

反渗透系统 优化设计

靖大为 编著

附光盘



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

反渗透系统 优化设计

靖大为 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

本书介绍了反渗透技术及系统设计的相关内容。书中前3章介绍了膜技术及系统设计的基本概念；第4、5章介绍了传统预处理和超滤预处理系统的设计；随后8章分别讨论了反渗透膜系统设计的各方面内容；在最后的第14章介绍了海德能公司设计软件的使用方法与技巧。为便于读者对反渗透系统设计软件的掌握，本书还以光盘形式提供了美国海德能公司的中文版设计软件及其演示性使用说明。

书中关于反渗透膜元件及膜系统的数据分析，除特殊注明属于试验测试数据之外，主要是基于海德能公司的设计软件计算。本书运用大量的曲线与图表，从各个层面揭示反渗透元件及系统的内在规律，为工程设计人员提供更多的相关设计数据以资参考。

本书可供膜法水处理工程技术人员、科研人员及大专院校相关专业的广大师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

反渗透系统优化设计/靖大为编著. —北京：化学工业出版社，
2006.5

ISBN 7-5025-8890-6

I. 反… II. 靖… III. 反渗透膜-水处理-最佳化 IV. P747

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 060737 号

反渗透系统优化设计

靖大为 编著

责任编辑：陈志良

文字编辑：贾婷

责任校对：郑捷

封面设计：于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询：(010)64982530

(010)64918013

购书传真：(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 19 字数 325 千字

2006年8月第1版 2006年8月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8890-6

定价：42.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换
京化广临字 2006—28 号

前 言

近十年来,反渗透技术在国内得到了高速的发展,广泛应用于石油、电力、冶金、化工、电子、制药、食品等多个工业行业,正在成为海水淡化及污水资源化处理的主流工艺,并开始进入市政给水处理领域。目前在以反渗透工艺技术为核心,已经构成了一个相关产品的研发、生产、销售、安装、运行及服务的产业链条,形成了一个高速增长的新兴膜法水处理行业。

目前,国家及地方的科研立项向膜技术方向倾斜,高等院校相关专业的科研向膜技术方向转移,大量膜技术原理及工程应用方面的专著陆续出版,这些努力均对反渗透膜技术及相关产业的发展起到了巨大的推动作用。

反渗透系统的设计、制造、安装、调试、运行及清洗等各个应用环节中,系统的设计工作占据着重要的位置。但国内众多相关工程企业的设计水平参差不齐,理论界对于系统设计模式及方法也缺乏足够的研究与讨论,有关专业论著相对较少。笔者基于一定的实际工程经验,并总结了近年来教学与科研的收获,将反渗透系统设计的相关理论与方法汇集成书,旨在为反渗透系统设计技术的完善做些努力。

本书面向当前膜法水处理工程技术领域,旨在探讨反渗透系统设计的理论与方法,针对膜法水处理工程界的工程技术人员及技术管理人员。书中内容几近一本反渗透膜技术设计手册,涉及的设计计算涵盖了相当一部分实际工程设计计算的结果,可直接作为实际工程设计的参考依据,也可兼作高等院校相关专业本科与研究生膜技术课程的参考教材。

本书还以光盘形式提供了海德能公司的中文版设计软件及其演示性使用说明。

在本书相关的研究项目中,天津城市建设学院市政与环境工程系的徐腊梅、毕飞、夏翌、王春艳、孟凤鸣、贾丽媛、贾玉婷、罗浩、苏宏、仲怀明、江海、董翠玲等研究生做了大量的工作;美国海德能公司北京与上海代表处,特别是海德能公司驻中国首席代表徐平博士在本书编写过程中给予了诸多帮助,这里一并表示感谢。

作者

2006年3月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 膜科学技术的历史	1
1.2 反渗透技术的市场	2
1.3 反渗透技术的发展	5
1.3.1 膜材料及其结构	5
1.3.2 元件结构的演化	6
1.3.3 提高脱盐率水平	6
1.3.4 降低膜工作压力	6
1.3.5 提高抗污染能力	7
1.3.6 提高抗氧化能力	8
1.3.7 提高耐高压能力	9
1.3.8 增大膜元件规格	10
1.3.9 减小膜压力损失	10
1.3.10 纳滤膜技术进步	10
1.4 反渗透的相关技术	11
1.4.1 能量回收技术	11
1.4.2 超微滤预处理	12
1.4.3 膜生物反应器	12
1.4.4 浓水利用工艺	13
1.4.5 压力容器技术	13
1.4.6 专业清洗技术	13
1.5 膜技术的专业教育	14
第 2 章 膜的定义与膜法水处理	16
2.1 膜技术的定义	16
2.2 分离性能指标	17
2.3 膜分离的分类	18
2.3.1 按提取物分类	18
2.3.2 按膜材料分类	18
2.3.3 按处理精度分类	19

2.3.4	按膜体结构划分	19
2.3.5	按元件结构分类	20
2.4	膜过程的机理	21
2.4.1	多孔膜的筛分理论	21
2.4.2	致密膜的溶解-扩散理论	22
2.5	错流过滤技术	23
2.6	浓差极化现象	25
2.6.1	浓差极化的数学模型	25
2.6.2	浓差极化的系统影响	27
2.7	膜污染与清洗	27
2.7.1	膜元件的污染	27
2.7.2	膜的水力冲洗	28
2.7.3	膜的化学清洗	28
2.8	分级工艺处理	29
第3章	反渗透系统的设计问题	32
3.1	系统设计问题的提出	32
3.2	系统设计的相关依据	33
3.2.1	产水流量要求	33
3.2.2	产水水质要求	35
3.2.3	原水水质条件	35
3.3	系统设计范畴界定	36
3.3.1	系统的适用领域	36
3.3.2	辅助系统的设计	36
3.4	分系统的设计模式	37
3.4.1	预处理的工艺与参数	37
3.4.2	膜系统的工艺与参数	38
3.5	系统的最优化设计	39
3.5.1	预处理优化设计	39
3.5.2	膜系统优化设计	40
3.5.3	全系统优化设计	41
第4章	膜系统的传统预处理工艺	42
4.1	预处理系统工艺	42
4.1.1	预处理的的目的	42
4.1.2	预处理的工艺	43

4.2	砂滤与炭滤工艺	44
4.2.1	混凝-砂滤工艺	44
4.2.2	砂滤工艺过程	47
4.2.3	砂滤工艺特征	48
4.2.4	活性炭滤工艺	48
4.2.5	多路阀与容器	49
4.3	水质的软化工艺	51
4.3.1	树脂软化工作原理	52
4.3.2	树脂软化工艺过程	52
4.3.3	树脂再生工艺过程	53
4.3.4	树脂的顺逆流再生	54
4.3.5	二次反洗顺流再生	55
4.3.6	软化工艺设计参数	56
4.3.7	多路阀与软化装置	56
4.4	多级离心加压泵	58
4.4.1	水泵的品种	59
4.4.2	水泵的规格参数	59
4.4.3	水泵的规格优选	61
4.5	水体温度的调节	63
4.6	预处理系统流程	63
4.6.1	预处理的工艺梯度	64
4.6.2	预处理的流量梯度	65
4.6.3	预处理的压力梯度	67
第5章	膜系统的超滤预处理工艺	73
5.1	超滤预处理工艺	73
5.2	超滤系统工艺技术	75
5.2.1	膜材料及结构分类	75
5.2.2	膜组件的结构形式	76
5.2.3	膜组件的安装形式	76
5.2.4	膜组件的径流方向	77
5.2.5	超滤膜的工艺性能	78
5.2.6	膜组件污染与清洗	79
5.3	超滤系统设计导则	80
5.4	超滤系统运行特性	82

5.4.1	膜组件产水特性	82
5.4.2	洁净膜组件特性	83
5.4.3	污染膜组件特性	84
5.4.4	膜通量清洗特性	84
5.5	超滤的前处理工艺	85
5.5.1	前处理必要性	86
5.5.2	叠片式过滤器	86
5.5.3	纤维式过滤器	88
第6章	反渗透膜性能与膜参数	91
6.1	理想半透膜的概念	91
6.2	非理想半透膜过程	92
6.3	膜元件的测试参数	94
6.4	膜元件的计算参数	98
6.5	计算参数的动态特性	101
6.5.1	膜元件的工作压力特性	101
6.5.2	膜元件的透盐率特性	102
6.6	膜元件的试验参数	104
6.6.1	元件的透盐率特性	104
6.6.2	元件淡水的 pH 值特性	106
6.6.3	系统浓水的 pH 值特性	107
6.7	系统技术术语注释	109
第7章	元件及系统的极限参数	111
7.1	膜元件给水流量极限	111
7.2	膜元件浓水流量极限	113
7.3	浓差极化极限回收率	113
7.3.1	系统的浓差极化度	113
7.3.2	浓差极化系统作用	115
7.3.3	浓差极化影响因素	115
7.3.4	浓差极化度的极限	117
7.3.5	浓差极化极限回收率	118
7.4	通量均衡极限回收率	118
7.5	难溶盐的极限回收率	119
7.5.1	硫酸盐极限回收率	120
7.5.2	硅酸盐极限回收率	122

7.5.3	碳酸盐极限回收率	124
7.5.4	难溶盐极限回收率	125
7.5.5	阻垢剂的阻垢原理	126
7.6	膜系统的极限回收率	126
第8章	膜系统设计的基本模式	127
8.1	膜系统设计的三大依据	127
8.2	膜系统的相关设计导则	128
8.3	膜系统设计的主要参数	130
8.4	膜系统设计的评价指标	131
8.5	理论与实际的设计模式	132
8.5.1	系统设计的理想模式	132
8.5.2	系统设计的实际模式	132
8.6	膜系统设计的计算实例	134
第9章	小型膜系统的结构与 设计	138
9.1	单元件系统与浓水回流	139
9.1.1	单支元件低回收率系统	139
9.1.2	单支元件高回收率系统	139
9.1.3	微型元件高回收率系统	140
9.1.4	单支元件浓水回流系统	141
9.2	6元件系统的单段串联	144
9.2.1	6元件系统的串联结构	144
9.2.2	串联结构与浓水回流	147
9.2.3	串联结构加浓水回流	148
9.3	低难溶盐给水系统的结构	149
9.3.1	无回流的6支段结构	150
9.3.2	有回流的6支段结构	154
9.4	高难溶盐给水系统的结构	155
9.5	系统透盐率与元件品种	157
9.6	低压膜元件的系统特性	157
9.7	膜通量沿流程分布特性	159
9.8	产水水质沿流程的分布	162
9.9	容器、水泵及辅助设备	164
9.9.1	元件容器	164
9.9.2	加压水泵	165

9.9.3 辅助设备	165
第10章 膜系统的通量均衡工艺	168
10.1 膜元件通量失衡现象	168
10.2 产生膜通量失衡的原因	169
10.3 通量失衡的影响与抑制	171
10.3.1 通量失衡与产水水质	172
10.3.2 通量失衡与浓差极化极限回收率	173
10.3.3 通量失衡与污染失衡	173
10.3.4 均衡通量的三项工艺	174
10.4 膜元件品种的合理配置	175
10.5 淡水背压及其工艺设计	179
10.6 段间加压及其工艺设计	181
10.7 高含盐量系统通量均衡	184
10.8 低压降元件的通量均衡	186
第11章 反渗透系统的非典型工艺	189
11.1 单元系统工艺设备	189
11.1.1 超小型反渗透系统结构	189
11.1.2 无级间泵两级系统结构	190
11.2 分质供水系统工艺	191
11.2.1 异段分质供水	191
11.2.2 同段分质供水	192
11.3 淡水回流系统工艺	194
11.4 两级系统工艺设计	196
11.4.1 部分两级系统	196
11.4.2 典型两级系统	197
11.5 浓水淡化用电渗析	198
11.5.1 电渗析的工作与结垢	198
11.5.2 电渗析与膜系统合成	200
11.6 4in、8in 膜混合系统	202
11.7 纳滤膜的系统工艺	204
11.7.1 纳滤膜系统的压力分布	206
11.7.2 膜透盐率与工作压力	206
11.7.3 透盐率的稳定性分析	207
11.7.4 纳滤系统的通量均衡	208

11.7.5	纳滤膜系统与电渗析	208
11.8	海水膜苦咸水淡化	209
11.9	随季节变化的结构	210
第12章	大型膜系统的结构与设计	212
12.1	膜系统的流程长度	213
12.1.1	系统回收率与系统流程	213
12.1.2	给水含盐量与系统流程	214
12.1.3	给水温度与系统流程	215
12.1.4	其他因素与系统流程	216
12.2	膜系统的膜段结构	217
12.2.1	设计指标与膜段结构	217
12.2.2	给水温度与膜段结构	218
12.2.3	给水含盐量与段结构	219
12.2.4	元件品种与膜段结构	219
12.2.5	性能衰减与膜段结构	221
12.2.6	膜均通量与膜段结构	222
12.2.7	均衡通量与膜段结构	222
12.3	高回收率的三段结构	225
12.4	不同规模系统结构	227
12.5	大型并联系统结构	228
第13章	反渗透膜系统优化设计	230
13.1	优化设计概念的提出	230
13.2	优化设计的原始模型	231
13.3	参数转换与经典模型	232
13.3.1	优化目标的处理	233
13.3.2	限值约束的处理	234
13.3.3	依据与设计约束	235
13.3.4	剔除非独立变量	235
13.4	定界算法与分支模型	236
13.5	元件运行模型解析式	237
13.6	经典模型与设计软件	241
13.7	膜系统优化设计列表	242
13.7.1	优化设计列表的构思	243
13.7.2	优化设计列表的特征	244

13.7.3	优化设计列表的使用	263
第14章	系统设计软件使用简介	264
14.1	软件功能与菜单系列	265
14.1.1	软件的主要功能	265
14.1.2	软件的菜单系列	266
14.2	工程信息与水质记录	268
14.2.1	工程信息的设置	268
14.2.2	软件重启与退出	269
14.2.3	水质记录的输入	269
14.2.4	水质记录的保存	271
14.2.5	水质记录的编辑	272
14.2.6	简单的水质记录	273
14.2.7	混合的水质记录	273
14.3	设计界面与基本计算	274
14.3.1	加药调整进水 pH 值	275
14.3.2	进水温度与进水类型	275
14.3.3	运行时间与性能衰减	276
14.3.4	产水流量与系统回收率	276
14.3.5	元件、排列及段结构	276
14.3.6	膜元件的平均水通量	277
14.3.7	系统设计的报告输出	277
14.4	设计计算的文件处理	280
14.4.1	设计方案的文件保存	280
14.4.2	产水与浓水记录保存	280
14.4.3	参数灵敏度分析图线	280
14.5	特殊工艺与产水处理	281
14.5.1	产水混合工艺	281
14.5.2	浓水循环工艺	282
14.5.3	产水背压工艺	283
14.5.4	段间加压工艺	283
14.5.5	第二级膜系统	284
14.5.6	产水的后处理	285
14.6	成本分析与元件定义	286

14.6.1	电能消耗计算	286
14.6.2	系统成本计算	287
14.6.3	自定义膜元件	287
参考文献		290

第 1 章

概 论

1.1 膜科学技术的历史

渗透现象很早即被人类所发现，而反渗透膜技术是 20 世纪后半叶以来得以迅速发展的新型水处理及分离技术。法国学者阿贝·诺伦特 (Abbe Nollet) 早在 1784 年就发现水能够自发地扩散到装有酒精的猪膀胱内，从而首次揭示了膜分离现象。1864 年 Schmidt 用牛心包膜提取阿拉伯胶的过程堪称世界上的首次超滤试验。1907 年 Bechhold 制取了多孔火棉胶膜，并发表了首篇微滤膜研究报告。19 世纪发现的 Fick 定律促进了膜扩散与渗透压的研究。20 世纪 20 年代 van't Hoff 与 J. W. Gills 建立了稀溶液理论以及渗透压与其他热力学性能间的关系，为渗透现象的研究奠定了理论基础。

1953 年美国佛罗里达大学的 C. E. Reid 发现了醋酸纤维素具有良好的半透性；1960 年美国加利福尼亚大学的 Yuster、Loeb 与 Sourirajan 制成了第一张高脱盐率、高透水率的非对称型醋酸纤维素膜，为反渗透技术的工业化奠定了基础。1964 年美国通用电子公司制成了卷式反渗透膜组件；1965 年美国加利福尼亚大学研制出管式反渗透膜组件。20 世纪 70 年代初美国杜邦 (DuPont) 公司研制出芳香聚酰胺材料中空式反渗透膜组件。20 世纪 80 年代初出现了芳香聚酰胺复合型卷式膜。20 世纪 90 年代初开始，反渗透技术在全球进入了更加广泛和高速的开发与应用时代，反渗透膜产品也开始进入大规模工业化生产阶段。

我国 1958 年开始进行离子交换膜技术的开发，1966 年与 1975 年分别开始反渗透与超滤膜的研究与开发。国家自“六五”计划以来，持续在膜技术特别是反渗透技术领域投入了大量人力与资金进行技术与产品开发，并相继在杭州海洋二所与天津工业大学建立了两个重点研究与生产基地，使国产反渗透膜技术开发取得了巨大进展。随后，辽宁兴城 8271 厂、江苏常州能源设备总厂、河北石家庄阿欧环境技术有限公司、贵州贵阳汇通源泉环境科

技术有限公司、浙江杭州西斗门膜产品有限公司等国内知名企业在反渗透膜技术的开发与膜产品的制造领域相继做出了显著贡献。

1.2 反渗透技术的市场

反渗透技术自达到工业应用水平以来，在全球范围内广泛应用于海水淡化、市政给水与污水处理，以及石油化工、电力工程、冶金工业、轻工化工、电子工业、制药工业、食品工业等领域的水体净化与脱盐处理，已成为诸多重要工业领域中水处理工艺的主流技术之一。1998年以来全球反渗透及纳滤膜产品的销售额以年平均0.5亿美元的速度稳定快速增长，近年来的平均增长率高达12%。图1.1所示为全球近十年来反渗透及纳滤膜产品销售额的增长趋势。

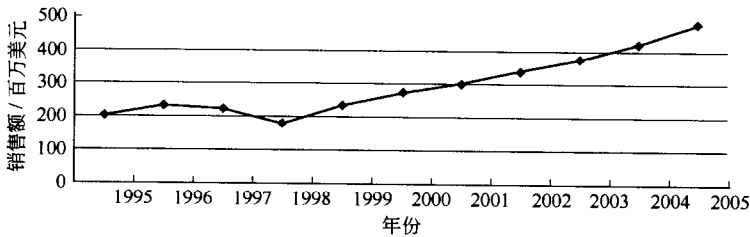


图 1.1 全球市场反渗透及纳滤膜产品年销售额

半个世纪以来，世界范围内众多相关教育机构、研究机构与专业企业广泛开展了膜技术的研究与膜产品的开发，其中包括制膜材料、制膜工艺、料液处理工艺、膜系统设计、膜元件清洗工艺等多方面内容。但目前世界范围内反渗透及纳滤膜的大型工业规模生产仅集中于美国、日本及韩国等少数国家的少数企业，其中最为著名的卷式反渗透膜厂商包括美国的 Nitto Denko/Hydranautics（海德能）、Dow/Filmtec（陶氏）、Koch（科氏）/Fluid System（流体）、GE/Osmonics/Desal、Trisep、日本的 Nitto Denko（日东）、Toray（东丽）、韩国的 Saehan/CSM（世韩）等 8 家企业。

近二十年来在全球范围内，反渗透水处理工艺的应用领域日益扩展，工程的规模日趋增大。反渗透工艺在海水淡化领域中已经开始取代蒸发/蒸馏成为主导工艺；在市政给水处理领域中，可有效解决微污染问题，提高市政给水的质量水平；在污水处理领域中，已成为市政污水资源化处理的典型工艺，使污水的就地优质回用成为可行；在各工业行业的工艺水处理领域中，有效改善了水质，降低了能耗，减少了污染，提高了相关行业

的工艺水平与产品水平。近年来部分国际大型反渗透工艺的水处理工程项目见表 1.1。

表 1.1 部分国际大型反渗透水处理工程项目

国 家	项目所在地	项目规模/(m ³ /d)	建 成 年 份	工 程 性 质
美国	Yuma	280000	1980	河流污染治理
以色列	Ashkeion	270000	2004	海水淡化
阿联酋	Taweelah	270000	2006	海水淡化
阿联酋	Fujairah	170000	2003	海水淡化
特立尼达和多巴哥	Point Lisa	136000	2002	海水淡化
新加坡	Tuas	136000	2004	海水淡化
墨西哥	Hermosillo	128000	2004	海水淡化
沙特阿拉伯	Medina/Yanbu II	128000	1998	海水淡化
西班牙	Carboneras	120000	2001	海水淡化
美国	Tampa	95000	2003	海水淡化
沙特阿拉伯	Al Jubail	90900	1999	海水淡化
科威特	Sutaibiya	375000	2005	污水处理
美国	Fountain Valley	220000	2006	污水处理
新加坡	Ulu Pandan	140000	2005	污水处理
美国	West Basin	75000	2001	污水处理
新加坡	Kranji	40000	2003	污水处理

反渗透工艺及技术近十年来在我国也得到了高速发展,广泛应用于石油、化工、电力、冶金、电子、医药、食品等工业行业,全面介入了桶装、瓶装等居民生活直饮水市场,已经扩展到种植业、养殖业等诸多农业生产范畴,并开始应用于城镇给水与污水处理等市政工程领域。反渗透膜技术在海水与苦咸水淡化、纯水与超纯水制备、污水与中水处理等领域得到广泛应用的同时,逐步形成了一个以反渗透膜技术为核心,持续高速发展的新型膜法水处理行业。

在反渗透膜产品的销售量方面,1995年国内销售的8in[●]膜元件不超过1000支,4in膜元件不超过5000支。2004年国内销售8in膜元件约10万支,首次超过了4in膜元件的销售量。2005年国内销售8in膜元件数量达到12~13万支,4in膜元件数量达到10~11万支,2in膜元件数量达到20~25万支。2005年反渗透与纳滤膜元件的国内销售总额已接近10亿元人民币,达到了一定的市场规模。

据估计,2002~2005年国内反渗透及纳滤膜产品的销售额年增长速度约为30%,该期间国内销售额分别占全球销售份额的9%与14%,表明了

● 1in=0.0254m,全书同。

国内反渗透膜市场已成为继美国、欧洲、日本三大市场之后的国际第四大市场。而且今后 10 年内, 中国将成为世界最大的反渗透膜市场。

2005 年国内新增反渗透产水能力已达到 200 万吨/天 (7 亿吨/年), 相当于天津市自来水的年供水量, 这些数字标志着我国反渗透工艺已正式进入大型工业规模时代。表 1.2 列举了近期国内部分大型反渗透水处理工程项目。

表 1.2 部分国内大型反渗透水处理工程项目 单位: m^3/d

项目所在地	工程规模	工程性质	项目所在地	工程规模	工程性质
浙江玉环电厂	34500	海水淡化	广东玖龙纸业	48000	造纸工业
太原钢铁公司	33600	冶金工业	上海华虹微电子	14500	电子工业
青岛黄岛电厂	13000	海水淡化	山东东应稠油厂	14400	化工工业
浙江乐清电厂	21600	海水淡化	河南黄河铝业	15800	冶金工业

回顾国内反渗透技术近十年的发展历程不难发现, 该技术的高速发展源于六个重要促进因素: 一是反渗透膜技术自身拥有的技术先进性, 使原有的蒸发/蒸馏、离子交换、电渗析等纯水制备工艺全面让位于反渗透工艺; 二是国内经济的持续高速发展, 使国内膜技术市场呈现迅猛发展速度与巨大发展潜力; 三是国内水资源的日趋短缺与水环境的日益恶化, 使膜法水处理的应用从给水深加工扩展到废水的资源化处理; 四是人民币汇率稳定甚至升值、关税持续下调, 致使进口膜元件及其相关产品价格走低; 五是反渗透工艺配套产品的国产化, 使反渗透技术相关工程成本及膜处理工艺运行成本不断下降; 六是国内不断引进及开发膜生产技术, 试图实现反渗透膜产品的国产化。

2005 年末, 产水流量超过 $200\text{m}^3/\text{h}$ 规模的国内反渗透系统已超过 400 套。宝钢、太钢的反渗透装置已达 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 规模, 浙江玉环电厂的 UF+RO 装置达到 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 规模, 而环渤海地区的 10~20 万吨/天规模膜法海水淡化工程也正在酝酿之中。

10 年前的反渗透膜产品市场几乎是 Filmtec 一统天下。当时膜元件的价格不菲, 绝大多数国内水处理工程用户不敢问津。随着 Hydranautics、CSM、Toray 等其他国外产品的大举介入, 世界上具有工业规模的八大反渗透膜厂商的产品全面登陆国内市场。一些国外厂商在沿海地区纷纷建立保税库以缩短贸易周期, Nitto Denko/Hydranautics 公司甚至率先于 2002 年在上海 (松江) 独家斥资建厂以降低生产成本, 并提高国内供货服务能力。以贵州贵阳汇通源泉环境科技有限公司及杭州西斗门膜产品有限公司为代表的国产膜的市场介入进一步加剧了膜市场的多元化及竞争的激烈程度。膜产品