



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

目 录

5-1	设计导则说明	5 - 3
5-1.1	陶氏 FILMTEC™中等尺寸膜元件系统设计导则.....	5 - 4
5-1.2	陶氏 FILMTEC™8 英寸膜元件系统设计导则.....	5 - 6
5-1.3	系统设计资料及原水分析报告.....	5 - 8
5-2	分批过程与连续过程.....	5 - 10
5-3	单组件系统	5 - 11
5-4	单段系统.....	5 - 12
5-5	多段系统.....	5 - 12
5-6	原水一次通过式系统与浓水循环系统	5 - 12
5-7	多级系统.....	5 - 15
5-8	特殊设计的可能性	5 - 16
5-9	膜系统的设计步骤	5 - 17
5-10	系统性能预测	5 - 19
5-10.1	系统操作特性	5 - 19
5-10.2	设计方程与参数.....	5 - 21
5-10.3	ROSA 设计软件下载方法.....	5 - 25
5-10.4	ROSA 5 设计软件使用指南.....	5 - 30
5-10.4.1	ROSA 5.0 安装要求.....	5 - 30
5-10.4.2	ROSA 5.0 界面组成.....	5 - 30
5-10.4.3	ROSA 5.0 使用方法.....	5 - 34
5-10.4.4	ROSA 5.0 使用要点.....	5 - 35
5-10.4.5	ROSA 5.0 设计打印结果解读	5 - 43
5-10.4.6	ROSA 5.0 与 ROSA 4.3 的比较.....	5 - 46
5-11	试 验.....	5 - 47
5-11.1	筛选试验	5 - 47
5-11.2	应用试验	5 - 47
5-11.2.1	确定操作压力	5 - 47
5-11.2.2	确定浓缩倍率和回收率.....	5 - 47
5-11.3	模拟试验	5 - 47
5-12	系统主要部件	5 - 48
5-12.1	高压泵	5 - 48
5-12.1.1	正位移泵(柱塞泵).....	5 - 48
5-12.1.2	离心泵.....	5 - 48
5-12.2	压力容器	5 - 48
5-12.3	紧急开关	5 - 48

* 陶氏化学公司商标

FILMTEC 膜 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-12.4	阀门.....	5 - 49
5-12.5	控制仪表.....	5 - 49
5-12.6	水箱.....	5 - 50
5-12.6.1	原水水箱.....	5 - 50
5-12.6.2	产水水箱.....	5 - 50
5-12.6.3	产水回吸水箱(drawback tank).....	5 - 50
5-12.6.4	加药箱.....	5 - 50
5-12.6.5	清洗水箱.....	5 - 50
5-12.6.6	可选设备.....	5 - 51
5-13	材质选择和腐蚀控制.....	5 - 52
5-14	便于今后排除系统故障的设计建议.....	5 - 53
5-14.1	装卸及故障排除空间.....	5 - 53
5-14.2	设有能探测单支元件和单个压力容器的取样接口.....	5 - 53
5-14.3	段间性能监视仪表.....	5 - 53
5-14.4	在线标准化.....	5 - 53
5-14.5	每段能够单独清洗.....	5 - 53
5-14.6	能够进行产水冲洗.....	5 - 53
5-14.7	SDI 测量装置及其测量点.....	5 - 54
5-14.8	现场试验台.....	5 - 54
5-14.9	单元件测试装置.....	5 - 54



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-1 设计导则说明

完整的反渗透(RO)和纳滤(NF)水处理系统一般由预处理部分，膜处理部分和后处理部分组成，前面一章已经讨论了预处理的方法，为了达到最终产品水的水质要求，有时还需要采用后处理步骤。进行海水淡化时，后处理通常是进行 pH 值调节、重新调整水中的硬度含量并进行杀菌处理；在超纯水制备过程中，膜系统的产水后处理通常是采用离子交换深度除盐。

本章将讨论膜装置本身，包括膜元件、以一定方式排列的含膜元件的压力外壳、给膜压力外壳供水的高压泵、仪表、管道、阀门和装置支架等。系统设计还应包括设置就地清洗系统，对膜进行化学清洗。

表征 RO/NF 膜系统的性能通常采用两个参数：产水流量和产水品质，而这些参数总是针对给定的进水水质、进水压力和系统回收率而言的，RO/NF 的设计者的主要职责是针对所需的产水量，使所设计的系统尽可能降低操作压力和膜元件的成本，但尽可能提高产水量和回收率以及系统的长期稳定性与清洗维护费用(故障率低，可采用低廉药品进行有效清洗)。

优化设计取决于上述各方面，苦咸水膜系统的回收率大小取决于难溶盐的溶解度，最大值大约为 90%；在海水淡化系统，由于浓水中渗透压和元件耐压能力的制约，一般回收率为 45%左右。

应根据对系统脱盐率的要求为依据选择膜元件，FILMTEC™NF 纳滤膜和 FT30 反渗透膜系列按 NF270，NF200，NF90，XLE，LP，BW30LE，BW30，SW30 和 SW30HR 的顺序脱盐率依次增加，当然同时所需的进水压力也按相同顺序增加，因此，从 NF 到 BW30LE 范围的膜元件一般适用于进水 TDS 最高为 2,000mg/L 的低盐度自来水或苦咸水，BW30 适用于最高不大于 10,000mg/L 的苦咸水，而 SW30 和 SW30HR 适用于最高含盐量到 50,000mg/L 的海水等。

针对所选择的膜元件，达到设计产水量所需的进水压力取决于产水通量值的选择，设计时选择的通量值越大，则所需的进水操作压力就越高，海水淡化系统在膜元件最大允许的操作压力下，且产水通量值相对较低，但是对于苦咸水膜元件而言，一般不可能超过膜元件规定的最高 41bar 的极限压力时，产水通量就可能太高了。虽然为了减低膜元件的成本，设计时总是试图选择高的产水通量值，但是产水通量值的选择是有上限的，规定该上限的目的为了减少今后膜设备内的结垢和污染。

根据经验，系统的通量设计极限是应由进水的潜在污染程度而定，随着产水通量和元件回收率的增加，膜面上的污染物的浓度也随之增加，产水通量值高的系统其污染速率和清洗频率就高。经过预处理后的出水淤积密度指数(SDI，又称污堵指数)与水中残留污堵物质的含量有相当好的对应关系。只有凭丰富的经验针对不同水源类型设定合理的产水通量和元件的回收率标准，当对某一特定进水水源设计膜系统时，最好能了解其它膜系统处理该水型时的运行情况。但是，通常未必有这类膜系统可供参照，此时可以遵循本章所推荐的系统设计导则。

这些设计导则中的建议参数是基于设计考虑周全、运行管理良好、每年进行 4 次化学清洗且为连续运行模式这样的假设，如果超过所建议的参数极限将会产生更频繁的清洗，产水量会快速下降，进水压力会增加，膜的寿命会缩短，进而增加系统的故障率和运行成本。反之，过高估计发生污堵的可能性，即选择了保守的设计方式，就会获得长久无故障运行和更长膜寿命的效果。系统设计者应根据项目特点进行设计优化，在设计之前必须充分收集原水水质分析报告等系统设计资料，资料越齐全，系统的设计就越有针对性，也就越能满足用户的需要。

* 陶氏化学公司商标

FILMTEC 膜 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-1.1 陶氏 FILMTEC™中等尺寸膜元件系统设计导则

在轻工业和小型商业水处理系统中，选用 2.5 英寸或 4 英寸 FILMTEC 膜元件时，由于对系统的要求有所不同。请按照所推荐的相应 RO/NF 系统设计导则设计膜系统。

【轻工业和小型海水淡化系统】表 5-1 建议的轻工业和小型海水淡化系统的系统设计导则基于这类系统与大型系统有着同样的要求，即要求系统性能的稳定性数年以上。在建造大型系统之前通常将它用作连续中试或小试，并配有 CIP(就地清洗)清洗设备，不设(或很少量的)浓水循环。预期膜元件的寿命超过 3 年。轻工业和小型海水淡化系统设计导则推荐如下：

表 5-1：FILMTEC 膜元件在轻工业及小型海水淡化系统中的设计导则

给水类型	RO 产水	井水	地表水		废水 (过滤市政污水)		海水	
			MF ¹	传统过滤	MF ¹	传统过滤	沉井/MF ¹	表面取水
给水 SDI	SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
元件最大回收率%	30	19	17	15	14 ¹	12	13	10
典型通量 gfd(l/m ² .h)	22(37)	18(30)	16(27)	14(24)	13(22)	11(19)	13(22)	11(19)
最大产水流量	gpd(m ³ /d)							
2.5 英寸直径	800(3.0)	700(2.6)	600(2.3)	500(1.9)	500(1.9)	400(1.5)	700(2.6)	600(2.3)
4.0 英寸直径	2300(8.7)	1900(7.2)	1700(6.4)	1500(5.7)	1400(5.3)	1200(4.5)	1800(6.8)	1500(5.7)
元件类型	最小浓水流量 gpm(m ³ /h)							
2.5 英寸	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)
4.0 英寸(除 Full-Fit)	4(0.9)	4(0.9)	4(0.9)	4(0.9)	5(1.1)	6(1.4)	4(0.9)	5(1.1)
Full-Fit 4040	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	7(1.6)	8(1.8)	NA	NA

元件类型	有效面积 ft ² (m ²)	最大给水流量 gpm(m ³ /h)	单元件最大压降 psig(bar) ²	最大给水压力 psig(bar)
胶带外壳 2540	28(2.6)	6(1.4)	13(0.9)	600(41)
玻璃钢外壳 2540	28(2.6)	6(1.4)	15(1.0)	600(41)
海水 2540	29(2.7)	6(1.4)	13(0.9)	1000(69)
胶带外壳 4040	82(7.6)	14(3.2)	13(0.9)	600(41)
玻璃钢外壳 4040	82(7.6)	16(3.6)	15(1.0)	600(41)
玻璃钢 SW4040	80(7.4)	16(3.6)	15(1.0)	1000(69)
Full-Fit 4040	85(7.9)	18(4.1)	15(1.0)	600(41)

¹ MF：连续微滤工艺，膜孔径 < 0.5μm。

² 我们推荐新元件或无污染元件的压降应小于上表所列最大值的 20%。

注：上述极限值已引入 ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) 设计软件中。当系统设计超过导则允许值时，在 ROSA 的计算结果中就会有报警信息。

注：系统设计人员在应用上述信息时必须充分阅读产品选择指南。当用于超纯水时，请参考 UPW 系统设计导则。

* 陶氏化学公司商标



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

【小型商用系统】表 5-2 建议的典型小型商用系统使用 1~6 支中小型膜元件，它们或者定期更换，或者定期频繁清洗(每半年或一年)，或者允许较快的性能下降速度。膜元件的预期寿命小于 3 年。常常为间歇运行的系统，这是一个低成本的紧凑型水处理方案，小型商用系统设计导则推荐如下：

表 5-2：FILMTEC 膜元件在小型商业应用系统中的设计导则

给水类型	RO 产水	经软化的自来水	井水	地表水或市政自来水
给水 SDI	SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5
元件最大回收率%	30	30	25	20
典型通量 gfd(l/m ² .h)	30(51)	30(51)	25(42)	20(34)
最大产水流量 gpd(m ³ /d)				
2.5 英寸直径	1100(4.2)	1100(4.2)	900(3.4)	700(2.7)
4.0 英寸直径	3100(11.7)	3100(11.7)	2600(9.8)	2100(7.9)
元件类型 最小浓水流量 gpm(m ³ /h)				
2.5 英寸直径	0.5(0.11)	0.5(0.11)	1(0.2)	1(0.2)
4.0 英寸直径	2(0.5)	2(0.5)	4(0.9)	4(0.9)

元件类型	有效面积 ft ² (m ²)	最大给水流量 gpm(m ³ /h)	单元件最大压降 psig(bar) ³	最大给水压力 psig(bar)
胶带外壳 2540	28(2.6)	6(1.4)	13(0.9)	600(41)
玻璃钢外壳 2540	28(2.6)	6(1.4)	15(1.0)	600(41)
海水 2540	29(2.7)	6(1.4)	13(0.9)	1000(69)
胶带外壳 4040	82(7.6)	14(3.2)	13(0.9)	600(41)
玻璃钢外壳 4040	82(7.6)	16(3.6)	15(1.0)	600(41)
玻璃钢 SW4040	80(7.4)	16(3.6)	15(1.0)	1000(69)

³ 我们推荐新元件或无污染元件的压降应小于上表所列最大值的 20%。

注：上述限制值已引入 ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) 设计软件中。当系统设计超过导则允许值时，在 ROSA 的计算结果中就会有报警信息。

注：系统设计人员在应用上述信息时必须充分阅读产品选择指南。当用于超纯水时，请参考 UPW 系统设计导则。

对膜系统设计影响最大的因素是给水的污堵倾向，膜污堵是由于给水中存在有机物、颗粒物和胶体等物质并在膜面浓缩造成沉积，污堵物的浓度随着产水通量(单位膜面积上的产水流量)和元件回收率(元件产水流量与其给水流量之比)的增加而增加。因此，高产水通量的系统很容易产生更高的污堵速率和更频繁的清洗。预处理后的给水 SDI 值与污堵物的数量紧密相关。

本导则推荐的参数值是基于 FILMTEC 膜多年的应用经验。系统设计时，如果低估了给水的污堵倾向，膜系统可能需要更频繁的清洗，或者系统因污堵必须降低运行出力。反之，选择了保守的设计参数即过高的预估了可能出现污堵的倾向，将会得到无故障系统运行结果和更长的膜寿命。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-1.2 陶氏 FILMTEC™8 英寸膜元件系统设计导则

使用 FILMTEC 8 英寸膜元件设计 RO/NF 系统时，根据进水类型推荐设计导则如下：

表 5-3：8 英寸 FILMTEC 元件在水处理应用中的设计导则

给水类型	RO 产水		井水		地表水		废水		海水	
	SDI<1	SDI<3	MF ¹	传统过滤	MF ¹	传统过滤	沉井/MF ¹	表面取水	SDI<3	SDI<5
给水 SDI	SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
元件最大回收率%	30	19	17	15	14	12	13	10		
典型通量 gfd(l/m ² .h)	23(39)	19(32)	16(27)	15(25)	12(20)	10(17)	8.8(15)			
7.3(12)										
最大产水流量 gpd(m ³ /d)										
320ft ² 元件	10000(38)	7500(28)	6500(25)	5900(22)	5300(20)	4700(18)	7500(28)	6400(24)		
365ft ² 元件	10000(38)	8300(31)	7200(27)	6500(25)	5900(22)	5200(20)				
380ft ² 元件	12000(45)	8600(33)	7500(28)	6800(26)	5900(22)	5200(20)	8800(33)	7600(29)		
390ft ² 元件	10600(40)	8900(34)	7700(29)	7000(26)	6300(24)	5500(21)				
400ft ² 元件	11000(42)	9100(34)	7900(30)	7200(27)	6400(24)	5700(22)				
440ft ² 元件	12000(45)	10000(38)	8700(33)	7900(30)	7100(27)	6300(24)				
元件类型 最小浓水流量 gpm(m ³ /h)										
BW(365ft ²)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	18(4.1)	16(3.6)	18(4.1)				
BW(400ft ² 和 440ft ²)		16(3.6)	16(3.6)	18(4.1)	18(4.1)	20(4.6)				
NF	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	18(4.1)	18(4.1)	18(4.1)				
Full-Fit	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)	25(5.7)				
SW	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	18(4.1)	16(3.6)	18(4.1)	16(3.6)	18(4.1)		

元件类型	有效面积 ft ² (m ²)	最大给水流量 gpm(m ³ /h) ²								
BW	365(33.9)	73(17)	65(15)	63(14)	58(13)	52(12)	52(12)			
BW 或 NF	400(37.2)	85(19)	75(17)	73(17)	67(15)	61(14)	61(14)			
BW	440(40.9)	85(19)	75(17)	73(17)	67(15)	61(14)	61(14)			
Full-Fit	390(36.2)	85(19)	75(17)	73(17)	67(15)	61(14)	61(14)			
SW	320(29.7)	73(17)	65(15)	63(14)	58(13)	52(12)	52(12)	63(14)	56(13)	
SW	380(35.3)	81(18)	72(16)	70(16)	64(15)	58(13)	58(13)	70(16)	62(14)	

¹MF：连续微滤工艺，膜孔径 < 0.5μm。

²单支元件的最大允许压降为 15psi (1 bar)，含多元件的容器的最大允许压降为 50psi (3.5 bar)，这两条限制标准须同时遵守。我们建议系统中任何元件的压降最好不要超过 80% (12psi)。

注：上述限制值已引入 ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) 设计软件中。当系统设计超过导则允许值时，在 ROSA 的计算结果中就会有报警信息。

* 陶氏化学公司商标

FILMTEC 膜 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司

文件号：609 - 21010 - 102XQRP



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

对膜系统设计影响最大的因素是给水的污堵倾向，膜污堵是由于给水中存在有机物、颗粒物和胶体物质并在膜面浓缩造成沉积，污堵物的浓度随着产水通量(单位膜面积上的产水流量)和元件回收率(元件产水流量与其给水流量之比)的增加而增加。因此，高产水通量的系统很容易产生更高的污堵速率和更频繁的清洗。预处理后的给水 SDI 值与污堵物的数量紧密相关。

本导则推荐的设计参数值是基于 FILMTEC 膜多年的应用经验。系统设计时，如果低估了给水的污堵倾向，膜系统可能需要更频繁的清洗，或者系统因污堵必须降低出力运行。反之，选择了保守的设计参数即过高的预估了可能出现污堵的倾向，将会得到无故障系统运行结果和更长的膜寿命。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-1.3 系统设计资料及原水分析报告

表 5-4：所需系统设计资料如下：

登记序号：_____	联系人：_____ E-mail：_____	
记录日期：_____	联系方式：Tel：_____ Fax：_____	
工程所在地：_____ OEM：_____		
最终用户：_____ 地址：_____ 邮编：_____		
设计产水量(m ³ /h)：_____ 期望回收率或最大原水供应量(m ³ /h)：_____		
高峰用水量(m ³ /h)：_____ 高峰时间(h)：_____		
水源特性：		
<input type="checkbox"/> 地下水/深井水	<input type="checkbox"/> 地表水	<input type="checkbox"/> 海水
<input type="checkbox"/> 软化水	<input type="checkbox"/> 微滤超滤产水	<input type="checkbox"/> 反渗透产水
<input type="checkbox"/> 自备水源	<input type="checkbox"/> 市政废水	<input type="checkbox"/> 工业废水
水温情况：最低 _____ °C 最高 _____ °C 平均 _____ °C 设计 _____ °C		
预处理概况：		
药剂投加： <input type="checkbox"/> 絮凝剂	<input type="checkbox"/> 助凝剂	<input type="checkbox"/> 杀菌剂
<input type="checkbox"/> 还原剂	<input type="checkbox"/> 酸化剂	<input type="checkbox"/> 阻垢剂
现有预处理： <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 有	<input type="checkbox"/> SDI ₁₅ 值(如有预处理)
现有预处理设备名称：_____		

现场综合情况：_____		

系统用途： <input type="checkbox"/> 电力行业	<input type="checkbox"/> 石化行业	<input type="checkbox"/> 冶金行业
<input type="checkbox"/> 电子行业	<input type="checkbox"/> 食品行业(纯净水)	<input type="checkbox"/> 医药行业
<input type="checkbox"/> 锅炉给水(高、中、低)	<input type="checkbox"/> 市政生活饮用水	<input type="checkbox"/> 废水回用处理
后处理设备及流程：_____		
系统运行方式： <input type="checkbox"/> 24 小时连续 <input type="checkbox"/> 8 小时连续 <input type="checkbox"/> 24 小时断续 <input type="checkbox"/> 8 小时断续		
其它要求及说明：		

* 陶氏化学公司商标

FILMTEC 膜 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

表 5-5：所需原水分析报告如下：

原水分析单位：_____	分析者：_____
水源概况：_____	日期：_____
电导率：_____	pH 值：_____
	水样温度：_____ °C
组成分析(分析项目请标注单位，如 mg/L，ppm，meq/L，以 CaCO ₃ 计等)：	
铵离子(NH ₄ ⁺) _____	二氧化碳(CO ₂) _____
钾离子(K ⁺) _____	碳酸根(CO ₃ ²⁻) _____
钠离子(Na ⁺) _____	碳酸氢根(HCO ₃ ⁻) _____
镁离子(Mg ²⁺) _____	亚硝酸根(NO ₂ ⁻) _____
钙离子(Ca ²⁺) _____	硝酸根(NO ₃ ⁻) _____
钡离子(Ba ²⁺) _____	氯离子(Cl ⁻) _____
锶离子(Sr ²⁺) _____	氟离子(F ⁻) _____
亚铁离子(Fe ²⁺) _____	硫酸根(SO ₄ ²⁻) _____
总铁(Fe ²⁺ /Fe ³⁺) _____	磷酸根(PO ₄ ³⁻) _____
锰离子(Mn ²⁺) _____	硫化氢(H ₂ S) _____
铜离子(Cu ²⁺) _____	活性二氧化硅(SiO ₂) _____
锌离子(Zn ²⁺) _____	胶体二氧化硅(SiO ₂) _____
铝离子(Al ³⁺) _____	游离氯(Cl [·]) _____
其它离子(如硼离子)：_____	
总固体含量(TDS) _____	生物耗氧量(BOD) _____
总有机碳(TOC) _____	化学耗氧量(COD) _____
总碱度(甲基橙碱度)：	
碳酸根碱度(酚酞碱度)：	
总硬度：	
浊度(NTU)：	
污染指数(SDI ₁₅)：	
细菌(个数/mL)：	
备注(异味、颜色、生物活性等)：	

注：当阴阳离子存在较大不平衡时，应重新分析测试，相差不大时，可添加钠离子或氯离子进行人工平衡。

Ba²⁺和 Sr²⁺必须分别检测到 1μg/L(ppb)和 1mg/L(ppm)数量级，同时还要考虑到温度在一定范围内变化的可能，因为温度变化也会引起系统出现结垢的危险，特别是在原水中硅和碳酸氢根含量较高时更应注意这一点。

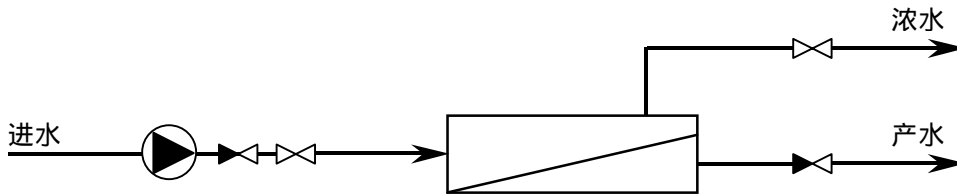
一旦系统投入运行，原水还应该定期进行分析，以便能随时掌握原水水质的波动情况，并及时调整预处理运行工艺参数和整个水处理工厂的运行条件。

5. 系统设计

5-2 分批过程与连续过程

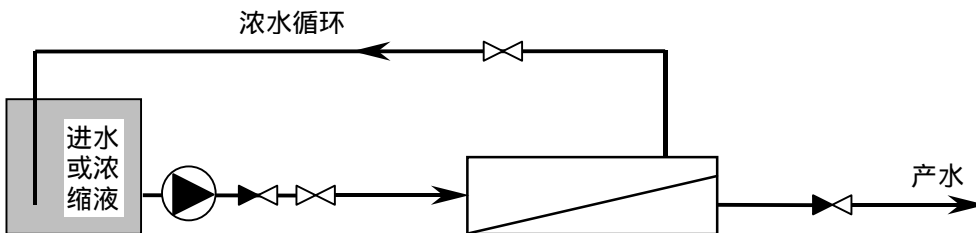
RO/NF 系统通常采用连续运行方式，系统中的每支膜元件的运行条件不随时间变化，连续过程如下图所示：

图 5-1 连续处理运行方式



在某些场合，水量小且不能连续供水，如废水或待回收的工艺物料，通常采用分批处理运行方式，预先将进水或原液收集在原水或原液箱中，再进行循环处理，渗透液不断从系统中拿走，但浓缩液则回流循环返回原液箱。批处理结束时，剩余部分的浓缩液，残留在原料箱中，待这些残留液排干后，更换新一批物料之前，一般需对膜进行一组清洗，分批过程如下图所示：

图 5-2 分批处理运行方式



部分批处理是完全批处理运行方式的变种，在部分批处理运行过程中，原水箱中同时还不断进水，当原液箱中浓缩液装满时，就停止分批处理，这种部分批处理运行方式的优点是，可以使用体积较小的原液箱。批处理通常设计为恒压运行，当浓度越来越高时，渗透流量会随之下降，批处理也可以使用设计导则，一般情况下，水通量值应保守选取，但也可以超限选取，完全根据预备运转试验结果来确定，且需综合考虑清洗频率是否合适。

分批过程与连续过程相比有如下优点：

- ❖ 当进水水质变化时，较具弹性；
- ❖ 每一批的系统回收率可以达到极限；
- ❖ 易于进行清洗；
- ❖ 系统控制简单；
- ❖ 渗透液品质可通过及时中止系统运转的方式来控制；
- ❖ 渗透液品质还可以结合全部或部分二级膜法处理进一步地提高；
- ❖ 较适合一支或膜元件数较少的系统操作，这是因为膜与最后很浓的浓缩液提触时间很短；
- ❖ 易于扩充系统；
- ❖ 投资费用省。

分批过程的缺点是：

* 陶氏化学公司商标

FILMTEC 膜 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

- ❖ 渗透液流量不断变化；
- ❖ 渗透液品质不断变化；
- ❖ 需要较大体积的原液箱；
- ❖ 需较大的水泵；
- ❖ 动力消耗较大；
- ❖ 进水/浓水的停留时间较长；
- ❖ 总运行费较高

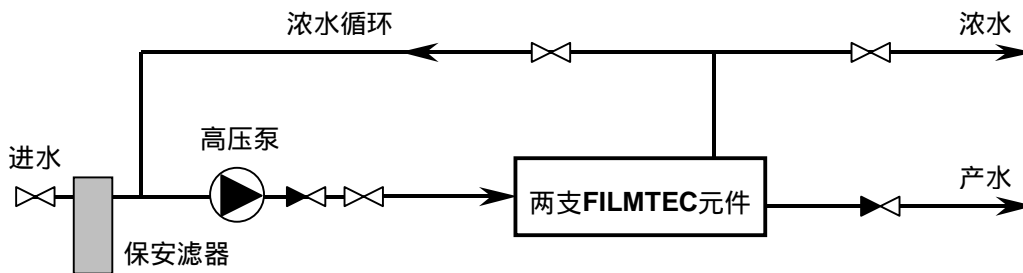
大多数 RO/NF 系统设计成连续操作模式，以便获得恒定的产水量和回收率，水温变化和膜面污染的影响可通过调节进水压力来弥补，因此，本手册重点讨论连续操作流程。

5-3 单组件系统

膜元件装入压力外壳内所组成的组合件称为膜组件，目前世界特大型水处理系统采用的压力外壳最多可串联 8 支 40 英寸长标准膜元件，第一支膜元件的浓水成为第二支元件的进水，以次类推。所有膜元件的产水管则相互连通，并与组件压力外壳端板上的产水接口相联，组件产水出口可以选择在组件的进水端或浓水端。

根据所需的产水量，当仅需要一支或几支膜元件时，选择单组件系统。下图为装有 2 支膜元件的单组件系统。

图 5-3 单组件系统



进水经过隔断阀进入膜系统，首先流过保安过滤器，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 0.3bar。但是现实情况往往要求较高产水压力，例如需要将产水输送到后处理部分或不想再通过安装水泵向用水点供水等等，此时，必须增加高压泵出口压力以补充向后输送产水所需的压力，但需要注意高压泵出口压力不得高于膜元件最大允许进水压力，还应采取特别有效的措施在任何时刻(哪怕是瞬间)尤其是紧急停机时，产水压力超过进水压力的差值(产水背压)均不得大于 0.3bar。

浓水离开组件浓水端出口的压力几乎与进水压力相当，新系统从进水到浓水出口之间的压差通常在 0.3 ~ 2bar 之间，它取决于元件数量、进水流速和水温。浓水控制阀控制浓水流量和系统的回收率，系统回收率不得超过设计规定值。

在单组件系统中，常常需要浓水回流以满足设计导则对元件回收率的要求，为了达到系统回收率高于 50%，离开组件的浓水部分排放而其余部分则回流进入高压泵的吸入口，这样就增加了组件内的流速，高比例的浓水回流能帮助降低元件回收率，降低膜受污染的风险，但是另一方面，它也存在如下缺点：

- ❖ 需较大的高压泵(成本更高)；
- ❖ 更高的能耗；
- ❖ 回流越高，产品水质越低；
- ❖ 在系统保存或清洗之后重新投运时，冲洗时间可能很长，最好在冲洗期间，暂时关掉浓水回流。

* 陶氏化学公司商标

FILMTEC 膜 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

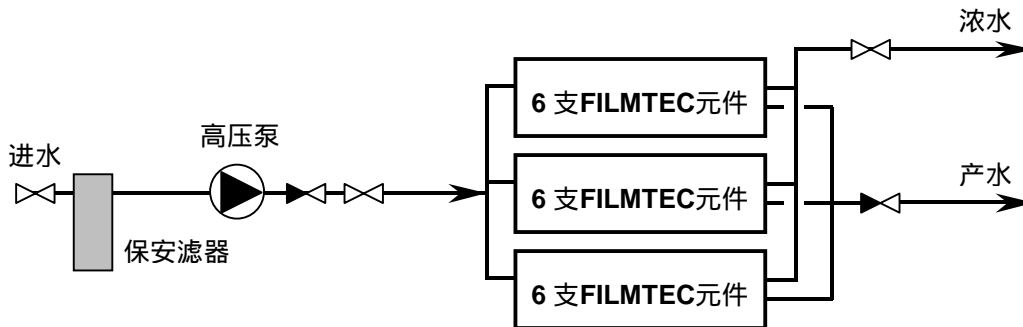
5. 系统设计

5-4 单段系统

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

下图为含 6 芯元件的组件所构成的单段系统：

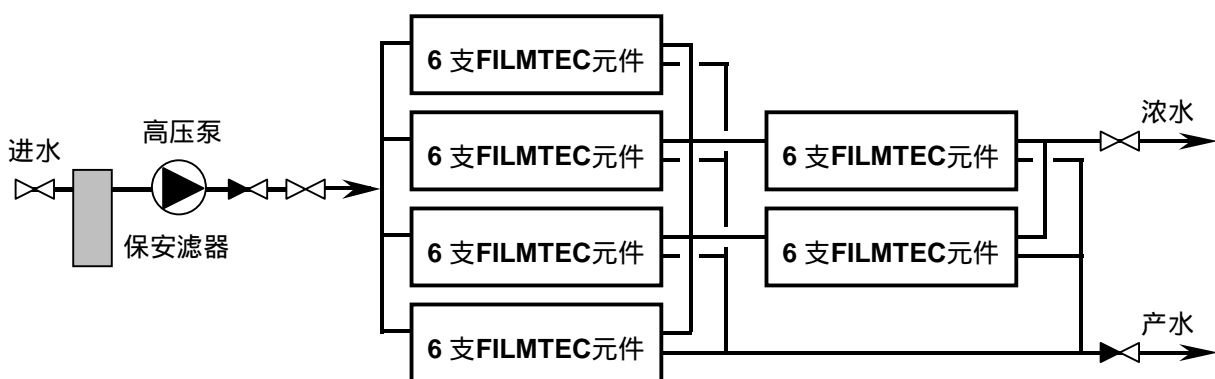
图 5-4 单段系统



5-5 多段系统

当要求系统回收率更高时采用一段以上排列系统，就不会超过单支元件的回收率极限，通常两段式排列系统就可实现 75%的系统回收率，而三段式排列系统则可达到更高的系统回收率，这些回收率的确定是以每一段采用含 6 支膜元件的组件推算出来的，如使用仅能容纳 3 支元件的较短的压力容器时，为了达到相同的回收率，段数要加倍。一般而言，系统回收率越高，必须串联在一起的膜元件数就应越多。为了平衡被拿走的产水并保持每段内原水的流速均匀性，每段压力外壳的数量按进水水流方向递减。一个典型的排列比例为 2:1，排列比例定义为两个相邻段内压力容器数量之比，下图为 4:2 排列的两段系统：

图 5-5 两段式排列系统



5-6 原水一次通过式系统与浓水循环系统

进行水脱盐的常规 RO/NF 系统通常采用原水一次通过式，在原水一次通过式系统设计概念中，进水只流过膜系统一次，进水中的一部分(Y)透过膜面成为产品水，余下的进水不断被浓缩，以较高的浓度离开系统，前面所示的图 5-1、图 5-4 和图 5-5 均为原水一次通过式系统。

* 陶氏化学公司商标

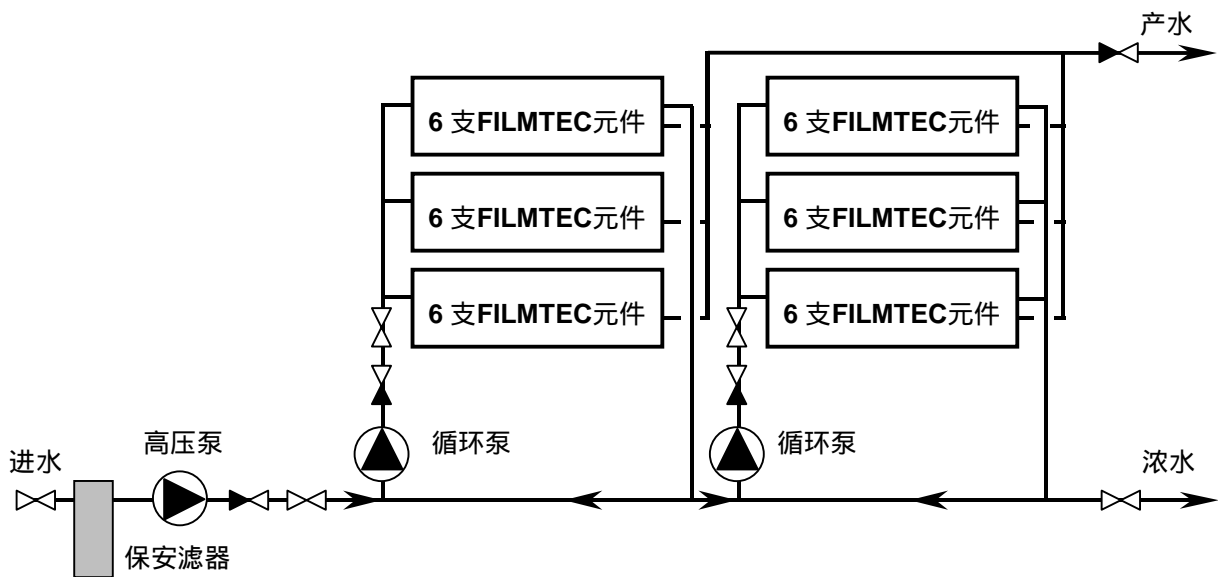
陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

当元件数量太少，而不能使系统达到的足够回收率要求时，可以采用浓水循环。浓水循环系统在某些特殊应用场合如工艺物料浓缩和废水处理上广泛采用，在一些含有内部浓水循环的系统中，部分浓水直接回到该组件或该段的进口，并与进水相混合，图 5-3 就是一种具有内部浓水循环的系统。

在多段系统内，每段可以设置单独的浓水再循环泵，图 5-5 的进水一次通过式系统就可以设计成图 5-6 的浓水循环系统。

图 5-6 浓水内循环两段式膜系统



浓水循环的主要优点是膜组件内进水流速可以维持恒定，不受前段膜组件污染程度或进水组成的变化而变化。

表 5-6：原水一次通过式系统与浓水循环系统的比较

系统参数	原水一次通过式系统	浓水循环系统
进水组成	必须稳定	允许改变
系统回收率	必须稳定	允许改变
清洗管路	较复杂	简单
弥补污染	较困难	容易
膜进口至出口间压力	下降	一致
能耗	较低	较高 (15~20%)
泵的数量 (投资与维护)	较低	较高
系统扩展, 改变膜面积	较困难	容易
从多段系统中隔离或投运某一段	不可能	可能
系统透盐率	较低	较高

系统表观透盐率 SP_s ，定义为产水中的特定组份的浓度 C_p (可以是某一特定离子、有机物或总含盐量 TDS) 与进水种的对应浓度 C_f 之比：

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

$$SP_s = \frac{C_p}{C_f} \quad (1)$$

在进水一次通过式系统中， SP_s 是系统回收率 Y 和膜元件本身透盐率 SP_M 的函数：

$$SP_s = \frac{1 - (1 - Y)^{SP_M}}{Y} \quad (2)$$

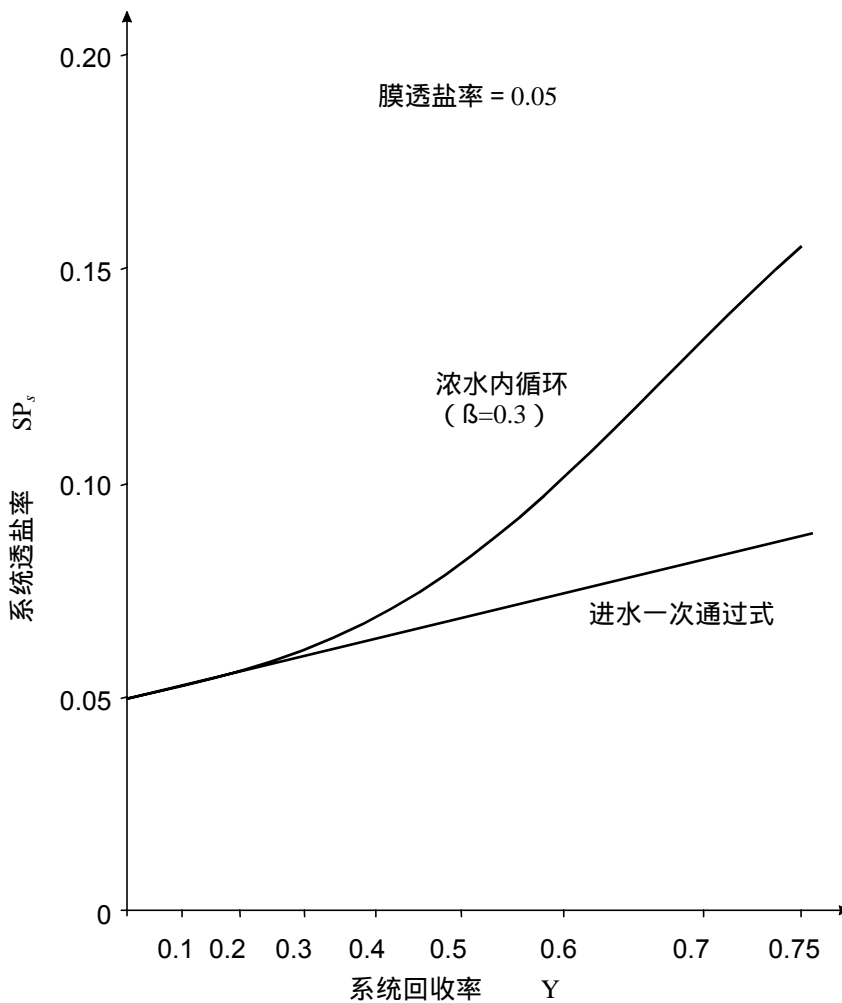
上式中的膜元件本身透盐率定义为产水浓度(C_p)与进水 - 浓水侧平均浓度(C_{fc})之比：

$$SP_M = \frac{C_p}{C_{fc}} \quad (3)$$

在有浓水内循环的系统中，还应考虑另一个参数 β 数，其定义为：

$$\beta = \frac{\text{离开组件的产水流量}}{\text{离开组件的浓水流量}} \quad (4)$$

图 5-7 进水一次通过式与浓水内循环式膜系统



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

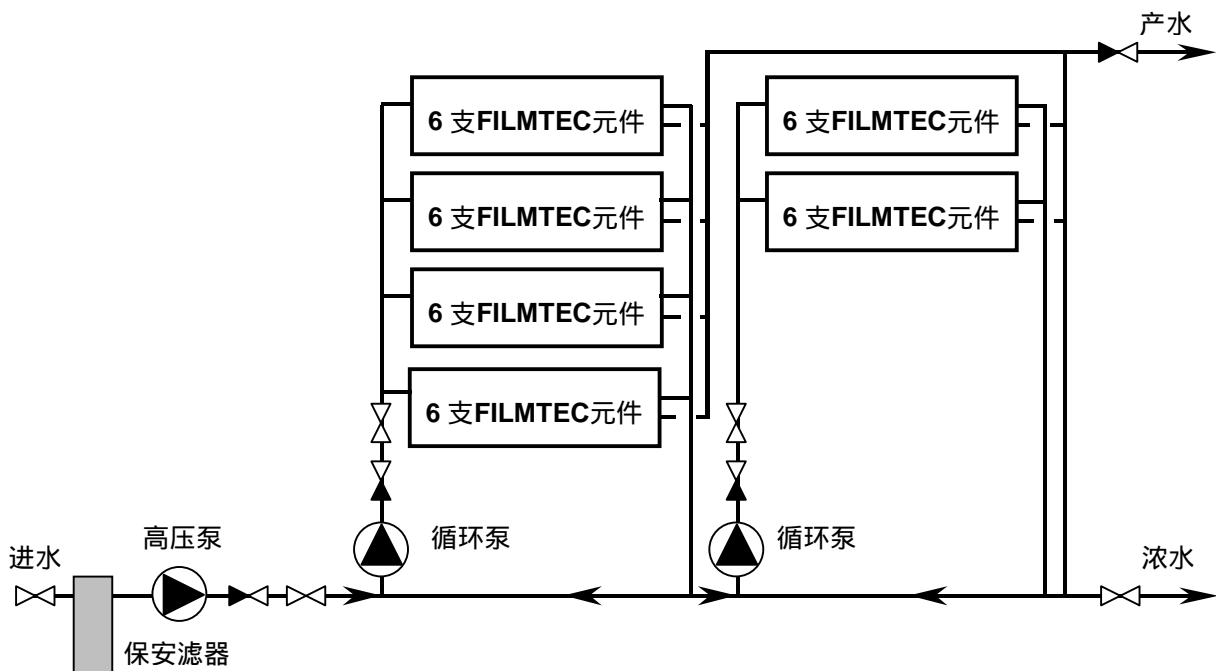
5. 系统设计

对于浓水部分回流到进水侧的系统，系统透盐率为：

$$SP_s = \frac{(1+\beta)^{SP_M} - 1}{Y(1+\beta)^{SP_M} - Y(1+\beta) + \beta} \quad (5)$$

特别对于高回收率的系统，带循环的系统透盐率会远远高于一次通过式的系统透盐率，如图 5-7 所示的模拟计算。对于带有浓水循环的多段系统(如图 5-6)，必须按照方程(5)进行每一段的计算。

当循环流量接近 0 时， β 就接近 $1/[(1/Y) - 1]$ ，浓水循环系统就成为原水一次通过式系统。图 5-8 所示的渐减式循环系统介于进水一次通过式与浓水循环之间的一种系统，从进水方向看，每一段比前一段递减所并联的组件数量。



在选择循环水泵时，可以仅让离开该段一小部分的浓水回流循环而大部分进入下一级，这样系统非常接近一次通过式的运行模式但是仍具有回流循环的优势。

5-7 多级系统

基于下列原因，设计多级膜法处理系统：

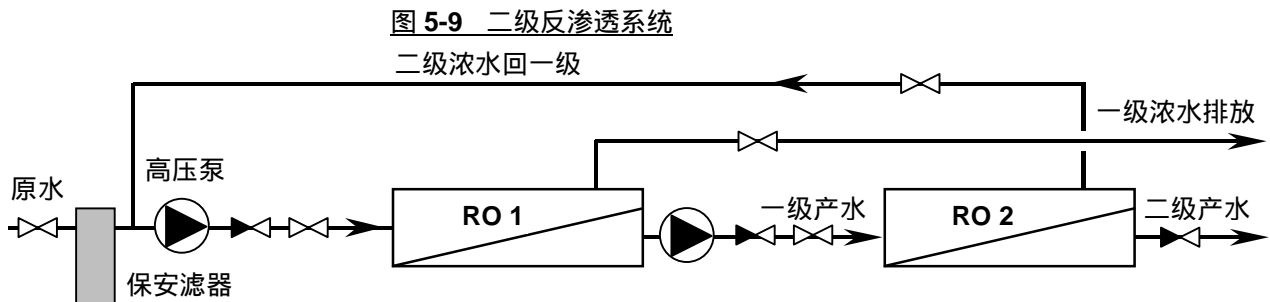
- ❖ 常规的产水出水品质不够理想；
- ❖ 不允许采用离子交换作为后处理(不允许采用再生药品)；
- ❖ 脱除病毒、细菌、热源和有机物特别重要；
- ❖ 需要极高的系统可靠性。

制药和医药生产工艺用水一般设计成产水多级系统，多级膜处理系统实际上是两个传统 RO/NF 系统的组合，第一级的产品水作为第二级的进水，两级既可以是单段式，也可以是多段式，既可以是一次通过式，也可以有浓水再循环运行模式。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

图 5-9 为多级 RO 系统的示意图，第二级(RO 2)的浓水回流到第一级(RO 1)的进水端，这是因为，其品质仍比进入系统原水水质好，同时 RO 2 的进水水质高(RO 1 的产水)，因此 RO2 可比 RO1 有更高的水回收率，就可以使用较少的膜元件。



只要不超过膜元件最高允许进水压力(对于 BW 系列元件，41bar)，整个系统可以只设置一台高压泵，而不需要每一级单独设泵，此时，第二级由第一级 RO1 的产水压力来推动，但是在任何时间和条件下，同一级的产水压力与同一级的进水或浓水压力的差值(即背压)不得大于 0.3bar。也可以设置一个中间过渡水箱以收集第一级的产水，然后再利用高压泵向第二级反渗透装置供水，但该水箱要采取细致的措施防止受灰尘和微生物的污染。

产水电导率在多数情况下是产水品质最重要的参数，由于二氧化碳无法被膜所脱除，它会存在于成品水中，形成碳酸引起电导率的上升，通过将进水 pH 加碱调节到 8.2 左右，就可以阻止 CO₂ 透过反渗透膜，在此 pH 条件下，所有的二氧化碳会转化成碳酸，而碳酸能被膜很好地除去，在 RO1 的进水或产水中均可以加入 NaOH，在产水中加 NaOH 时，加入量非常小，这是因为 RO1 产水几乎不存在缓冲能力，但在第一级 RO1 的进水中加碱要千万小心，防止碳酸钙沉淀，在 pH8.2 左右最容易发生碳酸钙沉淀。采用加碱处理方法，一般情况下，原水含盐量不高时采用二级反渗透工艺，系统产水电导率可达<1μs/cm(25°C)。

5-8 特殊设计的可能性

根据特殊要求，有几种特殊设计可供选择：

- ❖ 提高产品质量：
 - 针对苦咸水水源，部份或全部选用海水元件；
 - 在多级处理系统中的某一级选用海水元件或全部采用海水元件；
 - 将最后一段的产水回流到进水中。
- ❖ 提高系统的回收率：
 - 经过特殊预处理后，将浓水作为第二个系统的进水，即增设浓水回收系统。
- ❖ 针对中等含盐量的原水，实现系统高回收率和均衡一致的元件产水量：
 - 在段间设置段间提升泵以抵消后段渗透压的增加；
 - 从第一段到最后一段采用渐减方式对每段产水设置背压；
 - 在第一段使用 SW 或 SWHR 膜元件。
- ❖ 制取不同品质的产水：
 - 将不同段的产水分别收集，第一段的产水水质最好，尤其时当第一段选用海水淡化膜元件时。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

- ❖ 降低系统产水量，以便正好获得所需的产水水质：
 - 产水与部分原水混合。
- ❖ 提供系统将来可扩充的机会：
 - 在压力容器中使用空白元件(即用产水管取代元件)；
 - 膜组件支架采用模块化设计，以便今后能安装额外的压力容器。

5-9 膜系统的设计步骤

【第 1 步】：考虑进水水源、水质，进水和产水流量以及所需的产水水质。

膜系统的设计取决于将要处理的原水和处理后产水用途，因此必须首先按照表 5-4 及表 5-5 的要求详细收集系统设计资料及原水分析报告。

【第 2 步】：选择系统排列和级数

常规的水处理系统排列结构为进水一次通过式，而在较小的系统中常采用浓水循环排列结构，例如多数的商用水处理系统；所需元件数量较少的有一定规模的系统，采用进水一次通过式难以达到足够的系统回收率时，也采用浓水循环排列结构；在特殊的应用领域如工艺物料浓缩和废水处理，通常采用浓水循环排列系统。

RO/NF 系统通常采用连续运行方式，系统中的每一支膜元件的运行条件不随时间变化，但在某些应用情况下，如废水处理或工艺物料的浓缩或当供水量小较小且供水不连续时，选用分批处理操作系统，此时，进水收集在原水箱中，然后进行循环处理，部分批处理操作是分批处理操作的改良，在操作运行过程期间，不断向原水箱注入原水。

多级处理(两级)系统是两个传统 RO/NF 系统的组合工艺，第一级的产水作为第二级的进水，每一级既可以是单段式或也可以是多段式，既可以是原水一次通过式也可以是浓水再循环式。制药和医药用水的生产常选用产水多级处理工艺。若想取代第二级膜系统，可以考虑采用离子交换工艺。

【第三步】：膜元件的选择

根据进水含盐量、进水污染可能、所需系统脱盐率、产水量和能耗要求来选择膜元件，当系统产水量大于 10gpm(2.3m³/h)时，选用直径为 8 英寸长度为 40 英寸的膜元件，当系统较小时则选用小型元件。FILMTEC 膜元件的特点和特定领域的选型请参阅本手册有关章节的介绍或与陶氏化学液体分离部代表联络。当要求极高产水水质时，通常使用离子交换树脂对 RO/NF 产水进行深度处理。

【第 4 步】：膜平均通量的确定

平均通量设计值 f (gfd 或 L/m²h)的选择可以基于现场试验数据、以往的经验或参照设计导则所推荐的典型设计通量值选取。

【第 5 步】：计算所需的元件数量

将产水量设计值 Q_P 除以设计通量 f ，再除以所选元件的膜面积 S_E ，就可以得出元件数量 N_E ：

$$N_E = \frac{Q_P}{f \cdot S_E}$$

【第 6 步】：计算所需的压力容器数



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

将膜元件数量 N_E 除以每支压力容器可安装的元件数量 N_{EpV} ，就可以得出圆整到整数的压力容器的数量 N_V 。对于大型系统，常常选用 6~7 芯装的压力容器，目前世界上最长的压力容器为 8 芯装，对于小型或紧凑型系统，选择较短的压力容器：

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EpV}}$$

虽然以下部分所描述的方法适用于所有的系统，但最适合于以一定方式排列，使用较多 8 英寸膜元件和压力容器的场合。仅含有一支或几支元件的小型系统，大多设计成串联排列和部分浓水回流，以确保膜元件进水与盐水流道有最低的流速。

【第 7 步】：段数的确定

由多少支压力容器串联在一起就决定了段数，而每一段都有一定数量的压力容器并联组成，段的数量是系统设计回收率、每一支压力容器所含元件数量和进水水质的函数。系统回收率越高，进水水质越差，系统就应该越长，即串联的元件就应该越多。例如，第一段使用 4 支 6 元件外壳，第二段使用 2 支 6 元件外壳的系统，就有 12 支元件相串联；一个三段系统，每段采用 4 元件的压力外壳，以 4:3:2 排列的话，也是 12 支元件串联在一起的。一般地，串联元件的数量与系统回收率和段数有如下关系：

系统回收率(%)	串联元件的数量	含 6 元件压力容器的段数
40 ~ 60	6	1
70 ~ 80	12	2
85 ~ 90	18	3

如果采用浓水循环方式，单段式系统也可以设计成较高的回收率。

【第 8 步】：确定排列比

相邻段压力容器的数量之比称为排列比，例如第一段为 4 支压力容器，第二段为 2 支压力容器所组成的系统，排列比为 2:1，而一个三段式的系统，第一段、第二段和第三段分别为 4 支、3 支和 2 支压力容器时，其排列比为 4:3:2。当采用常规 6 元件外壳时，相邻两段之间的排列比通常接近 2:1，如果采用较短的压力容器时，应该减低排比。另一个确定压力容器排列的重要因素是第一段的进水流量和最后一段每支压力容器的浓水流量，根据产水量和回收率确定进水和浓水流量，第一段配置的压力容器数量必须为每支 8 英寸元件的压力容器提供 8~12m³/h 的进水量，同样，最后一段压力容器的数量必须使得每一支 8 英寸元件压力容器的最小浓水流量大于 3.6m³/h，详细规定请参阅膜元件设计导则。

【第 9 步】：分析和优化膜系统

所确立的膜系统结构可以采用 FILMTEC ROSA 计算机系统分析软件进行分析和调整：

举例如下：假定：

- ❖ 水源为地表水，SDI₁₅<5
- ❖ 要求产水量 720m³/d
- ❖ 采用 6 芯压力容器（外壳）

第 1 步：SDI₁₅<5 的地表苦咸水，总产水量 720m³/d(132gpm)

第 2 步：选择进水一次通过式结构

第 3 步：BW30-365(苦咸水膜元件，有效膜面积 365ft²，即 33.9m²)

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

第4步：建议平均通量 15gfd(25LMH)，查阅设计导则

第5步：元件总数=

$$\frac{(720 \text{ m}^3/\text{d})(41.67 \text{ L/h})/(\text{m}^3/\text{d})}{(33.9 \text{ m}^2)/(25 \text{ L/m}^2/\text{h})} = 35 \Rightarrow \text{圆整到 } 35 \text{ 或}$$

$$\frac{(132 \text{ gpm})(1440 \text{ gpd/gpm})}{(15 \text{ gfd})/(365 \text{ ft}^2)} = 35 \Rightarrow \text{圆整到 } 35$$

第6步：压力外壳总数 = 35/6 = 5.83 ⇒ 圆整到 36

第7步：对于 6 芯外壳 75%回收率 ⇒ 段数选 2

第8步：段排列比 2:1，最适宜的排列为 ⇒ 4:2

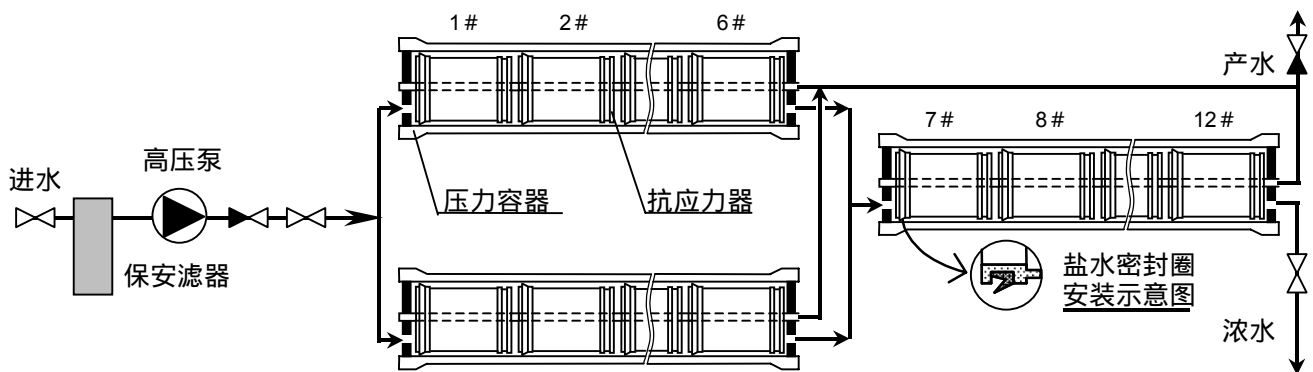
第9步：使用 FILMTEC 反渗透系统分析软件 ROSA 进行系统模拟运算。这个程序可以计算进水压力、系统产水品质以及每支元件的运行参数，并可十分方便地改变膜元件的数量、品种和排列来优化系统设计。

5-10 系统性能预测

5-10.1 系统操作特性

在预测某一系统性能之前，需先熟悉系统的操作特性，这里举例说明，图 5-10 为含 3 支 6 芯压力容器并按 2:1 排列的系统。含 6 芯压力容器的两段式系统前后有 12 支元件串联在一起，可有效地达到 55~75%的系统回收率，每一支元件的平均回收率为 7~12%，若两段系统回收率高于 75%，单支元件的回收率将超过设计导则规定的最高回收率极限，此时需在系统中再添加一段，选择 18 支元件串联以降低单支元件的平均回收率。

图 5-10 卷式 RO/NF 膜系统典型的两段式排列



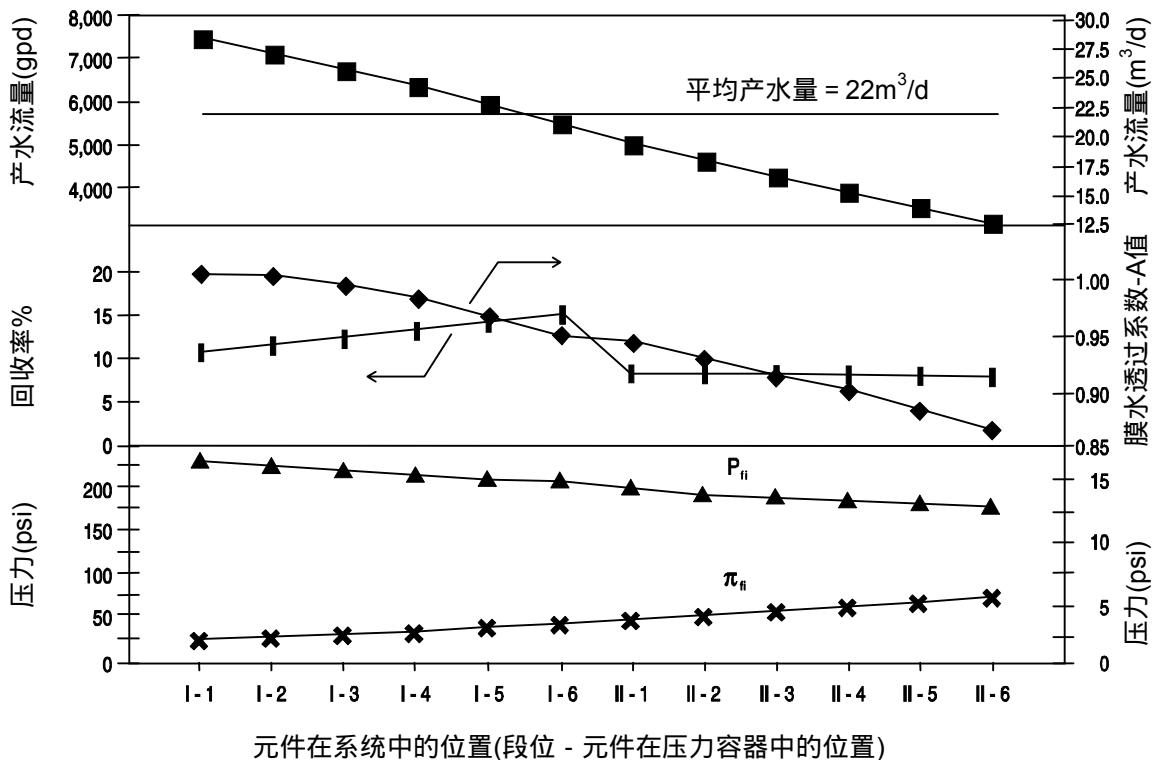
若两段系统的回收率太低(如<55%)，进入第一段的流量会太高，就会使得进水与浓水之间的压降过高，导致膜元件的水力剪切损伤，根据水质而定，一般情况下，FILMTEC8 英寸元件的最高进水流量为 11~16m³/h。因此，回收率小于 55%的系统应采用单段式排列，最大进水流量同时也限制了压力容器的排列比，一般不会采用超过 3:1 排列比的结构。当操作单支 RO/NF 元件系统时，所有的操作参数可随时测出，因而性能也可很快地推算出来。当大量的元件以很复杂的排列方式组合在一个系统中，而且只知道进口的操作参数时，预测系统的性能就相当困难。串联的每一支元件的进水压力及含盐量都在随时变化，这些变化的速度和程度不仅取决于进口条件和总回收率，而且也 and 系统排列如排列比例有关。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

图 5-11 总结了给定系统内膜元件总体性能动态变化趋势，系统性能为就是系统内每一支元件性能的综合表现，该图说明了在含 6 芯元件压力外壳的 2:1 排列系统中，5 种不同的元件性能参数是如何随元件在系列中的位置而发生变化的。此系统的操作情况：回收率 75%，水温 25℃，进水渗透压 1.4bar(20psi)，含盐量约相当于 2,000mg/L)。

图 5-11 8 英寸 BW30 元件在 2:1 排列系统中每支元件性能变化趋势



调整进口压力使得第一支 BW30-8040(原 BW30-330)元件的产水量为 $28.4\text{m}^3/\text{d}$ (7,500gpd)，此时为该元件在进水为 $\text{SDI}_{15} < 3$ 的井水时的最高允许产水量。

图 5-11 中最上面的变化曲线显示了每一支元件产水量很有规律地随元件在系统中的顺序递减，由第一段第一支元件的 $28.4\text{m}^3/\text{d}$ (7,500gpd)到第二段最后一支元件的 $12.5\text{m}^3/\text{d}$ (3300gpd)，平均为 $22\text{m}^3/\text{d}$ (5,800gpd)，约为最高容许产水量的 77%。

产水流量降低的原因是净渗透推动力， $\Delta P - \Delta\pi$ 均匀性地递减(ΔP 为膜正面进水压力与膜背面产水压力之间的压差； $\Delta\pi$ 为两者之间的溶液渗透压之差)。由图中最下面的两条变化曲线可明显地看出，上方的一条曲线表示每一支膜元件进水压力 P_{fi} 如何随每一支元件内上游浓水的压力损失而减低的。而下方的一条曲线表示，当含盐量低的产水不断从上游元件取出后，留下来越来越浓的浓水作为下一支元件的进水，这样下一支元件的进水渗透压 π_{fi} 如何随之增加的。这两条压力曲线的差值大约等于净渗透过程的推动力。

图 5-11 的中间部分的曲线较不明显但表示两个很重要的效应，图的右坐标表示每一支元件的回收率如何按顺序变化的，变化曲线的中断处代表了从第一段进入第二段，一般而言，单支元件的回收率在每一段内均按顺序逐渐增加的，但第一段增加得较明显，系统设计工程师在使用膜系统设计软件时，必须确认第一段最后一支元件不要超过规定的回收率极限。随着元件回收率的逐渐增加，由于浓差极化之故，膜元件将经受更高的实际渗透压，如果让其恶化下去，会导致产水量的降低，产生膜面结垢或污堵。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

图中间部分的另一曲线对应右坐标的刻度，说明了膜元件的另一个有趣的现象，膜的水力渗透系数或简称 A 值，为盐浓度的可逆函数，在高盐度时 A 值降低，在低盐度时 A 值增加。在该 12 支膜元件的实例里，前后 A 值相比整整下降了 15%，如要正确地设计系统的产水流量，必须将这一点考虑进去。

5-10.2 设计方程与参数

某一具体的 RO/NF 系统性能包括给定进水压力条件下的系统产水量和脱盐率。简单地说，RO/NF 系统的产水量 Q 与有效膜面积 S 和净渗透推动力 $\Delta P - \Delta \pi$ 成正比，比例常数称为膜的水力渗透系数 A 值，水力渗透方程式如下：

$$Q = (A)(S)(\Delta P - \Delta \pi) \quad (6)$$

盐份通过扩散作用透过膜正面，盐通量 N_A 与膜正反两侧盐份的浓度差成正比，比例常数称为盐扩散系数 B 值。

$$N_A = B(C_{fc} - C_p) \quad (7)$$

其中 C_{fc} = 进水和浓水间平均浓度

C_p = 产水浓度

基本上有如下两种方法计算某一具体设计的性能：

【元件逐渐逼近法】

这是一种最精确的计算方法，但采用人工手算相当麻烦，却适合采用电脑运算，第一支元件的所有操作条件包括进水压力，都必须预先假设。然后可以计算出该元件浓水的流量及压力，离开第一支元件的浓水就是第二支元件的进水。在计算完所有元件的结果之后，可能会发现原假设的进水压力过高或过低，因而必须假设一个新的第一支元件的进水压力，再次进行试差法计算。

采用 FILMTEC 反渗透系统分析软件，就可迅速获得上述试差法的精确结果，该软件可用于对系统的改进或优化设计。该软件的详细计算过程及方法在此不作具体叙述，但计算的方程式和参数列于表 5-7 中。

为了确定方程式(6)中的 A, ΔP 和 $\Delta \pi$ 值，产水量方程式(6)展开成方程式(8)，经过转换方程式(7)，产水浓度可由方程(17)导出，设计计算方程式列于表 5-7，所有符号的定义列于表 5-9。

【系统整体逼近法】

该方法较为容易，如果已知进水水质、温度、产水流量与元件数量，即可计算出进水压力与产水水质的平均值；如果已知进水压力而元件数目未知，则经过几次反复的计算即可推算出所需元件的数量，该法与元件逐渐逼近法计算结果的差距可在 5% 以内，设计计算方程式列于表 5-8，所有符号的定义列于表 5-9。

表 5-7 方程式中的下标 i 表示系统水流方向 n 支元件相串联中的第 i^{th} 元件，为了计算出精确的系统性能，必须采用方程式 8，根据一组进水条件对每一支元件进行逐渐地计算，计算结果取决于每一支膜元件上的质量平衡，每支元件参数关系式如下：方程式 12 计算浓水浓度，方程式 17 计算产水浓度，方程式 25c 计算进水和浓水间平均流体阻力 ΔP_{fc} ，方程式 14 计算温度校正系数 TCF，方程式 15 计算浓差极化系数 pf_i 和方程式 26 计算产水水力渗透系数 $A_i(\pi_i)$ 。这些结果通常涉及进水和产水侧的运行压力和渗透压的平均值。对于单元件低回收率系统，仅仅利用进出口间条件的算术平均值，就可以得到很高精确度的计算结果，即使在这种情况下，如果不能知道出口条件时，仍需采用试差逐步逼近算法。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

表 5-7 RO 系统性能设计计算方程
单支元件的性能：

计算项目	方程式	方程编号
产水流量	$Q_i = A_i \bar{\pi}_i S_E (TCF)(FF) \left(P_{fi} - \frac{\Delta P_{fci}}{2} - P_{pi} - \bar{\pi} + \pi_{pi} \right)$	8
进水和浓水间平均渗透压	$\bar{\pi}_i = \pi_{fi} \left(\frac{C_{fci}}{C_{fi}} \right) (pf_i)$	9
产水侧平均渗透压	$\bar{\pi}_{pi} = \pi_{fi} (1 - R_i)$	10
比值：i 元件进水和浓水间浓度算术平均值与进水浓度之比	$\frac{C_{fci}}{C_{fi}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{C_{ci}}{C_{fi}} \right)$	11
比值：i 元件浓水与进水浓度之比	$\frac{C_{ci}}{C_{fi}} = \frac{1 - Y_i (1 - R_i)}{(1 - Y_i)}$	12
进水渗透压	$\pi_f = 1.12(273 + T) \sum m_j$	13
FT30 膜温度校正系数	$TCF = \text{EXP} \left[2640 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]; T \geq 25^\circ\text{C}$ $TCF = \text{EXP} \left[3020 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]; T \leq 25^\circ\text{C}$	14a,b
FILMTEC 8 英寸元件浓差极化系数	$pf_i = \text{EXP}[0.7Y_i]$	15
系统回收率	$Y = 1 - [(1 - Y_1)(1 - Y_2) \dots (1 - Y_n)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Y_i)$	16
产水浓度	$C_{pj} = B(C_{fcj})(pf_i)(TCF) \frac{S_E}{Q_i}$	17



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

表 5-8 RO 系统性能设计方程
系统平均性能

计算项目	方程式	方程编号
总产水量	$Q = N_E S_E \bar{A} \bar{\pi} (\text{TCF})(\text{FF}) P_f - \frac{\Delta P_{fc}}{2} P_p - \pi_f \left[\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} p_f - (1 - \bar{R}) \right]$	18
比值：进水和浓水间系统平均浓度值与进水浓度之比	$\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{-\bar{R} \ln(1 - Y/Y_L)}{Y - (1 - Y_L) \ln(1 - Y/Y_L)} + (1 - \bar{R})$	19
极限系统回收率	$Y_L = 1 - \frac{\pi_f (\bar{p}f)(\bar{R})}{P_f - \Delta P_{fc} - P_p}$	20
进水和浓水间系统对数平均浓度值与进水浓度近似比值	$\left. \frac{C_{fc}}{C_f} \right _{Y_L, \bar{R}=1} = -\frac{\ln(1 - Y)}{Y}$	21
平均元件回收率	$Y_i = 1 - (1 - Y)^{1/n}$	22
平均极化系数	$\bar{p}f = \text{EXP}[0.7 \bar{Y}_i]$	23
进水和浓水间系统平均渗透压值	$\bar{\pi} = \pi_f \left(\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} \right) \bar{p}f$	24
8 英寸两段系统，进水和浓水间系统压降平均值	$\Delta P_{fc} = 0.04 \bar{q}_{fc}^2$	25a,b,c
单支 8 英寸元件或单段系统进水和浓水间压降	$\Delta P_{fc} = 0.01 n \bar{q}_{fc}^{1.7}$	
进水和浓水间平均渗透压函数的膜水力渗透系数	$\bar{A}(\bar{\pi}) = 0.125; \bar{\pi} \leq 25$ $\bar{A}(\bar{\pi}) = 0.125 - 0.011 \left(\frac{\bar{\pi} - 25}{35} \right); 25 \leq \bar{\pi} \leq 200$ $\bar{A}(\bar{\pi}) = 0.070 - 0.0001(\bar{\pi} - 200); 200 \leq \bar{\pi} \leq 400$	26a,b,c
产水浓度	$C_p = BC_{fc} \bar{p}f (\text{TCF}) \left(\frac{N_E S_E}{Q} \right)$	27



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

表 5-9 符号定义

Q	元件 i 产水量(gpd)	\sum_j	所有离子总和
$A_i \pi_i$	25 °C 时元件 i 水力渗透系数, 它是进水和浓水间平均渗透压的函数(gfd/psi)	Y	系统回收率
S_E	元件膜面积(ft ²)	$\prod_{i=1}^n$	n 项串联乘积
TCF	膜产水温度校正系数	n	串联元件数量
FF	膜污堵因子	Q	系统产水量(gpd)
P_{fi}	元件 i 进水压力(psi)	N_E	系统中元件数量
ΔP_{fc_i}	元件 i 进水和浓水间平均压降 (psi)	\bar{Q}_i	元件平均产水量(gpd) = Q/N_E
P_{pi}	元件 i 产水侧压力 (psi)	$\bar{A}\pi$	25 °C 时水力渗透系数, 它是进水和浓水间平均渗透压的函数(gfd/psi)
$\bar{\pi}_i$	进水和浓水间平均渗透压(psi)	\bar{C}_{fc}	进水和浓水间系统平均浓度(ppm)
π_{fi}	元件 i 进水渗透压(psi)	\bar{R}	系统平均脱盐率
π_{pi}	元件 i 产水侧渗透压 (psi)	$\bar{\pi}$	系统进水和浓水间平均渗透压(psi)
ρf_i	元件 i 浓差极化系数	$\Delta \bar{P}_{fc}$	进水和浓水间系统平均压差(psi)
R_i	元件 i 脱盐率 = $\frac{\text{进水浓度} - \text{产水浓度}}{\text{进水浓度}}$	Y_L	(最大)极限系统回收率
C_{fc_i}	元件 i 进水和浓水间平均浓度 (ppm)	\bar{Y}_i	平均元件回收率
C_{fi}	元件 i 进水浓度 (ppm)	$\bar{\rho f}$	平均浓差极化系数
C_{ci}	元件 i 浓水浓度(ppm)	\bar{q}_{fc}	进水和浓水间算术平均流量(gpm) (=1/2(进水流量 + 浓水流量))
Y_i	元件 i 回收率 = $\frac{\text{产水流量}}{\text{进水流量}}$	N_V	系统中 6 芯压力容器数量($\approx N_E/6$)
π_f	待处理进水渗透压(psi)	N_{V1}	两段系统中第一段的压力容器数量($\approx 1/3 N_V$)
T	进水温度(°C)	N_{V2}	两段系统中第二段的压力容器数量($\approx N_V/3$)
m_j	第 j^{th} 种离子摩尔浓度	N_{VR}	段间压力容器排列比 (= N_{V1}/N_{V2})



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

【系统评估计算机软件】

FILMTEC ROSA 设计软件可以用于预测系统的性能，同时使系统设计最佳化，还可以用于计算结垢倾向并可利用已有的运行数据评估现有系统的性能状况。

5-10.3 ROSA 设计软件下载方法

第一步 打开电脑，进入国际互联网 internet。

第二步 在地址输入框中输入网址：www.filmtec.com 或 www.dowex.com如下所示：



第三步 输入网址后，按回车(Enter)进入陶氏液体分离部的主页。

该主页有三个主要功能区域，即产品信息中心(Product Information)、技术服务中心(Technical Service Center)和设计中心(Design Center)。此外还包括：

- ❖ 下载设计软件 ROSA ([DOWNLOAD ROSA](#))
- ❖ 下载 标准化软件 FTNORM ([DOWNLOAD FTNORM](#))
- ❖ 查询文献资料 ([LITERATURE](#))
- ❖ 查询 ISO9000 质量认证证书 ([ISO 9000](#))
- ❖ 问题解答中心 ([ANSWER CENTER](#))
- ❖ 中文，进入中文主界面
- ❖ 常见问题解答([FAQ](#))等子功能块，如下图所示：



be the first to know
subscribe to our online newsletter

点击此处下载设计软件



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

要下载设计软件 ROSA，只要在主页中点击左下角的 **DOWNLOAD ROSA** 超文本，即进入如下图所示的界面。在该界面上除了可以下载 ROSA 之外，还可以下载 ROSA 的安装说明。若需下载支持，可给陶氏公司的 Amy Stark 发 Email，也可以直接与陶氏公司液体分离部在中国办事处的代表联系。

— Design Center —

FILMTEC™ Membranes
DOWEX® Ion Exchange Resins

ROSA
FilmTec Corporation's ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) design software continues to evolve and grow to meet your demanding system design needs. The latest version of the software, ROSA 5.3, is now available to aid you in system design using FILMTEC™ elements, the highest quality RO and NF elements available globally.

ROSA 5.3 has been updated with new products and many product specification improvements recently announced by FilmTec. Users will also find expanded functionality, enhanced accuracy and greater user-friendliness. Converging problems encountered with ROSA 4.3 and ROSA 5.0x have been addressed by implementing a more robust calculation engine. In addition, the calculation model for seawater and brackish water designs has been refined with improved accuracy of ion rejections and projected feed pressure.

ROSA 5.3 includes:

- New products: FILMTEC LP-4040 and FILMTEC LP-2540
- Updated FILMTEC product specifications: SW30-380, XLE-2540, XLE-4040, BW30LE-4040, TW30-2540, TW30-4040, BW30-2540, BW30-4040, BW30LE-440
- A significantly enhanced configuration section which now includes an Interactive System Diagram
- Boron rejection calculations for certain seawater and brackish water elements
- A degassifier option to reduce CO2 in the second pass
- The ability to adjust the second pass feed pH
- The option to enter average permeate flux to design systems

For more details, please refer to the ROSA 5.3 version history.
Download ROSA 5.3 now to begin recognizing these benefits
Watch for additional enhancements to ROSA before year-end. FilmTec is committed to providing software that provides optimal use of our elements and realizes that ROSA is a critical tool in enabling production of the highest quality water at the lowest total cost.

点击此处进入注册界面

[Download](#) the latest version of ROSA 5.3 (8.0 MB) (June 9, 2003)

第四步 如上图指示的那样，在文本“Download the latest version of ROSA 5.02 (8.0MB)(September 23, 2002)”中点击超文本“Download”，进入如下的注册界面：

— Design Center —

FILMTEC™ Membranes
DOWEX® Ion Exchange Resins

Registration Information for ROSA Download

Please complete the registration form to download the ROSA program file

*Indicates required field

First Name*

Last Name*



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

Organization Name* The Dow Chemical Company (Beijing Office)

Address* Room 2301

Address CITIC Building

City* Beijing

State/Province Beijing

Zip/Postal Code 100004

Country* China

Business Telephone* 0086-10-8518 3399 ext. 208

Fax Number 0086-10-8518 3399

Email Address* GZeng@dow.com

Consultant

Simon

Drackish water membranes

Windows 98

Yes, I would like to receive occasional email updates from Dow, including announcements of updates to the ROSA program.

Please note: ROSA is optimized for Microsoft Windows 95 and 98, and for Windows NT 4.0. Other versions of the Windows operating system may require additional components. Please consult your systems administrator.

Continue 点击此处

我们在此邀请您输入您完整的联络信息，进行注册登记，然后才可以下载该设计软件，目的是为了便于今后的跟踪服务。需特别说明的一点是，上述注册表中打“*”的部分为必须输入的内容。

第五步 在上图界面中，点击按钮继续“Continue”，即进入 ROSA 下载协议条款界面。如下图所示。您必须选择同意“Agree”按钮，方能继续下载。

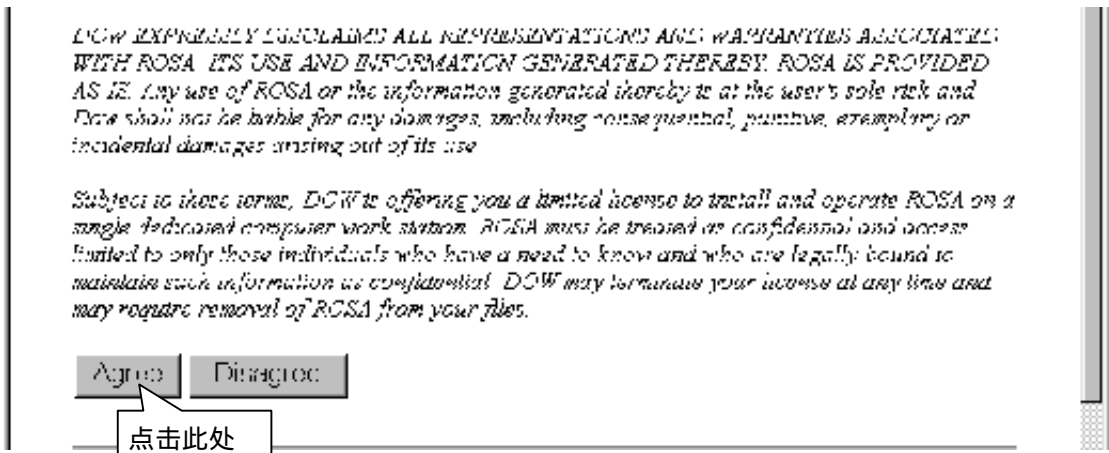
— Design Center —

FILMTEC™ Membranes
DOWEX™ Ion Exchange Resins

Terms & Conditions for ROSA Download

ROSA is a computer assisted tool for designing and operating reverse osmosis and nanofiltration systems and is the sole property of The Dow Chemical Company (DOW). Access to ROSA is restricted to registered, licensed users. No part of ROSA may be modified, operated, transferred or copied by any means without prior written permission by DOW. ROSA may not be installed or operated from a network accessible by multiple work stations. ROSA must be treated as confidential and access must be limited. ROSA is protected by copyright of DOW.

5. 系统设计

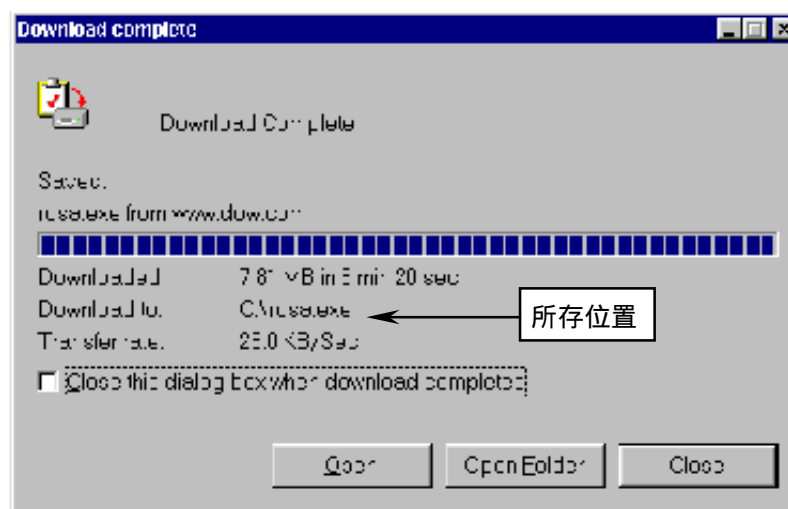
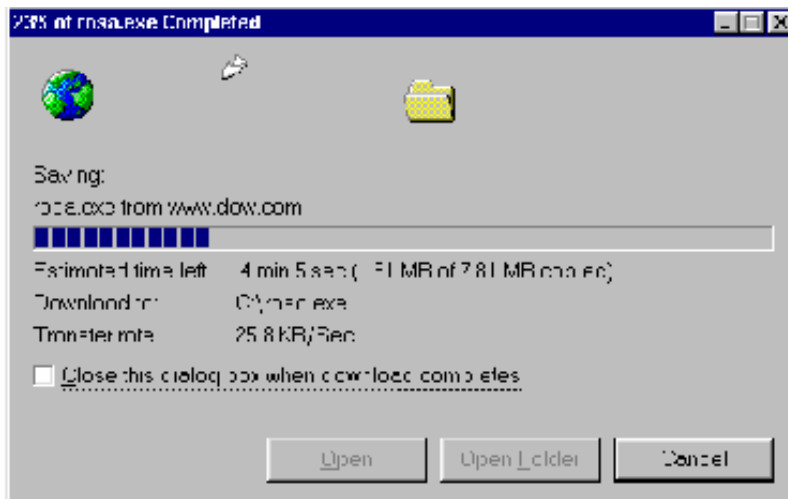
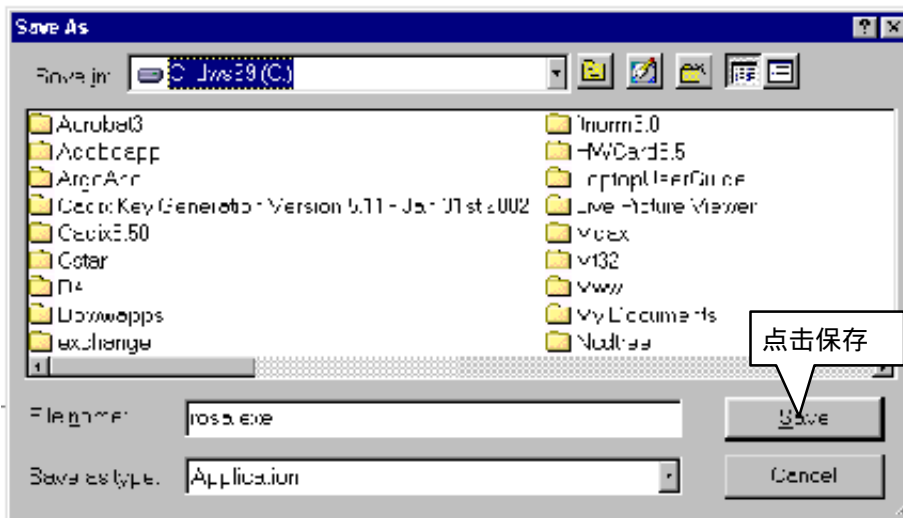


第五步 在上图中点击同意“**Agree**”按钮之后，进入下述界面。



第六步 在上图中点击“OK”按钮，进入如下的保存界面。您可将 ROSA 安装文件保存在您指定的计算机路径下。通过电话线下载时间约为 20 ~ 40 分钟左右，取决于网络的传输速度，通过局域网或宽带网下载仅需几分钟甚至几十秒。

5. 系统设计



第七步 在所存位置找到 rosa.exe 文件并双击，即可开始自动安装 ROSA 5 了。在安装过程中有问题，请与陶氏 液体分离部的代表联络，以便获得更多的帮助。

5. 系统设计

5-10.4 ROSA 5 设计软件使用指南

5-10.4.1 ROSA 5.0 安装要求

❖ 硬件要求：

- 1) IBM-PC 兼容机；
- 2) 奔腾 II 处理器(568 及以上)；
- 3) 32MB 以上内存(RAM)；
- 4) WINDOWS 98 或以上的操作系统

❖ 安装要点：

- 1) 安装前，应关闭其它所有应用程序。尤其是杀毒软件等具有排它性的软件；
- 2) Windows NT 的用户应该在管理员 “ Administrator ” 模式下安装 ROSA 5；
- 3) 计算机中已经安装了 ROSA 5 的用户，若要安装其升级版本，必须卸载旧版本的 ROSA 5 设计软件；
- 4) 在安装过程中，会遇到 Windows 本身的系统文件较旧，需要升级的提示，这是正常的。待旧文件升级之后，需重新启动计算机，重新安装 ROSA 5 即可。

5-10.4.2 ROSA 5.0 界面组成

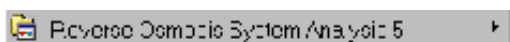
ROSA 是 Reverse Osmosis System Analysis 的缩写，是美国陶氏化学公司全资子公司 FilmTec 公司专为反渗透和纳滤膜系统用户开发的设计辅助工具。其最新版本是 ROSA 5。ROSA 5 可从陶氏网站上免费下载，网址如下为 <http://www.filmtec.com/>。用电话线上网下载需要 20 ~ 40min，而用高速互联网，只需约 1min 下载。从 ROSA 5 开始，软件的界面比以往版本有较大变化。从 ROSA 4.3 到 ROSA 5，不是简单的升级，而是有着质的变化与提高，可参阅本文相关章节所作的比较。但目前未提供 ROSA 4.3 具有的“自动设计、冗余报警、运行能耗计算、工艺流程图的打印、运行参数随温度的变化曲线”等功能，它们将在 ROSA 今后的升级版本中提供。

❖ ROSA 的启动方法：

- 1) 从“开始 Start”菜单中选取“程序 Programs”



- 2) 再进一步选取“Reverse Osmosis System Analysis 5”文件夹



- 3) 然后单击文件“ROSA 5”即可启动 ROSA 5 了



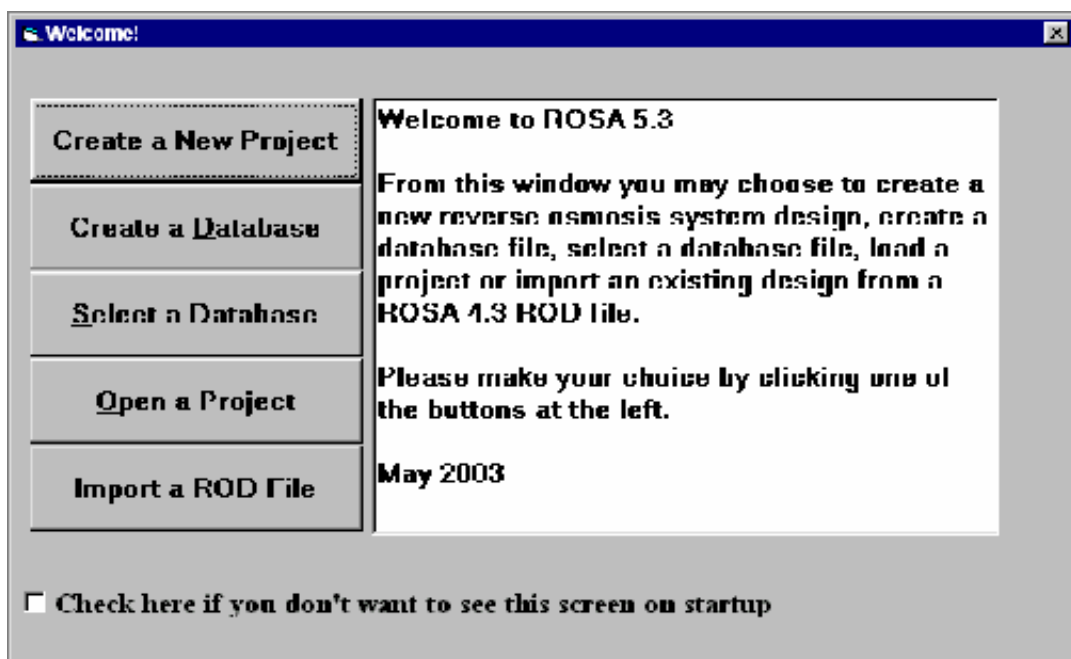
- 4) 启动后的 ROSA 5 有一个“欢迎 Welcome!”对话框，如下图所示：

- 点击“Create a New Project”按钮，即可开始设计一个新系统；

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

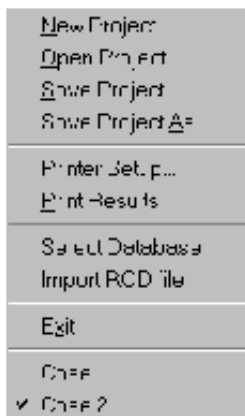
- 点击 “ Create a Database ” 按钮，即可创建一个存放计算结果的自定义的数据库；
- 点击 “ Select a Database ” 按钮，即可打开指定的存放计算结果的数据库；
- 点击 “ Open a Project ” 按钮，即可打开已经存盘过的设计结果；
- 点击 “ Import a ROD File ” 按钮，即可打开 ROSA 4.3 或更低版本的 ROSA 设计文件。这个功能是为了与低版本的 ROSA 保持兼容性。
- 选中 “ Check here if you don't want to see this screen on startup ”，则下次启动 ROSA 时，将不显示如下的欢迎对话框。



❖ 主菜单介绍 File Options Window Help

主菜单有 4 个子菜单，如上图所示。与 ROSA4.3 相比少一个 “ Edit ” 子菜单。子菜单的使用和 Word 软件类似，这里只介绍一下子菜单的特别之处。

1) 文件 File 菜单



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

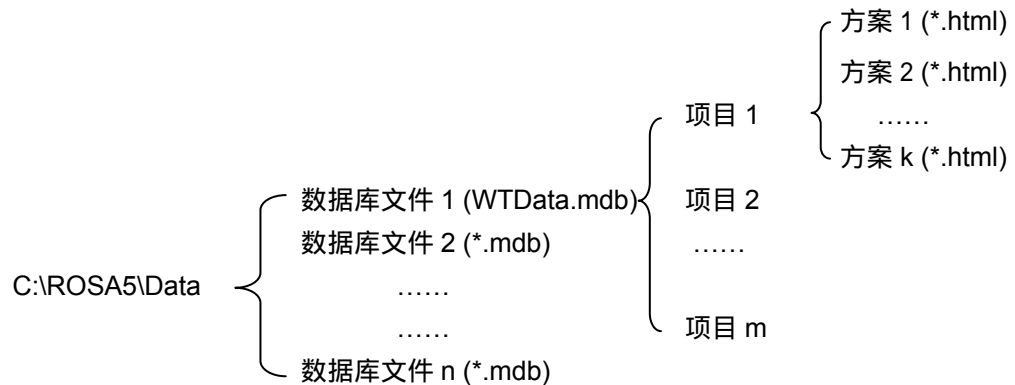
5. 系统设计

【Save Project 和 Save Project As】：是指用一个新文件名保存项目计算数据。保存成功后，有如下提示，其意思是 XYZ Power Plant 项目的计算数据已存盘了。



【Select Database】：选择数据库。

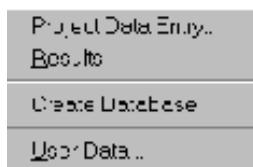
下图为 ROSA5.0 的项目计算数据存放模式。项目的设计数据都被存放在文件夹 C:\ROSA5\Data 下。不过，我们不能直接看到文件的内容，而只是看到“*.mdb”形式的数据库文件。WTData.mdb 为 ROSA5.0 默认的数据库文件。当然我们也可建立其他名称的数据库文件。



可见，在 C:\ROSA5\Data 下可包含若干数据库文件，而每个数据库文件可包含若干项目 1/2/.../m 文件，进而每个工程文件则又包含若干方案 1/2/.../k 文件。每个方案文件以超文本*.html 的形式自动存放于文件夹 C:\ROSA5\Data 下，这样用户即使没有安装 ROSA5.0 软件，也可以用浏览器 IE 或 Navigator 软件阅读设计结果。需指出的一点是，必须先方案所在的工程存盘并计算后，才能生成超文本结果文件。

【Import ROD file】：输入 ROSA4.3 或更低版本 ROSA 设计的文件。

2) 选项 Options 菜单



【Project Data Entry ...】RO 系统选择和工程数据输入界面

【Results】显示计算结果

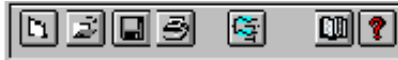
【Create Database】生成新的数据库文件

【User Data ...】用户数据文件

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

❖ 工具条介绍



设计新工程



打开已存的设计项目



计算结果存盘



打印计算结果



项目数据输入界面



显示计算结果



帮助



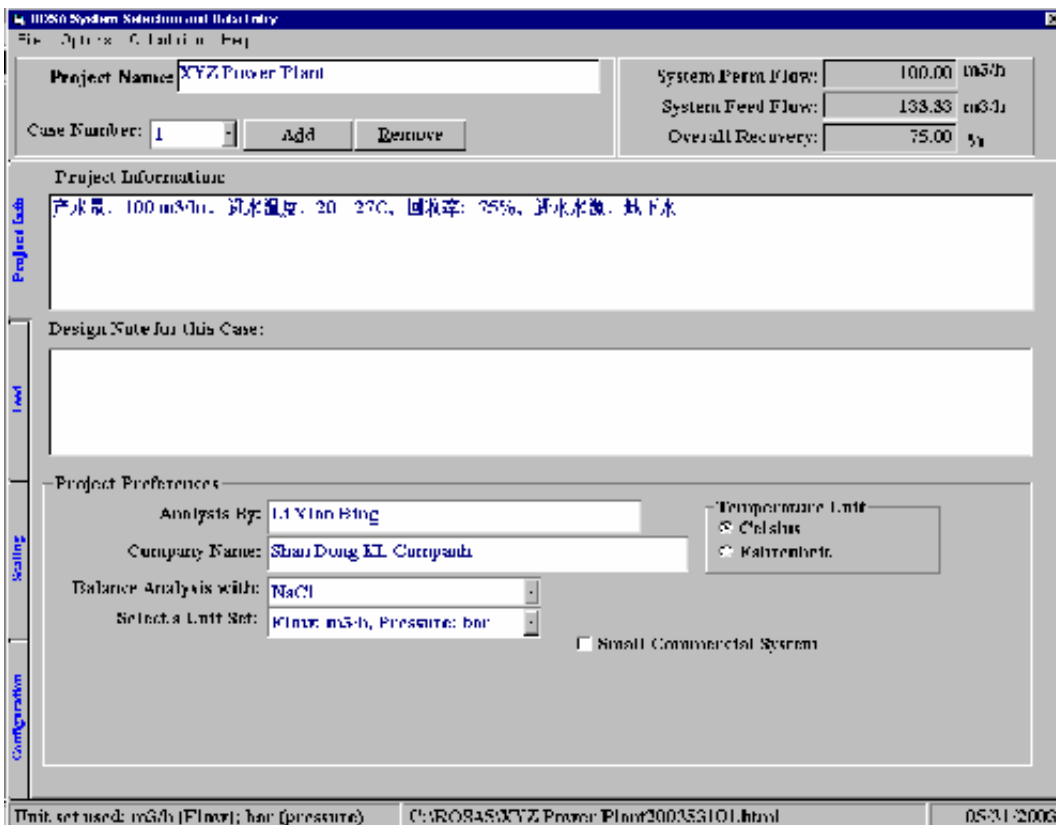
❖ ROSA5.0 操作方法

ROSA5.0 操作方法有两种：菜单操作和图标操作。用户可以选择自己喜欢的操作方式。

❖ ROSA5.0 主要界面---RO 系统选择和项目数据输入界面

项目数据输入界面实际上由 4 个子界面组成：

- 项目基本信息界面(Project Info)
- 给水水质输入界面(Feed)
- 结垢计算界面(Scaling)
- 系统排列布局界面(Configuration)。进行反渗透设计计算必须通过该界面完成。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

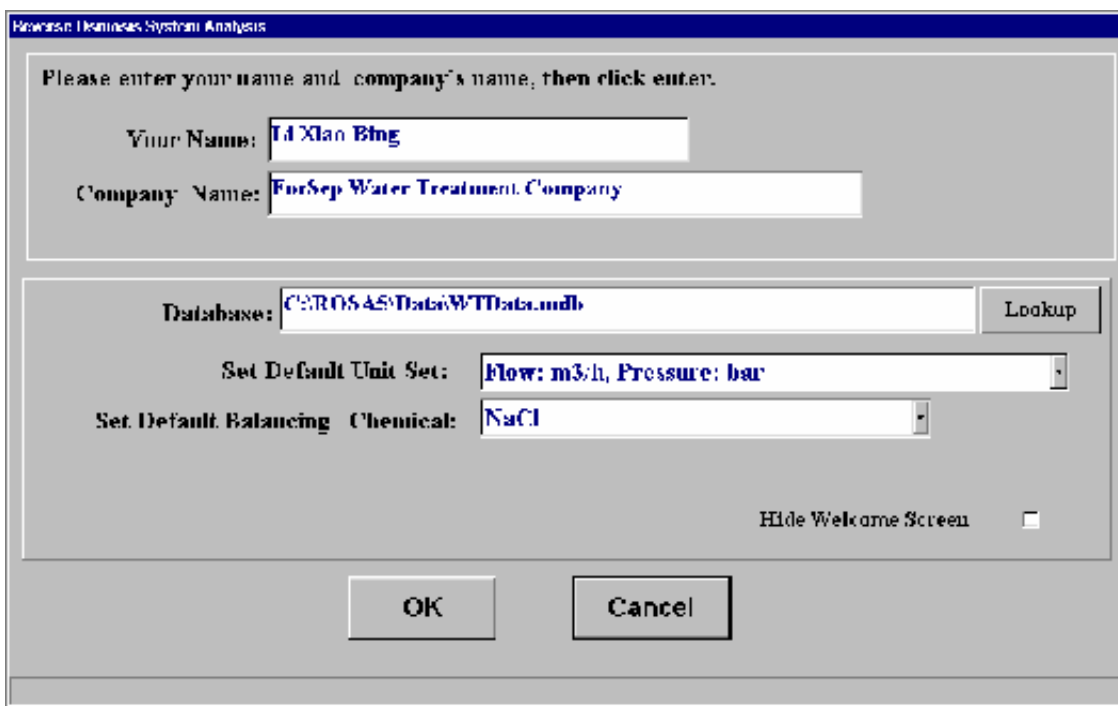
一般，按 Project Info⇒ Feed⇒ Scaling⇒ Configuration 的顺序逐步输入数据即可。这里需强调的一点是，不论何时设计一个工程项目，都不要忘了先输入工程的名称，否则在 Configuration 界面上无法进行设计计算，表现为计算按钮“Perform Calculation”显示灰色。

5-10.4.3 ROSA 5.0 使用方法

❖ 用户第一次使用 ROSA5.0 时


当新用户第一次使用 ROSA5.0 时，很有必要对用户基本数据进行设置，诸如设计者名字、公司名称、默认数据库、单位制、水质平衡所用的药品等。方法如下：

从 Options \ User Data...菜单进入如下所示的设置界面，并进行相应的修改，点击“OK”按钮即被保存与记录下来，将在最后的计算结果中自动显示用户信息。



❖ 四步设计模式

熟悉 ROSA4.3 的用户可以很容易地学会使用 ROSA5.0 的四步设计模式。所谓四步设计模式，是指用户在进入 ROSA5.0 的系统选择和数据输入界面以后，进一步分别进入项目信息、给水分析、结垢计算、系统排列布局四个界面，输入软件设计所需的参数，从而得到计算结果。操作步骤如下：

- 1) 从菜单 Options \ Project Data Entry...或按钮进入 RO 系统选择和项目数据输入界面(ROSA System Selection and Data Entry)。
- 2) 在“Project Name:”输入框中输入项目名称。如果同一个工程项目将要考虑多种方案，可在设计方案编号显示框“Case Number”后面通过点击“Add”和“Remove”按钮增减方案。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

3) 如前所述，按 Project Info⇒ Feed⇒ Scaling⇒ Configuration 的顺序逐步输入数据即可。从一个界面转到另一个界面的方法是单击各个界面左侧的兰色文本标签即可。在 Feed 界面上，选择对应的给水类型十分重要。如果没有详细原水水质分析报告(即具体的离子浓度)，仅仅根据总含盐量 TDS 进行设计计算的话，则被禁止进入结垢计算界面，这同时也是对设计者一种提醒警报，因为良好的设计总是需要有详细全面的水质分析作为设计依据。

❖ 手工计算校核

用户可以对 ROSA5.0 的计算结果进行手工校核。在设计 RO 系统时，每一元件的平均通量(产水量)、元件个数、压力容器个数可照下述公式计算：

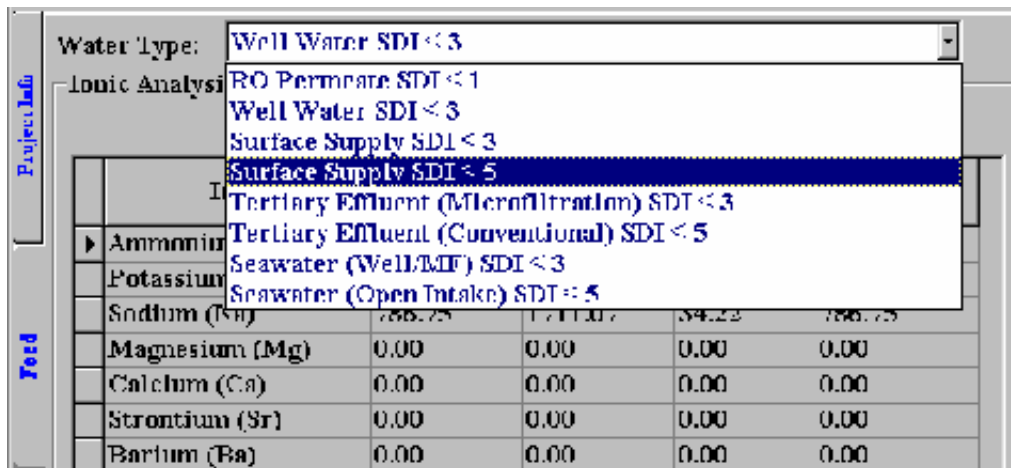
- 1) 单根元件平均通量($F_{平均}$) = 单根元件最大通量($F_{最大}$) × 0.75
- 2) 单根元件平均产水量($Q_{平均}$) = 单根元件最大产水量($Q_{最大}$) × 0.75
- 3) 元件个数(N_E) = RO 系统产水量($Q_{系统}$) / 单根元件平均产水量($Q_{平均}$)
- 4) 压力容器个数(N_{pV}) = 元件个数(N_E) / 每个压力容器可放元件数

单根元件的最大产水量可从本章 FILMTEC 膜系统设计导则中获得。

5-10.4.4 ROSA 5.0 使用要点

❖ 选择水质类型的重要性及其与设计导则的关系

在用 ROSA5.0 进行系统设计时，需要讨论一下从下图所示的水质中选择一种合适水质类型的问题。



选择进水类型对 ROSA 设计来说十分重要。每一种水质都对应着不同的设计报警值。从 RO 的产水(SDI<1)，到井水(SDI<3)，到传统过滤地表水(SDI<5)，到海水(SDI<5)，到三级废水(SDI 波动大，4~6)，水质逐渐变差，故其报警值也渐趋严格。进水为 RO/UF 产水的报警值最为宽松，三级废水的报警值最为严格。但是当三级废水或海水经微滤预处理后，报警值稍放宽。

有关每一种水质的报警值，可参阅 FILMTEC 膜系统设计导则。该设计导则不仅对设计过程来讲是十分重要的经验总结，同时对膜系统的运行来讲也是十分重要的参考标准。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

❖ 用 TDS 或 DD 设计简单的小型系统

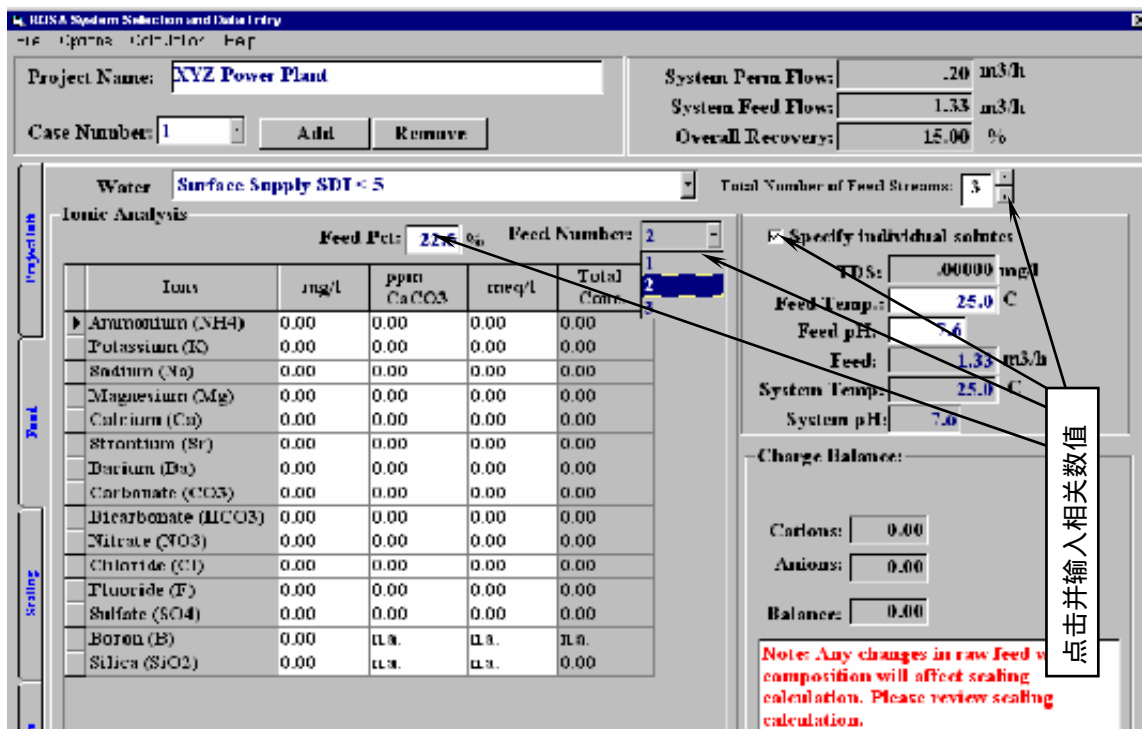
原则上，只要是设计 RO 系统，不论系统容量大小，都应该进行完整的水质全分析。但在大系统的论证初期或小型系统中，ROSA5.0 允许用户用 TDS 参数估算 RO 系统的排列结构。或者，如果用户知道给水的电导率 DD($\mu\text{s}/\text{cm}$)，也可用如下公式折算成 TDS(ppm)。

- 当 $DD < 10 \mu\text{s}/\text{cm}$ 时， $TDS(\text{ppm}) = 0.5DD(\mu\text{s}/\text{cm})$
- 当 $DD = 300 - 800 \mu\text{s}/\text{cm}$ 时， $TDS(\text{ppm}) = 0.55DD(\mu\text{s}/\text{cm})$
- 当 $DD = 45,000 - 60,000 \mu\text{s}/\text{cm}$ 时， $TDS(\text{ppm}) = 0.70DD(\mu\text{s}/\text{cm})$
- 当 $DD = 65,000 - 85,000 \mu\text{s}/\text{cm}$ 时， $TDS(\text{ppm}) = 0.75DD(\mu\text{s}/\text{cm})$

用 TDS 估算 RO 排列时，因为没有向 ROSA5.0 提供任何具体离子的浓度，那么 ROSA 将忽略结垢计算。

❖ 多个给水水源的系统设计

一般来讲，水处理系统的进水水源只有一个，所以绝大多数时候为单水源设计。但是，倘若用户碰到多水源时怎么办呢？ROSA5.0 允许用户同时使用多个水源(这里没有作出具体限制，而 ROSA4.3 最多允许 3 个)。用户只需分别输入每个水源的流量(m^3/h)、该水源在总流量中所占的比例(%)、水源温度以及具体的离子浓度，即可得到一个混合后的水质，然后进行系统设计。与单水源设计相比，多水源设计的给水水质输入界面基本相同，只需更换水源的编号 1/2/3...；结垢计算及系统排列结构界面是完全一样的。



❖ 原水投加酸/碱调节 pH 值

在系统设计中，投加酸/碱对系统给水进行 pH 值调节，有时十分必要。在水处理中，投酸/碱的主要目的为抑制碳酸钙水垢或改变某些组分的形态以提高/降低该组分的脱除率等。如果想对进水投酸/碱调节 pH，则必

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

须进入结垢计算界面，在“Scaling Calculation Options”功能块中选中“User adjusted pH Values”；否则，应选中“No Chemicals Added”。结垢计算界面如下图所示。

Project Name: XYZ Power Plant

System Perm Flow: 100.00 m³/h

System Feed Flow: 133.33 m³/h

Overall Recovery: 75.00 %

Scaling Calculation Options:

- No Chemicals Added
- User Adjusted pH Values
- Ion Exchange Softening

Messages:

Antiscalants are required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.8	7.8	8.4
LSI	0.491	0.491	2.239
Stiff & Davis Index	1.039	1.039	2.287
TD6 (mg/l)	632.20	632.20	2,529
Ionic Strength (molal)	0.012	0.012	0.0479
HCO ₃ (mg/l)	334.89	334.89	1339.56
CO ₂ (mg/l)	8.17	8.17	8.17
CO ₃ (mg/l)	0.48	0.48	1.92
CaSO ₄ (% Saturation)	1.38	1.38	12.17
BaSO ₄ (% Saturation)	.0	.0	.0
SrSO ₄ (% Saturation)	.0	.0	.0
CaF ₂ (% Saturation)	2.26	2.26	86.23
SiO ₂ (% Saturation)	19.66	19.66	56.41

Recovery: 75 %

Temp.: 25.0 C

Used In Calculation:

- Original Feed
- Adjusted Feed

Dosing Chemical: HCl

pH: 7.8 GO

Concentrate LSI: 1.8 GO

4. 输入目标 pH 值或 LSI 值，一般输入目标 LSI 值

5. 然后点击 GO 调节进水 pH

如果计算结果表明系统有结垢的可能时，则会在“Messages:”框中出现一个红色文本报警提示：“系统需加阻垢剂。请咨询阻垢剂供应商有关加药及系统最大允许回收率事宜”(Antiscalants are required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery)。如果没有任何结垢的可能，则不会出现该报警框。

❖ 污堵因子(Fouling Factor, 简称 FF)的意义及怎样选值

污堵因子(Fouling Factor)，其物理含义为：膜面被部分污堵后，尚未被堵的有效通水膜面占总有效膜面积的比例。比如：对井水来讲，选用苦咸水膜时，其三年后的污堵因子(FF)推荐值为 0.85，如下表所示。我们可以形象地将其理解为：膜面被堵面积占 15%，未堵面积占 85%。也就是说，平均每年的污堵面积约为 5%。实际上，不应将 FF 理解成一个固定值。对于某种具体水质而言，实际的 FF 可能稍大于也可能稍小于推荐值。所以，FF 的推荐值是一个经验值。用户应该注意的是，预处理越完善，给水 SDI 越小，则实际的 FF 越大。当人为改变 FF 时，其最直接的影响是，RO 系统的给水压力及其他部位的压力都会发生相应地变化，从而引起其它运行指标也发生变化。间接地影响给水高压泵的选择。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

污堵因子的选择

运行年数 (年)	0	1	3	5
海水(沉井取水)	1.0	0.85	0.80	0.70
海水(表面取水)	1.0	0.75	0.70	0.60
苦咸水(深井水)	1.0	0.95	0.85	0.80
苦咸水(地表水)	1.0	0.9	0.8	0.75

The screenshot shows the ROSA System Selection and Data Entry software interface. It includes a menu bar (File, Options, Calculation, Help) and a project information section with fields for Project Name (XYZ Power Plant), Case Number (1), System Perm Flow (100.00 m3/h), System Feed Flow (133.33 m3/h), and Overall Recovery (75.00 %). The main configuration area is divided into sections for Pass 1 and Stage 1 in Pass 1. Annotations in red boxes point to various fields and buttons, such as '输入相应进水 FF 值和水温' (input fouling factor and temperature), '系统级数输入框' (system stage input box), '点击下拉菜单选择第几段' (click dropdown menu to select stage), '输入产水量、回收率' (input production and recovery), '段选择按钮' (stage selection button), '该段产水憋压和进水升压' (stage production backpressure and inlet pressure), '各段设置不同产水憋压选项' (set different backpressure options for each stage), '显示所选元件性能' (display selected element performance), '设计运算按钮' (design calculation button), '元件通量值' (element flux value), '部分浓水回一段选择' (select partial concentrate return to stage), '输入浓水回流流量值' (input concentrate return flow rate), '系统浓水' (system concentrate), '红色代表输入该段外壳及元件排列参数' (red represents input parameters for this stage housing and element arrangement), '系统总产水' (system total production), '段内压力容器数' (number of pressure vessels in stage), and '压力容器元件数' (number of pressure vessel elements).

❖ 允许在同一级系统不同段内分别选择不同类型的元件吗？

允许。在实际系统设计时确有希望同一级内各段分别选用不同型号元件的需求。为了使 ROSA 能在同一级内接受不同类型的元件，只需在上述 **Configuration** 界面上，选中“Use the Same Element in the pass”，即表示强制在同一级内选用相同类型的元件；否则，复选框内不作选择，表示允许在不同段内使用不同类型的元件，请参阅上图说明。

❖ 何时需要对每一段产水憋压？

设置产水憋压的目的是促使段间产水量分配更趋均匀，优化前后元件的运行状态，设置方法请参阅上图说明。在选用超低压元件、进水水温较高或废水回用等易于出现前后产水量很不均匀的系统，常常需对最前面一段或几段产水憋压。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

在产品水憋压设置的过程中，应注意以下要点：

- 第一，任何情况下，憋压后产水压力最高不得超过进水与浓水压力值 0.3 bar；
- 第二，启动时，应确保“先升进水压力，后进行产水憋压”，停机时，“先泄产水憋压，后降低进水压力”，谨防背压(背压定义为产水压力与进水或浓水压力之差)造成复合层的剥离，破坏膜性能；
- 第三，整个系统最好设置多路电源，以防备紧急停电；
- 第四，系统应设置防止背压破坏的逆止阀和产水压力泄放通道。

❖ 浓水再循环有什么好处？

在小型系统中，一方面，用户希望提高系统的回收率；另一方面，提高回收率又使设计人员面临单元件运行指标超过设计导则的困难。在这种情况下，对系统设置浓水再循环，可解决回收率提高和元件运行指标超标的矛盾。由于废水处理的设计导则值最为严格，故设计时元件的运行指标也容易超过设计导则。因此，在废水处理中，根据需要设置浓水再循环，对减轻元件的污堵，有着重要的意义，虽然设置浓水循环，会降低系统表观脱盐率，但有利于系统长期稳定的运行。在 **Configuration** 界面上，选中“Recirculation in Stage:”复选框，如上图所示，即可进行浓水再循环的设计。

❖ 何时设置段间增压泵？

当进入最后面段的给水压力不够而导致段间产水量严重不匀时，设置段间增压泵就变得十分必要。

The screenshot shows the ROSA System Selection and Data Entry software interface. Key sections include:

- Project Info:** Project Name: XYZ Power Plant, Case Number: 1.
- System Parameters:** System Perm Flow: 100.00 m3/h, System Feed Flow: 133.33 m3/h, Overall Recovery: 75.00%.
- Configuration for Pass 1:** Number of Stages In Pass: 2, Perm Flow: 100.00 m3/h, Recovery: 75.00%, Fouling Factor: 0.85, Feed Flow: 133.33 m3/h, Perm Flux: 27.31 L/m2-h.
- Configuration for Stage 2 in Pass 1:** Select a Stage in the Pass: Stage 2, Booster Pressure: 3.00 bar, Back Pressure: None bar, Same Back Pressure for all stages: checked, Number of Pressure Vessels in Stage: 6, Number of Elements in Each Vessel: 6, Total Number of Elements in Stage: 36, Product Name: BW30-365.
- System Configuration:** A diagram showing a flow path from Feed to Permeate, with a booster pump and a recirculation loop. Red annotations highlight:
 - Click on the dropdown menu to select the stage to be boosted (pointing to the 'Select a Stage in the Pass' dropdown).
 - Input inter-stage boost value (pointing to the 'Booster Pressure' field).
 - The permeate pressure of this stage input box (pointing to the 'Back Pressure' field).
 - Number of pressure vessels in the stage / Number of pressure vessel elements (pointing to the 'Number of Pressure Vessels in Stage' and 'Number of Elements in Each Vessel' fields).

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

怎样判断产水量分配的均匀性呢？

- 1) 根据 ROSA 设计结果中是否出现报警来判断；
- 2) 人为设定的标准。对 2:1 排列的大中型系统(系统回收率 75%)，当第 1 段的产水量超过总产水量的 83 %时，会有报警。这样，可以通过第 1 段的产水量是否超过 83%来判断段间产水量分配是否均匀。

当采用调整段间压力容器的配比、调整每个容器中元件的数量、调节给水的温度和增加浓水再循环等办法仍然不能消除设计报警时，设置段间升压泵成为必要的选择。其实，当段间配水比接近临界标准时，主动选用段间升压泵，这将优化前后元件的运行状态，同时也相应降低了第 1 段高压泵的参数。

可能需要设置段间升压泵的情况有：采用超低压或极低压元件的反渗透系统，纳滤膜系统，温度很高的反渗透系统，含盐量较高且变化较大的高回收率苦咸水系统及污水回用处理反渗透系统等。

❖ 如何进行二级反渗透设计计算？

本次升级的反渗透系统设计软件增加了功能十分强大的二级反渗透系统升级，既可以在级间投加化学药品(加碱)以提高第二级对二氧化碳等的脱除能力，也可以选择级间脱气，还有多种浓水回流选项，充分考虑了实际系统设计的需要。

在设计二级反渗透时，可先从第二级输入元件排列和产水量与回收率目标值，然后再向第一级输入设计数据，参见如下图解：

The screenshot shows the ROSA System Selection and Data Entry software interface. Key fields and annotations are as follows:

- Project Name:** XYZ Power Plant
- System Perm Flow:** 85.00 m3/h
- System Feed Flow:** 133.33 m3/h
- Overall Recovery:** 63.75 %
- Dosing Chemical:** NaOH
- Adjusted pH:** 8.00
- Configuration for Pass 2:**
 - Number of Stages In Pass: 2
 - Recovery: 85.00 %
 - Feed Flow: 100.00 m3/h
 - Perm Flux: 32.14 L/m2-h
 - Recycle Flow: 6.00 m3/h
- Configuration for Stage 1 in Pass 2:**
 - Number of Pressure Vessels in Stage: 9
 - Number of Elements in Each Vessel: 6
 - Total Number of Elements in Stage: 54

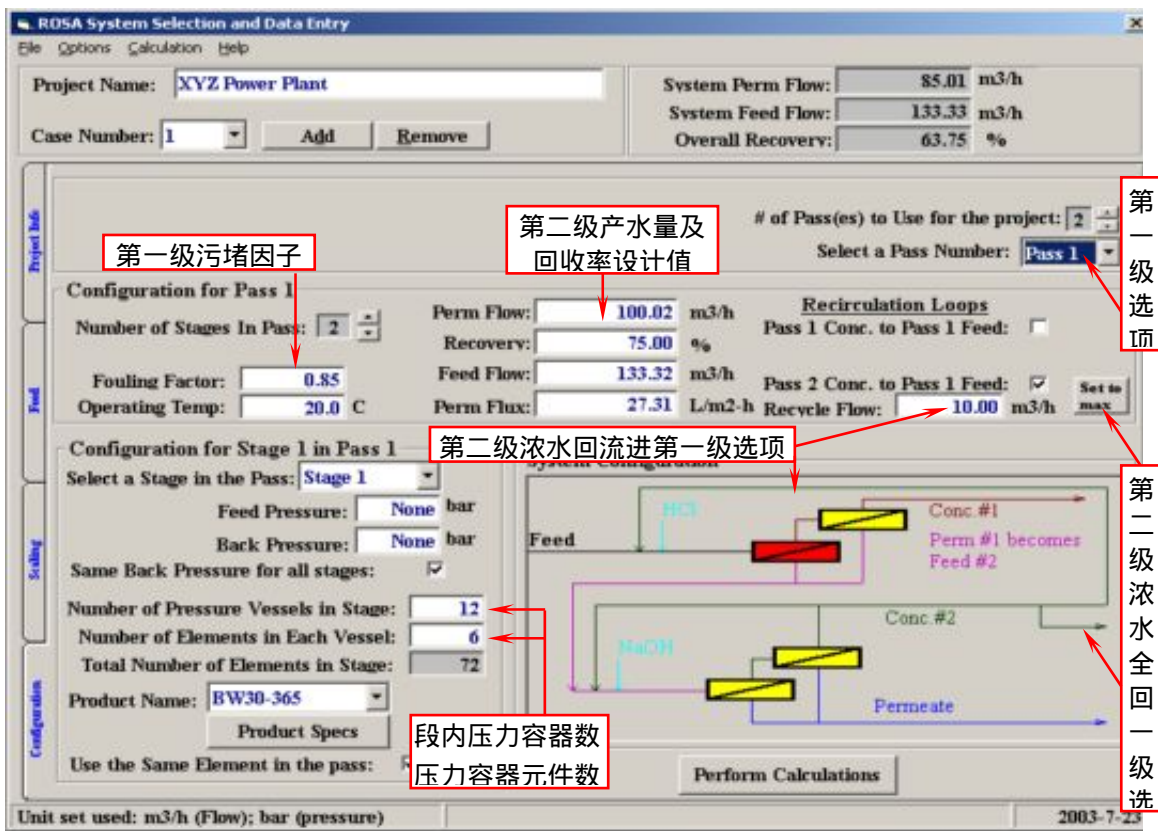
Annotations in Chinese:

- 二级污堵因子一般为 0.90 (Fouling Factor)
- 选择二级前调 pH 值 (Adjusted pH)
- 第二级产水量及回收率设计值 (Pass 2 Recovery and Feed Flow)
- 第二级浓水自循环选项及循环量 (Pass 2 Recycle Flow)
- 段内压力容器数 压力容器元件数 (Number of Pressure Vessels and Elements in Stage)
- 该段产水憋压值输入框 (Permeate field)
- 第二级选项 (Pass 2 configuration)



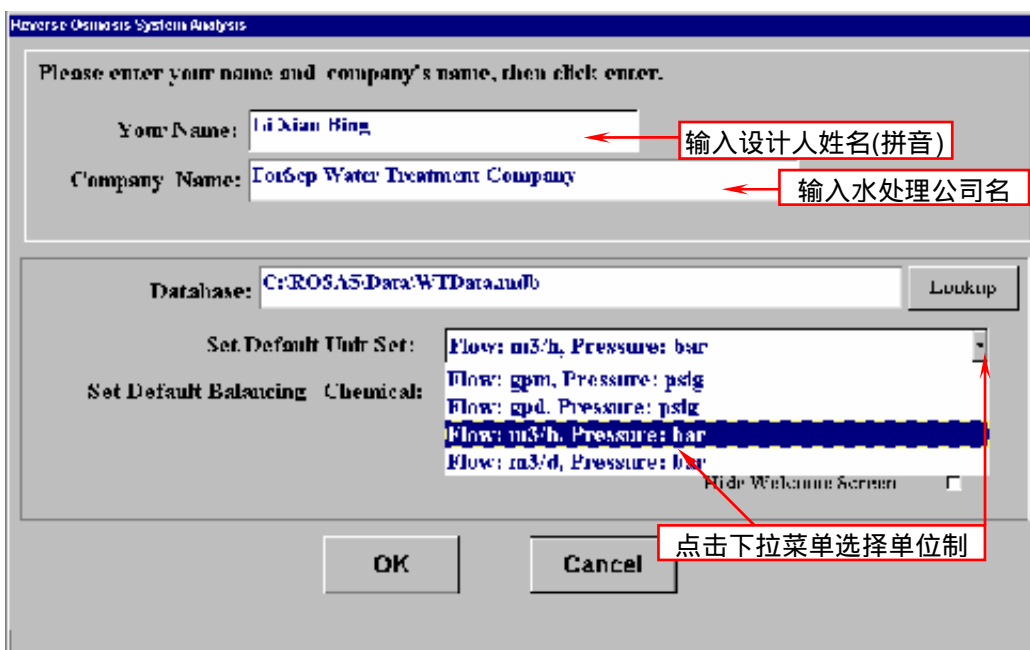
陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计



❖ 怎样选用公制单位？怎样设置冗余报警？怎样计算运行能耗？

ROSA5.0 提供 4 种单位制(2 种美制 + 2 种公制)。可根据习惯选择相应的默认单位。但是，ROSA5.0 尚无冗余报警及运行能耗的计算。在其后的升级版本中，这些功能会逐渐增加。公制单位的设置方法如下：先选中菜单“Options”，然后选中其中的“User data...”子项，即得如下对话框。





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

❖ 怎样选择膜的类型？

一个设计合理的 RO 系统首先要求选择合理的膜元件。ROSA5.0 共包含了陶氏 36 种元件，比 ROSA4.3 增加了 11 种元件。那么用户该怎样根据需要进行选择合适的元件呢？有如下选择原则。

1) 给水 TDS

<1,000mg/L	⇒XLE (最佳<500mg/L)
<2,000mg/L	⇒LP/TW30/BWLE
<10,000mg/L	⇒BW30/BW30FR (最佳<5,000mg/L)
5,000 ~ 15,000mg/L	⇒SW30 (通常>5,000mg/L)
15,000 ~ 50,000mg/L	⇒SW30HR

2) 系统脱盐率

20 ~ 90%	⇒NF200/270/90
>95%	⇒XLE/LP
>98%	⇒TW30/BW30/BW30FR/BW30LE
>99%	⇒SW30(同时进水含盐量高于以上的规定)
>99%	⇒SW30HR(同时进水含盐量高于以上的规定)

3) 给水压力

<41bar(600psi)	⇒TW30/LP/XLE/NF
<41bar(600psi)	⇒BW30/BW30FR/BW30LE
<69bar(1,000psi)	⇒SW30/SW30HR
<82bar(1,200psi)	⇒SW30HR

4) 产水流量

<0.2m ³ /h	⇒ 2.5 英寸或 4021 元件
<3.0m ³ /h	⇒ 4 英寸元件
>3.0m ³ /h	⇒ 8 英寸元件

5) 产水水质或进水水质

当产水水质要求较高时	⇒选用 BW30 低压标准元件
当产水水质要求稍低时	⇒选用 TW30LE/XLE/BW30LE/LP 极低压或超低压节能型元件
当希望产水中 TDS 较高时	⇒选用 NF 纳滤元件
当给水为废水或高污染源时	⇒选用抗污染元件
当进水为亚海水或海水时	⇒选用 SW30/SW30HR 海水元件
当浓缩回收有价物时	⇒选用 NF 纳滤元件/BW365/BW365FR/SW 元件



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

6) 希望更深入的了解陶氏纳滤、苦咸水和海水元件具体型号的选择，请参阅元件性能规格文件或咨询陶氏液体分离部代表和系统供应商。

❖ 适用 ROSA5.0 设计的元件有哪些呢？

包含在 ROSA5.0 设计软件中的元件总数为 36 种，参见下表。

TW 自来水系列	BW 苦咸水系列	SW 海水系列	NF 纳滤系列
TW30-2540	BW30-2540	SW30-2540	NF90-2540
TW30-4040	BW30-4040	SW30-4040	NF90-4040
TW30HP-4641	BW30LE-4040	SW30-380	NF90-400
XLE-2540	BW30-330	SW30HR-320	NF270-2540
XLE-4021	BW30-365	SW30HR-380	NF270-4040
XLE-4040	BW30-365FR		NF270-400
LP-2540	BW30-400		NF200-2540
LP-4040	BW30-400FR		NF200-4040
XLE-440	BW30LE-440		NF200-400
卫生级元件	卫生级可热消毒元件		
RO-4040-FF	HSRO-4040-FF		
RO-390-FF	HSRO-390-FF		

❖ 怎样升级 ROSA 软件？

为了及时免费获得最新的 ROSA 反渗透和纳滤系统设计软件的升级版本，敬请经常访问陶氏化学公司液体分离部网站 <http://www.filmtec.com/>，按照<<ROSA 设计软件下载方法>>一节介绍进行免费下载。

5-10.4.5 ROSA 5.0 设计打印结果解读

举例说明如下：

设计文件眉页

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC(TM) Membranes (软件版本)ROSA v5.3
 Project: XYZ Power Plant (项目名称) (FILMTEC 反渗透系统设计软件) (方案编号)Case: 2
 Li Xiao Bing, ForSep Water Treatment Company (设计人姓名; 水处理工程公司名称) (设计日期)03-5-28

System Summary ⇨⇨ 系统主要参数汇总

Feed Flow to Stage 1 (第一段进水流量)	312.50 m3/h	Permeate Flow (总产水流量)	250.00 m3/h
Raw Water Flow to System (系统进水流量)	312.50 m3/h	Recovery (系统回收率)	80.00 %
Feed Pressure (第一段进水压力)	14.27 bar	Feed Temperature (进水温度)	20.00 C
Fouling Factor (进水污堵因子)	0.85	Feed TDS (进水总含盐量)	952.28 mg/l
Chem. Dose (100%) (进水投药调节 pH 值)	0.00 mg/l	Number of Elements (系统元件总数)	252
Total Active Area (总有效膜面积)	9364.32 M2	Average System Flux (系统平均通量)	26.70 L/m2-h
Water Classification (原水分类)	Surface Supply SDI < 3 (本例是预处理为 UF 的高污染地表水)		



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

段内主要参数汇总

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m3/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m3/h)	Conc Flow (m3/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m3/h)	Avg. Flux (L/m2-h)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-400 FR 25	7	7	312.50	13.93	0.00	122.31	11.79	190.19	29.25	0.00	0.00	7.04
2	BW30-400 FR 11	7	7	122.50	11.44	0.00	62.50	9.43	59.81	20.90	0.00	0.00	23.82
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
段号	各段元件型号	外壳数	外壳长度规格	段前进水流量	段前进水压力	浓水循环流量	各段浓水流量	各段浓水压力	各段产水流量	各段平均通量	各段产水压力	段前提升压力	各段产水水质

系统各部分离子组成汇总

(mg/l, except pH)	Raw Water	Adj Feed	Permeate	Concentrate
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	206.60	2.84	1021.64
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	100.00	100.00	0.67	497.33
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	269.50	269.50	4.02	1316.97
CO3	0.22	0.22	0.00	8.41
NO3	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	250.00	250.00	2.89	1238.43
F	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	120.00	120.00	0.56	597.75
SiO2	6.00	6.00	0.05	29.78
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	11.38	11.38	11.72	14.09
TDS	745.72	952.28	11.03	4710.35
pH	7.60	7.60	5.76	8.20
	↑	↑	↑	↑
	原水离子组成	投药后进水成份	产水离子组成	浓水离子组成

System Warnings ⇔ 系统主要报警汇总

Design Warnings (设计报警)

-None- (无) <报警示例如下>

WARNING: Maximum element recovery has been exceeded. Please change your system design to reduce the element recoveries. (Product: BW30-400, Limit: 15.00) 【警告：超过元件最高允许回收率，请调整您的系统设计，降低元件回收率(BW30-400 元件在该进水条件下，回收率极限为：15.00)】

WARNING: Maximum recommended element permeate flow rate has been exceeded. Please change your system design to reduce the element permeate flows. (Product: BW30-400, Limit: 1.14 m3/h) 【警告：超过推荐的元件最高产水量，请调整您的系统设计，降低元件产水量(BW30-400 元件在该进水条件下，产水量极限为：1.14m3/h)】

CAUTION: The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Product: BW30-400, Limit: 3.63 m3/h) 【提醒：浓水流量低于推荐的元件最小浓水流量，请调整您的系统设计，增加浓水流量(BW30-400 元件在该进水条件下，最小浓水流量极限为：3.63m3/h)】

Solubility Warnings (溶解度报警)

Langelier Saturation Index > 0 (朗格利尔饱和指数大于零报警 ⇐⇐ 含盐量小于 10,000ppm 时)

Stiff & Davis Stability Index > 0 (斯迪夫和大卫饱和指数大于零报警 ⇐⇐ 含盐量大于 10,000ppm 时)

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery. 【可能需要投加阻垢剂，请咨询阻垢剂供应商，了解阻垢剂投加量和系统最高允许回收率】



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

综上所述，ROSA5.0 的设计打印结果由设计文件眉页、系统主要设计参数、段内主要参数、系统各部分离子组成、系统主要报警、结垢计算、段内详细参数、法律声明等八部分组成。

5-10.4.6 ROSA 5.0 与 ROSA 4.3 的比较

ROSA5.0 的界面和 ROSA4.3 的界面相比，有较大的变化。这一节将帮您了解这些变化及其优点。

- ❖ ROSA5.0 适用于所有陶氏 RO 和 NF 产品，适用的元件达到 36 种，比 ROSA4.3 多 11 种元件，而 ROSA4.3 软件不包含 NF270 和 NF200 的设计，这一点极大地方便了用纳滤作饮用水的客户。
- ❖ ROSA5.0 采用新的计算引擎以提高计算精度。具体来讲，压力方面考虑了各段管道、弯头的压力损失；溶质透过率方面，采用不同的透过系数，即常说的 B 值；压差方面，采用新的计算模型。
- ❖ ROSA4.3 主要集中于单一的计算，ROSA5.0 从工程的角度考虑更多。
- ❖ ROSA5.0 的计算结果采用了超文本格式(*.html)，这一点是一个创新，极大地方便了用户。因为用户即使没有安装 ROSA5.0 软件，也可以用 IE 或 Navigator 互联网浏览器方便地阅读计算结果。而且该计算结果的文件取名也很规则，即计算结果文件名=[工程项目名+年+月+日+方案编号].html。例如，假设一个项目取名为 Project，该工程于 2003 年 5 月 28 日设计，则其第一个方案的设计结果文件名为 Project200352801.html。
- ❖ ROSA5.0 将给水的类型分类更细，它们分别是 RO 产品水(SDI<1)、井水(SDI<3)、地表水(MF 预处理，SDI<3)、地表水(传统预处理，SDI<5)、三级废水(MF 预处理，SDI<3)、三级废水(传统预处理，SDI<5)、海水(沉井或 MF，SDI<3)、海水(开放表面取水，SDI<5)，共 8 种。而 ROSA4.3 则只分为 6 种。相应地，ROSA5.0 的设计导则也作了必要的修订，以适应微滤(MF)、超滤(UF)作为新型预处理技术的系统设计。
- ❖ ROSA5.0 提供了对低版本 ROSA 设计文件的兼容性。
- ❖ 打开 ROSA5.0，主界面上的菜单及功能按钮比 ROSA4.3 减少了，同时还显示系统排列示意图，将便于设计人员调整系统排列结构，外观更简练，功能则更强大。
- ❖ ROSA5.0 将默认允许在同一级内的不同段选用不同类型的元件。若强制软件在同一级内选用同一元件，只需选中“Use the same element in the pass”即可。
- ❖ ROSA5.0 可方便地显示元件在标准条件下的技术规范，作为元件选择的参考。用户只需点击 Configuration 界面上的按钮“Product Specs”即可。
- ❖ ROSA4.3 包含 FTNORM 标准化软件、离子交换系统的 RO 改造、教学视频文件、FILMTEC 膜技术手册、Acrobat Reader 软件等；ROSA5.0 则不再包含这些软件。这样，ROSA 的文件大小变得更小但更紧凑，集中于系统设计本身。FTNORM、膜技术手册、离子交换系统的 RO 改造等非常有用的软件或资料从 ROSA 剥离出来后，可从陶氏网站直接下载得到。
- ❖ ROSA5.0 目前尚未设置“自动设计”、“冗余报警”、“运行能耗及费用计算”、“工艺流程图的打印”、“运行参数随温度的变化曲线”等功能。这些功能不久将会嵌入到软件中。

声明：本文件出于友好的目的帮助和方便用户的设计计算，但不含任何明示或暗示的质保在内。用户有责任确定使用本文件提供的任何信息是否适合，并承担引用信息所带来的全部后果和责任。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-11 试验

对一来源和组成为清楚的一般水源的脱盐系统，其系统性能可以电脑设计软件 ROSA 很准确地预测出来，但在某些情况下，推荐经过试验来帮助获得合适的系统设计，这些试验包括：

- ❖ 无法了解进水水质；
- ❖ 无法了解进水水质的波动情况；
- ❖ 特殊或新的应用领域，例如新的过程或废水处理；
- ❖ 特殊的产水水质要求；
- ❖ 极高的系统回收率(> 80%)；
- ❖ 大型系统，> 500m³/h (3.5 mgd)。

试验通常按下列不同层次依次进行。

5-11.1 筛选试验

筛选试验的目的是为所需的分离溶液体系选择合适的膜片，同时也能大概地了解该膜的水通量(L/m²h 或 gfd)及脱除率性能。试验方法为将一小片平膜装在小型评价池中，采用错流式对试验溶液体系进行运转，此法快速、低廉且仅需少量的试验溶液，但不能提供放大所需的工程资料和溶液对该膜的长期影响，也不能提供试验溶液对膜产生污堵的数据。

5-11.2 应用试验

应用试验将提供放大设计所需的资料如产水通量和产水水质随进水压力与系统回收率的变化趋势。通常用 2540 或 4040 膜元件，试验溶液需要 50~200 升(15~30 加仑)，将膜元件安装在一套具有工程特点的应用试验评价装置上，在元件的操作极限范围内调整进水量、进水压力和进水温度。

5-11.2.1 确定操作压力

通过调节进水压力直到所需的产水水质和产水通量值(一般为 10~34L/m²h, 6~20gfd)来确定最佳的运行压力，当膜通量增加时，应维持足够的进水量，以保证低回收率(<5%)，在第一阶段的试验里，产水和浓水均返回到进水箱中去，在最佳产水通量和产水水质条件下得到的进水压力用于第二阶段的试验，第二阶段在该进水压力下确定回收率。

5-11.2.2 确定浓缩倍率和回收率

为了确定单支元件最大回收率，以分批处理的运行模式进行第二阶段的试验，此时可将产水输送到另一个水箱中而浓水回到进水箱中，在试验过程中，同时监测产水流量和水质，当产水量降到不经济的低限或产水水质降为不合格时，停止试验运行，通过初始原水体积除去残留溶液体积计算浓缩倍率(CF)，同时也可以通过原水体积减去残留溶液体积除以原水原始体积计算回收率。重复进行批处理试验，可以得到膜稳定性和污染方面的资料，但是包括清洗程序和长期性能的评估仅能通过模拟试验获得。

5-11.3 模拟试验



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

模拟试验通常取现场具代表性的部分原水以连续性模式操作，至少需要一支元件，建议长度为 40 英寸，最好选用与大型系统相同的元件排列，模拟装置的产水量至少应为该大型系统产水量的 1%且至少操作 30 天以上。其目的在于确认系统设计、对操作参数作细微的调整并减少大型系统中无法预见的风险。

5-12 系统主要部件

5-12.1 高压泵

必须控制高压泵的出口压力，既能维持设计产水量同时又不会超过膜元件最高允许进水压力，最大极限为：

- ❖ TW, BW 和 NF 元件 41bar
- ❖ SW30 和 SW30HR 元件 69bar，在某些条件下，允许使用到更高的压力。

5-12.1.1 正位移泵(柱塞泵)

正位移泵(如柱塞泵)不允许在出口采用节流阀控制其出口流量和压力，只能利用设置泵进出口之间旁路上的背压阀来控制，需要在泵出口管线上安装缓冲装置，降低压力脉动，还应设置安全泄压阀，以保证任何情况下其出口压力不超过膜元件最大允许值。

5-12.1.2 离心泵

使用安装在离心泵出口管线上的节流阀来控制其出口流量和压力，大多数膜系统使用恒转速电机驱动离心泵，使用变转速电机驱动虽然投资较高，但运行能耗低，当进水高低温差超过 5°C 时可考虑变速电机驱动离心泵。

在海水淡化系统中，一般 55~60%的高压浓水以大约 60bar 的压力离开系统，这部分能量可以加以回收以降低系统的吨水单位能耗，能量回收方法如下：

- ❖ 冲击水轮式(Pelton Wheel)
- ❖ 反转透平
- ❖ 活塞型功交换器

高压浓水引入能量回收装置后，转换成旋转机械能输出，帮助主电动机一道驱动高压泵，能量回收装置节能可达 40%左右。

5-12.2 压力容器

压力容器有各种不同直径、长度和压力等级，在选用压力容器时，所选择的压力等级必须高于因膜污染需要提高运行压力情况下的最高压力(一般要求，必须比 3 年后系统运行压力设计值高 10%)。

当运行产水侧出现的动态压力时，此时某些压力容器产水出口强度会成为制约因素，如某些采用聚氯乙烯(PVC)材质制造的压力容器，此时应咨询压力容器制造商。

5-12.3 紧急开关

当发生不正常操作状态时，必须保护膜元件，如果出现这类状况如预处理失误等，必须立即关闭设备。下表列举了一些不正常的操作情况及其处理的方法：



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

不正常情况	处理方法
进水压力太高	在高压泵出口管线上装高压保护开关
供水水压不足	在高压泵吸入口管线上装低压保护开关
进水温度太高	在进水管线上设置高温保护开关
产水压力超过进水压力 0.3bar	在产水管线上设置压力泄放安全装置
进水颗粒、胶体浓度太高	在进水管线上设置浊度和 SDI 自动控制装置
进水难溶盐浓度太高	投加酸及阻垢剂的加药泵需与高压泵电机有电子连锁 设置进水高 pH 值保护开关
进水中存在氧化剂	进水中设置 ORP 控制器或氯自动监测装置，并能自动关闭系统
进水中含有油脂	进水中设置油类监测设备

5-12.4 阀门

在 RO/NF 系统中通常使用以下几类阀门：

- ❖ 整个系统进水阀，当必须维修或保存系统时，起切断作用；
- ❖ 泵出口端(离心泵)或旁路上(正位移泵)的调节阀，用以控制操作压力，控制系统启动升压速度；
- ❖ 泵出口端止回阀
- ❖ 产水管路上防止产水压力超过进水压力的止回阀和对地压力泄放阀；
- ❖ 浓水管路上设置回收率的浓水流量控制阀(注意：不可使用背压阀)；
- ❖ 产水管线上的排放阀，用于清洗或开机时排放不合格产水；
- ❖ 进水和浓水管路(包括各段之间)连接清洗回路的阀门。

5-12.5 控制仪表

为保证 RO/NF 系统的正常操作，必须安装一些必要的仪表，仪表的准确度也相当重要，应按照制造商的规定进行仪表安装与校正。

- ❖ 压力表用于测量保安滤器的压降、泵进出口的压力、膜元件进口压力、系统段间压降和产水压力，充液的压力表应使用与膜兼容的液体如水或甘油，而不能用油脂或其它不溶于水的液体；
- ❖ 流量计用以测量浓水和产水总流量以及每一段的产水流量；
- ❖ 产水和进水管线上的水表用以记录累积的产水量及系统耗水量；
- ❖ 计时器用以记录累积的操作时间；
- ❖ 在加酸之后的进水管路上安装 pH 仪用以监控碳酸盐是否结垢；
- ❖ 电导计安装于进水、浓水和产水管线上以检测产水水质和系统表现脱盐率；
- ❖ 在进水、浓水及产水管线上(总产水及各段分产水)均应设置取样口，以便评估系统的性能表现，并建议在每支压力容器的产水出口设置一个取样口，以方便今后的故障排除。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-12.6 水箱

水箱内的的水位通常应保持在最低的水位以上，必须正确地安装水箱的进出口管线，避免水箱内有水流死角，还须对水箱采取防止尘埃及微生物污染的措施，特别严格的使用条件下，要求水箱为密闭型，并设置特制的水箱呼吸过滤器。

5-12.6.1 原水水箱

当用氯进行原水处理时，该水箱必须提供 20 ~ 30min 的反应时间，介质过滤器内的自由空间也可起这样的作用。原水水箱还常常起到缓冲作用，以便 RO/NF 系统在滤器反洗期间仍可连续运行。系统的操作模式为分批或半分批时，总是需要有原水水箱。

5-12.6.2 产水水箱

当产水为所需的产品时，一般需要设置产水水箱，系统的起动与停机均与产水水箱的高低液位相连锁。RO/NF 系统的处理量与产水水箱的大小应作适当的设计，使得系统可以连续运转几小时。系统停机的频率愈低，则系统的性能表现愈佳。

5-12.6.3 产水回吸水箱(drawback tank)

当系统停机时，因自然渗透的作用，产水将从膜背面的产水侧返回穿过膜进入膜正面的浓水侧，设置产水回吸水箱(drawback tank)的目的是为产水管线提供足够的回吸所需的水量，一般容积较小，一般在海水淡化系统而不是在苦碱水系统中需要。未设置产水回吸水箱时，将可导致将空气吸入膜元件内，这可能会引起以下的问题：

- ❖ 空气中的细菌及真菌将污染膜的产水侧；
- ❖ 当下次开机空气从系统中强行排出时，水力与空气的冲击将损坏仪表并影响其设定值；
- ❖ 膜元件内的膜片将因失水而干燥(水通量的损失)；
- ❖ 如进水呈还原状态且含有 H_2S ， Fe^{2+} ， Mn^{2+} 等，空气的侵入可能会导致膜氧化和胶体沉淀污染。

假如系统的产水已经过加氯处理，则必须使加氯过的产水不会回吸到膜元件内。如果设计产水回吸水箱，其中的产水水位必须高于压力容器的最高点，但不可超过系统最低压力容器 3 米。为避免造成污染，产水由回吸水箱的底部进入，而由上方流出，而且回吸水箱应该有盖，如果要求产水进行加氯后处理，则加氯点须在此水箱之后。

产水回吸水箱容积大小可按下式计算：

$$V_{DBT} = (25T_E) - V_{PP}$$

式中： V_{DBT} = 回吸水箱容积(公升)

T_E = 系统使用元件数

V_{PP} = 压力容器与产水回吸水箱间产水管线的体积(公升)。

5-12.6.4 加药箱

对进水进行投药处理时，必须设置加药箱，其容积一般为一天的药剂使用量。

5-12.6.5 清洗水箱



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

属于清洗系统设备的一部份，详见清洗与消毒部分的介绍。

5-12.6.6 可选设备

各种可选设备及其特点对于系统的操作和监控是有帮助的：

- ❖ 停机后的系统自动冲洗装置采用经预处理过的原水或直接用产水冲洗膜元件的浓水侧。当预处理投加抗垢剂时，必须设置系统停机自动冲洗装置；
- ❖ 报警装置
 - 1) 高产水电导；
 - 2) 高浓水电导；
 - 3) 低进水 pH 值；
 - 4) 高进水 pH 值；
 - 5) 高进水硬度；
 - 6) 高进水温度；
 - 7) 低加药箱液位。
- ❖ 连续纪录装置
 - 1) 进水温度；
 - 2) 进水 pH 值；
 - 3) 进水及产水电导；
 - 4) 进水 SDI 值；
 - 5) 进水 ORP 值；
 - 6) 进水、产水及浓水压力；
 - 7) 进水及浓水流量。

在完美的理想设计中，应安装一套能在线实时记录与处理系统所有重要操作数据的监控装置。

- ❖ 具有保证系统安全操作的自动控制装置和马达起动装置，包括过滤器自动反洗、膜元件自动清洗及系统自动低压冲洗。
- ❖ 压缩空气系统，包括空气压缩机、空气干燥器、空气控制站及整套空气管路。
- ❖ 1~2 年操作备品备件。
- ❖ 通用及专用工具。
- ❖ 其它选择包括系统操作培训、监督及维护。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-13 材质选择和腐蚀控制

从腐蚀的观点来看，RO/NF 系统的运行环境普遍比较恶劣，因此其建造材质须具备相当程度的抗腐蚀性，包括暴露于有飞溅、潮湿和含盐雾中的设备外表面及接触不同水质的系统内表面。

如果不低估外表面的腐蚀问题时，一般采用表面涂层(如油漆或镀锌等)对可能会腐蚀的材质如低碳钢和铸铁做防腐处理，或建立一套定期冲洗、清洗和补漏等维修计划。

选择内部与溶液接触的材质才是一件更复杂的工作，所选用的材质除了必须承受系统的运行压力、振动及温度等变化之外，还须能够抵抗进水及浓水中的氯离子的腐蚀，产水低 pH 值对管路的腐蚀以及膜清洗化学药品的腐蚀等。腐蚀产物会造成膜的污堵，加快膜的非正常降解，因此从预处理系统开始，设计者一定要重视防备系统所有过流部分的腐蚀问题，必须选择由耐腐蚀材料制作的管道、仪表、阀门、水泵、过滤设备、水箱和储槽等。根据不同部件的使用特点以及原水和产水水质的特点，可使用塑料、不锈钢、钢衬胶或钢衬塑和玻璃钢复合材料等。

就反渗透和纳滤本体而言，高压泵、高压管路及保安滤器材质均应选用不锈钢，而产品水输送管和储槽一般采用非腐蚀的优质 PVC、UPVC、ABS 工程塑料和玻璃钢复合材料等，而选择衬胶管线通常不是现实，因为膜系统本体通常采用紧密的管线设计，而且需要使用不少的联接件与配件。

不锈钢的基本优点是对一般腐蚀具有很好的抵抗力。不锈钢很少产生电流腐蚀和应力腐蚀破坏，但不锈钢却容易发生点蚀和缝隙腐蚀，点蚀代表金属受到局部侵蚀，在其表面上造成凹陷孔洞，如果氧化铬钝化层被破坏，氯离子就会攻击裸露的金属形成点蚀。缝隙腐蚀与小孔、垫片表面、沉积物周围以及螺丝下的裂缝等处的一小撮静止水所导致的点蚀有关。为避免发生膜系统高压管路的点蚀及缝隙腐蚀，建议如下：

- ❖ 在一般水源条件下，可以选用 AISI304 材质的不锈钢(国内相似组成的不锈钢材质为 SS321，0Cr18Ni9 或 1Cr18Ni9Ti 等)
- ❖ 当原水含盐量在 2,000 ~ 5,000ppm 时，建议选用含碳量小于 0.08% 的 AISI316 不锈钢；
- ❖ 当原水含盐量在 5,000 ~ 7,000ppm 时，建议选用含碳量小于 0.03% 的 AISI316L 不锈钢；
- ❖ 当原水含盐量在 7,000 ~ 30,000ppm 时，建议选用含钼量为 4.0 ~ 5.0% 的 904L 不锈钢；
- ❖ 当原水为含盐量在 32,000ppm 以上的海水时，建议选用含钼量大于 6.0% 的 254 SMO 不锈钢；

不锈钢组成如下：

项目	UNS No.	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Cu %	N %
AISI 316	S 31600	< 0.08	16.0 ~ 18.0	10.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0	--	--
AISI 316L	S 31603	< 0.03	16.0 ~ 18.0	10.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0	--	--
904L	N 08904	< 0.02	19.0 ~ 23.0	23.0 ~ 28.0	4.0 ~ 5.0	1.0 ~ 2.0	--
254 SMO	S 31254	< 0.02	19.5 ~ 20.5	17.5 ~ 18.5	6.0 ~ 6.5	0.5 ~ 1.0	0.18 ~ 0.22

除了上述建议外，在设计与加工时还应注意：

- ❖ 尽量减少管路缝隙及死角；
- ❖ 高压管道设计流速须高于 1.5 m/s；
- ❖ 焊接应采用内外惰性气体保护焊，如氩弧焊，
- ❖ 焊前还应对焊接处作清洗干燥处理，焊后作热处理；
- ❖ 酸洗并钝化管线；
- ❖ 停机前用低含盐量原水或 RO 产水冲洗置换浓水。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-14 便于今后排除系统故障的设计建议

当设计或购买大型膜系统时，为有利于今后进行故障排除，有些设备设计和附件应该包含。根据系统的规模和复杂程度，您应该与系统供应商讨论本节的部分或全部的建议。就系统的基本操作而言，这些均不是完全必须，但是所有这些内容能使日常操作和故障的排除更容易、更迅速、更有效。

5-14.1 装卸及故障排除空间

即使膜系统已经足够的紧凑，人们常常还想采用更加密集的方式布置设备、管道和支撑件，以致于达到十分拥挤的程度，限制了操作和维修时接近膜系统。良好的设计应该使操作和维护人员能无障碍地接近所有压力容器的进水和浓水端，从事元件装卸和故障排除。当装填元件时，压力容器进水端与最近的设备或支撑件间至少必须有一支元件的长度，当取出元件时，通常还需更多的空间，以便于使用木板或其它的工具将元件推向压力容器的浓水端。

5-14.2 设有能探测单支元件和单个压力容器的取样接口

当进行元件的故障排除时，第一步总是试图确定问题的所在部位，某一段，某一压力容器甚至某一支元件，在所有的压力容器产水出口处设置取样口非常有助于这些操作，取样口要能让单元件探测管通过。应设置专门的进水、浓水和段间取样点，便于将问题锁定在某一级，并便于作系统质量平衡，确认流量测定仪表的准确性和设定最大系统回收率。

5-14.3 段间性能监视仪表

除了简单的取样口外，系统完善的下一步是方便采集数据、进行系统性能的标准化，与投运初期的系统基准性能作比较。这就要求在系统段间安装合适的仪表测量段间进水、浓水和产水的电导或 TDS、压力、温度和流量，在获得这些数据后，每段的性能都能检测，从分析标准化数据就能在早期诊断故障，虽然通过系统的质量平衡计算可减少一些仪表的设置，但是配全仪表再作质量平衡，可以检验数据的一致性，同时还监视了仪表的可靠性。

5-14.4 在线标准化

按照系统跟踪的概念，最高级别的做法是用在线仪表将采集的现场数据不断地传输给标准化程序，进行连续的标准化。对特大型或进水条件不断变化的系统，理应设置在线控制。

5-14.5 每段能够单独清洗

许多大中型系统配有在线清洗系统(CIP)，这一设计建议必须考虑配置足够的管路和阀门，以便对系统的每一段单独进行化学清洗，这一做法无疑将使清洗操作更为有效。如果多段同时清洗，第一段的污浊物、生物污染物和无机结垢物在从系统清除掉前必须经过下一段，降低了清洗效率，在线清洗系统还须为清洗提供合适的流量并设有加热清洗液的部件。

5-14.6 能够进行产水冲洗

减低清洗频率的一种配置是为系统设置定期产水清洗，通过循环反渗透产水进行产水冲洗或使产品水高流量通过系统，能够在污染层粘附膜表面前松动它并将其从膜元件内冲出。在处理废水时，设计带有产水自动冲洗功能特别重要。

* 陶氏化学公司商标



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5. 系统设计

5-14.7 SDI 测量装置及其测量点

最重要的系统预处理诊断工具是拥有和使用 SDI 仪表，就象能够探测单支元件和单个压力容器就可以锁定潜在的膜装置故障那样，在预处理部分设有测量接口并配置 SDI 仪就能迅速地锁定预处理故障点的位置。

5-14.8 现场试验台

如能够在水处理现场开展一些实验室工作就意味着能够进行水质跟踪分析，特别有利于预处理化学药品的投加。

5-14.9 单元件测试装置

能够在水处理现场进行单元件的试验确实很有意义，被怀疑有问题的元件可以得到迅速地测试和判断其性能好坏，此外，在对整个工厂进行清洗前，拟采取的清洗策略可从单个污染元件的清洗进行试验和印证。

条件允许时，对于使用标准 8 英寸规模大于 500 支膜的系统，尤其是进水为复杂水源、废水或浓缩分离体系，建议设置能同时清洗和评价一支压力容器内膜元件数的单元件装置(例如选用的压力容器为六芯装，就应设置六支单芯装压力容器组成的清洗评价装置)，以便操作者探索最适宜清洗条件，或对污染严重的系列连续地取出每支压力容器内的元件，单独平行清洗，最大限度的恢复膜元件的性能。