

现代膜技术与应用丛书

膜操作中的 故障诊断与管理

■ 陈德全 等编著

MO CAOZUO ZHONG DE
GUZHANG
ZHENDUAN
YU GUANLI



化学工业出版社

现代膜技术与应用丛书

膜操作中的 故障诊断与管理

■ 陈德全 等编著

MO CAOZUO ZHONG DE
GUZHANG
ZHENDUAN
YU GU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书作者根据多年来对膜法工艺的设计及膜操作中的故障及诊断与管理,针对不同厂家的不同处理工艺,列举真实运行案例,对常见污染及不同工况条件下的特殊污染进行剖析说明,对各处理工序的运行方式及特点进行说明,并将其污染成因及解决途径详细阐述总结,希望读者可以借鉴经验教训,以避免类似情况的再次发生,带来不必要的经济损失及生产运行隐患。

本书主要介绍现代膜技术的系统运行举例及反渗透系统运行技术故障及诊断实例,阐述的内容包括:①膜技术运行;②反渗透系统的运行故障及措施;③MBR膜生物反应器运行故障及措施;④现代膜技术与设备运行管理系统中的问题举例;⑤现代膜的污染与控制方法;⑥现代膜的清洗方法与再生。

本书可供从事膜分离技术研究、生产以及使用膜设备与技术的企事业单位工程技术人员、管理人员使用,也可供大专院校学生及其他相关专业的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

膜操作中的故障诊断与管理/陈德全等编著. —北京:化学工业出版社, 2014. 12
(现代膜技术与应用丛书)
ISBN 978-7-122-21973-2

I. ①膜… II. ①陈… III. ①膜-分离-化工过程-故障诊断
IV. ①TQ028.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 231647 号

责任编辑:夏叶清

装帧设计:史利平

责任校对:宋 玮

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张19 字数378千字 2015年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:88.00 元

版权所有 违者必究

前言

Preface

前言

7.4105

膜处理工艺作为一种新生的水处理工艺，以其低成本、高效率、低耗环保的强大优势迅速普及，已成为目前水深度处理的最佳通用方案。在膜法工艺的设计及运行管理中，存在着各种各样的问题，致使其中某段处理工序超过运行负荷，带来污染，导致去除效率降低，影响后序处理工艺，甚至降低设备使用寿命。

笔者根据多年来对膜法工艺的设计及膜操作中的故障及诊断与管理，针对不同厂家的不同处理工艺，列举真实运行案例，对常见污染及不同工况条件下的特殊污染进行剖析说明，对各处理工序的运行方式及特点进行说明，并将其污染成因及解决途径详细阐述总结，希望读者可以借鉴经验教训，以避免类似情况的再次发生，带来不必要的经济损失及生产运行隐患。

近年来，全球 MBR 市场发展极为迅速。截至 2010 年底，全球最大的 MBR 工程（22 万立方米/日）已经建立。中国也已有多个正在运行和建设中的十万吨级 MBR 工程，预计未来在全球市场中将占据越来越重要的位置。数据显示，截至 2012 年，我国拥有污水处理厂 4200 座，日处理能力为 2.36 亿立方米。据锅炉软化水设备专家获悉，“十二五”期间污水处理市场投资机会将主要集中在县城和中小城镇，老旧污水处理项目的升级改造将成为主要潜在市场。目前全国在建的污水处理项目有 2600 座左右。

本书主要是为了更好地、有效地促进现代膜设备/技术与应用。主要介绍现代膜技术的系统运行举例及反渗透系统运行技术故障及诊断实例，阐述的内容包括：①膜技术运行；②反渗透系统的运行故障及措施；③MBR 膜生物反应器运行故障及措施；④现代膜技术与设备运行管理系统中的问题举例；⑤现代膜的污染与控制方法；⑥现代膜的清洗方法与再生。

在本书编写过程中，国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心、中科院上海应用物理研究所膜分离技术研究发展中心、清华大学膜技术研发与应用中心、浙江大学高分子科学研究所、大连理工大学膜科学与技术研究开发中心、南京工业大学膜科学技术研究所等单位的膜分离技术专家与前辈和同仁热情支持和帮助，并提供有关资料，对本书内容提出宝贵意见。张淑谦、范立红、童忠良等参加了本书的编写与审核，荣谦、沈永淦、崔春玲、王书乐、郭爽、丰云、蒋洁、王素丽、王瑜、王月春、韩文彬、俞俊、周国栋、朱美玲、方芳、高巍、高新、周

雯、耿鑫、陈羽、安凤英、来金梅、王秀凤、吴玉莲、黄雪艳、杨经纬、刘晖、冯亚生、周木生、赵国求、高洋等同志为本书的资料收集、插图和编写付出了大量精力，在此表示感谢！

限于作者的水平，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2014.7

目录

Contents

◎ 第一章 膜技术运行

1

第一节 现代膜技术分析	1
一、现代膜技术概论	1
二、现代膜技术系统运行中的相关问题	7
三、常见膜分离运行故障及诊断分析和解决方法	13
四、提升 MBR 污水处理及运行自动化水平	21
第二节 反渗透系统设备运行影响因素及用途	24
一、反渗透设备系统组成及功能	24
二、反渗透净水器和超滤净水器对比	25
三、核心部件和膜元件运行的区别	26
四、影响反渗透系统的各种因素	27
五、反渗透膜仪表及影响因素	29
六、反渗透设备的主要用途	30
第三节 反渗透系统运行及试车的操作流程	31
一、反渗透系统运行前准备	31
二、反渗透系统试车运行	31
三、反渗透系统运行条件	31
第四节 超滤系统运行技术故障及处理措施实例	35
一、预处理系统运行工艺技术问题	35
二、运行前的准备工作及故障问题	35
三、超滤工艺启动控制装置与设置操作程序问题	36
四、超滤工艺升压/监控/回收比/膜的清洗/灭菌/停机运行 问题	36
五、超滤系统常见故障及处理措施	38
六、中空纤维超滤膜的污染及清洗再生技术	38

◎ 第二章 反渗透系统的运行故障及措施

40

第一节 反渗透膜/元件/材料及元件

重度污染中的问题	40
一、反渗透膜疑难问题	40
二、反渗透膜元件性能衰减常见原因	40
三、反渗透膜元件在运行时遇到的故障	41
四、GE 反渗透膜元件污染特点及处理方法与设备故障的具体 分析	42
五、反渗透膜元件的重度污染的判断和解决方法	44
第二节 清洗反渗透膜元件的一般步骤	45
一、清洗反渗透膜元件	45
二、反渗透膜污染特征及处理方法	45
三、使用的常见清洗液	46
第三节 反渗透系统的故障分析及排除	46
一、常见的反渗透系统的故障分析	46
二、常见的反渗透系统故障的症状、原因、解决方法	48
三、反渗透故障诊断综述	50
第四节 反渗透膜的综合评价指标及运行故障分析	54
一、反渗透膜的评价指标	54
二、典型的反渗透系统故障分析与清洗	54
第五节 反渗透的运行管理系统与设备运行中常见问题及举例	55
一、反渗透工程运行管理遇到各种现场问题与案例	55
二、反渗透设备运行调试技术问题分析	58
三、反渗透设备运行中常见问题及解决方法	63
四、GE 反渗透膜元件设备故障具体分析	65
五、反渗透设备操作中的故障分析	66
六、反渗透系统设备的日常维护问题	68
第六节 反渗透系统预处理毛病分析、工艺质量控制与故障排除	70
一、反渗透预处理系统常规设备有哪些？分别针对什么类型的 水源？	70
二、反渗透系统进水水质要求是什么？不达标会对反渗透系统 造成什么危害？	71
三、消除氧化性的水对反渗透膜元件的氧化	71
四、地表水初期出水浊度还达标，运行后浊度逐渐升高，原因 和进行补救的方法是什么？	72
五、多介质过滤器适用的流速范围	72
六、多介质过滤器出现滤料乱层现象，是什么原因导致的，如 何解决，如何避免？	72

七、过滤器性能进行如何恢复?	73
八、保安过滤器滤芯经常更换, 如何减少滤芯的更换周期?	74
九、原水中铁锰含量较高, 用什么方法进行去除?	74
十、原水中 Sr、Ba 含量高如何去除?	75
十一、如何正确地使用与原水相匹配的阻垢剂, 加药量如何 确定?	75
十二、PAC、PAM 在使用过程中如何确定加药量, 如何选择 与水源相匹配的药剂?	75
十三、活性炭滤料质量如何判断, 更换周期如何确定?	75
十四、澄清池在运行过程中易出现“翻池”现象, 如何进行 调整?	76
十五、淤泥密度指数 (SDI 值) 如何测定, 在检测过程中有哪些 注意事项?	77

◎ 第三章 MBR膜生物反应器运行故障及措施

79

第一节 MBR 膜生物反应器安装流程与调试中故障及措施	79
一、MBR 膜生物反应器安装准备工作	79
二、MBR 膜生物反应器安装现场初步准备工作	79
三、MBR 膜生物反应器安装现场工程施工	80
四、MBR 膜生物反应器安装现场调试	80
五、MBR 膜生物反应器竣工交接	82
六、MBR 膜生物反应器箱体安装与调试中故障及措施	82
第二节 MBR 膜生物反应器运行故障及措施	83
一、MBR 工艺中膜污染现象及其防护措施	83
二、MBBR 反应器在运行中易出现的问题	86
三、膜生物反应器 (MBR) 在工程运行中常见故障及解决 措施	89
四、浸没式 MBR 膜组件运行方法和运行管理与维护管理及 措施	91
第三节 生化处理系统的运行故障与解决措施	98
一、活性污泥系统常见膨胀现象问题的预防措施	98
二、活性污泥丝状菌膨胀控制的工艺处理	99
三、污泥积泥成因的典型问题及解决措施	104
第四节 一体式 MBR 控制膜污染的最佳曝气强度及影响因素	106
一、试验装置与流程试验及设计	107
二、一体式 MBR 中曝气强度与反应器结果与讨论	108

三、一体式 MBR 中曝气强度与反应器评价	110
第五节 机电设备运行故障及解决措施	110
一、鼓风曝气系统故障预防及常见故障解决措施	110
二、泵类故障预防与常见故障解决办法	111
三、带式压滤机运行操作过程中的常见故障及解决办法	114
四、带式污泥脱水机运行经常出现的问题和解决方法	114
五、污泥浓缩池刮泥机用途和工作原理	115
六、阀门的常见故障的原因和解决方法	115

◎ 第四章 现代膜技术与设备运行管理系统中的问题举例

117

第一节 现代膜技术与设备运行基础	117
一、现代膜技术	117
二、膜设备运行基础	117
三、设备运行需要的基本技术参数	117
四、膜设备前期与运行过程所需要解决的十个方案	118
第二节 无机膜分离系统过滤设备及过滤方式的问题举例	118
一、无机膜分离系统过滤方式	119
二、无机陶瓷膜的工业设备	119
三、无机陶瓷膜过滤设备及过滤方式的问题	122
第三节 超滤系统膜技术与设备运行管理系统中的问题举例	122
一、超滤膜设备运行中污染的主要成因	122
二、超滤污堵原因的剖析	123
三、超滤膜在水处理设备中的作用	130
四、超滤设备运行管理系统中的问题	131
五、超滤车间运行规程与运行操作举例	135
六、超滤系统膜技术与设备运行故障与处理的问题举例	143
第四节 离子膜设备运行的故障与处理措施	144
一、离子膜制碱水工艺的主要流程	145
二、设备的运行故障与处理措施	145
三、离子交换树脂故障的排查与解决方法	147
四、设备故障及其处理方法评价	148
第五节 循环水式多用真空泵特点技术分析	148
一、循环水环式真空泵的工作原理	149
二、循环水环式真空泵的使用范围	149
三、循环水环式真空泵使用的注意事项	149
四、循环水环泵和其他类型的机械真空泵的比较	149

181	五、循环水环真空泵一般故障及排除	150
181	第六节 流量计在安装及运行过程中的故障分析	151
181	一、调试期	151
181	二、运行期	152
181	第七节 软化水设备使用中遇到的故障及解决方法	152
181	一、硬度超标的原因分析	152
181	二、树脂罐中有大量气体存在的原因分析	153
181	第八节 除盐系统运行指标及故障处理	154
181	一、运行指标	154
181	二、运行故障处理	154
181	第九节 膜生物反应器污水再生工程的运行与优化管理系统中的 问题	155
181	一、MBR 工艺	155
181	二、工艺分析	157
181	三、PLC 控制系统	157
181	四、膜生物反应器运行与优化管理评价	158
181	第十节 新树脂的处理和贮存	158
181	一、新树脂的处理	158
181	二、树脂的贮存	159
181	三、树脂的鉴别和分离	159
181	第十一节 树脂变质和污染	161
181	一、变质	161
181	二、污染	162

◎ 第五章 现代膜的污染与控制方法

165

110	第一节 现代膜的污染基础	165
111	一、膜的污染	165
111	二、现代膜的清洗准则与重要性	168
111	三、膜污染的起因	169
111	四、膜污染种类	171
111	五、膜污染机理	172
111	六、膜污染的影响因素	172
111	第二节 膜元件的污染	174
111	一、无机物污染与因素	175
111	二、有机物污染	176
111	三、微生物污染	177

四、GE 微滤膜元件与抗污染	181
五、GE 反渗透膜元件污染特点及处理方法	184
六、应用 RO 反渗透膜元件过程中常见污染物及去除方法	184
第三节 污染指数的测定方法	185
一、常见的污染物	185
二、反渗透膜测定装置与操作步骤	186
第四节 反渗透膜元件污染的判断处理	189
一、反渗透膜污染的分析与判断	189
二、反渗透膜元件性能衰减与因素	190
三、反渗透膜元件与预处理	191
四、反渗透膜工艺过滤掉氟离子的原理应用	191
第五节 膜污染的控制方法	192
一、膜对微生物污染特性及其控制基础	192
二、反渗透系统中膜的常见污染问题及控制	193
第六节 水处理中膜污染及其控制措施实例	197
一、微生物给水处理系统带来的危害	197
二、生活污水处理中膜污染分析与措施	198
三、水处理中超滤膜污染的防控措施举例	199
四、焦化废水处理 COD 处理问题及其控制措施	200
五、水预处理系统中膜污染解决方案	202
六、水处理中膜污染及其控制措施举例	204
第七节 反渗透膜元件的重度污染的判断和解决方法实例	207
一、反渗透膜元件重度污染的原因、特征	208
二、重度污染 RO 膜的离线清洗要求	209
三、反渗透膜元件的离线清洗方式及步骤	209
四、离线清洗实例	210
五、清洗效果评定	211
六、重度污染的判断和清洗与解决方法评价	211
第八节 水解酸化-MBR 处理偶氮染料废水的膜污染与清洗实例	212
一、MBR 工艺处理染料废水对膜的试验装置与方法	212
二、对污染的膜进行清洗的应用过程及结果与讨论	213
三、MBR 工艺处理染料废水评价	216
第九节 膜生物反应器 (MBR) 中膜污染控制与主要解决方法	216
实例	216
一、膜生物反应器与中空纤维微滤膜	216
二、膜生物反应器装置与膜污染控制方法	217

三、装置与膜污染控制结果评价	219
----------------------	-----

◎ 第六章 现代膜的清洗方法与再生

222

第一节 现代膜的清洗基础	222
一、反渗透膜元件的污染与清洗	222
二、反渗透膜的污染及清洗方法	223
三、膜元件的污染物情况分析	224
四、如何选择清洗药剂	225
五、清洗工艺与操作步骤	227
六、物理清洗法	228
七、化学清洗法	229
八、化学清洗药剂的选择及使用准则	230
九、GE 反渗透膜元件如何选择清洗药剂	231
十、常规清洗液的选择	232
十一、RO 膜元件的清洁和冲洗程序	232
十二、反渗透膜的化学清洗与水冲洗	233
十三、反渗透膜的技术要求及清洗方法	234
第二节 常见反渗透膜清洗方法	236
一、反渗透膜的清洗	236
二、反渗透膜清洗应当把握的要点及其推荐方法	237
三、反渗透膜清洗中的常用解决方法	238
四、MBR 膜组件污染的主要清洗方法	240
五、不同材质膜组件的清洗方法	242
第三节 反渗透膜元件及设备的清洗和维护举例	243
一、RO 膜系统清洗的必要性	243
二、RO 反渗透膜清洗及设备维修保养	244
三、纯水处理设备反渗透膜的清洗步骤	247
四、反渗透膜元件的一般保存方法	248
第四节 超滤膜/微滤膜/纳滤膜的清洗方法和维护举例	248
一、超滤膜清洗的清洗方法	248
二、微滤膜清洗的清洗方法	251
三、纳滤膜清洗的清洗方法	253
第五节 RO 膜系统的清洗条件与常规清洗方法举例	256
一、RO 膜过滤	256
二、RO 膜系统的清洗条件	256
三、RO 膜常规清洗方法	258

第六节	UF 膜离线清洗的步骤与 UF 超滤设备的化学清洗	264
一、	UF 膜需要离线清洗及清洗的步骤	264
二、	UF 膜离线清洗的特点	264
三、	UF 膜离线清洗的步骤	265
四、	UF 膜离线清洗的注意事项	266
五、	UF 超滤设备的化学清洗规范是什么?	266
第七节	反渗透膜典型重度污染物的清洗方法举例	267
一、	无机盐结垢污染	267
二、	有机物类污染物污染	268
三、	化学药剂污染	268
第八节	反渗透膜离线清洗方法举例	270
一、	反渗透膜在离线清洗处理中技术说明	271
二、	离线清洗的特点	271
三、	离线清洗的选择	272
四、	离线清洗的优势	272
第九节	再生与再生水的应用技术举例	273
一、	膜的清洗再生方法	273
二、	反渗透膜的再生系统	276
三、	再生水在城市居民小区的应用技术举例	279
第十节	有关海德能反渗透膜 (RO) 问答二十四例	282

◎ 参考文献

291

第一章

膜技术运行

第一节 现代膜技术分析

一、现代膜技术概论

膜分离技术作为一种新型的流体分离单元操作技术,从20世纪50年代末、60年代初发展以来,已经取得了令人瞩目的巨大发展。目前膜分离技术已经很成熟、可靠,并广泛应用于电力、石油化工、钢铁、电子、轻工、纺织、食品饮料、医药、环保及市政等行业中,尤其在水处理行业中,发展更为迅速,已成为目前水质深度处理和中水回用的主要处理技术和发展方向。

目前在国内大型反渗透装置主要用于锅炉补给水和海水淡化领域,除少数电子等行业以外,大多数都用于锅炉补给水。应用范围最早是火力发电厂,后来扩展到钢铁、炼油、石化、化肥、化工等行业。其中最大规模的系统已达到1800t/h,国内在此领域已积累了丰富的设计、施工和运行经验。

鉴于目前可利用的淡水资源的逐渐减少,膜技术已在海水淡化和水回收利用方面大量采用。国内如立源水业通过海水的预处理技术加上膜处理技术,能很好地对海水进行淡化。中国最大的海水淡化项目——天津大港水厂,以及目前中国所有的核电项目大都采用了立源水业的技术。

目前国内在污水的达标排放和回收利用方面,超/微滤和反渗透系统的应用也在逐渐推广,将超/微膜组件装在曝气池中,利用微生物的降解作用和膜分离过程处理污水,出水可以直接回用,并省去了传统的二沉池和污泥回流系统。采用双膜法可将生化后的污水净化成为锅炉的补给水,如中国石油哈尔滨石化分公司采用双膜法将生化二沉池出水回收利用作为电站锅炉的补给水,节省了大量的自来水费和树脂再生的酸碱费用,给企业带来了直接的经济效益。

1. 膜的定义

膜从广义上讲可以定义为两相之间的一个不连续区间,它可以是固相的、液相的,甚至气相的。从分离的意义上讲,膜可以定义为:大多数的分离膜都是固体膜,目前,无论是从产量、产值、品种、功能或是应用对象上来讲,固体膜都占

99%以上,其中尤以有机高分子聚合物材料制备成的膜和其过程为主。

尽管在生产和生活中的诸多领域应用的商品膜种类繁多,以及具体的分离机理和使用方法千差万别,但他们具有共同的特性,即选择透过性。

因此膜的一般定义是:膜是分离两相和作为选择性传递物质的屏障。它可与一种或两种相邻的流体相之间构成不连续区间并影响流体中各组分的透过速率(见图 1-1)。

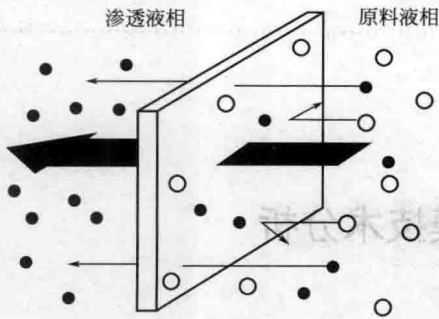


图 1-1 膜的定义

2. 膜的特点

膜分离技术是一种常温下无相变的高效、节能的分离、提纯、浓缩新技术。

其基本原理是利用自然或人工合成的、具有选择透过性的薄膜,以外界能量或化学位差为推动力,对双组分或多组分体系进行分离、分级、提纯或富集,

可用于液相和气相。

对于液相分离,可用于水溶液体系、非水溶液体系、水溶胶体系以及含有其他微粒的水溶液体系。分离膜多数是固体(目前大部分膜材料是有机高分子),也可以是液体。它们共同之处是对被其分离的体系具有选择性透过的能力。

膜分离技术具有以下特点:

- ① 膜分离过程不发生相变化,因而耗能较少,是一种节能的分离技术。
- ② 膜分离过程可在常温下进行,因而适用于一些热敏性物质的分离。
- ③ 膜分离技术应用面广,无论是无机物还是有机物的水溶液或者非水溶液都可以分离。
- ④ 膜分离过程是一种物理筛分过程,效果稳定。
- ⑤ 膜分离过程仅以压力等作为推动力,化学品用量小,不污染环境。
- ⑥ 流程和设备简单,操作和维护保养方便,既可以实行人工操作,又容易实现由电脑控制的全自动运行。

3. 膜的分离过程

物质选择透过膜的推动力可分为两类:一是外界能量,物质发生由低位到高位转移;二是化学位差,物质由高位向低位转移。

(1) 膜分离过程的特点

膜分离过程的特点:高效;能耗(功耗)低;膜分离设备操作维护方便,运行稳定;规模和处理能力范围很大。

(2) 膜分离技术的过程

把膜制成适合工业使用的构型,与驱动设备(压力泵、电场、加热器、真空泵)、阀门、仪表和管道连成设备。在一定的工艺条件下操作,就可以来分离水溶

液或混合气体。透过膜的组分被称为透过流分。这种分离技术被称为膜分离技术。

膜分离过程的共同优点是成本低、能耗少、效率高、无污染并可回收有用物质，特别适合于性质相似组分、同分异构体组分、热敏性组分、生物物质组分等混合物的分离，因而在某些应用中能代替蒸馏、萃取、蒸发、吸附等化工单元操作。

实践证明，当不能经济地用常规的分离方法得到较好的分离时，膜分离作为一种分离技术往往是非常有用的。并且膜技术还可以和常规的分离方法结合起来使用，使技术投资更为经济。膜分离过程没有相的变化（渗透蒸发膜除外），常温下即可操作。

由于避免了高温操作，所浓缩和富集物质的性质不容易发生变化，因此在膜分离过程在食品、医药等行业使用具有独特的优点。膜分离装置简单、操作容易，对无机物、有机物及生物制品均可适用，并且不产生二次污染。

由于上述优点，膜科学和膜技术发展极为迅速，目前已成为工农业生产、国防、科技和人民日常生活中不可缺少的分离方法，越来越广泛地应用于化工、环保、食品、医药、电子、电力、冶金、轻纺、海水淡化等领域。

(3) 典型的膜分离过程特性

典型的膜分离过程特性如表 1-1 所示。

表 1-1 典型的膜分离过程特性

过程	主要功能	膜
微滤(MF) microfiltration	滤除 $\geq 50\text{nm}$ 的颗粒	对称细孔高分子膜,孔径 $0.03\sim 10\text{nm}$
超滤(UF) ultrafiltration	滤除 $5\sim 100\text{nm}$ 的颗粒	非对称结构的多孔膜,孔径 $1\sim 20\text{nm}$ ($M_w 1000\sim 1000000$)
反渗透(RO) reverse osmosis	水溶液中溶解盐类的脱除	—
渗析(透析)(D) dialysis	水溶液中无机酸、盐的脱除	强碱性离子交换膜、聚乙烯醇中性膜
电渗析(ED) electrodialysis	水溶液中酸、碱、盐的脱除	阴阳离子交换膜
气体分离(GP) gas permeation	混合气体的分离	硅橡胶、聚砜、聚酰亚胺等非对称膜
渗透汽化(PV) pervaporation	水-有机物的分离	聚乙烯醇等由皮层和多孔支撑结构层构成的复合膜
液膜(L) liquid membrane	盐、生理活性物质的分离	液体保存在对称或者非对称多孔膜的孔中

(4) 其他膜过程

① 气体膜分离 气体膜分离是指利用主体混合物中各组分在非多孔性膜中渗透速率的不同使各组分分离的过程。气体膜分离过程的推动力亦是膜的两侧的压力差，在压力差作用下，气体首先在膜的高压侧溶解，并从高压侧通过分子扩散而传递到膜的低压侧，然后从低压侧解析而进入气相，利用各种物质溶解、扩散速率的差异而达到分离目的。

对气体分离膜的要求是渗透通量高、分离系数大,具有较高的机械强度,一般均是非对称膜和复合膜。

气体膜分离设备主要有中空式和卷式两类。

图 1-2 所示为气体膜分离设备示意图,采用聚砜中空纤维,表面涂上一层厚度为 $500\sim 1000\text{\AA}$ ($1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$) 的聚甲基硅氧烷。

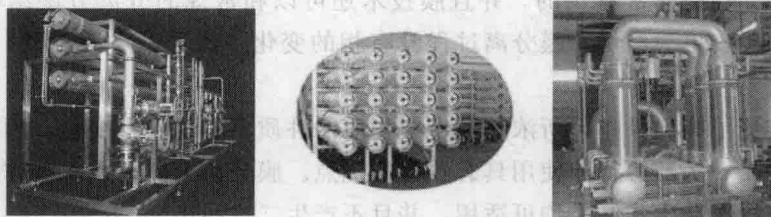


图 1-2 气体膜分离设备示意图

中空纤维外径 $450\sim 540\mu\text{m}$, 内径 $225\sim 250\mu\text{m}$ 。

原料气在中空纤维外流过,渗透气通过纤维管壁进入管内,汇合到一端而流出。图 1-3 所示是卷式气体膜分离器的示意图,卷式组件由膜和支撑体组成的膜叶外流过,渗透气通过膜汇集到中心的渗透管而流出。

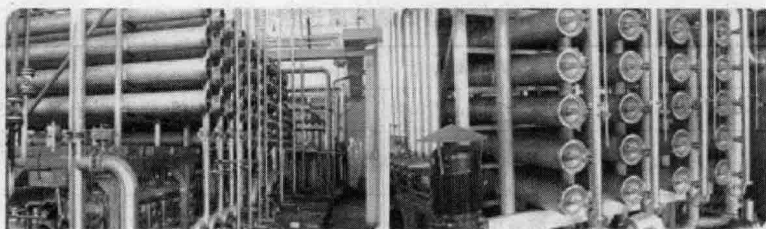


图 1-3 卷式气体膜分离器的示意图

气体膜分离技术虽然起步较晚,但发展十分迅速,目前在工业上已取得了许多成功的应用。

a. 工业气体中氢的回收 工业上应用最广的气体膜分离过程是从合成氨厂排放气和石油化工厂中各种含氢气体中回收氢。使用气体膜分离组件可以从合成氨排放气中回收 96% 的氢,经济效益很大,已获广泛应用。

b. 氧氮分离器 用膜分离方法分离空气制取氧含量 $30\%\sim 40\%$ 的富氧空气受到普遍重视。富氧空气用于工业炉中助燃可以大大提高燃料的利用率。小型制取富氧空气的膜分离器在医药上也有广泛的应用前景。用于氧氮分离的膜材料有硅橡胶、PPO 等。气体膜分离在天然气提氢、 CO_2 等酸性气体脱除等方面亦有广泛的应用前景。

② 渗透汽化 渗透汽化是利用膜对液体混合物中组分的溶解与扩散性能的不同来实现其分离的膜分离过程。渗透汽化过程可用实验室渗透汽化器来说明。在膜