

## 溶剂法制备过滤膜指导

### 序言

在过去 20 年中，多孔膜，作为一种将组分从流体混合物中进行分离的最具有成本效益的方法，已经取得了重要的地位。膜技术具有大量富有吸引力的特性。利用这些特性，可以在适当的操作条件下进行连续分离，并且能够最大限度的利用狭小的空间。该项技术同样具有良好的环保性能，低能耗且无需任何添加剂。因此我们认为这是一种洁净的分离技术。

苏威公司所提供的膜用聚合物比世界上任何其他公司的产品具有更高的性能。Solef 和 Hylar 聚偏氟乙烯 (PVDF)、Udel 聚砜 (PSU)、Gafone 聚醚砜 (PESU)、和 Radel 聚苯砜 (PPSU)。这些材料被广泛用于制造从微滤膜 (MF) 到反渗透膜 (RO) 的整个过滤膜领域。同时包括各向同性和各向异性多孔中空纤维膜和平板膜,及气体分离膜。

这些材料具有优良的耐化学性，同时具有水解稳定性及较高的强度、并经过多家专业机构的认证，使这些聚合物膜能够成为在不同苛刻的使用环境中的最佳应用材料。这些材料的应用领域包括水净化、污水处理、药品生产、血液净化、以及各种工业过程分离，例如食品和饮料加工、电涂料回收、气体分离以及其他等等。

许多考虑用来制造分离膜的工艺需要在溶剂中溶解聚合物。Solef 和 Hylar 聚偏氟乙烯以及 Udel、Gafone 和 Radel 砜类聚合物可以溶解于传统的溶剂当中，从而使它们成为扩散诱导相分离或“DIPS”工艺所铸造溶剂。这一过程有时也被称为非溶剂诱导相分离或“NIPS”。

扩散诱导相分离工艺对于纺丝工艺参数以及制膜液变化极其敏感。因此，必须同时严格控制铸膜液制备和制膜工艺。只有通过使用具有高品质和最小批次差异性的聚合物才能实现这一点。

本文件将为您提供若干制备溶液的指南，以提高您的膜制备工艺稳定性和效率。

### 聚偏氟乙烯 含氟聚合物

聚偏氟乙烯 (PVDF) 是一种通过偏氟乙烯聚合而获得的半结晶聚合物。

苏威苏莱克斯公司提供了以 Solef 为商标名称的、利用悬浮聚合制造的各种聚偏氟乙烯均聚物和共聚物。使用乳液聚合法制成的聚偏氟乙烯均聚物使用 Hylar 商标名称进行销售。

苏威聚偏氟乙烯聚合物很容易溶解，并提供了各种各样理想的性能。特别是 Solef 聚偏氟乙烯聚合物已经在各种膜过滤应用中得到了过反的使用，这是由于具有以下显著特点：

- 卓越的韧性、抗冲击强度和耐磨性；
- 无与伦比的抗氯性；
- 在从 1 至 11 的 pH 值范围内具有稳定性；
- 非常低含量的不溶物质和高离子纯度；
- 卓越的抗紫外线能力和耐候性；
- 低含量的可萃取物质；
- 广泛的机构认证（如 NSF61, FDA, U.S.PVI 以及 UL 等）；
- 便于制成多孔微滤和超滤平板及中空纤维膜。

除了因其在膜应用中的卓越性能而在世界范围内得到广泛认可的聚偏氟乙烯均聚物之外，苏威苏莱克斯公司开发了多种多样的偏氟乙烯-六氟丙烯 (VF2 - HFP) 共聚物和偏氟乙烯-三氟氯乙烯 (VF2 - CTFE) 共聚物，以应对市场的具体需求。Solef 聚偏氟乙烯均聚物和共聚物的总体结构，以及某些常用的牌号在表 1 中予以显示。

## 分子量

Solef 均聚物具有若干个牌号，涵盖了广泛的分子量范围。每一个牌号的分子量分布很窄，可以提供受控制的溶液粘度，并使制膜液粘度的微调更加容易，从而最大限度地提高工艺稳定性。目前有两个系列的 Solef 均聚物产品：1000 系列和 6000 系列。这两个系列的产品在结晶度、分子量分布和颗粒密度方面稍有不同。

在表 2 中列出了各种 Solef 聚偏氟乙烯均聚物和共聚物膜的牌号，并提出了典型的分子量数据。所显示的分子量数据是通过在二甲基乙酰胺（DMAC）中的凝胶渗透色谱法而获得的，并采用聚苯乙烯标准进行校准。结果对于比较牌号是有益的。

## 聚偏氟乙烯溶解度

Solef 聚偏氟乙烯聚合物可以溶解在非质子极性溶剂中，如二甲基甲酰胺（DMF），二甲基乙酰胺（DMAC）和 N-甲基-2-吡咯烷酮（NMP）。在表 3 中显示了某些适用于这些材料的常用溶剂，其重量溶解度在 23°C 的条件下大于 10%。

表 2

Solef 聚偏氟乙烯牌号的标准分子量

| 均聚物      |     |     |        |       |
|----------|-----|-----|--------|-------|
| Solef 等级 | Mn* | Mw* | Mpeak* | Mw/Mn |
| 1010     | 153 | 352 | 237    | 2.3   |
| 1012     | 180 | 396 | 288    | 2.2   |
| 1013     | 194 | 434 | 292    | 2.2   |
| 1015     | 238 | 573 | 418    | 2.4   |
| 6008     | 135 | 255 | 209    | 1.9   |
| 6010     | 151 | 322 | 241    | 3.1   |
| 6012     | 179 | 380 | 296    | 2.1   |
| 6013     | 201 | 444 | 328    | 2.2   |
| 6020     | 313 | 687 | 574    | 2.2   |
| 共聚物      |     |     |        |       |
| 11008    | 127 | 268 | 190    | 2.1   |
| 21216    | 271 | 596 | 452    | 2.2   |

\* 克/摩尔 x 10<sup>3</sup>

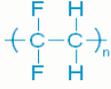
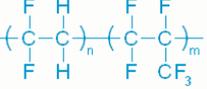
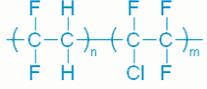
表 3

Solef 聚偏氟乙烯溶剂

| 溶剂                | Solef 聚偏氟乙烯均聚物 | Solef 聚偏氟乙烯共聚物 |
|-------------------|----------------|----------------|
| N, N-二甲基甲酰胺(DMF)  | X              | X              |
| N, N-二甲基乙酰胺(DMAC) | X              | X              |
| N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)  | X              | X              |
| 磷酸三乙酯(TEP)        | X              | X              |
| 二甲基亚砷             | X              | X              |
| 四氢呋喃(THF)         |                | X              |

表 1

苏威公司聚偏氟乙烯均聚物树脂和共聚物树脂

| 偏氟乙烯均聚物<br>聚偏氟乙烯  | 偏氟乙烯<br>六氟丙烯<br>共聚物<br>聚偏氟乙烯 - 六氟丙烯   | 偏氟乙烯<br>三氟氯乙烯<br>共聚物<br>聚偏氟乙烯 - 三氟氯乙烯   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Solef1010<br>Solef1013<br>Solef1015<br>Solef6012<br>Solef6020<br>Hylar 461          | Solef11008<br>Solef11010<br>Solef21508<br>Solef21216                                | Solef31008<br>Solef31508<br>Solef32008  |

## 溶解度范围

溶剂的极性对于聚偏氟乙烯均聚物和共聚物的溶解度具有很大的影响。由于结晶度较低，共聚物可溶于比均聚物更加广泛的溶剂当中。图 1 显示了 Solef1010 产品（聚偏氟乙烯均聚物）和 Solef21508 产品（聚偏氟乙烯共聚物）的最大溶解度。

## 溶液特性 Solef 聚偏氟乙烯

任何给定聚合物溶液的粘度都取决于各种参数，包括如图 2 至图 5 中所示的温度、聚合物浓度和溶剂。

### Solvent

图 1

在 23°C 下、在 100 克的溶剂中所溶解的 Solef 聚偏氟乙烯最大数量

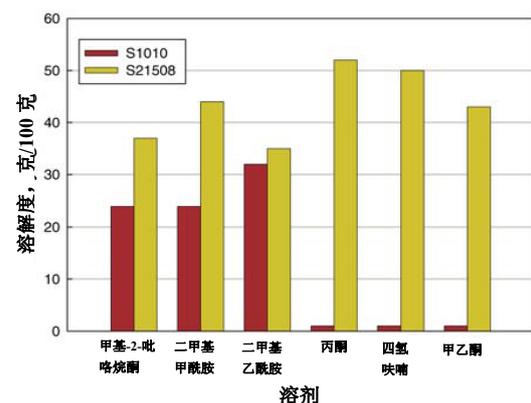


图 2

粘度随浓度与温度的变化

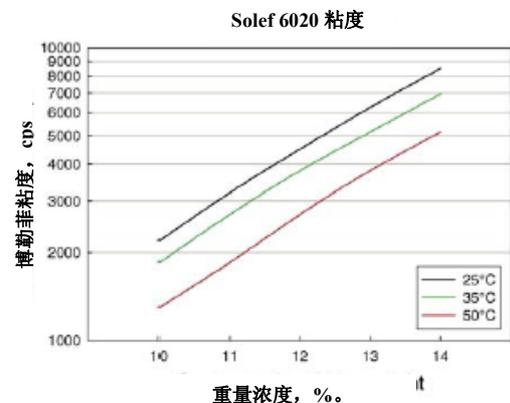


图 3

Solef 聚偏氟乙烯溶液的浓度

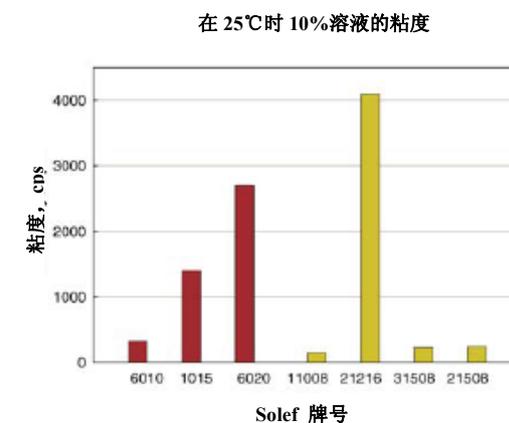


图 4

分子量和浓度对于 Solef 树脂溶液浓度的影响

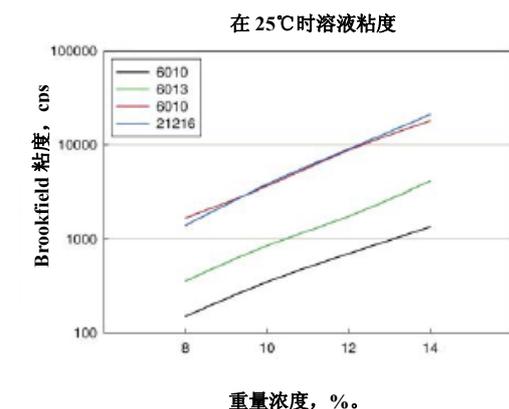
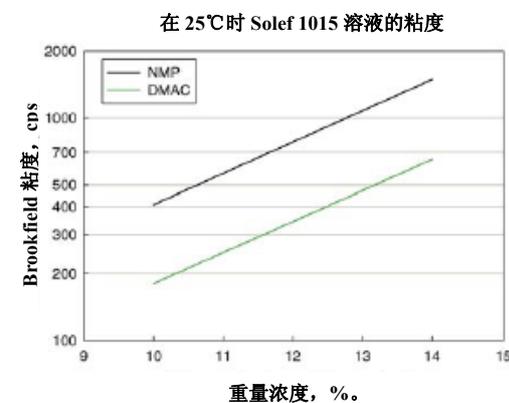


图 5

溶剂对于聚偏氟乙烯粘度的影响



特别是，聚偏氟乙烯的溶液通常会在较宽的剪切速率范围内表现出牛顿流体行为特性，如图6和图7中所示。只有具有极高粘度的溶液才会在高剪切速率下发生一定的偏离

图6

Solef1013 产品粘度与剪切速率的关系

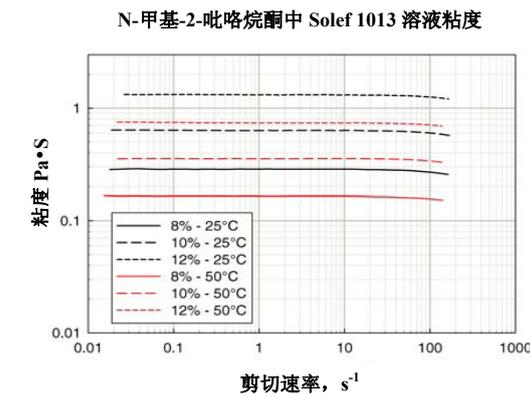
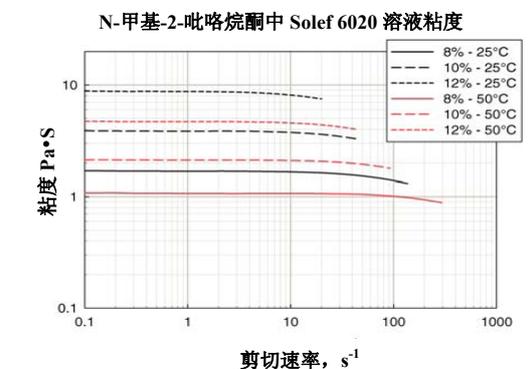


图7

Solef60210 产品粘度与剪切速率的关系

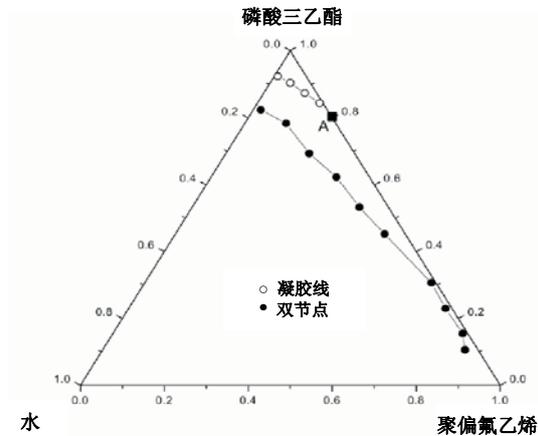


### Solef 聚偏氟乙烯相图

水是最常用的非溶剂，可以造成聚偏氟乙烯聚合物在膜形成的过程中析出。图8和图9分别给出了在聚偏氟乙烯和水分别在磷酸三乙酯和甲基吡咯烷酮溶剂中的三元相图。在铸膜液中的非溶剂浓度是另一个重要的参数，它可以控制聚合物析出的速率和最终膜形态。

图8

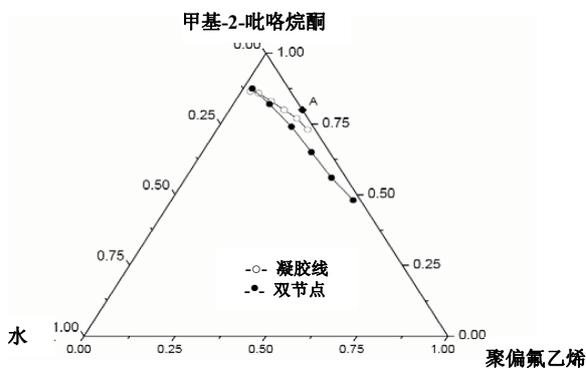
相图 - 磷酸三乙酯+聚偏氟乙烯



D. J. Lin et al., Desalination 145(2002) 25-29

图9

相图 - 甲基吡咯烷酮溶液+聚偏氟乙烯

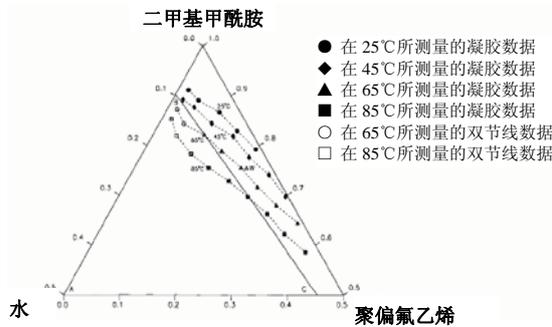


D. J. Lin et al., Tamkang Journal of Science and Engineering. Vol. 5 No. 2, pp 95-98 (2002)

图 10 显示了温度对二甲基酰胺体系的影响。

图 10

温度对于相平衡的影响



L. P. Chemg, *Macromolecules*, 32 (1999)6668-6674

砜类聚合物

砜类聚合物属于无定形热塑性塑料，它是由芳香单位（亚苯基）与砜、异亚丙基或醚基团组成。图 11 显示了 Udel 聚砜（PSU）、Gafone 聚醚砜（PESU）、和 Radel R 聚苯砜（PPSU）的化学结构。以聚合物重复单元为基准，聚醚砜（PESU）中砜基团含量最高。这种结构使得聚醚砜在商品砜类聚合物中具有最高的吸水率，并因此成为最亲水的砜类聚合物。

砜类聚合物之所以可广泛用于各种膜过滤应用，是其具有独一无二的组合特性，其中包括：

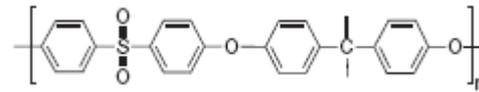
- 极高的机械强度和耐蠕变性；
- pH 2 至 13 范围内具有稳定性；
- 出色的耐水解和腐蚀性，及在适度氯浓度中的稳定性；
- 低含量可提取和不溶物；
- 出色的生物相容性
- 广泛的机构认证，其中包括国家卫生基金会、美国食品及药物管理局、美国药典第六级，美国保险商实验所认证等）；
- 耐蒸汽、伽马射线和环氧乙烷灭菌方法
- 便于制备微孔过滤，超滤中空纤维膜和平板膜，孔径大小及分布高度可控。

表 5

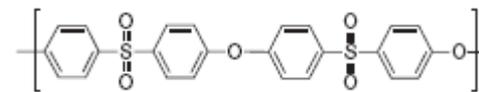
图 11

砜类聚合物的化学结构

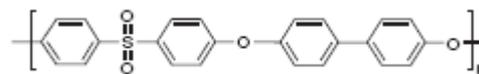
聚砜  $T_g = 190^\circ\text{C}$



聚醚砜  $T_g = 220^\circ\text{C}$



聚苯砜  $T_g = 220^\circ\text{C}$



分子量和溶液粘度

类似于聚偏氟乙烯聚合物，苏威公司可提供不同分子量，等级的砜类聚合物。每一等级都具有狭窄的分子量分布，因而使得铸膜液粘度可控，且微调铸膜液及优化过程稳定性简易可行。表 4 给出了所选择的、用于制膜的砜类聚合物典型溶液粘度。

表 4

选定砜类聚合物溶液粘度\*

| 聚合物牌号                | 溶液粘度范围, cP |
|----------------------|------------|
| Udel® P-1700 LCD     | 1400-2200  |
| Udel® P-3500 LCD     | 1750-2550  |
| Udel® P-3500 LCD MB3 | 2200-3000  |
| Udel® P-3500 LCD MB7 | 2000-2800  |
| Udel® P-3500 LCD MB8 | 2400-3200  |
| Gafone™ 3000P        | 1225-1650  |
| Gafone™ 3100P        | 700-900    |
| Gafone™ 3200P        | 420-550    |

\* 25%的固含量，溶剂：二甲基乙酰胺，40°C

表 5 列出了一些选定的用于制备膜材料的苏威砜类聚合物等级，并给出了分子量数据。所显示的分子量数据是依照美国材料实验协会第 D 5296-05 号方法、通过凝胶渗透色谱法而获得的。

选定砜树脂的典型分子量

| 砜树脂                  | Mn* | Mw*   |
|----------------------|-----|-------|
| Udel® P-1700 LCD     | 21  | 67-72 |
| Udel® P-3500 LCD     | 22  | 75-81 |
| Udel® P-3500 LCD MB3 | 22  | 78-84 |
| Udel® P-3500 LCD MB7 | 22  | 77-83 |
| Udel® P-3500 LCD MB8 | 23  | 80-86 |
| Gafone™ 3000P PESU   | 19  | 62-64 |
| Gafone™ 3100P PESU   | 17  | 52-55 |
| Gafone™ 3200P PESU   | 16  | 45-47 |
| Radel® R-5000 PPSU   | 22  | 52-55 |
| Radel® R-5500 PPSU   | 24  | 55-59 |

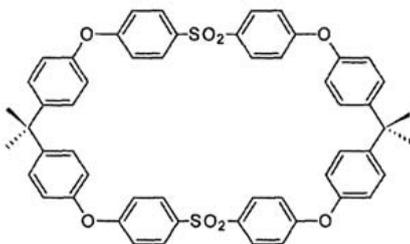
\* 克/摩尔 x 10<sup>3</sup>

### 环状低聚物

在聚砜的生产过程中，通常都会发生副反应，从而产生少量的环状低聚物。这些低聚物或环状分子比线性结构的分子具有更低的溶解度。图 12 中显示了主要的环状物，二聚体的化学结构。

图 12

环状二聚体结构



苏威对制造过程进行了严格的控制，以尽量减少环状低聚物的形成。对于某些聚砜膜的应用，特别是精细中空纤维膜的生产，业已发现，使用苏威低环状二聚体 (LCD) Udel 牌号的聚砜，可增加制膜液稳定，并防止过滤器堵塞和喷丝头污染。使用 Udel 低环状二聚体等级也有助于减少纤维断裂以及膜表面缺陷。

通常，环状二聚体在 UdelP-3500 LCD 中的含量大约为 1.1%。制造聚醚砜和聚苯砜所使用的工艺本身都具有低量环状低聚物的特点。

### 溶解度

砜类聚合物可以溶解于非极性溶剂当中，如二甲基甲酰胺、二甲基乙酰胺和 N-甲基-2-吡咯

烷酮。Udel 聚砜也可以溶解于许多其他溶剂当中。Radel R 聚苯砜是最难以溶入溶液当中的，通过使用研磨的聚合物和略为提高了的温度可有助于溶解 Radel R。表 6 列出了某些适用于这些材料的普通溶剂，其中的重量溶解度在 23°C 的条件下大于 10%。

表 6

用于膜生产的砜类聚合物溶剂

| 溶液                   | Udel 聚砜 | Gafone 聚醚砜 | Radel R 聚苯砜 |
|----------------------|---------|------------|-------------|
| N, N - 二甲基甲酰胺 (DMF)  | X       | X          | X           |
| N, N - 二甲基乙酰胺 (DMAC) | X       | X          | X           |
| N-甲基-2-吡咯烷酮 (NMP)    | X       | X          | X           |
| 四氢呋喃 (THF)           | X       |            |             |

各种砜类聚合物溶液的粘度各有不同，并受到聚合物浓度的严重影响，并在较小的程度上受到溶剂类型的影响，如图 13 和图 14 所示。

图 13

聚合物浓度与砜类聚合物粘度的函数关系

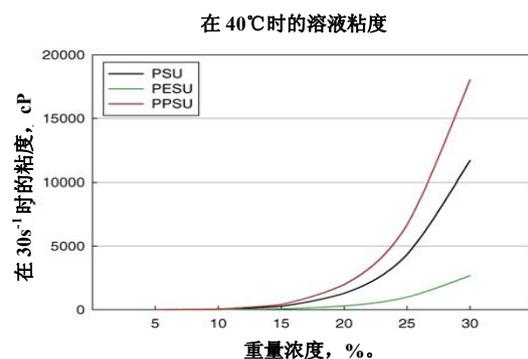
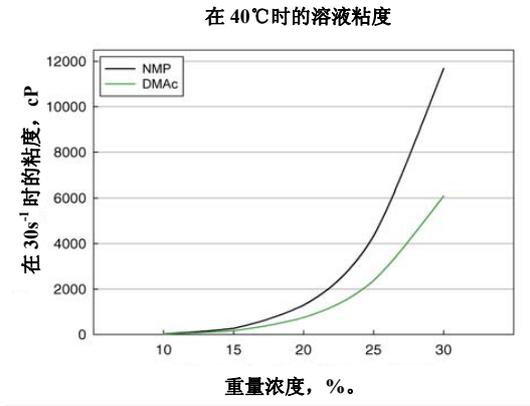


图 14

聚合物浓度与不同溶剂中的 Udel P-3500 LCD 聚砜粘度函数关系

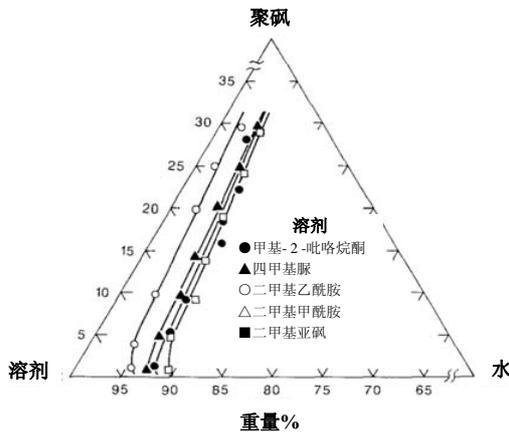


砜类聚合物相平衡

在图 14 和图 15 中显示了在各种溶剂-水体系中聚砜和聚醚砜的相平衡。

图 14

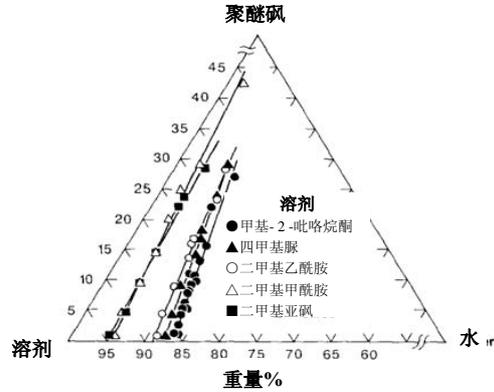
各种溶剂中的聚砜/水体系聚合物析出曲线, 25℃



W.W.Y.Lau, 医学博士 Guiver 和 T.松浦, 膜科学杂志, 59 (1991 年) 219-7

图 15

各种溶剂中的聚醚砜/水体系聚合物析出曲线, 25℃



W.W.Y.Lau, 医学博士 Guiver 和 T.松浦, 膜科学杂志, 59 (1991 年) 219-7

溶液的制备

一般准则

溶剂的选择是铸膜液配制中的一个基本的、非常重要的因素。为了达到纺丝工艺的稳定, 必须选择高纯度、含水量低的溶剂。如果使用了溶剂回收系统, 则应当定期监测溶剂的纯度, 并确保回收系统工作正常。

为了优化铸膜液的粘度, 建议选择最合适的高分子量聚合物, 并要严格控制工艺参数。高分子量聚合物会导致溶液粘度较高, 并且需要较长时间进行溶解。但是也可能需要较高分子量的聚合物, 以确保在加工过程中的新生膜或在使用中的成品膜具有足够的强度。

Solef 聚偏氟乙烯、Udel 聚砜、Gafone 聚醚砜、和 Radel 聚苯砜与各种成孔剂相兼容, 如聚乙烯吡咯烷酮 (PVP) 和聚乙二醇 (PEG)。这些添加剂也可以提高成品膜的亲水性。

当使用高分子量 PVP 作为制孔剂时，应格外小心。这是因为 PVP 敏感于自由基降解。所以选择低氧化物含量及包装在惰性材料中的 PVP 可增加铸膜液粘度稳定性。选择低凝胶及低不溶物含量的 PVP 也可有效减少过滤堵塞及膜缺陷。

在制备膜聚合物溶液时，应当将聚合物缓慢添加到溶剂当中，同时进行搅拌。添加过快可能会导致形成聚集体，这将会需要更长的时间去溶解。搅拌器的几何形状、搅拌速度，以及温度都会影响聚合物溶解所需要的时间。

聚合物（基本聚合物、成孔剂、添加剂等）应在氮气下溶解，以尽可能的保持制膜液粘度的稳定。如果在配置中使用了高分子量的聚乙烯吡咯烷酮，则这一点是非常关键的。建议将制膜液在氮气条件下贮存，并且应当在制备好之后的 48 小时内使用，以尽量减少溶液粘度的变化。

推荐的制膜溶液方法总结如下：

- 待聚合物完全溶解后再加入添加剂；
- 将聚合物缓慢添加到溶剂中，同时搅拌溶液；
- 搅拌器的几何形状和搅拌速度会影响到溶解的时间；
- 对溶液进行加热，以缩短溶解时间；温度的上限将取决于溶剂；
- 使用干燥的溶剂和干燥的环境，并考虑充氮；
- 使用纯溶剂，并避免盐或碱的污染；
- 在制备好的 24 – 48 个小时之内使用溶液。

## 具体材料处理准则

### Solef®聚偏氟乙烯

使用粉末状的 Solef 聚偏氟乙烯，因为它所用的溶解时间较少。将溶液温度提高到 70-80°C（取决于溶剂）将减少溶解聚偏氟乙烯的时间。如果溶剂含有少量的腐蚀性物质，溶液可能会脱色。这种现象不会影响聚偏氟乙烯的性能，也不会影响最终膜的性能。

## 砒类聚合物

标准球状的 Udel 聚砒很容易溶解在二甲基乙酰胺和 N -甲基- 2 -吡咯烷酮中，而粒状的聚醚砒和聚苯砒的溶解速度要快得多。

通过某些溶剂，可以使用高达 100°C 的温度来溶解 Radel R 聚苯砒，制膜液通常都是非常粘稠的，所以使用挡板不会提高溶液的制备。转速可达 500 转/分钟的标准三片叶轮搅拌器可用以溶解材料。

如果聚乙烯吡咯烷酮作为制膜液的组成部分，则我们建议使用由苏威先进聚合物所提供的特殊 Udel LCD 等级，因其与聚乙烯吡咯烷酮的兼容性有所改善。

## 管理机构认证

苏威公司致力于通过全球的机构和规范来保持和提升我们的状况。由苏威的膜聚合物所持有的管理机构认证包括：

### 砒类聚合物

- 美国食品及药物管理局《联邦规章典籍》第 21 篇第 177.2440 部分和第 177.1560 部分；
- ISO 10993 标准；
- 国家卫生基金会（NSF）的第 51 号标准和第 61 号标准；
- 欧洲委员会指令第 90/128/EEC 项及其修正案。

### 聚偏氟乙烯聚合物

- FDA 21 CFR 177.2510 和 EU 2002/27/EC；
- NSF STD 51, NSF STD 61, WRAS(UK), KTW(D) W270(D)
- U.S. Pharmacopeia(U.S.P) Class VI。

不同牌号的法规符合情况有所不同。如需最新相关信息请与苏威公司代表联系。

## 参考文献

### 概要

1. 贝克.R.W., 膜技术与应用, 第二版, 约翰威利父子有限公司, 2004年。
2. 穆尔德.M., 膜技术基本原理, 第二版, 克鲁威尔学术出版社, 1996年。

### 砜类聚合物

3. “聚砜中空纤维。纺纱和性能属性”。卡巴索, E.克莱因和 J.K.史密斯; 实用聚合物科学学刊, 20, 2377-2394, 1976年。
4. “从火棉到聚砜 - 透析膜的简史”, Nieren 与 Hochdruckkrankheiten, 32(6), 263-273, 2003年(费森尤斯医疗用品, 德国)。
5. “PVP 添加剂对通过浸泡析出法配置多孔聚砜膜的影响”, H. 松山, T. 牧, M.寺木, K.小林; 科学技术。2003年, 38 3449-3458。
6. “在制备聚砜膜的相倒置过程中平衡热力增强和动力学障碍之间的平衡”, K-W. 李, B-K.苏, S-T.南 M-J.韩; 海水淡化 2003年, 159 289-296。
7. “聚砜/溶剂/水和聚醚砜/溶剂/水系统中的相分离”, W.W.Y.刘, 医学博士 Guiver 和 T.松浦; 膜科学杂志。59, 219-227, 1991年。
8. “聚砜中空纤维膜的形态和性能”, S-H 李, J-J 金和 U.Y.金; 聚合物科学学刊。49, 539-548, 1993年。
9. “在聚砜中空纤维超滤膜纺织中的孔径控制技术”, S.土井和 K 滨田; 海水淡化, 80, 167-180, 1991年。
10. “通过将聚乙烯乙二醇添加到涂料和孔液溶液中而对形态受控聚醚砜中空纤维膜进行表征”, Y.刘, G.H.库普斯, 和 H.施特拉特曼; 膜科学杂志。2003年, 223 187-199。
11. “聚乙烯乙二醇分子量和浓度对聚醚砜中空纤维超滤膜的影响”, 华东理工大学化学工程技术研究中心, 应用高分子科学学报, 第 91 期, 3398 (2004年)。
12. “含硫聚合物: 聚砜”, M.贾迈勒 埃尔-希布里, 柯克-奥思默化工技术百科全书, 第四版, 第 19 卷, 约翰威利父子。1996年。

### 聚偏氟乙烯聚合物

13. “相转化制聚偏氟乙烯膜: 铸造和凝结条件在其形态、晶体结构与性能方面所发挥的作用”, M.G.博诺门纳, P.马基, M.达沃利, E.德廖利, 欧洲聚合物杂志, 43, 1557-1572 (2007年)。
14. “铸液添加剂对聚偏氟乙烯膜形成的影响”, E.丰塔纳诺娃, J.C.扬森, A.克里斯蒂亚诺, E.柯西奥, E.德廖利; 海水淡化, 192, 190-197 (2006年)。
15. “温度对通过从 1-辛醇/二甲基甲酰胺/聚偏氟乙烯和水/二甲基甲酰胺/聚偏氟乙烯系统析出而形成的微孔聚偏氟乙烯膜的影响”, L.P.程, 高分子, 32, 6668-6674 (1999年)。
16. “聚合非对称膜内的相分离、玻璃化、以及大孔的体现”, S.A.麦基利, W.J.克勒什, 膜科学学刊, 112, 29-39 (1996年)。
17. “相转化膜中的微观结构。第 1 部分。大孔的形成”, C.A.斯末德尔, A.J.罗弗斯, R.M.布姆, I.M.温克, 膜科学学刊, 73, 259-275 (1992年)。
18. “相转化膜中的微观结构。第 2 部分。聚合物添加剂的作用”, R.M.布姆, I.M.温克, T.范登布姆加德, C.A.斯末德尔, 膜科学学刊, 73, 277-292 (1992年)。
19. “论水-N-甲基-2-吡咯烷酮-聚偏氟乙烯系统中通过相转化制备的多孔聚偏氟乙烯膜的结构”, D.J.林, C.L.张, T.C.陈, L.P.程, 淡江理工学刊, 5, 95-98 (2002年)。
20. “聚偏氟乙烯/溶剂/添加剂/水系统的等温相图和相转化行为”, M.L.尤, Y.T.刘, K.李, 高分子科学应用杂志, 90, 2150-2155 (2003年)。
21. “从水/N-甲基-2-吡咯烷酮/聚偏氟乙烯系统中通过相转变制备的聚偏氟乙烯膜精细结构”, D.J.林, C.L.张, T.C.陈, L.P.程, 聚合体科学学刊 B, 42, 830-842 (2004年)。
22. “纳米氧化铝 ( $Al_2O_3$ ) 改性聚偏氟乙烯 (PVDF) 超滤膜的制备及其防污研究”, L.严, Y.S.李, C.B.项, 聚合物, 46, 7701-7706 (2005年)。
23. “基于相行为和传质模型、通过扩散致相分离形态的预测而形成聚偏氟乙烯膜”, L.P.程, D.J.林, C.H.施, A.-H.段, C.C.格瑞特, 聚合体科学学刊 B, 37, 16, 2079-2092 (1999年)。

24.“从水/磷酸三乙酯/聚偏氟乙烯系统通过浸没析出而形成微孔聚偏氟乙烯膜”，D.-J.林，

C.-L.张，T.-C.陈，L.-P.程，海水淡化，145，25-29（2002年）。

---

#### 苏威先进聚合物公司

美国佐治亚州阿尔法瑞塔市，  
麦金尼斯渡口路 4500 号，邮政编码  
30005-3914  
电话：+ 1.770.772.8200  
+ 1.800.621.4557（仅限美国）

#### 苏威苏莱克斯公司

意大利波拉特市（米兰）  
伦巴第大街 20 号，邮政编码 20021  
电话：+ 39 02 3835 1

#### 苏威苏莱克斯有限公司

美国新泽西州西德普特福特市  
莱昂纳德路 10 号  
电话：+ 1 856 853-8119

苏威高性能塑料有限公司和苏威苏莱克斯有限公司在世界各地拥有许多办公地点。请访问我们的网站 [www.solvaymembranes.com](http://www.solvaymembranes.com) 以确定离您最近的办事处地址。

#### 健康与安全信息

根据您的要求，您的苏威销售代表可以为您提供产品的材料安全数据表（MSDS）。在使用任何您的产品之前，始终都要查询适当的材料安全数据表。

所有的商标和注册商标都是苏威先进聚合物公司或苏威苏莱克斯公司，或苏威苏莱克斯有限公司（苏威公司子公司）的财产。

---

就我方实际了解，本文中所包含的信息截止到本文件发布之日都是准确的。不过，无论苏威先进聚合物有限责任公司或其任何分支机构都不会对使用（包括适销性或适用性）作出任何明示性或暗示性担保，或承担与该信息或其使用相关的任何责任。具有熟练技术的人员可以根据其酌情权并自行承担风险使用此信息。该信息并不涉及本产品与任何其他物质或任何其他工艺相结合而进行的应用。该信息并非根据任何专利或其他专有权利进行的授权。用户必须独自最终确定任何信息或任何材料对于任何预期用途、使用方式的适用性、以及是否侵犯了任何专利权。本信息只给出了标准的特性，并不用于技术规范之目的。苏威先进聚合物有限责任公司有权在未作出任何预

---

先通知的情况下，在任何时间对本信息作出补充、删除、或修改。