

前 言

熊津化学公司是当今世界上少有的几个能大规模生产卷式反渗透复合膜元件的膜制造商之一；熊津化学公司生产的CSM系列反渗透分离膜以其卓越的性能而驰名国内外，并在国内外水处理行业中被广泛使用，本资料就是为向广大用户介绍CSM反渗透膜元件而专门编写的。

反渗透膜系统作为一个典型的膜分离操作单元，已被广泛应用于生活饮用水净化、电子行业超纯水生产、化工、电力、纺织、冶金等行业工艺用水的生产过程中，在水处理领域占有十分重要的地位。因此，为使中国的反渗透水处理工程公司和用户能对CSM反渗透膜技术及应用技术有着更深刻的了解，特地用中文编辑并出版该资料，以供广大水处理工程公司、设计单位和反渗透膜用户在设计及使用参考。本刊在此主要编辑了CSM反渗透膜产品性能介绍、反渗透预处理工艺、膜系统设计导则、CSM反渗透膜与其他公司同类产品性能对比等有关内容。随着CSM反渗透膜在国内各行业应用的不断深入，我们也将不断地完善本刊，补充更新、更多的内容，希望本刊能成为您在反渗透系统设计及应用工作中的助手。

尽管我们所编辑的资料在很多方面存在不足。但我们真诚地希望它能对从事水处理行业的各位同仁了解反渗透水处理技术有所裨益。为此，我们真诚地希望参考本资料和使用反渗透膜产品的诸位提出宝贵的建议。

熊津化学公司CSM膜事业部

目 录

1. 熊津化学公司介绍

1-1. 总部和工厂地址.....	1
1-2. 熊津化学公司的历史	2
1-3. 反渗透膜业务历史	4

2. 反渗透介绍

2-1. 反渗透技术应用概述	5
2-2. 反渗透的原理	6
2-3. 反渗透的类型	7
2-4. CSM 反渗透膜特点	9
2-5. CSM 反渗透膜脱盐率特点	11

3. CSM 膜技术详述

3-1. CSM膜元件命名法	13
3-2. CSM膜全球部分业绩	14
3-3. 苦咸水膜元件	17
3-4. 抗污染膜元件	20
3-5. 超低压节能膜元件.....	23
3-6. 海水淡化膜元件.....	26
3-7. 纳滤膜元件.....	29
3-8. 自来水膜元件	31
3-9. 超纯水膜元件.....	33
3-10. 家用膜元件	34

4. 水化学和系统预处理

4-1. 介绍	35
4-2. 进水水质分析	36
4-3. 防止结垢形成	44
4-4. 防止硅垢	51
4-5. 胶体污染的控制	54
4-6. 生物污染的防范.....	58
4-7. 有机物污染的防治.....	61

5. 系统设计

5-1. 介绍	62
5-2. 系统设计指南.....	63
5-3. 间歇式和连续式工艺.....	65
5-4. 单支压力容器系统	67
5-5. 单段系统.....	68
5-6. 多段系统.....	69
5-7. 双级反渗透系统	70
5-8. 系统的膜元件数量和压力容器数量的设计.....	71
5-9. 特殊应用系统的测试	74

6. 系统运行

6-1. 介绍	75
6-2. 试运行.....	76
6-3. 运行管理记录	79
6-4. 数据标准化	82
6-5. 控制反渗透系统的微生物生长.....	87

7. 化学清洗和杀菌

7-1. 介绍	88
7-2. 定时的化学清洗	89
7-3. 清洗装置	90
7-4. 清洗程序	91
7-5. 清洗的化学药品	93
7-6. 杀菌	97

8. 故障诊断和排除

8-1. 介绍	99
8-2. 仪表的校正.....	100
8-3. 确定系统脱盐率低的原因.....	102
8-4. 膜元件分析	103
8-5. 重度污染膜元件的清洗检测.....	104
8-6. 重度污染的膜元件的分析方法.....	105
8-7. 问题原因和纠正方法.....	107

9. 附录

9-1. 品质保证条件	116
9-2. 反渗透系统运行前的检查程序	122
9-3. 反渗透的运行记录	124
9-4. 各种离子化学单位之间的转换	125
9-5. 标准海水成份	126
9-6. 难溶盐溶度积	127
9-7. 各种酸溶液电导	128
9-8. 各种碱溶液的电导	128
9-9. 盐溶液的电导	129
9-10. 各种离子的电导	130
9-11. 各种浓度的氯化钠溶液的电导	131
9-12. 25℃时碳酸氢根和二氧化碳的转化曲线	131
9-13. 各种浓度的氯化钠溶液的渗透压	132
9-14. 各种盐溶液的渗透压	132
9-15. CSM膜的性能曲线	133
9-16. 温度校正系数(TCF)	138
9-17. CSM抗污染膜	141
9-18. 抗污染膜的性能参数	147

10. 认证书

1-1. 总部办公室及工厂地址

■ 总部地点：

韩国 汉城 麻浦区 孔德洞 SAEHAN大厦

■ 研发中心地点：

287 Gongdan-dong, Kumi city, Gyungbuk, 韩国.

■ 韩国庆山工厂：

1 Joongsan-dong, Gyungsan City, Gyungbuk, Korea.

主要产品：Elite(fabrics), Elasto(elastic fabrics)

Fabrics for Y shirts, Coduroy products ,

反渗透膜第1生产线

■ 韩国龟尾工厂：

287 Gongdan-dong, Gumi city, Gyungbuk, Korea.

主要产品：Polyester fabrics, fibers, and chips(for the
production of bottles),

反渗透膜第2生产线

1-2. 熊津化学工业公司的历史

- 1972年 公司作为三星集团子公司——第一合纤公司成立
- 1974年 公司在龟尾的第一工厂竣工，并开始生产聚酯纤维原料
- 1977年 公司发展成为一个上市公司，即企业股票上市
- 1982年 公司龟尾工厂开始生产聚酯纤维
- 1985年 公司龟尾工厂开始生产聚酯基（胶）片
- 1987年 设备出口至印尼BARODARAYON公司，生产合成纤维
- 1988年 设备出口至印度YASONTA集团公司，用于纺纱生产
- 1988年 合资公司Cheil Ciba—Geigy公司成立
- 1989年 公司在印度尼西亚设立合资企业YASONA集团
- 1990年 在庆山建立化纤工厂
- 1993年 龟尾工厂通过ISO—9002认证
- 1994年 在韩国最早完成反渗透膜的研发
- 1994年 在印尼建立化纤纺织厂
- 1995年 龟尾第二工厂竣工，并开始生产聚酯原料，纤维，片材，PS无纺布等产品
- 1995年 庆山工厂通过ISO—9002认证
- 1996年 龟尾工厂通过了ISO—14001认证
- 1997年 公司正式更名为世韩集团
- 1997年 庆山工厂通过了ISO—9002和ISO—14001认证

- 1999年 与TORY公司合作开发TSI
- 2000年 与DuPont合作开发DSI
- 2003年 龟尾工厂进行RO膜的扩产
- 2004年 LMP设备更新
- 2006年 庆山工厂迁往龟尾
- 2008年 公司更名为熊津化学公司

1-3. 反渗透膜业务发展历史

- 1990年 成立研发中心，开始反渗透膜的基础研发工作
- 1994年 开发成功高脱盐率大通量的反渗透膜
- 1994年 在研发中心完成了实验工作、得到了日本的JHP和美国的FDA认证
- 1995-1996年 家用反渗透膜产品出口到亚洲国家包括中国大陆，中国台湾和印度，并为工业膜的生产做准备
- 1997年 在韩国的庆山工厂安装了机械化生产线，获得了韩国政府颁发的 IR 52 奖和KT MARK 奖，并且熊津化学公司生产的家用膜占韩国市场的50%以上，成功开发了超低压反渗透膜4英寸和8英寸的BL系列产品
- 1998年 成功完成海水反渗透膜的实际工程应用
- 2000年 开发生产出抗污染反渗透膜元件并在工程中应用
- 2001年 开发生产出高脱盐率的海水反渗透膜
- 2003年 在龟尾工业园增加了第2条反渗透膜生产线，开发成功半导体电子行业超纯水用反渗透膜元件
- 2006年 开发高脱硼的海水膜
- 2008年 第三条生产线完成

2-1. 反渗透技术应用概述

科学技术的快速进步带给我们的生活很多益处，但同时也造成了环境的污染。比如，工业废水污染了我们的水源。而且自然界水源供给量无法满足因人口膨胀和工业增长造成水量需求的增长。另外，季节降雨量不均匀也造成的水资源紧张。

人类从含杂质水中获得纯水的传统方法是蒸馏法。其它工艺如离子交换和电渗析法从1950年开始用于纯水制备，近十几年反渗透膜被广泛用于海水和苦咸水的脱盐。反渗透不仅被公认为是比较经济的脱盐技术，而且也被认为是脱除重金属、杀虫剂和其它污染物质的好办法。

反渗透也可用于废水回用和回收排放水中有价值的原料。例如，从染料废水中回收染料。反渗透也可用于食品饮料工艺。另外，新种类分离膜的发展也带动了生物技术和制药行业中膜分离工艺的发展，既节约了能耗又不会造成产品的热降解。

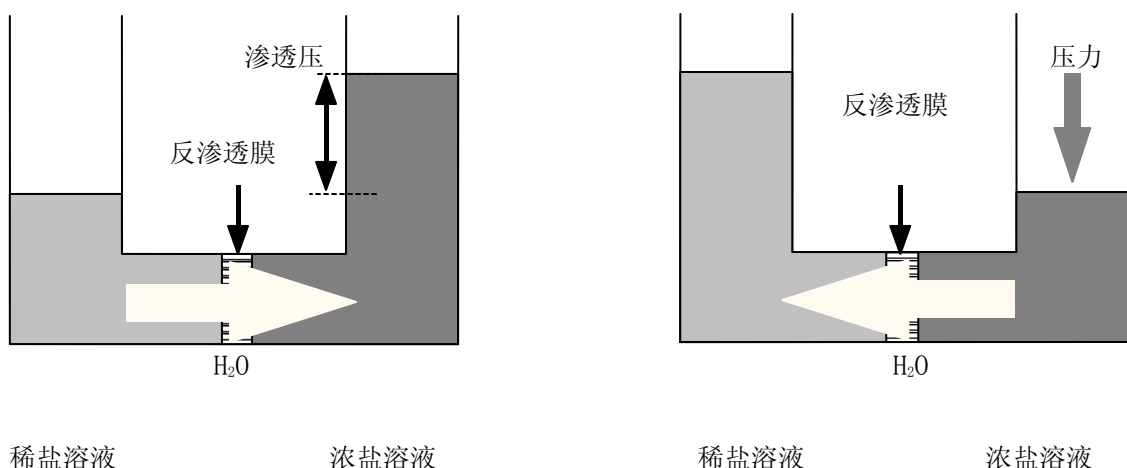
2-2. 反渗透膜原理

下图说明了自然的渗透现象。

(反渗透膜) 半透膜被放置在两种液体室中间。反渗透膜的支撑层有 $50\ \mu\text{m}$ 厚，表面分离层只有 $0.2\ \mu\text{m}$ 厚。渗透现象是稀盐溶液室的水分子通过反渗透膜进入浓盐溶液室造成浓盐溶液室液位上升。

当浓盐室上升液柱的压力与两盐水室间化学势能相等时，浓盐室液面停止上升。在平衡状态下，浓水室上升液柱给反渗透膜的压力叫渗透压。

如果有一外界力施加在浓水室液柱上，水分子流动方向将反转过来，这个现象叫反渗透。水分子反向从浓盐溶液进入稀盐液室，但是盐份无法透过膜层。



2-3. 反渗透膜的种类

◎ 非对称膜 —— 醋酸纤维素膜 (CA膜)

传统上讲, 非对称膜是由溶于丙酮中的醋酸纤维聚合物形成的分离薄膜, 这种技术的反渗透膜在1962年首次商业化。

这种非对称结构CA膜表面有一层 $0.1-0.2\ \mu\text{m}$ 厚度的脱盐分离层, 分离层下面的支撑层结构厚度大约 $100\sim 200\ \mu\text{m}$, 是高透水性的海绵状多孔结构。CA膜的脱盐率和产水通量的性能可以由成膜时间和温度来控制。

◎ 复合薄膜 —— 芳香聚酰胺膜 (TFC膜)

芳香聚酰胺复合膜通常底层是多孔结构的聚砜, 表层为胶联结构的PA涂层。表面分离层芳香聚酰胺是由苯三甲酰氯和间苯二胺聚合成, 复合膜的生产工艺可以优化支撑层和分离层的各自特点。TFC复合膜与醋酸纤维素膜比较, 有更大的产水通量和更高的脱盐率。

◎ 复合膜与醋酸纤维素膜的比较

正如上面所述，从1981年复合膜商业化生产后，其具有高通量高脱盐率特点，显示出比此前广泛应用CA膜的明显优势。与CA膜相比，复合膜（TFC）具有允许pH值范围宽、操作压力低等特点。详细比较如下表：

参数		复合膜	醋酸膜
pH使用范围		2~12	4~6
使用压力 (Kg/cm ²)		15	30
脱盐率 (%)	TDS	99+	98
	硅 (SiO ₂)	99+	<95
使用3年后脱盐率的变化		99%→98.7%	98%→96%
耐氯性		<0.1 ppm	1 ppm
抗污染能力		强	弱

2-4. 熊津化学CSM反渗透膜的基本分离特性

◎反渗透膜的基本分离特性

- 1) 无机物的脱除率比有机物的脱除率高，有机物分子量大于100的也有比较高的脱除率。
- 2) 离子态溶质的脱除率好于非离子态溶质。
- 3) 高价的离子态溶质脱除率高于低价溶质。例如， Al^{3+} 的脱除率高于 Mg^{2+} ； Mg^{2+} 的脱除率高于 Na^+ 。
- 4) 无机物溶质脱除率与离子大小和水合离子大小有关。离子半径或水合离子半径越大，脱除率就越高。
- 5) 非离子态溶质的分子量越大，脱除率越高。
- 6) 分子量小于100的气体分子很容易渗透过膜片。例如，氨气、氯气、二氧化碳、氧气和硫化氢容易透过膜。
- 7) 弱酸的脱除率低并且和分子量有关。以下三种酸的脱除率因分子量减少而降低。柠檬酸高于酒石酸高于乙酸。

◎ CSM反渗透膜的特性

- 1) 高水通量和高脱盐率
- 2) 化学稳定性好 (pH2 - 12)
- 3) 使用寿命长
- 4) 抗生物污染
- 5) 可使用压力范围广泛 (20 - 1000psi)
- 6) 可使用温度范围广泛 (4°C - 45°C)
- 7) 经济性好

2-5. 熊津化学CSM 反渗透膜的盐脱除率特性

◎ CSM的BE和BN系列膜对溶质的脱除率

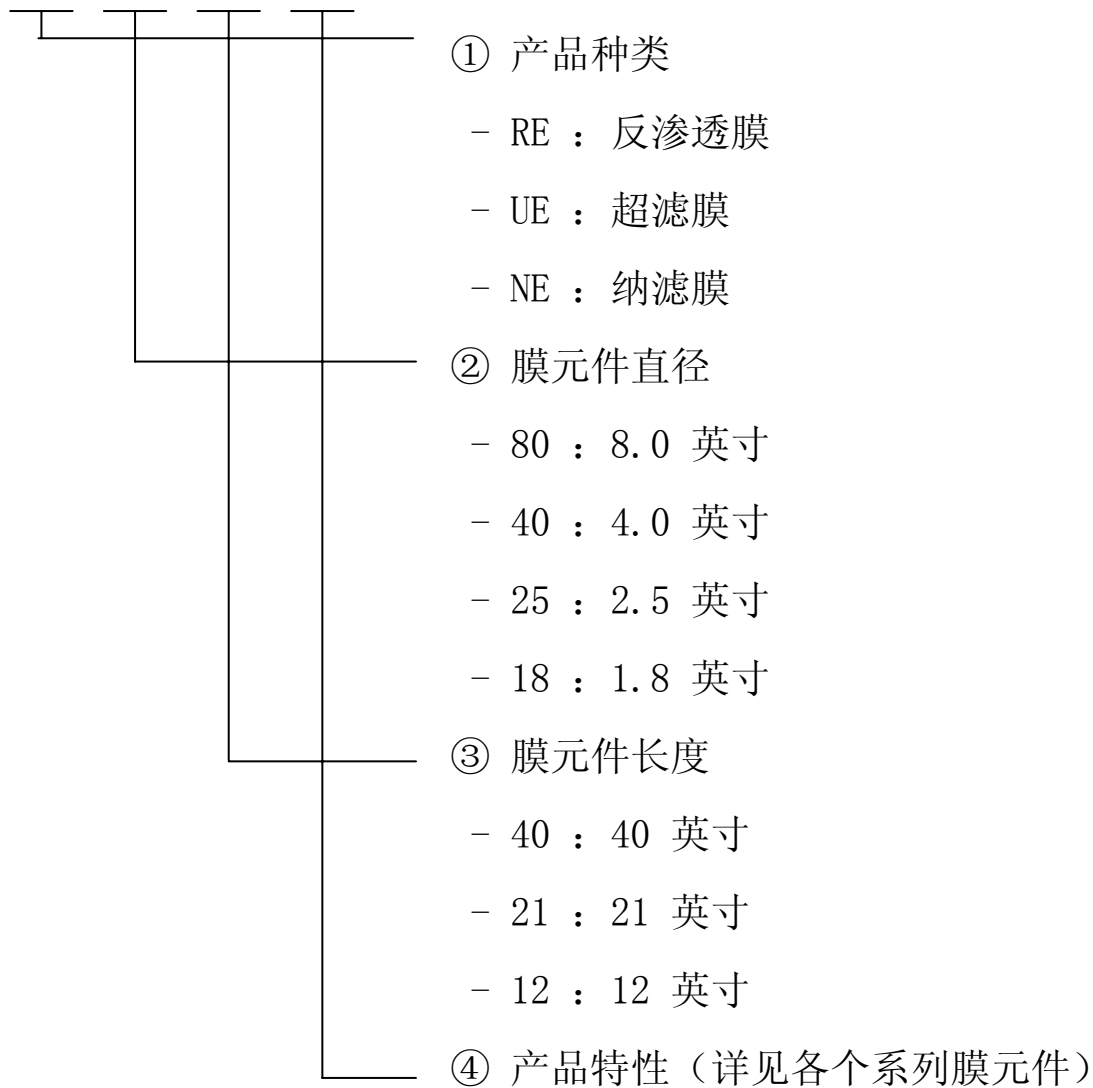
序号	盐份	脱除率 (%)	分子量
1	NaF 氟化钠	99	42
2	NaCN 氰化钠	98	49
3	NaCl 氯化钠	99	58
4	SiO ₂ 二氧化硅	99	60
5	NaHCO ₃ 碳酸氢钠	99	84
6	NaNO ₃ 硝酸钠	97	85
7	MgCl ₂ 氯化镁	99	95
8	CaCl ₂ 氯化钙	99	111
9	MgSO ₄ 硫酸镁	99	120
10	NiSO ₄ 硫酸镍	99	155
11	CuSO ₄ 硫酸铜	99	160
12	甲醛	35	30
13	甲醇	25	32
14	乙醇	70	46
15	异丙醇	92	60
16	尿素	70	60
17	乳酸(pH2)	94	90
18	乳酸 (pH5)	99	90
19	葡萄糖	98	180
20	蔗糖	99	342
21	氯化农药	99	-
22	BOD	95	-
23	COD	97	-

◎ CSM的BE和BN系列膜对各种离子的脱除率

序号	名称	符号	脱除率 (%)
1	钠 Sodium	Na	97
2	钙 Calcium	Ca	99
3	镁 Magnesium	Mg	99
4	钾 Potassium	K	98
5	铁 Iron	Fe	99
6	锰 Manganese	Mn	99
7	铝 Aluminum	Al	99
8	氨 Ammonia	NH ₄	99
9	铜 Copper	Cu	99
10	镍 Nickel	Ni	99
11	锌 Zinc	Zn	99
12	锶 Strontium	Sr	98
13	镉 Cadmium	Cd	99
14	银 Silver	Ag	99
15	汞 Mercury	Hg	99
16	氯 Chloride	Cl	99
17	重碳酸盐 Bicarbonate	HCO ₃	98
18	硫酸盐 Sulfate	SO ₄	99
19	硝酸盐 Nitrate	NO ₃	96
20	氟化物 Fluoride	F	98
21	硅 Silica	SiO ₂	99
22	磷酸盐 Phosphate	PO ₄	99
23	钡 Barium	Ba	98

CSM膜的命名法

RE - 80 40 - XXX



CSM膜安装业绩

1. 锅炉补给水

用户	地点	型号	规模	日期	备注
Kia Motors	Asan	RE8040-BN	400m ³ /hr	Dec.1999	
Dongbu Steel	Dangjin	RE8040-BE	400m ³ /hr	Mar.2002	
Veolia	Daesan	RE8040-BE	300m ³ /hr	Jan.2003	
SK Corporation	Ulsan	RE8040-BN	350m ³ /hr	Oct.2002	
Samsung General Chemical	Daesan	RE8040-FE	420m ³ /hr	Jul.2003	
SK Corporation	Ulsan	RE8040-BE	200m ³ /hr	Oct.2002	
POSCO	Pohang	RE8040-BN	60m ³ /hr	Jan.1999	
Hyundai Motors R&D Center	Namyang	RE8040-BE	100m ³ /hr	Mar.1998	
Saehan Industries Inc	Gyungshan	RE8040-BN	100m ³ /hr	Apr.2000	
Saehan Industries Inc	Gumi	RE8040-BN	150m ³ /hr	Oct.2000	

2. 超纯水

用户	地点	型号	规模	日期	备注
Samsung Electronics	Onyang	RE8040-BE	100m ³ /hr	Oct.1997	
Anam S&T	Cheonan	RE8040-BN	30m ³ /hr	Sep.1996	
Hankuk Electronics	Kumi	RE8040-BN	100m ³ /hr	Jan.1998	Replace CA with PA
Hyundai Electronics	Shanghai	RE8040-BN	50m ³ /hr	Oct.1997	
LG Siltron	Kumi	RE8040-BE	30m ³ /hr	Aug.2001	UPW 2nd pass
Samsung SDI	Kachun	RE8040-BN	420m ³ /hr	Jul.1997	

3. 电厂用水

用户	地点	型号	规模	日期	备注
Busan Cogeneration	Busan	RE8040-BN	100m ³ /hr	Apr.1999	
KEPCO	Pyungtaek	RE8040-BE	100m ³ /hr	Jan.1998	

4. 零排放系统

用户	地点	型号	规模	日期	备注
Doosan Electronics	Jeungpyung	RE8040-BE RE4040-SN	30m ³ /hr	Jul.1997	
Hyundai Motors	Asan	RE8040-BF	200m ³ /hr	Apr.2001	
Hyundai Motors	Asan	RE8040-SF	20m ³ /hr	Jun.2001	
Huyndai Motor	Asan	RE8040-BE	300m ³ /hr	Sep.1998	

5. 废水回用系统

用户	地点	型号	规模	日期	备注
LG Siltron	Ichun	RE8040-BE	30m ³ /hr	Jul.1998	
Samsung Electro-Mechanics	Jochiwon	RE8040-BE	120m ³ /hr	May.1999	
Caprolactam	Ulsan	RE8040-BE RE8040-SN RE8040-SR	180m ³ /hr	Aug.2002	
Samnam Petrochemical	Ulsan	RE8040-BF	100m ³ /hr	Aug.2002	
LG Siltron	Kumi	RE8040-BN	120m ³ /hr	May.1999	

6. 海水系统

用户	地点	型号	规模	日期	备注
EAST PARS	Iran	RE8040-SN RE8040-BE	1,800m ³ /hr	Aug.2000	
Korea Navy Force	Jinhae	RE4040-SR	500pcs	Jun.1998	
KROSIS		RE8040-SN RE4040-SN RE2540-SN	1000pcs/yr		Plant Manufacturer
Korea Navy Force	Jinhae	RE4040-SR	255pcs	May.2002	
SOUTH PARS	Iran	RE8040-SR RE8040-BE	70m ³ /hr	Aug.2002	
Korea Navy Force	Jinhae	RE4040-SR	730pcs	Aug.2002	
Shinan-Gun	Hongdo	RE8040-SN	100m ³ /hr	May.1999	

7. 工艺用水

用户	地点	型号	规模	日期	备注
Samyang Kasei	Chunju	RE8040-BE	200m ³ /hr	Oct. 1999	
Samyang Kasei	Chunju	RE8040-BF	200m ³ /hr	Aug. 2001	
Samsung Motor	Busan	RE8040-BE	220m ³ /hr	May. 2000	

苦咸水膜元件

- 广泛运用于制造纯净水和超纯水，同时也可用于食品浓缩和重金属回收等行业。
- 苦咸水淡化用膜将井水、河水、湖水和工业废水净化成复合要求的水。

产品特性:

- 1) BE—扩展膜面积
- 2) BN—普通膜面积
- 3) BE440—超大膜面积 (440ft²)
- 4) HBE—扩展膜面积, 更高脱盐率 (99.7%)
- 5) BR—更高脱盐率

膜片类型:

芳香族聚酰胺复合膜

苦咸水膜元件（1）

技术参数		单位	苦咸水膜（产水量误差±15%）				
			RE8040-BE	RE8040-HBE	RE8040-BE440	RE8040-BN	RE8040-BR
性能	产水量	GPD	11000	10000	12000	10000	5500
		m ³ /d	41.6	37.9	45.4	37.9	20.8
	脱盐率	%	99.5	99.7	99.5	99.5	99.7
检测条件	操作压力	psig	225	225	225	225	225
	温度	°C	25	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	2000	2000	2000	2000	2000
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	15	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	15	15	15	15
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	单支最大压降	psig	15	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	400	400	440	365	380
		m ²	37.2	37.2	40.9	33.9	35.3
	膜元件长度	inch	40	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	产水管内径	inch	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
	产水管外径	inch	---	---	---	---	---
	产水管凸出	inch	---	---	---	---	---

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

苦咸水膜元件（2）

技术参数		单位	苦咸水膜（产水量误差±15%）			
			RE4040-BE	RE4040-BN	RE4021-BE	RE2540-BN
性能	产水量	GPD	2400	2000	1050	600
		m ³ /d	9.1	7.6	4.0	2.3
	脱盐率	%	99.5	99.5	99.5	99.5
检测条件	操作压力	psig	225	225	225	225
	温度	°C	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	2000	2000	2000	2000
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	4.0	4.0	4.0	1.3
	最小浓排量	m ³ /hr	0.91	0.91	0.91	0.22
	单支最大压降	psig	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	85	75	35	24
		m ²	7.9	7.0	3.3	2.2
	膜元件长度	inch	40	40	21	40
	膜元件直径	inch	4.0	4.0	4.0	2.5
	产水管内径	inch	---	---	---	---
	产水管外径	inch	0.75	0.75	0.75	0.75
	产水管凸出	inch	1.0	1.0	1.0	1.0

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

抗污染膜元件

- 抗污染膜的生产采用了最新技术。
- 抗污染膜适用于处理高污染水，与传统膜相比抗污染性能大大提高。
- 减少化学清洗频率，降低操作成本。
- FEⁿ膜是FE膜的升级产品，具有更强的抗污染性能。

产品特性：

- 1) FE—扩展膜面积
- 2) FEⁿ—FE升级产品
- 3) FN—普通膜面积
- 4) FD—低压降
- 5) FDⁿ—FD升级产品
- 6) FL—超低压

膜片类型：

芳香族聚酰胺复合膜

抗污染膜元件（1）

技术参数		单位	抗污染膜（产水量误差±15%）			
			RE8040-FE	RE8040-FE ⁿ	RE8040-FN	RE4040-FE
性能	产水量	GPD	11000	11000	10000	2400
		m ³ /d	41.6	41.6	37.9	7.9
	脱盐率	%	99.5	99.5	99.5	99.5
检测条件	操作压力	psig	225	225	225	225
	温度	°C	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	2000	2000	2000	2000
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	15	15	4.0
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	3.6	3.6	0.91
	单支最大压降	psig	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	400	400	365	85
		m ²	37.2	37.2	33.9	7.9
	膜元件长度	inch	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	8.0	8.0	4.0
	产水管内径	inch	1.125	1.125	1.125	---
	产水管外径	inch	---	---	---	0.75
	产水管凸出	inch	---	---	---	1.0

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

抗污染膜元件（2）

技术参数		单位	抗污染膜（产水量误差±15%）				
			RE8040-FN300	RE8040-FD	RE8040-FD ⁿ	RE8040-FL	RE4040-FL
性能	产水量	GPD	9000	10000	10000	9000	1900
		m ³ /d	34.1	37.9	37.9	34.1	7.2
	脱盐率	%	99.5	99.5	99.5	99.0	99.0
检测条件	操作压力	psig	225	225	225	150	150
	温度	°C	25	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	2000	2000	2000	1500	1500
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	15	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	15	15	15	4.0
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	3.6	3.6	3.6	0.91
	单支最大压降	psig	15	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	300	365	365	400	85
		m ²	27.9	33.9	33.9	37.2	7.9
	膜元件长度	inch	40	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	8.0	8.0	8.0	4.0
	产水管内径	inch	1.125	1.125	1.125	1.125	---
	产水管外径	inch	---	---	---	---	0.75
	产水管凸出	inch	---	---	---	---	1.0

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

超低压膜元件

- 超低压节能膜在较低的操作压力下与低压膜有相似性能，故能大大降低运行成本。
- 由于超低压节能膜运行压力较低，适用于中小型饮水系统。
- 有效节省泵、管道和压力容器的成本。
- 在低压操作下，超低压膜具有高脱盐率。

产品特性：

- 1) BLN440—超大膜面积（440ft²）
- 2) BLN—普通膜面积
- 3) BLR—高脱盐率
- 4) BLF—大通量节能

膜片类型：芳香族聚酰胺复合膜

超低压膜元件（1）

技术参数		单位	超低压膜（产水量误差±15%）			
			RE8040-BLN440	RE8040-BLN	RE8040-BLR	RE8040-BLF
性能	产水量	GPD	13000	12000	9000	11500
		m ³ /d	49.2	45.4	34.1	43.5
	脱盐率	%	99.0	99.2	99.5	99.2
检测条件	操作压力	psig	150	150	150	100
	温度	°C	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	1500	1500	1500	500
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	15	15	15
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	3.6	3.6	3.6
	单支最大压降	psig	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	440	400	400	400
		m ²	40.9	37.2	37.2	37.2
	膜元件长度	inch	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	8.0	8.0	8.0
	产水管内径	inch	1.125	1.125	1.125	1.125
	产水管外径	inch	---	---	---	---
	产水管凸出	inch	---	---	---	---

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10 ；清洗时2~11

超低压膜元件（2）

技术参数		单位	超低压膜（产水量误差±15%）		
			RE4040-BLN	RE4040-BLR	RE4040-BLF
性能	产水量	GPD	2600	1900	2500
		m ³ /d	9.8	7.2	9.5
	脱盐率	%	99.2	99.5	99.2
检测条件	操作压力	psig	150	150	100
	温度	°C	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	1500	1500	500
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	4.0	4.0	4.0
	最小浓排量	m ³ /hr	0.91	0.91	0.91
	单支最大压降	psig	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	85	85	85
		m ²	7.9	7.9	7.9
	膜元件长度	inch	40	40	40
	膜元件直径	inch	4.0	4.0	4.0
	产水管内径	inch	---	---	---
	产水管外径	inch	0.75	0.75	0.75
	产水管凸出	inch	1.0	1.0	1.0

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

海水淡化膜元件

- 在缺水地区海水淡化膜将海水转化为工业用水和饮用水。
- 适用于总含盐量超过10,000ppm的苦咸水淡化。
- CSM海水淡化膜具有高脱盐率和大通量特点,所以它运用于任何海水淡化设施。

产品特性:

- 1) SR—高脱盐率
- 2) SR400—高脱盐率、增大膜面积
- 3) SN—普通膜面积
- 4) SH—更高脱盐率
- 5) SHN—更高脱盐率、更大产水量
- 6) SHN400—更高脱盐率、增大膜面积

膜片类型:

芳香族聚酰胺复合膜

海水淡化膜元件（1）

技术参数		单位	海水淡化膜（产水量误差±15%）					
			RE8040-SR	RE8040-SR400	RE8040-SN	RE8040-SH	RE8040-SHN	RE8040-SHN400
性能	产水量	GPD	6000	6500	6000	4500	6000	6500
		m ³ /d	22.7	24.6	22.7	17.0	22.7	24.6
	脱盐率	%	99.6	99.6	99.2	99.75	99.75	99.75
检测条件	操作压力	psig	800	800	800	800	800	800
	温度	°C	25	25	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	32000	32000	32000	32000	32000	32000
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	8	8	8	8	8	8
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	15	15	15	15	15
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	单支最大压降	psig	15	15	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	370	400	370	370	370	400
		m ²	34.4	37.2	34.4	34.4	34.4	37.2
	膜元件长度	inch	40	40	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	产水管内径	inch	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
	产水管外径	inch	---	---	---	---	---	---
	产水管凸出	inch	---	---	---	---	---	---

进水条件:

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 1200psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

海水淡化膜元件（2）

技术参数		单位	海水淡化膜（产水量误差±15%）				
			RE4040-SR	RE4040-SH	RE4021-SR	RE2540-SR	RE2521-SR
性能	产水量	GPD	1200	1000	600	500	225
		m ³ /d	4.5	3.8	2.3	1.9	0.85
	脱盐率	%	99.6	99.75	99.6	99.6	99.6
检测条件	操作压力	psig	800	800	800	800	800
	温度	°C	25	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	32000	32000	32000	32000	32000
	pH	-	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7	6.5~7
	回收率	%	8	8	4	8	4
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	4.0	4.0	4.0	1.3	1.3
	最小浓排量	m ³ /hr	0.91	0.91	0.91	0.22	0.22
	单支最大压降	psig	15	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	74	74	35	24	12
		m ²	6.9	6.9	3.3	2.2	1.1
	膜元件长度	inch	40	40	21	40	21
	膜元件直径	inch	4.0	4.0	4.0	2.5	2.5
	产水管内径	inch	---	---	---	---	---
	产水管外径	inch	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	产水管凸出	inch	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

进水条件：

- 1) 最大SDI（15min） 5.0
- 2) 最高浊度 1.0NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C（113°F）
- 5) 最高操作压力 1200psi
- 6) pH范围 连续运行3~10 ；清洗时2~11

改变传统分离工艺的纳滤膜

- 纳滤膜可以脱除98%的二价离子，适用于水的软化。
- 纳滤膜可以用于多种领域。例如：染料浓缩、颜料回收和食品浓缩。
- 最近尤其用于海水淡化的预处理和市政水厂。

产品特性：

- 1) -90：一价离子脱除率85~95%
- 2) -70：一价离子脱除率60~70%

膜片类型：芳香族聚酰胺复合膜

进水条件：

- 1) 最大SDI (15min) 5
- 2) 最高浊度 1NTU
- 3) 最大余氯浓度 0.1ppm
- 4) 最高操作温度 45°C (113°F)
- 5) 最高操作压力 600psi
- 6) pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

纳滤膜元件

技术参数		单位	纳滤膜 (产水量误差±15%)					
			NE8040-90	NE4040-90	NE2540-90	NE8040-70	NE4040-70	NE2540-70
性能	产水量	GPD	9000	1900	450	7000	1500	350
		m ³ /d	34.1	7.2	1.7	26.5	5.6	1.3
	NaCl脱除率	%	85~95	85~95	85~95	60~70	60~70	60~70
	MgSO ₄ 脱除率	%	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
检测条件	操作压力	psig	75	75	75	75	75	75
	温度	°C	25	25	25	25	25	25
	NaCl浓度	ppm	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	MgSO ₄ 浓度	ppm	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	pH	-	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0
	回收率	%	15	15	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	4.0	1.3	15	4.0	1.3
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	0.91	0.22	3.6	0.91	0.22
	单支最大压降	psig	15	15	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	400	85	27	400	85	27
		m ²	37.2	7.9	2.5	37.2	7.9	2.5
	膜元件长度	inch	40	40	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	4.0	2.5	8.0	4.0	2.5
	产水管内径	inch	1.125	---	---	1.125	---	---
	产水管外径	inch	---	0.75	0.75	---	0.75	0.75
	产水管凸出	inch	---	1.0	1.0	---	1.0	1.0

自来水膜元件（1）

技术参数		单位	自来水膜（产水量误差±15%）			
			RE4040-TE	RE4021-TE	RE2540-TE	RE2521-TE
性能	产水量	GPD	2400	1050	800	300
		m ³ /d	9.1	4.0	3.0	1.1
	脱盐率	%	99.5	99.5	99.5	99.5
检测条件	操作压力	psig	225	225	225	225
	温度	°C	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	2000	2000	2000	2000
	pH	-	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0
	回收率	%	15	8	15	8
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	4.0	4.0	1.3	1.3
	最小浓排量	m ³ /hr	0.91	0.91	0.22	0.22
	单支最大压降	psig	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	85	35	27	12
		m ²	7.9	3.3	2.5	1.1
	膜元件长度	inch	40	21	40	21
	膜元件直径	inch	4.0	4.0	2.5	2.5
	产水管内径	inch	---	---	---	---
	产水管外径	inch	0.75	0.75	0.75	0.75
	产水管凸出	inch	1.0	1.0	1.0	1.0

进水条件：

- 1)最大SDI（15min） 5.0
- 2)最高浊度 1.0NTU
- 3)最大余氯浓度 0.1ppm
- 4)最高操作温度 45°C（113°F）
- 5)最高操作压力 600psi
- 6)pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

自来水膜元件（2）

技术参数		单位	自来水膜（产水量误差±15%）			
			RE4040-TL	RE4021-TL	RE2540-TL	RE2521-TL
性能	产水量	GPD	2600	1050	850	300
		m ³ /d	9.8	4.0	3.2	1.1
	脱盐率	%	99.0	99.0	99.0	99.0
检测条件	操作压力	psig	150	150	150	150
	温度	°C	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	1500	1500	1500	1500
	pH	-	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0
	回收率	%	15	8	15	8
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	4.0	4.0	1.3	1.3
	最小浓排量	m ³ /hr	0.91	0.91	0.22	0.22
	单支最大压降	psig	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	85	35	27	12
		m ²	7.9	3.3	2.5	1.1
	膜元件长度	inch	40	21	40	21
	膜元件直径	inch	4.0	4.0	2.5	2.5
	产水管内径	inch	---	---	---	---
	产水管外径	inch	0.75	0.75	0.75	0.75
	产水管凸出	inch	1.0	1.0	1.0	1.0

进水条件：

- 1)最大SDI（15min） 5.0
- 2)最高浊度 1.0NTU
- 3)最大余氯浓度 0.1ppm
- 4)最高操作温度 45°C（113°F）
- 5)最高操作压力 600psi
- 6)pH范围 连续运行3~10；清洗时2~11

超纯水膜元件

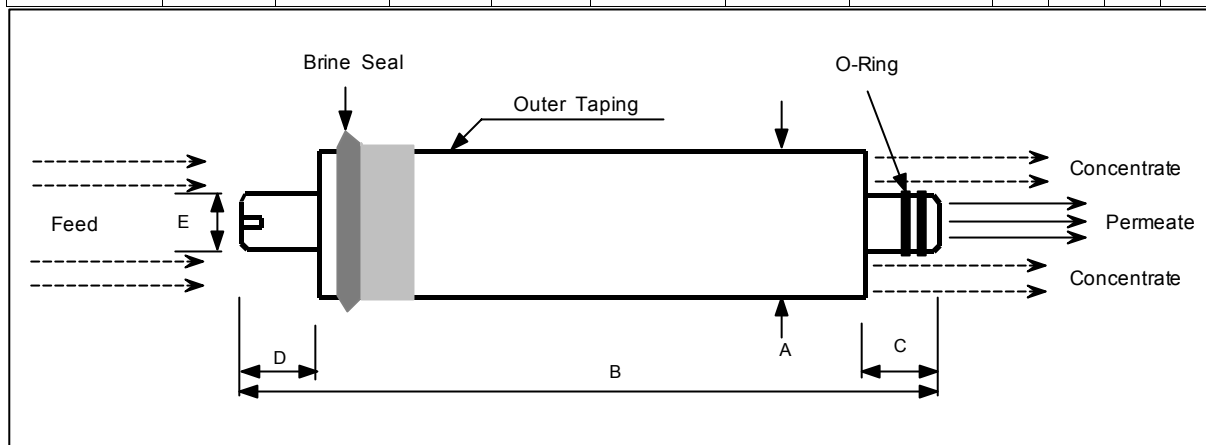
技术参数		单位	超纯水膜 (产水量误差±15%)			
			RE8040-UE	RE8040-HUE	RE8040-HUE400	RE8040-UL
性能	产水量	GPD	9000	10000	9000	10000
		m ³ /d	34.1	37.9	34.1	37.9
	NaCl脱盐率	%	99.5	99.5	99.5	99.5
	IPA脱除率	%	95.0	95.0	96.0	92.0
检测条件	操作压力	psig	225	225	225	150
	温度	℃	25	25	25	25
	NaCl 浓度	ppm	2000	2000	2000	1500
	IPA浓度	ppm	1000	1000	1000	1000
	pH	-	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0	6.5~7.0
	回收率	%	15	15	15	15
操作极限	最大进水量	m ³ /hr	15	15	15	15
	最小浓排量	m ³ /hr	3.6	3.6	3.6	3.6
	单支最大压降	psig	15	15	15	15
尺寸	有效膜面积	ft ²	400	440	400	400
		m ²	37.2	40.9	37.2	37.2
	膜元件长度	inch	40	40	40	40
	膜元件直径	inch	8.0	8.0	8.0	8.0
	产水管内径	inch	1.125	1.125	1.125	1.125

进水条件:

- 1)最大SDI (15min) 5.0
- 2)最高浊度 1.0NTU
- 3)最大余氯浓度 0.1ppm
- 4)最高操作温度 45℃ (113°F)
- 5)最高操作压力 600psi
- 6)pH范围 连续运行3~10; 清洗时2~11

家用膜元件

型号	产水量 (GPD)	脱盐率 (%)	检测条件				尺寸 (mm)				
			压力 (psig)	温度 (°C)	进水含盐量 (ppm)	回收率 (%)	A	B	C	D	E
RE1810-30	30	96	60	25	250	10~20	45.0±0.5	256	25	14	17
RE1810-50	50	96	60	25	250	10~20	45.0±0.5	256	25	14	17
RE1812-35	35	96	60	25	250	10~20	45.0±0.5	298	22	22	17
RE1812-60	60	96	60	25	250	10~20	45.0±0.5	298	22	22	17
RE1812-80	80	96	60	25	250	10~20	45.0±0.5	298	22	22	17
RE2012-100	100	96	60	25	250	10~20	48.5±0.5	298	23	12	17
RE2010-LP	30	93	20	25	100	10~20	48.5±0.5	298	23	12	17
RE2012-LP	50	93	20	25	100	10~20	48.5±0.5	298	23	12	17



■ 操作极限:

- 最大操作压力 125psig
- 最大进水流量 2gpm
- 最高操作温度 45°C (113°F)
- pH 运行范围 3.0~10.0
- 最大进水浊度 1.0NTU
- 进水最大SDI 5.0
- 进水余氯最大值 0.1ppm

4-1. 简介

反渗透系统的寿命和使用效果很大程度上依赖于预处理单元的工作效果。预处理可以包括任何能够减少污染、结垢、膜降解及优化产水量、脱盐率、回收率和运行成本的工艺。

有的污染是有机和无机胶体微粒积累在膜表面造成的。例如，无机胶体包括絮状铁微粒、硅土、黏土和泥沙，有机胶体大多是有机聚合物和微生物。结垢是难溶盐晶体在RO系统的膜表面沉淀堆积所致。例如，碳酸钙、硫酸钙和硫酸钡沉淀。

恰当的预处理工艺应该是根据原水类型、原水成分决定的。通常有三种原水水型：井水，SDI值低（通常 <2 ），细菌数低，预处理可相对简单；地表水相反，SDI值高，细菌数高，预处理需要更精心设计，经常需要混凝、澄清和多介质过滤器；海水的预处理要考虑杀菌和混凝沉淀甚至超滤处理。

现在废水回用的项目越来越多，其预处理更为复杂。一旦原水确定下来，需要做精确的原水水质分析，包括细菌数量分析，分析结果决定了混凝剂用量、阻垢剂和杀菌剂的使用。

4-2. 进水水质分析

反渗透系统设计前必须提供完整准确的原水分析报告。

水质分析报告包括水质类型和主要成分指标，所需指标包括溶解离子、硅、胶体和有机物(TOC)等。

■ 典型溶解阴离子

碳酸氢根(HCO_3^-)、碳酸根(CO_3^{2-})、氢氧根(OH^-)、硫酸根(SO_4^{2-})、氯离子(Cl^-)、氟离子(F^-)、硝酸根(NO_3^-)、硫离子(S^{2-})、磷酸根(PO_4^{3-})

■ 典型溶解阳离子

钙离子(Ca^{2+})、镁离子(Mg^{2+})、钠离子(Na^+)、钾离子(K^+)、铁离子(Fe^{2+} 、 Fe^{3+})、锰离子(Mn^{2+})、铝离子(Al^{3+})、钡离子(Ba^{2+})、锶离子(Sr^{2+})、铜离子(Cu^{2+})和锌离子(Zn^{2+})

在水中，某些阴阳离子结合形成难溶盐，在经过RO膜后浓缩，难溶盐浓度超过饱和度时会在膜表面结垢。

表1 各种无机难溶盐的溶度积

物质名称	分子式	温度(°C)	溶度积
氢氧化铝	$\text{Al}(\text{OH})_3$	20	1.9×10^{-33}
碳酸钡	BaCO_3	16	7×10^{-9}
硫酸钡	BaSO_4	25	1.08×10^{-10}
碳酸钙	CaCO_3	25	8.7×10^{-9}
氟化钙	CaF_2	26	3.95×10^{-11}
硫酸钙	CaSO_4	10	6.1×10^{-5}
硫化铜	CuS	18	3.5×10^{-45}
氢氧化铁	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	18	1.1×10^{-36}
氢氧化亚铁	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	18	1.64×10^{-14}
磷酸氨镁	MgNH_4PO_4	25	2.5×10^{-13}
碳酸镁	MgCO_3	12	2.6×10^{-5}
氢氧化镁	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	18	1.2×10^{-11}
氢氧化锰	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	18	4×10^{-14}
碳酸锶	SrCO_3	25	1.6×10^{-9}
硫酸锶	SrSO_4	17.4	2.81×10^{-7}
氢氧化锌	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	20	1.8×10^{-14}

反渗透系统中经常遇到的难溶盐是 CaSO_4 、 CaCO_3 和硅，其它不常遇到的结垢有 CaF_2 、 BaSO_4 和 SrSO_4 ，其它导致问题的离子下面会讲到。硫酸盐在大多数原水中大量存在，它们的浓度有时因人工加硫酸调节PH值而增加。这种情况下， Ba^{2+} 和 Sr^{2+} 离子应该被分析并精确到ppb和ppm级别，因为 BaSO_4 和 SrSO_4 的溶解度比 CaSO_4 低，并且它们结垢后很难再溶解。

碱度 包括负离子中的 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 OH^- ，自然水体中的碱度主要由 HCO_3^- 形成。pH在8.3以下的水中， HCO_3^- 和 CO_2 平衡存在。当pH高于8.3时， HCO_3^- 将转变为 CO_3^{2-} 存在。如果原水PH达到11.3以上，将存在 OH^- 形式。空气中的 CO_2 会溶解在水中形成 H_2CO_3 ，酸性水将溶解 CaCO_3 ，而 CaCO_3 可能是流经含 CaCO_3 岩时带来的。许多自然水体中由PH决定的 CaCO_3 和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的化学动平衡已接近饱和浓度。 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的溶解度大于 CaCO_3 。如果原水在RO系统中被浓缩， CaCO_3 容易沉淀在系统中。所以投加阻垢剂或加酸调低PH值小于8会经常在RO系统中使用。

硝酸盐 很容易在水中溶解，所以不会在RO系统中形成沉淀。硝酸盐与健康关系更密切，当哺乳动物包括人在内摄取了硝酸盐后会转变为亚硝酸盐，它会干扰血液中血红素和氧气的结合，会引起很严重后果，尤其对于胎儿和儿童，由于这个原因，饮用水中硝酸盐含量要求低于40mg/l。反渗透对硝酸盐的典型脱除率在90~96%。

铁和锰 通常在水中以二价溶解状态存在或以三价非溶解氢氧化物形成存在。 Fe^{2+} 可能来自井水本身或来自泵、管路、水箱的腐蚀，尤其上游系统中投加了酸。如果原水中铁或锰浓度大于 $0.05\text{mg}/\text{l}$ 并且被空气或氧化剂氧化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ，当pH值偏高时会在系统中形成沉淀。分析表明，铁锰的存在会加速氧化剂对膜的氧化降解，因此在预处理中必须去除铁锰。

铝 一般不存在于自然水体中。当pH在5.3至8.5范围内时候，三价铝会象三价铁一样在RO系统中形成难溶的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，因为铝高价正电特性，所以 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 或 NaAlO_2 可以用于地表水的预处理去除水中负电性胶体。千万小心铝盐不要过多投加，残留的铝离子对膜有污染。对于肾透析病人，透析液中铝含量不得高于 $0.01\text{mg}/\text{l}$ ，在这种情况下可用 FeCl_3 或 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 也许是首选的混凝剂。

铜和锌 在自然水体中很少存在。有时水中微量的铜和锌来自管道材料。在pH值5.3至8.5范围内， $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 不溶于水。因为它们一般在水中的含量较低，所以只有当系统长时间不清洗，它们积累到一定程度时，才会对膜系统造成污染。可是如果氧化剂（比如过氧化氢）与铜或锌同时存在于原水中，那么会迅速地造成膜材质的降解，发生更严重的情况。

硫化物 以 H_2S 气体形式溶于水中，去除硫化氢可以用脱气装置或氯化或空气接触变为不溶性硫磺，用多介质过滤去除。

磷酸盐 具有较强负电性，容易和多价阳离子（如： Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} ）形成难溶盐。磷酸钙在pH中性时溶解度很有限，pH值高时溶解度更低。进水中投加阻垢剂或调低pH（小于7）可以防止磷酸盐沉淀。

硅 存在大多数自然水体中，浓度从1至100mg/L，而且pH低于9.0时主要以 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 存在。当pH低时，硅酸可以聚合形成硅胶体。当pH高于9.0时，它会分离成 SiO_3^{2-} 离子而且会和钙、镁、铁或铝形成沉淀，硅和硅酸盐沉淀很难溶解。氟化氢氨溶液清洗硅垢比较有效，可是氟化氢氨溶液排放会造成环境污染。当进水中硅含量超过20mg/L时，要注意硅结垢的潜在危险。

胶体（悬浮物颗粒）分析

淤泥密度指数（SDI） 也被称为污染指数（FI），是衡量RO进水中胶体（颗粒物）潜在污染性的重要指标。RO进水中的胶体是各种各样的，经常包括细菌、黏土、硅胶体和铁腐蚀产物。预处理中的澄清器中会用一些化学品，例如明矾、三氯化铁或阳离子型聚合剂来去除胶体污染或通过后续介质过滤器去除。

SDI 的检测应在设计预处理之前并且RO系统运行后也要检测（地表水源至少每天1次）。该实验是检测一张0.45 μ m过滤孔径膜的污染速度。方法如下：

放置一张膜片（直径47mm，孔径0.45 μ m）在夹板上，放一点水浸湿膜片，小心放好O型圈，夹板水平拿好，沿垂直方向分别均匀上紧螺栓。

调节压力阀保持2.1 bar（30psi）压力下检测，用秒表记录下第1个500ml过滤水所用时间 t_0 。

继续过滤持续15分钟，压力必须保持在2.1 bar，（如果膜片15分钟内堵塞不产水，就测量SDI 10分钟或SDI 5分钟的数值。）到15分钟后立刻测量第二个500ml所用时间 t_1 。

SDI 计算公式：

$$SDI = 100 \times \frac{(1-t_0/t_1)}{T}$$

T 值选择5, 10, 15（根据过滤时间5分钟、10分钟或15分钟）

RO 的进水SDI 值必须小于等于5.0

浊度 也是影响RO膜污染的一个重要指标。浊度仪工作原理是测量水样中悬浮物对光的散射。水样的浊度大于1.0的原水可能对RO膜有污染，浊度仪测量数值的单位是NTU。象SDI 值一样，浊度也是表征膜污染潜在风险的一个参数。高浊度并不表示悬浮物会沉淀在膜表面。

其实某些污染膜的物质如表面活性剂和溶解态聚合物并不能从浊度指标上反映出来。虽然浊度和SDI 值并不能完全准确地预测胶体污染，但它们对于描述RO 进水的特点是很重要的。例如，如果原水的SDI大于5而且浊度大于1.0，就必须在预处理单元的澄清工艺中加入混凝剂而且后面要使用多介质过滤器。如果原水中SDI小于5，而且浊度小于1，那么预处理可以考虑介质过滤器和保安过滤器而不一定投加混凝剂。预处理混凝剂的投加量也是有控制指标的，过量使用会对膜有污染。Zeta电压和游离电动测试（SCD）是两种可能的检测方法。

Zeta 电压 通过测量两个电极极间水流的电性来反映水中悬浮物总体电性特点的方法。水中胶体因电性排斥而悬浮水中，自然界中的胶体物质一般表现为负电性，所以含胶体的水的Zeta电位一般是负电性。通过投加混凝剂中和胶体表面电性，比如投加硫酸铝和三氯化铁，直到Zeta电压值为零。胶体颗粒表面电中性后会聚集成较大颗粒，从而很容易被多介质过滤器过滤掉。

游动电流测试 (SCD)

SCD 用在投放絮凝剂的预处理工艺中，在线监测混凝效果的手段。如果水中存在负电性的悬浮胶体颗粒，它们在SCD电极之间的移动形成微观电流，如果絮凝剂中和了悬浮物的电荷变为中性，SCD测到的电流会减弱，从而确定混凝效果。

原水中还有两个重要指标需要分析。细菌总数和有机物含量。有两种方法测定水中细菌数，一种是培养法，另一种是荧光染色法，后者更常用因为很方便快捷。原水中的有机物一般是油类-表面活性剂、水溶性聚合物和腐质酸。检测指标有总有机炭(TOC)，生物耗氧量(BOD)和化学耗氧量(COD)。要想更精确地分析有机物成份，需要使用液相色谱和气质联用仪器分析。如果原水中的TOC含量大于3mg/l, 预处理单元要考虑去除有机物工艺。

4-3. 预防结垢形成

反渗透膜表面结垢现象发生在浓水中的难溶盐浓度达到饱和值时候。难溶盐结垢概率从大到小，顺序如下：

$\text{CaCO}_3 > \text{CaSO}_4 > \text{Silica} > \text{SrCO}_3 > \text{BaSO}_4 > \text{SrSO}_4 > \text{CaF}_2 > \text{CaSiO}_3$
 $> \text{MgSiO}_3 > \text{MgSiO}_3 > \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 > \text{Fe}(\text{OH})_2$

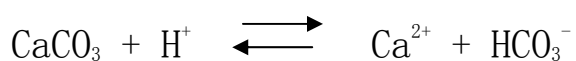
虽然 CaSO_4 的溶解度大于 BaSO_4 和 SrSO_4 ，但是自然水体中的 Ca^{2+} 含量通常远大于 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} ，这样 CaSO_4 结垢概率大于 BaSO_4 和 SrSO_4 。另一方面要注意， BaSO_4 和 SrSO_4 沉淀后很难溶解，一定尽量避它们发生结垢现象。

大多数的难溶盐沉淀是 CaCO_3 结垢，因为它沉淀快而且自然水体中含量高。 CaCO_3 、 SrCO_3 、 BaCO_3 沉淀可以通过加入酸、阻垢剂、软化器冲洗和降低回收率来防止发生。

CaSO_4 、 BaSO_4 、 SrSO_4 、 CaF_2 沉淀的防止也可以采用阻垢 CaCO_3 的方法，但不包括加酸方法。实际上投加硫酸降低PH值阻止 CaCO_3 结垢，但增加了硫酸盐沉淀的风险。

加酸法

碳酸钙与酸反应的化学平衡式如下：



水中加酸后， H^+ 增加，化学动平衡向右移动， CaCO_3 更多转变为

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 。酸要使用食品级别以上的优质酸。经常采用的酸种类有硫酸和盐酸，有 CaSO_4 、 SrSO_4 、 BaSO_4 结垢可能的水中最好投加盐酸。

为了避免 CaCO_3 结垢，浓水中PH值应低于饱和pH值(pH_s)，用朗格利尔指数 (LSI) 来表示这个关系 (海水通常用 S & DSI 指数)

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (\text{TDS} < 10,000\text{mg/L})$$

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{这里 ; } A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS}] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10} [\text{Ca}^{2+} \text{ 以 } \text{CaCO}_3 \text{ 计}] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{碱度, 以 } \text{CaCO}_3 \text{ 计}]$$

除了TDS单位是mg/l外，其它单位是mol/l

(参考：ASTM D3739-88 对反渗透LSI饱和指数的计算和调整)

$$\text{S \& DSI} = \text{pH} - \text{pCa} - \text{pAlk} - K$$

这里：pCa 是钙离子摩尔浓度的负对数。

pAlk 是碱度摩尔浓度的负对数。

K 是与温度和离子强度有关的常数

(参考：ASTM D4582-86对反渗透S&DSI饱和指数的计算和调整)

浓缩系数 用来计算原水中的成分的浓缩倍数

$$\text{浓缩系数} = \frac{1}{1 - \text{回收率}}$$

$$\text{回收率} = \text{产水量} / \text{进水量}$$

更准确的方法是用浓差极化因子（Beta）来计算潜在的结垢可能性

$$\text{浓缩系数} = \frac{\text{浓差极化因子}}{1 - \text{回收率}}$$

$$\text{浓缩系数} = \text{Beta 值} / 1 - \text{回收率}$$

浓差极化因子的大小和膜表面水流的湍流程度有关，从1.13-1.2不等，其意味着膜表面的盐浓度比通道主体浓度高13%-20%左右。

为了控制CaCO₃结垢，浓水中 LSI 或 S&DSI 数值必须小于零。通常是控制进水中PH到6.0。如果进水中投加高质量的阻垢剂，浓水中的LSI允许高至1.8(阻垢剂的功效和加入量要参考阻垢剂的说明,最新阻垢剂的功效更高，其允许LSI值也更高)。这样可以减少加酸量，同时减弱了管路被腐蚀现象。

阻垢剂的投加

阻垢剂被吸附在晶核周围从而阻止难溶盐与晶核接触以减缓难溶盐形成。通过这种方法阻止晶体长大从浓水中形成悬浮物析出。此外，有许多阻垢剂具有分散性，带阴离子负电荷的阻垢剂将悬浮的盐颗粒及有机物包裹起来，同时包裹起来的颗粒之间相互排斥，以防止凝结成更大的颗粒而沉淀下来。许多阻垢剂对于阻止碳酸盐垢，硫酸盐垢和硫酸钙垢的效率如下面介绍。

六偏磷酸钠 (SHMP) 因为其价格便宜而被广泛用作阻垢药品，可是必须小心，不要让六偏磷酸钠在药箱中水解。应该每隔3天要配一次新鲜溶液，水解不仅降低了阻垢效果，而且可能会有磷酸钙形成的危险。六偏磷酸钠在浓水中浓度应在20mg/L左右，这样进水中的浓度计算方法如下公式： $20\text{mg/L} \times (1 - \text{回收率})$ 。

有机磷酸盐 水解现象较弱，但价格比SHMP贵。它的阻垢和分散作用功效与SHMP类似。

聚丙烯酸 (PAA) 在阻垢和分散方面的作用都很好。PAA的分子量一般在2000到5000之间。高分子量的PAA范围在6000到25000之间，其分散性能很好，但阻垢能力不是很好。总体来讲，PAA的功效好于SHMP。但是，当浓水中有阳离子特别是高价阳离子如铝离子和铁离子存在时有可能还会发生沉淀现象。

混合型阻垢剂 常见的是高分子量和低分子量的PAA混合，或者是低分子量的PAA或有机磷酸盐的混合。其分散和阻垢性能都很出色。

世界上有许多阻垢剂的生产商，关于阻垢剂的化学特性和与RO膜的兼容性，请与各个阻垢剂供应商联系咨询。通常阻垢剂在浓水侧的浓度允许高至50ppm。

应该用反渗透产品水溶解阻垢药剂，因为原水中可能存在的钙离子会与阻垢剂反应。要警惕阻垢剂溶液箱中生长微生物，还要注意投加阴离子阻垢剂时水中不要存在过多阳离子聚合物。

强酸型阳离子软化器

对中小型反渗透系统利用软化器可以去除 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 和 Fe^{2+} ，从而有效地防止结垢。树脂交换饱和后用饱和食盐水再生。这个工艺的缺点是增加了盐的消耗，成本增加，再生后冲洗水的排放要考虑环保问题。作为一个选择，最新的逆流再生技术可以最大限度地减少食盐的消耗。

弱酸型阳离子软化器

弱酸阳离子树脂只能去除和重碳酸盐有关的 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} 并释放 H^+ ，这样 pH 最低到 4.2 树脂不能再交换。因此它只是部分软化，更适合重碳酸根含量较高的原水。

使用弱酸软化器的优点:

- 减少了再生时酸的消耗，减少运行费用和环保影响
- 去除了重碳酸盐，降低了反渗透产水的电导

使用弱酸软化器的缺点:

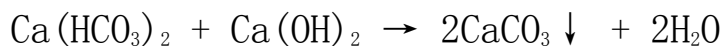
硬度不能全部去除

软化水的PH值从3.5到6.5，根据树脂的饱和度而变化。

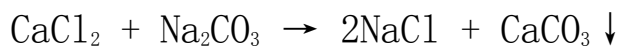
可以并联几台软化器使用以避免出水的PH值低于4.2，或脱CO₂或加碱调节PH值。

石灰软化

石灰 [Ca(OH)₂] 和碳酸氢钙及碳酸氢镁化学反应去除硬度的反应式如下:



非碳酸盐硬度可以投加碳酸钠（苏打）来去除，反应式如下:



石灰和苏打软化法还可以去除部分硅，如果用石灰和氧化镁的混合物可以把硅降到1mg/l。同样，石灰软化还可以降低钡锶和腐质酸等有机物，其出水应调节PH值。一般只有规模大于 200m³/h (120万加仑/天)的苦咸水系统才用该方法。

保护性快速冲洗

一些小型反渗透系统没有阻垢剂投加装置而用保护性快速冲洗保护反渗透膜。这些小系统经常在低回收率25%条件下运行，持续1-2年才换膜。最简单的快速冲洗方法就是开大浓水阀门，调低工作压力。短时间多次的快速冲洗比长间隔低频率冲洗更有效。举例，每隔30分钟冲洗30秒钟，在经常性的冲洗基础上，也可以定期用化学药品清洗膜。

调节系统回收率，pH值和温度

适当地降低回收率，提高进水温度和调节pH值高低，可成功地控制浓水中难溶盐在饱和值以下，防止难溶盐沉淀。

为以上措施更定量地使用，浓水中难溶盐的饱和值需要根据实际情况按以下公式计算，只有防止硅结垢时可能会同时使用以上三种方法。因为低回收率增加了能耗，提高pH增加CaCO₃结垢危险。对于小系统，低回收率结合保护性快冲是传统的控制结垢方法。

4-4. 硅垢的防治

除了BaSO₄ 垢外，硅垢也非常难再次溶解掉，所以一定要预防它形成危险。水中Al³⁺ 和 Fe³⁺ 会引起硅酸铝和硅酸铁的并发症对膜污染。因此，如果存在硅垢潜在危险，我们应该用 1 μ m 滤芯将铝、铁去除并考虑用酸清洗。

计算硅垢的结垢趋势需要以下参数：SiO₂ 浓度，温度，pH 值，总碱度。

浓水中的SiO₂ 根据进水浓度和回收率计算：

$$\text{SiO}_{2c} = \text{SiO}_{2f} \times \frac{1}{1 - r}$$

这里： SiO_{2c} = 浓水中 SiO₂ 浓度mg/L

SiO_{2f} = 进水中 SiO₂ 浓度 mg/L

r = 系统回收率

浓水中PH值计算方法.

$$\text{pH} = \text{Log}_{10} ([\text{碱度 (以 CaCO}_3\text{) 计}] / [\text{CO}_2]) + 6.3$$

$$\text{浓水中碱度} = \frac{\text{进水碱度}}{1 - \text{回收率}}$$

SiO₂ 溶解度和温度的关系. 假设浓水温度和进水温度相同。

温度和溶解度的关系举例如下:

T(° C)	SiO ₂ 溶解度(mg/L)
5	85
10	96
15	106
20	118
25	128
30	138
35	148

获得浓水pH计算的校正系数

因为硅的溶解度在pH值高于7.8时和低于7.0时会增加，所以浓水中的pH值会影响硅的溶解度，这样硅在具体温度、具体pH条件下的溶解度应该重新校核。

举例说明，pH 7.8时校正系数是1.0，pH 8.5时系数为1.5。可以参阅ASTM D4993-89 内容。如果浓水中硅实际浓度比校正后的溶度积大的话，硅会发生沉淀。

最简单的阻止硅结垢的方法是降低回收率，优化回收率，在不结垢的前提下可以反复试算。

预处理中的石灰软化法可以减少浓水中的 SiO_2 含量。进水经换热器加温，可以适当提高 SiO_2 溶解度，从而增加一些回收率。

大分子量的聚丙烯酸类的分散阻垢剂可以减缓 SiO_2 的结垢。

4-5. 胶体污染的控制

如果原水中的SDI值比5.0高一点，可以通过多介质、微滤、保安过滤去除水中的悬浮物和胶体。如果水中含有较多的胶体及悬浮物，SDI值大大高于5.0，那么在多介质过滤器前需加混凝沉淀工艺单元。硫酸铁和氯化铁常被用作混凝剂，破坏胶体表面电性的平衡，形成氢氧化铁颗粒。铝盐用作混凝剂也是有效的，但不推荐过量投加，那样铝盐会污染膜。阴性或阳性聚丙烯酰胺也可作为混凝剂或助凝剂使用。

为了得到更好的过滤效果，可以同时使用混凝剂和助凝剂。助凝剂通常是高分子量的聚丙烯酰胺，它可以是阳性的、阴性的或中性的。

氢氧化物微粒应该聚合生长并在特别设计的反应澄清器中沉淀下来。上部溢流的清液再被多介质过滤器处理。

一定要注意不要让混凝剂和助凝剂以及氢氧化物沉淀颗粒穿透多介质过滤到膜表面。更要注意多余的混凝剂和助凝剂可能和多介质后面投加的阻垢剂形成沉淀物，它是很难清洗掉的。有些反渗透系统的严重污染就源自电解质和阻垢剂形成的凝胶污染。

多介质过滤

介质过滤器采用单层或多层石英砂和无烟煤。细砂的粒径范围是0.35~0.5mm，或者8×12-8×60目，无烟煤直径是0.6~0.9mm。

多介质过滤器应更好地设计成深度过滤，以去除更多的悬浮物。上层应采用不规则的大直径低密度的介质，下层用粒径小而密度高的介质，如砂。上层大粒介质先去除大直径的悬浮颗粒，留下小直径颗粒物让下层细介质过滤。这样过滤更有效率，而且运行时间更长一些。

深层过滤器介质厚度一般为0.8m（31英寸）和50%的上面反洗膨胀空间。一般无烟煤厚度0.3m，下层石英砂0.5m。

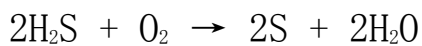
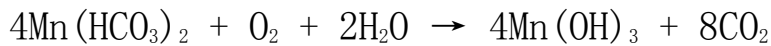
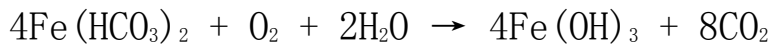
多介质过滤器可以是重力式的或压力式的。如果过滤层厚，滤料细或滤速快，压降就会大一些。通常过滤速度应设计在10米/小时内，反洗速度在40-50米/小时。

高污染危险的水源，过滤速度应小于10米/小时或用双重过滤。

重力过滤通常要5米的水柱压力，压力式过滤压力范围2-4bar。过滤器需要定期反洗和正冲，当压力式滤器压差增加0.3-0.6 bar时，或重力式滤器压差增加1.4米水柱都说明需要反冲，至少10分钟。尽量避免频繁的启停，因为滤速的突然剧烈变化，可能导致沉积颗粒物穿透滤层。

氧化反应过滤器

大多井水（通常为苦咸水）含有二价铁和二价锰或硫化氢。可以通过曝气方法氧化铁和锰形成三价氢氧化铁/锰沉淀和硫元素的沉淀再过滤。



铁污染概率比锰污染的概率大，因为自然水体中铁的含量比锰高。有时甚至进水SDI小于5并且进水铁含量小于 0.1mg/l时，还会发生铁污染。

反渗透在一个没有曝气和加氧化剂如氯的封闭系统内运行时，低pH值可以延续 Fe^{2+} 的氧化。pH<6和氧含量小于<0.5mg/L时， Fe^{2+} 的浓度可以上限为4mg/l。

氧化和过滤可以在锰砂过滤中一步完成。锰砂实际上是绿色的矿石—海绿石，而且当它氧化能力失去后，可以用高锰酸钾（ KMnO_4 ）再生它。再生后残留的 KMnO_4 一定要冲干净，以避免反渗透膜被氧化。这种方法一般用于处理 Fe^{2+} 小于 2mg/l的原水。

错流过滤方式的微滤和超滤

根据孔径不同，错流微滤可以过滤掉大部分悬浮物。比较典型的微滤膜的孔径在1-10 μm 之间，需要考虑源水水质。当浓水中的硅含量可能比较高时，建议使用孔径为1 μm 的微滤以避免硅和浓水中的其它胶体如铝胶体发生反应。

处理胶体沉积污染问题由RO膜转移到了微滤膜。实际上，因为透水量大，微滤的污染会比反渗透严重，而且会频繁发生，但是微滤膜较RO膜更容易清洗。对于微滤膜定期反洗是非常有效的，但此法对RO不能用。加入氯清洗微滤膜防止微生物污染行之有效。连续微滤（CMF）是一种可自动反洗的微滤装置。通常在微滤前面使用多介质过滤器是一种经济有效的方法，因为多介质过滤器造价低，并能去除大部分悬浮物，从而减少了微滤膜的反洗频率及费用，同时延长了微滤膜的使用寿命。

作为一种选择，一次性滤芯过滤器可以作为微滤膜使用，当压降达到上限或连续用了3个月时间就要更换新的。如果微滤芯用不到3个月就更换，说明预处理可能需要改进。如果想去除溶解的有机或无机聚合物需要用超滤膜。

4-6. 防止生物污染

几乎所有原水中都含有细菌、藻类、真菌、病毒等微生物。它们有的以胶体颗粒形式存在可以在预处理中被去除。但是很难去除所有的微生物体，仍有小部分会通过预处理在下游形成生物膜。微滤可以阻挡大部分微生物，但还有一些经过微滤膜到达反渗透膜。典型的微生物污染症状是压差加大，产水量下降。

地表水微生物污染的可能性大于地下水，生物污染和原水中微生物的含量有关。

细菌总数(TBC) 根据 ASTM F60 描述的方法，取水样在培养器中恒温培养。几天后，计算菌落数量，此方法适合检测微生物量较低的水样。

细菌数量直接计算方法 是将水样过滤，用吖啶橙和 INT 染色，并在荧光显微镜下观察计数。INT 染色可以区分活细胞和死细胞。

杀菌剂的效果直接与不溶解之 HOCl 浓度有关，它的杀菌能力是 OCl^- 离子的100倍左右。

不溶解的 HOCl 量随温度和PH 值下降而上升。

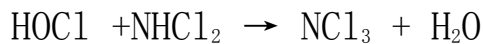
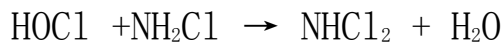
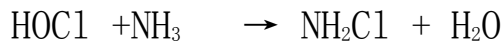
在 $\text{pH} = 7.5 (25^\circ\text{C})$ 时，50% HOCl 不溶解

在 $\text{pH} = 6.5 (25^\circ\text{C})$ 时，90% HOCl 不溶解

在 $\text{pH} = 7.5 (5^\circ\text{C})$ 时，62% HOCl 不溶解

如果水中盐分很高，不溶解的HOCl量下降，如：TDS 40,000mg/L

在pH=7.5，（25℃）时，30% ，HOCl不溶解
次氯酸和氨会发生一系列化学反应形成氯氨。



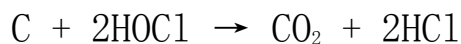
氯氨也是杀菌剂但效力比加氯弱，但优点是氯氨不会氧化膜。但如果有残余HOCl，依然会氧化膜表面，所以用氯氨法时一定要很小心。

为了决定最佳加氯量，投加点，pH 和反应时间应取水样按ASTM D1291描述方法试验确定。

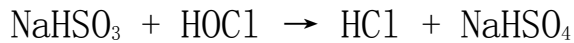
去除余氯

在进入反渗透前一定要去除水中的余氯。熊津化学CSM反渗透膜有一定的耐氯能力，在余氯1mg/l浓度下可以耐受200-1000 小时左右，当然和pH值、水温、水中的金属物如铁有关系。在pH 偏酸时，余氯杀菌更有效。

活性炭(AC) 活性炭床可以有效地去除余氯，反应式如下：



硫代硫酸钠 (SMBS) 和**亚硫酸氢钠(SBS)** 经常被用于去除余氯和作为生物稳定剂。



按化学计量方法, 1.34mg 的亚硫酸氢钠反应1.0mg 的余氯。在实际操作中, 通常用3.0mg 的亚硫酸氢钠反应 1.0mg 余氯, 以确保余氯被充分还原。

最合适的投加点在保安过滤器的前面, 这样可以有效防治过滤器中有机物生长。

SMBS 在投加前应过滤一遍, 投加点最好有混合器, 而且在投加点后应有ORP表(余氯表)监测。

紫外线(UV) 杀菌法

254nm的紫外线有杀菌作用并经常用于小规模的系统。此方法不需投加化学药剂, 维护方便, 不需定期清洗只需定期更换荧光灯管。此方法仅限于比较干净的水, 因为胶体和有机物质会阻止紫外线在浑浊水中的穿透深度。

亚硫酸氢钠控制微生物

在海水预处理中, 加入浓度为50mg/l的亚硫酸氢钠(SBS), 可以有效地控制微生物。此方法也可以减少胶体污染, 同时也对防止碳酸钙垢也有帮助。



4-7. 防止有机污染

膜表面附着有机物会降低产水量，有时疏水性物质或正电性高分子聚合物的污染是不可逆的。如进水中含乳胶类物质一定要在预处理单元去掉。

自然水体中的有机物如腐殖质TOC浓度一般在0.5 --20mg/l之间。当进水中TOC 超过 3mg/l时要注意预处理系统了。腐殖质可通过混凝方法、超滤或活性炭去除。

如果进水中的油类或油脂含量超过 0.1mg/l需用混凝和活性炭去除。对于油、油脂类造成的膜污染，如果水通量下降在15%范围内，可以用碱液清洗。

三卤甲烷 (THM)

三卤甲烷是由水中的余氯和微量有机物反应生成的，它是致癌物质，因此饮用水很注意它的存在量，而且电子半导体行业用水也很关注它在进水中是否存在。

约90% 的THMs 可以被RO膜去除，活性炭也有较好的吸附作用。采用RO膜和活性炭是有可能将三卤甲烷完全去除的。

5-1. 简介

经过预处理的原水进入反渗透膜系统。高效的反渗透膜系统要求操作压力低，膜造价小，而且保持脱盐率和回收率最大化。优化设计的标准和各个运行参数的重要性有关。比如我们希望的系统脱盐率达到了，但回收率的大小和许多因素有关。

一个反渗透系统的优先设计点和需要水量等参数有关，同时也受反渗透膜元件和原水的自身特点的限制。举例说明，从难溶盐和胶体污染角度考虑，多段的反渗透系统回收率可能达到88%。单支膜元件流程的系统即使不会结垢并且SDI3.0-5.0没有问题，但系统回收率还是15%。

另一方面，海水淡化系统只有30-45%的回收率（多支膜串联），主要因为浓水的渗透压高的原因，一般海水膜元件长期运行时最高的操作压力在69bar左右。单支海水膜元件最高回收率只有10%左右（SDI<5）。

在海水系统中，即使在允许的最高压力下，渗透液水量也相对较低，而在苦咸水系统中，即便没有达到41bar的操作极限，渗透液流量也会很高。尽管为了最大限度减少膜元件费用而增加渗透液流量是很诱人的，但是为了防止污染和结垢，这个流量是要被限制的，例如：系统设计中流量极限取决于进水中的污染趋势。

5-2. 系统设计指南

上面提到了影响海水淡化系统的主要因素有渗透压和海水膜元件的物理耐久特性，虽然在苦咸水系统中，进水中的结垢和污染趋势对系统设计有很大影响，但在海水系统中这两个因素的影响不大。单段海水系统回收率通常可以做到30- 40%左右。

比较而言，由于进水中污染和结垢趋势多种多样，加之在回收率超过50%时要采用多段排列，苦咸水系统的设计需要更加地精心。单位膜面积产水量越大（即平均产水通量越大），膜的污染越快，化学清洗越频繁。SDI值的高低代表水中污染物质的多少。

根据不同的水质类型和SDI值，平均产水通量和单支的回收率都是不同的，这是系统设计的出发点，因此设计时请参考下面表1的参数。

表1. 系统设计导则

源水类型		井水/ 软化水	软化过的地 表水	地表水	海水
进水 SDI		< 3	3 - 5	3 - 5	< 5
单支膜元件最大回收率%		19	17	15	10
单支膜元件最 大产水量 gpd(m ³ /d)	2.5" 英寸	710(2.7)	500(1.9)	500(1.9)	500(1.9)
	4"英寸	2100(8.0)	1870(7.1)	1740(6.6)	1500(5.6)
	8"英寸	7400(28)	6600(25)	5800(22)	5800(22)
每支压力容器 最大进水量 gpm(m ³ /h)	2.5" 英寸	5.7(1.3)	5.7(1.3)	5.7(1.3)	5.7(1.3)
	4"英寸	18(4.1)	18(4.1)	18(4.1)	18(4.1)
	8"英寸	62(14.1)	60(13.7)	55(12.6)	60(13.7)
每支压力容器 最小排水量 gpm(m ³ /h)	2.5" 英寸	1(0.22)	1(0.22)	1(0.22)	1(0.22)
	4"英寸	4(0.91)	4(0.91)	4(0.91)	4(0.91)
	8"英寸	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)

上面表1中导则中的参数是基于合理的设计和运行正常的预处理单元来考虑的，如果超过设计上限很可能导致频繁的清洗 (>4次/年) 和膜元件寿命缩短。

5-3. 间歇式和连续式运行工艺

绝大多数RO 系统都是连续运行并有稳定的产水量和回收率。如图1所示：进水温度和膜片被污染造成的影响可以调节操作压力来弥补。

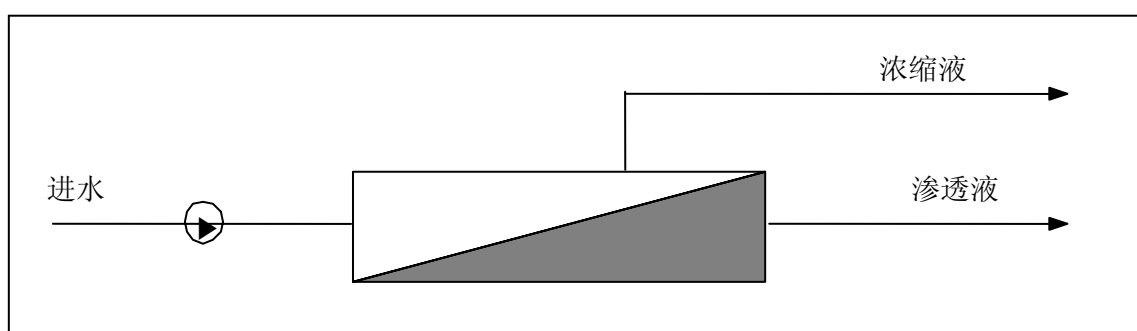


图1 连续式运行系统

某些应用领域，原水为少量特殊的溶液如废水或工艺水，间歇式操作是适合的方法。原水收集在一个水箱里等待处理。产品水收集走，浓水循环回原水箱。在一次间歇操作结束时，排放掉原水箱中的少量浓水，按标准方法清洗膜元件，再将原水箱注入溶液等待处理。

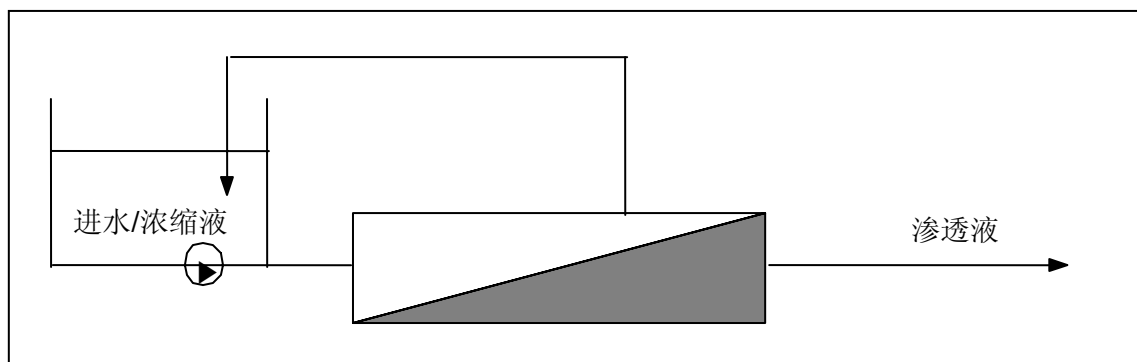


图2 间歇式运行系统

间歇式的改进方式是半间歇式模式。系统运行时不断给原水箱补充源水，当水箱中完全充满浓缩液时停止运行，这样也可以使原水箱小一点。

间歇式操作的压力恒定不变，所以产水量随进水浓度增大而减少。表1的设计导则对间歇操作也适用，如果有合理的清洗频率，产水通量可以适当超出。

间歇式操作与连续操作的比较

优势：

- 系统回收率可以最大化
- 清洗容易操作

缺点：

- 产水质量不稳定
- 泵选择偏大
- 运行费用偏高

5-4. 单支压力容器系统

单支压力容器最多可以串联安装7支膜元件，第1支膜的浓水作为第2支膜的进水流入下一支膜。如此下去，所有膜元件的产水管连接并与容器两端端板上的产水口连接，产水收集可以在其中任何一端。

单支压力容器系统中的膜元件数量根据产水需要而定。

进水经过截止阀进入膜系统，首先通过保安过滤器，然后进入高压泵，通过高压泵升压后，再进入膜组件的入口，产品水离开膜组件时，为防止产水背压造成膜元件的损坏，产水压力不应高于0.3 bar (5 psi)。

浓水端出口的压力几乎与进水压力相当，系统从进水到浓水出口之间的压差通常在0.3-2.0 bar之间，它取决于元件数量、进水流速和水温。浓水控制阀控制浓水流量和系统的回收率，系统回收率不得超过设计规定值。

5-5. 单段系统

在单段系统中，两个或两个以上的膜组件并联在一起，进水、产水和浓水均由总管管路系统分别相连。其它方面与单支组件系统相同。单段系统通常用于要求系统回收率小于 50%，例如海水淡化。

图3列出了单段系统的一个例子。三个压力容器，每个压力容器装有6支CSM RE8040-SN膜。

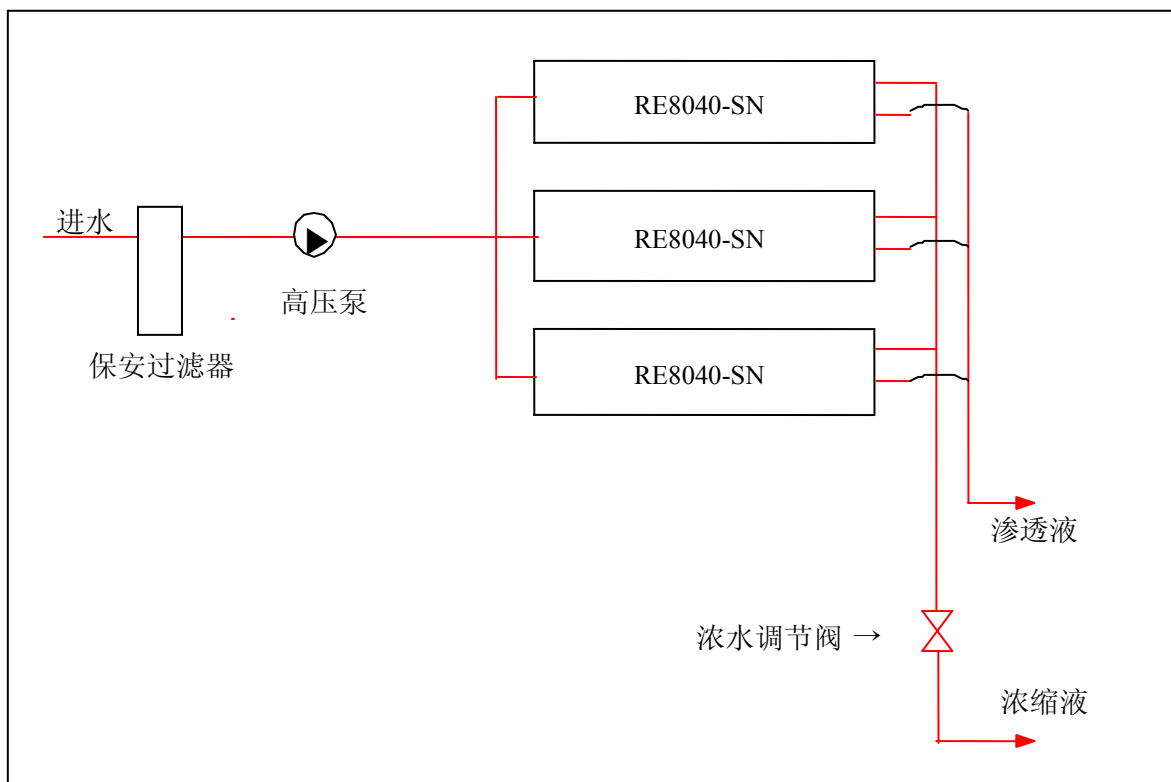


图 3：单段系统

5-6. 多段系统

当要求系统回收率更高时采用一段以上排列系统，就不会超过单支元件的回收率极限，通常两段式排列系统就可实现75%的系统回收率，而三段式排列系统则可达到更高的系统回收率87.5%，这些回收率的确定是以每一段采用含6支膜元件的组件推算出来的。

通常来说，系统回收率越高，必须串联在一起的膜元件数就应越多。为了平衡浓水的递减并保持每段内原水的流速均匀性，每段压力外壳的数量按水流方向递减。

一个典型的排列比例为2:1，如图4所示。排列比例定义为两个相邻段内压力容器数量之比，上游压力容器：下游压力容器。

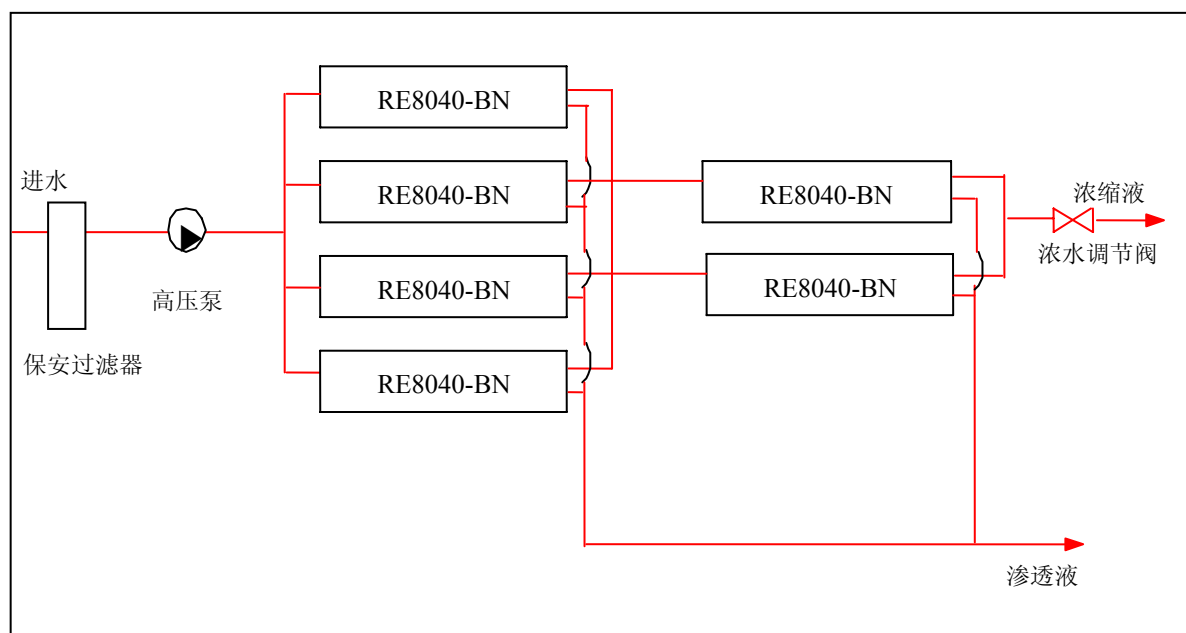


图 4：多段系统

5-7. 双级系统

双级反渗透中第一级的产水作为原水进入第二级。每级可以单段或多段排列，并且有连续流量的浓水循环。使用这种工艺，二级的产水电导甚至可以小于 $1\mu\text{s}/\text{cm}$ ，而且不含有有机物和微生物。两级系统常用于医药、医疗和电子行业。

图5 所示双级系统。

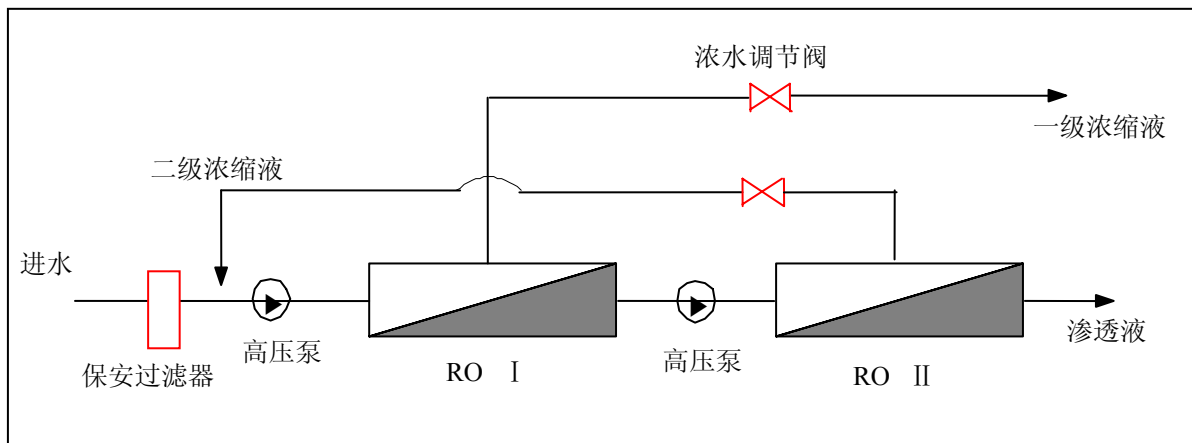


图 5 :双级系统

第二级的浓水循环回第一级的进口，因为二级的浓水水质比原水好。

第二级回收率可以设计比第一级高一些，而且可以少用膜。

代替第二级的高压泵，双级系统可以只用1个高压泵，只要操作压力不超过上限（对于苦咸水膜，小于600psi）。

如果两级系统中第一级产水有背压，一定要千万小心产水背压任何时候不能高于浓水侧压力。

5-8. 膜元件和压力容器数量的设计

如前所述，反渗透系统的设计是根据产水量的要求而定，膜元件的数量 N_E 计算方法是总产水量 Q_T 除以单支元件的平均产水量 Q_A ：

$$N_E = \frac{Q_T}{Q_A} \quad (1)$$

在大多数应用中，单支元件的产水量 Q_A 按表1中最大产水量 Q_M 的75%考虑。

$$Q_A = 0.75 Q_M \quad (2)$$

这样等式1改为等式 3.

$$N_E = \frac{Q_t}{0.75Q_M} \quad (3)$$

压力容器数量 N_V 以总膜数量 N_E 除以每个容器里的膜数量 P_E ：

$$N_V = \frac{N_E}{P_E} \quad (4)$$

标准的容器是6芯装的，压力容器数量 N_V 要向上圆整。

为了更精确地计算膜元件数量，单支膜元件的平均产水量 Q_A 应以有效膜面积 S 乘以平均水通量 f 得出。（平均水通量见表3）

$$Q_A = S \times f \quad (5)$$

等式1就转换成等式6

$$N_E = \frac{Q_T}{S \times f} \quad (6)$$

有了水质分析报告，产水量、膜数量、压力容器数量可以确定系统。预想的系统必须用CSM 的Pro 2006 模拟软件计算。软件计算出进水压力、产水水质包括所有单个元件的操作参数等，而且软件可以反复试算优化系统，通过改变膜数量、型号和排列方式达到此目的。但是优化应该满足膜元件的物理限制和导则中根据存在污染危险而规定的回收率限制。

例如，选用6芯压力容器两段排列的系统，有效流程为12支膜元件长度，通常回收率为60-75%。对于这样的系统，每支膜的回收率在7%-12%之间变化。如果操作两段系统回收率超过75%以上，就会导致个别膜元件的回收率超过最大上限（如：SDI在3-5，回收率>15%）。这就需要使用三段排列系统，12支膜元件长度的有效流程，使每支膜元件回收率小于15%。

如果两段排列系统的回收率过低（如：<60%），第一段压力容器中的进水流量会很大，从而导致进、出口压降过大，同时对膜元件会产生伤害，因此当系统回收率小于60%时，通常采用单段压力容器结构。

表3：不同水源下的平均水通量

水源类型	平均水通量gfd
废水 (SDI<5)	8~12
废水 (超滤处理、SDI<3)	10~14
海水 (SDI<5)	7~10
高含盐量井水 (SDI<3)	8~12
地表水 (SDI<5)	12~16
地表水 (SDI<3)	13~17
井水 (SDI<3)	13~17
RO/UF产品水 (SDI<1)	21~30

5-9. 特殊应用的设计和实验

如果我们知道原水的准确的分析数据和SDI值等设计条件，那么我们就可以使用计算机相对准确地计算出系统参数。但是以下这些情况我们建议需要做实验来确定设计参数：

- 进水水质不详
- 各种废水
- 对产品水有特殊要求
- 要求非常高的系统回收率
- 超大型系统

第一步 使用平膜做定性实验。是为了选择合适的膜并获得在特定情形下关于水通量和脱盐率的概念，通常采用一小片膜片做实验。

第二步 用2540膜元件实验。获得产水量，压力，脱盐率，回收率等参数。进而做间歇实验，将渗透液导入单独的容器，将浓缩液循环回水箱，一直到产水量很小（比如0.09gpm）。通过这个实验，膜的稳定性和抗污染性能就会显现出来。

第三步 现场进行连续运行试验。至少用一支8040膜元件，最好按照实际大型系统的排列比例排列，试验设备的产水量至少是实际规模的1%，至少持续运行30天。目的是确定系统设计，优化运行参数，更好地减少大型系统的风险。

6-1. 简介

长期运行成功的反渗透系统依赖于好的运行维护管理。

还要包括合理的预处理和安装调试过程。膜系统污染和结垢后，产水量减少、脱盐率降低，这与不合理的预处理和不正确的操作有关。

不正确的运行也会对系统包括膜造成化学性或机械性损伤。

记录运行数据并对数据标准化对确认系统性能好坏和确定问题出处非常必要。

标准化的数据与初始运行时的数据比照对确认系统性能很有帮助。

完整的数据记录也是系统性能担保要求的必备条件。

6-2. 试运行

1) 试运行前需检查的项目

在反渗透系统开机以前，确认预处理工作状态是否正常是很重要的。如果原水水质发生变化，一定要对原水做全面准确地分析以便采取合适的措施控制系统安全运行。

原水中的以下参数是要关注的并决定了我们的系统设计：

进水量，进水SDI，浊度，温度，pH，TDS，余氯，细菌总数

我们建议在系统开机以前应该检测以下机械性指标。

- 检查多介质过滤器和保安过滤器的工作状态
- 连通压力容器前对进水管路进行清洗
- 化学加药管线和各阀门
- 化学加药是否很好地与原水混合
- 当化学加药泵停止时RO系统可以安全停机
- 原水进膜前所有余氯被去除
- 预处理和膜系统的仪表监测是否正常
- 校准仪表
- 安装产水压力保护，如爆破膜
- 管路是否清洁，各压力保护阀是否正常
- 各个泵是否正常运转

- 检查产水侧、原水侧、浓水侧的各个阀门
- 开始运行时只进设计水量的50%以下比较安全。

2) 开机顺序

- 操作开机程序前必须仔细冲洗预处理，不能让污染物进入反渗透膜。
- 确认所有阀门在正确位置。进水和浓水控制阀全部打开。
- 低压进水将管路和膜中的空气排干净，压力在30~60psi下冲30分钟，产品水和浓水排放。在这个工作中同时检查是否有泄漏的地方。
- 系统冲洗干净后，关上进水压力阀门，但一定要打开浓水阀门。
- 缓慢开启进水阀门，不要让压力超过4.0 kg/cm² (60 psi) ，然后打开高压泵。
- 逐渐开大进水阀门提高压力和流量，慢慢关小浓水阀门提高回收率。
- 重复上一步操作，慢慢将回收率调节到设计值，并检查压力不要超过设计极限。
- 调节两个阀门后，计算系统回收率并且和系统设计回收率相比较。
- 检查化学加药如酸、阻垢剂、亚硫酸氢钠、测试pH值、电导、硬度、碱度来确认LSI朗格利尔指数。

- 开机1个小时后记录所有数据，查看产水电导值，并且分别检测每个压力容器的产水电导。
- 运行24到48小时后，记录所有数据，比如进水压力、各段压差、水温、流量、回收率和电导。比较实际数据与设计数据，在未来的运行中初始数据作为基础数据用来评价以后系统的性能变化。

6-3. 系统运行维护需连续记录运行数据

我们建议一定将所有系统运行参数记录完全。这些数据不仅可以判断系统的性能，而且对于故障诊断和性能担保都是必需的。

反渗透系统的性能好坏很大程度上依赖于预处理单元，所以预处理设备的运行状况和维护也都需记录下来。

1) 预处理系统

- 开启原水泵，注意观察砂滤器、多介质过滤器、活性炭过滤器的压力降以确定反洗周期。
- 检测进水中的余氯浓度
- 注意软化器的再生。
- 注意微滤或保安过滤器的进出口压力，当压差增加到设计值时要清洗或更换滤芯。
- 在预处理过滤流程的前后测定SDI和浊度。
- 注意酸和其它化学品如混凝剂、阻垢剂的消耗，根据原水中钙和其它难溶盐的多少，可以调整加阻垢剂和加酸的比例。

2) 反渗透运行的数据

每个运行班组必须连续纪录运行数据

- 对产水，浓水，原水完整的水质分析，开机以后一周一次。

- 原水产水和浓水的pH值、原水温度。
- 浓水中的朗格利尔指数（浓水含盐量小于10,000 ppm 时）。
- 浓水中的S&DSI指数（浓水含盐量大于10,000 ppm 时）。
- 高压泵后的原水压力。
- 进水各点、产水和浓水各段的压力值及压力降。
- 产水量和浓水量，计算回收率不要超设计极限。
- 进水、产水和浓水的电导或TDS值，进水含盐量和浓水含盐量计算出平均浓水含盐量，从而计算出平均脱盐率。

$$\begin{aligned} & \text{产水流量} \times \text{产水含盐浓度} + \text{浓水流量} \times \text{浓水含盐浓度} \\ & = \text{进水流量} \times \text{进水含盐浓度} \end{aligned}$$

$$\text{平均脱盐率}(\%) = 1 - \left[\frac{\text{产水 TDS}}{(\text{进水 TDS} + \text{浓水 TDS}) / 2} \right] \times 100$$

- 根据原厂的建议至少每三个月校准一次计量仪表。
重要的仪表包括pH计、流量计、压力表、电导仪。
建议pH计每周应该用标准液校正一次。

3) 维修记录

- 记录日常维修工作
- 反渗透状况和预处理中机械故障和维修更换记录，比如保安过滤芯的更换
- 记录膜元件位置的变化并记录膜的编号
- 记录计量仪表的校验
- 记录膜化学清洗的日期、清洗时间、清洗药剂的品牌、还有 pH 值、温度、流量、压力。

6-4. 数据标准化

反渗透系统的性能受进水TDS、进水压力、水温、回收率等影响，数据标准化的过程是将现场真实数据转化成和最初运行同样条件下的系列数据，以便与初始数据比较。

标准化后的数据与初始数据（或设计数据）之间的差异提示我们系统运行是否发生以下问题：

- 膜的污染或结垢
- 膜的化学损伤 - 由于氧化或极端pH值造成膜表面化学特性的改变，导致脱盐率降低。
- 机械性问题 - O型圈破损或膜口袋开胶
- 水力堵塞 - 大颗粒胶体或结垢将膜元件的水通道阻塞

如果每天数据标准化整理就可提早发现问题，三个典型的数据，比如脱盐率、标准化压降和标准化的产水量变化可以从日常运行数据中计算得出，因此，上述四种问题就可以通过下列三个变量来直接监控：

- 脱盐率
- 标准化的压力差
- 标准化的产水量

1) 脱盐率

脱盐率是检测RO系统性能最普遍最熟知的一个方法，但是对系统其他参数的监控，比如压降和产水量出现的问题要加以重视和及时修正，以免这些问题影响到脱盐率。

有两种常用的脱盐率计算方法。

$$\text{脱盐率 (\%)} = \frac{(\text{进水 TDS} - \text{产水 TDS})}{\text{进水 TDS}} \times 100$$

这种脱盐率方法计算出的结果会比实际上低一点，回收率对其变化影响大一些。

另一种方法使用进水和浓水含盐量的算术平均值，该值更接近膜表面真实的溶液含盐量。虽然这种方法计算的脱盐率也会随回收率变化而改变，但它能更准确地表达了膜元件的脱除率：

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

$$\text{脱盐率 (\%)} = \left[\frac{\text{平均进水 TDS} - \text{产水 TDS}}{\text{平均进水 TDS}} \right] \times 100$$

如果浓水的TDS 没有测量，也可以通过进水含盐量和系统回收率计算出来：

$$\text{浓水 TDS} = \text{进水 TDS} \times \frac{1}{1 - \text{回收率}}$$

因为膜对水中各种离子脱除率不一样，因此，如条件允许，新膜系统开机时应分别测出每种离子的脱除率，以便今后比较。每种离子的脱除率的数据也有利于诊断某些系统故障。举例，对二价离子比如钙离子的脱除率可以分辨是机械泄漏还是膜表面性能衰减。如果是机械损伤或口袋开胶或O型圈问题，一价和二价离子透过都会增加。如果膜材质衰减，那么一价透过会多于二价离子。

2) 压降 (ΔP)

压降是进水压力和浓水之间的压力差值，实际上我们测量的是流经所有膜元件的压力降低。在连续流量下，如果压降增加，意味着有胶体或泵屑或无机结垢或生物膜堵塞元件里的浓水通道。望远镜现象（膜卷窜动）也是因为压降过大造成的。同时温度和其它因素会影响压力降，可以根据下式对压降标准化。

$$\text{标准压力降} = \text{实际 } \Delta P \times \frac{(2 \times \text{初始浓水流量} + \text{初始产水流量})^{1.5}}{(2 \times \text{浓水流量} + \text{产水流量})^{1.5}}$$

如果标准化后压降增加了10%建议考虑化学清洗。

3) 产水量标准化

标准化后的产水量对于RO系统是很重要的参数，标准化可以消除压力温度和进水含盐量对产水量的影响，反应出膜的性能，膜元件以及压力容器的完整性。

标准化的产水量可以监测以下问题：

- ① 污染和结垢形成造成产水量下降
- ② 膜元件被压实，产水量下降
- ③ 膜系统有泄漏造成产水量上升
- ④ 膜的降解造成产水量上升

产水量标准化公式：

$$Q_N = Q_0 \times \frac{P_i - \frac{\Delta P_i}{2} - P_{pi} - \pi_i}{P_o - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{po} - \pi_o} \times \frac{TCF_i}{TCF_o}$$

Q_N =标准产水量

Q_0 = 实际产水量测量值

P_i = 初始操作压力

P_o = 实际操作压力

ΔP_i = 初始压力差

ΔP_o = 实际压力差

P_{pi} = 初始产水量

P_{po} = 实际产水量

π_i = 初始渗透压

π_o = 实际渗透压

TCF_i = 初始温度校正系数

TCF_o = 实际温度校正系数

6-5. 控制 RO 系统中的微生物生长

在 RO 系统运行中，微生物污染是很普遍并且严重的问题。这样，合理的设计和预处理工艺如加氯-还原余氯等方式对控制微生物是很重要的。

利用不透光的管路系统容易控制微生物滋生。

控制微生物活动的常用和最好的办法，首要的是定期检查微生物的量和定期清理系统。根据微生物污染的风险性决定微生物的检测频率，每天应检查还原余氯后的进水，对于地表水每周应检查以下各点的微生物量。

- | | |
|----------|----------|
| ① 加氯前 | ④ 余氯被还原后 |
| ② 澄清沉淀后 | ⑤ 浓水 |
| ③ 各过滤单元后 | ⑥ 产水 |

以下各处的检测对控制生物污染很有帮助，敞开的水箱或水池应作杀菌处理，其下游也应定期杀菌。密封的水箱上的呼吸器需要 HEPA（高效空气微粒子过滤）器。

多介质的反洗水冲洗水的水质要好而且没有微生物。

在RO系统正式连续运行前，整个预处理中的管路、水箱和过滤器应该做杀菌处理。

7-1. 介绍

反渗透系统的预处理工艺设计，已经最大可能地去除原水中带来的污染物质，但并不能全部去除，所以反渗透系统污染现象很普遍。幸运的是大多数污染物质通过定期的化学清洗可以被去除。只要预处理工作正常，不存在难以控制的原因，如原水水质改变或无法避免的微生物污染发生，清洗频率可以尽量低。有时候操作失误会导致膜的污染，如回收率太高或加药系统不正常等。

膜被污染产水量会下降，脱盐率会下降，进口与浓水之间的压力差会升高。

膜清洗可以使一些酸碱药剂（pH2-pH12条件下），熊津化学CSM膜清洗药液温度最高45℃。

许多污染，特别是粘泥类，随时间积累量增加并被压缩且增厚，这样清洗起来就会非常困难。因此清洗周期就不要间隔的太长。

7-2. 化学清洗标准

如果症状符合下列特点，就应该立即清洗膜元件：

- 标准化后的产水量减少 10 - 15%
- 脱盐率下降0.5%
- 压差 ΔP 上升15%（与初始24-48小时的压差值对比）。

注意标准化产水流量，压差和脱盐率按上述6章中公式计算。

7-3. 清洗药箱和其它设备

化学清洗药箱通常是PE或 FRP 材质，可以耐受pH范围1 -12。

清洗温度尽量高些，比如 35-40℃。化学清洗不要在15℃ 以下进行，因为清洗效率很低。有时为防止过热，也需要冷却，因此加热和冷却装置对于控制清洗药液温度都是需要的。

清洗药箱的体积要足够大，需要考虑压力容器和系统的管路容积，如果计算管路体积比较困难，可以按压力容器的20% 体积计算。

清洗时合适的泵，相应阀门、流量计、压力表都需要安装好。

7-4. 清洗程序

1. 向清洗水箱中注入RO产品水，清洗液量要满足压力容器和管路体积的需要。向清洗水箱中加入计算好的药剂量，开启清洗泵，闭路循环充分搅拌混合药液。
2. 尽量放掉RO主机内的水以免其稀释了药液。
3. 最好根据膜厂家要求加热清洗药液提高清洗效率。
4. 将预加热的药液注入管路中，在低压、低流量（大约为表1中的一半），将管路中残留的水挤出来并将排出来的水放掉，直到浓水中或循环管路中有药液出现（由清洗液温度或pH值显示）。参照表1，调节流量和压力，全部打开浓水控制阀来降低操作压力，清洗压力只要使产品水侧没有渗透液就可以了。

表 1：清洗中每支压力容器循环量的上限值

压力容器直径 (英寸)	最大进水流量	
	(gpm)	(m ³ /h)
2.5	5	1.1
4	10	2.3
8	40	9

5. 清洗液在RO主机和清洗装置间循环并保持温度，注意观察药液的浊度以判定其有效成分比例。尤其碱洗时如果药液浊度和颜色

发生明显变化，应排放掉原药液重新配制药液。酸洗过程中要检测pH值，在溶解无机盐时要消耗酸液，如果pH值上升0.5个单位，需要加酸。

6. 循环之后关闭清洗泵浸泡膜元件，有时候浸泡1个小时就足够了，但对于复杂的污染，浸泡10-15个小时很有效果。为保持浸泡期间的温度，可以用小流量循环（表1中数值的10%）。
 7. 再循环 30-60分钟将膜表面松动的污染物冲走。如果污染比较重，清洗流量比表1高 50% 冲洗会有帮助。清洗时压降过大会出问题。我们建议单支膜压力降小于1.4 bar(20psi)，多支装压力降小于 4.1 bar(60psi)。清洗流向要与工作时的流向相同。
 8. 排放清洗药液，取样分析一下药液中污染物的类型和含量，这有利于判定清洗效果和污染的原因。
 9. 用反渗透产水或干净的水（过滤并 $SDI < 3$ ，而且不含余氯和微生物，电导值 $< 10,000 \mu s/cm$ ），都可以冲洗膜系统。为防止沉淀，最低冲洗水温是 $20^{\circ}C$ 。
 10. 清洗结束后系统重新启动，但开始的水必须要排放掉直到产水电导和pH值恢复正常。如果系统还需要另一种化学药品清洗，那就要将系统中的水排放掉。注意如果清洗后停机超过24小时，那就用保护液浸泡（1% 亚硫酸氢钠溶液）。
- 如果是多段系统最好分段清洗，可以使用同一清洗泵分别清洗，也可以配制多个清洗泵。

7-5. 清洗药剂的选择

因为频繁期清洗会缩短膜的寿命，有时因为药剂选择不当会恶化膜的污染状况，所以选择化学药品很重要。针对污染原因对症下药效果会更好，所以应在化学清洗之前确定污染物类型，以下方法可以帮助我们确定污染物类型：

- 分析运行数据
- 分析原水以确定潜在的污染物质
- 参考以往清洗结果以确定污染类型
- 分析SDI 测试后膜片上的污染物
- 分析保安过滤器滤芯上的污染物
- 检测进水管内壁和上游的膜元件。

如果呈红褐色，可能是铁污染。生物污染和有机物污染，膜表面可能呈现黏膜和胶状物。

表2所示针对不同污染类型建议合理的清洗配方。酸洗可以除掉某些难溶无机盐包括铁。碱洗可以去除有机污染包括微生物。硫酸不能用作清洗，因为可能产生硫酸钙沉淀。

配置清洗溶液，最好用反渗透产品水或者是过滤后的原水。

因为原水可能对药液有缓释作用，会消耗更多的酸和碱来达到需要的pH 值。

清洗液温度在30℃ 时，清洗液pH值范围在2 -12；

清洗液温度在35℃ 时，清洗液pH值范围在2 -11；

清洗液温度在50℃ 时，清洗液pH值范围在3 -10。

表2. CSM膜清洗配方

污染物种类	清洗配方	效果
无机盐 (CaCO ₃ , CaSO ₄ , BaSO ₄)	0.2%盐酸 0.5% 磷酸 2.0% 柠檬酸	最佳 一般 一般
金属氧化物 (铁)	0.5%磷酸 1.0% 亚硫酸氢钠	好 好
无机胶体 (泥砂微粒)	0.1%氢氧化钠 (NaOH), 30℃ 0.025%十二烷基硫酸钠	好 好
生物膜	0.1%氢氧化钠, 30℃. 1.0% EDTA四钠盐和 0.1% NaOH, 30℃	最佳 最佳(当生物膜 含有无机结垢时)
有机物	0.025% 十二烷基硫酸钠 /0.1% NaOH, 30℃. 0.1%三磷酸钠/1% EDTA钠盐	好 好
硅	0.1%氢氧化钠, 30℃. 1.0% EDTA四钠盐和 0.1% NaOH, 30℃	一般 一般

表2告诉我们清洗溶液的工作配方，但是大多数情况下人们更愿意用专业的清洗药剂。大部分的专业药剂与CSM膜兼容，但是真正的效果好坏要看多次化学清洗之后的效果。

我们可以通过检测第一段中任意一个压力容器的运行性能来确定长期使用某种药剂的效果。在任何情况下，要确保专业药剂不含有阴性或阳性表面活性剂，清洗溶液的pH值不能超过特定温度下的范围要求。

7-6. 杀菌

如反渗透系统发现被微生物粘膜污染，例如微生物黏膜或腐殖物，那么清洗之后应该对系统进行杀菌处理。除了不需要大流量循环外，程序与化学清洗相同。

通常使用的杀菌剂有甲醛、过氧化氢、过乙酸和加氯。四铵盐类杀菌剂、碘酒和苯酚类混合物会造成产水量降低，因此不要将他们用做杀菌剂。

甲醛的有效浓度在0.5%~3%。使用时要十分小心，因为它是致癌物质。

浓度为400ppm的过乙酸溶液可以用作反渗透系统的杀菌。过乙酸溶液的系统杀菌效果要远好于过氧化氢。操作时要十分小心，不要超过0.2%的浓度。我们建议间歇性使用，以免连续性使用对膜造成损伤。当使用过乙酸时通常不需要pH值调节。

当使用过氧化氢时浓度为0.2%，溶液pH值调整为3。这是为了确保杀菌过程的最佳效果。如果在消毒之前使用了碱性清洗，那么建议用安全的酸液冲洗膜系统。另外，如果温度超过25℃并且有重金属铁锰存在，那么过氧化氢对膜的损伤会加剧。

CSM膜可以短时间内和余氯接触。可是，如果1ppm余氯与膜接触200~1000小时可能会对膜造成不可恢复的降解，这取决于原水的特性，比如pH值及重金属的含量。所以我们不推荐用余氯对反渗

透膜进行杀菌，但它可以用于预处理单元。

但是我们不推荐用氯胺、氯胺-T和氯异氰酸盐作为杀菌剂，因为效果不好还会对膜造成缓慢的伤害。

8-1. 介绍

任何反渗透系统的故障会表现为脱盐率下降或产水量降低及压降升高，这三个指标会分别出现或者共同发生。

如果三个指标中的一个或多个标准化之后背离了正常值，这就说明需要化学清洗以去除污染和化学结垢。

系统性能突然或快速下降说明了系统有缺陷或者发生过误操作。基本的原则是：我们要对问题及早处理，否则可能会因为延迟解决这一个问题而造成新问题的发生。

早期发现潜在问题的首要条件是坚持记录运行数据和数据标准处理，还包括定期对仪表进行校正。

一旦发生问题，首先我们要确认问题所在的位置及原因。我们可以使用数据记录表和在线仪表来帮助完成任务。

如果现场数据和分析条件无法判断故障原因，应该取出一只或几只膜元件送到实验室做解剖或非解剖分析。

8-2. 仪表校准

仪表校准是解决任何故障程序的第一步。

在线TDS仪表

原水和产水的TDS在线仪表可以用便携式仪表校准。

请注意仪表的安装位置和安装方法以及使用方法，应遵守生产厂家的技术规范。

流量计

对于反渗透系统流量计校准也是非常重要的，因为准确的产品水和浓水的流量对于成功的操作反渗透系统至关重要。例如：浓水流量过低会造成膜的污染和结垢；标准化后的产品水流量对于判断膜的污染和性能衰减起到重要作用。

校准流量最直接的方法是计算水流入某个已知容积的容器所用的时间，反复几次所得到的平均值。

压力表计

除了原水和产品水的压力外，监测各段的压差可以知道膜表面污染物的累积情况。不正确的压力读数会导致不必要的化学清洗。

pH仪表和温度计

利用标准溶液定期校准pH仪表。原水微小的改变不会对脱盐率有很大的影响。

温度数值对于判断产水量的变化是非常重要的。

8-3. 脱盐率低的故障定位

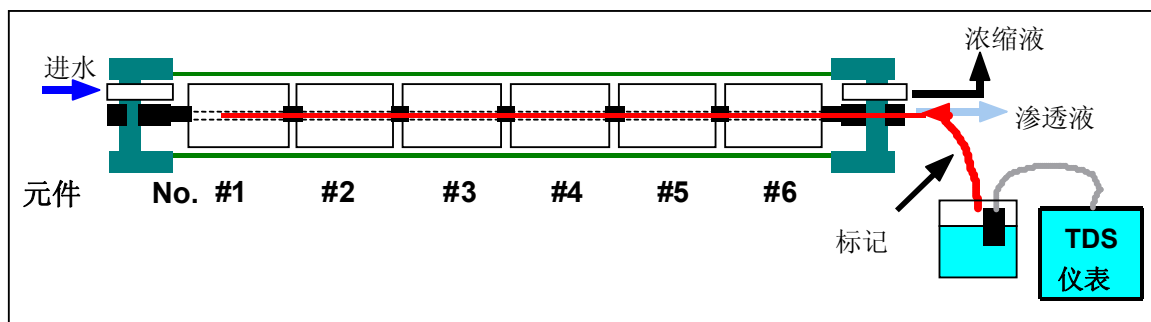
系统脱盐率的下降可能是整个系统的问题,也可能是一个或多个压力容器的问题。下面的三个步骤可以确定脱盐率低的位置:

- 检测每只压力容器产品水含盐量
- 探管检测
- 单只膜元件检测

设计完善的系统,每支压力容器都应安装取样阀。取样时要注意不要让其它压力容器的产品水混入水样。所有产品水样都应该用TDS仪表检测。注意第二段压力容器的产品水比第一段的要差一些。我们在确定所有的压力容器脱盐性能之前应该确认每一段进水的TDS值。

如果同一段的压力容器中有个别的产品水的TDS值很高,我们就需要对它进行探管实验。(如图一)

反渗透系统在正常条件下运行,产品水将会从中心管流出。冲洗几分钟后要对各个位置的产品水进行测量。



图一. 探管实验

8-4. 膜元件分析

如果发现一支或几支压力容器中的一个或几个膜元件有问题，那么最大的可能性是受到了机械损伤，比如：膜表面被划破、粘胶线开裂、产水隔网与中心管粘接破裂和O型密封圈损坏。O型密封圈和浓水密封的破坏可以通过肉眼观察及早发现。

膜表面损伤和粘胶线开裂只能通过膜解剖来发现。另外，这些物理性损伤可以通过染色实验来确定。

当整个系统出现问题时，我们应该取出系统中的第一支与最后一支来进行检测。通常最前面的膜发生的是物理性污染，而最后一支膜一般发生的是化学结垢。

如果膜元件被化学物质伤害，例如：余氯，可能会发生盐透过率增加和产水量增加的现象。

8-5. 被严重污染的膜元件清洗实验

规范的清洗程序是系统能够正确运行必要部分，通常产水量小于15%可以通过清洗来恢复。但是如果产水量衰减超过15%或者预处理发生突然事故，普通清洗方法就很难使其恢复，这样的话我们就需要从系统的头尾各取一只膜元件并用各种化学药剂进行清洗实验。如果实验成功，我们将按实验的配方来对整个系统进行清洗。

可是，如果因为膜片损伤或者污染十分严重，清洗是达不到效果的，那样我们只能将膜解剖来判断物理结构的损伤或者污染物的种类。

8-6. 被严重污染膜元件的分析方法

肉眼观察

直接观察被解剖的膜元件表面可以得到我们有用的线索，比如：有活性炭颗粒的存在。

微生物的污染与难溶盐污染的外观和气味有所不同。其它机械性损坏问题，例如：胶线破裂、原水和产品水通道材料的损伤也可以通过肉眼观察到。

酸溶解实验

如果将膜表面的晶状物质结垢放到pH 值3到4的盐酸溶液中有大量气泡产生，这说明该结垢物可能是碳酸钙。

硫酸盐和硅的结垢物质在pH 值为1的酸液中都很难溶解。如果结垢物在2mg/L 中的氢氟酸溶液中溶解，那么说明它是二氧化硅。

染色

用浓度0.001 - 0.005% 的亚甲基兰溶液或若丹明B溶液对单支膜元件进行染色试验，如果膜表面被降解或膜元件有机械泄漏的地方，染料会透过膜，用肉眼或分光光度计可以发现产品水的颜色变化。染色试验后，可以把膜元件解剖，然后确定染料透过的位置。受损的地方能够看到更多染料透过的现象。如果是因为加氯造成膜降解，或加酸过量导致水解，观察膜片内侧染料透过比较均匀。

光学显微镜

如果肉眼观察解剖的膜元件，无法得到污染物特点的详细信息。那么使用高能光学显微镜能确定是生物污染还是无机盐结垢。同时也可以提供结晶体构造的信息。使用偏振光方法可以区分硫酸钙和碳酸钙，因为硫酸钙晶体的折射指标与众不同。

有时我们在显微镜下可以发现难溶盐垢的表面被有机物和微生物覆盖。在这种情况下，最有效的清洗方法是首先用碱液去除有机物和微生物粘膜，然后用酸液去除难溶盐。

扫描电镜 (SEM)

SEM 与光学显微镜比较可以观察区分更小的物质。所以SEM可以观察小到 $0.1\mu\text{m}$ 的颗粒物，并且能区分微小晶体和不规则的无机物结垢，并且它还能观察微生物的细胞结构。SEM方法对于分析污染物的微观情况非常有帮助。

能量散射X-射线分光法 (EDX)

EDX能提供膜样品的半定量的结果。它可以探测出微量的无机物也能分辨碳，氮，氧，它是分析无机物垢的最好方法，同时对分析有机物也很有帮助。

该方法也可以提供膜被卤素化合物氧化的证据。

电子光谱化学分析ESCA实验可以确定膜降解（或氧化）的根源。

8-7. 性能衰减原因和解决方法

8-7-1. 低脱盐率和高水通量

膜氧化

低脱盐率和高产水量是膜被氧化（余氯、溴和臭氧所氧化）的典型症状。其它的氧化剂例如过乙酸、过氧化氢等混合物破坏性相对较弱，但是如果存在过量而且与金属催化剂共存时仍然对膜有损坏作用。在偏碱性的溶液中，如果含有余氯和溴，更容易对膜造成损伤。在氧化初期，上游的膜元件比其它部分损伤更严重。通过膜元件染色试验和切片试验，可以肉眼观察到膜的氧化损伤。所有被氧化的膜元件是无法修复的。

泄漏

由于机械或者产水管的损伤引起进水和原水的泄漏，导致低脱盐率和高产水量。超高的压力和剧烈的冲击对膜元件造成严重的损伤，导致产水量偏高。损伤的类型有O型圈的泄漏、中心管破裂、膜卷窜动（望远镜现象）、膜片划伤和膜口袋破裂。

8-7-2. 低脱盐率和普通产水量

○型圈泄漏

可以通过探管试验发现○型圈泄漏，检查连接件、适配器等部件的密封圈的安装和使用情况，更换老化和破损的密封圈。密封圈可能是因为在和化学品接触或机械压力造成老化和破损。例如，水锤造成对膜元件的冲击，有时，在膜装载的过程中，不正确的安装和拆卸也会导致以上现象。

望远镜现象

进水和浓水之间的压差过大，是造成望远镜现象的原因。因为8英寸膜进水断面较大，所以更容易发生此现象。安装时要确认在压力容器下游放置推力环支撑膜元件。小尺寸的膜元件的支撑依靠它们的中心管。严重的望远镜现象能够撕开胶线和膜片本身。望远镜现象的损伤可以用探管法确定(章节 8-3)。操作条件导致压降过大，详细内容会在高压差章节中介绍。例如，当高压泵启动瞬间，最上游位置的膜元件会受到高速水流的冲击，可以使用电动慢开阀防止望远镜现象。

膜表面磨损

进水中的晶体或有尖锐边角的金属悬浮物颗粒会造成上游膜元件的磨损，应检查进水中是否含有这类物质。用显微镜检查入口

侧膜元件，可以发现这类物质造成的损伤。这种损伤是不可修复的，所以在预处理过程中一定要去除这些颗粒。

产品水背压

在任何时候，当产品水压力超过浓水侧压力0.3 bar (5 psi) 时，膜片可能被撕破。根据破损膜元件的解剖分析，外侧膜表面会出现与中心管平行的裂纹，通常靠近外侧胶线。膜的破损通常发生在各条胶线的边缘。

膜口袋的破裂

在制造卷式膜元件的工艺中，通常是将一页膜片中间对折。在某些条件下，膜页的对折处可能会破裂。从而盐透过量增加，产水量增加或者无变化。膜口袋破裂可能是由以下情形引起的：

- 启动时的水力冲击（例如系统中存在空气）
- 操作压力升高过快
- 剪应力的增加
- 结垢和污染物的磨损
- 产品水背压

膜口袋破损通常发生在使用一年之后或者经常不正确的操作和频繁的系统启停。

8-7-3. 低脱盐率和低产水量

此类现象通常是因为胶体污染、金属氧化物污染或难溶盐结垢造成的。

胶体污染

胶体污染大多数发生在第一段，如果每一段都分别装有流量计，就很容易发现此类污染的位置。经常使用SDI 仪检测预处理的效果。

检测 SDI 膜片和保安滤芯上的沉积物，按规则清洗膜系统并改造膜工艺。

金属氧化物污染

金属氧化物污染也大多数发生在第一段，检查进水中的铁、铝的含量，并且检查上游系统设备和管路的材质，如果材质不正确会导致腐蚀和铁离子溶入水中。也可以通过保安滤芯和SDI 膜片上发现金属氧化物。用酸液清洗膜系统可以去除该污染。改善预处理或设备材质可以减轻此类问题。

结垢

难溶盐结垢经常发生在系统末段，然后逐渐向上游发展。分析钙、锶、钡、硫酸根、氟离子、硅、pH值和LSI指数（S & DSI指数用于海水）。通过分析进水和产水，我们可以计算盐份在整个系统

中的物料平衡。除了CaCO₃之外，其它的难溶盐现象都比较缓慢，因为水中含量比较少。

通过显微镜可以看到晶体的结构，通过化学分析或X射线分析，可以确定结垢物种类。通过对酸、碱清洗溶液的分析，也可以找到污染物质。一般对于碳酸盐结构，在预处理单元中调节pH值即可控制。对于其它难溶盐，既要使用阻垢剂和适当的预处理工艺，也要控制回收率。系统运行回收率一定不要超过设计值。

8-7-4. 低产水量和正常脱盐率

生物污染

生物污染通常发生在系统的前端，影响产水量、进水量、进水压力、压差和脱盐率：

- 在一定的操作压力和回收率下，产水量逐渐减少。
- 在一定的操作压力和回收率下，进水量逐渐减少。
- 如果在一定回收率下保持产水量不变，需要提高进水压力。提高进水压力导致了不良的运行状态，会增加污染和清洗难度。
- 当微生物污染严重或混合有淤泥污染，压差会快速增大。
- 因为压差对于我们判断污染很重要，所以我们强烈建议每一段都应安装压力检测仪表。
- 脱盐率初期正常，当微生物污染变严重时下降。
- 解决措施是对整个系统包括预处理进行杀菌，并且优化预处理

系统对付原水中微生物的生长。

- 不彻底的清洗和杀菌工作会导致微生物再次快速生长。

长期存放

如果新的膜元件被长期放置在亚硫酸氢钠保护液中，药液可能会失效，发生生物污染。如果保护溶液放置的太久，或存放温度过高，或和氧气接触发生氧化，都会造成此现象。用碱洗对恢复产水量有帮助。

未完全保湿

如果膜元件曾经变干，会导致产水量下降，脱盐率不变的现象。可以用酒精和水各50%的溶液浸泡1~2个小时以恢复其产水量。

8-7-5. 低产水量与高脱盐率

膜压实

膜片被压实的结果通常是产水量变低和盐透过率变低。CSM膜在普通操作压力下不会被压实，但在高操作压力下水温高于45℃和水锤作用下可能被强烈压实。

水锤发生在有气体的系统开泵时和限流阀全部被打开的时候。

膜片被压实导致膜片与产水隔网紧贴在一起，这样不但因为膜表面

的聚酰胺和聚砜被压实影响产水量，而且减少了产水隔网上的平行流道也影响产水量。

有机污染

原水中的有机物可能沉积在膜表面减少产水量主要发生在第一段。膜表面的有机物层好象一层额外的屏障阻止盐的透过，增加了脱盐率。

疏水性的或正电性的有机物会产生这种作用。

分析进水中的油和有机物质，检查SDI膜片和保安滤芯。经常性的检查SDI和TOC的值并改善预处理。

油类污染可以用pH12的碱液清洗恢复。阳离子型的药剂污染如果没有其它成分，可以用酸液清洗。酒精溶液对清洗有一定的作用。

8-7-6 高压力差

压力差也叫压力降，是指从进水到浓水排放前压力的降低。这个压力会推动膜元件向下游移动，并压紧中心管和膜卷。压力容器中最后一支膜元件承受的压力最大，

单支压力容器的最大压降是4.1 bar (60 psi)，单支膜元件的最大压降是1.05 bar (15psi)。如果压降超过了上限，即使时间很短，膜元件也会发生机械损坏导致望远镜现象或玻璃钢包装破裂。这样的问题可能初期不影响性能，但最终会影响产水量和脱盐率。

压差的上升是因为膜的通道中不断有颗粒物和污染物的沉积。该问题也可能是因为进水量的过大造成的。压降的大小和流速、流道、水温有关。

保安过滤器的故障

保安过滤器的安装如果存在缺陷,可能导致水中的颗粒物和污染物透过滤芯污染膜元件。

过滤器的泄漏

如果预处理中的砂滤器、炭滤器没有按设计要求定期反洗可能会失效,细小颗粒就会穿透它们进入反渗透膜元件里面。另外保安过滤器的滤芯必须定期更换,否则也会有颗粒物穿透滤芯。

这种污染清洗起来是很困难的,建议用清洗剂试试。最好是单支清洗,以免污染物被冲到下游的膜元件当中。对于失效的过滤器,如果再生或者反洗没有作用的话,应该尽早更换过滤材料。

泵叶轮磨损

多数多级离心泵至少要安装一个塑料叶轮,如果泵轴不对中,叶轮磨损的碎屑会堵塞前端的膜元件。

许多泵的结构中安装有隔网从而阻挡碎屑,因此请定期检查清理隔网,并检查泵的效能是否正常。

结垢

难溶盐结垢会造成末端压差上升。必须确保防止结垢的措施得以正常实施，并且要清洗膜元件还要保证回收率不超过设计值。

浓水密封损坏

浓水密封圈可能在安装时或水力冲击下发生翻转。部分进水会发生短路，没有经过膜元件而从膜与压力容器缝隙中流过，这样实际的回收率就超过了规定值，从而造成膜元件的污染。

这种问题的发生是无规律的，早发现多检查是最有效的方法。

生物污染

生物污染是引起压降升高的典型原因。生物膜为胶状且粘稠，对进水产生很大的阻力。

纠正方法请参阅 8-7-4 的内容。建议定期检测进水和产水的微生物指标。

阻垢剂的污染

聚合有机类阻垢剂和高价阳离子如铝，或者是残留的阳离子絮凝剂结合形成胶状沉淀。可用碱性EDTA的溶液反复清洗。

9-1. 品质保证的条件

只限于在下述的适当条件下使用，熊津化学公司才能对生产及销售
的CSM反渗透膜确保其品质。

1. CSM 反渗透膜使用过程中注意事项：

- a. 膜应始终保持湿润状态。
- b. 应排掉最初1个小时内的反渗透产出水。
- c. 在储藏、运输、保管或设备停机期间，为了避免微生物生长和结冰，CSM 反渗透膜应采用适当的膜保护液加以浸泡维护。标准的膜保护液的成份是 18-20%的丙二醇和1%的亚硫酸氢钠（至少食品级）。在1周以内的保存期中，1%的亚硫酸氢钠溶液就能抑制膜内微生物的生长。
- d. 使用福尔马林作杀菌剂时，膜元件必须正常运行至少6小时以上。如果在6小时之内使用福尔马林，将会导致产水量大幅度下降。
- e. CSM反渗透膜的使用者应对由于水中不适合的化学物质而对CSM反渗透膜产生不良影响负全部责任，品质保证对于它们的使用是无效的。

2. 设备的构成条件:

- a. 膜组件的排列、系统回收率、仪器仪表的设置、设备的设计标准及配件等均应适合CSM反渗透膜设计导则和相关技术标准。熊津化学公司有权检查设计是否符合设计导则和有关技术标准。
- b. 正确回收率必须综合考虑难溶盐的浓度。
- c. 如果阻垢药剂使用不当,将会有化学垢出现(例如, Ca、Ba、Sr 盐)。
- d. 对于微生物的防治和适当的预备方案应在设计运行维护中体现。

3. 进水条件

- a. 进水 SDI (15 min., 30 psi) 必须小于 5.0.
- b. 进水中不得含有硫元素的微粒.
- c. 不得含有污染膜的胶体或颗粒物.
- d. 进水中硅的含量应小于25mg/L (在25℃时候).

4. 操作条件

- a. 系统操作压力,海水膜操作条件小于 1000 psi , 苦咸水膜小于 600 psi, 自来水膜小于300 psi。
- b. 任何时间背压不要超过5 psi 。
- c. 膜元件不能受水力冲击(比如水锤)
- d. 进水温度不能高于45℃.

5. 膜系统中化学药品的条件

- a. 阻垢剂应被膜生产厂认可。
- b. 正常连续运行时进水的PH值应在3.0-10.0. 可用 H_2SO_4 或其它药品调节pH值.
- c. 反渗透不应受到表面活性剂、有机溶剂、油脂、天然高分子聚合物等物质损伤。
- d. 进水中不能含有臭氧、高锰酸钾、余氯或其它强氧化性物质。
- e. 若使用阳离子或中性表面活性剂或其它化学品应征求熊津化学公司同意。

6. 清洗条件

- a. 标准化后产水量下降10-15%
脱盐率下降0.5%
压差上升15%。
- b. 清洗PH范围2-11。
- c. 清洗用药品应满足膜厂家要求。

CSM 反渗透膜三年质量保证书(中文版)

CSM反渗透膜元件在依据熊津化学公司提出的设计和操作规范条件下使用时，熊津化学公司对本公司生产的卷式反渗透膜元件提供如下材料、制造工艺及性能的保证。

A、材料及制造工艺的保证

在依据熊津化学公司提出的技术文件规定及工程实际要求正确使用和维护膜元件条件下，自产品由买方验收之日起12个月内，熊津化学公司对所售产品的制造工艺及材料提供保证。

B、性能的保证

1. 在产品样本规定的测试条件下，新的膜产品具有该产品样本中所制定的初始性能。
2. 使用膜元件的开始三年内，熊津化学公司提供如下保证：
 - 在熊津化学公司制定产品样本的测试条件下使用或测试时，平均产水量不低于初始产水量的70%。
 - 在熊津化学公司指定的产品样本的测试条件下使用或测试时，盐透过率不超过同样测试条件下的初始盐透过率的1.3倍。
3. 熊津化学公司的三年保证自下列任何一种情况发生时开始生效：
 - 系统启动时。
 - 自膜元件从韩国釜山装运发往中国、台湾、日本、泰国、马来西亚、印度、印度尼西亚、菲律宾等国家及韩国的其他指定地点之日起三个月后。

- 自膜元件装运发往其他任意目的地之日起6个月后。

C、担保条件

如违反下述条款中的任何一条时，熊津化学公司将不承担上述性能保证责任。

- 膜元件的给水浊度 < 1.0 NTU，且SDI₁₅值 < 5 ；
- 膜元件的给水中不应含有油、脂和对膜有害的无机物或有机物。
- 给水温度最高不超过45℃。
- 清洗或停用期间，膜元件的给水pH值不小于2，且不大于11。
- 系统设计中应包括适当的预防微生物污染的措施，并将之贯穿使用和维护的全过程。CSM反渗透在连续使用时，膜元件的给水pH值不小于3，不大于10；并且在其它方面均保证满足产品使用规范要求。

- 膜元件最高使用压力为：

SWM系列海水淡化膜元件	1000PSIG (70kgf/cm ²)
BWM系列苦咸水淡化膜元件	600PSIG (41.3kgf/cm ²)
TWM系列自来水膜元件	300PSIG (20.7kgf/cm ²)
LPM系列超低压膜元件	300PSIG (20.7kgf/cm ²)

* 产品说明中另有规定除外。

- 任何情况下对膜元件产生的背压不超过5PSIG。
- 在系统操作时应避免对膜元件的水力冲击（水锤作用）。
- 应保证膜元件未发生颗粒物、沉淀物及微生物繁衍的污染。一

且发生膜污染、膜结垢或者膜元件的标准化水通量衰减10%时，则应及时按规定程序进行清洗。

- 膜组件排列、回收率、仪器仪表配置等系统构成和设计参数均应保证是与合理的工程设计相一致的。
- 买方应负责向使用者提供使用和维护系统的规定和手册，并负责操作和管理人员的培训，确保使用者具有系统清洗及其它性能维护、事故诊断的能力。
- 买方应保证系统的性能数据是经常的、充分的。这些数据应是日常记录、审查并采用系统化的形式建档的。这样的资料将成为熊津化学公司履行性能保证的依据。
- 原水中不应含有余氯、臭氧、高锰酸盐或其他强氧化剂，（与不超过1ppm的余氯短暂接触，将不会造成膜元件的损伤）。

D、赔偿条款

CSM 膜元件运行的前三年内，在符合熊津化学公司制定的担保条件时，对于在保证期内并经熊津化学确认膜元件的性能未达到性能保证条款的具体技术指标时，熊津化学将按三年内性能保证的分配原则给予赔偿：即反渗透膜的性能保证期每少于一个月，熊津化学将按用户购买CSM 反渗透膜的当时价格或更换CSM 膜元件现行价格的1/36货款赔偿。

注：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。

9-2. 反渗透系统运行前的检查程序

1. 所有管路和设备必须能够承受设计压力。
2. 所有管路和设备耐酸碱的能力必须在设计的pH范围之内（包括清洗）。
3. 所有管路和设备应做防腐保护。
4. 正常操作和化学清洗时，压力容器的管路连接要正确。
5. 压力容器要固定在机械架上
6. 压力容器的安装确保正确并且不能受到腐蚀。
7. 安装的各个仪表能够正常使用和监测预处理及反渗透系统。
8. 各个仪表应被校正。
9. 正确安装泄压装置并确认其正确工作。
10. 产品水侧泄压装置应有备件（爆破膜）。
11. 连锁控制，时间延迟继电器和警报器应正确安装。
12. 应配有产品水取样工具。
13. 保证膜系统在规定温度内运行，应避免太阳直射或结冰。
14. 水泵做好开机准备。
15. 拧紧各个连接部位。
16. 产品水管路畅通。
17. 初期产品水准备排放。
18. 浓水阀门放在全开位置。

19. 进水控制阀（或泵后旁路阀门）部分开启，启动时的水量小于正常时的50%。
20. 多介质过滤器和砂滤器要反复冲洗干净。
21. 保安过滤器内安装好新的滤芯。
22. 压力容器的上游管路要清洗干净。
23. 加药系统安装并调试好。
24. 检查加药系统管路上的阀门
25. 确认进水管路上药剂能充分混合。
26. 确认加药泵如停止工作，反渗透系统可以自我保护。
27. 如果预处理中有余氯杀菌，进入反渗透前确保全部被还原。

9-3. 反渗透运行记录

项目		设计值	/	/	/	/	/
时间	日期						
	运行时间						
进水	余氯 (mg/L)						
	SDI						
	浊度 (NTU)						
	温度 (°C)						
pH值	源水						
	进水						
	浓水						
	产水						
压力 (psig, bar, or kg/cm ²)	保安过滤器入口						
	保安过滤器出口						
	第一段进水						
	第二段进水						
	浓水						
	产水						
压差 (psig, bar, or kg/cm ²)	保安过滤器						
	第一段						
	第二段						
流量 (gpm or M ³ /hr)	进水						
	产水						
	浓水						
	回收率 (%)						
电导率 (μ S/cm) or TDS (mg/l)	进水						
	产水						
	浓水						
	脱盐率 (%)						
备注							

9-4. 各种离子化学单位间的转换

名称	分子式	分子量	当量质量	转换系数	
				g CaCO ₃ /ℓ	Eq/ℓ
氨	NH ₃	17.0	17.0	2.94	0.0588
二氧化碳	CO ₂	44.0	44.0	1.14	0.0227
二氧化硅	SiO ₂	60.0	60.0	0.83	0.0167
阳离子					
铝	Al ⁺⁺⁺	27.0	9.0	5.56	0.111
氨	NH ₄ ⁺	18.0	18.0	2.78	0.0556
钡	Ba ⁺⁺	137.4	68.7	0.73	0.0146
钙	Ca ⁺⁺	40.1	20.0	2.50	0.0500
铜	Cu ⁺⁺	63.6	31.8	1.57	0.0314
铁(二价)	Fe ⁺⁺	55.8	27.9	1.79	0.0358
铁(三价)	Fe ⁺⁺⁺	55.8	18.6	2.69	0.0538
氢	H ⁺	1.0	1.0	50.0	1.0000
镁	Mg ⁺⁺	24.3	12.2	4.10	0.0820
锰	Mn ⁺⁺	54.9	27.5	1.82	0.0364
钾	K ⁺	39.1	39.1	1.28	0.0256
钠	Na ⁺	23.0	23.0	2.18	0.0435
阴离子					
碳酸氢根	HCO ₃ ⁻	61.0	61.0	0.82	0.0164
碳酸根	CO ₃ ⁻⁻	60.0	30.0	1.67	0.3333
氯	Cl ⁻	35.5	35.5	1.41	0.0282
氟	F ⁻	19.0	19.0	2.63	0.0526
氢氧根	OH ⁻	17.0	17.0	2.94	0.0588
碘	I ⁻	126.9	126.9	0.39	0.0079
硝酸根	NO ₃ ⁻	62.0	62.0	0.81	0.0161
磷酸根 ³⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	95.0	31.7	1.58	0.0315
磷酸根 ²⁻	HPO ₄ ⁻⁻	96.0	48.0	1.04	0.0208
磷酸根 ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	97.0	97.0	0.52	0.0103
硫酸根	SO ₄ ⁻⁻	96.1	48.0	1.04	0.0208
硫酸氢根	HSO ₄ ⁻	97.1	97.1	0.52	0.0103
亚硫酸根	SO ₃ ⁻⁻	80.1	40.0	1.25	0.0250
亚硫酸氢根	HSO ₃ ⁻	81.1	81.1	0.62	0.0123
硫	S ⁻⁻	32.1	16.0	3.13	0.0625
二氧化硅	SiO ₂	60.0	60.0	0.83	0.0167

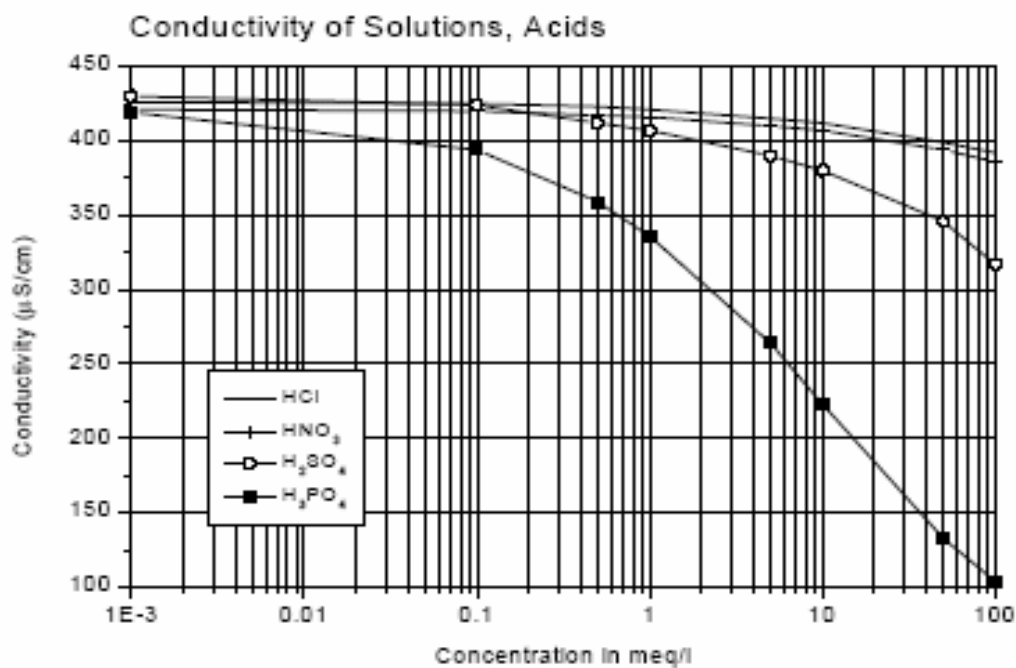
9-5. 标准海水成分

成份		浓度 (mg/l)
离子	钡	0.05
	碳酸氢根	152
	溴化物	65
	钙	410
	氯离子	19700
	氟离子	1.4
	铁	< 0.02
	镁	1310
	锰	<0.01
	硝酸盐	< 0.7
	钾	390
	硅	0.04~8
	钠	10900
	锶	13
硫酸根	2740	
TDS		35000
pH		8.1

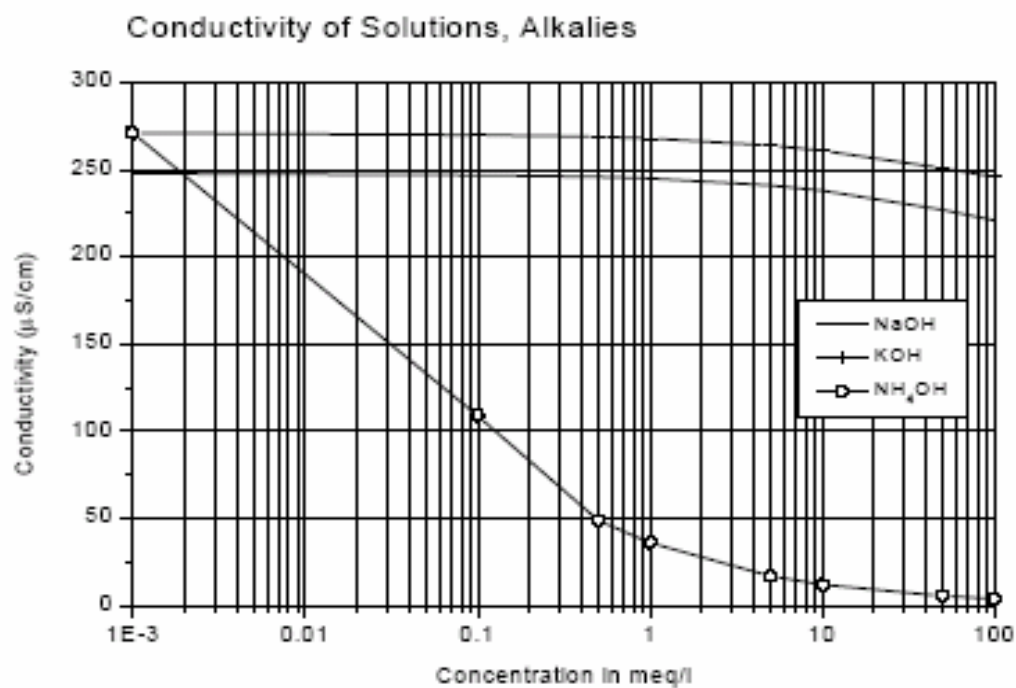
9-6. 各种难溶盐的溶度积

化合物	化学式	温度 (°C)	溶度积
氢氧化铝	$\text{Al}(\text{OH})_3$	20	1.9×10^{-33}
碳酸钡	BaCO_3	16	7×10^{-9}
硫酸钡	BaSO_4	25	1.08×10^{-10}
碳酸钙	CaCO_3	25	8.7×10^{-9}
氟化钙	CaF_2	26	3.95×10^{-11}
硫酸钙	CaSO_4	10	6.1×10^{-5}
硫化铜	CuS	18	8.5×10^{-45}
氢氧化铁	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	18	1.1×10^{-36}
氢氧化亚铁	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	18	1.64×10^{-14}
碳酸铅	PbCO_3	18	3.3×10^{-14}
氟化铅	PbF_2	18	3.2×10^{-5}
硫酸铅	PbSO_4	18	1.06×10^{-8}
磷酸氨镁	MgNH_4PO_4	25	2.5×10^{-13}
碳酸镁	MgCO_3	12	2.6×10^{-5}
氢氧化镁	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	18	1.2×10^{-11}
氢氧化锰	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	18	4×10^{-14}
硫化镍	NiS	18	1.4×10^{-24}
碳酸锶	SrCO_3	25	1.6×10^{-9}
硫酸锶	SrSO_4	17.4	2.81×10^{-7}
氢氧化锌	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	20	1.8×10^{-14}

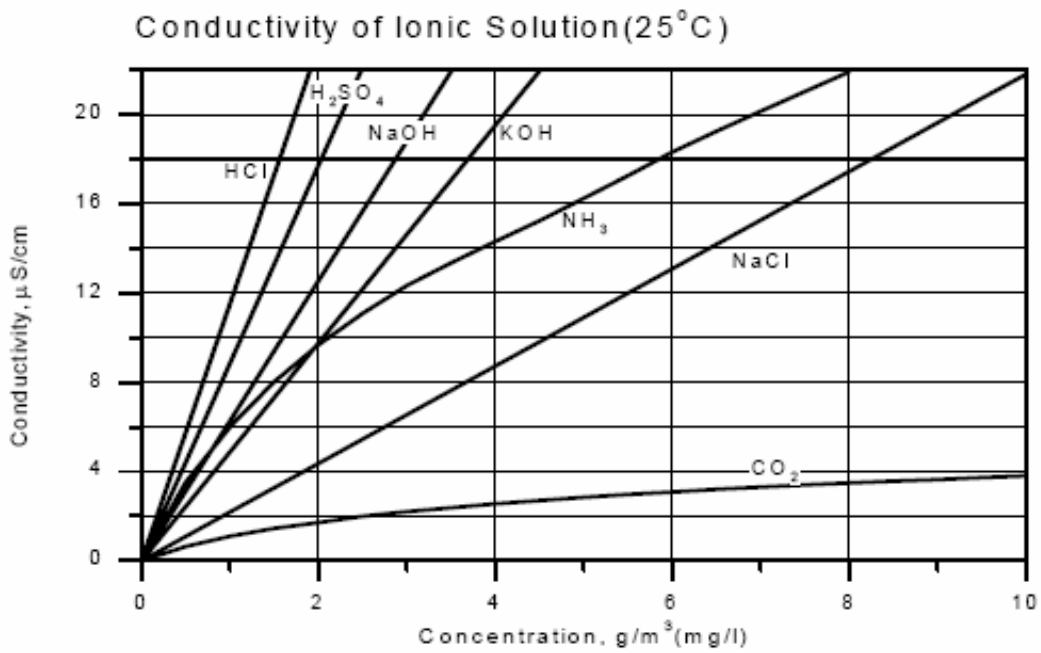
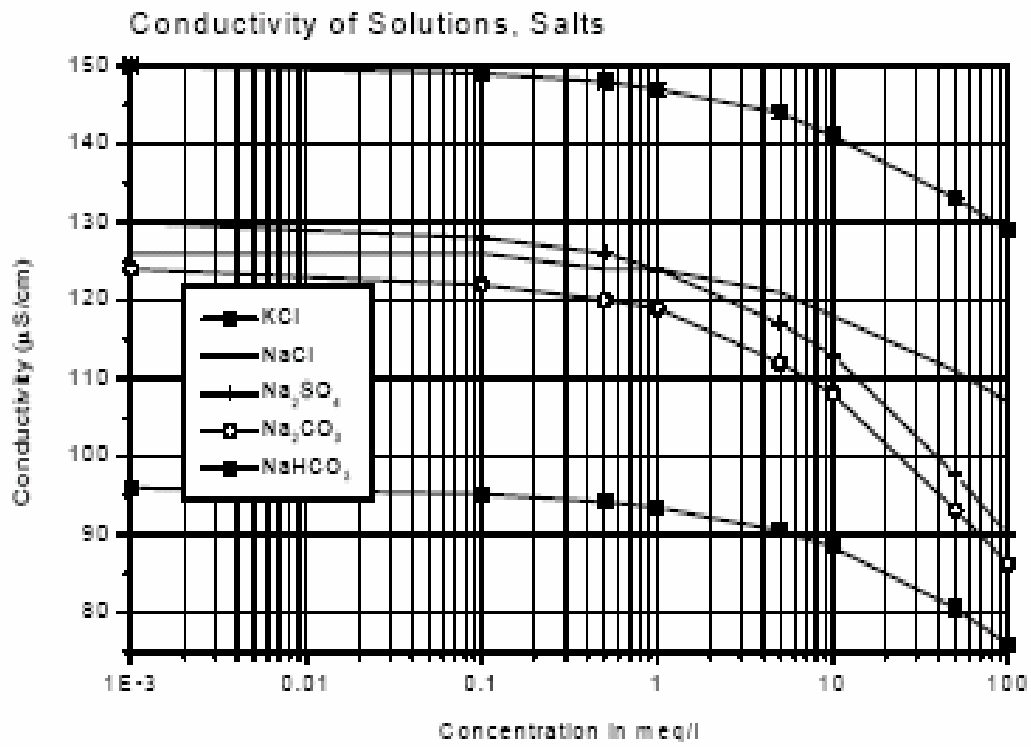
9-7. 酸溶液的电导率



9-8. 碱溶液的电导率



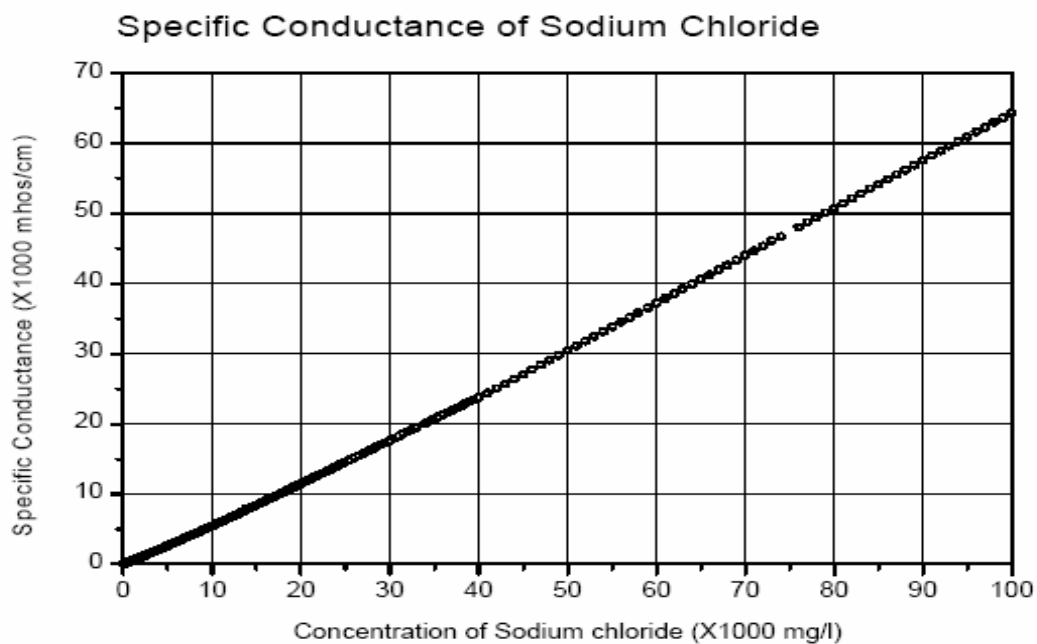
9-9. 盐溶液的电导率



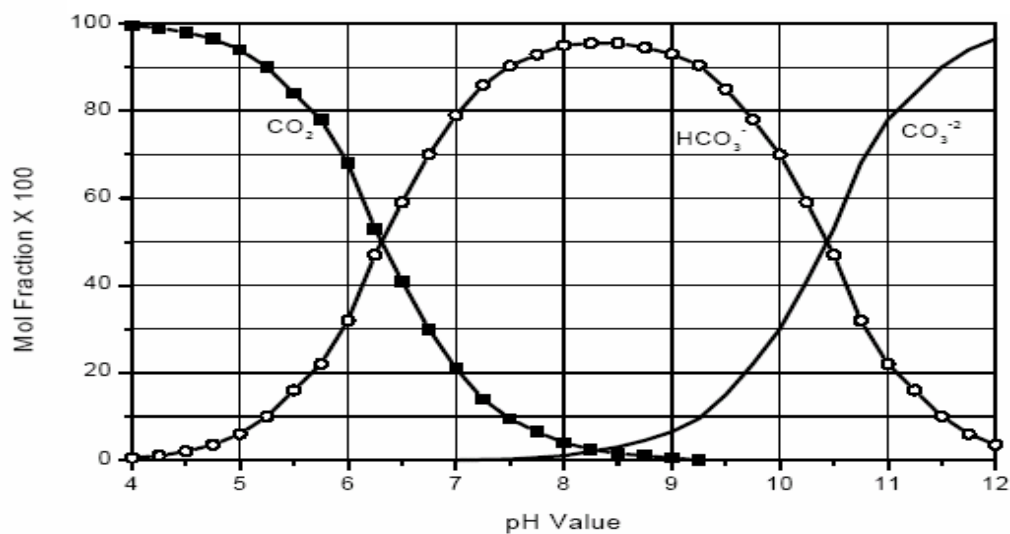
9-10. 离子的电导率

离子	20°C (68°F)	25°C (77°F)	100°C (212°F)
H ⁺	328	350	646
Na ⁺	45	50.1	155
K ⁺	67	73.5	200
NH ₄ ⁺	67	73.5	200
Mg ²⁺	47	53.1	170
Ca ²⁺	53.7	59.5	191
OH ⁻	179	197	446
Cl ⁻	69.0	76.3	207
HCO ₃ ⁻	36.5	44.5	-
NO ₃ ⁻	65.2	71.4	178
H ₂ PO ₄ ⁻	30.1	36.0	-
CO ₃ ²⁻	63.0	72.0	-
HPO ₄ ²⁻	-	53.4	-
SO ₄ ²⁻	71.8	79.8	234
PO ₄ ³⁻	-	69.0	-

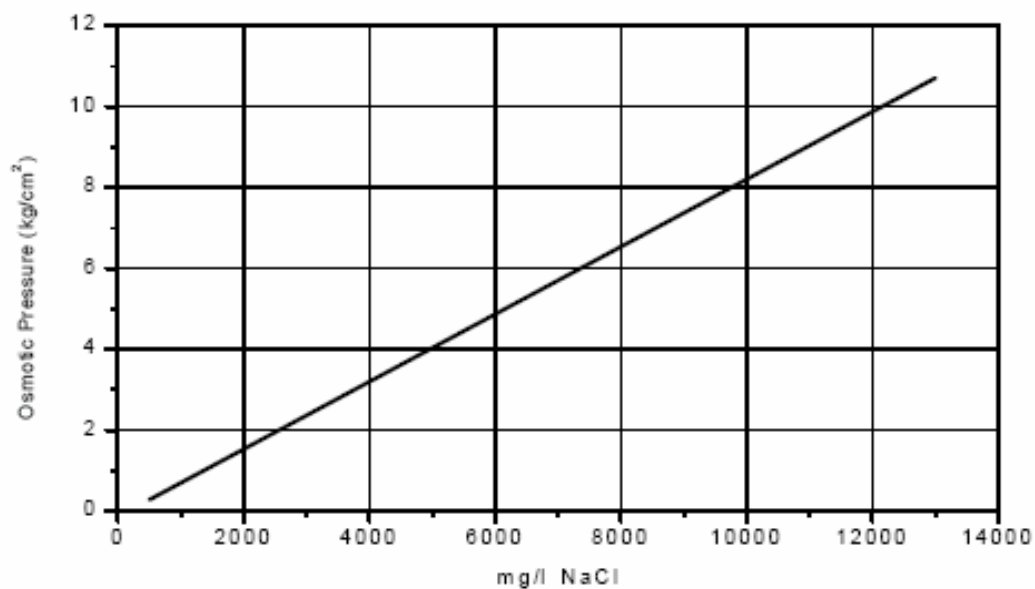
9-11. 氯化钠溶液电导



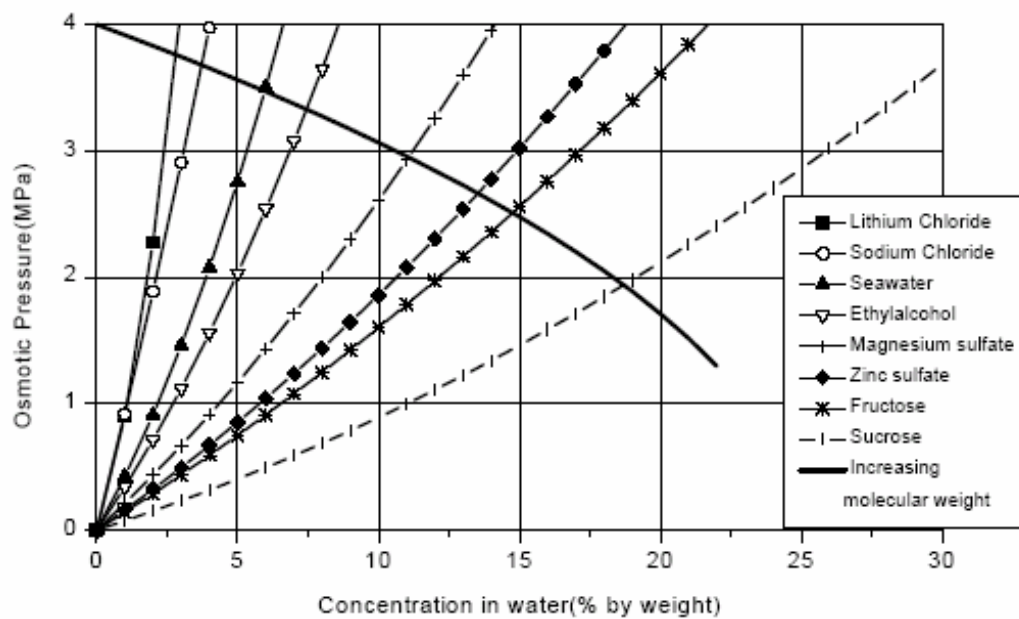
9-12. 在25℃条件下二氧化碳和碳酸氢根转换曲线



9-13. 氯化钠溶液的渗透压

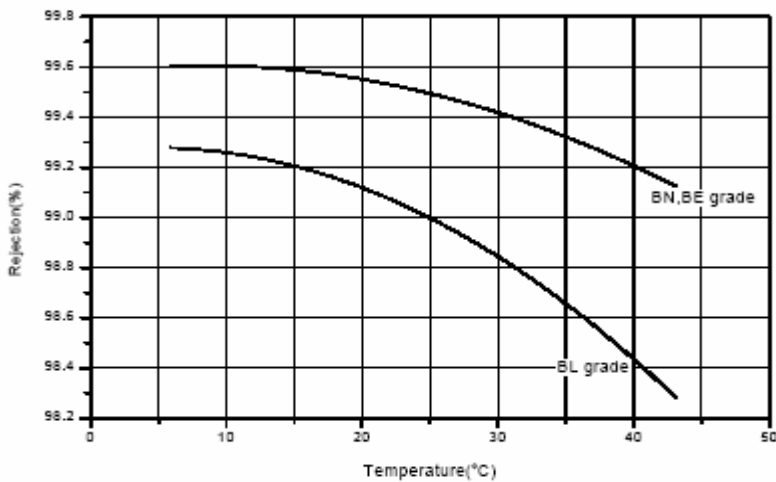
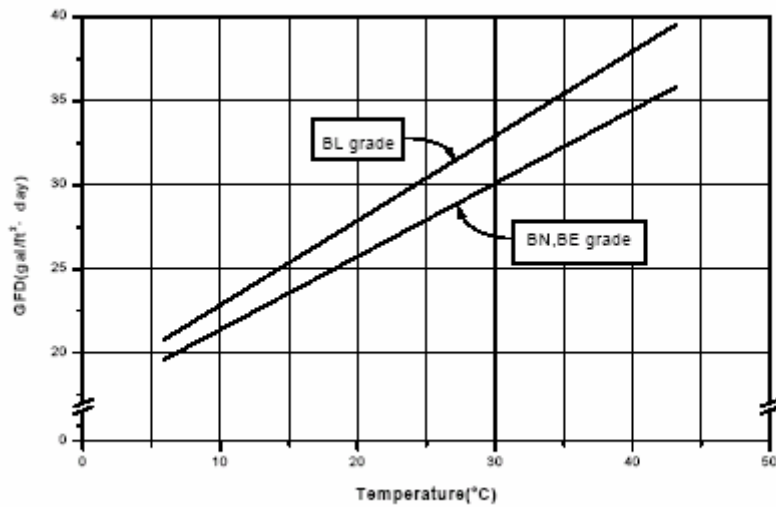


9-14. 溶液渗透压



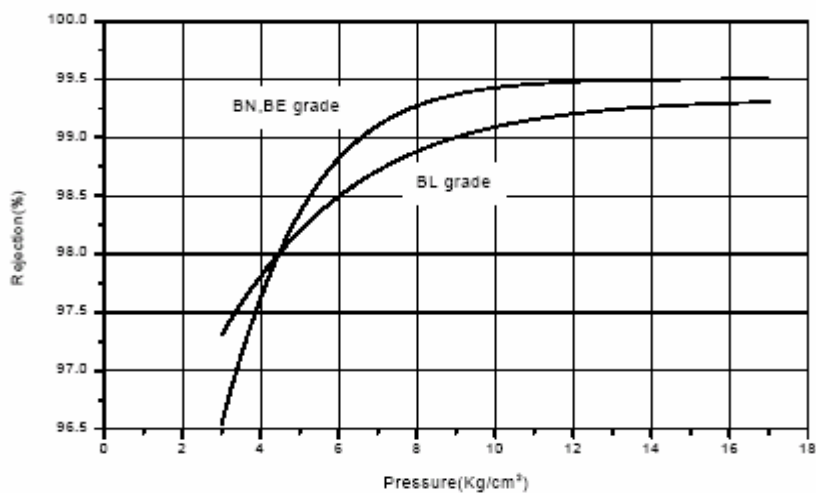
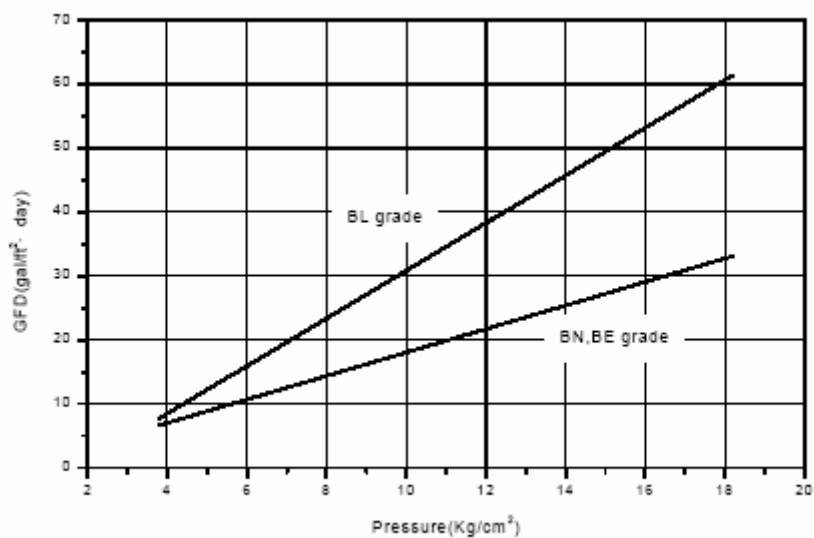
9-15. CSM 产品性能曲线

1) 不同温度下的CSM 产品性能



<测试条件>

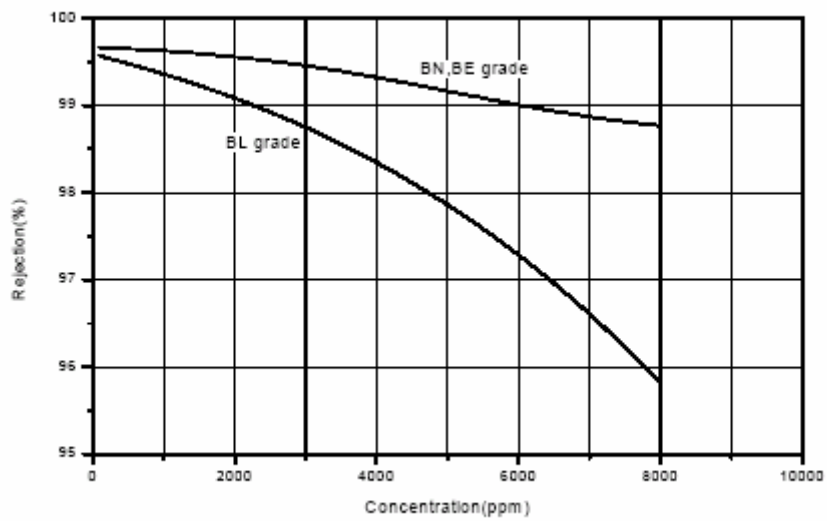
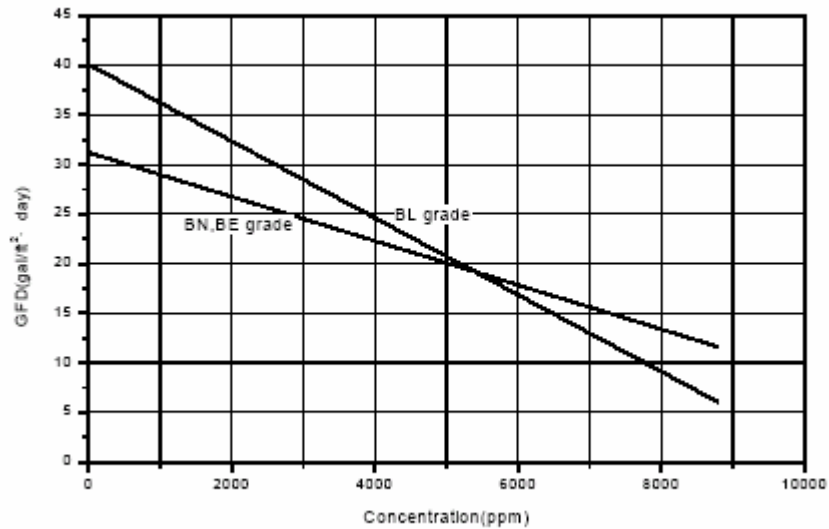
参数	进水浓度 (ppm)	压力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	回收率 (%)	备注
BN, BE 系列	2,000	15	变量	15	
BL 系列	1,500	10	变量	15	

2) 不同压力下的**CSM** 产品性能

<测试条件>

参数	进水浓度 (ppm)	压力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	回收率 (%)	备注
BN, BE 系列	2,000	变量	25	15	
BL 系列	1,500	变量	25	15	

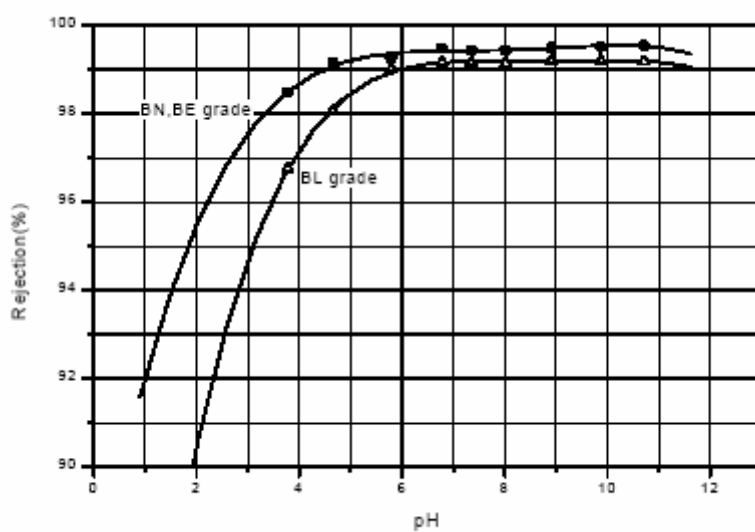
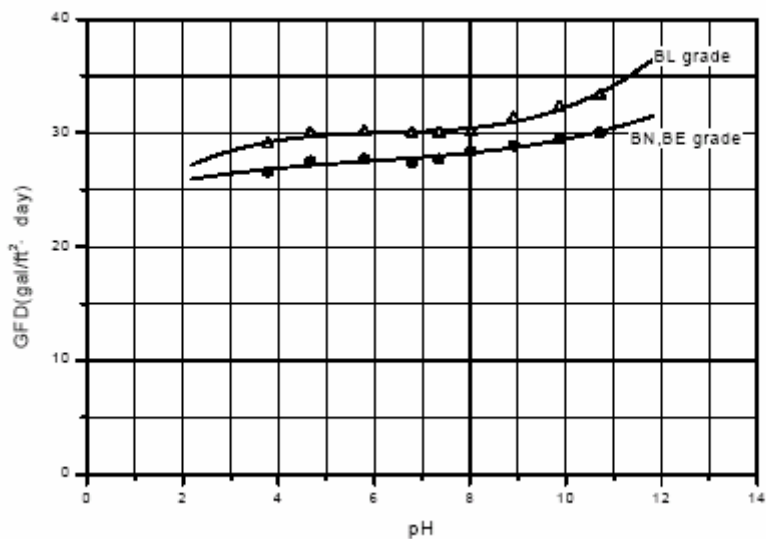
3) CSM 在不同进水含盐量下的性能



<测试条件>

参数	进水浓度 (ppm)	压力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	回收率 (%)	备注
BN, BE 系列	变量	15	25	15	
BL 系列	变量	10	25	15	

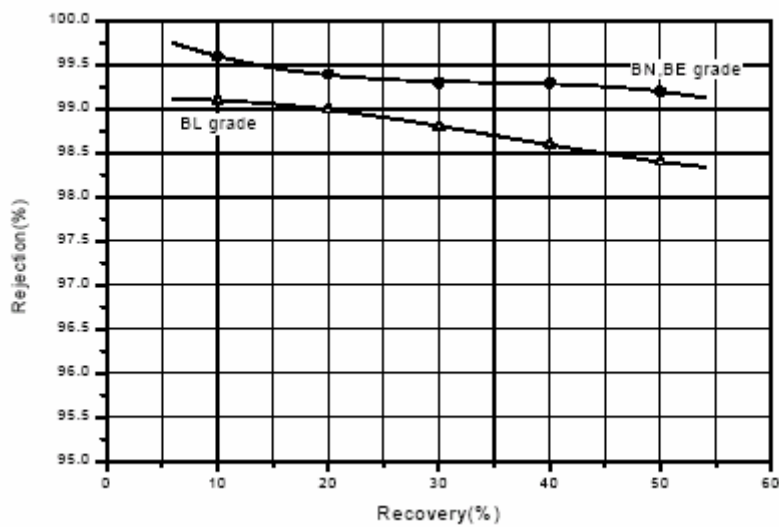
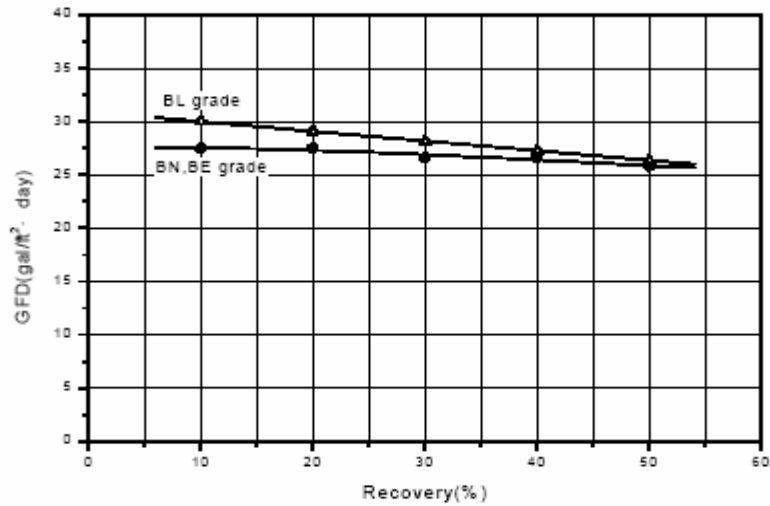
4) CSM 不同PH条件下的性能



<测试条件>

参数	进水浓度 (ppm)	压力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	回收率 (%)	备注
BN, BE 系列	2,000	15	25	15	
BL 系列	1,500	10	25	15	

5) CSM 在不同回收率下的性能



<测试条件 >

参数	进水浓度 (ppm)	压力 (kg/cm ²)	温度 (°C)	回收率 (%)	备注
BN, BE 系列	2,000	15	25	变量	
BL 系列	1,500	10	25	变量	

9-16. 温度校正系数(TCF)

1) BN, BE, TE 系列

(单位: °C)

温度	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	2.134	2.125	2.117	2.108	2.100	2.091	2.083	2.074	2.066	2.058
6	2.049	2.041	2.033	2.025	2.017	2.009	2.001	1.993	1.985	1.977
7	1.969	1.961	1.953	1.945	1.937	1.930	1.922	1.914	1.907	1.899
8	1.892	1.884	1.877	1.869	1.862	1.855	1.847	1.840	1.833	1.825
9	1.818	1.811	1.804	1.797	1.790	1.783	1.776	1.769	1.762	1.755
10	1.748	1.741	1.734	1.728	1.721	1.714	1.707	1.701	1.694	1.688
11	1.681	1.675	1.668	1.662	1.655	1.649	1.642	1.636	1.630	1.623
12	1.617	1.611	1.605	1.598	1.592	1.586	1.580	1.574	1.568	1.562
13	1.556	1.550	1.544	1.538	1.532	1.526	1.521	1.515	1.509	1.503
14	1.498	1.492	1.486	1.481	1.475	1.469	1.464	1.458	1.453	1.447
15	1.442	1.436	1.431	1.425	1.420	1.415	1.409	1.404	1.399	1.394
16	1.388	1.383	1.378	1.373	1.368	1.363	1.357	1.352	1.347	1.342
17	1.337	1.332	1.327	1.322	1.318	1.313	1.308	1.303	1.298	1.293
18	1.288	1.284	1.279	1.274	1.270	1.265	1.260	1.256	1.251	1.246
19	1.242	1.237	1.233	1.228	1.224	1.219	1.215	1.210	1.206	1.201
20	1.197	1.193	1.188	1.184	1.180	1.175	1.171	1.167	1.163	1.158
21	1.154	1.150	1.146	1.142	1.138	1.133	1.129	1.125	1.121	1.117
22	1.113	1.109	1.105	1.101	1.097	1.093	1.089	1.085	1.082	1.078
23	1.074	1.070	1.066	1.062	1.059	1.055	1.051	1.047	1.044	1.040
24	1.036	1.032	1.029	1.025	1.021	1.018	1.014	1.011	1.007	1.004
25	1.000	0.996	0.993	0.989	0.986	0.983	0.979	0.976	0.972	0.969
26	0.970	0.967	0.964	0.961	0.958	0.955	0.952	0.949	0.946	0.943
27	0.940	0.937	0.935	0.932	0.929	0.926	0.923	0.920	0.918	0.915
28	0.912	0.909	0.906	0.904	0.901	0.898	0.896	0.893	0.890	0.887
29	0.885	0.882	0.879	0.877	0.874	0.872	0.869	0.866	0.864	0.861
30	0.859	0.856	0.853	0.851	0.848	0.846	0.843	0.841	0.838	0.836
31	0.833	0.831	0.828	0.826	0.823	0.821	0.819	0.816	0.814	0.811
32	0.809	0.806	0.804	0.802	0.799	0.797	0.795	0.792	0.790	0.788
33	0.785	0.783	0.781	0.778	0.776	0.774	0.772	0.769	0.767	0.765
34	0.763	0.760	0.758	0.756	0.754	0.752	0.749	0.747	0.745	0.743
35	0.741	0.739	0.736	0.734	0.732	0.730	0.728	0.726	0.724	0.722
36	0.720	0.718	0.716	0.713	0.711	0.709	0.707	0.705	0.703	0.701
37	0.699	0.697	0.695	0.693	0.691	0.689	0.687	0.685	0.683	0.682
38	0.680	0.678	0.676	0.674	0.672	0.670	0.668	0.666	0.664	0.662
39	0.661	0.659	0.657	0.655	0.653	0.651	0.649	0.648	0.646	0.644
40	0.642	0.640	0.639	0.637	0.635	0.633	0.631	0.630	0.628	0.626

2) FE, FN, 系列

(单位: °C)

温度	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	2.328	2.317	2.307	2.297	2.286	2.276	2.266	2.255	2.245	2.235
6	2.225	2.215	2.205	2.195	2.186	2.176	2.166	2.156	2.147	2.137
7	2.128	2.118	2.109	2.099	2.090	2.081	2.072	2.062	2.053	2.044
8	2.035	2.026	2.017	2.008	1.999	1.991	1.982	1.973	1.964	1.956
9	1.947	1.939	1.930	1.922	1.913	1.905	1.897	1.888	1.880	1.872
10	1.864	1.856	1.847	1.839	1.831	1.823	1.815	1.808	1.800	1.792
11	1.784	1.776	1.769	1.761	1.754	1.746	1.738	1.731	1.724	1.716
12	1.709	1.701	1.694	1.687	1.680	1.672	1.665	1.658	1.651	1.644
13	1.637	1.630	1.623	1.616	1.609	1.602	1.595	1.589	1.582	1.575
14	1.569	1.562	1.555	1.549	1.542	1.536	1.529	1.523	1.516	1.510
15	1.504	1.497	1.491	1.485	1.478	1.472	1.466	1.460	1.454	1.448
16	1.442	1.436	1.430	1.424	1.418	1.412	1.406	1.400	1.394	1.388
17	1.383	1.377	1.371	1.366	1.360	1.354	1.349	1.343	1.337	1.332
18	1.326	1.321	1.316	1.310	1.305	1.299	1.294	1.289	1.283	1.278
19	1.274	1.269	1.264	1.256	1.253	1.248	1.243	1.239	1.233	1.228
20	1.222	1.217	1.212	1.207	1.202	1.197	1.192	1.188	1.183	1.178
21	1.173	1.169	1.164	1.159	1.154	1.150	1.145	1.141	1.136	1.131
22	1.127	1.122	1.118	1.113	1.109	1.104	1.100	1.096	1.091	1.087
23	1.083	1.078	1.074	1.070	1.065	1.061	1.057	1.053	1.049	1.044
24	1.040	1.036	1.032	1.028	1.024	1.020	1.016	1.012	1.008	1.004
25	1.000	0.996	0.992	0.988	0.984	0.981	0.977	0.973	0.969	0.965
26	0.972	0.970	0.967	0.964	0.962	0.959	0.956	0.954	0.951	0.948
27	0.946	0.943	0.940	0.938	0.935	0.933	0.930	0.927	0.925	0.922
28	0.920	0.917	0.915	0.912	0.910	0.907	0.905	0.902	0.900	0.897
29	0.895	0.892	0.890	0.888	0.885	0.883	0.880	0.878	0.875	0.873
30	0.871	0.868	0.866	0.864	0.861	0.859	0.857	0.854	0.852	0.850
31	0.847	0.845	0.843	0.841	0.838	0.836	0.834	0.832	0.829	0.827
32	0.825	0.823	0.820	0.818	0.816	0.814	0.812	0.810	0.807	0.805
33	0.803	0.801	0.799	0.797	0.795	0.792	0.790	0.788	0.786	0.784
34	0.782	0.780	0.778	0.776	0.774	0.772	0.770	0.768	0.766	0.764
35	0.762	0.760	0.758	0.756	0.754	0.752	0.750	0.748	0.746	0.744
36	0.742	0.740	0.738	0.736	0.734	0.732	0.730	0.728	0.726	0.725
37	0.723	0.721	0.719	0.717	0.715	0.713	0.712	0.710	0.708	0.706
38	0.704	0.702	0.701	0.699	0.697	0.695	0.693	0.692	0.690	0.688
39	0.686	0.685	0.683	0.681	0.679	0.678	0.676	0.674	0.672	0.671
40	0.669	0.667	0.666	0.664	0.662	0.660	0.659	0.657	0.655	0.654

3) BL, FL 系列

(单位：℃)

温度	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	2.093	2.085	2.077	2.069	2.060	2.052	2.044	2.036	2.028	2.020
6	2.012	2.004	1.997	1.989	1.981	1.973	1.966	1.958	1.950	1.943
7	1.935	1.927	1.920	1.913	1.905	1.898	1.890	1.883	1.876	1.868
8	1.861	1.854	1.847	1.840	1.833	1.826	1.819	1.812	1.805	1.798
9	1.791	1.784	1.777	1.770	1.763	1.757	1.750	1.743	1.737	1.730
10	1.723	1.717	1.710	1.704	1.697	1.691	1.684	1.678	1.672	1.665
11	1.659	1.653	1.646	1.640	1.634	1.628	1.622	1.616	1.610	1.603
12	1.597	1.591	1.585	1.579	1.574	1.568	1.562	1.556	1.550	1.544
13	1.539	1.533	1.527	1.521	1.516	1.510	1.504	1.499	1.493	1.488
14	1.482	1.477	1.471	1.466	1.460	1.455	1.450	1.444	1.439	1.434
15	1.428	1.423	1.418	1.413	1.407	1.402	1.397	1.392	1.387	1.382
16	1.377	1.372	1.367	1.362	1.357	1.352	1.347	1.342	1.337	1.332
17	1.327	1.323	1.318	1.313	1.308	1.304	1.299	1.294	1.289	1.285
18	1.280	1.276	1.271	1.266	1.262	1.257	1.253	1.248	1.244	1.239
19	1.235	1.230	1.226	1.222	1.217	1.213	1.209	1.204	1.200	1.196
20	1.192	1.187	1.183	1.179	1.175	1.171	1.166	1.162	1.158	1.154
21	1.150	1.146	1.142	1.138	1.134	1.130	1.126	1.122	1.118	1.114
22	1.110	1.106	1.102	1.098	1.095	1.091	1.087	1.083	1.079	1.076
23	1.072	1.068	1.064	1.061	1.057	1.053	1.050	1.046	1.042	1.039
24	1.035	1.032	1.028	1.024	1.021	1.017	1.014	1.010	1.007	1.003
25	1.000	0.997	0.993	0.990	0.986	0.983	0.980	0.976	0.973	0.970
26	0.971	0.968	0.965	0.962	0.959	0.956	0.953	0.951	0.948	0.945
27	0.942	0.939	0.937	0.934	0.931	0.928	0.926	0.923	0.920	0.918
28	0.915	0.912	0.910	0.907	0.904	0.902	0.899	0.896	0.894	0.891
29	0.888	0.886	0.883	0.881	0.878	0.876	0.873	0.871	0.868	0.866
30	0.863	0.861	0.858	0.856	0.853	0.851	0.848	0.846	0.843	0.841
31	0.838	0.836	0.834	0.831	0.829	0.827	0.824	0.822	0.819	0.817
32	0.815	0.812	0.810	0.808	0.806	0.803	0.801	0.799	0.796	0.794
33	0.792	0.790	0.787	0.785	0.783	0.781	0.779	0.776	0.774	0.772
34	0.770	0.768	0.765	0.763	0.761	0.759	0.757	0.755	0.753	0.751
35	0.748	0.746	0.744	0.742	0.740	0.738	0.736	0.734	0.732	0.730
36	0.728	0.726	0.724	0.722	0.720	0.718	0.716	0.714	0.712	0.710
37	0.708	0.706	0.704	0.702	0.700	0.698	0.696	0.694	0.692	0.690
38	0.689	0.687	0.685	0.683	0.681	0.679	0.677	0.675	0.674	0.672
39	0.670	0.668	0.666	0.664	0.663	0.661	0.659	0.657	0.656	0.654
40	0.652	0.650	0.648	0.647	0.645	0.643	0.641	0.640	0.638	0.636