

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

B01D 61/00

B01D 63/00

C02F 1/44



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03813040.8

[43] 公开日 2005年8月24日

[11] 公开号 CN 1658957A

[22] 申请日 2003.6.4 [21] 申请号 03813040.8

[30] 优先权

[32] 2002.6.4 [33] US [31] 60/386,032

[86] 国际申请 PCT/US2003/017527 2003.6.4

[87] 国际公布 WO2003/101575 英 2003.12.11

[85] 进入国家阶段日期 2004.12.6

[71] 申请人 GE 奥斯莫尼克斯公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 史蒂文·D·克洛斯

菲利普·M·罗尔奇戈

克里斯托弗·J·库尔思 孔宪嘉

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 马高平 杨 梧

权利要求书7页 说明书15页 附图2页

[54] 发明名称 膜器件和器件组成部分

[57] 摘要

一种包括由渗透载体分隔的第一薄片和第二薄片的膜器件，所述薄片由两个单独的片或者一个折叠的片构成。膜器件利用对流动具有低阻力的渗透载体材料，因此提供改进的流量和减少的盐通过率。

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种膜器件, 包括:  
一第一膜片和一第二膜片, 由一 H 值为约 0.045 大气压-秒/克或更低的一渗透载体分隔, 其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下, 所述膜器件能够滤除 500ppm 的  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至少 50% 的  $MgSO_4$ 。
2. 根据权利要求 1 所述的器件, 其中所述 H 值为约 0.040 大气压-秒/克或更低。
3. 根据权利要求 1 所述的器件, 其中所述 H 值为约 0.035 大气压-秒/克或更低。
4. 根据权利要求 1-3 中任意一项所述的器件, 其中所述渗透载体的厚度为约 0.013 英寸或更小。
5. 根据权利要求 1-3 中任意一项所述的器件, 其中所述渗透载体的厚度为约 0.020 英寸或更小。
6. 根据权利要求 1-3 中任意一项所述的器件, 其中所述渗透载体的厚度为约 0.025 英寸或更小。
7. 根据权利要求 1-6 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的 A 值为约 15 或更小。
8. 根据权利要求 1-6 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的 A 值为约 15-25。
9. 根据权利要求 1-6 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的 A 值为约 25-40。
10. 根据权利要求 1-6 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的 A 值为约 40 或更大。
11. 根据权利要求 1-6 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的 A 值为约 30。
12. 根据权利要求 1-11 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和所述第二膜片限定一薄片, 其中所述薄片的长度为约 3 英尺或更小。
13. 根据权利要求 1-11 中任意一项所述的器件, 其中所述第一膜片和

所述第二膜片限定一薄片，其中薄片的长度为约 3 英尺到 5 英尺。

14. 根据权利要求 1-11 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片限定一薄片，其中所述薄片的长度为约 5 英尺到 15 英尺。

15. 根据权利要求 1-11 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和  
5 所述第二膜片限定一薄片，其中所述薄片的长度为约 15 英尺或更大。

16. 根据权利要求 1-15 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的 $\beta$ 值为约 0.98 或更大。

17. 根据权利要求 1-15 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的 $\beta$ 值为约 0.95 到约 0.98。

10 18. 根据权利要求 1-15 中任意一项所述的器件，其中膜器件的 $\beta$ 值为约 0.90 到约 0.95。

19. 根据权利要求 1-15 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的 $\beta$ 值为约 0.85 到约 0.90。

15 20. 根据权利要求 1-15 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的 $\beta$ 值为约 0.50 到约 0.85。

21. 一种膜器件，包括：

一第一膜片和一第二膜片，由一 H 值为 0.030 大气压-秒/克或更低和一厚度为约 0.025 英寸或更小的一渗透载体分隔，其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下，所述膜器件  
20 能够滤除 500ppm 的  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至少 50% 的  $MgSO_4$ 。

22. 一种膜器件，包括：

一第一膜片和一第二膜片，由一 H 值为 0.070 大气压-秒/克或更低和一厚度为约 0.015 英寸或更小的一渗透载体分隔，其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下，所述膜器件  
25 能够滤除 500ppm 的  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至少 50% 的  $MgSO_4$ 。

23. 一种膜器件，包括：

一第一膜片和一第二膜片，由一 H 值为 0.10 大气压-秒/克或更低和一厚度为约 0.013 英寸或更小的一渗透载体分隔，其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下，所述膜器件  
30 能够滤除 500ppm 的  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至少 50% 的  $MgSO_4$ 。

24. 一种膜器件，包括：

一第一膜片和一第二膜片，由一 H 值为 0.05 大气压-秒/克或更低、一厚度为约 0.021 英寸或更小的一渗透载体分隔，其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下，所述膜器件能够滤除 500ppm 的  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至少 50% 的  $MgSO_4$ 。

- 5        25. 根据权利要求 21-24 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的所述 A 值为约 15 或更小。
26. 根据权利要求 21-24 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的所述 A 值为约 15-25。
27. 根据权利要求 21-24 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和  
10 所述第二膜片中每一个的所述 A 值为约 25-40。
28. 根据权利要求 21-24 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的所述 A 值为约 40-60。
29. 根据权利要求 21-24 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片中每一个的所述 A 值为约 60 或更大。
- 15        30. 根据权利要求 21-29 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片限定一薄片，其中所述薄片的长度为约 3 英尺或更小。
- 31 根据权利要求 21-29 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片限定一薄片，其中所述薄片的长度为约 3 英尺到 5 英尺。
32. 根据权利要求 21-29 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和  
20 所述第二膜片限定一薄片，其中所述薄片的长度为约 5 英尺到 15 英尺。
33. 根据权利要求 21-29 中任意一项所述的器件，其中所述第一膜片和所述第二膜片限定一薄片，其中所述薄片的长度为约 15 英尺或更大。
34. 根据权利要求 21-33 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的  $\beta$  值为约 0.98 或更大。
- 25        35. 根据权利要求 21-33 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的  $\beta$  值为约 0.95 到 0.98。
36. 根据权利要求 21-33 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的  $\beta$  值为约 0.90 到 0.95。
37. 根据权利要求 21-33 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的  $\beta$   
30 值为约 0.85 到 0.90。
38. 根据权利要求 21-33 中任意一项所述的器件，其中所述膜器件的  $\beta$

值为约 0.50 到 0.85。

39. 一种家用反渗透系统, 包括:

一单薄片螺旋缠绕形膜元件, 其包括由一渗透载体分隔的一第一膜片和一第二膜片, 其中所述螺旋缠绕形膜元件的一直径为约 2.0 英寸或更小, 一长度为约 12 英寸或更小, 其中当在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下, 利用 500ppm 的 NaCl DI 水溶液进行测试时, 所述膜器件适合于具有至少 150 加仑每天的一渗透流速。

40. 根据权利要求 39 所述的系统, 其中每个膜片的一 A 值为约 25 或更大。

41. 根据权利要求 39 或 40 所述的系统, 其中所述系统的一净驱动压力为约 30psi 或更低。

42. 根据权利要求 39-41 中任意一项所述的系统, 其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下, 利用 500ppm 的 NaCl DI 水溶液进行测试时, 所述器件的 NaCl 滤除率为至少 90%。

43. 一种无容器家用反渗透系统, 包括:

一膜器件, 包括一单薄片结构, 所述单薄片结构包括由一渗透载体分隔的一第一膜和一第二膜, 其中所述膜器件的一长度为约 20 英寸或更小, 每个膜的一 A 值为约 25 或更大, 其中所述膜器件的一 $\beta$ 值为至少约 0.60。

44. 根据权利要求 43 的系统, 其中所述 $\beta$ 值为至少约 0.80。

45. 根据权利要求 43 或 44 所述的系统, 其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下, 利用 500ppm 的 NaCl DI 水溶液进行测试时, 所述器件具有至少 90% 的 NaCl 滤除率。

46. 一种高流量家用反渗透系统, 包括:

一膜器件, 包括一单薄片结构, 所述单薄片结构包括由一渗透载体分隔的一第一膜和一第二膜, 其中所述膜器件的一外径为约 2.0 英寸或更小, 一长度为约 12 英寸或更小, 其中所述膜器件的一 $\beta$ 值为至少约 0.90, 一 A 值为约 25 或更大。

47. 根据权利要求 46 所述的系统, 其中所述膜器件的 $\beta$ 值为至少 0.95。

48. 一种膜器件, 包括:

一个或多个薄片, 每个薄片包括由一渗透载体分隔的一第一膜片和一第二膜片, 所述一个或多个薄片的一总表面面积为至少 350 平方英尺, 其

中所述元件薄片的长度大于 42”，其中每个膜片的一 A 值为约 25 或更大；  
和

其中所述膜元件的一  $\beta$  值为至少 0.82；

其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77  
5 °F 的温度的条件下，膜器件能够滤除 500ppm 的  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至少  
50% 的  $MgSO_4$ 。

49. 根据权利要求 48 所述的膜器件，其中所述膜器件的外径小于或等  
于约 8 英寸。

50. 根据权利要求 48 或 49 所述的膜器件，其中所述一个或多个薄片  
10 中每一个的所述长度为约 5 英尺或更大。

51. 根据权利要求 48-50 中任意一项所述的膜器件，其中所述膜器件的  
 $\beta$  值为至少 0.90。

52. 根据权利要求 48-51 中任意一项所述的膜器件，其中每个膜片的 A  
值为约 25-35。

53. 根据权利要求 48-51 中任意一项所述的膜器件，其中每个膜片的 A  
15 值为约 35-60。

54. 根据权利要求 48-51 中任意一项所述的膜器件，其中每个膜片的 A  
值为约 60 或更大。

55. 根据权利要求 48-54 中任意一项所述的膜器件，其中所述膜器件包  
20 括 16 个或更少的薄片。

56. 根据权利要求 48-54 中任意一项所述的膜器件，其中所述膜器件包  
括 4 个或更少的薄片。

57. 一种膜器件，包括：

一个或多个薄片，每个薄片包括由一渗透载体分隔的一第一膜片和一  
25 第二膜片，所述一个或多个薄片的一总表面面积为 60 到 125 平方英尺之间，  
其中所述元件薄片长度大于 42”，其中每个膜片的一 A 值为约 25 或更大；  
和

其中所述膜元件的一  $\beta$  值为至少 0.82；

其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77  
30 °F 的温度的条件下，所述膜器件能够滤除 500ppm  $MgSO_4$  DI 水溶液中的至  
少 50% 的  $MgSO_4$ 。

58. 根据权利要求 57 所述的膜器件, 其中所述膜器件的外径小于或等于约 4 英寸。

59. 根据权利要求 57 或 58 所述的膜器件, 其中所述一个或多个薄片

5 60. 根据权利要求 57 所述的膜器件, 其中所述器件包括一到四个薄片。

61. 根据权利要求 57-60 中任意一项所述的膜器件, 其中所述膜元件的  $\beta$  值为至少约 0.90。

62. 根据权利要求 57-61 中任意一项所述的膜器件, 其中每个膜片的 A 值为约 25-35。

10 63. 根据权利要求 57-61 中任一权利要求的膜器件, 其中每个膜片的 A 值为约 35-60。

64. 根据权利要求 57-61 中任意一项所述的膜器件, 其中每个膜片的 A 值为约 60 或更大。

65. 一种膜器件, 包括:

15 一个或多个薄片, 每个薄片包括由一渗透载体分隔的一对膜片, 其由两个单独的片或者一个折叠的片构成, 所述膜元件的一外径大于 8", 其中元件薄片长度大于 42", 其中每个膜片的一 A 值为约 25 或更大; 和其中所述膜元件的一  $\beta$  值为至少 0.82, 其中在 65psi 的施加压力、10cm/s 的平均供给通道横向流动速度和 77°F 的温度的条件下, 所述膜器件能够滤除 500ppm

20 的  $\text{MgSO}_4$  DI 水溶液中的至少 50% 的  $\text{MgSO}_4$ 。

66. 根据权利要求 65 所述的膜器件, 其中所述元件的外径大于或等于 12"。

67. 根据权利要求 65 或 66 中任意一项所述的膜器件, 其中所述一个或多个薄片

25 68. 根据权利要求 65-67 中任意一项所述的膜器件, 其中所述膜元件的  $\beta$  值为至少 0.90。

69. 一种包括一单薄片结构的膜器件, 所述单薄片结构包括由一渗透载体分隔的一对膜片, 其由两个单独的片或者一个折叠的片构成, 其中所述膜元件的一长度为约 20 英寸或更小, 所述膜的一 A 值为约 25 或更大,

30 其中所述薄片长度为至少 8 英寸, 其中所述膜元件的一  $\beta$  值为至少 0.75。

70. 一种包括一双薄片结构的膜元件, 每个薄片包括由一渗透载体分

隔的一对膜片，其由两个单独的片或者一个折叠的片构成，其中所述膜元件长度为约 20 英寸或更小，所述膜的一 A 值为约 25 或更大，其中每个薄片长度为至少 3.5 英尺，其中所述膜元件的一 $\beta$ 值为至少 0.75。

71. 根据权利要求 70 所述的膜元件，其中所述元件包括一外径约 3.25 英寸或更小的一螺旋缠绕形结构。

72. 根据权利要求 70 所述的膜元件，其中所述膜元件的一盐保留率为至少 90%。

73. 根据权利要求 70 所述的膜元件，其中所述膜片的 A 值为约 30 到 40。



## 膜器件和器件组成部分

## 5 相关申请

本申请依据 35USC119(e) 要求于 2002 年 6 月 4 日提交的美国临时申请、系列号为 60/386,032 的优先权，其在被引用作为参考。

## 背景技术

10 反渗透 (RO)，纳米过滤 (NF)，和超滤 (UF) 为压力驱动膜工艺的一些例子。膜一般以在其中使用它们的工艺命名。

RO、NF 和 UF 膜最普通的构型为平板形式。平板通常由连续工艺制成，并且通常厚度在 4 密耳和 20 密耳之间，宽度在 6”和 70”之间。平板膜可以用于多种构型，包括用于压力传感器、板框系统和螺旋缠绕形膜元件利用  
15 平板 RO、NF 或 UF 膜的器件的最普通形式为螺旋缠绕形元件。螺旋缠绕形元件由与供给衬垫材料 (a feed space material) 一起围绕一个中心管缠绕的薄片 (leaf) 或者薄片的组合构成。螺旋缠绕形膜元件在 Bray (US 3417870) 和 Lien (US 4802982) 的专利中有所描述，这两篇文献的整个内容在被引用作为参考。

20 如参考文献中所述，“薄片”为具有渗透载体 (permeate carrier) 的两片膜的组合，其中渗透载体放置在膜之间。两个膜片之间的区域称为渗透通道。将薄片外壳密封以隔离渗透通道，渗透通道的一部分没有密封以便允许渗透流体的去除。例如，在螺旋缠绕形膜元件中，一般将薄片的三侧密封，而薄片的第四侧一般与渗透管连接。薄片长度定义为渗透流至渗透收  
25 集通道的最长直线距离。

螺旋缠绕形膜元件的制造相对便宜。单薄片膜元件的制造比包含多个薄片的膜元件的制造更简单且成本更低。用于膜元件的每个附加薄片减小了可以放置在特定尺寸的元件中的面积的最大量，这是因为附加薄片要求附加的胶缝，也因为薄片在渗透管处的一般的折痕 (fold) 通常被封闭，并且  
30 所述附加薄片可以造成有效膜面积的损失。进一步，膜元件中的附加薄片

使元件损坏的可能性更大，这是因为在元件制造过程中不适当的放置以及因为较大的量薄片使得制造均匀圆形的元件更加困难。

工业反渗透应用一般在相当高的压力下运行。例如，海水淡化一般要求 600psi 到 900psi 的操作压力。由于海水的~350psi 的渗透压和“海水 RO”膜相对低的渗透率，因此要求高的操作压力。一般的“微咸水” RO 膜在 200psi 到 300psi 之间的施加压力下运行。在过去的几年中，某些膜公司已经开发出“低压”反渗透膜，其产生的渗透率比一般的“微咸水” RO 膜高约 70%。低压 RO 膜一般在 120-180psi 下操作。这种膜的一个例子为由 Osmonics 公司制造的 Desal AK 膜。

家用反渗透 (HRO) 应用一般由室内的供水管道中的压力驱动。在美国，该压力一般为大约 60psi。在其他国家，该压力可以低到大约 20psi。在一些情况下，压力泵用于增加家用反渗透中的驱动压力，尽管最大驱动压力通常不大于 75psi-125psi。一般的家用反渗透膜元件的直径为 1.6"-1.9"，长度为 12" (10" 的膜，具有从其每端伸出一英寸的渗透管)。因此，可以放置在一般家用反渗透膜元件中的膜量为用于包括渗透载体的元件结构的材料的厚度的函数。

最近，已经制备出超高流量 RO 膜，其提供的水渗透率接近微咸水 RO 膜渗透率的三倍，并提供比业已制备出的“低压” RO 膜大出约 75% 的渗透率。称为 AN 膜的超高流量 RO 膜在 2002 年 3 月 1 日提交的系列号为 60/360, 696 的美国临时专利申请和 2003 年 3 月 3 日提交的申请号 PCT/US03/06587 的 PCT 申请中公开，这些文献的整个内容在此被引用作为参考。由于其极高的纯水渗透率，AN 膜将最适合在 40psi 到 80psi 的压力范围中操作。

渗透载体为螺旋缠绕形膜元件的重要部分。其功能在于为渗透提供一个在其上通过流至渗透管的通道。渗透载体必须能够有效地抑制相邻膜硬挤进入渗透通道，以及必须对渗透流提供相对低的阻力。渗透通道中施加的任何压力将引起膜工艺的净驱动力中相等的减小。膜的净驱动力定义为供给通道中的压力减去浓差压 (osmotic pressure) 和渗透压 (permeate pressure)。

在大多数工业和家用反渗透应用中，渗透通道中平均压力损耗的一般量相对于净驱动压力较低。因此，渗透通道中的压力损耗不会过分影响膜元件的整体输出。然而，当使用新开发的高流量膜来制造膜元件时，引起的

高膜流量导致渗透通道中显著的压力损耗，这可以对总的元件输出产生重大的影响。下表描述了在标准膜元件构型中使用高流量膜的影响。

工艺例子	平均供给压力 (psi)	平均浓差压 (psi)	平均渗透压 (psi)	由渗透压引起的 %流量损耗
海水 RO	700	350	10	3%
微咸水 RO	250	15	10	4%
低能量 RO	150	15	10	7%
家用 RO - 低 流量膜	60	6	2	4%
家用 RO - 高 流量膜	60	6	2	4%
工业 RO - 高 流量膜	70	10	10	17%

- 5 当由于几乎阻止了低成本多薄片家用 RO 应用元件的制造的显著的压力成本，家用 RO 元件一般以单薄片结构制造时，家用 RO 中的薄片长度一般大于工业 RO 中的薄片长度。由于一般的 8" 直径元件所要求的薄片长度为大约 60 英尺，因此利用目前的方法制造单薄片结构的工业 RO 元件是不实际的。当利用高流量膜（如 AN 膜）时，家用 RO 元件相对于工业 RO 元件
- 10 较长的薄片长度是家用 RO 元件中较高的渗透压损耗的原因。

RO 膜的盐滤除能力直接与驱动压力相关，较高的驱动压力产生较高的盐滤除率（salt rejection）。因此，渗透侧压力损耗不仅减小膜流量而且增加了通过膜的盐量。

## 15 发明内容

结合低压操作的高流量膜的使用导致渗透侧压降的问题，这严重地限制了膜器件的流量输出并减小了膜的盐滤除能力。本系统利用对流动具有更低阻力的新的渗透载体材料，因此提供提高了的元件流量和减小了的盐通过率（salt passage）。此外，因为新开发的高流量膜可以在低压下运行，因

此渗透载体不需要保持在目前的反渗透膜所要求的高压下的渗透通道的完整性。低压操作允许使用对传统的、较高压力的操作不再有用的另外的渗透载体材料。

## 5 附图说明

图 1 示出了根据一个实施例的膜器件的横截面。

图 2 示出了对根据一个实施例的家用 RO 系统的示意性描述。

图 3 示出了根据一个实施例的单薄片螺旋缠绕形膜元件。

图 4 示出了根据一个实施例的多薄片螺旋缠绕形膜元件。

10 图 5 示出了根据一个实施例的双薄片螺旋缠绕形膜元件。

## 具体实施方式

图 1 示出了根据一个实施例的膜器件 100 的部分示意横截面。膜器件 100 包括提供供给溶液的薄片 102，和其中夹有渗透载体 110 的一对膜 106 和 15 108 的薄片结构 104。这对膜可以为两片单独的膜或者为自身折叠的单膜。溶液的流动由箭头表示，包括进入供给板 102 的溶液，通过膜 108 到渗透载体 110 中的渗透和继续通过板 102 的未过滤的浓缩物。膜器件 100 可以用于螺旋缠绕形结构、板框式结构，和其他类似结构。

## 元件效率

20 元件效率， $\beta$ ，粗略地为净驱动压力除以净驱动压力加上渗透通道中压力之和。较低的净驱动压力是由于通过渗透通道的流动引起的压降，并受渗透载体特性的影响。 $\beta$ 可以根据基本流体动力学得到，等于

$$\beta = \frac{\text{Tanh}(L\sqrt{2A*10^5 * H})}{L\sqrt{2A*10^5 * H}}$$

25 其中：

A 为膜 A 值，表示膜渗透率，单位： $10^{-5}$ \*渗透流量（克）/膜面积（ $\text{cm}^2$ ）\*时间（秒）\*净驱动压力（大气压）

L 为薄片长度（定义为渗透流向渗透收集通道的最长直线距离）

H 表示渗透载体的流动阻力，单位为（秒\*大气压）/克

30 利用这些表示式，很清楚为了得到高元件效率，L、A 和 H 都应当最小

化。然而，由于许多使用得益于通过元件的最大流量，因此通常需要 A 值很高。进一步，由于长的薄片用于元件中通常比较便宜并且允许更大的面积适应于一个元件，因此也需要增加 L。这样为了最大化元件的效率，需要最小化 H 值。

- 5 H 可以根据流体动力学得到，表示如下。

$$H = \frac{f_1 4\mu}{d_h^3}$$

其中  $f_1$  为摩擦系数

$\mu$  为粘度

$d_h$  为渗透通道的水力直径 (hydraulic diameter)

- 10 对元件效率和  $\beta$  项的有用概述可以在 Lien 的美国专利 US 4, 802, 982 中找到。

#### 渗透载体设计

- 对于粘度固定的给定供给溶液，渗透载体的 H 值取决于摩擦系数和渗透载体的厚度。因此，为了最小化渗透载体的 H 值，可以增加渗透载体的厚度。然而，由于元件通常设计成装配在固定直径的压力容器中，因此增加的渗透载体厚度迫使使用更少的膜面积的。由于较少的膜面积减小了元件流量，因此需要其他降低 H 值的策略。
- 15

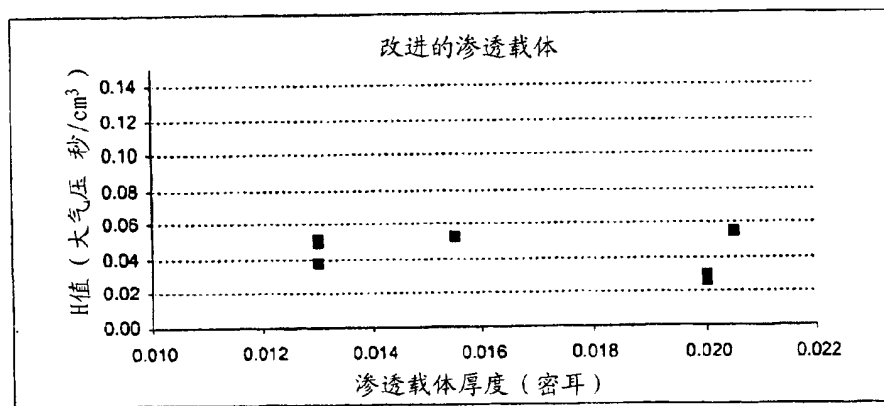
- 摩擦系数反映由通过渗透载体的流动引起的压降，其由几个因素引起，包括：与渗透载体表面的摩擦，由通道几何结构引起的湍流，和其他与厚度无关的渗透载体设计因素。通过减小的摩擦系数得到的提高的 H 值允许使用更薄和更有效的渗透载体。这样，具有较低摩擦系数的渗透载体将非常有用。
- 20

- 渗透载体的摩擦系数可以通过增加其包含的通道尺寸最容易地降低。然而，除传输渗透流体外，渗透载体还需要支撑膜抵抗用于驱动分离的液压。如果渗透载体不能适当地支撑膜，则渗透通道厚度将减小，这导致较高的渗透通道压降，并也可能导致元件变形。在过去，低的膜 A 值 (<20) 要求使用高净驱动压力 (>100psi) 以得到合理的流量，结果，需要相对密集的渗透通道来支撑渗透载体以防止其压缩。这些密集通道对流动具有高阻力，从而引起高 H 值。然而，由于施加的压力相对于渗透通道中建立起的压力高很多，因此膜元件产生相对高的  $\beta$  项。
- 25
- 30

### 新的渗透载体

由于采用了新的较高流量膜，，因为现有渗透载体所得到的效率差，所以其使用证明很困难。然而，当对于这些膜使用较低的操作压力时，惊人地发现现在可以使用具有相对宽通道的新型渗透载体。它们提供低的H值，  
5 同时仍然在使用的压力下支撑渗透通道。

在这些元件中有效使用的渗透载体的独特之处在于对于如下所述的给定厚度，它们的H值低。渗透载体的独特之处也在于它们提供低阻力同时又很薄，然而仍然能够支撑渗透通道，防止膜的显著进入。



10 发现新的渗透载体能够用于下述几种新的元件结构。

上述点表示根据一些实施例改进的渗透载体。本发明改进的渗透载体是那些能够提供高效率的元件元件的渗透载体，所述这些元件是由具有较长薄片长度的高度可渗透反渗透膜构成。

15 渗透载体的其他例子可以给出类似的有益结果。例如，膜器件的一些实施例可以包括H值为0.030大气压·秒/克或更低、厚度为约0.025英寸或更小的渗透载体，H值为0.070大气压·秒/克或更低、厚度为约0.015英寸或更小的渗透载体，H值为0.10大气压·秒/克或更低、厚度为约0.013英寸或更小的渗透载体，和H值为0.05大气压·秒/克或更低、厚度为约0.021英寸或更小的渗透载体，

20 由这种渗透载体构成的膜器件给出了在RO应用中得到改进的性能，其中盐的基本量由膜保留。在这里，保留的盐的基本量指的是在65psi的施加压力、10cm/s的平均供给通道横向流动速度（cross-flow velocity）以及77度（F）温度的条件下，膜器件能够滤除500ppm的MgSO<sub>4</sub> DI水溶液中的

至少 50%的  $MgSO_4$ 。

渗透载体 厚度 (英寸)	制造商	型号	有效面 积 (英尺 <sup>2</sup> )	薄片长 度(英尺)	值	膜		HRO 元件			
						测量		模型预测			
						值	滤除 率(%)	流 量 (GPD)	值	滤除 率 (%)	效率 或 %β
0.01300	Delstar	75-3722	6.40	4.25	0.04	35.0	97.5	160.6	29.0	96.3	86.8%
0.01300	Delstar	75-3718	6.40	4.25	0.05	35.0	97.5	155.7	28.1	96.2	84.1%
0.01000	Delstar	S-1886	6.40	4.25	0.18	35.0	97.5	114.6	20.7	94.9	81.7%
0.01550	Delstar	75-4410	6.40	4.25	0.05	35.0	97.5	155.7	28.1	96.2	84.1%
0.07000	Delstar	S-1888	6.40	4.25	0.80	35.0	97.5	60.9	11.0	91.2	82.5%
0.02050	Delstar	S-1111	6.40	4.25	0.05	35.0	97.5	155.7	28.1	96.2	84.1%
0.00675	Delstar	S-2367	6.40	4.25	0.44	35.0	97.5	45.8	8.3	88.7	84.3%
0.02000	Hornwood	HW1444	6.40	4.25	0.03	35.0	97.5	165.8	29.9	96.4	89.7%
0.01200	Hornwood	HW1613	6.40	4.25	0.22	35.0	97.5	106.8	19.3	94.6	87.4%

5 上表示出了改进的渗透载体的一些例子和它们在 HRO 型元件中的模拟性能 (modeled performance)。除由浓差极化引起的膜附近的盐的累积外，通过造成渗透侧压力损耗和对净驱动压力的影响，建立模型以预测元件流量和盐滤除率。净驱动压力影响膜流量和膜的盐滤除率，增加的净驱动压力引起更高的膜流量和更高的盐滤除率 (或减小的盐通过率)。模型重复作为元件效率和浓差极化的函数的整体膜流量。将膜表面处的盐量和测量的平板膜盐滤除率一起使用，以计算通过膜的盐通过率，其然后将盐通过率用于计算浓差压。渗透压使驱动压力和流量降低，从而增加元件效率。重复该操作直到它达到恒定的预测性能。这样，开发的模型提供一种工具，该工具用于探测供给压力、盐浓度、膜盐滤除率、渗透载体 H 值、渗透载体长度和膜渗透率对膜元件性能的作用。

10

15

本领域技术人员可以理解，假定元件有效面积和膜性能相同，本领域技术人员可以改变渗透载体，从而将显现非常不同的结果。例如利用 Delstar 75-3722 渗透载体与 Delstar S-2367 渗透载体相比较，模型的元件效率分别为 86.8%和 24.3%。效率的这种降低可以直接从元件性能中看出。流速从 160.6 改变到 45.8GPD，同时盐滤除率从 96.3%降低到 88.7%。

20

利用不同渗透衬垫料的元件效率、组件流量和盐通过率的例子

在下述9个实验中,具有不同H值的三种不同的渗透衬垫用于构造HRO型元件。在除实验2和5外的所有情况下,元件尺寸为1.9"直径×11.75"长。元件的实际“卷轴”,或膜沿渗透管的长度为10.4",在O型环端具有0.812"的凸出,在盐水密封端具有0.59"的凸出。在实验2和5中,尺寸为1.8"的直径和11.75"的长度,卷轴为10.0"。元件渗透流量和滤除率在65psig供给压力和校正到77° F的温度下测定。实验1-5的供给源为DI水中500ppm NaCl的合成混合物,实验4-9在Minnetonka自来水(~650 μ S)中测试。平板膜样品在100psig和77° F时,利用DI水中500ppm NaCl的合成混合物进行测试,并且利用雷诺数大于2500的流体流进行测试。

实验	渗透载体厚度 (英寸)	制造商	型号	元件直径 (英寸)	有效面积 (英尺 <sup>2</sup> )	薄片长度 (英尺)
1	0.010	Hornwood	HW1851	1.90	7.10	4.70
2	0.010	Hornwood	HW1851	1.80	5.30	3.75
3	0.010	Hornwood	HW1851	1.90	7.10	4.70
4	0.010	Hornwood	HW1851	1.90	7.10	4.70
5	0.010	Hornwood	HW1851	1.80	5.30	3.75
6	0.020	Delstar	S-1111	1.90	4.60	3.08
7	0.020	Delstar	S-1111	1.90	4.60	3.08
8	0.013	Delstar	75-3719	1.90	6.40	4.25
9	0.013	Delstar	75-3719	1.90	6.40	4.25

15

20



实验	H 值	膜		HRO 元件							
		测量		测量				模型预测			
		A 值	滤除率 (%)	流量 (GPD)	A 值	滤除率 (%)	效率 或% $\beta$	流量 (GPD)	A 值	滤除率 (%)	效率 或% $\beta$
1	0.13	27.8	94.8	124.9	20.3	92.6	73.1	119.9	19.5	91.6	68.2
2	0.13	27.8	94.8	113.5	24.7	93.0	89.0	101.7	22.2	92.4	75.3
3	0.13	37.9	84.4	164.5	26.8	50.0	70.6	148.6	24.2	64.5	62.2
4	0.13	17.6	97.1	93.4	15.2	95.2	86.3	79.7	13.0	90.4	77.1
5	0.13	17.6	97.1	78.7	17.2	95.1	97.4	65.1	14.2	91.0	83.8
6	0.03	30.1	97.4	121.6	30.5	94.8	101.5	112.1	28.1	94.0	95.6
7	0.03	37.5	88.5	146.2	36.7	96.5	97.9	148.0	37.2	76.2	94.3
8	0.05	30.1	97.4	163.3	29.5	94.3	97.9	161.1	29.1	94.3	81.6
9	0.05	45.0	88.5	233.3	42.1	93.6	93.6	156.2	28.2	77.4	78.3

实验 1 到 5 利用 Hornwood 制造的标准 0.010”厚度材料，其测量的 H 值为 0.132。该涂布的网纹 (coated woven) 聚酯材料每英寸具有 34 条通道 (也称为“条纹”)，并在为 HRO 应用以及多种压力的商业/工业应用而制作的元件中被广泛地用作渗透载体。在实验 1 和 3 中，高流量 AN 膜在最大薄片长度 4.7”的状态下使用，以达到 1.9”的外径。实验 1 和 3 的结果显示出元件效率 ( $\beta$ ) 分别为 73.1% 和 70.6%。实验 3 的平板膜 A 值为 37.9，而由于差的元件  $\beta$ ，观测到的元件 A 值仅为 26.8，因此仅实现 164.5GPD (加仑每天) 的渗透流速。通过观测的 A 值，意味着该膜 A 值忽略了在净驱动压力的测定中渗透侧压力损耗的影响。如果元件具有 1.00 的  $\beta$  值，则产生的流速预测为 233.0 加仑每天。低的元件效率不仅影响元件渗透流速而且影响膜的盐滤除率。由于渗透限制，低的  $\beta$  引起净驱动压力的下降，这使元件在平板膜提供 84.4% 的滤除率时仅有 50.0% 的滤除率。实验 2 和 4 显示出  $\beta$  值中的相同趋势，结果渗透流速和膜的盐滤除率都较低。利用如在实验 5 中使用的相同的 Hornwood 0.010”厚度、34 条纹的渗透载体，在膜 A 值和薄片长度下降，我们才看到元件的  $\beta$  在 >95% 的范围内。在实验 5 中使用的薄片长度为 3.75”的“低能量”膜 (A=17.6) 给出 0.975 的  $\beta$  值。

实验 6 和 7 将 0.020”厚度、H 值为 0.026 的 Naltex®S-1111 材料作为渗透载体与高流量 AN 膜一起使用。该 Naltex®衬垫比之前来自 Hornwood 的例子具有更低的 H 值。由于增加的渗透载体厚度；膜的薄片长度限制到 3.08”

以便达到 1.9”的固定直径。这两个实验的  $\beta$  值大大超过 95% 的范围，接近 100% 刻度，但是由于薄片长度减小，该具体膜元件由于有效面积的量较低而具有受限的输出。应当注意，由于沿着整个薄片长度一致高的净驱动压力，膜滤除率在这些实验中相对高。

5 在实验 8 和 9 中，使用新的 0.013”厚度、H 值大约为 0.05 的 Naltex®75-3719 材料。H 值通过元件性能的分析测定。被设计用作供给衬垫且之前没有被当作渗透载体使用过的这种 Naltex®衬垫提供了我们发现的对于优化的低压 HRO、高渗透流量、和高滤除率元件所必要的特性。该材料具有较少被阻塞的流动通道。在过去，由于其相对多孔的（open）结构不支持高压操作，该衬垫未被考虑用作反渗透应用的渗透载体。这种薄材料被用作渗透载体，薄片长度为 4.25’的元件制造为 1.9 的直径”，允许比实验 6 和 7 中可能的膜面积更大的有效膜面积。实验 8 显示出该元件设计提供高元件效率并允许高的膜滤除率。实验 9 示出利用具有高的 A 值和 88.5% 平板膜滤除率的膜，达到 233.3GPD 的非常高的渗透流速和 85.9% 的相对高的盐滤除率。

15 从这些实验中很清楚低阻力渗透载体的使用允许更高的膜输出和更高的盐保留率。进一步，实验显示出薄、低阻力渗透载体的使用允许甚至更高的膜输出和更高的盐保留率。同样，薄、低阻力渗透载体的使用允许制造使用较短薄片的高盐滤除率膜元件，当与提供类似流量输出但由更高阻力渗透载体构成的元件相比时，这由于使用更少的膜和其它部件而使得成本节约。

20 渗透载体可以由任何适当的具有在此描述的流动阻力特性（例如 H 值）的材料构成，只要该材料在操作条件下能够适当地支撑渗透通道。例如，渗透载体可以由金属（例如不锈钢），陶瓷，或有机聚合物（例如尼龙、聚丙烯、聚酯、或涂敷的聚酯）构成。适当的材料先前已经在多种应用中使用，例如作为螺旋缠绕形反渗透元件中的供给衬垫（用于反渗透的供给衬垫一般厚度为 17 密耳或更大，一些例外允许使用薄到 13 密耳的供给衬垫），作为褶皱过滤器的支架（在这些应用中通常使用 6 密耳到约 20 密耳厚的衬垫），作为深部过滤介质的覆盖物以防止介质移动（在这些应用中通常使用 6 密耳到约 20 密耳厚的衬垫），作为汽车工业中的 HVAC 屏，或者作为容器衬垫。因此，这种材料是市场上可买到的。另外，可以制备具有所需厚度

和渗透率属性的材料用于本发明的材料和方法。可以用作渗透载体的一种特定材料为聚丙烯衬垫料，销售名称为 Naltex 75-3719，如实验 8 和 9 中所述。

#### 效率改进

5	渗透载体	薄片长度 (英寸)	计算的渗透 载体 H 值	膜 A 值	观测的 元件效率	测量的流 量 (gfd)	测量的 NaCl 通过率
	Hornwood 1851	37.1	0.132	53	72.4%	36.9	5.5%
	Naltex 75-3719	34.3	0.042	55	86.0%	46.1	4.6%

10 在相同条件下同时进行测试:

温度	77F
引入压力	76psi
输出压力	71psi
NaCl 供给浓度	560ppm

15 横向流动速度 19cm/s

每个膜元件包含 5 薄片

每个膜元件直径大约为 4”，总长度为 40”

20 上表提供了在反渗透应用中胜过通常使用的渗透载体的改进的渗透载体的优点的例子。该优点通过 A 值为 53-55、渗透性很强的反渗透膜的使用得到加强。如表所示，标准渗透载体的使用产生具有相对低效率，因此具有相对适度的流量以及高于所需盐通过率的元件。由新的渗透载体构成的元件产生商业上可接受的效率，其产生大约 20% 的更高流量和较低的盐通过率。利用结构类似的 5 薄片膜元件进行测试。

使用新的渗透载体以制备新型的元件结构

更长的薄片

30 利用  $\beta$  表达式, H 值为 0.075 的现有渗透载体和 H 值为 0.03 的新型渗透载体, 以及 A 值为 20 的膜 (在许多商业“低能量”反渗透膜中可见), 可以得到下述数据。这些数据描述了以多种长度的薄片制备的元件效率。

薄片长度 (英尺)	效率 旧	效率 新	流量增量 和通过减小率
1	99%	100%	1%
5	82%	97%	19%
10	56%	89%	60%
15	39%	79%	101%
20	30%	69%	130%

可以看出，新的渗透载体的优点随着薄片长度的增加而增加。这些更长薄片的使用使得用于元件中的薄片更少，同时保持相同的元件效率，这使得制造成本节约和膜有效面积的增加（由于需要更少的胶缝）。

- 5 此外，当使用反渗透膜时，溶质（例如盐）传输的速率不受增加的效率的影响，因此元件将显示较低的盐通过率。这样，这些新的渗透载体增加元件的流速和滤除率。

- 10 当膜 A 值增加时，如从以下所看到的那样，对于具有 A 值为 30，即新的 AN 膜的值，的膜，利用新的渗透载体所看到的改进变得更加明显。使用的 H 值与上相同。

薄片长度 (英尺)	效率 旧	效率 新	流量增量和 相对通过减小率
1	99%	100%	1%
5	75%	96%	27%
10	47%	85%	79%
15	32%	72%	122%
20	24%	61%	148%

- 15 作为这种新的渗透载体的结果，现在允许保持全部的元件效率的新的更长的薄片元件结构。这些更长的薄片可以用在使用单薄片或者多薄片的新的元件结构中。已知的元件很少使用长于 3 英尺的薄片，并且几乎从不使用长于 5 英尺的薄片以保持大于约 85% 的效率。新渗透载体的使用使得新元件结构可以具有 5 英尺到 12 英尺之间的薄片，同时保持上述 85% 的效率。如果没有这些新渗透载体的发现，这些元件结构尽管有用，但被认为是不可能的。

- 20 由于更长的薄片通常是因为成本原因而被认为是可取的，所以，借助于保持相当好的效率（达到~60%）的这种渗透载体，现在也允许使用达到 20

英尺的薄片的新元件。同样，由于新渗透载体并不太厚，所以，当用于具有规定的总有效面积的元件时，它们并不使在固定尺寸膜元件中使用的膜量显著地减少，并且它们并不使膜元件尺寸显著地增加。

#### 薄片数目

- 5 较少薄片的使用是有益的，因为它减少元件的成本并且在给定直径内允许更大的膜面积。当薄片的数目可以限制到一时这种效果最明显，在制造多薄片元件时不可能允许使用有效的制造技术。对于一系列都具有 1.9 英寸或约 2.0 英寸或更小外径的元件（该外径需要装配在 2 英寸内径的管中，其通常用作 HRO 应用中的压力容器），这种效果如下所示。下表说明了这些新的元件结构。A 值为 30，H 值对于典型的旧和新的渗透载体分别为 0.075 和 0.01 的膜用于计算种信息。流量的增加和通过率减少是相对于旧的单薄片元件。注意在两种情况中渗透载体的厚度都为 13 密耳。

渗透载体	薄片数目	薄片长度	效率	流量增量	盐通过减小率
旧	1	4.6	78%	0%	0%
旧	2	2.1	94%	10%	21%
新	1	4.6	96%	23%	23%
新	2	2.1	99%	16%	27%

- 15 从上表可以看出，新渗透载体的使用不仅消除了使用多薄片的必要，而且比已知的多薄片结构产生更高的元件流量。

- 此外，该表说明了新的多薄片结构，发现该结构惊人地显示出相对于已知多薄片结构的改进的通过率。类似的优点对于直径 2.5，4 和 8 英寸的其他普通元件也可以观察到。这样，通过使用新的渗透载体，发现新的单和多薄片元件显示出更好的性能。

- 25 在多个实施例中，可以制造具有下述值的两个或多个的组合的薄片结构和膜元件。H 值可以为大于约 0.1，约 0.1，约 0.07，约 0.02，或者小于 0.02。H 值可以分布在从约 0.02 到约 0.07，以及从 0.07 到约 0.1 的范围内。一些例子使用约 0.024 或更低的 H 值；一些具有 0.015 或更低的 H 值。一些实施例使用 0.060 或更低的 H 值。一些使用 0.045 或更低，0.10 或更低，0.07 或更低，0.05 或更低，和 0.03 或更低的 H 值。一些使用 0.025 或更低的 H 值。

渗透载体厚度为小于约 0.008 英寸，约 0.008 英寸，约 0.015 英寸，约 0.025 英寸，或大于 0.025 英寸。在一些例子中，厚度可以分布在 0.008 到 0.025 英寸之间的范围内。在一些实施例 5 中，厚度可以为 0.025 英寸或更小，0.015 英寸或更小，0.013 英寸或更小，或 0.021 英寸或更小。在多个例子中，膜 A 值可以分布在小于 15，从 15 到 25，从 25 到 40，从 15 到 30，从 25 到 35，从 30 到 40，从 35 到 60，从约 40 到 60 的范围内；一些例子为约 15，约 25，约 35，约 40，约 50 和约 60；一些例子具有的 A 值为约 15 或更大，约 25 或更大，约 35 或更大，约 40 或更大，约 50 或更大，和约 60 或更大。薄片长度可以分布在小于 3 英尺，从约 3 英尺到 5 英尺，从 5 英尺到 15 英尺的范围。一些例子为约 3 英尺，约 5 英尺和约 15 英尺。β 值可以分布在小于 0.80，从 0.80 到 0.90，从 0.90 到 0.97 的范围内。一些例子具有的 β 值为约 0.80，约 0.90，和约 0.97。此外，由于这些因素中的许多互相影响，因此值的范围可以比上述的范围更高或更低，如果其他参数也发生改变。

同样，由于处在螺旋缠绕形膜元件中的薄片类似于用于其他膜器件，如板-框式单元中使用的膜-渗透载体-膜结构。这种板-框式器件由一个薄片或层叠的薄片组合构成，这些薄片可以由小的供给通道分隔，供给通道可以包含供给衬垫料。因此，此处描述的螺旋缠绕形膜元件中的一处或多处改进将导致其它膜器件中的改进。

以上讨论的一个或多个特征可以用于膜器件和系统，例如家用反渗透，无容器 (tankless) 家用反渗透系统，工业反渗透系统，城市应用，低压和超低压应用，饮料工业，制药工业，半导体工业。这些应用中的的某一些具有标准尺寸和对于膜器件的要求，本发明可以在要求的参数内提供最优使用。

例如，图 2 示出了根据一个实施例的家用 RO 系统 200 的示意性表示。系统 200 在供给压力下工作，该压力可以在小于 40psi 到约 75psi 之间变化，并且在美国通常为 60psi 附近。系统 200 包括膜元件 202，其可以利用此处讨论的一个或多个实施例构成。

图 3 示出了根据一个实施例的膜元件 300。元件 300 包括螺旋缠绕形单薄片 302 结构。在一个实施例中，元件 300 的外径可以为约 2.0 英寸或更小，长度为约 12 英寸或更小。利用此处讨论的膜和渗透载体，元件 300 的渗透流速在 60psi 的供给压力下可以为约 150gpd 或更大。

图 4 示出了根据一个实施例的膜元件 400。膜元件包括两个或多个以螺旋缠绕形结构的薄片 402, 404, 406 和 408。在一个实施例中, 每个薄片包括一个具有 A 值为 25 或更大的膜, 总的薄片表面面积可以为约 350 平方英尺或更大, 每个薄片的薄片长度为约 42 英寸或更大。元件 400 的  $\beta$  值可以为 0.82 或更大。在一些实施例中, 元件 400 的外径为约 8 英寸或更小。

在一个实施例中, 膜元件 400 的总薄片膜表面面积可以为约 60 到 125 平方英尺, 该膜的 A 值可以为 25 或更大, 元件的  $\beta$  值可以为 0.82 或更大。在该例子中, 元件 400 的外径可以为约 4 英寸或更小。

图 5 示出了根据一个实施例的膜元件 500。元件 500 包括第一和第二螺旋缠绕形薄片 502 和 504。在一个实施例中, 每个薄片 502 和 504 包括具有 A 值为 25 或更大的膜, 每个薄片的长度为 3.5 英尺或更短, 元件的长度为 20 英寸或更短, 以及元件的  $\beta$  值为 0.75 或更大。在一个实施例中, 元件 400 的外径可以为 3.25 英寸或更小。在一个实施例中, 元件 500 的 A 值为约 30 到 40。

应当理解, 上述说明只是说明性, 而不是限制性的。对于本领域的技术人员而言, 在研究过上述说明后许多其它的实施例是显而易见的。因此, 本发明的范围应当参考所附权利要求以及这些权利要求所包含的等同物的整个范围来确定。

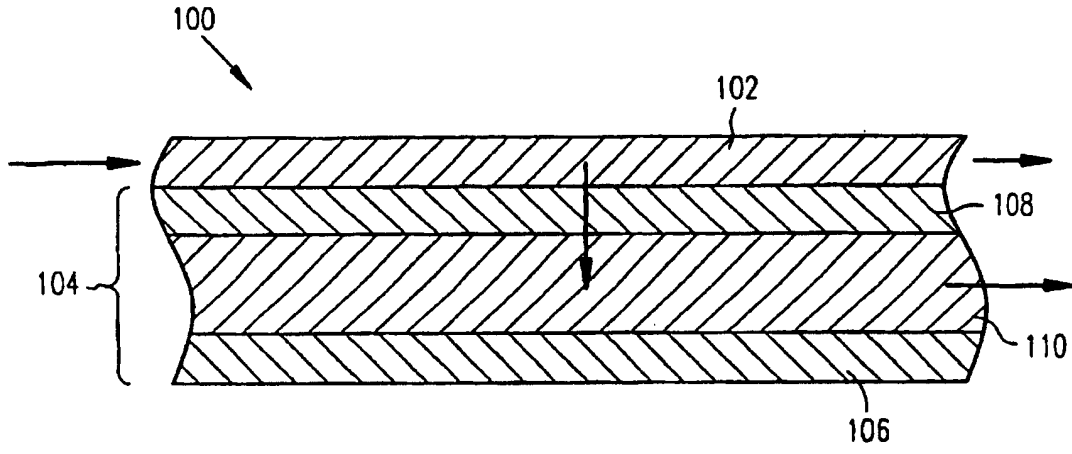


图 1

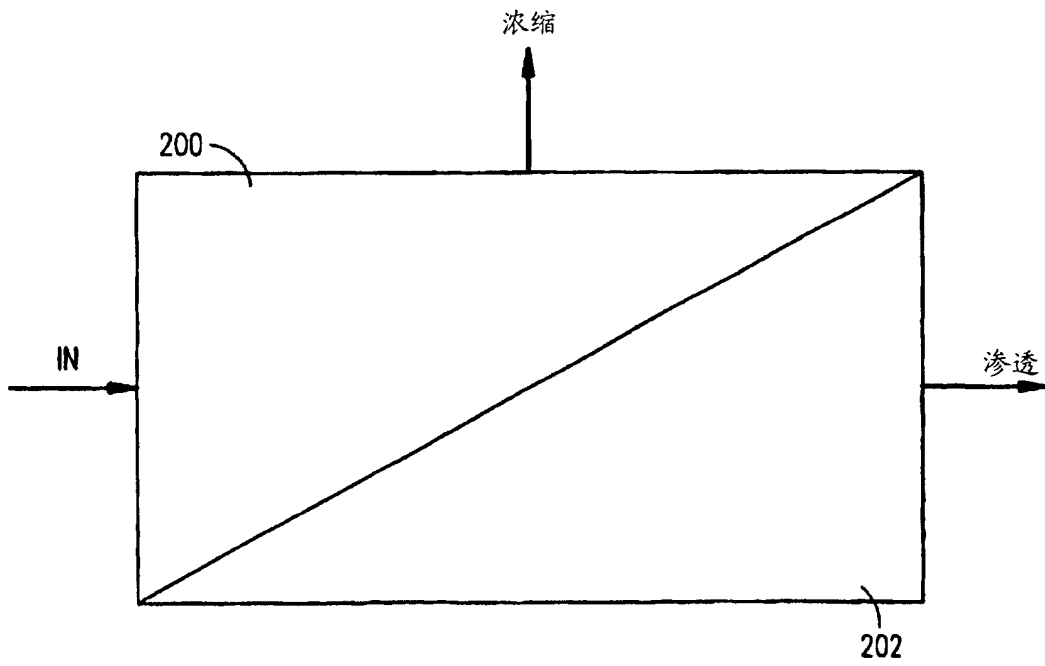


图 2



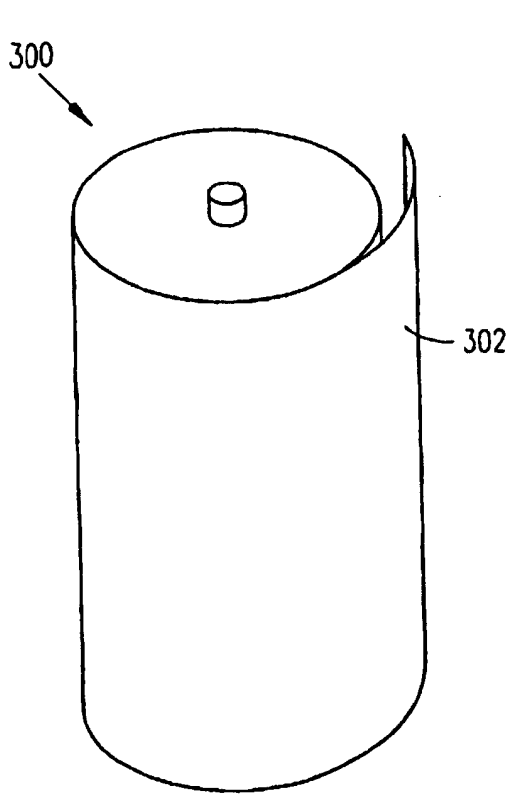


图 3

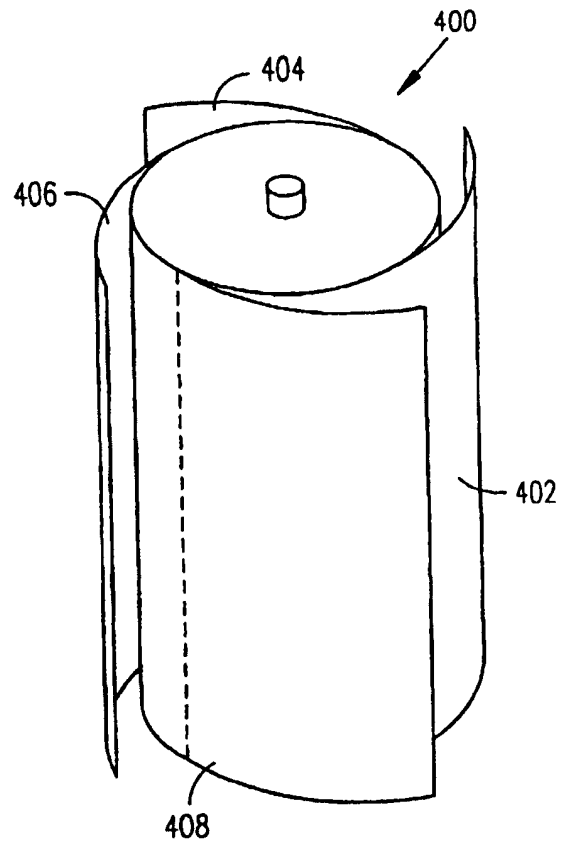


图 4

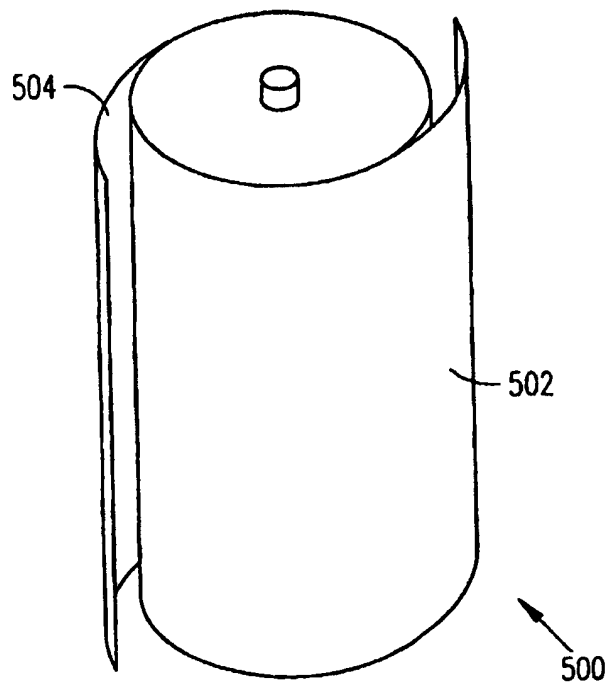


图 5