

陶瓷膜过滤器工作原理

南京博滤工业设备有限公司

(膜分离事业部 Membrane Separation Dept.)

摘要：随着工业技术的不断更新迭代，膜分离应用技术近年来也取得巨大进展，极大提升了社会生产力水平。膜分离技术由于其具有分离效率高、能耗低、过程温和无相变、生产环境清洁等诸多优点，而越来越多的被应用于现代工业生产中物料富集(enrichment)、浓缩(concentration)、纯化(purification)等核心工艺处理过程。根据膜的材料我们可分为有机膜和无机膜，按膜孔径又可分为微滤膜(MF)、超滤膜(UF)、纳滤膜(NF)和反渗透膜(RO)等。本文简单介绍下以陶瓷膜为代表的无机膜材料及其分离器构成与工作原理。

关键词：膜分离技术，无机陶瓷膜，陶瓷膜应用，陶瓷膜过滤，陶瓷膜分离，陶瓷膜过滤设备，陶瓷纳滤膜，陶瓷膜植物提取，陶瓷膜催化剂回收，陶瓷膜分离技术。

1 膜的定义

什么是膜？膜可以被视为两相之间的一个界面、具有选择透过性功能的薄层凝聚物质，它能够以特定的形式来限制和传递两侧流体中各物质的迁移过程。膜本身可以是一种均匀单相或两相以上凝聚物质所构成的复合体，其厚度大都以数微米至 0.5mm 之间不等。膜必须具有一定的透过性，否则就不能称之为膜。

我们可以认为理想化的膜应当结合了膜层薄、机械强度高、孔径小、耐高温、耐化学腐蚀等诸多优点，但很遗憾，在实际中，材料属性决定，该一系列理想化指标存在相互制约性矛盾，所以世界上并不存在绝对“完美”的膜，而应该结合具体工艺工况，通过对物料反复试验对比，确定采用何种最适合膜孔径，以及采取何种预处理，有时还需结合其它化学或物理辅助工艺等，这样最终优化、设计出一套最适合该工况的膜分离系统。

这对膜厂商的理论专业性、应用经验、工匠精神，以及严谨态度都提出了极高的要求。

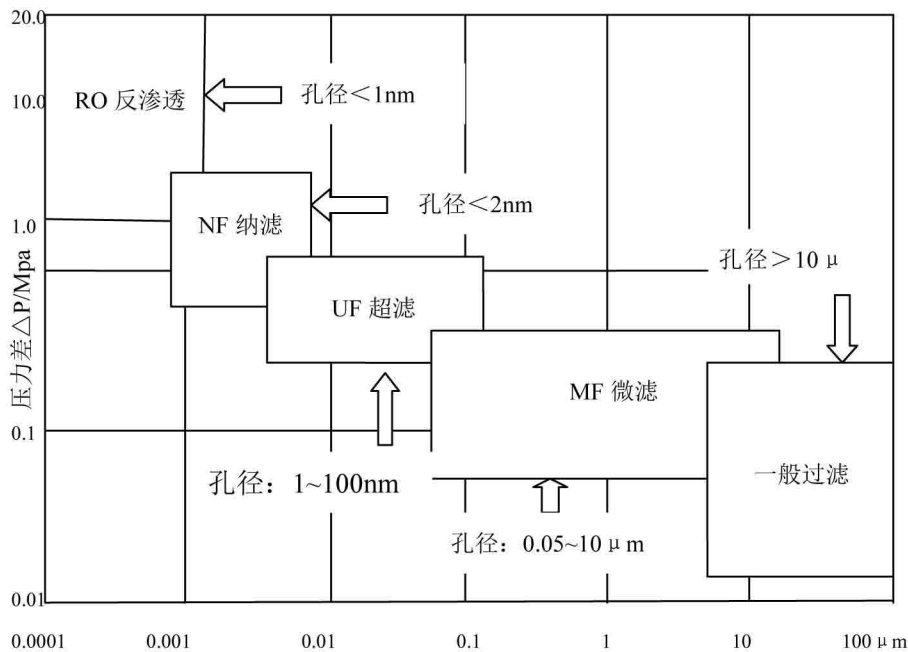
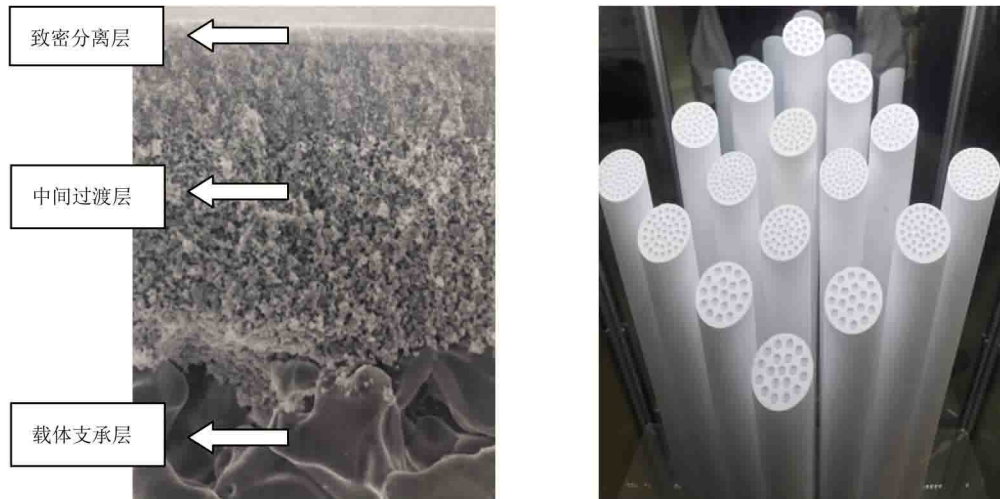


图 1.1 膜分离实用范围过滤谱图

2 什么是陶瓷膜

2.1 陶瓷膜是采用高纯度 α -Al₂O₃ 在高温条件下烧制而成，具有筛分过滤作用的多孔固体连续介质。南京博滤工业无机陶瓷膜呈不对称结构，由三层组成：支撑层、过渡层和分离层。

支撑层由较大颗粒烧结而成，大约数毫米厚，作为膜的载体，主要用于保证膜的机械强度；分离层处于膜管表面，一般厚度较薄（微米级），孔径较小，分布较窄，主要是起过滤分离作用；而在膜分离层和支撑层之间，通常可以包含一层或多层结构的过渡层。



2.1 南京博滤工业无机陶瓷膜孔径与截留分子量关系参考表

孔径	长度 mm	通道	截留分子量	水通量 $L/m^2 \cdot h^{-1}$	工艺应用
2nm	1020	19/37/61	1000Da	40-60	精细化除杂、浓缩
5nm	1020	19/37/61	10000Da	70-100	精细化除杂、浓缩
10nm	1020/1200	19/37/61	40000Da	110	精细化除杂
12nm	1020/1200	19	60000Da	130-150	精细化除杂
20nm	1020/1200	19/37/61	30KD	170-200	精细化预除杂、深除杂
35nm	1020/1200	19/37/61	—	250-350	精细化除杂
50nm	1020/1200	19/37/61	—	600-800	预除杂
200nm	1020/1200	19/37/61	—	1000	预除杂

按陶瓷膜孔径可分为中孔膜（ $2nm < \text{孔径} < 50nm$ ）、微孔膜（孔径 $< 2nm$ ），以及大孔径膜（ $\geq 50nm$ ）。其中大孔径膜的制备技术门槛相对较低。Bolindustry 主要致力于中、微孔膜的产品研究以及在多领域中的推广与应用。

3 陶瓷膜设备的组成

[陶瓷膜设备](#)与有机膜设备一样，它是以泵压力为推动力，依靠膜的选择性将液体中的组分进行筛选分离。一套完整的陶瓷膜分离设备由[陶瓷膜元件](#)、陶瓷膜组件、配套装置、控制系统组成。

3.1 膜组件

用于装填陶瓷膜元件的耐压壳体，我们称之为[膜组件](#)。Bolindustry 陶瓷膜组件主要由不锈钢承压外壳、密封圈组成。根据具体工艺需求，南京博滤工业通过设计不同规格的膜组件，实现填装不同外径及不同面积的陶瓷膜元件。

主体材质	SUS304/SUS316/Ti/FRPP
密封材质	三元乙丙橡胶/氟橡胶/硅橡胶/PTFE
可装填膜元件数	Bolindustry 膜组件可装填膜管数量： 1、7、12、19、37、61
接口形式	DN14-400 法兰/卡箍/活接
设计压力	10bar/16bar/25bar
设计温度	100℃
执行标准	卫生级/化工级



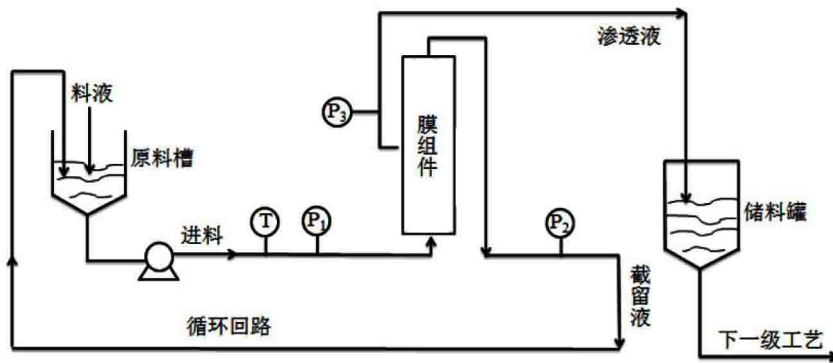
3.2 配套装置

Bolindustry 陶瓷膜系统配套装置主要包括设备支架、内部管道系统、控制阀、泵、罐组、仪表。需要注意的是，有些溶剂车间，南京博滤工业还会根据业主运行管理要求，为特殊场合陶瓷膜设备配备防爆设施。

3.3 控制系统

南京博滤工业陶瓷膜成套设备其控制系统主要是采用可编程过程控制系统，辅以部分就地指示仪表，实现对陶瓷膜设备运行过程的自动化运行控制，包括了对膜系统以及与膜系统直接相关的进料、清洗、排渣等一系列泵阀操作控制。应当设置有原料罐的液位、温度的检测及控制；各清洗罐的液位、温度的检测及控制；膜主机的滤液流量的检测及控制；膜主机的浓缩液流量的检测及控制；循环泵运行频率的检测及控制；膜主机的组件进出口压力、温度的检测及控制等。90kW 及以上电动机采用软启动或变频器。

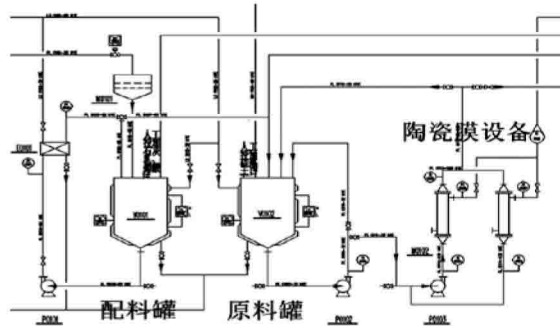
3.4 流程列举



Bolindustry 单级部分循环连续操作方式

4 陶瓷膜过滤在工艺流中位置

上游工序	发酵、煎煮、糖化、酶解、合成、粉碎等
预处理	粗滤（板框、离心等）
陶瓷超滤膜（除杂）	去除微生物、大分子蛋白、果胶、鞣质、大分子多糖等
陶瓷纳滤膜（深度除杂）	精制、脱色、脱盐、浓缩
反渗透	纯水、浓缩
后工序	蒸发、结晶、喷雾、冻干、灌装等



5 陶瓷膜应用常用术语含义

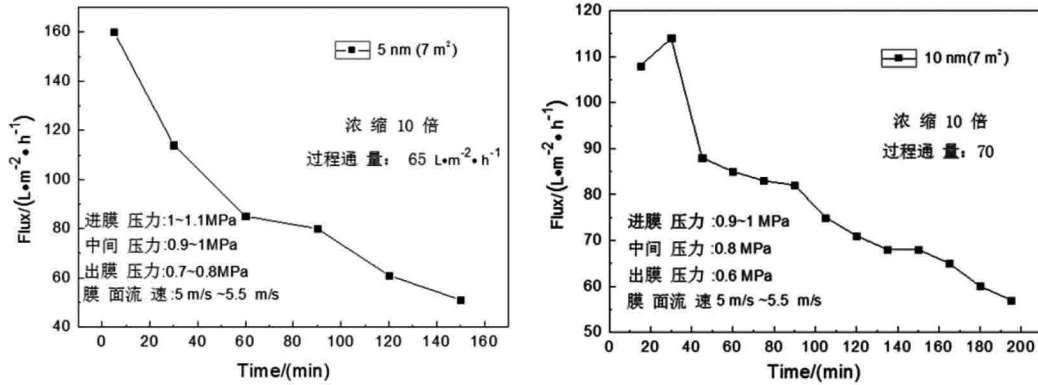
5.1 膜污染

是指各种导致膜过滤性能下降的现象。常见有膜孔堵塞，浓差极化，微生物吸附，化学沉淀。

5.2 膜通量

一定压力与温度下，单位时间内、单位膜面积透过的量。

$$\text{通量 (L/m}^2\cdot\text{h}^{-1}) = \text{渗透液 V (L)} / (\text{膜面积 m}^2 \cdot \text{过滤时间 h})$$



Bolindustry 相同进料条件下对 5nm/10nm 膜通量进行对比研究

5.3 膜面流速

指通道内流体流通速度。一般而言，流速越大，膜面抗污染能力越强，越有利于稳定通量。但流速越大，同时也意味着能耗越高。

计算公式：膜面流速 $v = \text{系统循环量 } V (\text{m}^3/\text{h}) / \text{膜单孔道截面积 } m^2 \cdot \text{孔道数}$

一般设置为 4-6m/s 范围，Bolindustry 将根据具体物流体系和运行工况而定。

5.4 推动力

推动力是膜过滤过程的动力来源，一般来讲，推动力越大，膜通量越大。同时能耗也会越高。

$$\Delta P = (\text{膜进口压力 } p_1 + \text{膜出口压力 } p_2) / 2 - \text{渗透侧压力 } p_3$$

一般渗透侧压力为大气压（表压），取 0

5.5 收率

以目标组分从渗透液收集为例，渗透液体积 V_1 ，渗透液中目标产物浓度 c_1 ，总的物料体 V_2 总料液中目标产物浓度 C_2

$$\text{收率定义为: } y = V_1 \cdot c_1 / V_2 \cdot c_2$$

5.6 截留率

指定组分通过膜过滤后剩下的含量：

如甲方以目标组分从渗透液收集，则若截留率 $> 30\%$ ，一般技术上不予考虑，

5.7 切割分子量

对某一尺寸颗粒的截留率 $> 90\%$ 或 95% 时，该尺寸颗粒的相对分子量就是切割分子量。

5.8 选择性

选择性越高，技术经济性越好。在具体物料体系中目标组分纯度越高，意味着选择性越好。

5.9 透析

膜过滤过程中，随着过程的进行，浓缩液浓度不断升高，固含量也在升高，Bolindustry 为使其继续满足膜进料要求，提高膜装置收率，需将浓缩液进行适当透析。但使用透析的过程中，提高了产品收率的同时，也增加了浓缩液及渗透液的量，对后续工艺生产产生影响。所以是否使用透析以及使用度，都应结合陶瓷膜设备运行条件与产线后段工艺来综合评定。

5.10 固含量

分湿固含量和干固含量，一般考虑湿固含量。湿固含量是指液体经离心分离后，测其质量（或体积）占原液的量。陶瓷膜装置的进料指标要求，一般是需低于 10%。

5.11 疏水性与亲水性