

环境工程专项技术研究与应用系列丛书  
Environmental Unit Process Technologies Series: Research and Application



# 膜法单元水处理技术

Membrane Unit Process in Water and Wastewater Treatment

薛罡 何圣兵 刘亚男 著 彭永臻 审

中国建筑工业出版社

环境工程专项技术研究与应用系列丛书

环境工程(CIP) 目次

中国中、京北—— 著 彭永臻 刘亚男 何圣兵 薛 罡

工业出版社

(ISBN 978-7-112-09892-7)

978-7-112-09892-7

膜法单元水处理技术

# 膜法单元水处理技术

薛 罡 何圣兵 刘亚男 著  
彭永臻 审

环境工程(CIP) 目次

膜法单元水处理技术

著 薛 罡 何圣兵 刘亚男

审 彭永臻

中国中、京北—— 著 彭永臻 刘亚男 何圣兵 薛 罡

工业出版社

(ISBN 978-7-112-09892-7)

978-7-112-09892-7

ISBN 978-7-112-09892-7

978-7-112-09892-7

978-7-112-09892-7

978-7-112-09892-7

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

膜法单元水处理技术/薛罡等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

(环境工程专项技术研究与应用系列丛书)

ISBN 978-7-112-09892-7

I. 膜… II. 薛… III. 膜法-污水处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017747 号

环境工程专项技术研究与应用系列丛书

**膜法单元水处理技术**

薛 罡 何圣兵 刘亚男 著

彭永臻 审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 280 千字

2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月第一次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-09892-7

(16596)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

近年来,膜分离技术在水处理领域的推广应用并与其他技术有机组合,已形成了以膜分离单元为主的一种新型的水处理技术——膜法单元水处理技术,成为未来最具生命力的水处理技术之一。本书根据作者近年大量的理论研究及应用,总结介绍了膜法单元水处理技术的原理及应用要点。在给水处理领域中,结合理论研究及工程实践,主要介绍了受污染地下水、管网饮用水、制酒原水等膜法单元深度净水新技术的工艺形式及处理效能,尤其是重点分析了目前制约膜法单元水处理技术进一步发展的膜污染的普遍性问题,并有针对性地介绍了膜污染的机理、特性及控制方法;在污水处理领域中,主要介绍了膜法中水回用、膜生物反应器与臭氧化联用实现污水回用及污泥减量、膜生物反应器同步硝化反硝化、膜生物反应器脱氮除磷及膜污染控制等新型膜法单元污水处理技术。

本书内容直接来源于教育部新世纪人才支持计划、霍英东基金、教育部科学技术研究重点项目、上海市自然科学基金、上海市重点学科建设项目等重要科研成果,理论与实践并重,学术价值与应用价值兼备。可以作为市政工程、环境工程等学科的本科生、研究生学习材料,也可为科研、设计等单位提供有价值的参考。

\* \* \*

责任编辑:石枫华

责任设计:赵明霞

责任校对:关键 孟楠

# 前 言

---

膜分离技术是近代出现的一种高效分离技术，已在化工、制药、电子等许多行业领域得到广泛应用。由于膜分离具有操作简单、分离效率高、分离过程无相变等独特优点，近年来开始应用于水处理技术，膜分离技术与水处理技术不断交叉渗透，已形成了一个新兴的交叉学科领域——膜法单元水处理技术。

膜分离技术目前在给水处理中的主要研究应用领域为饮用水深度净化、优质工业用水制备等，在污水处理中的主要研究应用领域为膜生物反应器、中水回用及污水的三级处理。膜法水处理技术作为 21 世纪最有生命力的净水技术之一，目前我国已经获得了一些重要的科研成果和应用经验，但是依然存在着应用成本高、膜污染难以彻底克服等诸多问题。

本书是作者在近年来膜法单元水处理技术领域研究成果的基础上撰写的，其中涉及到了诸多膜法单元水处理的新技术及应用，并通过这些新技术的研究及应用，对于膜法单元水处理技术有了新的认识：对于给水处理中的膜法单元水处理工艺而言，传统观点认为膜单元是工艺的主体部分，膜之前的预处理仅是保证膜尽可能少受污染。而实际上在工艺设计运行时，许多对膜污染贡献较大的污染物同时又是工艺去除的目标污染物，所以膜的预处理部分也应作为工艺的主体部分来考虑，并应选择高效能的新技术，以尽最大可能去除目标污染物并同时减轻膜污染。此外，膜单元的优化运行也是降低运行费用的一个重要途径。对于污水处理中常用的膜法水处理工艺——膜生物反应器而言，本书在前人研究的基础上增加了污泥减量、同步硝化反硝化、脱氮除磷、膜污染控制等新技术及内容。

综上，本书根据膜法单元水处理技术的工艺特点和处理目标，重点论述了一系列膜法单元水处理新技术的原理及应用研究，同时分析了膜法单元水处理技术中存在的 key 问题及解决措施，以为工程技术及科研人员提供膜法水处理新技术信息与应用指导。

本书由彭永臻教授主审，由刘亚男统稿。本书受到教育部新世纪人才支持计划、霍英东基金、教育部科学技术研究重点项目、上海自然科学基金、上海市重点学科建设项目等重要科研项目的资助。限于我们的时间和水平，书中的不足之处敬请读者批评指正。

第 1 章 绪论 1.1

1.1.1 木材的用途 1.1.1

1.1.2 木材的组成 1.1.2

### 第 2 章 木材的干燥

2.1 木材干燥的目的和意义 2.1

2.1.1 木材干燥的目的 2.1.1

2.1.2 木材干燥的意义 2.1.2

2.2 木材干燥的机理 2.2

2.2.1 木材干燥的机理 2.2.1

2.2.2 木材干燥的机理 2.2.2

2.2.3 木材干燥的机理 2.2.3

2.2.4 木材干燥的机理 2.2.4

2.2.5 木材干燥的机理 2.2.5

2.3 木材干燥的设备和工艺 2.3

2.3.1 木材干燥的设备和工艺 2.3.1

2.3.2 木材干燥的设备和工艺 2.3.2

2.3.3 木材干燥的设备和工艺 2.3.3

2.3.4 木材干燥的设备和工艺 2.3.4

2.3.5 木材干燥的设备和工艺 2.3.5

2.4 木材干燥的缺陷及防止措施 2.4

2.4.1 木材干燥的缺陷及防止措施 2.4.1

2.4.2 木材干燥的缺陷及防止措施 2.4.2

2.4.3 木材干燥的缺陷及防止措施 2.4.3

2.4.4 木材干燥的缺陷及防止措施 2.4.4

2.4.5 木材干燥的缺陷及防止措施 2.4.5

2.5 木材干燥的检验 2.5

2.5.1 木材干燥的检验 2.5.1

2.5.2 木材干燥的检验 2.5.2

2.5.3 木材干燥的检验 2.5.3

2.5.4 木材干燥的检验 2.5.4

2.5.5 木材干燥的检验 2.5.5

2.6 木材干燥的节能 2.6

2.6.1 木材干燥的节能 2.6.1

2.6.2 木材干燥的节能 2.6.2

2.6.3 木材干燥的节能 2.6.3

2.6.4 木材干燥的节能 2.6.4

2.6.5 木材干燥的节能 2.6.5

2.7 木材干燥的环保 2.7

2.7.1 木材干燥的环保 2.7.1

2.7.2 木材干燥的环保 2.7.2

2.7.3 木材干燥的环保 2.7.3

2.7.4 木材干燥的环保 2.7.4

2.7.5 木材干燥的环保 2.7.5

2.8 木材干燥的展望 2.8

2.8.1 木材干燥的展望 2.8.1

2.8.2 木材干燥的展望 2.8.2

2.8.3 木材干燥的展望 2.8.3

2.8.4 木材干燥的展望 2.8.4

2.8.5 木材干燥的展望 2.8.5

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 广义的膜分离技术 .....	1
1.2 膜法单元水处理技术及存在的问题 .....	2

## 给水处理篇

第 2 章 受污染地下水纳滤膜净化技术 .....	6
2.1 引言 .....	6
2.1.1 国内外纳滤技术的发展概况 .....	6
2.1.2 纳滤膜分离原理 .....	6
2.2 纳滤膜净化受污染地下水技术的提出 .....	9
2.3 受污染浅层地下水纳滤膜净化工艺系统设计与处理效果 .....	11
2.3.1 工艺系统设计 .....	11
2.3.2 对浊度的去除效果 .....	12
2.3.3 对有机物的去除效果 .....	13
2.3.4 对无机离子的去除效果 .....	20
2.3.5 对细菌的去除效果 .....	22
2.4 受污染深层地下水纳滤膜净化工艺系统设计与处理效果 .....	24
2.4.1 石英砂—纳滤膜工艺系统设计与处理效果 .....	24
2.4.2 锰砂—纳滤膜工艺系统设计与处理效果 .....	28
2.5 不同的预处理与纳滤膜组合工艺对地下水水质的适应性 .....	32
2.6 纳滤膜运行工况分析 .....	34
2.6.1 操作压力对纳滤膜的影响 .....	34
2.6.2 操作时间对纳滤膜的影响 .....	38
2.6.3 进水温度对膜分离性能及膜通量的影响 .....	39
2.7 纳滤膜污染的形成及控制 .....	41
2.7.1 膜污染形成的原因 .....	41
2.7.2 纳滤膜净化受污染地下水的膜污染分析 .....	43
2.7.3 纳滤膜污染控制 .....	46
第 3 章 臭氧—活性炭—纳滤膜深度净化饮用水技术 .....	51

3.1	引言	51
3.2	工艺系统设计	53
3.2.1	纳滤预处理工艺确定	53
3.2.2	工艺系统设计	54
3.3	臭氧—活性炭预处理单元	58
3.3.1	运行参数	58
3.3.2	综合预处理效果	63
3.4	终端纳滤膜的净化效果	63
3.4.1	纳滤对有机物总量及微量氯仿的去除性能	63
3.4.2	有机卤代化合物的去除性能	65
3.4.3	纳滤脱盐性能	66
3.5	纳滤膜设计运行参数	67
3.5.1	膜通量	67
3.5.2	回收率	69
3.6	工程应用中纳滤膜污染及劣化的形成及控制	70
3.6.1	膜污染和劣化对膜性能的影响及一般控制措施	70
3.6.2	臭氧—活性炭—纳滤膜组合工艺中膜污染的控制	73
3.6.3	臭氧—活性炭—纳滤膜组合工艺中膜劣化的控制	77
<b>第4章</b>	<b>超滤膜深度净水技术</b>	<b>81</b>
4.1	引言	81
4.1.1	生产车间原有砂滤工艺运行情况	81
4.1.2	原水水质	81
4.2	超滤膜工艺系统设计	82
4.2.1	工艺系统及装置	82
4.2.2	装置操作方法	84
4.3	工艺系统及装置性能	85
4.3.1	膜通量的确定	85
4.3.2	装置净化性能	86
4.4	膜装置运行中的问题	88
4.4.1	膜阻塞问题	88
4.4.2	膜的寿命	88
<b>第5章</b>	<b>活性炭—反渗透膜组合深度净水系统优化运行技术</b>	<b>89</b>
5.1	引言	89
5.2	优化运行费用模型的理论分析	89
5.2.1	运行费用构成	89



5.2.2	运行费用模型	90
5.2.3	运行费用模型的约束条件	91
5.3	反渗透膜处理工艺运行费用模型建立	91
5.3.1	工艺系统设计	91
5.3.2	膜组件运行电费分析	93
5.4	活性炭预处理工艺运行费用模型	100
5.4.1	研究方法	100
5.4.2	活性炭滤柱反冲洗水费模型	100
5.5	活性炭—反渗透膜深度净水系统优化运行模型	103
5.6	应用要点	108

## 污水处理篇

<b>第6章</b>	<b>膜法中水回用技术</b>	<b>112</b>
6.1	引言	112
6.2	洗浴废水超滤膜处理回用技术	113
6.2.1	超滤膜工作原理及性能	113
6.2.2	工艺系统设计	115
6.2.3	微絮凝纤维过滤工艺运行参数及处理效能	116
6.3	膜生物反应器处理回用生活污水	119
6.3.1	膜生物反应器 (MBR) 的工艺原理	119
6.3.2	工艺系统设计	123
6.3.3	工艺系统的处理效能	127
6.3.4	工艺出水与几种回用水标准的比较	140
<b>第7章</b>	<b>厌氧—MBR 组合的生物除磷技术</b>	<b>142</b>
7.1	引言	142
7.1.1	污水生物除磷工艺的发展与基本流程	143
7.1.2	MBR—厌氧池组合生物除磷技术	145
7.2	MBR—厌氧池组合生物除磷的影响因素	146
7.2.1	运行条件	146
7.2.2	有机负荷率对厌氧释磷和好氧吸磷的影响	146
7.2.3	溶解氧对好氧吸磷的影响	151
7.2.4	硝态氮对厌氧释磷的影响	151
7.3	工艺系统设计	153
7.4	工艺对污染物的去除效能	154

7.4.1 对 COD 的去除	154
7.4.2 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除	155
7.4.3 对 TN 的去除	156
7.4.4 对 TP 的去除	157
<b>第 8 章 MBR 同步硝化反硝化技术</b>	<b>158</b>
8.1 引言	158
8.2 MBR 同步硝化—反硝化脱氮技术	161
8.2.1 工艺系统设计	161
8.2.2 同步硝化—反硝化的影响因素	162
8.2.3 MBR 同步硝化—反硝化效果	169
8.3 MBR 同步硝化—反硝化动力学模型推导	174
<b>第 9 章 MBR 中膜污染的机理与控制</b>	<b>178</b>
9.1 MBR 中膜污染的基本理论	178
9.2 MBR 中膜通量的变化	179
9.3 MBR 中超滤膜的化学清洗	181
9.4 MBR 中超滤膜过滤阻力分析	182
9.5 MBR 中膜污染的机理分析	186
9.5.1 微生物及活性污泥的污染	186
9.5.2 有机物污染	186
9.5.3 无机物污染	186
9.5.4 超滤膜的浓差极化	186
9.6 缓解膜污染的措施	187
<b>第 10 章 MBR 的臭氧化污泥减量技术</b>	<b>189</b>
10.1 引言	189
10.1.1 污泥减量技术概况	189
10.1.2 基于隐性生长的污泥减量理论与技术	190
10.1.3 基于解偶联生长的污泥减量理论与技术	191
10.1.4 臭氧化污泥减量理论与技术	191
10.2 MBR 中污泥产量的影响因素	192
10.2.1 运行条件	193
10.2.2 DO 对污泥产率的影响	193
10.2.3 污泥负荷对污泥产率的影响	194
10.2.4 DO 与 F/M 对污泥产率影响的理论分析	195
10.3 MBR 臭氧化污泥减量技术	197
10.3.1 污泥臭氧化工艺特征	198

10.3.2 MBR 臭氧化污泥减量工艺系统设计 ..... 199

10.3.3 臭氧化对污泥液中 SCOD 的影响 ..... 199

10.3.4 臭氧化对污泥性状的影响 ..... 200

10.3.5 臭氧投加量的确定 ..... 204

10.3.6 臭氧化污泥量的确定 ..... 204

10.3.7 污泥臭氧化工艺与其他工艺的污泥产率比较 ..... 208

10.3.8 污泥臭氧化工艺的运行费用分析 ..... 208

**参考文献** ..... 210

## 1.1 广义的膜分离技术

膜广泛地存在于自然界中，特别是生物体内，然而人类对其的认识和研究却较晚。膜的广义定义为：两相之间的一个具有透过选择性的屏障。1784 年，法国学者 Abbe Nollet 首次揭示了膜分离现象，发现并证实了渗透过程，创造了“osmosis”这个词。然而真正对膜分离技术的应用研究却是在 20 世纪 30 年代之后才开始的。膜分离技术的大规模商业应用开始于 20 世纪 60 年代的海水淡化工程。目前除大规模用于海水、苦咸水的淡化及纯水、超纯水生产外，还用于食品工业、医药工业、生物工程、石油、化学工业、环保工程等领域。世界膜系列产品的年销售额已超过 100 亿美元，且年增长率达 14%~30%。

目前已有商业应用的膜技术主要是微滤、超滤、反渗透、电渗析、渗析、气体膜分离和渗透汽化。前四种液体分离膜技术在膜和应用技术上都相对比较成熟，成为第一代膜技术，20 世纪 70 年代末走上工业应用的气体分离膜技术为第二代膜技术，80 年代开始工业应用的渗透汽化为第三代膜技术。其他一些膜过程，大多处于实验室研究阶段和中试开发中。

据美国商业通讯公司（BBC）报道，1997 年美国膜市场销售总额为 11 亿美元，约计 2001 年将达到 16 亿美元，年平均增长 8%，欧洲的市场分析报道，1997 年欧洲液体膜分离系统市场的总收入价值为 9.7 亿美元，2004 年达到 16.5 亿美元，年增长率也达到 7.9%。有评论认为“对膜分离来说，从技术发展阶段来看，现在是诱导期，21 世纪将进入成长期”，这就是说，膜分离技术的发展高潮将在本世纪出现，膜产业将是 21 世纪新型十大高科技产业之一，它与光纤、超导等技术一样将成为主导未来工业的六大新技术之一。

我国膜技术的发展是从 1958 年离子交换膜的研究开始的，20 世纪 60 年代是其开创阶段，1965 年开始了对反渗透膜的探索，1967 年开始

的全国海水淡化会战为醋酸纤维素 (CA) 不对称反渗透膜的开发打下了良好基础, 因此我国对反渗透膜的开发与国外起步时间相差不多。但由于原材料和基础工业条件的限制, 生产的膜组件性能偏低, 生产成本高, 还没有形成规模化生产。相比而言, 我国的超滤、微滤膜研制虽晚于反渗透——始于 70 年代——但目前已发展到数百个生产厂。虽然有品种少、质量、性能不够完善等问题, 但因价格低廉, 不仅有效地阻挡了国外同类产品的大量流入, 而且也扩大了应用范围。

## 1.2 膜法单元水处理技术及存在的问题

膜分离是随着材料学科的发展而新兴的一种高效分离技术。近年来, 膜材料科学与水处理技术不断交叉渗透, 诞生了一个新兴的交叉研究领域——膜法单元水处理技术, 并逐步应用于给水与废水净化领域中, 并显示了常规技术难以达到的良好效果及广阔的应用前景。

目前, 膜分离技术在水处理中应用最为广泛的是给水处理中的饮用水深度净化和污水处理中的膜生物反应器 (MBR)。在饮用水深度净化中的一般应用形式为预处理、膜过滤相组合, 预处理主要作用为去除原水中易于通过絮凝、氧化、吸附等过程去除的污染物质, 剩余的难以通过常规技术去除的污染物质, 则通过合适的终端膜工艺得以截留, 实践表明对水中小分子有机物的分离而言, 膜技术有着其他技术难以比拟的效果, 采用膜法深度净水技术可以去除常规混凝、沉淀、过滤工艺难以去除的小分子有机物以及消毒副产物 (DBPs), 可获得常规工艺难以达到的清洁水质, 是常规工艺的重要补充。例如我国在深圳梅林一村居住小区已建成的以膜分离技术为核心的居住小区管道直饮水工程, 工艺流程见图 1-1:

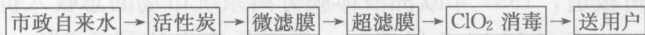


图 1-1 深圳梅林一村居住区管道直饮水工程

膜生物反应器是污水的生化处理和膜有机结合的技术。通过膜技术的应用, 达到取消二沉池、增加反应器污泥浓度、延长污泥龄和提高处理效率等目的。目前国内外开展了大量的膜生物反应器研究及工程实践。例如, 通过向曝气池中投加多孔悬浮载体供微生物附着生长, 提高反应器中生物浓度, 改善污泥的沉降性能, 强化曝气池的硝化能力, 从

而大大提高现有污水处理厂的处理能力和运行稳定性；将膜生物反应器应用于生活污水处理，出水中几乎无悬浮物和浊度，对有机物和含氮化合物的去除效率也很高；利用 MBR 还可实现同步硝化反硝化，并与厌氧组合进一步实现生物除磷。

尽管膜分离技术在水处理技术中已确立了常规技术难以比拟的优势地位，并在一定程度上得到推广应用，但多年的研究及应用经验表明，膜法单元水处理技术依然存在一些尚未解决的技术关键，而这些问题依然是制约膜法单元水处理技术进一步发展的重大科学问题，总体而言有如下 3 方面：

(1) 由于膜的低成本工业化制造技术尚未完全成熟，膜的成本依然偏高；在实际应用中膜的使用寿命到后期膜更换费用巨大。新型膜材料的发展是“膜法水处理技术”发展的物质基础，只有高强抗污染、超低压、低成本等新型膜材料的不断更新，才能从根本上克服当前膜法单元水处理技术投资及运行费用普遍较高的缺点，使该技术更具有实用性。

(2) 膜法单元水处理过程中的膜污染一直是困扰工程界的问题，膜污染现象已成为工程应用中最为普遍且难克服的问题，也是技术工作者在应用中最为担忧的问题。膜污染不仅使运行过程中膜通量快速降低或压力增大，从而使能耗大幅度增加，更为重要的是膜的寿命大大降低，大幅度增加了工程应用中膜的更换频率及膜更换费用，对于大中型工程膜更换费用更是巨大。膜污染已经成为膜法水处理技术推广应用的最大阻碍，是当前国内外学术界广泛关注的焦点问题。

(3) 尽管膜法单元水处理技术确实解决了一些地区的水质污染问题，但在工程运行中也同时存在一些无法回避的共性问题，这些问题归根结底都是工艺的优化运行问题。膜法净水工艺的确定缺乏科学的理论依据，目前在工程应用中比选、确定膜法净水工艺的主要方法是根据工艺对宏观水质指标的处理效果，而实际上膜工艺在保证出水水质的前提下，更重要的是减少膜污染，延长膜寿命。膜污染的主要致因是一些特定的无机物以及与膜材料极性相近的有机物，虽然依据常规宏观水质指标的处理效果确定的工艺出水水质能够达标，如果不充分考虑膜污染的微观分子特征，依然可能致使膜污染过程加快或膜通量不能充分发挥。最佳运行条件的界定也缺乏科学的理论依据，虽然净化效果已不成问题，但是国内膜法水处理技术大多只是根据膜产品出厂数据和经验来确定实际运行中的膜通量、操作压力等设计运行参数，并导致自动控制

水平也只能仅仅停留在水质监测的水平上，降低了膜工艺运行的经济性和可靠性。

上述问题的解决，在根本上受限于膜材料科学的发展，而膜材料科学的发展是一个相对漫长、复杂的过程，在水质净化工程应用中不能等到膜制造技术发展相当完善的程度、膜成本降低到一定程度才去“用膜”，比较有现实意义的方法是在开发出新型膜材料的同时，即将其应用于实际工程，在实践中克服存在的问题。因此，在当前膜材料科学发展水平的基础上，如何将膜技术更经济、有效地用于给水深度净化及污水处理工程，具体而言，即在工程应用中如何实现膜法单元水处理技术设计运行的最优化及膜污染控制则成为更具有现实意义的努力方向。

2.1 引言

给水处理篇

2.1.1 国内外的给水处理技术概况

20世纪80年代中期相继开发出NF-40、NF-50、NF-70等型号的纳滤膜。由于市场需求，各国纷纷立项，许多公司如美国的Osmonics公司、Fluid Systems公司、日本电产、美国公司等相继投入开发。纳滤膜的领域中，纳滤膜材料有磺酸型半透膜、芳香族聚酰胺、氟化聚砜膜等，膜品种不断增加，并且已经系列化，纳滤膜的分离性能也不断提高，对NaCl的脱除率可从2%~10%一直提高到85%。

我国从20世纪90年代初期开始了纳滤膜的研究。近十几年来我国在纳滤膜的研究、纳滤膜分离特性和纳滤膜在水处理中的应用等方面做了大量的工作，取得了较显著的成绩，并在纳滤膜处理苦咸水淡化、制药工业等领域已实际应用，为我国国民经济的发展作出了较大的贡献。

与国外纳滤膜技术相比，我国纳滤膜技术尚有很大的差距。首先在高性能商品化纳滤膜和性能大型（如8英寸）纳滤膜组器，其次在纳滤膜技术使用还停留在小型试验和工业性试验阶段。

2.1.2 纳滤膜分离原理

2.1.2.1 纳滤膜的定又及特征

纳滤膜又叫超低压反渗透膜，通常，纳滤膜的定又包括两个方面：

- (1) 介于反渗透和超滤膜之间；
- (2) 孔径在1μm以上，一般为1~3μm；
- (3) 适宜通过分子量为200~1000Da；
- (4) 膜表面一般带有电荷；



## 第 2 章 受污染地下水纳滤膜净化技术

### 2.1 引言

#### 2.1.1 国内外纳滤技术的发展概况

纳滤(NF)膜的研究始于 20 世纪 70 年代,美国 Filmtec 公司在 20 世纪 80 年代中期相继开发出 NF-40、NF-50、NF-70 等型号的纳滤膜。由于市场广阔,各国纷纷立项,许多公司如美国的 Osmonics 公司、Fluid Systems 公司、日本电工、东丽公司等组织力量投入到开发纳滤技术的领域中。纳滤膜材料有醋酸纤维素、芳香聚酰胺、磺化聚醚砜等,膜品种不断增加,并且已经系列化;纳滤膜的分离性能也不断提高,对 NaCl 的脱除率可从 5%~10%一直到 85%。

我国从 20 世纪 90 年代初期开始了纳滤膜的研究。近十几年来我国在纳滤膜的研制、纳滤膜分离特性和纳滤膜技术的应用研究等方面做了大量的工作,取得了较显著的进展,并在海岛高硬度苦咸水淡化和制药工业等领域已实际应用,为促进国民经济发展作出了较大的贡献。

与国外纳滤膜技术相比,我国纳滤膜技术尚有较大的差距。首先还没有高性能商品化纳滤膜和高性能大型(如 8 英寸)纳滤膜组器,其次纳滤膜技术应用还停留在小型试验和工业性试验阶段。

#### 2.1.2 纳滤膜分离原理

##### 2.1.2.1 纳滤的定义及特征

纳滤膜又叫超低压反渗透膜,通常,纳滤膜的定义包括 5 个方面:

- (1) 介于反渗透和超滤之间;
- (2) 孔径在 1nm 以上,一般为 1~2nm;
- (3) 适宜通过分子量为 200~1000Dalton;
- (4) 膜表面一般带负电荷;