NITTO DENKO

HYDRANAUTICS
www.membranes.com
A Nitto Denko Company

日東電工
美国海德能公司

反渗透和纳滤膜产品

技术手册

目　　录

公司简介----------1

第一章　美国海德能公司RO/NF膜产品规格与性能----------3
1.　8 英寸膜元件端板新型涡旋切流式设计----------3
2.　反渗透设计导则----------5
3.　ESPA 系列超低压大通量反渗透膜----------7
4.　CPA 系列低压反渗透膜----------8
5.　LFC 系列低污染反渗透膜----------9
6.　LFC2 正电荷反渗透膜----------10
7.　SWC 系列海水淡化反渗透膜----------11
8.　乳制品浓缩分离用反渗透膜QUALISEP DairyRO系列----------12
9.　卫生级反渗透膜 SanRO 系列----------13
10.　卫生级热消毒型反渗透膜 SanRO-HS 系列----------14
11.　ESNA 系列节能型聚酰胺纳滤膜----------15
12.　HYDRACoRe-50 系列高耐氯脱色用纳滤膜----------16
13.　4 英寸反渗透、纳滤膜元件----------18
14.　海德能公司 4 英寸及 8 英寸卷式膜元件工艺尺寸----------23

第二章　反渗透/纳滤膜应用技术介绍----------25
1.　ESPA 系列超低压大通量反渗透膜----------25
2.　CPA 系列低压反渗透膜----------37
3.　LFC 系列低污染反渗透膜----------41
4.　SWC 系列海水淡化膜----------48
5.　ESNA 系列节能型聚酰胺纳滤膜----------57
6.　HYDRACoRe 系列高耐氯脱色用纳滤膜择----------60
7.　卫生级/热消毒型反渗透膜----------65

第三章　反渗透、纳滤基础知识----------69
1.　分离膜和膜过程----------69
2.　反渗透和纳滤基本原理----------73
3.　膜性能的影响因素----------77

第四章　水化学与水质分析----------81
1.　反渗透水化学----------81
2.　水质分析----------89

第五章　预处理----------93
1.　化学预处理----------93

2. 软化预处理----------97
3. 去除胶体和颗粒物----------98
4. 生物污染的控制和预防----------101
5. 预处理工艺设计举例----------104

第六章 反渗透系统设计----------107
1. 美国海德能公司 RO/NF 设计简明导则----------107
2. 系统设计概述----------108
3. 流程配置----------110
4. 反渗透、纳滤影响因素----------114
5. 海德能系统设计软件 IMSdesign 的使用----------117

第七章 反渗透膜的安装运行----------127
1. 膜元件的安装与拆卸----------127
2. 系统的运行与停止----------130
3. 运行管理----------133

第八章 污染与清洗----------141
1. 清洗的重要规定----------141
2. 膜污染----------141
3. 污垢成分----------143
4. 物理清洗----------144
5. 化学清洗----------145
6. 针对清洗的设计要点----------153
7. 清洗中物理手段与化学手段的结合----------154

第九章 系统故障诊断与排除----------155
1. 系统故障概述----------155
2. 运行参数对系统性能的影响----------156
3. 发生故障的常见原因----------157
4. 探针法——压力容器内脱盐率下降原因诊断----------158
5. 膜元件分析----------159
6. 系统故障处理一般步骤----------162
7. 其它常见故障----------163

第十章 海德能公司反渗透膜元件质量保证书----------165

第十一章 海德能公司退货程序----------167

第十二章　反渗透技术问答----------171
1.　膜元件的标准测试回收率、实际回收率与系统回收率----------171
2.　如何确定系统回收率----------171
3.　膜元件的标准测试压力与实际使用压力----------172
4.　如何计算系统脱盐率----------172
5.　膜元件的标准脱盐率、实际脱盐率和系统脱盐率----------172
6.　什么叫背压，产水背压会有什么不良后果----------173
7.　为什么高压泵后面应设手动调节阀和电动慢开门----------173
8.　为什么要设置自动冲洗功能----------174
9.　反渗透系统需要哪些常用仪表----------174
10.　设计反渗透控制系统时应考虑哪些方面的问题----------175
11.　装置初次启动前的检查事项----------176
12.　为什么刚开机时要不带压冲洗----------178
13.　为什么要记录初始的运行数据----------178
14.　日常运行应记录哪些数据----------178
15.　反渗透装置运行启动前的检查----------180
16.　介质过滤器流速的设计标准----------180
17.　活性炭过滤器为什么要注意灭菌----------181
18.　什么样的系统用软化器合适----------181
19.　为什么系统脱盐率整体过低----------182
20.　膜元件产水管为什么会破裂----------182
21.　膜元件的玻璃钢外皮为什么会破裂----------183

第十三章　RO/NF 应用技术文献----------185
1.　集成膜系统----------185
2.　LFC 低污染膜在市政废水处理方面的应用----------191
3.　ESPA1 超低压膜元件应用技术----------201
4.　ESPA4 优化设计----------211
5.　SWC 海水淡化膜应用实例----------219
6.　ESNA1 纳滤膜石化污水处理系统运行分析----------231
7.　LFC3-LD 新型低污染膜在石化废水回用处理中的现场试验----------237
8.　反渗透浓水处置的现状和趋势----------245

工艺设计中的膜元件选择表----------附表 1
8 英寸反渗透和纳滤膜元件性能参数一览表----------附表 2
4 英寸反渗透和纳滤膜元件性能参数一览表----------附表 3
日本日东电工集团反渗透和纳滤部分产品规格----------附表 4

公 司 简 介

美国海德能公司(HYDRANAUTICS)创立于 1963 年，总部位于美国加利福尼亚州 Oceanside 市。1987 年并入日本日东电工集团，是日本日东电工株式会社在美国的全资子公司之一。日东电工(NITTO DENKO)株式会社是一家专业生产各种高分子材料的跨国公司，在世界各地设有一百多家子公司，其中在中国设有 17 家子公司及分支机构，在华员工 5000 多人。据 2005 年 2 月 28 日《日经新闻》，2004 年日本优秀企业调查（PRISM)，日东电工综合竞争力排名第五位（2003 年 PRISM 排名第十一位)。

海德能公司自 1970 年进入反渗透水处理领域以来，一贯坚持追求先进的生产技术，最高的产品质量和完善的客户服务。经过三十五年的不懈努力，已成为在世界上分离膜制造业中最著名、产品规格及品种最多、生产规模最大的卷式反渗透膜生产厂商之一，也是美国最早通过 ISO-9001 国际认证的反渗透膜生产商。

海德能公司在美国、日本、意大利和中国上海拥有四个制造工厂，可以最迅捷的方式向客户提供种类繁多、同样品牌、同样质量的分离膜产品。在美国和日本设有的两个研发中心夜以继日地研究新理论、开发新技术、源源不断地向世界推出新产品。

海德能公司在中国设有三个代表处（北京、上海、山东)、两个联络处（广东、河南)，竭诚地为中国用户提供全面有力的技术支持与服务。

主要产品系列

- 超低压大通量反渗透膜 ESPA 系列
- 低压高脱盐反渗透膜 CPA 系列
- 海水淡化用反渗透膜 SWC 系列
- 低污染高脱盐反渗透膜 LFC 系列
- 食品级浓缩分离用反渗透膜 QUALSEP DairyRO 系列
- 卫生级反渗透膜 SanRO 系列/卫生级热消毒型反渗透膜 SanRO-HS 系列
- 超低压大通量纳滤膜 ESNA 系列
- 高耐氧化性脱色用纳滤膜 HYDRACoRe 系列
- 亲水性聚醚砜中空纤维超滤膜 HYDRAcap 系列
- 除浊用可反冲洗卷式超滤膜 RS 系列

产品主要用途

- 海水淡化、苦咸水淡化
- 工业纯水、锅炉补给水制造
- 饮用水市政给水、排水、中水处理
- 冷却循环水、工业、市政污水处理
- 食品、制药及各种工业纯水、半导体超纯水制造
- 各种水溶液的脱盐、分离及浓缩

- 地表水除浊、废水处理及脱色
- 市政景观及农业灌溉
- 乳制品分离、浓缩

联络我们

北京代表处

地　址：北京市朝阳区东三环中路 9 号富尔大厦 1609 室
邮　编：100020
电　话：010 - 85910958
传　真：010 - 85910959
E-mail: hybeijing@hydranautics.cn

上海代表处

地　址：上海市延安东路海洋大厦 712 室
邮　编：200001
电　话：021 - 63500707
传　真：021 - 63616311
E-mail: hyshanghai@hydranautics.cn

山东代表处

地　址：山东省济南市泺源大街 229 号金龙大厦 5 楼 A10 室
邮　编：200041
电　话：0531 - 86121257
传　真：0531 - 86121297

广东联络处

电　话：0757 - 28808893

河南联络处

电　话：0371 - 68200627

日东电工(上海松江)有限公司

地址：上海市松江工业区东区大道联阳路 116 号
邮编：201613
电话：021-57742184
传真：021-57741140

公司主页 http://www.membranes.com （英文）
http://www.hydranautics.cn（中文）

第一章 美国海德能公司分离膜产品规格与性能

1.1 8 英寸膜元件端板新型涡旋切流式设计

美国海德能公司已于 2002 年 12 月 12 日正式推出针对所有标准的 8 英寸膜元件端板的新型涡旋切流式（以下简称为“切流式”）设计。这一新的密封支撑/防止膜卷突出设计(ATD)提供了更好的端面接触，使水力负荷分布的更加均匀。新的切流式设计保持了海德能公司产品多孔端板的特点，该端板可以保护膜元件免受因较大颗粒撞击而造成的损坏。

这一特殊的涡旋式图案设计使得穿过膜元件表面的水具有均匀的分布，并可以平衡膜元件外部和中心管的压力。新的切流式可以很容易地由其象牙色和涡旋式结构辨认，而不同于以前的灰色和直线式。同时，我们还将介绍新型内连接管，它即适用于新型切流式膜元件，也适用于传统的海德能膜元件。新型内连接管具有很多好处，在负载和操作过程中不会脱离。新型切流式膜元件完全与工业市场中众多其它的膜元件相兼容。海德能公司正致力于膜元件内部密封方法的研究，以提供压力容器中膜元件之间密封连接的最大保证。目前正使用的非切流式膜元件设计可以允许内部和外部的密封。

↑ 上图为新型涡旋切流式端板
下图为传统膜元件端板 ↓

海德能公司在持续不断地为我们的用户研究和开发创新的、改进性的产品。新切流设计在保持水通量和脱盐率的一致性及可靠性的基础上提供了附加的益处。海德能公司正在以改进的设计模式，在无附加成本的情况下，一同既往地生产高质量的膜产品。

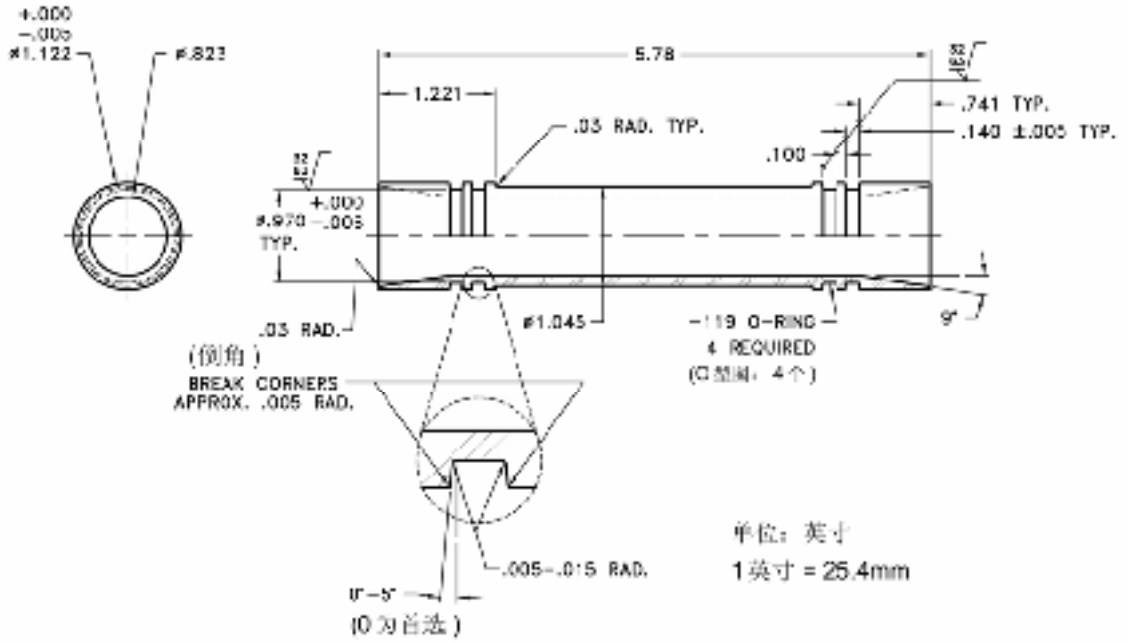
技术说明

— 新型切流式膜元件需使用内连接管
— 每支新型切流式膜元件的包装中均装备一支内连接管
— SWC[1]系列内连接管部件号码不同于其它苦咸水反渗透膜产品的内连接管部件号码
— 新切流式膜元件不能使用外连接管和外连接型端板接头
— 新型内连接管同时适用于新型切流式和传统膜元件
— 新切流式设计膜元件与市售的大多数公司的膜元件的连接管和端板接头完全兼容
— 标准中心管内径为 1.125 英寸，经压力容器制造商验证，端板接头可满足其要求
— 在新型内连接管上的 O 型圈(其型号为 PARKER#2-119)可能不同于其他制造商的产品
— 对于目前采用外连接型端板接头的系统，需要从压力容器制造商处订购新的端板接头
— 当传统膜元件被新型切流式膜元件取代时，对每一压力容器需要两个端板接头
— 苦咸水膜元件连接管是一头逐渐变细的，以便需要探查时很容易地接入。为了适应高压要求，海水淡化膜元件连接管的管壁加厚。

1 美国海德能公司提供可转换的新型内连接管
新型内连接管适用于新型切流式和老型号膜元件 [部件号为 11518.0000]
SWC 海水淡化膜元件需要使用专用的新型内连接管 [部件号为 11574.000]

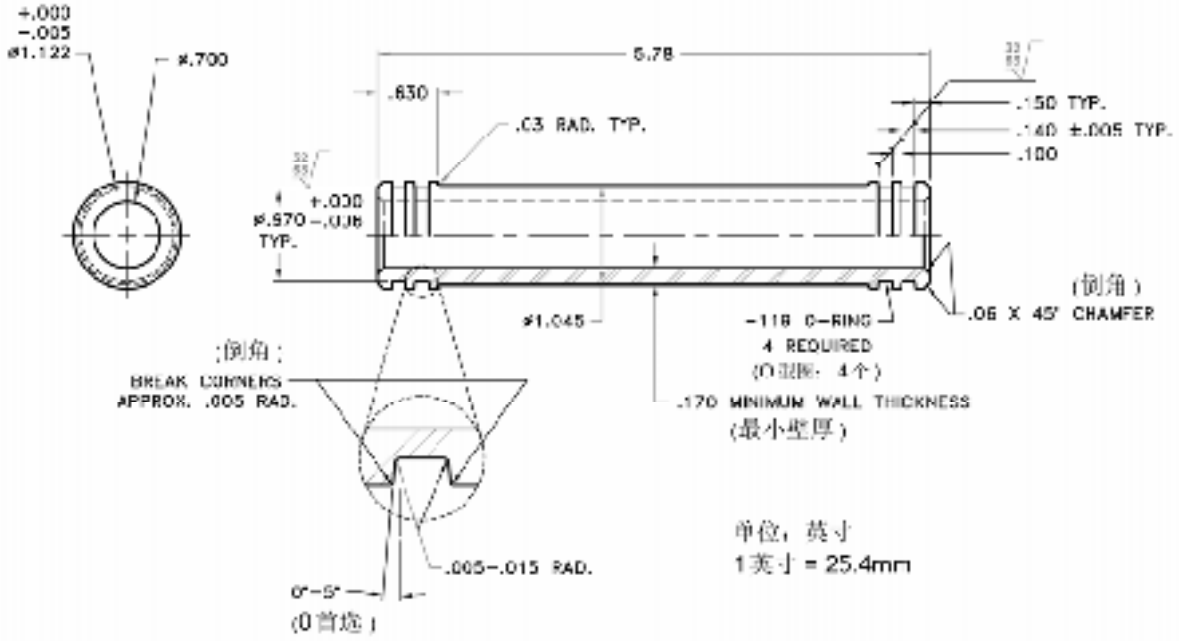
8英寸膜元件内插式内连接管

(零件号：11513.0000)



8英寸膜元件内连接管

(零件号：11674.000)



1.2 美国海德能公司反渗透设计导则

原水水源			RO 产水	地下水		地表水		深井海水	表面海水	地表水		三级废水	
预处理方式			RO	软化	未软化	传统	UF/MF	传统	传统	传统	UF/MF	传统	UF/MF
TOC 含量			低	低	低	低	低	低	低	高	高	高	高
进水参数最大值	SDI_{15}	最大	1	2	3	4	2	3	4	4	2	4	2
	浊度	最大	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	0.2
	TOC	最大	1	3	3	5	3	3	3	10	10	10	10
	BOD	最大	3	8	8	13	8	8	8	26	26	26	26
	COD	最大	4	11	11	18	11	11	11	36	36	36	36
	温度，℃		0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45	0.1-45
系统平均产水通量 GFD	CPA/ESPA ESNA SWC	保守值	22	16	14	10	12	8	7	10	11	7	8
		常规值	23	18	16	12	14	10	8.5	12	13	10	11
		激进值	28	20	18	14	16	12	11	14	15	12	13
	LFC	保守值	22	16	14	11	14	19	17	11	12	7	9
		常规值	23	18	16	13	16	24	20	13	14	10	12
		激进值	28	20	18	15	18	29	24	15	16	12	14
首只膜最大产水通量 GFD	CPA/ESPA ESNA SWC	保守值	29	24	24	15	18	——	——	15	16	11	12
		常规值	30	27	24	18	21	——	——	18	19	15	16
		激进值	35	29	27	21	24	——	——	21	22	18	19
	LFC	保守值	29	24	21	16	18	——	——	16	18	11	13
		常规值	30	27	24	19	21	——	——	19	21	15	18
		激进值	35	29	27	22	24	——	——	22	24	18	21
产水通量年衰减，%		保守值	7	10	10	10	10	10	10	15	13	18	15
		常规值	5	7	7	7	7	7	7	12	10	15	12
		激进值	3	5	7	7	5	7	7	7	7	7	7
产水透盐率年增加率，%		保守值	7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
		常规值	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

浊度单位：NTU， TOC 单位：PPm as C， BOD 单位：PPm (一般估算为 TOC 的 2.6 倍)， COD 单位：PPm (一般估算为 TOC 的 3.6 倍)。

原水水源			RO 产水	地下水		地表水		深井海水	表面海水	地表水		三级废水	
预处理方式			RO	软化	未软化	传统	UF/MF	传统	传统	传统	UF/MF	传统	UF/MF
TOC 含量			低	低	低	低	低	低	低	高	高	高	高
单只膜浓差极化因子β（Beta）值		保守值	1.30	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
		常规值	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
		激进值	1.70	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
每只压力容器最大给水流量 GPM	2.5 英寸	常规值	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	4.0 英寸	常规值	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	8.0 英寸	常规值	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
		保守值	75	70	65	65	75	65	60	60	75	60	75
每只压力容器最小浓水流量 GPM	2.5 英寸	保守值	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0
		常规值	0.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	4.0 英寸	保守值	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
		常规值	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	8.0 英寸	保守值	12	14	16	16	14	14	16	16	16	18	18
		常规值	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
压力损失 Psi	每只压力容器	保守值	40	35	35	35	40	35	40	30	30	40	40
		最大值	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	每只膜	最大值	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
给水 pH	CPA、ESPA		2-11	2-11	2-11	2-11	2-11	2-11	2-11	2-11	2-11	2-11	2-11
	LFC、SWC、ESNA		3-10	3-10	3-10	3-10	3-10	3-10	3-10	3-10	3-10	3-10	3-10
加阻垢剂后饱和度限值	LSI&SDSI	常规值	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8	＜1.8
		激进值	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5	＜2.5
	$CaSO_4$	常规值	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
	$SrSO_4$	常规值	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
	$BaSO_4$	常规值	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	SiO_2	常规值	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		激进值	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

1.3 ESPA 系列超低压大通量反渗透膜

ESPA 膜——即 Energy Saving Poly Amide 的英文缩写，是美国海德能公司在世界上率先推出的节能型超低压复合膜，它具有超低的运行压力(较常规低压复合膜的运行压力降低了 25~40%)；更高的水通量(在大通量时有着与其它复合膜相同的高脱盐率)；更宽的水质适用范围和压力适应范围等优点。

ESPA 膜为水泵、压力容器、管道、阀门等配套设备的选择提供了更大的空间，使用功率更小的电机即可满足工作的需要。同时，ESPA 膜的高水通量、高脱盐率的特性，使我们在设计中仅用数量较少的膜元件即可得到期望产水量，这些都使设备制造成本和系统设备投资费用大为降低，并且可大量地节省能源，降低了系统的运行费用，使反渗透系统更加容易推广和被接受。

型号(超低压节能型)			ESPA1	ESPA2	ESPA2+	ESPA4	ESPAB
类型	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料				
	有效膜面积 ft^2		400	400	440	400	400
性能	脱盐率 %	平均	99.3	99.6	99.6	99.2	99.2
		最低	99.0	99.5	99.5	99.0	99.0
	透过水量	gpd	12000	9000	11000	12000	8600
		m^3/d	45.4	34.1	41.6	45.4	32.6
	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料				
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl			500PPm NaCl	1500PPm NaCl
	操作压力 psi (MPa)		150 (1.05)			100 (0.7)	150 (1.05)
	测试液温度 ℃		25				
	单支膜元件水回收率 %		15				
	测试液 pH		6.5-7.0				
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600 (4.14)				
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		75 (17.0)				
	最高进水温度 ℃		45				
	进水 pH 范围		3.0-10.0				
	进水最高浊度 NTU		1.0				
	进水最高 SDI (15 分钟)		＜5				
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1				
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1				
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)				

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.4 CPA 系列低压反渗透膜

CPA膜——即Composite Polyamide的英文缩写，是美国海德能公司于 1989 年上市的芳香族聚酰胺复合膜系列。最先推向市场的是CPA2 膜，该膜将透水性与脱盐性实现了最佳的组合，因此CPA2 膜在世界上得到了广泛的应用，相继推出的CPA3 和CPA4 膜使脱盐率达到了更新的高度，可有效地去除水中的SiO_2和TOC，2003 年最新生产的CAP2-HR膜同时具有更高脱盐率和更大水通量，是性能优异的高效反渗透膜，因此CPA系列更适于在制造电子工业超纯水和发电厂锅炉补给水等水处理领域应用。

型号			CPA2	CPA2-HR	CPA3	CPA3-LD	CPA4
类型	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料				
	有效膜面积 ft^2		365	365	400	400	400
性能	脱盐率 %	平均	99.5	99.7	99.7	99.7	99.7
		最低	99.2	99.6	99.6	99.6	
	透过水量	gpd	10000	10000()	11000	11000	6000
		m^3/d	37.9	37.9	41.6	41.6	22.7
	进水流道宽度 mil					31	
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl 溶液				
	操作压力 psi (MPa)		225 (1.55)				
	测试液温度 ℃		25				
	单支膜元件水回收率 %		15				
	测试液 pH		6.5-7.0				
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600 (4.14)				
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		75 (17.0)				
	最高进水温度 ℃		45				
	进水 pH 范围		3.0-10.0				
	进水最高浊度 NTU		1.0				
	进水最高 SDI (15 分钟)		＜5				
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1				
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1				
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)				

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.5 LFC 系列低污染反渗透膜

LFC 膜——即 Low Fouling Composite 的英文缩写，是美国海德能公司于 1998 年在世界上率先推出的低污染型低压复合膜，LFC 膜既具有传统聚酰胺复合膜的低压、高通量、高脱盐率的优点，同时又具有耐污染性的特殊优点，与传统聚酰胺复合膜相比，LFC 低污染膜特点：一是传统聚酰胺复合膜表面均呈负电性，而低污染膜表面呈电中性；二是传统聚酰胺膜表面亲水性差，而低污染膜降低了膜表面与水的接触角度，提高了膜的亲水性。亲水性、电中性的低污染是用于地表水、江河水及污水等复杂给水的脱盐处理。

型号			LFC1	LFC3	LFC3-LD
类型	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料		
	有效膜面积 ft^2		400	400	400
性能	脱盐率 %	平均	99.5	99.7	99.7
		最小	99.2	99.5	
	透过水量	gpd	11000	9500	11000
		m^3/d	41.6	36.0	41.6
	进水流道宽度 mil				31
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl 溶液（运行 30 分钟后测试的数据）		
	操作压力 psi（MPa）		225（1.55）		
	测试液温度 ℃		25		
	单支膜元件水回收率 %		15		
	测试液 pH		6.5-7.0		
使用条件	最高操作压力 psi（MPa）		600（4.14）		
	最高进水流量 gpm（m^3/h）		75（17.0）		
	最高进水温度 ℃		45		
	进水 pH 范围		3.0-10.0		
	进水最高浊度 NTU		1.0		
	进水最高 SDI（15 分钟）		5.0		
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1		
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1		
	单支膜元件最高压力损失		10psi（0.07MPa）		

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.6 LFC2 正电荷反渗透膜

LFC2 膜是膜表面带正电的芳香聚酰胺膜，这种带正电的膜与传统带负电的膜性能完全不同，LFC2 膜与阳离子表面活性剂接触后，可通过清洗来恢复水通量，而带负电的传统复合膜在与阳离子表面活性剂接触后其水通量无法恢复，另外，在给水 TDS 含量低的情况下，LFC2 膜与其它带负阴电的高脱盐率复合膜相比，LFC2 膜对钠及其它阳离子的脱除率更高。由于膜表面带正电荷，所以我们建议在使用 LFC2 膜元件时避免使用阴离子聚合物，因为这些阴离子聚合物在与 LFC2 膜表面接触时会导致膜表面产生不可恢复的污染。

型号			LFC2
	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料
	有效膜面积 ft^2		365
性能	脱盐率 %		95.0
	透过水量	gpd	11000
		m^3/d	41.6
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl 溶液（运行 30 分钟后测试的数据）
	操作压力 psi（MPa）		225（1.55）
	测试液温度 ℃		25
	单支膜元件水回收率 %		15
	测试液 pH		6.5-7.0
使用条件	最高操作压力 psi（MPa）		600（4.14）
	最高进水流量 gpm（m^3/h）		75（17.0）
	最高进水温度 ℃		45
	进水 pH 范围		3.0-10.0
	进水最高浊度 NTU		1.0
	进水最高 SDI（15 分钟）		5.0
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1
	单支膜元件最高压力损失		10psi（0.07MPa）

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.7 SWC 系列海水淡化反渗透膜

SWC 海水淡化反渗透膜——即 Seawater Composite 的英文缩写，是美国海德能公司对世界海水淡化领域的一大贡献。SWC 膜材质为芳香族聚酰胺，它可将不同含盐量的海水处理成为可直接饮用的淡水，这为解决世界各国淡水资源紧缺问题提供了一条新途径。

型号			SWC3	SWC3+	SWC4	SWC4+	SWC5
规格	膜材料		芳香族聚酰胺复合材料				
	有效膜面积 ft^2		370	400	370	400	400
性能	脱盐率 %	平均	99.7	99.8	99.8	99.8	99.8
		最低	99.5	99.7	99.7	99.7	99.7
	透过水量	gpd	5900	7000	5500	6500	9000
		m^3/d	22.3	26.5	20.8	24.6	30.1
	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料				
测试条件	测试溶液		32000PPm NaCl 溶液（运行 60 分钟后测试的数据）				
	操作压力 psi（MPa）		800±10（5.52±0.07）				
	测试液温度 ℃		25				
	单支膜元件水回收率 %		10				
	测试液 pH		6.5-7.0				
使用条件	最高操作压力 psi（MPa）		1200（8.27）				
	最高进水流量 gpm（m^3/h）		75（17.0）				
	最高进水温度 ℃		45				
	进水 pH 范围		3.0-10.0				
	进水最高浊度 NTU		1.0				
	进水最高 SDI（15 分钟）		5.0				
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1				
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1				
	单支膜元件最高压力损失		10psi（0.07MPa）				

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.8 乳制品浓缩分离用反渗透膜 QUALSEP DairyRO 系列

美国海德能公司凭借在卷式膜生产领域中的卓越成就和技术实力，开发研制的 QUALSEP DairyRO 反渗透膜系列产品，具有水通量大、BOD 去除率高、进料液适应范围广、使用安全可靠等特点。严格地生产和质量监控手段保证了每一支膜元件优良超群的性能。QUALSEP DairyRO 系列产品已通过美国食品与药品管理局(FDA)及美国农业部(USDA)认证，作为乳制品加工过程中的浓缩分离设备而得以广泛应用。

应用领域

DairyRO 膜元件最适用于以下工艺过程：

- 牛奶或乳清的初级浓缩过程——可减少工厂设备投资、降低操作成本
- 乳清超滤 (UF) 透过液的浓缩处理——可压缩排污量、节约排污费用
- 处理牛奶或乳清的透过液——可循环使用，以节约水资源以降低成本

型号		3838-30	3840-30	8038-30	Hydra polish 8040-28
性能	最大进料量 gpm (m^3/h)	30 (6.8)	30 (6.8)	80 (18.2)	80 (18.2)
	单支膜元件最大压力降 psi (bar)	15 (1.0)	15 (1.0)	13 (0.9)	13 (0.9)
规格	膜材质	芳香族聚酰胺复合材料			
	结构形式	卫生型 (全填充式)			
	标准膜面积 ft^2(m^2)	80 (7.4)	80 (7.4)	360 (33.4)	380 (35.2)
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)	600 (4.14)			
	进水最大自由氯浓度 PPm	＜0.1			
	最高操作温度 ℃	50			
	进料 pH 范围	3.0-10.0			
	清洗 pH 范围	2.0-11.0			
	进水最高浊度 NTU	1.0			
	单支压力容器最高压力损失 psi (bar)	60 (4.1)			

注：膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中，外包装为硬纸箱。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.9 卫生型反渗透膜 SanRO 系列

美国海德能公司凭借其在卷式膜生产领域中的卓越表现和技术实力,新近开发研制出了 SanRO 卫生型卷式反渗透膜系列产品。该系列产品具有高脱盐率、大水通量、在运行过程中无过滤死角、安全可靠等特点。通过严格地生产和质量监控手段充分地保证了每一支膜元件都具有优良超群的性能特点。SanRO 系列产品已通过了美国食品与药品管理局(FDA)认证，使其在医药纯水及其它高纯水系统中得到了广泛应用。

型 号	类 型	膜 性 能 *			系统性能 **	
		产水量 - GPD (m^3/d)		脱盐率 %	使用压力 psi (MPa)	产水 TDS 值 PPm
		8 英寸元件	4 英寸元件			
SanRO ESPA2	超低压节能型	13000 (49.2)	3300 (12.5)	99.7	165 (1.14)	9.5
SanRO CPA3	高脱盐低压型	10500 (39.7)	2600 (9.8)	99.7	195 (1.35)	7.4
SanRO LFC3	低污染型	9000 (34.1)	2300 (8.7)	99.6	220 (1.52)	9.2
SanRO CPA4	高脱盐低压型	5500 (20.8)	1400 (5.3)	99.6	330 (2.27)	5.4

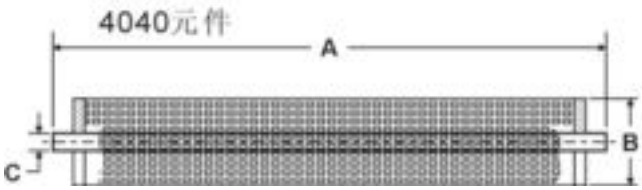
规格	结构形式	卫生型全填充型
	膜材质	芳香族聚酰胺复合材料
使用条件	最大操作压力 psi (MPa)	600 (4.14)
	进水最大自由氯浓度 PPm	＜ 0.1
	最高操作温度 ℃	113 (45)
	进水 pH 范围	3.0-10.0
	清洗 pH 范围	2.0-11.0
	单支压力容器最高压力损失 psi (MPa)	60 (0.41)

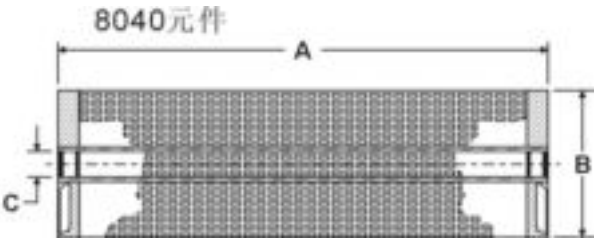
* ：标准测试条件：1500mg/L NaCl，1.55MPa，15%回收率，25°C；

**：使用压力和产水 TDS 是以下运行条件下得到的数据；

——给水 TDS 为 500mg/L NaCl，pH=7，25°C，回收率 85%。

SanRO 膜元件工艺尺寸





规格	A in(cm)	B in(cm)	C in(cm)	膜面积 ft^2(m^2)
4 英寸	40.0 (102)	3.98 (10.1)	0.750 (1.9) O.D.	90 (8.3)
8 英寸	40.0 (102)	7.95 (20.1)	1.125 (2.9) I.D.	380 (35.2)

注：膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中，外包装为硬纸箱。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.10 卫生热消毒型反渗透膜 SanRO-HS 系列

美国海德能公司凭借其在卷式膜生产领域中的卓越表现和技术实力，新近开发研制出了 SanRO-HS 卫生热消毒型卷式反渗透膜系列产品。该系列产品具有高脱盐率、大水通量、在运行过程中可进行热消毒、无过滤死角、安全可靠等特点。通过严格地生产和质量监控手段充分地保证了每一支膜元件都具有优良超群的性能特点。SanRO-HS 系列产品已通过了美国食品与药品管理局(FDA)认证，使其在医药纯水及其它高纯水系统中得到了广泛应用。

型 号	类 型	膜 性 能 *			系统性能 **	
		产水量 GPD (m^3/d)		脱盐率 %	使用压力 psi (MPa)	产水 TDS 值 PPm
		8 英寸元件	4 英寸元件			
SanRO-HS	卫生热消毒高脱盐型	8800 (33.3)	2200 (8.4)	99.7	225 (1.55)	6.0
SanRO-HS2	卫生热消毒高脱盐高水通量	11200 (42.4)	2800 (10.6)	99.6	185 (1.28)	8.6

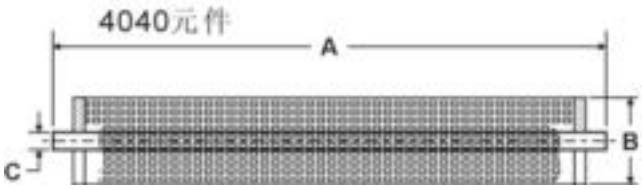
规格	结构形式	卫生型全填充型
	膜材质	芳香族聚酰胺复合材料
使用条件	最大操作压力 psi (MPa)	600 (4.14)
	进水最大自由氯浓度 PPm	＜ 0.1
	最高消毒温度/最大压力 °F/psi(°C/MPa)	185/25 (85/0.17)
	进水 pH 范围	3.0-10.0
	清洗 pH 范围	2.0-11.0
	单支压力容器最高压力损失 psi (MPa)	60 (0.41)

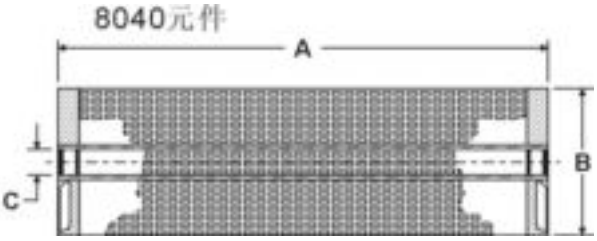
*：标准测试条件：1500 mg/L NaCl，1.55MPa，15%回收率，25°C；

**：使用压力和产水 TDS 是以下运行条件下得到的数据；

——给水 TDS 为 500 mg/L NaCl，pH=7，25°C，回收率 85%。

SanRO-HS 膜元件工艺尺寸





规格	A in(cm)	B in(cm)	C in(cm)	膜面积 ft^2(m^2)
4040	40.0 (102)	3.98 (10.1)	0.750 (1.9) O.D.	90 (8.3)
8040	40.0 (102)	7.90 (20.1)	1.125 (2.9) I.D.	380 (35.2)

注：膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中，外包装为硬纸箱。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.11 ESNA 系列节能型聚酰胺纳滤膜

ESNA 系列是海德能公司生产的高性能纳滤膜，膜材质均为芳香族聚酰胺复合材料。ESNA 膜可用于脱除有机物、细菌和病毒，它的 NaCl 脱除率为 50~90%。该系列膜可在超低运行压力下工作，从而实现节能、降低设备投资和操作费用的目的。

型号			ESNA1-K1		ESNA1-LF
规格	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料		
	有效膜面积 ft^2		400		400
性能	最低脱盐率 %	平均	$MgSO_4$ 97.0	NaCl 90.0	$CaCl_2$ 81.0
		最低	$MgSO_4$ 92.0	NaCl 80.0	
	透过水量	gpd	10500	9320	7500
		m^3/d	39.7	35.3	28.0
测试条件	测试溶液		500PPm $MgSO_4$	500PPm NaCl	500PPm $CaCl_2$
	操作压力 psi (MPa)		80 (0.55)	75 (0.5)	75 (0.5)
	测试液温度 ℃		25		
	单支膜元件水回收率 %		15		
	测试液 pH		6.5-7.0		
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600 (4.14)		
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		75 (17.0)		
	最高进水温度 ℃		45		
	进水 pH 范围		3.0-10.0		
	进水最高浊度 NTU		1.0		
	进水最高 SDI (15 分钟)		5.0		
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1		
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1		
	单支膜元件最高压力损失		10		
	给水 TOC PPm		＜3.0		

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

1.12 HYDRACoRe-50 系列高耐氯性脱色用纳滤膜

HYDRACoRe-50 膜元件的性能和规格

	产水量 gpd (m^3/d)	8,200 (31.0)
	NaCl 脱除率 %	50.0
	截留分子量(MWCO) daltons	1,000
标准测试条件	说明：表中性能是基于以下标准测试条件下给出的	
	测试溶液 PPm NaCl	500
	操作压力 psi (MPa)	75 (0.52)
	测试液温度 ℃	25
	单支膜元件水回收率 %	15
	测试液 pH	6.5
规格	膜材质	磺化聚醚砜 (SPES)
	结构形式	螺旋卷式
	标准膜面积 ft^2	365
操作参数	最高操作压力 psi (MPa)	600 (4.14)
	最大连续自由氯浓度 PPm	10
	清洗最大自由氯浓度 PPm	100
	最高操作温度 ℃	40
	进水 pH 值范围	2.0-11.0
	进水最大浊度 NTU	1.0
	进水最高 SDI (15Min)	5.0
	单支压力容器最大进水流量 gpm (m^3/h)	75 (17)
	单只膜元件最高压力损失 psi	10

膜元件特点

- 低压力，高水通量
- 膜表面为强负电荷
- 抗氯氧化性能很强
- 特殊处理的膜表面复合层，可耐细菌侵蚀
- 优化的膜结构，稳定性高

应用领域

- 工业有机废水(印染)处理
- 造纸(纸浆)工业废水脱色
- 食品工业(制糖、酱油)废水处理
- 高色度的地表水为水源的自来水厂水净化
- 活性染料的脱盐浓缩

HYDRACoRe 在不同的化学溶液中的稳定性

化 学 溶 液	浓 度	长 期 稳 定 性
硫 酸	pH=2	稳定
盐 酸	pH=2	稳定
硝 酸	pH=2	稳定
醋 酸	1%	稳定
草 酸	2%	稳定
柠檬酸	2%	稳定
乙二胺四乙酸二钠盐(EDTA-Na)	2%	稳定
硫酸氢钠	2%	稳定
氢氧化钠	pH=13	稳定
次氯酸钠	100 PPm	稳定
过氧化氢	1%	不稳定
福尔马林	0.5%	稳定

化学清洗溶液

可根据污染物的不同，选择以下的清洗溶液：

- 0.2%草酸溶液
- 2%柠檬酸+氨水(pH=4)
- 磷酸溶液(pH=2-4)
- NaOH 溶液(pH=9-12)
- NaOCl 溶液(100PPm)
- 阴离子表面活性剂(0.1%)
- 1%六偏磷酸钠(SHMP)溶液

注 1：使用阳离子或非离子表面活性剂可能会引起水通量的衰减。 使用阳离子或非离子表面活性剂前要确定溶液与膜的兼容性。过氧化氢的使用会导致膜的劣化。

注 2：膜元件的产水量误差为-15%(无上限)。出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环，一支膜元件连接管和一只 O 型环。膜元件均真空封装于 1.0%亚硫酸氢钠保护液中。

1.13 4 英寸反渗透、纳滤膜元件

ESPA 系列 4 英寸反渗透膜元件规格与性能

型号			ESPA1-4040	ESPA2-4040	ESPA3-4040	ESPA4-4040
规格	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料			
	有效膜面积 ft^2		85			
性能	脱盐率 %	平均	99.2	99.6	98.5	99.2
		最低	99.0	99.4	98.0	99.0
	透过水量	gpd	2600	1900	3000	2500
		m^3/d	9.8	7.2	11.4	9.46
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl 溶液			500PPm NaCl
	操作压力 psi (MPa)		150 (1.05)			100 (0.7)
	测试液温度 ℃		25			
	单支膜元件水回收率 %		15			
	测试液 pH		6.5-7.0			
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600 (4.14)			
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		16 (3.6)			
	最高进水温度 ℃		45			
	进水 pH 范围		3.0-10.0			
	进水最高浊度 NTU		1.0			
	进水最高 SDI (15 分钟)		＜5			
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1			
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 : 1			
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)			

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

CPA 2-4040 反渗透膜元件规格与性能

型号			CPA2-4040
规格	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料
	有效膜面积 – ft^2		85
性能	脱盐率 %	平均	99.5
		最低	99.2
	透过水量	gpd	2250
		m^3/d	8.5
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl 溶液
	操作压力 psi (MPa)		225 (1.55)
	测试液温度 ℃		25
	单支膜元件水回收率 %		15
	测试液 pH		6.5-7.0
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600 (4.14)
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		16 (3.6)
	最高进水温度 ℃		45
	进水 pH 范围		3.0-10.0
	进水最高浊度 NTU		1.0
	进水最高 SDI (15 分钟)		<5
	最高进水自由氯浓度 PPm		<0.1
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 : 1
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

LFC 低污染系列 4 英寸反渗透膜元件规格与性能

型号			LFC1-4040	LFC2-4040
规格	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料	
	有效膜面积 – ft^2		85	85
性能	脱盐率 %	平均	99.4	95.0
		最低	99.0	
	透过水量	gpd	2300	1980
		m^3/d	8.7	7.5
测试条件	测试溶液		1500PPm NaCl 溶液	
	操作压力 psi (MPa)		225(1.55)	
	测试液温度 ℃		25	
	单支膜元件水回收率 %		15	
	测试液 pH		6.5-7.0	
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600 (4.14)	
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		16 (3.6)	
	最高进水温度 ℃		45	
	进水 pH 范围		3.0-10.0	
	进水最高浊度 NTU		1.0	
	进水最高 SDI (15 分钟)		＜5	
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1	
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 : 1	
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)	

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

SWC 海水淡化系列 4 英寸反渗透膜元件规格与性能

型号			SWC1-4040	SWC2-4040
规格	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料	
	有效膜面积 ft^2		70.0	
性能	脱盐率 %	平均	99.6	99.2
		最低	99.5	
	透过水量	gpd	1200	1400
		m^3/d	4.5	5.7
测试条件	测试溶液		32000PPm NaCl 溶液	
	操作压力 psi (MPa)		800±10 (5.52±0.07)	
	测试液温度 ℃		25	
	单支膜元件水回收率 %		15	
	测试液 pH		6.5-7.0	
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		1200 (8.27)	
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		16 (3.6)	
	最高进水温度 ℃		45	
	进水 pH 范围		3.0-10.0	
	进水最高浊度 NTU		1.0	
	进水最高 SDI (15 分钟)		＜5	
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1	
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1	
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)	

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

ESNA1-K1-4040 纳滤膜元件规格与性能

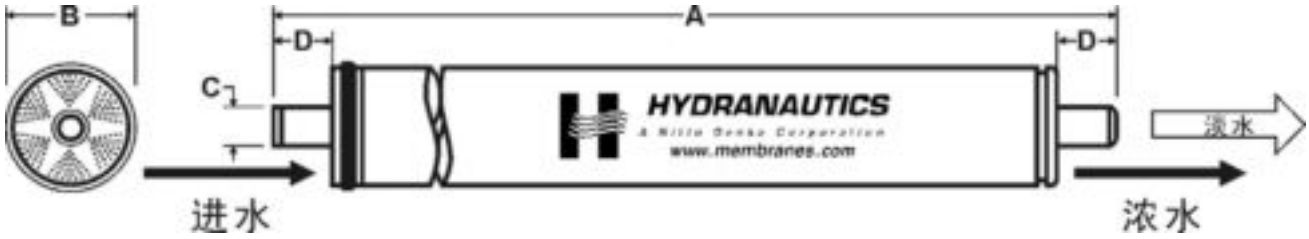
型号			ESNA1-K1-4040	
规格	膜材质		芳香族聚酰胺复合材料	
	有效膜面积 ft^2		85	
性能	脱盐率 %	平均	$MgSO_4$ 97	NaCl 90
		最低	$MgSO_4$ 92	NaCl 80
	透过水量	gpd	2200	1952
		m^3/d	8.3	7.4
测试条件	测试溶液		500PPm $MgSO_4$溶液	500PPm NaCl 溶液
	操作压力 psi (MPa)		80 (0.55)	75 (0.5)
	测试液温度 ℃		25	
	单支膜元件水回收率 %		15	
	测试液 pH		6.5-7.0	
使用条件	最高操作压力 psi (MPa)		600(4.16)	
	最高进水流量 gpm (m^3/h)		16(3.6)	
	最高进水温度 ℃		45	
	进水 pH 范围		3.0-10.0	
	进水最高浊度 NTU		1.0	
	进水最高 SDI (15 分钟)		＜5	
	最高进水自由氯浓度 PPm		＜0.1	
	单支膜元件上浓缩水与透过水量的最小比例		5 ： 1	
	单支膜元件最高压力损失		10psi (0.07MPa)	

注：产水量误差为±15%，出厂时每一支膜元件均配有一只浓水密封环、一只膜元件连接管和相应O型环。膜元件均真空封装于 1.0%偏亚硫酸氢钠($Na_2S_2O_5$)保护液中。

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的，但由于我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

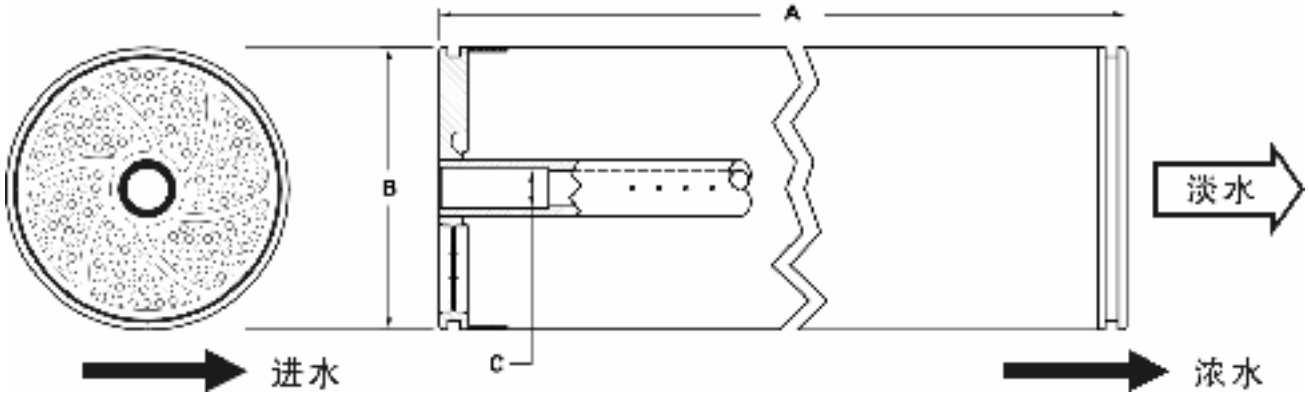
1.14 海德能公司 4 英寸及 8 英寸卷式膜元件工艺尺寸

4 英寸膜元件工艺尺寸



A	B	C	D	净重
40.00” (1016.1mm)	3.94” (100.1mm)	0.75” (19.1mm)	1.05” (26.7mm)	8 磅 (3.6kg)

8 英寸膜元件工艺尺寸



A	B	C	净重
40.00” (1016.1mm)	7.895” (200.5mm)	1.125” (28.6mm)	36 磅 (16.4kg)

注：以上工艺尺寸适用于 ESPA、CPA、LFC、SWC、ESNA 系列膜元件。

第二章　反渗透及纳滤膜应用技术介绍

2.1　ESPA 系列超低压反渗透膜

自 1995 年 5 月美国海德能公司率先推出第一代超低压反渗透膜元件 ESPA1 以来，其优越的节能特性受到了广大用户的极大关注，超低压反渗透膜在世界日益普及。随着节约能源的要求越来越高，人们对反渗透膜的运行压力不断提出更高的要求。美国海德能公司为了满足在更低运行压力下的不同产水要求，不断充实和完善了超低压反渗透膜 ESPA 系列。目前，ESPA 系列的 8 英寸膜元件已经发展到 6 个型号：ESPA1（标准超低压反渗透膜）、ESPA2（高脱盐率超低压反渗透膜）、ESPA3（超高产水量超低压反渗透膜）、ESPA4（高产水量超低压反渗透膜）、ESPA2+（大面积高脱盐率超低压反渗透膜）和 ESPAB（高脱硼超低压反渗透膜），4 英寸膜元件也发展到 4 个型号：ESPA1-4040、ESPA2-4040、ESPA3-4040 和 ESPA4-4040。迄今为止，美国海德能公司的 ESPA 超低压系列反渗透膜是世界上产水量最高、运行压力最低、且具有高脱盐率的膜元件。在进水含盐量（TDS）低于 1000 mg/L 时，ESPA 系列膜元件具有不可替代的优势。

1　性能说明

(1) ESPA 系列超低压反渗透膜元件特点

由于反渗透膜在工作时需要克服更高的渗透压。因此能耗较高一直是反渗透工艺的弱点，若能够在较低的压力下制备出符合要求的去离子水，就意味着节约反渗透膜系统的设备投资（水泵、阀门、管路以及压力容器）和运行费用（电能消耗及维护费）。

表-1 列出了 ESPA 系列超低压反渗透膜元件的性能特点，以及与 CPA 系列低压反渗透膜元件的比较。表中的特性产水量表示膜元件在单位压力下，单位面积单位时间的产水量，这个参数使得不同的膜元件可以在同一条件下进行比较。因此，从表-1 中可以看出：

- ESPA 系列比 CPA 系列具有更高的特性产水量，其中 ESPA4 达到 7.27 LMH/bar，是目前特性产水量最高的反渗透膜元件；
- ESPA2+的膜面积增加了 10 %，达到了 440 ft2。这使得 ESPA2+在具有超低压系列最高脱盐率的同时，具备了高的产水量，其特性产水量也达到了 4.04 LMH/bar；
- ESPAB 具有最高的硼元素（B）脱除率 96%。

1995 年推出的ESPA1 比传统的低压反渗透膜元件CPA3 特性产水量高 67 %。1998 年推出的ESPA2 和ESPA3 进一步完善了超低压产品系列。ESPA2 的脱盐率更高，而ESPA3 的产水量更高。2000 年，海德能公司又推出了ESPA4，其在更低的压力（100 psi，0.70 MPa）下运行，仍可以得到 99.2 %的脱盐率。2004 年在ESPA2 的基础上进行了新的技术改进，进而推出最新型的超低压反渗透膜元件ESPA2+，面积提高了 10 %，达到 440 ft^2。从而在保持 99.6 %的脱盐率的情况下，是产水量从ESPA2 的 9000 GPD（34.1 m^3/h）提高到 11000 GPD（41.6 m^3/h），增加了 22%。ESPA系列的性能及其与传统低压反渗透膜元件CPA系列的比较请参见图-1、图-2 和表-1。

表-1 ESPA 系列超低压反渗透膜性能特点

膜元件	面积 ft^2	脱盐率 %	产水量 GPD（m^3/d）	测试压力 psi（bar）	特性产水量 GFD/psi（LMH/bar）
ESPA1	400	99.3	12000（45.5）	150（10.5）	0.20（4.86）
ESPA2	400	99.6	9000（34.1）	150（10.5）	0.15（3.63）
ESPA2+	440	99.6	11000（41.6）	150（10.5）	0.17（4.04）
ESPA3	400	98.5	14000（53.0）	150（10.5）	0.23（5.65）
ESPA4	400	99.2	12000（45.4）	100（7.0）	0.30（7.27）
ESPAB	400	99.2 （硼脱除率 99.6）	8600（32.6）	150（10.5）	0.14（3.47）
CPA2	365	99.5	10000（37.9）	225（15.5）	0.12（3.00）
CPA3	400	99.7	11000（41.6）	225（15.5）	0.12（3.00）
CPA4	400	99.7	6000（22.7）	225（15.5）	0.07（1.64）

注：以上数据均在标准测试条件下得到，不代表全部使用条件。实际应用依据不同水质有所不同。

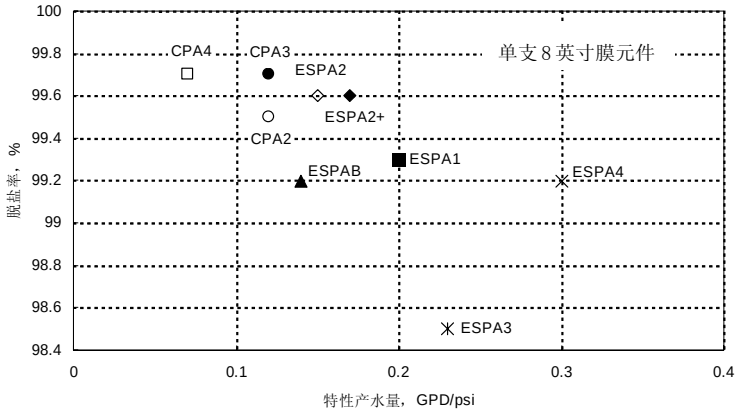


图-1 ESPA 系列超低压反渗透膜元件特性产水量与脱盐率的关系以及与 CPA 系列的比较

（测试条件：1500mg/L NaCl；15 % 回收率；25℃；ESPA4 为 500 mg/L NaCl）

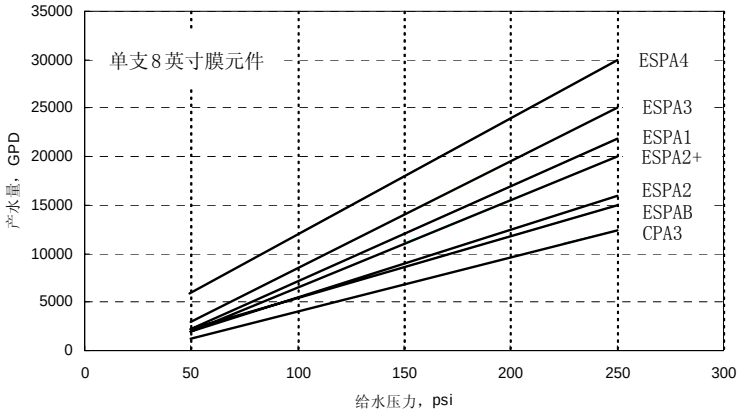


图-2 不同压力下 ESPA 系列和 CPA3 产水量的比较

（测试条件：1500mg/L NaCl；15 % 回收率；25℃；ESPA4 为 500 mg/L NaCl）

为了进一步直观的比较不同反渗透膜的脱盐率差异，我们使用美国海德能公司的反渗透设计软件 IMS Design 对 ESPA 系列膜元件和 CPA3 膜元件分别进行了分析，结果列于表 3-2。表中给出了三种进水含盐量（500、1500 和 4000 mg/L）条件下，各种膜元件在相同的产水量 15GFD（25.5 LMH）时，所需的给水压力以及产水中的含盐量。表中数据均针对 8 英寸单支膜元件、水温 25℃、回收率 15 %。膜型号按进水压力从高到底排列。

表-2 ESPA 系列及 CPA3 工作压力和产水含盐量比较

膜型号	500 mg/L		1500 mg/L		4000 mg/L	
	给水压力 bar	产水含盐量 mg/L	给水压力 bar	产水含盐量 mg/L	给水压力 bar	产水含盐量 mg/L
CPA3	8.1	2.2	9.0	8.7	11.4	38.4
ESPA2	6.3	2.3	7.3	9.1	9.6	40.0
ESPA2+	5.8	2.8	6.7	10.7	9.0	47.1
ESPA1	4.9	9.8	5.8	29.5	8.0	112
ESPA3	4.3	24.3	5.1	72.9	7.3	195
ESPA4	4.0	7.7	4.5	29.9	6.7	131

表-2 所示的 6 种膜中，低压反渗透膜元件 CPA3 的产水水质最好，但所需压力也是最高的。ESPA 系列反渗透膜的给水压力均有明显降低，其中 ESPA4 的运行压力最低。在进水含盐量小于 1500 mg/L 时，ESPA4 所需的进水压力仅为 CPA3 的一半，ESPA 的三分之二。

(2) ESPA 系列超低压反渗透膜元件的测试参数

很多运行参数均对反渗透膜元件的产水量和脱盐率有很大的影响，例如：运行压力、给水流量、给水含盐量以及给水温度。为了更好地了解超低压反渗透膜元件在不同运行条件下的性能，美国海德能公司通过大量的试验，积累了丰富的数据。图-3 至图-13 分别是 ESPA1、ESPA2 和 ESPA4 超低压反渗透膜元件的性能图（8 英寸膜元件）。

- ESPA1（8 英寸膜元件）

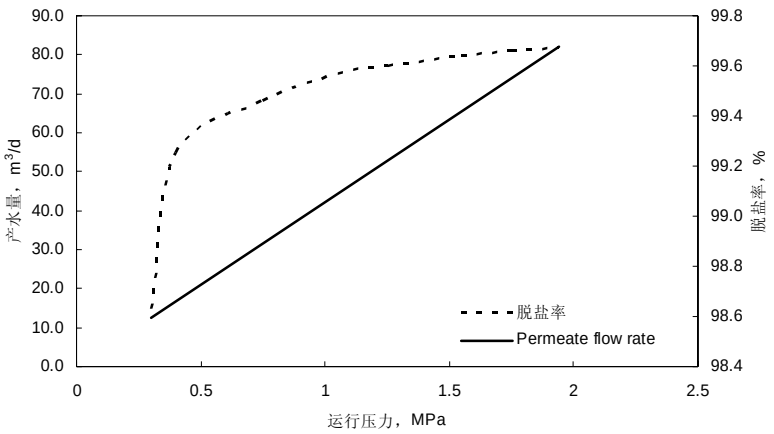


图-3 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15 %；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

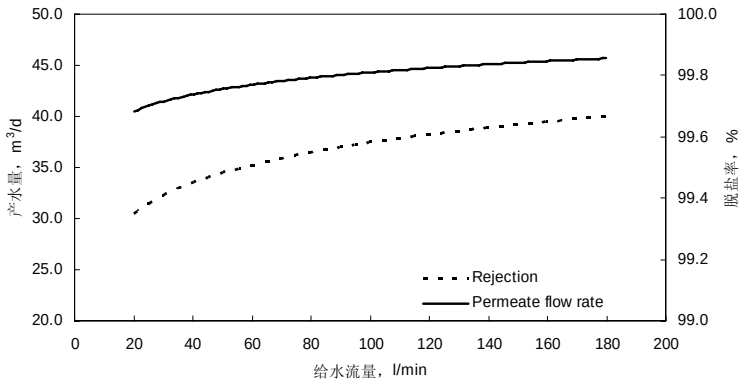


图-4 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

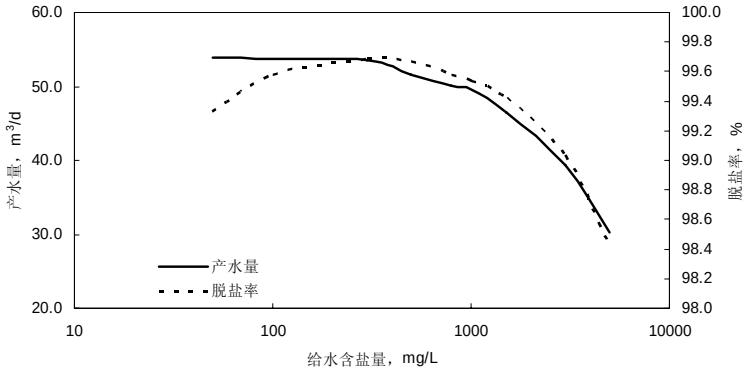


图-5 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；回收率：15 %；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

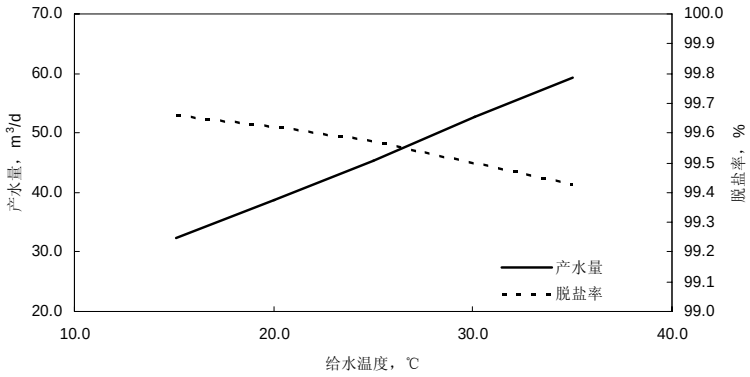


图-6 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；回收率：15 %；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH 值：6.5 – 7.0）

- ESPA2（8 英寸膜元件）

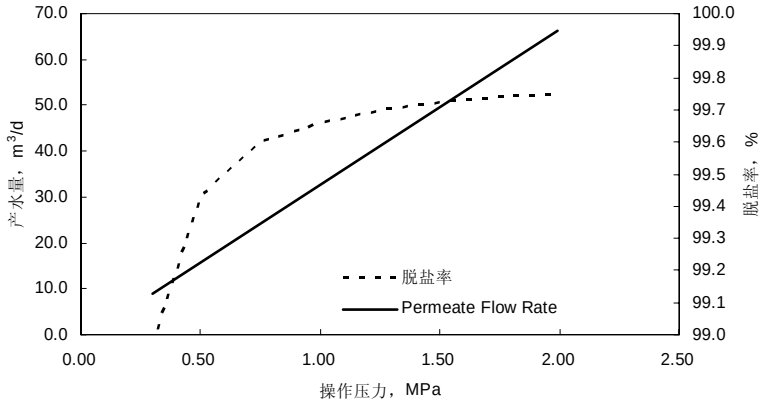


图-7 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15 %；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

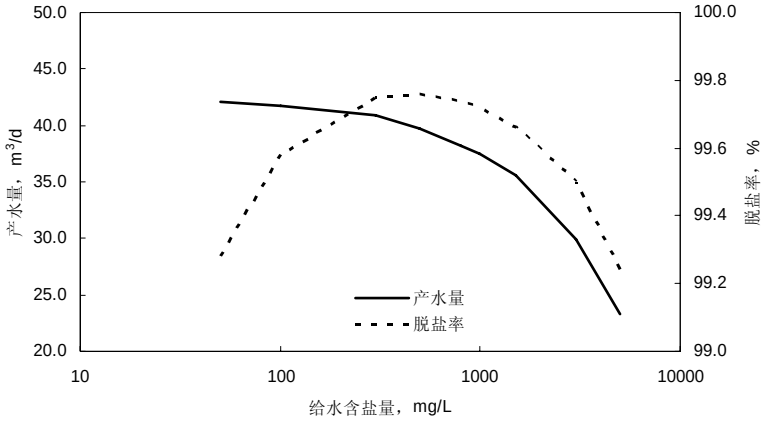


图-8 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；回收率：15 %；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

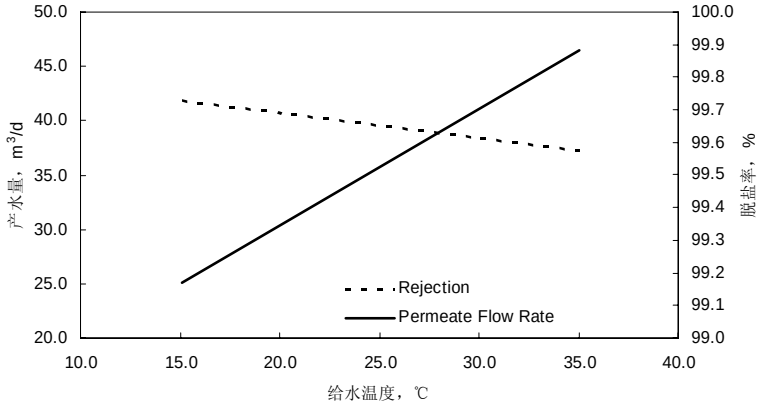


图-9 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；回收率：15 %；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH 值：6.5 – 7.0）

- ESPA4（8 英寸膜元件）

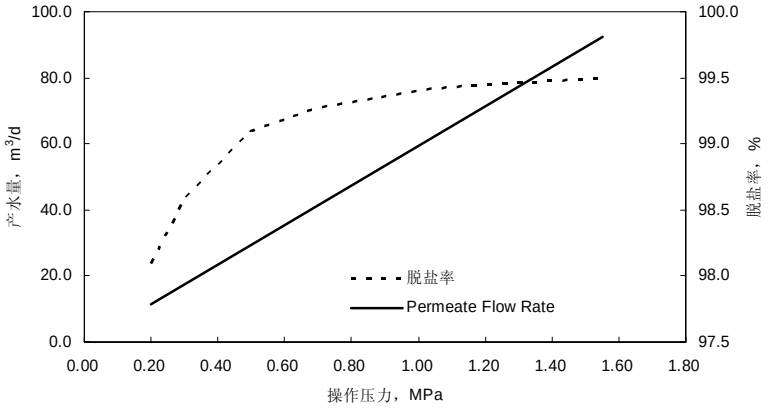


图-10 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15 %；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

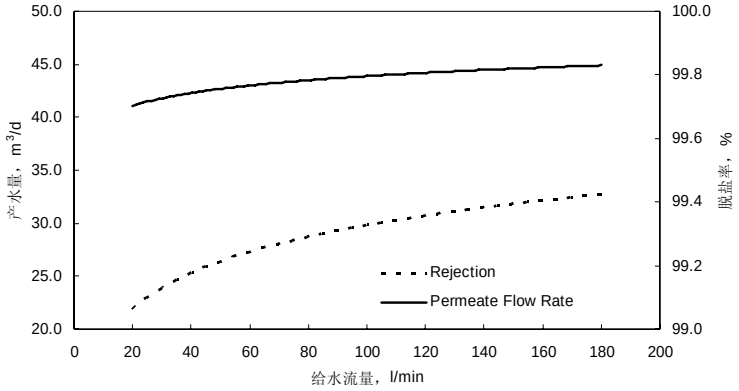


图-11 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

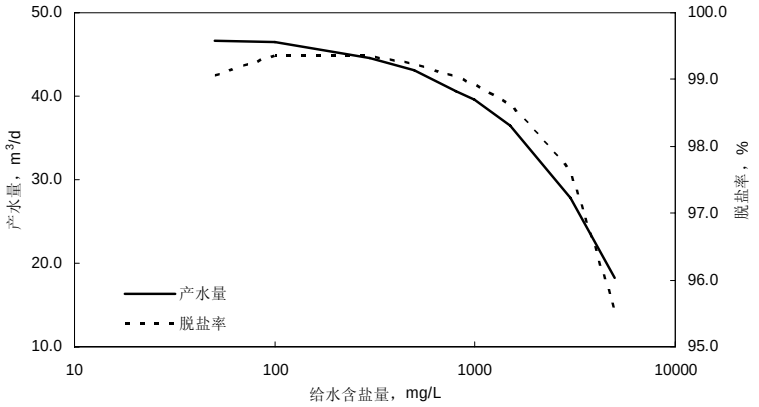


图-12 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；回收率：15 %；温度：25℃；pH 值：6.5 – 7.0）

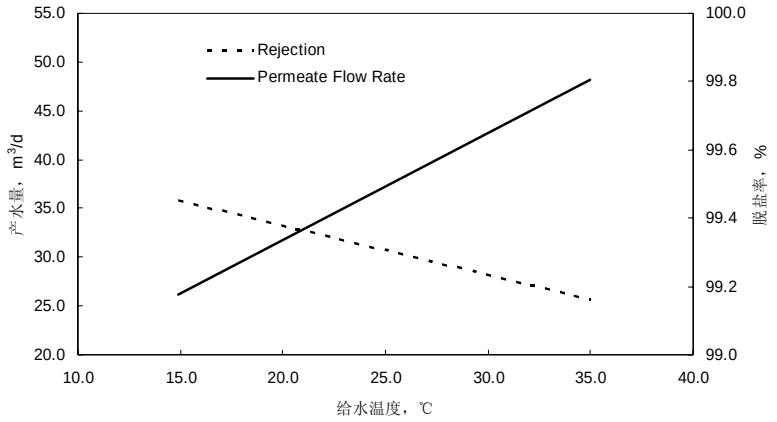


图-13 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.05 MPa；回收率：15 %；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH 值：6.5 - 7.0）

从图-3 至图-13 可以看出以下趋势：

- 随着操作压力的升高，产水量和脱盐率均上升。在测试范围内，产水量与操作压力成线性关系，而脱盐率随着压力的不断升高，逐渐趋近一个定值；
- 在测试范围内，随着给水流量的增加，产水量和脱盐率逐渐上升，并且均趋近于一个定值；
- 随着给水含盐量的升高，产水量不断下降，而在测试范围内，脱盐率先是逐渐升高，但经过一个峰值后，则显著下降；
- 在测试范围内，随着给水温度的升高，产水量升高，而脱盐率下降，而均呈线性关系。

总之，不同运行条件会造成繁盛头脱盐率和产水量的不同变化。因此，采用美国海德能公司提供的专用设计软件对所需处理水质进行优化设计时十分必要的。

2 应用领域

ESPA 系列超低压反渗透膜元件可应用于各种工业纯水、市政、轻工业以及饮用水领域。特别是在电费较贵和给水温较低的条件下，ESPA 系列超低压反渗透膜元件表现出优异的性能。表-3 列出了各种 ESPA 膜元件的适用范围。

表-3 ESPA 系列超低压反渗透膜元件的适用范围

膜型号	特点及适用领域
ESPA1	标准超低压反渗透膜元件，适用于给水含盐量小于 1000 mg/L 的一般场合。
ESPA2	高脱盐率超低压反渗透膜，适用于对产水水质要求高的场合。
ESPA2+	高脱盐率、大面积、高产水量超低压反渗透膜元件，适用于双级反渗透系统的第二级。
ESPA3	高产水量超低压反渗透膜，适用于要求高产水量，对脱盐率要求不高的场合。
ESPA4	更低的运行压力、高产水量超低压反渗透膜元件，适用于双级反渗透膜系统的第二级。
ESPAB	高脱硼超低压反渗透膜元件，适用于要求高脱硼率的双级海水淡化系统的第二级。

需要特别指出的是，由于人们对水质要求越来越高，双级反渗透系统日益成为热点。第二级反渗透膜元件的选型越来越受到重视。由于第二级反渗透系统的给水是第一级反渗透的产水，水中的含盐量已经很低，因此在第二级选膜时，可以基本忽略浓差极化指数（Bate 值）和朗格利尔指数（Langelier 指数）的影响，尽量选用超低压、高产水量的反渗透膜元件，已达到减少膜元件数量，降低运行压力的目的。美国海德能公司推荐在双击反渗透系统中的第二级选用 ESPA2+和 ESPA4 两种超低压、高产水量反渗透膜元件。其中，ESPA2+在对第二级产水水质要求高的场合更加适用，而 ESPA4 在对产水量要求高，对产水水质要求不很高时适用。

3 设计要点

反渗透系统的主要性能参数是产水量、回收率和产水水质指标，在设计中按照膜的产水通量、浓差极化和膜元件内部流量分布等条件来决定能够达到系统性能指标的膜元件型号、数量以及排列方式。

实际装置通常由段组成，段是由装填有若干膜元件（通常 1－8 支）的压力容器并联组成。前一段压力容器的浓水进入下一段压力容器。最常见的系统为两段系统，第一段压力容器的数量通常是第二段压力容器数量的 2 倍或接近 2 倍（即 2:1 排列），每个压力容器装 6 支反渗透膜元件。图-14 为一个标准两段反渗透装置示意图。

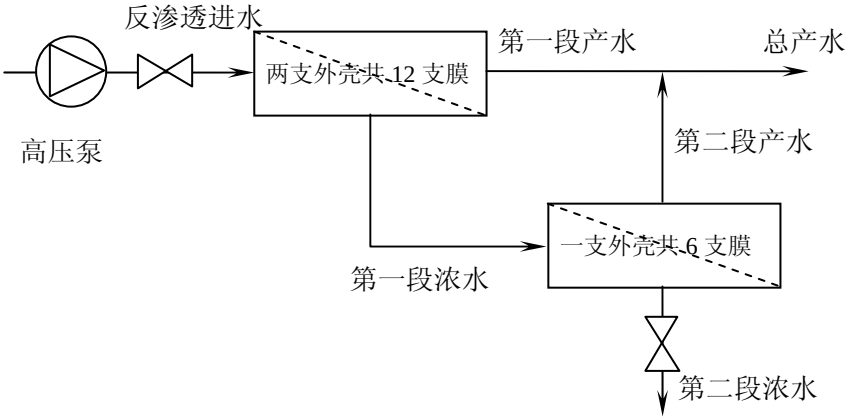


图-14 两段式反渗透系统示意图

依据图-14 的运行方式，图 3-15 和图 3-16 分别给出了两段系统中不同位置上膜元件的压力分布和产水量分布。由这两个图可以发现：

a) 第一段第一支膜元件的产水量最高，第二段最后一支膜元件产水量最小；

b) 第一段第一支膜元件的净推动力最高，第二段最后一支膜元件的净推动力最小；

c) 给水的渗透压（含盐量）随着所经过膜元件的数量不断上升；

d) 产水量越大的反渗透膜元件，首支膜和末支膜的产水越不平均。

影响系统产水通量不平衡有两个基本因素：

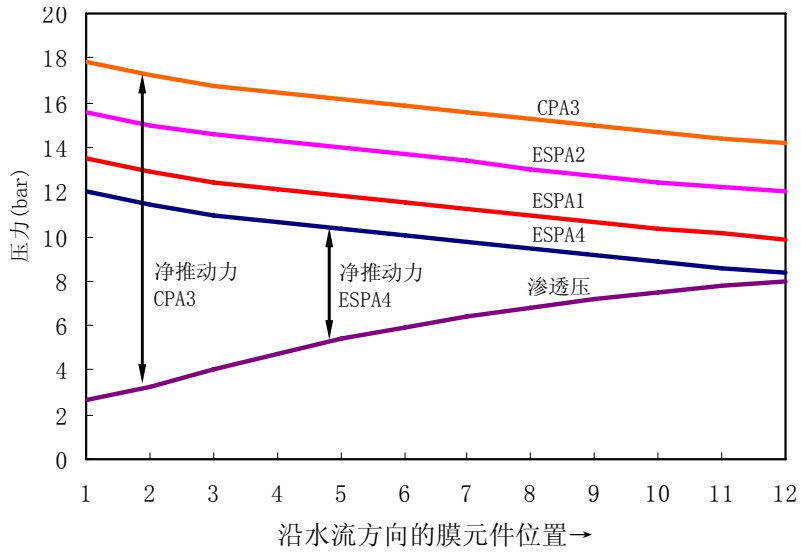
a) 运行参数变化的影响：

- 系统进水含盐量升高（渗透压增高）；

- 水温升高、进水压力加大（产水量加大）；
- 系统回收率提高（进水/浓水渗透压变化倍率提高）。

b) 反渗透膜的产水量（特性产水量）的影响：对于进水含盐量、进水温度和系统回收率相同的系统，所采用膜的阻力越小（即特性产水量越高），系统产水量不平衡的现象就越严重。

当超低压反渗透膜元件应用时，产水不平衡的现象会较为明显，这是由于超低压反渗透膜元件具有更高的特性产水量，图-16 同样可以看出特性产水量越高的膜，产水越不平衡。



设计条件：(2:1)×6 排列，pH 值=7.0，进水 TDS=3000PPm
回收率=75%，产水量=18m³/h，平均产水通量=15.9GFD

图-15 两段反渗透系统中的压力分布

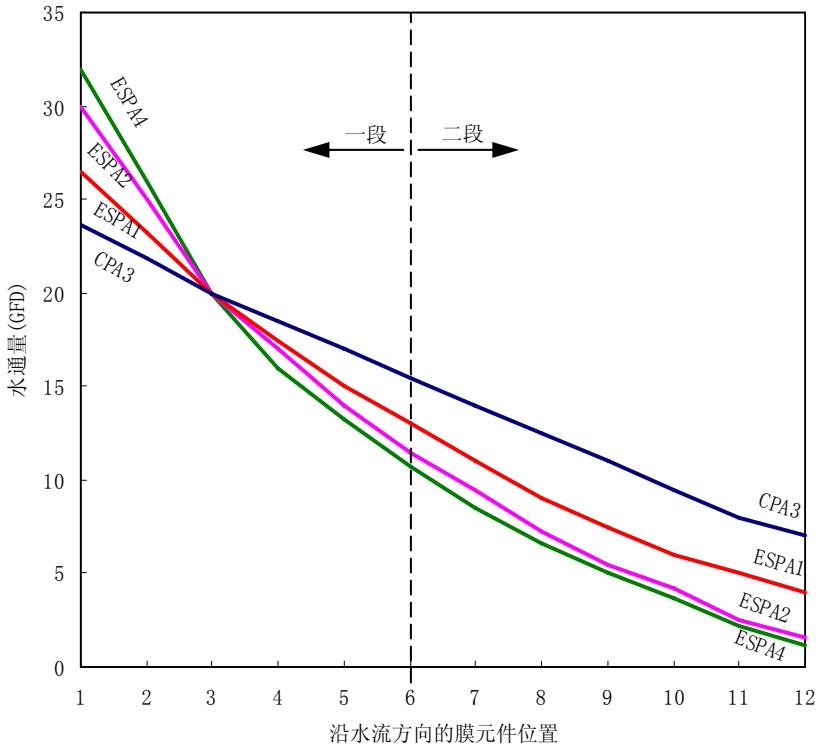


图-16 两段反渗透系统中的水通量流程分布

通常，有三个方法可以解决产水量不平衡的问题：

a) 产水背压：如图-17 所示，在第一段反渗透产水管路上安装节流阀，增加第一段的产水背压，抵消一部分第一段的净推动力，降低第一段的产水量，使得第一段膜元件和第二段膜元件的产水量接近。产水增加背压是一种最容易实现的方法，可以简单的解决问题，对于原有系统的改造更是十分方便，只需要添加一个阀门即可。此时沿给水流动方向的压力分布见图-18。但是产水背压节流是存在一定风险的。我们都知道，反渗透膜元件在产水侧压力大于金水侧压力时就会被破坏（俗称背压）。当添加了第一段产水节流阀后，在正常运行时，膜元件的给水压力仍然大于产品水压力，这是背压不会对膜元件产生破坏。但是一旦系统停机，在那一瞬间，由于膜元件给水侧的压力突然降为零，而产水侧的节流阀仍保持一定的压力，这是膜元件将受到致命的破坏。因此，添加了第一段产水节流阀的反渗透系统在停机前应该先完全开启该节流阀，然后再停止高压泵，以避免停机一瞬间可能对反渗透膜元件造成的伤害。

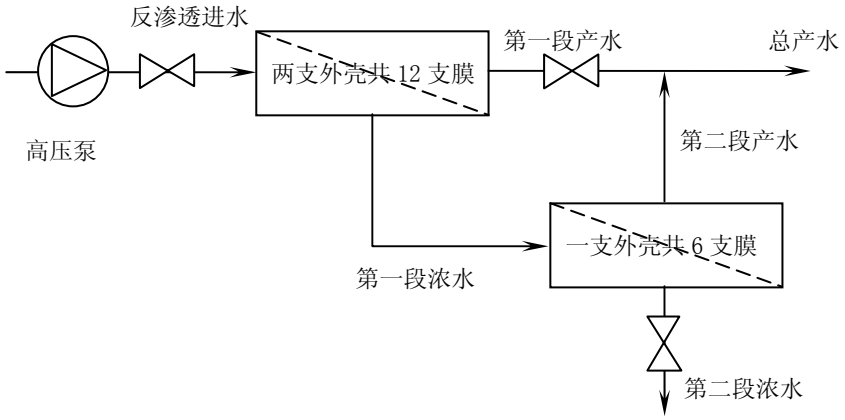


图-17 设置第一段产水背压节流的反渗透系统

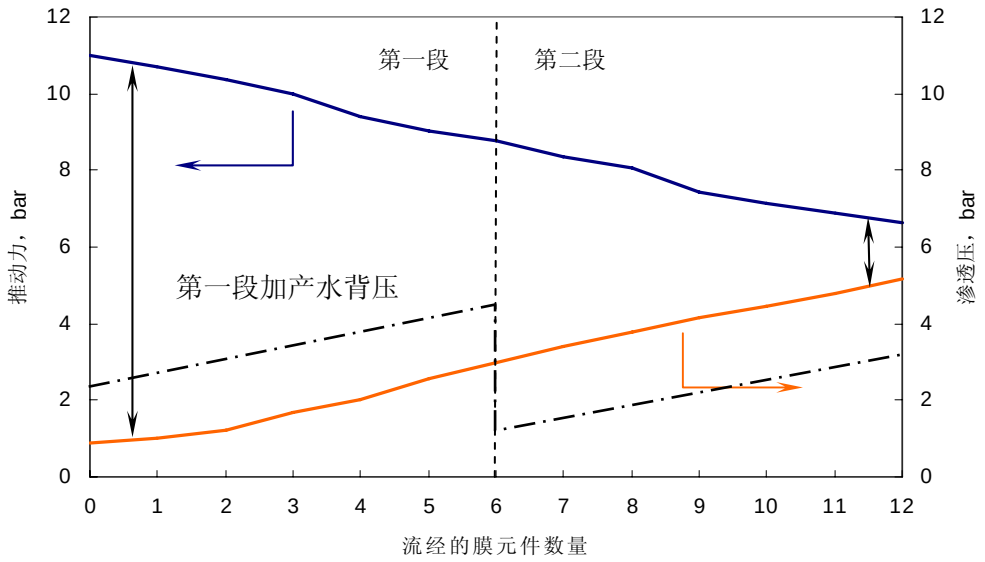


图-18 第一段加产水背压的反渗透系统压力沿流程的分布

b) 段间增压：如图-19 所示，在第一段与第二段之间增加一台段间泵同样可以达到目的。这是由于段间泵增加了第二段的推动力，同时降低了第一段的推动力，使得系统内两段的产水接近平衡，见图 3-20。段间增压是一种更安全的方法，在设计新系统时被广泛采用。由于增加了一台泵，会增加一些设备投资和运行成本。但考虑到，由于段间泵的增加，使得第一段前的高压泵扬程可以降低，该泵的选型及运行上可以同时节约部分成本。

c) 不同的段采用不同类型的膜元件：如图 3-21 所示，第一段采用压力相对较高的膜，可以减少第一段的产水，第二段采用压力相对较低的膜可以增加第二段的产水量。因此两段采用不同的膜同样可以平衡两段的产水量。

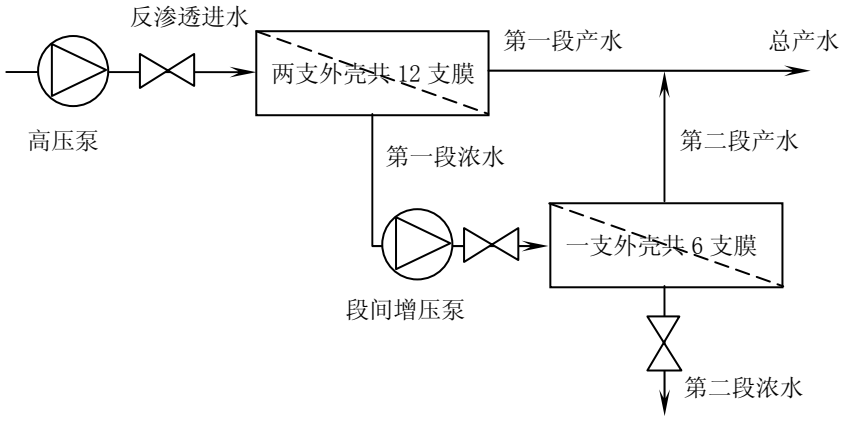


图-19 设置段间增压泵的反渗透系统

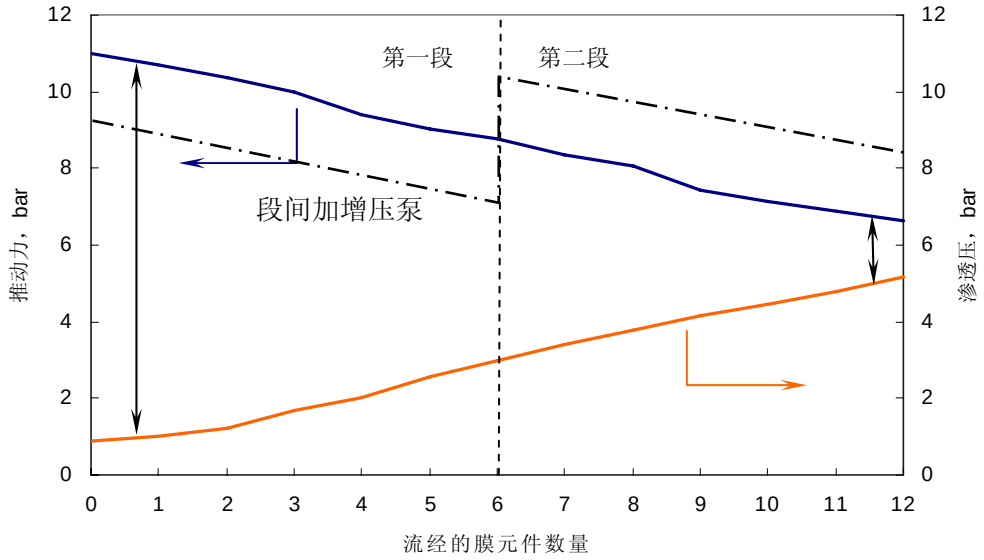


图-20 段间加增压泵的反渗透系统压力沿流程的分布

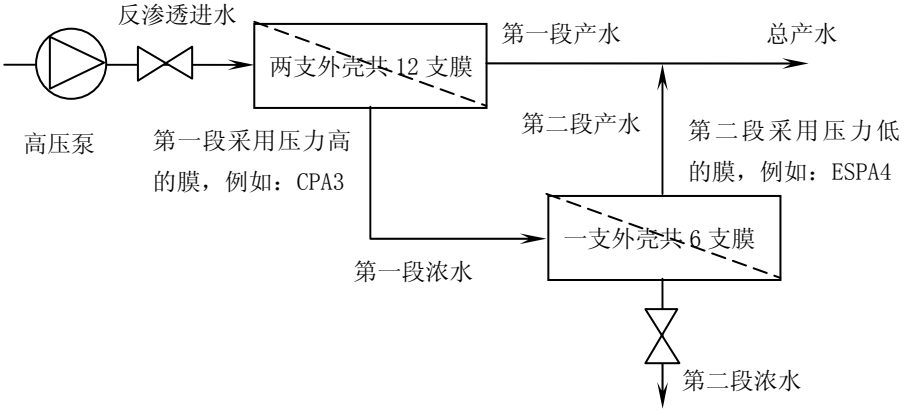


图-21 两段采用不同膜元件的反渗透系统

2.2 CPA 低压高脱盐反渗透膜

在用于苦咸水脱盐的工业反渗透系统中，CPA 系列低压高脱盐反渗透膜元件具有最高的脱盐率，这是基于正在使用中的数百万支膜元件的实际性能所得出的结论。ISO9001 证书的获得保证我们生产出高质量的产品以满足水处理工业对膜元件性能规范日益严格的要求。由于 CPA 系列的优异性能，美国海德能公司的 CPA 系列低压反渗透膜元件业已成为苦咸水淡化 RO 膜元件的制造标准。

本部分主要向客户介绍 CPA 膜元件的使用说明及 CPA 系列膜元件的各种产品，同时也介绍了近期 CPA 系列膜元件性能改善的状况。

1 简介

CPA 系列为高脱盐率苦咸水淡化膜，材质为芳香族聚酰胺。可在较低操作压力下获取高水通量。CPA2 膜的脱盐率为 99.5% ，而 CPA3 和 CPA4 膜元件的脱盐率为 99.7%，没有其它任何膜元件的性能可与 CPA 相比。目前，CPA3 和 CPA4 是世界脱盐率最高的低压苦咸水淡化反渗透膜元件。

2 产品特性

(1) CPA 系列产品介绍

CPA 系列低压反渗透膜元件主要包括 4 种 8 英寸膜元件（CPA2、CPA3、CPA3-LD 和 CPA4）和 1 种 4 英寸膜元件（CPA2-4040），各种规格的膜元件除实现低压高产水量外，还可满足客户对产水水质日益严格的要求。对于那些需要高产水量及高脱盐率的系统，美国海德能公司的 CPA 系列是您最佳的选择。CPA 系列低压反渗透膜元件的规格尺寸以及测试参数请参见全系列规格表。

需要特别提出的是，CPA3-LD 是美国海德能公司最新推出的新品种。CPA3-LD 采用了日东电工集团/美国海德能公司的专利技术，改变了膜元件的给水导流隔网的形状和尺寸，使得 CPA3-LD 的运行压力及压力损失均大幅下降，同时由于给水隔网的改善，CPA3-LD 膜元件的耐污染程度也大幅提高，降低了反渗透系统的清洗频率，延长了膜元件的使用寿命。

(2) CPA3 低压反渗透膜元件的测试参数

以 CPA3 低压反渗透膜元件为例，介绍了运行压力、给水流量、给水含盐量以及给水温度对膜元件产水量和脱盐率的影响，见图-1 至图-2。

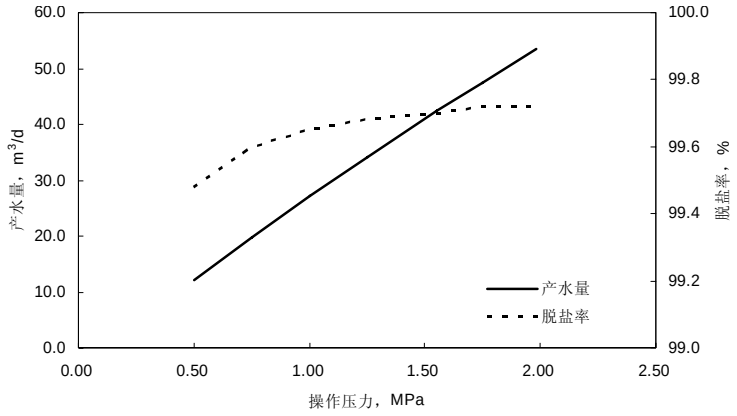


图-1 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 - 7.0）

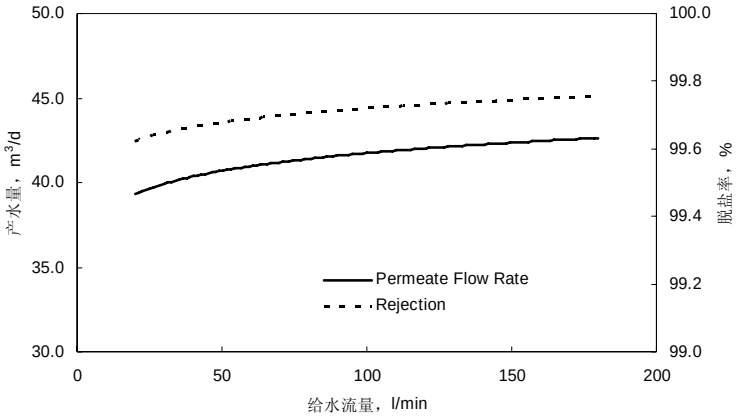


图-2 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

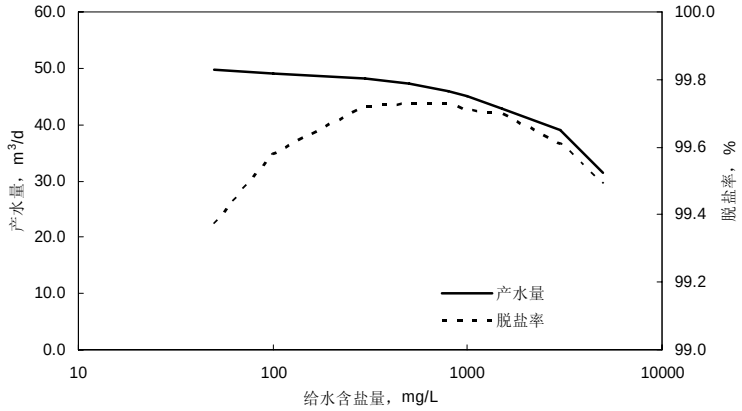


图-3 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

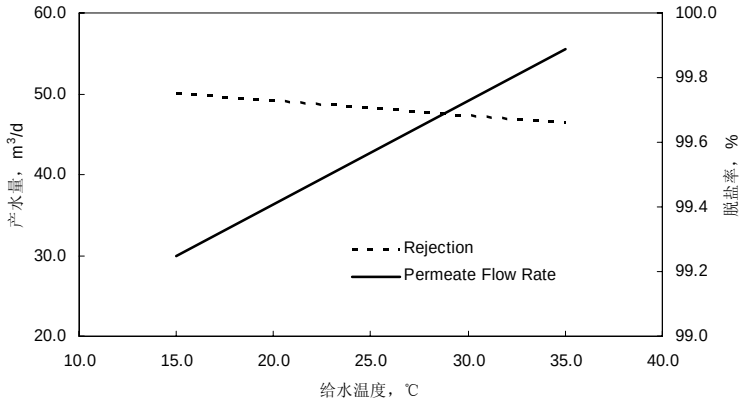


图-4 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH = 6.5 – 7.0）

由图-1 至图-4 可以看出与 ESPA 系列相同的趋势，即：在测试范围内，随着操作压力和给水流量的升高，产水量和脱盐率均上升；随着给水含盐量的升高，产水量不断下降，而脱盐率先是逐渐升高，但经过一个峰值后，则显著下降；随着给水温度的升高，产水量升高，而脱盐率下降，而均呈线性关系。

3 应用

CPA 膜元件的常规使用包括井水、地表水除盐、饮用水纯净化、离子交换系统前的预脱盐、电厂锅炉补给水的制取、半导体制造厂中所需要的超纯水制备，同时 CPA 膜元件也可用于电厂冷却循环排污水处理。

CPA2 及 CPA3 膜元件是苦咸水净化中所用的标准膜元件。由于 CPA2 膜元件平均脱盐率达 99.5 % 且水通量较高，因而适用于由苦咸水水源制取低含盐量的产品水。如果想在不降低水通量的情况下需要更高的脱盐率时，可选择单支膜平均脱盐率为 99.7 % 的 CPA3 膜元件，如用户要求产水水质更高（比如要求 RO 出水直接用作锅炉补给水），可选用 CPA4 膜元件。

CPA膜元件耐久性很好，图-5 和图-6 给出了CPA3 膜元件的典型特性。图-5 为某一产水量为 160 m^3/h，回收率为 83 % 的反渗透系统在四年中产水水质的变化情况，图-6 为该系统压力在四年中的变化情况，数据表明CPA3 膜元件的性能在长期运行中非常稳定。

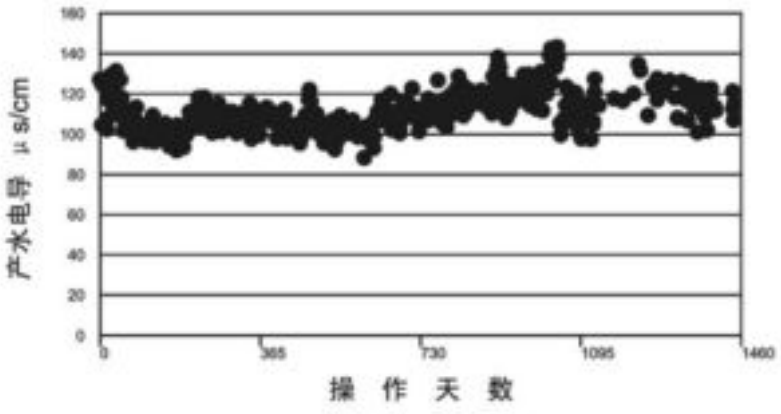


图-5 CPA3 膜元件产水导电度与时间的关系（四年）

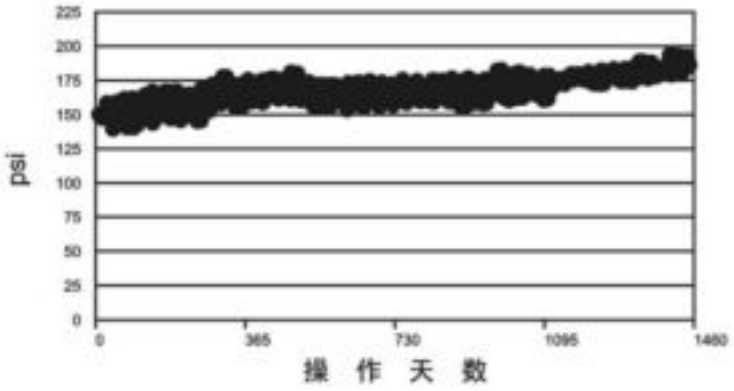


图-6 CPA3 膜元件给水压力与时间的关系（四年）

4 二氧化硅的脱除

二氧化硅（SiO_2）是很多苦咸水中都含有的成分，对SiO_2的脱除率同样可以检验反渗透膜元件的性能。表-1 列出了在世界不同地区实测的反渗透系统对二氧化硅的脱除率。在使用CPA2 膜元件时，大多数系统对SiO2 的脱除率介于 98－99.7 % 之间，在标准试验条件下CPA系列膜元件对SiO_2的脱除率通常为 99.7 %。

表-1 不同地区二氧化硅脱除率

设备地点	给水SiO_2，mg/L	产品水SiO_2，mg/L	系统脱盐率，%
A	27.7	0.52	98.1
B	41.1	0.26	99.4
C	10.2	0.16	98.4
D	40.0	0.30	99.2
E	64.0	0.53	99.2
F	44.0	0.45	99.0
G	3.6	0.06	98.3
H	2.6	0.010	99.6
I	2.9	0.008	99.7

5 最新 CPA 系列低压高脱盐率反渗透膜元件 CPA3-LD 介绍

美国海德能公司最新推出具有高脱盐率的用于苦咸水处理体系的CPA3-LD聚酰胺复合膜产品。新型CPA3-LD膜元件与常规的CPA3 膜元件的膜面积均为 400 ft^2。但是CPA3-LD可提供低于普通CPA系列膜元件的运行压力和压力损失，从而显著地降低运行成本，减少反渗透系统的清洗频率，延长反渗透膜元件的寿命。这是由于运用了专利技术，改善了膜元件给水隔网的形态。CPA3-LD以其超凡的性能，在地表水的脱盐处理中，可大大减轻膜元件的污染，节省的运行成本。CPA3-LD的脱盐率为 99.7%，产水量为 11000 GPD，广泛适用于各种工业和商业用途。

CPA3-LD 目前只有 8 英寸一种规格。CPA3-LD 既可单独使用，也可作为膜集成技术（IMS）的组成部分之一使用。CPA3-LD 的推出进一步完善了海德能公司的低压反渗透膜元件体系。在世界范围内，海德能公司产品在反渗透膜业界成绩斐然，傲视群雄。凭借这些成功的经验和膜产品性能在水处理工业中的优异表现，日东电工集团/美国海德能公司始终站在世界膜制造技术的顶峰，成为全球超纯水项目首选供应商。

2.3 LFC 系列低污染高脱盐反渗透膜

LFC（即低污染复合膜）系列代表着美国海德能公司在芳香聚酰胺复合膜领域内又一新突破，此部分向用户介绍该系列反渗透膜元件的有关性能及其应用。

1 简介

LFC 系列膜元件不仅具有复合膜的低压、高通量、高脱盐率等各种特点，而且还具有抗污染的特殊优点。该系列有 LFC1、LFC1-365、LFC2、LFC3 以及 LFC3-LD 共 5 个品种，这 5 个品种的材料与传统复合膜相同，不同的是，传统反渗透复合膜元件表面带负电荷，而 LFC1、LFC1-365、LFC3 和 LFC3-LD 的膜表面不带电荷，呈电中性；LFC2 膜表面则带正电荷，见图-1。

LFC 系列表面不带负电荷的反渗透膜元件在全世界绝无仅有，而美国海德能公司早在 1998 年就通过大量研发工作，针对市场的需求，史无前例的推出了 LFC1 亲水、电中性反渗透膜元件。通过近年来的不断努力，LFC 系列低污染反渗透膜元件已经自成系列，在全球水处理领域取得了骄人的业绩。

LFC 系列低污染反渗透膜元件之所以能够在耐污染方面取得突破性进展，主要得益于美国海德能公司的电中性理论。通常，水中存在的污染物，例如：胶体、蛋白、糖类、细菌等，均带有电荷，若与表面带负电的传统反渗透膜元件接触，则很容易吸附在膜表面，对膜元件造成污染，从而导致反渗透膜系统的产水量和脱盐率的下降、增加系统的清洗频率、缩短反渗透膜元件的寿命。而采用低污染膜元件的反渗透系统则可以减少这类吸附现象的发生，从而起到抗污染的作用。

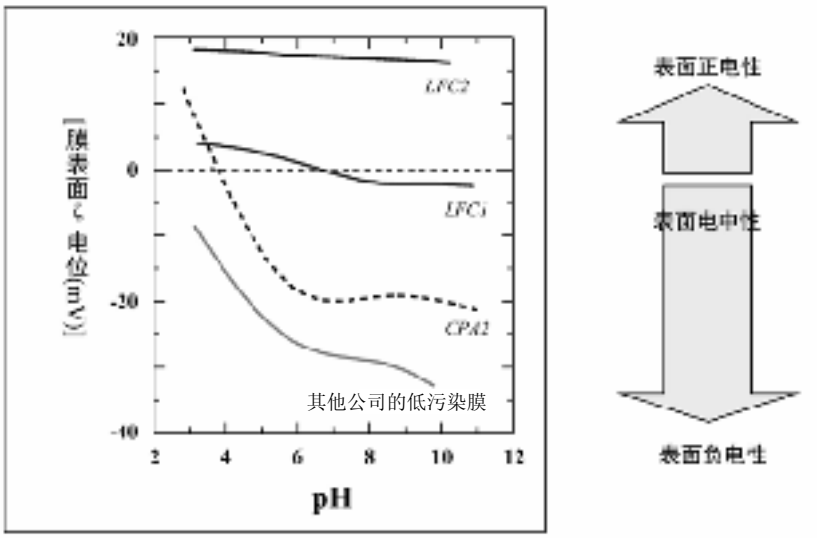


图-1 不同类型膜元件表面电荷分布

2 产品特性

在不同的给水条件和运行条件下，LFC 系列低污染反渗透膜元件的产水量和脱盐率同样会发生相应的变化。下列图表是 LFC3-LD 膜的测试情况。

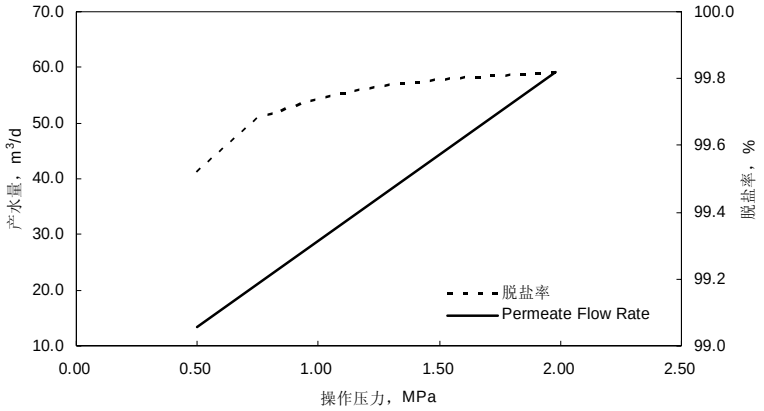


图-2 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

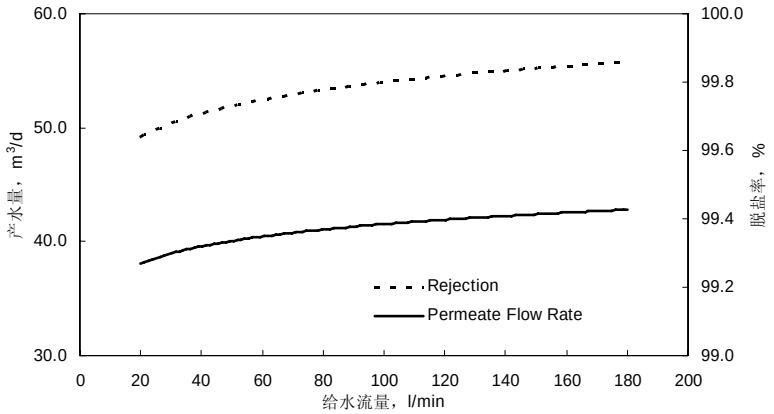


图-3 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

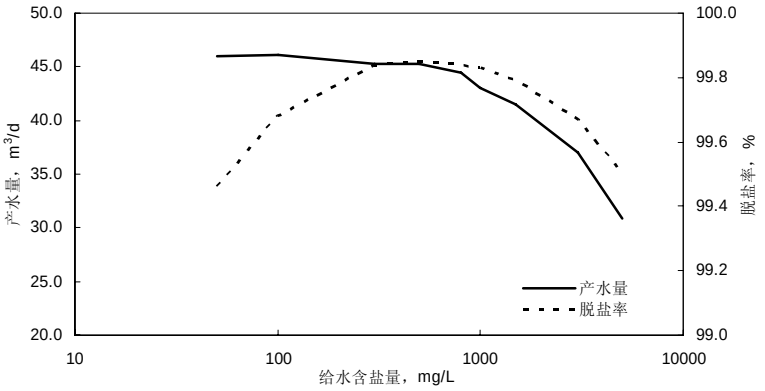


图-4 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

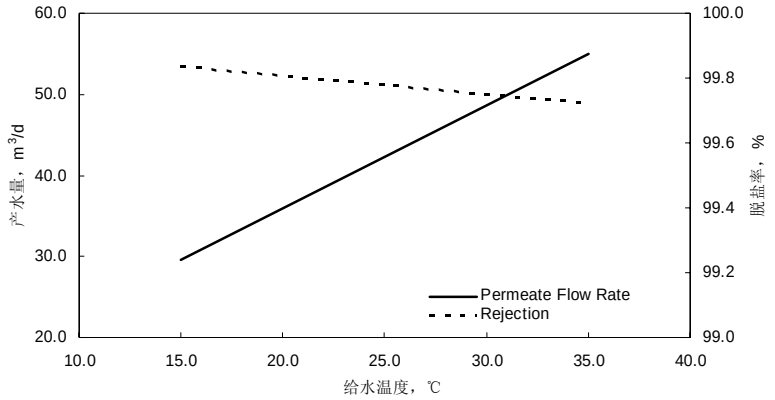


图-5 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH = 6.5 - 7.0）

3 LFC1 膜元件

开发 LFC1 膜元件的目的是为了尽量减少有机污染物在膜表面的吸附，使得由于有机污染物在膜表面沉积而造成的水通量衰减速度降低至最小值。本节主要对新型 LFC1 膜元件与传统复合膜的抗污染性能与表面电荷特性进行了比较，并提供了相关数据。首先，这些数据表明了膜表面电荷特性与 pH 值之间的相互关系，其次，给出了 LFC1 膜与各种污染物之间的相互关系，最后，也给出了 LFC1 膜与传统复合膜在废水处理方面的实际使用数据。

如图-6 所示，在酸性及碱性条件下 LFC1 膜表面均呈电中性，也就是说无论给水 pH 值是多少，LFC1 膜表面均接近电中性。为了比较，传统复合膜的表面电位随 pH 的变化情况也一并示于图-6 中，在通常水处理 pH 值范围内，传统的聚酰胺复合膜的表面电位均呈负值。

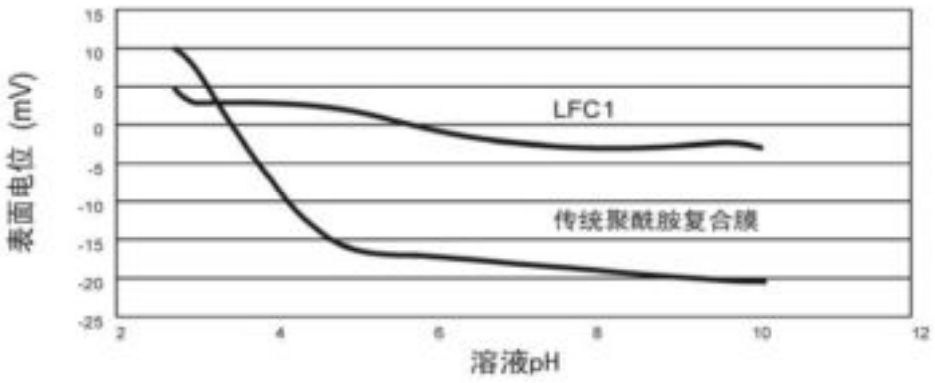


图-6 pH 值对 LFC1 膜及传统复合膜表面电位的影响

(1) 污染物的化学特性

污染物对膜的水通量有显著影响，图-7 所示为 LFC1 膜对不同带电污染物的抗污染特性。为了便于比较，我们将带负电的聚酰胺复合膜的性能也示于图中。

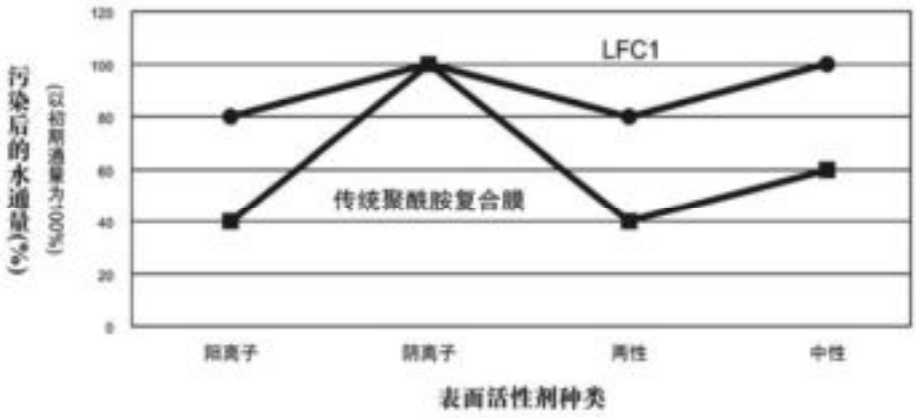


图-7 给水表面活性剂对 LFC1 膜及传统复合膜的污染影响

在阴离子表面活性剂存在的情况下，尽管膜表面带负电的复合膜其水通量可维特不变，但当这些膜与阳离子表面活性剂、两性表面活性剂（例如，有些物质随 pH 不同而呈不同的带电特性）或者中性表面活性剂相接触时，其水通量则会大大降低，但对于 LFC1 膜来说，无论何种表面活性剂存在，它均可以保证高水通量。

(2) 水通量的稳定性

在现场处理城市二级排水时，LFC1 膜可以维持水通量稳定，而传统复合膜的水通量会很快衰减，如图-8 所示，LFC1 膜元件在高污染环境下也可以很长时间的保持产水流量稳定。

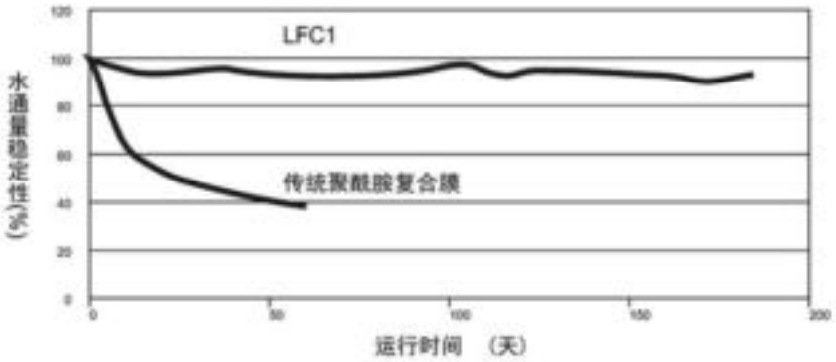


图-8 LFC1 膜在城市二级排水处理中的应用实例

(3) 应用

LFC1 膜元件主要适用于城市污水处理、锅炉排水处理及高污染的地表水处理。很多原来必须使用醋酸纤维素膜（CAB）的场合均可以换用 LFC1 膜。用 LFC1 膜代替 CAB 膜时可以降低给水压力，增加产水量和提高脱盐率。采用 LFC1 膜与醋酸膜相比的另一显著优点就是不需要限制给水 pH 值 4－6，因而可以省去昂贵的加酸费用及专门的控制系统。

为了验证这一观察结果，把 LFC1 膜和传统低压反渗透膜在同一使用条件下进行了对比，两种膜的进水均为中空超滤膜处理后的市政排水，地点是加州第 21 水厂。图-9 表明了对于两种不同的膜元件，给水压力及温度随时间的变化曲线，结果表明在处理那些对传统膜元件容易产生问题的市政排水时，LFC1 膜几乎不会被污染或者只有轻微污染，由于 LFC1 膜在运行的 8 个月中性能稳定，所以一直没有清洗。

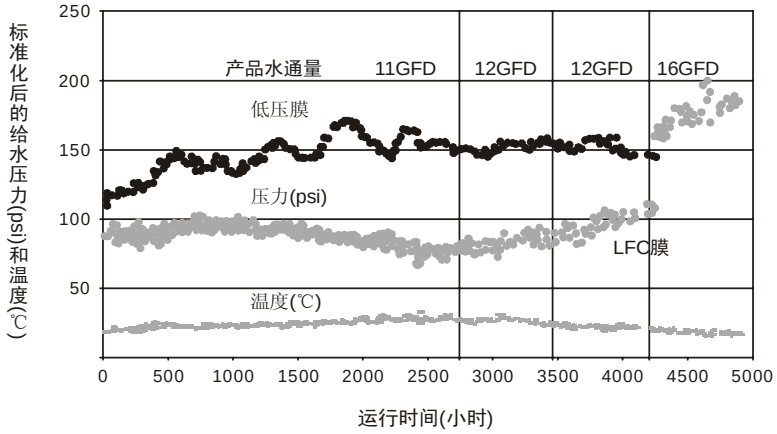


图-9 LFC 膜与传统低压膜用于中空超滤膜处理后的市政排水

由于 LFC 系列膜元件是芳香族聚酰胺复合膜，因而使用 LFC 系列膜元件的系统，不能有游离氯存在。当然某些情况下可以使用氯胺来控制细菌的生长，如想了解何时可以使用氯胺，请随时与海德能公司联系。

目前已经有超过数万支 LFC1 膜元件在全世界几百个大、中型项目中使用，最典型的是在新加坡勿洛城市污水回用项目。在该项目中 LFC1 膜元件自 2000 年 4 月投入运行以来，每天可从废水中制取 10,000 吨的饮用水，这种膜元件适用于在市政及工业中在处理地表水和废水及其他复杂水源(指在送入任何复合膜元件前需要复杂预处理的水源)。

4 LFC2 膜元件

LFC2 膜是表面带正电的芳香聚酰胺膜，见图-10，这种带正电的膜与传统带负电的膜性能完全不同，这种膜与阳离子表面活性剂接触后，可通过清洗来恢复水通量，而带负电的传统复合膜在与阳离子表面活性剂接触后其水通量无法恢复，另外，在给水TDS含量低的情况下，LFC2 膜与其它带负电的高脱盐率复合膜相比，LFC2 膜对钠离子（Na^+）及其它阳离子的脱除率更高。在双击反渗透系统中，LFC2 反渗透膜元件可以第二级对阳离子产生很高的脱除率。由于膜表面带正电荷，所以我们建议在使用LFC2 膜元件时避免使

用阴离子聚合物，因为这些阴离子聚合物在与LFC2 膜表面接触时会导致膜表面产生不可恢复的污染。

(1) 在阳离子聚合物存在时水通量稳定性

如图-10 所示，LFC2 膜与阳离子聚合物接触后可以通过清洗的方法恢复其水通量，而且由于这种污染而导致的水通量衰减会远远低于使用带负电的传统复合膜。

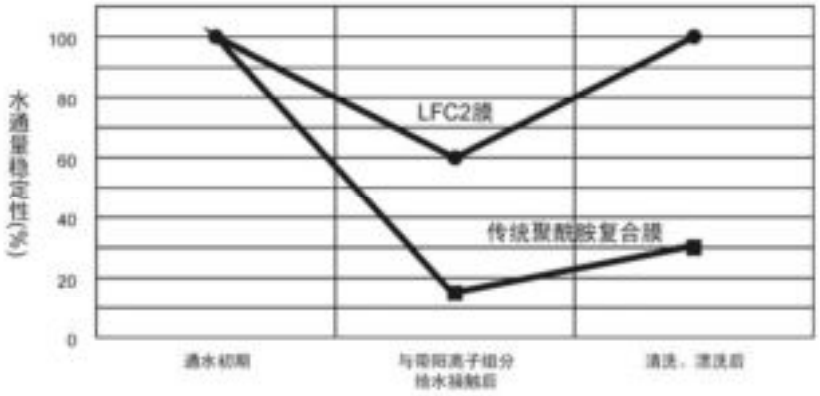


图-10 复合膜与阳离子聚合物接触后及清洗后水通量恢复情况

(2) 脱盐率与给水含盐量的关系

尽管在标准试验条件下（1500 mg/L NaCl，225psi）LFC2 膜的最低脱盐率为 95%，但在极低含盐量的情况下，其脱盐率要高于传统的带负电荷的芳香聚酰胺复合膜。在含盐量高于 100 mg/L 时，传统的复合膜其脱盐率极高（>99.5 %）。但是当含盐量低于 10 mg/L 时，传统的复合膜对钠的脱除率明显降低，导致总脱盐率也随之下降。而 LFC2 膜由于表面带正电，在给水含盐量较低的情况下，对钠也有较高的脱除率。在给水含盐量低的情况下，LFC2 膜的整体脱盐率要高于传统聚酰胺膜。在二级反渗透系统中，如果第二级使用 LFC2 膜，则这种膜比传统的聚酰胺膜有更高的脱除率，图-11 正好说明了这一点。

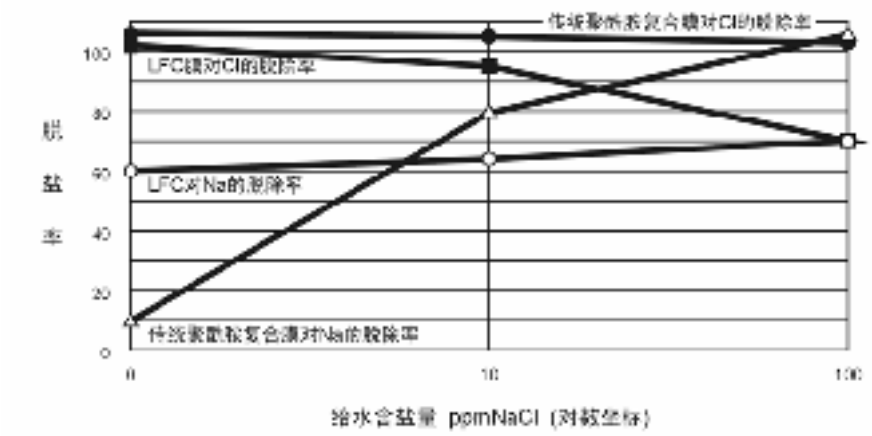


图-11 LFC 膜脱盐率与给水含盐量的关系

5 LFC3 低污染反渗透膜

美国海德能公司一直致力于产品的更新换代，通过不断改善膜的技术和产品性能来满足客户的需要。美国海德能公司开发出的新一代 LFC3 膜产品，除了具有 LFC1 膜所具有的亲水性、电中性及高通量以外，更进一步提高了 LFC1 膜的脱盐率来满足客户对更高脱盐率的需要，LFC3 膜产品是目前水处理工业中第一个把低污染技术与高产水量和高脱盐率相结合的膜元件。

6 LFC3-LD 低污染反渗透膜

美国海德能公司最新推出的 LFC3-LD 低污染反渗透膜元件，除了继承了 LFC3 膜元件的全部优点外，更是创造性的使用了专利技术，改进了给水隔网的结构，不但降低了系统运行压力和压力损失，而且增强了抗污染特性，降低了清洗频率。图-12 是 LFC3 与 LFC3-LD 的工作压力损失对比，而 LFC3-LD 与其他公司的耐污染膜的比较请参见图-13。

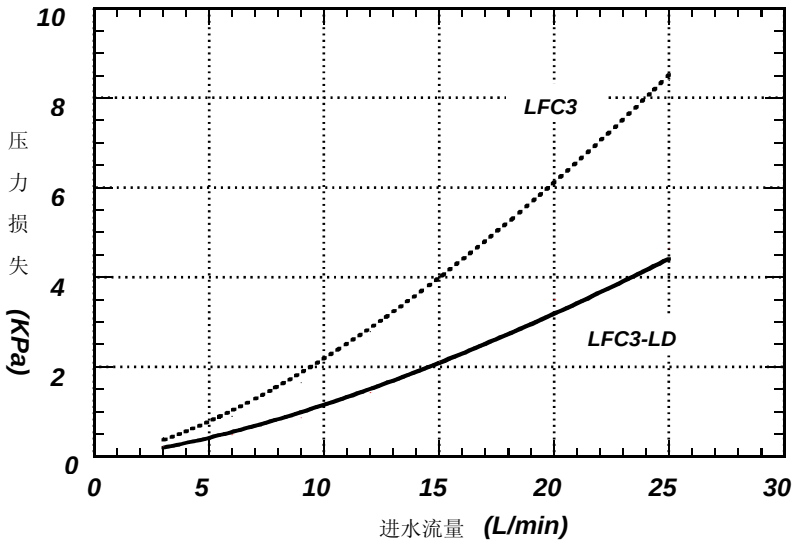


图-12 LFC3 与 LFC3-LD 在相同工作条件下压力损失的比较

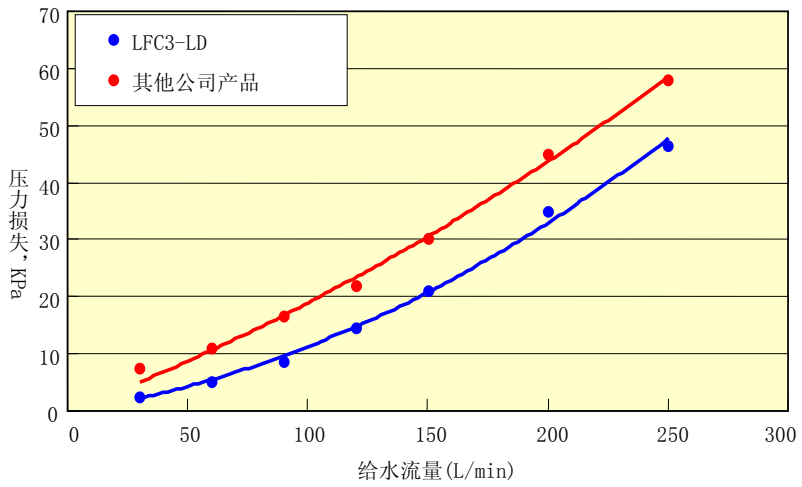


图-13 LFC3-LD 与其他公司耐污染膜在相同工作条件下压力损失比较

2.4 SWC 海水淡化反渗透膜

1 简介

SWC 是海水复合膜（Sea water composite）的简写。美国海德能公司一直致力于高性能海水淡化膜的持续开发，自从成功推出性能优秀的 SWC1 型海水淡化反渗透膜以来，SWC 系列产品的的家族成员在不断增加，目前已经拥有 SWC1、SWC2、SWC3、SWC4、SWC3+、SWC4+和 SWC5 等性能各具特色的多品种系列。海德能海水淡化膜的优异性能得到了世界各地用户的广泛认可，主要的大型海水淡化工程都选用了 SWC 系列产品，已经投运的 SWC 海水淡化装置的制水能力已达到 200 万吨每天。表-1 列举了部分世界著名的 SWC 海水淡化装置。

表-1 部分大型海水淡化项目业绩

国名	市・工厂名称	产水能力 (m^3/d)	运行	膜制造厂
日本	福冈	50,000	2005	美国海德能公司-日東電工
阿拉伯联合酋长国	Fujairah	170,000	2003	美国海德能公司-日東電工
美国（佛罗里达州）	Tampa Bay	100,000	2003	美国海德能公司-日東電工
西班牙	Carboneras	120,000	2001	美国海德能公司-日東電工
塞浦路斯	Larnaca	51,000	2001	美国海德能公司-日東電工
日本	冲绳	40,000	1997	美国海德能公司-日東電工

- SWC1 和 SWC2 主要是 4 英寸及 2.5 英寸的小型膜元件。
- SWC3 是目前海德能 8 英寸海水淡化膜的基本通用型产品。
- SWC4 除具有极高脱盐率和高脱硼的特点外，给水温度范围也扩大了。
- SWC3+和SWC4+是SWC3 和SWC4 的改进型，将原来的膜面积增加了约 10%，从 370ft^2提高到 400ft^2，通过膜性能的进一步改进，在保持原有高脱盐率的同时，产水量增加了约 15%。
- SWC5 是最新推出的节能型海水淡化反渗透膜，在保持 99.8%高脱盐率的情况下将产水量提高到 9000gpd，成为全世界显著降低运行成本高性能的海水淡化反渗透膜的典范。

表-2 SWC 系列海水淡化膜的主要性能参数

膜元件	面积, ft^2	脱盐率, %	产水量, GPD	测试压力, psi	硼脱除率, %
SWC3	370	99.7	5900	800	85 - 90
SWC3+	400	99.8	7000	800	91
SWC4	370	99.8	5500	800	92 - 94
SWC4+	400	98.8	6500	800	93
SWC5	400	99.8	9000	800	87

2 SWC 系列海水淡化膜在不同条件下的性能

为了帮助客户了解 SWC 系列膜元件在不同工作状态下的产水量及脱盐率,此部分主要列出了操作压力、给水流量、给水含盐量及给水 SWC3+、SWC4+和 SWC5 的影响，见图-1 至图-12。

(1) SWC3+

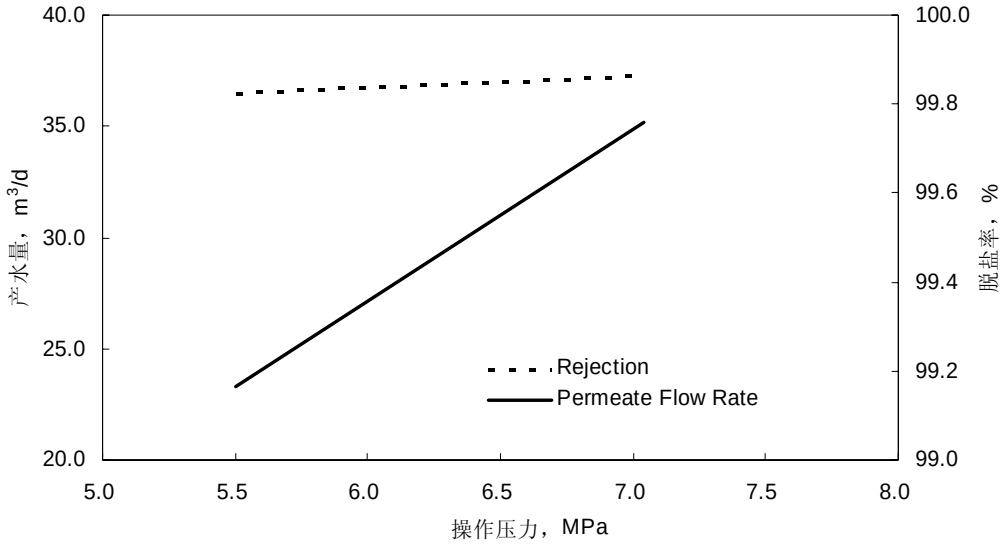


图-1 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

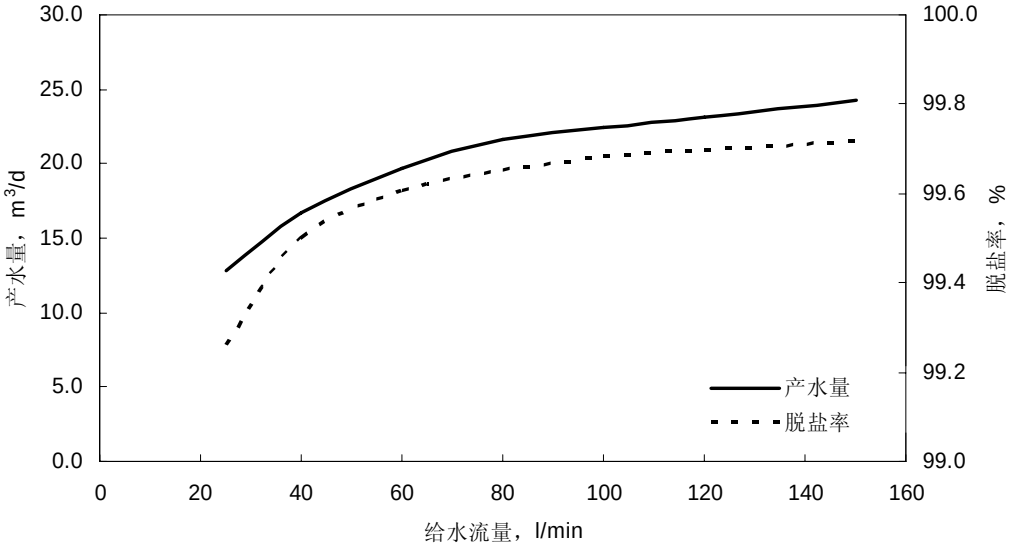


图-2 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

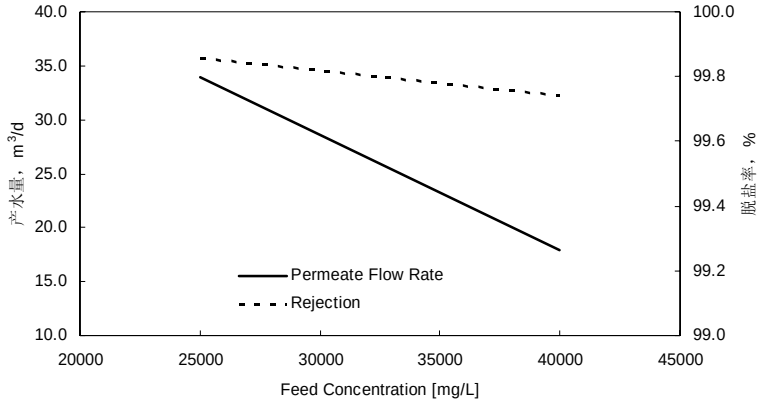


图-3 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

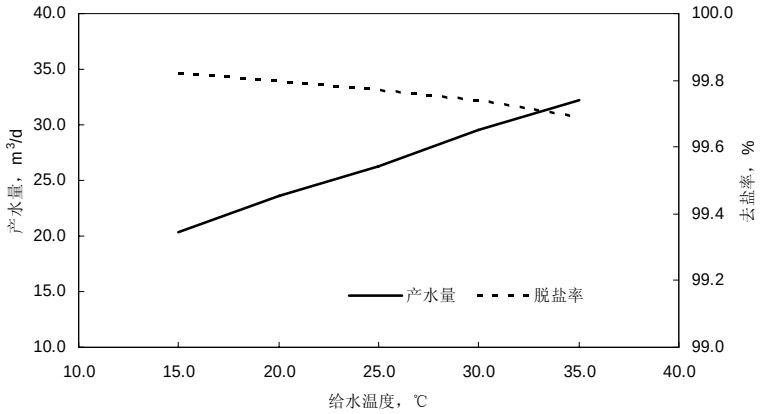


图-4 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH = 6.5 – 7.0）

(2) SWC4+

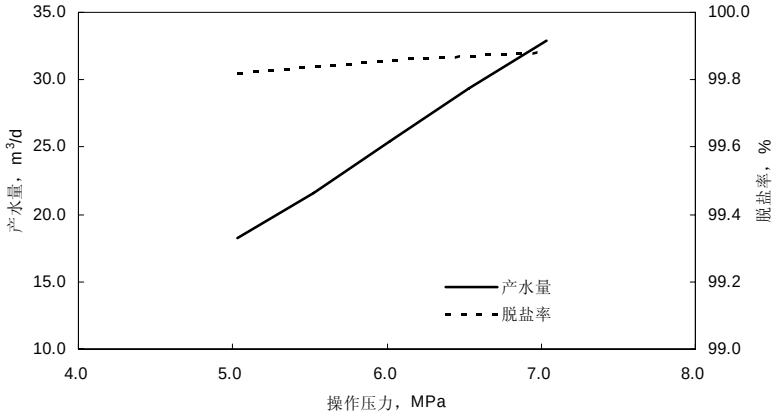


图-5 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

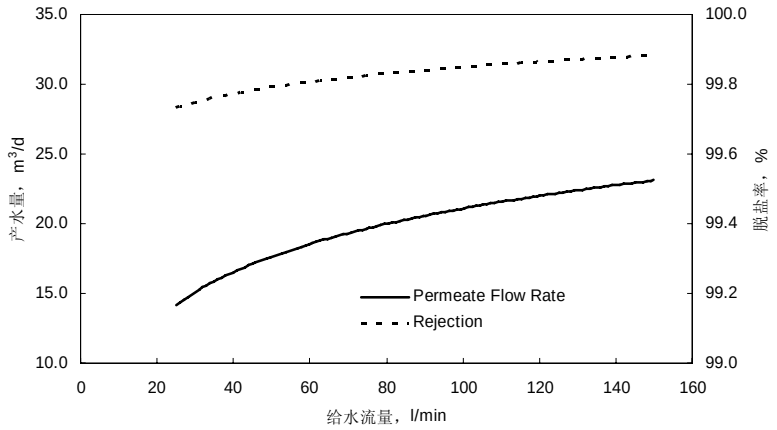


图-6 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

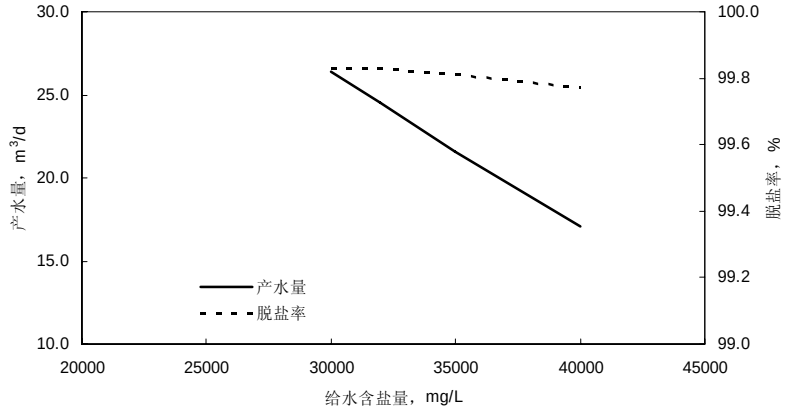


图-7 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

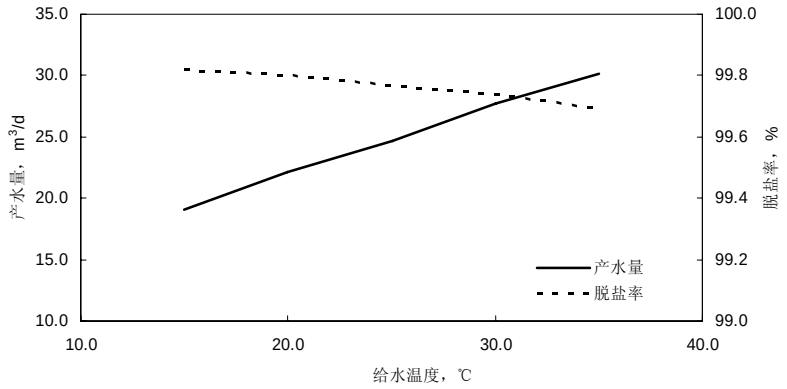


图-8 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH = 6.5 – 7.0）

(3) SWC5

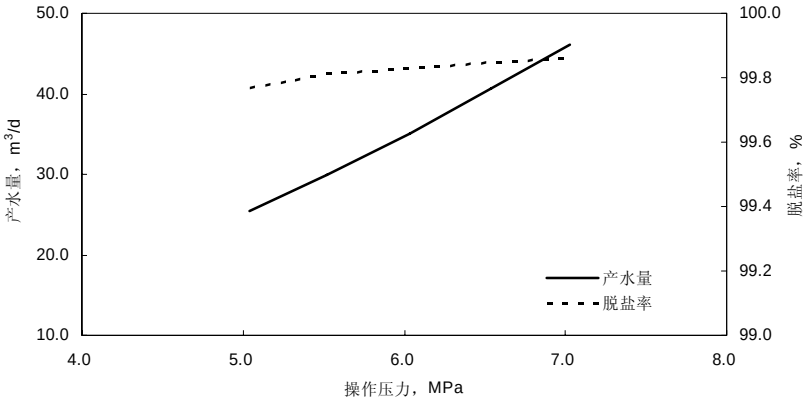


图-9 操作压力对产水量和脱盐率的影响

（回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

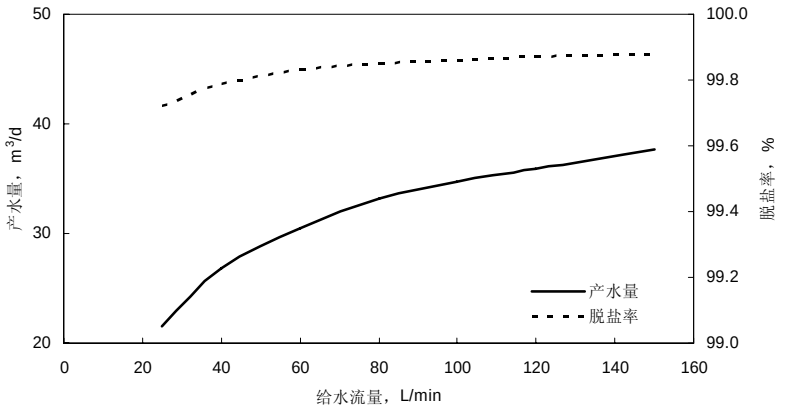


图-10 给水流量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

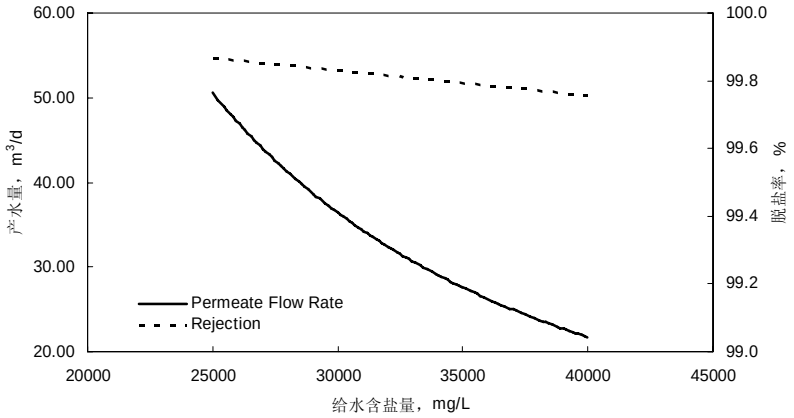


图-11 给水含盐量对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；温度：25 ℃；pH = 6.5 – 7.0）

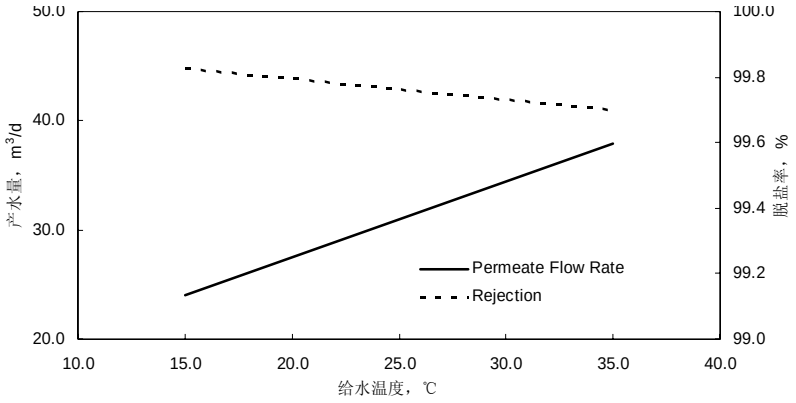


图-12 给水温度对产水量和脱盐率的影响

（操作压力：1.55MPa；回收率：15%；给水含盐量：1500 mg/L NaCl；pH = 6.5 – 7.0）

3 高脱硼海水淡化膜及提高脱硼率的设计要点

新型海水淡化膜SWC3+、SWC4+在提高RO系统进水温度、提高脱硼率的同时保持很高的脱盐率。对于利用反渗透海水淡化水（SWRO）做为锅炉补给水的发电厂，采用具有高脱盐率性能的SWC4+产品是最理想的选择。因为SWC4+可以在高水温下运行，需要相对比较低的操作压力，同时保持相当高的脱盐率，可显著地降低海水淡化的成本。SWC4+的脱盐率为 99.8%，产水量为 6500 GPD（19.7 m^3/d）。

目前海德能公司的海水淡化膜元件在脱硼方面居于领先地位，表-2 列出了 SWC 系列的脱硼特性。目前世界卫生组织（WHO）规定饮用水的硼含量应该小于 0.5 mg/L，因为硼会伤害人体的神经系统；而灌溉用水中的硼含量也不能大于 1 mg/L，否则会对农作物造成伤害。海水中的硼含量一般在 5 – 7 mg/L 之间，一般的海水淡化膜很难达到要求。

(1) 脱硼率

上述提及的脱硼率是在 pH=7 时对硼酸的脱除率。硼酸是非常弱的酸，水解方程为：

$B(OH)_3 + H_2O = H^+ + B(OH)_4^-$

反渗透膜对硼酸脱除率低的原因是硼酸分子不仅小，而且电性弱。在高 pH 值下，硼酸会离解成离子态，使分子变大且负电性增加，这是反渗透对其才有好的脱除效果。图-13 是硼酸在不同 pH 值下的脱除率。

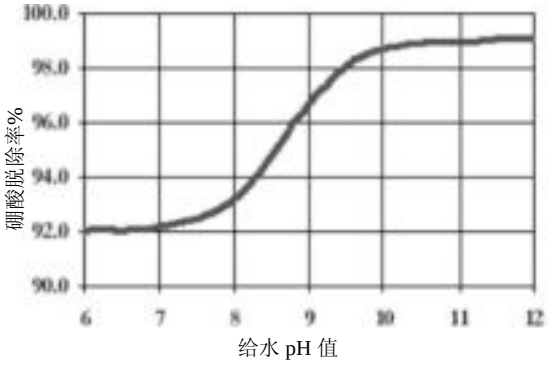


图-13 标准条件下 SWC4+在不同 pH 值下对硼的脱除率

(2) 设计中须注意的事项

海水淡化装置的设计硼脱除率一般要低于世界卫生组织规定指标 0.5mg/l。尽管 SWC4 的硼脱除率已经相当高了，单级反渗透系统在通常情况下还是难以达到指标(特别在温度较高时)。因此海德能推荐了一些设计方案来获取超出 SWC4 脱硼能力的产水水质，这些方案有：

- 采用部分或全部二级反渗透工艺，调高二级进水的 pH 值；
- 在二级使用高脱硼苦咸水膜 ESPAB；
- 用硼离子交换树脂进行抛光处理；
- 提高一级进水的 pH 值；
- 二级浓水不再回到一级进水。

(a) 二级系统

在二级系统配置中，调高一级产水的 pH 值，二级系统使用苦咸水膜。如图-14 所示 SWC 膜的情况，增加二级进水的 pH 值促使硼酸离子化，从而使苦咸水膜的硼脱除率得到实质性的提升。由于在高 pH 值下有结垢的风险，二级进水的 pH 值不得高于 10.5，在这个 pH 值条件下，苦咸水膜的硼脱除率为 95%。

取决于对硼脱除率要求的区别，反渗透系统可以是全部或部分二级系统，如果不分二级系统便可以满足脱硼的要求，就可以采用如图-14 的部分分流处理的系统配置，系统的建设成本就会比较低。与传统的全二级设计相比，部分分流处理配置可以减少膜元件 6-10%，同样也可以降低动力消耗。

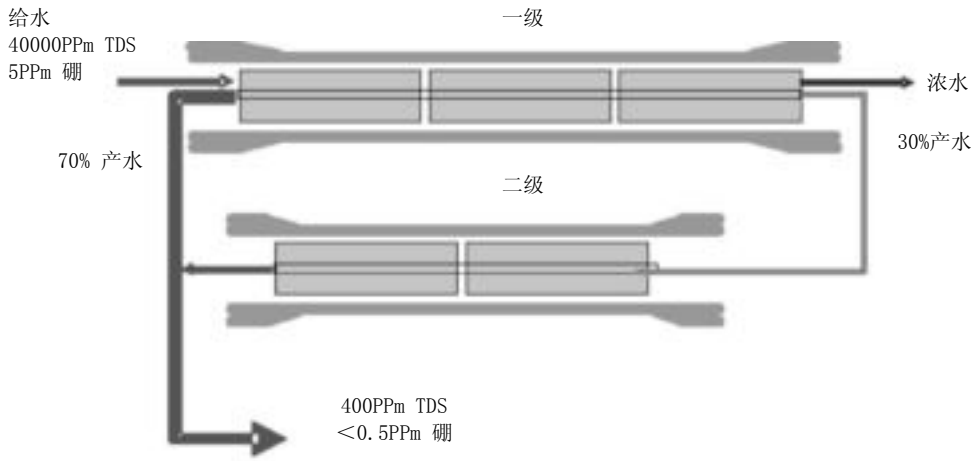


图-14 采用部分分流二级配置系统促进脱硼

这种配置的特点是，从一级压力容器的两段分别收集产出水，进水端产水含盐量低，浓水端产水含盐量高。将浓水端产水经过 pH 调解后用于二级处理，进水端产水用于质结勾兑。由于调高了 pH 值，特别要注意钙镁的结垢问题。

(b) 离子交换方案

用于脱出硼的例子交换系统要选用硼选择性树脂，可以使用酸或碱进行再生。离子交换树脂的优点在于出水硼浓度低(<0.1PPm)、能耗低、水利用率高。其缺点是树脂更换和再生的成本较高，而离子交换过程不会降低含盐量，必须在一级系统中达到设计要求。图-15 是一个与离子交换结合使用的集成系统。

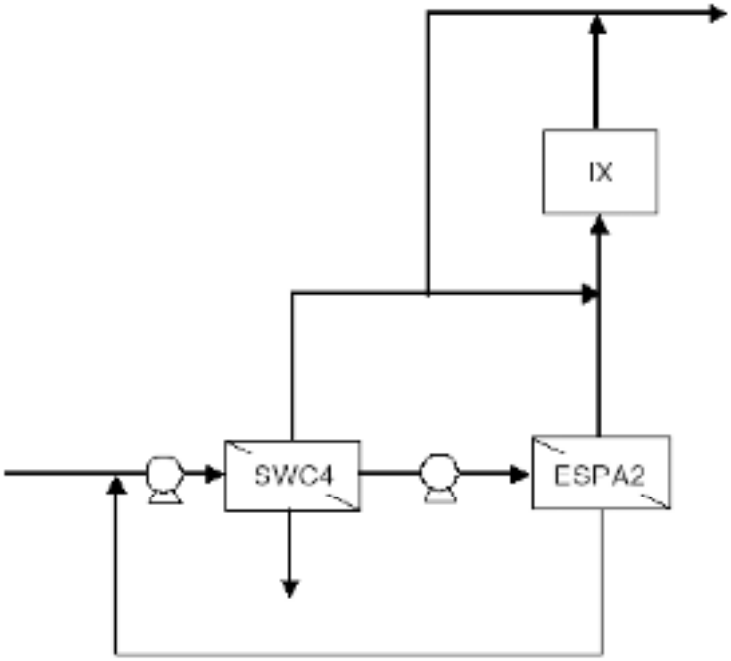


图-15 采用部分二级及离子交换脱除硼

(c) 提高一级进水的 pH 值

通过调高二级进水 pH 值来促进二级系统的硼脱除率是完全可行的，这种设计可用于二级反渗透系统不会出现钙镁结垢的情况。但如果我们直接调高一级进水的 pH 值会怎么样呢？反渗透海水系统的结垢性倾向是不易确定的。早期的研究认为，进水的 pH 值高会导致斯蒂夫戴维饱和指数(SDSI)出现负值，这样的海水系统就会有钙镁结垢倾向。因此，商业化的海水系统会通过加酸来调高 SDSI，或者投加阻垢剂来降低结垢性倾向。海水的确含有高浓度的钙镁，但由于离子强度高，碳酸钙和氢氧化镁的溶解度比在低盐度水中高。另外，在高离子强度海水中硼酸的离子化倾向高于低离子强度时的情况，因此可探索调高一级进水 pH 值以提高硼去除率的可行性。

实验中采用含有氯化钠、氯化钙和绿化美的配置海水来模拟碳酸钙和氢氧化镁的结垢倾向，pH 值在 8.1-10.4 之间。实验室是用实际海水进行测试，结果非常好。测试表明可以将海水金水的 pH 值调高到 8.3-8.5。在进水硼离子浓度较高、水温较高或其它造成硼透过率增加的情况下，可以采用调高的进水 pH 值的方式来获得较低硼含量的产水。

(d) 二级浓水直接排放

一般二级系统中，二级浓水总是回到一级进水以降低一级进水的盐度。但在用来脱除硼的二级系统中，二级浓水循环会造成硼浓度的增加，所以二级浓水不宜循环回用。直接排放二级浓水，可以有效促进最终产水硼浓度的降低。

(e) 海德能硼脱除设计软件

为了满足新建海水项目对脱除硼的需求，海德能已经开发了 IMSdesign 系统设计软件的一个特别版，叫 ROboron。可以向海德能公司索取，用于对托朋友特殊要求的项目设计。ROboron 有以下功能：

- 设计标准部分二级系统和分流部分二级系统；
- 在一级和二级进水中加碱调高 pH 值；
- 可以打印出一级和二级系统及分流部分二级系统的浓水、产水和前后端产水等各种系统设计及水流的水质分析报告；
- 可以估算部分二级浓水循环系统；

声明

本文提及的技术方案均属于海德能公司的专利范围。除非来自海德能公司的书面保证，海德能公司对于本文提供的信息及本文提供的产品和系统性能没有义务提供担保。

2.5 ESNA 超低压纳滤膜

在需要高产水量的纳膜元件时，可以选择 ESNA 系列产品。1996 年推出的 ESNA 节能型纳滤膜元件可以有效脱除硬度、铁、色度及三卤甲烷（THM）等物质。而且在极低压力下也可以获得高水通量。这种膜均为性能可靠的表面带负电性的芳香聚酰胺复合膜，由于在使用过程中能明显的节省设备及运行费用，因而均获得了市场的认同。本文主要向用户介绍 ESNA 系列膜元件的使用特点及新产品的基本性能。

1 说明

降低操作压力即意味着节省费用。因为低压操作时能耗低，而且相关的水泵、管路及压力容器等也更为便宜， ESNA 系列膜元件的这一优点日益受广大用户的青睐。

2004 年，美国海德能公司将低污染膜技术与纳滤膜性能有机的结合起来，开发出电中性的 ESNA1-LF。这种膜在一些复杂条件下可以稳定的运行。

2 应用特点

ESNA 系列纳滤膜元件一般用于脱除低含盐量给水中的硬度及色度，该膜已在市政供水系统中得到了广泛应用，对于性能达到或超过预期值的已投运系统，该膜已被选用于今后的设备扩容。ESNA1 膜元件的优点之一是能有效脱除给水中含量相对较高的铁及三卤甲烷。对于一个水回收率为 85%的大系统的实例结果表明，当给水含铁量高达 4 mg/L 时，其产水含铁量＜0.10mg/L。表-1 列出了该系统的正常运行数据。

表-1 ESNA 纳滤膜系统运行使用数据

（产水量 1 百万加仑/天，回收率 85%，给水不加酸）

分析项目	给水	产品水	盐透过率	标准化后盐透过率A（折算成Cl^-）	脱盐率，%
pH	7.14	6.1	NA	N/A	N/A
电导率 μs/cm	815	94	0.06	N/A	N/A
Ca^{2+} mg/L	107	4.7	0.02	0.28	97.8
Mg^{2+} mg/L	6	0.31	0.03	0.33	97.5
Na^+ mg/L	49.3	11.6	0.12	1.49	88.4
总铁 mg/L	2.6	0.05	0.01	0.12	99.1
SiO_2 mg/L	21.3	2.9	0.07	0.86	93.3
Cl^- mg/L	80	12.6	0.08	1.00	92.3
SO_4^{2-} mg/L	30	0.8	0.01	0.17	98.7
碱度 mg/L	290	25	0.04	0.55	95.8
TDS mg/L	586.2	58	0.05	0.63	95.1

ESNA1 膜元件对三卤甲烷的脱除率已从另一大系统的实测结果得到证实。该系统给水中三卤甲烷含量超过 750 μg/L，在系统回收率为 85%的情况下，其产水中三卤甲烷含量小于 25 μg/L。

ESNA2 膜元件主要用于脱氯，在去除造成给水变色的有机物时期运行压力只需要 30psi(2bar)。ESPA2 膜元件的优点之一是它只部分去除硬度，而常规纳滤膜对硬度的脱除率过高。对于因硬度而导致管路严重腐蚀的场合该有点尤为重要。对饮用水系统采用 ESNA2 膜元件时无需要在后处理过程中向系统添加硬度，因而可以节约药品费及处理费用。

3 设计要点

在设计使用 ESNA 膜元件的系统时，则于这些膜元件产水量高，有时会使位于系统中前部的膜元件的水通量偏高，从而使整个系统水通量分布不均匀。但采用第一段产水节流加背压会减少该段的净驱动压力（NDP）从而减少产水量。加设段间增压泵时会增加第二段的流量和压力，从而增加该段的流量，在这两种情况下，均可改善流量分配。对于回收率为 75%的二段纳滤系统建议的流量分布为：第一段产水约占总产水的 75%，第二段产水约占 25%。

4 产品规格

ESNA 系列产品包括 ESNA1 及 ESNA2 两个品种，ESNA1 是目前市售工业膜元件中最好的产品，其产水量为 10000GPD，脱盐率为 80%，ESNA2 膜元件专门用于满足只需部分硬度脱除的需要，或满足只需要脱除色度的需要，对于小型系统也可以提供 ESNA1-4040 膜元件。

表-2 对 ESNA 系列产品的基本性能数据作了总结。

表-2 ESNA 系列产品规格

膜元件型号	膜面积 $ft^2(m^2)$	产水量 $gpd(m^3/d)$	平均脱除率 (%)
8 英寸元件			
ESNA1	400 (37.2)	10000 (37.9)	80 (平均 90)
ESNA1-LF	400 (37.2)	7500 (28.0)	73-86 (平均 80)
ESNA2	400 (37.2)	15000 (56.8)	50 (60)
4 英寸元件			
ESNA1-4040	85 (7.9)	2100 (9.8)	80 (平均 90)

上述数据均未给水压力 75psi，温度 25 度，回收率 15%，pH 至 6.5-7.0，含盐量 500PPm NaCl 条件下运行的 30 分钟后的测试值。

5 新型 ESNA1-LF 膜元件-脱盐和硬度去除的理想选择

海德能公司新近推出了新型ESNA1-LF低污染纳滤膜。新型ESNA1-LF纳滤膜元件除了具有 80%(平均)的脱盐率（500 mg/L $CaCl_2$)、可选择性的对硬度的去除，还可以稳定生产低TDS产品水，并因其同以往ESNA1膜元件相同的节能特点，可显著地降低设备及运行成本。同时，由于其对低污染技术的使用，可以大大减少由频繁的膜清洗而带来的化学药剂和运行成本。

新型 ESNA1-LF 可提供 4 英寸和 8 英寸两种规格的膜元件，适用于不同处理要求的系统。 ESNA1-LF 膜元件可广泛应用于软化、减低色度和 DBP（消毒副产品），与标准的石灰软化工艺相比极具发展潜力。由于其独特的低污染技术，ESNA1-LF 可独立地在水处理系统中得到应用，或用于膜集成（IMS）设计的一部分。作为用于市政饮水用途的苦咸水源的理想选择，海德能公司的 ESNA1-LF 膜元件为当今水处理市场提供了低压、高脱盐率和脱硬度各项性能完美结合的创新技术。

2.6 HYDRACoRe-50 高耐氯性脱色用纳滤膜

1 前言

HYDRACoRe 脱色用纳滤膜的表面电荷为强负电性，膜表皮层的材质是磺化聚醚砜，厚度约为 0.3 μm。该型号膜可在相当大的 pH 范围内（2-12）保持稳定的性能，并且可用于含自由氯浓度高的溶液中，具有很高的水通量和较高的盐份透过率。HYDRACoRe 现有三种型号：HYDRACoRe10，HYDRACoRe50 和 HYDRACoRe70，其对 NaCl 的标称脱盐率分别为 10%，50%和 70%。

HYDRACoRe 对透过物的选择性相当独特，透过液中二价离子的透过率要远高于一价离子的透过率。膜对荷电粒子的截留率随溶液浓度的增加而减少，对中性粒子的截留率则与溶液浓度无关，两性电解质(如氨基酸)的截留率与 pH 密切相关，当 pH 在等电点以上时，其截留率大大上升，对负电荷溶质（如 ATP-三磷酸腺甙）的截留率比较高。

2 HYDRACoRe 产品特点

(1) 产品特点

- 操作压力低，水通量高；
- 膜表面为强负电性；
- 耐自由氯氧化性能强。可长时期处理含自由氯水质进水并可使用次氯酸钠等含氯化学药品清洗，能长期保持膜性能不变；
- 膜表面有聚合复合物表层，抗细菌侵蚀能力强；
- 可靠性高，适用范围广泛，如可用于活性染料的脱盐浓缩等。

HYDRACoRe 可在各种类型的水质处理中发挥其独特的作用。尤其适用于市政用水处理中对溶于水中的有机物和色度的去除。

(2) 系统设计要点

HYDRACoRe 膜元件的水通量很大，因此，当几个膜元件串联安装在一个压力容器中构成膜组件时，接近进水段的膜元件水通量将会很高，从而加大了元件被污染的可能。因此纳滤系统结构设计时要充分考虑组件内产水流量分布的均衡性，最大限度地提高每支压力容器中的流体效率，并根据进水水质及出水水质要求进行特定的设计。

(3) 化学清洗

根据污染物质的不同，选择清洗剂的种类和用量，以下是几种推荐使用的化学清洗剂。选择和使用清洗剂前首先要明确污染物的类别和性质，并通过试验来测定清洗剂的适用性。典型的化学清洗溶液：

- 0.2%草酸溶液
- 2%柠檬酸 + 氨水溶液（pH=4）
- 盐酸溶液（pH2-4）
- 氢氧化钠溶液（pH9-12）
- 次氯酸钠溶液（100 mg/L）
- 阴离子表面活性剂（0.1%）
- 六偏磷酸钠溶液（1%）

注：使用阳离子表面活性剂或非离子表面活性剂可能会引起水通量下降。使用阳离子或非离子表面活性剂时首先要明确这些物质与膜的兼容性。使用过氧化氢溶液会导致膜劣化。

3 膜性能

表-1 HYDRACoRe 的分离性能—对无机化合物的截留率

HYDRACoRe 10

阳离子 \ 阴离子			A^-	A^{2-}
			Cl^-	SO_4^{2-}
		分子量	35	96
M^+	Na^+	23	10	15
M^{2+}	Mg^{2+}	24	2	4
	Ca^{2+}	40	1	-

HYDRACoRe 50

阳离子 \ 阴离子			A^-	A^{2-}
			Cl^-	SO_4^{2-}
		分子量	35	96
M^+	Na^+	23	50	90
M^{2+}	Mg^{2+}	24	20	35
	Ca^{2+}	40	12	-

HYDRACoRe 70

阳离子 \ 阴离子			A^-	A^{2-}
			Cl^-	SO_4^{2-}
		分子量	35	96
M^+	Na^+	23	70	95
M^{2+}	Mg^{2+}	24	40	70
	Ca^{2+}	40	30	-

测试条件

样　　品：平板式膜片
测试液浓度 ：0.2%NaCl溶液
pH　　：6.5
操 作 压 力：1.0 MPa（143 psi）
测试液温度 ：25℃

表-2 HYDRACoReTM 对各种化学溶液的耐受性

化 学 溶 液	浓 度	长 期 稳 定 性*
硫 酸	pH2	稳定
盐 酸	pH2	稳定
硝 酸	pH2	稳定
醋 酸	1%	稳定
草 酸	2%	稳定
柠檬酸	2%	稳定
乙二胺四乙酸二钠盐（EDTA-Na）	2%	稳定
硫酸氢钠	2%	稳定
氢氧化钠	pH13	稳定
次氯酸钠	100ppm	稳定
过氧化氢	1%	不稳定
福尔马林	0.5%	稳定

*测试条件：在室温下浸泡一个月

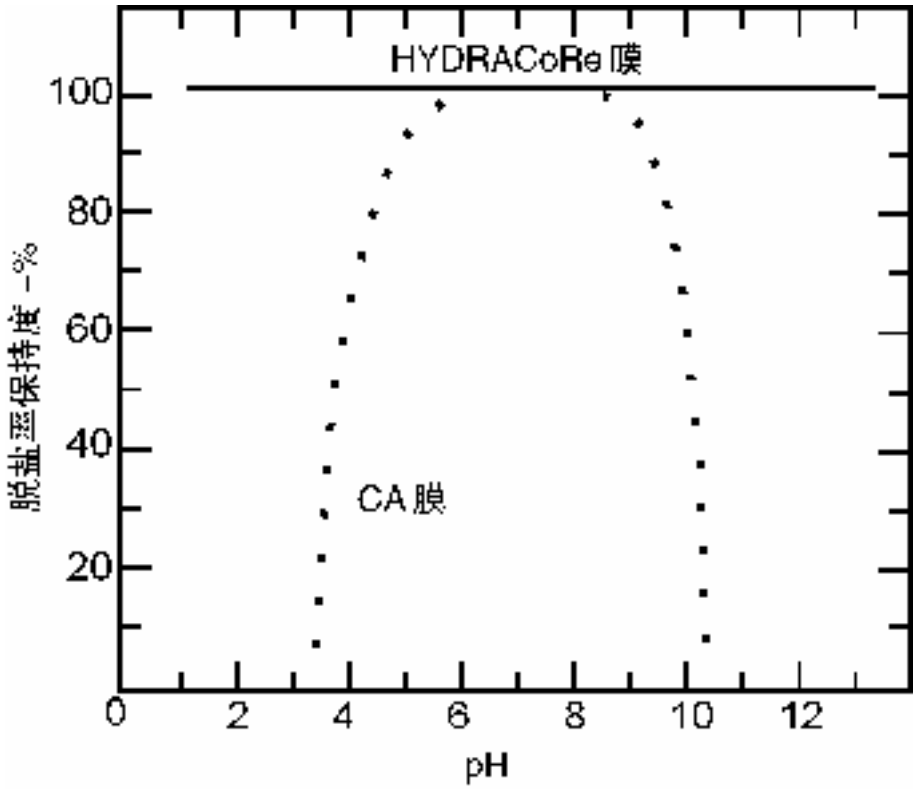


图-1 HYDRACoRe 与醋酸纤维素膜的比较——截留率与溶液 pH 值的关系

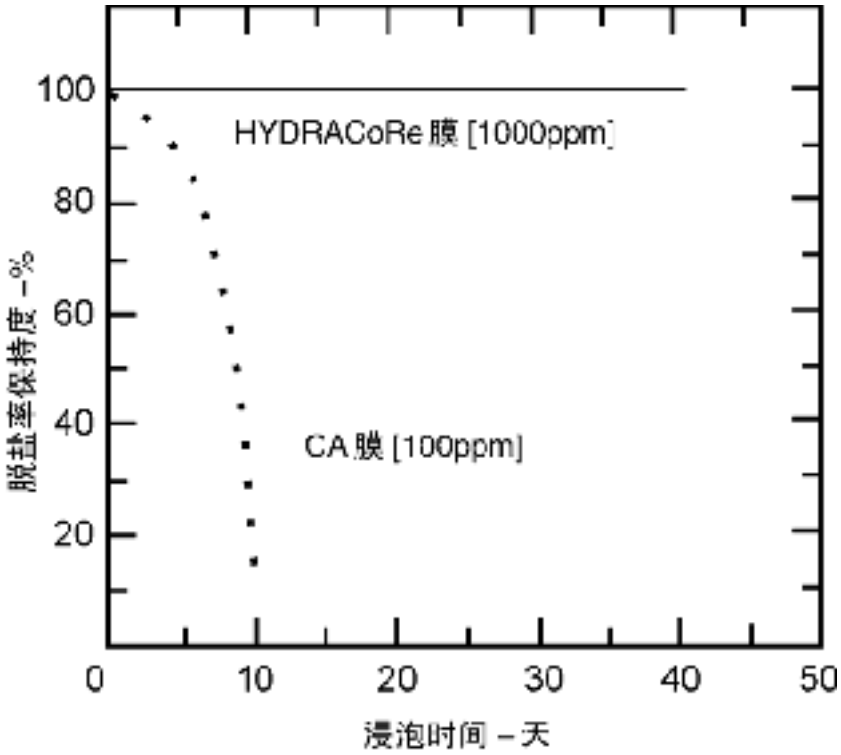


图-2 HYDRACoRe 与醋酸纤维素膜的比较——截留率与溶液自由氯浓度的关系

4 膜表面特征

HYDRACoRe 膜的表面带有强负电荷，图-3 标出了 HYDRACoRe 与其它膜相对的表面 Zeta 电位。HYDRACoRe 表面强负电荷的优点是对进水中的负粒子有强烈的排斥作用，从而减少了负粒子对膜表面的污染。但是，正电荷物质被吸附到膜的表面而引起水通量下降。这一点在处理含有阳离子化合物的溶液（如含有表面活性剂和混凝剂）时，要引起足够的重视。

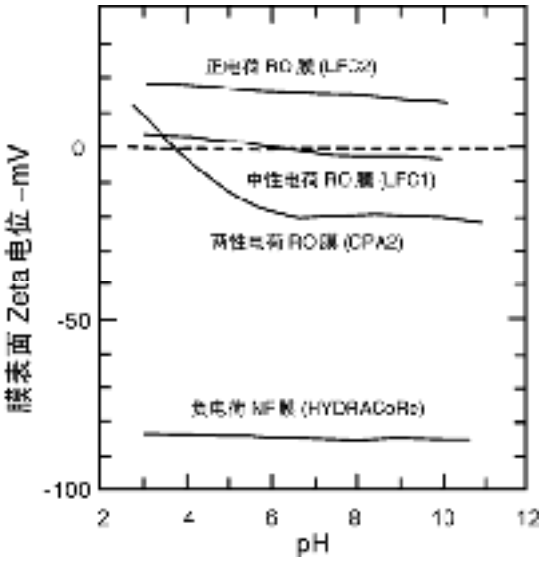


图-3 HYDRACoRe 膜表面 Zeta 电位与其它膜表面 Zeta 电位的比较

5 应用介绍

由于 HYDRACoRe 膜具有耐自由氯浓度高的特点，所以 HYDRACoRe 膜最初主要是用在工业废水处理，如高色度的造纸废水处理，还有食品工业中糖的分离及酱油脱色。

目前HYDRACoRe的应用已扩展到对低含盐量，高色度的地表水处理。美国加州IRVINE RANCH将于 2002 年初投运一个 27800 m^3/d的自来水厂。该厂水源为地表水，盐度低(TDS，250 mg/L)，但有机物含量高(TOC=10 mg/L)，色度高（200 CU)。该项目要求必须去除水中的色度和有机物而保留自来水中的离子成分。通过对不同厂家的八种类型的膜元件进行筛选试验，海德能公司的HYDRACoRe 50作为最适合的膜元件被正式选用。该项目将采用 1300 支 8 寸的HYDRACoRe 50 膜元件。作为检验质量保证体系的程序之一，生产过程中，随机选取一些膜元件以实际的地表水进行测试，试验结果见图-3。图中数据显示出HYDRACoRe 50 具有很好的脱色性能，同时对溶解性无机盐的透过率也很高。

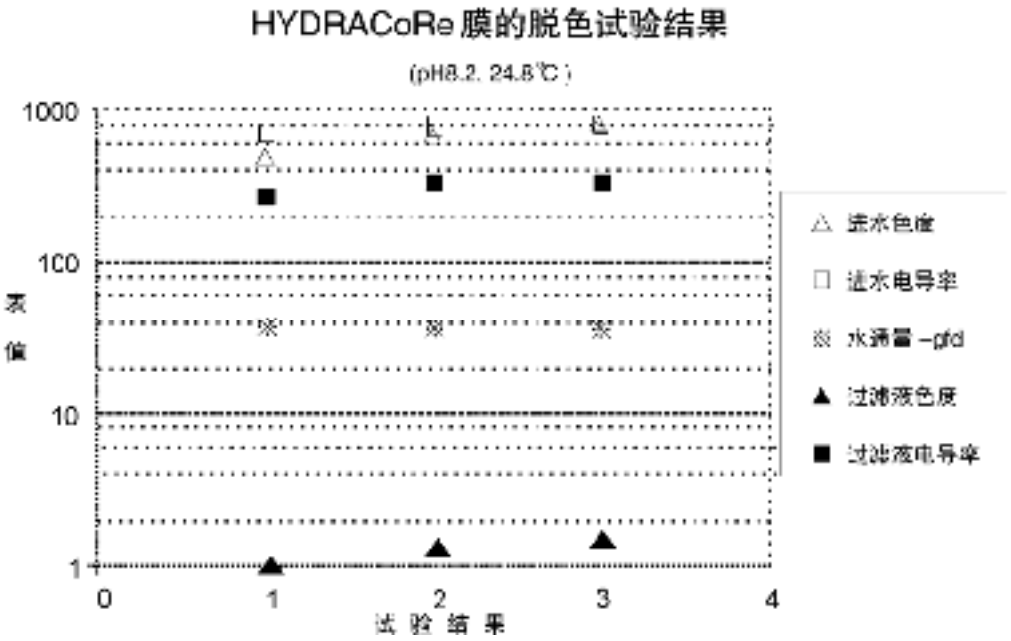


图-4 HYDRACoRe 膜元件在 IRVINE RANCH 项目中的试验结果

海德能公司确信本资料中提供的信息和数据都是准确和有用的。但我们无法控制用户的使用方法和使用条件，因而这里提供的信息和数据仅是出于友好目的，不作为保证值。海德能公司不承担由于使用这些信息和数据而产生的后果或损害，用户应自己确认海德能公司产品对于其特定用途的适应性。

2.7 卫生级/热消毒型反渗透膜

1 概述

早期的卷式反渗透膜元件的应用还局限于水的基本净化。直到 19 世纪七十年代后期，才开始生产能够满足更高要求和多种用途的反渗透膜产品。诸如用于食品工艺和废水处理时要接触高温环境，乳品工业需要无滞留区的卫生级结构，海水淡化需要超高压膜，还有耐酸碱和有机溶剂等化学浸蚀的特种膜等。随着膜工业的不断进步和成长，膜产品使用了新的结构、更多的特种聚合物材料和工程塑料，粘结剂和粘合技术也在不断的进步，还会开发更多的新产品和新的用途。

卫生级反渗透膜元件是为了满足医药食品工艺对于细菌和热源等卫生指标的严格要求而专门设计的一类产品，与普通反渗透膜元件的主要区别是采用了无滞留区的完全填充（Full-Fit）设计。卫生级反渗透膜元件有标准型和热消毒型。热消毒型可以使用热水进行淋洗和消毒处理。卫生级反渗透膜元件主要用于药用纯水的生产以及食品工业应用。

(1) 无滞留区的完全填充（Full-Fit）设计

普通卷式反渗透膜元件的外部是一层缠绕玻璃钢（FRP）材料，在膜元件的一端有一个浓水密封圈，这种结构会在膜元件和压力容器之间形成死水区（或滞留区）。死水区的存在会为微生物的滋生繁殖提供可能，另外膜元件保护液和清洗剂等化学品可能残留在其中。无死水区是食品、饮料和医药工业等使用的卫生级产品的基本要求。为了完全消除死水区，卫生级膜元件采用了 Full-Fit（完全填充）结构，去掉了部 FRP 缠绕层和浓水密封圈，在膜元件的外部缠绕了类似于浓水网格的通透性材料。在液体处理过程中，膜组件中的所有间隙里液体都处于流动状态。这种完全畅通的完全填充结构对于高生物量的易污染场合也非常有益，比如生物技术相关应用及废水处理等。

完全填充型的无滞留区卫生级反渗透膜元件也有多种设计样式，主要体现在代替普通膜元件的外部玻璃钢缠绕封装的网格材料的安装方式不同。这层网格材料可以做成比较松散的直接缠绕，类似于一个套袖。也可以从浓水网格直接延伸出来，在外部形成缠绕包裹。另外一种设计是在玻璃钢封装之外再包裹一层网格材料，同样起到了消除死水区的作用。无滞留区膜元件还可设计成为连带膜壳的整体产品，对于小规模用户来说更加方便。

(2) 有代表性的卫生级反渗透膜产品型号

表-1 标准型卫生级反渗透膜元件

品牌	产品型号	备注
海德能 Hydranautics	SanRO ESPA2 SanRO CPA3 SanRO LFC3 SanRO CPA	均有 8 英寸和 4 英寸膜元件
Dow-FilmTech	RO-390-FF RO-4040-FF	8 英寸 4 英寸

表-2 热消毒型卫生级反渗透膜元件

品牌	产品型号	注
海德能 Hydranautics	SanRO HS SanRO HS2（高通量）	均有 8 英寸和 4 英寸膜元件
Dow-FilmTech	HSRO 390-FF HSRO 4040-FF	8 英寸 4 英寸
GE-Osmonics	Duratherm HWS RO8040 Duratherm HWS RO4040	8 英寸 4 英寸

2 海德能公司卫生级反渗透膜元件

海德能公司开发生产的卫生级反渗透膜元件有两个序列：50℃的标准型卫生级反渗透膜 SanRO 系列，85℃的热消毒型 SanRO-HS 系列。SanRO 和 SanRO-HS 系列产品已通过了美国食品与药品管理局(FDA)认证，在医药纯水及其它高纯水系统中得到了广泛应用。

表-3 SanRO 系列产品规格与性能

型 号	类 型	膜 性 能			系统性能	
		产水量 - GPD （m^3/d）		脱盐率 %	使用压力 psi (MPa)	产水 TDS 值 mg/L
		8 英寸元件	4 英寸元件			
SanRO ESPA2	超低压节能型	13000 (49.2)	3300 (12.5)	99.7	165 (1.14)	9.5
SanRO CPA3	高脱盐低压型	10500 (39.7)	2600 (9.8)	99.7	195 (1.35)	7.4
SanRO LFC3	低污染型	9000 (34.1)	2300 (8.7)	99.6	220 (1.52)	9.2
SanRO CPA4	高脱盐低压型	5500 (20.8)	1400 (5.3)	99.6	330 (2.27)	5.4

表-4 SanRO-HS 系列产品规格与性能

型 号	类 型	膜 性 能			系统性能	
		产水量 - GPD （m^3/d）		脱盐率 %	使用压力 psi (MPa)	产水 TDS 值 mg/L
		8 英寸元件	4 英寸元件			
SanRO-HS	卫生热消毒 高脱盐型	8800 (33.3)	2200 (8.4)	99.7	225 (1.55)	6.0
SanRO-HS2	卫生热消毒 高脱盐高水通量	11200 (42.4)	2800 (10.6)	99.6	185 (1.28)	8.6

3 热消毒型卫生级膜元件的性能特点及热消毒方法

(1) 热消毒卫生级膜元件 SanRO-HS 的性能特点

在热消毒过程中，普通的反渗透膜会发生退火现象，复合膜的基膜和复合膜都会发生一定范围的分子链排列构型的变化（结晶度的提高）。变化的结果是膜的产水量下降，脱盐率升高，类似于早期醋酸纤维素膜的热处理。因此，热消毒膜元件及复合膜需要特殊的技术来消除聚合物材料退火现象的影响。从下面的图示中可以看出，经过多次反复消毒处理的热消毒型 SanRO-HS 膜元件的性能基本稳定，产水通量和脱盐率的变化不大。

热消毒膜元件在粘结剂的选择及粘结工艺方面也作了特殊处理，能够保证在温度变化时膜元件各部分的膨胀或收缩的整体一致性，膜元件不会发生开裂和变形。

每一支膜元件在出厂前 100%进行检验。可同时提供出厂检验合格证书。热消毒型的 HS & HS2 膜元件在出厂前已经进行过以下处理： 最终性能测试和检验（热消毒）纯水漂洗，预先去除 TOC。

膜通量稳定性

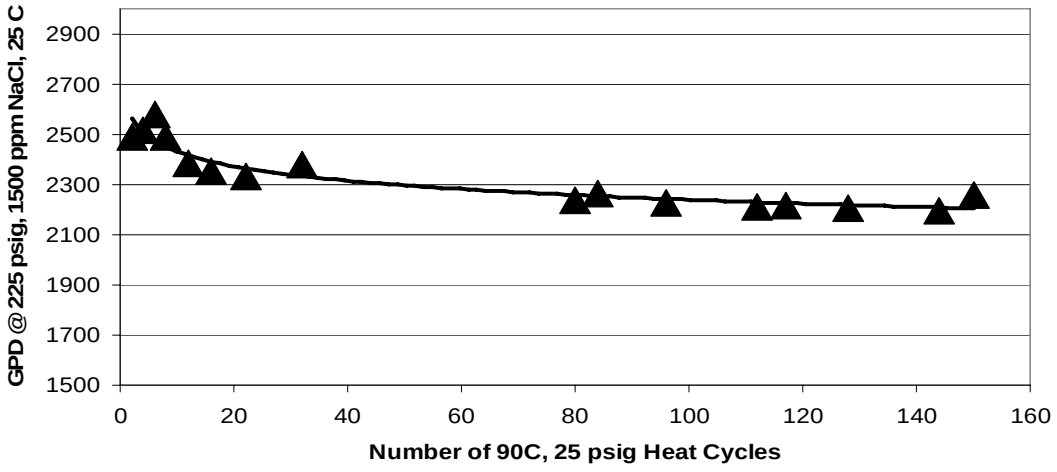


图-1 热消毒对 SanRO-HS 元件产水通量的影响

脱盐率稳定性

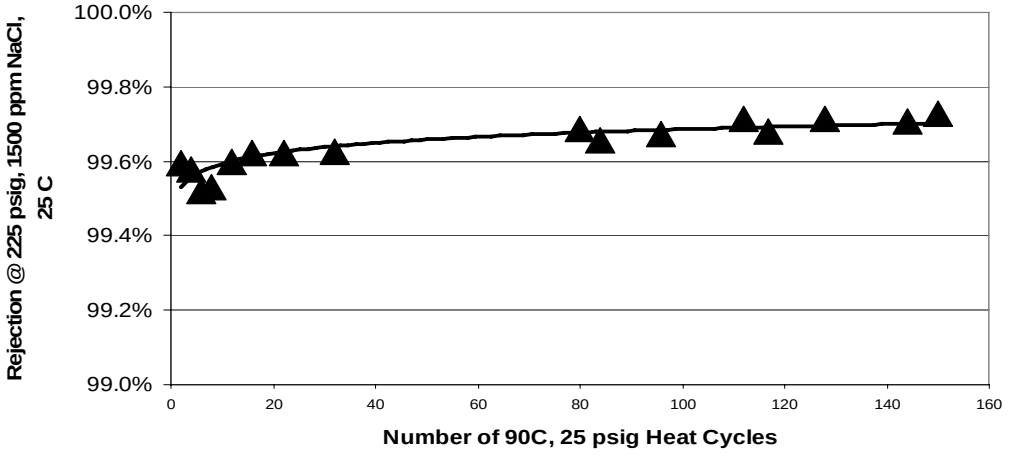


图-2 多次热消毒对 SanRO-HS 型膜元件脱盐率的影响

(2) 膜元件消毒与清洗方法

消毒

- 排放冲洗：排出系统中工作溶液，用反渗透产水对系统进行低压冲洗。
- 低压循环：保持系统操作压力小于 25 psi（1.7 bar），用约 45℃的反渗透产水循环 45 分钟。
- 升温：在必要时将系统温度升高到 85℃，升温速度不要超过每分钟 4℃。
- 保温：保温 30 分钟便可达到系统彻底消毒。
- 冷却：降温速度不要超过每分钟 7℃。
- 系统冲洗：用反渗透产水冲洗系统。

清洗

为了清除系统中的生物污染，SanRO 膜元件需要周期性清洗。清洗方法：

a. 清洗液：

- 氢氧化钠（NaOH），pH=10；
- 0.2%过氧化氢（H_2O_2）。

b. 清洗温度：32℃-43℃。

c. 循环：30-60 bar 压力下循环 1 小时。

d. 冲洗：在重新启动系统之前用反渗透产水冲洗系统。

其它污染物清洗方法参照反渗透复合膜元件通用清洗方法。

4 卫生级反渗透膜元件的应用

(1) 药用纯水

采用卫生级反渗透膜元件生产的纯水能够达到美国药典规定的药用纯水指标。药用纯水是指制剂、制药、工艺、容器冲洗及化妆品配制用水。美国药典第 24 版对药用纯水的规定：细菌 100 cfu/ml；内毒素，无；TOC 500μg/L；电导率 0.6－4.7μs/cm。卫生级膜元件主要在第二级使用，用来保证纯水装置最终产品水达到药店要求。

(2) 乳品加工

卫生级反渗透膜元件还被广泛用于乳制品加工过程中的分离、浓缩，典型的应用有牛奶或乳清的初级浓缩、乳清浓缩液的浓缩处理，可以减少工厂设备投资、降低操作成本，还可压缩排污量、节约排污费用，处理牛奶或乳清的透过液可循环使用，节约水源、降低成本。

第三章　反渗透、纳滤基础知识

3.1　膜技术基本概念

膜分离

物质世界是由原子、分子和细胞等微观单元构成的，然而这些很小的物质单元总是以杂居共生，热力学第二定律揭示了微观粒子都会倾向于无序的混合状态。人们发明了过滤、蒸馏、萃取、电泳、层析和膜分离等分离技术来获取纯净的物质。

膜分离技术的基础是分离膜。分离膜是具有选择性透过性能的薄膜，某些分子（或微粒）可以透过薄膜，而其它的则被阻隔。这种分离总是要依赖于不同的分子（或微粒）之间的某种区别，最简单的区别是尺寸，三维空间之中，什么都有大上巨细，而膜有孔径。当然分子（或微粒）还有其它的特性差别可以利用，比如荷电性（正、负电），亲合性（亲油、亲水），深解性，等等。按照阻留微粒的尺寸大小，液体分离膜技术有反渗透（亚纳米级）、纳滤（纳米级）、超滤（10 纳米级）和微滤（微米和亚微米级），另外还有气体分离、渗透蒸发、电渗析、液膜技术、膜萃取、膜催化、膜蒸馏等膜分离过程。

表-1 主要的膜分离过程

膜的种类	膜的功能	分离驱动力	透过物质	被截留物质
微　滤	多孔膜、溶液的微滤、脱微粒子	压力差	水、溶剂、溶解物	悬浮物、细菌类、微粒子
超　滤	脱除溶液中的胶体、各类大分子	压力差	溶剂、离子和小分子	蛋白质、各类酶、细菌、病毒、乳胶、微粒子
反渗透和纳滤	脱除溶液中的盐类及低分子物	压力差	水、溶剂	无机盐、糖类、氨基酸、BOD、COD 等
透　析	脱除溶液中的盐类及低分子物	浓度差	离子、低分子物、酸、碱	无机盐、尿素、尿酸、糖类、氨基酸
电渗析	脱除溶液中的离子	电位差	离子	无机、有机离子
渗透气化	溶液中的低分子及溶剂间的分离	压力差、浓度差	蒸汽	液体、无机盐、乙醇溶液
气体分离	气体、气体与蒸汽分离	浓度差	易透过气体	不易透过气体

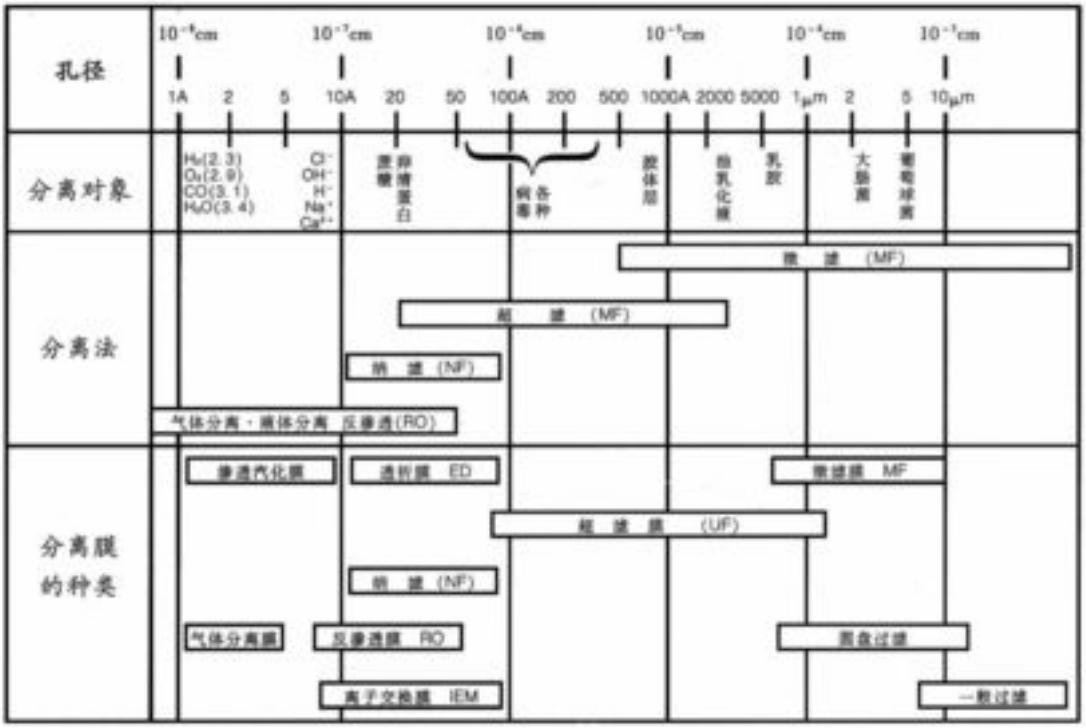
薄膜复合膜

薄膜复合膜由超薄皮层（活性分离层）和多孔基膜构成。基膜一般是在多孔织物支撑体上浇筑的微孔聚砜膜(即 0.2μm 厚)，超薄皮层是由聚酰胺和聚脲通过界面缩合反应技术形成的。

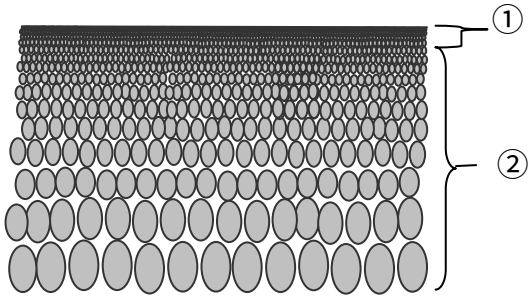
薄膜复合膜的优点与它们的化学性质有关，其最主要的特点是化学稳定性，在中等压力下操作就具有

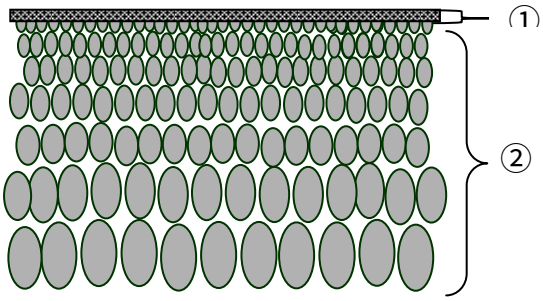
高水通量和盐截留率及抗生物侵蚀。它们能在温度 0－40°C及 pH2－l2 间连续操作。像芳香聚酰胺一样，这些材料的抗氯及其它氧化性物质的性能差。

过滤图谱



平膜结构





①：表面密致层
②：支撑层
材质①=②
非对称膜

①：表面密致层
②：支撑层
材质①≠②
复合膜

图-1　非对称膜与复合膜结构比较

美国海德能公司的 RO/NF 膜(CPA，ESPA，SWC，ESNA，LFC)均是复合膜。CPA3 的断面结构如图 2-2 所示。可以看出在支撑层上形成褶皱状的表面致密层。原水以与皮层平行方向进入，通过加压使其透过密致分离层，产水从支撑层流出。

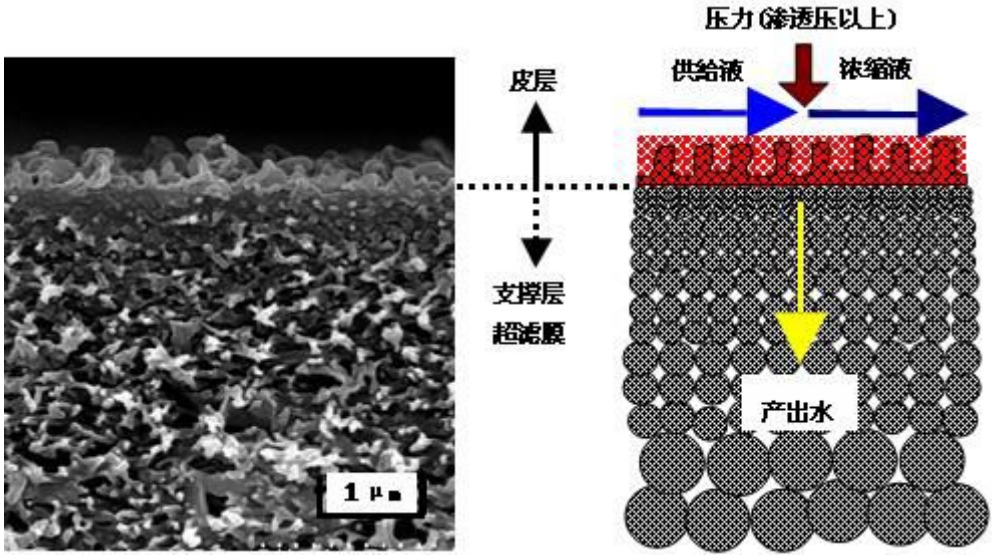


图-2　CPA3 的断面结构

表面致密层构造

根据膜种类不同，制作平膜的表面致密层材质也有差异。大多数都是采用交链全芳香族聚酰胺。其构造如图 2-3 所示。

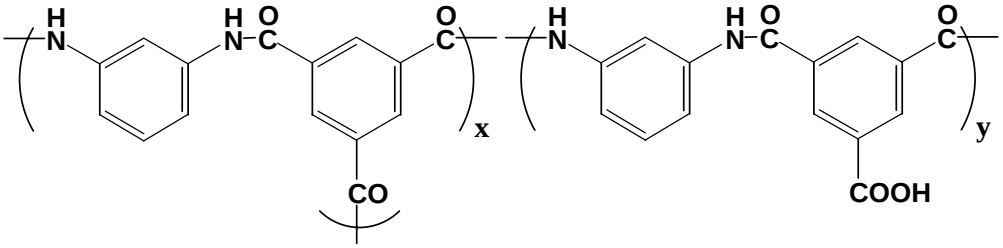


图-3　交链全芳香族聚酰胺结构

不同的表面致密层构造的 RO 膜的性能有较大的差异。图 2-4 是 CPA3 与 ESPA2 断面 TEM 照片。可以发现 ESPA2 膜的褶皱形状明显高于 CPA3。膜分离过程实际上是通过这些褶皱实现的，显然褶皱越高，比表面积越大，产水量越大。通过膜表面微观结构的精确控制来改善膜性能，这是海德能对于膜工业的重要贡献。ESPA 系列产品是世界上性能最好的超低压膜，明显降低了反渗透运行成本，扩大了反渗透的应用范围。

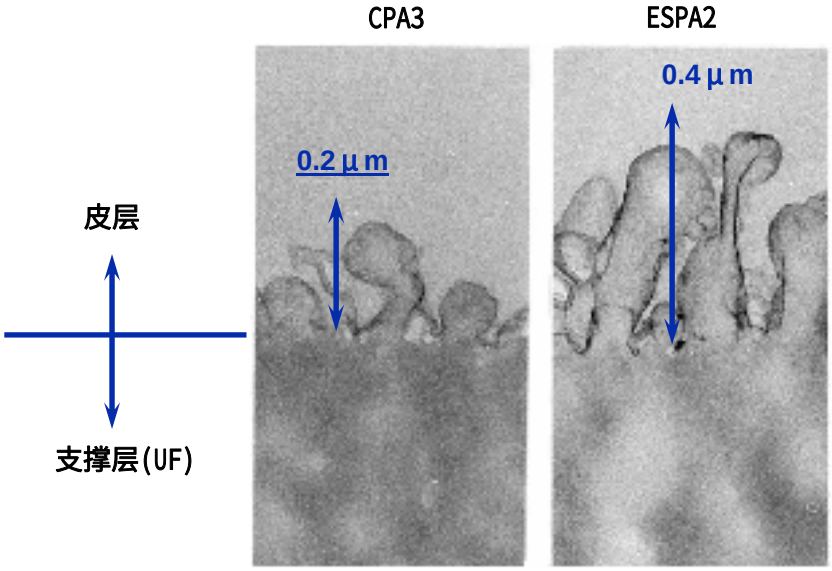


图-4　CPA3 与 ESPA2 的皮层断面 TEM 照片

卷式膜组件

卷式膜组件是由多个膜袋缠绕在一开有孔洞的工程塑料中心集水管上制成(图 1—2)。每个膜袋由两张相背的膜片构成，膜片中间夹一层聚酯纤维编织淡水网格，膜周围 3 条边用环氧或聚氨酯粘合剂密封，第四边留作产水通道与中心集水管连接。在相邻两膜袋之间铺夹塑料隔网构成进水流道（进水网格）。进水沿膜袋外侧的进水网格从膜组件的一端进入膜组件，部分作为产水透过膜，其余部分作为浓水从膜组件的另外一侧排出。透过膜的产水进入膜袋，沿产水网格呈螺旋状向内流动，经过中心管上的孔进入中心集水管，通过产水排出口流出。

全量过滤

全量过滤也称为直流过滤、死端过滤，与常规的滤布过滤类似，被处理物料进入膜组件，等量透过液流出膜组件，截留物留在膜组件内。为了保证膜性能的可恢复性，必须及时从组件内卸载截留物，因此需要进行定时反冲洗（过滤的反过程）等措施来去除膜面沉积物、恢复膜通量。膜组件污染后不能拆开清洗，通常采用在线清洗方式（CIP）。超滤/微滤水处理过程一般采用全量过滤模式。

错流过滤

被处理料液以一定的速度流过膜面，透过液从垂直方向透过膜，同时大部分截留物被浓缩液夹带出膜组件。错流过滤模式减小了膜面浓度极化层的厚度，可以有效降低膜污染。反渗透、纳滤均采用错流过滤方式。

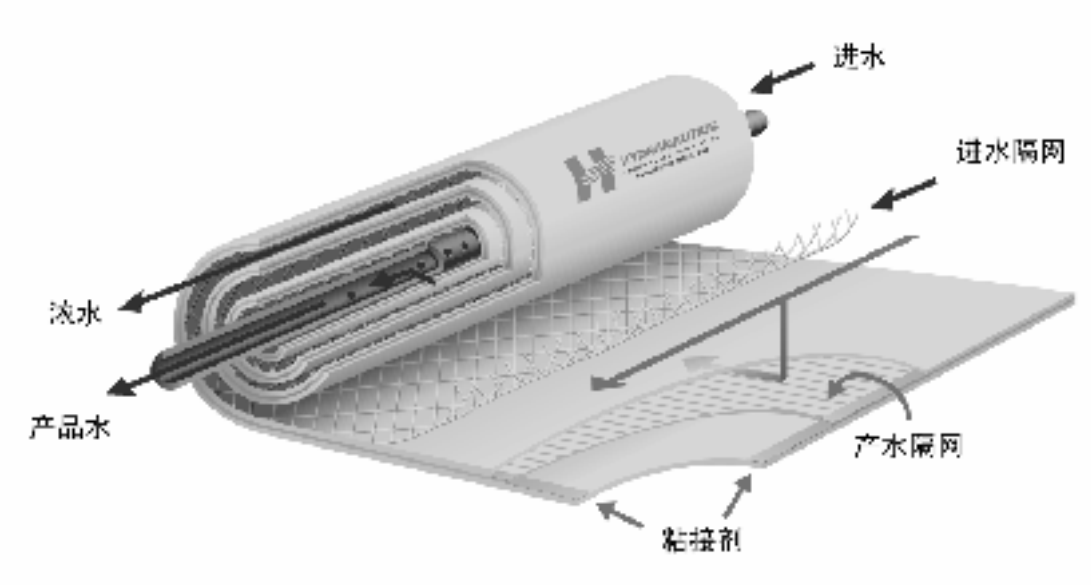


图-5 卷式膜组件结构示意图

膜系统

膜系统是指膜分离装置单元。压力驱动膜系统主要由预处理系统、升压泵、膜组件（压力容器和膜组件)、管道阀门和控制系统构成。

膜污染

各种原水中均含有一定浓度的悬浮物和溶解性物质。悬浮物主要是无机颗粒物、胶体和微生物、藻类等生物性颗粒。溶解性物质主要是易溶盐（如氯化物）和难溶盐（如碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐）。在反渗透过程中，进水的体积在减少，悬浮颗粒和溶解性物质的浓度在增加。悬浮颗粒会沉积在膜上，堵塞进水流道、增加摩擦阻力（压力降）。难溶盐会从浓水中沉淀出来，在膜面上形成结垢，降低RO膜的通量。这种在膜面上形成沉积层的现象叫做膜污染，膜污染的结果是系统性能的劣化。

3.2 反渗透/纳滤基本原理

半透膜

半透膜是具有选择性透过性能的薄膜。当液体或气体通过半透膜时，一些组分透过，而另外一些组分被截留。实际上半透膜对于任何组分都有透过性，只是透过的速率相差很大。在反渗透过程中，溶剂（水）的透过速率远远大于溶解在水中的溶质（盐分)。通过半透膜实现了溶剂和溶质的分离，得到纯水以及浓缩的盐溶液。

渗透

渗透是当流体在跨越半透膜屏障时的一种自然过程。如果将一箱纯水用一张半透膜垂直分为两部分，纯水与理想半透膜的两面以相同的温度和压力接触，在这样的条件下没有跨越半透膜的水的流动产生，因为在膜两侧的化学势完全相等。如果在其中一侧加入溶解性盐，盐溶液一边的化学势降低了。纯水便会向盐溶液一侧渗透，从而产生一个渗透流，直到化学势的平衡重新建立为止（图－1a)。

渗透压

按照科学术语，在半透膜的两边存在一个“化学势”(离子或溶质分子的浓度差）的差值，通过溶液的渗透过程对化学势差进行补偿。当平衡重新建立时，在半透膜的两侧形成了一个水位差即静压差，这个压力差便是渗透压。渗透压是溶液本身的性质，取决于溶液浓度，与半透膜没有关系。

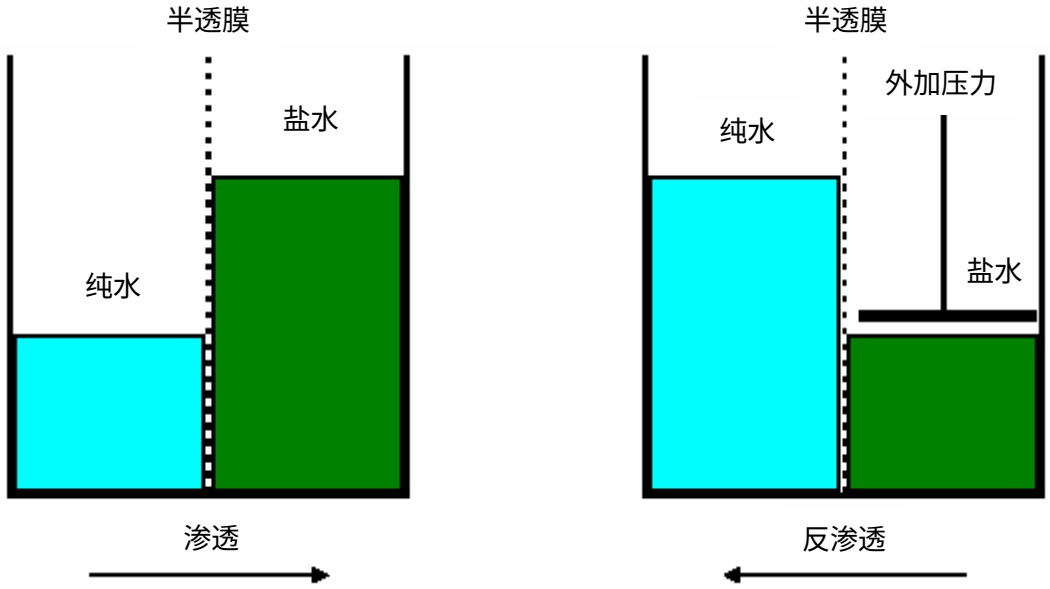
渗透压与溶质浓度之间的关系为：

$P_{osm} = 1.19\ (T + 273) * \Sigma(mi)$ (1)

其中P_{osm}＝渗透压（psi），T为温度（℃），Σ(mi)是溶液中所有溶质的总摩尔浓度。TDS为1000ppm的水溶液的近似渗透压约为11 psi (0.76 bar)。

反渗透

在图－1 的箱子中，水通过渗透作用流向盐溶液一侧，直到达到新的平衡建立。在盐溶液一边施加一个额外的压力与渗透压相等，原有的平衡会受到影响（图－1b)。外加压力将会使盐溶液一边的化学势增加，使溶剂流向纯水一边。这种现象便是反渗透。反渗透过程的驱动力是外加压力，反渗透分离所需能量与溶液的难度直接相关。因此，从盐溶液中生产同样体积的水，盐的浓度越高，所需能耗也越高。



图－6a　　图－6b

图-6 反渗透原理

对于反渗透过程分离水和盐的机理还没有一个公认的统一解释。目前一般推荐两种传递模型：孔流模型和扩散模型。水通过膜有两种方式，一种是通过膜上存在的孔，另外一种是通过膜中的分子节点之间的扩散。根据理论，膜的化学性质是，在固液界面上水优先吸附并通过，盐被截留。水与膜表面之间有弱的化学结合力，使得水能够在膜的结构中分散。膜的物理和化学性质决定了在传递过程中水比盐的优先地位。

水的传递

水通过半透膜的速率由方程(2)确定。

$Q_w = (\ \Delta P - .\Delta Posm) * Kw * S/d$ (2)

其中

Qw为水透过膜的速率，ΔP为膜两侧压力差，ΔP_{osm}为膜两侧的渗透压差，K_w为膜的纯水渗透系数，S为膜面积。（2）式通常被简化为：

$Q_w = A * (NDP)$ (3)

其中

A为膜常数，NDP为跨过膜的水传质总驱动压力或总驱动力。

盐的传递

透过膜的盐流量定义为：

$Q_s = \Delta C * K_s * S/d$ (4)

其中Q_s为膜的透盐量，K_s为膜的盐渗透系数，ΔC为膜两侧盐浓度差，S为膜面积，d为膜厚度。该方程可简化为：

$Q_s = B*(\Delta C)$ (5)

其中B代表膜常数，ΔC为盐传质驱动力。

从方程4和5可以看出。对于一个已知的膜来说：

- 膜的水通量与总驱动压力差成比例；
- 膜的透盐量与膜两侧的浓度差成比例，与操作压力无关。

透过液的盐浓度Cp，取决于透过反渗透膜的盐量和水量的比：

$C_p = Q_s/Q_w$ (6)

膜对水和盐的传质系数不同，所以才有脱盐率。没有什么理想的膜具有对盐完全的脱除性能，实际上是传质速率的差别早就了脱盐率。方程2、4和5给出了设计反渗透系统必须考虑的一些主要因素。比如操作压力的增加会提高水通量，但对盐的透过没有影响，所以透过液的盐度会更低。

透盐率

原水中溶解性杂质透过膜的百分率，计算公式为：

$SP = 100\% * (C_p/C_{fm})$ (7)

其中SP为透盐率（%），C_p为透过液盐浓度，C_{fm}为料液的平均盐浓度。

水通量和透盐率的基本关系式是反渗透的基本原理。可以看出，透盐率随操作压力增加而降低，其原因是水通量随压力增加，但盐的透过速率在压力变化情况下保持不便。

脱盐率

通过反渗透膜从原水中脱除总可溶性杂质浓度或特定溶质浓度的百分率。计算公式为：

$SR = 100\% - SP$ (8)

其中 SR 为脱盐率（%），SP 为透盐率见（7）式。

产水-透过液

反渗透、纳滤膜的透过液为净化水，因此也称为系统产水。

浓水-浓缩液

未透过膜的溶液，原水中的溶质在其中被浓缩。在水处理反渗透系统中浓水作为废水排出。

回收率（转化率）

原水转化为产水的百分率。回收率是反渗透系统设计和运行的重要参数，计算公差为：

$R = 100\% * (Q_p/Q_f)$ (9)

其中R为回收率（%），Q_p为产水流量，Q_f为原水流量。回收率影响透盐量和产水量。回收率增加时料液侧中的盐浓度也会增加，致使透盐量增加、渗透压上升以及NDP降低、产水量降低。

浓差极化(β系数)

膜透过水并截留盐时，在膜表面附近会形成一个流速非常低的边界层，边界层中的盐浓度比本体溶液浓度高，这种盐浓度在膜面附近增加的现象叫做浓差极化。浓差极化会使实际的产水通量和脱盐率低于理论估算值。浓差极化效应如下：

- 膜面上的渗透压比本体溶液中高，从而降低 NDP（净驱动压力）；
- 降低水通量（Q_w）；
- 增加透盐量（Q_s）；
- 增加难溶盐在膜面上超过其溶度积在膜面上沉淀结垢的可能性。

浓差极化因子（CPF）被定义为膜面浓度（C_s）与本体浓度（C_b）的比：

$CPF = C_s/C_b$ (10)

透过通量的增加会增加离子向膜面的输送量，从而增加C_s。给水流速的增加增强紊流效果，削减膜面高浓度层的厚度。因此CPF与透过通量（Q_p）成正比，与平均给水流量（Q_{favg}）成反比：

$CPF = Kp * \exp(Q_p/ Q_{favg})$ (11)

其中K_p是取决于系统形状的比例常熟。料液平均流量采用料液和浓缩液的算术平均数，CPF可以表达为膜组件透过液回收率的函数（R_i）：

$CPF = Kp * \exp(2R_i/(2-R_i))$ (12)

海德能推荐的浓差极化因子极限值为1.20，对于40英寸长的膜组件来说，相当于18%的回收率。

纳滤膜及其主要应用

理想的反渗透膜只对水有透过性能，任何溶质都会被阻流。纳滤(NF)膜早期称为松散反渗透(Loose RO)膜，纳滤膜可以让部分溶质透过，根据膜和溶质的种类不同，溶质的透过率也不同。

纳滤膜的一个很大特征是膜本体带有电荷性。这是它在很低压力下仍具有较高脱盐性能和截留分子量为数百的膜也可脱除无机盐的重要原因。

(1) 软化水处理

对苦咸水进行软化、脱盐是纳滤膜应用的最大市场。

(2) 饮用水中有害物质的脱除

传统的饮用水处理主要通过絮凝、沉降、砂滤和加氯消毒来去除水中的悬浊物和细菌，而对各种溶解性化学物质的脱除作用很低。纳滤膜可用于脱除河水及地下水中含有的三卤甲烷中间体 THM（加氯消毒时的副产物为致癌物质）、低分子有机物、农药、异味物质、硝酸盐、硫酸盐、氟、硼、砷等有害物质。

(3) 中水、废水处理

(4) 食品、饮料、制药行业

各种蛋白质、氨基酸、维生素、奶类、酒类、酱油、调味品等的浓缩、精制。

(5) 化工工艺过程水溶液的浓缩、分离

化工、染料的水溶液脱盐处理。

3.3 膜性能的影响因素

反渗透以及纳滤过程的主要指标是产水通量和脱盐率。对于一定的膜组件，产水量和脱盐率受到给水水质条件和系统运行参数的影响，最基本的给水水质因素有含盐量(浓度)、温度和 pH 值等，运行参数有压力、给水流量和回收率等。下面就关于对产水量和脱盐率产生影响的各操作因子做一般论述。

给水浓度

浓度对产水量和截留率的影响如图－7 所示。一定压力下当供给的原水浓度增高时，产水量就会减少。这是因为供给水的渗透压变高，有效压力降低的缘故。脱盐率受浓度影响非常大。通常浓度提高，产水量就会降低的同时，脱盐率也会降低。但是当非常低的浓度下，起初浓度增加，脱盐率率也会稍许增加。随后，随着浓度的不断增加脱盐率就变的低下。

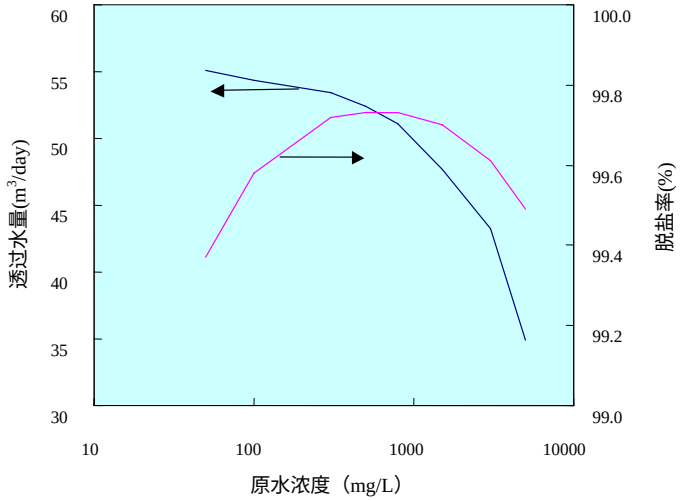


图-7 原水浓度对透水量及脱盐率的影响

膜组件 CPA3-8040　原水浓度氯化钠 1500mg/L　操作压力 1.55MPa　温度 25°C

温度的影响

温度对脱盐率和产水量的影响如图－8 所示。温度变高，水的粘度降低，水的扩散性增加，产水量也随着温度上升而增加。在同一压力下，温度上升一摄氏度，产水量可增大 3～4%。另一方面对于不同类型的膜，温度对于脱盐率率的影响的差别较大。一般来讲温度增高脱盐率降低。这是因为温度上升，盐的扩散速度就会增大的原因。

pH 依存性

进水pH值对膜分离性能有较大影响，但对于不同的膜材质和原水水质有一定差别。采用氯化钠测试溶液， CPA3 膜的pH依存性如图－9 所示。聚酰胺系列的反渗透膜是拥有氨基（－NH_2）和羧基（－COOH）

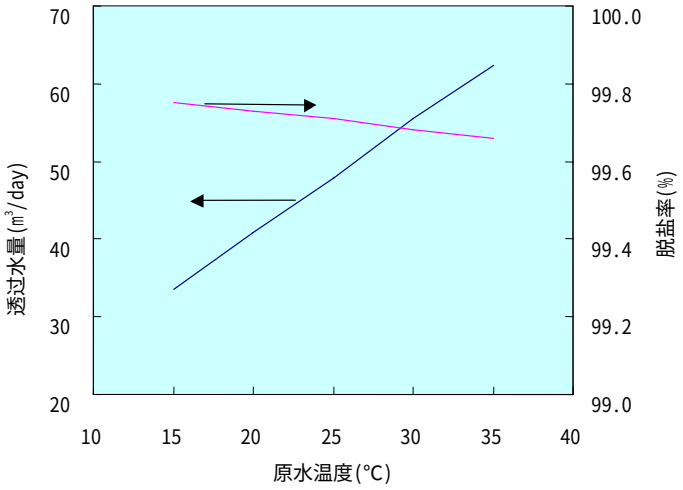


图-8　温度对透水量及脱盐率的影响

膜组件 CPA3-8040　原水浓度氯化钠 1500mg/L　操作压力 1.55MPa　回收率 15%　温度 25°C

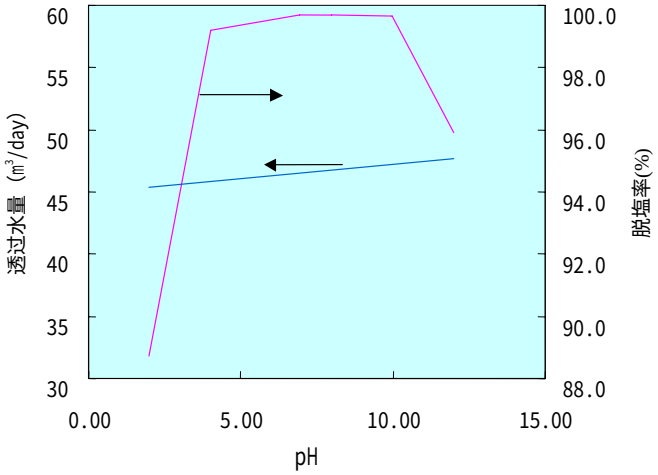


图-9　pH 值对透水量及脱盐率的影响

膜组件 CPA3-8040　原水浓度氯化钠 1500mg/L　操作压力 1.55MPa　回收率 15%　温度 25°C

的两性电荷膜。当处在低pH值时，膜面电位比等电点（膜电位＝0）要高，氨基吸收质子（$-NH_2 + H_+ = -NH_3^+$），膜表面现正电性；在高pH值时，膜面电位比等电点要低,羧基失去质子（$COOH = COO^- + H^+$）表现为阴性。因为通常聚酰胺系列反渗透膜的等电点在酸性范围，因此在中性（pH=7）附近，聚酰胺膜表现负电荷性。原水的浓度稀薄的时候，表现负电荷性的膜相对于（Cl^-）阴离子比较，阳离子(Na^+)的脱除率就相对降低。在高浓度，2 种离子的脱除率基本相近。对于天然水RO/NF系统，pH降低会使产水电导率升高。这是由于天然水一般都含有碳酸氢根（HCO_3^-），而碳酸氢根与氢离子、二氧化碳和碳酸根的平衡关系受到pH值的影响。在pH降低时二氧化碳含量增加，膜对二氧化碳没有分离效果（进、产水中二氧化碳浓度相等），透过膜的二氧化碳会建立新的平衡，增加产水电导率。

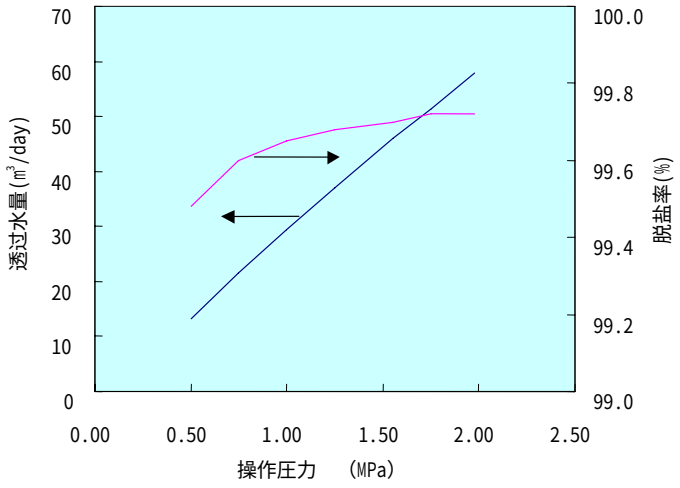


图-10 操作压力对透水量及脱盐率的影响

膜组件 CPA3-8040 原水浓度氯化钠 1500mg/L 回收率 15%

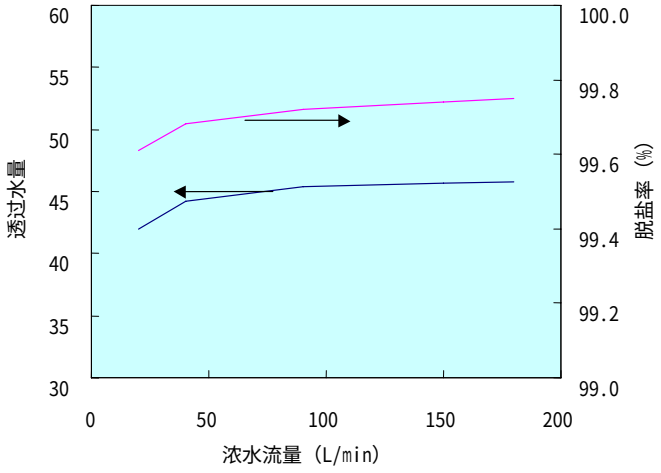


图-11 操作压力对透水量及脱盐率的影响

膜组件 CPA3-8040 原水浓度氯化钠 1500mg/L 操作压力 1.55MPa 温度 25°C

操作压力

产水量的增加与压力成正比。由于盐透过速率受压力影响较小，随着产水量增加脱盐率会随着操作压力的增加而上升，大致为一定值。操作压力对于脱盐率和产水量的影响如图－10 所示。

流量的影响

浓水流量对产水量和脱盐率的影响如图－11 所示。在压力一定的条件下，进水流量降低时脱盐率和产水量都会下降。这里有两方面的原因。一方面压力不变而进水流量降低会增加系统的浓缩倍率，提高了下游的给水浓度，渗透压会相应提高，从而降低了净推动压力，降低了产水量，盐浓度增加导致盐透过增加，降低了脱盐率。另一方面，降低进水流量等于膜表面线速度的降低，增加了膜表面边界层厚度和边界层浓度，同样提高了渗透压和透盐速率。

回收率

回收率对产水量和脱盐率的影响见图－12。在压力一定情况下，回收率增高，膜面的浓差极化比也提高，有效压力则减小，最终产水量减小。同时脱盐率也降低。和上面提到的流量的影响相同。膜系统回收率的限制来自于两个方面，一个是存在渗透压的影响，另外一个同原水水质也密切相关。回收率增高时，溶解于溶液中的盐呈过饱和状态，会有盐及其它溶质析出在膜面沉淀、结垢的可能，会对膜性能带来很大的危害。

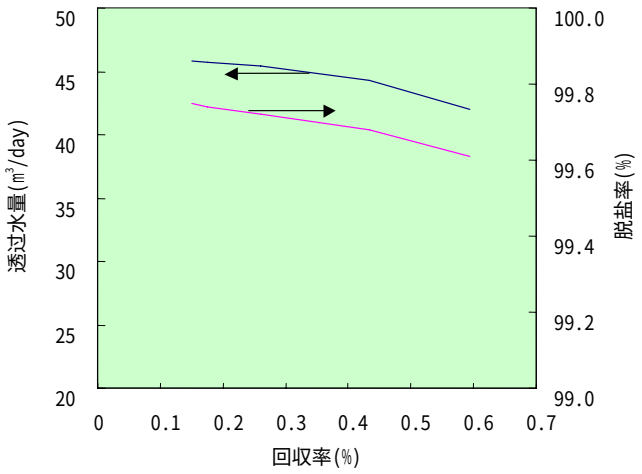


图-12　回收率对透水量及脱盐率的影响

膜组件 CPA3-8040　原水浓度氯化钠 1500mg/L　操作压力 1.55MPa　温度 25°C

第四章　水化学与水质分析

4.1　反渗透水化学

温度

温度是一个十分关键的设计参数。给水泵压力、各段产水量平衡、淡水水质及难溶盐的溶解度等各个设计参数均与温度密切相关。作为一种粗略算法：给水温度每降低 10 华氏度，给水泵压力则需增加 15%。各段产水量也受到温度的影响。水温增加时，位于 RO 系统前端的膜元件产水量增加，而后端的膜元件产水量下降。而水温较低时，各段产水量较为均衡。水温较高时，离子透过膜体的动能增加，因而系统透盐率增加。水温增高时，碳酸钙的溶解度下降。水温降低时，硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶及二氧化硅的溶解度下降。

pH 值

给水的 pH 值定义了它的酸碱性。pH 值为 7 时是中性；为 0-7 时呈酸性；为 7-14 时呈碱性。在分析化学中，pH 值是氢离子浓度负对数。在水化学中，pH 值用于定义二氧化碳、碳酸氢根、碳酸根、氢氧根离子的碱度平衡是十分重要的。浓水的 pH 值一般较给水 pH 值偏高，这是由于碳酸氢根、碳酸根离子浓度高于二氧化碳浓度。【Rodesign】软件允许用户用盐酸与硫酸调整给水的 pH 值，用酸降低给水 pH 值将 LSI（朗格里尔）指数下降，且降低碳酸钙沉淀的可能。给水与浓水的 pH 值也影响着硅、铝、有机物与油脂的溶解度与污染程度。给水 pH 值的变化还影响了离子的脱除率，pH 值下降时氟、硼与硅的脱除率随之下降。

电导率

电导率是表示水中溶解离子导电能力的指标。没有离子的理想纯水，不会产生电流。电导率用电导率仪测量，其单位为微西门子/厘米(μs/cm)。电导率也是测量水中离子浓度的简便方法，但不能精确反映离子种类。离子构成不同，电导值也不同；但电导的数值随离子浓度增加而增加。TDS（溶解固体总量）仪是利用变换因子将电导率值转换为 TDS 值。在水质分析中，可用不同离子对应的不同转换系数或溶解固体总量（TDS）对应的单一转换系数，估算电导率的数值。可用二氧化碳的 ppm 浓度的平方根乘以 0.6 求得其电导率；硅离子对电导率变化不产生影响。RO 高纯水最精确的电导率数值是在线测量的。否则，高纯水暴露于空气之中，将改变其二氧化碳含量。

TDS (溶解固体总量)

在水处理工艺中，TDS 是滤除悬浮物与胶体并蒸发掉全部水分后的剩余无机物。TDS 以 ppm 或 mg/l 为单位，在【IMSdesign】软件中 TDS 是全部正负离子与二氧化硅的合计。【IMSdesign】软件中给水与淡水的 TDS 可以通过各自电导率折算出来。也可以在现场用 TDS 仪测量 TDS，TDS 仪测量水的电导率并乘以转换因子即得出已知参考溶液（如氯化钠、氯化钾）的 TDS 值。值得注意的是：通过电导率数值间接测出的各类离子混合而成水溶液的 TDS 值，与通过总加各类离子浓度得出的 TDS 值并不相同。一个粗略算法是：对于氯化钠参考溶液，每 1 ppm 的 TDS 值对应 2μs/cm 的电导率。

碱度

碱度主要是指二氧化碳、碳酸氢盐、碳酸盐与氢氧化物。在自然界中土地是碱性体，在中和酸雨过程中其 pH 值变化不大。二氧化碳与碳酸氢盐溶液的 pH 值为 4.4 至 8.2；pH 值为 4.4 或更低时，碱度以二氧化碳形式存在；pH 值 8.2 时，不存在二氧化碳，全部碱度均为碳酸氢盐。在 pH 值为 8.2 至 9.6 时碳酸氢盐与碳酸盐溶液相互平衡。pH 值为 9.6 时，不存在二氧化碳与碳酸氢盐，全部碱度为碳酸盐。当 pH 值在 9.6 以上时，由于氢氧根离子的存在，出现了氢氧基碱度。大部分自然界中水源的 pH 值为 6.0 至 8.4，所以氢氧化物的出现是人为的。碱度（特别对于锅炉水化学）可表示为 M 碱度与 P 碱度。M 碱度是指以碳酸钙计的 PPm 值表示的水的总碱度（用甲基橙作指示剂，酸滴定终点为 pH=4.2）。P 碱度测量碳酸氢盐、碳酸盐及氢氧化物的量（用酚酞作指示剂，酸滴定终点为 pH=8.2）。

浊度

浊度是对水中不易沉淀的微小胶体悬浮物的检测指标。用浊度仪测量浊度就是测量溶液的相对透光度，并以 NTU 为单位。RO 膜元件运行限值中经常规定：给水的最大浊度为 1.0 NTU。

色度

色度是非精确测试参数，依据不同有机物引起色度的大小，可以用色度表示水中有机化合物含量的大小，并使用以白金为标准的 APHA 单位。

SDI (污染指数)

SDI 是针对膜系统而检测给水中悬浮物与胶体粒子淤塞 0.45 微米孔径滤纸的速度的试验数据。该试验的主要数据是保持 30 PSI 给水压力状态下在 5、10、15 分钟内过滤的水量。典型 RO 元件的使用条件规定了给水的 15 分钟的最高 SDI 值为 4.0。如果因为淤塞而使 SDI 试验只进行了 5 或 10 分钟，说明给水对 RO 系统的污染将是十分严重的。略加处理或全无预处理情况下，深井水的 SDI 值等于或低于 3，浊度小于 1。对地表水而言，欲达到 SDI 与浊度的要求，必须采用预处理工艺以去除悬浮物与胶体颗粒。

COD (化学耗氧量)

COD 是以氧的 PPm 值为单位的非精确测试参数，用以测定生物可降解与生物不可降解有机物的含量，即计量重铬酸钾溶液氧化有机物的能力。

BOD (生物耗氧量)

BOD 是以氧的 PPm 值为单位的非精确测试参数，用以测定生物可降解有机物的含量。BOD 测量的是 20℃下 5 天培养期内分解全部有机物质时所消耗的氧量。

TOC (总有机碳)

TOC 是总有机碳（Total Organic Carbon）或总可氧化碳（Total Oxidizable Carbon）的英文缩写，是一个非精确测试参数。它以碳的 ppm 值为单位检测与有机物结合的碳的总量。由于 TOC 仅反映有机物中碳的数量，地表水中有机物的实际重量是该值的 3 倍。有机物是不包括二氧化碳、碳酸氢盐与碳酸盐在内的含碳的化合物。在水处理范畴内有机物可分为人造的与自然存在的两类。自然存在的典型有机物包括带

负电荷的胶体、悬浮物、鞣酸、木质素、腐烂植物生成的水溶性腐殖酸混合物、腐烂植物生成的棕黄酸等。自然存在的有机物可以污染 RO 膜，特别是对带负电荷的聚酰胺复合膜。电中性的 RO 膜即电中性聚酰胺复合膜与醋酸纤维膜具有较强的抗有机物污染能力。RO 系统可以有效的去除有机物，分子量大于 200 的有机物可去除 99%以上，小于 200 的依分子量、形状、带电的不同，其去除率也不同。自然水源在 RO 系统中产生有机物污染的警戒水平：TOC 为 3 PPm、BOD 为 5PPm、COD 为 8PPm。

阳离子与阴离子

阳离子是正价离子，可吸收电子；阴离子是负价离子，有剩余电子；正负离子可以相互作用。他们对电子的共享形成电中性。例如，钙是二价阳离子可以结合两个单价氯离子形成电中性的氯化钙。不论计量单位是 PPm、碳酸钙或 meg/l，水中的正负离子浓度均相等。极性弱的阴离子硅虽计入 TDS，但不参与阴阳离子平衡。

离子强度

给水中 TDS 增加时难溶盐的溶解度随之增加。为在计算硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶或 SDSI 的溶解度时计及上述现象的影响，需要计算水中的离子强度：单价离子的强度是其以碳酸钙计 PPm 浓度乘以 1×10^{-5}，二价离子的强度是其以碳酸钙计 PPm 浓度乘以 2×10^{-5}，依此计算各价离子的强度。总加各类离子的强度即为水的总离子强度。

钠离子 (Na)

钠是单价阳离子，钠盐的溶解度很高，不会在 RO 系统中造成结垢。海水中钠是主要的阳离子。作为阳离子的钠，在 RO 给水分析中自动与其它阴离子相平衡。饮食中钠的摄取浓度范围是从低钠的 2000 mg/l 到平均的 3500 mg/l。美国 EPA 已设立了饮用水水质标准（DWEL），规定饮用水中钠为 20mg/l。每天饮用 2 升 100 mg/l 钠含量的饮用水只有 200 mg 钠。每加仑 10 打兰（171.2 mg/l）硬度的相对硬水经软化后只含钠 79 mg/l。

钾离子 (K)

钾是单价正离子，在水中钾的含量较钠低得多，且有很高的溶解度，不会造成 RO 结垢。

镁离子 (Mg)

镁是二价阳离子。镁在苦咸水硬度中约占三分之一，但在海水中可比钙的含量高出五倍。镁盐的溶解度较高，在 RO 系统中通常不会造成结垢问题。

钙离子 (Ca)

钙是二价阳离子，钙于镁同为苦咸水中硬度的组成部分。在使用阻垢剂时，硫酸钙（$CaSO_4$）（石膏）的溶解度可达 230%。碳酸钙的溶解度 LSI（朗格里尔指数）值可达+1.8～+2.5。

锶离子 (Sr)

锶是二价阳离子。硫酸锶的溶解度很低，可能在 RO 系统的后端造成沉淀。当硫酸根浓度增加或温度降低时，硫酸锶的溶解度将降低。通常，铅矿附近的井水中含有小于 15PPm 浓度的锶。硫酸锶的饱和浓度为 100%，而使用阻垢剂时，饱和浓度可达 800%。

钡离子 (Ba)

钡是二价阳离子。硫酸钡（$BaSO_4$）的溶解度很低，能够在 RO 系统的浓水出口侧造成沉淀。温度降低与硫酸盐浓度增高均使硫酸钡的溶解度进一步下降。钡一般出现在井水中，浓度一般小于 0.05～0.2 PPm。钡的检测必须在精度为 0.01PPm（10 PPb）水平的仪器上进行。饱和度为 100%，使用阻垢剂时可达 6000%。

锰离子 (Mn)

锰是井水与地表水中的污染物，其含量可达 3PPm。如铁一样，地表水的有机物中存在锰。在无氧气的水中锰呈溶解状态，氧化后呈不溶的黑色二氧化锰沉淀。暴露于空气中的反渗透给水中锰的警戒水平是 0.05PPm。由于会产生黑锈，在饮用水标准中规定了锰含量限值为 0.05PPm。用于控制铁污染的分散剂也可以用于控制锰污染。

铁离子 (Fe)

铁是以两种形式存在的污染物。溶于水的形式为二价铁。不暴露于空气的井水中，二价铁类似于钙、镁，可通过软水器去除，或在 RO 原水中加入分散剂以控制 RO 系统尾部的沉淀。不溶于水的形式为三价铁。膜生产商建议 RO 给水中的全部铁含量低于 0.05PPm。如果全部的铁均为可溶的二价状态且 pH 值低于 7.0，可以允许 0.5PPm 含铁浓度（尽管此时建议使用分散剂）。空气与可溶二价铁的接触可将其氧化为不溶的三价铁。井水之中一般存在可溶的铁，当井水被置于容器或水泵密封不严时，即可使二价铁变为的不溶的三价铁。可溶铁可以用分散剂处理，或用铁过滤器、软水器、软化法加以去除。而不溶的三价铁氧化物或以胶体形式存在的氢氧化铁，将污染 RO 系统的前端。不溶铁的来源是暴露于空气中的井水、地表水、无衬里管路与容器的铁锈。不溶铁的去除可采用铁过滤器、石灰软化法、软化器（部分去除）、超滤器（部分去除）及在给水中加有聚电解质的多介质过滤器（部分去除）。在锰砂过滤器中使用高锰酸钾须十分注意，因该氧化剂可损伤任何聚酰胺膜。使用阳离子聚电解质同样需要注意，它能够永久污染带负电荷的聚酰胺膜。建议 RO 系统、预处理系统及 RO 的供水配水系统中的容器或管道使用耐腐蚀材料（如：FRP、PVC 或不锈钢）。作为污染物的铁含量的增加，会造成给水压力及淡水 TDS 增加。有时铁还会造成生物污染问题，因为它会成为食铁还原菌的食品。食铁还原菌能够生成粘性的生物膜，造成 RO 给水通道的阻塞。

铝离子 (Al)

由于铝的可溶性很差，在井水或地表水中不会有很高的浓度。在 RO 给水中的铝是以胶体形式而不是以离子形式出现，它是市政给水系统或现场处理时澄清池、石灰软化器产生的明矾残留物造成的。明矾（硫酸铝）是常用的絮凝剂，对地表水中带负电荷的胶体（淤泥与黏土）起吸附与沉淀作用。明矾溶入水中变成三价铝与硫酸根。铝离子的水合物与水发生反映形成大量的氢氧化铝水合物，进行聚合并开始吸引水中的负电荷胶体，并会发生铝质胶体在系统中的污堵。因此，在 RO 给水中 0.1- 1.0PPm 的铝已达到报警水平。由于铝是中性的，性质较为复杂，在低 pH 值条件下，铝以带正电荷的三价阳离子或氢氧化铝形式存在；在高 pH 值条件下，铝以带负电荷的阴离子复合物形式出现。铝合物最小溶解度的范围内，pH 值为 5.5 - 7.5。

铵离子 (NH_4)

铵为单价阳离子，铵盐极易溶解不会造成 RO 系统的结垢问题。铵离子是溶于高 pH 值水中的氨气（NH_3）形成的，高 pH 值水中氨的离解生成了铵离子与氢氧离子；低 pH 值水中氨为气态，象二氧化碳一样，不会

被 RO 系统脱除。井水中一般不存在铵离子，泥土中细菌的作用已使铵转化为暂态的亚硝酸盐（NO_2）进而氧化成常见的硝酸盐离子。铵离子以不超过 1PPm 的低浓度存在于地表水中，是破坏有机氮化合物与生物活动的结果。施氨肥农田、畜牧场与发酵场所的排水可以造成地表水的铵污染。由于生物活动与大量有机氮的作用，铵离子在市政污水中可达 20PPm，另外一个铵污染源是氨气与氯气生成的氯氨杀虫剂。

碳酸氢根离子（HCO_3）

碳酸氢根是单价阴离子。碳酸氢钙的溶解度很低，能够在 RO 系统的浓水出口侧形成沉淀。碳酸氢钙的溶解度测量单位，对苦咸水应该用 LSI（朗格里尔饱和指数），对海水应该用史蒂夫戴维斯指数。温度升高与 pH 值增加均使碳酸氢钙的溶解度进一步下降。碳酸氢根是碱性物，pH 值在 4.4-8.2 之间时它与二氧化碳相平衡，pH 值在 8.2-9.6 之间时它于碳酸盐相平衡。

碳酸根离子（CO_3）

碳酸根是二价阴离子，碳酸钙的溶解度很低，可在 RO 系统尾侧结垢。其溶解度对苦咸水用 LSI（朗格里尔饱和指数），对海水用 SDSI（史蒂夫戴维斯指数）表示。温度上升或 pH 值增高均使其溶解度下降。碳酸根是碱性成分，pH 值在 8.2-9.6 之间时，其浓度与碳酸氢根平衡。PH 值大于 9.6 时，不存在二氧化碳与碳酸氢根，全部碱性物均为碳酸根。

硝酸根离子（NO_3）

硝酸根是单价负离子，硝酸盐具有高溶解度，不会造成 RO 系统结垢问题。硝酸根与氨气、铵均为氮基离子，它是自然界中氮循环中的一个环节。RO 原水中的氮源自动植物分解、发酵、畜牧及施氮肥农田等排出的水。井水中不存在氨与铵，他们已经被土壤中的细菌转化为亚硝酸盐，进而氧化为更加常见的硝酸根离子。在水质分析中，通常将硝酸根含量表示为氮的 PPm 值，而不是 RO 系统所关注的硝酸根的 PPm 值。欲将前者转化为后者，需将氮的 PPm 值乘以 4.43。美国 EPA 已公布了饮用水中硝酸根含量极限为：氮的 4.43PPm 即硝酸根的 44.3PPm。当硝酸根占据了氧在血红蛋白中的位置时是十分有害的，含氧量的下降将导致 Blue-Baby 综合症，因此孕妇与婴儿受硝酸根的作用是更加危险的。

氯离子（Cl）

氯根为单价阴离子。氯盐的溶解度很高，在 RO 系统中不会造成结垢。在海水中氯的比重很大。在 RO 给水分析中氯根被用来自动平衡水中正离子浓度。从味觉方面考虑，美国 EPA 与 WHO 标准中指出，饮水中氯根高限为 250PPm。

氟离子（F）

氟为单价负离子，一般它在井水中的含量较低。为了防止牙病，在市政自来水中需加入氟离子并保持其残留量达 2.5PPm，因此氟离子在 RO 给水中是常见离子。在饮用水中氟含量高于 5PPm 即可造成牙斑与骨脆。

RO 系统中氟的去除率决定于给水的 pH 值。pH 值显碱性时，由于氟以盐的形式存在，用聚酰胺膜脱除氟可达 99%以上；pH 值显酸性时，由于氟以酸的形式存在，氟的脱除率可降至 50%。

硼 (B)

硼一般存在于海水中，其含量可达 5PPm，内陆咸水湖中含量更低。硼不是污染源，但由于在某些使用环境中会造成不利影响，因此在电子工业中必须去除。硼的化学性质类似于硅，pH 值高于 10 状态下，它以单价硼酸根阴离子形式存在，pH 值低于 10 状态下，它以非离子化的硼酸 $B(OH)_3$形式存在，硼酸盐的去除率与 pH 值有关，pH 值高时，去除率也高。

二氧化硅 (SiO_2)

硅在某种情况下是一个阴离子。它的化学性质很复杂，甚至是不可预测的。TOC（以碳计）表示有机物总量而未指明有机物的构成，同样，硅浓度仅表示了硅的总浓度（以碳计），但没有指明硅的各种构成的浓度。水中的硅总量中包括活性硅与惰性硅。活性硅是可溶硅，它被弱电离且未聚合成长链。活性硅是 RO 与离子交换工艺中希望的形式，也是 Rodesign 软件所使用的二氧化硅的形式。虽然活性二氧化硅有阴离子特性，但在水质分析中它未以阴离子方式计入阴阳离子平衡，却以盐的形式计入 TDS。惰性硅是聚合硅，或胶体硅，就其性质而言与其说是个离解离子毋宁说是个溶解固体。胶体形式的硅可以被 RO 系统去除，但可能在 RO 前端造成胶体污染。胶体硅的直径可小到 0.008 微米，但只有大于或等于 0.45 微米的部分才能用 SDI 来测量。粘土、淤泥、沙石等微粒状的硅混合物一般有 1 微米或更大的直径，可用 SDI 值测量。以二氧化硅做基本粒子的聚合硅在自然界以水晶或玛瑙形式存在，它也是活性硅超饱和的结果。在使用硅分散剂条件下，活性硅的溶解度限值为 200-300%。温度的升高、pH 值在 7.0 以下或 7.8 以上均会使硅的溶解度上升，对硅聚合起催化作用的铁离子存在时，活性硅溶解度下降。在 RO 系统中，硅的脱除率与原水 pH 值密切相关，随 pH 值的增加，该脱除率也增加，这是因为活性硅更多的是以盐的形式存在，而不是酸的形式。

二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳为气体，当溶于水时与水反应生成弱碳酸（H_2CO_3）。如纯水中二氧化碳处于饱和状态，其浓度约为 1600PPm，pH 值约为 4.0。自然界水体中二氧化碳的来源是基于 pH 值的碳酸氢根平衡。水体中的二氧化碳浓度间接的决定于 pH 值与碳酸氢根浓度的对应关系。二氧化碳与碳酸氢根离子在 pH 值的 4.4-8.2 区间保持平衡。pH 值为 4.4 时碱性物均为二氧化碳，pH 值为 8.2 时碱性物均为碳酸氢根。【Rodesign】程序运用碳酸氢根浓度与 pH 值计算水中二氧化碳浓度。由于二氧化碳为气体，RO 膜对其不具有脱除或浓缩作用，其浓度在给水、淡水与浓水中相同。在给水中加酸将碳酸氢根化为二氧化碳，故而 pH 值下降。

硫化氢 (H_2S)

硫化氢呈气态，使给水中有臭蛋气味。其 0.1PPm 浓度是异味的临界值，在 3-5PPm 浓度时，具有强烈的异味。硫化氢易于被空气、氯及高锰酸钾等氧化剂氧化成硫。硫的作用类似于胶体污染，用传统的介质过滤器不能去除。在系统设计中，建议将硫化氢保留为气态，使其穿过 RO 系统进入淡水，再对淡水进行处理并去除。

mg/l

表示给定水体中离子或物质重量的方法之一是毫克/升（mg/l）。对稀溶液而言。毫克/升和 PPm 是等同的。例如，1000 mg/l（PPm）的氯化钠溶液意味着：一升该溶液蒸发之后，应生成 1000 mg 氯化钠（NaCl）固体。RO 工程师们经常用 mg/l 单位计算 TDS 的数值。

meq/l

表示给定水体中离子或物质的当量重量或浓度的方法之一是毫克当量/升（meq/l），该值计算方法是用相应离子或物质的毫克/升（mg/l）数值除以其当量重量。在 RO 水质分析时 meq/l 是常用单位，特别用于判断正、负离子总毫克当量值是否平衡。

打兰/加仑

离子交换与锅炉给水处理常以打兰/加仑（以碳酸钙计）为量纲计量水的硬度。每打兰/加仑（以碳酸钙计）等于 17.1PPm（以碳酸钙计）。

PPb (1/1,000,000,000)

PPb 是表示水中某种物质或离子浓度的单位，下列转换关系适用于比重为 1 的低含盐量的淡水。1 PPb 等于 1 微克每升（ug/l），1 PPm 等于 1000 PPb。

PPm (1/1,000,000)

PPm 是表示水中某种物质或离子浓度的单位，下列转换关系适用于比重为 1 的低含盐量的淡水。 1PPm 等于 1 毫克每升（mg/l）；1 打兰每加仑等于 17.1 PPm；1 磅每 1,000 加仑等于 120PPm；百分之一的溶液等于 10,000 PPm；1PPm 等于 1000PPb。

PPm (以 $CaCO_3$ 计)

PPm（以碳酸钙计）是表示水中的物质或离子当量浓度的单位。以碳酸钙计的离子 PPm 浓度。在离子交换工艺中经常使用，它用以计算阴阳树脂的离子载荷，水质分析时判断水中正负离子总量是否平衡。由于自然界中正负离子间的平衡是以其化合价与剩余电子计算，而不是以各自的重量计算，因此在水质分析时应采用当量概念来衡量正负离子的电中性水平。用碳酸钙做标准仅仅由于其分子量为 100，其化学价为 2，其克当量重为 50。将以 mg/l 为单位的离子浓度值变为以碳酸钙计的 PPm 浓度值的方法如下：以某离子 mg/l 浓度值乘以碳酸钙离子克重与某离子克重值比。

例如，以碳酸钙计的 100PPm 钠与以碳酸钙计的 100PPm 氯是平衡的。因为每一个钠离子均对应着一个氯离子。但此时的钠为 47mg/l（钠的克当量重为 23），氯为 71mg/l（氯的克当量重为 35.5），且氯化钠溶液的 TDS 值为 118mg/l。

苦咸水

在一定意义上，苦咸水可定义为由于海水的入侵使其 TDS 值大量增加的低 TDS 水源。在 RO 范畴中，可将苦咸水定义为:含盐量 TDE 值处于中低水平(高达 10,000～15,000PPm),且可以用最大给水压力 600psi 的苦咸水 RO 膜进行处理的反渗透给水。

河水

由于下雨而落在地表的水，通过地表或者经过地下汇入河流。通过地表的水多含有悬浮物，而经过地下的水则含有较多流经地层的溶解性无机盐类。在流经地表的雨水汇入河流时，悬浮物浓度会急剧增加，因此河水的特征就是河水中悬浮物的变化幅度大。而且河水的季节性明显，比如水温变化，水生生物的繁殖，以及来自于生物的沉渣和来自于有机物的胶体物质的含有量等。另外流经森林地带和泥媒地带的河流

中腐殖质和有机物含量也会很高。河流可能被城市废水，工厂排放污水，或者含农药的灌溉用水污染，就必须要求我们对水质进行足够的调查，把握其变化幅度，要对预处理装置或者运行条件做必要的考虑。

湖泊

河川水在湖泊或者水库中发生长时间的滞留后悬浮物因为沉降而减少含量，但一方面又容易受微生物的影响。湖泊或水库容易造成富营养化，致使比重较轻的藻类过度繁殖，造成湖泊的沉淀凝集功能不良，有时可能会造成过滤池的堵塞。更会因为碳酸同化作用，消耗溶解在水里的二氧化碳，造成湖水的pH增高。

湖泊内部形成水的分层时，水的底层由于处于缺氧的状态会有利于厌氧细菌的生长，还有硫化氢的生成、包括引起铁、锰的再溶解等等。由此，在采用湖泊或者水库水作为原水的时候，必须深入研究对其的处理方式的同时，有必要的话，在取水上尽量考虑不用湖底变质的水。

地下水

地下水在地层的流速极为缓慢，由于自然的滤过作用，几乎不含有悬浮物，但受到流过的地层的影响十分明显。比如，流经石灰盐带的水中钙的浓度就非常高，通过火山地带的地下水中硅的浓度也会变高。通常地下水中由于氧气的不足，显还原性，可能水中含有还原状态的铁或锰，也可能因为地层的不同，含有硫化氢或者钡、锶的情况也会出现。

地下水的悬浮物较少，全年的水温变化也显得比较稳定，作为RO系统的原水来考虑，必须考虑在前处理中需要除去的硬度成分、硅以及含量较多的金属离子。

市政用水

RO系统使用自来水作为水源时，要确认自来水处理工艺、管道状况、注意余氯。

海水

标准海水中NaCl的含量在3.5%以上，还有镁、钙、钾、硫酸根、碳酸根、溴、硼和氟等10多种溶解性成分。由于入海口、降水、潮汐以及水温影响，海水中的盐分浓度有一定差异，悬浮物和有机物含量受到江河和人类活动的影响，会有地域差异。因此海水淡化系统的取水点和取水方式至关重要，直接影响到原水的税制和预处理方式。

废水

近年来在越来越多的市政污水及工业污水的深度处理中开始采用反渗透工艺，用于反渗透处理的污水一般为工业冷循环排污水和达到杂用水回用标准的三级处理水，COD小于50PPm，含油量、浊度经过进一步处理后必须达到RO进水要求。要特别注意原水中是否含有表面活性剂等会造成反渗透膜严重污染的有机物，以及与膜材料不相容的有机溶剂等。由于污水税制的复杂性和波动性，水质资料的收集和调查工作显得尤为重要。废水处理反渗透系统要求极为严格的预处理，采用非常保守的低通量设计，使用性能优异的低污染膜元件(例如：LFC3-LD)。

4.2 水质分析

1 原水分析

一个水样表现了具体水源在特定时间的水质。所以通过一个水样并不能全面了解在整个运行时间内发生的、能够影响系统运作的趋势或变化。收集多个水样除了可以获得对一个水源特性的更好了解外，还能分析水质变化的原因。了解一个现有的或潜在的水源组成的正确分布轮廓是一个反渗透系统有效设计和运作的必需的要素。

取样

取样是整个水分析方案的组成部分。在样品的采集中要满足两个基本要求。首先，样品应该准确代表所要评价的水。这可能需要采集在 24h 或更长时间的整个期间内的混合样品。其次，样品必须有足够的量以保证完成所有应该分桥的项目。根据 ASTM－D 4195—88 关于反渗透应用的水分析标准指南中的分析要求，对大多数情况 10L 样品量应是足够的。

在取第一个样品之前，应仔细考虑以下几个问题：

- 由水样必须获得什么信息？
- 将要采用哪些分析方法？
- 取样点能足以保证取得代表性的样品吗?
- 哪些分析最好在现场完成?
- 在样品转移至实验室过程中会发生什么贻误，需要什么样的保护方法?
- 样品体积需要多少?
- 什么样的容器对完成分析最适宜?

通过对这些问题的仔细考虑，可以设计出一个有效的取样方案。对所要求资料的全面了解特使人们能获得恰如其分数量的资料，而不致做过多的分析项目，或是遗漏有价值的数据。通过对要完成的特定分析步骤的了解，便能够收取恰当体积的样品，并能对水样采取适当的及有效的保护。通过对方案全貌的了解，样品能协调地转移至一个合格的实验室。

合适的样品收集容器是保证狱确的水分析的关键。必须考虑由于容器引起的污染。常使用塑料或玻璃样品容器。样品容器在使用前必须清洗，以免污染样品。玻璃瓶用硫酸和重铬酸盐溶液清洗，这些溶液对避免瓶子的有机物污染特别有效。塑料容器可用实验室洗涤剂擦洗，或用浓盐酸漂洗. 然后用去离子水彻底清洗。用于取样的容器必须压热消毒以消除生物活性。

系统内取样点的选样是一重要的问题。新的系统应具有位于可容易取得有代表件样品位旨的诸多取样孔，并且这些取样孔应避免位于系统内的死区。若不考虑这些，这些取样点常可能成为污染源。最好的取样点是位于促进水均匀混合的位置。在样品收集之前，应彻底冲洗取样孔。除非容器中的保护剂必须随样品保留，否则样品容器也应该用被取样的水漂洗数次。样品收集及需要记录的资料包括如下：

a) 样品名称；
b) 取样点；

c) 收集时间及日期；

d) 保护（若有任何保护措施）；

e) 收集时的水温；

f) 现场所做的任何分析，如溶解氧或二氧化碳的浓度。

和样品一起记录的其他数据可能是有用的，例如，在取样时有关 RO 预处理操作的资料。

水质报告

分析水质指标具体项目可参照海德能系统设计软件 ISMdesign 的水质分析界面（见下图）。

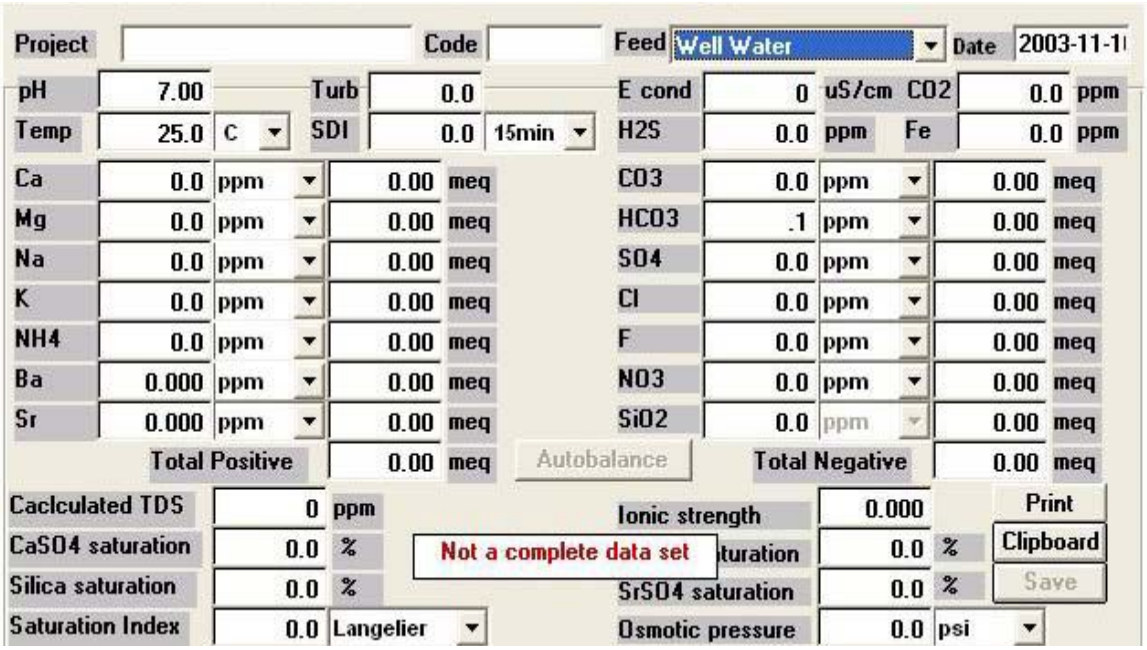


图-1 海德能系统设计软件 IMSdesign 中的水质分析界面

2 系统分析

通过系统分析获得正在运行的 RO 系统的综合性能数据。进行系统分析时要对进水、产水和浓水进行全面分析。系统分析不仅综合了进水、产水及浓水中各组分的浓度，而且在准确地进行系统分析时，它也可计算能用于预测 RO 性能下降原因的某些参数，如各种饱和指数。一个完整的系统分析包括了水中各组分的裁留率与回收率，并可以计算浓水的结垢趋势。

3 污染密度指数 SDI 的测定方法

污染密度指数 SDI 值是表征反渗透系统进水水质的重要指标。

测定 SDI 值的的基本原理是测量在 2.1bar（30psi）给水压力下用 0.45μm 微滤膜过滤一定量的原水所需要的时间。

A. 测试仪器的组装

1) 按图-2 组装测试装置。

2) 将测试装置连接到 RO 系统进水管路取样点上。

3) 在装入滤膜后将进水压力调节至 30psi。在实际测试时，应使用新的滤膜。

为获取准确测试结果，应特别注意下列事项：

在安装滤膜时，应使用扁平镊子以防刺破滤膜；

确保 O 型密封圈清洗完好并安装正确；

避免用手触摸滤膜；

事先冲洗测试装置，去除系统中的污染物。

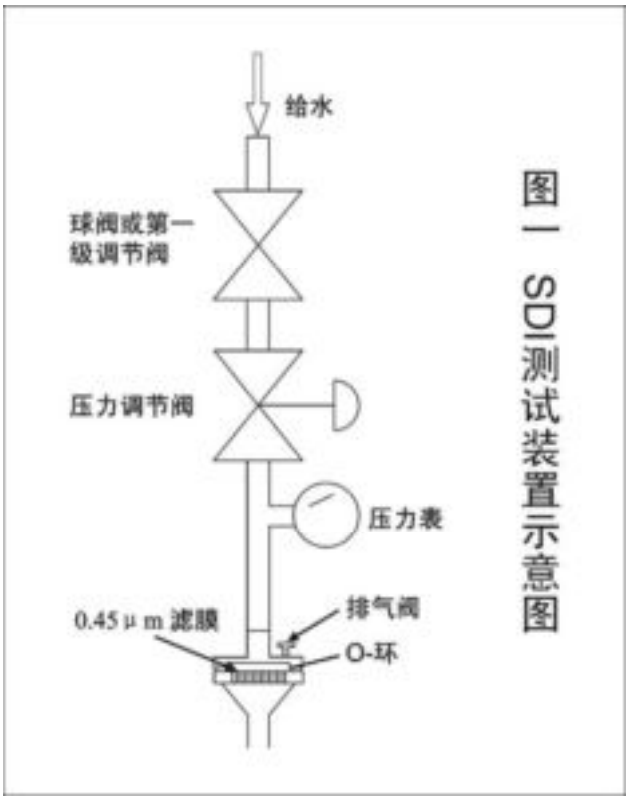


图-2 SDI 测试装置示意图

B. 测试步骤

记录测试温度。在试验开始至结束的测试时间内，系统温度变化不应超过 1℃；

排除过滤池中的空气压力。根据滤池的种类，在给水球阀开启的情况下，或打开滤池上方的排气阀，或拧松滤池夹套螺纹，充分排气后关闭排气阀或拧紧滤池夹套螺纹；

用带有刻度的 500ml 量筒接取滤过水以测量透过滤膜的水量；

全开球阀，测量从球阀全开到接满 100ml和 500ml[1]水样的所需时间并记录；

5 分钟后，再次测量收集 100ml 和 500ml 水样的所需时间，10 分钟及 15 分钟后再分别进行同样测量；

如果接取 100ml 水样所需时间超过 60 秒，则意味着约 90%的滤膜面积被堵塞，此时已无需再进行实验；

实验结束并打开滤池后，最好将实验后的滤膜保存好，以备以后参考。

C. 计算公式

$$SDI = P_{30} / T_t = 100 \times (1 - T_i / T_f) / T_t$$

SDI ——污染密度指数

P_{30} ——在 30psi 给水压力下的滤膜堵塞百分数

T_t ——总测试时间，单位为分钟。通常T_t为 15 分钟，但如果在 15 分钟内即有 75%的滤膜面积被堵塞[2]，测试时间就需缩短

T_f ——15 分钟(或更短时间)以后取样所需时间

T_i ——第一次取样所需时间

1 接取 500ml 水样所需时间大约为接取 100ml 水所需时间的 5 倍。如果接取 500ml 所需时间远大于 5 倍，则在计算 SDI 时，应采用接取 100ml 所用的时间。

2 为了精确测量 SDI 值，P_{30} 应不超过 75%，如果 P_{30} 超过 75%应重新试验并在较短时间内获取 T_f 值。

第五章　预处理

各种原水中均含有一定浓度的悬浮物和溶解性物质。悬浮物主要是无机盐、胶体和微生物、藻类等生物性颗粒。溶解性物质主要是易溶盐（如氯化物）和难溶盐（如碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐）金属氧化物、酸碱等。在反渗透过程中，进水的体积在减少，悬浮颗粒和溶解性物质的浓度在增加。悬浮颗粒会沉积在膜上，堵塞进水流道、增加摩擦阻力（压力降）。难溶盐在超过其饱和极限时，会从浓水中沉淀出来，在膜面上形成结垢，降低RO膜的通量，增加运行压力和压力降，并导致产水水质下降。这种在膜面上形成沉积层的现象叫做膜污染，膜污染的结果是系统性能的劣化。需要在原水进入反渗透膜系统之前进行预处理，去除可能对反渗透膜造成污染的悬浮物、溶解性有机物和过量难溶盐组分，降低膜污染倾向。对进水进行预处理的目的是改善进水水质，使RO膜获得可靠的运行保证。

对原水进行预处理的效果反映为TSS、TOC、COD、BOD、LSI及铁、锰、铝、硅、钡、锶等污染物水质指标的绝对值降低，在上一章中有对于这些污染物水质指标的详细描述。表征膜污染倾向的另外一个重要的水质指标是SDI。通过预处理，除了要将上述指标降到反渗透系统进水要求的范围，还有重要的一点是尽量降低SDI，理想的SDI（15分钟）值应小于3。

5.1　化学预处理

为了改善反渗透系统的操作性能，在进水中可以加入添加下列一些药剂：酸、碱、脱氯药剂、阻垢剂和分散剂。

1　加酸

在进水中可以加入盐酸【HCl】、硫酸【H_2SO_4】来降低pH。硫酸价格便宜、不会发烟腐蚀周围的金属元器件，而且膜对硫酸根离子的脱除率较氯离子高，所以硫酸比盐酸更为常用。没有其他添加剂的工业级硫酸即适宜于反渗透使用，商品硫酸有20%和93%两种浓度规格。93%的硫酸也称为66波美度硫酸。在稀释93%硫酸时一定要小心，在稀释到66%时发热可将溶液的温度提升到138°C。一定要在搅拌下缓慢地将酸加入水中，以免水溶液局部发热沸腾。盐酸主要在可能产生硫酸钙或硫酸锶结垢时使用。使用硫酸会增加反渗透进水中的硫酸根离子浓度，直接导致硫酸钙结垢倾向增加。工业级的盐酸（无添加剂）购买非常方便，商品盐酸一般含量为30－37%。降低pH的首要目的是降低RO浓水中碳酸钙结垢的倾向，即降低朗格里尔指数【LSI】。LSI是低盐度苦咸水中碳酸钙的饱和度，表示碳酸钙结垢或腐蚀的可能性。在反渗透水化学中，LSI是确定是否会发生碳酸钙结垢的是个重要指标。当LSI为负值时，水会腐蚀金属管道，但不会形成碳酸钙结垢。如果LSI为正值，水没有腐蚀性，却会发生碳酸钙结垢。LSI由碳酸钙饱和的pH减去水的实际pH。碳酸钙的溶解度随温度的上升而减小（水壶中的水垢就是这样形成的），随pH、钙离子的浓度即碱度的增加而减小。LSI值可以通过向反渗透进水中注入酸液（一般是硫酸或盐酸）即降低pH的方法来调低。推荐的反渗透浓水的LSI值为0.2（表示浓度低于碳酸钙饱和浓度0.2个pH单位）。LSI为负0.2，0.2也是实际操作中pH漂移的可允许范围。还可以使用聚合物阻垢剂来防止碳酸钙沉淀，一些阻垢剂供应商声称其产品可以使反渗透浓水的LSI高达+2.5（比较保守的设计是LSI为＋1.8）。

2 加碱

加碱使用较少，在反渗透进水中注入碱液用来提高pH。一般使用的碱剂只有氢氧化钠【NaOH】，购买方便，而且易溶于水。一般不含其他添加剂的工业级氢氧化钠便可满足需要，如果工业级烧碱的颜色不够白，则需要更高级别的产品，比如人造丝级或尼龙级。商品氢氧化钠有100%的片碱，也有20%和50%的液碱。在搅拌50%的烧碱时要小心，因为在60华氏度（15.5℃）以下溶液会凝固，注意不要带入冷空气。在加碱调高pH时一定要注意，pH升高会增加LSI、降低碳酸钙及铁和锰的溶解度。最常见的加碱应用是二级RO系统。在二级反渗透系统中，一级RO产水供给二级RO作为原水。二级反渗透对一级反渗透产水进行“抛光”处理，二级RO产水的水质达到4兆欧。在二级RO进水中加碱有4个原因：

- 在pH8.2以上，二氧化碳全部转化为碳酸根离子，碳酸根离子可以被反渗透脱除。而二氧化碳时是一种气体，会随透过液自由进入RO产水。对于下游的离子交换床抛光处理造成不当的负荷。
- 某些TOC成分在高pH下更容易脱除。
- 二氧化硅的溶解度和脱除率在高pH下更高（特别是高于9时）。
- 硼的脱除率在高pH下也较高（特别是高于9时）。

加碱应用有一个特例，通常被叫做HERO（高效反渗透系统）过程，将进水pH调到9或10。一级反渗透原来处理苦咸水，苦咸水在高pH下会有污染问题（比如硬度、碱度、铁、锰等）。预处理通常采用弱酸性阳离子树脂系统和脱气装置来除去这些污染物。

3 脱氯药剂

RO及NF进水中的游离氯要降到0.05ppm以下，才能达到聚酰胺复合膜的要求。除氯的预处理方法有两种，粒状活性炭吸附和使用还原性药剂如亚硫酸钠。在小系统（50－100gpm）中一般采用加压碳过滤器，投资成本比较合理。推荐使用酸洗处理过的优质活性炭，去除硬度、金属离子，细粉含量要非常低，否则会造成对膜的污染。新安装的碳滤料一定要充分淋洗，直到碳粉被完全除去为止，一般要几个小时甚至几天。我们不能依靠5μm的保安过滤器来保护反渗透膜不受碳粉的污染。碳过滤器的好处是可以除去会造成膜污染的有机物，对于所有进水的处理比添加药剂更为可靠。但其缺点是碳会成为微生物的饲料，在碳过滤器中孳生细菌，其结果是造成反渗透膜的生物污染。

亚硫酸钠【SBS】是较大RO装置选用的典型还原剂。将固体偏亚硫酸氢钠溶解在水中配制成溶液，商品偏亚硫酸氢钠的纯度为97.5－99%，干燥储存期6个月。SBS溶液在空气中不稳定，会与氧气发生反应，所以推荐2%的溶液的使用期为3－7天， 10%以下的溶液使用期为7－14天。从理论上讲，1.47ppm的SBS（或0.70ppm偏亚硫酸氢钠）能够还原1.0ppm的氯。设计时考虑到工业苦咸水系统的安全系数，设定SBS的添加量为每1.0ppm氯1.8－3.0ppm。SBS的注入口要在膜元件的上游，设置距离要保证在进入膜元件有29秒的反应时间。推荐使用适当的在线搅拌装置（静态搅拌器）。

SBS脱氯反应

$Na_2S_2O_5$ （偏亚硫酸氢钠）+ H_2O ＝2 $NaHSO_3$ （亚硫酸钠）

$NaHSO_3$ + HOCl ＝$NaHSO_4$ （亚硫酸钠） + HCl （盐酸）

$NaHSO_3$ + Cl_2 + H_2O ＝$NaHSO_4$ + 2 HCl

采用SBS脱氯的好处是在大系统中比碳过滤器的投资较少，反应副产物及残余SBS易于被RO脱除。

SBS脱氯的缺点是需要人工混合小体积的药剂，在脱氯系统没有设计足够的监测控制仪器时增加了氯对膜的威胁，而且在少数情况下进水中存在硫还原菌【SBR】，亚硫酸会成为细菌营养帮助细菌的繁殖。SBS通常在浅层井水厌氧环境下有发现，硫化氢（H2S）作为SBR的代谢产物会同时存在。

脱氯过程的监测可采用游离氯监测仪，用以监测残余亚硫酸根的浓度，还可以采用ORP监测仪。推荐的方法是监测残余亚硫酸根的浓度，以保证有足够的亚硫酸根来还原氯。大多数商业化氯监测仪的捡出浓度为0.1ppm，这个值是CPA膜的余氯上限。直接利用ORP监测仪监控亚硫酸根浓度的方法不够可靠，这种测定水中氧化还原电位的仪器的基线变化难以预测。

CPA膜的耐氯能力大概在1000－2000PPm小时（透盐率增加一倍），1000PPm小时等于在0.038ppm余氯下运行3年。RO设计人员要注意，在一些情况下发现耐氯能力会因温度升高（90华氏度以上）、pH（7以上）升高和过渡金属存在（比如铁、锰、锌、铜、铝等）而大大下降。CPA膜的耐氯胺能力约为50,000－200,000ppm小时（发生透盐率明显增加），这个值相当于在RO进水中含有1.9－7.6ppm的氯胺，膜可以运行3年。RO设计人员要注意，在温度升高、pH降低和过渡金属存在时，膜的耐氯胺能力会变化。

在加州的一个三级废水处理装置上发现，在氯胺浓度6－8ppm进水条件下，膜的脱盐率在2－3年内从98%降到了96%。设计者要注意在氯胺化之后进行脱氯还是必要的。氯胺是混合氯和氨的产物，游离氯对膜的降解作用要比氯胺强得多，如果氨量有欠缺时会有游离氯存在。因此，使用过量的氨是非常关键的，系统要监测确保这一点。

4 阻垢剂和分散剂

有许多厂商在供应各种各样用于反渗透和纳滤系统性能改善的阻垢剂和分散剂。阻垢剂是一系列用于阻止结晶矿物盐的沉淀和结垢形成的化学药剂。大多数阻垢剂是一些专用有机合成聚合物（比如聚丙烯酸、羧酸、聚马来酸、有机金属磷酸盐、聚膦酸盐、膦酸盐、阴离子聚合物等），这些聚合物的分子量在2000－10000道尔顿不等。反渗透系统阻垢剂技术由冷却循环水和锅炉用水化学演变而来。对为数众多各式各样的阻垢剂化学应该注意，不同的应用场合和所采用的有机化合物所取得的效果和效率差别很大。

采用聚丙烯酸类阻垢剂时要特别小心，在铁含量较高时可能会引起膜污染。这种污染会增加膜的操作压力，有效清楚这类污染要进行酸洗。

如果在预处理中使用了阳离子混凝剂或助滤剂，在使用阴离子性阻垢剂时要特别注意。会产生一种粘稠的粘性污染物，污染会造成操作压力增加，而且这种污染物清洗非常困难。

六偏磷酸钠（SHMP）是早期在反渗透中使用的一种普通阻垢剂，但随着专用阻垢剂的出现，用量已经大大减少了。SHMP的使用有一些限制。每2－3天要配制一次溶液，因为暴露在空气中会水解，发生水解后不仅会降低阻垢效果，而且还会造成磷酸钙结垢的可能性。使用SHMP可减少碳酸钙结垢，LSI可达到＋1.0。

阻垢剂阻碍了RO进水和浓水中盐结晶的生长，因而可以容许难溶盐在超过饱和溶解度。阻垢剂的使用可代替加酸，也可以配合加酸使用。有许多因素会影响矿物质结垢的形成。温度降低会减小结垢矿物质的溶解度（碳酸钙除外，于大多数物质相反，它的溶解度随温度升高而降低），TDS的升高会增加难溶盐的溶解度（这是因为高离子强度干扰了晶种得形成）。

最普遍的结垢性矿物质有：

- 碳酸钙【$CaCO_3$】

- 硫酸钙【$CaSO_4$】
- 硫酸锶【$SrSO_4$】
- 硫酸钡【$BaSO_4$】

不太普遍的结垢性矿物质有：

- 磷酸钙【$CaPO_4$】
- 氟化钙【CaF_2】

分散剂是一系列合成聚合物用来阻止膜面上污染物的聚集和沉积。分散剂有时也叫抗污染剂。通常也有阻垢性能。对于不同的污染物，不同的分散剂的效率区别很大，所以要知道所对付的污染物是什么。

需要分散剂处理的污染物有：

- 矿物质结垢
- 金属氧化物和氢氧化物【铁、锰和铝】
- 聚合硅酸
- 胶体物质【指那些无定型悬浮颗粒，可能含有土、铁、铝、硅、硫和有机物】
- 生物性污染物

硅酸的超饱和溶解度难以预测，在水中有铁存在时，会形成硅酸铁，硅酸的最大饱和浓度会大大降低。其他的因素还有温度和pH值。预测金属氧化物（如铁、锰和铝）也非常困难。金属离子的可溶解形式容许较高饱和度，不溶性离子形式更像是颗粒或胶体。

理想的添加量和结垢物质及污染物最大饱和度最好通过药剂供应商提供的专用软件包来确定。在的海德能反渗透设计软件中采用的是较为保守的难溶盐超饱和度估算。过量添加阻垢剂/分散剂会导致在膜面上形成沉积，造成新的污染问题。在设备停机时一定要降阻垢剂及分散剂彻底冲洗出来，否则会留在膜上产生污染问题。在用RO进水进行低压冲洗时要停止向系统注入阻垢剂及分散剂。

阻垢剂/分散剂注入系统的设计应该保证在进入反渗透元件之前能够充分混合。静态搅拌器是一个非常有效的混合方法，但会增加系统成本。大多数系统的注入点设在RO进水筒式过滤器之前，靠在过滤器中的缓冲时间及RO进水泵的搅拌作用来促进混合。如果系统采用硫酸调节pH，推荐加酸点要在上游足够远的地方，在到达阻垢剂/分散剂注入点之前已经完全混合均匀。

注入阻垢剂/分散剂的加药泵要调到最高注射频率，建议的注射频率是最少5秒钟一次。阻垢剂/分散剂的典型添加量为2－5ppm。为了让加药泵以最高频率工作，需要对药剂进行稀释。阻垢剂/分散剂商品有浓缩液，也有固体粉末。稀释了的阻垢剂/分散剂在储槽中会被生物污染，污染的程度取决于室温和稀释的倍数。推荐稀释液的保留时间在7－10天左右。正常情况下，未经稀释的阻垢剂/分散剂不会受到生物污染。

下面的表-2中是一些药剂厂商提供的运行饱和度上限数据，以及海德能设计软件所采用的保守警戒线。这些数值基于浓水的情况，以正常未加药时的饱和度为100%计算。海德能一直推荐用户要向厂商确证其产品的实际效率。

选择阻垢剂/分散剂的另外一个主要问题是要保证与要使用的反渗透膜完全兼容。不兼容药剂会造成膜的不可逆损坏。海德能相信供应商会进行药剂的RO膜相容性测试和效率测试。推荐用户向阻垢剂和分散剂厂商咨询下列一些问题：

- 与相关RO膜的相容性如何？
- 有没有成功运行1000小时以上的最终用户列表？

- 与反渗透进水中的任何成分（比如铁、重金属、阳离子聚电解质等）有没有不可逆反应？
- 推荐添加量和最大添加量是多少？
- 有没有特殊的排放问题？
- 是否适于自来水应用（有必要时）？
- 该厂商还供应与阻垢剂相容的混凝剂、杀菌剂和清洗剂等其他反渗透药剂吗？
- 该厂商是否提供膜解剖或元件清洗一类的现场技术服务？

表-1　加阻垢剂后难溶盐最大饱和极限

垢物或污染物	厂商报告最大饱和度	海德能推荐警戒线
LSI值（碳酸钙）	+ 2.9	+ 1.8
硫酸钙	400%	230%
硫酸锶	1,200%	800%
硫酸钡	8,000%	6,000%
氟化钙	12,000%	未给出
硅酸	300 ppm 或更高	100%
铁	5 ppm	未给出
铝	4 ppm	未给出

5.2　软化预处理

原水中含有过量的结垢阳离子，如Ca^{2+}、Ba^{2+}和Sr^{2+}等，需要进行软化预处理。软化处理的方法有石灰软化和树脂软化。

1　石灰软化

在水中加入熟石灰即氢氧化钙可去除碳酸氢钙，反应式为：

$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2Ca(CO_3)\downarrow + 2H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2Ca(CO_3)\downarrow + Mg(OH)_2 + 2H_2O$

非碳酸硬度可加入碳酸钠（纯碱）得到进一步降低：

$CaCl_2 + NaCO_3 \rightarrow 2Na_2CO_3 + Ca(CO_3)\downarrow$

石灰－纯碱软化处理还可降低二氧化硅的含量，在加入铝酸钠和三氯化铁时会形成碳酸钙以及硅酸、氧化铝和铁的复合物沉淀。通过加入多孔氧化镁和石灰的混合物，采用 60－70℃热石灰脱硅酸工艺，能将硅酸浓度降低到 1mg/l 以下。

通过石灰软化也可显著去除钡、锶和有机物，但石灰软化处理的问题是需要使用反应器以便在高浓度下形成沉淀晶种，通常要采用上升流固体接触澄清器。过程出水还需要设置多介质过滤器，并在进入膜单元之前要调节 pH。使用含铁混凝剂，无论是否同时使用聚合物絮凝剂（阴离子型和非离子型），均可提高石灰软化的固液分离效果。

只有大型苦咸水/废水系统（大于 200m^3/小时）才会考虑选择石灰软化工艺。

2 树脂软化

- 强酸型树脂软化

使用钠离子置换除去结垢型阳离子，如Ca^{2+}、Ba^{2+}、Sr^{2+}，树脂交换饱和后用盐水再生。钠离子软化法在常压锅炉水处理中广泛应用。这种处理方法的弊端是耗盐量高，增加了运行费用，另外还有废水排放问题。

- 弱酸型树脂脱碱度

主要在大型苦咸水处理系统中采用弱酸阳离子交换树脂脱碱度，脱碱度处理是一种部分软化工艺，可以节约再生剂。通过弱酸性树脂处理，用氢离子交换除去与碳酸氢根相同当量（暂时硬度）的Ca^{2+}、Ba^{2+}和Sr^{2+}等，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，即与碳酸氢根相结合的结垢阳离子可以被除去。因此这一过程对于碳酸氢根含量高的水源较为理想，碳酸氢根也可转化为CO_2。

$$HCO_3^- + H^+ = H_2O + CO_2$$

一般不希望水中有二氧化碳，必要时要对原水或产水进行脱气，在有生物污染可能时（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，采用原水脱气较为合适，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。

- 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；
- 通过脱除碳酸氢根，降低了水中的 TDS，这样产水 TDS 也较低；

弱酸型树脂处理的缺点是：

- 残余硬度

如果需要完全软化，可以增设强酸阳树脂的交换过程，甚至放置在弱酸树脂同一交换柱中，这样再生剂的耗量仍比单独使用强酸树脂时低，但是初期投入较高，这一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，人们单独使用弱酸树脂脱碱时，还未出现过结垢问题，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的很困难。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。

5.3 去除胶体和颗粒物

1 介质过滤

从水中去除悬浮固体普遍的方法是多介质过滤。多介质过滤器以成层状的无烟煤、沙、细碎的石榴石或其他材料为床层,。床的顶层由质轻和质粗品级的材料组成，而最重和最细品级的材料放在床的底部。其原理为按深度过滤——水中较大的顾粒在顶层被除去，较小的颗粒在过滤器介质的较深处被除去。

在单一介质过滤器中，最细的颗粒材料反洗至床的顶部。大多数过滤发生在床顶部 5cm区域内，其余

作为支撑介质。有一泥浆层形成。虽然单一介质过滤器的滤速限制为 81.5—163L／(min.m^2)过滤面积，多介质过滤器的水力过程流速可高达 815L/(min.m^2),但因高水质的要求,通常在RO 预处理中流速限制在 306L／(min.m^2)。

由于胶体悬浮物既很细小又由于介质电荷之间的排斥，所以单独过滤不起作用。在这些情况下，在过滤前必须加絮凝剂或絮凝化学药品。常用的絮凝剂有三氯化铁、矾和阳离子聚合物。因为阳离子聚合物在低剂量下就有效果，且不明显地增加过滤器介质的固体负荷，所以最常用。另一方面，如果阳离子聚合物进入现在采用的某些最通用的膜上，则它们却是非常强的污染物。很少量的阳离子聚合物就能堵塞这些膜，且往往难以去除。务须谨记当用阳离子聚合物作为过滤助剂时，必须小心使用。

2 除铁、锰——氧化过滤

通常含盐量为苦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。如果对这类水源进行氯化处理，或当水中含氧量超过 5mg/L时，Fe^{2+}将转化为F^{3+}形成难溶解性的胶体氢氧化物颗粒。铁和锰的氧化反映如下：

$4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$

$4Mn(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Mn(OH)_2 + 8CO_2$

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要多，即使SDI小于 5，RO进水的铁含量低于 0.1mg/L，仍会产生铁污染的问题。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时防止整个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pH＜6，氧含量＜0.5mg/L时，最大允许Fe^{2+}浓度 4mg/L,另一种是用空气、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，但需要主要的是，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$LMnO_4$完全冲洗掉，以防止对膜的破坏。当原水中含Fe^{2+}的量小于 2mg/时，可以采用这一处理方法，如原水中含更高的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形成沉淀，并且通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。

3 微絮凝

如果过滤前对原水中的胶体进行絮凝或混凝处理，可以大幅度地提高介质过滤器效率，使出水的 SDI 值降低到 5 左右。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，他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，通过最佳加药量为 10－30mg/L，但应针对具体的项目确定加药量。

为了提高混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，絮凝剂与混凝剂一起或单独使用，絮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。混凝剂和絮凝剂可能直接或间接地干扰 RO 膜，间接干扰失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混凝剂絮体穿过滤器并发生沉淀；当使用铁或铝混凝剂，但没有立即降低 pH 值时，在 RO 阶段或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混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的结果。为了消除 RO/NF 膜直接和间接的干扰，阴离子和非离子的絮凝剂比阳离子的絮凝剂合适，同时还须避免过量添加。

4 微滤/超滤

采用超滤/微滤预处理工艺的反渗透/纳滤系统叫做集成膜系统（IMS）。与采用传统预处理工艺的反渗透系统相比，IMS设计具有一些明显的优势。

- MF/UF滤液质量更好。SDI和浊度更低，明显降低了反渗透的胶体污染负荷。
- 由于膜在这里是污染物的绝对屏障，MF/UF滤液的高质量可以保持稳定。即便是地表水和废水等水质波动异常频繁的水源，这种稳定性也不会改变。
- 由于胶体污染减少，反渗透系统的清洗频率明显降低。
- 与一些传统过滤工艺相比，MF/UF系统操作更容易，耗时更少。
- 与采用大量化学品的传统工艺相比，MF/UF浓缩废液的处置比较容易。
- 占地面积更小，在一些大系统中，有时只相当于传统工艺的5/1。
- 有利于系统的扩大增容。
- 运行费用基本相当，在一些情况下会较少。
- 设备投资基本相当，在一些情况下会较少。

(1) MF/UF膜的特性

市场销售的微滤膜的孔径一般在0.1－0.35μm。用于反渗透预处理的超滤膜的切割分子量一般在20,000到750,000道尔顿（0.002－0.05μm）。

常见的操作跨膜压(TMP)在3－30Psi。膜材料有聚砜、聚烯烃、聚醚砜、聚丙烯、纤维素类和其它专有配方。大多数膜材料具有宽的pH忍耐范围，以便于在低和高pH条件下进行化学清洗。大多数膜还具有耐游离氯的性能，可以进行周期性或连续消毒处理。聚合物膜的最大运行温度为40℃，但陶瓷膜可以在较高温度下使用。

MF/UF膜有许多构型：卷式平板膜、管式、中空纤维和板框式。用于RO预处理比较普遍的是中空纤维和卷式，这主要是由于考虑到投资、能耗、耐污染以及在冲洗和化学清洗的情况下的通量恢复性能。

(2) MF/UF运行特性

MF/UF膜有两种不同的运行模式：全量过滤和错流过滤。全量过滤操作模式（也叫做死端过滤）与筒式滤器相类似，即只有料液流和滤液流（没有浓缩液流）。全量方式可以实现水回收率的最大化，达到95

－98%，但一般限于原水的悬浮固体含量较低的情况（比如浊度<10NTU）。错流操作模式的典型水回收率为90－95%。

在一些情况下，MF/UF系统的原水回收率可以达到99%以上，需要将浓缩水和周期性反冲洗水进行收集和处理。二次处理可以通过采用传统固体沉降或另外一套MF/UF系统。

如果MF/UF系统需要预处理，只是简单的筛网过滤器，精度在100到150μm。有时添加铁盐一类的混凝剂，以获得最好的悬浮固体去除效果。

MF/UF膜的典型通量在36－110gfd之间（60－183l/m²hr）。悬浮物浓度较高或污染倾向较强的料液系统，运行通量也较低；高通量用于处理的悬浮物负载的料液系统（比如地表水的通量可以是70gfd）。MF/UF透过液的水质在浊度或SDI等指标上明显好于传统预处理水。一般MF/UF的产水浊度在0.04－0.1 NTU之间，而且不随原水浊度波动。运行良好的传统预处理水的浊度为0.2—1.0NTU。典型的MF/UF产水的SDI为0.3－2，而运行良好的传统预处理水的SDI为2－6。更低的SDI降低了反渗透的胶体物料沉积污染。

(3) MF/UF改善反渗透的经济性

利用浊度和 SDI 都非常的 MF/UF 优质产水，反渗透设计通量会大大提高。采用 MF/UF 的反渗透系统通量可设计为 12 到 20gfd。采用传统预处理的反渗透系统的典型设计通量为：废水处理 8－12gfd，地表水 10－15gfd。采用了更高的通量，需要的膜元件、膜壳和管线都减少了，系统的固定资产投资便降低了。而且提高通量还有一个好处，可以将产水透盐量减少 20－50%。

5 气浮

在水中注入大量的微小气泡，气泡黏附在悬浮颗粒表面将其夹带浮上水面，从而实现固液分离。气浮主要用于油污、水藻等难以沉淀的污染物去除。在工业废水、地表水和海水预处理中应用较多。

实现气浮分离的必要条件有两个：首先要向水中注入足够数量的微细气泡，15~30 微米的气泡尺寸比较理想；其次，疏水性悬浮颗粒有利于气泡粘附。影响气浮效果的因素有：微气泡尺寸，决定于溶气方式和释放器构造；气固比，取决于空气加注量；进水浓度、工作压力和上浮停留时间；药剂的作用。

目前应用较多的是溶气气浮（DAF）,有加压溶气和真空产气两种工艺。

6 保安过滤器

所有 RO/NF 装置上都配有筒式保安过滤器，滤器的过滤孔径要求至少为 10μm。保安过滤器是膜和高压泵的保护装置，防止可能存在的颗粒物引起的破坏，是最后一道预处理手续。推荐保安过滤器的孔径不大于 5μm。当浓水中硅的浓度超饱和时，宜使用 1μm 的滤芯，用来降低硅、铁和铝胶体的相互作用。

5.4 生物污染的控制和预防

1 反渗透膜的生物污染

微生物污染的主要来源是进水，预处理也可能是生物污染源。通常，生物污染是一个缓慢的过程，在许多情况下，它是一个难以发现的隐藏问题，有时和其他因素有关。生物污染的标志和症状：

- 膜通量下降；
- 进水压力和跨膜压差逐渐增大；

- 脱盐率逐渐下降。

膜生物污染的累积的影响如下：

- RO 系统清洗与维护费用增加；
- 产品水水质明显变坏(水可能要后处理)；
- 膜寿命明显下降。

2 生物污染的鉴别

被生物污染的膜经过碱性化学清洗和杀菌清洗，膜性能会显著恢复。在膜元件中产生的微生物粘泥非常像膜表面带上了生物薄膜，检验沉积物生物特性的一个简单的现场方法是从表面上刮取一小部分，放在火焰上燃烧，将其气味与毛发燃挠的气味十分接近。粘泥的稠度、气味及目测的结果都能提供很好的资料。

生物薄膜的特点如下：

- 水含量高（70%－95%）；
- 有机物含量高（70－95%）；
- 菌落形成单元(CFU)和细胞数高（显微镜计数）；
- 碳水化合物及蛋白质含量高；
- 三磷酸腺苷(ATP)含量高；
- 无机物含量低。

不同类型污染之间的相互作用会使情况变得复杂。如氧化铁或生物薄膜等污染物在膜面上聚集，会促使难溶盐（如石膏）产生过饱和结垢，从而形成复合污染层。铁垢和生物薄膜均易清洗，石膏垢则不易洗去。在极恶劣的情况中、上游的泥沙污染能够在单元的下游部分形成低流量区。这使膜起到作为深层过滤区而不是错流过滤器的作用，并当诸如钡、钙或镑的硫酸盐，氟化钙，或二氧化硅等的浓度超过它们在横过膜表面的低流速区域中的饱和度时就会产生不溶物的沉淀，便能导致次级污染。

3 污染倾向的检测和评价

有效地控制和预防生物污染的首要前提是要知道生物污染问题发生的可能性。许多生物污染问题在长时间不加注意后才逐渐引起注意。以下是一些可能增加生物污染危险的因素：

- 装置设计：伸展的管道系统，光照、死水端、龟裂、未消毒的水槽等。
- 进水特性：高温（＞25℃），大量细菌（＞10 菌落形成单位／mL），高 SDI 等，有机物含量过高。
- 操作特性：不经常监控操作性能，使用被微生物污染的预处理药剂，较低的错流流速，贮存周期过长等。

假若生物污染有可能发生，则通常用培养法检验水中的微生物含量。建议为了评价进料水的生物污染的可能，要监控原水(在氯化前)、RO 进水、浓水水及产水的生物学质量。可通过显微镜观察计数和培养的方法来监测系统的生物污染倾向。

生物污染也能通过淤泥密度指数（SDI）反应出来。SDI 是污染预测的唯一较广泛接受的检验方法。

4 预处理与消毒

为了控制生物污染，要在管线上尽量减少死水区，避免使用碳过滤器。在装膜之前要对预处理系统以

及 RO 装置进行系统消毒，启动后保持连续运行，停机时会生长生物膜。

控制微生物污染的方法有：

- 以在线或离线的方式连续或周期性使用消杀剂。
- 在 RO 发生生物污染后要有有效的消毒和清洗手段。

到目前为止，对于 LFC 膜和 PA 膜来说，还没有什么完美的消杀剂。对于这些膜的消杀剂要具有以下性质：

- 不损坏膜；
- 能够控制和杀灭所有种类的细菌和生物膜；
- 在物理上摧毁已经形成的生物膜；
- 无毒且易于操作；
- 可生物降解，易于处置；
- 易于监测和加注；
- 能够对产水侧进行消毒；
- 价格便宜。

余氯

LFC 膜与 PA 膜类似，耐氯极限约为 1000ppm 小时，要求进水的脱氯处理达到余氯 0.1ppm 以下。氯对膜的损坏可以通过脱盐率的衰减和产水通量的增加来进行监测，也可以采用燃料试验。氯的存在会使膜的保证寿命大打折扣。但近年来有用户在发生严重生物污染时使用氯的情况。用户必须评估采用余氯作为杀菌剂的风险。氯的好处是便宜、高效，能够控制生物膜的数量，并且在透过膜时会对产水侧进行消毒。由于减少了不可逆污染和苛刻的化学清洗和消毒，所以也能延长膜的使用寿命。有用户报告了“化学疗法”，每天加氯 0.25ppm4 小时，将清洗周期延长到了 15 个月，与未加氯的平行试验证明，没有发生脱盐率的损失。氯的透过率随系统不同有所变化，一般在 20－50%之间。

氯胺

氯胺是一种非氧化性消杀剂。LFC 膜和 PA 膜的耐氯胺能力为 150,000－300,000ppm 小时。300.000ppm 小时意味着可在 11.4ppm 的浓度下操作 3 年。但使用氯胺时要注意，膜的耐氯胺能力会在 pH 低、高温和有过渡金属存在时明显下降。氯胺是有氨水和氯混合产生的，如果混合不好，余氯要进行脱氯处理，一般采用加入过量氨水的做法来避免余氯。在增加 SBS 或氨时要小心，这些成分在除去氯胺时会刺激生物膜的生长。氨对于下游的必不锈钢金属元器件都会造成腐蚀。氯胺的透过性相对较高，大约 80%。氨是一种气体，透过率为 100%。

异噻唑啉

非氧化性的异噻唑啉作为长期或间歇性的消杀剂（或杀粘菌剂），不会引起LFC膜和PA膜的降解，如Kathon、Slimicide C-68和Rogun 781等。这种杀菌剂是有毒的，所以一定要小心使用，特别不能在饮用水中使用。一般的添加量是3－5ppm活性成分，实际操作过程中要考虑在浓水中没有残余。间歇使用时浓度可高达15－25ppm，杀菌效果在1－2小时可见到效果，但如果使用不当会造成生物膜的快速生长。这类物质的分子量较大，不会透过膜。这一类消杀剂比较昂贵，但考虑到会节约清洗成本、延长膜的寿命以及稳定的反渗透系统性能会补偿药剂的费用。

过氧化氢和过氧乙酸

过氧化物类消杀剂是氧化性物质，用于PA膜离线使用，特别是要求RO系统达到FDA和饮用水标准时使用。单独使用过氧化氢可添加到2,000ppm的浓度，450ppm过氧乙酸在1小时之内既能杀菌，4小时完全破坏生物膜。温度保持在20－25℃，既能有效杀菌，对保护膜也有利。一定要小心在进水中不要有过渡金属（铁、锰等），否则这些离子会催化氧化损坏膜。

5.5 预处理工艺设计举例

地表水含有不同浓度的各种悬浮颗粒，有无机物、也有生物性颗粒物。地表水通常需要进行消毒以控制生物活动和介质过滤中去除悬浮物。过滤过程的加入絮凝剂和混凝剂等过滤助剂会明显促进过滤效率。地表水会含有高浓度的溶解性有机物，可通过活性炭过滤器处理。根据水质的不同，需要加酸和阻垢剂。下图是一个地表水预处理流程简图

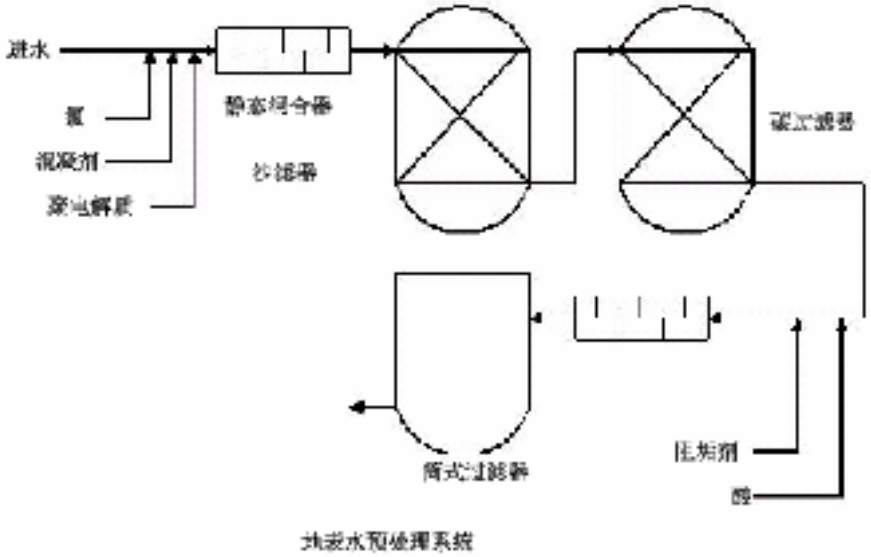


图-1 地表水预处理系统

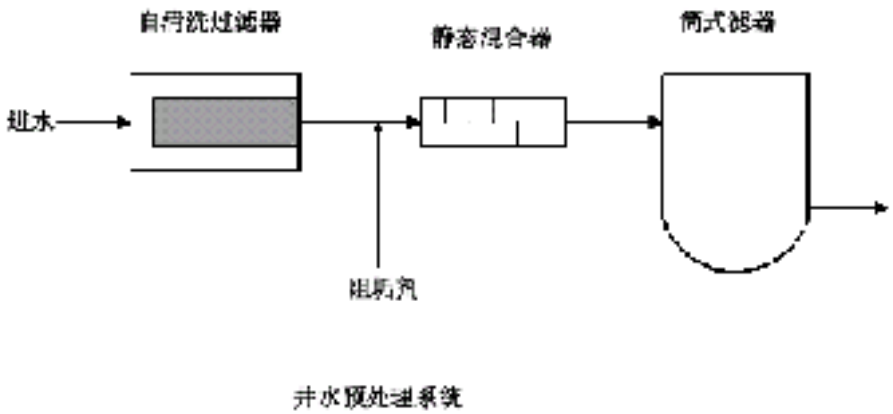


图-2 地下水预处理系统

由于含水层的过滤作用，地下水通常悬浮物含量很低。井水的预处理比较简单，一般采用各种快速过滤器阻挡沙粒、添加阻垢剂以及筒式滤器。

表-2　预处理方法一览表

预处理工艺	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$BaSO_4$ $SrSO_4$	CaF_2	SiO_2	SDI	Fe	Al	微生物	油	TOC	氧化剂	CO_2
加酸	▲						△						
加碱											△		▲
加阻垢剂及分散剂	△	▲	▲	▲	△								
石灰软化	△	△	△	△	△	△	▲	△	△		▲		
树脂软化	▲	▲	▲	▲									
树脂脱碱	△	△	△	△									
介质过滤					△	△	△	△	△				
氧化－过滤						△	▲				△		
混凝－絮凝					△	▲	△	△			▲		
微滤/超滤					△	▲	▲	▲	▲		△		
筒式滤器					△	△	△	△	△				
消杀剂									▲				
氯化氧化									▲		△		
空气吹脱											△		
活性炭过滤											▲	▲	
脱氯												▲	
接触氧化													
气浮													

▲非常有效　　△有效

第六章 反渗透系统设计

6.1 海德能 RO 设计导则

在使用海德能公司膜元件设计反渗透系统时，一般应遵循以下所建议的通用导则，如需要在超过本导则的情况下使用，请与海德能公司协商以便提供特殊的建议。

表-1 系统设计参数

原水水源		RO产水	地下水	地表水	深井海水	表面海水	三级废水
进水水质指标	推荐最大SDI (15分钟)	1	2	4	3	4	4
	浊度 NTU	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4
	TOC PPm C	1	3	5	3	3	10
	BOD PPmO_2 (粗略估算= TOC×2.6)	3	8	13	8	8	26
	COD PPmO_2 (粗略估算= TOC×3.6)	4	11	18	11	11	36
系统平均通量，GFD/ LHM		23/39.1	18/30.6	12/20.4	10/17	8.5/14.5	10/17
前端膜元件通量，GFD/ LHM		30/51	27/45.9	18/30.6	24/40.8	20/34	15/25.5
通量衰减%（年）		5	7	7	7	7	15
透盐率增加%（年）		5	10	10	10	10	10
Beta值（单只膜元件）		1.40	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
单只膜壳最大值	进水流量 GPM/ m^3/h (4″膜壳)	16/3.6	16/3.6	16/3.6	16/3.6	16/3.6	16/3.6
	进水流量 GPM/ m^3/h (8″膜壳)	75/17.0	75/17.0	75/17.0	75/17.0	75/17.0	75/17.0
	浓水流量 GPM/ m^3/h (4″膜壳)	2/0.5	3/0.7	3/0.7	3/0.7	3/0.7	3/0.7
	浓水流量 GPM/ m^3/h (8″膜壳)	8/1.8	12/2.7	12/2.7	12/2.7	12/2.7	12/2.7
压力损失，psi/bar(单只压力容器)		40/2.72	35/2.38	35/2.38	35/2.38	40/2.72	40/2.72
压力损失，psi/bar(单只膜元件)		10/0.68	10/0.68	10/0.68	10/0.68	10/0.68	10/0.68
水温 ℉ 水温 ℃		33 - 113 0.1 - 45	33 - 113 0.1 - 45	33 -113 0.1 - 45	33 -113 0.1 - 45	33 - 113 0.1 - 45	33 - 113 0.1 - 45

表-2 浓水中难溶盐的饱和极限

难溶盐	饱和值 (%)
$CaSO_4$	230
$SrSO_4$	800
$BaSO_4$	6000
SiO_2	100

表-3 饱和指数极限值

条件	LSI或SDSI值
不加阻垢剂	< -0.2
六偏磷酸钠阻垢剂	< 0.5
有机阻垢剂时	< 1.8

6.2 反渗透系统设计概述

反渗透系统基本组成部分

1) 原水供水单元：原水可能是自来水、地下水、水库水或其它水源，但一般反渗透系统都有一个储水槽。在系统设计时要考虑避免二次污染，防止沙土、灰尘等机械杂质污染和发酵、水藻等生物污染的发生。
2) 预处理系统：针对原水得水质指标和水源特点，设置合理的预处理系统，保证经过预处理的水质能够达到反渗透系统对于 COD、SDI、余氯和 LSI 等的要求。对于一定的原水，不同的预处理工艺和污染因子去除效果会影响到反渗透膜元件类型、数量和系统参数的选择。在目前越来越多的反渗透系统被用于地表水和回用污水的情况下，为了保证系统性能和和效率，推荐优先选用膜法预处理（超滤/微滤 UF/MF）。请参考本书卷首较为详细的“美国海德能公司反渗透纳滤设计导则”。
3) 高压泵系统：高压泵系统的压力（扬程）和流量的选择主要依据运行海德能设计软件 IMSdesign 的模拟计算结果。为了保证系统的安全可靠，在实际选型时，可以在计算结果推荐选型的基础上提高 10%扬程和流量规格。反渗透高压泵要求使用性能高度稳定的耐腐蚀泵。泵系统一般由给水泵和高压泵组成，给水泵加在保安过滤器之前，用于高压泵供水和低压冲洗。在高压泵出口一般要安装手动调压阀和慢开电动阀。手动调压阀用于调节泵的出力，电动阀可以防止高压泵启动时发生水锤现象。
4) RO 膜单元：RO 膜单元由压力容器、膜元件、管道和浓水阀门等组成，是反渗透系统的核心。本章内容主要针对 RO 膜单元的设计，包括参数选择、流程配置、膜元件选型、膜元件数量和排列的选择以及设计方案的评价和优化等。
5) 仪表和控制系统：为了装置能够安全可靠地运行、便于过程监控，一般要配备温度表、pH 计、压力表、流量计、电导率表、氧化还原电位计等仪表。反渗透系统的运行和监控由 PLC、仪表、计算机系统和工艺模拟流程模拟屏执行，同时设有手动操作按钮和控制室操作按钮，系统具有联锁保护功能及报警指示功能。请参考本书第七章及第十三章相关内容。
6) 产水储存单元：产水储槽（罐）主要考虑防止二次污染，容积和配置取决于后续工艺要求及用水量调节需要，在产水储存单元的设计中要考虑防止发生背压。
7) 清洗单元：用于膜的化学清洗和消毒灭菌处理，具体设计参考第八章《污染与清洗》。

反渗透系统设计一般步骤

1) 落实设计依据：原水水质和原水类型，产水的具体水质指标。在拿到原水水质资料时一定要确认水源的类型，可能的水质波动范围，取水方式及受到二次污染的可能性。在地表水处理和海水淡化工程中，取水方式也是设计整个系统设计中最为关键的。在污水回用处理工程中，需要反复落实排放水的水质资料，在必要时要同时改造污水处理系统以保证反渗透工艺的可行性。
2) 确定预处理工艺及其效果，主要是对于经过预处理之后水质指标的确认。我们所讲的反渗透给水或系统进水就是指经过预处理之后的水质。
3) 根据原水的含盐量，进水水质的情况和产水水质的要求，选择适当的膜元件。膜元件的选型请参考卷首的设计导则及膜元件选型指导图。

4) 确定膜通量和系统回收率

根据进水水质和处理水指要求的等级不同，决定RO膜元件的种类和单位面积的产水通量(gfd或L/m²h)和回收率。产水通量可以参照海德能设计导则。回收率的设定要考虑原水中含有的难溶解性盐的析出极限值(饱和指数)、给水水质的种类和产水水质。通常，单位面积产水量J和回收率R设计的过高，发生膜污染的可能性大大增加，造成产水量下降，清洗膜系统的频率会增多，维护系统正常运行的费用增加。所以，在进行设计系统时，在条件可能的条件下，希望宽余的设计产水通量和回收率。

5) 排列和级数

当确定了设计产水通量J(gfd)和产水量Q_p(gpd)值，所需理论膜元件数量N_e按以下方程计算。

$$Ne = \frac{Q_P}{f \times J \times S} \qquad (6\text{-}1)$$

Qp	产水量 (gpd)
J	单位面积产水通量(gfd)
S	膜元件面积(ft^2)
f	污染指数
N_e	理论膜元件数

通常 RO 系统排列方式以 2:1 的近似比例排列的方式较多。

[例题]

产水水量	60000 gpd
设计 Flux	14 gfd
膜元件面积	400 ft^2
解答	按公式(6－1)计算理论膜元件数量

理论膜元件数量

$$Ne = \frac{600000\,gpd}{0.75 \times 14\,gfd \times 400\,ft^2} = 142.3 \approx 143 \qquad \text{(四舍五入)}$$

压力容器数量 (按标准 6 芯装膜壳计算)

$$Nv = \frac{143}{6} = 23.8 \approx 24 \qquad \text{(四舍五入)}$$

各段压力容器的数的决定

- RO 系统以 2:1 方式排列时；

24/(2+1)=8，膜元件以(16×6：8×6)的方式排列。

- RO 系统以 4:2:1 方式排列时；

24/(4+2+1)=3.42，膜元件以(13.7 x 6 ： 6.85 x 6 ： 3.43 x 6)的方式排列。实际系统的压力容器以整数出现，四舍五入后为系统为(14 x 6 ： 7 x 6 ： 3 x 6)方式排列。

以上的初步计算结果代入 IMSdesign 进行评估。

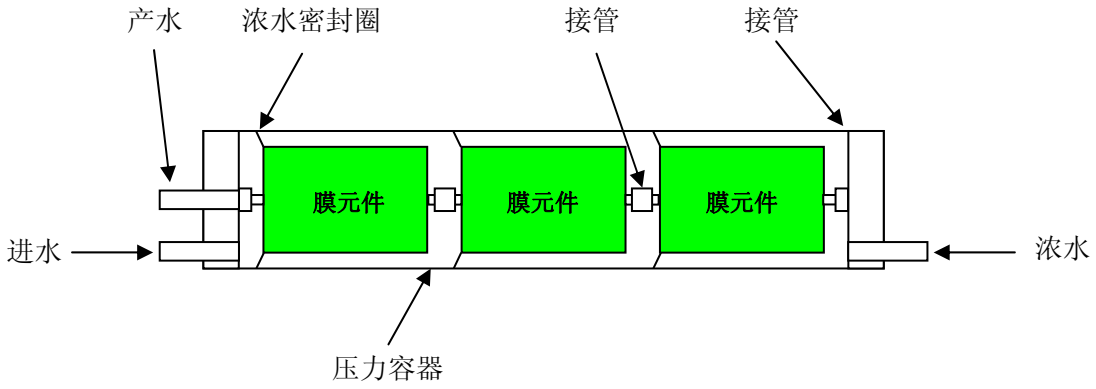
6) 优化设计

根据设定的单位面积的产水通量 J，回收率，水温变动范围，研究讨论膜组件的排列方式，设计计算压力，流量。这时使用海德能公司提供的 RO 设计元件(IMSdesign)可以很方便的帮助客户完成这个关键任务。

根据要求的产水量Q_p，考虑水源的种类和膜污染符合因素的基础上计算为了满足这个产水要求所需的膜元件数(N_e)。根据回收率，估计压力容器数(N_v)和系统排列方式。以上的条件输入到设计元件中，通过种种的排列计算，得到进水的操作压力，产水水质，同时可以得到各个段的膜元件的性能，选择最优组合。

6.3 流程配置

膜单元（RO 模块）由标准支架和压力容器、连接管道及进水、浓水和产水总管组成。膜元件安装在压力容器中。压力容器两端有产水出口，位于端板的中心，进水和浓水口分别位于容器相对两端。每只膜壳压力容器可串连 1－7 只膜元件。



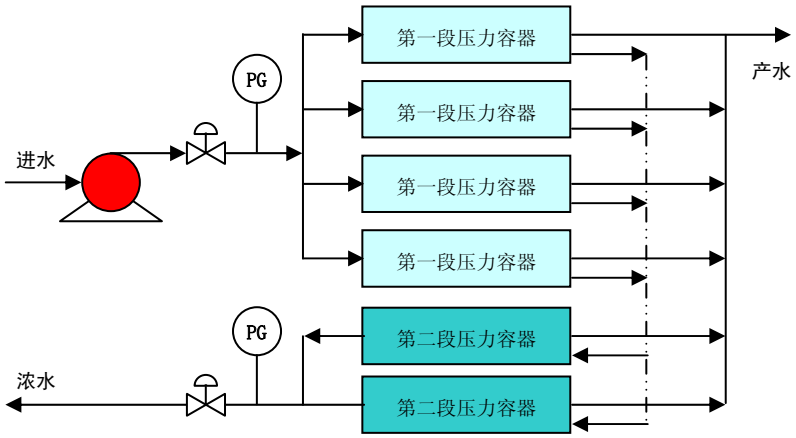
图－1 膜组件结构示意图

如图－1 所示，第一只膜元件的产水管和最后一支元件的产水管与膜壳端板相连接。膜壳的产水管互相连接。每个膜元件的一端有一个浓水密封圈，将膜元件内部流道与元件外层和膜壳之间的间隙隔开，防止进水的短路现象，迫使进水全部通过膜元件的流道。在进水流经每只元件时，部分进水体积转化为产水。剩余进水的盐浓度增加。产水经由产水管导出。收集起来的产水的盐度延浓水走向增加，在进水处最低，在浓水口最高。

系统的压力容器背分为几组，叫做浓水分段，在每一段中的压力容器平行并联。每段所含的压力容器数目延进水走向减少，一般为 2:1，如图－2 所示。

可以看出进水通过压力容器的流量分布呈金字塔形：在塔底的进水流量高，在塔顶的浓水流量相对低。随着进水流量的减小，平行压力容器数目逐段递减。所有组件的产水最后汇集到一个共同总管中。

这种锥形排列使整个系统的每个容器保持相近的进水/浓水比例，这个比例要符合膜元件的技术规格要求。流量过高会引起压力损失过大或可能的膜元件损害。流量过低则不能形成紊流，膜表面盐的浓度会过高。对于一个给定的 RO 系统，浓缩段数取决于产水回收率和每只膜壳中的膜元件数。为了避免在膜表面形成过渡的浓差极化，每只膜元件的回收率不能超过 18%。在苦咸水淡化 RO 系统设计中，通常在工程设

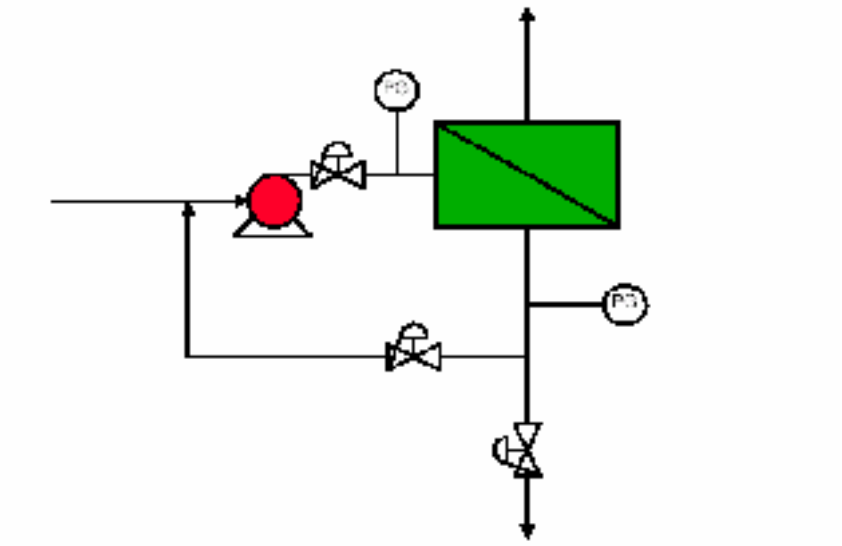


图－2 两段 (2:1) RO 系统示意图

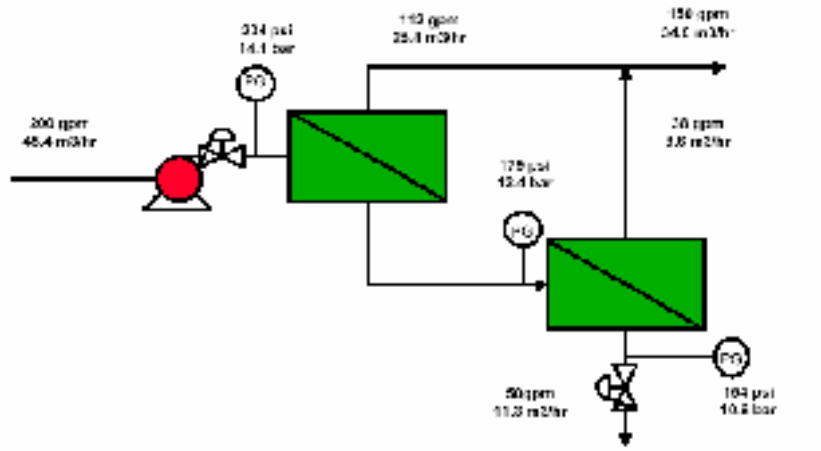
计中采用 9%左右的单个元件回收率。这样由 6 芯组件构成的 RO 单元，浓缩段数中有 2 根组件时回收率为 60%，有 3 根组件时回收率为 75%。如果采用 7 芯组件，2 段的配制可使回收率足以达到 85%。

浓水循环

最简单的膜单元是只装一只膜元件的一根膜壳压力容器。最小的系统采用这种配制，产水回收率通常限制在 15%。为了增加系统的回收率，将部分浓水返回到进水泵吸入口。浓水循环配制如图－3 所示，主要用在非常小的反渗透系统中。这种设计的优点在于 RO 单元非常紧凑。浓水循环的缺点在于，为了保持高进水流速，需要用较大的泵。这样能耗就比多段设计要高。由于在进水中掺合了浓水，平均进水盐度会增加，这样进水压力和产水盐度都会增加。



图－3 最简单 RO 系统



图－4 两段式 RO 单元

浓水分段

商业化 RO 单元通常由一台泵和一个多段组件排列组成，图－4 中是一个简化的两段式 RO 单元。

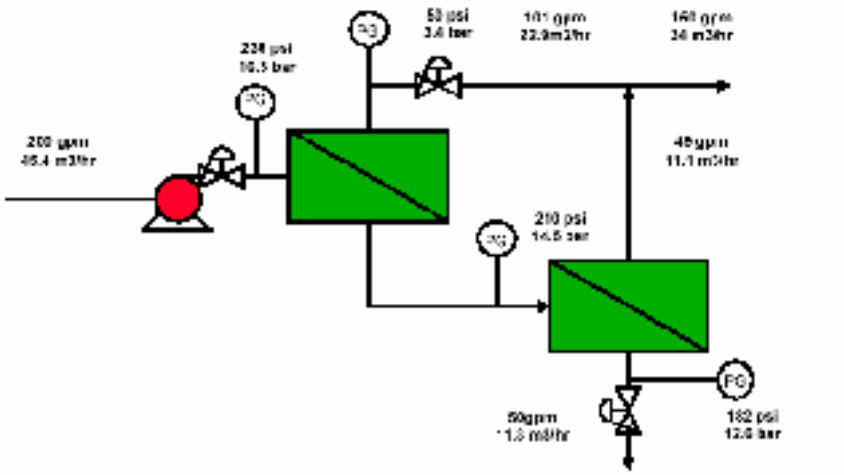
第一段的浓水作为第二段的进水，这就是所谓“浓水分段”。多段单元中的流量和压力用进水及浓水阀门控制。高压泵之后的进水阀门控制进入系统的流量。浓水阀位于 RO 模块的出口，用于控制进水压力。

产水流量分配

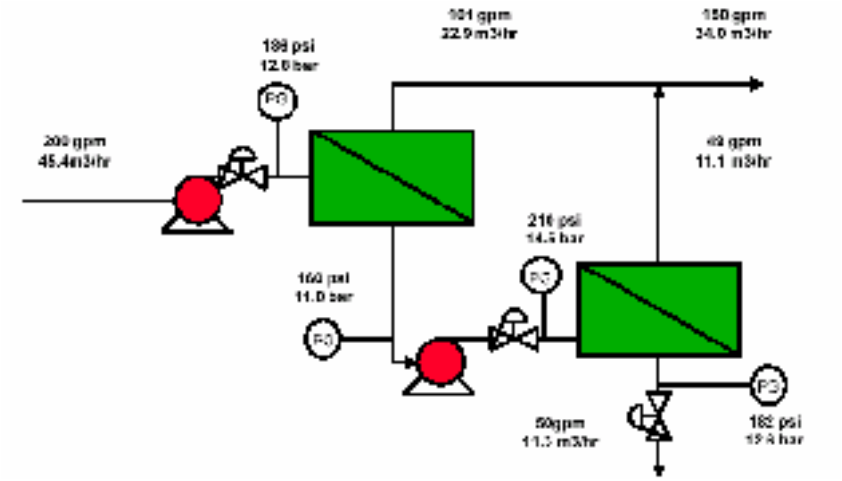
在一些情况下，需要平衡段间产水流量，比如增加后段的产水流量，减少前段的产水流量。为了达到这样的目的，可参照下面介绍的两种设计配制方案来实现。

产水背压

一种方案是在首段的产水管上安装一个阀门，如图－5 所示：



图－5 在首段产水管上安装阀门



图－6 设置段间增压泵

通过这个阀门的限制，增加了产水背压，降低了净驱动压力，降低了首段产水通量。差出的通量由二段在系统压力升高之后产生。

段间增压

第二种方案是在浓水管线上安装一个段间增压泵，如图－6 所示。增压泵将增加二段的进水压力，从而增加产水流量。

采用产水限制阀门的设计简化了 RO 系统，投资成本低，但这种方案由于产水限制阀门增加了额外的动力损失，系统的能耗增加了。段间泵设计需要对段间总管进行改造，并增加一个泵单元。投资成本高于第一种方案，但能耗较低。

二级反渗透

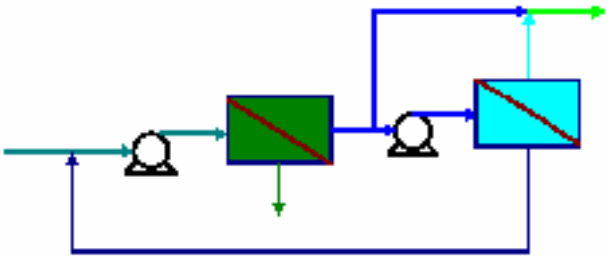
在一些应用中，单级反渗透系统的产水无法能够满足对盐度的要求。由两种 RO 应用会遇到这种要求。

海水淡化 RO 系统，进水盐度太高或产水回收率或水温太高。

苦咸水 RO 系统，但产水需要供给高压锅炉或电子工业。

为了进一步降低产水盐度，一级 RO 产水要进行二级 RO 脱盐。这种配制叫做二级设计，或产水分段。取决于是否将全部一级产水进行二级 RO 处理，叫做完全或部分二级系统。

一级产水是非常洁净的水，悬浮物和溶解性物质含量很低，不需要任何预处理。二级系统的平均通量可以相对较高。二级 RO 单元的平均通量一般设置为 20GFD，回收率为 85％－90％。在二级系统中，一级产水进入一个储槽，或供给二级 RO 单元的高压泵。二级 RO 系统有许多配制形式。图 6－7 是一种部分二级系统。



图－7 部分二级 RO 系统

部分二级

部分一级产水经过二级处理后与未经处理的部分进行混合。如果部分二级处理就能达到产水要求，结合二级系统的高通量设计，这种部分二级配制会比完全二级配制的投资和运行成本要低的多。

在二级系统中，二级浓水返回到一级进水口是非常普遍的。二级浓水中的含盐量通常比一级进水的含盐量要低。所以将二级浓水返回到一级进水中会有助于降低进水盐度，增加整体的水利用率。

RO 系统估算

可按以下步骤确定生产一定量的产水的系统的近似大小（膜元件数的膜壳数）：

a. 选择膜元件类型和组件

b. 根据进水水质选择通量范围

c. 将期望的装置生产能力除以设计通量和单个膜元件膜面积数（在元件说明上有膜面积数）。

d. 将总膜元件数除以单根膜壳装填膜元件数。取计算结果的整数。

e. 选择适当的排列以获得期望的回收率。必要时增加组件数。

海德能设计程序 IMSdesign 计算结果显示推荐高压泵压力以及计算进水压力，推荐的泵压力高于进水压力 10%总驱动压力再加 3psi（0.2bar），因为还要考虑进口压力损失。这个安全富余量一般就足够了。或者这样计算，无论系统的污染率如何，考虑 10%的安全富余量。设计元件数应该包括高于程序计算数的 10%。或者将进水压力设定为程序计算元件数所需产水流量的 90%。

6.4 反渗透、纳滤的影响因素

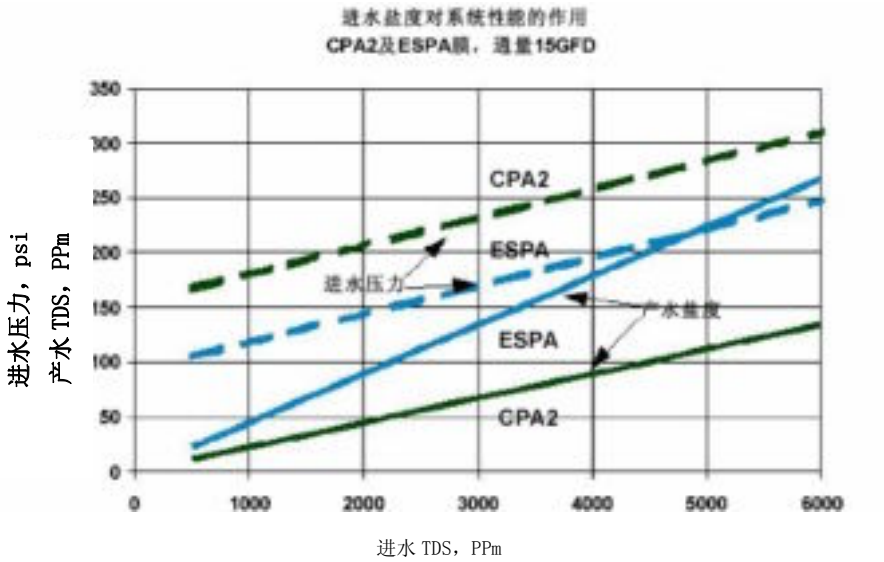
反渗透系统中膜元件的性能的主要影响因素有：进水成分、进水温度、进水压力和产水回收率。膜的压实和污染也影响膜的性能。从已知参考测试条件下的正常膜性能可计算出配套的系统操作参数。

进水盐度

一些RO系统遇到了进水成分波动的情况，季节性水质变化和不同水源的切换都会造成系统进水的成分变化。进水成分出现变化并不需要对回收率进行调整，进水成分只是影响进水压力和产水含盐量。下图显示了一个以15gfd的平均通量和85%的回收率操作的RO系统，进水压力和计划产水盐度受进水盐度影响的情况。计算中采用了两种膜：ESPA和CPA2。ESPA膜的特性通量为0.24gfd/psi，是CPA2膜的两倍。可以看到，这两种膜的进水压力和产水盐度随进水盐度增加的模式是一样的。产水盐度的增加率高于进水压力的增加率。如果其他进水的难溶盐浓度高于设计中的水样，必须降低回收率以免浓水发生结垢。

进水压力

卷式膜元件装备的RO系统按恒定设计通量运行（即恒定产水流量）。在整个运行期间，要通过调整进水压力来补偿进水温度及盐度的波动和由于污染和膜压实所造成的产水通量衰减。为了设定高压泵的选型，通常假设膜的特性通量每3年衰减20%。这样高压泵的选型必须能够满足从膜的初始性能到补偿预期的通量衰减期间大进水压力要求。如果该RO系统选择了离心泵，传统的做法是选择一个较大的泵，再配以流量调节阀门（部分关闭进水阀门）。现在有越来越多的系统采用变频电机，可大范围调整进水压力和流量，同时泵的效率不发生大的变化。变频技术减少了过去常见的非生产压力损失。一些RO系统采用注



图－8 进水盐度对系统性能的作用

塞泵，这种泵采用变频电机后，泵的效率没有任何损失，进水压力和输出量完全可以确定。但在 RO 系统中采用注塞泵较少，原因是流量有限、需要经常维修，而且噪音大、振动强烈。

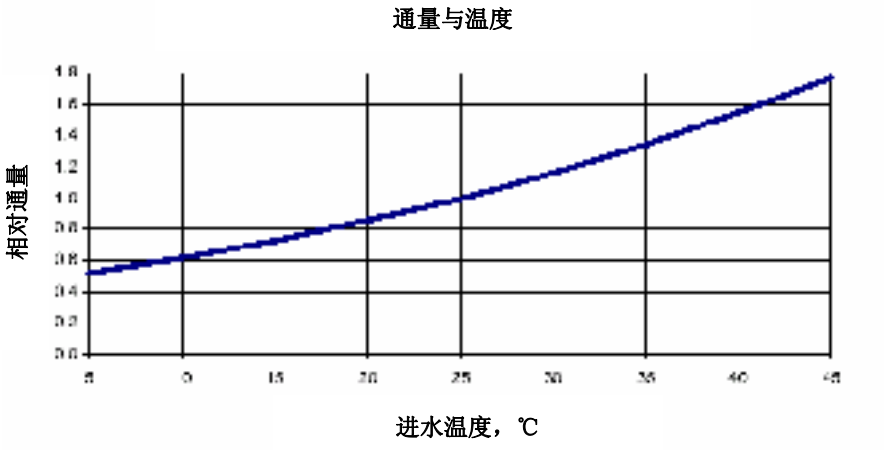
进水温度

进水温度的变化会造成膜的扩散速率的变化，下列方程是产水通量随温度变化的关系。

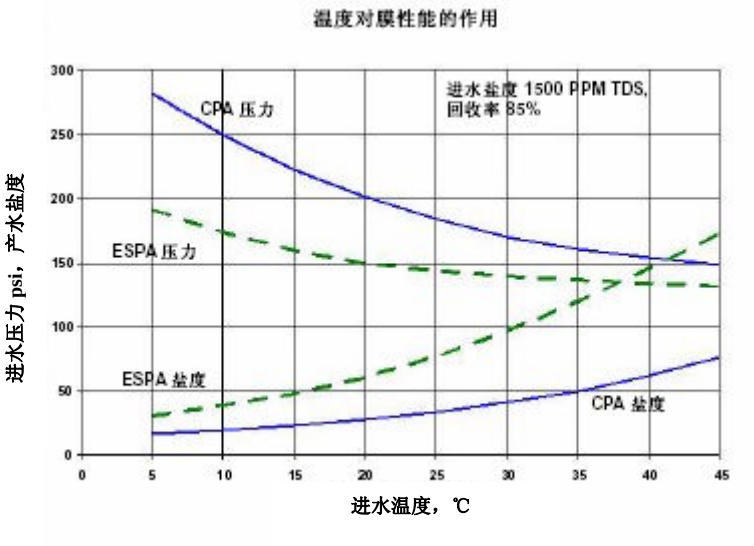
TCF = exp (K × (1 ÷ (273 ＋ t) － 1 ÷ 298)) (1)

其中TCF是温度校正因子，K是膜材料常数，t是进水摄氏温度。该方程将25℃作为基准，TCF＝1。下图是聚酰胺膜的通量随温度变化的情况。

变化率为每度3%。由于RO系统被设计成恒定产水流量模式，要调节进水压力以补偿在温度变化时的通量变化。盐透过的增加与水通量类似。产水的通量要保持恒定，但产水的盐度会随温度而变化。



图－9 通量与温度的关系



图－10 温度对膜性能的作用

进水压力（psi）和产水TDS（PPm）

进水温度对RO系统进水压力和产水盐度的影响在上面已经交代了。计算运行参数时RO系统的回收率按85%，采用了两种膜：高脱盐率的CPA2和高通量的ESPA。这两种膜的性能变化基本趋势基本一样。但两种膜的进水压力差随进水温度的增加而减少，产水盐度的变化趋势相反。两种膜的产水盐度及其差值随温度增加而增加。

产水回收率

回收率影响系统性能，如产水盐度和进水压力，需要确定进水平均盐度。采用平均浓度因子来计算平均进水浓度。计算平均浓度因子（ACF），设定了一个与回收率的对数关系：

$$ACF = \ln(1/(1-R))/R \qquad (2)$$

其中ln代表自然对数。

由于回收率对工艺的经济指标影响很大，在RO系统设计中倾向于能大就大。

膜压实和污染

在RO系统的运行中，膜材料受到了进水的高压。膜经受高压会造成膜材料密度的增加（即压实），将会降低水和溶解性物质透过膜的扩散速率。压实的结果是要用更高的压力来满足产水量的要求。同时盐扩散速率的下降也会降低产水的盐度。非对称纤维素膜的压实效应比聚酰胺复合膜更加明显。在海水淡化中，进水压力比苦咸水应用要高得多，压实也更加明显。较高的进水温度和加速压实。通常膜的压实会造成几个百分点的通量衰减，在起初的运行阶段非常明显。

膜污染对膜性能有负作用，在比较极端的情况下，会造成膜的不可逆损坏。膜污染过程通常是指无机物或有机物在膜表面和进水流道的沉积。在膜污染过程的初级阶段，对膜性能的影响类似于膜压实过程。污染过程通常伴随着压力损失的增加。不可控制的污染过程会导致非常严重的性能退化，甚至于完全破坏膜元件。控制污染最有效的方法是，找到污染原因，通过预处理和运行参数调整来消除污染因素。可通过化学清洗去除膜表面上的污染物沉积。然而清洗过程是否成功，要看污染物沉积的时间以及清洗液的选择。

6.5 海德能反渗透设计软件 IMSdesign 的使用

IMSdesign是基于Windows操作系统的一个详尽的反渗透设计程序，用来预测一个设定系统的性能和质量，用户可以得出该系统的动力消耗和运行成本。程序还能给出在一定温度和回收率范围的性能变化图表。IMSdesign给用户算出的动力消耗数据不仅用于系统的优化，而且还用来计算系统的经济性，随条件的变化给出性能曲线。用户可以从海德能公司网页www.membranes.com下载IMSdesign。进入下载页面时需要用户提供一些必要信息，填写之后便可直接下载。

海德能设计软件 IMSdesign 目前的最新版本为 8.8 版，用户可以根据需求在软件启动时选择英语、简体汉字、西班牙语、葡萄牙语或日语版本。以下是简体汉字版本的界面。

图-11 海德能反渗透设计软件 IMSdesign 首页

主菜单简介：

File/Setup（文件/设置）：

1. Save/Open（保存/打开）一个完整的设计配制。
2. 允许使用美制和公制单位。

Analysis（分析）：

1. 新建分析文件或从分析记录中重新找回一个分析文件。
2. 保存产水或浓水离子成分数据。

ROdesign（反渗透设计）：

1. 设计参数、膜元件等的说明。
2. 反复反洗优化设计参数。

Treatment（处理）：

后处理药剂的浓度说明，产水离子浓度和 pH 值的计算。

Caculation（计算）：

1. 基于计算出的压力及设定的流量、回收率和泵及马达的效率所需要的动力消耗。
2. 成本细目：投资、动力、药剂、换膜、维修等基于设计、后处理和估计换膜时间所得出费用数据。

Graphs（图表）：

软件可自动生成下列图表来显示系统的在一定运行条件下的性能。

1. 压力－温度
2. 盐度－温度
3. 压力－回收率
4. 盐度－回收率

File 文件菜单

Saving/Restoring（保存/恢复）：选择保存和恢复整个设计。

Printer Setup（打印机设置）：设置打印机，

Setup：输入用户身份和使用说明。新建一个设计之后，该用户可使用 Save as（保存为）以扩展名.DES 来保存整个配制。该设计可使用 Open（打开）命令重新打开该文件。设置命令可允许用户设置身份验证。系统默认的单位是美制和公制。

单位选项有如下选择：

表-4 设计参数单位

参数	美制 U.S	公制 Metric
压力	psi	bar
流量	GPM, GPD	m^3/hr, m^3/d
泵流量	GPM	m^3/hr, l/min
通量	GFD	l/m^2-hr

ANALYSIS 分析菜单

设计一个 RO 系统，用户需要了解的最基本的信息是进水的特性和所需产水的量和水质。因此要在分析窗口新建一个进水水质记录，录入离子浓度、pH、温度及水源类型（井水、地表水等）等资料。

系统设计中使用的进水水质记录可从分析文件中找到。默认的文件路径为 ROdesign 目录下的 Analysis。如果分析文件不存在，程序将在新记录保存后新建一个文件。ROdesign 允许用户新建一个 New（新）记录，从现存文件中找回（打开）一个记录，Delete（删除）一个问题记录，还可以将一个进水成分与另外一个进水进行 Blend（混合）。一旦进水分析文件得到保存，用户根据自己的需求在系统设计中进行在利用或编辑。

图-12 水质分析界面

New 新建

新建一个记录需要用户输入方案的名称和编号，进水类型、pH、温度、SDI、浊度、电导率、H_2S和铁的浓度。用户然后输入每一种离子的浓度，在浓度值旁边的下拉菜单中选择正确的单位。

方案名称、SDI、浊度、电导率、H_2S和Fe浓度会被记录省略，这些数据是设定方案编号、从下拉菜单中选择水质类型以及pH和温度的基础。还有，在离子浓度被加到记录中后，系统会自动将其转换为毫克当量，并计算出阴离子和阳离子的总当量数。在设计程序采用进水水质分析之前，阴离子和阳离子的总毫克当量数必须平衡，相差小于 10%。

在进行设计之前，推荐将分析记录进行保存，如果用户要从设计窗口回到分析窗口，点击窗体右下方的 Analysis 按钮即可。

Open 打开

Open, Save, 和 Delete 指令与 Windows 的标准菜单文件选项相关。您可以选择将进水分析保存为一个分析文件。如果分析文件不存在，程序将新建一个分析文件。在运行一次方案分析之后，用 Save 保存，您可以保存 Permeate（产水）或 Concentrate（浓水）的水质分析（计算值）。程序将新建一个在方案编号之下的“ROPERM”或“ROCONC”文件，分别对应于产水和浓水。按这些文件的方案名，用 Retrive 打开，再给文件起名保存。

Blend (混合)

Blend（混合）命令用于将两种以上的原水进行混合成为一种进水。例如，在一个地方有两口井，一口井咸一些，流量为 65GPM，另外一口稍淡一点，流量为 35GPM，用户将分析结果进行混合以确定合适的进水配比。混合过程如下：

1. 选择分析菜单上的混合命令。

2. 在对话框中打开含有进水水质分析文件的目录，选择期望的分析文件之后双击或单击 OK.
3. 输入流量按回车键。
4. 确认单位，如果需要其他单位，点击箭头打开下拉菜单，选择适当的单位。
5. 点击窗体左上方的 No 计数框上向上的箭头，选择下一个要混合的水质分析文件。
6. 输入流量，然后点击窗体左上方的 OK 按钮。
7. 连续操作 6 和 7，直到得到需要的混合进水为止。
8. 保存文件，默认的文件名是 BLEND1，输入方案名和编号以改变文件名。程序根据方案编号查询记录。

ROdesign 反渗透设计菜单

在 RO 设计窗口，输入产水流量、回收率、膜类型、段数等系统特征参数，用户点击 Runs（运行）程序以确定选定的参数是否能够满足特定的需求及设计局限。用户随后可以再次确定系统参数进行反复运算，直到完成优化设计。需要加酸时输入需要的 pH 值，系统会自动计算除要加的酸量。还可以增加 permeate backpressure（产水背压）、 booster pumps（增压泵）、 recirculation of concentrate（浓水循环）、 和 permeate desalting（产水脱盐）级数等附加选项。

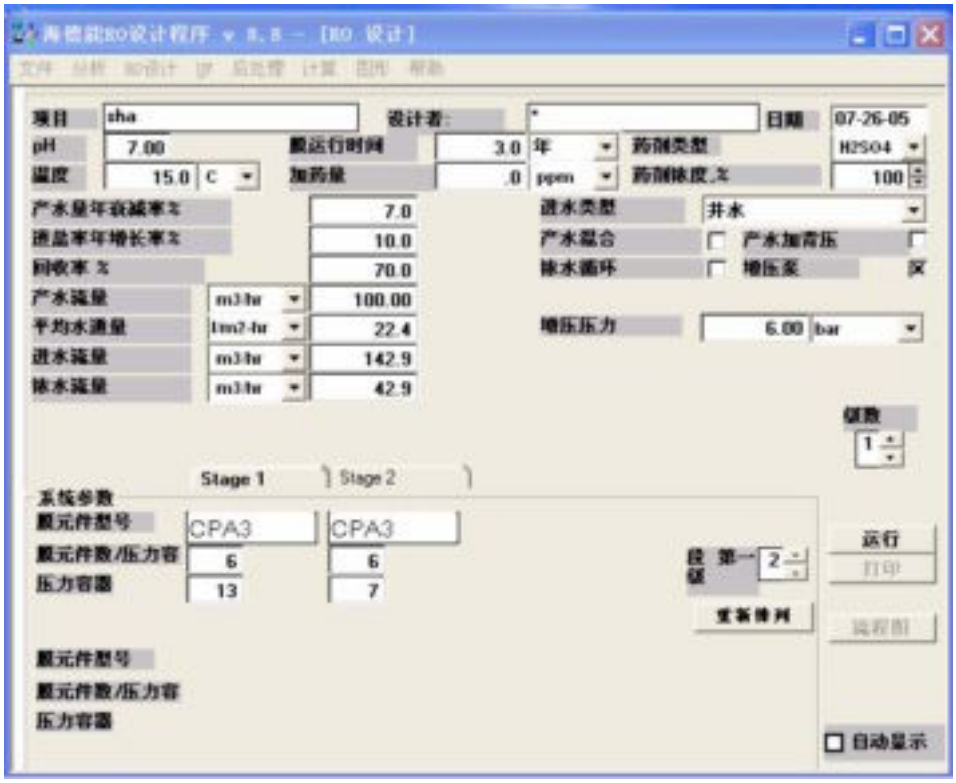


图-13 系统参数输入界面

在本窗口填充期望回收率和产水流量以及需要相关膜元件类型。这些参数的选择会使程序给出首次估计系统情况，如段数、每只膜壳的元件数和膜壳数等，计算出系统通量、进流量和浓水流量，对话框左边清楚地输出了系统配制。要注意的是，首次估算可能不是优化设计。

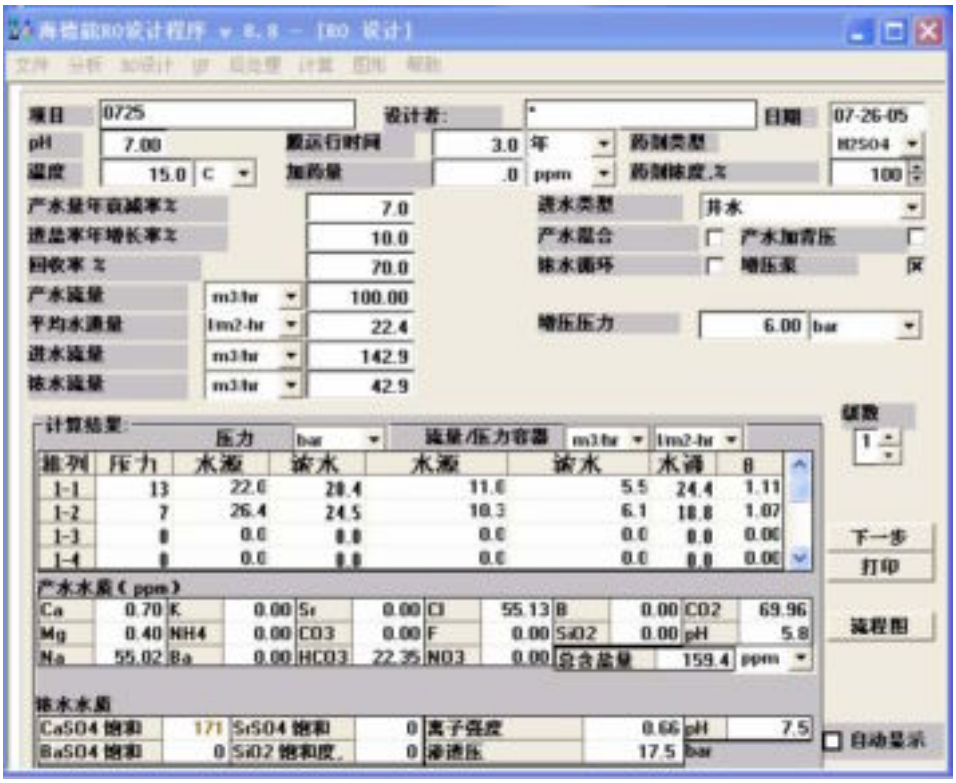


图-14 计算结果

用户然后可以改变系统参数以变化系统配制，可以将通量衰减和透盐率增加由默认值改成期望输入的值，RO 膜元件的使用年限和进水 pH 值也可同样改变。进水类型、酸类型、酸的百分比浓度以及单位均可用点击滚动条上的箭头来选定。

级数的配制可按一下操作来改变。点击“Arrays, Pass 1”行之后对面的对话框，可增加或删除在第一级的段数。该按钮上的数字既是段数。然后点击按钮上的一个数字，就可改变具体的段数。在元件类型“Element type”区域点击可改变膜的类型，随后可在膜类型表中选择一种膜元件。输入期望的数值后按下 Enter，便可改变元件"Elements/Vessel"/膜壳和膜壳"Vessels"。在设计中要注意，如果在一段中选择了一种膜元件，后续段的其他膜元件也同样改为这种膜元件。

这样就可以自由的在设计中进行各种选择了，比如结合产水限制、在该级的最后一段增加段间增压泵，或者增设产水继续拖延，产水的混合和浓水的循环也能设定。在选择了这些选项时，会出现新的数据框要你去填。确定产水继续脱盐级的配制的过程与前面讲的第一级一样，除了相关的按钮和对话框位置较低之外。注意二级脱盐的使用会排除第一级的所有选项。如果需要第一级所采用的选项，将产水水质保存在分析菜单中，然后再打开进水分析开始二级的设计。

选好了的选项，输入了期望的配制，按下再窗体右下角的命令按钮。

附加工艺选项

Permeate Backpressure (产水背压)

该选项模拟在产水背压（由产水阀门和系统阻力产生的）存在时的情况。点击该选项需要用户在该对话框中输入压力的值。用户可选择模拟第一段或所有段的产水背压。选择第一段有助于高流量膜的段间流量分配。在发现浓缩液的渗透压大于浓缩液压力时，采用这个选项还可以在系统优化中是实际的。应用渗透液背压可以解决这个问题。

Booster Pump (增压泵)

该选项模拟在进水侧最后一段有增压泵的情况。选择该选项时，要输入期望的泵的压力。这种方案在采用增压泵来克服浓缩液渗透压比牺牲产水限制更为经济时使用。

Recirculation of concentrate (浓水循环)

该选项使部分浓水回到进水中去。循环流回到进水泵的吸入口，与酸化进水混合。做出这样的选择时，要在相关的位置填写循环流量。

Permeate desalting (产水脱盐)

将级数从 1 改为 2，将第一级的产水作为第二级的进水。作出这种选择后，在膜/膜壳设定框以及膜排列数设定框的下面会出现一套按钮，在此选择以产水作为进水的新脱盐级的设定数值。而且，一个新的数值栏会出现在默认初始流和回收数据的旁边，回收率自动设定为 85%，对应的流量是计算出来的。将一级产水与二级产水进行混合会减少二级产水流量，混合出水的水质在数据表中输出。这种配制叫做“部分二级”。

在二级脱盐中改变排列数、膜类型或膜壳数，要点击对应数据按钮，如同一级，但这些按钮的位置稍低一些。

Permeate Blending ()产水混合)

该选项是在产水中混合一定量的进水。选择了这个选项，在相应的空格中输入要混合的进水流量。运行程序即给出混合流的浓度。

膜元件选择和膜排列估算

程序允许设计者选择每一级和每一段的膜元件种类，打开膜元件型号滚动窗口，根据相关的产品性能和工业测试标准条件选定需要的膜元件型号。选定膜元件之后，程序就对膜排列的大小和配置作出初步的估计。依据给出的这些数值，总膜面积就知道了，程序能计算出膜通量。设计者可以接受程序所给出的初步估算，否则对其进行调整。在设计者选定了膜元件的型号、膜排列和形式以及每个膜壳中的膜元件数之后，按下 Run（运行）按钮，程序将计算出该 RO 系统的性能预测。

最初的结果用于所需进水压力和系统通量（GFD＝每平方英尺每天的加仑数）的首次计算。在优化过程中，需要设计者改变膜元件型号以及膜元件数量和膜排列，以达到系统设计的膜元件数量和排列与进水压力和浓差极化系数（β）值的平衡协调，使 RO 系统具有良好的工程设计和运行性能。

通量衰减和盐透过

程序提供了默认的通量衰减和透盐率增加值，可以采用这些值，也可以重新设定。为了计算出对于设计者有意义的结果，这些数值要通过设计者的认定。通量衰减和透盐率增加须建立在经验、设计者的判断、他们对进水的了解以及预处理工艺的基础上。可以找到通量衰减和透盐率增加的推荐值。

用户确定的透盐率增加决定了每年透盐率增加的百分数，系统能够确定在特定运行时间系统的透盐量。程序采用了海德能为 RO 系统设计方案提供的新膜元件标称透盐率数据表单上的数值。海德能推荐的数值是，不考虑水源情况，醋酸纤维素膜的年增加率为 33%，复合膜为 10%。

透盐率增加参数用在产水盐度的计算上。例如 10%的透盐率增加数表示，在 3 年后产水的含盐量便会

比起初增加 30%。这个数据反应了由于污染和将膜置于化学清洗的苛刻环境下所造成的正常膜降解的情况。如果 RO 在极佳水质进水条件持续运行而无须清洗，膜会一直保持稳定的性能。在一些系统中，透盐率甚至是随时间而减少的，也就是说脱盐率会越来越高。但大多数反渗透系统都需要进行清洗，比如地表水和废水的情况，反渗透系统的清洗非常频繁。在商业化反渗透系统的设计中提供产水盐度增加的情况以及对这种现象的解释是一种好的工程实践。

同样，通量衰减反应了膜的产水量会倾向于越来越少。这是由于水的污染特性，比如反渗透产水作为进水时，会比地表水和废水更少污染的情况。反渗透产水的通量衰减约为 3.5%每年，地表水约为 8.5%。其他因素还有预处理和膜的比通量。造 RO 膜之前有效的除去淤泥和其他污染物，导致通量衰减会较低一些。超过推荐值的高比通量会形成高污染率，通量衰减会更快。

表-5 产水通量选择范围

水类型	SDI	通量	年通量衰减
地表水	2-4	8-14 GFD	7.3-7.9
地下水	<2	14-18 GFD	4.4-7.3
反渗透产水	<1	20-30 GFD	2.3-4.4

命令按钮

在右手下方是命令按钮。您可以 Run（运行）设计程序以确定对于给出参数的设计性能。屏幕变化总结出在每一段的产水水质和浓水的饱和极限。如果设计有问题，程序会给出错误信息，或者浓水的渗透压值会闪烁提醒用户，浓水渗透压已经太高啦！对于超出了推荐极限的参数，程序会以红色示警。

如果您要一个全面的报告，而不是简要的总结，在选择 Run 之前检查 AutoDisplay（自动显示）选项按钮。

Next 命令让用户进一步调整设计参数。

Print（打印）命令将当前屏幕数据送往打印机，用户可选择输出 PDF、Word 或记事本格式，系统默认记事本格式。

Flow Diagram（流程图）命令给出所选系统的直观表述，提供流量、压力和每一个水流的盐度的数据。

Clipboard（剪贴）命令将屏幕数据转移到剪贴板，用于其他应用（比如 Word）。

Analysis（分析）命令让用户回到水质分析窗口。

设计结果的评价

计算结果基本数据在窗口上可以直接读取，流程图更为直观，详细数据从报告打印预览中读取。

- 结垢可以控制：难溶盐饱和指数均在阻垢剂有效范围内。
- 产水通量分布均衡：前后段通量尽量接近。
- 浓差极化因子 β 值较小且分布平均。

另外具体项目可能会对一些因素比较偏重，比如投资成本、运行成本、水利用率、产水水质及废水排放等，不同的设计侧重会有差别较大的方案。

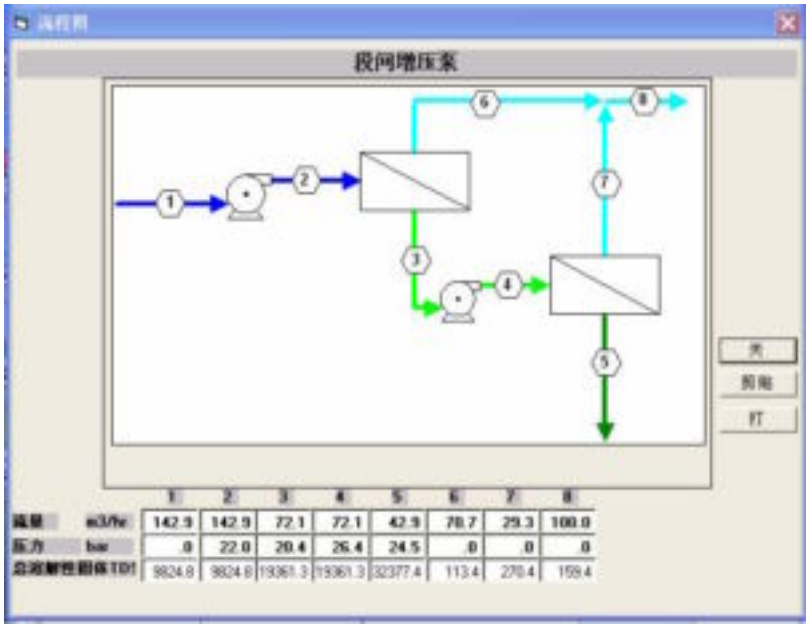


图-15 流程图

设计软件的其它功能

Treatment 后处理

设计程序的这一部分是关于一级产水的后处理，确定后处理中所需的加药量。药剂包括NaOH、$NaHCO_3$、Na_2CO_3、 $Ca(OH)_2$、 H_2SO_4和 HCl。程序可以模拟使用脱气处理降低产水中二氧化碳浓度的过程。用户完成后，数据可以打印，也可以用剪贴板复制到其他文件中。

程序给出了 RO 单元的产水成分，在产水成分数据的下面是饱和指数。用户可用鼠标选择屏幕下部的药剂的添加量，改变每种药剂的添加量之后，产水的离子浓度和 pH 判断变化就会显示出来。点击 RESTORE（复位）按钮，将所以药剂的添加量恢复到零，恢复原来的产水成分。

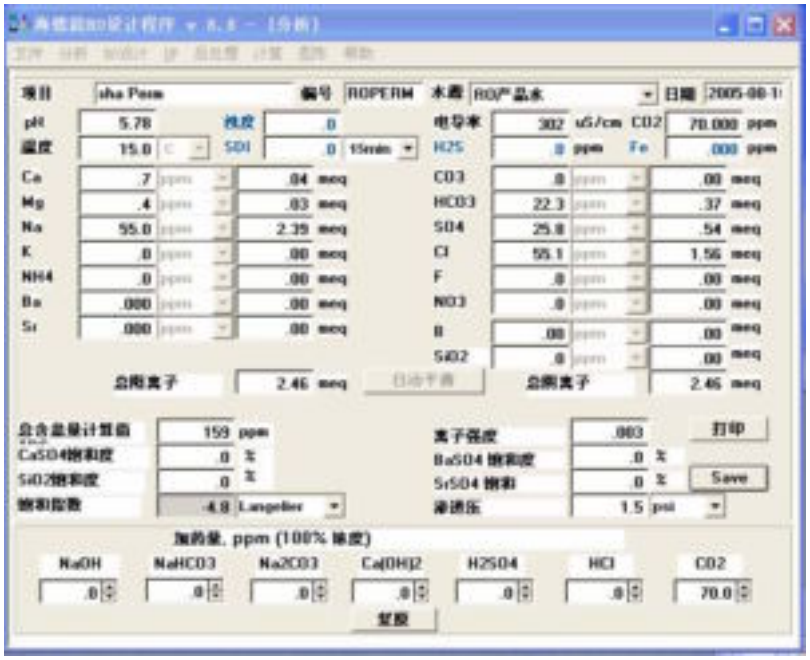


图-16 后处理界面

如果要模拟计算加药和脱气对二级反渗透的影响，需要将模拟处理之后的水质另存，然后进行新的模拟计算。

Caculation 计算

Power Requirements 动力需求

采用本菜单将打开两个窗口，第一个是“Power Requirements”动力需求，高压泵在给定流量、压力、回收率和泵/马达效率数据基础上的动力消耗。流量和压力从 RO 设计计算中自动转出，但如果真实的 RO 进水压力不同，可以改动压力值。如果用户愿意，可将泵效率设定为默认值，点击“default values”默认值即可。输入所以需要的数据，就会给出所需动力以及单位产水体积所需动力。

Cost 成本

第二个窗体“Cost”（成本），可以计算基于设计参数的反渗透系统的造水成本。输入材料和劳动力的成本（作为总成本的百分数）、投资/摊消数据，以及产水量、单位动力消耗、膜元件数、酸和阻垢剂的添加量，单位体积产水的每一项主要成本构成都能算出来。

图-17 能量及成本概算界面

上述两个屏幕数据，用户可选择打印，也可剪贴到其他文件中。

图表

运行程序之后，用户可以选择性能限制图表，进入 Graphs 图表菜单。有四个按钮，可在一定温度和回收率范围内确定进水压力和产水盐度。用户根据获得期望的图表选择按钮，然后输入温度和回收率上下限。温度限制在 5－50℃，回收率限制在 5－95%，这个范围可根据情况进行调整。点击“Plot”显示图表。生成图标后，可以打印也可以转到剪贴板。

图-18 系统性能图表

设计错误注意

程序中有以下三个关键性的要求，没有达到任何一个就要改变设计参数：

1. 系统的总产水流量与所选元件数不匹配。这种错误可能是单位选择失误所致，比如将美制和公制混用。

2. 程序反复 19 次之后依然没有找到适当的进水压力。

3. 程序计算时间超过 300 秒未得到结果。在多段系统性能的计算时，推荐安装一个数学协处理器。如果程序没有得到计算结果，计算机会要求设计者改变参数。

当系统设计存在以下潜在问题时，程序会提醒用户注意：

1. 浓水渗透压超过浓水压力。

浓水渗透压超过浓水压力时，浓水渗透压值会闪烁提示浓水压力未超过浓水渗透压的 5%。校正措施包括产水背压或加设级间增压泵。

2. 饱和指数超标。屏幕上会出现一条红色的消息“Saturation indices are exceeded”(饱和指数超标)。各种盐的饱和指数推荐值见“设计导则”。在饱和指数超标时，可以降低系统回收率。或者降低进水 pH 以减少碳酸氢根浓度，减少难溶碳酸盐在浓水中沉淀的风险。在浓水中的硫酸盐浓度较高时，存在发生硫酸盐沉淀的风险，在加酸时可部分使用盐酸。

3. 流量过高或过低，过低说明贝塔因子超出。

Beta Factor Exceeded

Flow Limits Exceeded

屏幕上会出现上述红色消息，校正方法是改变系统配置、改变回收率或者调整系统的流量分配。

对设计者的提醒

程序只是根据用户控制的数据输入和设计决定来设计 RO 系统的性能。程序自己不会判断一个系统对于一定的条件是否现实或适当。用户有责任根据预期的或者现存的预处理、合理的设计指南和经验对该系统设计做出评价和判断。用户可就具体方案咨询海德能技术支持部海德能代表处。

第七章　膜元件的安装及运行

7.1　膜元件的安装与拆卸：

安装膜元件时应遵循以下注意事项。如不严格遵守这些事项，可能会对膜元件造成不同程度的损伤，并导致膜元件性能下降。因此在安装膜元件前务必确认以下注意事项，并严防禁止事项。

表-1　膜元件安装注意事项

序号	注意事项	原因	对膜元件性能影响程度
1	使用工具从包装袋中取出膜元件时注意不要划伤膜元件表面。	使用剪子或刀子等工具切开包装袋时，如用力过猛，可能会伤及膜表面。	很高
2	包装袋中填装了 1%浓度的亚硫酸氢钠作为保护液，请务必佩带保护眼睛及手套。	由于使用了 1%浓度的亚硫酸氢钠作为保护液，故请在通风良好的地方打开包装。同时开包装时务必佩带眼镜和保护手套。如药品不慎溅入眼中、身体及衣服上，请立即用清水清洗，并及时到医院诊治。	对膜性能无影响，但对人身体有一定危险。
3	连接部位密封圈用清洁水沾湿润滑。不允许使用任何润滑剂（石油类，润滑脂，凡士林及洗涤剂），汽油类及稀释剂等。	集水管的材质是塑料，若在其上涂用了石油、润滑脂、凡士林、洗涤剂(如白猫牌)、汽油类及稀释剂。会导致集水管在短时间内裂化。否则可能会导致膜性能的严重下降。在向膜壳中安装膜元件时，使用清洁水或水溶性甘油润滑连接部位及密封圈以便安装。	很高
4	小心拿放膜元件。禁止乱扔、摔落膜元件。	乱扔、摔落膜元件而对其造成的损伤会对膜元件性能造成影响。	很高
5	禁止使用锤子敲打等野蛮安装行为。	这样会导致膜元件外壳破裂，故严禁用锤子直接敲打膜元件，野蛮安装。此种情况下，难以保证膜元件性能，请务必留意。	很高

注：系统运行启动后、由于产水及浓缩水中含有亚硫酸氢钠，在生产饮料、食品及医药用水时，请务必确认产水已经符合使用标准后再使用。

膜元件的安装

(1)通常膜元件放置在 1%浓度的亚硫酸氢钠溶液中保存，运行前首先应用純水（合格的预处理产水或反渗透产水）充分冲洗。

(2)如图-1 所示，膜元件进水侧有一个浓水密封圈，注意密封圈的安装方向是口向

进水侧张开。浓水密封圈的功能是密封膜元件与膜壳之间的间隙，保证进水全部经过膜元件内的通道流动。进水侧的压力会使浓水密封圈的开口向膜壳内壁紧压密封。若密封圈的安装方向相反，则密封圈不能密闭，造成一部分进水在膜元件外侧流动，致使膜表面流速降低，导致膜表面的浓差极化现象不能被抑制，从而缩短膜的使用寿命。

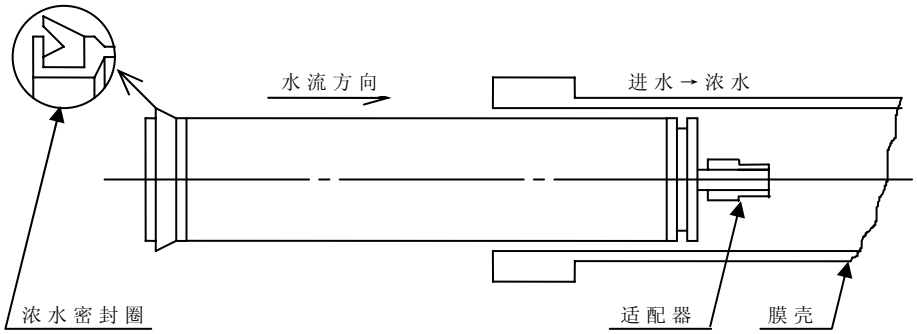
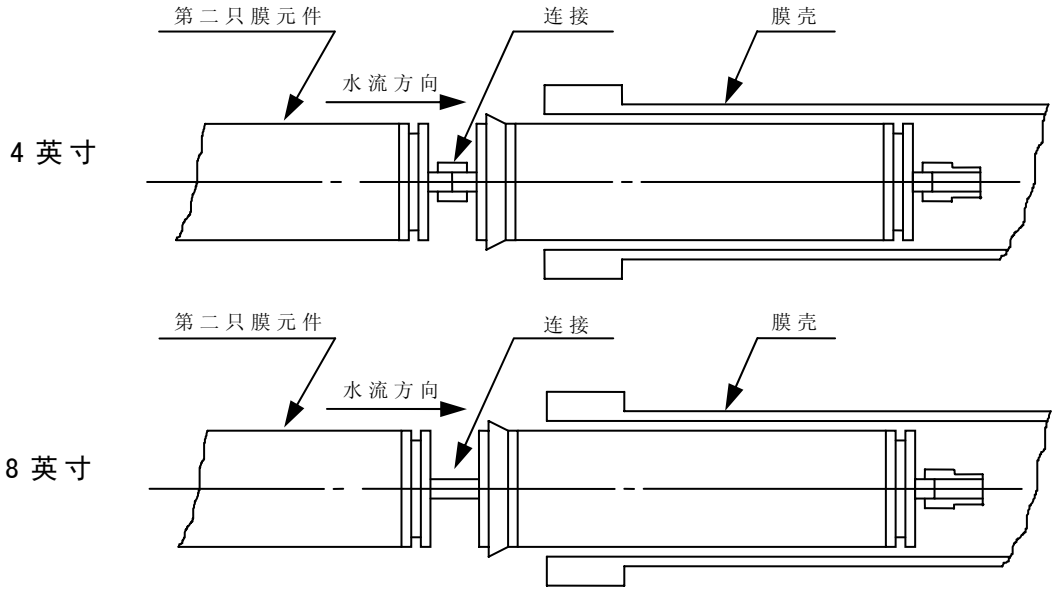


图-1　单支膜元件安装图例

(3)8 英寸膜元件的连接件和适配器外表面环形凹槽内分别安装了橡胶 0 型圈；4 英寸膜元件的连接件和适配器内表面环形凹槽内分别安装了橡胶 0 型圈。首先确认 0 型圈安装在适配器和连接件指定位置上，安装时需注意 0 型圈及连接件表面没有划伤或附着物，并注意不要将 0 型圈扭曲安装。若连接件发生泄漏，进水就会混入产水中，会导致产水水质下降。安装在集水管上时，0 型圈和集水管的表面用纯水、蒸馏水或亲水性甘油润滑以便于安装。

(4)卸下膜壳两侧端板安装膜元件。将适配器安装在第一支膜元件浓水侧的集水管上。然后将膜元件从膜壳进水侧向膜壳的浓水侧缓缓推入膜壳内。

(5)如图-2 所示，数支膜元件连续安装时，前一支膜元件完全进入膜壳之前，就要准备下一支膜元件与连接件连接。同时要注意不要让膜元件与膜壳边缘接触，以防产生擦伤，尽量平行推进。



注：8 英寸与 4 英寸的连接件外形不同

图-2 数支膜元件安装图例

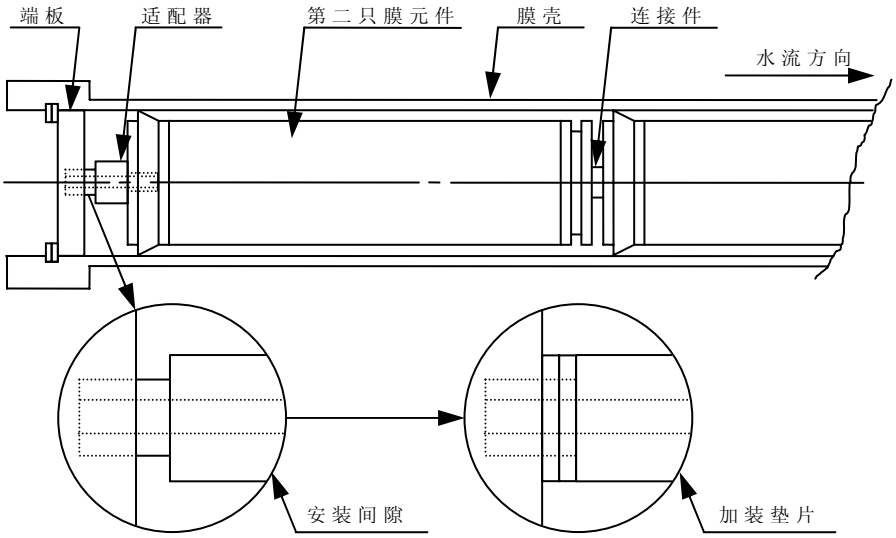


图-3 安装间隙调整垫片

(6)最后在最后安装的膜元件集水管上安装产品适配器。最终应确认膜元件与适配器、膜元件及连接件完全紧密连接，然后将浓水侧端板与膜壳连接。端板的连接方法请参照膜壳生产厂的使用说明书。

(7)完成浓水侧端板的安装后，应再次从进水侧向浓水侧推动膜元件，保证其完全紧密连接，然后再进行进水侧端板的安装，安装进水侧端板时应注意测量端板与适配器之间的间隙，并通过叠加硬质塑料垫片消除存在的间隙（见图-3）。端板的连接方法请参照膜壳生产厂的使用说明书。

膜元件的拆卸与保存

(1)拆下膜壳周围连接的管道，卸下膜壳两端端板。

(2)将膜元件从膜壳的进水侧向膜壳的浓水侧推动，在膜壳的浓水侧依次将膜元件一支一支取出。当膜壳内安装有多支(2-6 支)膜元件时，取出膜元件时需要进水侧使用集水管退出棒增加在膜壳内推动的距离。(禁止使用坚硬的金属棒)。

(3)膜元件的保存方法如表-2 所示。若不严格遵守保存规定，可能会导致膜元件的再使用性能下降。

表-2 保存膜元件时的注意事项

序号	注意事项	理由	对性能的影响程度
1	彻底清洁膜元件后，将其密闭浸泡在含有 1 升 1%浓度亚硫酸氢钠溶液的塑料袋中。	若将膜元件在污染状态下保存，或在使用一段时间后停用时使其干燥，都会影响膜元件再次使用时的性能。	高
2	保存在 5-35℃室内阴暗处。	保存温度超出 5-35℃范围外会导致膜元件再次使用时的性能下降。	高
3	尽量避开 5℃以下保存，严禁膜元件结冰。	结冰会导致膜元件内的保护液体积膨胀，膜元件再次使用时的性能可能会下降。	非常高

7.2 系统的运行及停止

初次运行过程

(1) 高压泵前安装保安过滤器

为防止金属屑、异物、沙子、纤维进入到膜组件内，运行开始前请在高压泵前安装保安过滤器(5μm 以下)，并确认保安过滤器内的滤芯已经安装。

(2) 系统运行前膜组件冲洗

为防止系统运行时装置内残留异物(金属屑、焊接屑、机械油、粘结剂等)进入到膜元件中，在安装膜元件前要充分清洗管道和装置。通过冲洗，去除管道内残留的金属屑、焊接屑，通过酸洗去除管道内的铁锈，碱洗去除机械油。一切杂质都被去除后，最后再用清水冲洗装置直至排水呈中性。建议冲洗后的排水使用 SDI 滤膜过滤，通过确认滤芯的表面来掌握冲洗状况。

(3) 进水的 SDI 值

合格的预处理水需要去除胶体、有机物、铁、细菌等物质，防止膜表面产生污染，预处理产水通常要求 SDI 值≤5。要定期检测 SDI 值，发现超出正常值后要重新调整预处理的运行。但是 SDI 值仅仅是监测污染指标的一个指标，即 SDI 值是 0.45μm 孔径膜片过滤性数值化的表现。当含有较多 0.45μm 以下悬浮物质时，即使 SDI 值在 4 以下，也会发生膜表面被污染的现象。尤其需要注意单支膜元件的回收率过高或膜元件内流速过低都会加速颗粒物质在膜元件表面的沉积。

注 1：推荐单只膜元件回收率≤15%；

注 2：推荐浓水:产水≥5:1。

(4) 进水的残留余氯

通常要求运行时进水的残留余氯含量≤0.05mg/L。进水中残留余氯浓度若超过该要求会造成膜元件被氧化而导致脱盐率下降。若进水中有残留余氯，请用 SBS(亚硫酸氢钠)中和。若残留余氯为 1mg/L，对应需要使用 1.8-3mg/L 的 SBS。

(5) 进水 pH

进水 pH 若超出以下范围，可能会导致膜元件性能下降。

表-3 膜元件的正常运行 pH 值范围

給水条件	pH 范围
正常运行的进水 pH	2-10

(6) 进水温度

运行进水温度应在 45℃以下。若进水温度超过此范围，可能会引起膜元件性能下降。

(7) 低溶解度盐类

为防止膜表面难溶盐类结垢，可以调节 pH 值或进行软化处理、添加阻垢剂等方法解决。另外可通过计算朗格利尔指数来防止发生碳酸钙结垢现象。

(8) 硅酸类、二氧化硅

为防止膜表面二氧化硅结垢，通过预处理去除二氧化硅、调节 pH 值、调节温度、添加硅分散剂等方法防止在浓水侧出现二氧化硅结垢。

(9) 确认好(1)-(8)注意事项后，开始安装膜元件。

(10)全部开启浓水及产水阀门。

(11)RO 装置的冲洗

RO 装置进行冲洗时应以低压低流量排出残留在膜元件及膜壳内的空气，进水泵启动后慢慢打开 RO 装置的进水阀门调节流量。直至浓水管出口或流量计不再有气泡冒出时将流量逐渐升高，冲洗 30 分钟左右。在冲洗过程中要检查阀门管道是否泄漏。浓水及产水全部排出，冲洗过程中不需要添加阻垢剂等药品，如进水中残留余氯则要充分添加 SBS。

表-4 RO 装置低压冲洗运行条件

规格	压力	进水流量
8 英寸膜壳	≤0.3 bar	7.2-12.0 m^3/h
4 英寸膜壳	≤0.3 bar	1.8-2.5 m^3/h

当进水泵不能达到上述运行要求时，应尽量采用低压高流量的方式进行冲洗，清洗中浓水侧及产水侧的阀门不能全部关闭，如果关闭产水侧的阀门则会造成膜元件的破裂。

(12)高压泵启动前，通过调节高压泵出口的阀门开度，防止瞬间的高流量和高压力损伤膜元件。

(13)启动高压泵后尽量以均匀地速度开启进水阀门，逐渐提升 RO 装置的进水压力，使浓水流量达到设计值。

(14)一边调节高压泵出口的 RO 装置进水阀，一边慢慢关闭 RO 装置浓水阀。在保持浓水流量的同时，注意产水流量的上升，并逐步调节使其达到设计值。添加阻垢剂等药品的计量泵要在关闭浓水阀的同时开启，确认添加药品的添加量并测定进水 PH 值。

(15)RO 装置连续稳定运行一小时后，测定产水电导并进行水质分析，将合格的 RO 装置产水引入产水箱内，并记录 RO 装置的初始运行数据。

注：RO 装置运行 24 小时内，禁止使用甲醛与膜元件接触。

日常系统的启动

除冲洗以外的设备停运后，再次启动时请按以下顺序操作进行。

(1)启动

浓水侧及产水侧阀门全部打开，关闭进水阀门后启动高压泵。慢慢打开进水阀门，使流量增加到冲洗流量，保持 1 分钟以排除膜壳内的空气。

(2)运行调整

逐渐调节高压泵出口的 RO 装置进水阀，一边慢慢关闭 RO 装置浓水阀。在保持浓水流量等于设计值的同时，注意产水流量的上升，并逐步调节使其也达到设计值。

停止运行

(1)关闭进水泵：

逐渐关闭 RO 装置的进水阀，直到进水阀全部关闭，停止高压泵。如果高压泵采用变频控制，则可以采用变频器控制高压泵逐渐减速至停机。

(2)冲洗

确认浓水阀和产水阀全部打开。启动冲洗进水泵，逐渐打开进水阀门，直至流量达到设定值。冲洗五分钟，将 RO 装置内的浓水替换成冲洗水。海水淡化系统关闭时，建议用 RO 产水冲洗系统，以便置换系统内的高浓度海水。不允许系统停运后不冲洗系统，而使高浓度海水停留在 RO 装置内。

(3)停止运行

进水阀逐渐关闭，全部关闭后停止高压泵的运行。如设备长时间停止运行时，请参照 7.3“膜元件保存”章节。

注意事項

(1)起动及停止

起动及停止时，流量和压力会有一定幅度的变动。剧烈的流量及压力冲击可能会导致膜元件破裂。故在起动和停止操作时需要 RO 装置进水阀缓慢启闭。

(2)进水中的残留余氯

进水中残留余氯会氧化膜元件聚酰胺层，因此需要使用 SBS 来中和进水中的残留余氯,并将其控制其≤0.05mg/L 时设备才能运行。当进水中存在过渡金属时(如 Fe, Mn 等)，余氯对膜的氧化作用将会加剧。因此进水中存在过渡族金属时，应确保进水中不含余氯。

(3)产水侧压力(背压)

产水侧压力高于进水侧压力 0.5bar 以上时，膜片粘接处会受到物理性损伤。背压发生在反渗透设备阀门开闭瞬间。例如系统停止运行时，在关闭进水泵前关闭产水阀通常会发生背压现象。保证在运行过程确认阀门开闭及压力变动，严禁产水侧背压现象发生。

产水管道若高于膜壳上部 5m以上，系统停止时产水侧落差(0.5bar)会从产水侧施力给进水侧。即发生产水侧背压现象，导致膜片粘接处撕裂。因此在管路安装时要注意进水管与产水管的垂直高程差，同时要注意产水管道与膜壳之间的高程差。

7.3 运行管理

预处理系统管理

RO预处理主要目的是去除各种污染物，当RO预处理做得不够完善时，会影响到RO系统的正常运行。而在每天的运行管理中通过数据记录、计算、分析和对比，及时发现问题也是非常重要的。

监测预处理系统运行的指标是RO进水的浊度、SDI、pH值、电导率等。若监测值远大于日常测定值，则可证明预处理或水源出现异常。则需要对预处理系统重新调整使其恢复到正常值。

表－5 预处理系统管理

项目	监测数据	故障及采取措施
残留余氯	≥0.05mg/L	导致膜元件被氧化，应加入SBS(亚硫酸氢钠)
SDI	≥5	导致膜元件迅速堵塞，应调整预处理效果
pH	≥8.5或更高	导致结垢及脱盐率下降，应调整加药泵
pH	≤6.0或更低	导致脱盐率下降，应调整加药泵
保安过滤器压差	压差急剧上升	导致膜元件迅速堵塞，应调整预处理效果
电导率	迅速上升	导致结垢，应查明电导率变化原因

表-6 二段RO装置运行日常管理用监测项目

序号	测定项目	记号	单位	有效数字
1	产水流量	Q_p	m^3/h	小数点后1位
2	浓水流量	Q_c	m^3/h	小数点后1位
3	第一段压力	P_1	Bar	小数点后1位
4	第二段压力	P_2	Bar	小数点后1位
5	浓水侧压力	P_3	Bar	小数点后1位
6	产水压力	P_4	Bar	小数点后1位
7	进水电导	EC_f	μm/cm	小数点后1位
8	浓水电导	EC_c	μm/cm	小数点后1位
9	产水电导	EC_p	μm/cm	小数点后1位
10	进水温度	T_f	℃	小数点后1位
11	进水pH	pH_f	-	小数点后1位
12	保安过滤入口压力	PF_1	Bar	小数点后1位
13	保安过滤出口压力	PF_2	Bar	小数点后1位

RO 运行数据管理

(1)运行记录参数

流量、电导率、压力是作为 RO 膜性能管理的重要指标。每天记录运行数据，就能及时发现这些指标的异常变化。另外作为查明异常原因的补充项目还要记录 pH、温度等。

(2)运行数据整理计算

如果膜没有受到污染、膜元件完好无损，而且保持运行参数不变，反渗透系统在正常情况下会长期稳定运行。然而，诸如温度、进水TDS、产水量和回收率等运行参数的确是要变的，膜及膜元件进水流道的污染也是无法避免的。数据标准化可以让用户将某个特定条件下的运行情况与参考运行数据进行比较，这样用户可以确定脱盐率或产水量的变化是否由于膜污染、膜元件损坏所致，或者只是运行条件的差别。

海德能公司向使用者提供了一个在Windows操作系统下运行的数据标准化程序(ROdata.xls)可从海德能网站 www.membranes.com 下载。

对监测的数据进行整理、计算和分析是十分重要，请参照表 8-6 给出了关于二段的 RO 系统的计算和标准化的项目。

表-7 二段 RO 装置运行管理用计算项目

序号	计算项目	代号	单位
1	系统压差	△P	bar
2	第一段压差	$\triangle P_1$	bar
3	第二段压差	$\triangle P_2$	bar
4	保安过滤器压差	$\triangle P_{pr}$	bar
5	进水平均压力	P_{av}	bar
6	回收率	R	%
7	浓缩因子	ConF	-
8	平均进水浓度	ECf_{av}	μm/cm
9	平均进水渗透压	FOP_{av}	bar
10	平均产水渗透压	POP_{av}	bar
11	净驱动压力	P_n	bar
12	系统透盐率	SPP	%
13	系统脱盐率	SPR	%
14	系统平均设计通量	SFX	gfd
15	温度校正因子	TCF	-
16	标准化脱盐率	SSPn	% @ 25℃
17	标准化产水量	QSPn	m^3/h @ 25℃
18	标准化压力差	△Pn	bar
19	特性水通量	WTCn	LMH/bar
20	特性盐通量	STCn	m/s

1) 压差

系统压差计算公式: $\triangle P = P_1 - P_3$

第一段压差计算公式: $\triangle P_1 = P_1 - P_2$

第二段压差计算公式: $\triangle P_2 = P_2 - P_3$

保安过滤器压差计算公式: $\triangle P_{pr} = PF_1 - PF_2$

2) 进水平均压力

系统平均进水压力计算公式: $P_{av} = (P_1 + P_3) \div 2$

3) 回收率

回收率计算公式: $R = Q_p / (Q_p + Q_b) \times 100\%$

4) 浓缩因子

浓缩因子计算公式: $ConF = \{\ln [1 \div (1 - R)]\} \div R$

5) 平均进水浓度

平均进水浓度计算公式: $ECf_{av} = EC_f \times ConF$

6) 平均进水渗透压

平均进水渗透压计算公式: $FOP_{av} = ECf_{av} \times 11.8 \times (273 + T_f) \div (298 \times 1000)$

7) 平均产水渗透压

平均产水渗透压计算公式: $POP = EC_p \times 11.8 \times (273 + T_f) \div (298 \times 1000)$

8) 净驱动压力

净驱动压力计算公式: $NDP = P_1 - (0.5 \times \triangle P) - P_4 - FOP_{av} + POP$

9) 系统透盐率

系统透盐率的计算公式: $SPP = Cp \div Cf_{av} \times 100\%$

10)系统脱盐率

系统脱盐率的计算公式: $SPR = 1 - SPP$

11)系统平均设计通量

系统平均设计通量计算公式: $SFX = 1440 \times Q_p \div (EPV \times V \times EMAe)$

SFX	系统平均设计水通量(gfd)
EPV	每只膜壳内的膜元件数量
V	膜壳数量
EMAe	每只膜元件的膜面积(ft^2)

12)温度校正系数

温度校正系数: $TCF = EXP\{K_e \times [1/(273 + T_f)-(1 \div 298)]\}$

K_e 对于复合膜来说K=2700

13)标准化系统脱盐率

标准化系统脱盐率: $SSPn = SSP \times (Qp \div Qp_r) \times (TCF \div TCF_r)$

Qp_r 初始运行时的参考产水流量

TCF_r 初始运行时的参考温度校正系数

14)标准化系统产水流量

标准化系统产水流量计算公式: $QSPn = Qp \times NDP_r \div NDP \times (TCF \div TCF_r)$

NDP_r 初始运行时的参考净驱动压力

TCF_r 初始运行时的参考温度校正系数

15)标准化系统压差

标准化系统压差计算公式: $\triangle Pn = \triangle P \times (Qp_r \div 2 + Qc_r)^{1.4} \div (Qp / 2 + Qc)^{1.4}$

Qp_r 初始运行时的参考产水流量

Qc_r 初始运行时的参考浓水流量

16)特性水通量

特性水通量计算公式: $WTCn = 0.00000000019025 \times SFX \div NDP \div TCF$

WTCn 特性水通量($L/(m^2 \times h \times bar)$,LMH/bar)

17)特性盐通量

特性盐通量计算公式:

$STCn = Qp_o \times ECp_o \times TCF \div 264.17 \div 60 \div (TEMAe \times 0.0929) \div (ECf_{av} - ECp_o)$

特性盐通量 单位m/s

TEMAe 总膜面积=EPV×V×EMAe(ft^2)

Qp_o 产水流量监测值

ECp_o 产水电导率监测值

(3)膜性能的明显变化

运行参数对膜的性能有正常影响。这些影响可能会导致产水量和质量下降。本节内容将列举正常的影响。

下列运行参数的变化将降低系统中膜的实际产水量:

- 进水泵压力不变时进水温度下降;
- 用节流阀降低RO进水压力;
- 进水泵压力不变时增加产水背压;

- 进水TDS（或电导率）增加，这会增加产水通过膜时所必须克服的渗透压；
- 系统回收率增加，这会增加系统的平均进水/浓水的TDS，从而增加渗透压；
- 膜表面发生污染；
- 进水流道网格的污染导致进水－浓水压力降（ΔP）增加，从而降低了元件末端的NDP（总驱动压力）。

下列运行参数变化会导致实际产水水质劣化，即产水的TDS和电导率增加：

- 进水温度上升时通过调节运行参数保持系统产水量不变；
- 系统产水量下降，这会降低膜通量，导致原来稀释透过膜的盐分所需的纯水量减少；
- 进水TDS（或电导率）增加，脱盐率不变，但产水盐度随之增加；
- 系统回收率增加，这会增加系统的进水/浓水TDS浓度；
- 膜面污染；
- O型圈密封损坏；
- 膜面损坏（比如受到氯的影响）致使膜的透盐率增加。

使用标准化程序来排除进水的压力、温度和浓度的影响，会更加清楚地分辨膜污染、膜降解和系统问题（比如O型圈损坏）的存在。标准化数据图表不仅仅显示了在一定时间RO系统运行条件，而且显示了运行的历史资料，这些图表是故障诊断的主要工具。

(4)标准化数据曲线

海德能的(ROdata.xls)标准化程序给出如下标准化数据图表：

标准化透盐率－时间曲线

这个曲线给出了系统从启动之日起的标准化透盐率与系统参考数据的对比。

标准化产水量－时间曲线

该曲线给出了系统从启动之日起的标准化产水量与系统参考数据的对比。

盐迁移系数－时间曲线

盐迁移系数（STC）曲线是膜技术爱好者所关心的。这个数的重要性是代表了盐透过膜快慢的一个系数。系数的单位是米/秒。根据该系数我们可以对不同使用地点的膜进行对比，与具体的运行参数无关。盐迁移系数受到进水离子组成的影响，比如二价离子增加时，盐迁移系数会较低。

水迁移系数－时间曲线

水迁移系数（WTC）也是膜技术爱好者所关心的。该系数的主要性在于表达了水通过膜的快慢，单位为米/秒－kPa。根据该系数我们可以对不同使用地点的膜进行对比，与具体的运行参数无关。

标准化ΔP－时间曲线

该曲线跟踪了从系统启动开始进水－浓水压力降的变化情况。ΔP值反应了由于进水和浓水流量变化所造成的压力降变化。

膜元件保存

(1)适用范围

本文介绍的方法适用于以下情况：

- 适用于 ESPA、ESNA、CPA、SWC、LFC 系列膜元件；
- 安装在压力容器中的反渗透膜元件的短期保存；
- 安装在压力容器中的反渗透膜元件的长期保存；
- 作为备件的反渗透膜的贮存及反渗透系统启动前的膜保存。

(2)短期保存

短期保存方法适用于那些停止运行 5-30 天的反渗透系统。此时反渗透膜元件仍安装在 RO 系统的压力容器内。保存操作的具体步骤如下：

- 用给水冲洗反渗透系统，同时注意将气体从系统中完全排除；
- 将压力容器及相关管路充满水后，关闭相关阀门，防止气体进入系统；
- 每隔 5 天按上述方法冲洗一次。

(3)长期停用保存

长期停用保护方法适用于停止使用 30 天以上,膜元件仍安装在压力容器中的反渗透系统。保护操作的具体步骤如下：

- RO 装置停运前应首先对装置进行化学清洗，通过清洗最大限度清除运行中累积在 RO 膜元件内的各种污染物，因为运行中累积的污染物在长期停运后会更难以清除；
- 用 RO 产水配制 1%浓度 SBS(亚硫酸氢钠)杀菌液，并用杀菌液循环冲洗反渗透装置；
- 当杀菌液充满反渗透系统后关闭高压泵，并迅速关闭装置全部阀门使杀菌液保留于系统中，此时应确认系统完全充满；
- 如果系统温度低于 27℃，应每隔 30 天用新的杀菌液进行上两步操作；如果系统温度高于 27℃，则应每隔 15 天更换一次杀菌液；
- 在反渗透系统重新投入使用前，用低压给水冲洗系统 1 小时，然后再用高压给水冲洗系统 5-10 分钟,无论低压冲洗还是高压冲洗时,系统的产水排放阀均应全部打开。在恢复系统至正常操作前，应检查并确认产品水中不含有任何杀菌剂。

(4)系统安装前的膜元件保存

海德能公司的膜元件出厂时，均真空封装在塑料袋中，封装袋中含有保护液。膜元件在安装使用前的储存及运往现场时，应保存在干燥通风的环境中，保存温度以 20-35℃为宜。应防止膜元件受到阳光直射及避免接触氧化性气体。

表-8 RO 运行管理用数据采集表

日期	時間	记录数据										
		Q_p	Q_b	P_1	P_2	P_3	P_4	EC_f	EC_b	EC_p	T_f	pH_f
年 月 日	hr	M^3/h	m^3/h	bar	bar	bar	bar	μs/cm	μs/cm	μs/cm	℃	—

计算数据										
$\triangle P_1$	$\triangle P_2$	P_{pr}	P_{av}	ECf_{av}	R	TCF	SSPn	QSPn	$\triangle Pn$	WTCn
bar	bar	bar	bar	μm/cm	%	—	%	m^3/h @ 25℃	bar	LMH/bar

第八章 污染与清洗

8.1 清洗特别提示

本节内容适用于 4、6、8、8.5 英寸直径的复合聚酰胺反渗透和纳滤膜元件。

- 聚酰胺反渗透膜元件在任何情况下均不得与游离氯接触，游离氯氧化膜元件将使造成永久性的损伤。因此，在进行管路和设备灭菌操作、使用清洗剂与储存保护剂之后均应特别注意膜系统给水中是否含有游离氯。如不确定则应进行相应检测，如存在游离氯残留物，可使用亚硫酸氢钠(SBS)将其还原，并满足反应时间以保证氧化还原反应充分进行。游离氯=1.0PPm 时需添加亚硫酸氢钠(SBS) 1.8-3.0ppm。
- 反渗透膜元件在质量担保期内，建议每次膜元件的清洗应首先与海德能公司取得联系，协商后再进行。
- 在清洗溶液中，应避免使用阳离子表面活性剂及两性表面活性剂。使用这些药品与膜元件接触后，可能导致膜元件产水量不可逆转的下降。

8.2 膜污染

在系统正常运行一段时间后，反渗透膜元件会受到给水中可能存在的悬浮物或难溶盐的污染，这些污染中最常见的是碳酸钙沉淀、硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶沉淀、金属(铁、锰、铜、镍、铝等)氧化物沉淀、硅沉积物、无机或有机沉积混合物、NOM 天然有机物质、合成有机物(如：阻垢剂/分散剂，阳离子聚合电解质)、微生物(藻类、霉菌、真菌)等。

污染性质和污染速度取决于各种因素，如给水水质和系统回收率。通常污染是渐进发展的，如不尽早控制，污染将会在相对较短的时间内损坏膜元件。当膜元件确证已被污染，或是在长期停机之前，或是作为定期日常维护，建议对膜元件进行清洗。

当反渗透系统(或装置)出现以下问题时，需要进行化学清洗或物理冲洗：

- 在正常的给水压力条件下，温度矫正后产水量较正常值下降 10-15%；
- 为维持正常的产水量，经温度矫正后的给水压力增加了 10-15%；
- 产水水质降低了 10-15%，透盐率增加了 10-15%；
- 给水压力增加了 10-15%；
- 系统各段之间压差明显增加（可能没有仪表监测该参数）。

在运行数据未标准化的情况下，如果关键参数没有改变，上述清洗原则依然可以适用。保持稳定的运行参数主要是指产水流量、产水背压、回收率、温度及TDS。如果这些运行参数起伏不定，强烈建议标准化数据以确定是否有污染发生，或者在关键运行参数有变化的之前确认反渗透系统实际运行是否正常。海德能公司提供标准化软件ROdata.xls，可从海德能公司网站(www.membranes.com)上下载。

定时监测系统整体性能是确认膜元件是否已发生污染的基本方法。污染对膜元件的影响是渐进的，并且影响的程度取决于污染的性质。表-1《反渗透系统故障诊断一览表》列出了常见的污染现象及其对膜性能的影响。已受污染的反渗透膜的清洗周期根据现场实际情况而定。正常的清洗周期是每 3-12 个月一次。如果在 1 个月以内清洗一次以上，就需要对反渗透预处理系统作进一步调整和改善，如追加投资，或冲洗进行反渗透系统设计。

表-1 反渗透系统故障诊断一览表

故障种类	可能发生位置	压降	给水压力	盐透过率
金属氧化物(Fe/Mn)	一段/最前端膜元件	迅速增加	迅速增加	迅速增加
胶体污染(有机和无机混合物)	一段/最前端膜元件	逐渐增加	逐渐增加	轻度增加
难溶盐类(Ca/Mg/Ba/Sr)	末段/最末端膜元件	适度增加	轻度增加	一般增加
聚合硅沉积物	末段/最末端膜元件	一般增加	增加	一般增加
生物污染	任何位置/通常前端膜元件	明显增加	明显增加	一般增加
有机物污染(难溶 NOM)	所有段	逐渐增加	增加	降低
阻垢剂污染	末段最严重	一般增加	增加	一般增加
氧化损坏	一段最严重	一般增加	降低	增加
水解损坏(超出 pH 范围)	所有段	一般降低	降低	增加
磨蚀损坏(颗粒物)	一段最严重	一般降低	降低	增加
O 型圈渗漏(内连接管或适配器)	无规则/通常在两端适配器	一般降低	一般降低	迅速增加
膜元件外壳破损(由撞击造成)	无规则/运输或安装间隙	可能降低	可能降低	可能增加
膜卷突出(压差过大导致)	两端膜元件	明显增加	明显增加	迅速增加

当膜元件仅仅是发生了轻度污染时，应及时清洗膜元件。重度污染会因阻碍化学药剂深入渗透至污染层，影响清洗效果。如果膜元件的性能降低至正常值的 30-50%，那么，欲完全恢复膜元件出厂时的初始性能是不可能的。

在反渗透系统设计中，可使用反渗透产品水冲刷系统中的污染物以降低清洗频率。用产品水浸泡膜元件可有助于污垢的溶解、脱落，降低化学清洗的频率。

清洗何种污染物以及如何清洗要根据现场污染情况而进行。对于几种污染同时存在的复杂情况，清洗方法是采用低 pH 和高 pH 的清洗液交替清洗。

膜元件受到污染时，往往通过清洗的方式来恢复膜元件的性能。清洗的方式一般有两种，物理清洗(清洗)和化学清洗(药品清洗)。物理清洗(清洗)是不改变污染物的性质，使用机械性的冲刷膜元件中的污染物，恢复膜元件的性能。

化学清洗是使用相应的化学药剂，改变污染物的组成或属性，然后排出膜元件，恢复膜元件的性能。吸附性低的粒子状污染物，可以通过冲洗(物理清洗)的方式达到一定的效果，像生物污染这种对膜的吸附性强的污染物使用冲洗的方法很难达到预期效果。冲洗已经很难去除污染物时，应停止装置并采用化学清洗。为了提高化学清洗的效果，清洗前，有必要通过对污染状况进行分析，确定污染的种类(详细参照第九章相关内容)。在掌握污染种类、成分、数量的基础上，选择合适的清洗药品是清洗成功的关键因素。

化学清洗与物理清洗并是可以相互配合的两种清洗手段。在面对轻度污染时，采用物理清洗时添加一些化学药品可以成倍的增加清洗的效果；同样在严重污染采用化学清洗时也可以使用一些物理性的强化手段来增强化学清洗的效果。

8.3 污垢成分

碳酸钙垢

碳酸钙垢是一种矿物结垢。当阻垢剂/分散剂添加系统出现故障时，或是加酸 pH 调节系统出故障而引起给水 pH 增高时，碳酸钙垢有可能沉积出来。在浓水管路上设置透明管有助于尽早发现结垢问题，对于防止膜层表面沉积的晶体损伤膜元件是极为必要的。早期检测出的碳酸钙垢可由降低给水的 pH 值至 3-5，运行 1-2 小时的方法去除。对于沉积时间较长的碳酸钙垢，可用低 pH 值的柠檬酸溶液清洗去除。

硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢

硫酸盐垢是比碳酸钙垢硬很多的矿物结垢，且不易去除。在阻垢剂/分散剂添加系统出现故障或加硫酸调节 pH 时可能会导致硫酸盐垢的沉积。对于硫酸盐垢应尽早发现，以防止膜层表面沉积的晶体损伤膜元件。硫酸钡和硫酸锶垢较难去除，因为它们几乎在所有的清洗溶液中难以溶解，所以应加以特别加以注意。

磷酸钙垢

磷酸钙垢在有高含磷的市政污水处理中是较为常见的。通常这种垢可用酸性清洗液去除。目前，在海德能公司的 RO 设计软件中未包未含磷酸盐垢的计算。如果在给水中磷酸盐的含量达到或大于 5PPm，请与海德能公司联系。

金属氧化物/氢氧化物污染

典型的金属氧化物和金属氢氧化物污染为铁、锌、锰、铜、铝等。这种垢的形成导因可能是装置管路、容器(罐/槽)的腐蚀产物，或是空气中氧化的金属离子、氯、臭氧、钾、高锰酸盐，或者来自于预处理过滤系统中使用铁或铝助凝剂。

聚合硅垢

硅胶垢较难去除，来自于可溶性贵国饱和或聚合反应。硅胶垢与硅基胶体污染不同，后者可能与金属氢氧化物和有机物有关。采用传统的清洗方法几乎无法对付硅垢，如果遇到清洗不利的情况请联系海德能公司。现有的化学清洗剂，如氟化氢铵已在一些项目上得到了成功地使用，但它毒性很大，对设备也有害。

胶体污染

胶体是悬浮在水中的无机物或是有机与无机混合物的颗粒，它不会由自身重力而沉淀。胶体物通常含以下有一个或多个主要组份如：铁、铝、硅、硫或有机物。

溶解性天然有机物污染(NOM)

溶解性天然有机物污染（NOM，Natural Organic Matter）通常是由地表水或深井水中的营养物分解所致。有机污染的化学机理很复杂，主要的有机组份或是腐植酸，或是灰黄霉酸。非溶性 NOM 被吸附到膜表面可造成 RO 膜元件的快速污染，一旦吸附作用产生，凝胶或块状的污染过程就会开始。

微生物沉积

有机沉积物是由细菌粘泥、真菌、霉菌等生成物，这种污染物较难去除，尤其是在给水通路被完全堵塞的情况下。给水通路堵塞会使清洁的进水难以充分均匀的进入膜元件内。为抑制这种沉积物的进一步生长，重要的是不仅要清洁和维护 RO 系统，同时还要清洁预处理、管道及端头等。对膜元件采用氧化性杀菌时，请与海德能公司技术支持部门联系，使用海德能公司认可的杀菌剂。

8.4 物理清洗

物理清洗的意义

物理清洗是通过低压力、高流速的进水冲刷膜元件，将短时间内在膜表面附着的污染物和堆积物清洗掉的方式。

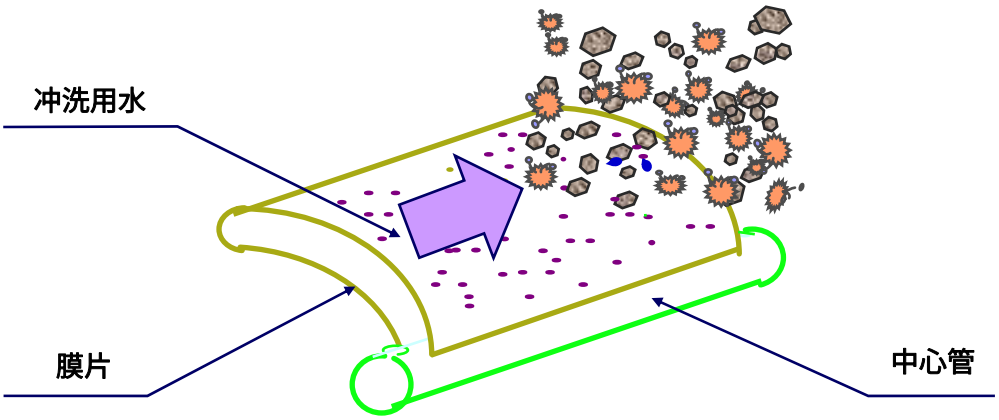


图-1 清洗时膜面的状态示意图

清洗要点

清洗时的要点是高流速，低压力和清洗频率。

(1) 清洗的流速:

装置运行时，附着性高的粒子状污染物逐渐堆积在膜表面。如果清洗时的流速与运行时的流速相等或更低，则很难把这些污染物从膜元件中清洗出来。因此,清洗时应使用比正常运行时更高的流速(一般可考虑为正常运行浓水流速的 1.2 倍)。而实际上膜元件两端的压差与进水流量成正比，单只膜元件的压力差不允许超过 0.7bar，因此海德能公司对单只膜元件的最大进水流量作了严格的限制，请在清洗时遵循以下规定。

表-2 运行时单只膜壳浓水流量范围

规格	单只容器的浓水流量	单只容器的最大进水流量
8 英寸膜壳	7.2-12.0 m^3/h	17.0 m^3/h
4 英寸膜壳	1.8-2.5 m^3/h	3.6 m^3/h

(2) 清洗压力

正常高压运转时，压力直接垂直作用膜面，使进水透过膜面得到产水，同时污染物也被压向膜面。所以在清洗时，如果采用同样的高压，则污染物被积压在膜表面，清洗的效果就会降低。清洗时尽可能的通过低压，高流速的方式，增加水平方向的剪断力把污染物冲出膜元件。清洗压力一般建议控制在 3.0bar 以下。如果在 3.0bar 以下，很难达到流量要求时，尽可能控制进水压力，以不出产水为标准。一般进水压力不能大于 4.0bar。

(3) 清洗频率

条件允许的情况下，建议经常对系统进行清洗。增加清洗的次数比延长 1 次清洗的时间更为有效。一般清洗的频率推荐为 1 天 1 次以上。根据具体的情况，顾客可以自行规定清洗的频率。清洗用水一般使用合格的预处理产水即可，清洗时的流量、时间以及压力条件归纳在表-3 中。

表-3 清洗条件

膜尺寸 (inch)	压力 (bar)	频率 (次/日)	时间 (分)
8	3.0 以下	1 次以上	10-15
4	3.0 以下	1 次以上	10-15

清洗步骤

(1) 停止装置

缓慢地降低操作压力，逐步停止装置。急速停车造成的压力急速下降会形成水锤，将会对管道、压力容器以及膜元件造成冲击性损伤。

(2) 调节阀门

首先全开浓缩水阀门；然后关闭进水阀门；接着全开产水阀门(如关闭系统后关闭了产水阀门)。如果错误的关闭产水阀门，压力容器中的后端的膜元件可能因为产水背压而造成膜元件机械性损伤。

(3) 清洗作业

首先启动低压清洗泵；然后缓慢地打开进水阀，同时观察浓缩水流量计的流量；调节进水阀门直至流量和压力调节到设计值；最后在 10-15 分钟后慢慢地关闭进水阀门，停止进水泵。

8.5 化学清洗

化学清洗药品的选择与使用

选择适宜的化学清洗药剂及合理的清洗方案涉及许多因素。首先要与设备制造商、RO 膜元件厂商、或 RO 特用化学药剂及服务人员取得联系。确定主要的污染物，选择合适的化学清洗药剂。有时针对某种特殊的污染物或污染状况，要使用 RO 药剂制造商的专用化学清洗药剂，并且在应用时，要遵循药剂供应商提供的产品性能及使用说明。特殊情况下可针对具体情况，从反渗透装置取出已发生污染的单支膜元件进行测试和清洗试验，以确定合适的化学药剂和清洗方案。

为达到最佳的清洗效果，有时会使用多种化学清洗药剂进行组合清洗。典型地程序是先进行低 pH 值清洗，去除矿质垢污染物，然后再进行高 pH 清洗，去除有机物。有些情形下，是先进行高 pH 清洗，去除油类或有机污染物，再进行低 pH 清洗。有些清洗溶液中加入了洗涤剂以帮助去除严重的生物和有机碎片垢物，同时，可用其它药剂如 EDTA 螯合物来辅助去除胶体、有机物、微生物及硫酸盐垢的。需要慎重考虑的是如果选择了不适当的化学清洗方法和药剂，污染情况会更加恶化。

使用化学清洗药品时需要符合以下准则：

(1) 选用的专用化学药剂，首先要确保其已由化学供应商认定并符合用于海德能公司膜元件的要求。药剂供应商的指导和建议不应与海德能公司此技术手册中推荐的清洗参数和限定的化学药剂种类相冲突。

(2) 如果正在使用指定的化学药剂，要确认其已在此海德能公司技术手册中列出，并符合海德能公司的要求。

(3) 影响清洗效果的因素是多方面的，应该采用组合式方法完成清洗工作，包括适宜的清洗 pH、温度及接触时间等参数，这将会有利于增强清洗效果。

(4) 在推荐的最佳温度下进行清洗，同时应尽可能减少化学药剂与膜元件的接触次数，以求达到最好的清洗效率和延长膜元件寿命的效果。

(5) 应该谨慎地控制清洗液的 pH 值范围，可延长膜元件的使用寿命。保守的 pH 范围是 4-10，允许使用的最大 pH 范围为 2-12(见表-6)。

(6) 典型地、最有效的清洗方法是从低 pH 至高 pH 溶液进行清洗；对油污染膜元件的清洗不能从低 pH 值开始，因为油在低 pH 时会固化。

(7) 当清洗多段反渗透装置时，最有效的清洗方法是分段清洗，这样可控制最佳清洗流速和清洗液浓度，避免后段的膜元件受到前段污染物的堵塞。

(8) 如果系统已发生生物污染，就要考虑在清洗之后加入一个杀菌剂化学清洗步骤。杀菌剂必须可在清洗后立即进行，也可在运行期间定期进行（如一星期一次）连续加入一定的剂量。必须确认所使用的杀菌剂与膜元件相容，不会带来任何对人的健康有害的风险，并能有效地控制生物活性，且成本低。

(9) 为安全起见，要确保在清洗时所有的软管和管路可承受清洗温度、压力和 pH 条件下的操作；

(10) 为保证安全，溶解化学药品时，切记要慢慢地将化学药剂加入充足的水中并同时进行搅拌；

(11) 从安全方面考虑，不能将酸与苛性(腐蚀性)物质混合。在要使用下一种溶液之前，应从 RO 系统中彻底冲洗干净滞留的前一种化学清洗溶液。

海德能推荐的清洗药品

表-4 列出了在清洗不同的污染物时所推荐的化学溶液。

重要提示：要从化学品供应商处力求得到化学药剂的性能参数、操作指南和安全注意事项，并且在处理和保存所有化学品时严格按照说明书要求执行。

表-5 “ 海德能公司清洗液配方 ” 提供的清洗溶液是将一定重量(或体积)的化学药品加入到 100 加仑(379 升)的洁净水中(RO 产品水或不含游离氯的水)。溶液是按所用化学药品和水量的比例配制的。溶剂是 RO 产品水或去离子水，无游离氯和硬度。清洗液进入膜元件之前，要求彻底混和均匀，并按照目标值调节 pH、温度。常规的清洗方法基于用化学清洗溶液循环清洗 1 小时和 1 种任选的化学药剂浸泡一小时的操作而设定的。

表-4 海德能公司推荐的化学清洗溶液

污染物	弱洗时	强洗时
碳酸钙垢	1	4
硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢	2	4
金属氧化物/氢氧化物(铁、锰、铜、镍、铝等)	1	5
无机胶体污染物	1	4
无机/有机胶体混合污染物	2	6
聚合硅沉积物	无	7
微生物类	2	3 或 6
天然有机物(NOM)	2	3 或 6

表-5 海德能公司清洗液配方(以 100 加仑，既 379 升为基准)

编号	主要组份	药剂量	pH 调节值	最高温度
1	柠檬酸 (100%粉末)	17.0 磅 (7.7 公斤)	用氨水调节 PH=4.0	40
2	三聚磷酸钠 (100%粉末) NA-EDTA (100%粉末)	17.0 磅 (7.7 公斤) 7.0 磅 (3.18 公斤)	用硫酸或盐酸调节 PH=10.0	40
3	三聚磷酸钠 (100%粉末) 十二烷基苯磺酸钠 (100%粉末)	17 磅 (7.7 公斤) 2.13 磅 (0.97 公斤)	用硫酸或盐酸调节 PH≤10.0	40
4	盐酸 (36%HCl)	0.47 加仑 (1.8 升)	用盐酸缓慢调节 PH≤2.5	35
5	亚硫酸氢钠 (100%粉末)	8.5 磅 (3.86 公斤)	用氢氧化钠调 PH≥11.5， 再加盐酸调 PH≤11.5	35
6	氢氧化钠 (100%粉末) 十二烷基磺酸钠 (100%粉末)	0.83 磅 (0.38 公斤) 0.25 磅 (0.11 公斤)	用氢氧化钠调 PH≥11.5， 再加盐酸调 PH≤11.5	30
7	氢氧化钠 (100%粉末)	0.83 磅 (0.38 公斤)	用氢氧化钠调 PH≥11.5， 再加盐酸调 PH≤11.5	30

表-6“清洗液 pH 和水温极限的关系”表明了对特定膜元件的最大 pH 和温度极限值，超出这一限制会造成不可恢复的膜元件损坏。海德能公司建议的最小清洗温度极限是 21°C，因为在较高温度下清洗效力和清洗药剂的溶解性会有明显改善。

表-6　清洗液 pH 和水温极限的关系

产品	清洗液 pH 值		
	45℃(T>35)	35℃(T>30)	30℃以下
CPA	2-10	2-11.5	2-12.0
ESPA	2-10	2-11.5	2-12.0
LFC	2-10	2-11.5	2-12.0
SWC	2-10	2-11.0	2-12.0
ESNA	3-10	2-11.5	2-12.0

在清洗过程中，污染物会消耗清洗药品，pH 值会因此发生变化，同时药品的清洗效力会降低。化学清洗时需要随时监测 pH 值的变化，及时调节 pH 值。一般测定 pH 值偏离设定 pH 值 0.5 以上时，需要再进行化学药品添加。

清洗液介绍

溶液 1

2.0%（W）柠檬酸（$C_6H_8O_7$）的低pH（pH值为 4）清洗液。对于去除无机盐垢（如碳酸钙垢、硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢等），金属氧化物/氢氧化物（铁、锰、铜、镍、铝等），及无机胶体十分有效。

注意：当用氢氧化铵（氨水）向上调节 pH 值时，柠檬酸具有很好的螯合性。这时不能用氢氧化钠调 pH 值。

溶液 2

2.0（W）%STPP（三聚磷酸钠$Na_5P_3O_{10}$）和 0.8%（W）的Na-EDTA混合的高pH（pH值为 10）洗液。它专用于去除硫酸钙垢和轻微至中等程度的天然有机污染物。STPP具有无机螯合剂和洗涤剂的功用。Na-EDTA是一个具有螯合性的有机螯合清洗剂，可有效去除二价和三价阳离子和金属离子。STPP和Na-EDTA均为粉末状。

溶液 3

2.0（W）%STPP（三聚磷酸钠$Na_5P_3O_{10}$）和 0.25%（W）的Na-DDBS[十二烷基苯磺酸钠，C_6H_5（CH_2）12-SO_3Na]混合的pH值为 10 的高pH洗液。该洗液用于去除较重度的天然有机物（NOM）污染。STPP具有无机螯合剂和洗涤剂的功用，Na-DDBS则作为阴离子洗涤剂。

溶液 4

0.5%（W）盐酸低 pH 清洗液（pH 为 2.5），主要用于去除无机物垢（如碳酸钙垢、硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶垢等），金属氧化物/氢氧化物（铁、锰、铜、镍、铝等），及无机胶体。这种清洗液比溶液 1 要强烈些，因为盐酸（HCl）是强酸。盐酸的下述浓度值是有效的：(18°波美=27.9%，20°波美=31.4%，22°波美=36.0%)

溶液 5

1.0%（W）亚硫酸氢钠（$Na_2S_2O_4$）高pH清洗液（pH为 11.5）。它用于去除金属氧化物和氢氧化物，且可一定程度的扩展至去除硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶垢。亚硫酸氢钠是强还原剂，亚硫酸氢钠为粉末状。

溶液 6

0.1%氢氧化钠和 0.03%（W）SDS（十二烷基磺酸钠）高 pH 混合液（pH 为 11.5）。它用于去除天然有机污染物、无机/有机胶体混合污染物和微生物（菌素、藻类、霉菌、真菌）污染。SDS 是会产生一些泡沫的阴离子表面活性剂型的洗涤剂。

溶液 7

0．1%（W）氢氧化钠高 pH 清洗液（pH 为 11.5）。用于去除聚合硅垢，这是一种较为强烈的碱性洗液。

化学清洗系统

(1) 化学清洗设备配置

因为在线清洗时，膜元件放在压力容器中进行清洗，运行装置以外，需要另外设置清洗装置。清洗系统的示意图如图-2 所示。清洗设备一般包含清洗水箱、过滤器、循环泵、压力表、温度计、阀门、取样点、管线等。清洗水箱的容积要保证，连接软管、过滤器、管路和 RO 压力容器内置换用水水量的要求。

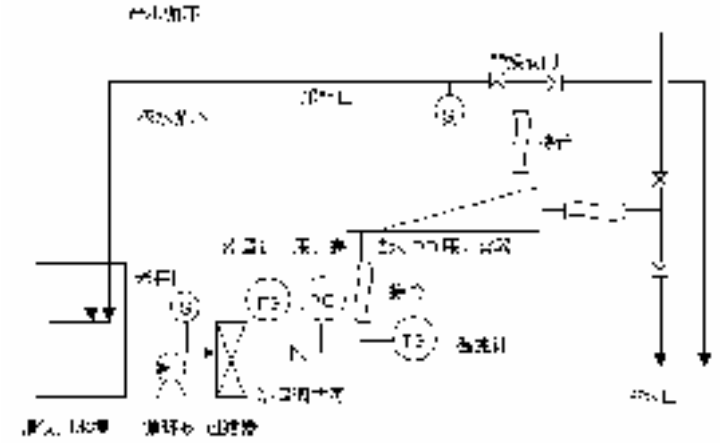


图-2　RO 化学清洗装置示意图

表-7 化学清洗系统规格和配置

设备名称	规格及配置
清洗水箱	水箱材质应选用玻璃钢或聚乙烯 能方便药品添加，应设置搅拌混合措施 清洗水箱底部应设置锥形底，方便箱内液体排尽 应设有液面计观察液位，并标明体积刻度
循环泵	SUS316L 以上材质 循环泵的出口处设有排气口，兼用为取样口 循环泵的扬程不小于 50m
保安过滤器	能除去化学清洗中产生的 5μm以上的粒子
流量计/压力表/温度计	测定清洗流量、压力和温度
取样口	设置在供给水和浓水管路，测定 pH、TDS、电导
配管	软管和聚氯乙稀(PVC)
提携式计量器	pH 计和 TDS 计(或电导仪)
秤/量筒	称量药品(粉末状)　/　称量药品体积(液体药品)

(2) 清洗用水体积计算

计算 RO 膜元件、保安过滤器以及管路的体积，概算所需清洗液的体积，保证清洗液量。RO 膜元件清洗液的体积计算法参考表-8 中。

表-8 单支 RO 膜元件所需清洗液的体积

膜元件规格	常规污染	重度污染
直径 4 英寸长度 40 英寸	9.5 升	19 升
直径 6 英寸长度 40 英寸	19 升	38 升
直径 8 英寸长度 40 英寸	34 升	68 升
直径 8.5 英寸长度 40 英寸	38 升	76 升

注：不包括管路输送、过滤器及初始 20%排放所需的体积量。

(3) 化学清洗流量

表-9 化学清洗时单支膜壳流量(入口压力≤4bar)

	单位 GPM	单位 LPM	单位m^3/h
直径 4 英寸	6-10	23-38	1.4-2.3
直径 6 英寸	12-20	45-76	2.7-4.5
直径 8 英寸	24-40	91-151	5.5-9.1
直径 8.5 英寸	27-45	102-170	6.1-10.2

(4) 清洗用水的水质

因为清洗用水是用于溶解酸和碱等药品，因此建议使用 RO 产水，如果没有 RO 产水时，所使用的水必须是不含硬度、游离氯及铁离子的离子交换水或蒸馏水。

(5) 清洗前的注意事项和准备工作

- 使用药品前，仔细阅读从药品公司处得到的药品安全表格(MSDS)和药品说明；
- 操作时，穿戴安全眼睛、手套、工作服；
- 使用前校正 pH 计；
- 估算所用清洗液体积；
- 保证清洗液进入系统前，所有的清洗药品完全溶解和混合；
- 清洗液的温度和 pH 值范围符合规定值。

化学清洗过程

(1) 在 4Bar(60Psi)或更低压力条件下进行低压冲洗，即从清洗水箱中(或合适的水源)向压力容器中泵入清洁水并排放几分钟。冲洗水必须是洁净的、去除硬度、不含过渡金属(Fe、Mn 等)和余氯的 RO 产品水或去离子水。

(2) 在清洗水箱中配制指定的清洗溶液。配制用水必须是去除硬度、不含过渡金属和余氯的 RO 产品水或去离子水。将清洗液的温度和 pH 应调到所要求的值。

(3) 启动清洗泵将清洗液泵入膜组件内，循环清洗约 1 小时或是要求的时间。在初始阶段，在清洗液返回至 RO 清洗水箱之前，应将最初的回流液排放掉，以免系统内滞留的水稀释清洗溶液。在化学药剂与 RO 装置接触后，装置内的污染物在化学反应的作用下会被大量冲出，为了避免污染清洗液，这些清洗液也应该被排放掉，直至清洗液颜色转淡再进入循环清洗。在循环清洗最初的 5 分钟内，缓慢地将流速调节到最大清洗流速的 1/3。并在第二个 5 分钟内，增加流速至最大设计流速的 2/3，最后再增加流速至最大清洗流速值。如果需要，当 pH 的变化大于 0.5，就要重新添加药品调整 pH 值。

(4) 根据需要可交替采用循环清洗和浸泡程序。浸泡时间可根据制造商的建议选择 1 至 8 小时。在整个清洗过程中要谨慎地保持合适的温度和 pH 值。

(5) 化学清洗结束后，要用清洁水(去除硬度、不含金属离子如铁和氯的 RO 产品水或去离子水)进行低压冲洗，从清洗装置及相关管路中冲洗残留化学药剂，排放并冲洗清洗水箱，然后再用清洁水完全注满清洗水箱。从清洗水箱中泵入所有的冲洗水冲洗压力容器并排放。直至 RO 装置内的残留化学药品基本被清除。

(6) 采用清洁水完全冲洗后，就可用预处理给水进行最终的低压冲洗。给水压力应低于 4bar，最终冲洗持续进行直至冲洗水干净，且不含任何泡沫和清洗剂残余物。通常这需要 15-60 分钟。操作人员可用干净的烧瓶取样，摇匀，监测排放口处冲洗水中洗涤剂和泡沫的残留情况。洗液的去除情况可用测试电导的方法进行，如冲洗水至排放出水的电导在给水电导的 10-20%以内，可认为冲洗已接近终点；pH 表也可用于测定冲洗水与排放水的 pH 值是否接近。

(7) 低压冲洗结束后，RO 装置可以重新开始运行，但初始的产品水要进行排放并监测，直至 RO 产水可满足工艺要求(电导、pH 值等)。这一段恢复时间有时需要从几小时到几天，才得到稳定的 RO 产水水质，尤其是在经过高 pH 清洗后。

系统杀菌

系统的生物繁殖生长是呈数量级增长的过程，大多数系统随着运行时间的延长，在膜表面逐渐累积的无机和有机的污染物就变成微生物繁殖的营养源，因此系统微生物污染与系统运行是同步进行的。RO 系统运行时，定期冲击式大剂量添加杀菌剂或连续少量添加杀菌剂有助于控制系统生物活性，控制生物粘泥的形成和生物膜的生长，防止 RO 系统膜元件因微生物的防止被堵塞。

表-10　可以接触膜元件的杀菌剂

名称	浓度	杀菌效果
异噻唑啉酮 (市售 1.5%溶液)	60-420PPm	毒性低，对环境安全
亚硫酸氢钠 (SBS)	1%的溶液	还原性好氧菌抑制剂 但杀灭效果一般
甲醛 (福尔马林)	0.5-1%的溶液	新膜元件 24h 内禁止接触，食品/饮料/医药用水慎用

虽然可使用氧化类杀菌剂(ClO_2等)对RO装置或RO预处理进行消毒，但与氧化性杀菌剂接触会氧化RO膜，因此严禁氧化药品与RO膜元件直接接触，可以取出RO膜元件后再进行RO装置杀菌。杀菌作业后可以使用SBS中和RO装置残留的氧化药剂，一般 1mg/L的余氯需用 1.8-3.0mg/L的SBS中和。完全无生物繁殖生长的系统是不存在的，系统地生物活性控制与系统设计和运行管理的多个方面有关。

表-11 系统生物活性控制方法

控制方法	原理与效果
控制预处理的生物活性	预处理常用的活性碳可吸附大量有机物和微颗粒，同时活性碳兼具巨大比表面积和多活性微孔特点，这就形成了微生物繁殖的理想场所
管路设计中的死水段	死水段管路的长度需要控制在其直径的 4 倍以内，否则管路内液体的流动不足以扰动死水段内的液体，从而形成流动盲点
管路设计中流速设置	选取管道流速≥2m/s 有助于防止微生物细胞在管路内壁粘附，从而
管路的选材与施工	采用双面抛光的不锈钢管路，使用单面焊接双面成型及内充惰性气体保护施工工艺，能最大限度的保证管路内壁的平滑度
水箱与管路的密封性	水箱与管路与大气相通点均为微生物的侵入点，通过添加空气呼吸器与严格的施工能有效避免二次污染的问题
设置循环管路与连续运行	在系统产水侧设置循环管路可以采用连续的运行方式，在流动状态下微生物的繁殖可以受到有效的抑制
定期对管路和设备进行杀菌	即使作了很多措施，但定期的杀菌仍是控制系统微生物繁殖生长的有效措施

运行单位应该通过严格的系统管理来控制 RO 装置内的生物繁殖，因为很多杀菌剂都可以在短时间内杀灭系统内的生物，同时杀菌剂也能改变生物粘泥层的透水性，清洗后的系统产水量能够得到有效的恢复，但这并不意味着膜元件的性能得到完全恢复，生物粘泥层仍然在膜元件的给水通道内，这些物质将为新的微生物繁殖提供条件，同时膜元件两端的压力差，而将生物粘泥从膜表面剥离是一件非常困难的工作，因此系统生物活性控制是 RO 系统管理非常重要的任务之一。

在线与离线化学清洗

在线清洗是指将膜元件放置在原有膜壳内，直接进行的化学清洗，它是大多数系统采用的主要化学清洗方式，它主要具备以下特点：

(1) 无需拆卸膜壳、工作量小。

(2) 清洗效率高、清洗时间短，能够快速恢复 RO 设备的运行能力。

(3) 在线清洗存在交叉污染。

离线清洗是指，从 RO 装置中取出 1 支膜元件，采用独立的清洗装置进行的化学清洗。离线清洗主要有以下特点:

(1) 对系统中出现问题的膜元件进行针对性的清洗处理。

(2) 大型系统进行清洗前，检验已制定清洗方案的有效性，观察不同清洗药品的效果，并确定最终实施的清洗方案。

(3) 离线清洗能避免前段膜元件的污染物污染后段膜元件。

(4) 在小型系统清洗中，单支膜元件的清洗方式可以增强化学清洗的效果。

(5) 当系统严重堵塞，在线清洗压差过大，流速低时可采用离线清洗方式恢复性能。

(6) 离线化学清洗每次仅能处理 1 只膜元件，效率低、耗时长。

8.6 针对清洗的设计要点

(1) 进水泵需要满足正常运行时的进水流量(进水流量=产水流量+浓缩水流量)，同时也必须满足清洗流量的要求。

(2) 由于 RO 系统运行时采用较高回收率，因此浓水流量相对很小。而清洗作业时，要求低压高流量，几乎全部进水都从浓水管路排出，所以设计浓水管路和阀门时不仅要考虑运行时的流量也要考虑清洗时的流量需要，如果仅仅考虑运行时的流量来设计管路和阀门，清洗时浓水管路以及浓水阀门处的压降升高，就有可能达不到要求的流量或超过清洗要求压力。当然，也可以考虑另外设置清洗专用管路。

(3) 选定流量计时要考虑到可以读取清洗时的最大流量。

(4) 图-3 中描述了多段 RO 系统的管路设计情况，为了能够更有效的清洗膜元件，系统的设计有必要按可分段清洗进行管路设计。首先,对于多段系统来说，段数的增加同时也意味着串联的膜元件数量增加，为了能够达到清洗流量的要求，需要增加进水压力，在这种条件下有可能会超过清洗压力的允许值，膜面的压力升高，使污染物积压在膜表面上，从而降低了清洗的效果；其次，如果进行全段清洗，从前段清洗出的污染物会流入下一段，容易造成第 2 段和 3 段堵塞；最后，对于大多数系统来说，前段膜壳内安装的膜元件的污染程度总是按排列的顺序依次减少的，因此进行可反向清洗的管路设计也是必要的。

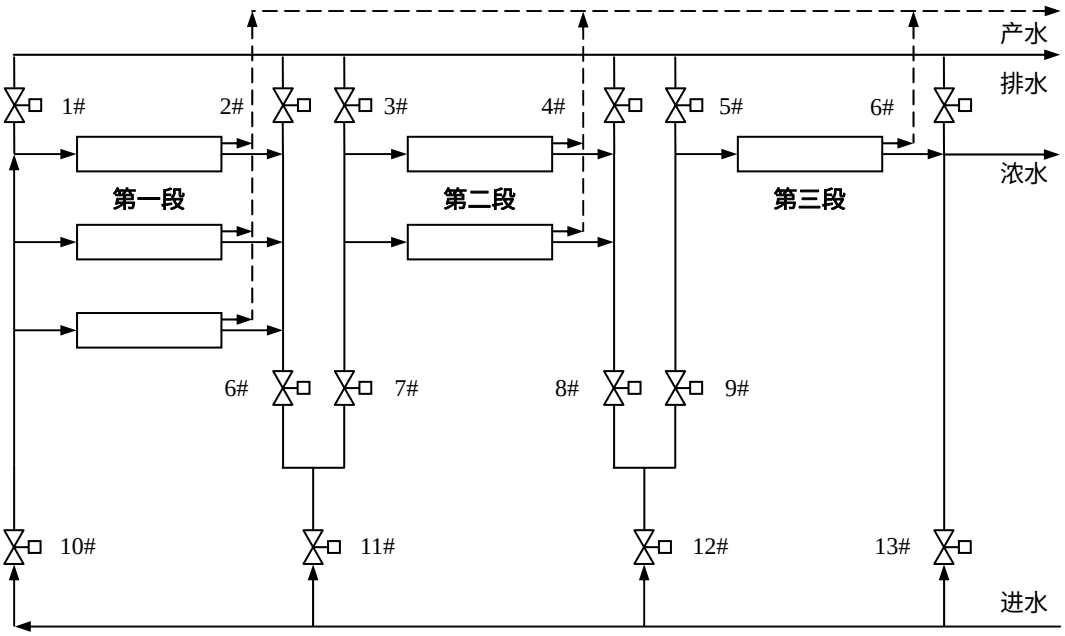


图-3 多段 RO 装置的分段清洗图

(5) 分段清洗的举例(参考图-3)

进行 1 段正向清洗时，全开 10#和 2#阀门，关闭 1#和 6#阀门，清洗进水经 10#阀门进入 1 段膜元件再经过 2#阀门排出。

进行 1 段反向清洗时，全开 11#、1#和 6#阀门，关闭 10#和 2#阀门，清洗进水经 11#和 6#阀门反向进入 1 段膜元件再经过 1#阀门排出。

进行 2 段正向清洗时，全开 11#、7#和 4#阀门，关闭 3#和 8#阀门，清洗进水经 11#和 7#阀门进入 2 段膜元件再经过 4#阀门排出。

进行 2 段反向清洗时，全开 12#、8#和 3#阀门，关闭 4#和 7#阀门，清洗进水经 12#和 8#阀门反向进入 2 段膜元件再经过 3#阀门排出。

进行 3 段正向清洗时，全开 12#、9#和 6#阀门，关闭 5#和 13#阀门，清洗进水经 12#和 9#阀门进入 3 段膜元件再经过 6#阀门排出。

进行 3 段反向清洗时，全开 13#和 5#阀门，关闭 6#和 9#阀门，清洗进水经 13#阀门反向进入 3 段膜元件再经过 5#阀门排出。

8.7 清洗中物理手段与化学手段结合

物理清洗与化学清洗是系统清洗最常用的 2 种方法,而通过清洗恢复膜元件性能才是清洗的真正目的，因此在清洗过程中不应该将物理与化学手段硬性划分，而是应该将两种方法有机结合起来，在严重堵塞时通过一些物理手段来强化清洗效果。

表-12 化学清洗中物理强化手段

结合方式	原理与效果
分段	降低清洗压差，增加清洗流速
反向清洗(浓水至进水)	膜元件的污染按排列依次降低时，反向清洗能避免前段膜元件的污染物污染后段膜元件
交替方向清洗	严重结垢时，清洗液不能经过膜元件，化学药剂不能充分与污垢接触时，正反向清洗增加药剂与污垢接触
长时间浸泡	严重结垢时，延长药剂与污垢接触的时间强化清洗效果

第九章　RO/NF 系统故障诊断和排除

9.1　系统故障概述

产水量和脱盐率是反渗透、纳滤系统的基本性能参数，如果这两项指标达不到系统原设计要求，产水量小或者脱盐率低，就需要找到问题发生的原因。由于进水TDS和温度的波动以及系统机械性能等原因，即使完全没有污染倾向的系统，基本性能指标也会在小范围波动。下面是我们判别系统运行出现故障的参考标准值。

1 参考指标

反渗透、纳滤系统的主要性能参数变化达到以下指标范围时，需要及时进行故障分析，并进行相应的处理。

- 在正常给水压力下，产水量较正常值下降 10～15%；
- 为维持正常的产水量，经温度校正后的给水压力增加 10～15%；
- 产水水质降低 10～15%（产水电导率增加 10～15%）；
- 给水压力增加 10～15%；
- 系统各段之间压力降明显增加。

2 设计提示

远离故障最好的办法是从开始就消灭了发生故障的可能性，在进行系统设计时尽量考虑做到：

- 设计系统时要依据完整的水质分析。对于地表水源要考虑到季节变化的影响，对于普通市政水源要考虑到原水变化的影响，要确认拿到的报告是最新的有效数据；
- 测定RO进水的SDI值，确定胶体污染的可能性；
- 保证预处理的效果；
- 存在污染的可能时，一定要选择较为保守的系统通量。水质洁净的地下水的设计通量可以高一些，地表水的设计通量一定不要超过设计导则规定的数值。降低单位面积的膜通量可以减少污染物在膜面上的沉积；
- 选择较为保守的系统回收率。回收率较低时浓水的污染物浓度也相应较低；
- 膜元件的错流速率要尽量大。较高的错流速率能增加盐分和污染物向进水水流的扩散，降低膜面的浓度；
- 选择适当的膜元件类型。对于比较复杂地表水和废水来说，低污染LFC膜比CPA膜更为适用。

3 故障原因基本类型

系统发生产水量减少和水质下降问题的原因比较复杂，可以简单归纳出几种类型：

- 进水TDS增加、水温波动、运行参数调整等原因造成的性能变化不属于故障范围。
- 系统硬件故障：O型圈密封泄漏、膜氧化、机械故障等；需要更换或修理故障元器件。如果是膜

氧化，要找到氧化的原因，消除氧化剂来源，更换膜元件。

- 膜污染；膜污染是处理系统故障的核心工作，需要确定污染物类型、污染程度和污染分布，在此基础上进行清洗恢复。
- 系统设计失误，系统设计问题可能与前面的几项都有关。对于有设计失误的系统，在恢复系统元器件性能之后，一定要对系统进行改造，纠正原有错误。

9.2 运行参数对系统性能的影响

在系统发生问题时，首先要做的是确认问题的性质，消除温度、进水 TDS、产水量和回收率的影响，获得标准化性能参数。依据上述标准判断系统是否处于故障状态，是不是发生了膜污染。

系统操作参数的变化对与系统的性能有影响。比如， TDS每增加100ppm，由于渗透压增加了，进水压力要增加0.07bar，产水电导也会相应上升。进水温度增加6.6℃，进水压力降低15%。提高回收率会提高浓水浓度和产水电导（回收率为50%、75%和90%时，浓水的浓度分别为进水的2倍、4倍和10倍）。在回收率相同时，降低产水量会提高产水电导，原因是用来稀释透过盐分的水量少了。

要通过数据的标准化来确定系统是否有问题。可以借助海德能的系统数据标准化软件RODATA，来求得标准化的产水量、脱盐率和进水-浓水压力降。通过标准化消除了温度、进水TDS、回收率和进水压力的影响。将系统目前的标准化性能参数与与运行第一日的标准化数据进行对比，就可以确定系统性能的变化情况。

以下将列举的是运行参数对膜的性能有正常影响，这些影响可能会导致产水量和质量的下降。

1 产水量下降

下列运行参数的变化将降低系统中膜的实际产水量：

- 进水泵压力不变时进水温度下降；
- 用节流阀降低RO进水压力；
- 进水泵压力不变时增加产水背压；
- 进水TDS（或电导率）增加，这会增加产水通过膜时所必须克服的渗透压；
- 系统回收率增加，这会增加系统的平均进水/浓水的TDS，从而增加渗透压；
- 膜表面发生污染；
- 进水流道网格的污染导致进水－浓水压力降（ΔP）增加，从而降低了元件末端的NDP（总驱动压力）。

2 产水品质下降

下列运行参数变化会导致实际产水水质劣化，即产水的TDS和电导率增加：

- 进水温度上升时通过调节运行参数保持系统产水量不变；
- 系统产水量下降，这会降低膜通量，导致原来稀释透过膜的盐分所需的纯水量减少；
- 进水TDS（或电导率）增加，脱盐率不变，但产水盐度随之增加；
- 系统回收率增加，这会增加系统的进水/浓水TDS浓度；
- 膜面污染；

- O型圈密封损坏；
- 望远镜现象，进水-浓水压力降过大，膜元件外皮脱落；
- 膜面损坏（比如受到氯的影响）致使膜的透盐率增加。

9.3 发生故障的常见原因

系统故障可以划分为两个类型：产水量小，脱盐率低。回答以下问题会有助于找到发生故障的原因。

1 产水量下降时

膜污染会造成产水量下降，检查以下提问来寻找发生问题的原因。

- 是否正常关闭系统？在一些情况下，要在装置关闭之前要用反渗透产水冲洗系统浓水，否则无机污染物会在膜面上沉积。
- 停机保护是否得当？在系统停机期间没有采取适当的保护措施，会导致严重的生物膜生长（特别是在温暖的环境中）。
- 加酸或阻垢剂是否达到了要求的pH值或饱和指数？
- 进水和浓水之间的压力降是否超过了15%？压力降地增加标志着进水流道受到了污染，膜面水流被限制。检查各段的压力降情况，确定发生问题的位置。
- 在海水系统中，关机时是否对系统进行了产水冲洗？快速冲走膜面的高浓度盐分，可以防止离子从溶液中沉淀出来。
- 保安过滤器是否污染？

2 脱盐率低

- 低脱盐率时，产水电导率高。可能的原因有膜污染、膜降解和O型圈损坏。确认产水电导增加是否超过了15%。
- 各段膜组件的产水电导率一样吗？逐段测试产水电导，尽可能每个膜组件都测。产水电导率明显高的组件可能有O型圈或膜元件损坏。要对该组件进行填垫和探测。
- 膜元件是否与氯或其它强氧化剂有接触？任何氧化环境接触都会损坏膜元件。
- 仪器经过校准了吗？确认所有的仪器都经过校准。
- 膜元件的外观有变色或损坏吗？观察膜元件污染物及损坏物理情况。
- 进水的实际电导率和温度与原设计指标有差别吗？如果实际进水的TDS或温度高于原设计指标，产水水质达不到设计值是正常的。要对进水、浓水和产水进行取样分析，与海德能设计指标进行对比。
- 发生过产水压力超过进水压力的情况（产水背压）吗？如果产水要提升到较高位置，管道上又没有安装逆止阀，停机时产水压力会超过进水，膜叶会膨胀破裂。
- O型圈有问题吗？O型圈会因老化而失去弹性或破裂，导致泄漏。周期性更换O型圈，或者定期探测膜组件。

3 膜污染

如果以上问题都解决了，而系统依然没有恢复，还要考虑以下提问：

- 一旦排除了所有机械故障，就需要确定污染物并实施清洗。
- 分析清洗出来的污染物及清洗液的颜色和pH的变化。重新投运系统可以确认清洗效果。
- 如果不知道是什么污染物又缺乏现场经验，可以委托专用清洗剂供应商对膜元件进行分析并提出清洗方案。
- 如果所有尝试都没有结果，就需要对膜元件进行解剖。打开膜元件进行膜面分析和污染物分析，以确定发生问题的原因和解决方案。
- 一些污染物影响系统的前端，一些污染物在后端更为严重。故障诊断一览表(表-1)对于判断污染物的性质非常有用。

表-1 膜系统故障诊断一览表

污染种类	可能污染位置	系统压降	进水压力	脱盐率
金属氧化物污染（Fe，Mn，Cu，Ni，Zn）	一段，最前端膜	迅速增加	迅速增加	迅速降低
胶体污染（有机和无机混合物）	一段，最前端膜	逐渐增加	逐渐增加	轻度降低
无机结垢(Ca，Mg，Ba，Sr)	后段，最末端膜	迅速增加	增加	降低
二氧化硅沉积物	后段，最末端膜	一般增加	增加	一般降低
生物污染	任何位置，通常前端	明显增加	明显增加	一般降低
有机物污染	所有段	逐渐增加	增加	降低
阻垢剂污染	后段最严重	增加	增加	一般降低
氧化损坏(Cl_2，O_3，$KMnO_4$)	一段最严重	一般增加	降低	降低
膜水解（pH 值过高）	所有段	一般降低	降低	降低
膜面磨损(碳粉、砂粒等颗粒物)	一段最严重	一般降低	降低	降低
O 型圈渗漏（内连接管或适配器）	无规则	一般降低	一般降低	降低
膜元件渗漏（产水背压造成）	最末端膜元件	一般降低	一般降低	迅速降低

9.4 探针法——压力容器内脱盐率下降原因的诊断

RO 装置的产水是由装置内所有压力容器产水汇集而成的。RO 装置脱盐率下降有时是由于个别压力容器脱盐率下降而引起的，故首先应检查各个压力容器的出水电导率，找到产水水质异常的压力容器。然后对这些压力容器进一步检查确定原因。一支压力容器内串连有若干支膜元件，两端膜元件由适配器与压力容器端板连接，中间各支膜元件由产水连接管连接，适配器与连接管均装有橡胶 O 型圈密封。故一支压力容器出水水质异常原因有以下几种：

- 膜元件损坏；
- 适配器损坏或 O 型圈泄漏；
- 连接管损坏或 O 型圈泄漏。

为了确定上述原因，可用探针法进行探测，所谓探针法是将一支塑料软管插入位于压力容器端板中心的产水管口，在插入不同的长度处引出产水并测量电导率，以确定电导率偏高的位置。以 8 英寸压力容器

为例，探测步骤如下：

- 停止 RO 装置运行。
- 拆除被测压力容器端板上的产水管口的堵头。
- 在原来堵头的位置上安装一个球阀。
- 准备一根外径 8-12mm，有足够长的塑料软管，并在软管眼长度方向上，每隔 0.5m 做一刻度标记。
- 启动 RO 装置，系统运行 15 分钟后打开球阀，插入塑料管，一直插到压力容器另一端的端板处。
- 打开球阀并将软管插入探测器，要求将软管插至压力容器的全长的深度。
- 一分钟后测量软管中流出的产水电导。
- 将软管抽出 0.5m，等待一分钟后再测量产水电导并记录软管插入的深度。
- 重复进行上一个步骤操作直至测量完压力容器全长。
- 比较长度方向上的电导值，找出电导率异常的位置。

9.5 膜元件分析

1 目测与称重

目测

系统发生明显污染时，在压力容器中会形成可见的污染物累积。在确定系统已经发生污染，需要实施化学清洗时，最好先打开压力容器端板，直接观察污染物在压力容器端板与膜元件之间的间隙内累积的情况。一般根据直接观察即可基本确定污染物的类型，确定相应的清洗方案。

前端污染观察：预处理滤料泄漏（砂粒、活性炭颗粒）、胶体污染、有机物污染和生物污染在前端影响最严重，可以从前端膜元件入口观察到颗粒物及粘液状污染。发生生物污染时会发现腥臭味粘液物质，灼烧刮取的生物粘泥（粘膜），会有蛋白质的焦臭气味。

末端污染观察：无机盐结构在系统末端浓水排放处最为严重，在末端膜元件端头处可以摸到粗糙的粉状物。

称重

污染的膜元件进水流道附着了污染物，整体重量会加大。将取出的膜元件竖放置，沥干水分后称重，与海德能膜元件标准重量进行对比。多余的重量即为附着污染物的重量。

表-2 海德能膜元件湿态重量

膜元件类型	湿态重量（kg）	
	8040	4040
ESPA	16.4	3.8
CPA	15	3.8
LFC	16.3	3.8
SWC	18.1	4.1

2 性能测试

在膜元件解体前实施。但若确定已有附着污垢，为了正确的推断污垢的成分和含量，我们推荐在不进行性能检测的状态下实施分析。因此若是在有确保 2 支样品的情况下，一支用于性能检查，一支直接解体是最佳的方案。

膜元件的性能检查中必须检测下列项目

- 真空保持检查・水密检测

膜元件･平膜的破损和破损位置的确定。

- 用标准测试液，对脱盐率、产水量、压差的测试

膜破损、膜性能劣化、污染、流路堵塞的确认和连接管是否不良的判断。

通过以上的性能检测和出厂数据进行对比、确认性能变化状况。在压差的测定中使用压差检测计，测试中要测到 1kPa 的单位。新膜元件出厂时约在 23kPa 左右。

3 解剖

- 拍摄膜元件的外观照片（全体和两端面的特写）
- 取下两端的端板，原水的流动方向需要清晰的注明。
- 把外层的玻璃钢纤维取走。
- 把膜组件打开，调查每片膜叶，对膜叶的全体或者必要的部分进行拍照。为了让看照片时就能明白膜叶上何处为原水侧，何处为浓缩侧，事先标注或作上记号。
- 有大量的污染物时，需要采集污染物。

为了分析对膜表面，符合 FT-IR 的分析条件，最少取样需 40x20mm 的一角。

4 染色

想确定膜的性能劣化或者膜元件破损位置的时候可以进行染色测试。若要同时进行污染分析的话，最好用另外样品进行分析。

使用染料：direct blue（分子量约 1000）或者 ultra violet（分子量约 300）

浓度：适量、压力：该膜元件的检查压力，加压时间：约 10 分钟。

染色后，膜元件进行解体，就可以确定膜的破损、膜元件密封的泄漏等缺陷位置。

5 红外光谱 FT-IR

根据 FT-IR 的分析，可以得到以下数据信息。

- 由于化学变化而造成的膜的性能劣化情况

根据和新膜图谱的对比，如果有官能团的特征峰减少的话，可以判断摸有化学变化，但是在有许多污染物附着在膜表面时无法判定。

- 膜上污染物的鉴别

根据和新膜向比较的差谱分析方法，测定污染物的吸收曲线可以推测出其主成分。与标准物质的吸收光谱作比较得出污染物的组分。

若污染物物可以采集，直接用 FT-IR 测试，也可以判断污染物的成分。

- 可以就污染物成分判断是悬浮物、胶体物质(金属氧化物、微生物污染、絮凝剂等）或结垢物质（碳酸钙、硅、硫酸钡等)。
- 膜面紧密吸附物质

吸附层一般很薄，而 FT-IR 的分析深度是 100μm，因此对于很薄的吸附层显得办法不多。可以用大量的超纯水抽取，然后减压蒸馏浓缩后可以用 FT-IR 测试。关于吸附物质的判定请专门咨询该类专家。

- 仅用 FT-IR 无法单独判别。必须结合 XMA 等其它测试结果对污染物进行判断。

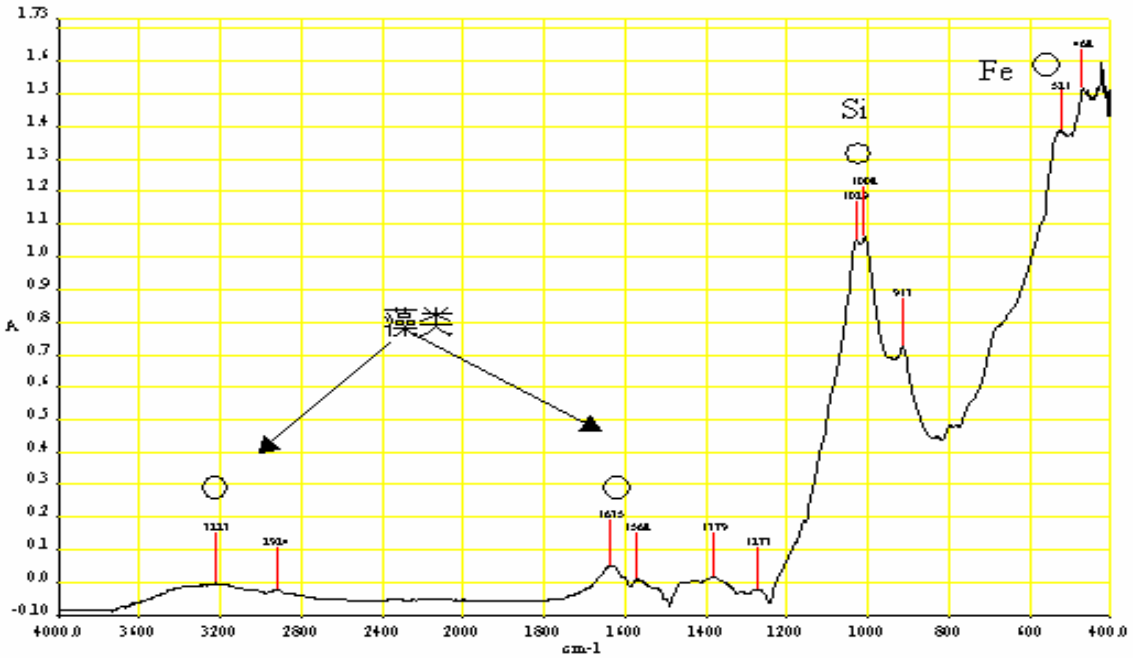
6 扫描电镜 SEM 及 X 射线 XMA

通过 SEM，XMA 的分析，可以得到以下信息：

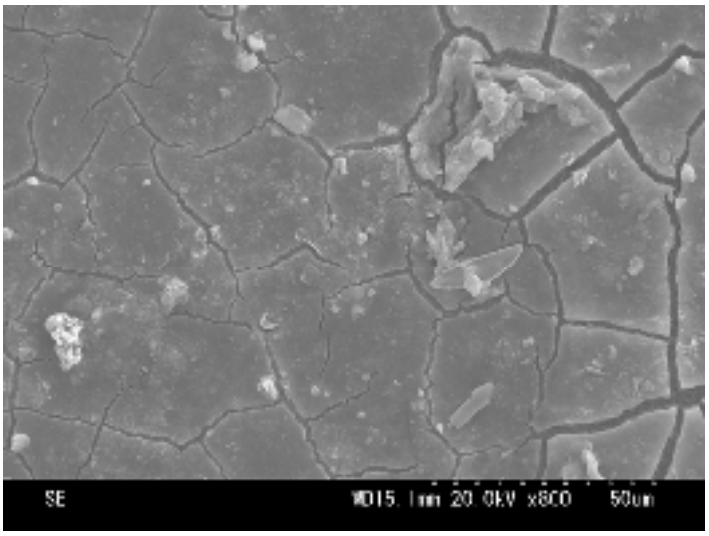
- 用 SEM 可以观察膜及污染物的外观、判断膜的破损状况并推测污染物。污染物的大概类型，比如是结晶性或非结晶性，是否细菌性沉淀渣等。还可以观察膜表面附着部分的污染程度。但要知道的是 SEM 只能对非常窄小的部分进行观察，因此需要多个的样品通过观察才可以做出判断。
- 用 XMA 可以对膜上附着污垢的无机元素进行推断。(C 以上的原子量的元素）

为了调查附着频度，要对 SEM 的视野整体内的频谱和点对污染物的频谱进行分析。对特定的元素也可以测定其附着位置。

附着的元素和用 FT-IR 所得的化合物吸收对应组合，可以推断污染物。例如通过 XMA，看出有 Si，Fe 的附着，SEM 发现澡类物质，用 FT-IR 发现有 Si,Fe 和微生物的吸收光谱，参考标准的频谱，可以判定有 Si，Fe 和澡类污染的存在。参看图-1 和图-2。



图—1 FT-IR 差谱分析示意图



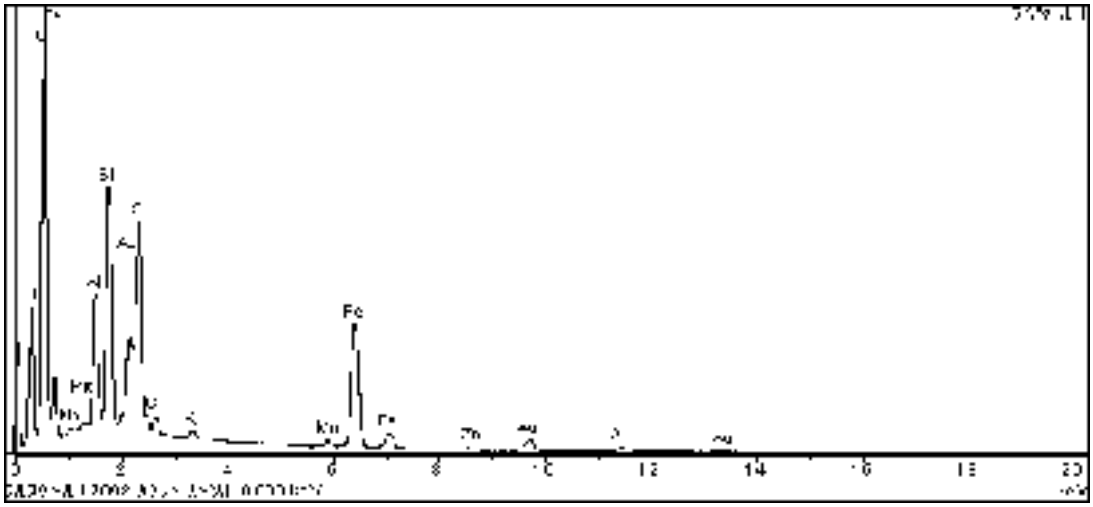


图-2 SEM&X 射线分析结果示意图

9.6 故障处理一般步骤

1 数据分析、现场调查

数据分析和现场调查工作是进行诊断、排除系统故障的基础，要对系统运行实际数据进行全面分析，跟踪系统性能指标变化的细微过程，掌握现场运行过程中所有相关事件的具体情况。

- 开始变化的时间点及相关事件。
- 进水水质或水源的变化：TDS、温度、SDI、余氯、个别离子浓度、pH。
- 系统运行参数的调整及结果。
- 系统性能变化时相关的特殊事件，比如开关机、关机保护措施（关机系统快冲、停机保护、高压泵前中间水箱停留时间等）、更换保安过滤器滤芯、产水用水量变化、操作人员变化等。
- 系统加药的变化：阻垢剂、分散剂、还原剂、加酸、预处理系统加药，包括药剂供应商的变化。

- 变化的方式确认，比如缓慢的平稳变化，较快的但均匀的变化，加速的变化，突变，

2 数据标准化

确认系统性能参数下降的实际值，排除水质及运行参数变化对系统性能的影响。

3 运行IMSdesign

核查系统设计的合理性，检查系统预置参数可能存在的问题。膜元件选型、膜元件排列方式、泵配置、系统运行参数、结垢倾向、浓差极化比、预测产水水质等。

4 压力容器探测

发现问题膜元件，绘制系统脱盐率分布图，了解系统脱盐率下降的规律性，为污染性质判断提供依据。

5 O型圈检察

更换损坏O型圈。

6 膜元件污染观察分析

首末端膜元件端头目测观察，膜元件称重，污染物化学分析和仪器分析，确定污染物的物理化学特性。

7 污染原因分析

查明系统污染的原因，尽量从源头控制膜污染。

8 清洗方案

根据污染物及污染状况分析，制定化学清洗方案。

9 清洗试验

对于大系统或污染严重的膜系统，需要在实施系统清洗之前进行试验清洗，清洗试验结果作为系统清洗方案的直接依据。

10 系统清洗注意事项

- 严重结垢的膜元件，如果初期流量过大、反应太快，崩解的垢块会堵塞进水/浓水流道，造成膜元件损坏（划伤膜面、无法进行继续清洗，严重时膜元件会爆裂）。因此优先选择柠檬酸，清洗初期严格控制清洗流量。
- 加热清洗液到35℃会加快反应速度，保证清洗效率。
- 在一般情况下，首先使用低pH清洗液。
- 在局部污染明显时可以采用分段清洗。
- 为了提高清洗效果，可以适当延长浸泡时间，必要时可浸泡过夜。

9.7 其它常见故障

1 膜元件安装

蹿动：膜元件与压力容器的安装尺寸可能会有一定误差，如果膜元件之间或膜元件与适配器之间留有间隙，会造成膜元件蹿动，

润滑剂使用不当：使用凡士林或油质润滑剂会导致严重的负面影响。

使用警告：

任何时候不允许使用石油类（如化学溶剂、凡士林、润滑油及润滑脂等）的润滑剂用于润滑 O 型圈、连接管、接头密封圈及浓水密封圈的润滑!!

允许使用的润滑剂为水溶性的润滑剂，如丙三醇（甘油）等。

2 系统调试初期冲洗不够

海德能膜元件新品使用亚硫酸氢钠保护液，如果冲洗不够，残留保护液成份会致使产水电导率高于设计指标。正常情况下应冲洗 30 分钟以上。

3 预处理故障

漏砂、漏碳、铁锰超标、絮凝剂残余、SDI 高

4 产水染菌

由于 RO 产水中没有任何抑菌性成份，如果产水与染菌空气接触，便会在产水管道、膜元件中心管内及产水流道中形成感染。在产水中会发现不明丝状悬浮物。产水染菌现象一般发生在不规则间歇运行的小型系统中。

处理方法：产水系统消毒。用反渗透产水配置 1%食品级亚硫酸氢钠溶液，灌满产水系统管道，包括膜元件产水流道。浸泡过夜后排放，运行冲洗 2 小时以上，直到产水电导率达标。

第十章 海德能公司反渗透膜元件质量保证书

海德能公司(以下简称卖方)对本公司生产的卷式反渗透膜元件提供以下的质量保证。

10.1 工艺及材料保证

在买方依据本公司膜元件技术样本及技术文件的规定，正确使用和维护膜元件的条件下，如出现因膜元件制造工艺及材料方面引起的质量问题时，自产品到达买方指定口岸之日起 12 个月内，卖方负责保修。

10.2 性能保证

1 依据产品样本规定的测试条件，膜产品具有该产品样本中所规定的初始性能。

2 在三年内卖方对聚酰胺复合膜性能提供如下保证：

在产品样本规定的测试条件下，采用海德能公司 RO Data 程序标准化后的平均盐透过率不超过初始盐透过率的 1.5 倍；

在产品样本规定的测试条件下，其平均产水量不低于初始产水量的 80%。

初始性能为系统启动后连续运行 3600 小时后的数据。

3 自系统启动或膜元件装运发往目的地之日算起六个月后卖方开始提供三年担保。

4 担保条件：

在保修期内，买方负有以下义务：

保证给水浊度≤1NTU 或 SDI(15)≤5，给水温度≤45°C，给水中不含无机或有机的可能对膜造成物理及化学损伤的有害物质；

不应将聚酰胺复合膜元件暴露于含有诸如氯气或次氯酸根离子等氧化性物质的给水中；

安装使用前，膜元件应存放在原包装箱中，保存温度为 0-45°C;

膜元件的最高使用压力为：

对于 ESPA、ESNA、CPA、LFC 系列 600psi (4.16MPa)；

对于 SWC 系列 1000psi (6.9MPa)

任何情况下，膜元件均不允许出现背压，即透过水的压力大于给水/浓水侧的压力；

在标准条件下系统性能下降 10%，或当显然发生了结垢或污堵时，应及时进行清洗；

反渗透系统的排列、回收率、设计参数应符合相关的标准；

操作人员应了解 RO 系统性能，操作前须经必要培训，并具有一般保养及事故诊断知识；买方应保留 RO 系统操作记录，保证数据真实、完整和连续，便于分析查找故障原因。如违反以上保修条件，即使在质保期内，海德能公司也不再承担保修责任。

1 本保证书是我公司正式保证书 (英文) 的中译本，当解释发生争议时，以英文原文为准。

5 保修责任

在保修期内，卖方保修责任可以如下几种方式进行：
免费修理所有出现问题的膜元件，使其恢复正常；
买方退回有问题的元件，经卖方检验，确属卖方责任时，免费更换新元件并退还买方运费；
根据实际使用天数，按比例赔偿。

第十一章　海德能公司退货程序（RGA)

本公告所提供的信息和程序说明是为膜元件退回海德能公司作检测或更换时使用的。

11.1　膜元件退货评估程序

以下前提条件适用于所有退回海德能公司要求评价的膜元件：
退货必须要得到海德能公司 RGA 部门人员的认可；
用户或工程公司必须完成 RGA 情况登记表，交给海德能公司，会得到 RGA 登记号和货运号；
膜元件在退回做检测和/或评价时，用户或工程公司必须提供购买合同号；
如果没有购买合同号，海德能公司将不受理膜元件的评价；
客户必须先行支付膜元件的运费，得到海德能公司的特殊认可的情形除外；
送回膜元件的包装上必须标明海德能公司提供的 RGA 号码和 RGA 货运号。
注意！
在没有得到海德能公司认可时退回的产品，海德能公司将拒收或退回该产品。

11.2　包装和储存

1 运输之前，膜元件应该按照海德能公司技术公告中 101、103、108(http://www.membranes.com)条款中的规定，根据不同膜型号的要求保护和储存。

2 运输时，膜元件应该装在密封的塑料袋中，放在纸箱里以免机械损伤，并防止干燥和避光保存。

注意！
在海德能公司同意退回膜元件后，用户应尽快寄出膜元件，以确保膜元件的性能不会因存放时间过长而改变，也是为了在规定时间内完成膜的评价。

11.3　退回膜元件的检测程序

海德能公司将依据损坏情况完成以下一个或多个评价步骤：

1　膜元件的查看和重新检测（非破坏性实验)

目的是查看膜元件的完好性(如:中心管,膜卷蹿动情况,外包装等)及检测可能存在的严重机械性泄漏
这部分程序包括：
外观检查
称重
真空和/或空气加压实验（如果需要)
按照标准条件重新检测的数据会与出厂时的检测数据进行比较。
膜元件重新检查的费用：
2 英寸至 4 英寸膜元件——50 美元/支

6 英寸至 8 英寸膜元件——105 美元/支

如果膜元件被解剖，将不收取重新试验和检查的费用。

2 膜元件整体解剖检验（破坏性检验）

整体解剖测试的目的是为检查膜元件内部情况。检查粘接线的完好性和膜表面污染物的附着情况。

这个程序包括：

染色实验（如果需要）

分解膜元件

肉眼检查膜元件结构

肉眼检查膜表面

检查粘接丝

平膜实验确定产水量和脱盐率

膜元件解剖检验的费用：

400 美元/支

3 膜元件局部解剖（破坏性检验）

局部解剖膜元件目的是为获得平膜样品作进一步实验室分析，包括电镜扫描、X 光分析、膜片样品实验和/或其他评价需要所做的实验。

膜元件局部解剖费用：100 美元/支

4 实验室仪器分析项目

目的是分析膜表面的情况和表面污染物的组成。

这里可能包括：

膜表面的光学显微镜检测（海德能公司执行）

膜表面的扫描式电子系统检测（海德能公司执行）

表面污染物的 X 光衍射检测（海德能公司执行）

膜表面和污染物的红外光谱检测（外部委托执行）

X 射线荧光分析污染物（外部委托执行）

平膜实验分析和/或产水量、脱盐率平膜测试

实验室仪器分析费用：

如果需要，300 美元/每个程序

只做平膜检测——50 美元/每个样品

5 实验室化学分析

实验室化学分析是为确认系统中或膜元件中污染物的化学成分。

这个程序可能包括：

污染物成分分析

水样成分分析

所用化学清洗剂成分分析

实验室化学分析费用：

100 美元/每个程序

6 其它分析：具体费用根据实际发生费用计算。

7 膜元件的 FRP 外皮的重新制作

目的是更换膜元件的 FRP 外皮以供重新使用。通常情况下海德能公司对重新更换外皮的膜元件不再提供膜性能担保。

膜元件 FRP 外皮的重新制作费用：

4 英寸膜元件——85 美元/支

6 英寸至 8 英寸膜元件——195 美元/支

注意！

用户或工程公司应充分理解在某些情况下，即使使用了许多现有的分析手段，依然很难判断出膜衰减的准确原因。这可能是因为现有的分析技术有限，或可能因复杂的使用原因所致。

注意！

除了膜元件的外观查看、化学清洗和性能测试外，大部分的分析实验对膜都是有破坏性的和昂贵的。海德能公司会针对具体情况建议实验内容，但海德能公司在没有得到用户/工程公司授权前不会进行破坏性实验。

通常条件：

用户负责退回膜元件的运输费用。除非 RGA 人员预先同意，否则海德能公司不会接受未付运费的膜元件。

在对退回膜元件做任何检测和评价之前，用户/工程公司要把合同号告之海德能公司。

如果膜元件的问题不是膜材料或膜生产过程造成的，用户/工程公司将负担检测费用。海德能公司将根据用户的指示处理膜元件或由用户付费寄回。

将新的膜元件寄给用户，但按膜元件正常价格收取全部费用。

如果膜的缺陷不是膜的材料或膜生产原因造成的，用户要付检测费用并且不能得到赔偿。

如果膜的缺陷是膜的材料或膜生产原因造成的，用户将不需要支付检测费用并会得到海德能公司赔偿的新膜元件。

RGA 程序开始后，如果海德能公司的美国工厂没有在规定的时间内收到膜元件，海德能公司将通知用户这个 RGA 案子将结束。规定时间通常是指北美地区 45 天，世界其它地区 60 天。

位于加利福尼亚州圣迭哥市的海德能公司工厂在收到膜元件 4 周内将完成一个完整的检测评价报告，需要特殊外部委托实验时除外。

在特殊情况下，海德能公司会派代表前往用户处所，查看用户认为有缺陷的膜元件。如果膜元件的问题不是膜元件材料和海德能公司原因造成的，用户需支付海德能公司 500 美元/天人工费及往返旅费。

注意！

如果膜元件的缺陷是由膜材料或海德能公司原因造成的，或者由海德能公司事先承诺的，用户/工程公司将免费得到新膜元件赔偿，且无需支付任何费用。

注意！

膜元件的清洗只是为了判断某种清洗剂和清洗次数的效果。清洗过程由海德能公司自己决定。清洗费用如下：

2 英寸至 4 英寸的膜元件——150 美元/每支/每次清洗

6 英寸至 8 英寸的膜元件——250 美元/每支/每次清洗

11.4 不需检测的膜元件和其他产品的退换程序

膜元件以外产品为评价而送回海德能公司时需符合下列条件：

- 得到海德能公司 RGA 人员同意；
- 用户/工程公司已经得到了 RGA 号码和 RGA 货运号。

如果是由用户/工程公司定货时差错所致，退货运费由用户负责。

如果是由海德能公司的差错所致，退货由 RGA 人员安排并由海德能公司负担运费。

11.5 包装

所有退回给海德能公司的未使用产品必须是原出厂包装。

11.6 产品检查

所有退回的产品在进入库存或给用户/工程公司退换之前，必须由质保部门确认退回货物的状况。

通常条件：

如果是用户差错造成产品退换，用户需另外支付 15%货款或 50 美元的费用（以高者为准)。

如果海德能公司质检部门发现退回货物已经破损，海德能公司将不负责退换并且运回给用户，运费由用户承担。

如果海德能公司的美国工厂在 45 天内(北美地区)或 60 天内(其他地区)没有收到退货，海德能公司将通知用户结束这个案子。

海德能公司和用户之间的任何担保条件或其他商务协议都将有效。

第十二章　反渗透技术问答

1. 膜元件的标准测试回收率、实际回收率与系统回收率

膜元件标准回收率为膜元件生产厂家在标准测试条件下所采用的回收率，海德能公司苦咸水膜元件的标准回收率 15%，海水膜元件 10%。

膜元件实际回收率是膜元件实际使用时的回收率。为了降低膜元件的污染速度、保证膜元件的使用寿命，膜元件生产厂家对单只膜元件的实际回收率作了明确规定，要求每只 1 米长的膜元件的实际回收率不要超过 18%，但当膜元件用于二级反渗透时，则实际回收率不受此限制，允许超过 18%。

系统回收率是指反渗透装置在实际使用时总的回收率，。系统回收率受给水水质、膜元件数量及排列方式等多种因素的影响，小型反渗透装置由于膜元件的数量少、给水流程短，因而系统回收率普遍偏低，而工业用大型反渗透装置由于膜元件数量多、给水流程长，所以实际系统回收率一般均在 75%以上，有时甚至达到 90%。

在某些情况下，对于小型反渗透装置也要求较高的系统回收率，以避免造成水资源的浪费，此时在设计反渗透装置时就需要采取一些不同的对策，最常见的方法是采取浓水部分循环，即反渗透装置的浓水只排放一部分，其余部分循环进入给水泵入口，此时既可保证膜元件表面维持一定的横向流速，又可以达到用户所需要的系统回收率，但切不可通过直接调整给水/浓水进出口阀门来提高系统回收率，如果这样操作，就会造成膜元件的污染速度加快，导致严重后果。

系统回收率越高，则消耗的水量越少，但回收率过高会发生以下几个问题。

① 产品水的含盐量增加。

② 可能发生微溶盐的沉淀。

③ 浓水的渗透压过高，膜元件的产水量降低。

一般苦咸水脱盐系统回收率多控制在 75%，即浓水浓缩了 4 倍，当原水含盐量较低时，有时也可采用 80%，如原水中某种微溶盐含量高，有时也采用较低的系统回收率以防止结垢。

2. 如何确定系统回收率

工业用大型反渗透装置由于膜元件的数量多、给水流程长，实际系统回收率一般均在 75%以上，有时甚至可以达到 90%。对于小型反渗透装置也要求较高的系统回收率，以免造成水资源的浪费。

应该依据以下两点来确定系统的回收率。

① 根据膜元件的串联的长度。

② 根据是否有浓水循环以及循环流量的大小。

在系统没有浓水循环时，一般按照以下规定决定膜元件和系统回收率。

表-1 回收率和膜元件串联数量

膜元件串联数量（支）	1	2	4	6	8	12	18
最大系统回收率（%）	18	32	50	58	68	80	90

3. 膜元件标准测试压力与实际使用压力

膜元件标准测试压力为膜元件生产厂家在标准测试条件下所使用的压力，以海德能公司 CPA 系列产品为例，其标准测试压力为 1.55MPa(225psi 或 15.5bar)。

膜元件使用压力为膜元件实际工作时所需要的压力，很多设计人员和使用人员以为膜元件的标准压力即为膜元件的使用压力，从而造成有时系统产水量很大，用户认为膜元件的生产厂家的产品质量很好，不知道此时由于系统平均水通量过高，超出了前面所介绍的设计产水量的要求，为反渗透系统长期安全运行埋下了祸根。有时系统产水量很小，认为膜元件生产厂家的质量不好，向膜元件生产厂家索赔。

实际上膜元件的标准压力与膜元件的使用压力有着本质的不同，膜元件标准压力是膜元件生产厂家为了检验其膜元件质量而人为设定的压力，而实际使用压力则受到温度、平均水通量选取值、进水含盐量、系统回收率、膜元件种类等各种因素的影响，膜元件的使用压力应根据各种因素的不同而不同。最简单的办法就是通过膜元件生产厂家提供的计算软件进行实际计算。

4. 如何计算系统脱盐率

系统脱盐率是反渗透系统对盐的整体脱除率，它受到温度、离子强度、回收率、膜种类以及其它各种因素的影响，因而不同的反渗透系统的系统脱盐率也是不一样的，其计算公式为：

$$\text{系统脱盐率} = \frac{(\text{总的给水含盐量} - \text{总的产水含盐量})}{\text{总的给水含盐量}} \times 100\%$$

有时出于方便原因，也可以用以下公式来近似估算系统脱盐率

$$\text{系统脱盐率} = \frac{(\text{总的给水电导率} - \text{总的产水电导率})}{\text{总的给水电导率}} \times 100\%$$

以此近似估算得到的系统脱盐率往往低于实际系统脱盐率，因而经常在反渗透系统验收时引起争议。

5. 膜元件的标准脱盐率、实际脱盐率与系统脱盐率

膜元件标准脱盐率为膜元件生产厂家在标准条件下所测得的脱盐率，以海德能公司的低压系列产品为例，CPA2 在标准测试条件下的最低脱盐率 99.2%(平均脱盐率为 99.5%)，CPA3 载标准测试条件下的最低脱盐率为 99.6%(平均脱盐率为 99.7%)。

膜元件的实际脱盐率为膜元件在实际使用时所表现出来的脱盐率，实际脱盐率有时会比标准脱盐率高，但更多情况下要比标准脱盐率低，这是由于标准测试条件与实际使用条件完全不同。在标准测试条件，其标准测试溶液为氯化钠溶液，膜元件标准脱盐率表现为对氯化钠的脱除率。在实际使用条件下，由于水中的各种离子成分不同、温度、平均水通量选取值、系统回收率等均不同于标准测试条件，而这些因素均会影响到膜元件的脱盐率。

系统脱盐率为整套反渗透装置所表现出来的脱盐率，同样由于使用条件与标准条件不同，系统脱盐率有别于标准脱盐率，同时由于反渗透装置一般均串联多根膜元件，而装置中每根膜元件的实际使用条件均不同，故系统脱盐率也有别于膜元件实际脱盐率，对于只有 1 支膜元件的系统，系统脱盐率才等于膜元件的实际脱盐率。

要预测系统脱盐率的最简单办法就是通过膜元件生产厂家的计算软件进行实际计算。

了解膜元件的标准脱盐率、实际脱盐率与系统脱盐率之间的关系之后，在设计反渗透系统装置、给用户提供性能担保、验收反渗透装置或者评定膜元件性能时，一定要根据系统实际脱盐率来进行，而不能以膜元件标准脱盐率来进行。

6. 什么叫产水背压，产水背压会有什么不良后果

在反渗透水处理领域，背压指的是产品水侧的压力大于给水侧的压力的情况。如前面介绍，卷式膜元件类似一个长信封状的膜口袋，开口的一边粘接在含有开孔的产品水中心管上。将多个膜口袋卷绕到同一个产品水中心管上，是给水水流从膜的外侧流过，在给水压力下，使产水通过膜进入膜口袋后汇流如产品水中心管内。

为了便于产品水在膜袋内流动，在信封状的膜袋内夹有一层产品水导流的织物支撑层；为了使给水均匀流过膜袋表面，并给水流以扰动，在膜袋与膜袋之间的给水通道中夹有格网层。

膜口袋的三面是使用粘接剂粘接在一起的，如果产品水侧的压力大于给水侧的压力，那么这些粘接线就会破裂而导致膜元件脱盐率的丧失或者明显降低，因此从安全角度考虑，反渗透系统不能够存在背压。

由于反渗透膜过滤是通过压力驱动的，在正常运行时是不会存在背压的，但是如果系统正常或者故障停机，阀门设置或开闭不当，那么就有可能存在背压，因此必须妥善处理产水侧背压的问题。

7. 为什么高压泵后面应设置手动调节门和电动慢开门

配置标准测试溶液的水源是反渗透产水，因而几乎不带杂质，不存在膜元件被污染的问题。在实际使用时，除了二级反渗透系统的进水是以一级反渗透系统的产水作为原水外，其它反渗透系统的进水几乎都是经普通预处理后的原水。尽管预处理工艺去除了其中一部分杂质，但与标准测试条件下所用的水源相比，其进水水质仍然较差。所以膜元件设计产水量应该小于标准产水量，此时如仍按标准产水量作为设计产水量，则反渗透膜元件很快就会受到污染，造成膜元件损坏。

即使在实际使用时按照膜元件生产厂家提供的设计导则使用，但是反渗透膜元件仍然会慢慢受到污染，当然在一段时间后可以通过化学清洗部分恢复其性能，但很难完全恢复其性能，所以有经验的设计人员在设计时应该考虑到这一问题，此时应该选用能够保证 3 年后达到设计产水量的给水泵，即需要设计更高压力的给水泵，但系统初始投运时不需要很高的压力就可以达到设计产水量，所以系统在初始运行时给水泵压力富裕，随着时间的推移，压力富裕逐渐减少，因此高压泵后面应设手动调节门来调节给水压力。有些时候可以对给水泵设置变频调节装置，此时可以用变频的方法来实现给水压力的调解。

高压泵后面的手动调节门在设置后一般不需要经常调节，在一段时间内基本上是保持在恒定的位置，在系统每次启动时也不需要开闭此阀门。

但是如果高压泵后面没有其它阀门，此时每次启动系统时，高压泵的高压水员会直接冲击膜元件，特别是在系统中存在空气时就会产生“水锤”的现象，这样也容易造成膜元件的破裂。

为了防止上述现象的发生，应该在高压泵后设置电动慢开门，在启动高压泵后慢慢打开电动慢开门，也即缓慢向系统的反渗透膜上加载压力，电动慢开门应该是全开全闭阀门，其全开全闭时间应该是可以调节的，但一般设定为 45-60s。所以从反渗透膜元件的安全角度考虑应该设置电动慢开门。

8. 为什么要设置自动冲洗功能

给水进入反渗透系统后分成两路，一路透过反渗透膜表面变成产水，另一路沿反渗透膜表面平行移动并逐渐浓缩，在这些浓缩的水流中包含了大量的盐分，甚至还有机物、胶体、微生物和细菌、病毒等。在反渗透系统正常运行时，给水/浓水流沿着反渗透膜表面以一定速度流动，这些污染物很难沉积下来，但是如果反渗透系统停止运行，这些污染物就会立即沉积在膜的表面，对膜元件造成污染。所以要在反渗透系统中设置自动冲洗系统，利用干净的水源对膜元件表面进行停运冲洗，以防止这些污染物的沉积。

9. 反渗透系统需要哪些常用仪表

为了使 RO 装置能够安全可靠的运行，便于运行过程中的监控，应该配备必要的仪表和控制设备，一般需要配备的仪表有：温度表、压力表、流量表、pH 表、电导表、余氯表、氧化还原电位表等，设置的地点及其作用如下：

(1) 温度表

给水温度表，因产水量与温度有关，所以需要检测以便求出“标准化”后的产水量。大型设备应进行纪录，另外，温度超过 45℃会损坏膜元件，所以对原水加热器系统应设超限报警，超温水自动排放和停运 RO 的保护。

(2) 压力表

给水压力表、第一段浓水压力表、二段浓水压力表用于计算每一段的压降(也可装设压差表)并用于对产水量和盐透过率进行“标准化”。盐透过率、产水量、△P 用于 RO 性能分析。

5μm 过滤器要安装进出口压力表(也可装设压差表)，当压降达到一定值时(2bar)更换滤芯。

给水泵进出口压力表用于监测给水泵进出口压力，进口压力开关在进口压力低时报警并停泵，出口压力开关在出口压力过高时报警并停泵(系统刚启动时慢开阀未开启时的高压力需要屏蔽)。

(3) 流量表

产水流量表在运行中检测产水量，每段需要单独装设，以便于“标准化”RO 性能数据。产水流量表应有指示、累计和记录，浓水排水流量表在运行中监测排水量，应有指示、累计和记录。

从各段产水流量和排水流量可以计算出各段德给水量、回收率和整个系统的回收率，给水流量表主要用于 RO——加药量的自动调节(加酸、加阻垢剂、加亚硫酸氢钠一般 2 套共用)，除了具备指示和累计功能外还需要提供信号用于比例调节。

(4) 电导表

给水电导率表、产水电导率表用于指示和记录 RO 装置给水/产水电导，可设置报警，也可以从给水电导率和产水电导率估算出 RO 系统的脱盐率。

(5) pH 表

当给水需加酸防止形成 $CaCO_3$ 垢时，加酸后的给水需要安装 pH 表，在使用醋酸纤维素膜时，不仅需要防止 $CaCO_3$ 垢的形成，而且更重要的是维持最佳的 pH 值(pH=5.7)。pH 表除了需要具备指示、记录、设超限报警等功能外，还应可以输出信号功能，配合系统对加酸系统比例调节。

(6) 余氯表

使用醋酸纤维素膜元件 RO 系统进水中必须含有 0.1-0.5PPm 残余氯，最大允许含氯量为 1PPm，因此 RO 系统给水侧必需安装余氯表，用以指示、记录和超限报警。

加药用的药液箱一般需要设置液位开关，用于进行高低也为报警提示，加药泵可与给水泵之间互锁。

(7) 氧化还原电位表

RO 系统给水侧添加亚硫酸氢钠需要设置氧化还原电位表进行监测，应该设有指示、记录、报警功能。

10. 设计反渗透控制系统应考虑哪些方面的问题

反渗透脱盐系统的监测控制系统由 PLC、仪表、计算机系统和工艺流程模拟屏构成，同时设有手动操作按钮和控制是操作按钮；系统具有联锁保护功能及报警指示功能。PLC 及主要以表由国外进口。

1) RO 系统运行过程对仪表和程控的工艺要求

(1) 加药量采用比例调节方式，根据给水流量表的信号自动调节计量泵按比例加药。

(2) 计量箱装有就地液位计，并由低液位信号进行报警，以保证不会因为药液箱无药而导致加药中断。

(3) 设有就地给水仪表盘，盘上装有流量指示和流量累计彪、电导率彪、pH 指示表。另外还设有给水压力表。流量表、电导率表和 pH 表所给出的信号送至中央控制室进行连续纪录；同时流量表所给出的信号控制给水侧的加药计量泵机型比例加药；PH 表给出的高低报警信号送至中央控制室进行报警。

(4) 保安过滤器进、出水口装有压力指示表，当保安过滤器进、出口压差达到一定值或运行一段时间后，需要更换滤芯。

(5) 高压泵进出口侧分别装有低、高压开关。当高压泵进口压力低于限定值时，低压开关闭合并发送信号至 PLC，由 PLC 进行报警并自动停止高压泵的运行；当高压泵出口的压力高于限定值时，高压开关闭合，发出信号送至 PLC，PLC 延时一定时间后，如高压泵高压侧压力仍高于限定值，则 PLC 输出报警并自动停止高压泵的运行。

(6) 高压泵出口装有电动慢开门。高压泵启动后，慢开门自动缓慢打开以确保 RO 膜元件不受水锤破坏，如慢开门发生故障而未能在规定的时间内打开，则高压泵出口压力增高，压力开关输出报警信号并经 PLC 自动停止高压泵的运行。

(7) 每套 RO 装置设就地仪表盘一块，盘上装有 RO 一段、二段产品水、排水的流量各一块(流量及累计流量值显示)，产品水电导率表一块，流量表和电导率表所给出的参数信号送中央控制室进行连续纪录，并具有电导率值高报警。就地盘上装有高压泵启动、停止按钮和指示灯，系统紧急停止按钮和指示灯，电动慢开门开、关按钮和指示灯。

(8) 每套 RO 装置设就地压力表盘一块，盘上装有 RO 一段进水、二段进水和排水压力指示表。

(9) 中央控制盘上设有高压泵、计量泵、冲洗水泵的三位操作开关(自动 - 关 - 手动)，系统程序启、停按钮，可实现上述装置的自动启动控制室远操和就地手操功能。当三位开关打至“自动”位置

时，上述装置就不能就地操作。

(10) RO 装置的启动和运行过程

a. RO 装置程序启动和运行。先将高压泵、计量泵、冲洗水泵的“自动 - 关 - 手动”三位开关扳至“自动”位置，然后按下每套 RO 装置的启动按钮，此时 PLC 按程序自动对所有的计量箱液位、高压泵入口侧压力进行检测，当有“低”液位或高压泵入口侧压力“低”报警时，PLC 进行声光报警并停止程序运行。消除报警后，按程序启动按钮，程序恢复运行，并自动启动加药计量泵、高压泵、开启电动慢开门，延时一定时间后如高压泵出口侧压力仍高于限定值，则 PLC 输出报警并自动停止高压泵计量泵的运行，同时自动关闭电动慢开门；如在延时范围内高压开关恢复至断开状态，则 PLC 自动取消高压开关输入信号，系统进入正常运行阶段。

b. RO 装置控制室手动启动和运行。当高压泵、计量泵、冲洗水泵的“自动 - 关 - 手动”三位开关扳至“手动”位置时，上述设备可在控制室内操作。

c. RO 装置就地手动启动和运行。当高压泵、计量泵、冲洗水泵的“自动 - 关 - 手动”三位开关扳至“关”位置时，上述设备可在就地手动启动和运行。在任何情况下，都通过设置在就地仪表盘上的系统紧急停止按钮，停止 RO 装置的运行。

(11) RO 装置自动停止运行或由操作人员按程序停止按钮停运时，高压泵停止运行，计量泵连锁停止运行，自动关闭高压泵出口电动慢开门。

(12) 计量泵与高压泵的联锁。反渗透系统包括两套 RO 装置和一套加药系统，每套 RO 装置配置一台高压泵。当有一台高压泵启动时，加药系统计量泵联锁启动，当两台高压泵都停运时，加药系统计量泵联锁停运，高压泵一台运行一台停运时，计量泵正常工作。

(13) RO 装置设有冲洗系统。RO 装置停止运行一定时间后，可自动启动冲洗水泵，开启冲洗金水及排放阀，对 RO 膜元件进行低压冲洗。

(14) 中央控制盘上装有光字牌和音响器，可对报警信号进行声、光显示；装有系统模拟屏，可以显示 RO 系统的运行；可对需纪录的各种参数进行连续纪录。装有电流表高压泵电机电流。

2) 仪表及 PLC 系统的构成

仪表及 PLC 系统的构成根据 RO 系统对仪表和控制的要求而定。

(1) 液位开关给出水箱液位信号。

(2) 流量计：瞬时流量指示及流量累计值显示。

(3) 电导率仪：数字显示，具有电导率高报警输出和 4-20mA 电流信号输出。

(4) pH 计：数字显示，具有用户可设定的 pH 值高、低报警输出和 4-20mA 电流信号输出。

11. 装置初次启动前的检查事项

1) 对给水加药系统核查

(1) 所有管道和装置必须都是防腐材料制作的。

(2) 核查系统中使用的所有管道对压力和 pH 值的适合性。

(3) 检查加药系统包括：所加药品之间要兼容，例如阳离子型絮凝助剂与阻垢剂的相容；加药管在线

的逆止阀安装方向正确；药品与给水的充分混合，如静态混合器等。使用醋酸纤维素膜元件时还要检查一下加氯系统，使进入反渗透组件的游离氯确保在规定范围内。所有加入的化学药品其纯度应符合要求。

(4) 检查所有仪表是否已经过校准，保证加药系统的正确运行和准确监测。

(5) 检查报警和安全阀设置正确与否。

2) 对反渗透系统检查

(1) 检查 5um 保安过滤器是否能起到保护高压泵和反渗透膜元件的作用。

(2) 在将反渗透组件连接到管路上之前，吹扫并冲洗管路，包括反渗透给水母管。

(3) 在 RO 装置启动之前，记录好每套 RO 中第一段和第二段中各压力容器的系列号和所装膜元件的系列号产水量和脱盐率。画一张图表明各压力容器在滑架上的位置。

(4) 检查反渗透压力容器的管道是否连接无误（正常运行和清洗操作）。

(5) 检查反渗透的压力表、流量表、电导率表安装正确与否。

(6) 保证给水、一段浓水、排水、一段和二段产品水以及总产品水的取样点有代表性。

(7) 如果产品水管上装设了关断阀，则要安装压力释放保护装置。

(8) 肯定 RO 高压泵已经可以立即运行，检查一下泵的转动以及润滑情况。

(9) 保证所有管线都采用防腐管道。

(10)核对每一个一段的给水、产品水和浓水以及混合后的产品水都装有采样装置。

(11)审查系统中所有管道对压力和ＰＨ值的适合性。

(12)核对泵与液位接触的部件是否由防腐材料制作。

(13)检查所有仪表是否已经过校准，保证反渗透系统的正确运行和准确的监测。

(14)核对联锁、报警、安全网和延时继电器已经过正确的鉴定。

(15)检查管件、压力容器应严密不漏。

(16)核对产品水管线确实是打开的，当系统没加压力时在产品水侧没有压力。

(17)保证浓水流控制阀处于开启位置，可能需要人工整定开度。

(18)核对产品水流向排水沟。

(19)保证泵的节流控制阀的开启程度使初始的给水压力低于 50％的运行压力。

(20)应保证产品水的压力永远不会超过给水或浓水的压力的规定值。对复合膜元件一般为 34.5kpa(5psi)（根据膜厂家规定）。

(21)检查反渗透/压力容器固定在滑架上的 U 型螺栓不要拧得太紧，否则会使玻璃钢外壳翘曲。

3) RO 系统的试运行

对于地表水水源，在 RO 装置初次启动之前，预处理系统必须已经过调试和试运，出水质量能够满足 RO 装置运行的要求，原水的预处理应包括杀菌、凝聚、澄清和过滤，预处理过程中所加入的化学药品必须与 RO 系统加入的化学药品相兼容，这一点是非常重要的，例如凝聚过程中加入某些阳离子型聚电解质十分有效，但与 RO 系统中加入的$(NaPO_3)_6$会反应成沉淀而严重污染 RO 膜,因此不能使用,经二级过滤后水的浊度应小于 0.2NTU，SDI 值必须小于 5。在将给水送入 RO 系统之前，预处理系统必须工作正常，给水水质

必须满足 RO 给水要求。具体操作如下。

(1) 在低压力下将系统中的空气赶出。

(2) 检查并消除系统的泄漏。

(3) 用低压水将膜元件的保护液从膜壳中冲出(开浓水排放阀)。

(4) 将产品水排向地沟。

(5) 打开浓水减压阀。

(6) 高压泵出口节流阀的开度调整到其初始压力的 50%。

(7) 启动高压泵进行冲洗，直至冲净。

(8) 关断浓水排放阀，调节浓水减压阀，调节给水泵出口节流阀，打开产品水出口阀，关闭产品水排放阀，直至达到设计的产品水流量和系统回收率。

(9) 试运行 72h。

(10) 做好运行记录包括试验用仪器药品清单；试验方法；预处理系统；原水加热自动控制；凝聚烧杯试验；加氯量试验；出水浊度测定，SDI 测定。

12. 为什么刚开机时系统要不带压冲洗

反渗透系统在停止运行后，一般都要自动冲洗一段时间，然后根据停运时间的长短，决定是否需要采取停用保护措施或者采取什么样的停用保护措施。在反渗透系统再次开机时，对于已经采取添加停用保护药剂的系统，应该将这些保药剂排放出来，然后再通过不带压冲洗把这些保护药剂冲洗干净，最后再启动系统。对于没有采取添加停用保护药剂的系统，此时系统中一般是充满水的状态，但这些水可能已经在系统中存了一定的时间，此时也最好用不带压冲洗的方法把这些水排出后再开机为好。有时，系统中的水不是在充满状态，此时必须通过不带压冲洗的方法排净空气，如果不排净空气，就容易产生“水锤”的现象而损坏膜元件。

13. 为什么要记录初始时的运行数据

在运行过程当中，系统的运行条件，如压力、温度、系统回收率和给水浓度可能有变化而引起产品水流量和质量的改变，为了有效地评价系统的性能，需要在相同的条件下比较产品水流量和质量数据，因为不可能总是在相同条件下获得这些数据，因此需要将实际运行状况下的ＲＯ性能数据按照恒定的运行条件进行“标准化”，以便评价ＲＯ膜的性能。标准化包括产品水流量的“标准化”和盐透过率的“标准化”。

如果系统运行条件与初投运时相同，现在理论上所能达到的流量，称标准化的流量。

如果系统运行条件与初投运时相同，现在理论上所能达到的脱盐率，称标准化的脱盐率。

从上述定义可以知道，标准化的参考点是以初投运时(稳定运行或经过 24h)的运行数据，或者由反渗透膜元件制造厂商的标准参数做参考，此时反渗透膜基本上没有受到任何污染，今后要判断反渗透是否存在污染以及是否需要清洗，都需要以初投运时的数据来判断，因此，初投运时的数据尤其重要，必须进行记录。

14. 日常运行应记录哪些数据

日常运行记录应包括以下内容。

1) 启动记录

RO 装置的性能特性必须从一开始就记录，启动报告应该包括完整的装置说明，可以利用流程图、装置图表示预处理、RO 装置和后处理、初始时预处理和 RO 的性能记录。

所有仪表和表计必须按照厂家的建议进行校准并做记录。

2) RO 运行资料

运行数据可以说明，RO 系统的性能，在整个 RO 使用期所有的数据都要收集和记录，这些数据与定期的水分析一起为评价 RO 装置的性能提供数据。

(1) 流量（各段产品水和浓水流量）。
(2) 压力（各级给水、浓水、产品水）。
(3) 温度（给水）。
(4) pH 值（给水、产品水、浓水）。
(5) 电导率 / TDS（给水，产品水；每一段给水、产品水及浓水）。
(6) SDI（给水，5μm 过滤后，每一段给水，浓水）。
(7) 最后一段浓水的 LSI。
(8) 运行小时数。
(9) 偶然事件（SDI、pH 值和压力失常、停运等）。
(10) 所有仪表和表计的校准，必须按照制造商的建议方法和周期进行，但是 3 个月至少要校准（校改）1 次。
(11) 流量压力、温度、pH 值、电导率、SDI（给水），每班一次。
(12) 每一段给水，浓水的 SDI 每星期一次，并对滤膜上残留物进行分析。
(13) 每一段给水，浓水，产品水的 TDS 每月分析一次。
(14) 余氯、电导率每天一次。
(15) 浓水（排水）LSI 每星期一次。
(16) 偶然事件发生时记录下来。

3) 加药运行资料

(1) 加酸前后 SDI 每天一次。
(2) 5μm 过滤器进出口压力每班一次。
(3) 酸耗量每天一次。
(4) NaClO 耗量每天一次。
(5) 所有仪表和表计的校准按制造商的建议和方法，但至少 3 个月校准 1 次。

4) 维修日志

必须进行维修记录，它们可以提供关于渗透器和机械设备性能的更进一步的数据，包括以下内容。

(1) 日常维护。
(2) 机械故障/更换。
(3) 反渗透/压力容器/膜元件的更换。
(4) 清洗（清洗剂和清洗情况）。
(5) 更换 5μm 过滤器滤芯。
(6) 仪表和表计的校准。

15. 反渗透装置运行启动前的检查

检查包括以下内容。

(1) 在将给水送入 RO 系统之前，预处理系统必须运行得很正常，且必须满足所有导则，必须肯定向系统加入的化学药品的纯度是符合要求的。

(2) 在低压、小流量下将系统中的空气排出。

(3) 检查系统有无泄漏。

(4) 启动给水泵，在低于己于 50%给水压力下冲洗，直至排水不含保护液。

(5) 慢慢增加给水压力并调整排水减压控制阀，直到满足设计的回收率。

(6) 当系统达到设计条件后，核查浓水的 LSI。

(7) 当系统稳运行后（大约 0.5-1h 运行时间），记录所有运行条件。

16. 介质过滤器流速的设计

水的过滤净化处理由来已久，民用的河砂滤床，依靠重力过滤，早期的卫生用水使用素烧瓷滤芯过滤。传统的过滤装置可分为开放的重力过滤和封闭的压力滤器。

过滤材料视进入过滤器（池）的水 pH 值而不同。使用铝盐（硫酸铝、明矾、氯化铝、聚合硫酸铝、聚合氯化铝）混凝、澄清的水，可用石英砂过滤，经石灰沉淀软化处理。用铁盐（硫酸亚铁、三氯化铁，聚合硫酸铁，聚合氯化铁）混凝处理的水，pH 值较高，可用大理石、白云石或无烟煤过滤。

所用的滤料应进行化学稳定性试验，石英砂和无烟煤分别在酸性、中性和碱性溶液中浸泡，大理石与白云石应在中性和碱性溶液中浸泡。酸性溶液含盐酸 400mg/l，中性溶液含氯化钠 500mg/l，碱性溶液含氢氧化钠 400mg/l，10g 上述滤料，粒径为 0.5-1mm，在室温(20℃)浸泡 24h，每 4h 搅动 1 次，浸泡液总溶解固形物增加量<20mg/l，二氯化硅<1mg/l。

单层滤料的石英砂粒径为 0.5-1.2mm，双层滤料无烟煤粒径为 0.8-1.8mm，石英砂为 0.5-1.2mm。三层滤料用的重质矿石粒径可有 4-5 种级配，可为 0.3-5mm 以上。

过滤器(池)的滤速，可参照 DL / T5068—1996《火力发电厂化学设计技术规程》的表-2。

表-2　过滤器 (池) 滤速(DL / T5068—1996 表 3.2.2.4)

过滤器(池)形式		滤速 (m/h)		
		混凝澄清		接触凝聚
		正常滤速	强制滤速	
细砂过滤		6-8	-	-
单层滤料	单流	8-10	10-14	6-10
	双流	15-18	14-18	6-10
双层滤料		10-14	20-25	6-10
三层滤料		18-20	-	-
变孔隙过滤		18-21	-	-
高效纤维过滤		20-40	-	-

17. 活性炭过滤器为什么要注意灭菌

在水处理工艺中，活性炭过滤器用于对有机物的吸附和对过量氯（余氯）的吸附去除，对前者去除能力较差，通常为 50%，对后者则很强，可以完全脱除余氯，这是由于在对余氯吸附的同时，还有自身被氯化的作用。

活性炭的吸附能力曾被用于口服对肠道细菌的吸附而治疗细菌性痢疾，在第一次世界大战中，氯气类毒气作为大规模杀伤性武器被使用，活性炭则是防毒面具中主要的毒气吸附剂，离子交换树脂被广泛应用后，活性炭在化学除盐系统中使用较广，大机组对有机酸的腐蚀敏感，因此配置活性炭床者更多。活性炭去污。如果反洗不能奏效时，应进行灭菌处理。

实际上，按照进水浊度安排合理的反冲洗制度更具有实际意义，由于微生物膜与微生物粘泥难于清净，采取空气擦洗是必要的。某热电厂用受严重污染的河水作为原水，水中菌、藻和微生物对滤池污塞严重，虹吸滤池的运行时间和反洗时间持平；活性炭过滤器无法使用，混床被粘泥结成团块无法分层再生。为保证水的产量，将虹吸滤池滤料粒径由 1mm 左右先后放大到 2mm 和 3-4mm，将混床改成二级阳床与二级阴床除盐，其出水质量虽下降，但是满足了供热的用水量。最终的解决对策是使用了部分自来水，缓解河水污染造成的困扰，因此，当活性炭过滤器由于菌、藻等造成污堵时除了加强反洗保证压差在规定范围内之外，灭菌虽属重要，但是更应从源头上解决。

在水处理工艺中，在反渗透装置运行中都应根据实际情况做应变处置。在对内蒙古某电厂进行风险评估时，该厂停炉保护仅做热炉放水处理，按照通常情况是远远不够的，但是认可该对策。当电厂人员询问是否应该采取成膜等保护措施时指出，对于地处沙漠与干旱地区的该厂来说，由于当地相对湿度常年低于 40%，采取热炉放水已经能起到良好的停炉保护作用，无需采取更多的停炉保护措施，对于活性炭过滤器来说，只要压差合乎规定，COD_{Mn} 去除率不低于 30%，无需更多的维护。

18. 什么样的系统用软化器合适

软化器是钠阳离子交换器的俗称，它可把水中钙、镁离子交换除去，使成为对应的钠盐。水中含有钡、锶等离子时，也可经过钠离子交换脱除。因此，下列情况可以对水进行软化处理，以免结水垢的困扰。

1) 在水处理系统中原来配置有软化器时，应尽量利用它作为前置过滤和软化防垢，例如某热电厂的热网补充水和蒸发器的用水是软化水，该厂原水是河水，限于资金，反不渗透预处理较简单，反渗透器压差增长快，清洗周期短，出水质量差，为此建议考虑。

(1) 用软化水作为反渗透器原水可使进水的浊度和污染指数达标，并防止钙，镁结垢。

(2) 也可填设微滤装置。

2) 水的硬度过高，例如≥8mmol/l（Ca^{2+}+Mg^{2+}），使用一般的阻垢分散技术难以奏效时。

3) 水质较特殊，含钡、锶等离子高，或是含硫酸根高（例如≥200PPm），或是含氟离子高（例如≥10PPm）。

4) 经技术经济比较，并经过模拟试验证明，使用软化技术优于阻垢处理时。进口阻垢剂通常为 8 万元/吨，对于杂质含量不高时，处理费用较高，其防垢效果比较化为差。

19. 为什么系统脱盐率整体过低

有一个 200m³ / h 的反渗透项目，分成两套装置，每套装置的产水量为 100m³ / h，设计采用海德能公司的低压高脱盐率 CPA3 反渗透膜，设计回收率 75%，每套装置采用 8040CPA3 膜元件 108 支，(12:6）×6 排列，给水含盐量 1000mg/L，温度为 25℃，按照公司的设计软件计算，在初始投运时，其系统脱盐率应该在 98%以上，运行压力应该不高于 1.06Mpa(10.6bar)。

系统实际运行时，运行压力与设计压力吻合，但系统脱盐率不到 90%，工程公司经过与海德能公司技术人员的多次讨论与原因分析，并且在现场对每一支压力容器的产水电导率进行了测试，测试结果表明，装置第一段 12 支压力容器的产水电导率基本一致，装置第二段 6 支压力容器的产水电导率基本一致，并且第一段压力容器的产水电导率均低于第二段压力容器的产水电导率，符合反渗透产水的一般规律，从而排除了某些压力容器内存在密封圈泄漏的可能性。

由于现场条件有限，不能进行水质全分析，只有电导率表和 pH 试纸，在测量给水电导率和 PH 值后发现，电导率值基本与设计水质相符，用 pH 试纸测出的 PH 值大约为 7-8，从而排除了水质大幅度变化的可能性。经过反复调查发现，工程公司只是对来水进行简单的预处理后送入反渗透系统，而甲方反提供的来水实际上已经在另一个车间进行了石灰软化处理,处理后也没有对水进行 pH 值的调节就送到了反渗透的净化车间,由于工程公司没有在给水系统中设计安装 pH 表,同时 pH 试纸已经失效,因而没有能够发现 pH 值已经很高的事实。根据这一调查结果，现场及时采取措施通过加酸来调节 pH 值，在将 pH 值调整到设计值后，系统脱盐率超过了解情况 98%，问题得到了圆满解决。

pH 值是水的酸碱度的衡量指标，pH 值变化，会影响到水中各种离子的平衡，尤其是碳酸系统离子的平衡，同时也会影响到氢离子和氢氧根离子的含量，而反渗透膜对各种离子的脱除离是不一样的，同时其脱盐率会受到 PH 值的明显干扰，只有在 pH 值介于 6-8 之间时，其脱除率最高，当 pH 值过高或者过低时，其脱除率均会大大降低，而石灰软化处理工艺其 pH 往往都超过 10，因而导致了本系统脱盐率的大大降低。

20. 反渗透膜元件产水管为什么会破裂

有一个 520m³/h 的反渗透项目，分成 4 套装置，每套装置的产水量为 130m³/h,设计采用海德能公司的低压高脱盐率 CPA3 反渗透膜,设计回收率 75%,每套装置采用 8040CPA3 膜元件 144 支,(16:8)×6,排列,给水含盐量 1200mg/L,温度为 25℃,按照公司的设计软件,的设计计算,在初始投运时,其系统脱盐率应该在 98%以上,运行压力应该不高于 1.1Mpa(11bar)。

在系统实际运行前的冲洗阶段即发现产水流量很大，在系统实际运行时，系统脱盐率很低，几乎无脱除效果，工程公司在现场对每一支压力容器的产水导电导率进行了测试，测试结果表明，所有压力容器的的产水均提高，并且第一段压力容器的产水电导率基本与第二段压力容器的产水电导率相同，因而认为压力容内存在密封圈泄漏的可能性，为了确认是否存在密封圈泄漏，现场决定首先拆卸其中一套装置中的膜元件进行验证，但随即发现，该套装置中几乎所有膜元件的中心管（产水管）均出现了碎裂，不言而喻，中心管的碎裂造成了系统的泄漏。膜生产厂家随即派出技术人员去现场了解情况，并收集代表性样品送到公司总部时行分析，分析结果表明，中心管的碎裂是由于用户在安装时使用了不恰当的润滑剂，该润滑剂

与由高分子材料制成的膜元件中心管发生的反应，同时由于安装时的应力作用，造成了膜元件中心管的破裂。

根据膜元件厂家的建议，任何时候不允许使用石油类(化学溶剂、凡士林、润滑油及润滑脂等)的润滑剂用于润滑 O 形圈密封、连接管、接头密封圈及浓水密封圈。允许使用的润滑剂只有水或丙三醇(甘油)。

21. 反渗透膜元件玻璃钢外皮为什么会破损

有一个 180m^3/h 的反渗透系统项目，分成 3 套装置，每套装置的产水量为 60m^3/h,设计采用海德能公司的低压高脱盐率 CPA3 反渗透膜，设计回收率 75%，每套装置采用 8040CPA3 膜 84 支，(9:5) ×6 排列,给水含盐量1200mg/L,温度为25℃,按照公司的设计软件的设计计算,在初始投运时,其系统脱盐率应该在98%以上,运行压力应该不高于 0.9Mpa(9.0bar)。

在系统实际运行时,系统产水量和脱盐率均能完全达到要求,在现场对每一支压力容器的产水电导率时行了测试，测试结果表明，所有压力容器的产水电导率均合格，因而认为整套系统运行正常。在该系统运行 1 年后，尽管系统段间压力降也几乎没有增加，但还是决定对其进行保护性清洗，为了确认是否存在可见的污染物，现场决定首先拆卸其中一套装置的膜元件进行外观检查，但随即发现，该套装置中已经有某些膜元件有玻璃外皮出现了裂纹，有些膜元件的端板与膜元件主体连接处出现裂纹甚至脱落，但并没有造成系统产水量和脱盐率的明显变化。膜生产厂家随即派出技术人员去现场了解情况，该装置尽管采用了进口的膜元件和压力容器，但在安装时并没有按照厂家的要求在膜元件与压力容器的连接处安装相应的垫片，同时系统中反渗透入口处也没有安装电动慢开门，在系统启动时，也没有进行低压冲洗排气，因而造成高压力的给水瞬间加载到膜元件上，造成了“水锤”现象，同时由于在系统启动时，没有进行低压冲洗排气，残留的空气无法排出，被压缩在压力容器的出口端，因而在系统停运时，膜元件又被反推回来,造成了膜元件在压力容器内来回窜动。

根据膜元件生产厂家的建议，现场重新安装电动慢开门和相应的垫片,在系统启动前均进行低压冲洗并有效排除空气，消除了造成“水锤”的条件，该系统再运行已经很多年，均没有发生膜元件外皮破裂的现象。

日本日东电工集团膜产品规格(附表)

1.超纯水、苦咸水脱盐用反渗透膜一览表(超低压RO“ES系列”)

分离膜类型			反渗透膜(RO)										
膜材料			全芳香族聚酰胺										
最适宜用途			前级脱盐用RO						离子交换树脂后精制、纯水回收用RO				
膜元件型号			ES20-D		ES15-D	ES10-D			ES20-U		ES15-U	ES10-U	
膜元件直径			4	8	8	2	4	8	4	8	8	4	8
性能*1	脱盐率	[%]	99.7		99.5	99.5			-		-	-	
	异丙醇(IPA)脱出率*2	[%]	-		-	-			96		94	94	
	纯水产量	[m^3/d]	6	30	37	1.7	6.5	30	6.5	32	40	6.5	32
	测定条件 进水浓度	[-]	0.05%NaCl		0.05%NaCl	0.05%NaCl			纯水		纯水	纯水	
	测定条件 操作压力	[MPa]	0.7		0.7	0.7			0.7		0.7	0.7	
	测定条件 操作温度	[℃]	25		25	25			25		25	25	
	测定条件 pH	[-]	7		7	7			-		-	-	
	测定条件 单只膜元件回收率	[%]	10-20		10-20	10-20			10-20		10-20	10-20	
使用条件	最高操作压力	[MPa]	4.1		4.1	4.1			4.1		4.1	4.1	
	最高操作温度	[℃]	40		40	40			40		40	40	
	最大进水流量	[L/min]	48	245	245	25	42	200	48	245	245	42	200
	进水污染指数	FI值	4以下		4以下	4以下			-		-	-	
	进水pH	[-]	2-10		2-10	2-10			2-10		2-10	2-10	
应用特点*3	常见操作压力[MPa]		5-7		4-6	4-6			8-10		6-8	6-8	
	有效膜面积[m^2]		7.5	37	37	1.8	6.5	30	7.5	37	37	6.5	30
	脱盐性能		◎		○	○			◎		○	○	
	耐氯性能		△		△	△			△		△	△	
	二氧化硅脱除率		◎		○	○			◎		○	○	
	TOC脱除率		◎		○	○			◎		○	○	
	低浓度TOC脱除率		○		○	○			◎		◎	◎	
	比电阻起动性能		○		○	○			◎		◎	◎	
	TOC起动性能		○		○	○			◎		◎	◎	
	耐H_2O_2性能		○		○	○			○		○	○	

*1:上述性能非保证值，具体检测条件及保证条件参见产品使用说明书，另外，测定条件并非最佳使用条件，具体可向销售人员咨询。

*2:IPA脱除率仅为参考值，测定压力为7.5kgf/cm^2，进水浓度为0.05%。

*3:[记号意义]→◎优，○良，△中，×差。

日东电工株氏会社 1996年12月改订版

日本日东电工集团膜产品规格(附表)

2.超纯水、苦咸水脱盐用分离膜一览表

分离膜类型			反渗透膜(RO)														超滤膜(UF)
膜材料			全芳香族聚酰胺						全芳香族聚酰胺				聚乙烯醇				聚砜
最适宜用途			前级脱盐用RO						离子交换树脂后精制、纯水回收用RO								纯水脱微粒子
膜元件型号			ES10-D			NTR-759HR			ES10-U		NTR-759UP		NTR-729UP		NTR-7250		NTU-3150
膜元件直径			2	4	8	s2	s4	s8	4	8	S4	S8	S4	S8	S4	S8	S4
性能*1	脱盐率	[%]	99.5			99.5			-		-		92		97		-
性能*1	纯水产量	[m^3/d]	1.7	6.5	30	1.6	7	30	6.5	32							36
性能*1 测定条件	进水浓度	[-]	0.05%NaCl			0.15%NaCl			纯水		纯水		0.15%NaCl		0.20%$MgSO_4$		纯水
性能*1 测定条件	操作压力	[MPa]	0.7			1.5			0.7		1.5		1.0		2.0		0.2
性能*1 测定条件	操作温度	[℃]	25			25			25		25		25		25		25
性能*1 测定条件	pH	[-]	7			6.5			-		-		6.5		6.5		-
性能*1 测定条件	单只膜元件回收率	[%]	10-20			10-20			10-20		10-20		10-20		30-35		-
性能*1	公称截留分子量	-	-			-			-		-		-		-		50000
使用条件	最高操作压力	[MPa]	4.1			4.1			4.1		2.9		2.9		2.9		1.0
使用条件	最高操作温度	[℃]	40			40			40		40		40		40		40
使用条件	最大进水流量	[L/min]	25	42	200	25	42	200	42	200	42	200	42	200	42	200	60
使用条件	进水污染指数	FI值	4以下			4以下			-		-		-		-		-
使用条件	进水pH	[-]	2-10			2-10			2-10		2-10		2-8		2-8		2-11
应用特点*3	常见操作压力[MPa]		4-6			8-12			6-8		12-16		7-10		7-10		3-5
应用特点*3	脱盐性能		◎			◎			◎		◎		△		○		-
应用特点*3	耐氯性能		△			△			△		△		△		△		◎
应用特点*3	二氧化硅脱除率		◎			◎			◎		◎		△		○		-
应用特点*3	TOC脱除率		○			○			○		○		○		○		-
应用特点*3	低浓度TOC脱除率		○			△			◎		○		○		○		-
应用特点*3	比电阻起动性能		○			△			◎		○		◎		◎		◎
应用特点*3	TOC起动性能		○			△			◎		○		○		○		-
应用特点*3	耐H_2O_2性能		○			○			○		○		○		○		◎

*1:上述性能非保证值，具体检测条件及保证条件参见产品使用说明书，另外，测定条件并非最佳使用条件，具体可向销售人员咨询。

*2:[记号意义]→◎最适宜，○较适宜，△一般，×不适宜。

日东电工株氏会社 1996年12月改订版

日本日东电工集团膜产品规格(附表)

3.海水淡化、苦咸水脱盐、软化、水溶液分离、浓缩用分离膜一览表(RO、NF、UF)

分离膜类型				反渗透膜(RO)													超滤膜(UF)
膜材料				全芳香族聚酰胺													聚砜
膜元件型号				NTR-759HR			NTR-70SWC		NTR-729HF		NTR-7250		NTR-7450		NTR-7410		NTU-2120
膜元件直径				s2	s4	s8	S4	S8	S4	S8	S4	S8	S2	S4	S2	S4	-
性能 *1	脱盐率		[%]	99.5			99.6		92		97		50		10		-
性能 *1	纯水产量		[m^3/d]	1.6	7	30	4	16	8	36	12	48	4.5	13	8	25	20
性能 *1	测定条件	进水浓度	[-]	0.15%NaCl			3.5%NaCl		0.15%NaCl		0.2%$MgSO_4$		0.2%NaCl		0.2%NaCl		纯水
性能 *1	测定条件	操作压力	[MPa]	1.5			5.5		1.0		2.0		1.0		0.5		0.2
性能 *1	测定条件	操作温度	[℃]	25			25		25		25		25		25		25
性能 *1	测定条件	pH	[-]	6.5			6.5		6.5		6.5		6.5		6.5		-
性能 *1	测定条件	单只膜元件回收率	[%]	10-20			10-20		10-20		30-35		50		50		-
性能 *1	公称截留分子量		-	-			-		-		-		-		-		20000
使用条件	最高操作压力		[MPa]	4.2			6.9		4.2		4.2		4.2		4.2		1.0
使用条件	最高操作温度		[℃]	40			40		40		40		40		40		30
使用条件	最大进水流量		[L/min]	25	42	200	42	200	42	200	42	200	25	42	25	42	-
使用条件	进水污染指数		FI值	4以下			4以下		4以下		4以下		4以下		4以下		-
使用条件	进水pH		[-]	2-10			2-10		2-8		2-8		2-11		2-11		2-11
应用特点 *3	海水淡化			-			◎		-		-		-		-		-
应用特点 *3	苦咸水脱盐			◎			○		○		-		-		-		-
应用特点 *3	纯水生产			◎			-		-		-		-		-		-
应用特点 *3	废水的高度处理			-			-		◎		○		-		-		-
应用特点 *3	有价物回收			○			○		○		○		○		○		-
应用特点 *3	一般工业废水			○			-		○		-		-		-		-
应用特点 *3	染料脱盐浓缩，溶液脱色			-			-		-		-		◎		◎		-
应用特点 *3	电泳涂料回收			-			-		-		-		-		-		◎

*1:上述性能非保证值，具体检测条件及保证条件参见产品使用说明书，另外，测定条件并非最佳使用条件，具体可向销售人员咨询。

*2:[记号意义]→◎最适宜，○适宜。

日东电工株氏会社 1996年12月改订版

日本日东电工集团膜产品规格(附表)

4.食品饮料生化、医药等用途分离膜一览表(Thermo Plus[HG]系列)

分离膜类型			高脱除率反渗透膜(RO)				带电荷松散反渗透膜(纳滤NF)				松散渗透膜(纳滤NF)			
膜材料			全芳香族聚酰胺				磺化聚砜				聚乙烯醇			
膜元件型号			NTR-759HG		NTR-70HG		NTR-7410HG		NTR7450HG		NTR-7250HG		NTR-729HG	
膜元件直径			S2F	S4F	S2F	S4F	S2F	S4F	S2F	S4F	S2F	S4F	S2F	S4F
性能*1	脱盐率 min值	[%]	99.0		99.0		10		40		97		90	
	透过水量*2 min值	[m^3/d]	1.5	6.0	0.6	1.8	6	20	3	10	3.0	13.5	2.0	6.5
	测定条件 进水浓度	[-]	0.15%NaCl		3.5%NaCl		0.2%NaCl		0.2%NaCl		0.2%$MgSO_4$		0.15%NaCl	
	测定条件 操作压力	[MPa]	1.5		5.5		0.5		1.0		2.0		1.0	
	测定条件 操作温度	[℃]	25		25		25		25		25		25	
	测定条件 pH	[-]	6.5		6.5		6.5		6.5		6.5		6.5	
	测定条件 单只膜元件回收率	[%]	10-20		10-20		50		50		30-35		15-25	
	公称截留分子量	-	-		-		-		-		-		-	
使用条件	最高操作压力	[MPa]	4.9		6.9		4.9		4.9		4.9		4.9	
	最高操作温度	[℃]	90		90		90		90		60		60	
	连续使用温度	[℃]	5-60		5-60		5-60		5-60		5-40		5-40	
	最大进水流量	[L/min]	25	42	25	42	25	42	25	42	25	42	25	42
	进水污染指数	FI值	4以下		4以下		4以下		4以下		4以下		4以下	
	进水pH	[-]	2-10		2-10		2-11		2-11		2-8		2-8	
应用特点*3	乳制品(牛奶、乳清、脱脂奶粉等)浓缩		◎		-		-		-		-		○	
	提取液(水产品、蔬菜、酵母液等)浓缩		◎		○		-		-		-		-	
	低聚糖类浓缩		◎		○		-		-		○		○	
	饮料(果汁、茶叶、咖啡等)浓缩		◎		○		-		-		○		○	
	调味料液脱色		-		-		◎		◎		-		-	
	各种液体分离，脱盐浓缩(乳制品、氨基酸、糖类)		-		-		○		○		○		○	
	食品、医药用无菌水生产		○		-		-		-		-		-	

*1:上述性能非保证值，具体检测条件及保证条件参见产品使用说明书，另外，测定条件并非最佳使用条件，具体可向销售人员咨询。

*2:使用60℃以上的热水时，NTR-759HG、NTR-70HG的纯水稳定透水量将比运行初期降低40%。

*3:[记号意义]→◎最适宜，○适宜。

日东电工株氏会社 1996年12月改订版

8英寸反渗透纳滤膜元件性能参数一览表

类型	型号	膜面积 ft^2 (m^2)	标准脱盐率 %	标准产水量 GPD (m^3/d)	测试水溶液及盐浓度 mg/l	测试压力 psi (Mpa)	页码
超低压反渗透膜	ESPA1	400 (37.2)	99.3	12000 (45.4)	NaCl，1500	150 (1.05)	7
	ESPA2	400 (37.2)	99.6	9000 (34.1)	NaCl，1500	150 (1.05)	
	ESPA2+	440 (40.9)	99.6	11000 (41.6)	NaCl，1500	150 (1.05)	
	ESPAB	400 (37.2)	99.2	8600 (32.6)	NaCl，1500	150 (1.05)	
	ESPA4	400 (37.2)	99.2	12000 (45.4)	NaCl，500	100 (0.70)	
低压反渗透膜	CPA2	365 (33.9)	99.7	10000 (37.9)	NaCl，1500	225 (1.55)	9
	CPA3	400 (37.2)	99.7	11000 (41.6)	NaCl，1500	225 (1.55)	
	CPA3-LD	400 (37.2)	99.7	11000 (41.6)	NaCl，1500	225 (1.55)	
	CPA4	400 (37.2)	99.7	6000 (22.7)	NaCl，1500	225 (1.55)	
低污染反渗透膜	LFC1	400 (37.2)	99.5	11000 (41.6)	NaCl，1500	225 (1.55)	10
	LFC1-365	365 (33.9)	99.5	10000 (37.9)	NaCl，1500	225 (1.55)	
	LFC3	400 (37.2)	99.6	9500 (36.0)	NaCl，1500	225 (1.55)	
	LFC3-LD	400 (37.2)	99.7	11000 (41.6)	NaCl，1500	225 (1.55)	
二级专用正电荷膜	LFC2	365 (33.9)	95.0	11000 (41.6)	NaCl，1500	225 (1.55)	12
海水淡化反渗透膜	SWC3	370 (34.4)	99.7	5900 (22.3)	NaCl，32000	800 (5.52)	13
	SWC3+	400 (37.2)	99.8	7000 (26.5)	NaCl，32000	800 (5.52)	
	SWC4	370 (34.4)	99.8	5500 (20.8)	NaCl，32000	800 (5.52)	
	SWC4+	400 (37.2)	99.8	6500 (24.6)	NaCl，32000	800 (5.52)	
	SWC5	400 (37.2)	99.8	8000 (30.3)	NaCl，32000	800 (5.52)	
纳滤膜	EANA1-K1	400 (37.2)	97.0	10500 (39.7)	$MgSO_4$，500	80 (0.55)	17
			90.0	9320 (35.3)	NaCl，500	70 (0.50)	
	ESNA1-LF	400 (37.2)	81.0	7500 (28.4)	$CaCl_2$，500	70 (0.50)	

4英寸反渗透纳滤膜元件性能参数一览表

类型	型号	膜面积 ft^2 (m^2)	标准脱盐率 %	标准产水量 GPD (m^3/d)	测试水溶液及盐浓度 mg/l	测试压力 psi (Mpa)	页码
超低压反渗透膜	ESPA1-4040	85 (7.9)	99.2	2600 (9.8)	NaCl，1500	150 (1.05)	20
	ESPA2-4040	85 (7.9)	99.6	1900 (7.2)	NaCl，1500	150 (1.05)	
	ESPA4-4040	85 (7.9)	99.2	2500 (9.5)	NaCl，1500	100 (0.70)	
低压反渗透膜	CPA2-4040	85 (7.9)	99.5	2250 (8.5)	NaCl，1500	225 (1.55)	21
低污染反渗透膜	LFC1-4040	85 (7.9)	99.4	2300 (8.7)	NaCl，1500	225 (1.55)	22
二级专用正电荷膜	LFC2-4040	85 (7.9)	95.0	1980 (7.5)	NaCl，1500	225 (1.55)	22
海水淡化反渗透膜	SWC1-4040	70 (6.5)	99.6	1200 (4.5)	NaCl，32000	800 (5.52)	23
	SWC2-4040	70 (6.5)	99.2	1400 (5.3)	NaCl，32000	800 (5.52)	
纳滤膜	EANA1-K1-4040	85 (7.9)	97.0	2200 (8.3)	$MgSO_4$，500	80 (0.55)	24
			90.0	1952 (7.4)	NaCl，500	70 (0.50)	

2005版 美国海德能公司版权所有，本手册内容未经许可不得擅自使用。

■ 北京代表处
北京市朝阳区东三环中路9号
富尔大厦1609室
电话：(010)85910958
传真：(010)85910959

■ 上海代表处
上海市延安东路550号
海洋大厦712室
电话：(021)63500707
传真：(021)63616311

■ 山东代表处
山东省济南市泺源大街229号
金龙大厦5楼A10室
电话：(0531)86121257
传真：(0531)86121297

■ 河南联络处
电话：(0371)68200627

■ 广东联络处
电话：(0757)28808893

■ 日东电工(上海松江)有限公司
上海市松江工业区
东区大道联阳路116号
电话：(021)57742184
传真：(021)57741140

如果您需要更多关于产品的详细咨讯
请使用internet访问美国海德能公司主页以获得帮助

美国海德能公司主页 http://www.membranes.com
海德能（中国）主页 http://www.hydranautics.cn