

文章编号:1673-9469(2009)02-0098-05

## 超滤过程中膜污染控制和膜清洗的研究进展

王爱兵<sup>1,2</sup>, 李 雅<sup>1</sup>, 李淑贤<sup>1</sup>, 马子川<sup>2</sup>, 刘树明<sup>1</sup>, 王学才<sup>3</sup>

(1.河北邯郸学院 化学系, 邯郸 056005; 2.河北师范大学 化学与材料科学院, 石家庄 050016; 3.河北邯郸市第二制药厂, 邯郸 056004)

**摘要:**超滤技术应用过程中出现膜污染,致使膜通量降低。通过对污染物的成分、膜污染的形成过程,膜材料、原料液、操作条件对膜污染的影响分析,论述了通过原料液预处理、膜材料和膜组件改进、操作条件控制和操作过程控制减轻膜污染,利用物理清洗和化学清洗尽可能恢复膜通量。

**关键词:**超滤;膜污染;污染控制;膜清洗

**中图分类号:** TQ028.8

**文献标识码:** A

### The progress in search on controlling and cleaning of membrane pollution in ultrafiltration separation

WANG Ai-bing<sup>1,2</sup>, LI Ya<sup>1</sup>, LI Shu-xian<sup>1</sup>, MA Zi-chuan<sup>2</sup>, LIU Shu-ming<sup>1</sup>, WANG Xue-cai<sup>3</sup>

(1. Department of Chemistry, Handan College, Handan 056005, China; 2. College of Chemistry and Material Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016 China; 3. The Second Pharmaceutical Factory of Handan, Handan 056004, China)

**Abstract:** The membrane is polluted in ultrafiltration separation, and the flux of membrane is reduced. In this paper, the pollutants' composition and process of pollution were summarized. Membrane materials, raw materials and operating conditions influence membrane pollution was analyzed. Raw materials is pre-treated, membrane materials and module are improved, operating conditions and process are controlled to lighten membrane pollution. The polluted membrane flux is recovered through physical and chemical cleaning.

**Key words:** ultrafiltration separation; membrane pollution; controlling of pollution; cleaning of membrane

超滤是以超滤膜为分离介质,在压强差作用下,原料液中不同分子量的组分有选择地透过超滤膜,对目的产物起分离、提纯和浓缩作用,具有在常温下进行、无相变化、能耗低、设备简单、操作方便、无污染等优点。目前,该技术已经广泛应用于医药、食品、化工及废水处理等领域<sup>[1-3]</sup>;随着生物技术、基因工程的快速发展,它将在生物活性物质的提取领域发挥重要作用<sup>[4-6]</sup>。

应用超滤技术时,被处理原料液中的微粒、胶体离子和溶质分子等与超滤膜存在物理化学作用和机械作用,吸附或沉积在膜表面或膜孔内,使膜孔径变小或堵塞,形成膜污染<sup>[7]</sup>。超滤过程中的膜污染导致通量下降,膜的分离特性发生变化,超滤结束后通量也不能完全恢复,缩短了膜的使用寿命<sup>[8-9]</sup>。廉价寿

命长、抗污染超滤膜研究成为膜分离体系中的优选课题,当前需要加强对膜污染有关基础理论和工程方面的研究,超滤膜污染控制、膜清洗的研究成为扩大该技术应用范围的关键。

## 1 膜污染

### 1.1 污染物成份

膜污染是由原料液中的无机物、悬浮物、有机物和微生物造成的。超滤处理炼钢废水时悬浮物主要是小颗粒的铁屑,无机物主要是碳酸钙和钙、钡、锶等硫酸盐及硅酸盐等结垢物质<sup>[10]</sup>;超滤柑桔汁的有机物主要包括脂肪酸、纤维素、低分子的糖类(蔗糖、果糖、葡萄糖等)、蛋白质、多肽及一些色

收稿日期:2008-12-12

基金项目:国家自然科学基金(20477009)邯郸市科学技术研究与发展指令计划(07Z316058)资助项目

作者简介:王爱兵(1970-),男,河北滦南人,硕士,讲师,从事化学与分离工程教学及研究。

素<sup>[11]</sup>。超滤提取发酵乳中 ACE 抑制肽的微生物主要是杆菌、孢子、短杆菌、球菌、真丝菌等<sup>[12]</sup>。悬浮物可以堆积在膜表面形成滤饼层,有机物易粘附在膜表面形成凝胶层,溶解性的无机盐能生成的水垢,一部分溶质或微生物吸附在膜表面上形成的吸附层,另外一些小颗粒的溶质、微生物、蛋白质、无机盐等结晶沉淀或堵塞部分膜孔<sup>[13-14]</sup>。

### 1.2 膜污染形成过程

超滤过程前期,膜表面流体中溶质(截留物质)浓度不断增加,逐渐高于主体流体的浓度,产生浓差极化现象,致使浓度边界层的过滤阻力增加,膜通量下降<sup>[15]</sup>。随着生产时间的延长,膜面和膜孔吸附物溶质的量增大,浓差极化效应在超滤生产过程中不断减小,膜污染加重。综合起来,膜污染形成过程可以分为三个阶段<sup>[16]</sup>:第一阶段在超滤过程的前几分钟,小分子溶液不断透过膜,大分子溶质截留在膜表面,膜面的溶质浓度高于主体的浓度,形成浓度边界层,膜和溶液的界面上溶质浓度达到吸附的拟稳定状态;第二阶段在几到几十分钟之间,溶质在膜表面和膜孔中不断吸附,膜通量迅速下降,该阶段对膜通量起控制作用,第三阶段为几十分钟后,随着溶质在膜表面的继续富集形成凝胶,膜通量继续下降,但是下降速度比第二阶段要小。

### 1.3 超滤膜的影响

原料液中溶质与膜吸附的难易程度受到膜、溶质、溶剂之间相互作用的影响,如范德华力、双电层作用等。膜材料的物理化学性能对膜污染的影响较大,亲水性的膜表面容易与水形成氢键,水分子在膜表面有序排列,疏水性物质需要较高的能量才能破坏这种有序结构接近膜表面进行污染,所以亲水性膜表面不容易被疏水的有机物污染;反之疏水性膜容易被污染<sup>[8,9]</sup>。

超滤膜孔径分布和截留分子量也影响膜污染程度。超滤通量对膜的大孔数目敏感,大孔数目虽然占总膜孔数目的很小一部分,但其透过通量却占总通量的 50% 以上,通量的降低主要是由于大孔堵塞导致的。膜的截留分子量越大,初始通量就越大。随着超滤的进行,截留分子量越大,超滤通量衰减幅度越大,膜面污染物积累速度就越快,通量衰减趋势越明显。所以在超滤过程中膜孔径与溶质分子直径存在最佳的匹配关系<sup>[17]</sup>。

### 1.4 原料液的影响

原料液浓度增加使膜吸附溶质量增加,原料液的粘度、密度也随之增加,从而降低了溶液的扩散系数,因此膜通量相应降低。另外,pH 值影响了原料液中蛋白质的溶解度和带电性<sup>[18]</sup>,蛋白质在等电点处的溶解度最小,容易沉积吸附在膜表面,加重膜污染。

### 1.5 操作条件的影响

超滤过程的操作条件包括操作压差(压强差)、原料液在膜表面的流速和超滤时间等。操作压差是影响膜污染的一个重要因素,随着操作压差的不断升高,通量并不能线性增加。压差到一定的数值后,浓差极化成为超滤过程的主要阻力<sup>[19]</sup>,当膜表面溶质浓度达到饱和浓度,形成凝胶层,此时,凝胶层对通量起决定作用,通量几乎不依赖与压差,膜通量并不发生变化。若再增大压差,污染层就被挤压致密,阻力增加,膜通量反而下降。当压差增高时,浓差极化现象不断加剧<sup>[20-21]</sup>,膜表面的大分子等形成的沉积层变得致密,沉积层超过临界值后,随着沉积层阻力不断增加,透过速率不再随压差的增加而增加。原料液在膜表面的流速是影响膜污染的另一个因素<sup>[22]</sup>,流体的流速高,在膜表面产生的剪切力大,促使垢层物质分子充分扩散,部分沉积在膜表面的物质也可被流体带走,膜污染层变薄,小分子组分透过膜的阻力降低,膜通量增大,所以增加流速能减轻膜污染。随着过滤时间的延长,膜上积累的杂质越来越多,膜通量逐渐降低,但是达到一定的时间后,膜通量趋于稳定,属于低通量的范围<sup>[23]</sup>,所以过滤一定的时间后,应及时进行膜清洗。

## 2 膜污染控制

采用适当的措施可以控制膜污染,减缓通量的衰减。这些措施包括原料液预处理、膜材料和膜组件改进、操作条件控制和操作过程控制等。

### 2.1 原料液的预处理

原料的预处理的目的是去掉溶液中容易被膜吸附的成分<sup>[24]</sup>。根据进料所含污染物类型来设计原料的预处理,通常用孔径  $5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$  过滤器除去其中的悬浮物、菌丝等大颗粒物质,必要时可以

加入絮凝剂。调节原料液的 pH 值或离子强度,以改变溶液的电性特征,从而减弱离子与膜的作用,使蛋白质等污染物远离等电点,减轻蛋白质对超滤膜的污染。

## 2.2 膜材料和膜组件的改进

在膜表面增加保护层、亲水基团来改善膜材料和膜表面结构,降低膜与离子的作用力,可以减轻膜污染。改善流体在膜面的流动条件,提高膜面的剪切速度,增加流动的不稳定性,可以减少膜污染的形成。

改进膜组件也可以控制膜污染<sup>[25]</sup>。每隔一定的距离在平板膜面上放置一些突起物或波纹状物体,当流体流过时可以在传质边界层中产生周期性不稳定流动,破坏浓差极化层或提高涡流强度和尺寸。膜组件是同心圆柱时,采用 Taylor 漩涡法,分离过程中内圆柱旋转而外圆柱静止,料液沿圆柱的对称轴方向流动提高了膜面处的剪切力,减轻膜污染。中空纤维膜螺旋缠绕在多孔管上,流体在纤维内流动时产生 Dean 漩涡,传质系数可提高 1 倍。中空纤维膜组件中的原料液在低压强差高流速下操作,膜通量衰减速率小,膜污染程度低<sup>[26]</sup>。

## 2.3 操作条件控制

操作条件主要包括原料液的温度、流速、操作压差等。温度对膜污染的影响比较复杂,温度上升,原料液的粘度下降,扩散系数增加,减轻了膜污染的影响,但是在选择超滤的温度时,要考虑原料液中有用组分对温度的敏感程度和膜材料的耐温性质。适当地提高原料液流速<sup>[27]</sup>,增加湍流程度可以抑制膜污染,减少溶质在膜面的浓度,减轻凝胶层的影响,有利于防止膜过滤器中的细菌生长,防止膜的生物污染。流速过大不但增加了动力消耗外,还可能对生物活性造成破坏。超滤过程的驱动力是压差,通量一般由膜两侧的压差来调节,在一定程度上提高压差可以增大膜通量,但是也加快了膜污染和膜被压密,使膜通量衰减加快。为了有效的控制膜污染,在超滤分离过程中一般采用低压操作、恒通量操作、亚临界通量操作等方式。

## 2.4 操作过程控制

为了减轻膜污染在膜组件的控制系統上采取

措施<sup>[28]</sup>,如采用脉动流操作、鼓泡操作、松弛法操作或定期改变料液的流向。改进膜分离系统也能控制膜污染,采用振动的膜组件、外压式中空纤维膜组件等,也可以采用膜反向放置、膜反应器外加电场或磁场等措施,如采用无机超滤膜的错流操作浓缩提纯蛋白质时能较好的控制膜污染<sup>[29]</sup>。

## 3 超滤膜清洗

膜清洗目的是采用合理的清洗方法对被污染的膜进行清洗和再生,破坏膜表面的溶质吸附层,清除膜孔道内的杂质,使膜尽可能恢复到原始通量。膜清洗可以分为物理清洗和化学清洗。

### 3.1 物理清洗

物理清洗包括水力清洗、气体脉冲清洗、超声波清洗等。一般是用水力清洗,控制洗液和膜之间的流速和压差。流速越大,剪切力就越大,清除膜表面杂质的效果好。压差小,污染物对膜的压缩力减小,有利于去掉膜表面污染,但是对于去除膜内的杂质不利。去除红霉素发酵液乳化现象的超滤膜经去离子水冲洗后,可使膜通量恢复到初始通量的 90%<sup>[30]</sup>。水力清洗通常采用低压高速清洗、等压清洗、反冲洗、反压冲洗、负压清洗等<sup>[31]</sup>。负压抽洗的清洗效果较好,因为负压抽洗是通过一定的真空抽吸,在膜的功能面一侧形成负压,膜表面的液体流速较高,透过液又可由抽吸作用返回膜功能面,故能较好地去除膜表面和堵孔的污染物。正压冲洗是靠剪切力去除污染物,只对膜表面的污染层起作用,不能除去膜孔内的污染。反压冲洗对堵孔物质的去除效果好,由于膜表面液体流速低,膜表面污染物去除效果不好。利用超声波清洗也能促进污染物脱离膜表面。

### 3.2 化学清洗

物理方法清洗效果不佳时,可以采用化学清洗的方法。化学清洗剂的选择应该达到的目的是松动、溶解污垢,使其分散在水中,具有对膜及系统有消毒作用,化学稳定、无毒、安全、对环境影响小,残留在系统中不影响物料的特点。化学清洗必须考虑清洗时间、温度和药品种类,常用的清洗剂有酸、碱、表面活性剂、氧化剂和杀菌剂等。例如,被无机物污染的超滤膜可以用添加阻垢剂的酸性溶液清洗<sup>[32]</sup>。清洗膜生物反应器时,为了阻

止微生物的生长,可以添加杀菌剂<sup>[33]</sup>。清洗超滤退浆废水的有机膜时,先用 pH 值为 13 的 NaOH 溶液清洗,再用 0.2mol/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 溶液清洗,通量恢复率达到 97%<sup>[34]</sup>。清洗处理养猪场废水的超滤膜时,用 1% 的表面活性剂浸泡 30min - 60min 4 ~ 5 次,海绵球擦拭膜表面 2 次,用水冲洗,最后膜可保存在含有 0.1% 的 NaNO<sub>3</sub> 的氢氧化钠(pH = 10 - 10.5)溶液中备用<sup>[35]</sup>。

#### 4 结语

膜污染是超滤技术应用过程中存在的普遍问题,导致膜通量降低,生产效率下降。采用合适材料及截留分子量的超滤膜能够降低污染的程度;选择合理的操作条件可以优化超滤生产过程;及时、合理的清洗可以尽可能恢复膜通量。但是彻底减少超滤过程的设备费、操作费、增加膜的寿命仍需要加快对抗污染膜材料的研制和开发。

#### 参考文献:

- [1] 方忠海,薛家慧.超滤膜分离技术在炼油废水深度处理中的应用[J].工业水处理,2003,23(7):76 - 78.
- [2] MULDER M. Basic principles of membrane technology[M]. Twente:Twente University Center for Membrane Science and Technology, 1997.
- [3] 祁佩时,吕斯濂.超滤法处理大豆蛋白废水及资源回收的研究[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(8):1138 - 1141.
- [4] KIM K J, FANE A G. Performance evaluation of surface hydrophilized novel ultrafiltration membranes using aqueous proteins [J]. Journal of Membrane Science,1995,99(2):149 - 162.
- [5] 蒋菁莉,任发政,蔡华伟.牛乳中蛋白降血压肽的超滤分离[J].食品科学,2006,27(7):124 - 128.
- [6] 谢添阳.膜分离技术在味精发酵液中的应用研究[J].龙岩师专学报,2004,(6):77 - 78.
- [7] TRAN T, BOLTO B, GRAY S, *et al.* An autopsy study of a fouled reverse osmosis membrane element used in a brackish water treatment plant [J]. Water Research, 2007,41(17):3915 - 3923.
- [8] 刘茉娥.膜分离技术[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [9] 王湛.膜分离技术基础[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [10] YEH H M. Membrane ultrafiltration in a tubular module with a steel rod inserted concentrically for improved performance [J]. Journal of Membrane Science,2000,168(13):121 - 133.
- [11] 刘玉达,刘清斌.超滤柑桔汁的膜污染与膜清洗[J].中国南方果树,2001,30(6):3 - 5.
- [12] 林璐,潘道东.发酵乳中 ACE 抑制肽的超滤工艺研究[J].食品科学,2007,28(12):172 - 175.
- [13] BOURGEOUS K N, DARBY J L, TCHOBANOGLOUS G. Ultrafiltration of wastewater: effects of particles, mode of operation, and backwash effectiveness [J]. Water Research,2001,35(1):77 - 79.
- [14] JARUSUTTHIRAK C, AMY G. Membrane filtration of wastewater effluents for reuse: effluent organic matter rejection and fouling[J]. Water Science and Technology, 2001,43(10):225 - 232.
- [15] 杜邵龙,周春山,雷细良.超滤膜法浓缩薏苡仁多糖提取液[J].膜科学与技术,2007,27(5):78 - 81.
- [16] 李书国.超滤膜的污染原因及清洗技术[J].食品科技,2001,3:15 - 17.
- [17] 邱玉美,邓毛程,吴海峰.不同截留分子量超滤膜对谷氨酸发酵液过滤性能的比较[J].广东轻工职业技术学院学报,2007,6(4):18 - 20.
- [18] 刘昌盛,邹行彦,潘德维,等.膜的污染及清洗[J].膜科学与技术,1996,16(2):25 - 30.
- [19] YEH H M, CHENG T W. Modified concentration polarization model for hollow - fiber membrane ultrafiltration[J]. Separation and Purification Technology, 1995,99(9):149 - 162.
- [20] 荣绍丰,常忠义,高红亮,等.微生物发酵谷氨酰胺转胺酶的超滤过程研究[J].食品与发酵工业,2007,33(6):9 - 12.
- [21] REDKAR S, KUBERKAR V, DAVIS R H. Modeling of concentration polarization and depolarization with high - frequency backpulsing [J]. Membrane Science, 1996,121(2):229 - 242.
- [22] 奚灏镔,江学文,雷德柱.超滤和纳滤膜分离提取纳他霉素[J].广东化工,2007,34(8):58 - 60.
- [23] 蒋丽华,华欲飞.超滤技术纯化大豆糖蜜中低聚糖的研究[J].中国油脂,2007,32(6):58 - 61.
- [24] 郑成.膜的污染及防治[J].膜科学与技术,1997,17(2):5 - 13.
- [25] 王志,甄寒菲,王世昌,等.膜过程中防治膜污染强化通量技术进展( I ) 操作策略[J].膜科学与技术,1999,19(1):1 - 5.
- [26] ISMAIL A F, MUSTAFFAR M I, ILLIAS R M, *et al.* Effect of dope extrusion rate on morphology and performance of hollow fibers membrane for ultrafiltration[J]. Separation and Purification Technology,2006,49(1):10 - 19.
- [27] 吕斯濂,迟军,陈福明,等.大豆乳清超滤中膜通量衰减的模拟研究[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2007,23(3):289 - 294.
- [28] 刘彬,蔡诚,张磊,等.超滤膜应用于油田污水深度

处理的试验研究[J].天津工业大学学报,2007,26(4):12-15.

- [29] MASAWAKI P, ARIBAS J I, HERNANDEZ A. Retention of proteins in cross-flow UF through asymmetric inorganic membrane[J]. American Institute of Chemical Engineers, 1994,40(11):1901-1910.
- [30] 冯建立,许振良,王学军.超滤去除红霉素发酵液乳化的现象的研究[J].中国抗生素杂志,2007,32(3):150-153.
- [31] 张晓飞,刘光全,张建华.利用超滤膜技术处理油田含盐采出水研究[J].油气田环境保护,2007,(3):4-7.
- [32] DEMADIS K D, NEOFOTISTOU E, MAVERDAKI E, *et al.*

*al.* Inorganic foulants in membrane systems: chemical control strategies and the contribution of "green chemistry"[J]. Desalination, 2005,179(6):281-295.

- [33] KIM D, JUNG S, SONH J, *et al.* Biocide application for controlling biofouling of SWRO membranes - an overview [J]. Desalination, 2009,238(3):43-52.
- [34] 于奕峰,顾春雷,王广玉,等.有机超滤膜处理退浆废水实验研究[J].膜科学与技术,2008,28(1):72-76.
- [35] FUGER R, MAMERI N, GALLOT J E, *et al.* Treatment of pig farm effluents by ultrafiltration[J]. Journal of Membrane Science, 2005,255(6):225-231.

(责任编辑 刘存英)

(上接第88页)  $\{r_j, h^+\}$  和集对  $\{\bar{r}_j, h^-\}$  的联系度。

步骤6:根据命题1-3,对BBFPAN中变迁  $t_j$  的输入库所集  $t_j$  中因素的作用效果做出判断。

### 3 结语

本文深入研究集对分析理论和双枝模糊集的关系,探求以双枝模糊集为基础的网络攻击模型BBFPAN中多层次的集对关系,首次将集对分析理论应用于攻击模型的分析研究,提出了BBFPAN双枝集对分析模型,为集对分析理论在攻击模型BBFPAN的推理过程中的应用奠定了基础。本研究一方面丰富了攻击模型的分析研究方法,使攻击模型能够更好的描述网络攻击的演变情况;另一方面扩展了集对分析的研究领域。

#### 参考文献:

- [1] 赵克勤.集对分析及其初步应用[M].杭州:浙江科技出版社,2000.
- [2] 郑鹏,张弼云.基于集对分析的图书馆服务质量综合评价[J].情报杂志,2008,(1):145-158.

- [3] 杨习贝,杨静宇.不完备信息系统中的集对分析方法[J].计算机科学,2007,34(4):171-174.
- [4] 邱林,冯晓波.集对分析在湖泊水质富营养化评价中的应用[J].人民长江,2008,39(5):52-54.
- [5] 郑东良,黄文卿,孙亮.基于集对分析的预警机指挥多机编队空战态势评估[J].空军工程大学学报(自然科学版),2008,9(1):9-13.
- [6] 胡波,王汝传,王海艳.基于集对分析的P2P网络安全中的信誉度改进算法[J].电子学报,2007,35(2):244-247.
- [7] 黄光球,任大勇.基于双枝模糊决策和模糊Petri网的攻击模型[J].计算机应用,2007,27(11):2689-2693.
- [8] 史开泉,李岐强.双枝模糊决策与决策识别问题[J].中国工程,2001,3(1):71-77.
- [9] SHI KAIQUAN, CUI YUQUAN. Both-Branch fuzzy decision and decision encryption authentication[J]. Science in China (Series F), 2003, 46(2): 90-103.
- [10] 刘保相,张春英.基于SPA的双枝模糊决策分析[J].模糊系统与数学,2006,20(4):74-78.
- [11] 刘林.应用模糊数学[M].陕西科学技术出版社,1996.

(责任编辑 刘存英)

# 超滤过程中膜污染控制和膜清洗的研究进展

作者: [王爱兵](#), [李雅](#), [李淑贤](#), [马子川](#), [刘树明](#), [王学才](#), [WANG Ai-bing](#), [LI Ya](#), [LI Shu-xian](#), [MA Zi-chuan](#), [LIU Shu-ming](#), [WANG Xue-cai](#)

作者单位: [王爱兵, WANG Ai-bing \(河北邯郸学院化学系, 邯郸, 056005; 河北师范大学化学与材料科学院, 石家庄, 050016\)](#), [李雅, 李淑贤, 刘树明, LI Ya, LI Shu-xian, LIU Shu-ming \(河北邯郸学院化学系, 邯郸, 056005\)](#), [马子川, MA Zi-chuan \(河北师范大学化学与材料科学院, 石家庄, 050016\)](#), [王学才, WANG Xue-cai \(河北邯郸市第二制药厂, 邯郸, 056004\)](#)

刊名: [河北工程大学学报 \(自然科学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)

年, 卷(期): 2009, 26 (2)

被引用次数: 5次

## 参考文献(35条)

1. 方忠海;薛家慧 [超滤膜分离技术在炼油废水深度处理中的应用](#)[期刊论文]-[工业水处理](#) 2003 (07)
2. MULDER M [Basic principles of membrane technology](#) 1997
3. 倪佩时;吕斯濠 [超滤法处理大豆蛋白废水及资源回收的研究](#)[期刊论文]-[哈尔滨工业大学学报](#) 2005 (08)
4. KIM K J;FANE A G [Performance evaluation of suffice hydrophilized novel ultrafiktration membranes using aqueous proteins](#)[外文期刊] 1995 (02)
5. 蒋菁莉;任发政;蔡华伟 [牛乳中蛋白降血压肽的超滤分离](#)[期刊论文]-[食品科学](#) 2006 (07)
6. 谢添阳 [膜分离技术在味精发酵液中的应用研究](#)[期刊论文]-[龙岩师专学报](#) 2004 (06)
7. TRAIN T;BOLTO B;GRAY S [An autopsy study of a fouled reverse osmosis membrane element used in a brackish water treatment plant](#)[外文期刊] 2007 (17)
8. 刘茉娥 [膜分离技术](#) 2000
9. 王湛 [膜分离技术基础](#) 2000
10. YEH H M [Membrane ultrafiltration in a tubular module with a steel rod inserted concentrically for improved performance](#)[外文期刊] 2000 (13)
11. 刘玉达;刘清斌 [超滤柑桔汁的膜污染与膜清洗](#)[期刊论文]-[中国南方果树](#) 2001 (06)
12. 林璐;潘道东 [发酵乳中ACE抑制肽的超滤工艺研究](#)[期刊论文]-[食品科学](#) 2007 (12)
13. BOURGEOUS K N;DARBY J L;TCHOBANOGLIOUS G [Ultrafiltration of wastewater:effects of particles,mode of operation, and backwash effectiveness](#)[外文期刊] 2001 (01)
14. JARUSUTHIRAK C;AMY G [Membrane filtration of wastewater effluents for muse:effluent organic matter rejection and fouling](#)[外文期刊] 2001 (10)
15. 杜邵龙;周春山;雷细良 [超滤膜法浓缩薏苡仁多糖提取液](#)[期刊论文]-[膜科学与技术](#) 2007 (05)
16. 李书国 [超滤膜的污染原因及清洗技术](#) 2001
17. 邱玉美;邓毛程;吴海峰 [不同截留分子量超滤膜对谷氨酸发酵液过滤性能的比较](#)[期刊论文]-[广东轻工职业技术学院学报](#) 2007 (04)
18. 刘昌盛;邬行彦;潘德维 [膜的污染及清洗](#) 1996 (02)
19. YEH H M;CHENG T W [Modified concentration polarization model for hollow-fiber membrane ultrafiltration](#) 1995 (09)
20. 荣绍丰;常忠义;高红亮 [微生物发酵谷氨酰胺转胺酶的超滤过程研究](#)[期刊论文]-[食品与发酵工业](#) 2007 (06)
21. REDKAR S;KUBERKAR V;DAVIS R H [Modeling of concentration polarization and depolarization with](#)

[high-frequency backpulsing](#)[外文期刊] 1996(02)

22. [奚灏锵;江学文;雷德柱](#) [超滤和纳滤膜分离提取纳他霉素](#)[期刊论文]-[广东化工](#) 2007(08)
23. [蒋丽华;华欲飞](#) [超滤技术纯化大豆糖蜜中低聚糖的研究](#)[期刊论文]-[中国油脂](#) 2007(06)
24. [郑成](#) [膜的污染及防治](#) 1997(02)
25. [王志;甄寒菲;王世昌](#) [膜过程中防治膜污染强化通量技术进展\(I\)操作策略](#) 1999(01)
26. [ISMAILA F;MUSTAFFAR M I;ILLIAS R M](#) [Effect of dope extrusion rate on morphology and performance of hollow fibers membrane for ultrafiltration](#)[外文期刊] 2006(01)
27. [吕斯濠;迟军;陈福明](#) [大豆乳清超滤中膜通量衰减的模拟研究](#)[期刊论文]-[哈尔滨商业大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(03)
28. [刘彬;蔡诚;张磊](#) [超滤膜应用于油田污水深度处理的试验研究](#)[期刊论文]-[天津工业大学学报](#) 2007(04)
29. [MASAWAKIP;ARIBAS J I;HERNANDEZA](#) [Retention of proteins in cross-flow UF through asymmetric inorganic membrane](#)[外文期刊] 1994(11)
30. [冯建立;许振良;王学军](#) [超滤去除红霉素发酵液乳化现象的研究](#)[期刊论文]-[中国抗生素杂志](#) 2007(03)
31. [张晓飞;刘光全;张建华](#) [利用超滤膜技术处理油田含盐采出水研究](#)[期刊论文]-[油气田环境保护](#) 2007(03)
32. [DEMADIS K D;NEOFOTISTOU E;MAVER AKI E](#) [Inorganic foulants in membrane systems:chemical control strategies and the contribution of "green chemistry"](#)[外文期刊] 2005(06)
33. [KIM D;JUNG S;SONH J](#) [Biocide application for controlling biofouling of SWRO membranes-an overview](#)[外文期刊] 2009(03)
34. [于奕峰;顾春雷;王广玉](#) [有机超滤膜处理退浆废水实验研究](#)[期刊论文]-[膜科学与技术](#) 2008(01)
35. [FUGERE R;MAMERI N;GALLOT J E](#) [Treatment of pig farm effluents by ultrafiltration](#)[外文期刊] 2005(06)

#### 本文读者也读过(7条)

1. [李永红. 张伟. 张晓健. 陈超. LI Yong-hong. ZHANG Wei. ZHANG Xiao-jian. CHEN Chao](#) [超滤膜的污染控制研究进展](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#)2009, 25(2)
2. [张原](#) [超滤膜污染的机理和控制](#)[期刊论文]-[净水技术](#)2001, 20(4)
3. [刘青山](#) [蛋白酶发酵液超滤及污染膜清洗的实验研究](#)[学位论文]2006
4. [陆俊宇. 李伟英. 赵勇. 张璐. 陈杰. 陈清. Lu Junyu. Li Weiyong. Zhao Yong. Zhang Lu. Chen Jie. Chen Qing](#) [不同预处理工艺对超滤膜运行影响的中试试验研究](#)[期刊论文]-[水处理技术](#)2010, 36(6)
5. [张斌. 龚泰石. 孙宝盛. ZHANG Bin. GONG Tai-shi. SUN Bao-sheng](#) [MBR处理生活污水试验中膜污染的清洗](#)[期刊论文]-[水处理技术](#)2006, 32(10)
6. [洪得香. 刘宏远. 张燕](#) [水处理中超滤膜污染的研究进展及其控制措施](#)[会议论文]-2009
7. [何攀. 何风华. 王海燕. 顾平. He Pan. He Fenghua. Wang Haiyan. Gu Ping](#) [操作条件对浸没式超滤膜污染影响的中试研究](#)[期刊论文]-[给水排水](#)2010, 36(3)

#### 引证文献(7条)

1. [王绪文](#) [污堵超滤膜元件的离线清洗和日常维护](#)[期刊论文]-[清洗世界](#) 2010(7)
2. [张胜. 袁慧. 蒋晓昊. 王国威](#) [膜生物反应器处理含盐生活污水的研究](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(4)
3. [伍联营. 商凤英. 高从塔. 胡仰栋](#) [超滤水处理系统中膜组件化学清洗方法研究](#)[期刊论文]-[水处理技术](#) 2013(1)

4. [刘杨](#) [膜污染与清洗技术](#)[期刊论文]-[北方环境](#) 2013(4)
5. [胡学兵](#), [周健儿](#), [汪永清](#), [常启兵](#), [张小珍](#), [梁健](#) [油水分离中污染的A1203陶瓷微滤膜清洗方法研究](#)[期刊论文]-[陶瓷学报](#) 2013(2)
6. [殷宪国](#) [电子级磷酸工业化战略及其配套技术](#)[期刊论文]-[硫磷设计与粉体工程](#) 2010(2)
7. [张露](#) [纳滤技术在印染废水处理中的应用](#)[期刊论文]-[现代丝绸科学与技术](#) 2010(1)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hbjzkjxyxb200902027.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200902027.aspx)