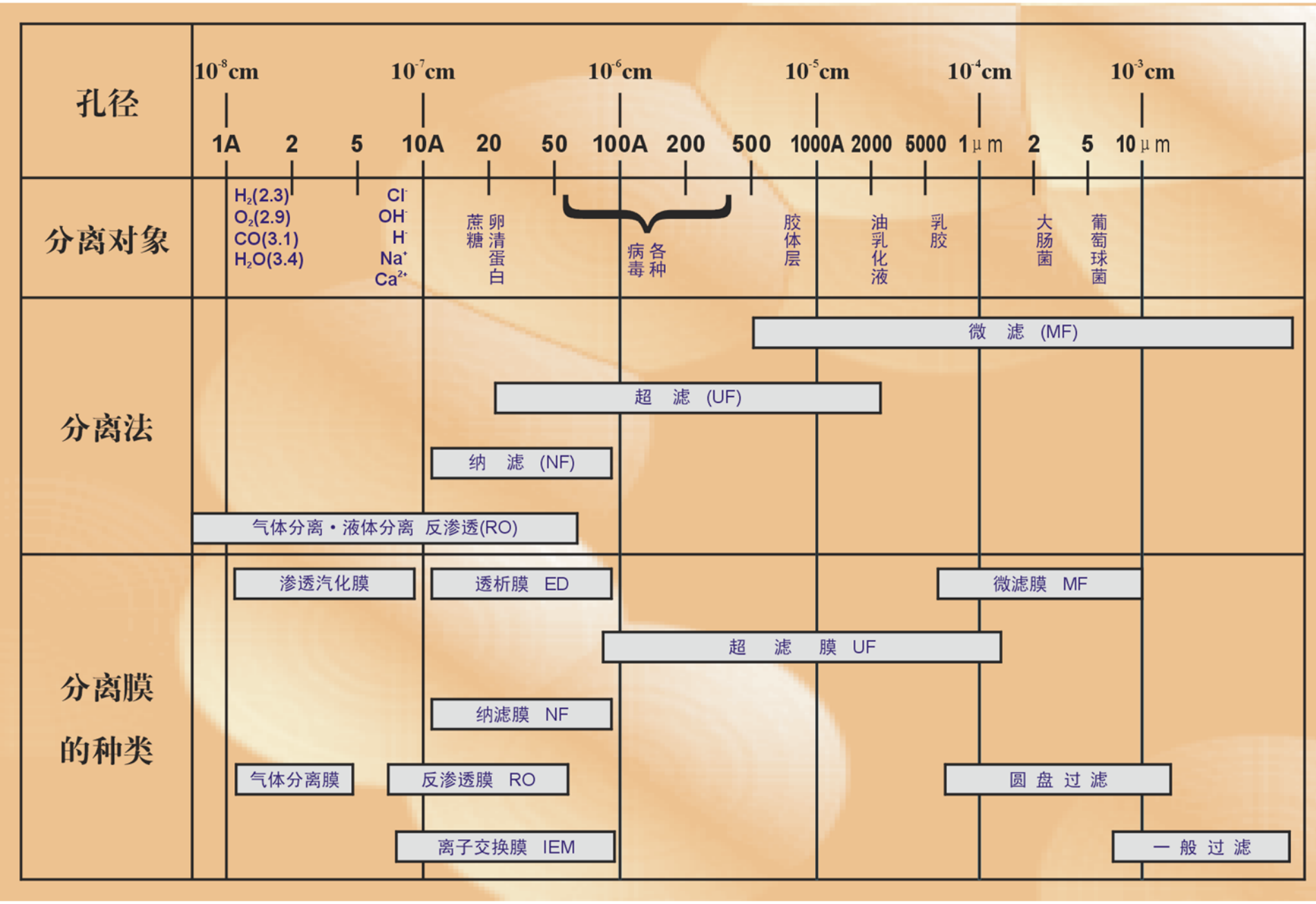

孔径
10^{-8}cm
10^{-7}cm
10^{-6}cm
10^{-5}cm
10^{-4}cm
10^{-3}cm
1A 2 5 10A 20 50 100A 200 500 1000A 2000 5000 1μm 2 5 10μm
分离对象
H_2(2.3)
O_2(2.9)
CO(3.1)
H_2O(3.4)
Cl^-
OH^-
H^+
Na^+
Ca^{2+}
蔗糖
卵清蛋白
病毒
各种
胶体层
油乳化液
乳胶
大肠菌
葡萄球菌
分离法
微 滤 (MF)
超 滤 (UF)
纳 滤 (NF)
气体分离・液体分离 反渗透(RO)
分离膜的种类
渗透汽化膜
透析膜 ED
微滤膜 MF
超 滤 膜 UF
纳滤膜 NF
气体分离膜
反渗透膜 RO
圆 盘 过 滤
离子交换膜 IEM
一 般 过 滤

微滤(MF)

静压差膜分离

微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和反渗透(RO)分离类似于过滤，用以分离悬浮微粒或含溶解的溶质的液体。

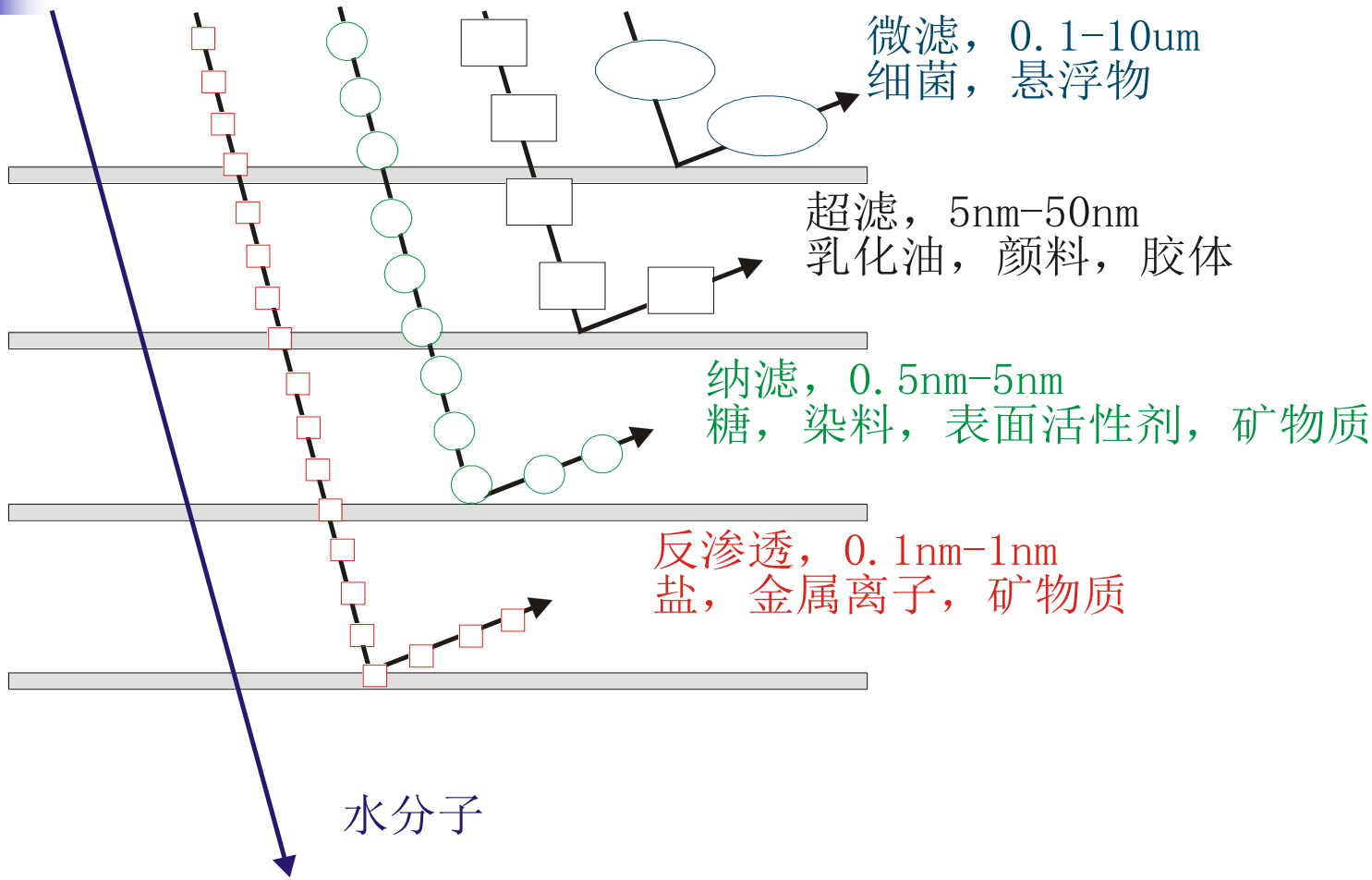
1) 微滤

2) 超滤

3) 纳滤

4) 反渗透

压力驱动膜(PDM)原理图



微滤定义

微滤(Microfiltration, MF)，又称微孔过滤、精密过滤、绝对过滤，一般精度范围为0.1 μm以上，能够过滤μm级的微粒和细菌，能够截留溶液中的沙砾、淤泥、黏土等颗粒、藻类和一些细菌等，而大量溶剂、小分子及大分子溶质都能透过的膜分离过程。

MF膜的主要特征

- ✓ **孔径均一。**MF膜的孔径十分均匀，例如平均为0.45 μm的滤膜，其孔径变化范围仅在(0.45±0.02) μm
- ✓ **高孔隙率。**MF膜的表面上有无数微孔，孔隙率高达80%左右，通常其通量比具有同等截留能力的滤纸至少快40倍
- ✓ **滤材薄。** MF膜的厚度在90~150 μm左右，比一般过滤介质薄
- ✓ **驱动压力低。**由于孔隙率高、滤材薄，因而流动阻力小，一般只需较低的压力(0.01~0.2 Mpa)即可

MF膜的形态结构

MF膜的形态结构通常可分为以下3种类型：

- 通孔型。膜孔呈圆筒状垂直贯通于膜面，孔径异常均匀
- 网络型。这种膜的微观结构基本上是对称的
- 非对成型。其中有海绵型与指孔型两种，是上列两种结构的不同形式的复合

通孔型　　网络型

对称MF膜

直通孔　曲通孔　海绵状曲通孔　细缝网络

不对称MF膜

类指状　单皮层　双皮层　非对称型

微滤膜的材料

- 微滤膜
  - 有机类
    - 聚烯烃类
    - 聚氟类
    - 醋酸纤维素
    - 聚乙烯醇及其改性材料
  - 无机陶瓷微滤膜
  - 复合微滤膜

◆ 有机MF膜

- ✓ 有机微滤膜具有韧性，能适应各种大小粒子的分离过程，制备相对较简单，易于成形，工艺也较成熟，且价格便宜
- ✓ 但具有遇热不稳定、不耐高温、在液体中易溶胀、强度低、再生复杂、使用寿命短等缺点

◆ 无机陶瓷MF膜

无机陶瓷膜作为一种新型膜材料，与传统的高聚物膜相比，更具备其它聚合物膜所不具有的一些优点：

- ✓ 化学稳定性好、机械强度大、抗微生物污染能力强、耐高温、孔径分布窄、可高压反冲洗、再生能力强、分离效率高、不易老化等
- ✓ 但具有生产成本比较高，膜的分离效果低，膜通量不稳定，应用范围较窄等缺点

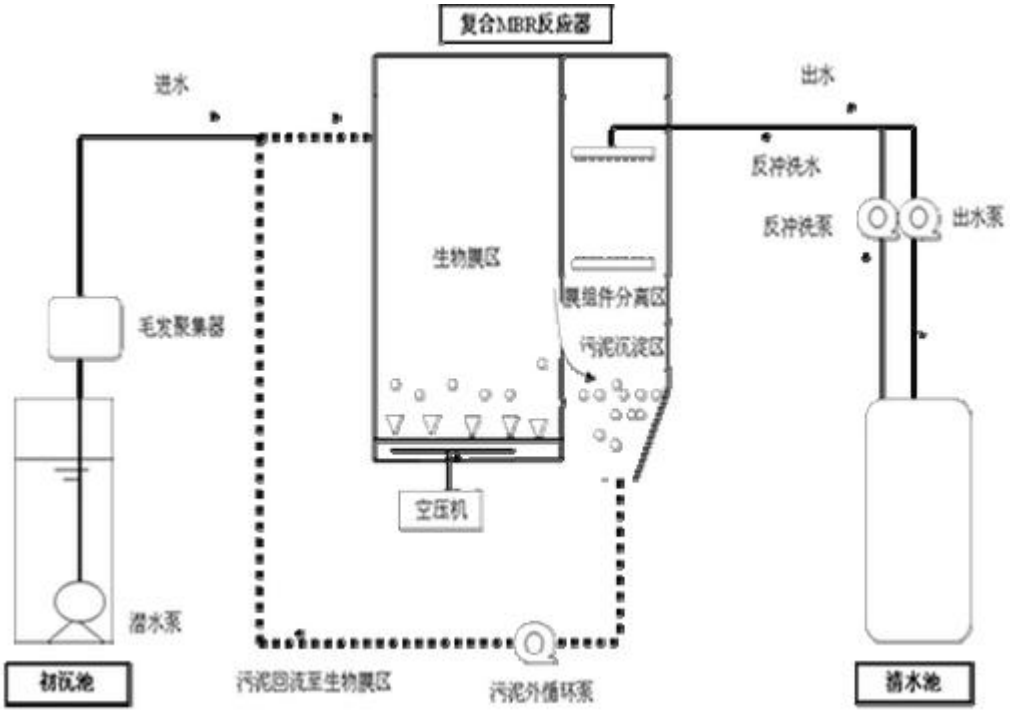
◆ 复合MF膜

复合微滤膜一般包括三种形式：

- ✓ **第一类**是将一层孔隙极小(一般为MF膜)的薄膜和常规过滤介质利用层压技术复合在一起的过滤材料
- **优点：**孔隙不堵塞，滤液浊度低，使用寿命长
- **缺点：**薄膜与有机物黏合不牢固

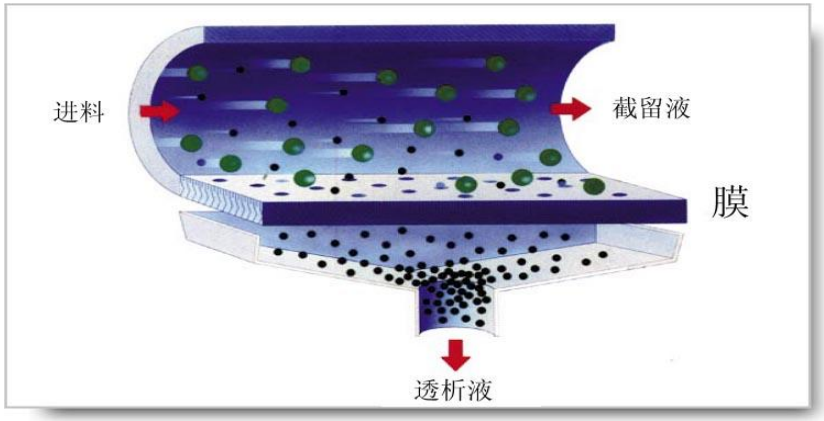
- ✓ 第二类是通过不同的工艺手段实现有机与无机的黏合改性。具体包括无机物填充聚合物膜、聚合物/无机支撑复合膜、无机/有机杂聚膜
- 具体包括无机物填充聚合物膜、聚合物/无机支撑复合膜、无机/有机杂聚膜
- 这种复合微孔过滤膜制备技术也是目前研究最多、应用最广的一项技术

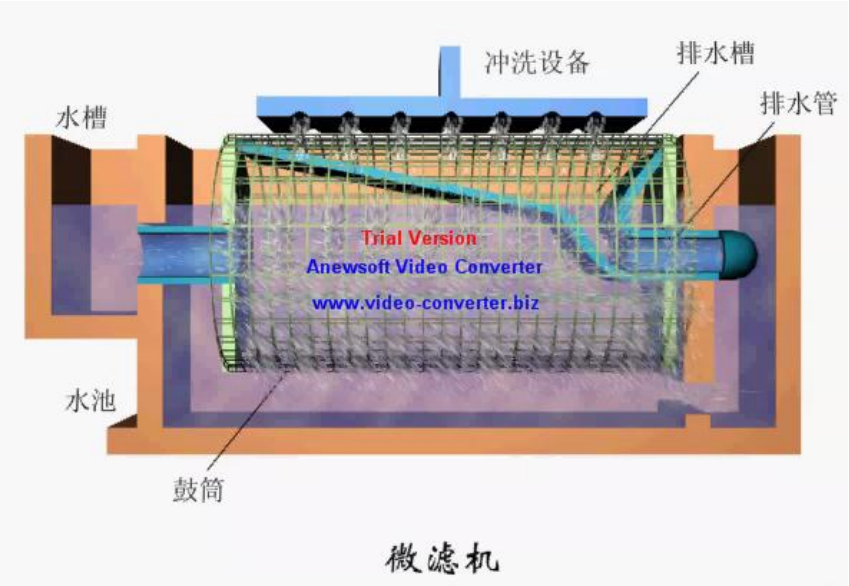
✓ **第三类**是将MF膜技术与生物处理法相结合的新型水处理技术— 复合式膜生物反应器(IMBR)



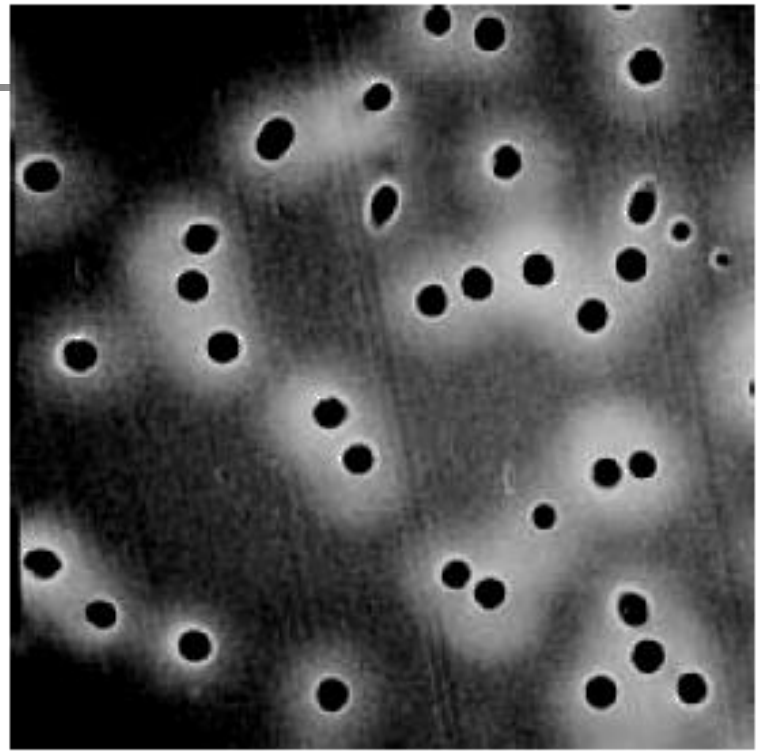
微滤的传质机理

微滤是以静压差为推动力，利用膜的“筛分”作用进行分离的膜过程。

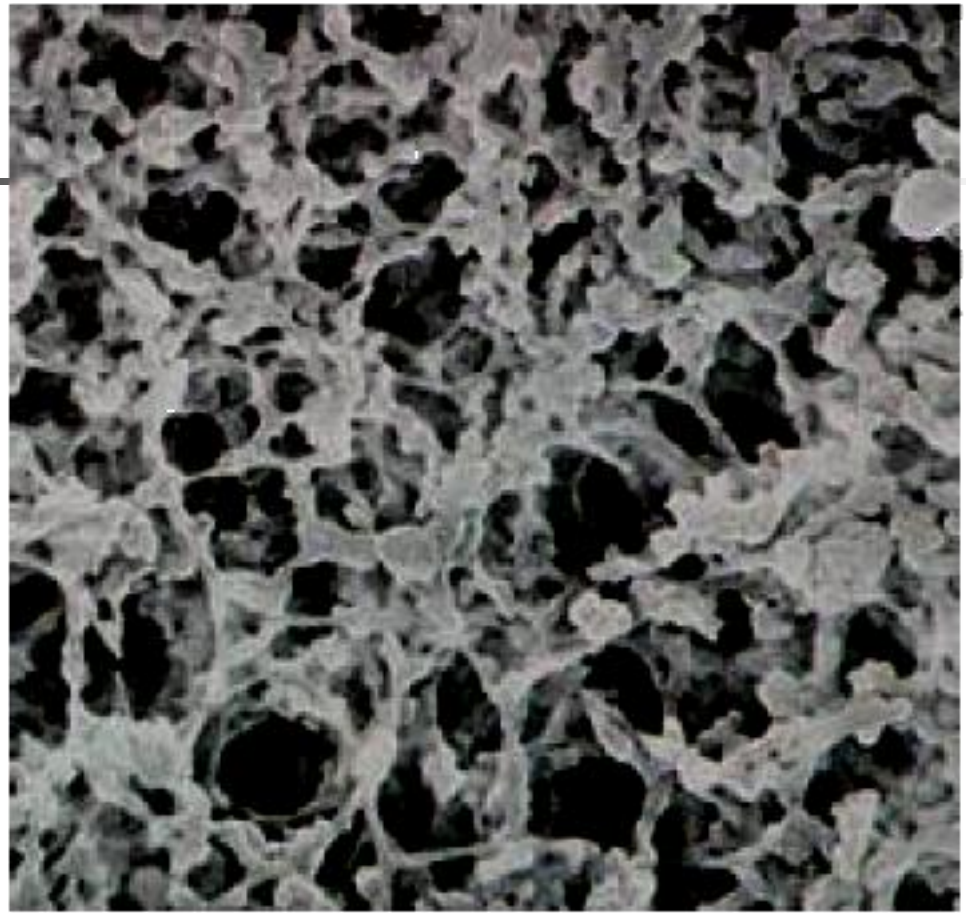




微滤机



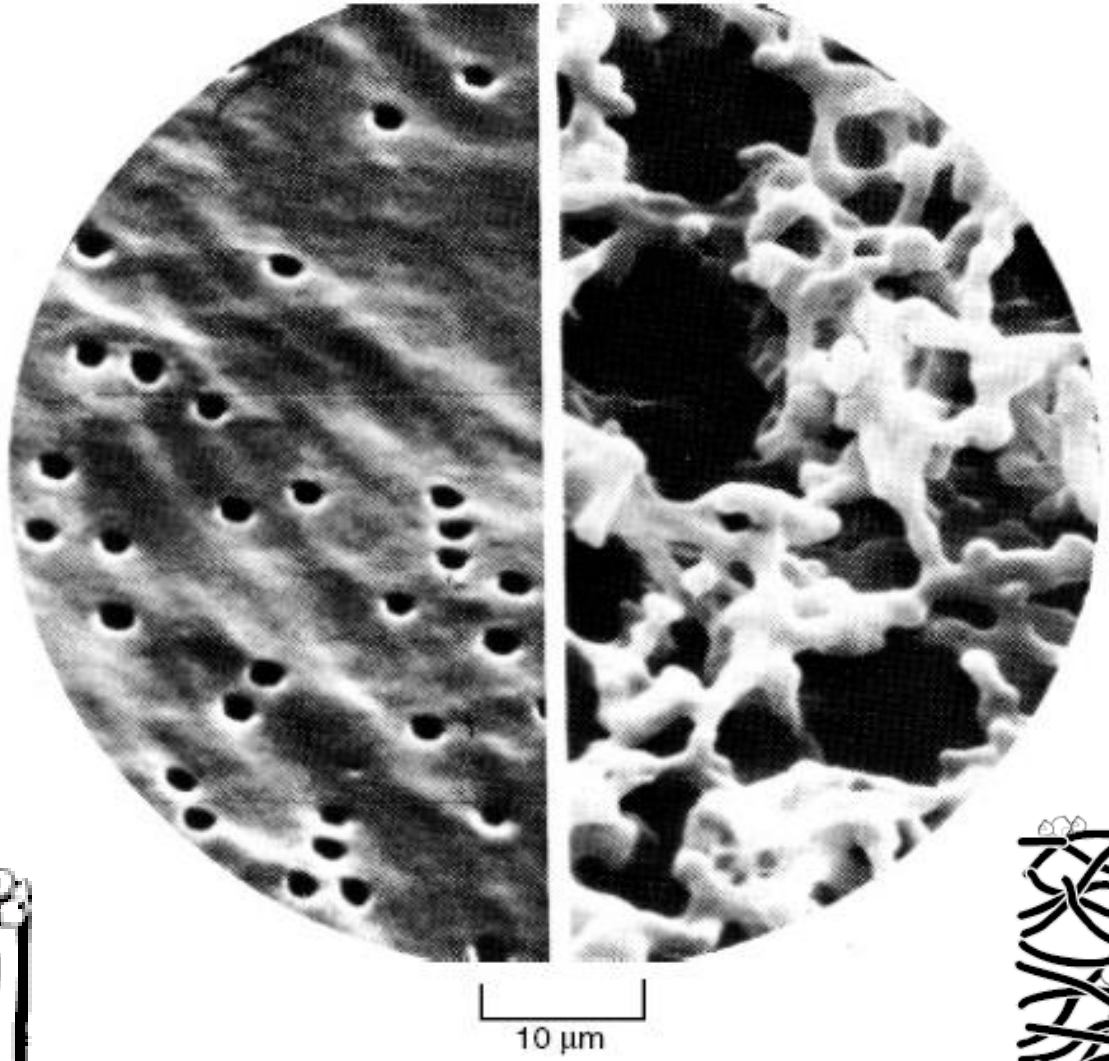
筛分膜 (screen membranes)，这种膜拥有几乎完美的圆柱形孔，这些孔或多或少与膜表面垂直并随机分散

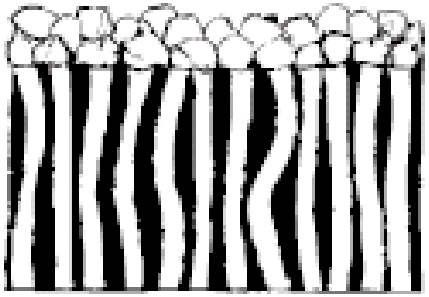


“深层”膜 (depth membranes)，这种膜孔是弯曲不规则的，膜的表面也很粗糙，一部分孔的路径与膜表面是平行的

筛分膜

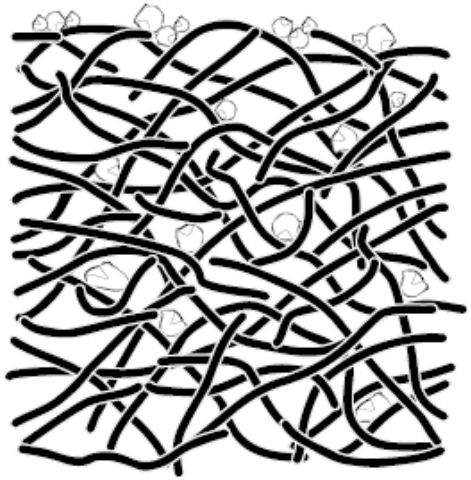
深层膜



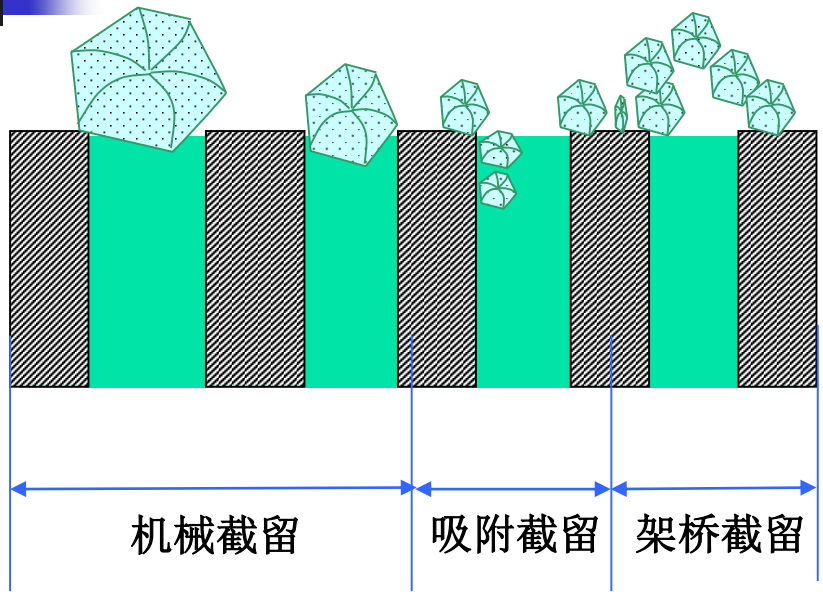


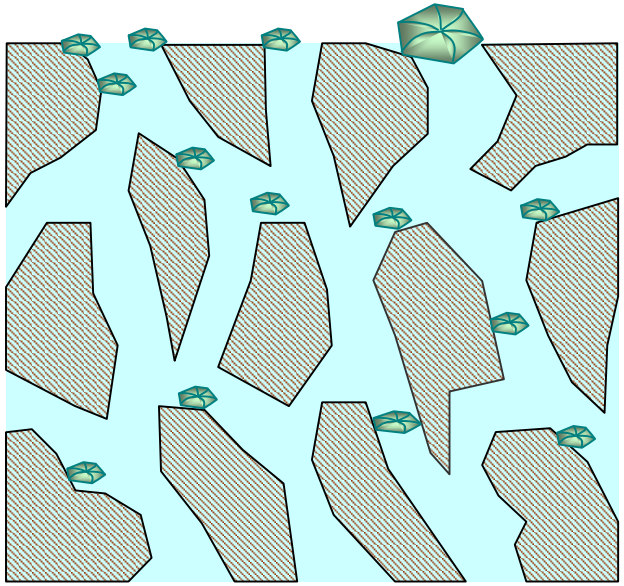
Screen filter
0.45 µm pore size

Depth filter
0.45 µm pore size



讨论交流

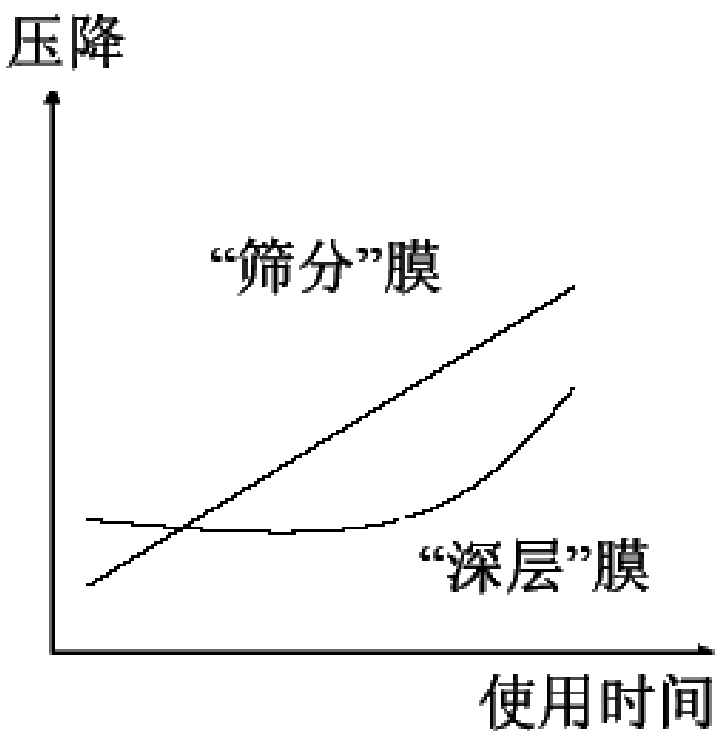


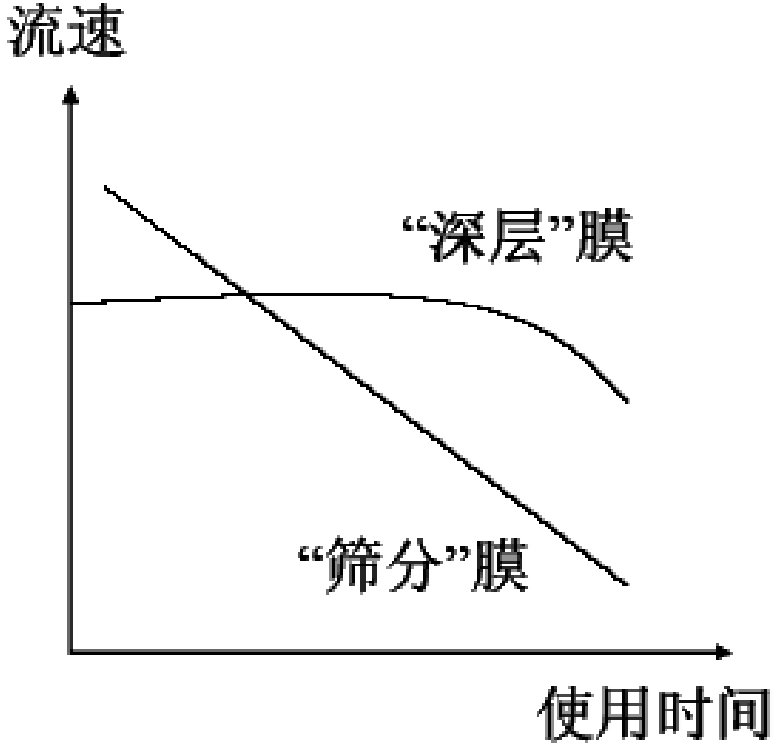


膜表面层截留

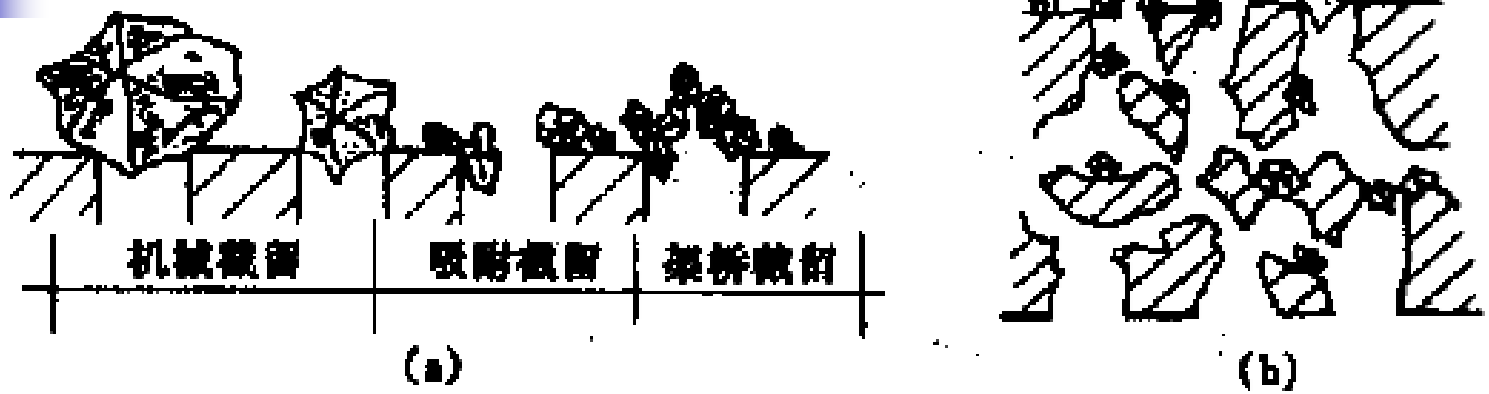
膜内部截留(网络截留)

“筛分”膜和“深层”膜过滤的压降、流速与时间的关系





分离机理



“筛分膜”，普遍认为是膜表层截留，是透过三种方式实现的：

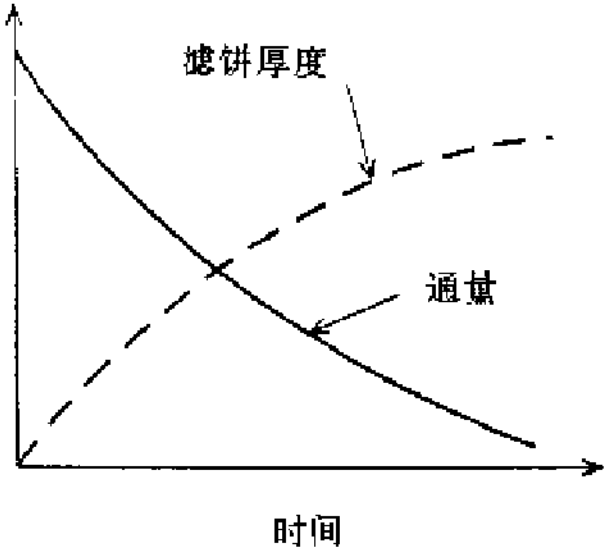
(1) 比膜孔大的颗粒的机械截留；(2) 颗粒之间的相互作用（如聚集、吸附）及颗粒与膜表面的吸附；(3) 颗粒之间的架桥作用。对于“深层膜”，人们认为颗粒被截留在网络孔的内部；对于表层截留，其过程接近于绝对过滤，易清洗，但杂质捕捉量相对于深度型较少；而对于膜内部截留，其过程接近于公称值过滤，比表面积大，杂质捕捉量较多，但不易清洗，多属于用毕弃型。

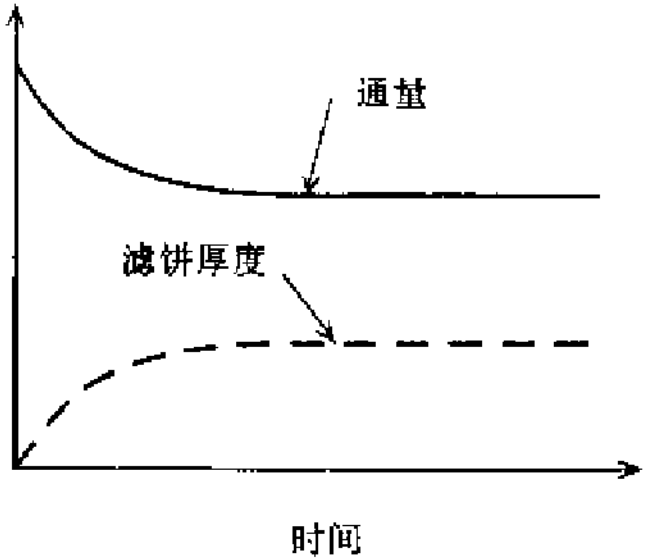
微滤膜的截留机理

- 膜表面层截留，又分为
  - ✓ 机械截留(筛分截留)：微滤膜将尺寸大于其孔径的固体颗粒或颗粒聚集体截留
  - ✓ 吸附截留：微滤膜将尺寸小于孔径的固体颗粒通过物理或化学吸附而截留
  - ✓ 架桥截留：固体颗粒在膜的微孔入口因架桥作用而被截留

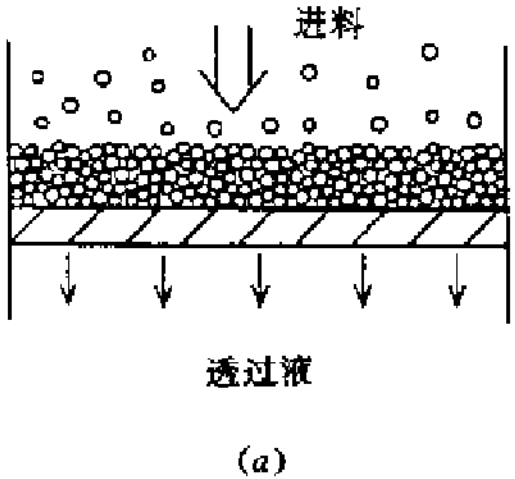
- 膜内部截留(也称为网络截留)，这种截留发生在膜的内部，往往是由于膜孔的曲折而形成

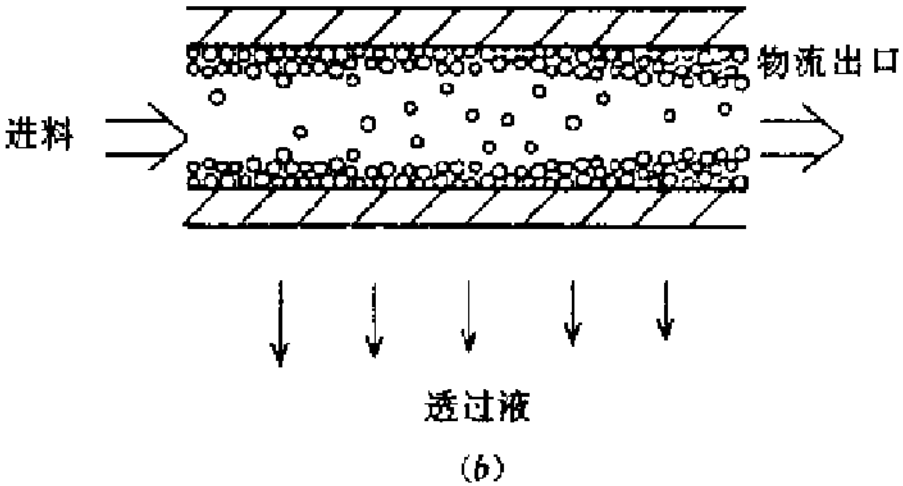
除上述截留之外，某些情况下，还有静电截留





终端过滤





错流过滤

两种过程的通量与滤饼厚度随时间的变化关系

微滤的应用优势

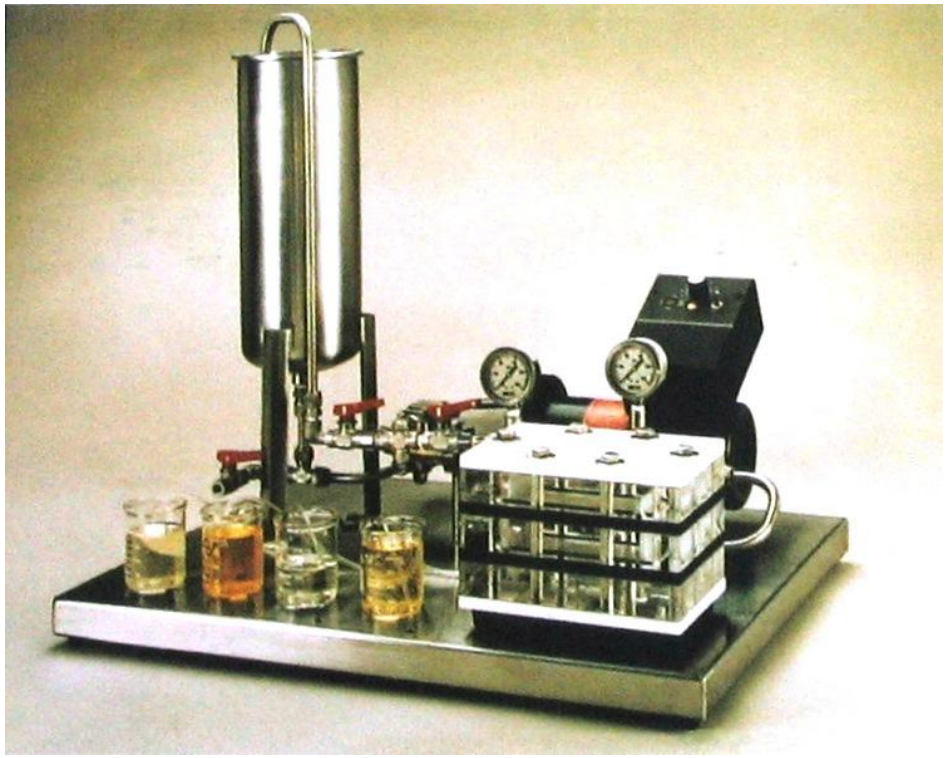
与深层过滤介质如硅藻土、沙、无纺布相比，MF有以下几个特点：

- ✓ 属于绝对过滤介质
- ✓ 孔径均匀，过滤精度高
- ✓ 厚度薄，吸附量小
- ✓ 通量大
- ✓ 无介质脱落，不产生二次污染
- ✓ 颗粒容纳量小，易堵塞

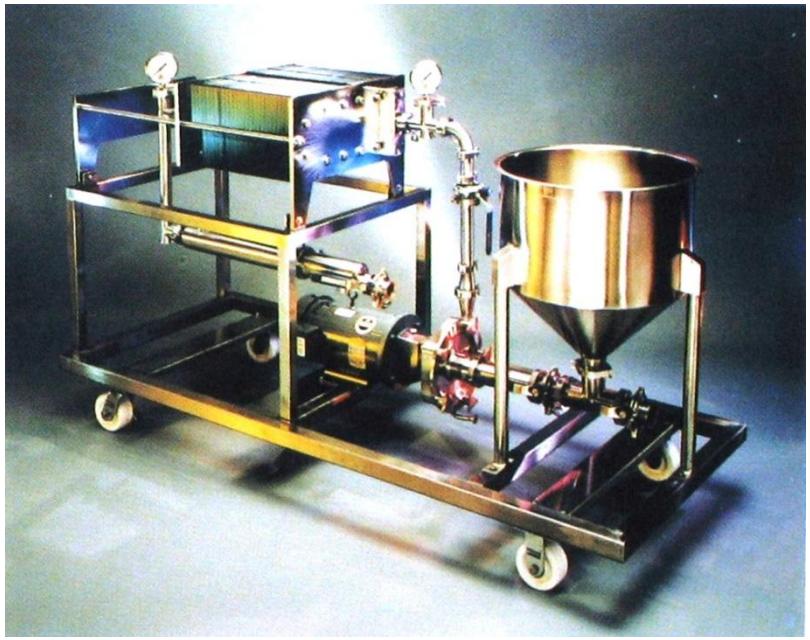
MF滤除微粒及微生物的效果

测试微粒	直径/μm	脱除率/%
球形SiO_2	0.21	>99.99
球形聚苯乙烯	0.038	>99.99
	0.085	100
微生物	0.1~0.4	100
热源物质	0.001	>90.997

微滤膜装置



实验室小型MF膜设备



MF膜中试设备

发酵液提取陶瓷膜成套设备

微滤膜的污染及控制

微滤的应用

(1)微粒和细菌的过滤

可用于水的高度净化、食品和饮料的除菌、药液的过滤、发酵工业的空气净化和除菌等

(2)微粒和细菌的检测

微孔膜可作为微粒和细菌的富集器，从而进行微粒和细菌含量的测定

(3)气体、溶液和水的净化

大气中悬浮的尘埃、纤维、花粉、细菌、病毒等；溶液和水中存在的微小固体颗粒和微生物，都可借助微孔膜去除

(4)食糖与酒类的精制

可除去食糖中的杂质、酒类中的酵母、霉菌和其他微生物，提高食糖的纯度和酒类产品的清澈度，延长存放期。由于是常温操作，不会使酒类产品变味

(5)药物的除菌和除微粒

以前药物的灭菌主要采用热压法。但是热压法灭菌时，细菌的尸体仍留在药品中。而且对于热敏性药物，如胰岛素、血清蛋白等不能采用热压法灭菌。对于这类情况，微孔膜有突出的优点，经过微孔膜过滤后，细菌被截留，无细菌尸体残留在药物中。常温操作也不会引起药物的受热破坏和变性

(6)液相澄清。抗生素发酵液的澄清、溶菌液的澄清、蛋白质液澄清、酵母溶菌液澄清

固相回收：连续培养发酵的细胞回收、菌细胞的收获和冲洗、网状菌丝体的浓缩、酵母浓缩

(7)电子工业。从生产半导体的液体中去除粒子

(8)海水淡化。去除海水中的悬浮物、颗粒以及大分子有机物，为RO提供原料水

(9)油田采出水处理

思考题：

- 思维导图绘制以压力差为推动力的膜分离技术

- 试比较筛分膜和深层膜的分离机理。
- 对比MF/UF的分离过程。
- 膜污染的控制和清洗方法。