



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

第 10 部分 应用技术文献

10-1 赢得膜污染挑战的胜利

1. 前言

以聚酰胺作分离功能层的超薄复合反渗透膜已经迅速地促进了反渗透技术的发展，成为水净化技术中非常经济有效的一个化工单元操作。结构紧凑的卷式膜元件已经历了革新性的发展，膜元件（组件）的产水量也得到大幅度地提高。由于反渗透技术得到广泛接收，拓宽了膜在各种领域的应用，包括在处理富含微生物水源上的应用。许多从事膜微生物表面污染的研究人员认为：生物膜形成起源于元件膜表面对生物物质的分子吸附，已经证明与下列的关键参数有关

- | | |
|---------------|------------------------|
| — 原水的水源和细菌的种类 | — 预处理方式 |
| — 膜表面 | — 各种无机颗粒 |
| — 膜化学 | — 操作参数，如进水压力、通量、回收率和温度 |
| — 水中的营养物质 | — 其他特殊现场条件 |

生物污染对反渗透（元件）的影响如下：

- | | |
|--------------------|--------------|
| — 膜通量降低或损失，导致产水量下降 | — 降产水水质降低 |
| — 压差增加引起能耗增加 | — 膜元件的使用寿命缩短 |
| — 化学清洗频繁引起操作成本增加 | |

2. 生物膜在超薄反渗透复合膜表面和元件其他部位形成综述

前蒙大拿州立大学教授 William G.Characklis 描述过微生物污染是不希望的微生物累积沉淀于膜表面的结果。生物污染膜是由活的或死的微生物的有机体组成，并且包裹在微生物自身产生的聚合物内，这些有机体为微生物分泌的多糖物质（多糖的衍生物）。

原水中的细菌种类（菌株）和数量（浓度以 CFU/mL 表示）取决于水源。世界上的反渗透系统通常使用的水源为地表水、井水、海水、水库水及废水。本文不是罗列或描述各种细菌繁殖而形成生物污染膜的文献，通过研究文献资料可知，细菌的种类、活细菌和死细菌的含量，营养物质含量和水温等，所有这些因素对生物污染的形成均有重要的影响。研究表明大多数含多聚糖衍生物的微生物利用碳氢化合物作为其碳源和能源，利用铵盐或氨基酸作为其氮源。根据这一事实，有些膜的化学组成在适宜的条件下有时会促进 RO 膜表面生物污染膜的形成。分析受微生物污染的 RO 膜元件表明：膜表面或进水网格材料上存在粘泥层，因而在进水网格材料上累积微生物污染的现象，提醒人们提出了几何形状对微生物污染物的聚集有重要影响的假设。

自 1995 年下半年起，进行 RO 膜生产和工艺开发的同时，陶氏公司在聚合物化学、微生物学、分析化学领域的研究专家，会同 FilmTec 公司膜科学家，形成了膜抗污染发展评估方法，以各自的角度和方法了解生物污染。这些工作和已发表的文献表明：要开发一种性能优异的、比标准膜使用寿命长的抗污染的膜，必须考虑以下方面：

- 如何减少蛋白分泌物质的吸附？



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

- 如何降低由范德华力和静电吸引力（即 ξ 电位）引起的结合能？
- 如何在 0.2 微米厚的聚酰胺复合膜分离层上保持聚合物化学均一性？
- 如何延缓生物污染膜的形成？
- 如何确定合适的操作规范进行受污染的膜元件的化学清洗？
- 如何最好地发挥采用抗污染膜元件与有效的控制生物滋生手段相结合所产生的协同优势？

为实现上述目标，美国陶氏化学公司开发了针对 FT30 膜化学的专利膜改性方法，增强了膜元件的抗污染能力。

美国橘子县水利局的 Harry F. Ridgway 博士，作为一名开展二次和三次废水净化回用的开拓者，经过多年的努力已经探明了微生物吸附的复杂机理及其在醋酸纤维与聚酰胺复合反渗透膜上的生物污染。大量的 FILMTEC™平板膜膜片作为他研究许多特殊微生物菌株在标准聚酰胺膜和抗污染聚酰胺膜上吸附的研究对象。Ridgway 博士广泛的研究工作，发表的许多研究论文，扫描电子显微镜 SEM 和原子力扫描电子显微镜 AFM 的照片，让我们懂得了在制造抗污染膜方面什么是必须关注的。

3. 评定产品发展的性能验证

多年的研发工作包括：各种细菌在不同的预处理、环境和操作规程条件下与各种抗污染膜之间关系的细致实验研究。然而，这样复杂的研究，必须有一个经济有效实用的技术方案来解决市场上的急需。陶氏公司 FilmTec 的研发人员，在研究的早期阶段就部分跳过精确控制的实验室研究方式，直接针对实际应用情况进行研究。通过与工程公司和最终用户的密切合作，我们选择了一些污染十分严重的膜系统进行研究。这些地方的试验结果，与具有良好控制的抗污染元件的试验研究平行进行。总之，在全球许多地表水和废水（二级和三级废水的再利用）现场进行了大量抗污染膜的试验。

由于工程公司和最终用户一开始就参与，使得陶氏公司 FilmTec 研发人员用经济、有效、创新的方法加快了解决生物污染问题的速度。各地试验所得的结果已应用于抗污染膜技术开发之中。其他研究包括：杀菌剂用于标准和抗污染的 FILMTEC 反渗透复合膜元件的有效性试验，以及在 RO 膜前采用 MF 和 UF 的试验研究。

4. FILMTEC 抗污染膜性能的现场试验

在多段的 RO 系统中，生物污染首先影响第一段的膜元件。当第一段细菌繁殖后将消耗进水的营养物质，这样就会抑制下游的污染。

A) 产水量稳定为主要目的的系统

早期第一代的 FILMTEC 抗污染膜元件的最初应用源于美国德州的巨型石化厂。这里水污染十分严重，水温在 10~32°C，在进入反渗透之前必须先经过氯化、多介质过滤、树脂软化、保安过滤和脱氯。自 1992 年起发生的严重生物污染使得标准的聚酰胺 RO 膜元件每 2~3 周就需要进行清洗。频繁的清洗增加了操作成本，致使这一按照 BOOM（建造、拥有、操作和维护）运作的项目，对工程公司来说并没有什么经济上的吸引力。

1996 年上半年开始，FILMTEC 抗污染（FR）膜安装于一套标准 FILMTEC BW30-365 膜元件旁，两套系统的设计流量和通量一样。应 OEM 的要求，定期用非氧化性的杀菌剂杀菌控制细菌的生长。由于产水量是极其重要的指标，因而在没有化学清洗前让系统运行在相当高的压降条件下。间断性的杀菌减



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

少了化学清洗的频率，FILMTEC FR 膜元件上生物污染膜形成和聚集的概率大大下降。稳定的压差保持了 115 天，超过了 OEM 设定的成功运行的标准。这套安装 FILMTEC FR 膜元件的大型系统目前仍在稳定运行。

B) 延长膜寿命为主要目的的系统

某大型炼油厂有许多套 RO 水处理系统，采用了传统的预处理，由非常敬业的技术人员进行操作，但仍经历每 4 周就需要化学清洗。当每段压差达到 4.2bar (60psi) 时，开始清洗。在此条件下要求膜元件的使用寿命为三年。但结果是现场标准 RO 膜元件每 34 天就达到上述压差，不得不必须进行化学清洗。

1997 年 4 月安装了 FILMTEC BW30-365FR1 膜元件，到 1998 年 8 月上旬，只进行了两次化学清洗。这个炼油厂决定在所有系列上安装 FILMTECBW30-365FR1，系统总容量达到 1500gpm (340m³/hr)。为了延长化学清洗之间的时间，RO 膜系统定期用非氧化性的杀菌剂进行灭菌。

C) FILMTEC 抗污染膜和标准膜在加速生物污染试验中的比较

1998 年第一季度，第二代的抗污染膜开发成功，它增强了抵抗微生物在膜表面的吸附作用。吸附被认为是膜元件表面生物污染膜形成的关键性的第一步。

为了对改进的膜进行评估，研发人员充分利用附近客户的便利条件，进行一周的短期的恶劣条件下的加速试验。该客户的 RO 系统进水为间断性工艺废水和自来水的混合水源。工艺水源于已污染十分严重的活性炭出水，其中细菌的含量超过 2x10⁶cfu/mL。由于是混合水源，水温变化很大，因而必须对数据进行非常仔细的标准化处理。

实验结果：

加速污染试验中产水量下降的比较

元件类型	FILMTEC 膜元件型号	平均通量	通量损失	清洗后通量恢复效率
抗污染膜	BW30-365FR2	24.2	7.6%	82.0%
标准膜	BW30-365	22.1	19.2%	36.5%

1. 运行 113 小时后，SDI15 = 6.3 2. 平均细菌含量 = 6x10⁵cfu/mL，六支元件安装在一支压力容器内，回收率 = 66.8%。

结 论：

实验结果表明，FILMTEC FR2 抗污染膜元件显著地减少了产水量的下降，更易清洗，与截留细菌和生物污染膜形成有直接关系的压降下降了一半。

5. 抗污染膜的经济性

任何产品的创新程度在于能否为客户提供更高的价值(经济性)。为此，自 1996 年开始使用至今，全球已有数以万计的 FILMTEC 抗污染膜不断投入运行。我们在拓展技术应用领域的同时，收集了工程公司和最终用户的操作费用。以下的三点主要原则可使我们定量抗污染膜元件的经济价值：

A) 减少了化学清洗次数

化学清洗费用包括：

- 劳动力；
- 运输费用；
- 废水处理费用；



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

- 清洗药品费用；
- 水系统停产成本；
- 电费。

估计每支膜元件上述费用在 44~110 美元。使用 FILMTEC 的抗污染膜元件，保守地估计每年每支膜元件减少三次清洗，以每支膜元件清洗的费用为 60 美元计算，可节约 180 美元。一个 100 支膜元件的系统，在三年使用寿命期内，就可节约 5.4 万美元。

B) 延长使用寿命

若原水是生物污染严重的水，因生物体的聚集生成的生物膜易导致压差增加，从而必须进行化学清洗。这样膜元件经常受到恶劣的磨损和水力剪切作用，对于反渗透膜元件而言是不正常操作。有些 RO 系统只关心系统产水量越大越好，在以污染严重的水源为进水对膜元件的负面影响更加明显。FILMTEC FR 膜元件，除了其抗污染膜片之外，也优化了膜叶的长度使整个膜面上的通量分布更均匀，优化了进水网格的设计，使化学清洗效率更高。每片膜叶的粘结宽度不大于 0.25 英寸 (0.63cm)，最大限度地减少了死角防止细菌聚集和繁殖。用精密方法缠绕 FILMTEC FR 抗污染膜元件的环氧树脂外包层，使元件形成坚固的整体，从而能承受反复的化学清洗冲击。我们估计 FILMTEC FR 抗污染膜元件比标准膜元件寿命长 30%左右。

C) 降低能耗

抗污染膜的生物聚集和污染的速度低、运行阻力小，因而可降低系统进水压力，降低能耗。例如，对于一套 110m³/h (500gpm)，按照美国每度电 0.1 美元计算，若进水增加 1.75bar (25psig，假设泵效率为 75%)，则每年增加的电费就高达 7 千美元。

下表的目的是基于 FILMTEC FR 现场性能的总结，现场具体水质、预处理设计、操作方法、清洗方法是影响 FR 膜元件总体经济性的变量。

项 目	清洗相对费用	更换前相对寿命
标准反渗透膜元件	3X ~ 8X	0.5Y
FILMTEC FR 元件	2X	0.7Y
FILMTEC FR 元件配以间歇式消毒	1X	1Y

D) 化学清洗考虑

FILMTEC FR 抗污染膜元件在清洗时具有与标准膜元件相似的化学兼容性，可清洗 pH 值范围在 1~12 之间，通常先碱洗后酸洗；而清除生物污染物最好在 pH 值大于 10，浸泡至少 4 小时，最后用足够的速度将剥离的生物污染物冲出元件。每支六芯装 FILMTEC BW30-365FR 膜元件压力容器，推荐清洗流量为 6.8~9.1m³/h (30~40gpm)。其他清洗参数都罗列在 FILMTEC FT30 的清洗规定一节内。

E) 间断性杀菌

在努力开发最耐用和最经济有效膜性能的过程中，我们也进行了 FILMTEC FR 膜元件间断性消毒与抗污染膜元件协同作用的研究。其目的是延长相邻两次化学清洗之间的时间或延迟反渗透膜表面生物污染膜的形成。为此，选用了一种含活性成份为 DBNPA (2,2-dibromo-3-nitrilo-propionamide, 2,2-双溴代-3-次氨基-丙酰胺) 的杀菌剂对系统进行间歇杀菌，夏天每 3~5 天一次，冬天每 7 天一次。程序是将 10~20ppm 的活性非氧化性杀菌剂在 RO 系统运行期间投加到系统进水中。如果水中含有还原物质，需要提高杀菌剂用量，一般投药时间为 30~60 分钟。在生物污染特别严重的情况下，通常投药的时间要延长一些。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

F) 可提供产品

目前陶氏 FilmTec 公司生产两种新一代 FILMTEC FR 抗污染反渗透元件。FILMTEC BW30-365FR 适用于传统多介质过滤器为主要预处理的系统，FILMTEC BW30-400FR 适用于微滤或超滤作为主要预处理手段，当预处理为微滤或超滤，但仍选用 FILMTEC BW30-365FR，一旦预处理部分微滤或超滤出现问题，则具有更高保险度。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-2 陶氏 FILMTEC 膜元件对不同溶质脱除率的估计

为协助客户估算出 FILMTEC™ FT30 膜的脱除率，我们进行了不同溶质的测试，并将每种溶质的脱除率以%为单位列于下表。

但是由于进水水质、pH 值、温度的变化，实际系统的性能可能不同于表中的数据。因此，此表仅供快速初选之用途，对于某一具体应用，必须通过专门的小试确定膜元件的实际性能。

溶质	分子量	脱除率%	溶质	分子量	脱除率%
1, 1, 1-Trichloroethane 1,1,1-三氯乙烯	133	98	Calcium Chloride 氯化钙	111	99
1, 2-Dibromoethane 1,2-二溴乙烷	173	15	Calcium Nitrate 硝酸钙	164	95
1, 2-Dichloroethane 1,2-二氯乙烷	99	37	Carbon Tetrachloride 四氯化碳	153	98
1, 2, 3-Trichlorobenzene 1,2,3-三氯(代)苯	181	>57	Cesium Chloride 氯化铯	168	97
1, 2, 4-Trichlorobenzene 1,2,4-三氯(代)苯	181	96	Chlorobenzene 氯苯	112	0-50
1, 2, 4-Trimethylbenzene 1,2,4-三甲基苯	120	57	Chloroform 氯仿	119	71-90
1, 2-Dichlorobenzene 1,2-二氯(代)苯	147	70-92	cis-1, 2-Dichloroethylene 顺-1,2-二氯乙烯	97	20
1, 3-Dichlorobenzene 1,3-二氯(代)苯	147	66-69	Clofibrilic Acid 安妥明酸	214	>99
1, 4-Dichlorobenzene 1,4-二氯(代)苯	147	61	Copper Sulfate 硫酸铜	160	99
1-Chlorododecane 1-氯(代)十二烷	204	87	Cyclohexanone 环己酮	98	95
1-Methylnaphthalene 1-甲基萘	142	67	Dibromochloromethane 二溴氯甲烷	208	79
2, 2', 5, 5'-Tetrachlorobiphenyl 2,2',5,5'-四氯苯酚	290	46	e-Caprolactum 羟基乙酸内酯	113	85
2, 4, 6-Trichlorophenol 2,4,6-三氯苯酚	197	100	Ethanol 乙醇	46	38-70
2, 4-Dichlorophenol 2,4-二氯苯酚	163	93	Ethyl Benzene 乙基苯	106	71
2, 6-Dimethylphenol 2,6-二甲苯酚	122	92	Formaldehyde 甲醛	30	35
2, 6-Di-Tert-Butyl-4-Methylphenol 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	220	96	Furfural 糠醛	96	35
3, 8-Dimethylphenol 3,8-二甲苯酚	122	92	Glucose 葡萄糖	180	98-99
3-Hydroxy-Capric Acid 3-羟基癸酸	188	>98	Glycine 甘氨酸	188	78
3-Pentanone 3-戊酮	86	74	Heptaldehyde 庚醛酐	114	100
4-Ethylphenol 4-乙基苯酚	122	84	Humic Acid 腐殖酸		98
4-Isopropylphenol 4-异丙基苯酚	136	84	Hydrochloric Acid 盐酸	36	28
5-Chlorouracil 氯嘧啶	146	88	Isophorone 异佛乐酮	138	96
Acetic Acid 乙酸	60	45	Isopropanol 异丙醇	60	90
Acetone 丙酮	58	70	Lactic Acid (pH 2) 乳酸 (pH2)	90	94
Aluminum Nitrate 硝酸铝	213	86	Lactic Acid (pH 5) 乳酸 (pH5)	42	99
Aluminum Sulfate 硫酸铝	342	89	Magnesium Chloride 氯化镁	120	98
Aniline 苯胺	93	64-75	Magnesium Sulfate 硫酸镁	120	99
Antraquinone 蒽醌	208	93	Manganese (II) Sulfate 硫酸锰	151	97
Benzene 苯	78	19	Methanol 甲醇	32	25
Benzoic Acid 苯甲酸	122	92	Methyl Ethyl Ketone 甲基乙酮	72	73
Benzothiazole 苯并噻唑	133	79	Methyl Isobutyl Ketone 甲基异丁酮	100	98



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

Biphenyl 联苯	154	91	Naphthalene 萘	128	80
Bis (2-Ethylhexyl) Phthalate			Nickel Chloride		
双(乙基己基)酞酸酯	390	94	氯化镍	130	96-99
Boric Acid 硼酸	230		Nickel Sulfate 硫酸镍	155	97-99
Bromodichloromethane 一溴二氯甲烷	163	79	o-Cresol 正-甲(苯)酚	108	84
Bromoform 三溴甲烷	94	>67	o-Xylene 正-二甲苯	106	67
Cadmium Sulfate 硫酸镉	208	97	p & m Xylene 对或间二甲苯	106	38
Caffeine 咖啡因	174	99	Pentachlorophenol 五氯苯酚	266	>86
Phenol-80%苯酚-80%	94	65	Sodium Orthophosphate 正磷酸钠	164	99
Phosphoric Acid 磷酸	96	94	Stearic Acid 硬脂酸	204	71
Quinoline 喹啉	129	97	Strontium Chloride 氯化锶	158	96
Silica 二氧化硅	60	98	Succinic Acid 琥珀酸	118	35
Sodium Acetate (1%)醋酸钠(1%)	82	88	Sucrose 蔗糖	342	99
Sodium Bicarbonate 碳酸氢钠	84	98	Sulfuric Acid 硫酸	98	84
Sodium Bromide 溴化钠	103	96	Tetrachloroethylene 四氯乙烯	165	68-80
Sodium Chloride 氯化钠	58	99	Tin (II) Sulfate 硫酸锡	215	85
Sodium Cyanide 氰化钠	49	95	Tributyl Phosphate 三丁基磷酸	266	49
Sodium Di-H Phosphate 磷酸二氢钠	120	98	Trichloroethylene 三氯乙烯	131	30-43
Sodium Fluoride 氟化钠	42	98	Trimesic Acid 苯三甲酸	210	96
Sodium Hydrogen Sulfate 硫酸氢钠	120	76	Urea 尿素	60	70
Sodium Iodide 碘化钠	150	97	Zinc Chloride 氯化锌	136	93
Sodium Mono-H Phosphate 磷酸氢二钠	142	98	Zinc Sulfate 硫酸锌	161	98
Sodium Nitrate 硝酸钠	85	93-98			

FILMTEC 膜元件

如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：

上海: 86-21-2301 9000
 北京: 86-10-8518 3399
 广州: 86-20-8752 0380
 台北: 886-2-2775-6066
 中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意：任何人不得推定其在本文件下使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或对其一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-3 化学品与陶氏 FILMTEC 膜元件兼容性试验方法

概论

在膜法处理系统中，常常需要投加各类化学品，阻止微生物孳生，防止膜元件的污染和结垢。这些化学品本身不得对膜元件性能产生负面的影响，下面将描述所投加的化学品是否与超薄复合膜兼容的试验程序。这些特别设计的试验程序用于试验这些化学品是否溶解或影响膜的聚酰胺脱盐层，或者膜的产水水质是否受到影响。

试验程序包括两部分：1) 在试验溶液中进行膜片或膜元件的浸泡试验；2) 在膜系统运行期间，连续投加化学品的试验。当需要确认化学品是否降解膜时，浸泡试验最为合适。而在系统操作运行期间作连续投加试验，适用于模拟当使用该化学品时的实际情况，例如，在确定阻垢剂的兼容性时，推荐 1,000 小时的连续投加模拟试验。

需要着重说明的是，下述试验程序仅适用于检验化学品是否兼容，是否对膜有破坏性作用，这些试验程序不能用于确定该化学品的效率及是否适用。此外，虽然该程序是用来判断兼容性的方法，但现场的观察和实际试用经验是兼容性和适用性最可靠的评判指标。

还需要重点关注的是，还有其它的兼容性试验方法。某些膜系统化学品供应商开发了一些试验法，如将膜短时间暴露在高浓度的被测化学品中，而不是以正常用量进行长期试验，因而以 ppm-hours 表示与膜的兼容能力；也有利用表面电子显微观察或其它分析技巧判断化学品是否造成膜的变化或损伤。这些方法需要由经验丰富的、具有扎实的膜技术知识和待测化学品产品本身的化学知识的专业技术人员完成。

即使化学品是兼容的，但并不等于使用该化学品就不会出现问题，例如，过量投加某一化学品，所有的膜都会因为大量的化学品由于对流而沉积在膜表面上的污染。可根据这种情况推论，某化学品在低浓度是兼容的，若不顾膜系统是否投运，连续投加的话，超限高浓度会引发灾害性的结果。再者，与膜兼容的化学品并不见得与系统中所用的其它化学品匹配，如阳离子絮凝剂常常与负电性的阻垢剂发生反应而污染膜元件，因此，必须综合整个系统的化学品投加予以考虑，最后，还要考虑化学品是否与系统和设备的材质兼容。

以下讨论五类化学品的兼容试验程序：

- 絮凝剂和助凝剂
- 阻垢剂
- 清洗剂
- 杀菌剂
- 膜元件保护液

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

详细描述 试验设备和具体试验步骤

试验设备

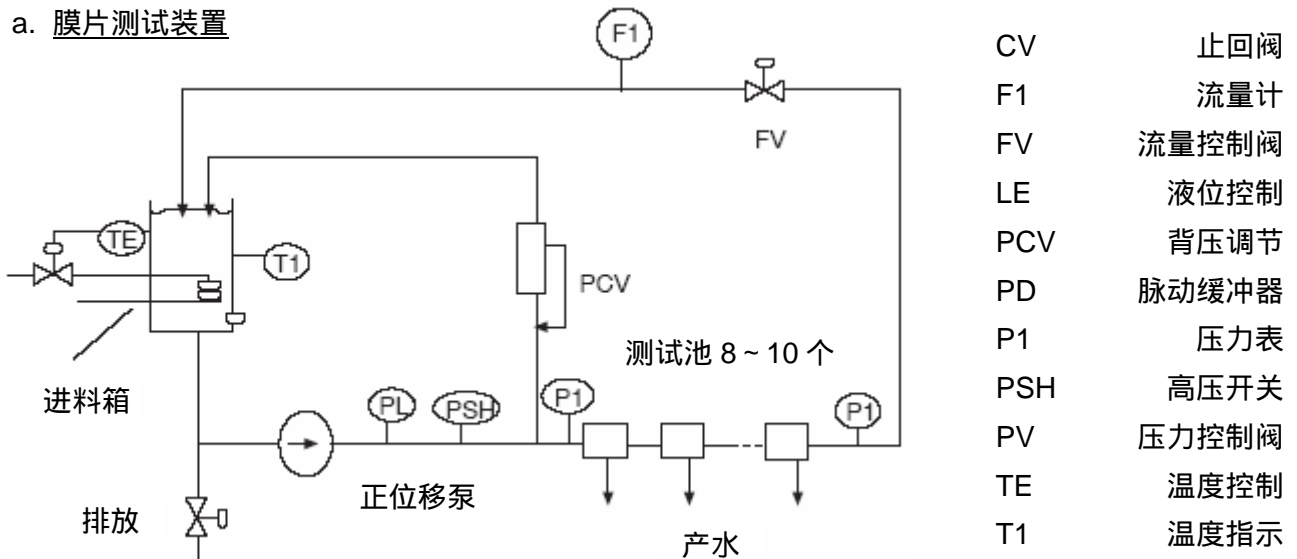
膜片测试池：在实验室采用两类试验流程进行化学品的兼容性试验，第一种是 8~10 个膜片测试池串联，如图 1a；将产水侧球阀关闭就可以停用该测试池，也可以采用流程类似的板框式装置代替膜片测试池。

陶氏 FILMTEC™ FT30 膜的标准测试条件是：2,000ppm 氯化钠，77°F（25°C），进水压力 225psi（1,550kPa）。开机后 2 小时取样，浓水流量根据特定的测试池而定，可咨询测试池制造商的建议。

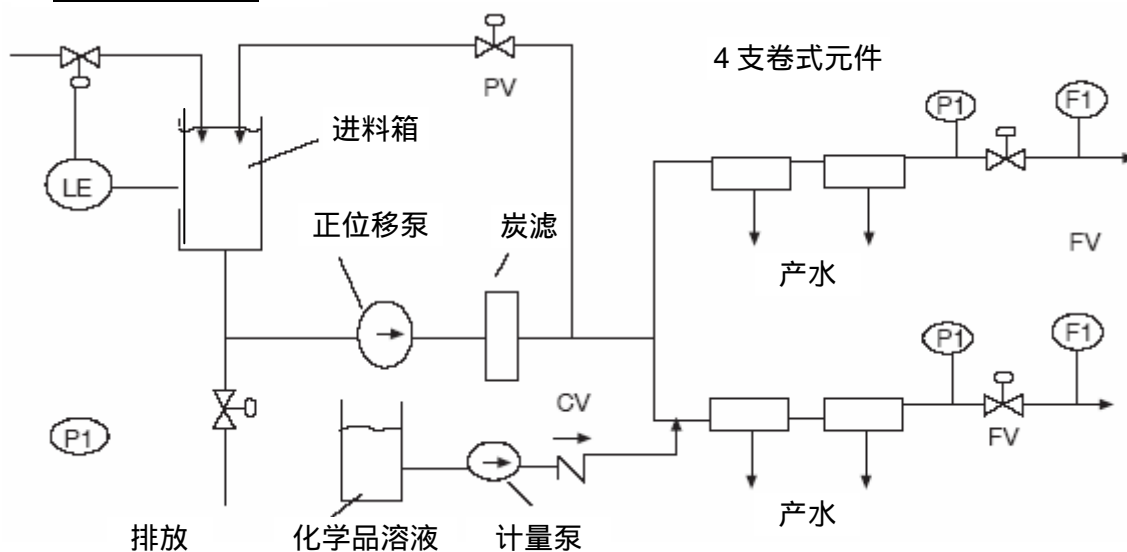
如图 1a 所示，浓水返回到进水箱，产水排放 10~30 分钟，然后收集到烧杯中，用于测试产水流量。

图 1. 膜片测试池和元件测试装置

a. 膜片测试装置



b. 膜元件测试装置





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

试验设备 - 续上

元件测试设备：图 1b 给出了第二种测试流程，两个平行的试验线，每条线装有 2 个压力容器，常常用小型元件，如 2.5 英寸直径 14 英寸长的元件。由计量泵投加化学品兼容性待测溶液，浓水和产水均排放。如果进水影响膜性能，就会在两条测试线上同时反映出来了，使用这类试验设备，试验人员更有能力根据标准线和试验线，建立影响程度的性能指标。这类设备也可扩大到现场用 8 英寸 FILMTEC 膜元件进行试验。

在实验室试验中，进水一般是软化后的自来水，大约含 300mg/l HCO_3^- ，15mg/l Cl，11mg/l SO_4^{2-} ，电导率 550 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。当可能含有游离氯时，必须用活性炭除去，测量进水和产水的电导率，表压范围为 5080psi (350~400kPa)，这样通量非常低，耗水量和消耗化学品的用量也非常低，每条线典型流量为 0.2~0.4l/min，进水水温必须非常稳定，这样就无需控制温度。

若进水压力大于 50psi (350kPa)，多数情况下，就无需设置进水水箱或水泵。

阻垢剂

合适的阻垢剂必须通过两类试验，微生物生长试验和膜兼容性试验。

微生物生长试验：阻垢剂一般以高浓度供应，使用前进行稀释，必须保证进入系统内的阻垢剂没有被微生物所污染，一般浓缩液不会有细菌孳生，但稀释到一定程度，就有可能出现细菌孳生问题。为了确定阻垢剂的允许最稀浓度，必须做微生物生长试验，通常由药剂生产商完成该试验。

在烧杯中，用不含氯的水将阻垢剂稀释成不同浓度，储存 1 个月。典型的浓度是浓缩液的 1%，6%，10%和 25%，装有无氯水的烧杯作为参照系。每一浓度的阻垢剂溶液和烧杯均敞开到空气中，进行自然接种，在 1 个月的储存期间，每周进行微生物平板法计数，细菌平板计数值随时间有降低的最低阻垢剂浓度，就是阻垢剂被批准的最低允许稀释浓度。

微生物试验应在下面介绍的 1,000 小时膜兼容性试验之前，原因是，如果阻垢剂中的杀菌成分发生改变，就需要重新进行药剂对膜片的兼容性试验。

膜兼容性试验：将候选的阻垢剂投加到装有卷式膜元件的膜系统中，必须达到连续运行 1,000 小时以上而不发生膜性能的下降，图 1b 介绍了进行这种膜兼容性试验的装置或类似系统，可以很好的满足这种评价要求。开始时，实验者必须建立比较基准，即让系统在不投加化学品的前提下，运行至少 12 小时以上，如果产水量比预期干净的膜元件的值低 15%，不能认为试验结果有效，上述不含阻垢剂的膜基准试验溶液操作条件为，2,000ppm 氯化钠，77°F (25°C)，运行压力 130psi (0.9MPa)。

完成基准试验之后，至少连续 1,000 小时投加阻垢剂，这期间，系统的标准化产水量和漏盐率必须保持相当稳定，才能说明被试验的阻垢剂与膜兼容，在浓水中候选阻垢剂的最高浓度就是该阻垢剂的兼容性上限浓度。

絮凝剂和助凝剂

仍用图 1b 所示的流程进行絮凝剂和助凝剂的兼容性试验，膜元件首先应该用软化后的自来水至少运行 1 天以上，以便确保系统已经稳定，然后，将



待测的化学品投加到平行的其中一条线内，维持浓度大约 5ppm。如果运行一周之后，膜元件的标准产水量和漏盐率没有受到显著地影响，可认为该化学品的兼容性效果满意。

一般情况下，絮凝剂和助凝剂会对膜发生直接或间接的干扰，对膜间接干扰是指它们反应形成的沉淀沉积在膜面上，例如，介质过滤器的介质间的间隙让絮凝的絮状物穿透，进入膜元件内并沉积在膜面上的情形；沉淀也可能是因为经过絮凝剂和助凝剂处理过的进水因浓缩后所发生的，例如含铝或含铁类的絮凝剂投加后，没有及时降低 pH 以预防系统中由于絮凝剂本身的过饱和所致。此外，还有介质过滤器之后再投加化学品所形成的沉淀，最为参见的是投加阻垢剂。几乎所有的阻垢剂是负电性的，将与水质残留的阳离子絮凝剂或助凝剂发生反应，不少的系统被阳离子聚电介质和阻垢剂间反应形成的凝胶所严重堵塞。因此，检验可能要与阻垢剂接触的所有助凝剂和絮凝剂十分必要。

直接干扰是指絮凝剂和助凝剂本身影响膜，导致其通量损失的情况，水的离子强度对此有影响，为了消除直接和间接的干扰，应该优先选用阴离子或非离子而不是阳离子的絮凝剂和助凝剂，同时还需要避免过量投加。

清洗剂

可以预见，清洗剂使用条件宽广，包括清洗频率、清洗时间和温度。由于这样的不确定性，在此讨论的清洗频率基于每月不到一次的情况。

图 1a 所示的平板测试池装置，用来进行清洗剂的兼容性测试。

具有优秀清洗效果的清洗剂往往也会导致膜元件随时间推移发生脱盐率的下降，这种清洗后的膜性能衰减，仅仅一次清洗可能观察不到，为了确定清洗剂的兼容性，必须将膜片（至少 3 份）浸泡在标准浓度的清洗液中 2 周，然后测试标准条件下的膜性能，浸泡温度必须是最高允许清洗温度。

清洗剂符合兼容性要求的条件是：2 小时的清洗不会降低膜通量或脱盐率并且 2 周浸泡也不会降低脱盐率。

2 小时清洗和 2 周浸泡步骤如下：

2 小时清洗

1. 标准条件下测试膜片（225psi，77°F，2,000ppm 氯化钠溶液）。
2. 在推荐的清洗温度和 50psig 压力条件下，用 2 倍浓度的清洗液循环 2 小时。
3. 冲洗并排放掉清洗液，请用低电导率的冲洗水，以便保证浓水侧和产水侧都冲洗干净了。
4. 标准条件下重新测试膜片，通量损失必须小于 5%，而漏盐率未增加。

2 周浸泡

1. 标准条件下测试膜片（225psi，77°F，2,000ppm 氯化钠溶液）。
2. 在正常清洗温度和浓度下浸泡 2 周。



杀菌剂

3. 冲洗排放掉清洗液，请用低电导率的冲洗水，以便保证浓水侧和产水侧都冲洗干净了。
4. 按照步骤 1 重复测试，必须没有出现漏盐率的增加。

类似清洗剂一样，杀菌剂也会导致膜元件的脱盐率和产水量下降，杀菌剂可能与膜长期接触，例如，进行膜元件的保存、连续投加或间断投加，即进行周期性的杀菌或浸泡处理。满意的杀菌剂应该是在浸泡膜元件 1 年后，不会对膜性能有负面影响，就象其它兼容性测试一样，需要进行浸泡和连续投加试验以确定杀菌剂的化学兼容性和效果。

常常推荐观察初始 1 周连续投加杀菌剂对产水量的影响。如结果可以，再进行连续 1 年的浸泡试验。

最近几年，更为常用的方法是象阻垢剂试验一样，进行连续 1,000 小时的兼容试验。

所有杀菌剂的试验温度为 20~25°C，杀菌剂的 pH 对膜的影响很大，特别是杀菌剂分子结构随 pH 而改变时或会出现氧化反应的时候。

可选试验方案 1

1 周连续运行试验：当浸泡后出现膜的产水量下降，必须进行连续运行试验，这类情况时常发生，试验装置如图 1b。膜元件在接触杀菌剂前必须至少运行 1 天，以便保证膜元件已经稳定。

膜元件稳定运行后，投加最高允许浓度的杀菌剂，如果未见膜产水量和脱盐率在 1 周连续运行条件下下降，可认为它是满意的候选杀菌剂，再进行更长时间的浸泡试验。

浸泡试验：将杀菌剂溶液放入带盖子的玻璃容器内，杀菌剂浓度为需要批准的最高浓度。作为控制，选取含有标准保存液的玻璃容器（1%亚硫酸氢钠溶液）和空玻璃容器。每个容器内放置 20 片每种膜片，在浸泡下列时间结束后，取出每种膜片两个样本进行测试。

1 周；2 周；3 周；4 周；2 月；4 月；6 月；1 年

膜片仅用一次，测试后扔掉，某些杀菌剂有效期不到 1 年，必须以合适的间隔更换新鲜的杀菌剂。

如果经过 1 年浸泡后，漏盐率没有显著增加，可认为该杀菌剂不会降解膜元件，观察 1 年浸泡和 1 周连续运行试验，足以确认杀菌剂是否兼容。然而，如果其中之一或其它试验出现有疑问的结果，则需要在实验室或现场进行更长时间的试验。

如果该杀菌剂仅作间断投加，如每周几小时脉冲处理，就未必需要 1 年的浸泡试验，连续几小时的投加试验就足够。例如，实际使用每周 400ppm，30 分钟的间断投药时，连续 130 小时 400ppm 投加试验就足够了（30 分钟/周 x 52 周/年 x 5 年）。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

可选试验方案 2

1,000 小时连续运行试验：与阻垢剂试验相似，如果膜元件与杀菌剂连续接触 1,000 小时没有发生性能损失的话，可认为该杀菌剂与膜元件兼容。近几年的经验表明，更为倾向这种试验方法，虽然耗时较多。测试装置如图 1b 所示，开始实验者需要建立基准结果，即不投加杀菌剂时运行至少 12 小时，如果产水量比干净的膜元件低 15%，就不能认为试验有效，陶氏 FILMTEC 膜片的性能指标可从公布的相应膜元件性能规范上折算获得。

建立对比基准之后，连续投加杀菌剂至少 1,000 小时，标准化后的产水量和脱盐率必须保持恒定，兼容性上限浓度是浓水侧杀菌剂的最高允许浓度。

保护液

膜元件保护液也是一种杀菌剂，用于防止微生物孳生以及膜元件储存期间膜性能的改变，这样的杀菌剂必须具有长寿命，并常常含有表面活性剂和湿润剂。同样，这类化学品可能对膜元件产生直接或间接的伤害。

与膜兼容的保护液在 1 年的膜元件保存期内，不会改变膜元件的产水量或脱盐率特性，试验方法是，浸泡 5 支受测试的膜元件，在 2, 4, 6, 12 个月后分别测试性能，新元件在每次测试后放回保护液中，第 5 号元件作为备件，一旦任何一支测试结果有疑问时，再来测试它。2 支膜元件储存在目前常用的保护液 1%亚硫酸氢钠中，作为对照，这 2 支元件每次都要进行测试，用以作性能对比。如果保护液中膜的性能未变，应该继续该浸泡试验几年，每年测试 1~2 次，以便了解膜保存液的使用寿命。

在湿法保存膜元件前，膜元件应在保护液中浸泡 1 小时，然后沥干，装入包装袋中，储存期内包装袋中不得孳生微生物，不得发生膜性能的劣化。为了检查其它保存液是否能适用于包装袋保存膜元件，应先测试膜元件，然后将其浸泡在膜保护液中 1, 2 或 20 小时。然后将膜元件沥干并装入包装袋，在储存 2, 6, 12, 18, 24, 36 和 48 个月之后，每一储存期取出 2 支膜元件，进行微生物平板计数分析并测试膜元件。对产水侧施加压力前后，应分别测试膜元件性能，以便确定膜元件在储存期内是否失水变干，产水侧施加压力最容易的方式是将产水出口关闭，让产水侧的压力高于进水的渗透压，至少为 150psi (1,000kPa)。3 次浸泡，7 次测试，每次 2 支元件，每个保存液的评价需要 42 支元件。为了节省试验储存空间，常常选择小型元件作为试验对象，同时仍然用 1%亚硫酸氢钠作为参照系，由于 1 小时的浸泡时间就足够，这样就仅需 14 支作对比的膜元件。

FILMTEC 膜元件

如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：

上海: 86-21-2301 9000
北京: 86-10-8518 3399
广州: 86-20-8752 0380
台北: 886-2-2775-6066
中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意：任何人不得推定其在本文件下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或某一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-4 用 DBNPA 对陶氏 FILMTEC 膜元件杀菌消毒

生物杀菌剂

通常情况下，膜元件在运行过程中会由于种种原因受到污染，其中一个原因就是由于细菌所造成的生物污堵。生物污堵会形成一个能黏附其他碎片的基底，这会带来一系列更为严重的运行问题，膜元件被污染的症状包括恒定进水流量时产水量下降、恒定产水量时操作压力升高以及脱盐率下降。当出现上述症状时，应当怀疑系统受到微生物的污染，用户通常会尝试使用生物杀菌剂对膜进行清洗杀菌以便再生膜元件，对生物杀菌剂的要求如下：

- 生物杀菌剂必须与膜元件兼容
- 杀菌作用快
- 成本低
- 生物杀菌剂必须易于运输、存储，并具有稳定易操作的特点
- 不会残留在产水侧
- 必须有广谱的杀菌控制能力：包括浮游类生物和固着类生物（藻类的控制视季节性和特定的情况而异）
- 必须是可生物降解
- 必须符合各种现行和即将执行的规范要求

DBNPA（2,2-双溴代-3-次氨基-丙酰胺）正是一种符合上述各种要求的杀菌剂。目前已有几种以 DBNPA 为有效成份的产品（要了解更多关于 DBNPA 的详细信息或希望找到供应商，请访问陶氏杀菌剂网站或发电邮至：antimicrobials@dow.com）

在 FILMTEC™膜元件上的应用效果

在进水为生物较高的反渗透系统中，3~5 天就会形成包括各种生物组织的生物膜。这样，在生物活动高峰期（夏天），清洗周期应为 3~5 天，生物活动低谷期（冬天），清洗周期应在 7 天左右。最佳的清洗频率应视项目的具体情况和该反渗透系统的运行特性而定。

生物杀菌剂有两种不同的使用方式：间断脉冲投加和连续投加。

对于间断脉冲投加，DBNPA 的投加量根据系统受生物污染的程度决定。对于一个生物污染不是很严重的系统而言，每 5 天持续 30 分钟~3 小时投加 10~30ppm 证明已经足以控制微生物的污染。若进水菌落总数>100CFU/ml 或者反渗透系统中肯定形成了生物膜的话，建议投加 30ppm，持续 3 小时。因为还原剂（如用于去除游离氯的亚硫酸氢钠）会使 DBNPA 失效，所以对有残余还原剂的进水，应投加更高浓度的 DBNPA，反渗透进水每含 1ppm 残余还原剂，活性成分 DBNPA 的浓度就应相应增加 1ppm。为了去除死掉的生物膜，还应采用碱性清洗（请查阅技术资料中有关清洗生物膜的介绍）。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

生物杀菌剂的降解产物及其配方中的其他成份并不能被反渗透膜完全截留，因此，在间断脉冲投加杀菌剂时，投药期间的产水中可能会含有微量的有机污染，要排放掉这段期间的反渗透产水。

当希望系统中不会出现很明显的生物膜，可采用一套连续投加的运行方案，建议投加后的有效成分为 0.5~1ppm。剂量应根据细菌含量的正常波动作调整。同样的理由，由于还原剂会使 DBNPA 失效，当进水中存在还原剂时，必须投加更高浓度的 DBNPA，反渗透进水每含 1ppm 残余还原剂，活性成分 DBNPA 的浓度就应相应增加 1ppm。采用这种投加杀菌剂的系统可以将细菌的含量控制在接近零的水平。

需要注意的是，虽然 DBNPA 没有氧化性，当其浓度<0.5ppm 到>3ppm 时，会产生 400mv 的氧化还原电位响应。举个例子，1ppm 的氯和溴会产生+700mv 氧化还原电位响应，并且响应值会随着浓度的增加而增加。

使用 DBNPA，对系统的流速以及压力均没有任何特殊要求，在间断脉冲投加时也不需要改变任何操作条件。当产水的应用领域对有机物敏感的话，请将脉冲投药期间的产水排放掉。

FILMTEC 膜元件

如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：

上海: 86-21-2301 9000
北京: 86-10-8518 3399
广州: 86-20-8752 0380
台北: 886-2-2775-6066
中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意：任何人不得推定其在本文档下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或某一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-5 故障排除：膜元件性能评估 – 真空度下降测试

真空度下降测试

当膜元件出现高漏盐率时，首先应该检查是否有进水或浓水泄漏到产水侧？是否存在膜表面被划伤，或因为产水背压与水锤造成反渗透复合膜脱盐层的剥离等物理损伤。下面介绍的真空度下降试验法可用来检查泄漏现象，确认膜元件的机械完整性，该方法基于 ASTM D3923 和 D6908 标准。

真空度下降试验法是检查膜元件泄漏，确定反渗透和纳滤膜元件运行后的完整性的工具，可以进行单支膜元件或装有几支膜元件的整个压力容器的检查，测试前，必须将膜元件进水和产水流道内的存水排干，待测压力容器不能有水，将元件的产水管堵上，真空度的下降速率可以作为膜元件机械完整性或膜元件泄漏的指标。未受机械和化学损伤的膜元件将维持一定的真空度，但是受损的膜元件则不会维持真空度。

上述方法仅作为初步筛选，不作为确认泄漏的绝对方法，然而，该测试可在很短时间内辨别出有泄漏的膜元件或 O 形密封圈，有利于帮助人们区分膜元件发生了化学损伤（化学损伤不作为泄漏）还是机械损伤，当无法进行单支膜元件的筛选或没有足够的时间进行性能测试时，在现场可用该方法检查大量的膜元件。

试验程序如下：

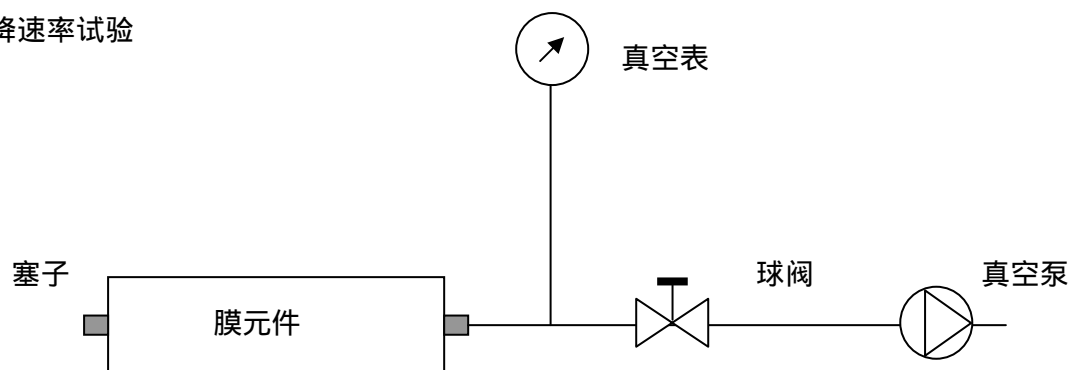
- a. 排干膜元件内的积水。
- b. 用塞子将一端的产水中心管紧紧堵住。
- c. 将产水中心管的另一端连接到真空表上和真空设备（泵）上。
- d. 将膜元件置于 100~300 mbar 的绝对压力下。
- e. 关闭隔断阀并观察真空表上的读数，注意真空表上的真空度下降速率，当出现快速下降（每分钟大于 100mbar 的压力增加）时，就表示有膜元件的泄漏。
- f. 卸下测试连接管路前，缓慢释放真空度，让膜元件与大气压力平衡。
- g. 测试应该重复多次，确认测试结果的重现性。

对整个压力容器测试也包括了对元件间接头和元件与压力容器端板间的适配器的检测，试验程序与上述相似，将压力容器一端的产水出口堵住，从另一端的产水出口抽真空，连接压力容器的进水及浓水口有时需要打开。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

图 1. 真空度下降速率试验



FILMTEC 膜元件

如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：

上海: 86-21-2301 9000
北京: 86-10-8518 3399
广州: 86-20-8752 0380
台北: 886-2-2775-6066
中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

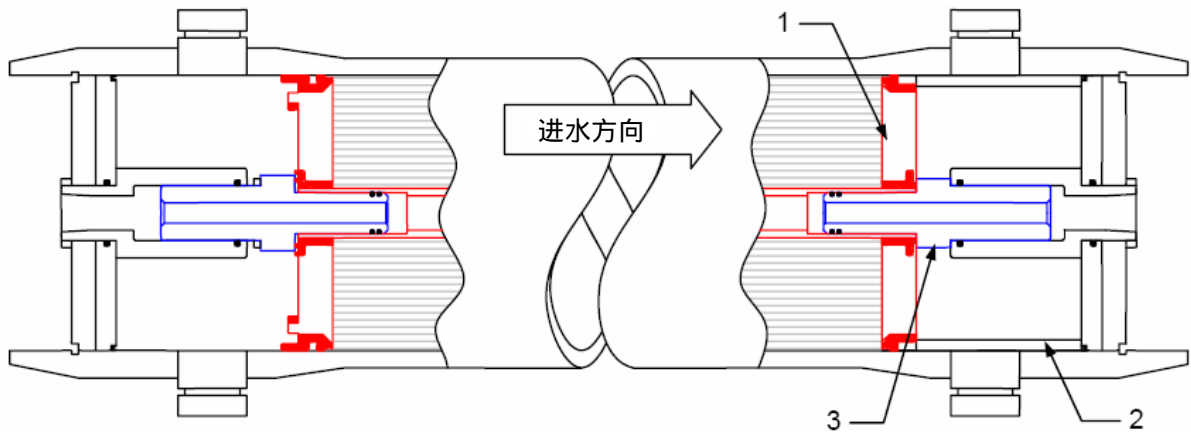
注意：任何人不得推定其在本文件下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或对其一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-6 陶氏 iLEC™端面自锁连接技术和传统连接技术压力容器端板适配器

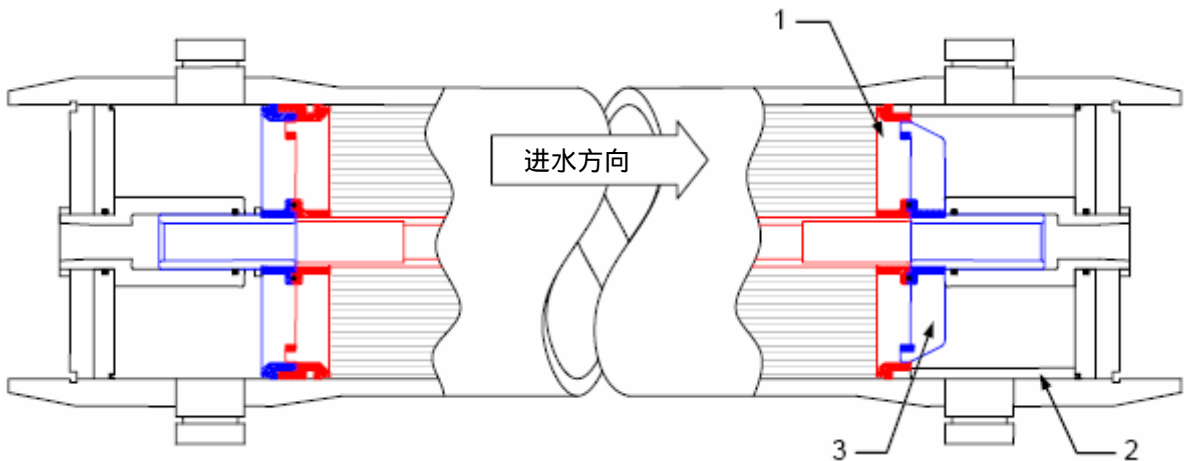
传统压力容器端板适配器

陶氏 iLEC™膜元件与传统压力容器端板适配器完全兼容，在仍使用传统压力容器端板适配器安装陶氏 iLEC 膜元件的最后一支膜元件（1）时，必须保证 iLEC 膜元件的下游端面顶住抗应力器（2），这样膜元件才能被压力容器适配器（3）及抗应力器同时有效地支撑住。



iLEC 端面自锁连接压力容器端板适配器

如下图所示，安装陶氏 iLEC 膜元件的最后一支膜元件（1）时，必须保证 iLEC 膜元件的下游端面顶住抗应力器（2），这样膜元件才能被压力容器适配器（3）及抗应力器同时有效地支撑住。

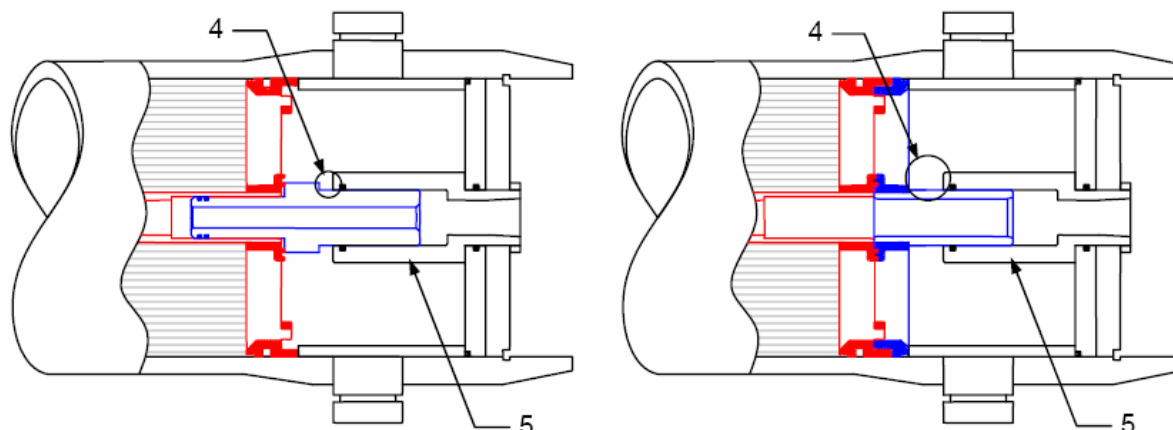


特别提醒：

如下图所示，若将膜元件进水方向安装反了，在压力容器端板出水口（5）和端板适配器之间将会出现较大间隙（4），运行时该膜元件无法得到恰当的支撑分散水流的推力，将会发生望远镜状膜元件损坏。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件



传统压力容器端板适配器

陶氏 iLEC 膜元件与传统压力容器端板适配器完全兼容，最后一支膜元件（1）的下游端面必须顶住抗应力器（2），这样膜元件才能有效地被压力容器适配器（3）及抗应力器同时支撑住。

FILMTEC 膜元件

如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：

上海: 86-21-2301 9000
北京: 86-10-8518 3399
广州: 86-20-8752 0380
台北: 886-2-2775-6066
中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意：任何人不得推定其在本文件下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或某一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。

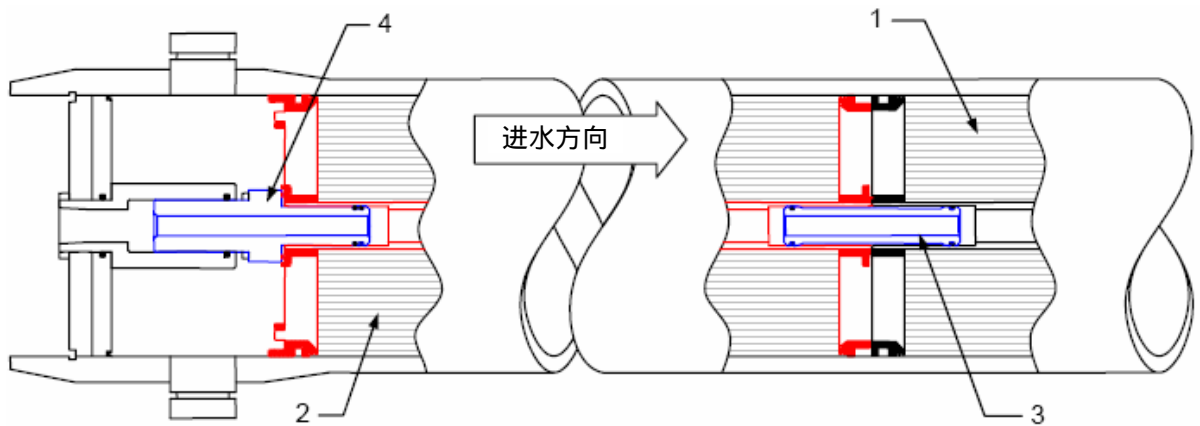


陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

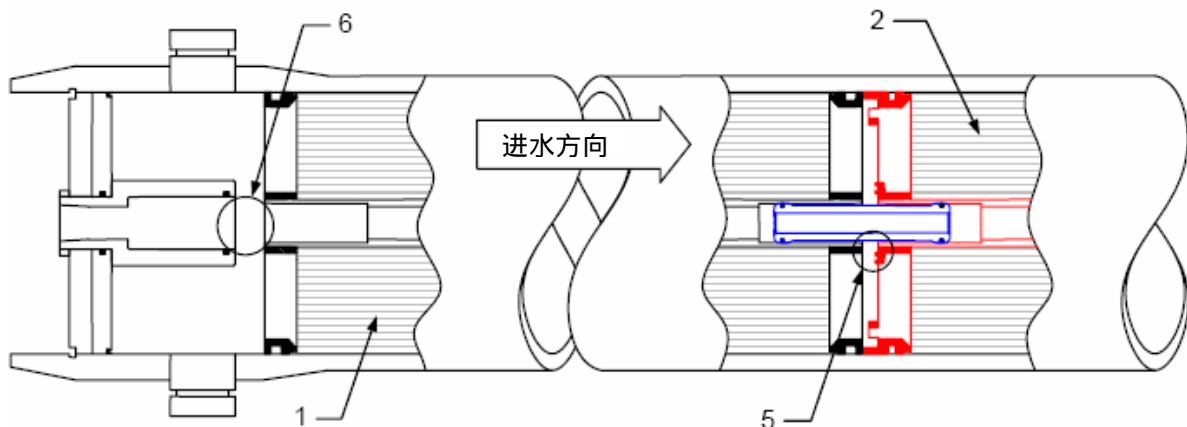
10-7 陶氏 iLEC™端面自锁连接和传统连接膜元件的混装

iLEC™端面自锁连接和传统连接膜元件的混装

在同一支压力容器内，可能会出现需将 iLEC 膜元件与传统连接膜元件混装的情况，为了防止压力容器内膜元件总长度的增加，传统连接膜元件（1）必须集中安装在压力容器浓水端，而 iLEC 膜元件（2）则必须安装在压力容器进水端，采用传统插入式内接头（3）将两种连接形式的膜元件连接在一起，可以任选传统压力容器端板适配器（4）或 iLEC 端面连接端板适配器。



特别提醒：任何与上述建议顺序不同的混装方式都将增加混装后元件总长度。每当将传统膜元件（1）安装在 iLEC 膜元件（2）的上游（进水端）一次，总长度就将增加 0.5 英寸（1.25cm），并会出现间隙（5），使得上游膜元件无法得到合适的支撑，必然发生望远镜状膜元件损坏，进水端压力容器端板产水引出接头与膜元件端面间的间隙长度（6）就不够，无法安装压力容器进水端适配器。



FILMTEC 膜元件

如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：

上海: 86-21-2301 9000
 北京: 86-10-8518 3399
 广州: 86-20-8752 0380
 台北: 886-2-2775-6066
 中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意：任何人不得推定其在本文件下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或对其一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-8 废水回用 – 裕廊岛的经验

— 新加坡 SUT SERAYA 公司用抗污染反渗透膜回收废水*

作者： Eu Hong Gay¹, C. Ravi², Kai-Uwe Hoehn³

¹ 运行经理，

新加坡 SUT Seraya 有限公司

² 工程技术付总裁，美国 Aquatech 国际公司

³ 高级工程专家，

陶氏化学(澳大利亚)有限公司

译者： 陶氏化学（中国）投资有限公司技术服务工程师

摘 要

新加坡作为岛国自然资源匮乏，水则成为它的一项战略资源。目前新加坡的饮用水有一半来自邻国马来西亚，但是它与马来西亚的两个供水协议将分别于 2011 年和 2061 年失效。随着工业的繁荣，该国对水的需求也不断增长。这种情况促使新加坡政府及其工业界不断寻求创造性的供水办法，使该国的水资源更加自给自足。

新加坡目前已建立起一个大型的反渗透工厂处理三级生化废水，并将其转化成可用于蓬勃发展的石化工业的高级工业给水（HGIW）。该反渗透系统由美国 Aquatech 国际公司（AIC）供货，安装了 2184 支陶氏化学公司生产的抗污染膜元件 FILMTEC™ BW30-365FR。该系统由 SembCorp 公用事业公司的子公司 SUT Seraya（SUT）公司负责运营管理。整个系统为单级 RO，共 6 列，单列产水量 5000m³/d，总产水量 30,000m³/d。每列分 3 段，按 28:16:8 排列，使用 52 个压力容器（7 元件的容器），配置 BW30-365FR 元件 364 支。系统平均设计通量 10GFD（17l/m².h），设计给水 TDS~1300mg/L。

通过利用 RO 技术及 30,000m³/d 的容量带来的规模经济效应，SUT 通过新加坡公用事业署不仅能将回收水出售给裕廊岛用户，而且其价格比目前的饮用水更便宜。SUT 生产的高级工业给水作为工艺给水，可进一步节省除盐费用，因为其中的绝大多数溶解性固体已通过反渗透膜脱除掉了。

为了使该工程经济上更加合算，要求系统回收率的设计突破常规。所以，SUT 对三级废水制定了高达 85%（常规为 75%）的回收率设计目标，将其转化成可回用的高级工业用水。其中，Aquatech 独特的常规预处理工艺可以将生物活性废水的 SDI₁₅ 值降到正常值 4 以下。并且，SUT 和 Aquatech 的工程师还发现：陶氏 FilmTec 公司的抗污染膜非常容易清洗，常规化学药品就足以满足清洗的要求，这样能够保持清洗成本低廉。

目 录:

1. 工程概况
2. 项目规划及发展历程
3. 中型试验及系统设计
4. 系统布局及运行性能
5. 结论及展望 – 保护稀缺的水资源

1. 工程概况

1-1 裕廊岛的形成

1994 年，当新加坡政府开始实施其雄心勃勃的计划，准备在亚太地区建立世界级的化工中心时，就将其南部的七个小岛通过填筑水域的办法合并形成一个面积 2650 公顷的大岛，这就是裕廊岛（JI）。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

在裕廊岛规划和发展的同时，SembCorp 公用事业公司---通过它的子公司 SUT Sakra 公司和 SUT Seraya 公司---实施了一项“公用事业设施集中化”的概念方案。该方案可向预期在裕廊岛设立公司的众多石化、化学及精炼公司提供一系列公用设施，诸如蒸汽供应、废水处理、除盐水供应、冷却水供应、产品贮存设施及终端设施等。

1-2 战略资源

新加坡地域狭小，只有 660 平方公里，相对而言，人口则高达 400 万，仅仅靠新加坡岛的集水量远不能满足对水的全部需求。所以，新加坡有一半的供水需依靠两个供水协议（分别于 2011 年和 2061 年终止）从邻国马来西亚提供。

基于战略重要性，早在 20 世纪 70 年代，新加坡已向裕廊岛工业区提供工业用水（IW）作为替代性的工业水源。这种工业用水主要是从 Ulu Pandan 废水回收厂排放的经过三级处理的废水，新加坡污水需处理到符合标准 20ppm BOD，30ppm SS。而工业用水（IW）的典型水质为 BOD<3ppm，SS<5ppm，TDS<1300ppm，为了鼓励回用它，其出售价格比饮用水便宜很多，因此，无论对直接的工业回用还是进一步深度处理均有很大的吸引力。

由于化学和石化部门的用水主要是非饮用目的，占新加坡整个饮用水量的 5%，所以这促使 SUT 和政府开发创造性的水源以替代现有的饮用水水源。

2. 项目规划及发展历程

2-1 为裕廊岛规划替代水源

早在裕廊岛规划阶段，人们就已经设想将位于裕廊工业区的工业水网加以延伸，以满足整个裕廊岛的工业需要。利用供给裕廊岛的工业用水，采用RO/EDR技术或相关技术可进一步将工业用水处理成高级工业用水（HGIW），这被认为在经济上是可行的。

2-2 高级工业用水（HGIW）规范

为使废水的回用对工业界更具吸引力，人们希望公共事业署（PUB）提供的高级工业用水（HGIW）应该比饮用水的水质稍好一点。将控制其目标电导率小于250 μ S/cm，相比而言，PUB提供给裕廊地区的饮用水电导率为350~650 μ S/cm。

1996年和1997年，通过对拟投资于新加坡裕廊岛的石化公司、化学公司及精炼公司开展了调查，预计饮用水级的工业用水量将达到50,000m³/d。因此，我们规划了一个日产30,000m³高级工业用水的工厂。在投产后，如果产品水以稍低一些的价格出售，那么将很容易取代PUB的饮用水。

接着，在1997年和1998年，SUT开始着手发展用工业用水（IW）作替代水源。人们预计工业用水（IW）能够进一步处理并制得可与饮用水相比的产品水，但只用于工业目的。这种水即被命名为高级工业用水（HGIW），以与工业用水（IW）相区别，并通过独立的输水系统卖给裕廊岛的工业用户。

2-3 工业用水（IW）规范

设计HGIW水厂的基点是工业用水水质。到目前为止，新加坡公用事业署（PUB）经营裕廊工业水网（JIWW---处理来自Ula Pandan废水回收厂排放的三级废水处理厂已长达20年，并积累了丰富的工业用水（IW）水质数据）。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

然而，就象其他许多下水道陈旧、地下水位高的海岸城市一样，海水倒灌现象导致工业用水成份随着潮位而急剧变化。氯化物水平可从100mg/L变化到500mg/L，但正常的范围为 250 ± 100 ppm。

在相当长的时期内，我们观察到工业用水（IW）的电导率从最低 $800\mu\text{S}/\text{cm}$ 可波动到高达 $1800\mu\text{S}/\text{cm}$ ，有时甚至高达 $2000\mu\text{S}/\text{cm}$ 。因此，为谨慎起见，应该提供安全设计裕度。在设计RO时，原水规范采用相当于TDS1300mg/L的最大电导率。另外，考虑到RO膜的逐渐污堵和盐通量随时间的增加，我们也需要较高的安全设计裕度。

2-4 技术招标及评估

在1997年初举行了建造 $30,000\text{m}^3/\text{d}$ 的工业用水深度处理厂项目招标，有10多家国际著名的水公司参与投标。评标则基于每份标书的实际净值进行，结合了投资和长期运行成本的影响，同时考虑采用当时最可靠的先进技术。

提交的各种标书大概可以归类成三种不同的工艺：

- a) 频繁倒极电渗析技术（EDR）
- b) 用微滤（MF）作预处理的反渗透技术（RO）
- c) 用传统双介质过滤（DMF）作预处理的反渗透技术（RO）

频繁倒极电渗析技术和反渗透技术相比由于其达不到高脱盐率而未被采纳。

微滤膜作预处理工艺与传统介质过滤相比经济性上两个不足。其一，每隔5年微滤组件必须更换；其二，微滤膜只能提供90~95%的系统水回收率。相比而言，传统双介质过滤没有昂贵的介质更换费用，因为石英砂和无烟煤十分便宜，更重要的是，由于双介质过滤器采用反渗透的浓水作反洗水，可使其水的回收率提高到99%。

令最终用户SUT感到放心的是，位于印度Chennai市的马德拉斯化肥有限公司（MFL），多年来已经成功地将传统双介质过滤与陶氏化学的标准反渗透膜相结合使用，实现了废水回用处理，规模为日产水 $12,250\text{m}^3$ 。因而确定了采用传统双介质过滤作预处理的反渗透方案。

2-5 系统回收率及项目经济性

由于公用事业署（PUB）对新加坡使用的每吨工业用水征收水费0.43新元，所以废水回收厂只有采用最高的运行回收率，方能使该项目经济上可行。同时，消费者也盼望有一个具有竞争性的水价。因此，筛选剩下的标书必须采用介质过滤作为RO的预处理，而且RO装置的回收率高达86%，结合预处理部分99%的回收率，最后整个系统的回收率达到85%。

3. 中型试验及系统设计

设计和建设污水回用厂的合同最后被美国Aquatech国际公司（AIC）中标。在设计的最初阶段，为了使 SDI_{15} 值达到RO膜要求的目标值（ <4.0 ），承建项目的工程公司决定采用两级双介质过滤器：一级双介质过滤器（PDMF）和二级双介质过滤器（SDMF）作预处理。这就意味着为裕廊岛将来可能出现的水质不稳定状态提供了操作裕度。

3-1 中型试验

为模拟两级双介质过滤器，承建项目的工程公司建立了一套中试装置，以筛选、优化混凝和絮凝



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

工艺，同时优化介质层。

3-1.1 混凝和絮凝的优化

承建项目的工程公司作了一系列的烧杯试验，测试了不同浓度的多种聚合物，并通过沉降性试验、絮体形成试验、浊度测量等方法确定每种聚合物的最佳效果。从该烧杯试验中，筛选出两种聚合物，作为进一步中试研究。中试主要测量不同浓度下的浊度和SDI值。基于测试结果，最后确定采用的聚合物和混凝剂。

3-1.2 双介质过滤器 – 滤层优化

由于中试中观察到存在SDI穿透 (>5)，基于初级过滤器的最小泥沙带出量，二级过滤器采用了细砂以提高机械过滤器出水SDI值的稳定性，SDI的设计目标为<4。

3-1.3 聚合物带出试验

现场工程师进行的聚合物带出试验表明，其带出结果为零。

3-1.4 预处理充分性及污堵研究

确定了化学药品及过滤介质的优化配置后，再建立了一套独立的闭合循环中试系统，以模拟反渗透系统的第3段最后一支元件的运行情况。该系统由单支陶氏FILMTEC BW30-365FR抗污染元件组成，运行回收率86%。该系统运行将近一月之后证明没有任何污堵。接下来，将回收率提高到90%，强制产生了一些污堵。但是，即使这样也没有产生严重的污堵。因此，证明膜元件的抗污染能力是显著的、预处理是充分的。这些试验也有助于减少今后大型系统现场调试所需的时间。

3-1.5 RO膜元件的特点及选择

SUT选择FILMTEC BW30-365FR抗污染膜，既是基于该膜在处理富含生物活性水方面的卓越性能业已得到实践的证明，也是基于陶氏可靠的技术服务和支持。陶氏在Chennai的马德拉斯化肥厂的跟踪记录使SUT更加放心。在将近10年中，陶氏膜成功地用于印度Chennai厂的废水处理系统中，以净化有机物含量很高的生物活性水。从前，膜技术因其污堵速度很快而被认为不能适应处理这类恶劣水质。

FILMTEC BW30-365FR是卷式复合膜，具有很强的抗污染性能。FILMTEC FR抗污染元件有着诸多性能优势和经济优势：先进的自动卷膜技术使精度达到手工卷制望尘莫及的水平；增加膜片数量，缩短膜片长度，显著地减小了产水侧的压力损失，这样元件内膜的效率更高，驱动压力更加均匀，产水通量分布也更均匀。元件的给水通道宽34mil，比其他品牌产品宽10~20%，使得清洗更容易。FILMTEC FR抗污染膜证明能抗细菌吸附，因而可大大延长清洗周期。FILMTEC FR元件的生物累积和生物污堵的速率很低，这样平均给水压力很低，从而显著降低了能耗。

3-2 AIC提供的独特的系统设计特点

3-2.1 高效的过滤器设计，以使SDI值始终保持低水平，为维持SDI值，过滤器设计具有如下特点：

a) 双室过滤器设计。通过将滤层分成两室可提高空气擦洗及反洗的效果。

这种设计使我们可更好地控制整个过滤流通面上的通量。并增加了过滤器的高度，以进一步提高流量分配的均匀性。初级过滤器主要为截留颗粒和污泥提供空间，次级过滤器则作为精滤器。初



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

级和次级过滤器始终有一个以上保持在线运行。这样SDI值的稳定性更好，因为任何时候过滤系统都没有运行在刚反洗的状态。

b) 初级过滤和次级过滤交错反洗

设计上，初级和次级过滤器交错反洗，避免同步。由于初级过滤器的压差超标比次级过滤器更为频繁，故其反洗频率也更高。交错的概念有助于确保过滤过程一直在压实的滤床上进行。这一点有助于稳定SDI值。

3-2.2 通过段间升压泵节能

为达到86%的系统回收率，RO的第一、二段设一台高压泵，第三段设一台段间升压泵，并在第一段的产品水管线上设节流孔板以控制第二段的给水流量。这种设计允许第一、二段运行的同时，冲洗第三段。

3-2.3 第三段冲洗的特点

由于待处理水的特点及系统回收率高的特点，第三段RO浓水达到饱和的程度极高，极易导致污堵和结垢。而膜产水具有溶解性能，因此第三段采用产品水定期冲洗污染物和沉淀物，防止板结。每个运行班都要对第三段进行隔离，用产品水冲洗，同时前两段维持75%回收率继续制水。每次启停系统都遵循上述冲洗规程。

3-2.4 变频驱动装置（VFD）和节能

AIC公司在该系统中选用了变频驱动装置（VFD）作为节能设施。高压泵设计的扬程很高，足以满足膜污堵所需的高压力，使膜元件充分达到其使用寿命。

通过采用变频驱动，高压泵正好运行在使膜不产生污堵所需的压头下。因此，不必在泵的出口设置节流阀控制富余的压头。这样在最初几年就能节省大量能源。

VFD使软启停成为可能。这样，马达可以在较长的时间内逐渐加速或减速到期望值。这样还可防止水锤作用对膜的破坏，而水锤会使膜孔压实，进而导致通量损失。同时，因元件在压力容器内的移动导致的望远镜现象也可避免。

3-2.5 实现高回收率的方法

a) 回收排污水

过滤器反洗之前的排放水通过再循环管线送回入口回用。这个设计节约了相当可观的水，否则这部分水将被白白浪费掉。

b) 用经氯消毒的RO浓水反洗双介质过滤器

将RO浓水用于反洗过滤器也取得了显著的节水效果。反洗水箱由于浓水的不断流过而始终处于搅拌状态，这样水箱就能够保持满水位，而且新鲜的浓水不断更换原有的浓水。每次反洗工艺开始之前，对反洗用的浓水先进行氯消毒，以避免过滤器的底部发生任何污染。

c) 过滤器正洗水循环使用

正洗步骤需消耗相当可观的水量。在正洗阶段，先将过滤器底部的浓水置换排放，而后的所有正

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

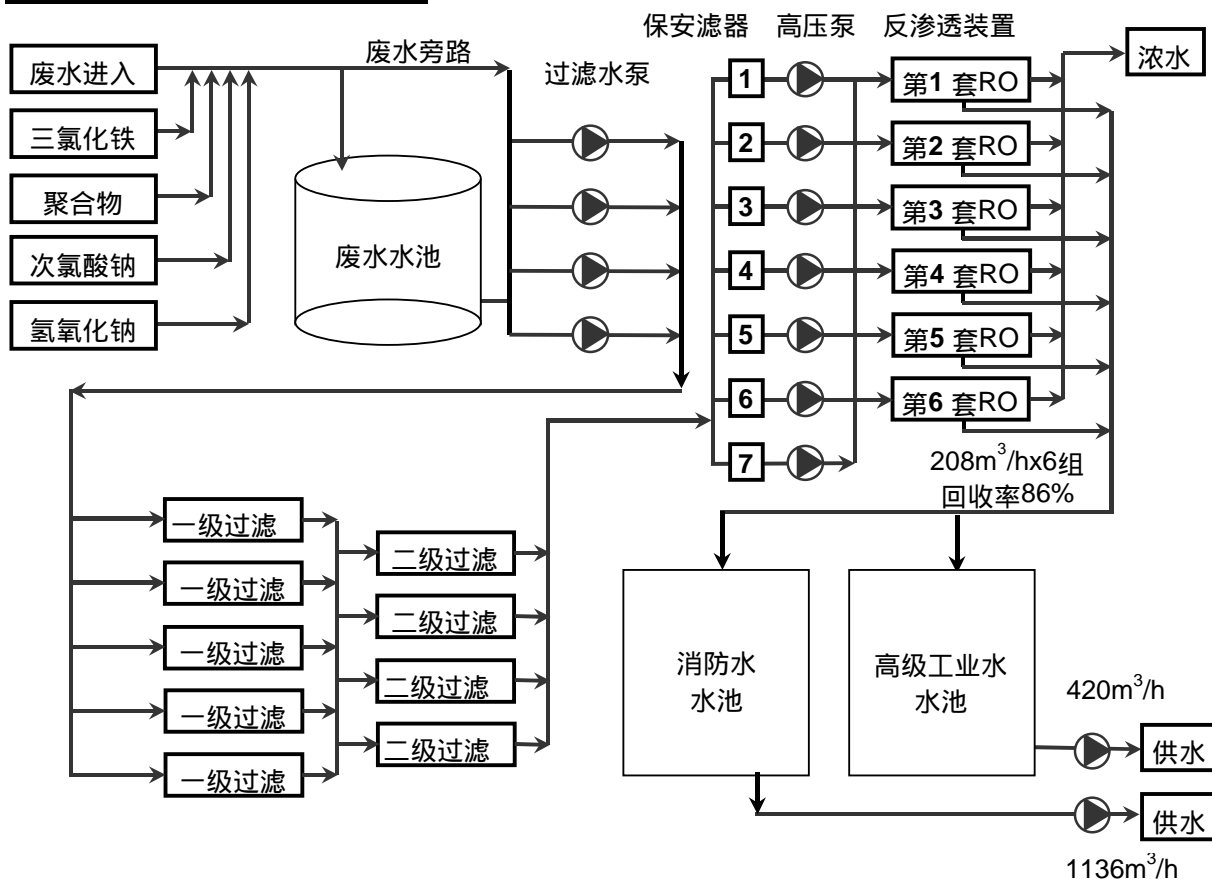
洗排水全部再循环，送回入口水箱回用。这样，可以延长正洗步骤，更好地压实滤床，从而控制SDI值。AIC公司正是采用了上述各种方法减少了水的损失，提高了整个系统的水回收率。

4. 系统布局及运行性能

4-1 SUT整个水处理厂设计布局概况

三级废水（原工业用水IW）作为给水如图1所示通过预处理工艺步骤进行深度处理。在系统中加入NaClO，以尽可能控制生物及藻类的滋长处于低水平。在整个预处理阶段，游离余氯和化合氯维持一定的水平。在给水处理进入RO膜之前，加入亚硫酸氢钠（SBS），确保没有游离余氯接触膜元件。为防止难溶盐类结垢，RO给水往往需要加入阻垢剂。对进入RO元件的经过预处理的给水，在线监测其氧化还原电位（ORP）。在RO元件上游，每周加入非氧化性杀生剂一次，以防止RO系统滋长微生物。给水中氯胺的水平为~0.5mg/L。RO的给水压力980kPa（9.8bar，140psi）。图1中的RO装置，共6列，规格一样。

图 1 裕廊岛 SUT 处理厂流程示



4-2 RO系统的布局

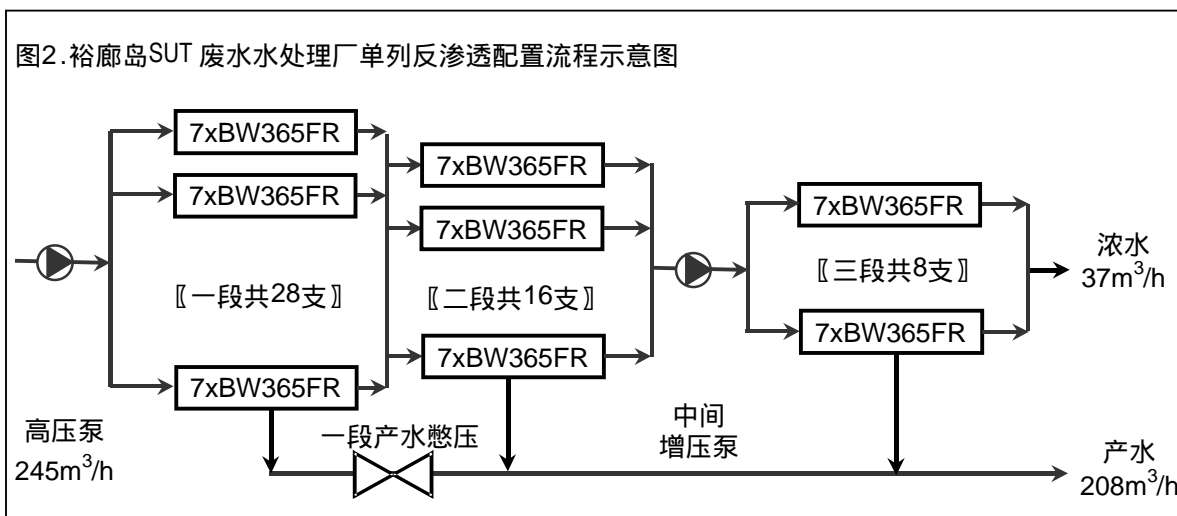
每列RO由3段组成，其布局如图2所示。

4-3 RO运行注意事项、清洗及膜分析

RO产品水水质始终符合高级工业用水（HGIW）的技术规范。见下表“工业用水（IW）和高级工业用水（HGIW）的实际值及规范值的比较”。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件



裕廊工业用水 (IW) 和高级工业用水 (HGIW) 的实际值和设计规范值的比较

参 数 如无特别说明 单位为mg/L	IW 规 范	IW实际值 (min.-max.) 运行范围	HGIW 规 范	HGIW实际值 (min.-max.) 运行范围
pH	6.5 – 7.0	6.6 – 7.4	6.5 – 7.5	6.8 – 7.2
电导率 (μS/cm)	700 – 2200	700 – 2200	< 250	66 – 133
总溶解固体 (TDS)	350 – 1,300	500 – 1300	< 150	33 – 70
浊度 (NTU)	0.5 – 2.0	0.4 – 1.7	< 0.5	0.1 – 0.4
TSS-总悬浮固体	3.0 – 6.5	1-2	< 0.5	0.07 – 0.13
色度 (Hazen Unit)	5 – 15	13	< 5	<5
总硬度(as CaCO ₃)	100 – 250	100 – 160	< 60	1 – 3
总碱度(as CaCO ₃)	30 – 80	40 – 80	< 45	16 – 22
钠	65 – 300	150 – 200	< 50	10 – 12
氯	100 – 500	150 – 500	< 55	6 – 21
硫酸根(as SO ₄)	80 – 145	120 – 160	< 30	< 7
二氧化硅(as SiO ₂)	1-10	6 – 10	<2.0	0.1 – 0.4
氨-N (as N)	3 – 18	5 – 15	< 3	0.1 – 1.0
磷酸盐 (as P)	1-4	2 – 4	< 0.5	0.04 – 0.10
嗅味	U.O.	U.O.	U.O.	U.O.
BOD ₅	<5	<5	< 3	< 1
COD	30 – 60	20 – 30	< 10	2 – 4
细菌 CFU/100mL	< 0	<1000	<1000	<1
氟	0.2-1.0	0.2 - 0.7	<0.1	< 0.02
锶	N.M	0.2 – 1	N.M.	N.M.
钡	N.M	0.01 – 0.1	N.M.	N.M.
铝	0.09	0.03	< 1.0	< 0.1
铁	0.09	0.02 – 0.09	< 0.04	0.02 – 0.04

陶氏 FILMTEC 膜元件 • FilmTec 公司是陶氏化学公司的全资子公司



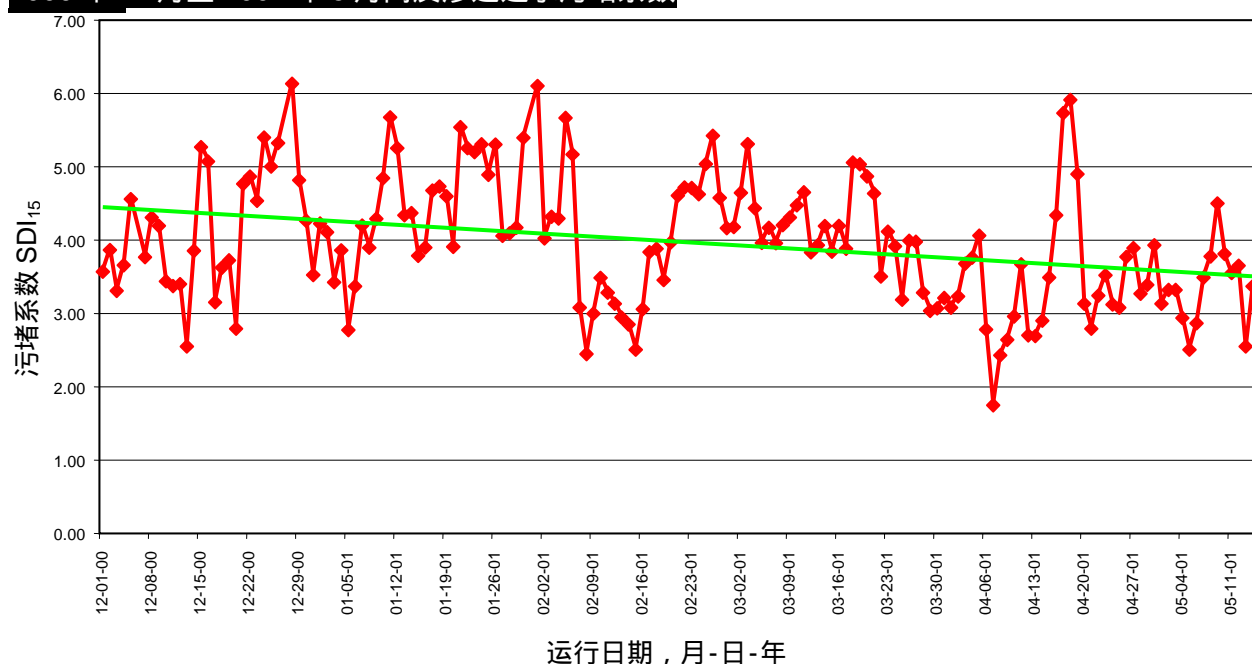
陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

锰	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.05
铜	0.02	< 0.05	< 0.02	< 0.05
锌	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.02
As,Cd,Cr,Pb,Hg,Se	< 0.02	每个最大 50ppb	N.D.	< 0.0001
氰化物和 H ₂ S	< 0.02	N.D.	N.D.	CN ⁻ < 0.01

注: N.D. 表示检测不到; N.M. 表示未测; U.O. 表示无味。

原工业用水有时SDI值 (>6) 及TSS (6~6.5ppm) 很高, 偶尔导致RO给水的SDI值超过4。当RO给水的SDI值长期超过4时, 要求系统的回收率从86%降到75%。而且在2000年元月启动及其后的几个月中,

2000年12月至2001年5月间反渗透进水污堵系数



该系统的回收率被谨慎小心地控制在75%, 在而后的半年期间缓慢增加到86%。

预计的清洗周期在86%的回收率下, 每月一次。在4周的清洗间隔中, 标准化产水流量后一般会下降15~20%。清洗后, 标准化的产水量能恢复到原有水平。FILMTEC膜允许在很高的pH值 (30°C时最高可到pH12, 35°C时最高可到pH11.5) 下进行清洗, 而不会对膜性能造成负面影响。这比市场上其他品牌的膜都要高很多。清洗常用化学药品为NaOH, Na-EDTA和HCl。酸洗可用HCl在pH1~2下进行。

运行一年后, 进行了一次例行膜解剖分析, 以测试结垢物和污堵物的成分, 并检查标准条件下元件性能。正如预料, 仅存在轻微的生物污堵, 并探测到少量Ca、Si、Fe, 表明存在轻微胶体污堵。系统性能也正如所预料的一样, 脱盐率和流量均在技术规范之内。没有任何迹象表明存在产水恶化、通量损失、需要增加给水压力等问题。

5. 结论及展望 – 保护稀缺的淡水资源

由于SUT, AIC及陶氏公司的紧密合作, 在工程各阶段进行了大量审查工作, 使该项目得以按时调试, 并且产水水质超过了设定的规范值。自2000年元月初启动以来, 该RO系统运行良好, 参数稳定。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

本项目开创的85%高回收率被视为三级废水回用的工业标准。

SUT和AIC的工程师发现FILMTEC的FR膜正如严格实施的设计和运行条件下的预计，运行效果好。采用普通价廉的化学药品就足以满足清洗要求，从而保持较低的清洗成本。与采用非抗污染膜的老系统相比，该系统显著降低了运行成本。

SUT提供的高级工业用水进一步节省了裕廊岛用户的除盐水生产费用，因为膜脱除了废水中大多数的溶解性盐类。其结果是双赢局面，不仅为工业界找到了廉价的水源，而且帮助新加坡保护了稀缺的淡水资源。

RO技术及FILMTEC FR膜未来的潜力及意义已远远超出其带给SUT及其裕廊岛用户的成功。RO是一项成熟的且用户用得着的技术，它不仅能从海水制取淡水，而且能使废水回用，保护水资源。这一套十分经济的供水系统正在连续地运行之中，其出水水质和水量稳定，将为新加坡相关公司节省数百万美元，并成为吸引其他公司在此创业的重要因素。同样地，该技术也可用于世界其他缺水地区处理循环回用废水，从而保护重要的自然资源。

致谢：

作者对SUT公司的Seetharaman先生和Eugene Yan博士、AIC公司的M. N. Rao先生、陶氏（德国）公司的J. A. Redondo先生致以诚挚谢意，感谢他们在本文准备过程中的大力支持和见解深刻的讨论。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-9 法国巴黎梅里奥赛特大型纳滤膜系统一年运行经验 — 日供水 14 万吨大型纳滤饮用水系统*

作者： Claire Ventresque^a, Valérie Gisclon^b, Guy Baboln^a, Gérard chagneau^c

^aVivendi/Générale des Eaux, Quartier Valmy, 32 Place Ronde. 92982 Paris la Défense France

Tel. +33 (1) 55 23 43 73; Fax +33 (1) 55 23 47 19; claire.ventresque@generale-des-eaux.net

^bVivendi/Générale des Eaux, Usine de Mery-sur-Oise, 2 avenue Marcel Perrin. 95540 Mey-sur-Oise, France

Tel. +33 (1) 34 48 28 77; Fax +33 (1) 34 48 28 41; valerie.gisclon@generale-des-eaux.net

^cSyndical des Eaux d'Ile de France, 131 rue du Bac, 75007 Paris, France

Tel. +33 (1) 53 45 42 12; Fax +33 (1) 53 45 42 69; g.chagneau@sedif.com

译者： 陶氏化学（中国）投资有限公司液体分离部首席代表

摘要

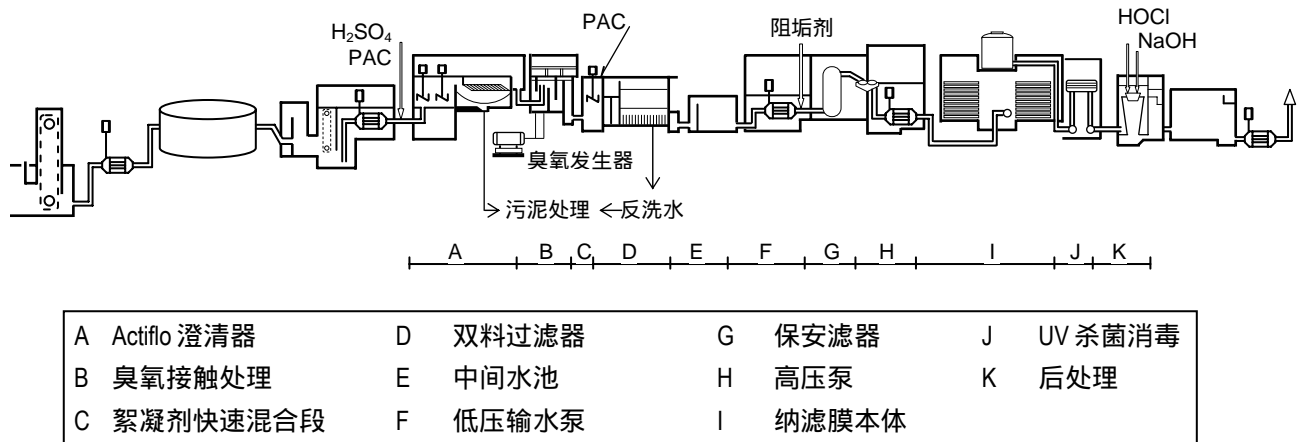
巴黎北郊梅里奥塞水处理厂是法国水务企业联合集团（SEDIF）建造的新型水处理系统，在一年多时间内为大约 80 万居民供应了经过膜法处理的高品质饮用水，这一新型水处理厂于 1999 年投运，已有大量的文献^[1-4]报道了为何要选用膜处理方法对奥塞河水进行处理。被处理的原水是受污染的河水，其温度变化范围为 1~25°C (33~77°F)，同时有机物的含量随季节发生巨大的变化。采用纳滤膜过程使其成为水处理领域的重大创新，它的创新点还在于其水处理系统的过程控制。

该水厂采用了 1000 多台由计算机控制的预报控制屏，450 多台在线传感器，整个水处理厂完全实现了自动控制，这意味着操作系统可以提供实时评估纳滤膜污堵状态，也可以进行完全自动化地清洗，操作者可以自行选择清洗配方。

该系统一年来的运行为我们提供了评价膜系统效率的基础数据，由于膜的污堵是与原水水质密切相关，本文论述了系统预处理的性能，还介绍了各种膜的使用和清洗的改进方法。

1. 处理过程简介

图 1. 膜法水处理系统，第 2 系列



本文为 2001 年美国水工业协会膜会议专题论文，版权为美国水工业协会(AWWA)所有，未经许可，不得翻录

陶氏 FILMTEC 膜元件 • 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

1.1 预处理系统

预处理部分供应给纳滤系统最大水量为 180,000m³/d (45.5MGD)，它由采用了 ACTIFLO 重力沉降器的一次絮凝沉降步骤、臭氧氧化和双层滤料过滤器（石英砂和无烟煤）所组成，采用的絮凝剂为聚合氯化铝 WAC HB，在水源污染严重的季节再加入阴离子聚电介质，以便大幅度减少 PAC 的使用量。通过加入硫酸使凝絮时的 pH 值位于 6.9，降低絮凝后水中溶解铝离子的含量。

1.2 保安滤器

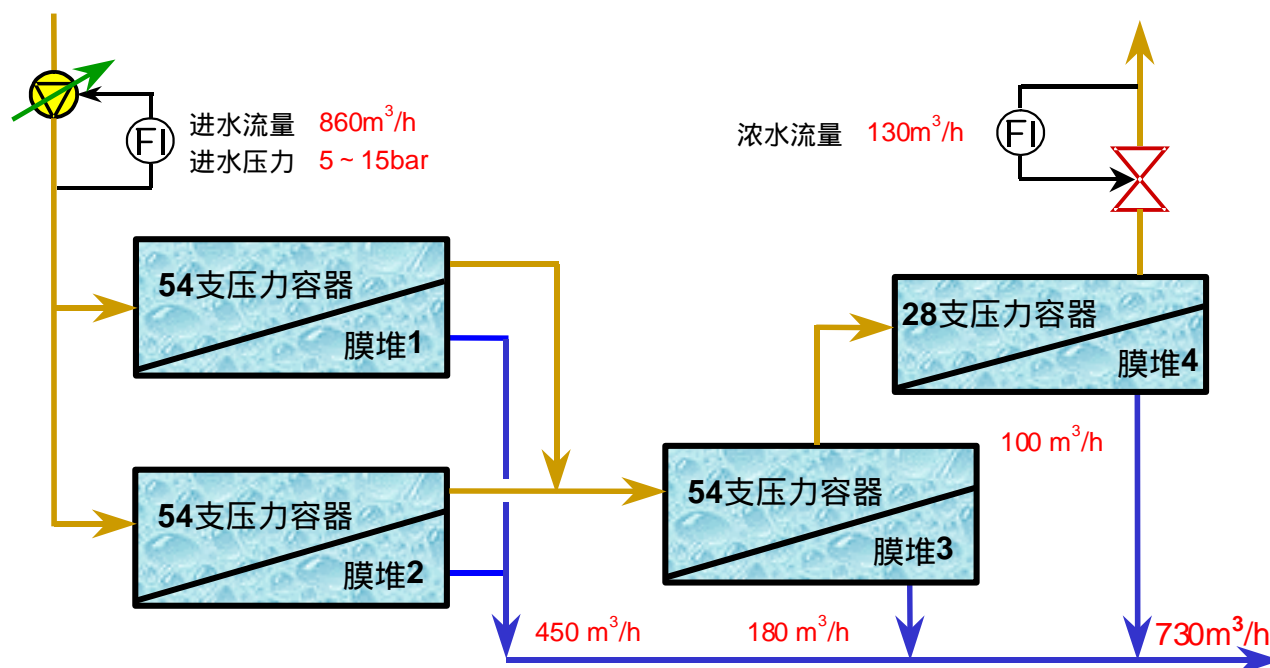
预处理产水经过中间提升泵后进入了 8 台 6μm 保安滤器^a，每台装有 410 支滤芯^b，这些设计成全自动反洗的保安滤器能够根据其出水所含>1.5μm 颗粒的数量选择清洗频率，除了预处理部分出现故障之外，清洗频率一般为 24~36 小时之间。此外，还可对保安滤器进行周期性地化学清洗，以延长滤芯的使用寿命，一旦保安滤器水头损失达到约 650mbar (10psi) 时，控制系统就立即自动开始这种化学清洗。在这样的操作方式下，滤芯的设计使用寿命为 5 年。

设置保安滤器的目的是为了捕捉颗粒，这些颗粒有可能堵塞或损坏膜元件，一旦双介质过滤器的产水中含有过高的悬浮物质时，保安滤器的作用就象电气回路中的断路器一样，保护纳滤膜本体。保安滤器可以将>1.5μm 的颗粒降低 85%以上。

1.3 纳滤系统本体

该特大型膜法水处理系统使用了 9,120 支卷式纳滤膜元件^c，每支压力容器装 6 支元件，共有 1,520 支压力容器，分成 8 个系列，每个系列进水量为 860m³/h (3,700gpm)，每个系列均采用变频器驱动，根据原水水温的不同，所提供的膜进口压力变化范围为 5~15bar (72~217psi)，通过在第三段浓水管线上设置的自动控制阀恒定系统的回收率为 85%。

图 2. 纳滤系列组成示意图





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

- a 保安过滤器由法国颇尔公司生产, Pall France, 3 rue des Gaudines, Boite Postale n°5253, 78175 Saint Germain en Laye, France.
- b 保安过滤器滤芯: Septra, 由法国颇尔公司生产。
- c 美国陶氏化学公司全资子公司 FilmTec 公司卷式纳滤元件 NF200 B-400

将每个系列膜元件构成 4 个支架, 第一段含两个支架, 每个支架安装 54 支压力容器, 第二段含 1 个装有 54 支压力容器的支架, 第三段为装有 28 支压力容器的 1 个支架。每个支架上的流量、进出口压力、压力损失和电导率均可单独测量, 压力损失 ΔL 定义为每组支架上高压进口压力与高压出口压力之差。

该特大型水处理系统所选用的膜元件是专为处理奥塞河水而设计的 FilmTec 卷式纳滤元件 NF200 B-400, 它允许原水中的部分钙离子通过, 但却能截留几乎所有的有机污染物。

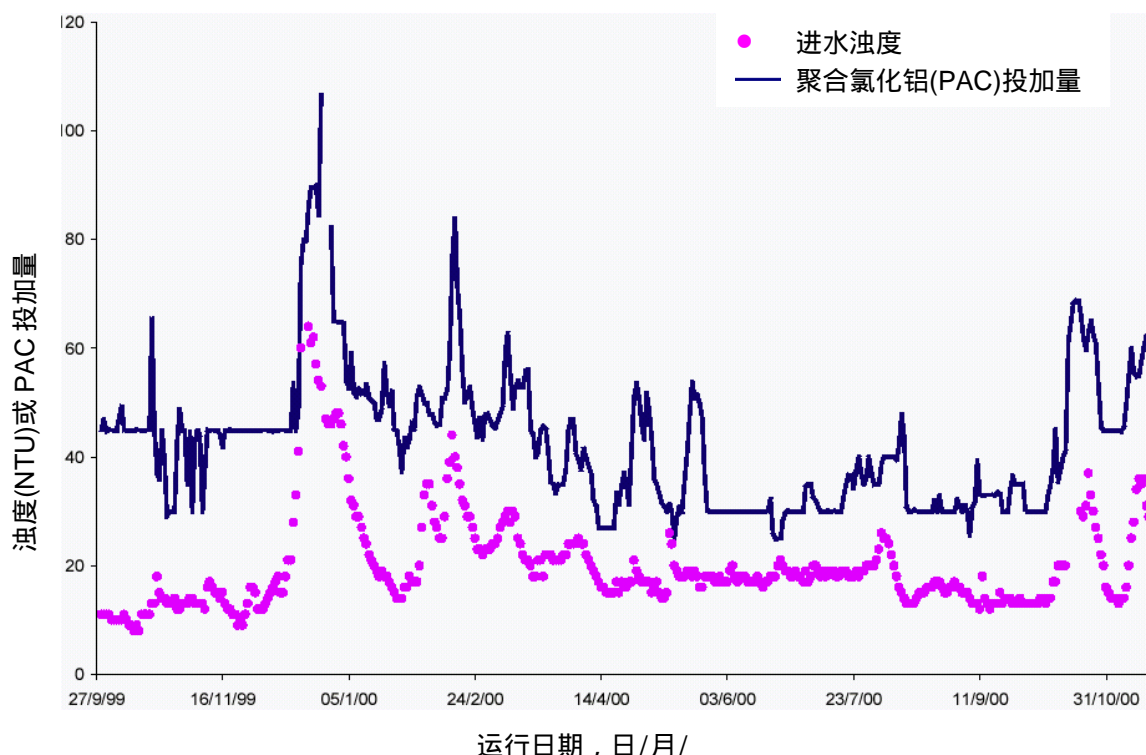
1.4 后处理

在后处理部分, 首先采用脱气塔脱除纳滤产水中的 CO_2 , 然后经过 5 台辐射量为 25 毫焦耳/cm² 的紫外反应器作卫生保护措施, 最后产水再经过投加 NaOH 进行水质 pH 调节, 但无需添加其它矿物质。

2. 预处理和保安过滤器性能

一年中河水水质随季节的变化范围相当大, 不论进水浊度如何变化 (8~60NTU 之间), 均要求保证预处理在整个一年中出水稳定。图 3 表示絮凝剂 PAC 投加量随进水浊度变化的变化趋势, 以保证 ACTIFLO 重力沉降池出口浊度为 1.1NTU 作为控制絮凝剂投加量运行参数指标, 此时每毫升水中大于 1.5 μm 的颗粒约小于 5,000 个。

图 3. 根据进水浊度投加到 ACTIFLO 沉降池的絮凝剂 WAC HB 量



在 ACTIFLO 重力沉降池出口进行了初级臭氧氧化, 它能将未经沉降除去的颗粒再次絮凝, 然后在



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

进入双介质滤器之前，再进行二次投加 PAC，当其与臭氧氧化作用相结合时，就可制得非常高品质的预处理出水（表 1），这种二次絮凝剂的加入量为 5~10g/m³，臭氧加入量为 1g/m³，经双介质滤器过滤的出水采用在线铝离子分析^a、颗粒^b和浊度^c实现了实时监控。

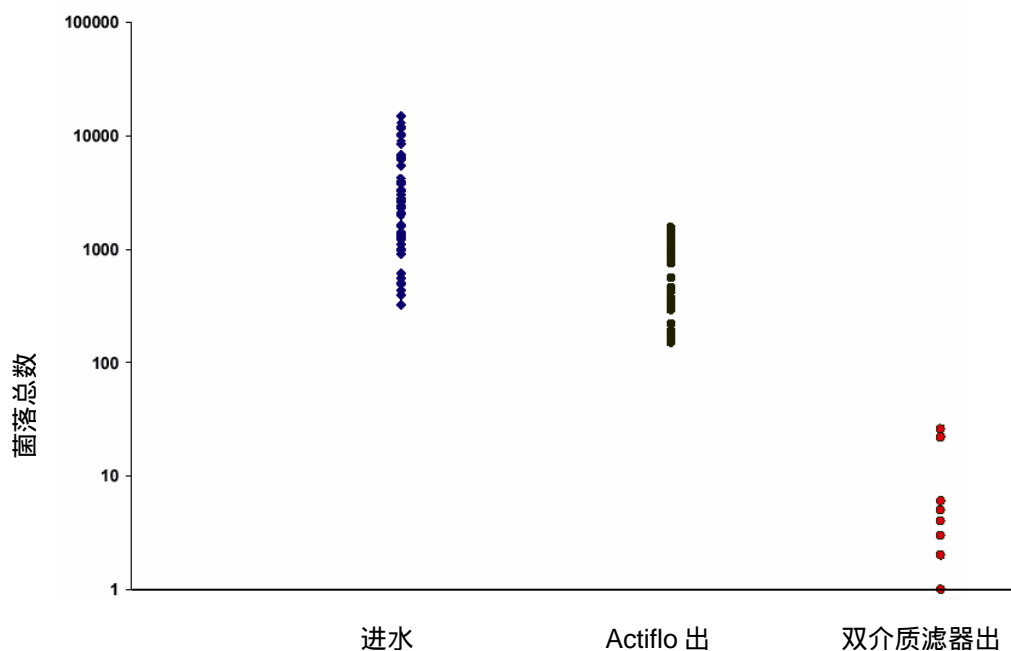
通过絮凝过程加酸调节进水 pH 值，能大幅度地下降可溶性的铝离子含量，这样也就减少了膜的污堵速率，预处理系统同时还能脱除 30~60% 的 TOC 的含量，图 4 表示预处理系统脱除了大约 4log（10,000 倍）的细菌含量。

表 1 预处理系统平均水质，1999 年 9 月至 2000 年 11 月

参数	进水	Actiflo 出口	双介质滤器出口	保安滤器出口
与颗粒相关的参数				
悬浮物 SS (mg/L)	18.2	2.21	nm	nm
浊度 (NTU) ^c	19.8	1.1	0.05	nm
颗粒计数>1.5μm/ml	nm	大约 5,000	24.8	3.8
颗粒计数>0.5μm/ml	nm	nm	nm	7,987*
总铝离子 (μg/L)	nm	nm	< 20	nm
有机物：				
TOC (mg C/L)	4.2	nm	2.2	2.2
紫外 (UV) 吸收度 (10 ³ /cm)	106.8	nm	nm	37.1

* 大于 0.5μm 以上颗粒的计数变化范围 5,000 ~ 12,000；nm：表示未进行测量。

图 4 预处理系统对菌落总数脱除的影响



^a AL9000 铝分析仪，由 Environmentat SA 公司生产，111, boulevard Robespierre, 78300 Poissy France.

^b HIAC Royco 2000。 ^c 浊度仪 SIGRIST CT65IR



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

显然，保安过滤器进水的颗粒含量很低（除了供水高峰期外），浊度和铝含量也被降到极低，但正如图5所示那样，表现在纳滤膜进口的河水 TOC 含量变化很大。

图5 在系统进水和膜本体进口 TOC 的变化(mg C/L)

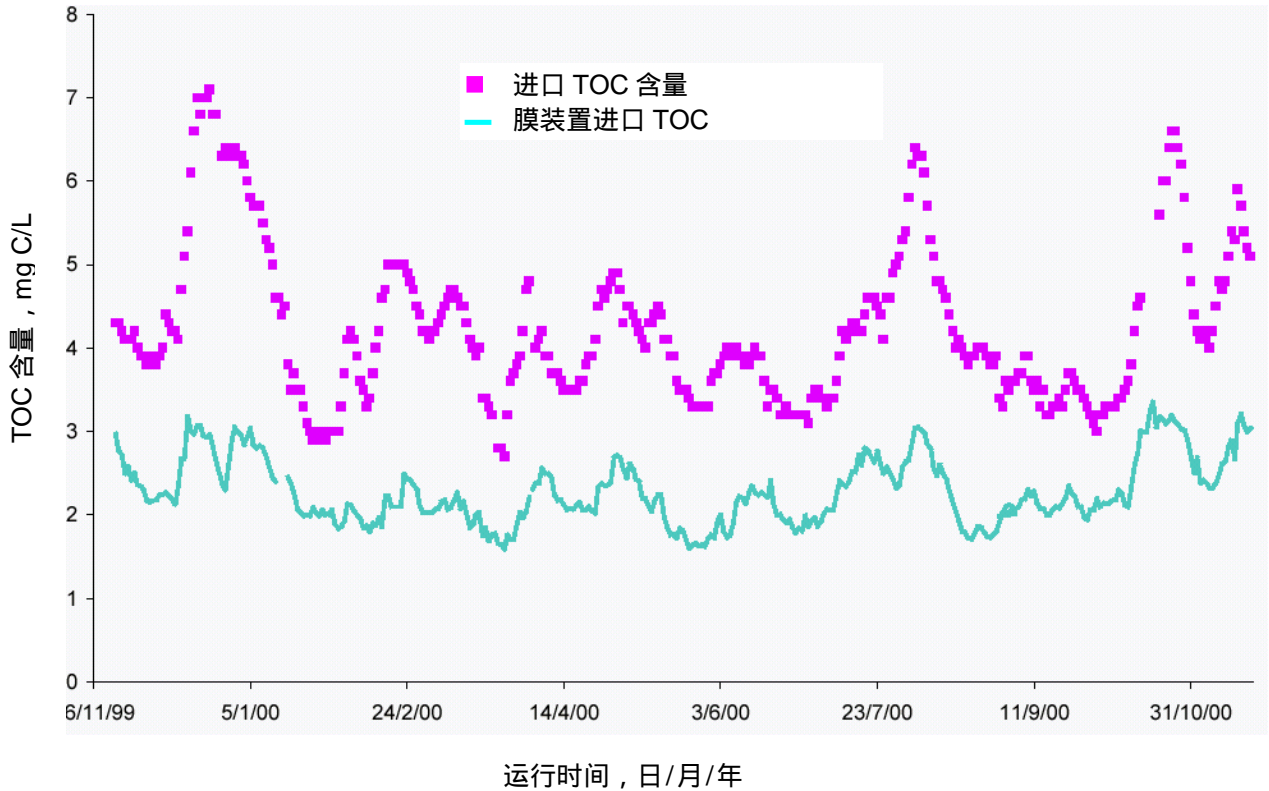
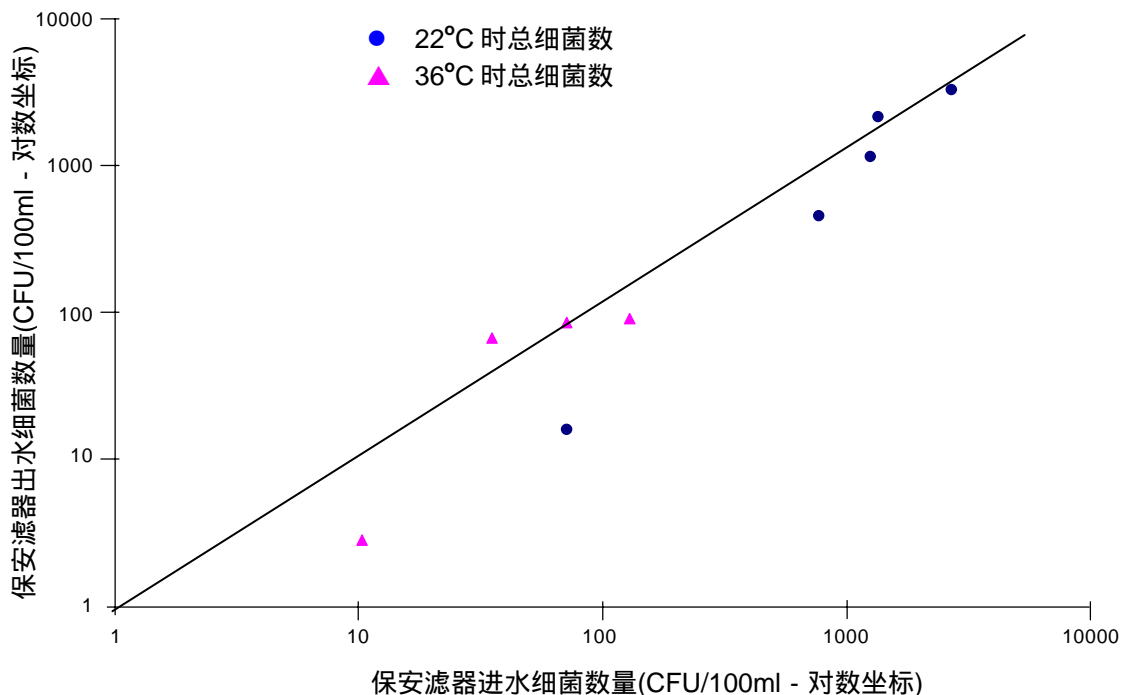


图6 保安过滤器前后微生物的数量比较(CFU/100ml)





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

通过检测了解到保安过滤器对水中微生物的截留作用，结果未发现其能够截留微生物，图 6 说明保安过滤器前后水中微生物指标基本相同，这是可以理解的，因为细菌的大小要远小于滤芯的截留孔径。

2.1 由铝引起的堵塞

有几种情况会造成纳滤膜的污堵，膜系统的进水水质取决于河水水质，而且随季节发生变化^⑧，由于膜的污堵与给水水质密切相关，一年中不同的季节会出现特征明显不同的污堵现象。

碳酸钙 (CaCO₃) 沉淀取决于进水的 pH 值。由于使用了阻垢剂^a，为了防止浓水中碳酸钙沉淀，仅需使膜进水的 pH 值降至 7 即可，这样能够大大节省调节 pH 值的硫酸用量。在梅里市奥塞河畔对使用硫酸有限制，因为这将会增加水中硫酸根的含量，而引起硫酸盐沉淀就非常难以被清洗掉，出于操作安全方面的考虑，没有选用盐酸。

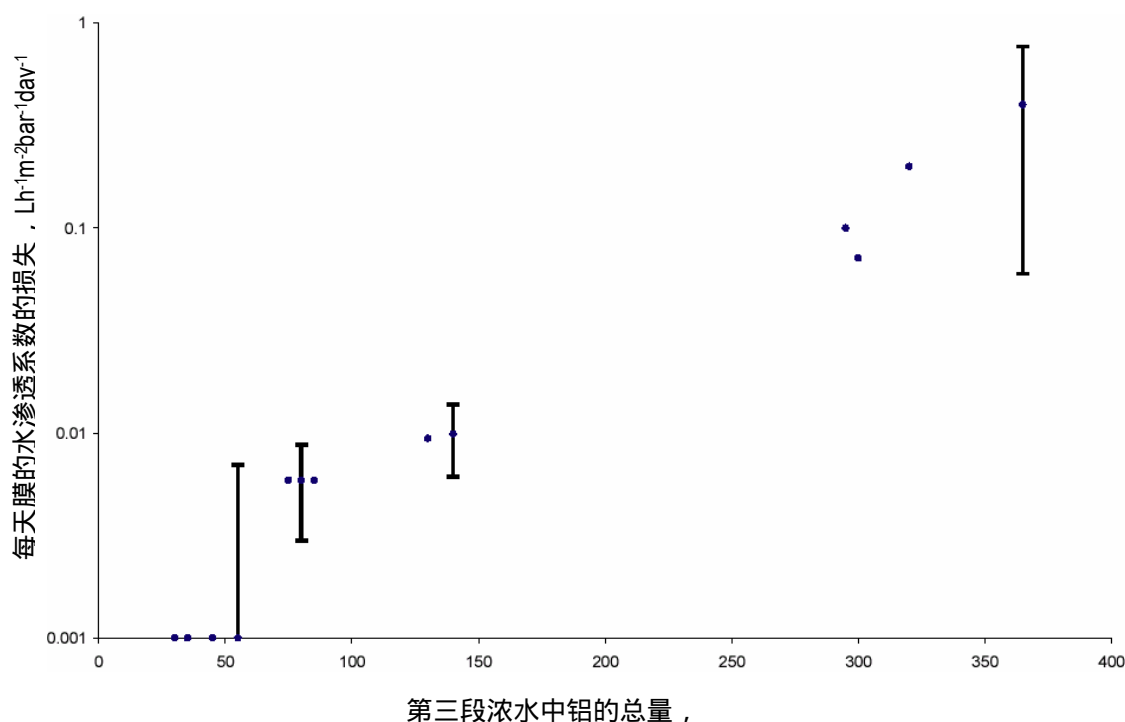
针对梅里奥塞纳滤系统，打算在絮凝阶段的整个系统进水中就降低 pH 值，以便在预处理阶段提高 TOC 和游离铝离子的脱除率。在 1999 年 5 月至 6 月的投运初期，预处理酸化处理部分出现了误操作，即在膜本体进口直接加硫酸将 pH 值调低到 7，导致了在膜系列第三段迅速地发生了污堵。

分析表明第三段浓水中铝的浓度很高，图 7 说明这种污堵可能是由于膜浓水侧存在大量铝所引起的，随着浓水中铝浓度的增加，产水量随时间的下降程度会加剧。

通过小试获得了使用铝盐进行絮凝的最优 pH 值范围，根据铝的溶解度曲线，pH 值在 6.8~7.0 之间，水中残留铝离子的量最低，此外，在预处理中，TOC 的脱除也取决于水的 pH 值，效果最好的 pH 值范围是 6.8~7.0。

絮凝如果不是在最优 pH 值范围进行，当再加入酸时，将会发生沉淀，在膜的浓缩过程中，这种现象会加剧，因为除了沉淀之外，在膜的浓水侧，还存在铝离子浓缩倍率因素的影响。

图 7 用标准化水渗透系数表示膜产水量下降与第三段浓水中铝离子含量的关系 (25°C 标准化)



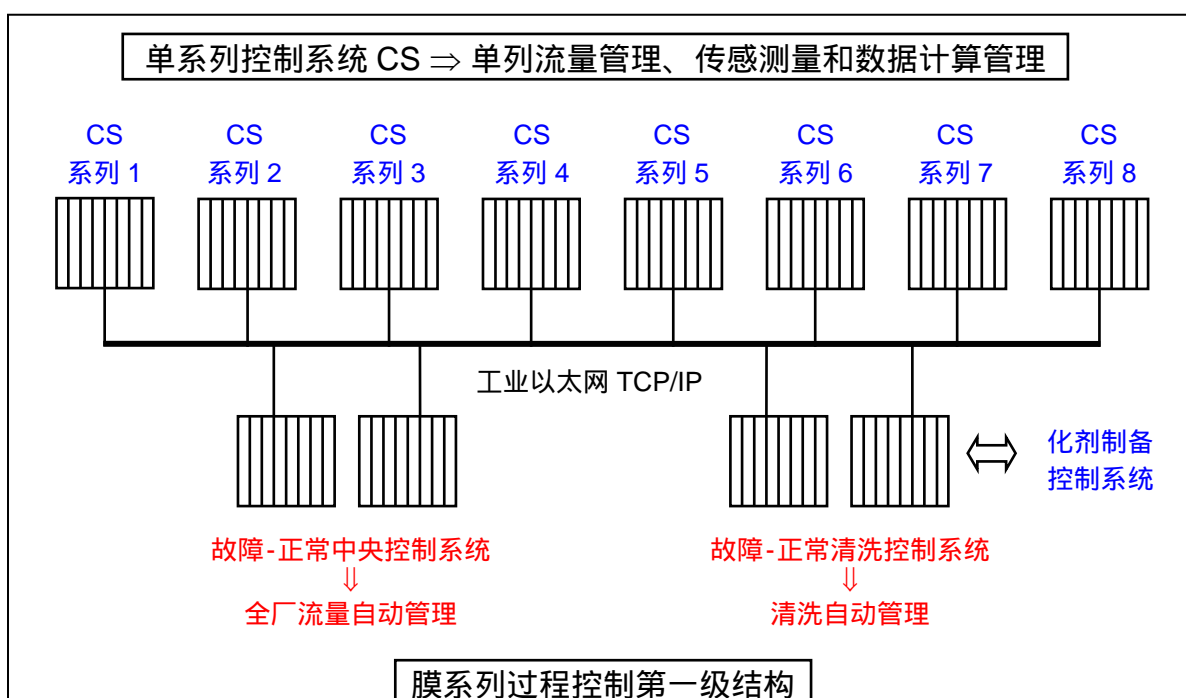
3. 纳滤膜的监测

该系统设置了膜性能的在线监测，在每个系列的每个支架上按装均安装了流量、压力和电导率传感器，实时自动计算膜的渗透水量、产水量和水头损失等。

由在线传感器获得的数值再传递到装置控制器上，这些控制器代表着第一级过程控制，进行装置和过程的运行，他们管理所有的传感器的测量值、报警值并报告系统故障。

所有膜系列的计算也是实时在线进行，上一级即第二级控制，是一个监管整个水厂的中央处理装置，它们从下一级即第一级的控制器收集数据，并可以以图表的形式打印出历史数据。

图 8 膜系列过程控制第一级结构示意图



此外，膜装置的每个系列还设有独立的控制系统，它们管理着该系列传感器的测量和计算，8 个系列的 8 台控制系统受中央故障-安全^a控制系统的监管（如图 8 所示），这个中央控制系统根据总产水量来进行协调各系列之间的运行关系，当执行清洗时，另一个故障-安全控制系统监管 8 个系列的 8 台控制系统。

膜的渗透水量被标准化到 25°C (77°F)，根据每个支架上的产水和浓水安装的电导率仪进行计算，并考虑了膜两侧的渗透压。与浓水侧温度和流量有关的水头损失被标准化，计算水头损失系数，当某一系列一旦投入运行，就跟踪每一支压力容器流量的水头损失曲线。水头损失系数对应于考虑了流量波动之后由潜在污堵引起的水头损失，计算值也被标准化到 25°C。

根据标准化后的渗透水量的损失百分数或水头损失增加的百分数，激活污堵的设计极限值。

控制系统将计算渗透水量两种极限值：即根据清洗后每段开始投运条件下的水通量损失率和根据系列最初投运时为基准的水通量下降计算值。这样的计算结果将让操作者获得每个系列装置在其每一

^a 中央故障-安全控制系统采用了双机热备份型以避免任何的控制故障



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

个产水 --- 清洗周期内的堵塞程度，可以评估膜以总产水量计随时间的变化趋势，并有可能估算出清洗操作的效率。当任一系列达到上述任一限制值时，该系列控制系统就会发出清洗本系列的命令，启动清洗的条件是产水量下降 25%或任一段标准压力增加 25%。

为了准确地实现这种监管，由传感器获得的测量结果的可靠性十分重要，为了确认测量结果，将执行如下的计算以检验传感器有无漂移现象。

对每个支架上的膜元件进行三种类型的物质平衡计算：

— 对于进水和出水流量：
$$\frac{Q_{\text{进水}} - (Q_{\text{产水}} + Q_{\text{浓水}})}{Q_{\text{进水}}} = X\%$$

— 对于进水压力和水头损失：
$$P_{\text{膜支架进口}} - \Delta L = P_{\text{下一段支架进口}}$$

— 根据流量测定值，计算电导率平衡：
$$\frac{\text{进水中离子含量} - (\text{浓水中离子含量} + \text{产水中离子含量})}{\text{进水中离子含量}} = Y\%$$

当误差率太大（流量和压力>5%，产水电导率>20%）时，激活“传感器不协调”报警，提示操作者需要对一台或几台传感器装置进行维护，大多数情况下，流量和压力的误差小于 1%，这就意味着操作者可对由系统获得的产水量和水头损失有极高的信任度。

4. 膜元件清洗

膜元件清洗为完全自动化进行的，设有两组清洗系统，每个由 40m³清洗配液水箱、变频泵和保安过滤器组成，采用纳滤产水配制清洗液，它们在 60m³的水箱内被加热到 58°C(140°F)。

现场储备有 4 种化学药品来清洗膜系统，两种碱性产品：洗涤剂^a和氢氧化钠，一个为柠檬酸的酸性化学品，最后一种是由醋酸、过乙酸和双氧水配制而成的杀菌剂。上述所有化学品均为液态，所以可自动配制清洗液。

这里有三种方式让清洗溶液在膜组件内循环：

- 1) 回到相应的 40m³清洗配液水箱，以便在本支架膜组件内循环（闭路循环步骤）；
- 2) 如果清洗液排放 pH 值在 6.5~8.5 之间时，清洗废液排放到下水道；
- 3) 如果清洗液排放 pH 值<6.5 或>8.5 时，清洗废液排放到中和水池去。

整个系统设有三个中和池，每个 150m³，用于将清洗液排放到下水道前进行 pH 中和反应。

清洗循环系统中的变频泵可以提供宽广的清洗流量。设计的清洗流量有两种，即每支压力容器 2.1m³/h 的低流量（9.25gpm）和每支压力容器 7.8m³/h 的高流量（34gpm），当清洗 54 支外壳或 28 支外壳时，要求的清洗流量为 60m³/h（264gpm）到 420m³/h（1,850gpm）。

每个系列中的每组支架可以单独地与 2 套清洗系统中的任一套相连，由于两套清洗，可以针对不同支架上的膜元件进行平行清洗操作，表现出了最大的操作弹性，例如，第一套清洗装置可以连续清洗某系列中第一组支架上的膜元件，然后第三组支架上的膜元件，同时第二套清洗装置可以清洗该系列中第二组支架上的膜元件然后是第四组支架上的元件。

^a 普通洗涤剂：P3 Ultrasil 110, 由汉高(Henkel)公司生产



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

膜清洗系统允许操作者选择其所希望的清洗配方并决定下列参数，但不允许调整清洗流量：

- 清洗液的配制温度；
- 所用的药品量；
- 在膜装置内各种浸泡和溶液循环步骤。

浸泡步骤就是对应于停止清洗泵，关闭该组膜壳进出口阀门，以便使膜元件浸泡在清洗液中，循环模式即让清洗泵运行在闭路模式下，换句话说，清洗液(渗透清洗液和浓水)离开该组膜壳，然后又循环到相应的清洗水箱中。

每一种清洗药剂清洗之后应对系统立即进行水冲洗，为了安全，这种冲洗是必不可少的，不允许操作者省略该步骤。冲洗以两种阶段进行；

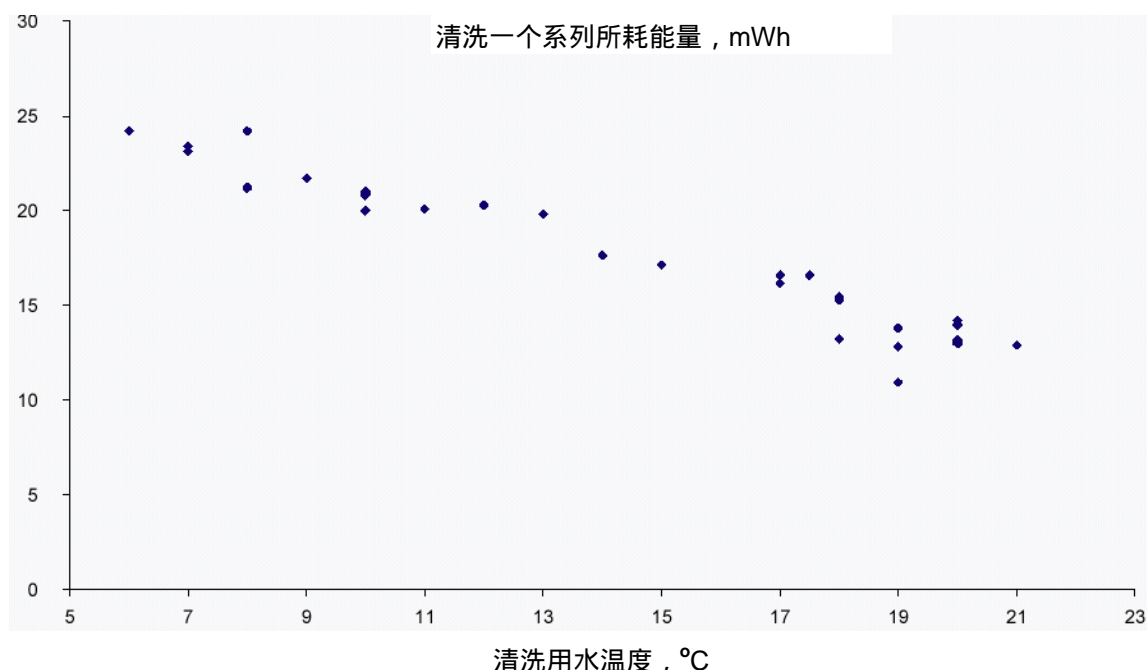
- 1) 每支压力容器 $2.1\text{m}^3\text{h}^{-1}$ 低流量冲洗阶段，排放到下水道或中和水池；
- 2) 每支压力容器 $7.8\text{m}^3\text{h}^{-1}$ 快速循环阶段。

针对这些冲洗阶段，可调节循环时间，可以以同样的方式水增加排放到下水道的的时间、增加快速循环时间，延长膜元件的冲洗。这样，操作者可决定用两套清洗装置以普通热水平行对两个支架上的膜组同时进行工作的程序，最大限度节约时间。

在大多数情况下使用标准清洗配方由上位机系统确定并编程，针对 NF200B-400 膜元件，标准程序确定如下：

- 使用的第一类药品，碱性洗涤剂 P3 Ultrasil 110，在温度为 $30^\circ\text{C}(86^\circ\text{F})$ 时浓度为 0.3%。
- 使用的第二类药品，柠檬酸，在温度为 $30^\circ\text{C}(86^\circ\text{F})$ 时浓度为 0.3%

图 9 根据清洗用水温度清洗一个系列所需消耗的能量



每种清洗药剂的清洗程序如下：

1. 以平推流方式用清洗液低流量置换膜元件内所含的水；

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

2. 浸泡 30 分钟；
3. 快速循环清洗液 15 分钟；
4. 再次浸泡 30 分钟；
5. 快速再循环 30 分钟。

在每种清洗化学药剂清洗之后采用纳滤产水对系统进行冲洗，其程序如下：

1. 低流量冲洗，冲洗排放水排至下水道或中和池，直到 pH 值为 6.5~7.5 之间；
2. 快速闭路循环冲洗 10 分钟。

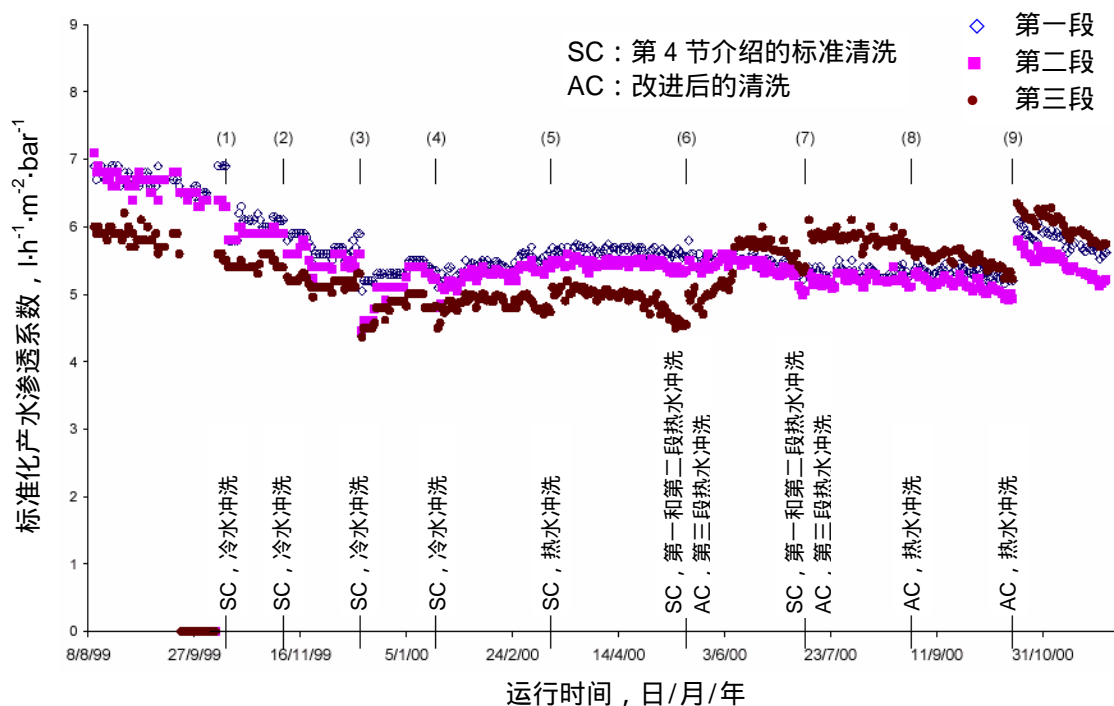
这样清洗一个系列三段共四个支架的膜组大约需要 24~48 小时。

清洗时需要消耗大量的热水，清洗所需的能量取决于待加热清洗用水的温度，如图 9 所示，这些能量用于加热清洗液。

5. 膜性能变化和清洗操作的改进

图 10 给出了从 1999 年 8 月至 2000 年 12 月间某系列膜的渗透系数的变化规律。

图 10 系列 1 中三段标准化产水渗透系数监测结果



当然系列刚投运时，水的标准渗透通量是 $7\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2\cdot\text{bar}^{-1}$ ，经过几周的运行之后下降到 $6\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2\cdot\text{bar}^{-1}$ 。但是从图 10 中的第 (1)、(2)、(3)、(4) 次清洗来看，经过每一次的清洗操作之后，就会出现非常明显的水渗透通量的损失，在这些清洗周期内并未发现污堵的情况，但令人困惑的是似乎清洗操作将会影响膜的水渗透通量。有可能是因为在不同清洗药剂（洗涤剂 and 酸溶液）间的冲洗过程中采用了冷水冲洗，并没有完全将残留洗涤剂冲洗出来，当它与酸接触时会发生沉淀，河水温度有时仅为 1°C ，这样就没有冲洗操作的作用了。自从 2000 年 2 月份开始，就开始采用热水冲洗。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

5.1 在试验装置上进行清洗实验

为了检验热水对清洗药品状态的直接影响效率，针对 6 支受堵的 NF200B-400 膜进行了清洗试验，在每次清洗前后，测量标准水渗透通量，所采用的清洗方式与在大型装置上使用的标准方式相同。

先用浓度 0.3%温度 30°C 的 P3 Utrasil 110 洗涤剂清洗，然后用浓度 0.3%温度 30°C 的柠檬酸清洗，在每种清洗药液之后，采用了不同的冲洗方式：

- A. 按照慢速和快速两种冲洗模式，用 2°C 冷水冲洗；
- B. 用 2°C 冷水开始冲洗，并通过循环升温直到 30°C；
- C. 在化学药品清洗后直接用 30°C 热水，按照慢速和快速两种冲洗模式冲洗。

采用上述冲洗模式每个进行两次试验得到的结果列于表 2 中。

表 2 水渗透通量增加值所代表的各种冲洗效果 (Kw=标准化水渗透通量)

(清洗后标准水通量 Kw - 清洗前标准水通量 Kw)/ 清洗前标准水通量 Kw	冲洗条件		
	冷水冲洗(A)	由冷变热冲洗(B)	热水冲洗(C)
清洗前后标准化的水渗透通量恢复率%	+1~+3%	+5~+9%	+12~+15%

试验结果表明，化学药品清洗之后采用冷水冲洗的效果是不理想的，但是采用热水进行冲洗对恢复水渗透通量更为有效。

5.2 膜性能变化

如图 10 所示，定期监测膜水标准渗透通量，可以让我们看到改变清洗模式对清洗效率的影响，事实上，在清洗操作第 (4) 次之后，采用冷水冲洗引起的膜水渗透通量的下降现象就不明显了。结果表明，针对大型装置而言，热水冲洗是有效的。

从第 (5) 次清洗之后，水通量下降到 $5L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$ ，为此采取了额外的清洗操作^[9]，从第 (6) 次开始，调整了清洗液的清洗水平，即增加了浸泡和循环时间，从图 10 中可以看到自从第 (6) 次清洗之后，水渗透通量逐渐上升，最后第 (9) 次清洗后，发现水渗透通量增加到大约 $6L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$ ，这一结果在其它七个系列上均能观察到。

此外，水温对高压泵能耗的影响也是显而易见的，图 11 表示一年中每生产 $1m^3$ 产水所需要的能量，它随温度变化而变化，水温低，所需要的高压泵能耗就高，该设计规定不论水温或膜污堵情况如何，必须维持相同的水通量值 ($17L/m^2 \cdot h$ 或 $10gfd$)，人们发现在冬季水温条件下，这种规模的纳滤膜水处理工厂能耗水平也是承受得起的，第一年的平均能耗为 $0.32kWh/m^3$ 产水。

6. 纳滤产水水质

梅里奥塞纳滤膜处理系统专门根据奥塞河水的特点而设计的，特别是水中大量的有机物和杀虫剂。本项目的目标是采用膜技术除去有机物而允许矿物质和钙离子透过，膜系统的进口 TOC 含量可高达 $3.5mg/L$ ，在第一年的操作期内河水中的莠去净除草剂的含量达到 $620ng/L$ 。

由图 12 所知，NF200 B-400 产水中的平均 TOC 含量为 $0.18mg/L$ ，除草剂莠去净不在内，其浓度低于



分析仪器的下限 50ng/L，一年中产水钙离子含量平均含量为 40mg/L。

图 11 进水温度条件与高压泵能耗的关系

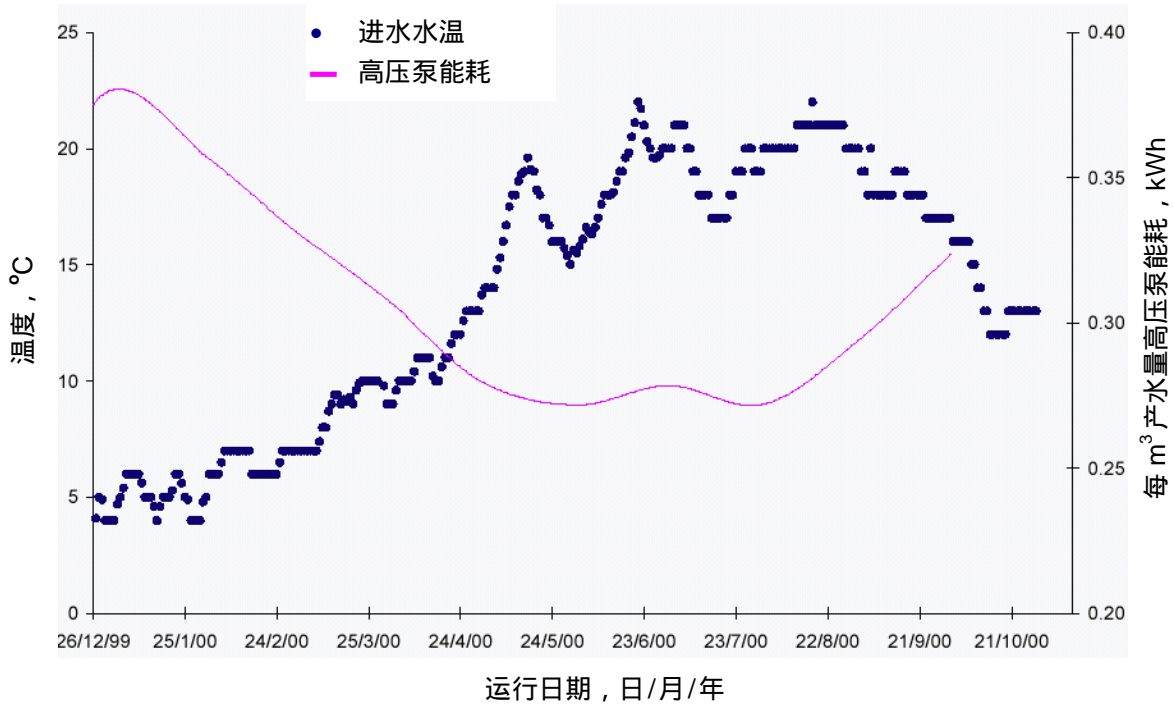
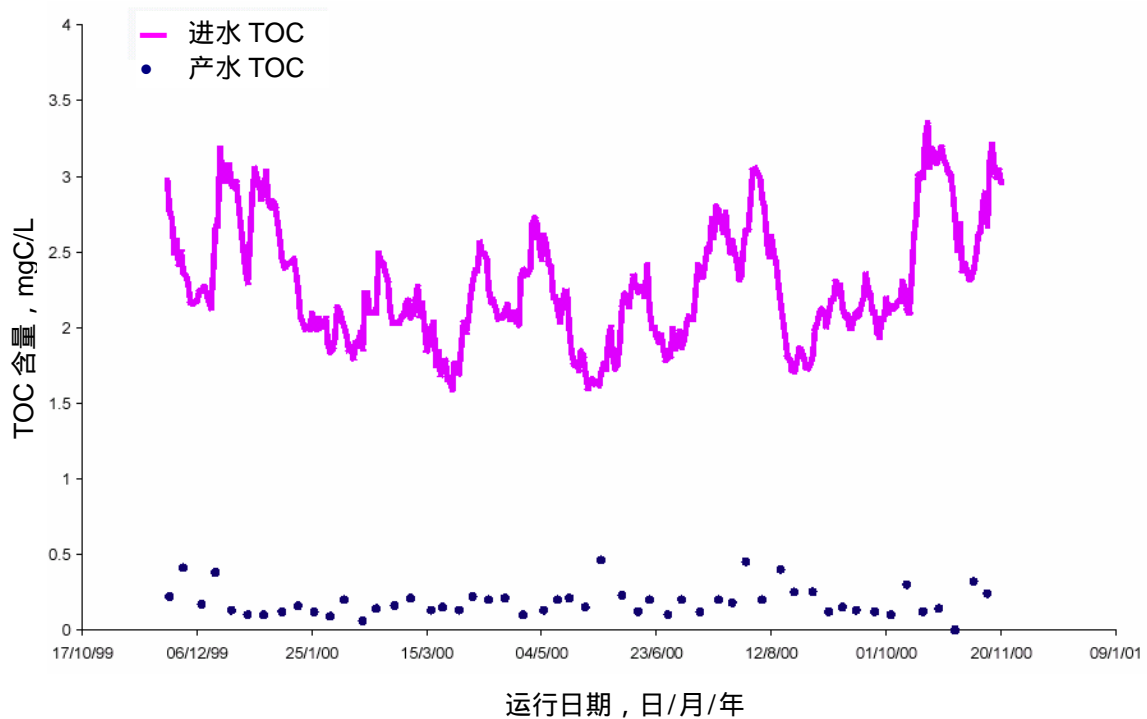


图 12 进水和产水 TOC 含量 (mgC/L)





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

结 论

法国巴黎北郊梅里奥塞特大型纳滤膜处理系统自从 1999 年 9 月开始，每天产水量 140,000m³，虽然进水为高度污浊和波动很大的奥塞河水，但经过先进的膜处理之后，产水品质相当高，所含的有机物非常低，生物可降解的物质低于分析仪器的下限。

由于有精确的产水渗透通量监测和控制系统，经过改进预处理和清洗方法，使得纳滤能耗降至极低，通过采用的大量自动控制系统的支持，现场只要一个操作者就能保证系统操作。

致谢

作者在此十分感谢 Jan Schippers 教授在设定膜系统运行最佳条件方面的观点和十分宝贵的支持。

参考文献

- [1] C. Ventresque, G. Bablon. The integrated nanofiltration system of the Méry-sur-Oise surface in surface water treatment plant (37 mgd). *Desalination*, 113 (1997) 263-266.
- [2] K. M. Agekodo, B. Legube, P. Coté. Organics in NF Permeate. *J. AWWA*, May 1996 (88:5:67).
- [3] A. Boireau, J. Cavard, G. Randon. Positive Action of Nanofiltration on Materials in Contact with Drinking Water. *Proc. IWSA. Corrosion Workshop*, Buenos Aires, Argentina 1996.
- [4] B. Legube, K. Agbekodo, P. Coté, M. M. Bourbigot. Removal of Organohalide Precursors by Nanofiltration. *Water Supply*, 1995 (13:2,171).
- [5] C. Ventresque, V. Gisclon, G. Bablon, G. Chagneau, An outstanding feat of modern technology: the Mery-sur-Oise nanofiltration Treatment Plant (340,000 m³/d). *Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water production*, October 2000.
- [6] C. Ventresque, G. Turner, G. Bablon. Nanofiltration: from prototype to full scale. *J. AWWA*. October 1997 (65-76).
- [7] C. Démocrate, A. Plottu, G. Chéré, P. Bonne, J. Cavard. New filtration solutions for high turbidity removal. *Conference IWA-ASPAC*, November 2000.
- [8] N. Her, G. Amy, C. Jarusutthirak. Seasonal variations of nanofiltration (NF) foulants: identification and control. *Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production*. October 2000.
- [9] D. Paul. Obstacles to the effective chemical cleaning of a reverse osmosis unit. *Ultrapure Water*. October 1994 (33).



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-10 选用 FILMTEC 高产水量 SW-380 海水反渗透膜元件降低运行维护成本 — 西班牙 Lanzarote 四期二级反渗透海水淡化新工艺*

作者： J.A. Redondo 陶氏化学（德国）有限公司液体分离部高级技术专家

译者： 陶氏化学（中国）投资有限公司液体分离部首席代表

摘 要

Lanzarote 是加那利群岛中的一个岛屿，在西班牙各种大规模海水淡化系统方面居于开创性的地位，该岛上的某些老系统已经到了闲置淘汰的地步，遭闲置淘汰的原因不是能耗太高就是装置已经到了使用寿命的末期，它们仅仅作为旅游旺季用水高峰期的备用，因而需要建造新的反渗透海水淡化系统，新建系统要求其回收率在 50%左右时，产水含盐量低（50mg/L），而且能耗也要低。本文介绍了成功地满足这一要求的新设计工艺，就是于 1999 年底开始建造并投运的 Lanzarote 四期海水淡化系统，在一级海水淡化部分采用了 FILMTEC™新型高产水量反渗透海水膜元件 SW30-380（非高脱盐率产品，已经升级为 SW30XLE-400i），在二级深度脱盐部分采用了 FILMTEC 超低压膜元件 BW30LE-440，本文给出了具体的操作参数，并且与传统的反渗透海水淡化系统进行了比较。

关键词：二级反渗透海水淡化工艺，FILMTEC 膜元件，反渗透

1. 引 言

西班牙加那利群岛，是一个由七个主要岛屿组成的群岛，位于北回归线北纬 28 度的位置，由于地理位置及四季如春的气候而被称为“幸运岛”。这里已经发展成为备受世界欢迎的旅游胜地，每年游客达 1 千多万人次。伴随旅馆业、体育与其它相关行业及专业农业的发展，人口不断增长，当地的生活水平亦不断提高，而水资源匮乏的状况却在一天天加重，为了解决缺水的问题，以海水淡化为依据的基础水设施建设得到了长足的发展。

Lanzarote 岛以其火山景观而名扬天下，它是西班牙最早安装海水淡化系统的地方，一些建于 20 世纪 70 年代和 80 年代的老系统主要采用多级闪蒸（MSF）和多效蒸馏（MED）工艺。近期建造的 6 万吨/天的海水淡化系统则采用了反渗透海水淡化工艺。

从 1997 年左右起，部分海水淡化装置遭闲置，有些是因为能耗太高，有些是因为系统已经到了使用寿命末期，这些系统仅在旅游旺季用水高峰时期使用，通常为夏季和圣诞节前后，作为常年运行的新建反渗透淡化厂的补充。另一方面淡化厂的规模需要增加，除了岛上游客人数增加之外，伴随着建筑业和旅游业的发展导致了岛上永久居留人口数量的不断增加。

出于上述原因，决定公开招标新建一座 2 万吨/天的反渗透海水淡化厂，以满足对淡水的当前和今后几年的需求。

由于考虑到用户的各种情况，包括因反渗透系统产水含盐量比饮用水标准低，必须让其与高含盐量的水进行混合，但仍必须满足饮用水水质的规定，新建海水淡化反渗透产水含盐量设定为 50ppm 而不是常规的 400ppm。

另一个要求是该系统即便是全部采用两级反渗透工艺过程，仍必须与附近的传统一级反渗透海水淡化系统的吨水单位能耗相当，这一要求只有采用新一代的海水淡化膜元件才能达到。

2. 案例历史：Lanzarote 四期



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

新的设计和操作工艺采用两级反渗透海水淡化流程，基于新型高产水量 FILMTEC SW30-380 海水元件和高产水量超低压 FILMTEC BW30LE-440 苦咸水元件。

1998 年年中，INIMA，一家位于马德里的工程公司获准承建该项目，系统工艺路线基于两级反渗透，第一级反渗透的淡水含盐量为 700~1000ppm，然后再全部作为二级反渗透的进水，使用超低压低能耗的苦咸水膜元件进一步脱盐，使产水含盐量达到 50ppm 左右，但二级反渗透应以极高的回收率运行（90%左右）。

在两级反渗透之间设置二级反渗透高压泵可以实现上述工艺操作，这样一级反渗透配备的膜元件可以在相对低的进水压力下，以 50%的回收率制得合乎要求的一级产水；但也可以采取提高一级反渗透运行压力，使一级反渗透产水压力维持在 9~14bar，以便直接驱动二级反渗透超低压低能耗元件，这样两级反渗透间就不再需要设置二级反渗透高压泵，这一工艺选择必须在一级海水淡化部分选用 FILMTEC SW30-380 高产水量反渗透元件，在二级反渗透部分选用 FILMTEC BW30LE-440 元件。

经过在德国 Rhinecenter 和 FilmTec 公司液体分离部的实验室以及现场采用这两种膜元件所进行的模拟试验，印证了这一工艺的可行性，这一工艺仅使用一个高压泵（HPP）和能量回收透平（ERT），在 Lanzarote 四期中采用的这种配置允许膜在其使用寿命周期内所选择的高压泵和能量回收透平位于最适宜的操作点，并能使整个系统能量消耗降到最低。

2.1 膜元件型号与规格

第一级的 SW30-380 元件比标准高脱盐率海水元件 SW30HR-380 的脱盐率略低，但却具有较高的膜本征值 A 值，因而仅需较低的操作压力，并允许在不同的反渗透产水压力下工作，可以根据系统的使用年限和污染程度将一级产水压力调节到合适值，提高产水压力的概念也被用于二级反渗透部分的设计，以便节省输送成品水到最终产品水箱的成品水泵。二级反渗透部分选用的元件为在许多工业领域得到广泛使用的超低压苦咸水反渗透元件，该元件命名为 FILMTEC BW30LE-440，BW 表示苦咸水的意思，LE 表示低能耗的意思，440 是膜元件的有效膜面积，以平方英尺计，表 1 列举了两种元件的主要性能规范。

表 1 Lanzarote 四期 FILMTEC 反渗透元件性能

	元 件 类 型	
	SW30-380	BW30LE-440
级	1	2
标准产水量 gpd (l/hr)	8,000* (1,260)	11,500 (1,820)
标准压力 (bar)	55	10.3
典型脱盐率, %	99.1*	99.0

* 最新的膜产水量和脱盐率性能分别提高到 9000gpd，99.4 %

2.2 系统规模和投运时间

该海水淡化工厂设有 4 个系列，每个系列一级反渗透规模为 5,600m³/d，产水目标含盐量为 1,000ppm (mg/L)，该一级产水然后进入二级反渗透，其产水量为 5,000m³/d，最终目标产水含盐量要求低于 50ppm。

陶氏 FILMTEC 膜元件 • 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

其中三个系列于 1999 年 9 月~11 月之间投运，第四个系列于 2000 年 1 月投运，工厂的实际结果远优于原设计预期值，实际产能也大于 21,000m³/d，产水总含盐量低于 35mg/L。

2.3 RO 系统的构造

每组系列原始设计采用 7 芯元件的压力外壳 95 支，后来减少为 85 支，原因是实际的膜元件平均产水量略高于最初的模拟试验时的产水量。在投运初始阶段决定每个系列仅安装 75 支外壳，其理由是，元件经过测试后仍具有很高的产水量，而且最终用户并不希望在投运初期操作压力太低。

二级反渗透采用二段排列组合 24:8，也选用了含 7 支元件的压力外壳。在投运初期，二级系统进水压力 9.9~10.2bar，由一级反渗透的产水压力直接驱动，二级反渗透的段间没有设置段间增压泵，但同样因为元件实际产水量比额定值高，现场决定将二级反渗透的排列组合降低至 21:7，否则一级反渗透的操作压力太低，能量回收透平的进水负荷会太高，当运行 8 个月后，二级反渗透的操作压力达到 11.2bar，此时恢复了 24:8 的原设计排列方式。

2.4 比较

在进水含盐量和主要操作参数与 Lanzarote 很相似的其它反渗透海水淡化厂中，当回收率按 45%运行时，产水含盐量为 310ppm，为了进行条件相同的对比，假设该含盐量的 90%的一级产水进入二级反渗透，按 90%回收率运行，进一步脱盐后再与未经二级反渗透处理的 10%的一级产水混合，获得 50~60ppm 的目标水质（与 Lanzarote 四期的最终水质相当）。这样相似的两个反渗透海水淡化系统相比，当采用高效率的高压泵和能量回收装置时，本体吨水单位能耗分别为 4.32 和 4.5kwh/m³。

表 2 Lanzarote 四期，系列 3，一级海水反渗透装置主要操作系数（每支压力外壳装 7 支 SW30-380）

操作参数	投运初期		8 个月之后 ^a		
	实际值	设计软件预测值	实际值	设计软件预测值	
进水压力	bar	65.3	66.1	68.2	68.8
产水流量	m ³ /h	252	248	249.8	248
回收率	%	48	46	49	48
进水 TDS	mg/L	38,600	38,600	38,600	38,600
产水 TDS	mg/L	612	662	643	678
标准化产水量	gpd	9,200	8,000	8,160	7,120
	l/h	1,450	1,260	1,285	1,120
进水温度			21	20.8	21
标准化脱盐率	%	l/h	99.1	99.15	99.1
污堵因子 FF		1.25	1.15	0.92	0.87
单位能耗	kWh/m ³	2.97	3.04	3.16	3.24
		(3.4) ^b	(3.65) ^b	(3.65) ^b	(3.85) ^b

^a 未进行化学清洗 ^b 括号中的数字包含海水提升泵的能耗。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

表 3 Lanzarote 四期，系列 3，二级反渗透装置主要操作参数（每支压力外壳装 7 支 BW30LE-440）

操作参数	投运初期 ^a		8个月之后 ^b		
		实际值	设计软件预测值	实际值	设计软件预测值
进水压力	bar	10.2	10.9	11.2	11.3
产水流量	m ³ /h	212	209	216	209
回收率	%	88	88	90	88
进水 TDS	mg/L	612	662	643	678
产水 TDS	mg/L	60 ^c	54	34	42
标准化产水量	gpd	11,840	11,500	10,400	10,350
	l/h	1,870	1,815	1,640	1,630
进水温度		21.2	21	20.8	21
标准化脱盐率	%	98.8 ^c	99	99.1	99
污堵因子 FF		1.05	1.00	0.90	0.88
单位能耗	kWh/m ³	0.10 ^d	NA	0.10 ^d	NA

^a 排列为 21:7 ^b 排列为 24:8 ^c 当解决了四支压力容器内漏后，产水 TDS 下降到 37ppm ^d 为估计值，因为没有段间的压力提升泵，仅为能量转换消耗。

估算 Lanzarote 四期的理论单位能耗（基于工程计算）为 4.8kwh/m³，它包括所有的公用用电量和高压泵和海水提升泵的总耗电量 3.85kwh/m³。实际能耗为 3.6~3.7kwh/m³，比理论计算要好得多，与采用标准的二级反渗透工艺相比有较明显的优势。

2.5 结 论

本项目采用两级反渗透工艺，选用了两种高产水量的膜元件，即海水部分选用 FILMTEC SW30-380 海水膜元件，二级深度处理采用 FILMTEC BW30LE-440 超低压低能耗元件，这种组合工艺流程获得了更低的能耗效果，单位电耗仅为 3.65~3.85kWh/m³，以更低的运行维护成本从海水中获得 50ppm 的最终产品水，这些结果比传统工艺具有较明显的优势，值得未来膜法海水淡化系统选用。

3. 总 结

新型高产水量元件 SW30-380 本身或与其它型号的产品组合使用，例如与上述提到的超低压低能耗元件组合使用，有如下特点：适用于进水含盐量范围在 10,000~50,000ppm 的各种淡化处理要求，实现低能耗、高回收率的水处理目标。

本文介绍的高产水量的膜元件产品，提高了反渗透系统的经济性，使从前被认为不经济的大容量反渗透海水淡化工艺成为可能，此外，由于新型元件所具有的优异特点，使其在实际应用时表现出比预期的结果还要好的系统性能，已成为众多新项目和一些老系统升级改造的首选。



参考文献

- [1] “La Provincia” Seccion Lanzarote, Las Palmas Newspaper, February 1997.
- [2] J.A. Redondo, Start-up protocol and normalization of Lanzarote IV, December, 1999.
- [3] J.A. Redondo and A. Casanas, Desalination, 134 (2001) 83.
- [4] J.M. Sanchez, Inima Meeting on 2 pass concept, PC, February 1997.
- [5] J.A. Redondo and A. Aldaz, Energy savings with HR-380 in large sea water RO projects, Rheinmunster seminars on Reverse Osmosis, November, 1995.
- [6] J.A. Redondo, Large-scale desalination experiences with the FILMTEC SW30HR-380, IDA, Madrid, 1997.
- [7] F. Castro, J. Bethencourt and A. Sanchez, Datos operacion Lanzarote IV, PC, July, 2000.
- [8] J.M. Sanchez and J. Ferrer, Datos de proyeccion y documentos del proyecto Lanzarote IV, February, 1998.
- [9] J.A. Redondo, C. Broden and T. Tapper, Development protocol of FILMTEC SW30-380, February, 1998.
- [10] L. Johnson and I. Lomax, Marketing communication FILMTEC SW Membranes, August 1998, November 1999.
- [11] J.A. Redondo. Start-up document VDM II, March, 1999.
- [12] Y. Monette, Lab protocol, second trial series with SW30-380 Dow Rhinecentre, February, 1998.
- [13] J.A. Redondo, SWRO for agricultural application, Devre Meeting on Membranes, Buenos Aires, 1999.
- [14] J.L. Loidi, Tedagua, project documents, Virgen del Milagro II, November, 1998.
- [15] A. Casanas, Prestart-up protocol, VDMII, November, 1998.
- [16] J.L. Loidi, Pilot test SW30-380, Document PC, 1999.
- [17] J.A. Redondo, Desalination, 108 (1996) 59.
- [18] ROSA Version 4.00, R&D Version, Reverse Osmosis System Analysis, 1998.
- [19] J. A. Redondo and A. Casanas, experiencias piloto e industrial con el nuevo elemento FILMTEC SW30-380, AEDyR, Murcia, Spain, November, 2000.
- [20] E. Kuendig, Quantitative comparison energy recovery turbines, Letter of September 5, 1994.
- [21] BEKOX Seminar at Colegio Ingenieros de Minas, Sta Cruz, ref. Grundfoss International, Mogens Ellegaard Lectures, 1994.



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-11 iLEC 端面自锁反渗透膜元件使海水淡化过程更简便更低廉

现场情况

地点：
西班牙加纳利岛

目的：
评估 iLEC™端面自锁连接技术的性能

安装日期：
2003 年 3 月

性能比较：
采用 iLEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC™反渗透膜元件更易于安装，无泄漏，产水品质更好，产水侧背压低



西班牙 Lanzarote 岛 (Inalsa) 使用 FILMTEC 反渗透膜元件将海水淡化成饮用水。选用了 iLEC 端面自锁连接膜元件使整个过程更简单并节省了费用 (图片由 Inalsa 友情提供)。

引言

Lanzarote 是加纳利群岛七个主要岛屿中位于最东部的一个，距离非洲海岸约 100 公里。该旅游胜地很大程度上依赖于反渗透海水淡化来供应游客、民用和农业用水。反渗透系统的业主是 Inalsa，该公司为 40,000 多人供水服务并进行废水处理，1990 年起，它们还生产品牌为 Agua Chafariz 的瓶装水。

目前存在的问题是膜元件间的连接件 O 型密封圈会泄漏，在 Lanzarote 三厂每个月每系列都会有三支压力容器发生此故障，对于该厂的四个系列反渗透装置，每个月用来维护 O 型密封圈的人力约需 18 个工时。

采用 iLEC 端面自锁连接的反渗透膜元件是专门为了消除此类问题所设计的，它利用一个静止密封代替滑动接头密封，用 12 支 iLEC 端面自锁连接膜元件现场测试了其产水水质、能耗和拆装的难易。

Lanzarote 三厂密封泄漏问题

对每支压力容器的产水电导每天检测，确定可能发生泄漏的位置，打开产水电导高的压力容器，卸下膜元件，如果元件间的内接头没有问题，则对元件作单独测试，发现每组反渗透系列每个月有 1-5 个内接头会泄漏，当压力容器的产水电导逐渐升高但仍在允许范围内时，就表示开始有少量的泄漏或正在加剧泄漏的发展，作好跟踪检测。定期停机以便维修有问题的内接头，当时不会影响制水。然而，更换一支压力容器的内接头通常需要三个人花费大概 30 分钟的时间，假设 Lanzarote 三厂共 4 个系列，每组平均 3 支压力容器会泄漏，每个月用于更换 O 形密封圈的时间大约 18 个工时。

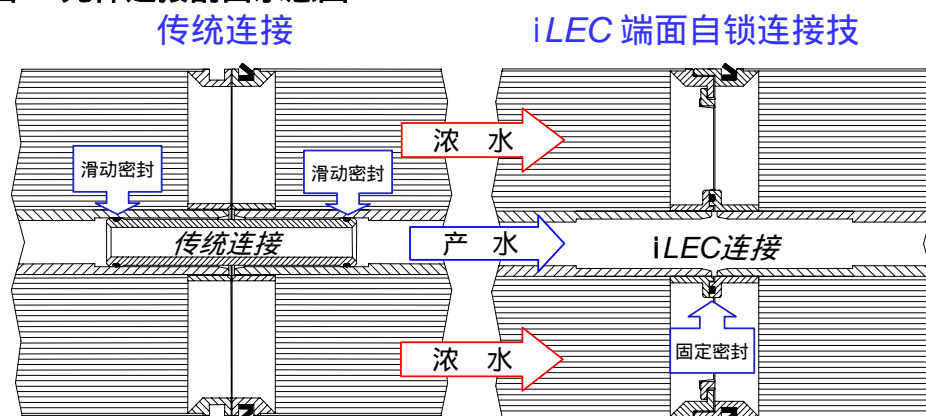
iLEC 端面自锁连接 反渗透膜元件的优点

如果每小时人工费\$25 美元，折扣按 10%计，5 年内该项维修的净开支为 \$21,000 美元。如果淡化厂应该以设计出力运行，停机期间就有经济损失，如存在这样的罚款就会更高。Inalsa 自制了一头带有 3 个密封圈的接头，材料费将成为另外一项花费。

iLEC 端面自锁连接技术消除了膜元件之间的多个滑动密封，将每个连接处的密封面减少到仅一个轴向受压的 O 型密封圈，在元件的整个寿命期内，再也不需要润滑和维护。因为不存在 O 形密封圈的磨损，提高了长期产水水质，也消除了使用标准内接头安装膜元件时对 O 形圈可能造成的损坏，开机后不需要检漏。

端面自锁连接技术没有传统连接件造成膜元件产水中心管通道直径减小的缺点，由此降低了系统的耗能。图 1 揭示了传统内接头部分较小的流道及多处滑动密封和 iLEC 端面自锁连接技术更大的流道及固定密封的剖面对照示意图。

图 1. 元件连接剖面示意图



与传统接头相比，iLEC 端面自锁膜元件可在数分钟内安装两支膜元件，当正确地将元件连锁在一起时，抗应力器自锁型端面会产生独特的快速咬合，并发出咔嚓咬合声，当膜元件咬合在一起后，应确认膜元件抗应力器上的标记线已连成一线，它让安装者立即就知道 O 形密封圈已被压缩，并形成了无泄露连接。图 2 展示了安装膜元件的选配工具，带钳和拉手。

图 2. 用于端面自锁膜元件安装的轻型带钳（左）和拉手（右）



系统设计

在 Lanzarote 三厂有四个系列的反渗透装置共产水 20,000 m³/d，产水含盐量 430ppm，两支压力容器内装上了带 iLEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC SW30HR-380 膜元件。本次试验选择了该厂第四系列的第一和第二段的压力容器，该系列以二段 60/48 方式排列，每支 8"压力容器装 6 支膜元件，压力容器内现有元件达 4~12 年之久，进水来自海滩沉井，以砂滤和滤芯过滤作为预处理，进水总溶解性固体 TDS 为 38,500ppm，用硫酸将 pH 调整为 7。

在本次现场评估开始时第一段回收率为 34%，总回收率 46%。该系列产水量 255 m³/h，两段压力分别为 64.0bar，62.8bar，温度 21°C。

在这两个试验压力容器中，换上了如图 3 所示的压力容器端板适配器，代替了由膜壳厂商提供的标准适配器，减少了插入第一支和最后一支膜元件内的两个滑动连接件，降低了压力容器产水口的阻力。

图 3. 端面自锁连接压力容器端板适配器进一步消除了压力容器内潜在的泄漏点



装置性能

采用了 iLEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC SW30HR-380 膜元件从 2003 年 3 月 12 日开始运行。投运初期，第一段用 iLEC 端面自锁连接元件的压力容器在平均通量 20Lmh (11.8gfd) 时，产水 TDS 为 95ppm；第二段用 iLEC 端面自锁连接元件的压力容器在平均通量 7.8Lmh (4.6gfd) 时，产水 TDS 为 270ppm，该性能反映出在标准测试下膜元件的脱盐率达到 99.85%，同时说明膜元件间密封完美。

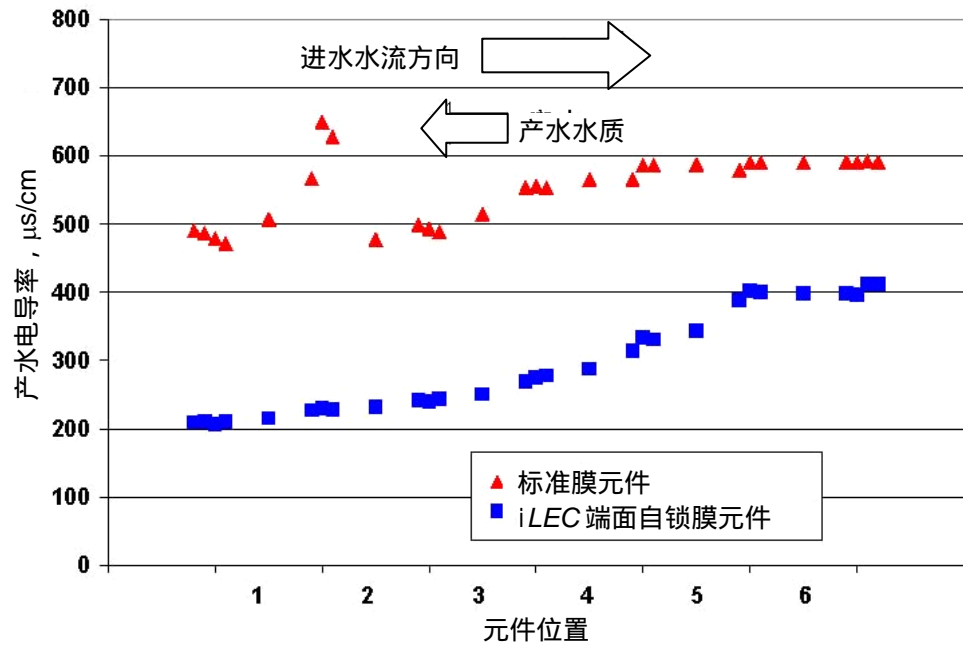
为了确认上述无泄漏操作，对标准连接和 iLEC 端面自锁连接的膜元件进行了产水水质探测，图 4 显示了第四系列第一段标准连接和端面自锁连接产水电导探测曲线的比较，表明端面自锁连接元件间密封好无泄漏，而相邻装有标准膜元件的压力容器内 1 号与 2 号膜元件间出现电导陡然升高，该压



压力容器产水水质恶化，表明 O 形圈有泄漏。

取消标准内接头和压力容器适配器有略微提高了能量效率，在第一段压力容器出水端的另一侧，以产水背压为指标测量了内接头和适配器的产水阻力，其值为 0.2bar，而装有 iLEC 端面自锁连接膜元件压力容器的同样位置，其值为 0.09bar。

图 4. 第四系列第一段标准连接和端面自锁连接产水电导探测曲线对比



当 Lanzarote 三厂操作人员第一次使用 iLEC 端面自锁连接膜元件时，发现每支压力容器安装 iLEC 端面自锁连接膜元件仅需 3 分钟时间，与安装标准膜元件一致，不论何种连接形式的膜元件打开和重装一支压力容器需要 30 分钟，现场操作人员认为 iLEC 端面自锁连接膜元件更易安装，比标准元件安装工作量少，即不需要用内接头了。操作人员其它的感受包括：

- 即使没有带钳和拉手，膜元件也可以方便地装入
- 安装时不需要增加人员，一般装卸元件需要 2~4 人
- 压力容器适配器接头预先装在第一支和最后一支膜元件上
- iLEC 端面自锁连接膜元件地咬合易于检查，即使在有噪音地设备现场，也有表明结合的良好指示，当询问操作者刚刚装入的膜元件有没有很好的咬合在一起时，他们异口同声地说“没有问题！”

结论

采用了 iLEC 端面自锁连接技术的 FILMTEC SW30HR-380 膜元件在 Lanzarote 三厂反渗透装置上取得了成功。易于安装，调试时无需检漏，含有 iLEC 端面自锁连接的压力容器运行一年多后仍无泄漏，产水的总体水质提高，产水背压降低。

陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-12 iLEC 端面自锁技术解决了半导体厂水处理系统泄漏问题并提高了能量利用率

现场情况

地点：

德国 Freising

目的：

消除 O 形密封圈泄漏，测试 iLEC™端面自锁连接在提高产水水质和降低能耗方面的效果

安装日期：

2003 年 5 月

性能对比：

iLEC 端面自锁连接技术消除了泄漏，同时提高了水质并降低了能耗



位于德国 Freising 的德克萨斯仪器公司半导体厂选用了 iLEC 端面自锁连接技术解决了泄漏问题（图片由德克萨斯仪器公司友情提供）

引言

德克萨斯仪器公司在德国的总部位于 Freising，紧靠慕尼黑。Freising 工厂（TI-FFAB）负责研制和开发德克萨斯仪器公司的混合信号和逻辑系列产品，包括先进的 BiCMOS/CMOS 晶片。Freising 同时也是德克萨斯仪器公司半导体系列产品在欧洲的销售和市场的总部。该工厂已成立 30 余年，拥有雇员 1200 余人。

目前市场上广泛使用的反渗透膜元件中心内接头在使用时需要涂抹润滑剂，以便达到最好的密封效果和最长密封寿命。因为 TI-FFAB 要将纯水用于半导体工艺过程中，不允许在 O 形圈上涂抹润滑剂，不用润滑剂则密封圈的寿命得不到保证，系统的泄漏现象上升，使得产水水质受到影响，而且老化的密封圈本身也是颗粒污染的来源。

在本系统的第二级的一支反渗透压力容器内安装了带 iLEC 端面自锁联接技术的 FILMTEC™半导体级（SG）膜元件，目的在于防止 O 形密封圈的泄漏，以提高产水水质并节约能耗，同时也展示一下 FILMTEC SG 半导体级膜元件的优越性能，该元件的独特之处在于一投运就能产出极低总有机碳（TOC）含量的超纯水，降低了 TOC 冲洗时间，大大节约了运行成本。

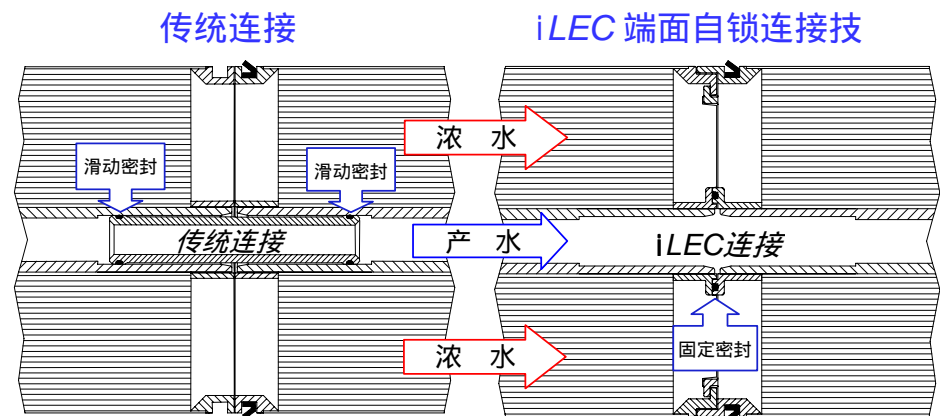
iLEC 端面自锁连接元件的优点

iLEC 端面自锁联接技术避免了两支膜元件之间对多处滑动密封件的要求，取而代之的是一个轴向压缩 O 形密封圈，它所能带来的直接好处就是在膜元件整个使用寿命期间，免维护并不需要润滑剂。

避免了由于 O 形密封圈因长期使用老化或损坏所致的泄露，和普通膜元件相比，采用 iLEC 端面自锁联接技术的系统不存在 O 形密封圈安装时的损坏，系统调试运行的渗漏检查也可省略。

端面自锁连接技术没有传统连接件造成膜元件产水中心管通道直径减小的缺点，由此降低了系统的耗能。图 1 揭示了传统内接头部分流道的变小及多处滑动密封和 iLEC 端面自锁连接技术更大的流道及固定密封的剖面对照示意图。

图 1. 元件连接剖面示意图



与传统接头相比，iLEC 端面自锁膜元件可在数分钟内安装两支膜元件，当正确地将元件连锁在一起时，抗应力器自锁型端面会产生独特的快速咬合，并发出咔嚓咬合声，当膜元件咬合在一起后，应确认膜元件抗应力器上的标记线应连成一线，它让安装者立即就知道 O 形密封圈已被压缩，并形成了无泄露连接。图 2 展示了安装膜元件的选配工具，带钳和拉手。

图 2. 用于端面自锁膜元件安装的轻型带钳（左）和拉手（右）

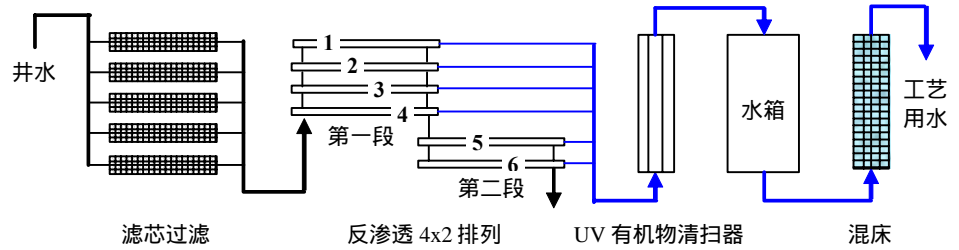




系统设计

如图 3 所示为 TI-FFAB 的系统设计流程图。三套反渗透装置组成的系统于 1996 年开始运行，2001 年，又扩建了第二个三套反渗透装置组成的系统。每套反渗透装置的压力容器均采用六芯装膜壳，按照 4:2 排列。

图 3. 德国 Freising 德克萨斯仪器公司反渗透装置设计流程图



这组反渗透系统的运行技术参数为：回收率 90%，产水量 40m³/h (175gpm)。产水 TDS (总溶解固形物) 3ppm，进水 TDS 535ppm。典型 TOC 含量低于 100ppt (采用 Sievers TOC 测量仪测量)。进水压力 20bar (290psi)，温度 13°C (55°F)。

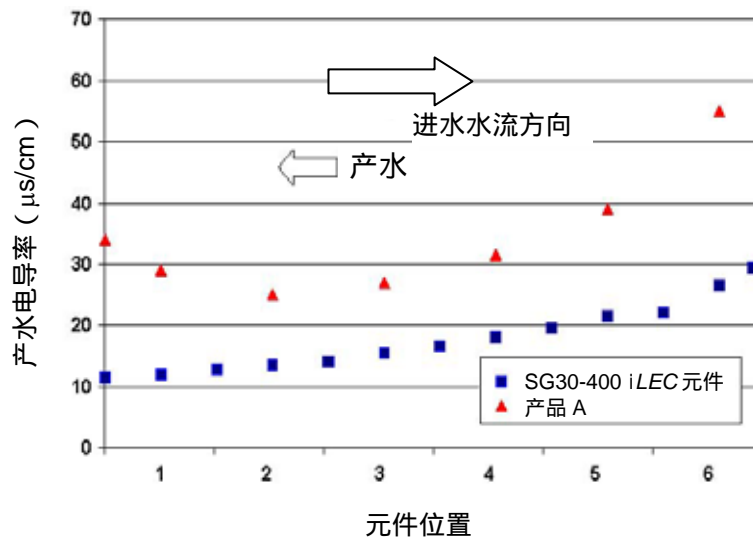
正常产水电导率要求为 10μs/cm，当电导达到 20μs/cm 时就需要采取纠正措施了。当电导达到 20μs/cm 时，每套设备每个月要多花掉 2200 美元的再生离子交换树脂的成本！

装置性能

iLEC 端面自锁联接技术

采用 iLEC 端面自锁联接技术的 FILMTEC SG30-400 膜元件是 2003 年五月开始投运的。iLEC 端面自锁联接技术成功的解决了采用滑动式内接头时的泄漏问题。图 4 是关于第 5 支压力容器使用 iLEC 端面自锁联接技术前后的产水电导率的比较图，我们可以看到 1 号膜元件出来的产水质量得到了明显的提高，产水电导从 34μs/cm 降到了 11μs/cm，解决了 1 号和 2 号膜元件间滑动式密封圈老化和磨损所造成的泄漏问题。

图 4. 第四系列第一段标准连接和端面自锁连接产水电导探测曲线对比





装置性能

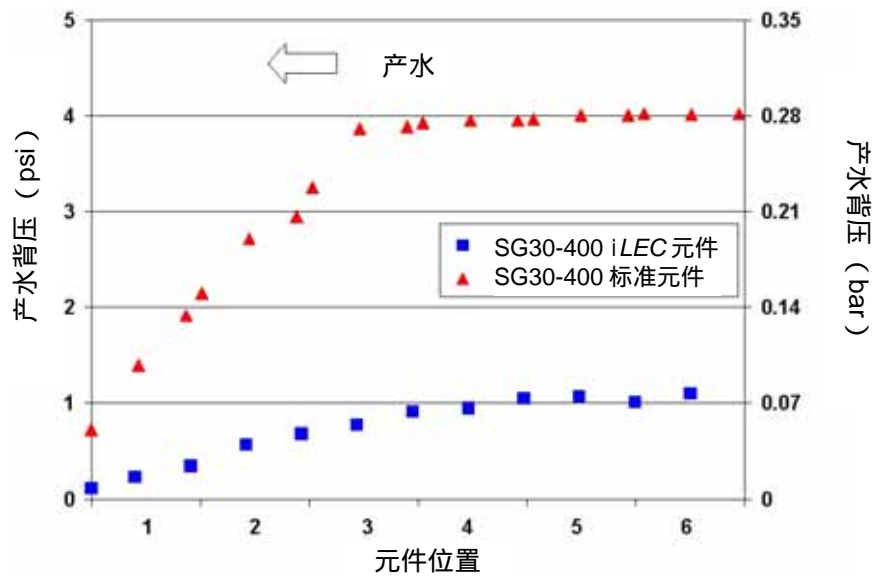
iLEC 端面自锁联接技术

图 5 的照片则揭示了密封圈因为磨损在中心管内表面留下的痕迹，由于半导体厂的水处理系统不允许使用润滑剂，O 形密封圈损坏造成泄漏和纯水污染的情况时常发生。

图 5. 第 5 号压力容器中 1 号膜元件发生 O 形密封圈磨损的照片



图 6. 第二段中相邻两个压力容器的产水背压数据比较



老式的插入式连接件还是造成背压增加能耗的原因之一。让我们做个比较，带 iLEC 和不带 iLEC 端面自锁联接技术的 FILMTEC SG30-400 膜元件分别装在第二段相邻的两个压力容器内，采用 iLEC 端面自锁联接技术的膜元件将平均背压从 3.3psi (0.22bar) 降低到 0.8psi (0.05bar)，图 6 显示了每支膜元件的产水背压，产水背压直接影响膜面渗透所需要的推动力，因此如果所有六支压力容器均采用 iLEC 端面自锁联接膜元件，那么就节约



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

1~2%的能耗，这样每支膜元件在五年的使用期大约可节省 25 美元，虽然数字不是很大但是它的确给您节约了成本，尤其在七芯和八芯装压力容器的系统中成本的节约会更加明显。

装置性能

FILMTEC SG 膜元件

FILMTEC 半导体级 (SG) 反渗透膜元件大幅度提高了膜元件 TOC 的冲洗速率，节约了操作成本，过去的膜元件在投运初期需要几天甚至几个星期的冲洗时间来除去膜元件内的残留有机物，防止对下游设备的污染，此外，由于处理冲洗废水的废水处理系统能力限制，冲洗往往在低通量操作条件下进行，相反，FILMTEC SG30-400 膜元件整个冲洗过程只需几分钟，新元件投运仅仅几分钟产水的 TOC 即可下降到 0.08ppm，第二天即可达 0.07ppm。当进水 TOC4.55ppm，系统总的出水 TOC 为 0.07ppm。

根据德克萨斯仪器公司的数据统计，每套反渗透系统 72 小时的冲洗程序，废水排放费为 700 美元，能耗费 250 美元，附加人工费 1450 美元，折算成平均每支膜元件多花 67 美元，而采用了 FILMTEC SG 半导体级膜元件将节约这些费用。

结论

采用 iLEC 端面自锁联接技术的陶氏 FILMTEC SG30-400 膜元件的性能超过了用户的期望值，O 形密封圈的问题解决了，能耗也降低了，非常显著地降低了冲洗时间，缩短了设备投运时间和节约了成本，考虑到这些优点，用户决定将其它两套系统内的其它品牌的反渗透元件全部更换成陶氏 FILMTEC SG30-400 iLEC 端面自锁膜元件。

产水质量、能量效率和初始投运性能是反渗透系统成功运行的三个主要因素，结合 FILMTEC SG30 半导体级膜化学，陶氏 FilmTec 公司革命性的 iLEC 端面自锁联接元件，是超纯水系统的最佳选择。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

10-13 iLEC 端面自锁联接膜元件经受恶劣的操作环境

现场情况

地点：

美国德克萨斯 Freeport

目的：

评估 iLEC™ 端面自锁联接膜元件适应恶劣使用条件的能力

使用时间：

2 年

性能对比：

iLEC 端面自锁连接没有泄漏及其它与操作有关的问题



位于德克萨斯的陶氏化学公司生产基地拥有许多套化工装置，这里选用了 FILMTEC iLEC 端面自锁连接技术膜元件解决了泄漏问题。

引言

法国威利亚（Veolia）环境公司所属美国过滤公司（USFilter）在德克萨斯 Freeport 陶氏化学公司 B 厂区拥有并运营着一套反渗透水处理系统。陶氏化学购买它净化水作为锅炉的补给水，生产包括聚乙烯、乙烯基乙二醇、聚氨酯、环氧树脂、氢氧化钠和氯乙烯等等石化产品。

由于一级反渗透系统的第一段压降较高，加之膜元件需要经常拆卸离线清洗，使得系统内反渗透膜元件的中心管内连接件经常出现损坏的问题。压降引起了因系统不断地启停使得膜元件出现频繁的窜动，频繁的重复装卸还会导致 O 形密封圈的扭曲变形乃至损坏。

在本系统的一级反渗透装置的第一段压力容器内安装了 FILMTEC™ iLEC 端面自锁联接膜元件，替换了原来传统连接的膜元件。目的在于通过监控长期的产水水质验证 iLEC 端面自锁联接技术是否可以实现无泄漏的操作效果。

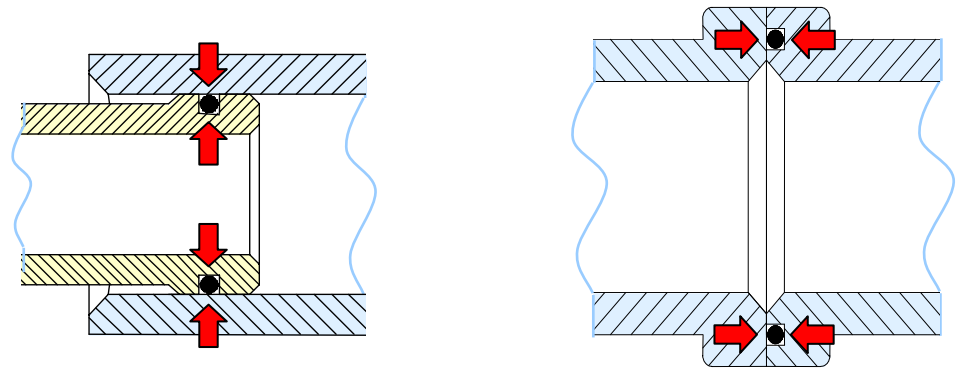
iLEC 端面自锁连接元件的优点

iLEC 端面自锁联接技术取消了两支相邻膜元件之间使用多处滑动密封件的需要，取而代之的是一个轴向压缩 O 形密封圈，它所能带来的直接好处就是在膜元件整个使用寿命期间，免维护并不需要润滑剂。

避免了由于 O 形密封圈因长期使用老化或损坏所致的泄露，和普通膜元件相比，采用 iLEC 端面自锁联接技术的系统不存在 O 形密封圈安装时的损坏，也可省略系统调试运行期间的渗漏检查。

端面自锁连接技术没有传统连接件造成膜元件产水中心管通道直径减小的缺点，由此降低了系统的耗能。图 1 揭示了传统内接头部分较小的流道及多处滑动密封和 iLEC 端面自锁连接技术更大的流道及固定密封的剖面对照示意图。

图 1. 传统插入式（左）的 O 形密封圈与采用 iLEC 端面自锁联接技术轴向固定 O 形密封圈比较，箭头表示 O 形密封圈的受压方向



iLEC 与膜元件中心管永久结合在一起，使得膜元件非常适合于经常性的剧烈操作方式，并为膜提供了结实的保护。

与传统接头相比，iLEC 端面自锁膜元件可在数分钟内安装两支膜元件，当正确地将元件连锁在一起时，抗应力器自锁型端面会产生独特的快速咬合，并发出咔嗒咬合声，当膜元件咬合在一起后，应确认膜元件抗应力器上的标记线应连成一线，它让安装者立即就知道 O 形密封圈已被压缩，并形成了无泄露连接。图 2 展示了安装膜元件的选配工具，带钳和拉手。

图 2. 用于端面自锁膜元件安装的轻型带钳（左）和拉手（右）

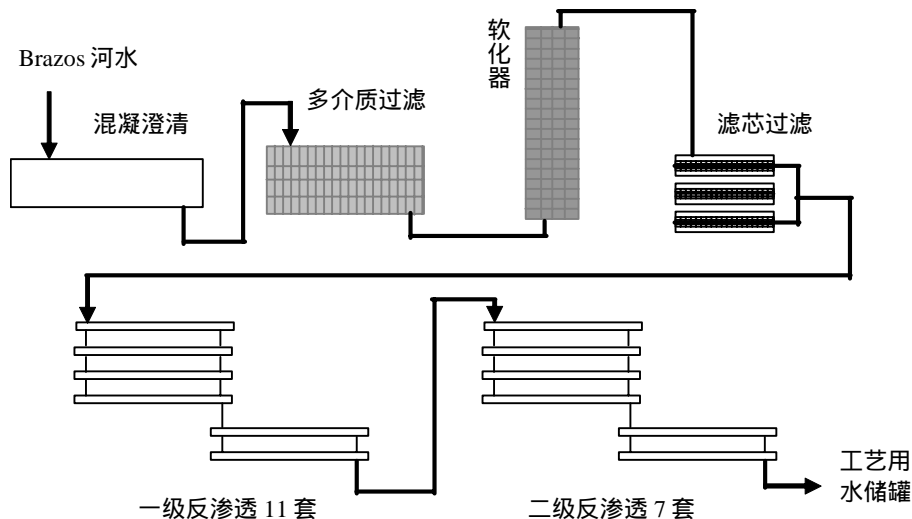




系统设计

水处理系统为两级反渗透流程，一级反渗透 11 套，二级反渗透 7 套，所有 18 套装置的压力容器均采用 4/2 排列方式，每个压力容器装六支膜元件，膜元件为 FILMTEC BW30-365FR，图 3 所示为系统设计流程图。

图 3. 德克萨斯 Freeport 特大型化工基地 USFilter 水处理 B 厂流程图



每套反渗透系统的技术参数如下：第一级回收率 80%，产水量 27m³/h（120gpm）。第二级回收率 80%，产水量 32m³/h（140gpm）。陶氏工厂需要电导低于 5μs/cm，硅含量小于 20ppb 的产水 227m³/h。

系统水源为 Brazos 河河水，经过加氯氧化杀菌，澄清过滤，软化和脱氯后进入反渗透深度处理。一般反渗透进水的淤结指数为（SDI）3~4，有时超过 5，原水含盐量（TDS260~660ppm）和温度（10~30℃，50~86°F）随季节而变化，反映出反渗透产水电导的变化范围为 3~5μS/cm。

该 RO 系统，尤其是第一级，经常会遭遇生物和胶状污堵。除了离线清洗和冲洗之外，整个系统基本上是连续运行。USFilter 的专有冲洗程序每星期操作两次。此外，每支膜元件每年平均会进行四次拆卸离线清洗，离线清洗和冲洗的频度由系统压降决定。

在夏季，污堵的几率和清洗的频率均大幅的增加，SDI 时常会超过 5，结果导致了第一级第一段发生快速污堵。经常性的拆装膜元件对膜元件完整性及膜元件间的密封性均产生了严峻地挑战。



陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

○形密封圈损坏导致的成本增加

USFilter 估计每月每套反渗透装置大约发生一次 ○形密封圈的泄漏，通常所有一级反渗透每月发生 8 次泄漏事故。首先通过检测每支压力容器出水电导，再用探头逐个探测该压力容器内的膜元件，确认泄漏点的位置。需要停止装置的运行，取出膜元件，拆除破损的 ○形密封圈，再装上膜元件。

解决一个压力容器中的泄漏点约需要 2 个工时，每个工时以 25 美元计，每月八次，每年的成本就是 4,800 美元，这笔开销的五年同比净现值就是 18,200 美元，扣除 10%的折率，除以整个一级反渗透装置中的膜元件数，每支膜元件与 ○形密封圈有关的花费为 46 美元，这极大地增加了膜元件的使用成本。

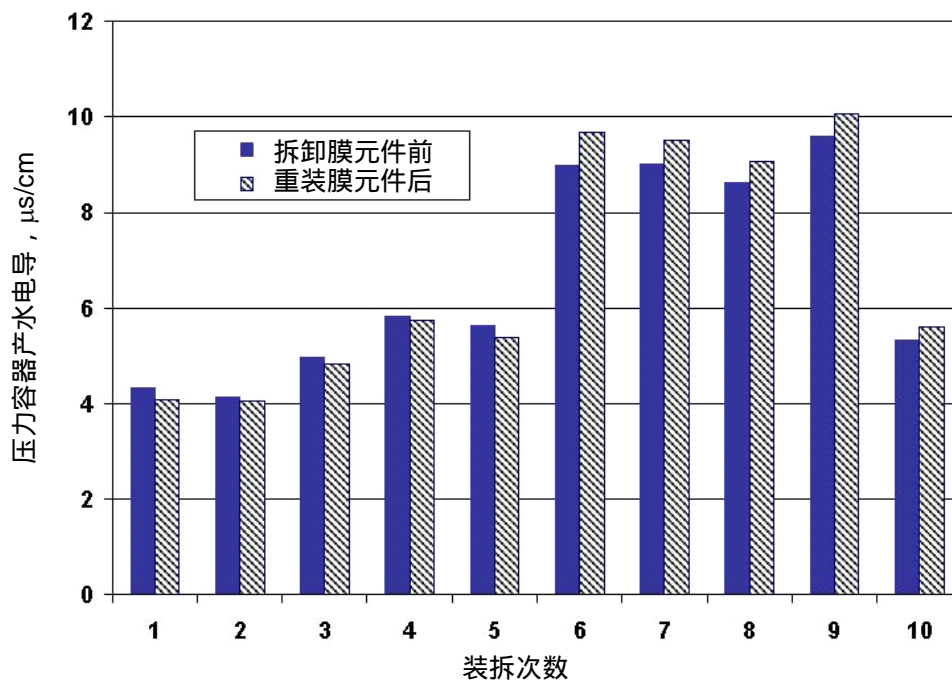
此外，由于 ○形密封圈的泄漏浪费了时间和造成了生产产能的损失也不容忽略，由于透盐率严重上升，装置可能不得不停运，因为装置的产水水质已经不能满足锅炉给水的要求。

装置性能

该厂系统从 1993 年开始投运，2002 年 3 月，一级第一段的一个压力容器内的膜元件替换成最新的 iLEC 端面自锁联接 FILMTEC BW30-365FR 膜元件。

时至今日，iLEC 端面自锁联接膜元件已经运行了两年，未发生 ○形密封圈泄漏或其它操作运行问题。图 4 表明，尽管长期重复的装卸操作，第一段的产水水质没有发生变化。iLEC 膜元件从第一次投运开始，始终全面发挥了性能，无 ○形密封圈泄漏的情况，符合陶氏的产品规范规定。

图 4. 重复的装卸操作对反渗透产水水质的影响





陶氏 FILMTEC™膜元件 >>>美国原装进口膜元件

结论

从安装到现在的两年时间里，即便有很高的进水侧压降，频繁地启动与停止系统以及经常性地装卸膜元件，iLEC 端面自锁元件表现十分出色，达到了预期无故障操作的实际效果。

FILMTEC 膜元件
如需获取更多有关 FILMTEC 膜的信息，请拨打陶氏液体分离部的电话：
上海: 86-21-2301 9000
北京: 86-10-8518 3399
广州: 86-20-8752 0380
台北: 886-2-2775-6066
中国: +10-800-600-0015
<http://www.filmtec.com>

注意：使用本产品并不对从水中去除孢囊和病原体提供质保。孢囊和病原体的有效去除取决于整个系统的设计及系统的运行和维护。

注意：任何人不得推定其在本文件下有使用卖主或其他人所拥有的专利的自由。由于使用条件和适用法律可能因时因地而异，顾客有责任确定本文件里的产品和产品信息是否适合顾客使用，并确保自己的工作场地和处理产品的方式符合可适用的法律和其它政府法规。卖主对本文件中的信息不承担任何责任或义务，也未提供任何保证。在本文件下关于产品的可售性或对某一特殊用途的可适用性的所有默示保证均在此明确地予以排除。