

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B01D 61/36

B01D 63/04 C02F 1/04

C02F 1/44



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00808139.5

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 1180874C

[22] 申请日 2000.5.26 [21] 申请号 00808139.5

[30] 优先权

[32] 1999.5.27 [33] NL [31] 1012167

[86] 国际申请 PCT/NL2000/000366 2000.5.26

[87] 国际公布 WO2000/072947 英 2000.12.7

[85] 进入国家阶段日期 2001.11.27

[71] 专利权人 荷兰应用科学研究会(NTO)

地址 荷兰代尔夫特

[72] 发明人 扬·亨德里克·哈内麦耶尔

扬·威廉·范赫芬

审查员 马彩霞

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

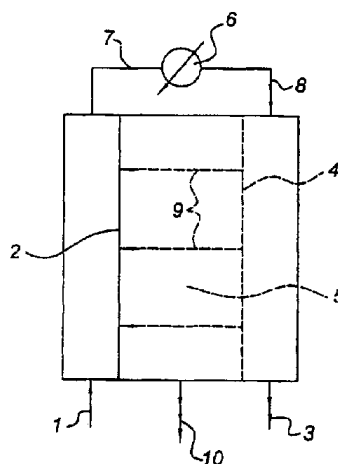
代理人 过晓东

权利要求书 4 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称 通过膜蒸馏净化液体的方法

[57] 摘要

本发明的方法包括以下步骤：使一温热的液体蒸汽流(渗余流)(3)通过一多孔膜(4)，蒸汽(9)流经膜(4)的孔，将上述蒸汽(9)在冷的冷凝器表面(2)冷凝从而形成馏出流(10)，上述冷凝器表面(2)将进液流(1)和上述馏出流(10)隔开，并且进液流(1)与渗余流(3)的流向相反，在多孔膜(4)与冷凝器表面(2)之间存在有厚度小于5毫米的气体间隙。为了提高每单位驱动力的馏出速率，气体间隙(5)中保持有一压力，该压力小于大气压但高于进液流的蒸汽压，多孔膜(4)的孔隙率高于0.7，冷凝器表面的表面积为多孔膜(4)表面积的1.2到6倍，渗余流(3)与馏出流的显热之间的有效局部蒸汽压差通过热交换释放给进液流(1)和/或渗余流(3)。



1. 一种通过膜蒸馏净化液体方法，其包括：

- 使一较温热的渗余流（3）通过一多孔膜（4），蒸汽经过膜的孔隙流到该膜的另一边，然后
- 将上述蒸汽在一较冷的冷凝器表面（2）冷凝从而形成馏出流（10），上述冷凝器表面在要被净化的进液流（1）和上述馏出流（10）之间形成了无孔分隔，所述进液流（1）与渗余流（3）的流向相反以使相当比例的潜热通过蒸汽转移到进液流（1），
- 在多孔膜（4）与冷凝器表面（2）之间存在着一个厚度小于 5 毫米的气体间隙（5），
- 在气体间隙（5）中保持有一压力，该压力低于大气压且高于进液流的蒸汽压，

其特征在于，

- 多孔膜（4）的孔隙率 ϵ 大于 0.7，孔隙率被理解为开孔体积与多孔膜（4）的总体积的比率；
- 冷凝器表面（2）的表面积为多孔膜（4）的表面积的 1.2 到 6 倍；
- 渗余流（3）与冷凝流（10）之间的有效局部蒸汽压差小于 10Kpa；
且
- 馏出流（10）的显热通过热交换释放给进液流（1）和/或渗余流（3），
- 多孔膜（4）的孔隙率 ϵ ，冷凝器表面积和膜表面积的比率 S ，以千帕为单位的渗余流与进液流的局部蒸汽压差 D ，以厘米为单位的液体间隙中的厚度 L 以及液体间隙的绝对压力与渗余流的局部水蒸汽压的比率 P 满足如下关系：

$$\frac{\varepsilon.S^6}{D.L.P^2} > 1$$

— 渗余流（3）的显热损失小于 300 千焦每千克冷凝物，且具体的流速为大于 0.5 千克冷凝物/m²膜/小时/kPa 水蒸汽压差。

2. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，冷凝器表面（2）的表面积为多孔膜（4）的表面积的 2 到 3 倍。

3. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，渗余流（3）与冷凝流（10）之间的有效局部蒸汽压差小于 5Kpa。

4. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，馏出流（10）的显热通过热交换释放给渗余流（3）。

5. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，多孔膜（4）的孔隙率 ε ，冷凝器表面积和膜表面积的比率 S ，以千帕为单位的渗余流与进液流的局部蒸汽压差 D ，以厘米为单位的气体间隙中的厚度 L 以及气体间隙的绝对压力与渗余流的局部水蒸汽压的比率 P 满足如下关系：

$$\frac{\varepsilon.S^6}{D.L.P^2} > 2$$

6. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，渗余流（3）的显热损失小于潜热的 12%。

7. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，渗余流（3）的流速为大

于 1.0 千克冷凝物/m² 膜/小时/kPa 水蒸汽压差。

8. 根据权利要求 1—7 之一的方法，其特征在于，通过膜蒸馏净化的液体是用于由海水、微咸水或工艺用水生产脱盐水。

9. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于，使用一些相互连接并通过一些平行放置的多孔渗余物通道（22）形成的组件，其通过所述气体间隙和无孔膜与进液流通道（21）隔开，进液流通道与渗余流通道设置成一定的角度。

10. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于，所述渗余流通道（22）与进液流通道（21）之间的角度在 10 到 170° 之间。

11. 根据权利要求 9 或 10 的方法，其特征在于，所述膜（4）和所述渗余流通道（22）的孔径大于 0.1 μm。

12. 根据权利要求 9 或 10 的方法，其特征在于，所述渗余流通道（22）是由疏水性多孔膜材料制成的。

13. 根据权利要求 9 或 10 的方法，其特征在于，所述进液流通道（21）是由疏水性材料制成，该疏水性材料在冷凝馏出物排出一侧被亲水性材料所覆盖或包围。

14. 根据权利要求 9 或 10 的方法，其特征在于，所述进液流通道（21）由亲水性材料制成。

15. 根据权利要求 9 或 10 的方法, 其特征在于, 渗余流 (3) 与进液流通道之间的气体间隙 (5) 的宽度通过使用导热性差的疏水性垫板确定, 其孔隙率为大于 70%。

16. 根据权利要求 15 的方法, 其特征在于, 所述孔隙率为大于 90%。

17. 根据权利要求 1 或 9 的方法, 其特征在于, 气体间隙中充满惰性气体。

18. 根据权利要求 1 或 9 的方法, 其特征在于, 所述惰性气体选自 H_2 、 CO_2 、 N_2 和 He。

19. 根据权利要求 1 的方法, 其特征在于, 该方法的驱动力由外部能量源以液体、蒸汽/气体或固体形式提供, 该外部能量源来源于石油、太阳能的热、地热, 大量工艺过程中产生的残余热或废热。

20. 根据权利要求 19 的方法, 其特征在于, 外部能量源也用来加热由于蒸发而冷却的渗余流 (3), 该渗余流 (3) 交替地与残余热流 (12a) 和进液流进行热交换。

21. 根据权利要求 12 的方法, 其特征在于, 渗余流也与冷却水流 (12b) 进行热交换, 且形成另一馏出流。

22. 根据权利要求 1 或 20 的方法, 其特征在于, 在渗余流 (3) 通过向进液流排放了蒸发热而已被冷却后, 将该渗余流 (3) 通过不透蒸汽的通道以与待冷却的相同渗余流 (3) 成交叉流动的方向送入用作冷凝剂, 馏出流通过进液流冷却形成和通过渗余流冷却形成。

通过膜蒸馏净化液体的方法

技术领域

本发明涉及通过膜蒸馏对液体进行净化的方法，特别用于从海水、咸水或工业用水生产脱盐水的方法。

背景技术

通常的通过膜蒸馏特别用于从海水、咸水或工业用水生产脱盐水的对液体进行净化的方法包括：

- 使一较温热的液体蒸汽流（渗余流）通过一多孔膜，蒸汽经过膜的孔隙流到该膜的另一边，然后

- 将上述蒸汽在一较冷的冷凝器表面冷凝从而形成馏出流，上述冷凝器表面在要被净化的进液流和上述馏出流间形成了无孔分隔，并且进液流与渗余流（retenate stream）的流向相反以使相当比例的潜热通过蒸汽转移到进液流，

- 在多孔膜与冷凝器表面之间存在有厚度小于5毫米的气体间隙，

- 在气体间隙中保持有一压力，该压力低于大气压且高于进液流的蒸汽压。

此种方法是公开在 JP-A-11.010.147 中。

膜蒸馏不同于已知的蒸馏工艺，例如多级闪蒸、多效蒸馏和蒸汽压缩，在于其使用了非选择性的多孔膜。该膜将温热的渗余蒸汽流和冷凝产物—馏出流隔开。通过适当选取材料（通常为聚丙烯、聚乙烯或聚四氟乙烯），孔隙（直径在 0.00001 和 0.005mm 之间，通常在 0.0001 和 0.0005mm 之间）不被液体润湿；只存在着蒸汽通过膜。

膜蒸馏首次提出是在 1967 年公开的美国专利 3 334 186。该发明的

目的是为了通过使用充满空气的多孔疏水性膜来改善海水脱盐的效率。该发明所涉及的方法为所谓的直接接触型膜蒸馏：温热的海水流和冷的馏出流与膜直接接触。

对膜蒸馏的广泛兴趣产生于二十世纪八十年代中期，当时产生了新一代的含有大量孔隙的疏水性膜。然而，研究表明膜蒸馏与其相竞争的其他工艺一样昂贵，因此当时没有商业应用。

四种类型的膜蒸馏具有如下的区别：

1. 直接接触型膜蒸馏（DCMD），其温热的蒸汽流和冷的冷凝流（馏出流）与膜直接接触。
2. 气体间隙膜蒸馏（AGMD），其冷凝器表面与膜通过气体间隙隔开。
3. 吹扫气体膜蒸馏，其通过惰性气体将馏出液以蒸汽形式移出。
4. 真空膜蒸馏，其通过真空将馏出物以蒸汽形式移出。该方法只涉及将易挥发组分从含水液流中移出而所关心的不是产生液体馏出物。

目前为止，人们对接触型膜蒸馏关注最多。

美国专利 4 545 862 介绍了一螺旋型组件（具有平板膜）。其用于海水脱盐的测试。在这些测试中，馏出流与和渗余蒸汽流反向流动的海水进入流隔开，于是海水流有效地吸收了冷凝热。在该专利的一实施例中，在温热的渗余流与海水之间的温差 ΔT 为 4°C ，能量消耗为产生每千克馏出物仅消耗 212 千焦的情况下，获得了较高的流动速率，为每平方米每小时 5.3 升。

除了使用平板膜外，还已知将中空的纤维膜用于接触型膜蒸馏的优点。由于膜纤维紧密排列，能够获得每立方米为 500 平方米的表面积，从而能够降低设备成本。此外，有人建议将接触型膜蒸馏组件与热交换器偶合从而回收冷凝热。已发现，对于海水脱盐，在 ΔT 为 $14\text{-}16^{\circ}\text{C}$

和每千克水比能量消耗大于 1,000 千焦的情况下,获得的馏出速率为大约每平方米每小时 8.5 升。自 1984 年以来,在 DCMD 的工艺方面无明显的进展。

英国专利申请 GB 1 225 254 A (Henderyckx) 于 1971 年首次介绍了气体间隙膜蒸馏。除了使用气体间隙外,该专利已建议使用流向相反的进入流和渗余流(从而回收潜热)。此外,在 1982 年德国专利申请 3 123 409 中也介绍了 AGMD。该专利申请涉及使用充满空气或选择性使用一种更轻的气体如氢气,的间隙(厚度为 3mm),该间隙位于扁平多孔膜和冷的冷凝器表面之间。其目的在于减少由于通过膜的传导而引起的显热(perceptible heat)的输送。通过实验得出如下结论:通过传导进行的热量的输送与通过蒸发进行的热量的输送几乎等同。此外,其建议进入的海水与蒸汽流反向流动以回收热量。其还公开使用太阳能的热量作为热源。其介绍了一理论上的情况,即在 ΔT 为 5°C ,回收率为 4.9%和产生每千克水大于 850 千焦的能量消耗情况下,获得的馏出速率为每平方米每小时 3.36 千克。

欧洲专利申请 0 164 326 介绍了膜蒸馏中使用气体间隙,其各种结构通过同心管道的形式构成。该方法的变例(其中使用了平板膜的膜束),在一篇名为一种新的膜蒸馏脱盐法的记载测试和设计的文章中(脱盐过程 56 (1985), pp 345-354)予以介绍。令人惊奇的是,由于无法对蒸发热进行热回收,因此放弃了海水与渗余流流向相反的原则。能量消耗数据也没有提及。

国际专利申请 WO 8607585 A (1986) 基于同样的模型数据,但进一步推断出:要获得高流速和低的显热损失(300-800 千焦/每千克水)所需的气体间隙厚度为 0.2 至 1.0mm。该模型中没有记载热和冷表面和内部的温度降低,原因在于其描述的是一个过于乐观的画面。

美国专利 4 879 041 介绍了专门用于半导体工业超纯水制备的气体

间隙膜蒸馏。其研究了在使用平板膜时,气体间隙的厚度在 3 到 10 mm 范围内对传质和传热影响。从这些研究中得到的结论是:厚度小于 5mm 时,传递是由扩散决定的,厚度大于 5mm 时,传递是由对流决定的。测得的特性适中:在蒸汽压差约为 20 千帕的情况下,最大馏出流速为 3.6 千克每平方米每小时。在这里,冷凝热也没有被回收,因此几年后重新回到传统的没有膜的多级蒸发也不会使人们感到惊奇。

在二十世纪九十年代,人们对膜蒸馏的关注减少了,对其关注也通常局限于接触型膜蒸馏和对吹扫气体膜蒸馏和用于从含水液流中去除和提取易挥发组分的真空膜蒸馏的研究。

基于上述文献,对于低能量消耗的膜蒸馏系统需要一无气体间隙的体系。基于现有技术,如果采用气体间隙或使用热量回收,获得小于 850 千焦每千克的能量消耗是不可能的。这与高温差(ΔT 通常大于 40 $^{\circ}\text{C}$)和由其引起的高驱动力(蒸汽压差通常远远大于 15 千帕)有关。

直接接触型膜蒸馏系统设计更简单,建设容易,并且比气体间隙膜蒸馏系统便宜,而且从以前的技术中可以看到其能量消耗低。因此,从先前的技术看,选择气体间隙膜蒸馏用于低成本由海水或微咸水生产蒸馏水效果不明显。

JP-A-11.010.147 没有给出膜的孔隙率,冷凝器表面积和膜表面积的比率,渗余流与进液流的局部蒸汽压差,气体间隙的厚度及气体间隙中的绝对压力与渗余流的局部水蒸气压的比率之间的关系。而且,这个日本专利文献没有给出关于馏出液的显热与进料液或渗余流交换的数据。因此,这个已知方法的效能还需要许多补充。

发明内容

本发明的目的是在气体间隙膜蒸馏的效能(每单位驱动力的馏出速率)上有所突破,从而显著地降低膜蒸馏系统的成本和能量消耗。

为了达到该目的，本发明的通过膜蒸馏对液体进行净化的方法，特别用于从海水、咸水或工业用水生产脱盐水的的方法的特征在于，

— 多孔膜的孔隙率 ϵ 大于 0.7，孔隙率被理解为开孔体积与多孔膜的总体积的比率，

— 冷凝器表面的表面积为多孔膜表面积的 1.2 到 6 倍，优选 2 到 3 倍，

— 渗余流与冷凝流之间的有效局部蒸汽压差小于 10Kpa (0.1 巴)，优选小于 5Kpa (0.05 巴)；

— 馏出流的显热通过热交换释放给进液流和/或渗余流，优选渗余流，

— 膜的孔隙率 ϵ ，冷凝器表面积和膜表面积的比率 S ，以千帕为单位的渗余流与进液流的局部蒸汽压差 D ，以厘米为单位的气体间隙的厚度 L 以及气体间隙中的绝对压力与渗余流的局部水蒸气压的比率 P 满足如下关系：

$$\frac{\epsilon.S^6}{D.L.P^2} > 1 \quad (\text{优选} > 2)$$

— 渗余流的显热损失小于 300 千焦/每千克冷凝物（小于 12% 的潜热），比流速为大于 0.5 千克（优选大于 1.0 千克）冷凝物/每平方米膜/每小时/每千帕水蒸气压差。

WO-86.07585 中公开了一种用于蒸馏液体的蒸馏设备，该设备包含：一蒸馏装置，包括不透液流或蒸汽但透过液体的多孔疏水性膜，与该膜设置成隔一定距离的冷凝表面，例如在所述膜和所述冷凝表面之间存在一气体间隙，且还包括用于将待蒸馏的液体在离气体间隙远的膜的表面上传送的装置，和设置用于传导比先前提及的离气体间隙远的膜的表面上液体更冷的液体的装置。气体间隙的宽度可以是低于 5 毫米。

已知的 AGMD 和/或 DCMD 法在上述关系中的结果为小于 0.5（通常小于 0.1），并且无法获得所需要的特性。

当采用本发明的方法时，有利的是可以使一些相互连接并通过一些平行放置的多孔渗余物通道形成的组件，其通过所述气体间隙和无孔膜与进液流通道隔开，进液流通道与渗余流通道设置成一定的角度。

上述渗余流与进液流通道间的角度在 10 到 170° 之间。

渗余流通道通常被多孔的疏水性膜（孔隙率大于 70%，优选大于 80%，且孔径大于 0.1 μm ，优选在 0.3-0.1 μm 之间）限定。上述膜可以由如 PTFE、PVDF、PP、PP 或类似的材料制成的商品膜。也可以使用例如聚醚砜、聚砜、聚丙烯腈、聚酰胺等制成的所谓的非对称微孔过滤膜。在本发明中，优选地，例如通过涂覆涂层或其他表面改性，将这些膜的表面全部或部分的进行疏水性处理。在最简单的实施例中，渗余流通道由相互平行的中空纤维或毛细膜组成。渗余物通过这些纤维的空隙中流过。当使用非对称膜时，具有最窄孔隙的膜的活性层位于渗余流一侧。

但是，除了中空纤维外，渗余流通道也可以由平板膜或膜片组成，可选用螺旋型结构。原则上，渗余流通道也可以由亲水性材料构成，例如线或织物，或使用无孔（但可大量使蒸汽渗透）膜。

进液流流动的冷凝器通道同样优选由纤维/毛细管构成，该纤维/毛细管由疏水性材料制成，且平行放置。目前，这些通道为无孔的，即不允许蒸汽渗透或几乎不允许蒸汽渗透。冷凝馏出物的排出可以通过涂布或包围在这些纤维的亲水性材料（例如织物）来进行。也可以使用亲水性材料来制备冷凝通道，在该亲水性材料周围形成一层馏出物的薄膜，其由于重力而被排出。

根据本发明，冷凝器表面的表面积必须大于渗余流通道的表面积（1.2 到 6 倍，优选 2 到 3 倍）。可以通过将毛细管彼此靠近和/或采用

多排（通常两或三排）来达到上述结果。

渗余流管道与冷凝器管道的间隙宽度，即所谓的气体间隙，可以通过使用适当的垫板来确定，该优选由疏水性塑料制成。为了限制通过该材料从渗余流向进液流由于传导造成的显热损失，该材料必须为高度多孔性物质（孔隙率优选大于 90%）。该材料的厚度决定了气体间隙的宽度：小于 5mm，优选在 0.5 到 2mm 之间。

优选地，通过在气体间隙中生成真空使气体间隙充满水蒸气以使该真空大约与在上述组件中的渗余流的蒸汽压相等。这使传质（从渗余流向冷凝器的水蒸气传递）性能优异，而且限制了显热的损失。该真空可以通过使用在底部运行的真空泵产生，且由此最冷，最低压力占主导地位的组件，和通过地耐流动性的调节，在某些或所有组件之间的真空是可以或者是不可以控制的。对于可能含有气体的冷凝液也可以通过位于每个组件的抽水泵进行排放。但是，气体间隙也可以处于大气压或其附近，且充满惰性气体，例如空气或优选（与传质和传热相连接）氢气或氦气，二氧化碳，氮气，也可以使用相似的气体。

本发明的方法可以通过许多实施例进行实施。通常使用装备有用于进液流和渗余流的中空纤维的交叉流组件。但是，也可以使用膜片或膜板，优选具有螺旋缠绕结构，或含有限制流动通道的由多个毛细管状的通道构成的板状结构，用于渗余流。

在所述方法的第一个实施例中，将被加热的进液流与渗余蒸汽流以完全相反的流动方向流动，冷凝馏出流以与渗余流流动方向相同和/或与进液流流动方向相反的方向流动，通过这种方法显热也得以回收。

在该实施例的一个变例中，渗余流交替与残余热流和进液流进行热交换。该变例具有的优点在于，残余热得以充分应用且进液流入口一侧的驱动力通过温差的升高而得以维持。适用于该变例的组件具有超紧密的结构，而且建设费用也不高。

根据第一个实施例的原理，该替代实施例使得渗余流也可以与一冷却水流进行热交换，形成另外一馏出流。

在第二个变例中，在渗余流通过向进液流排放蒸发热而被冷却后，通过不透蒸汽的通道以用于冷却的相同渗余流形成交叉流而将该渗余流引入，而被用作冷凝器。这样馏出流既可通过进液流冷却而形成也可以通过渗余流冷却而形成。

本发明也涉及用于上述方法的组件。该组件由一些相互连接的部件组成，该部件由用于进液流的基本上相互平行的无孔纤维膜，以及用于渗余流的基本上相互平行的多孔纤维膜组成，其中多孔纤维膜与无孔纤维膜成 10 到 170° 的角度，在每两个相邻层的无孔纤维膜之间设计有一层多孔纤维膜，通过垫板多孔纤维膜层与无孔纤维膜层保持一定距离，该距离小于 5mm。每个部件具有用于进液流供给的配送室，与其相对应设置的用于进液流排放的配送室以及用于渗余流供给的配送室，与其对应设置的用于渗余流排放的配送室。

本发明的方法的驱动力由外部能量源以液体、蒸汽/气体或固体形式提供，该外部能量源来源于石油、太阳能的热、地热，大量工艺过程中产生的残余热或废热。

现在通过参照附图对本发明进行详细的说明。

附图说明

图 1 显示了本发明方法的第一个实施例。

图 2 显示了本发明方法的第二个实施例（第一个变例）。

图 3 显示了本发明方法的第三个实施例（第二个变例）。

图 4 显示了所使用的一个组件可能的结构。

图 5 显示了图 4 中沿 V-V 线的断面图。

图 6 显示了本发明方法的第一个实施例中所用的组件。

图 7 显示了本发明方法的第二个实施例中所用的组件。

图 8 显示了本发明方法的第三个实施例中所用的组件。

图中，进液流（例如海水）用具有一个箭头的单箭头表示，渗余流用具有两个箭头的箭头表示，蒸汽流用虚线表示，馏出流（为冷凝流，通常为产物流，例如脱盐水）用具有三个箭头的箭头表示。多孔膜表面用虚线表示，冷凝器表面用实线表示。

在图 1 中，进液流（例如海水）被无孔膜 2 所限定，其用 1 表示，渗余流被多孔膜 4 所限定，其用 3 表示。5 为位于无孔膜 2 和多孔膜 4 之间的气体间隙，6 为热交换器，7 为用于将进液流流入热交换器 6 的通道，该进液流已被加热到一定程度。在无孔膜 2 和热交换器中已被加热的渗余流通过通道 8 进入被多孔膜 4 限定的室。9 为流经膜 4 的孔隙的蒸汽流，10 为在较冷的膜上 2 冷凝的液体流（例如脱盐水）。进液流 1 和渗余流 3 流向相反。对于进液流 1 和馏出/冷凝/产物流 10 流动方向也相反。这个后者的反向流动使得所谓的显热得以回收。（优选地）也可以通过将流 10 与渗余流，而后选择性地与流 1 同向流动经过热交换器而进入来实现显热的回收。气体间隙的宽度小于 5mm。

用以将液态纯水从海水(35 克/升盐)中分离出来，收率为 0 到 100%，所需的最小热动力能量约为 $3\text{-}15\text{MJ/m}^3$ 。这意味着以蒸馏为基础的脱盐法的能量消耗由次数，且能够用于回收水的蒸发热（大约 2326 MJ/m^3 ）的能量损失所决定。这由过程的回路以及蒸发/传质必需的驱动力所决定。

该过程比能量消耗主要由必需的驱动力（对蒸发的液流加热），被蒸发物流的吸热能力以及由渗余流与被蒸发的液流之间显热的损失所决定。因此，传质（它决定了必需的驱动力）、传热（特别是显热）和过程的回路/组件的设计尤为重要。

已发现，至少 10 个组件能产生一理想的反向流。通过使用气体间

隙（考虑通过垫板进行的传导），总的热量损失（即显热的传导）可以被限定在小于潜热损失（通过传质）的 10%。对于传质总系数为 0.06m/sec（对于通过聚丙烯中空纤维进行的水蒸气的渗透，测定的该值为 0.12m/sec），在温差小于或等于 2℃的情况下，所需馏出流速为大于 7 l/m².h。对于根据本发明所建造的组件，其显热损失为 10%，对于温差为 2℃的热平衡产生的热量回收为 10.6%，能量消耗为 82MJ/m³（海水的热容为 4.2MJ/m³.K，蒸发焓为 2326MJ/m³）。在本发明中，显热也同样被回收是尤为重要的；组件的设计使馏出流能够在与渗余流相同或低于渗余流的温度下离开组件。传质也可以被显著提高，而且通过在组件中使用真空显热的相对损失也可以被进一步减少。这就使得可以在很低的驱动力（温差）下对本发明的组件进行操作，从而伴随有低的能量消耗。

上述方法的变例示于图 2，其中残余热（在冷凝后可能残留）随排出的液体得以利用。该热不仅用来获得高的温度，而且该液体在与渗余流进行热交换过程中被冷却至其可排放的温度。主要的优点在于对残余热（能量）的更充分利用，同时通过提高温差而保持在组件底部的驱动力，其原因在于该类型的组件可以具有极紧密且廉价的结构。作为对图 1 所示实施例的补充，这里有一流动通道 11，其中经通道 12 供给的较温热的液体与渗余流 3 进行热交换。正如与图 1 所示的实施例中的情况相同，其结果是产生了冷凝流 10。按这种方法建造的一些组件可以串接起来，通过冷却水流 12b 已被冷却后的从组件 13 中流出的渗余流作为进液流 1 被供给下一个组件，在该组件中残余热用以加热渗余流 3，冷却水流 12b 在分隔开的组件 13 中反向流动，组件 13 含有多孔膜 14 和一窄的气体间隙 15。气体间隙 15 小于 5mm。在该实施例中，一分隔开的冷凝流 10 也在组件中产生，在该组件中冷却水用作热交换介质。

第三个实施例示于图 3, 其中多孔渗余流膜片 4a 与无孔渗余流膜片 4b 交替, 两者均在无孔膜 2 附近形成冷凝流, 无孔膜 2 限制了进液流 1, 并且在渗余流膜 4b 的无孔部分限制了渗余流。在该实施例中, 在组件中产生真空同样是有利的。

在图 1、图 2 和图 3 中所示的实施例中所使用的可能的组件实施例示于图 4 和图 5。其中, 组件包含一方形管, 构成室的壁, 其壁上有一开口 16, 即进液流配送室 17 用于较冷的进液流 1, 与其相对的排放配送室 18, 用于已被加热到一定程度的进液流 1, 进液流配送室 19 用于渗余流 2, 排放配送室 20 用于已被冷却到一定程度的渗余流 3。无孔中空纤维层 21, 其中进液流 1 从室 17 流入室 18, 在室 17 和 18 中扩展开。这些纤维的表面积比多孔纤维或片 22 的表面积大 (大 1.2 到 6 倍, 优选大 2 到 3 倍)。此外, 为了产生更大的冷凝表面积, 还可以有几层 (例如 2-4 层)。中空纤维层 22, 其中渗余流 3 从室 19 流到室 20, 在每个相邻的中空纤维层 21 之间扩展。在该图中, 中空多孔纤维 22 与中空纤维 21 成 90° , 但该角度可以在 10 到 170° 的范围内。此外, 层 22 也可以通过平板膜包覆形成, 其中用适当的垫板使流动通道打开。纤维 21 和 22 通过充满气体 (例如水蒸气或惰性气体) 高度多孔的垫板层或充气带 (孔隙率大于 70%, 优选大于 90%) 而被分开。

每一个部件均有连接方法 (例如卡环或树脂化合物), 其在图上没有表示出来, 通过与相邻组件的连接以使进液流能够从组件的室 18 流入下一个组件的室 17, 使渗余流能够从组件的室 20 流入前一个组件的室 19 (参见图 6)。

依据部件的设计, 连通开口 16 可以在图 4 所示的以外位置设置。相互连接的一些部件 (一般为 5 到 20 个) 构成一个组件。

当使用根据图 1 的第一个实施例时, 进液流 1, 渗余流 3 和冷凝流 10 的各种流动通道示于图 6。为了清楚起见, 在图 6 中彼此分开的四

个组件实际上是彼此连接的。进液流（例如海水）流经无孔中空纤维 21，渗余流 3（例如盐水）通过多孔中空纤维 22，冷凝/馏出/产物流（例如脱盐水）一滴滴从组件中流下。把组件作为一个整体来看，进液流 1 和渗余流 3 流向相反（在图中，液流 1 从底部向顶部流动，而液流 3 从顶部向底部流动）。此外，在该实施例中，冷凝/馏出流 10 与进液流 1 流向相反，而且在每个组件中进液流 1 与渗余流 3 彼此交叉（角度优选 90° ，可以在 10 到 170° 的范围内）。真空泵 24 与底部的组件相连接，其目的在于通过减少显热的相对损失从而降低能量的消耗，提高传质并且在非常低的驱动力（ ΔT ）下提供操作的可能性。

图 7 与图 6 的不同之处在于，渗余流也与残余热流 12a 在组件的部分 25 进行热交换。实际上，这里所关心的是对图 2 所示实施例中所用的组件进行进一步的发展。在组件的部分 25，用于进行残余热和渗余流传递的无孔膜纤维彼此交叉。组件的部分 25 可以与一个组件形成一个完整的整体，其中进液流 1 和渗余流 3 供给流向彼此相反。

根据图 3 的流动图的进一步发展示于图 8。渗余流既与进液流形成交叉流动，而且与其自身也进行交叉流动（在通过与进液流进行热交换而被冷却后）。为清楚起见，渗余流可能的温度示于图中。冷凝/馏出/产物流 10，例如脱盐水，既可以在渗余流与进液流彼此交叉流动的组件中制备，也可以在渗余流与渗余流彼此交叉流动的组件中制备。

已发现，通过使用本发明，在蒸汽流与冷凝流的蒸汽压差小的情况下，例如小于 0.1 巴，也可以由海水生产淡水，其比能量消耗小于 200KJ/Kg，也就是说，比已知的膜蒸馏法低大约 4-8 倍。

本发明特别适用于海水的脱盐。现存的该方面的技术，例如多级闪蒸和反向渗透，已经发展到了其几乎最大的限度，而且由于能量消耗高且单位产品投资水平高，与目前岸上纯化生产工艺相比较成本高。通过使用本发明，获得了令人满意的结果：流动速率高，热损失低，

能量消耗非常低，水回收率高，水质好并且在水生产的成本方面有了突破。本方法适用于在相当低的温度（低等级热，废热，太阳热收集器等）下使用。特别是在小规模应用的情况下，预期在能效方面有重大的改善。

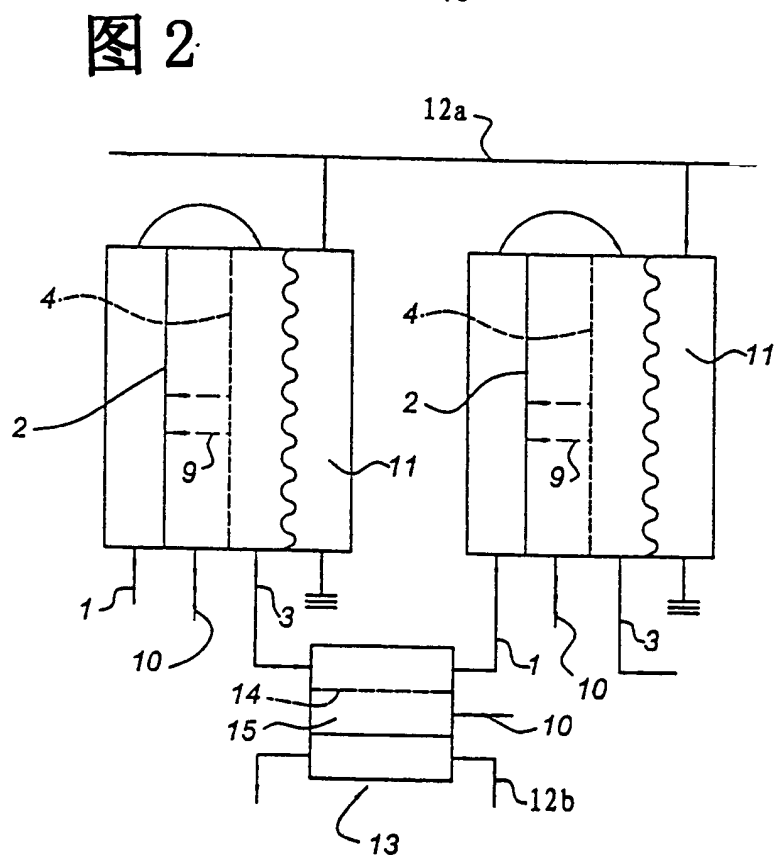
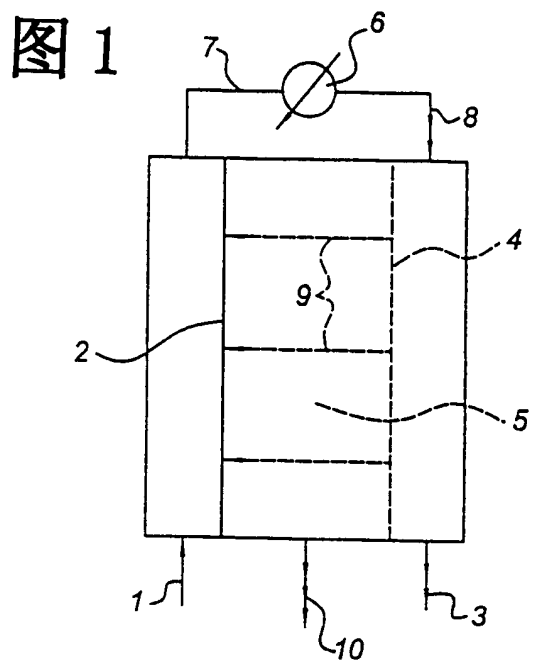


图 4

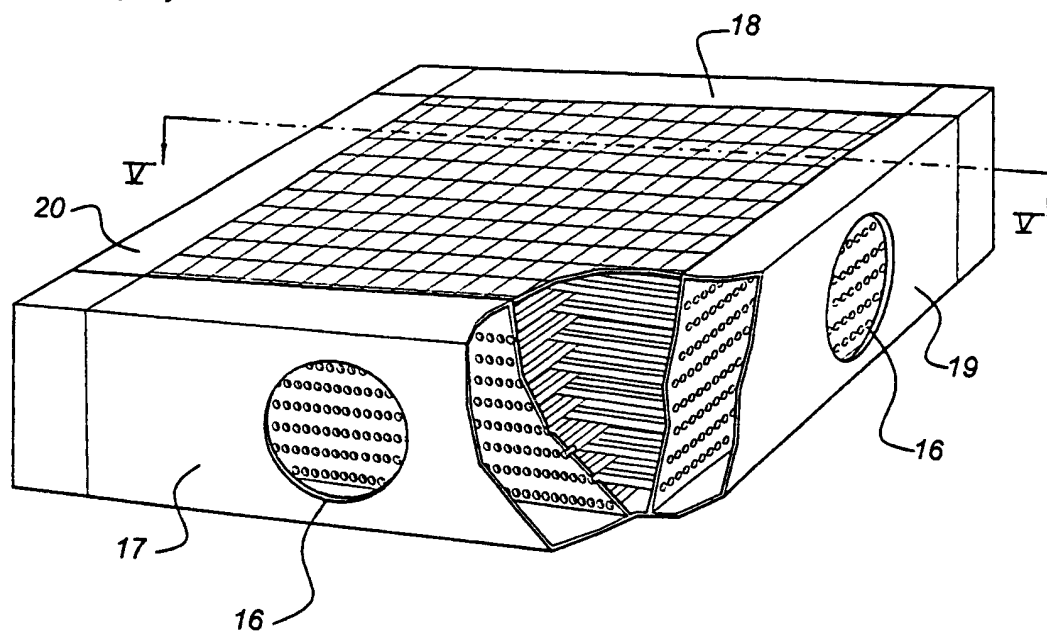


图 5

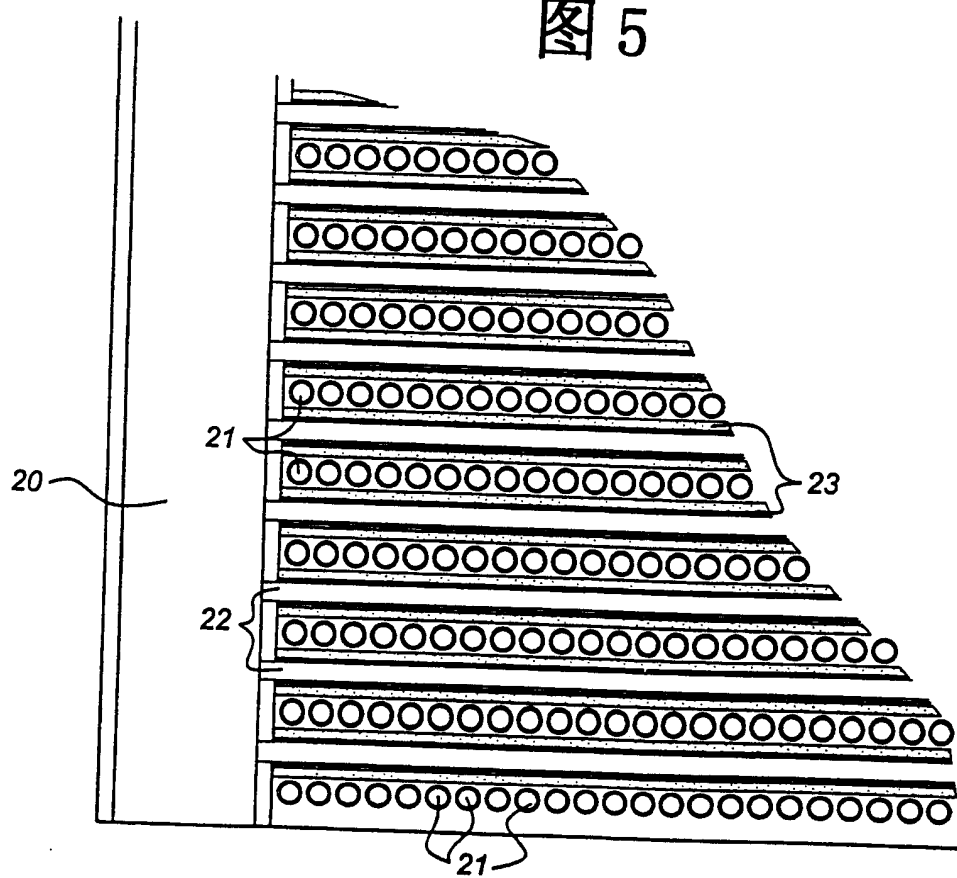


图 6

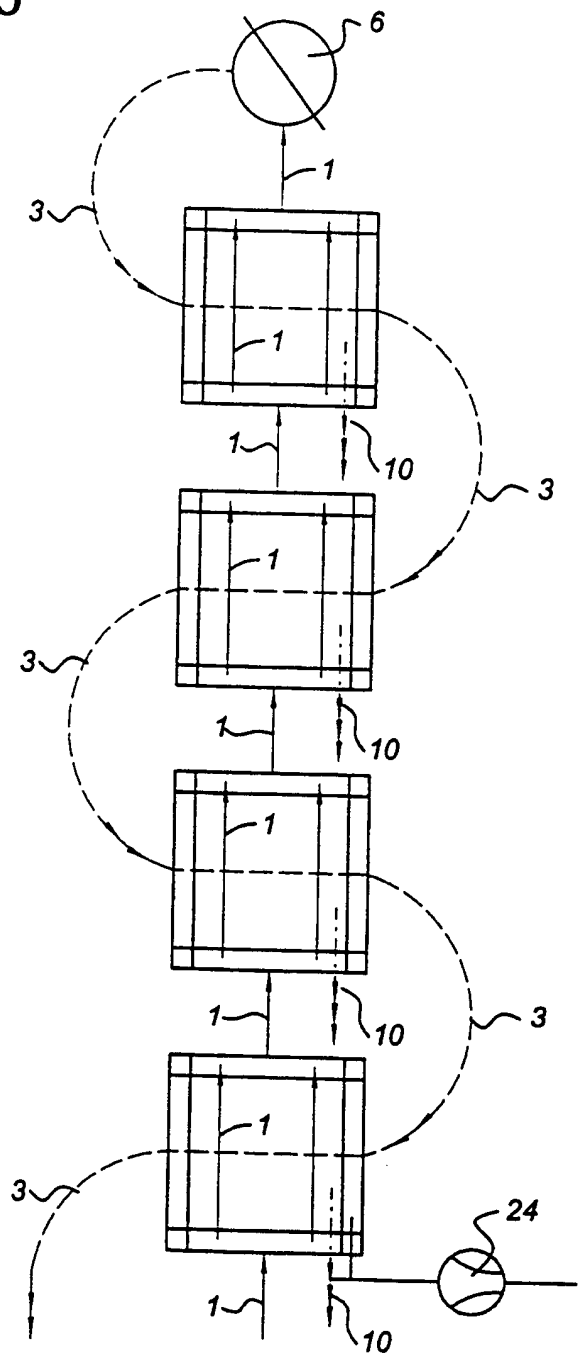


图 7

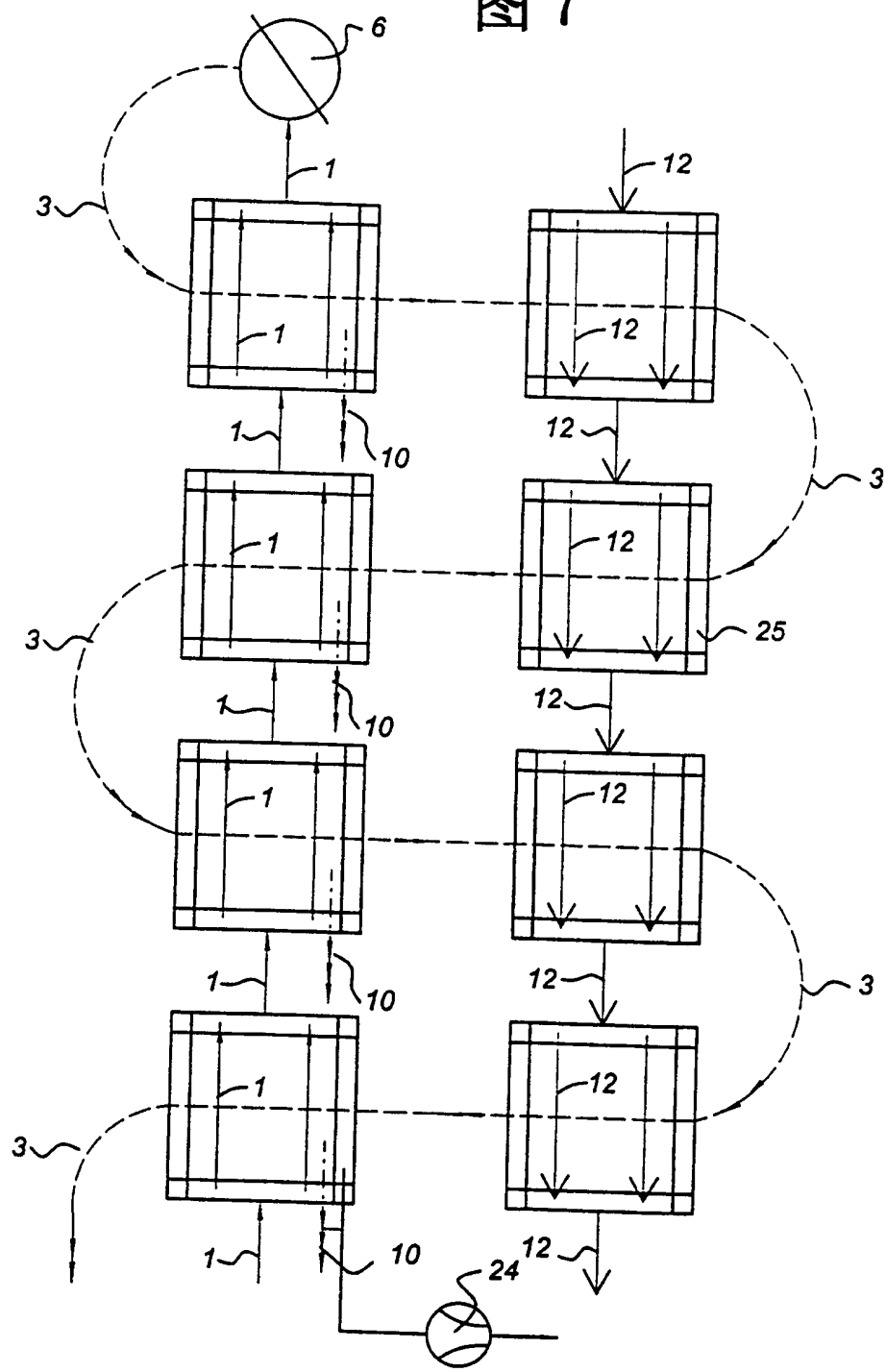


图 8

