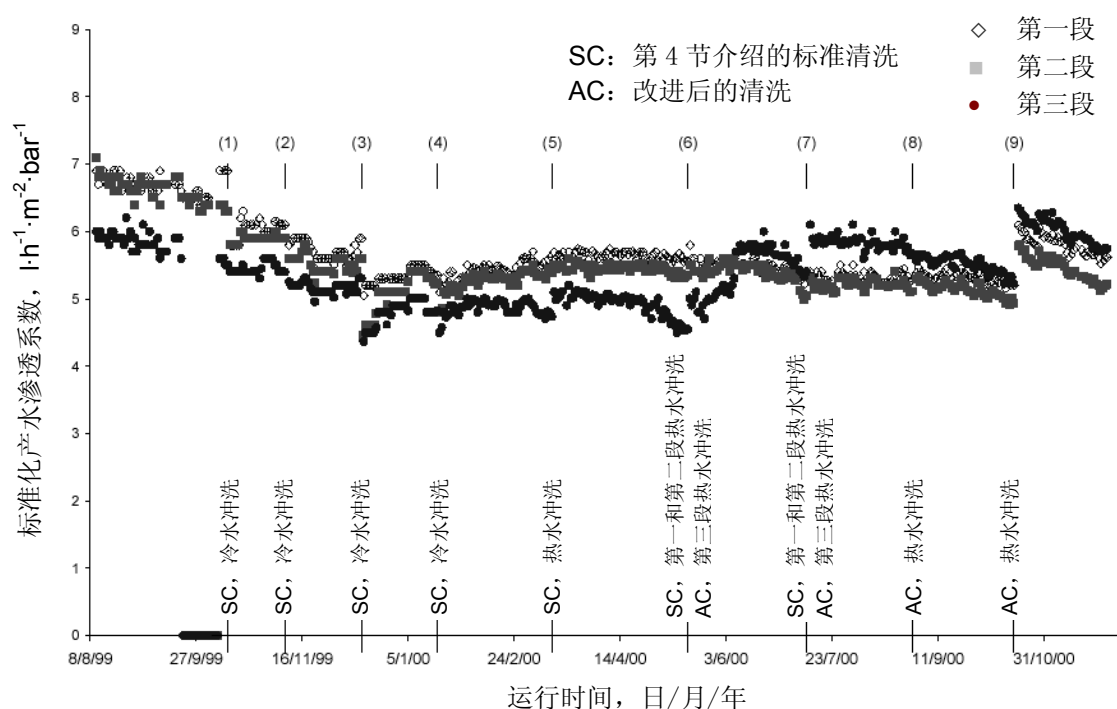
这样清洗一个系列三段共四个支架的膜组大约需要 24~48 小时。

清洗时需要消耗大量的热水，清洗所需的能量取决于待加热清洗用水的温度，如图 9 所示，这些能量用于加热清洗液。

5. 膜性能变化和清洗操作的改进

图 10 给出了从 1999 年 8 月至 2000 年 12 月间某系列膜的渗透系数的变化规律。

图 10 系列 1 中三段标准化产水渗透系数监测结果



当然系列刚投运时，水的标准渗透通量是 $7\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}$ ，经过几周的运行之后下降到 $6\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}$ 。但是从图 10 中的第 (1)、(2)、(3)、(4) 次清洗来看，经过每一次的清洗操作之后，就会出现非常明显的水渗透通量的损失，在这些清洗周期内并未发现污垢的情况，但令人困惑的是似乎清洗操作将会影响膜的水渗透通量。有可能是因为在不同清洗药剂（洗涤剂 and 酸溶液）间的冲洗过程中采用了冷水冲洗，并没有完全将残留洗涤剂冲洗出来，当它与酸接触时会发生沉淀，河水温度有时仅为 1°C ，这样就没有冲洗操作的作用了。自从 2000 年 2 月份开始，就开始采用热水冲洗。

5.1 在试验装置上进行清洗实验

为了检验热水对清洗药品状态的直接影响效率，针对 6 支受堵的 NF200B-400 膜进行了清洗试验，在每次清洗前后，测量标准水渗透通量，所采用的清洗方式与在大型装置上使用的标准方式相同。

先用浓度 0.3% 温度 30°C 的 P3 Ultrasil 110 洗涤剂清洗，然后用浓度 0.3% 温度 30°C 的柠檬酸清洗，在每种清洗药剂之后，采用了不同的冲洗方式：

- A. 按照慢速和快速两种冲洗模式，用 2°C 冷水冲洗；
- B. 用 2°C 冷水开始冲洗，并通过循环升温直到 30°C；
- C. 在化学药品清洗后直接用 30°C 热水，按照慢速和快速两种冲洗模式冲洗。

采用上述冲洗模式每个进行两次试验得到的结果列于表 2 中。

表 2 水渗透通量增加值所代表的各种冲洗效果（Kw=标准化水渗透通量）

(清洗后标准水通量 Kw — 清洗前标准水通量 Kw)/清洗前标准水通量 Kw	冲洗条件		
	冷水冲洗(A)	由冷变热冲洗(B)	热水冲洗(C)
清洗前后标准化的水渗透通量恢复率%	+1~+3%	+5~+9%	+12~+15%

试验结果表明，化学药品清洗之后用冷水冲洗的效果是不理想的，但是采用热水进行冲洗对恢复水渗透通量更为有效。

5.2 膜性能变化

如图 10 所示，定期监测膜水标准渗透通量，可以让我们看到改变清洗模式对清洗效率的影响，事实上，在清洗操作第（4）次之后，用冷水冲洗引起的膜水渗透通量的下降现象就不明显了。结果表明，针对大型装置而言，热水冲洗是有效的。

从第（5）次清洗之后，水通量下降到 5L·h⁻¹·m⁻²·bar⁻¹，为此采取了额外的清洗操作^[9]，从第（6）次开始，调整了清洗液的清洗水平，即增加了浸泡和循环时间，从图 10 中可以看到自从第（6）次清洗之后，水渗透通量逐渐上升，最后第（9）次清洗后，发现水渗透通量增加到大约 6L·h⁻¹·m⁻²·bar⁻¹，这一结果在其它七个系列上均能观察到。

此外，水温对高压泵能耗的影响也是显而易见的，图 11 表示一年中每生产 1m³ 产水所需要的能量，它随温度变化而变化，水温低，所需要的高压泵能耗就高，该设计规定不论水温或膜污堵情况如何，必须维持相同的水通量值（17L/m²·h 或 10gfd），人们发现在冬季水温条件下，这种规模的纳滤膜水处理工厂能耗水平也是承受得起的，第一年的平均能耗为 0.32kWh/m³ 产水。

6. 纳滤产水水质

梅里奥塞纳滤膜处理系统专门根据奥塞河水的特点而设计的，特别是水中大量的有机物和杀虫剂。本项目的目标是采用膜技术除去有机物而允许矿物质和钙离子透过，膜系统的进口 TOC 含量可高达 3.5mg/L，在第一年的操作期内河水中的莠去净除草剂的含量达到 620ng/L。

由图 12 所知，NF200 B-400 产水中的平均 TOC 含量为 0.18mg/L，除草剂莠去净不在内，其浓度低于分析仪器的下限 50ng/L，一年中产水钙离子含量平均含量为 40mg/L。

图 11 进水温度条件与高压泵能耗的关系

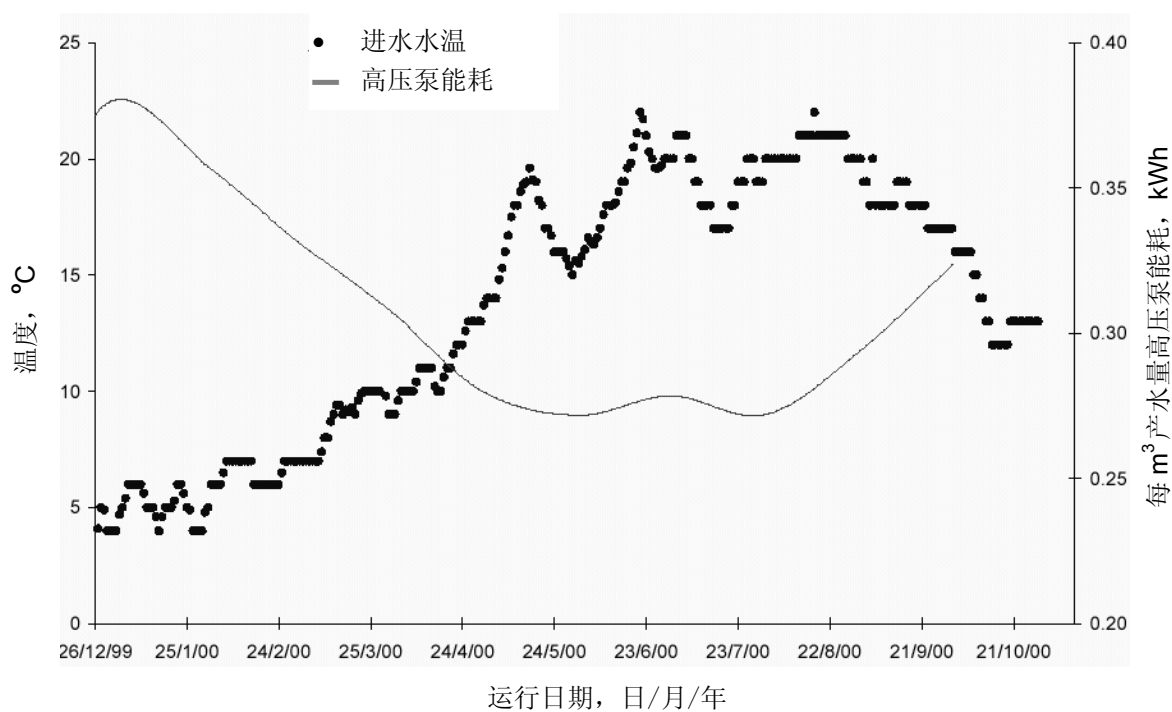
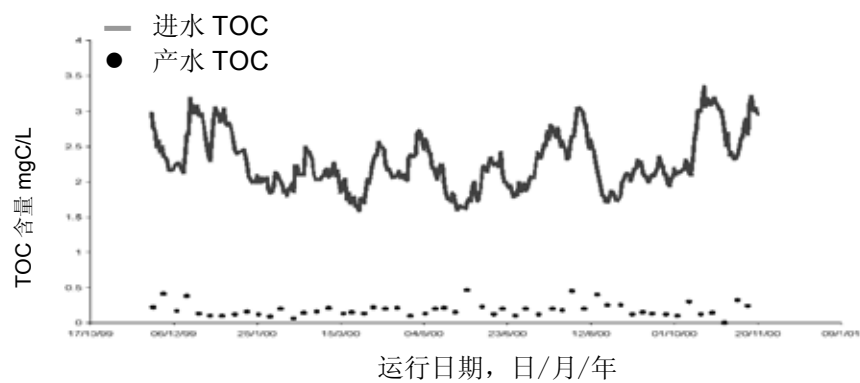


图 12 进水和产水 TOC 含量 (mgC/L)



结 论

法国巴黎北郊梅里奥塞特大型纳滤膜处理系统自从 1999 年 9 月开始, 每天产水量 140,000m³, 虽然进水为高度污浊和波动很大的奥塞河水, 但经过先进的膜处理之后, 产水品质相当高, 所含的有机物非常低, 生物可降解的物质低于分析仪器的下限。

由于有精确的产水渗透通量监测和控制系统, 经过改进预处理和清洗方法, 使得纳滤能耗降至极低, 通过采用的大量自动控制系统的支持, 现场只要一个操作者就能保证系统操作。

致谢

作者在此十分感谢 Jan Schippers 教授在设定膜系统运行最佳条件方面的观点和十分宝贵的支持。

参考文献

- [1] C. Ventresque, G. Bablon. The integrated nanofiltration system of the Méry-sur-Oise surface in surface water treatment plant (37 mgd). Desalination, 113 (1997) 263-266.
- [2] K. M. Agekodo, B. Legube, P. Coté. Organics in NF Permeate. J. AWWA, May 1996 (88:5:67).
- [3] A. Boireau, J. Cavard, G. Randon. Positive Action of Nanofiltration on Materials in Contact with Drinking Water. Proc. IWSA. Corrosion Workshop, Buenos Aires, Argentina 1996.
- [4] B. Legube, K. Agekodo, P. Coté, M. M. Bourbigot. Removal of Organohalide Precursors by Nanofiltration. Water Supply, 1995 (13:2,171).
- [5] C. Ventresque, V. Gisclon, G. Bablon, G. Chagneau, An outstanding feat of modern technology: the Méry-sur-Oise nanofiltration Treatment Plant (340,000 m³/d). Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water production, October 2000.
- [6] C. Ventresque, G. Turner, G. Bablon. Nanofiltration: from prototype to full scale. J. AWWA. October 1997 (65-76).
- [7] C. Démocrate, A. Plottu, G. Chéré, P. Bonne, J. Cavard. New filtration solutions for high turbidity removal. Conference IWA-ASPAC, November 2000.
- [8] N. Her, G. Amy, C. Jarusutthirak. Seasonal variations of nanofiltration (NF) foulants: identification and control. Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production. October 2000.
- [9] D. Paul. Obstacles to the effective chemical cleaning of a reverse osmosis unit. Ultrapure Water. October 1994 (33).

10-10 选用 FILMTEC™ 高产水量 SW30-380 海水反渗透膜元件降低运行维护成本

• 西班牙 Lanzarote 四期二级反渗透海水淡化新工艺*

作者： J.A. Redondo 陶氏化学（德国）有限公司液体分离部高级技术专家

译者： 陶氏化学（中国）投资有限公司液体分离部首席代表

摘 要

Lanzarote 是加那利群岛中的一个岛屿，在西班牙各种大规模海水淡化系统方面居于开创性的地位，该岛上的某些老系统已经到了闲置淘汰的地步，遭闲置淘汰的原因不是能耗太高就是装置已经到了使用寿命的末期，它们仅仅作为旅游旺季用水高峰期的备用，因而需要建造新的反渗透海水淡化系统，新建系统要求其回收率在 50%左右时，产水含盐量低（50mg/L），而且能耗也要低。本文介绍了成功地满足这一要求的新设计工艺，就是于 1999 年底开始建造并投运的 Lanzarote 四期海水淡化系统，在一级海水淡化部分采用了 FILMTEC™ 新型高产水量反渗透海水膜元件 SW30-380（非高脱盐率产品，已经升级为 SW30XLE-400i），在二级深度脱盐部分采用了 FILMTEC™ 超低压膜元件 BW30LE-440，本文给出了具体的操作参数，并且与传统的反渗透海水淡化系统进行了比较。

关键词：二级反渗透海水淡化工艺，FILMTEC™ 膜元件，反渗透

1. 引 言

西班牙加那利群岛，是一个由七个主要岛屿组成的群岛，位于北回归线北纬 28 度的位置，由于地理位置及四季如春的气候而被称为“幸运岛”。这里已经发展成为备受世界欢迎的旅游胜地，每年游客达 1 千多万人次。伴随旅馆业、体育与其它相关行业及专业农业的发展，人口不断增长，当地的生活水平亦不断提高，而水资源匮乏的状况却在一天天加重，为了解决缺水的问题，以海水淡化为依据的基础水设施建设得到了长足的发展。

Lanzarote 岛以其火山景观而名扬天下，它是西班牙最早安装海水淡化系统的地方，一些建于 20 世纪 70 年代和 80 年代的老系统主要采用多级闪蒸（MSF）和多效蒸馏（MED）工艺。近期建造的 6 万吨/天的海水淡化系统则采用了反渗透海水淡化工艺。

从 1997 年左右起，部分海水淡化装置遭闲置，有些是因为能耗太高，有些是因为系统已经到了使用寿命末期，这些系统仅在旅游旺季用水高峰时期使用，通常为夏季和圣诞节前后，作为常年运行的新建反渗透淡化厂的补充。另一方面淡化厂的规模需要增加，除了岛上游客人数增加之外，伴随着建筑业和旅游业的发展导致了岛上永久居留人口数量的不断增加。

出于上述原因，决定公开投标新建一座 2 万吨/天的反渗透海水淡化厂，以满足对淡水的当前和今后几年的需求。

由于考虑到用户的各种情况，包括因反渗透系统产水含盐量比饮用水标准低，必须让其与高含盐量的水进行混合，但仍必须满足饮用水水质的规定，新建海水淡化反渗透产水含盐量设定为 50ppm 而不是常规的 400ppm。

另一个要求是该系统即便是全部采用两级反渗透工艺过程，仍必须与附近的传统一级反渗透海水淡化系统的吨水单位能耗相当，这一要求只有采用新一代的海水淡化膜元件才能达到。

2. 案例历史：Lanzarote 四期

新的设计和操作工艺采用两级反渗透海水淡化流程，基于新型高产水量 FILMTEC™ SW30-380 海水元件和高产水量超低压 FILMTEC™ BW30LE-440 苦咸水元件。

1998 年年中，INIMA，一家位于马德里的工程公司获准承建该项目，系统工艺路线基于两级反渗透，第一级反渗透的淡水含盐量为 700~1000ppm，然后再全部作为二级反渗透的进水，使用超低压低能耗的苦咸水膜元件进一步脱盐，使产水含盐量

达到 50ppm 左右，但二级反渗透应以极高的回收率运行（90%左右）。

在两级反渗透之间设置二级反渗透高压泵可以实现上述工艺操作，这样一级反渗透配备的膜元件可以在相对低的进水压力下，以 50%的回收率制得合乎要求的一级产水；但也可以采取提高一级反渗透运行压力，使一级反渗透产水压力维持在 9~14bar，以便直接驱动二级反渗透超低压低能耗元件，这样两级反渗透间就不再需要设置二级反渗透高压泵，这一工艺选择必须在一级海水淡化部分选用 FILMTEC™ SW30-380 高产水量反渗透元件，在二级反渗透部分选用 FILMTEC™ BW30LE-440 元件。

经过在德国 Rhinecenter 和 FilmTec 公司液体分离部的实验室以及现场采用这两种膜元件所进行的模拟试验，印证了这一工艺的可行性，这一工艺仅使用一个高压泵（HPP）和能量回收透平（ERT），在 Lanzarote 四期中采用的这种配置允许膜在其使用寿命周期内所选择的高压泵和能量回收透平位于最适宜的操作点，并能使整个系统能量消耗降到最低。

2.1 膜元件型号与规格

第一级的 SW30-380 元件比标准高脱盐率海水元件 SW30HR-380 的脱盐率略低，但却具有较高的膜本征值 A 值，因而仅需较低的操作压力，并允许在不同的反渗透产水压力下工作，可以根据系统的使用年限和污染程度将一级产水压力调节到合适值，提高产水压力的概念也被用于二级反渗透部分的设计，以便节省输送成品水到最终产品水箱的成品水泵。二级反渗透部分选用的元件为在许多工业领域得到广泛使用的超低压苦咸水反渗透元件，该元件命名为 FILMTEC™ BW30LE-440，BW 表示苦咸水的意思，LE 表示低能耗的意思，440 是膜元件的有效膜面积，以平方英尺计，表 1 列举了两种元件的主要性能规范。

表 1 Lanzarote 四期 FILMTEC™ 反渗透元件性能

	元 件 类 型	
	SW30-380	BW30LE-440
级	1	2
标准产水量 gpd (l/hr)	8,000* (1,260)	11,500 (1,820)
标准压力 (bar)	55	10.3
典型脱盐率, %	99.1*	99.0

* 最新的膜产水量和脱盐率性能分别提高到 9000gpd，99.4 %

2.2 系统规模和投运时间

该海水淡化工厂设有 4 个系列，每个系列一级反渗透规模为 5,600m³/d，产水目标含盐量为 1,000ppm（mg/L），该一级产水然后进入二级反渗透，其产水量为 5,000m³/d，最终目标产水含盐量要求低于 50ppm。

其中三个系列于 1999 年 9 月~11 月之间投运，第四个系列于 2000 年 1 月投运，工厂的实际结果远优于原设计预期值，实际产能也大于 21,000m³/d，产水总含盐量低于 35mg/L。

2.3 RO 系统的构造

每组系列原始设计采用 7 芯元件的压力外壳 95 支，后来减少为 85 支，原因是实际的膜元件平均产水量略高于最初的模拟试验时的产水量。在投运初始阶段决定每个系列仅安装 75 支外壳，其理由是，元件经过测试后仍具有很高的产水量，而且最终用户并不希望在投运初期操作压力太低。

二级反渗透采用二段排列组合 24:8，也选用了含 7 支元件的压力外壳。在投运初期，二级系统进水压力 9.9~10.2bar，由

一级反渗透的产水压力直接驱动，二级反渗透的段间没有设置段间增压泵，但同样因为元件实际产水量比额定值高，现场决定将二级反渗透的排列组合降低至 21:7，否则一级反渗透的操作压力太低，能量回收透平的进水负荷会太高，当运行 8 个月后，二级反渗透的操作压力达到 11.2bar，此时恢复了 24:8 的原设计排列方式。

2.4 比 较

在进水含盐量和主要操作参数与 Lanzarote 很相似的其它反渗透海水淡化厂中，当回收率按 45%运行时，产水含盐量为 310ppm，为了进行条件相同的对比，假设该含盐量的 90%的一级产水进入二级反渗透，按 90%回收率运行，进一步脱盐后再与未经二级反渗透处理的 10%的一级产水混合，获得 50~60ppm 的目标水质（与 Lanzarote 四期的最终水质相当）。这样相似的两个反渗透海水淡化系统相比，当采用高效率的高压泵和能量回收装置时，本体吨水单位能耗分别为 4.32 和 4.5kwh/m³。

表 2 Lanzarote 四期，系列 3，一级海水反渗透装置主要操作系数（每支压力外壳装 7 支 SW30-380）

操 作 参 数		投 运 初 期		8 个 月 之 后 ^a	
		实际值	设计软件预测值	实际值	设计软件预测值
进水压力	bar	65.3	66.1	68.2	68.8
产水流量	m³/h	252	248	249.8	248
回收率	%	48	46	49	48
进水 TDS	mg/L	38,600	38,600	38,600	38,600
产水 TDS	mg/L	612	662	643	678
标准化产水量	gpd	9,200	8,000	8,160	7,120
	l/h	1,450	1,260	1,285	1,120
进水温度	℃		21	20.8	21
标准化脱盐率	%		99.1	99.15	99.1
污堵因子 FF		1.25	1.15	0.92	0.87
单位能耗	kWh/m³	2.97	3.04	3.16	3.24
		(3.4) ^b	(3.65) ^b	(3.65) ^b	(3.85) ^b

^a 未进行化学清洗 ^b 括号中的数字包含海水提升泵的能耗。

表 3 Lanzarote 四期，系列 3，二级反渗透装置主要操作参数（每支压力外壳装 7 支 BW30LE-440）

操作参数		投 运 初 期 ^a		8 个 月 之 后 ^b	
		实际值	设计软件预测值	实际值	设计软件预测值
进水压力	bar	10.2	10.9	11.2	11.3
产水流量	m³/h	212	209	216	209
回收率	%	88	88	90	88
进水 TDS	mg/L	612	662	643	678

产水 TDS	mg/L	60 ^c	54	34	42
标准化产水量	gpd	11,840	11,500	10,400	10,350
	l/h	1,870	1,815	1,640	1,630
进水温度	°C	21.2	21	20.8	21
标准化脱盐率	%	98.8 ^c	99	99.1	99
污堵因子 FF		1.05	1.00	0.90	0.88
单位能耗	kWh/m ³	0.10 ^d	NA	0.10 ^d	NA

^a 排列为 21:7 ^b 排列为 24:8 ^c 当解决了四支压力容器内漏后，产水 TDS 下降到 37ppm ^d 为估计值，因为没有段间的压力提升泵，仅为能量转换消耗。

估算 Lanzarote 四期的理论单位能耗（基于工程计算）为 4.8kwh/m³，它包括所有的公用用电量和高压泵和海水提升泵的总耗电量 3.85kwh/m³。实际能耗为 3.6~3.7kwh/m³，比理论计算要好得多，与采用标准的二级反渗透工艺相比有较明显的优势。

2.5 结 论

本项目采用两级反渗透工艺，选用了两种高产水量的膜元件，即海水部分选用 FILMTEC™ SW30-380 海水膜元件，二级深度处理采用 FILMTEC™ BW30LE-440 超低压低能耗元件，这种组合工艺流程获得了更低的能耗效果，单位电耗仅为 3.65~3.85kWh/m³，以更低的运行维护成本从海水中获得 50ppm 的最终产品水，这些结果比传统工艺具有较明显的优势，值得未来膜法海水淡化系统选用。

3. 总 结

新型高产水量元件 SW30-380 本身或与其它型号的产品组合使用，例如与上述提到的超低压低能耗元件组合使用，有如下特点：适用于进水含盐量范围在 10,000~50,000ppm 的各种淡化处理要求，实现低能耗、高回收率的水处理目标。

本文介绍的高产水量的膜元件产品，提高了反渗透系统的经济性，使从前被认为不经济的大容量反渗透海水淡化工艺成为可能，此外，由于新型元件所具有的优异特点，使其在实际应用时表现出比预期的结果还要好的系统性能，已成为众多新项目和一些老系统升级改造的首选。

参考文献

- [1] "La Provincia" Sección Lanzarote, Las Palmas Newspaper, February 1997.
- [2] J.A. Redondo, Start-up protocol and normalization of Lanzarote IV, December, 1999.
- [3] J.A. Redondo and A. Casanas, Desalination, 134 (2001) 83.
- [4] J.M. Sanchez, Inima Meeting on 2 pass concept, PC, February 1997.
- [5] J.A. Redondo and A. Aldaz, Energy savings with HR-380 in large sea water RO projects, Rheinmunster seminars on Reverse Osmosis, November, 1995.
- [6] J.A. Redondo, Large-scale desalination experiences with the FILMTEC™ SW30HR-380, IDA, Madrid, 1997.
- [7] F. Castro, J. Bethencourt and A. Sanchez, Datos operacion Lanzarote IV, PC, July, 2000.
- [8] J.M. Sanchez and J. Ferrer, Datos de proyeccion y documentos del proyecto Lanzarote IV, February, 1998.
- [9] J.A. Redondo, C. Broden and T. Tapper, Development protocol of FILMTEC™ SW30-380, February, 1998.
- [10] L. Johnson and I. Lomax, Marketing communication FILMTEC™ SW Membranes, August 1998, November 1999.
- [11] J.A. Redondo. Start-up document VDM II, March, 1999.
- [12] Y. Monette, Lab protocol, second trial series with SW30-380 Dow Rhinecentre, February, 1998.
- [13] J.A. Redondo, SWRO for agricultural application, Devre Meeting on Membranes, Buenos Aires, 1999.
- [14] J.L. Loidi, Tedagua, project documents, Virgen del Milagro II, November, 1998.
- [15] A. Casanas, Prestart-up protocol, VDMII, November, 1998.
- [16] J.L. Loidi, Pilot test SW30-380, Document PC, 1999.
- [17] J.A. Redondo, Desalination, 108 (1996) 59.
- [18] ROSA Version 4.00, R&D Version, Reverse Osmosis System Analysis, 1998.
- [19] J. A. Redondo and A. Casanas, experiencias piloto e industrial con el nuevo elemento FILMTEC™ SW30-380, AEDyR, Murcia, Spain, November, 2000.
- [20] E. Kuendig, Quantitative comparison energy recovery turbines, Letter of September 5, 1994.
- [21] BEKOX Seminar at Colegio Ingenieros de Minas, Sta Cruz, ref. Grundfoss International, Mogens Ellegaard Lectures, 1994.

案例分析

10-11 iLEC 端面自锁反渗透膜元件使海水淡化过程更简便更低廉

现场情况

地点:

西班牙加纳利岛

目的:

评估 iLEC™ 端面自锁连接技术的性能

安装日期:

2003 年 3 月

性能比较:

采用 iLEC 端面自锁连接技术的 FILMETC™ 反渗透膜元件更易于安装，无泄漏，产水品质更好，产水侧背压低



西班牙 Lanzarote 岛 (Inalsa) 使用 FILMETC 反渗透膜元件将海水淡化为饮用水。选用了 iLEC 端面自锁连接膜元件使整个过程更简单并节省了费用 (图片由 Inalsa 友情提供)。

引言

Lanzarote 是加纳利群岛七个主要岛屿中位于最东部的一个，距离非洲海岸约 100 公里。该旅游胜地很大程度上依赖于反渗透海水淡化来供应游客、民用和农业用水。反渗透系统的业主是 Inalsa，该公司为 40,000 多人供水服务并进行废水处理，1990 年起，它们还生产品牌为 Agua Chafariz 的瓶装水。

目前存在的问题是膜元件间的连接件 O 型密封圈会泄漏，在 Lanzarote 三厂每个月每系列都会有三支压力容器发生此故障，对于该厂的四个系列反渗透装置，每个月用来维护 O 型密封圈的人力约需 18 个工时。

采用 iLEC 端面自锁连接的反渗透膜元件是专门为了消除此类问题所设计的，它利用一个静止密封代替滑动接头密封，用 12 支 iLEC 端面自锁连接膜元件现场测试了其产水水质、能耗和拆装的难易。

Lanzarote 三厂密封泄漏问题

对每支压力容器的产水电导每天检测，确定可能发生泄漏的位置，打开产水电导高的压力容器，卸下膜元件，如果元件间的内接头没有问题，则对元件作单独测试，发现每组反渗透系列每个月有 1~5 个内接头会泄漏，当压力容器的产水电导逐渐升高但仍在允许范围内时，就表示开始有少量的泄漏或正在加剧泄漏的发展，作好跟踪检测。定期停机以便维修有问题的内接头，当时不会影响制水。然而，更换一支压力容器的内接头通常需要三个人花费大概 30 分钟的时间，假设 Lanzarote 三厂共 4 个系列，每组平均 3 支压力容器会泄漏，每个月用于更换 O 形密封圈的时间大约 18 个工时。如果每小时人工费 \$25 美元，折扣按 10% 计，5 年内该项维修的净开支为 \$21,000 美元。如果淡化厂应该以设计出力运行，停机期间就有经济损

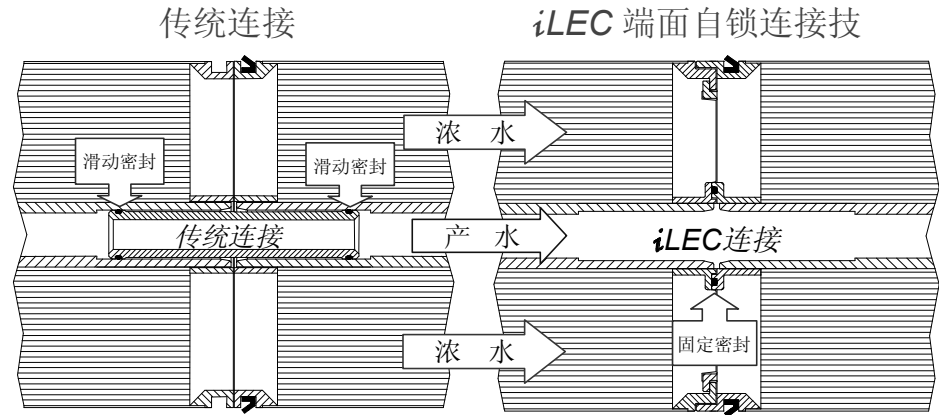
失，如存在这样的罚款就会更高。Inalsa 自制了一头带有 3 个密封圈的接头，材料费将成为另外一项花费。

**iLEC 端面自锁连接
反渗透膜元件的优点**

iLEC 端面自锁连接技术消除了膜元件之间的多个滑动密封，将每个连接处的密封面减少到仅一个轴向受压的 O 型密封圈，在元件的整个寿命期内，再也不需要润滑和维护。因为不存在 O 形密封圈的磨损，提高了长期产水水质，也消除了使用标准内接头安装膜元件时对 O 形圈可能造成的损坏，开机后不需要检漏。

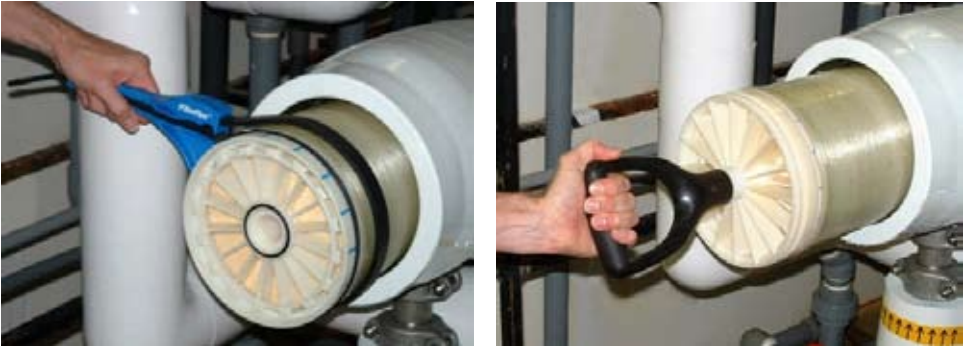
端面自锁连接技术没有传统连接件造成膜元件产水中心管通道直径减小的缺点，由此降低了系统的耗能。图 1 揭示了传统内接头部分较小的流道及多处滑动密封和 iLEC 端面自锁连接技术更大的流道及固定密封的剖面对照示意图。

图 1. 元件连接剖面示意图



与传统接头相比，iLEC 端面自锁膜元件可在数分钟内安装两支膜元件，当正确地将元件锁在一起时，抗应力器自锁型端面会产生独特的快速咬合，并发出咔嚓咬合声，当膜元件咬合在一起后，应确认膜元件抗应力器上的标记线已连成一线，它让安装者立即就知道 O 形密封圈已被压缩，并形成了无泄露连接。图 2 展示了安装膜元件的选配工具，带钳和拉手。

图 2. 用于端面自锁膜元件安装的轻型带钳（左）和拉手（右）



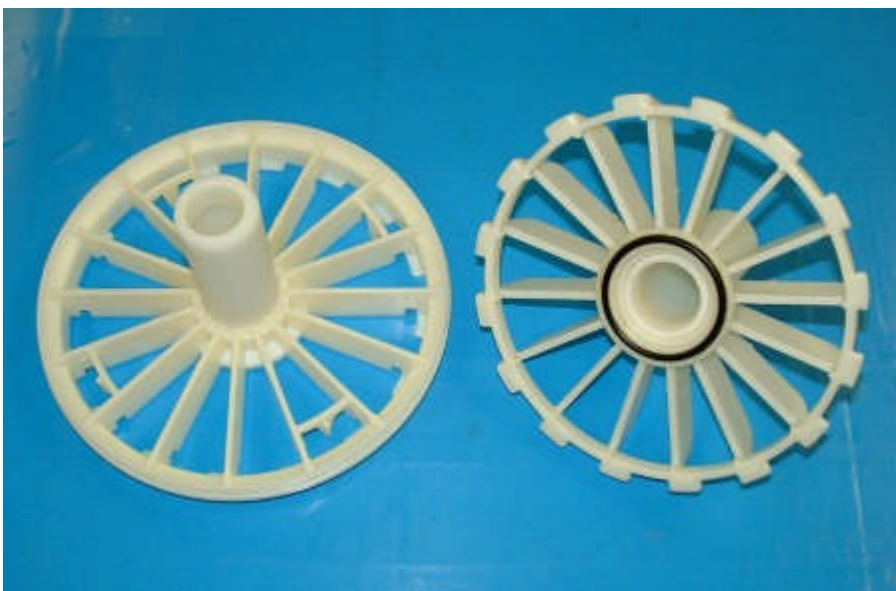
系统设计

在 Lanzarote 三厂有四个系列的反渗透装置共产水 20,000 m³/d，产水含盐量 430ppm，两支压力容器内装上了带 *i*LEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC™ SW30HR-380 膜元件。本次试验选择了该厂第四系列的第一和第二段的压力容器，该系列以二段 60/48 方式排列，每支 8"压力容器装 6 支膜元件，压力容器内现有元件达 4~12 年之久，进水来自海滩沉井，以砂滤和滤芯过滤作为预处理，进水总溶解性固体 TDS 为 38,500ppm，用硫酸将 pH 调整为 7。

在本次现场评估开始时第一段回收率为 34%，总回收率 46%。该系列产水量 255 m³/h，两段压力分别为 64.0bar，62.8bar，温度 21°C。

在这两个试验压力容器中，换上了如图 3 所示的压力容器端板适配器，代替了由膜壳厂商提供的标准适配器，减少了插入第一支和最后一支膜元件内的两个滑动连接件，降低了压力容器产水口的阻力。

图 3. 端面自锁连接压力容器端板适配器进一步消除了压力容器内潜在的泄漏点



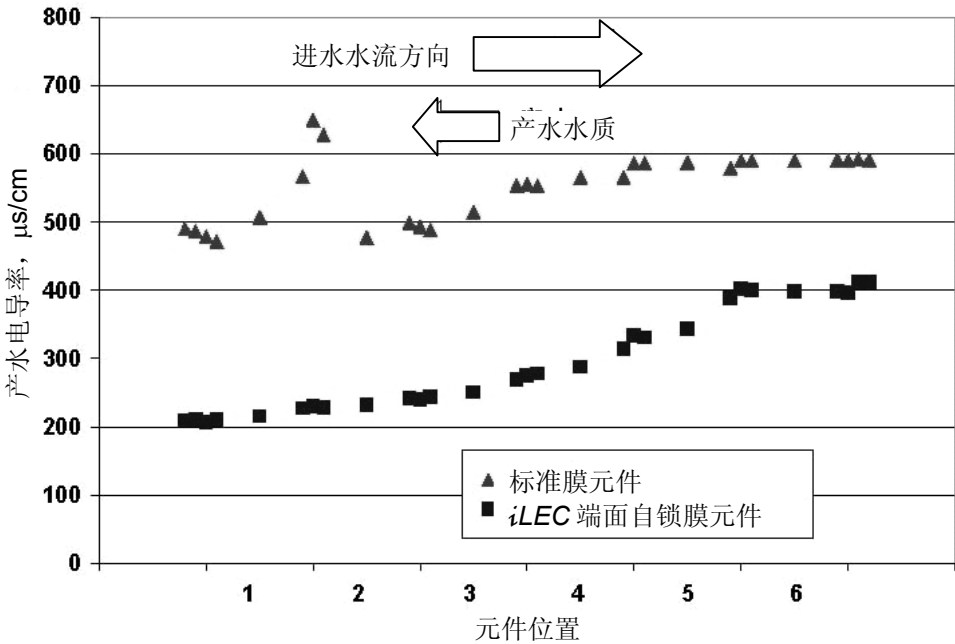
装置性能

采用了 *i*LEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC™ SW30HR-380 膜元件从 2003 年 3 月 12 日开始运行。投运初期，第一段用 *i*LEC 端面自锁连接元件的压力容器在平均通量 20Lmh (11.8gfd) 时，产水 TDS 为 95ppm；第二段用 *i*LEC 端面自锁连接元件的压力容器在平均通量 7.8Lmh (4.6gfd) 时，产水 TDS 为 270ppm，该性能反映出在标准测试下膜元件的脱盐率达到 99.85%，同时说明膜元件间密封完美。

为了确认上述无泄漏操作，对标准连接和 *i*LEC 端面自锁连接的膜元件进行了产水水质探测，图 4 显示了第四系列第一段标准连接和端面自锁连接产水电导探测曲线的比较，表明端面自锁连接元件间密封好无泄漏，而相邻装有标准膜元件的压力容器内 1 号与 2 号膜元件间出现电导陡然升高，该压力容器产水水质恶化，表明 O 形圈有泄漏。

取消标准内接头和压力容器适配器有略微提高了能量效率，在第一段压力容器出水端的另一侧，以产水背压为指标测量了内接头和适配器的产水阻力，其值为 0.2bar，而装有 *i*LEC 端面自锁连接膜元件压力容器的同样位置，其值为 0.09bar。

图 4. 第四系列第一段标准连接和端面自锁连接产水电导探测曲线对比



当 Lanzarote 三厂操作人员第一次使用 *i*LEC 端面自锁连接膜元件时，发现每支压力容器安装 *i*LEC 端面自锁连接膜元件仅需 3 分钟时间，与安装标准膜元件一致，不论何种连接形式的膜元件打开和重装一支压力容器需要 30 分钟，现场操作人员认为 *i*LEC 端面自锁连接膜元件更易安装，比标准元件安装工作量少，即不需要用内接头了。操作人员其它的感受包括：

- 即使没有带钳和拉手，膜元件也可以方便地装入
- 安装时不需要增加人员，一般装卸元件需要 2~4 人
- 压力容器适配器接头预先装在第一支和最后一支膜元件上
- *i*LEC 端面自锁连接膜元件地咬合易于检查，即使在有噪音地设备现场，也有表明结合的良好指示，当询问操作者刚刚装入的膜元件有没有很好的咬合在一起时，他们异口同声地说“没有问题！”

结论

采用了 *i*LEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC™ SW30HR-380 膜元件在 Lanzarote 三厂反渗透装置上取得了成功。易于安装，调试时无需检漏，含有 *i*LEC 端面自锁连接的压力容器运行一年多后仍无泄漏，产水的总体水质提高，产水背压降低。

10-12 *iLEC* 端面自锁技术解决了半导体厂水处理系统泄漏问题并提高了能量利用率

现场情况

地点:

德国 Freising

目的:

消除 O 形密封圈泄漏，
测试 *iLEC*TM 端面自锁连
接在提高产水水质和降
低能耗方面的效果

安装日期:

2003 年 5 月

性能对比:

iLEC 端面自锁连接技术
消除了泄漏，同时提高
了水质并降低了能耗



位于德国 **Freising** 的德克萨斯仪器公司半导体厂选用了 *iLEC* 端面自锁连接技术解决了泄漏问题（图片由德克萨斯仪器公司友情提供）

引言

德克萨斯仪器公司在德国的总部位于 Freising，紧靠慕尼黑。Freising 工厂（TI-FFAB）负责研制和开发德克萨斯仪器公司的混合信号和逻辑系列产品，包括先进的 BiCMOS/CMOS 晶片。Freising 同时也是德克萨斯仪器公司半导体系列产品在欧洲的销售和市场的总部。该工厂已成立 30 余年，拥有雇员 1200 余人。

目前市场上广泛使用的反渗透膜元件中心内接头在使用时需要涂抹润滑剂，以便达到最好的密封效果和最长德密封寿命。因为 TI-FFAB 要将纯水用于半导体工艺过程中，不允许在 O 形圈上涂抹润滑剂，不用润滑剂则密封圈的寿命得不到保证，系统的泄漏现象上升，使得产水水质受到影响，而且老化的密封圈本身也是颗粒污染的来源。

在本系统的第二级的一支反渗透压力容器内安装了带 *iLEC* 端面自锁联接技术的 FILMTEC™ 半导体级（SG）膜元件，目的在于防止 O 形密封圈的泄漏，以提高产水水质并节约能耗，同时也展示一下 FILMTEC™ SG 半导体级膜元件的优越性能，该元件的独特之处在于一投运就能产出极低总有机碳（TOC）含量的超纯水，降低了 TOC 冲洗时间，大大节约了运行成本。

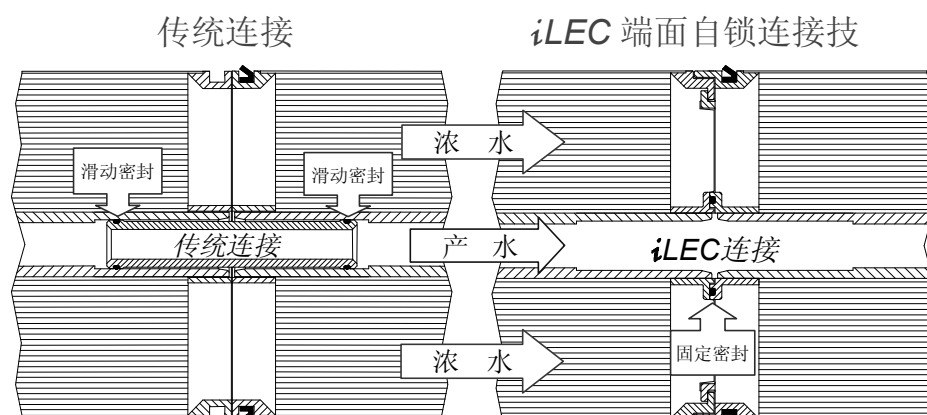
iLEC 端面自锁连接元件的优点

iLEC 端面自锁联接技术避免了两支膜元件之间对多处滑动密封件的要求，取而代之的是一个轴向压缩 O 形密封圈，它所能带来的直接好处就是在膜元件整个使用寿命期间，免维护并不需要润滑剂。

避免了由于 O 形密封圈因长期使用老化或损坏所致的泄露，和普通膜元件相比，采用 iLEC 端面自锁联接技术的系统不存在 O 形密封圈安装时的损坏，系统调试运行的渗漏检查也可省略。

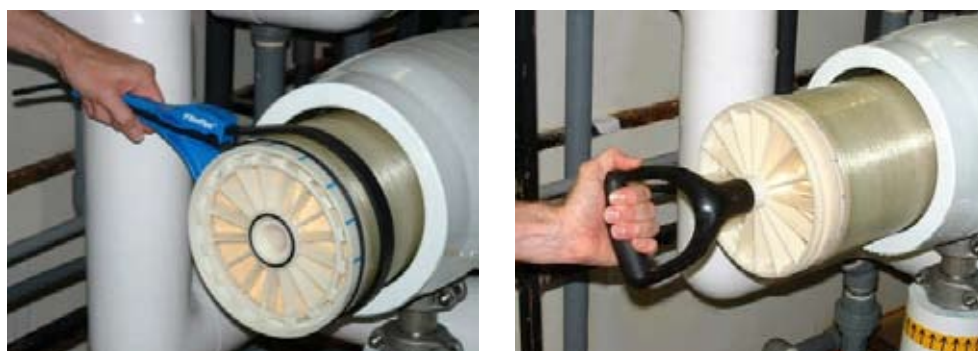
端面自锁连接技术没有传统连接件造成膜元件产水中心管通道直径减小的缺点，由此降低了系统的耗能。图 1 揭示了传统内接头部分流道的变小及多处滑动密封和 iLEC 端面自锁连接技术更大的流道及固定密封的剖面对照示意图。

图 1. 元件连接剖面示意图



与传统接头相比，iLEC 端面自锁膜元件可在数分钟内安装两支膜元件，当正确地将元件锁在一起时，抗应力器自锁型端面会产生独特的快速咬合，并发出咔嗒咬合声，当膜元件咬合在一起后，应确认膜元件抗应力器上的标记线应连成一线，它让安装者立即就知道 O 形密封圈已被压缩，并形成了无泄露连接。图 2 展示了安装膜元件的选配工具，带钳和拉手。

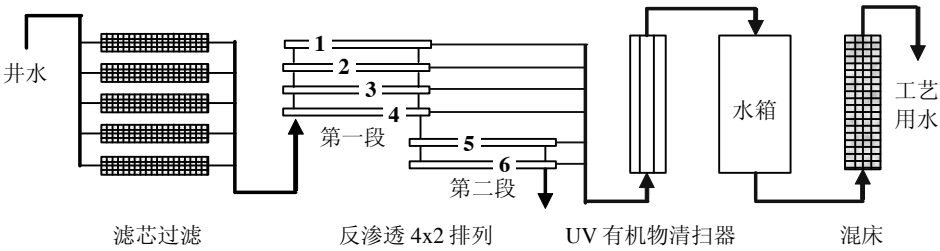
图 2. 用于端面自锁膜元件安装的轻型带钳（左）和拉手（右）



系统设计

如图 3 所示为 TI-FFAB 的系统设计流程图。，三套反渗透装置组成的系统于 1996 年开始运行，2001 年，又扩建了第二个三套反渗透装置组成的系统。每套反渗透装置的压力容器均采用六芯装膜壳，按照 4:2 排列。

图 3. 德国 Freising 德克萨斯仪器公司反渗透装置设计流程图



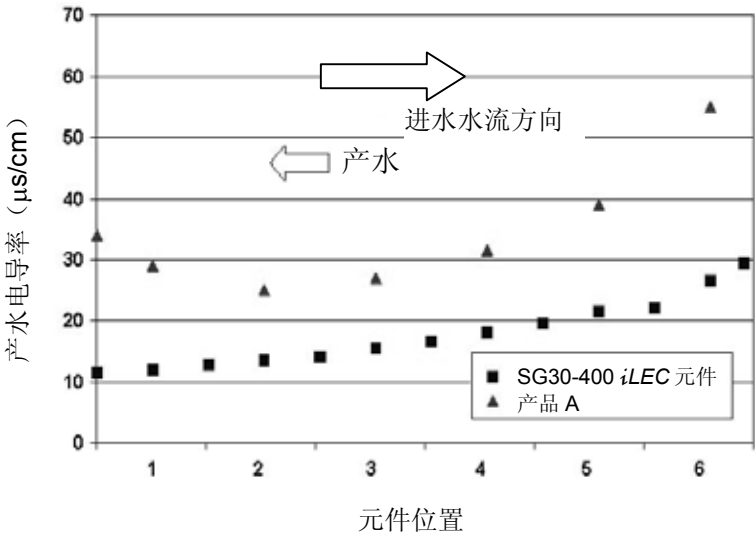
这组反渗透系统的运行技术参数为：回收率 90%，产水量 40m³/h（175gpm）。产水 TDS（总溶解固形物）3ppm，进水 TDS 535ppm。典型 TOC 含量低于 100ppt（采用 Sievers TOC 测量仪测量）。进水压力 20bar（290psi），温度 13°C（55°F）。

正常产水电导率要求为 10µs/cm，当电导达到 20µs/cm 时就需要采取纠正措施了。当电导达到 20µs/cm 时，每套设备每个月要多花掉 2200 美元的再生离子交换树脂的成本！

装置性能
iLEC 端面自锁联接技术

采用 iLEC 端面自锁联接技术的 FILMTEC™ SG30-400 膜元件是 2003 年五月开始投运的。iLEC 端面自锁联接技术成功的解决了采用滑动式内接头时的泄漏问题。图 4 是关于第 5 支压力容器使用 iLEC 端面自锁联接技术前后的产水电导率的比较图，我们可以看到 1 号膜元件出来的产水质量得到了明显的提高，产水电导从 34µs/cm 降到了 11µs/cm，解决了 1 号和 2 号膜元件间滑动式密封圈老化和磨损所造成的泄漏问题。

图 4. 第四系列第一段标准连接和端面自锁连接产水电导探测曲线对比



装置性能

iLEC 端面自锁联接技术

图 5 的照片则揭示了密封圈因为磨损在中心管内表面留下的痕迹，由于半导体厂的水处理系统不允许使用润滑剂，O 形密封圈损坏造成泄漏和纯水污染的情况时常发生。

图 5. 第 5 号压力容器 1 号膜元件发生 O 形密封圈磨损的照片

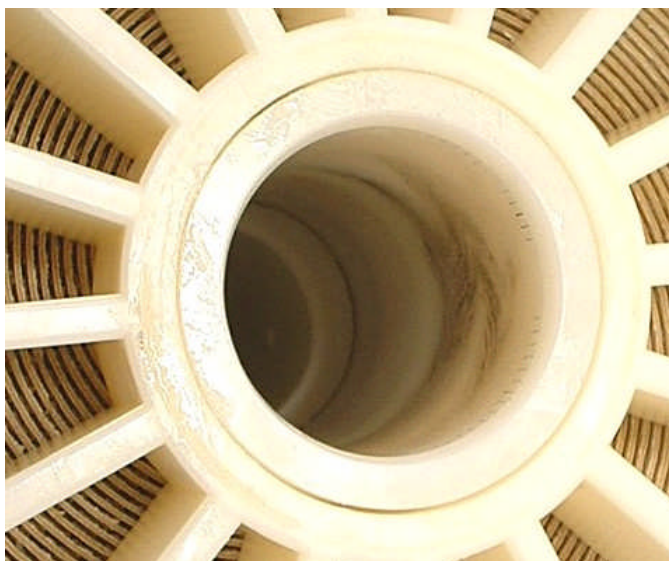
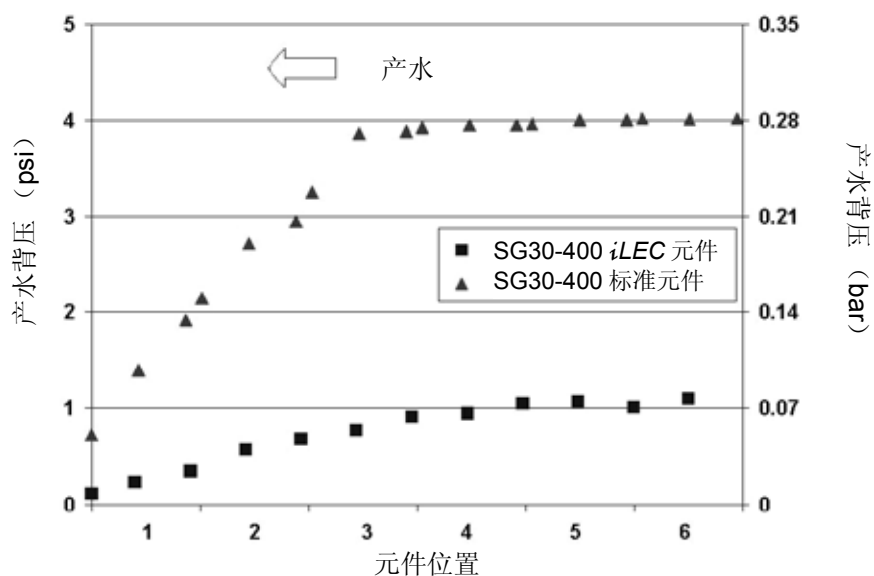


图 6. 第二段中相邻两个压力容器的产水背压数据比较



老式的插入式连接件还是造成背压增加能耗的原因之一。让我们做个比较，带 *iLEC* 和不带 *iLEC* 端面自锁联接技术的 FILMTEC™ SG30-400 膜元件分别装在第二段相邻的两个压力容器内，采用 *iLEC* 端面自锁联接技术的膜元件将平均背压从 3.3psi (0.22bar) 降低到 0.8psi (0.05bar)，图 6 显示了每支膜元件的产水背压，产水背压直接影响膜面渗透所需要的推动力，因此如果所有六支压力容器均采用 *iLEC* 端面自锁联接膜元件，那么就可节约

装置性能

FILMTEC™ SG 膜元件

1~2%的能耗，这样每支膜元件在五年的使用期大约可节省 25 美元，虽然数字不是很大但是它的的确给您节约了成本，尤其在七芯和八芯装压力容器的系统中成本的节约会更加明显。

FILMTEC™ 半导体级（SG）反渗透膜元件大幅度提高了膜元件 TOC 的冲洗速率，节约了操作成本，过去的膜元件在投运初期需要几天甚至几个星期的冲洗时间来除去膜元件内的残留有机物，防止对下游设备的污染，此外，由于处理冲洗废水的废水处理系统能力限制，冲洗往往在低通量操作条件下进行，相反，FILMTEC™ SG30-400 膜元件整个冲洗过程只需几分钟，新元件投运仅仅几分钟产水的 TOC 即可下降到 0.08ppm，第二天即可达 0.07ppm。当进水 TOC4.55ppm，系统总的出水 TOC 为 0.07ppm。

根据德克萨斯仪器公司的数据统计，每套反渗透系统 72 小时的冲洗程序，废水排放费为 700 美元，能耗费 250 美元，附加人工费 1450 美元，折算成平均每支膜元件多花 67 美元，而采用了 FILMTEC™ SG 半导体级膜元件将节约这些费用。

结论

采用 iLEC 端面自锁联接技术的陶氏 FILMTEC™ SG30-400 膜元件的性能超过了用户的期望值，O 形密封圈的问题解决了，能耗也降低了，非常显著地降低了冲洗时间，缩短了设备投运时间和节约了成本，考虑到这些优点，用户决定将其它两套系统内的其它品牌的反渗透元件全部更换成陶氏 FILMTEC™ SG30-400 iLEC 端面自锁膜元件。

产水质量、能量效率和初始投运性能是反渗透系统成功运行的三个主要因素，结合 FILMTEC™ SG30 半导体级膜化学，陶氏 FilmTec 公司革命性的 iLEC 端面自锁联接元件，是超纯水系统的最佳选择。

10-13 iLEC 端面自锁联接膜元件经受恶劣的操作环境

现场情况

地点:

美国德克萨斯 Freeport

目的:

评估 iLEC™ 端面自锁联接膜元件适应恶劣使用条件的能力

使用时间:

2 年

性能对比:

iLEC 端面自锁连接没有泄漏及其它与操作有关的问题



位于德克萨斯的陶氏化学公司生产基地拥有许多套化工装置，这里选用了 FILMTEC™ iLEC 端面自锁连接技术膜元件解决了泄漏问题。

引言

法国威利娅（Veolia）环境公司所属美国过滤公司（USFilter）在德克萨斯 Freeport 陶氏化学公司 B 厂区拥有并运营着一套反渗透水处理系统。陶氏化学购买它净化水作为锅炉的补给水，生产包括聚乙烯、乙烯基乙二醇、聚氨酯、环氧树脂、氢氧化钠和氯乙烯等等石化产品。

由于一级反渗透系统的第一段压降较高，加之膜元件需要经常拆卸离线清洗，使得系统内反渗透膜元件的中心管内连接件经常出现损坏的问题。压降引起了因系统不断地启停使得膜元件出现频繁的窜动，频繁的重复装卸还会导致 O 形密封圈的扭曲变形乃至损坏。

在本系统的一级反渗透装置的第一段压力容器内安装了 FILMTEC™ iLEC 端面自锁联接膜元件，替换了原来传统连接的膜元件。目的在于通过监控长期的产水水质验证 iLEC 端面自锁联接技术是否可以实现无泄漏的操作效果。

iLEC 端面自锁连接元件的优点

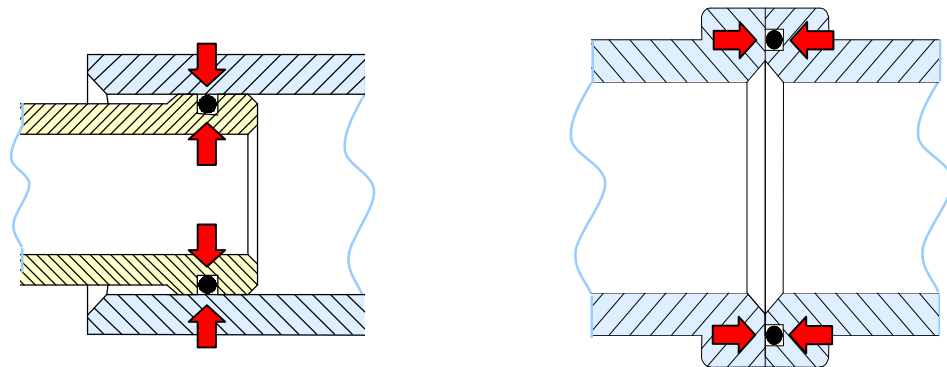
iLEC 端面自锁联接技术取消了两支相邻膜元件之间使用多处滑动密封件的需要，取而代之的是一个轴向压缩 O 形密封圈，它所能带来的直接好处就是在膜元件整个使用寿命期间，免维护并不需要润滑剂。

避免了由于 O 形密封圈因长期使用老化或损坏所致的泄露，和普通膜元件相比，采用 iLEC 端面自锁联接技术的系统不存在 O 形密封圈安装时的损坏，也可省略系统调试运行期间的渗漏检查。

端面自锁连接技术没有传统连接件造成膜元件产水中心管通道直径减小的缺点，由此降低了系统的耗能。图 1 揭示了传统内接头部分较小的流道及多处滑动密封和 iLEC 端面自锁连接

技术更大的流道及固定密封的剖面对照示意图。

图 1. 传统插入式（左）的 O 形密封圈与采用 *iLEC* 端面自锁联接技术轴向固定 O 形密封圈比较，箭头表示 O 形密封圈的受压方向



iLEC 与膜元件中心管永久结合在一起，使得膜元件非常适合于经常性的剧烈操作方式，并为膜提供了结实的保护。

与传统接头相比，*iLEC* 端面自锁膜元件可在数分钟内安装两支膜元件，当正确地将元件连锁在一起时，抗应力器自锁型端面会产生独特的快速咬合，并发出咔嗒咬合声，当膜元件咬合在一起后，应确认膜元件抗应力器上的标记线应连成一线，它让安装者立即就知道 O 形密封圈已被压缩，并形成了无泄露连接。图 2 展示了安装膜元件的选配工具，带钳和拉手。

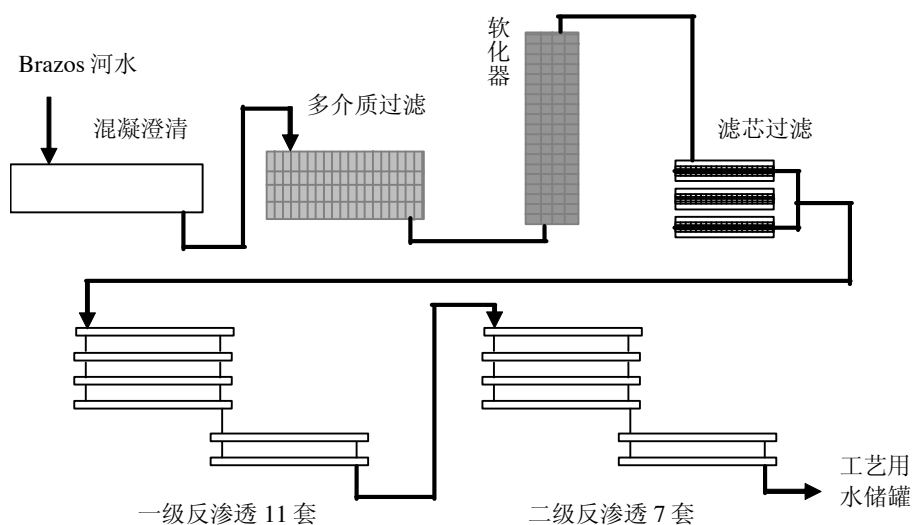
图 2. 用于端面自锁膜元件安装的轻型带钳（左）和拉手（右）



系统设计

水处理系统为两级反渗透流程，一级反渗透 11 套，二级反渗透 7 套，所有 18 套装置的压力容器均采用 4/2 排列方式，每个压力容器装六支膜元件，膜元件为FILMTEC™ BW30-365FR（现改名为 BW30FR-365），图 3 所示为系统设计流程图。

图 3. 德克萨斯 Freeport 特大型化工基地 USFilter 水处理 B 厂流程图



每套反渗透系统的技术参数如下：第一级回收率 80%，产水量 27m³/h（120gpm）。第二级回收率 80%，产水量 32m³/h（140gpm）。陶氏工厂需要电导低于 5μs/cm，硅含量小于 20ppb 的产水 227m³/h。

系统水源为 Brazos 河河水，经过加氯氧化杀菌，澄清过滤，软化和脱氯后进入反渗透深度处理。一般反渗透进水的淤结指数为（SDI）3~4，有时超过 5，原水含盐量（TDS260~660ppm）和温度（10~30℃，50~86°F）随季节而变化，反映出反渗透产水电导的变化范围为 3~5μS/cm。

该 RO 系统，尤其是第一级，经常会遭遇生物和胶状污垢。除了离线清洗和冲洗之外，整个系统基本上是连续运行。USFilter 的专有冲洗程序每星期操作两次。此外，每支膜元件每年平均会进行四次拆卸离线清洗，离线清洗和冲洗的频率由系统压降决定。

在夏季，污堵的几率和清洗的频率均大幅的增加，SDI 时常会超过 5，结果导致了第一级第一段发生快速污堵。经常性的拆装膜元件对膜元件完整性及膜元件间的密封性均产生了严峻地挑战。

O 形密封圈损坏导致的成本增加

USFilter 估计每月每套反渗透装置大约发生一次 O 形密封圈的泄漏，通常所有一级反渗透每月发生 8 次泄漏事故。首先通过检测每支压力容器出水电导，再用探头逐个探测该压力容器内的膜元件，确认泄漏点的位置。需要停止装置的运行，取出膜元件，拆除破损的 O 形密封圈，再装上膜元件。

解决一个压力容器中的泄漏点约需要 2 个工时，每个工时以 25 美元计，每月八次，每年的成本就是 4,800 美元，这笔开销的五年同比净现值就是 18,200 美元，扣除 10%的折率，除以整个一级反渗透装置中的膜元件数，每支膜元件与 O 形密封圈有关的花费为 46 美元，这极大地增加了膜元件的使用成本。

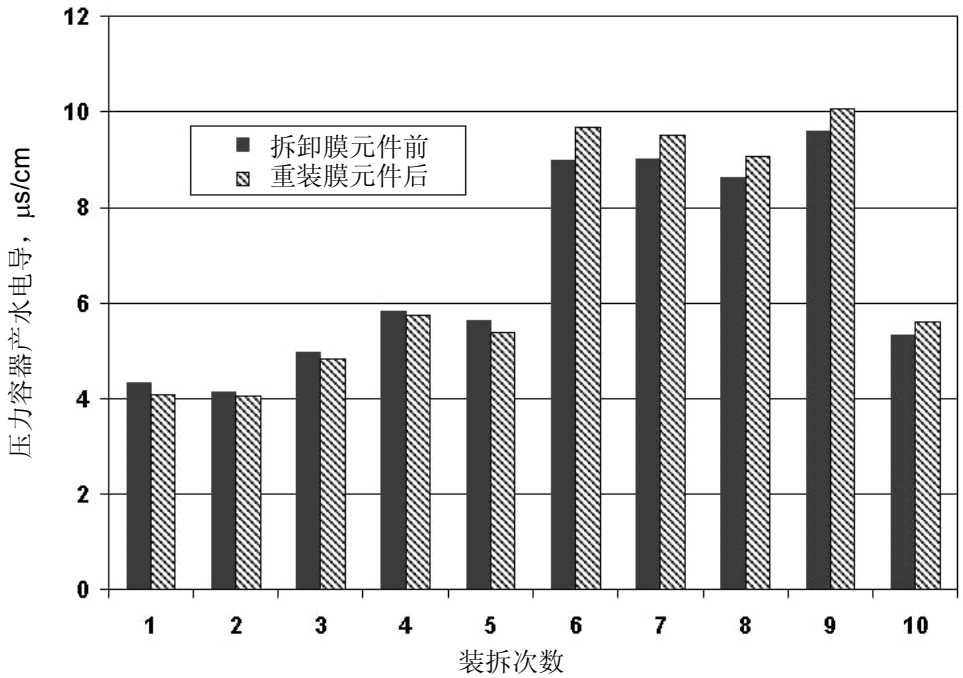
此外，由于 O 形密封圈的泄漏浪费了时间和造成了生产产能的损失也不容忽略，由于透盐率严重上升，装置可能不得不停运，因为装置的产水水质已经不能满足锅炉给水的要求。

装置性能

该厂系统从 1993 年开始投运，2002 年 3 月，一级第一段的一个压力容器内的膜元件替换成最新的 iLEC 端面自锁联接 FILMTEC™ BW30-365FR 膜元件。

时至今日，iLEC 端面自锁联接膜元件已经运行了两年，未发生 O 形密封圈泄漏或其它操作运行问题。图 4 表明，尽管长期重复的装卸操作，第一段的产水水质没有发生变化。iLEC 膜元件从第一次投运开始，始终全面发挥了性能，无 O 形密封圈泄漏的情况，符合陶氏的产品规范规定。

图 4. 重复的装卸操作对反渗透产水水质的影响



结论

从安装到现在的两年时间里，即便有很高的进水侧压降，频繁地启动与停止系统以及经常性地装卸膜元件，*iLEC* 端面自锁元件表现十分出色，达到了预期无故障操作的实际效果。

为什么脱溴很重要

天然海水中含有少量的溴，这些溴可以转换成一种致癌物溴酸盐。为将溴酸盐含量控制在较低的水平，脱溴率的计算以及设计一款能够在后处理时避免溴酸盐形成的系统就显得十分重要。本技术说明书将就下列问题进行探讨：

- 为什么脱溴很重要
- 在三家不同的海水淡化厂，FILMTEC™ 元件的公称脱溴率
- 如何计算产水中的溴含量

天然海水中含有少量的溴。其浓度通常在 90 至 150 毫克 / 升 (1 毫克 / 升 = 1mg/L=1ppm)。在后处理过程中，如果含溴离子的水被臭氧化或者氯化，产水中的溴离子就会转化为溴酸根 (BrO_3^-)。

虽然世界卫生组织 (WHO) 饮用水水质准则 (第二版) 的无机成分部分尚未对溴做出明确规定。但在消毒剂以及消毒剂副产品部分，却规定了 25 微克 / 升 (ppb) 的溴酸盐含量上限。这是一个临时限值，如果连续 70 年饮用此标准饮用水，可使癌症发病率达到十万分之一。如欲了解更多信息，敬请访问：http://www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables。

实例分析

以下是三家不同海水淡化厂的脱溴系数分析结果。

案例 1：产水量为 300 立方米 / 小时 (1.9 百万加仑)，系统回收率 55%，原海水来自大西洋

- 原海水总溶解固体 (TDS) 38,500 mg/L，温度 23°C (73°F)
- SWRO 装置设计：四套 RO 装置，两段式设计，四套 RO 装置总计有 90 个 7 芯装压力容器 (一段：50 个压力容器，二段：40 个压力容器)，两段间有 8 bar (116 psi) 的增压泵；使用 FILMTEC SW30HR-380 元件。
- 一段产水 TDS 为 120 mg/L，二段产水 TDS 为 320 mg/L，总产水的 TDS 为 180 mg/L；SWRO 系统 TDS 透过率为 0.46%，与此相对应的膜元件的标准化 TDS 脱除率 99.80%。
- 一段原水中溴浓度为 80 mg/L，二段原水中为 120 mg/L。
- 一段产水中的溴浓度为 0.4mg/L，二段为 0.6mg/L，总产水溴浓度为 0.46mg/L。
- 一段的系统溴透过率为 0.50%，二段为 0.47%。
- 计算结果：系统溴透过率比 TDS 透过率 (透盐率) 高 19%，因此得出该膜元件的标准脱溴率为 99.75%。

案例 2：产水量为 155 立方米 / 小时 (1.0 百万加仑)，系统回收率 50%，原海水来自北海

- 原海水总溶解固体 (TDS) 18,500mg/L，温度 14°C (57°F)
- SWRO 装置设计：一套 SWRO 装置，44 个压力容器 (6 芯装)；使用 FILMTEC SW30HR-380 元件。
- 产水 TDS 为 45mg/L；系统的 TDS 透过率为 0.24%，与此相对应的膜元件的标准化 TDS 脱除率为 99.85%。
- 原海水中的溴浓度为 31mg/L。
- 产水中的溴浓度为 0.04 mg/L。
- 系统溴透过率为 0.12%
- 计算结果：系统溴透过率仅为 TDS 透过率的一半，因此得出该膜元件的标准脱溴率为 99.90%。

案例 3: 产水量 60 立方米 / 小时 (0.4 百万加仑), 系统回收率 40%, 原海水来自加勒比海

- 原海水总溶解固体 (TDS) 37,000 mg/L, 温度 28°C (82°F)
- RO 装置设计: 两套 SWRO 装置, 分别安装了 8 个压力容器 10 个压力容器 (压力容器为 6 芯装); 使用 FILMTEC SW30HR-380 元件。
- 产水 TDS 为 250 mg/L; 系统的 TDS 透过率为 0.67%, 与此相对应的膜元件的标准化 TDS 脱除率为 99.70%。
- 原海水中的溴浓度 125mg/L。
- 产水中的溴浓度为 0.6 mg/L。
- 系统溴透率为 0.5%
- 计算结果: 系统溴透率为 TDS 透过率的 60%, 因此得出该膜元件的标准脱溴率为 99.80%。

这三个实例的结果表明, FILMTEC SW30HR-380 膜元件提供的标准脱盐率为 99.70%~99.85%, 标准脱溴率为 99.75% ~99.90%。溴透率一般为总 TDS 透过率的 50%~120%。这说明溴透率与 TDS 透过率大致相符。根据 FILMTEC SW30HR-380 膜元件 99.70% 的脱盐率标准, 脱溴率也应为 99.70%。

计算产水 溴含量

用下面的方法计算出产水中溴的浓度:

1. 在预设的操作条件下, 对海水反渗透 (SWRO) 装置的原水采用 ROSA 软件进行预测
2. 用如下公式计算出产水中溴含量:

$$\text{溴}_{\text{产水}} = \text{溴}_{\text{原水}} * \frac{\text{TDS}_{\text{产水}}}{\text{TDS}_{\text{原水}}}$$

总结

作为粗略的定性讨论, 对使用 FILMTEC 膜的海水淡化厂, 产水中溴浓度大多在 0.1 至 1.0mg/L 之间。由于溴酸根 (BrO_3^-) 和溴离子 (Br^-) 的分子量比为 83:35 (即 2.37), 如果溴酸根完全转化为溴离子, RO 产水中溴酸根的最大浓度约为 2.5 mg/L。这比 WHO 规定的 25 微克 / 升 ($\mu\text{g/L}$) 的临时限值高出 100 倍; 即使膜技术迅猛发展, 也不可能实现如此显著的改进。因此, 后处理过程中必须尽量避免溴酸盐的形成, 同时应当设定目标, 将溴离子到溴酸根的转化率控制在 1% 以下。

10-15

FILMTEC™ BW30-400/34i 膜元件

提高RO系统标准化产水量并降低压降，从而降低系统整体运行成本

项目信息

地点：

美国中西电厂
(Midwest Utility)

目的：

评估 34 mil 流道
宽度的膜元件

投运时间：

2005 年 4 月以来

比较性能：

34mil 流道宽度的元件

- 提高系统标准化产水量
- 降低系统压降
- 降低化学清洗 (CIP) 次数
- 降低系统运行成本



美国中西发电厂安装了采用 34mil 给水流道的 FILMTEC™ BW30-400/34i 元件不仅提高了 RO 系统标准化产水量，而且还降低了系统压降，从而有助于降低其整体运行成本。同时 iLEC™ 端面自锁连接技术避免了相邻膜元件之间使用中心连接管（其两端密封圈为滑动密封方式）。

项目介绍

美国中西电厂旨在为爱荷华州锡达拉皮兹市（Cedar Rapids）的工业、商业和家庭供电供暖。反渗透（RO）系统的原水来自该市的地表水。尽管 2001 年安装的 FILMTEC™ BW30-400 元件运行良好，但是随着地表水的污染愈加严重，逐渐对 RO 系统的正常运行造成了障碍。在 2005 年的工厂改造计划评估了两项新的改善技术：34 mil 给水流道和 iLEC™ 端面自锁连接技术。2005 年 4 月，中西电厂在一套 RO 装置上安装了采用 iLEC 端面自锁连接技术和 34mil 给水流道宽度 FILMTEC™ BW30-400/34i 膜元件，并与安装于相邻 RO 装置上的一套新更换的采用了 28mil 给水流道 FILMTEC™ BW30-400 标准元件进行了性能对比。

34mil 给水 流道的优势

给水流道旨在为 RO 膜元件进水提供一个区域，让给水从进水端流到膜元件的浓水端。此外，它还能促进膜表面湍流的形成，避免结垢和浓差极化。并且在实际使用中发现到，较宽的给水流道能够实现较大的湍流度和更高效的膜清洗恢复性。此外，34mil 给水流道所提供的流体动力学和较大的湍流度能够更高效地防止污染物吸附于膜表面。FILMTEC™ BW30-400/34i 元件采用了与 FILMTEC™ BW30-365 相同的 34mil 流道宽度。

iLEC™ 端面自锁 连接技术的优势

iLEC™ 技术可避免相邻膜元件之间使用多个中心连接管（其两端密封圈为滑动密封方式），从而减少了 O 形密封圈的密封面的数目。这不仅降低了产水压降，而且还实现了产水管的高度完整的密封，避免浓水泄露到产水管中，这样在整个膜元件生命周期中无需润滑或其它维护措施。

采用 iLEC 端面自锁连接技术的膜元件与采用标准中心管连接方式的膜元件安装操作类似，在数分钟内便可安装完毕。据客户表示，在膜壳中安装采用 iLEC 技术的膜元件比安装传统膜元件所需时间可缩短近 30%。

工厂设计

工厂的原水取自爱荷华州锡达拉皮兹市的地表水。该原水中的总溶解固体（TDS）约为 220mg/L。RO 系统的预处理包括多介质过滤器、5-μm 保安过滤器，以及投加亚硫酸氢钠和阻垢剂。

RO 系统包括有三个 RO 装置。每套 RO 装置的设计产水量为 400gpm (91m³/h)，回收率为 80%。每套 RO 装置均为两段式设计，第一段与第二段为 11:5 排列，6 芯装压力容器。其中的两套 RO 装置分别安装了 FILMTEC BW30-400 膜元件（RO B）；另外一套 RO 装置安装了 FILMTEC BW30-400/34i 膜元件（RO A）。RO 系统产水用于锅炉补给水和生产蒸汽。

工厂性能

工厂完成改造后于 2005 年 4 月开始运行。34mil 给水流道膜元件的采用带来了一系列性能提高。34mil 给水流道的膜元件所产生的压降约为 28mil 给水流道膜元件所产生压降的 30% 至 60%（见下页图 1）。此外，系统产水量（见图 2）大约提高了 5%，同时透盐率（见图 3）也略有下降。与采用 28mil 给水流道的膜元件的装置相比，采用 34mil 给水流道膜元件的 RO 装置的化学清洗（CIP）频率更低。就给水压力下降而言，与采用标准 BW30-400 元件的 RO 装置相比，在三年运行周期内采用 BW30-400/34i 膜元件的 RO 装置中每个元件的运行成本估计将降低 100 美元以上。

考虑到安全和操作的原因，客户倾向于尽量避免酸的投加。2005 年 8 月，与陶氏水处理事业部技术人员探讨后，客户决定停止 RO 系统前加酸工艺并提高了阻垢剂添加量。因此膜元可运行在 pH 值为 8.1 的状态下，与原 pH 值为 6.4（采用加酸工艺 pH 值）的状态相比，RO 系统透盐率降低了 50% 以上，从而可生产出更高纯度的水。图 3 显示了进水 pH 值对透盐率的影响。

图 1. 34mil 给水流程和 28mil 给水流程的元件的压差比较

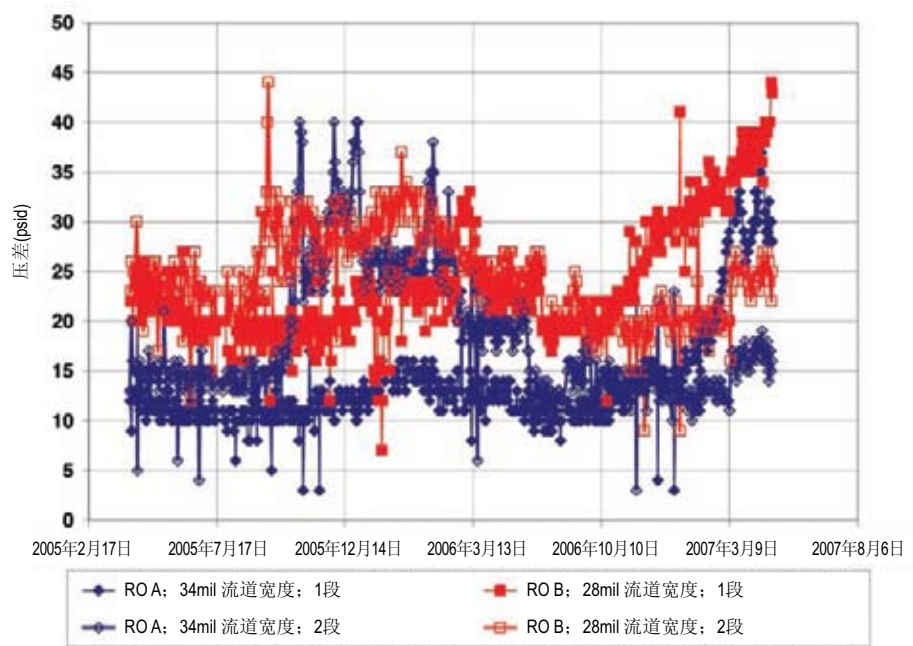


图 2. 34mil 给水流程和 28mil 给水流程的元件的标准化产水流量比较

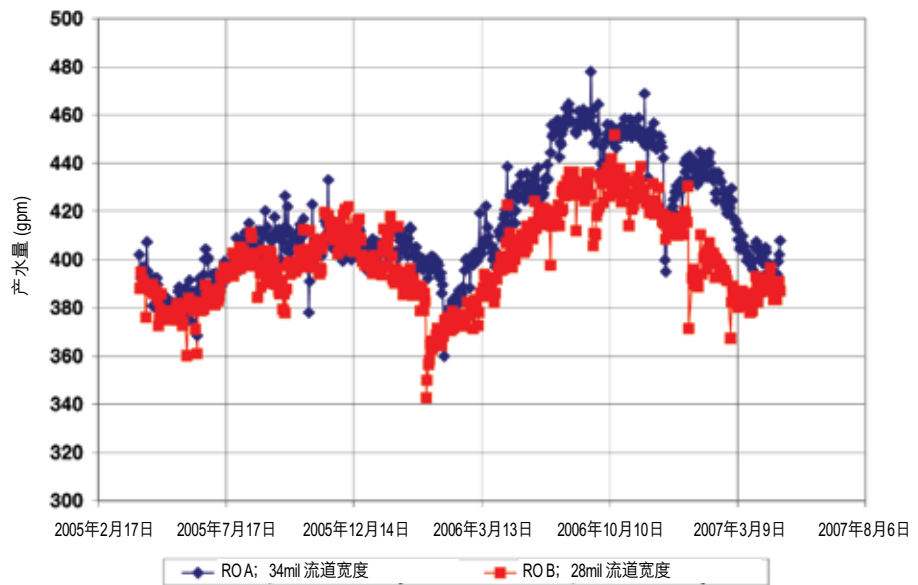
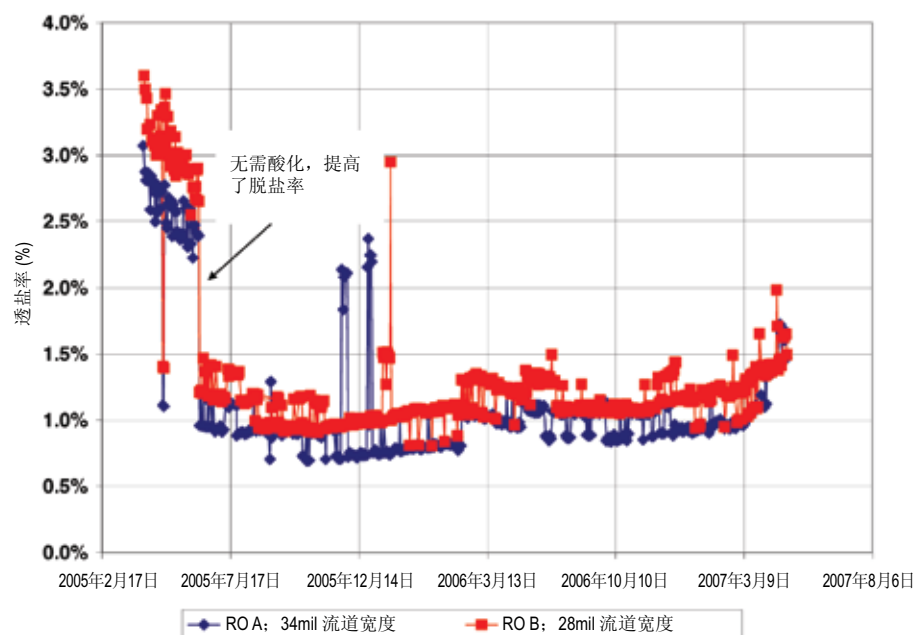


图 3. 34mil 给水流程和 28mil 给水流程的元件的透盐率比较



总结

通过两年的运行，与使用 28mil 给水流程（FILMTEC BW30-400）的膜元件相比，采用 *iLEC*[™] 技术和 34mil 给水流程的 FILMTEC[™] BW30-400/34i 膜元件所需化学清洗频率更低，并且降低了约 30% 至 60% 的压降。在维持略高脱盐率的同时标准化产水流量提高了 5%。此外，取消 RO 进水加酸工艺从一定程度上改进了 RO 系统的脱盐率。以上取得的种种优势使在下游的离子交换混床的运行中降低了对化学品的消耗，从而降低了运行成本。仅就 RO 装置给水压力下降而言，在三年运行周期中每个元件的运行成本可降低 100 美元以上，并可根据数据估算出节约的总运行成本。

FILMTEC™ 膜元件

纳滤（NF）技术为瑞典度假胜地提供清洁饮用水

项目信息

地点：

瑞典

用途：

- 满足旅游旺季时对饮用水大量需求
- 改善水质的无常波动
- 取代过时的手工絮凝工艺以节省资金



洛夫斯达伦纳滤（NF）设备由 10 支压力容器组成（每支压力容器中安装 4 支 FILMTEC™ 元件）。垂直金属筒是保安过滤器的外壳。图片左侧两个直立的盒子是位于其下方循环泵的变频器。所有管道都是不锈钢材质。（照片由 HOH 水技术公司提供。）

三年多以来，瑞典的度假胜地洛夫斯达伦为居民和游客提供来自 Lofsjön 湖的清洁饮用水。FILMTEC™ 纳滤膜能够除去水中色素和铁离子，并减少化学需氧量（COD）。该膜系统不仅能够运行在低压下，有助于节约能源，同时膜的低结垢倾向和高化学稳定性也能够减少维护成本。

项目介绍

洛夫斯达伦是瑞典中部的一个小社区，靠近挪威边境。美丽的山区景色和靠近 Lofssjön 湖的地缘优势使得洛夫斯达伦在冬夏两季游客络绎不绝。然而在这两个旺季，随着游客对饮用水的大量需求、水质的无常波动和过时的手工絮凝工艺，都使得供水系统的管理既困难又昂贵。这些问题迫使社区去寻找一种新的、安全的能供应高质量饮用水的方式。瑞典顾问 VBB VIAK 建议洛夫斯达伦使用 FILMTEC™ 纳滤膜来除去水中的色素和铁离子从而将湖水净化。

纳滤设备介绍

纳滤设备由 HOH Vattenteknik 公司建造。由于每天的用水需求不同，设计容量为 4~30m³/h（1056~7920 加仑 / 小时），系统回收率为 85%。FILMTEC NF255-400 膜元件不仅能满足上述要求，而且还能有效去除色素和铁离子，并降低水中化学需氧量（COD）。此外，这些膜元件还具有如下优势：运行压力低，有助于节能；不易结垢和高化学稳定性可以抑制难清洗的混合物。FILMTEC NF255 纳滤膜是目前 FILMTEC NF270 膜的前身。这两种纳滤膜均为聚酰胺类复合膜。FILMTEC 纳滤膜首先应用于位于法国巴黎附近的 Mery-sur-Oise 的全球最大的纳滤工程（140,000 立方米 / 天）。

此纳滤膜系统采用单段式设计，同时采用浓水循环。10 个 4 芯装压力容器平行放置。为最大限度地减少停机时间，在原水泵和浓缩循环泵旁都平行配备了一个备用水泵。所有的水泵都由变频器控制，这样它们就可以恰好在所需压力下工作。以应对产水量变化、原水温度在 1°C 至 20°C 之间波动的情况，这是一个重要的节能手段。

原水来自一个开放式浸没在湖水中取水点，经快速砂滤和保安过滤器预处理。经处理的纳滤膜产水经二氧化碳稳定化处理和石灰石过滤，再用低浓度氯化杀菌处理来进一步保证水质。供水网分布广泛，包括很多仅在旅游旺季才有人居住的偏远地区。位于高处的储水箱可以弥补某一段时间的大量用水需求。经过纳滤设备浓缩之后的浓水又流回湖中。

FILMTEC™ 膜元件

该设备从 1998 年 11 月开始运行，从此以后就一直为社区提供着高质量的饮用水。所有质量参数都比要求的更好。在终端使用点的常规检查一贯显示没有细菌，尽管用氯的剂量非常低——供水中自由氯的浓度为 0.02 到 0.05 mg/L（即 0.02 至 0.05ppm）。纳滤膜的使用大大减少了供水网对氯的需求。

表 1 是一个原水和产水水质分析的典型实例。原水的盐浓度非常小，主要为碳酸氢钙。纳滤系统对有机物、铁和铝的脱除率非常高。二价离子和一价离子可以降到较低的水平，而硅几乎全部通过。

为减少纯净水成本，在投运开始的两年里，专门针对该设备的运行进行了优化。在 75% 的回收率下，产水量现在恒定地保持在 27m³/h，浓水循环量为 50 m³/h。日用水量可能从 50 猛增为 550 立方米，所以该设备就需根据需求来实时调控是否开机运营。

表 1. 纳滤系统的分离性能

分析指标	原水含量 (mg/L)	产水含量 (mg/L)	脱除率 (%)
色度 (Pt)	60 - 90	2	97 - 98
化学需氧量 (COD) (锰法)	7 - 12	< 0.2	> 98
总有机碳 (TOC)	13.3	0.05	99.6
波长 254 纳米的紫外吸收 (cm ⁻¹)	0.58	0.003	99.5
铁	0.168	< 0.003	> 98
铝	0.105	< 0.005	> 95
钙	6.15	0.95	84.6
镁	0.84	0.161	80.8
钾	0.36	0.154	57.2
钠	0.96	0.47	51.0
碱度 (以 HCO ₃ 计)	12	5	58.7
pH 值	6.9	6.7	--
电导率, µS/cm	43.1	9.81	> 77
硅, mg/L (以 Si 计)	2.2	1.93	12.3

总结

保安过滤器每 6 个月更换一次；膜元件在每 400 小时的工作后化学清洗一次，清洗条件为 pH 值 11 和 温度 40° C。这样的运行周期能够保持膜元件的干净。系统压降保持在 1 bar（14.5 psi）左右；当产水背压为 0.5 bar，进水温度为 3°C 时，典型原水压力为 4.2 bar。

三年来对色素和铁离子的有效脱除以及化学需氧量的有效降低，表明 FILMTEC 纳滤膜对于从湖水中生产高品质饮用水是十分可靠的。

FILMTEC™ 膜元件

FILMTEC 极低压 (XLE) 膜元件在低能耗成本下去除饮用水中的氟化物。

项目信息

地点:

芬兰 Kuivala

规模:

6000 m³/天

目的:

去除地下水中的氟化物, 同时最大程度地节省能耗

投运时间:

从 2003 年 10 月

RO 膜系统性能:

- 氟化物脱除率达到 98%
- 低运行压力 (温度为 8 °C, 运行为 8 bar), 可降低能耗成本



芬兰南部 Kuivala 水处理厂鸟瞰图。该厂使用 FILMTEC™ 极低压 (XLE) 反渗透膜去除饮用水中含有的氟化物。照片由 Kymenlaakso 水务公司提供。

项目介绍

Kymenlaakso 水务公司每天可向芬兰 Kotka、Anjalankoski、Hamina 和 Pyhtää 四个城市的 9 万多用户提供 30,000 m³ 的饮用水。Kuivala 水厂从 Haukkajärvi 湖提取地表水, 然后将原水输送至 17 个渗水池中。该渗水池地下水区域中含有的沙质土可以在 50 天的停留周期中减少或滤除水中的杂质。再将高质量饮用水从地下水井中抽出并输送到水处理设备中, 投加石灰和二氧化碳对水进行矿化处理并使用次氯酸钠进行消毒。

芬兰南部土壤中的天然氟化物含量较高, 故在土壤过滤处理后水中的氟化物浓度从典型的 0.7 mg/L 上升到 1.8 mg/L。根据欧盟的饮用水法令, 饮用水的氟化物含量最高限定在 1.5 mg/L。因此, 为了去除氟化物, 使用几套处理系统进行了中试试验。一种方案是采用 FILMTEC™ NF270 纳滤膜对所有水进行处理, 以将氟化物含量降低到要求的浓度, 同时膜能够对有机物、病毒和细菌实现物理截留。不过, 由于地下水未被生物污染, Kuivala 水处理厂选择了 FILMTEC 极低能耗 (XLE) 反渗透 (RO) 膜来对部分人工地下水供应进行处理。通过将 RO 产水与地下水混合, 既可以满足水中的氟含量的要求, 又可以把成本降低到最低水平。

经过 3 年多的运行, 反渗透系统对氟的去除率达到 98% 以上。由于 FILMTEC XLE 可以在非常低的压力下运行, 产水成本仅有 0.09 欧元 / 立方米。另外, FILMTEC XLE 膜元件可以承受严格的清洗要求 (pH 值 >12), 以去除膜表面附着的有机污染层。

FILMTEC™ XLE 元件

FILMTEC™ XLE-440 元件是极低能耗、高产水能力、苦咸水反渗透元件，设计用于在低运行成本下为市政和工业水领域提供高质量给水。

- XLE-440 在许多系统中，可在标准高除盐反渗透元件的给水压力一半条件下工作，同时给水压力也比其他低能耗膜低 30%，这样在产品生命周期内节省的能耗费用足以抵消初期的膜投资成本；
- XLE-440 的有效膜面积多达 41 平方米，可以让设计人员用较少的膜元件完成系统设计，从而降低投资成本；
- 自动化、高精度的生产工艺可以在不减少进水隔网厚度的同时获得更大的有效膜面积，同使用较薄滤网的竞争产品相比较，具有污染程度更低、清洗时间更短和运行成本更少的特点。

反渗透系统设计

Kuivala 反渗透（RO）系统由五套 RO 装置构成，RO 装置为两段式设计，每套 RO 装置第一段采用 6 个压力容器，第二段采用 3 个压力容器，压力容器为 6 芯装。设计未采用预处理系统，只使用了 1 微米的袋式保安过滤器，也未使用阻垢剂。RO 系统回收率为 80%，日处理能力为 6,000 立方米，并保留了额外的 3,600 立方米的日处理能力。在平均 8°C 的温度下的平均运行压力为 8bar，其流量性能类似纳滤膜的性能。

大约 30% 的地下水先经反渗透设备处理，随即和原水混合，实现含氟量低于 1.3mg/L 的饮用水要求。RO 系统浓水直接排入河流。图 1 是该厂 RO 装置的布局图。

图 1: Kuivala 反渗透厂

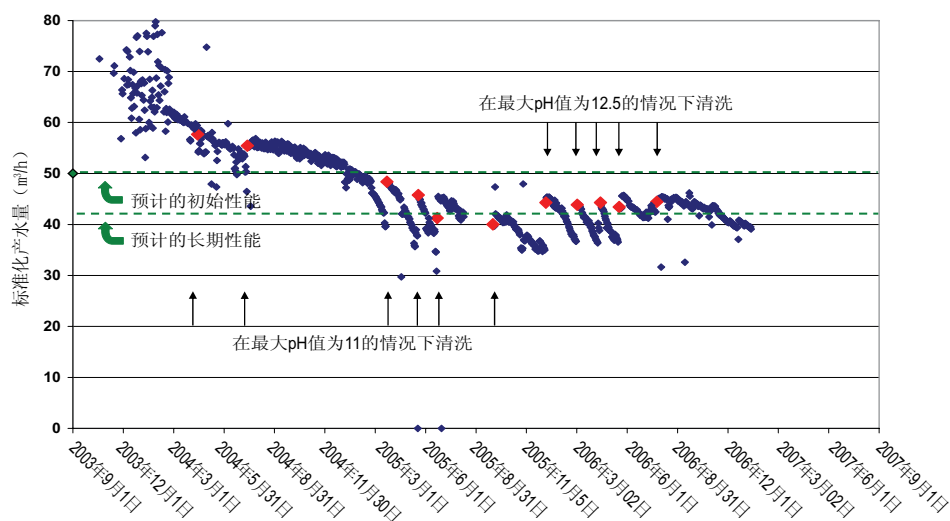


照片由 HyVo 和 Kymenlaakso 水务公司提供

标准化产水流量

自 2003 年 10 月启用该反渗透厂以来，所有五套 RO 装置都体现出相似的性能和趋势。图 2 是 4# RO 装置自启用以来的标准化产水流量。起初的标准产水流量高于预期，意味着运行压力低于预期。首次化学清洗发生在 2004 年 4 月（清洗后的数据以红色表示），对产水流量未产生影响，这意味着产水流量的下降是一个稳定的过程而非污染造成的。第二次清洗发生在 2004 年 7 月，产水流量有所改善，污染率降低。

图 2: 4# RO 装置的标准化产水流量



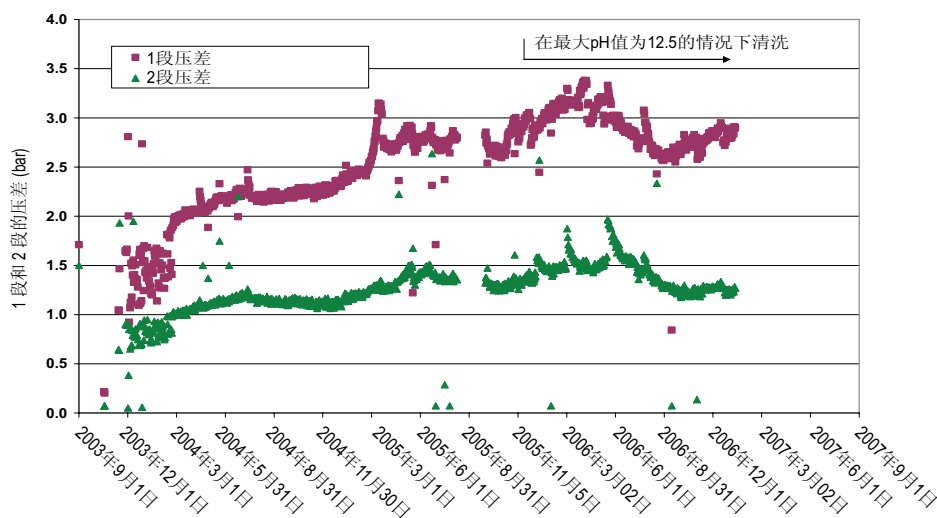
在 2005 年 11 月以前，碱性清洗在 pH 值为 11 的适中的条件下进行。在清洗效率下降后，碱性清洗 pH 值调高到大约 12.2 到 12.5。这有助于恢复产水性能到新膜的水平。在 2006 年下半年间无需清洗。这可能是由于高 pH 值清洗使清洗效率得到提高，以及 / 或者给水质量改善导致的结果。

压差

RO 膜系统给水端和浓水端的压差可以说明给水通道隔网的污染情况。图 3 是 4# RO 装置每段的压差。

该图是给水压力、段间给水压力 / 浓水压力之间的压差的直接反映。从一开始压差就在稳步增长，但采用较高 pH 值的清洗后，这个趋势得到了遏制。

图 3: 4# RO 装置中每段的压差



盐透过率

该 RO 系统的脱盐率在经过三年多的运行后，仍然与开始时保持一致，约 95%，尽管进行了多次温度为 35° C pH≥12 的化学清洗。虽然给水电导率的变动范围在 70 和 100 uS/cm，但产水的电导率基本保持在 6 uS/cm 左右。这说明膜元件的性能并没有因为频繁、苛刻的化学清洗而受到损害。

产水质量

采用反渗透工艺可实现大于 98% 的除氟率。另外值得肯定的是，总有机碳（TOC）的去除率大于 94%。表 1 所示的是 RO 系统的产水水质和除盐率的总体情况。

盐透过率

表 1: Kuivala 反渗透系统的性能

参数	给水 (mg/L)	产水 (mg/L)	脱盐率 (%)
阳离子			
钙离子	11.9	0.11	99.1
锰离子	1.62	0.01	99.4
钾离子	1.29	0.23	82.2
钠离子	3.8	0.34	91.1
阴离子			
碱性离子，比如碳酸氢根	30	11	63.9
氯离子	9.5	0.19	98.0
氟离子	1.9	0.03	98.4
硝酸盐	4	0.33	91.8
硫酸根	16	0.12	99.3
总有机碳 (TOC)	6.44	0.374	94.2
pH 值	6.6	5.3	—

污垢控制

反渗透系统在未使用阻垢剂的情况下实现了 80% 的回收率。尽管浓水中的氟化钙浓度超过其 4 倍的溶度积。在浓水中放置有精密的控制元件，以尽早检测到结垢情况，从而触发启动化学清洗。

结论

Kuivala 反渗透系统自 2003 年启用以来一直运行良好。该系统一直自动运行，并配备了早期预警系统用于膜系统污垢控制。膜元件能够承受频繁、苛刻的清洗条件（pH 值大于 12），以控制生物污染。

FILMTEC™ XLE 元件对地下水中氟化物的脱除率达到了 98%（将氟含量降低到 0.03 mg/L），从而让该水厂在采用 RO 设备处理尽量少的水的情况下（混合更多的原水）满足欧盟对饮用水含氟量的要求。此外，这些膜元件运行在较低压力下（平均温度 8°C 时，运行压力为 8 bar），能耗成本低，每立方米产水的成本低至 0.09 欧元。

基于以往的经验，加之地下水含氟量增长的现实，2007 年 6 月该水厂又新增了三套 RO 装置，将系统的日处理能力提高到 9,000 立方米。

FILMTEC™ 膜元件

将海水淡化系统改造成以污水为进水的苦咸水淡化系统，提高反渗透设备的回收率，降低运行成本并提高可持续性

项目信息

地点：

泰尔讷曾 (Terneuzen)
荷兰

产能：

2 × 175 m³/h

用途：

将处理系统从海水进水
改造成二级污水进水

投运时间：

2007 年 1 月以来

性能：

- 回收率提高 20%
- 运行成本降低 50%
- 提高水利用率以及可持续性



DECO 水处理厂所采用的装有反渗透膜 (RO) 元件的压力容器 (照片由艾威迪斯 (Evides) 工业用水公司提供)

项目介绍

自 2000 年起，DECO 水处理厂（由艾威迪斯工业用水公司负责运行）就开始为位于荷兰泰尔讷曾的陶氏 Benelux 生产厂提供除盐水、冷却塔供水以及超纯水。陶氏的泰尔讷曾工厂所处的泽兰弗拉芒（Zeeuws-Vlaanderen）地区缺乏淡水，因此在设计之初 DECO 水处理厂是采用河海交汇处的高 TDS 海水作为原水进行脱盐。但是，此地区水源的化学、物理和生物特性复杂，容易引起如生物污染等运行难题，并且由于腐蚀的原因还造成了较高的维护成本。

2006 年该厂进行了重新改造以能够处理来自泰尔讷曾市的城市污水。该工厂水处理装置为全膜法系统，其包含有连续微滤（CMF）装置和采用 FILMTEC™ 反渗透膜元件的二级反渗透（RO）装置。通过采用新的进水源，更换成低压进水泵以及工艺自动控制系统的优化，系统回收率提高了 20%，而运行成本则仅为此前海水淡化系统的一半。此外，城市污水不再排入大海，反而作为工艺用水而实现了循环利用。水利用率的提高以及低能耗使该水处理系统具有更强的可持续性。

FILMTEC™ 膜元件

改造后的两级反渗透装置在一级中采用了 FILMTEC™ BW30-400/34i-FR 抗污染型反渗透膜（现更名为 BW30FR-400/34i），而在二级中采用了 FILMTEC™ BW30LE-440/FILMTEC XLE-440 低压反渗透膜。FILMTEC™ BW30-400/34i FR 抗污染膜元件在处理高生物污染的水源时，具有优异的耐用性、高脱盐率以及高生产率。陶氏的专有的 FR 抗污染膜技术可提供优异的抗污染性能以及良好的清洗恢复性，此产品继 FILMTEC BW30-365 FR（现更名为 BW30FR-365）和 BW30-400 FR（现更名为 BW30FR-400）膜元件于 1997 年在全球范围内向众多客户证明了其价值后推出的，是原抗污染系列的进一步延伸。FILMTEC™ BW30-400/34i-FR 膜元件具有以下特征。

- 宽流道宽度（34 mil），有助于降低污染并提高清洗恢复效率；
- 拥有 400 平方英尺的有效膜面积，从而可提高单支膜产水量，并且不增加运行通量；
- 高脱盐率的 FILMTEC™ RO 膜拥有行业内最为宽泛的清洗 pH 值范围（1-13），可高效清洗垢类、有机化合物和生物膜；
- 自动化精密生产工艺，采用较短的膜叶片，减轻 RO 系统污染并使膜的使用效率最大化；
- 端面自锁连接（iLEC™）不仅能降低系统运行成本，而且还能减少 O 型密封圈泄漏导致的水质下降的风险。

这样独特的膜元件特性为系统运营商提供了最佳的长期经济效益，保证了采用 RO 膜进行污水处理时的稳定运行。

水处理流程

表 1 显示了两两种不同类型的进水源的水质状况：海水和污水。对于海水而言最为主要的问题是其不稳定性。西斯海尔德水道（Westerschelde）河水水质波动较大，随着季节的变化，其水质的化学和生物性质也会发生变化。此外，由于潮水以及取水口（位于轮船和驳船来往的海港码头附近）的影响，河水中的悬浮固体含量的波动非常明显。另一个问题是海水的总溶解固体（TDS）较高，导致了高渗透压也较高，这意味着反渗透膜法水处理系统需要较高的运行压力。

与此相反，污水处理工厂（WWTP）处理达标的排放水的 TDS 较低，因此渗透压力也较低，并且在水质上相对稳定。对于污水而言，最大的问题即其较高的污染性以及由此导致的频繁化学清洗。通常情况下污水经过处理后可以达到地表水的排放标准，最终流向西斯海尔德水道。

表 1. 进水分析

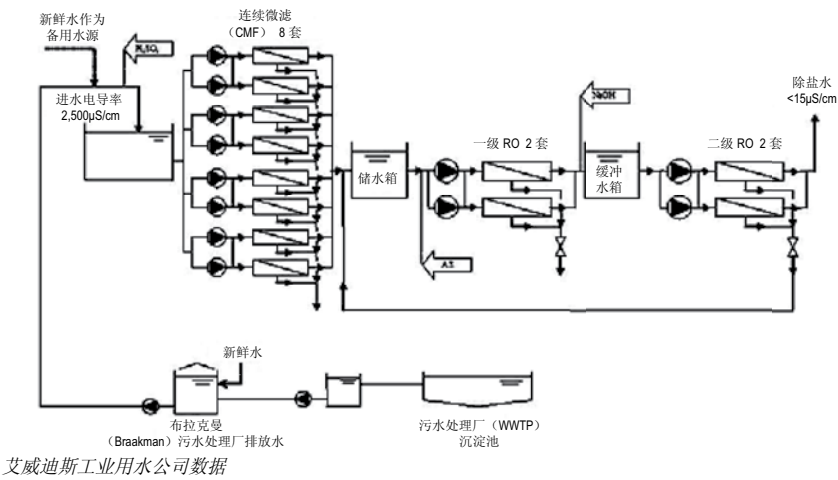
参数	单位	海水	污水处理厂的废水
温度	°C	25	13.5
pH	—	8.1	7.1
Na	mg/L	7,123	300
硫酸盐	mg/L	1,546	100
氯化物	mg/L	12,820	480
总磷酸盐	mg/L	0.12	0.5
氨	mg/L	0.22	8.0
化学需氧量（COD）	mg/L	无	50
总有机物含量（TOC）	mg/L	2.2	9.8
总溶解固体量（TDS）	mg/L	18,000	1,200
总悬浮固体量（TSS）	mg/L	20	5.4

艾威迪斯工业用水公司数据

图 1 是改造后的系统的工艺流程图。预处理系统继续采用原有海水淡化系统中的连续微滤装置（CMF），改造前它们的运行通量较低。原有的海水淡化反渗透（SWRO）膜元件（一级）更换成低压苦咸水反渗透（BWRO）膜元件，改造后的 RO 系统具有以下特征：

- 两级式设计：一级 RO 中的压力容器比例为 28:16，二级 RO 中的压力容器比例为 16:6
- 海水淡化高压泵更换为低压泵
- 流程自动控制
- 一级 RO 采用抗污染反渗透膜元件（FILMTEC™ BW30-400/34i-FR）
- 膜元件数量：792 个 8 英寸反渗透膜元件
- RO 设备套数：2
- 系统设计出力：2×175m³/h

图 1. 改造后的全膜系统的工艺流程图



系统性能

原有的两套二级苦咸水反渗透（BWRO）装置保持原样。RO 系统的产水与陶氏拥有专利技术的 DOWEX™ UP CORE™ 逆流离子交换系统生产的除盐水混合，最终供给陶氏 Benelux 生产厂。全膜法系统的浓水与其他水源进行混合并最终排放到西斯海尔德水道。

图 2 显示了标准化产水流量随着时间的变化曲线。即使是由于污水进水而在苛刻且频繁清洗的环境下，反渗透系统的产水量仍非常稳定。

图 2. 一级 RO 标准产水流量以及就地清洗 CIP 事项

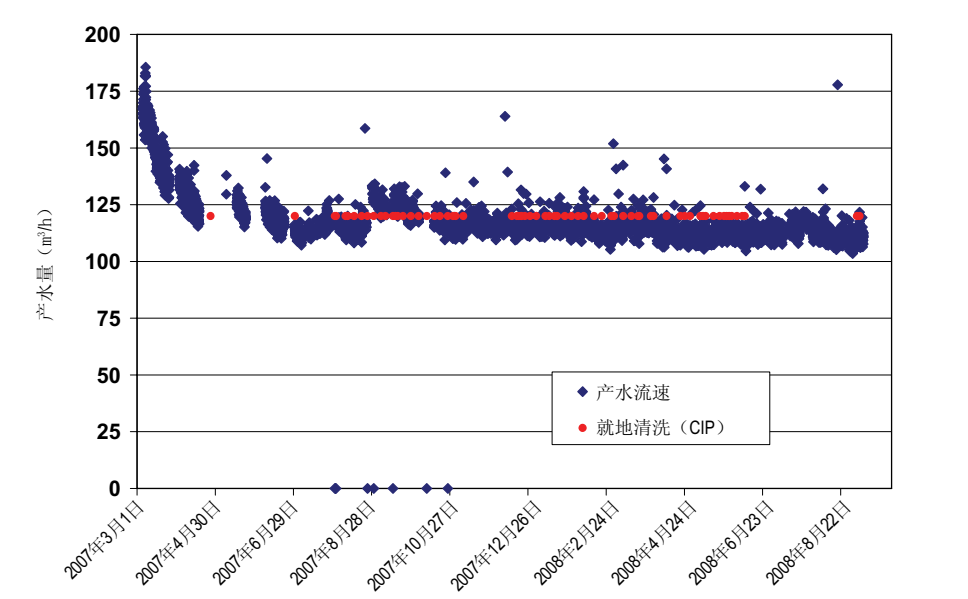


图 3. 一级 RO 标准脱盐率

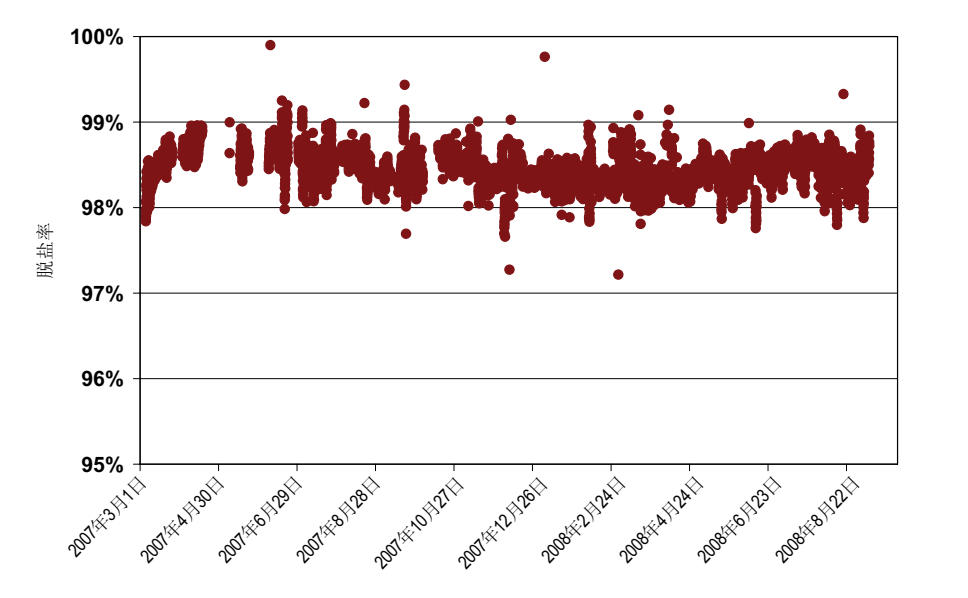
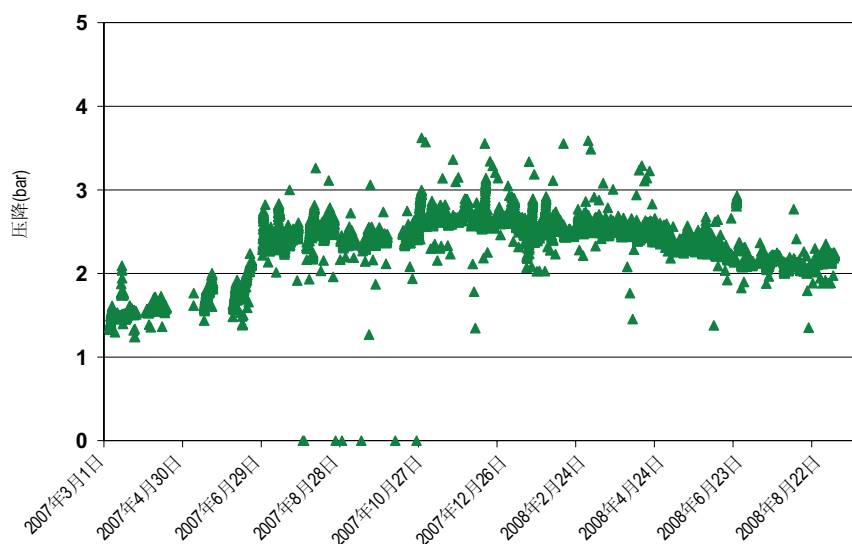


图 3 显示了标准化脱盐率随着时间变化的情况，其脱盐率稳定在 98% 至 99% 之间。图 4 显示了压降的变化情况，从图中可看到其压降保持稳定。这些数据表明，尽管污水本身所具有的高污染性带来了一些难题，但 FILMTEC™ BW30-400/34i FR 元件仍保持了稳定的性能。在使用污水处理系统之后，DECO 工厂的回收率提高了 20%，运行成本降低了 50%。

图 4. 一级 RO 压降（进水至浓水）



可持续性

通过水循环工艺可将水的回收率最大化，化工制造工厂可降低对环境的影响，并可提供更为充足的非工业用水。该污水处理系统完全符合陶氏 2015 可持续发展目标，其可持续水管理对于社区和环境有益并且可降低成本。

总结

通过改变进水，将海水淡化高压泵更换为低压进水泵以及工艺自动调节，DECO 处理厂的水回收率提高了 20%，运行成本仅为此前海水处理系统的一半。尽管污水引发的生物污染会给水处理带来难题，但毫无疑问 FILMTEC™ 极其稳定的膜元件能够承受苛刻以及频繁的化学清洗。

本案例所介绍的水处理系统的成功应用，是荷兰第一次对国内污水进行大规模回收而用于工业用途的实例。此次行动赢得了以下若干奖项：2007 年泽兰省（Zeeland）环境奖，2007 年荷兰 VNCI 责任关怀奖，2007 年欧洲化学工业委员会（Cefic）责任关怀奖，并且被评价为最具创新的企业社会责任项目而荣获 2008 年 ICIS 创新奖。

FILMTEC™ 膜元件

FILMTEC™ 反渗透 (RO) 膜元件在美国羚羊谷发电厂 (AVS) 的15年运行经验

项目信息

地点：

美国北达科他州
比拉市 (Beulah)

规模：

520 gpm (118 m³/h)

用途：

锅炉补给水

运行时长：

15 年



15 年以来，FILMTEC™ 膜元件利用密苏里河作为水源，为羚羊谷发电厂提供清洁的锅炉补给水。

项目简介

羚羊谷发电厂 (AVS) 是一家采用褐煤为燃料的火电厂，具有 900,000 kW 的发电能力。该电厂位于美国北达科他州比拉市西北 7 英里，隶属北新电力集团 (Basin Electric Power Cooperative)。北新电力集团负责向美国中西部地区北部的配电系统供应电力，而始建于 1984 年的羚羊谷发电厂则是北新电力集团发电及输电网络不可分割的部分。

1992 年，羚羊谷发电厂安装了包含 168 个 FILMTEC™ BW30-8040 元件的反渗透 (RO) 系统，为电厂锅炉提供清洁的补给水。原水水源来自萨卡加维亚 (Sakakawea) 湖，而湖水来自密苏里河。原始膜元件的安装工程由保利麦迪 (Polymetrics) 公司承担。2005 年西门子集团收购了美净 (US Filter) 公司后，该公司最终变成西门子水处理技术公司 (Siemens Water Technology) 的一部分。运行 15 年后，这些原始元件仍能够将地表水高效地处理成清洁的工艺用水。这一案例表明，通过适当的预处理并保持良好的维护，FILMTEC 膜元件可以长期保持优越的耐用性和清洗恢复性能。羚羊谷发电厂项目证明，采用 FILMTEC 膜元件可实现反渗透系统的最佳整体经济效益。

FILMTEC™ 膜元件

该项目最初使用的是 FILMTEC™ BW30-8040 膜元件 (有效公称膜面积为 330 平方英尺 (31 平方米))，其更新换代产品即为 BW30-365 元件 (有效公称膜面积为 365 平方英尺 (34 平方米))。BW30-365 膜元件是系统设计工程师、原始设备制造商 (OEM) 和系统运营商优先选用的产品，该膜元件能以稳定的高性能处理水质恶劣的给水，并可实现最长的使用寿命。在各种给水条件下，该膜元件在产水量、脱盐率、稳定性和使用寿命等各方面均表现出优异的品质：

- 具有业界最宽的进水流动 (34 mil)，以减少结垢的影响。
- 可在极广的 pH 值范围 (pH 1 - 13) 内进行清洗，以达到最佳清洗效果。
- 在保证可靠的预处理和最大的可清洗性的条件下，FILMTEC BW30-365 最适合用于具有挑战性的给水处理项目。

反渗透系统预
处理及维护

羚羊谷电厂的 RO 系统由 4 套 RO 装置组成（压力容器排列为 5~2），每支压力容器包含 6 个 FILMTEC™ BW30-8040 元件。给水源来自湖水，通过一个 9 英里厂的管道（在澄清器以前进行氯化预处理）送达。在澄清程序中，使用冷石灰对水源进行软化，并加入絮凝剂硫酸铁和一种聚合物助凝剂。然后，将水注入一个 1mgd 的清洁池，随后再输送到预处理系统中，预处理系统为：石英砂 / 无烟煤双介质过滤器、活性炭过滤器和 5µm 保安过滤器，RO 系统前加入硫酸以将给水 pH 值降至 7.0。以及利用换热器将反渗透系统前给水温度升至约 75°F（24°C）。换热器利用发电厂产生的废热，提高 RO 系统给水的温度，以降低系统能耗。

反渗透元件每季度进行一次化学清洗（CIP），O 型密封圈、中心管和调节器在需要时进行更换。

设备性能

运行 15 年后，FILMTEC™ BW30-8040 元件仍接近于初装时的性能，进水电导率为 450 µs/cm，产水电导率为 12 µs/cm，RO 系统回收率为 75%。下表给出了运行 15 年后的反渗透设备性能数据。

温度	75°F (24°C)
1 段进水压力	225 psi (15.5 bar)
2 段进水压力	185 psi (12.8 bar)
浓水压力	160 psi (11 bar)
给水电导率	450 µs/cm
浓水流量	173 gpm (39 m³/h)
浓水电导率	1390 µs/cm
产水流量	520 gpm (118 m³/h)
产水电导率	12 µs/cm

结论

在正确进行预处理和保持良好维护的条件下，羚羊谷发电厂使用的 FILMTEC™ 膜元件表现出优越的耐用性和可清洗恢复性，其生命周期大大超过行业平均值。虽然寿命长是 FILMTEC 膜元件的标志，但也得益于羚羊谷电厂运营部门和维护人员的努力。这一项目是 FILMTEC 元件实现反渗透系统最佳经济效益的范例。

FILMTEC™ 膜元件

西班牙 Agragua 海水淡化厂用螺旋卷式反渗透 (RO) 膜元件替换中空纤维膜元件

项目信息

地点:

西班牙加那利群岛
Agragua (Galdar)

规模:

3x4700 m³/d
(3x1.24 MGD)

用途:

海水淡化产水用于
农业灌溉的

运行时长:

20 个月

性能比较:

采用 FILMTEC™ 螺旋卷式 RO 膜元件改进的装置与被替换的中空纤维 RO 膜元件装置相比, 进水压力降低 16.5 bar, 透盐率降低 28%。



西班牙 Agragua 海水反渗透 (SWRO) 系统中的 2# RO 装置 (照片背景中位于中间的装置) 采用 FILMTEC™ 螺旋卷式膜元件进行了改造。照片近景中的设备是高压泵。(照片由 Agragua 海水淡化厂提供)

项目介绍

直到 20 世纪 90 年代末, 大中型反渗透 (RO) 海水淡化项目主要采用双种形式的膜元件: 螺旋卷式膜元件与中空纤维膜元件 (HF)。美国杜邦公司的中空纤维膜元件 Permasep HF 技术退出了市场, 这给螺旋卷式膜元件改进现有的中空纤维膜元件海水淡化工厂提供了机会。改进成功的主要标准是在有限的资本投入基础上提高工艺经济性与产水品质。

2003 年 3 月, 西班牙加那利群岛的 Agragua 海水淡化厂中, 有 3 套采用 Permasep HF 的 RO 装置 (合计出力在 14,100 m³/d, 即 3.77 MGD), 其中一套 RO 装置被 FILMTEC™ SW30HRLE-400 螺旋卷式膜元件更换改造。在运行 20 个月后, 采用 FILMTEC 膜元件改造的 RO 装置提供的产水的总溶解固体含量 (TDS) 比采用 Permasep HF 的装置低 21%。RO 装置进水压力可降低 16.5 bar (239 psi), 从而可降低 21% 的能耗。

本案例的第一部分, 首先介绍采用 FILMTEC 螺旋卷式元件进行改造的 3 种不同可选方案。这些可选方案都基于在现有的 Agragua 海水淡化系统中的 Permasep 1# RO 装置上的测试。本案例的第二部分, 则按照上述讨论的改进可选方案之一对 Agragua 海水淡化厂的 2# RO 装置进行改进, 再把取得的实际性能与采用 Permasep 的 1#RO 装置的性能进行比较。

FILMTEC™ 膜

用于改进方案的两种膜分别是 FILMTEC™ SW30HR LE-400 与 FILMTEC SW30HR-320 (现已改进为 SW30HRLE-370/34i) 螺旋卷式高脱海水膜元件。两种膜元件的主要技术参数见表 1。其技术参数基于下列测试条件: 32000 ppm NaCl、5 ppm 硼、5.5 Mpa (55 bar, 800 psi)、25 °C (77 °F)、PH 值为 8、回收率 8%。

表 1：用于改造的 FILMTEC™ 海水元件的技术参数

膜元件	有效膜面积 m ² (ft ²)	产水量 m ³ /d (gpd)	NaCl 脱盐率 (%)	最大操作压力 bar (psi)	给水流量宽度 mm (mil)
FILMTEC SW30HR-320	30 (320)	23 (6,000)	99.75	83 (1,200)	0.86 (34)
FILMTEC SW30HR LE-400	37 (400)	28 (7,500)	99.75	83 (1,200)	0.71 (28)

改造可选方案

Aragua 的海水淡化厂厂的 RO 装置在适中的温度与盐度中运行。该厂有 3 套 RO 装置，每台 RO 装置的处理能力为 4,700 m³/d (1.24 MGD)。1# RO 装置在 22.4 °C (72.3 °F) 下运行，回收率为 42%，进水压力为 74 bar (产水背压 0.4 bar) [进水压力: 1,073 psi、产水背压: 6 psi]。原水来自海滩井滤出水，TDS 为 38,000 mg/L，污泥密度指数 (SDI) 小于3。进水流量为 11,190 m³/d (3 MGD)。产水用于农业灌溉用水。

表 2 简单介绍了 Aragua 海水淡化厂原有 Permasep RO 装置的关键设计参数与改造可选方案的关键参数。采用 FILMTEC™ 螺旋卷式膜元件的设计可选方案基于 0.8 的污染因子 (FF)，这污染因子对原水为海滩井滤出水，运行周期为 3 年的螺旋卷式膜元件来说是很典型的。由于所有可选方案均采用 11,190 m³/d (3 MGD) 的相同进水流量，因此预处理系统的处理能力无需调整。

表2: Aragua 海水厂反渗透 (SWRO) 的改造可选方案。^a

参数	Permasep	可选方案 1 降低能耗， 提高水质	可选方案 2a 增加产水量， 提高水质	可选方案 2b 增加产水量， 提高水质	可选方案 3 增加产水量， 提高水质
产水量, m ³ /d (MGD)	4,700 (1.2)	4,700 (1.2)	5,936 (1.6)	5,936 (1.6)	6,720 (1.8)
回收率, %	42	42	53	53	60
进水压力, bar (psi)	74 (1,072)	59.6 (864)	68.7 (996)	68.3 (991)	72.8 ^b (1,056)
膜元件	杜邦公司的中空 纤维膜元件 B-10	SW30HR LE-400	SW30HR-320	SW30HR LE-400	SW30HR LE-400
RO 装置设计, 压力 容器数量 (膜元件 数量 / 压力容器)	—	55 (6)	74 (7)	60 (7)	44 (6)+34 (6)
通量, L/m ² /h (gfd)	—	15.97 (9.4)	16.06 (9.5)	15.85 (9.3)	16.10 (9.5)
产水 TDS, mg/L	268	191	220	225	233

^a 自 2004 年 8 月以来的运行值
^b 第一段进水压力；第二段进水压力增加 12 bar (174 psi)。

可选方案 1
降低能耗，
提高水质

可选方案 1 采用 FILMTEC™ SW30HR LE-400 元件，其产水量和回收率都与 Permasep RO 装置初始产水量及回收率与相同，分别为 4,700 m³/d (1.26 MGD) 与 42%。进水压力要求为 59.6 bar (864 psi)，大大低于 Permasep RO 装置下的进水压力 (74 bar, 1073 psi)。因此，必须通过调整或节流来降低高压泵的出力。产水质量得以显著提高，且产水 TDS 为 191 mg/L，比初始的 Permasep RO 装置的产水 TDS 降低 29%。

改进可选方案内容
可选方案 2
增加产水量，
提高水质

在可选方案 2 中，因螺旋卷式膜元件的运行压力比较低，从而可以通过降低高压泵的出力的方式，将回收率从 42% 提高到 53%。进水流量与 Permasep RO 装置的初始进水流量相同，但是产水流量却可增加 26%。基于相同的进水温度及进水 TDS 条件下，单段式 RO 设计所能达到的最高回收率是 53%，仍符合陶氏公司设计导则中关于 FILMTEC™ 膜用于海滩井滤出水作为 RO 进水的规定。如果要进一步提高回收率，则会导致浓盐水流量低于设计导则中建议的最低浓水流量或超过单个膜元件允许的最大回收率。

可选方案 2a 与可选方案 2b 分别采用 FILMTEC SW30HR-320 元件或 FILMTEC SW30HR LE-400 元件。FILMTEC SW30HR-320 元件使用 0.86mm (34mil) 的宽进水流道，这样可以降低沿膜元件水流方向的压差，同时可实现进水通道更有效的清洗恢复。由于其抗污染的能力的改善，该膜元件尤其适用于具有较高污染可能性的进水。对水质一般及较好的进水，最好采用具有 0.71mm (28mil) 进水流道的 FILMTEC SW30HR LE-400 膜元件，因为在相同产水通量条件下，其有效膜面积要比 FILMTEC SW30HR-320 元件大 25%，从而可使所需的膜元件数量减少 25%。两种系统可选方案的进水压力及产水品质基本一致，因为两种膜元件都工作在相同的产水通量条件下，并且这两种膜元件都采用了相同类型的膜片。尽管回收率增加了 26%，但其进水压力与产水 TDS 仍然大大低于采用 Permasep 的 RO 装置。

可选方案 3 增加产水量， 提高水质

为进一步提高回收率，在可选方案 3 中 RO 系统采用了两段式设计，其一段和二段的压力容器比为 44:34，压力容器为 6 芯装。第二段的进水压力用增压泵增至 82.4 bar (1,195 psi)，升高了 12 bar (175 psi)，已经接近这些膜元件的最大允许压力。过去 FILMTEC™ 元件的最大建议运行压强为 70 bar (1,000psi)。由于近些年膜元件稳定性得到提升，最大允许压力被提升至 83 bar (1,200psi)。该项进步使膜元件可以工作在较高的渗透压力下，从而将回收率提升至 60% 乃至更高。同时膜元件脱盐率的改善也抵消了由高回收率带来的高透盐率方面的不足。

为平衡两段的产水流量并且尽量缩小第二段增压泵的大小，需要给第一段施加 8 bar (116 psi) 的产水背压。但是第一段的进水压力仍比 Permasep RO 装置低 1.2bar (17 psi)，且总产水的 TDS 也比 Permasep RO 装置低 15%。

能耗成本

表 3 是 3 种改造可选方案的能耗成本比较。能耗成本大约占总成本的 30% 至 35%。在能耗方面，可选方案 2a 与可选方案 2b 相同，归结为可选方案 2。对于可选方案 3，进行能耗计算需考虑第二段增压泵后的进水压力。

所有可选方案的能耗需求与 Permasep RO 装置相比都显著下降。这是因为用于改进的低能耗膜元件具有较高的透水率。可选方案 1 可以直接与 Permasep 设计进行比较，因为它们具有相同的系统回收率与处理能力。同样产水量条件下，其能耗成本可降低 18.2%。可选方案 2 与可选方案 3 具有更高的回收率，分别可节省能耗达 15.6% 与 4.6%。

能耗内容

表 3: 改进可选方案的能耗成本比较

参数	Permasep	可选方案 1	可选方案 2	可选方案 3
系统回收率，%	42	42	53	60
RO 进水压力，bar (psi)	74 (1,073)	59.7 (866)	68.7 (996)	81.2 (1,178)
RO 系统压差，bar (psi)	0.01 (0.15)	1.2 (17)	1.0 (14.5)	2.9 (42)
高压泵与电机效率，%	85%	85%	85%	85%
能源回收效率，%	85%	85%	85%	85%
能耗，kWh/m³ (kWh/gal)	3.35 (0.012)	2.75 (0.010)	2.83 (0.01)	3.20 (0.012)
用电成本，\$/kWh	0.080	0.080	0.080	0.080
能耗成本，\$/m³ (\$ / 千加仑)	0.268 (1.02)	0.220 (0.83)	0.226 (0.86)	0.256 (0.97)
与 Permasep 的能耗成本比较，%	100.0	81.8	84.3	95.4

改造后的
工厂性能

2003 年 3 月，2# RO 装置中的 B-10 Permasep 反渗透膜元件被有效膜面积可达到 37 m² (400ft²) 的 FILMTEC™ SW30HR LE-400 螺旋卷式元件所取代。SW30HRLE-400 膜元件的标准化脱盐率与产水量分别为 99.75% 和 28 m³/d (7500 gpd)。2# RO 装置的运行参数包括：

- 产能：4,700 m³/d (1.24 MGD)
- 系统回收率：42%
- 温度：22.4 °C (72.3 °F)
- 进水 TDS：38000 mg/L
- 配置：60 个压力容器 (6 芯装)，FILMTEC SW30HR LE-400
- 平均产水通量：15.41 L/m²/h (9.1 gfd)
- 初始进水泵 (节流)

改造后的 RO 装置由 60 个压力容器构成，每个压力容器有 6 支膜元件。原水来自海滩井滤出水。由于对产水质量有严格要求，不可能按照可选方案 2 与可选方案 3 的方法来增加回收率。因此可选方案 1 才是最佳选择，能保持之前 Permasep 装置的进水流量与回收率不变。新膜元件更高的产水能力并未用于提升现有工厂的产水量。相反，泵的高压被调整节流到了螺旋卷式膜元件的所要求压力范围。表 4 是 2# RO 装置在启用时及运行 20 个月后的运行参数与改造设计值及仍然运行中的 Permasep 1# RO 装置的运行参数的进行比较的情况。

表 4：采用 Permasep 设计与采用 FILMTEC™ 元件改进设计的性能

	进水压力 Bar (psi)	产水通量 L/m ² /h (gfd)	产水 TDS mg/L
Permasep 1# RO 装置	74 (1,050)	—	268
使用 FILMTEC 元件进行改造的设计值 (基于 3 年后)	59.7 (850)	15.41 (9.1)	212
改造后的 2# RO 装置，启用时 (标准化)	56.9 (800)	15.41 (9.1)	207
改造后的 2# RO 装置，启用后 20 个月 (标准化)	57.5 (834)	15.41 (9.1)	193

采用陶氏公司的 ROSA 设计程序对 2# RO 装置的运行数据进行了标准化到下列条件：22.4° C (72.3° F) 温度下，产能为 4,700 m³/d (1.24 MGD)，回收率为 42%。由于采用 Permasep 的 1# RO 装置的性能也在上述条件下测得。采用 FILMTEC™ 膜元件的 2# RO 装置的设计压力时，是基于污染系数设定为 0.8 (原水为海滩井滤出水，RO 装置运行时间为 3 年的情况)。启动 20 个月后，2# RO 装置的进水压力为 57.5 bar (834psi)，根据此运行数据计算得到的污染系数为 0.94。改造后 RO 装置的进水压力比采用 Permasep 的 RO 装置的进水压力显著降低 (压降为 16.5 bar, 239 psi)。

启动 20 个月后，2# RO 装置的产水 TDS 低于采用 Permasep 的 1# RO 装置的产水 TDS，也低于运行 3 年的设计值。自启用后从未进行过清洗。

结论

Permasep 中空纤维反渗透 (RO) 技术从市场上的退出给采用螺旋卷式 RO 元件改造中空纤维 RO 设备提供了绝佳的机会。本文提供了 3 种可选改造方案，可在有的有限资本投入下提高工艺经济性 & 产水质量。其中一种可选方案在西班牙 Agragua 海水淡化厂的海水反渗透装置上运行 20 个月后，在没有进行任何清洗的情况下，降低透盐率达 28% 并且降低进水压力达 16.5 bar (239psi)。能耗成本降低达 21%。

FILMTEC™ 膜元件

抗污染膜元件与非氧化性灭菌剂间歇投加结合使用的经验

项目信息

地点：

德国

用途：

在不使用氯或者其他氧化剂的情况下控制生物污染

性能：

经过将近4年的稳定运行，没有发现生物污染，每年仅需清洗元件一至两次



工程公司 VA Tech 在新建的水处理厂中放弃了投加氯的方式，转而采用间歇投加非氧化型灭菌剂与抗污染膜相结合的方式，利用附近 Weisse Elster 河的河水生产工艺用水。（照片由 Infra-Zeitz 提供）

项目介绍

位于德国莱比锡（Leipzig）以南的蔡茨（Zeitz）的一个加氢厂原址上建立了一个新的工业园区。Radici Deutschland GmbH 是一家为聚酰胺 6.6 生产己二酸和其他中间体的厂商，于 2001 年在该园区中建立了一家集成聚酰胺厂。同时，其他公司也在园区中建立了生产设施。本地企业 Infra-Zeitz 建立了良好的基础设施，为园区中公司提供用水、蒸汽、工业用气以及废物处理。工艺用水来自附近的 Weisse Elster 河流，并经反渗透（RO）和离子交换技术处理制成。莱比锡（Leipzig）和哈勒（Halle）工业区的其它反渗透系统也同样采用该河水作为水源，但是大部分反渗透系统都有生物污染的问题。为此，工程公司 VA Tech¹ 在为 Infra-Zeitz 建设 200 m³/h 的新的水处理厂的时候，决定采用一种新处理工艺。该工艺采用无氯系统，其将非氧化性灭菌剂间歇投加的方法和抗污染膜元件 FILMTEC™ BW30-365FR（现已更名为 BW30FR-365）相结合使用。

项目背景

RO 工厂正常运行的主要威胁来自污染。污染会导致水流在穿过膜元件的进水流道时阻力增大（压差增加），从而增加能耗。污染还会导致清洗频次增加，从而缩短膜元件的使用寿命，同时增加了系统运行成本。在各种污染类型中，最隐匿的当属生物污染。许多采用地表水作为原水的 RO 工厂都会遭受生物污染。生物膜是一种生命有机体的基体，能够适应生存环境并不受破坏性影响的伤害，比如水流剪切力或化学消毒物质。RO 膜表面是细菌生存和滋生的理想场所，因为这里高浓度的营养物质源源不断，且位于生物薄膜下，水流剪切力低。

背景介绍

目前已有许多方法用来控制 RO 系统中的生物污染。本文介绍的方法是将细菌附着力低的抗污染膜元件与非氧化性灭菌剂间歇投加结合使用。其协同效果已经得到论证²，并在世界最大的污水回收系统之一的新加坡污水回收系统中成功应用。本案例（Infra-Zeitz）的独特性在于：为防止预处理中天然有机物分解成更多的生物可降解碎片，未使用氯或者其他氧化剂。

反渗透膜元件

抗污染 RO 膜元件 FILMTEC BW30-365FR 是在标准膜元件 FILMTEC BW30-365 的基础上进行改进。该元件的主要特点有：34 m² (365 平方英尺) 的有效膜面积、0.86 mm (34 mil 密耳) 宽的进水流道以及采用短膜叶片卷制而成。进水流道的设计和宽度可以帮助降低进水流道堵塞的可能性并改善元件的清洗恢复性。膜叶片长度的缩短有助于降低膜片内部的产水阻力，从而实现膜表面更加均匀的分水分布。特别是可以避免产水管附近膜片出现高通量和高污染率的情况发生。膜元件的优化设计通过采用生产过程的自动化、精密加工来实现。

抗污染膜本身还是一种基于 FT30 聚酰胺复合反渗透膜，经化学改性后，其膜表面不易附着和滋生细菌。这种抗污染 (FR) 膜表面很光滑，像玻璃一样具有亲水性，并且有很强的表面负电荷。该抗污染膜片与标准膜片具有相同的化学稳定性，能够在 pH 值为 1 至 12 的范围条件下进行清洗。FILMTEC BW30-365FR 元件的特性为：在压力为 15.5 bar (225 psi) 及温度为 25° C 条件下，对 2,000 mg/L 浓度的氯化钠测试溶液，可实现 36 m³/d (9,500 加仑 / 天) 的产水量和 99.5% 的脱盐率。

非氧化性灭菌剂

DBNPA (2, 2- 二溴 -3- 氰基丙酰胺) 是一种快速起效的非氧化性灭菌剂，在低浓度下即有非常好的效果。接触到它的微生物会被迅速杀灭，此机理似乎是与细胞膜的蛋白质成分进行反应并使其酶系统失活。绝大部分微生物会在 5 至 10 分钟内被杀灭。在水生环境中，DBNPA 会迅速分解为二氧化碳、氨和溴化物，因此可确保环境安全。其使用方式既可为持续少量投加方式，比如在 RO 系统运行 (高浓度冲击性投加) 条件下的间歇性投加，也可为停产就地化学清洗 (CIP) 时候使用。最常用的方式为间歇型高浓度冲击性投加。

原水供给和
预处理工艺

原水取自河水表面。Weisse Elster 河的流速和水质变动较大，如表 1 所示。有机负荷与大量细菌表明具有高生物污染风险。相对较低的特定紫外线吸收 (SUVA) 值则说明具有高含量的低分子有机物与高生物可降解性。⁴ SUVA 的计算采用 UV-254/DOC 比率 (可溶性有机碳)。

表 1. 2001 年 5 月至 2002 年 9 月期间 Weisse Elster 河水的流速与水质

属性	单位	最低	最高
流速	m ³ /s	3.9	67.9
温度	°C	0.3	20.4
pH 值	—	7.7	8.8
电导率	mS/m	54	171
COD ^a	Mg/L	16	28
DOC ^b	Mg/L	3.2	6.2
UV-254	1/m	7	12.8
SUVA ^c	m ² /g	2.2	2.1
AOX ^d	µg/L	18	46
菌落数量	1/mL	800	50000
大肠菌数量	1/mL	20	2000

备注：^a 化学需氧量；^b 可溶性有机碳；^c 特定紫外线吸收；^d 可吸收有机卤素。

现有的预处理工艺为：先使用格栅滤除大颗粒，然后在原水泵出口注入 5 mg/L 的氯化铁絮凝剂。在絮凝池的入口投加阴离子助凝剂 (0.25 mg/L)。絮凝物在斜管沉淀池中加入以分离，再进入敞开式砂滤池进一步过滤，敞开式砂滤池床深 1,100mm，滤砂大小在 1.0 mm 至 1.6 mm 之间。预处理系统产水要求悬浮固态浓度 (SS) 不高于 10 mg/L。

前端产水由产水箱收集，然后通过增压泵输送到新 RO 系统。RO 装置前采用热交换器以保持水温不低于 14°C。在水进入压力式砂滤器之前，再通过投加 2 mg/L 的氯化铁以提高过滤效果。采用 5 微米自清洗过滤器和 3 微米保安过滤器对 RO 进水进一步过滤。在 RO 高压泵的进水端投加阻垢剂 (2 mg/L 的 Aktiphos 640)。

RO 系统

RO 系统由三套独立的 RO 装置构成，每套 RO 装置的产水流量设计为 66.7 m³/h (300 gpm)，系统回收率为 80%。RO 装置采用三段式设计组成，每套 RO 装置的三段分别采用了 10 个、5 个和 3 个压力容器，压力容器为 5 芯装，3 套 RO 装置总计使用了 270 支 FILMTEC BW30-365FR 元件，系统平均产水通量为 22 L/m²/h (13gfd)。

压力容器和各种管路皆采用不锈钢制造。每个压力容器都能单独取水样及做探针实验。每段的前后都安装有压力计。RO 产水被收集到水箱中。部分产水(50m³/h)进入后端的两套 2B3T(阳离子交换器、除气器、阴离子交换器) + 混床的离子交换系统中进行进一步的除盐。其中的离子交换树脂为陶氏公司的 DOWEX™ MARATHON™ 树脂。

RO 系统的运行

第一套 RO 装置是 2001 年 5 月启用的，第二套紧接着在 2001 年 7 月启用，第三套在 2002 年 7 月启用。在需水量较低的时候，会关闭一套 RO 装置。RO 装置停机时，膜元件在低压下用进水冲洗，然后再用产水冲洗。在停机期间，RO 装置每 15 个小时用产水冲洗一次。在运行期间，RO 装置浓水阀门每 2 个小时开启一次，进行 10 分钟的冲洗。

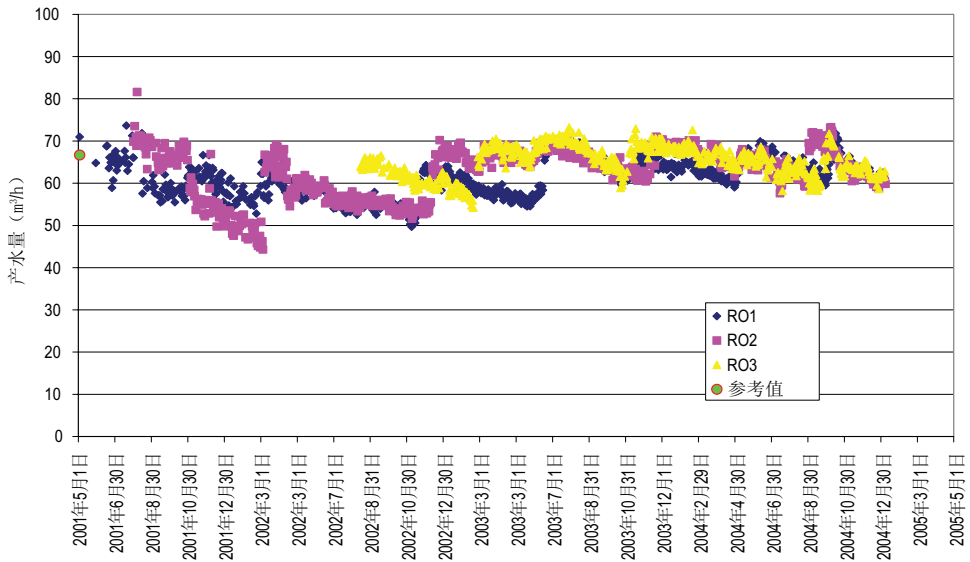
RO 装置运行期间，向进水中投加 20mg/L 浓度的 DBNPA，持续一个小时。在投加期间浓水中的细菌菌落数通常为 0，在投加之前可能高达 100,000/mL。

清洗流程由三个清洗步骤顺序构成：在 pH 值为 11.5 的条件下用表面活性剂和酶进行碱性清洗；在 pH 值为 1.8 的条件下用无机酸和有机酸进行酸性清洗；在 pH 值为 11 到 12 的条件下进行最后的碱性清洗。每段都独立清洗，每一步清洗完后，都采用 40° C 热水冲洗 45 分钟（保证每一支压力容器中的水量为 10 m³/h）。为取得更好的清洗效果，需将膜元件在碱酶清洗液中浸泡过夜。

RO 性能标准化

RO 系统的设计是基于在特定条件下，特定的进水水质及平均温度，以达到特定的产水要求。RO 系统设计的启动性能是指新膜元件采用已公布的方法预测得到的性能。在实际中，进水水质与温度的变化较大，产水流量与回收率不能稳定维持。进水压力在 8 至 13 bar 之间波动以获得要求的流量，并且产水的电导率也在 7 至 20µs/cm 之间波动，这就要求必须对数据进行标准化，以对预期性能与实际性能进行比较。陶氏公司的标准化程序 FTNORM[®] 基于 ASTM 标准 D4516，并考虑实际运行条件。如果系统运行在设计条件下，它能够随时计算系统性能，图 1 显示了每 RO 套装置在 3 年多时间里的标准化产水流量。

图 1：产水流量（按照设计的启动性能进行标准化）

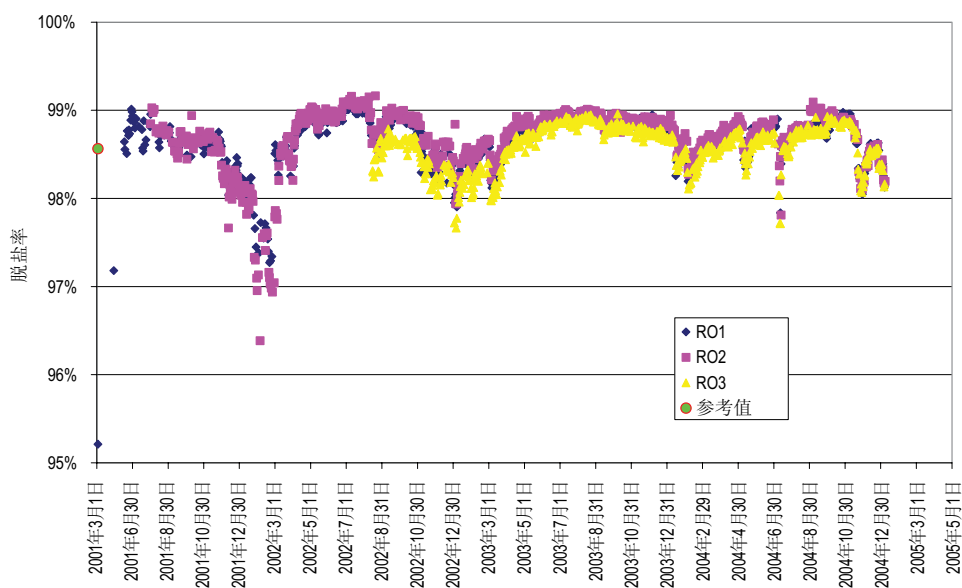


RO 性能标准化

每套 RO 装置开始时的性能都与 66.7 m³/h (300 gpm) 的参考启动设计相一致。第一年的可见污染率为每 2 至 3 个月产水流量损失大约 10%，随后是每 6 个月损失大约 10%。标准化流量出现 10% 的损失就意味着应启动清洗程序。目前为止，第 1 套 RO 装置在 39 个月里清洗了 6 次，第 2 套 RO 装置在 37 个月里清洗了 3 次，第 3 套 RO 装置在 24 个月里清洗了 2 次。前两年时间里，在清洗前可允许膜有超过 10% 的流量损失。不过之后，每当标准化流量损失达到初始设计值的 10% 的时候就需启动清洗。用这种方法，RO 系统始终能够保持在每小时 60 至 70 m³/h (308 至 264 gpm) 的出力下运行。2004 年 8 月，3 套 RO 装置的产水流量均接近初始值，根据膜元件的标称规格，膜元件像新品一样运行。

图 2 描述了同期 RO 系统的脱盐率情况。图 2 中左侧第一个数据点 98.6%，98.6% 的系统脱盐率为参考脱盐率，式新膜元件在设计条件下的系统预期脱盐率。而膜元件平均脱盐率为 99.5%。在初期的 O 型密封环泄漏被修补后，第 1 套 RO 与第 2 套 RO 的测量数据经标准化后的脱盐率与参考脱盐率一致，并一直保持到 2001 年 12 月。随后脱盐率下降到 97%，但在清洗后又恢复到参考值。在随后的几个月中，第 1 套 RO 与第 2 套 RO 的脱盐率稳定在 99% 左右，随后在 2003 年 2 月前降低到参考值。有趣的是，第 1 套 RO 与第 2 套 RO 的性能表现基本一致并有同样的波动情况。除了因部分 O 型密封环泄漏而导致脱盐率略低外，第 3 套 RO 也符合这种脱盐特性。

图 2：系统脱盐率（根据设计启动性能标准化）

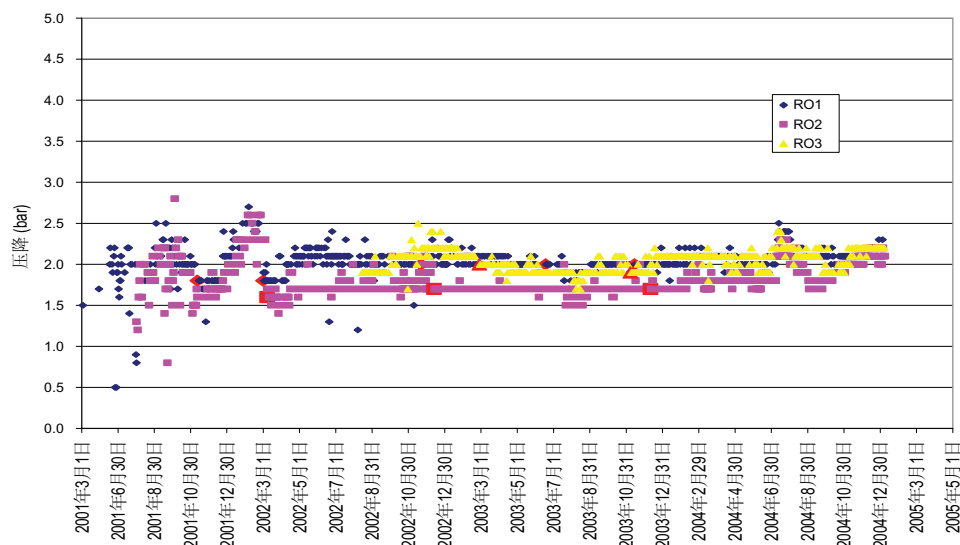


RO 系统脱盐率每年有规律的变化，冬季会短期下降。下降的部分原因是膜受到了污染，不过原水水质下降也是原因之一。2002 年初的脱盐率下降正是该条河流发生洪水的时间，洪水导致原水电导率下降。经三年多的运行后，所有三套 RO 装置的脱盐率均与初始设计值相符合。

RO 性能标准化介绍

RO 系统压差，即浓水与进水之间的压力差，是进水格网是否有污堵的一个敏感指标。生物污染的发生首先导致压差上升，特别是在第 1 段。本 RO 系统的压差见图 3 所示。每套 RO 装置的压差大约为 2 bar，波动范围在 1.5 至 2.5 bar。该值为三段的总压差（其三段串联了 15 个压力容器），并低于基于新膜元件的 RO 系统的预期压差。这可以说明 RO 系统中不存在生物污染。

图 3: 从进水到浓水的系统压差



实际测量性能 与预测性能

2002 年 11 月 18 日, 在清洗前, 对第 1 套 RO 进行了水质采样, 以检验膜性能。先对当时条件下的设备性能用 ROSA[®] 进行预测, 然后再与实际测量结果进行比较。实际测量压力比根据新膜元件计算的压差高 15%。这与清洗前的标准化流量一致。采样时原水的电导率非常低, 只有 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。测得的产水电导率为 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 与 6.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 的预期产水总溶解固体物 (TDS) 相对应。测量产水与预期产水的氯化物浓度相一致, 都是 0.6 mg/L。RO 系统进水和产水中硝酸盐与二氧化硅的实测值低于预期值 (分别为 1.6 mg/L 比 2.1 mg/L; 0.07 mg/L 比 0.14 mg/L)。该 RO 系统在回收率为 80% 时的 DOC 去除率为 97%。

结论

根据三年多的现场经验来看, 该 RO 系统选择采用抗污染膜元件与每周冲击性投加非氧化性杀菌剂 DBNPA 相结合的做法是成功的。RO 系统中未检测到生物污染, 且每年只需要进行 1 次至 2 次化学清洗。在整个观察期中, RO 膜元件性能与新品相差无几, 未发生产水流量与系统脱盐率的不可恢复性下降。在 pH 值为 12 与温度 40°C 条件下进行化学清洗不会给 RO 系统脱盐率及后续的膜污染速率造成任何负面影响。

鸣谢: 由 Infra-Zeit 的 Kurt Hollger 提供详细信息和操作数据。

本文由陶氏化学公司的 Peter Sehn 撰写, 首次发表于 2003 年的第 9 届亚琛膜学术研讨会 (出版商: www.verlag-mainz.de)。

参考文献

1. VA Tech Wabag Deutschland GmbH Co.KG, Standort Leipzig, Baumeisterallee 13-15, D-04442 Zwenkau, Germany, Tel. +49-(0)34203/390
2. Coker, S., Sehn, P. (2000). Four years field experience with fouling resistant reverse osmosis membranes. Desalination 132, 211-215.
3. Gay, E.H., Ravi, C., Hoehn, K.-U. (2002). Water reclamation – The Jurong Island experience – SUT Seraya (Singapore) using fouling resistant RO membranes to reclaim wastewater. Proc. IDA World Congr. Desalination and Water Reuse, Manama, Bahrain, March 8-13, 2002.
4. Hozalski, R.M., Bouwer, E.J., Goel, S. (1999). Removal of NOM from drinking water supplies by ozone-biofiltration. Proc. Int. IAWQ-IWSA Conf. on Removal of Humic Substances from Water, Trondheim, Norway, June 24-26, 1999.
5. FTNORM normalization software can be downloaded from www.filmtec.com.
6. ROSA FILMTEC system projection software can be downloaded from www.filmtec.com.

FILMTEC™ 膜元件

FILMTEC 膜元件在台湾大型石化厂双膜法废水回用系统中的应用。

项目信息

地点：

台湾

用途：

废水回用以解决干旱时节的水短缺问题

运行时长：

3 年

性能：

回用废水的水质高于市政用水；设备运行三年多状况良好



中美石化有限公司采用 FILMTEC™ 膜元件回用废水，解决干旱时节的水资源短缺问题。（照片由中美石化有限公司提供）

项目介绍

台湾的中美石化有限公司（CAPCO）是世界上产量最大的纯化对苯二酸（PTA）工厂。该厂的生产工艺和公用系统每天需要消耗大约 40,000 立方米的淡水。其生产工艺、冷却塔排污水和除盐水系统再生装置每天也要产生 20,000 立方米废水。废水被排入本地的污水处理中心，最后被排入大海中，允许的排放量为每天 22,000 立方米。

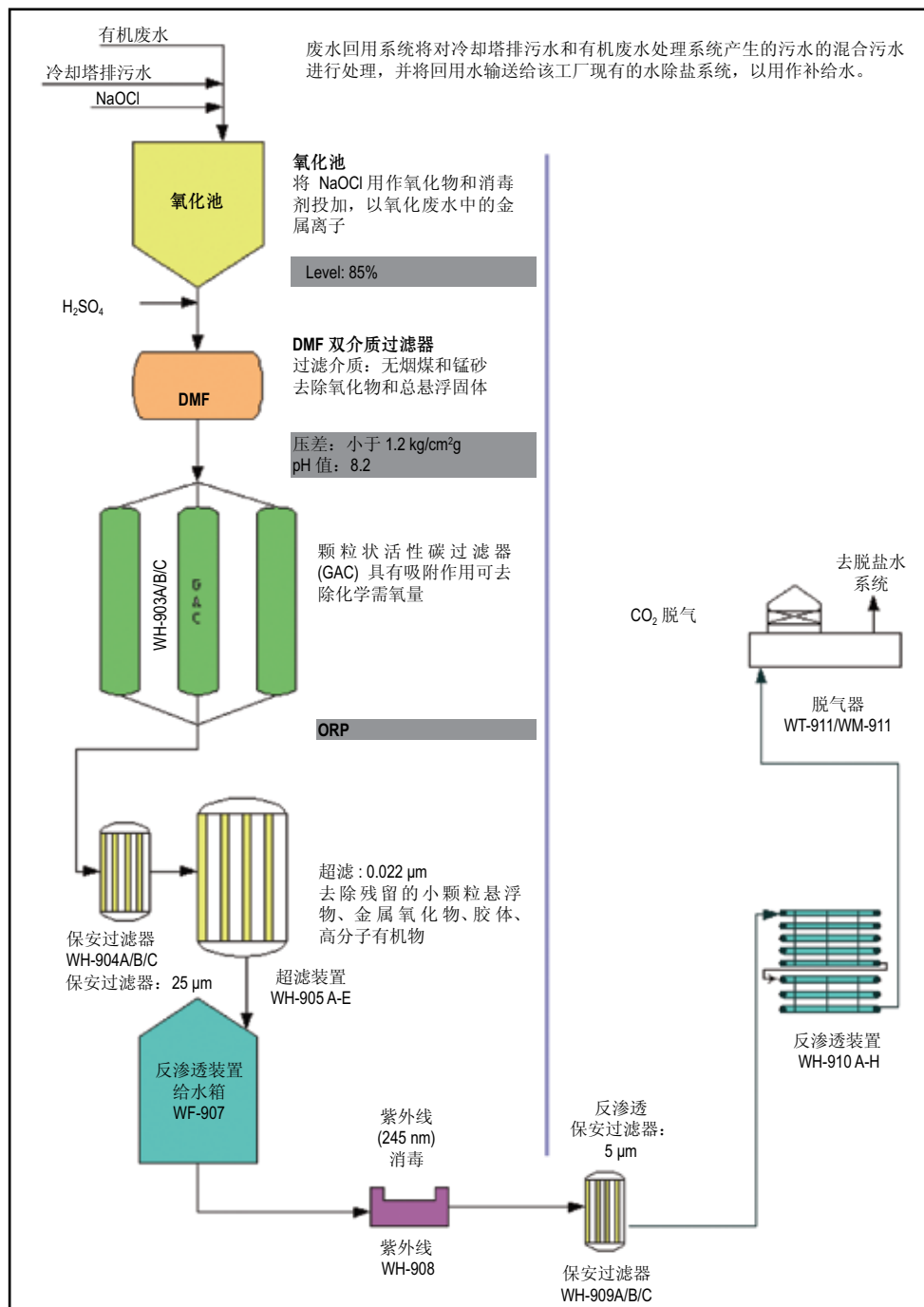
由于该厂所在的地区属于水源短期地区，会发生季节性干旱，干旱时节的水配给供应给工厂带来了运行上的难题，导致工厂生产能力下降。此外，由于咸潮侵入淡水资源，原水的总溶解固体物（TDS）浓度不断上升，缩短了工厂的离子交换除盐（DI）系统的生产周期。为解决干旱时节的水短缺问题和为将来的工厂扩建做好准备，该厂对采用由超滤 / 反渗透（UF/RO）构成的双膜法处理系统进行污水回用的方案进行了调研。在 1995 年 7 月到 1996 年 8 月间，该厂进行了日产 110 立方米（m³/d）处理量的中试研究，随后于 2000 年 4 月上马了 6,600 m³/d 的大型废水回用系统。本案例研究回顾了反渗透膜作为该双膜法废水回用系统的关键工艺三年来的性能状况 1。反渗透系统采用的膜元件为陶氏公司的 FILMTEC™ BW30-400 元件。

最终工艺设计

该系统最终的工艺流程图见图 1。双介质过滤器（DMF）为三个，其中填料为锰砂和无烟煤介质组成，锰砂和无烟煤的粒径分别为 0.55±0.5mm 和 1.1±0.05mm。DMF 设计出力为 148m³/h/套。

超滤（UF）膜组件为中空纤维结构、聚砜材料，具有各向异性微孔结构，能够滤除截流分子量在 100,000 道尔顿以上的微粒（KOCH 公司 UF 膜产品，型号为 PM100，6 英寸 x 48 英寸）。该超滤系统共有五组 UF 膜架，每组 109 个 UF 膜组件，总计采用了 545 个 UF 膜组件。

图 1. 最终工艺流程图



该超滤系统的回收率为 92%。产水设计通量为 85.9L/m²/h (50.6gfd)。超滤膜组件采用超滤产水频繁反冲洗和快速清洗。典型的反冲洗/快速清洗操作每 60 分钟进行一次，时长为 3.83 分钟。这个流程可由可编程逻辑控制器（PLC）自动执行。紫外灭菌器是 WEDECO 生产的，流量为 342.9m³/h。进水中典型大肠杆菌数每 100mL 少于 500 个，出水中大肠杆菌数每 100mL 少于 50 个。

反渗透 设备的启用

反渗透装置由两段构成（第一段的压力容器为 5 个，第二段的压力容器为 3 个）。每套 RO 装置的产水能力为 39 m³/h，回收率为 80%。反渗透膜选用了 FILMTEC™ BW30-400 元件，因其产水率高，能够良好地去除盐和有机物。由于预期的水质较好，特别是污泥密度指数（SDI）比较理想，平均产水通量被定在较高的 22 L/m²/h（13gfd）。但是，由于给水结垢的可能性较大（给水中二氧化硅、硬度和重碳酸盐浓度较高），建议同时采用加酸和投阻垢剂的方式。

反渗透 设备的性能

整套废水回用系统在 2000 年 4 月开始全面运行。最终的水质在锰、化学需氧量（COD）和电导率方面均符合产水水质的要求。通过结合使用双介质过滤器（DMF）、颗粒活性炭（GAC）和超滤（UF），去除了 40% 到 50% 的 COD。但是，仍有超过 50% 的较小分子量有机物通过了超滤膜。由于主要的 COD 成分为小分子量化合物，包括对二甲苯、苯甲酸、甲基苯甲酸、乙酸和对苯二酸（TA），反渗透膜对其脱除率在较高的范围内。该反渗透工艺对获得高质量的回用水具有关键性的意义。

2001 年 5 月，由于氯氧化问题，造成 8 套 RO 装置中的 5 套中的膜元件被替换（B 套，E-H 套），这个问题已经得到解决。自那时起，每套 RO 装置一直运行在 30m³/h 的产水流量下，其中两套 RO 装置处于待机状态。RO 装置运行压力一直保持在 10-13kg/cm²，相比之下在设计处理能力下的估测压力为 18 kg/cm²。

图 2 和图 3 体现了产水电导率的变化。图 2 是整个 RO 系统的混合产水水质，图 3 是三套更换了新膜元件的 RO 装置（B、E 和 G 套）的运行数据。由于另外三套 RO 装置（A、C 和 D 套）仍然使用旧膜元件，故混和产水的电导率与使用新膜元件的装置的产水电导率相比略高。不过，近三年来，在给水电导率为 3,850 uS/cm 的情况下，产水电导率达到了要求的 240 uS/cm 的水平。

图 4 是以三套 RO 装置（B、E 和 G 套）为例，总结的以电导率为基础的脱盐率数据情况。可以看出，所有的膜元件均工作在良好的状态下，在采取纠正措施后，没有观察到性能劣化的情况。图 5 是三套 RO 装置（B、E 和 G 套）的标准化产水流量情况。在运行初期的产水流量降低了 10% 到 15%。不过，在这个较短的期间之后，标准化产水流量变得非常稳定，未观察到进一步的产水流量损失。

图 2：2001 年 4 月到 2003 年 3 月间反渗透给水和来自各装置的总产水的电导率

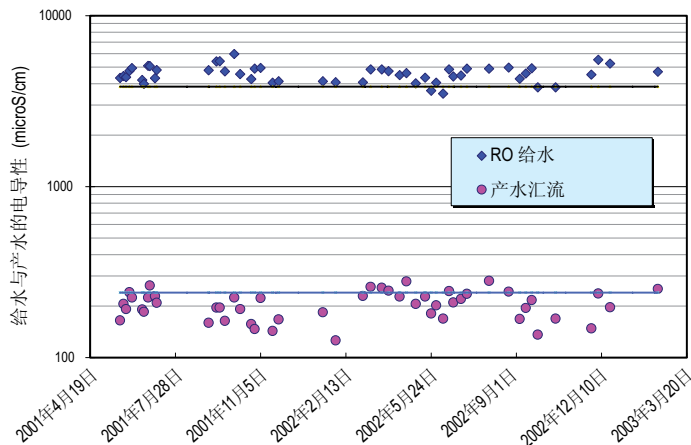


图 3: 2001 年 4 月到 2003 年 3 月间反渗透给水和使用了新膜元件的三套 RO 装置的产水的电导率

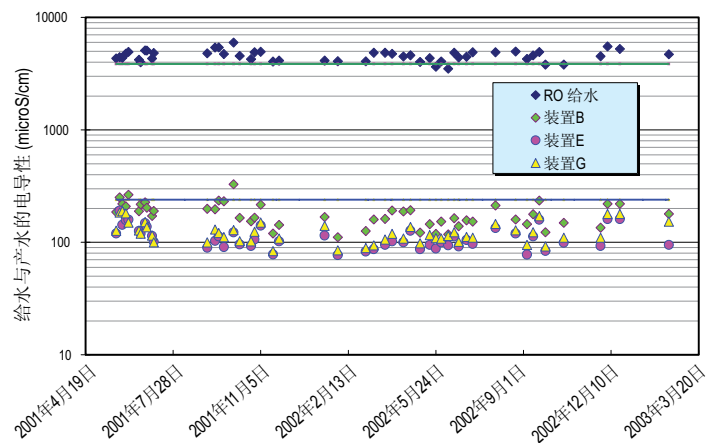


图 4: 采用新膜元件的三套 RO 装置的平均脱盐率数据

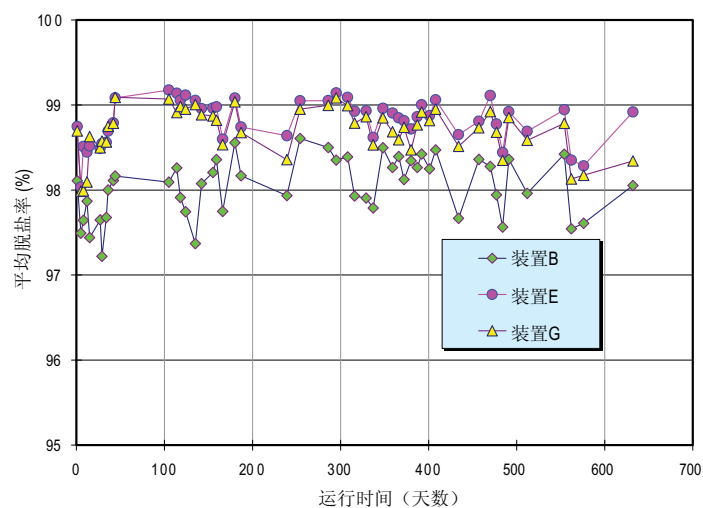


图 5: 采用新膜元件的三套 RO 装置的标准产水流量

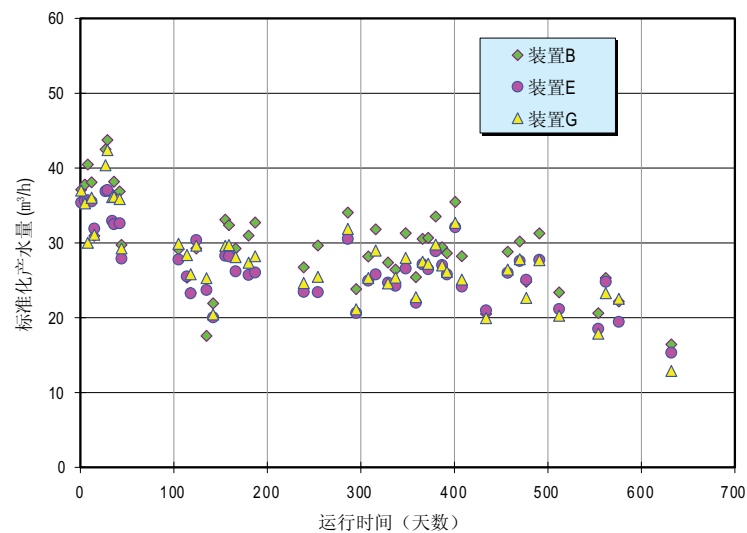
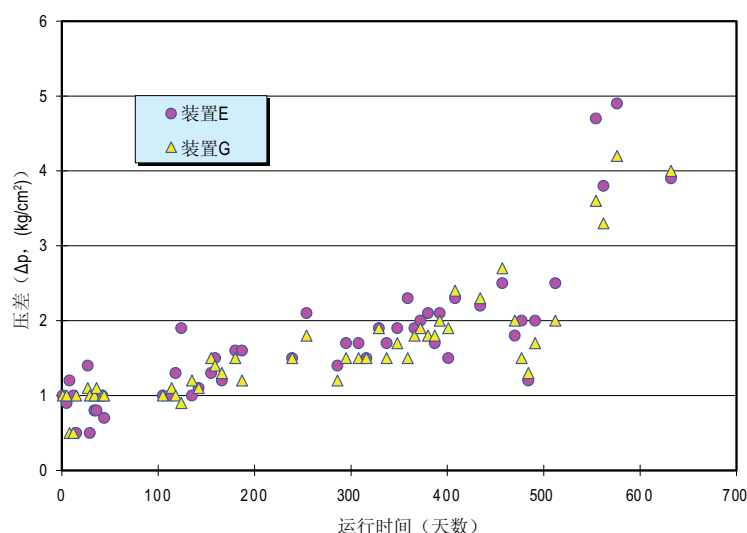


图 6 是 RO 装置两段（1 段和 2 段）的合计真实压力差（ Δp ）。2001 年到 2002 年间，与位于 Chandler（2）的一套类似的双膜法废水回用系统相比，压差（ Δp ）的增长微乎其微。虽然此 RO 系统进水的污泥密度指数（SDI）比 Chandler 厂的进水污泥密度指数（SDI <1）要低很多，但是 CAPCO 厂反渗透系统运行非常稳定。因此其他能导致膜元件污染的因素，比如控制进水中总有机碳（TOC）或者化学需氧量（COD），以及控制生物污染，在防止 RO 膜元件污染和 / 或结垢方面也都具有重要的意义。但是，在 2002 年 11 月底， Δp 突然增加到 4-5 kg/cm²。原因可能是给水水质变差以及 SDI 值升高带来的胶体污染。该厂确认 RO 进水中的 SDI 值升高的原因是某些超滤膜组件损坏的原因。在 2001 年更换新的超滤组件之后，反渗透设备再没有进行过就地清洗（CIP）。但是，由于这种情况的出现，该厂决定在 2003 年 2 月间使用碱性（4 Na-EDTA + NaOH）和酸性（0.1% HCl）清洁剂进行就地清洗。

图 6：两套采用新膜元件的 RO 装置的压差（ Δp ）



结论

经过深入的中试研究，CAPCO 厂设计了一套适合于高化学需氧量（COD）的石化污水回用的反渗透预处理系统。经过合理的预处理系统，反渗透膜（BW30-400）在近两年的运行期间未出现大幅产水流量下降和除盐率下降的情况。另外，还证实了双膜法废水回用系统（UF/RO）能够稳定有效地净化污水的构想。回用水的水质好于市政给水，从而能够延长后端的离子交换除盐系统的再生周期。虽然 RO 系统在运行之初遇到了一些问题，包括结垢和膜氧化，在采取适当的改进措施后，该 RO 系统能够高效、稳定的运行。

鸣谢

陶氏公司在此感谢中美石化有限公司（CAPCO）项目经理 Larry C.C.Hu 作为本文的共同撰稿人，感谢 CAPCO 设备经理 C.C.Lin 先生和技术总监 M.M.Yang 先生为本案例研究提供的支持，同时感谢工艺工程师 M.H.Chang 提供的数据。

参考目录

1. Larry C.C. 和 Yasushi Maeda, 《台湾某大型石化厂一体化膜回用系统的三年运行经验》，国际脱盐协会（IDA）关于海水淡化和废水回用的世界大会，大会会议录，BAH03-083（2003 年）。
2. S. Freeman、George Havey 和 S. Taylor, 《使用超滤作为工业污水反渗透处理系统的预处理，用于控制高污泥密度指数和浊度》，1998 年北美双年会展会议记录，美国脱盐协会，威廉姆堡，弗吉尼亚州，第 31 页（1998 年）。

第 11 部分 附录

常见问题解答

1. 怎样选择合适的产品？

陶化化学水处理及过程解决方案业务部网站提供了交互式的产品选择指南（interactive product selection guide），协助进行离DOWEX™ 子交换树脂和 FILMTEC™膜元件的选用帮助。

此外，用户也可以在液体分离部网站的产品信息网页（product information），根据应用类别（by application），产品类别（by type）或产品大小（by size）进行选择。

已经熟悉 DOWEX™和陶氏 FILMTEC™产品的用户可以直接点击液体分离部网站任一网页的陶氏 FILMTEC™膜元件或陶氏 DOWEX™树脂产品规格表。

2. 当选用陶氏 FILMTEC™膜元件时，对某些具体离子的典型脱除率是什么？

请参阅膜元件的产品规范表，对于非常见离子的脱除率，请参阅本手册有关陶氏 FILMTEC™FT30 典型脱除率数据表。

3. RO 膜元件和 IX 离子交换树脂的进水要求有哪些？

理论上讲，进入 RO 和 IX 系统应不含有如下杂质：

— 悬浮物	— 硫酸钙	— 细菌
— 胶体	— 藻类	— 氧化剂，如余氯等
— 铁、铜、铝腐蚀产物等金属氧化物		
— 油或脂类物质（必须低于仪器的检测下限）		
— 有机物和铁—有机物的络合物		

进水水质对 RO 元件和 IX 树脂的寿命及性能将产生巨大的影响。

4. 陶氏 FILMTEC™ FT30 能耐氯吗？

所有的超薄聚酰胺复合膜，活性氯都会氧化膜表面，引起膜元件对盐份的脱除能力的下降。陶氏 FILMTEC™FT30 膜由于其高交联全芳香化学组成，可以承受 1000ppm·hr 的余氯氧化攻击，微量的金属会加速这一氧化过程，因此，应对 RO 进水进行脱氯处理，请参阅本手册关于从“反渗透进水中脱氯”一节。

RO 膜能脱除哪些杂质？

RO 膜能够很好地脱除离子和有机物，反渗透膜比纳滤膜有更高的脱除率，反渗透通常能脱除给水中 99%的盐份，进水中的有机物的脱除率≥99%。

5. 陶氏 FilmTec 公司销售压力外壳、元件适配接头（俗称手榴弹）和元件联结件吗？

我们不销售压力外壳，元件与外壳间的适配接头（俗称手榴弹）是压力外壳的一个部件，由压力外壳生产商提供。元件联结件是膜元件的一个部件，在每支陶氏 FILMTEC™ 8"膜元件包装箱内各有一个，与膜元件本身一并提供。对于 2.5"和 4"的元件，必须单独购买。也可以从陶氏水处理及过程解决方案另行购买元件联结件或“O”形圈作为备件。

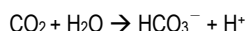
6. 臭氧 O₃ 能作为陶氏 FILMTEC™ FT30 兼容的氧化与消毒剂吗？

虽然臭氧可以用在 RO 进水的预处理部分，但是在进入膜元件之前，应该采取特别的措施除去残余臭氧，UV 紫外辐射可以成功的分解臭氧 O₃，但是，更好的方式是采用活性炭或亚硫酸氢钠，为了消毒杀菌，可以考虑选用新型高效非氧化性的消毒剂 DBNPA 而不是臭氧。

7. 为什么 RO 产水的 pH 值低于进水的 pH 值？

当了解到 CO₂、HCO₃⁻和 CO₃⁼之间的平衡，就能够找到这一问题的最佳答案，在密闭的体系内，CO₂、HCO₃⁻和 CO₃⁼的相对含量随 pH 值的变化而变化，低 pH 值条件下，CO₂ 占主要部份，在中等 pH 值范围内，主要为 HCO₃⁻，高 pH 值范围内，主要为 CO₃⁼。

由于 RO 膜可以脱除溶解性的离子而不能脱除溶解性的气体，RO 产水中的 CO₂ 含量与 RO 进水中 CO₂ 的含量基本相同，但是 HCO₃⁻和 CO₃⁼常常能够减少 1~2 个数量级，这样就会打破进水中 CO₂、HCO₃⁻和 CO₃⁼之间的平衡，在系列反应中，CO₂ 将与 H₂O 结合发生如下反应平衡的转移，直到建立新的平衡。



如果进水中含有 CO₂，则 RO 的产水 pH 值总会降低，对于大多数 RO 系统反渗透产水的 pH 值将有 1~2 个 pH 值的下降，当进水碱度和 HCO₃⁻高时，产水的 pH 值下降就更大。

为数极少的进水，含较少的 CO₂、HCO₃⁻或 CO₃⁼这样看到产水 pH 值的变化就少，某些国家和地区，对于饮用水 pH 值有规定，一般为 6.5~9.0，根据我们的理解，这是为了防止输水管路的腐蚀，而饮用低 pH 值的水，本身不会引起任何健康问题，众所周知，许多市售含碳酸饮料其 pH 值在 2~4 之间。

8. 怎样知道你的膜系统该用何种清洗方法进行清洗？

为了获得最好的清洗效果，选择能对症的清洗药剂和清洗步骤非常重要，错误的清洗实际上还会恶化系统性能，一般来说，无机结垢污染物，推荐使用酸性清洗液，微生物或有机污染物，推荐使用碱性清洗液。

9. 膜供应商推荐那一家清洗药剂供应商？

我们不对清洗药剂供应商作推荐，但是在我们的网站或本手册内提供了常用的清洗方案，以及有关如何确定商用清洗配方与膜系统的兼容性的知识。

10. 怎样发现哪些膜元件需要更换？

如果反渗透或纳滤系统中某一系列或某一支压力外壳的产水，出现含盐量（电导率）异常升高，这就明显地说明，“O”形圈有渗漏或该处的元件有故障。确定故障的关键在于所设计的膜系统应能够方便诊断和鉴别出任何性能有异常的膜元件或系统部件：每支压力容器应设置取样口，装置产水应分段以便于从出现问题的总产水中，追踪到有问题的压力容器，而每支压力容器又应允许从产水管内插入取样管探测产水电导率，以确定故障具体位置。

“O”形圈泄漏是最常见的水质下降的原因，但是如果已经辨别出某支元件有故障时，我们建议将它解剖开来，以确定问题所在，陶氏化学也提供各种膜故障分析的收费服务。

11. 今后什么时候升级陶氏膜系统设计软件 ROSA？

要及时知道 ROSA 软件的升级版本，请申请加入我们的新闻通讯（Streamline）或登录<http://www.filmtec.com/>中 ROSA 网页

12. 陶氏是否有膜分析服务内容？

陶氏有这一服务内容，称为 DIRECTOR ServicesSM，你可以从陶氏液体分离部网站获得有关这一服务的介绍。

13. 怎样将膜应用到新的领域？

对于新的应用领域，膜技术具有显著节能甚至有助于开发出新产品或开创一个新行业的可能。有时使用膜的工艺流程很简单，也有些情况则很复杂，这时应进行可行性的小试并获得放大设计所需的参数，对于膜系统最终用户，我们建议与膜系统供应商和科研院所合作，从事这类小型但难度较大的应用研究工作。

14. 在第一级与第二级 RO 之间，是否应该设置脱气装置？

通常不需要脱气。但是针对特殊的要求和进水组成，有时应选用脱气装置。当需要降低 CO₂ 或 H₂S 含量时，则是设置脱气装置的主要原因，当水中含 H₂S 或周围环境存在飞尘污染可能时，应采取真空脱气方法。

15. 怎样将铁污染清洗掉？

亚硫酸氢钠是最有效的清洗铁污染的方法。

16. 膜元件能否暴露在低于冰点的温度下？

可以。但是如有条件，必须避免，如果膜元件不慎发生结冰现象，使用之前必须缓慢让其融化，而且发生这种情况后，不再符合质保条款。

17. 如何找到产品的图片？

在陶氏水处理产品事业部网站上列有产品、应用和试验图片，或与陶氏代表联系。

18. 饮用水中含硼是否有问题，怎样脱硼？

实验动物结果表明，硼会引发雄性不育症，1993 年世界卫生组织规定饮用水中的含硼量应低于 0.3ppm，人们还发现硼对某些植物在高于 0.2~0.5ppm 时有危害，在海水中硼的含量在 5mg/L，在一些受污染的水中也含硼，它是由含硼的香皂或洗涤剂引进水体的。

在传统的饮用水处理工艺和市政废水处理流程中，不能有效地脱除硼。陶氏 FILMTECTM 膜可用于饮用水脱硼。膜的硼脱除能力主要取决于 pH 值和膜的类型，陶氏 DOWEXTM 树脂也可以用于脱硼。

19. 怎样停运膜系统？

停机程序和保存条件等请参阅本手册相关章节。

20. 什么是 DIRECTOR ServicesSM？

DIRECTOR ServicesSM 是陶氏化学公司对使用陶氏 FILMTECTM 膜和 DOWEXTM 树脂的用户提供一种综合服务，它可以为保证系统得到最佳性能提供有效的建议，包括：

❖ 膜分析	❖ 在线技术支持
❖ 离子交换树脂分析	❖ 培训

在陶氏化学水处理及过程解决方案业务部网站 <http://www.dowwaterandprocess.com/> 中可以找到详尽的介绍。

21. 能否用乙醇或其它醇类保存膜元件？

不推荐用醇溶液保存膜元件。

22. FT30 膜对弱酸如硼酸、砷酸、碳酸或苯酚的脱除能力效果怎样？

这些弱酸的脱除率取决于溶液的 pH 值和它们的离解常数 pK。一般情况下，pH 值越高，解离度就增高，此时可以根据解离度和 pH 值估计脱除率的趋势。

23. 怎样使用杀菌剂 DBNPA？

有两种加药法，间歇加药和连续加药。间歇加药要根据生物污染的严重程度而定，❶当水中生物污染敏感性较低时，采用含有效成份 20%的溶液 50~170ppm，每 5 天给药一次，每次 30 分钟~3 小时；❷但当水中菌落总数 102CFU/mL 以上时或已知有生物污染的系统，采用含有效成份 20%溶液 170ppm，每 5 天给药一次，每次 3 小时，一旦系统生物污染消失，应采用连续加药方式，以上述 20%的溶液，连续给药量 10~15ppm，根据细菌含量的波动，则可以增减给药量，DBNPA 的主要功能是可以抑制进水中细菌含量到极低的程度，防止生物污染。

24. 针对不同的水型和应用，如何选膜？

有许多因素可以影响到膜型号的选择，请参阅本手册或咨询陶氏液体分离部代表。

25. 什么时候选用低能耗或极低能耗的膜元件？

陶氏水处理及过程解决方案的低能耗膜元件为 LE 和 LP 型，极低能耗为 XLE，它们用于要求能耗最低同时仍能实现较高脱盐率和产水量为主要目的的客户。例如我们的极低能耗 XLE 的能耗仅为标准 BW 产品的对应能耗的 50%，但脱盐率较低，请咨询陶氏代表或参考产品规范说明。

26. 进水 TDS 和电导率之间关系怎样？

当获得进水电导率数值时，必须将其转化成 TDS 数值，以便能在软件设计时输入。对于多数水源，电导率/TDS 的比率为 1.2~1.7 之间，为了进行 ROSA 设计，海水选用 1.4 比率而苦咸水选用 1.3 比率进行换算，通常能够得到较好的近似换算率。

27. 怎样知道膜是否已受到污染？

以下是污染的常见症状：

- ❖ 在标准压力下，产水量下降
- ❖ 为了达到标准产水量，必须提高运行压力
- ❖ 进水与浓水间的压降增加
- ❖ 膜元件的重量增加
- ❖ 膜脱除率明显变化（增加或降低）
- ❖ 当元件从压力容器内取出时，将水倒在竖起的膜元件进水侧，水不能流过膜元件，仅从端面溢出（表明进水流道完全堵塞）。

28. 什么时候需要探测膜系统，如何做？

系统脱盐率降低可能是元件的均匀变化，也有可能局限于前端或末端的少数几个膜元件，它可能是整个系统每个压力容器的故障，也可能仅限于几个压力容器。因此，需要测定单支压力容器产水 TDS 值，以及单个膜元件的性能情况，请参阅本手册相关章节，以了解膜元件性能探测方法。

29. 怎样防止膜元件原包装内的微生物滋生？

当保护液出现混浊时，很可能是因为微生物滋生之故。用亚硫酸氢钠保护的膜元件应每三个月查看一次。当保护液出现混浊时，应从保存密封袋中取出元件，重新浸泡在新鲜保护液中，保护液浓度为 1%（重量）食品级亚硫酸氢钠（未经钴活化过），浸泡约 1 小时，并重新密封封存，重新包装前应将元件沥干。

30. 怎样才能使膜系统的能耗降低？

采用低能耗膜元件 LP、BWLE 或极低能耗膜元件 XLE 即可，但应注意到它们的脱盐率比标准膜元件略低。

31. 在膜系统开机之前是否应该赶走系统内的空气？

我们要求必须以低压低流量将空气赶走，才能启动膜系统。该操作的压力在 0.2~0.4MPa 之间，低压冲洗排气时，应让所有的浓水和产水排入下水道，如果压力上升过快，而膜元件和压力容器内还有空气时，将会在元件的水流方向和径向产生额外的冲击力，严重时会使膜的外包皮破裂。

32. 陶氏湿元件是如何保护的？

湿元件一般用 1%（重量）亚硫酸氢钠保护，而超纯水抛光膜元件用 500ppm（重量）亚硫酸氢钠保护。

33. 对压力容器的要求是什么？

压力容器的设计必须符合美国机械工程师协会标准（ASME），最好必须获得 ASME 的标准认证，或者至少应该按照 ASME 的标准要求制造。

34. 陶氏 FILMTEC™ 膜对哪些化合物是稳定的？

膜的稳定性取决于许多因素，例如温度、压力、浓度、pH 值、微量有机矿物质（油）、细菌、氧化剂、重金属等。因此无法给出稳定性的具体数据指标，最有效的做法是在启动系统之前要辨别这些潜在的有害因素，并通过预处理手段预防其发生。

35. 膜叶短、叶片多元件结构设计的优点是什么？

在膜叶短叶片多的膜元件内，膜面的通量更加均匀，这样可以获得更高的膜元件产水量效率，并显著地降低污染可能。但由于生产技术原因，很多的膜元件供应商还停留在老一代的元件结构设计上，无法在这方面取得突破。

36. 假如两个系统的进水量相同，但运行温度不同，两个系统的膜元件产水分布有何不同？

水温越高，则运行压力就越低。尽管运行压力降低了，但对应于在低温运行的参照系统中的第一支元件，其仍会出现更高的产水量。高水温时系统的末端仍有相同的渗透压，但运行压力却降低，这样高水温时最后的膜元件的膜面流速比低温操作系统要低，因此，在高水温下运行的系统，其前后元件的通量分布不均匀性就显著地增大，即系统前端元件通量更高，系统末端的元件通量更低。这种情况不利于系统均衡稳定地运行（使用低压和超低压膜元件有类似的情况）。

37. 在锅炉给水中，硅有什么害处？

在高压锅炉给水中，必须解决含硅的问题。这是因为硅表现出较大的随蒸汽挥发的能力，随后，蒸汽中所含的硅会在透平的低压段，因蒸汽压力的降低，以玻璃态沉积在透平的叶片上，影响透平的效率。活性和胶体两种形式的硅均会引起这种故障，因为在高压锅炉的温度条件下，胶体硅将分解成硅酸盐，然后再蒸发到蒸汽相中。

38. 膜系统能否频繁的启停？

膜系统是按连续运行作为设计基准的，但在实际操作时，总会有一定频度的开机和停机。当膜系统停机时，必须用其产水或经过预处理合格的水进行低压冲洗，从膜元件中置换掉高浓度但含阻垢剂的浓水。还应采取措施预防系统内水漏掉而引入空气，因为元件失水干掉的话，可能会产生不可逆的产水通量损失。如果停机小于 24 小时，则无需采取预防微生物滋生措施。但停机时间超过上述规定，应采用保护液作系统保存或定时冲洗膜系统。

39. 在三段式的系统设计中，能否在第一段使用产水憋压而在第三段之前采用压力提升泵？

当然可以。

40. 怎样设计产水回吸水箱？

在海水淡化系统中有时要设计产水回吸水箱，其所需体积通常由压力容器的体积减去膜元件的体积（考虑元件的空隙率）。

41. 膜元件上安装盐水密封圈其方向怎样确定？

要求膜元件上的盐水密封圈装在元件进水端，同时开口面向进水方向，当给压力容器进水时，其开口（唇边）将进一步张开，完全封住进水从膜元件与压力容器内壁间的旁流。

42. 能否用二氧化氯（ClO₂）作为膜系统的杀菌剂？

通常不允许使用二氧化氯作为膜元件的杀菌剂，它与氯的杀菌作用相似，但杀菌效能等于或略高于氯，与溶解氯不同之处在于，ClO₂ 仅作为氧化剂而不起氯的加成反应作用，因而对膜的破坏潜力较低。某些用户曾经在陶氏 FILMTEC™ 膜系统中获得过成功的应用，但使用时应该极其小心，因为溶液中金属离子的存在就会催化 ClO₂ 对膜的降解反应，只有杀菌剂 DBNPA 被认为是更加的安全和有效，选用 ClO₂ 可能会出现损坏膜性能的结果。

43. 怎样对原来使用老型号纳滤（NF）膜元件的系统更换产水管更大的新系列纳滤元件 NF90 - 400，NF270 - 400 和 NF200 - 400？

你可以将所有的老元件全部放在同一个压力容器内，如你仅打算更换其中的某一支老元件，请定制一个 1.125"~1.5"的元件联结件。请与就近的陶氏人员联络以了解有关加工尺寸。

44. 怎样从水中脱除硅？

水中硅以两种形态存在，活性硅（单体硅）和胶体硅（多元硅）：

- ❖ 胶体硅没有离子的特征，但尺度相对较大，胶体硅能被精细的物理过滤过程所截留，如反渗透，也可以通过凝聚技术降低水中的含量，如混凝澄清池，但是那些需要依靠离子电荷特征的分离技术，如离子交换树脂和连续电去离子过程（CDI），对脱除胶体硅效果十分有限。

- ❖ 活性硅的尺寸比胶体硅小得多，这样大多数的物理过滤技术如混凝澄清、过滤和气浮等均无法脱除活性硅，能够有效脱除活性硅的过程是反渗透、离子交换和连续电去离子过程。

45. 膜元件能否在阳光下暴晒？

不能，即使是在原包装箱内也不允许。建议室内存放，并应防止从窗户等处进来的阳光长时间照射，环境温度不得过 45℃。

46. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件的包装如何？

对于 8" 元件，陶氏的标准包装为：

- 1) 1 个瓦楞纸箱（外形为 10 英寸×10 英寸×44.5 英寸）
- 2) 2 层聚乙烯袋
- 3) 2 个聚苯乙烯端面保护罩
- 4) 若为湿元件，密封袋内的保护液少于 250mL。

对于 4" 元件，陶氏的标准包装为：

- 1) 每支元件由单独的塑料袋包装
- 2) 以一大纸箱含 70 支单独塑料袋包装的元件作外包装，没有单独的瓦楞纸箱*。

*这是因为很多 4" 元件系统采用单元组件，出于环境保护的目的，未提供元件间内接头。

47. 更换 NF70 - 400 元件时怎样选型？

NF70-400 元件已作改型，如果需要脱盐率与 NF70-400 相似，请更换为 NF90-400，如果希望硬度和其它盐份透过更多的话，请更换为 NF270-400。

48. pH 对脱除率、产水量和膜寿命有何影响？

陶氏 FILMTEC™ 膜元件由于其专有的全芳香高交联度脱盐层化学结构特点，只要在规定的产品对应 pH 范围内（一般为 2~11），pH 对膜性能本身的影响很小，这是与其它膜产品不同的显著特点之一，但是水中许多离子本身的特性受 pH 的影响巨大，例如当柠檬酸等类的弱酸在低 pH 条件下，主要呈非离子态，而在高 pH 值下出现解离而呈离子态。由于同一离子，荷电程度高，膜的脱除率高，荷电程度低或不荷电，则膜的脱除率低，因此 pH 对某些杂质的脱除率影响十分巨大。

49. 膜元件内进水网格（进水流道）对污堵的产生和污堵的可清洗性有何影响？

进水网格（流道）的功能是为进水提供从元件进水端流过浓水端的一个通道，它必须能给膜表面提供湍流促进作用，这样才能防止浓差极化以及污堵，较宽的流道能够大幅度阻止污堵的形成，同时提高清洗性能，这就是为什么许多用于浓缩分离的膜组件结构总是采用更宽更厚的网格（流道）。某些膜元件制造商仍采用陈旧但投资低的元件制造工艺，无法在保证元件有效膜面积条件下，采用宽厚的网格，使得其膜产品经过几个月的使用后污堵会不断加剧而清洗效率又低。同等元件，陶氏膜网格厚 10~20%。

50. 更换 NF255-400 时，选择哪种产品？

NF270-400 最合适

51. 能否买到陶氏湿元件？

可以，大多数陶氏 FILMTEC™ 元件是干式元件，请与陶氏公司代表联络购买湿元件。

52. 陶氏 FILMTEC™ 旧元件如何处置？

由于元件本身不含有毒或法规管制的材料，陶氏 FILMTEC™ 元件没有特别的处置要求，能够作为无害废物，作掩埋处理。但是如果元件用于处理含有害杂质的溶液，此时膜元件内可能富集有毒物质，此时应咨询地方或国家的相关环保部门，对这些特定的情况作出相应的处置。

53. 那里找到陶氏 FILMTEC™ 的质保资讯？

液体分离部 DIRECTORSM Services 网页上可以找到陶氏 FILMTEC™ 膜元件的质保资讯或参阅本手册相关部分。

54. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件是怎样制造出来的？

陶氏 FILMTEC™ 元件是卷式结构，采用的是陶氏化学全资子公司 FilmTec 公司发明的高交联度全芳香族聚酰胺和聚哌嗪超薄复合膜膜片。

陶氏 FILMTEC™ 超薄复合膜膜片由三层组成，超薄高交联芳香族聚酰胺分离层，精微多孔聚砜中间支撑层和高强度的聚酯增强无纺布。该无纺布提供结构的支撑强度，聚酰胺功能层具有高产水量、最好的盐份和二氧化硅脱除率和无可比拟的化学稳定性，厚而多孔的聚砜支撑层具有高度的孔隙率和刚性，能在膜运行条件下抵抗压实。

陶氏 FilmTec 公司最早通过了 ISO9002 的认证，陶氏目前持有的是 ISO9001 质量认证，陶氏 FILMTEC™ 元件采用工业界最先进的精密制造技术，确保高度一致的产品品质和高性能。膜片的生产完全由自动诊断计算机系统控制其质量，每一批专有技术生产的 FT30 膜片在通过严密的在线检查并记录其品质之后才可以进入元件组装阶段。

陶氏 FILMTEC™ 元件的组装是唯一采用专用计算机控制的卷制过程，以控制偏差，高度自动化组装生产线确保了膜片均匀的卷制张力和膜叶之间的间隔，所有的粘接密封线既直又窄，以保证有效膜面积，所有重要联接处则采用超声波焊接技术加强连接强度和耐久性。

组装之后，陶氏 FILMTEC™ 元件进入进一步的品质和性能检验，保证其符合我们的产品高标准，包括胶粘密封线的真空检验以及抽查膜元件产水量和脱盐率的通水测试等。为了保证陶氏 FILMTEC™ 膜元件的性能不受影响，每一支元件使用了隔氧的塑料袋包装，并防止任何微生物的污染。选用性能高度一致性的元件，可准确地预测系统性能，实现长期无故障地运行。

陶氏 FILMTEC™ 产品的制造重大创新之一是元件的精密组装工艺，陶氏 FilmTec 公司能以如此精密的公差制造膜元件，使得陶氏公司的元件设计工程师可以采用独特的“短膜叶”元件结构，8"元件内采用更多更短的膜叶片后，元件的分离效率进一步提高，产水量更大，更好地发挥了有效膜面积的作用，操作压力更低，每叶膜面积上的产水通量更加均匀，受污染倾向更低。

陶氏化学公司制造工艺的突破还表现为具有唯一的干式元件生产技术，干元件安装更快更容易，这是因为安装前不需要冲洗保护液，干元件虽然制造技术及设备复杂，但重量轻，运输费用低，此外，干元件易于贮运和保存，因为它不会出现结冰问题，比湿元件有更长的存放期。

陶氏 FILMTEC™ 反渗透和纳滤元件使用量和应用场合比其它任何品牌要多，数十年来在现场实际使用中广为验证了其高度的一致性和可靠性。陶氏 FILMTEC™ 元件经过世界各地各种水源长期考验，对溶解盐和有机物具有杰出的脱除率。能够在更低的压力下高效地运行，具有更高的化学结构稳定性和 pH 稳定性，系统故障率最低，性能最稳定，维修服务最少，实现“以最低的成本，获得最高的产水品质”。比其它传统膜元件有更好的系统运行经济性。

55. TW 和 BW 元件之间的区别是什么？

外型尺寸上两者完全相同，唯一的区别是 BW 的外包皮是玻璃钢的缠绕，而 TW 的外包皮是胶带缠绕的。BW 适用于压力容器含多个元件串联，元件进出水端之间的压差较大。

56. 陶氏 FILMTEC™ BW30 - 365, BW30 - 365FR1 和 FILMTEC™ BW30 - 365FR2 之间的区别是什么？

它们的外型尺寸完全相同，FR 代表抗污染（Fouling Resistance）的意思，正如其名字所表明的那样，特别适用于 废水回收处理或处理污染较严重的复杂水源，它采用了陶氏领先的专有抗污染制膜技术。FR1 和 FR2 已被升级合并为统一的 FR。

57. 什么是 full - fit 元件？

陶氏 full-fit 的含义代表一种元件的结构形式，但仍为卷式结构，只是其外包皮不再采用胶带或玻璃钢缠绕，而是采用了刚性很高的聚丙烯网格，它能减少甚至消除膜元件与压力容器内壁间的滞留层，因而该类元件也不需要盐水密封圈，在有卫生要求的场合，full - fit 的设计特意让元件四周有一定量的旁路流量，减少死水区，防止微生物在此的滋生，但同时为了有效的减低膜表面的浓差极化，需要较高的进水量。而所有标准膜元件使用盐水密封圈，其作用是为了防止进水从元件外层与压力容器内壁间产生旁路，虽然会存在水流滞留层（死水区），但能保证所有的进水全部流经膜表面，为有效地降低浓差极化所需的进水量较低。

58. 在元件安装时，应该用什么溶液润滑压力容器？

甘油。若无法获得甘油，宁可采用经预处理的合格水湿润即可。不得使用其它任何物理化学性质不明的化学试剂或工业与民用洗涤剂。

59. 油或其它憎水物质对膜有害，但为什么还可以用硅脂作用润滑剂？

这是由于道康宁 111（Dow Corning 111）的高粘度性能防止其进入膜表面之故。

60. 反渗透能脱除微生物如病毒和细菌吗？

反渗透（RO）非常致密，对病毒、噬菌体和细菌具有非常高的脱除率，至少在 3log 以上（脱除率>99.9%）。但是还须注意的是，在很多情况下，膜产水侧仍可能会出现微生物再次滋生，这主要取决于装配、监测和维护的方式，就是说，某一个系统的脱除微生物的能力关键取决于系统设计、操作和管理是否恰当而不是膜元件本身的性质。

61. 陶氏 FILMTEC™ NF90 - 400, NF270 - 400, NF200 - 400 和 BW30LE - 440, XLE - 440 的产水中心管直径更大，是否需要特殊的内接头和适配器？

陶氏上述每一支元件均配一个内接头，而元件的适配器则由压力外壳制造商提供，请预先通知外壳供应商有关所选元件的型号以便其为您提供对应的端板适配器。

62. 温度对产水量有何影响？

温度越高，产水量越高，反之亦然，在较高的温度条件下运行时，应调低运行压力，使产水量保持不变，反之亦然。关于产水量变化的温度校正系数 TCF 请查阅相关章节。

63. 什么是膜压密化？为何发生？

在高温高压条件的协同作用下，会出现膜的压密化现象，其结果会造成产水量或系统的出力下降，压密化是膜性能的不可逆衰减，事实上，复合膜比醋酸纤维素膜更耐压密化，但是频繁的水锤作用也会引起膜的压密化，必须避免。

64. 在加入 SMBS（亚硫酸氢钠）还原剂之后，水还有可能呈氧化性，这是为什么？

人们发现即使加入了 SMBS 之后，水仍有可能呈现氧化性，而且 Fe、Cu 等金属离子会强化这种倾向，在海水淡化系统中最为常见。NaCl、NaHCO₃ 和铜的协同作用能促进这种氧化能力，在情况严重时，应采用氧化—还原电势（ORP）进行监测。

65. 贮存陶氏 FILMTEC™ 干、湿膜的温度范围是什么？

0°C~45°C

66. 甲醛（又名福尔马林）溶液能否作为膜系统或元件的保护液？

我们不推荐使用，原因如下：

- ❖ 它被怀疑有致癌倾向；
- ❖ 在某些条件下（特别是在新膜的投运初期的 6 个小时之内）会引起产水量下降。若要使用，必须注意这一点。

67. 什么是颗粒和胶体污染？如何测定？

反渗透或纳滤系统一旦出现颗粒和胶体的污堵就会严重影响膜的产水量，有时也会降低脱盐率。胶体污堵的早期症状是系统压差的增加，膜进水水源中颗粒或胶体的来源因地而异，常常包括细菌、淤泥、胶体硅、铁腐蚀产物等，预处理部分所用的药品如聚合铝和三氯化铁或阳离子聚电介质，如果不能在澄清池或介质过滤器中有效的除去，也可能引起污堵。此外阳离子性的聚电介质也会与阴离子性的阻垢剂反应，其沉淀物会污堵膜元件，水中这类污堵倾向或预处理是否合格采用 SDI15 进行评价，请参考相关章节的详细介绍。

68. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件允许使用何种阻垢剂？

市面上有各种商品化的阻垢剂可供选择，其阻垢性能、与膜的兼容性已经过阻垢剂制造商和水处理系统供应商的长期使用考验，对于阻垢剂新产品能否适用应由阻垢剂供应商来确认，水处理系统工程公司将会根据它们丰富的工程经验为用户负责选择最适合该系统情况（水型）的阻垢剂。

69. RO 系统能耗如何计算？

当没有水泵实际所配电机的马力（或功率）数值时，你可以采用如下的方程估算能耗：

HP = (进水压力 psi) × (进水流量 gpm) × 1714 × (泵和马达的效率)；

kWh = (进水压力 bar) × (进水流量 m³/h) × 35.9 × (泵和马达的效率)

1kW = 1HP/1.34

每天的费用 (\$) = (所需要的 kW 数) × (24hr/天) × (电费\$/kWh)

70. 不作系统冲洗，最长允许停机多久？

如果系统使用阻后剂，当水温在 20~38℃ 之间，大约 4 小时；在 20℃ 以下时，大约 8 小时；

如果系统未用阻垢剂，约 1 天。

71. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件的最低浓水排放量是多少？

系统中每一支元件最低浓水排放量取决于膜元件尺寸、型号和进水类型 (SDI₁₅ 值)，请查阅设计导则的规定。

72. 是否有膜系统数据记录格式式样？

有，请参考系统运行管理一章的介绍。

73. 哪种陶氏 FILMTEC™ 元件适合于浓缩枫树汁？

NF270 纳滤元件

74. 新的未开封陶氏 FILMTEC™ 元件能够存放多久？

干式元件的最大优点是可以无限期存放，而湿元件最长存放期为 1 年，同时还要求定期按需要更换保护液（请查阅相关章节的说明）。

75. 陶氏 FILMTEC™ HSRO（热消毒型反渗透）的特点是什么？

FILMTEC™ HSRO 热消毒型反渗透膜元件产水水质好，同时又能经受热水的消毒处理。出自先进的全自动生产线的 HSRO 元件具有膜工业界最高的有效膜面积，这一高面积允许系统设计成更低的运行通量或者保持相同通量使用较少的膜元件以节省成本。元件采用无外壳的 full-fit 的结构，消除了标准膜元件与压力容器内壁间的死水区，适用于有特殊卫生要求的应用场合。所有的部件均符合 FDA 的标准。

76. 在不出现明显性能损失的情况下，允许在一个压力容器内最多串联多少支膜元件？

理论上没有这样的规定，但是每支压力容器的最大允许压差为 50psi (3.5bar)，目前已有最多可装 8 支膜元件的 8 芯压力容器。对于产水量越大的超低压或极低压膜元件，为了平衡同一压力容器内的前端和末端的产水量，不至于差别过大，建议尽量采用较短的压力容器。

77. 陶氏 FILMTEC™ RO 脱除氨和硝酸根的能力怎样？

在 pH 大于 7.3 时，氨 (NH₄⁺) 就会以溶解状氨气存在于水中，反渗透能透过气体氨，NO₃⁻ 的脱除率取决于 pH，一般情况下，其脱除率在 70~95% 左右。

78. 谁销售膜清洗剂或提供清洗服务？

我们提供 DIRECTORSM Services 来为你分析膜系统，对于出现的故障提出解决问题的建议，但是我们不销售也不批准任何清洗药剂，但的确有许多的膜清洗公司，你可以通过键入 “Membrane Cleaning Chemicals”，在网站上查找。在你针对膜清洗问题寻找帮助之前，你应该首先咨询你的系统供应商或系统设计者。

79. RO 膜能脱除溶解氧吗？

溶解氧会透过 RO 膜。

80. 反渗透膜进水最大允许二氧化硅浓度多少？

最大允许二氧化硅的浓度取决于温度、pH 值以及阻垢剂，通常在不加阻垢剂时浓水端最高允许浓度为 100ppm，某些阻垢剂能允许浓水中的二氧化硅浓度最高为 240ppm，请咨询阻垢剂供应商。

81. 铬对 RO 膜有何影响？

某些重金属如铬会对氯的氧化起到催化作用，进而引起膜片的不可逆性能衰减。这是因为在水中 Cr^{6+} 比 Cr^{3+} 的稳定性差。似乎氧化价位高的金属离子，这种破坏作用就更强。因此，应在预处理部分将铬的浓度降低或至少应将 Cr^{6+} 还原成 Cr^{3+} 。

82. 如何从水中脱氯？

优选的方法是添加亚硫酸氢钠，其它常用的方法为使用活性炭吸附，但要注意活性炭脱氯的同时会发生粉末化。在某些工业应用领域则使用亚硫酸氢铵脱氯。

83. RO 系统一般需要何种预处理？

通常的预处理系统组成如下，粗滤（~80 微米）以除去大颗粒，加入次氯酸钠等氧化剂，然后经多介质过滤器或澄清池进行精密过滤，再加入亚硫酸氢钠还原余氯等氧化剂，最后在高压泵入口之前安装保安过滤器。保安过滤器的作用顾名思义，它是作为最终的保险措施，以防止偶然大颗粒对高压泵叶轮和膜元件的破坏作用。含颗粒悬浮物较多的水源，通常需要更程度的预处理，才能达到规定的进水要求；硬度含量高的水源，建议采用软化或加酸和加阻垢剂等，对于微生物及有机物含量高的水源，还需要使用活性炭或抗污染膜元件。

84. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件如何制造出来的？

包括两个步骤：第一步为制造陶氏 FILMTEC™ T30 平板膜膜片；第二步将膜片及其它材料按要求卷制成卷式膜元件，陶氏生产过程高度自动化的先进全自动生产线，每一步均由专门的计算机诊断系统控制，使得 FILMTEC™ 元件成为全世界膜工业界性能更一致、更可靠、寿命更长的著名品牌。

85. 在 RO 系统中保安过滤器滤芯的孔径应选多大？

多数情况下，选择 5μm 的过滤精度的滤芯，但当胶体、硅含量高的进水，建议采用孔径更小的滤芯，请参阅本手册有关章节的详细说明。

86. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件的独特之处是什么？

每一支膜元件均采用陶氏 FILMTEC™ FT30 膜片，它被世界膜工业界公认为具有最宽的操作 pH 范围（2~11）和最宽的清洗 pH 范围（1~13），它特别牢固，表现为长久不变的极高分离性能；

组成膜元件的膜叶片更短，这样就大幅度地降低了膜叶从里到外的产水压力不均匀性，使得膜叶各处的水通量值更加均匀，提高了元件抗污染性；

采用全自动的粘接技术，获得精密、准确、均匀的密封线，提高膜元件的物理完整性；

精密的叶片组装技术能够准确的插入更多的叶片，有效膜面积更高，同时确保任何膜元件均有一致的膜面积，在不牺牲有效膜面积的条件下，采用了更宽的进水流道。

所有上述特点使得选用陶氏膜元件的系统故障率最低，性能最稳定，维修服务最少，实现“以最低的成本，获得最高的产水品质”。

87. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件质保情况怎样？

我们提供全球统一的三年有限质保。

88. 三卤代甲烷（THM），四氯化碳（CTC）和其它低分子量含氯化合物，陶氏 FILMTEC™ 膜能脱除吗？

含上述卤素的化合物如 THM，CTC 等在废水、某些受污染的地下水和经过氯等消毒过的水源中普遍存在，它们已被证明对健康存在威胁，它们属于中等分子量的有机物，陶氏 FILMTEC™ 膜对它们有极高的脱除率，陶氏 FILMTEC™ NF 膜对它们的脱除率也很高。

89. 压降是怎样定义的，为何高压降会有问题？

压降定义为组件或压力容器进水与浓水间的压力损失，在正常操作条件下，每支陶氏 FILMTEC™ 元件本身的压降为 4~5psi（0.3bar）。

随着元件内污染的累积，压降会逐渐增加，高压降是必须关注的问题，因为它能引起望远镜现象并降低系统的操作效率和性能，含 6 芯元件的外壳最大允许压降为 50psi（3.5bar）。

90. 陶氏 FILMTEC™ 元件的最大操作压力怎样？

这取决于不同的元件型号，例如：

❖ TW1.8”，	125psi（8.6 bar）	❖ SW	1000psi（69 bar）
❖ TW>1.8”，	300psi（21 bar）	❖ SW30HR	1200psi（82 bar）
❖ BW30/NF，	600psi（41 bar）		

91. RO 系统应多久清洗一次？

一般情况下，当标准化通量下降 10~15%时，或系统脱盐率下降 10~15%，或操作压力及段间压差升高 10~15%，应清洗 RO 系统。清洗频度与系统预处理程度有直接的关系，

当 SDI15<3 时，清洗频度可能为每年 4 次；

当 SDI15 在 5 左右时，清洗频度可能要加倍

但清洗频度取决于每一个项目现场的实际情况。

92. 什么是 SDI？

目前行之有效的评价 RO/NF 系统进水中胶体污染可能的最好技术是测量进水的淤积密度指数（SDI，又称污堵指数），这是在 RO 设计之前必须确定的重要参数，在 RO/NF 运行过程中，必须定期进行测量（对于地表水每日测定 2~3 次），ASTMD4189-82 规定了该测试标准。膜系统进水规定 SDI15 值必须≤5。降低 SDI 预处理的有效技术有多介质过滤器、超

滤、微滤等。在过滤之前添加聚电介质有时能增强上述物理过滤、降低 SDI 值的能力。

93. 恒速和变速驱动泵有何不同？

RO/NF 系统通常选用恒速驱动水泵，这是因为膜系统的操作一般十分简单同时一旦所需的流量和压力确定，泵的运行曲线就恒定下来了。恒速泵的选择非常适合于进水含盐量几乎不变以及水温恒定或水温波动很小，通常温度变化范围小于 5℃ 的项目。当进水温度变化很大或进水含盐量有较大波动的项目，以及高盐度的进水如海水淡化与亚海水淡化项目，就必须使用变速驱动离心泵，使用变速泵可以节能，虽然投资较高，但能耗低，运行费用较低，对电网及系统的冲击小。

94. 一般进水应该选用反渗透工艺还是离子交换工艺？

在许多进水条件下，采用离子交换树脂或反渗透在技术上均可行，工艺的选择则应由经济性比较而定，一般情况下，含盐量越高，反渗透就越经济，含盐量越低，离子交换就越经济。由于反渗透技术的大量普及，采用反渗透+离子交换工艺或多级反渗透或反渗透+其它深度除盐技术的组合工艺已经成为公认的技术与经济更为合理的水处理方案，如需深入了解，请咨询水处理工程公司或陶氏代表。

95. 能否介绍有关高效杀菌剂与消毒化药品？

膜系统通常易受污堵的影响，由细菌所引起的生物污染是其主要原因。生物污染形成了富集其它杂质的温床，并使污染问题加剧，膜出现污染后的症状为，在恒定进水流量条件下，产水量下降或为了保持产水量不变，则必须提高运行压力，同时还会降低脱盐率，当出现上述症状并怀疑是生物污染时，用户总是试图对膜进行“再生复苏”，这就得使用杀菌剂，对于杀菌剂有如下的要求：

— 与膜兼容	— 具有广谱控制作用
— 作用快速	— 不会透过膜进入产水侧
— 价廉	— 必须能生物降解
— 易于运输和贮存，具有稳定性高，易于使用的特点	
— 必须符合现有和即将实施的法规	

能够很好满足上述条件的是 2,2-双溴代-3-次氨基丙酰胺（DBNPA），它在膜系统预防生物污染方面具有很好的效果。

96. 陶氏 FILMTEC™ 元件的最大允许通量怎样？

最大允许通量取决于进水水质，详细的规定参见设计导则中的典型通量规定。

97. 陶氏 FILMTEC™ 膜产品获得何种标准？

所有陶氏 FILMTEC™（TW30，BW30，BW30FR，BW30XFR，HRLE，XFRLE，LE，HSRO，RO，BW30LE，XLE，SW30，SW30HR，SW30HRLE，SW30XLE，SW30ULE，NF90，NF200B，和 NF270，NF245，NF）膜元件符合 FDA 21 CFR177.2550 规定。

大多数陶氏 FILMTEC™ 家用元件获得了 ANSI/NSF 标准 58 款部件认证以及 NSF 标准 58 款性能认证，可以查阅 NSF 网站。NSF/ANSI 标准 58 款：“适用于使用点 POU 和进水点 POE 装置，降低水中的某些污染物，这些污染物包括化合物、颗粒和微生物，它们对健康具有潜在的危害，影响水质的感官性能，此外，该标准还包括对材料和结构完整性的要求”。

NSF/ANSI 标准 61 款：“饮用水系统部件—与饮用水接触的所有装置、部件和材料健康影响标准”

美国 NSF / NSF 标准 61 款	XLE-440, NF90-400, BW30-365, BW30-400
荷兰 KIWA – ATA 标准	BW30-400, BW30LE-440, XLE-440, NF90-2540, NF90-400, NF90-4040, SW30HR-380

98. 为何在 ROSA 设计软件中要包括污染因子（FF）和温度？

这是为了模拟系统中不同产水通量分布情况，在高进水温度和高污染因子（对应污染较低的水源）条件下，系统内产水通量分布就会更趋于不均匀，通过根据工程经验人为地输入不同的污染因子（FF）和温度条件，就可以分析由于过高的产水通量而引起的某些元件的潜在污染倾向，而在低温和低污染因子（对应污染较高的水源如废水、海水等）条件下，将会模拟出最高的所需系统操作压力。

99. 膜元件一般能用几年？

膜的使用寿命取决于膜的化学稳定性、元件的物理稳定性、可清洗性、进水水源、预处理、清洗频率、操作管理水平等。根据经济分析通常为 5 年以上。

100. 陶氏是否批准含陶氏 FILMTEC™ 膜元件的水处理系统所用化学品的兼容性？

没有。化学品兼容性判断是化学品供应商的责任。

101. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件耐氯胺的程度如何？

在实验室内，陶氏 FILMTEC™ 膜元件经受了 300,000ppm-hrs，表明无需进行脱氯预处理，然而氯胺是由于水中投加氨水与水中氯反应而得，经过投加氨水的膜系统进水中仍可能存在余氯，仍应考虑脱氯措施，经过活性炭或还原化学药剂将余氯转换成无害的氯离子。

102. 反渗透和纳滤之间有何区别？

纳滤是位于反渗透和超滤之间的膜法液体分离技术，反渗透可以脱除最小的溶质，分子大小小于 0.0001 微米，纳滤可脱除分子大小在 0.001 微米左右的溶质。纳滤本质上是一种低压反渗透，用于处理后产水纯度不特别严格的场合，纳滤适合于处理井水和地表水。纳滤适用于没有必要象反渗透那样的高脱盐率的水处理系统，但对于硬度成份的脱除能力很高，有时被称为“软化膜”，纳滤系统运行压力低，能耗低于相对应的反渗透系统。

103. 膜技术具有怎样的分离能力？

反渗透是目前最精密的液体过滤技术，反渗透膜对溶解性的盐等无机分子和分子量大于 100 的有机物起截留作用，另一方面，水分子可以自由的透过反渗透膜，典型的可溶性盐的脱除率为>95~99%。操作压力从进水为苦咸水时的 7bar（100psi）到海水时的 69bar（1,000psi）。

纳滤能脱除颗粒在 1nm（10 埃）的杂质和分子量大于 200~400 的有机物，溶解性固体的脱除率 20~98%，含单价阴离子的盐（如 NaCl 或 CaCl₂）脱除率为 20~80%，而含二价阴离子的盐（如 MgSO₄）脱除率较高，为 90~98%。

超滤对于大于 100~1,000 埃（0.01~0.1 微米）的大分子有分离作用。所有的溶解性盐和小分子能透过超滤膜，可脱除的物质包括胶体、蛋白质、微生物和大分子有机物。多数超滤膜的截留分子量为 1,000~100,000。

微滤脱除颗粒的范围约 0.1~1 微米，通常情况下，悬浮物和大颗粒胶体能被截留而大分子和溶解性盐可自由透过微滤膜，微滤膜用于去除细菌、微絮凝物或总悬浮固体 TSS，典型的膜两侧的压力为 1~3bar。

104. 陶氏 FILMTEC™ 膜元件可以用于浓缩或纯化有机溶剂吗？

憎水性的溶剂与 FILMTEC™ 膜元件不兼容。但亲水性的溶剂如乙醇可以，亲水性的溶剂不会损伤膜元件，而会引起膜的溶胀，改变膜的脱盐和产水特性，此外，高浓度的有机溶剂将会从膜元件密封粘结线中发生萃取作用，长期接触，会破坏粘结密封。目前还无法估计膜元件能承受多长的时间，我们建议采用膜片进行兼容性试验，如果结果较好，再进行小型元件试验。



陶氏水处理及过程解决方案

上海陶氏中心
上海市张江高科技园区

张衡路936号
邮政编码: 200023

电 话: 0086-(0)21-3851 1000
传 真: 0086-(0)21-5895 1818

北京办事处:
北京市东长安街一号

东方广场东方经贸城西三幢1101室
邮政编码: 100738

电 话: 0086-(0)10-8527 9199
传 真: 0086-(0)10-8527 9299

广州办事处:
广州市天河区林和西路3-15号

耀中广场3616 室
邮政编码: 510613

电 话: 0086-(0)20-3813 0600
传 真: 0086-(0)20-3839 6551

台北办事处
台北市敦化南路一段二号

IBM大厦七楼

电 话: 00886-(0)2-2771 8000
传 真: 00886-(0)2-2776 5252

如需更多水处理及过程解决方案产品资料, 请联系陶氏亚太区产品资料查询服务中心:

免费电话: + 800 7776 7776

免费传真: + 800 7779 7779

(不适用于印尼和越南)

电邮: dowcig@dow.com

FILMTEC™ 膜元件

如需获取更多有关FILMTEC™膜的信息,
请拨打陶氏水处理及过程解决方案事业部:

上海: 86-21-3851 1000

北京: 86-10-8527 9199

广州: 86-20-3813 0600

台北: 886-2-2775-6066

<http://www.filmtec.com>

注意: 使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意: 任何人不得推定其在本文件下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异, 顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用, 并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务, 也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或对其一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。