



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101374591 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 14

(21) 申请号 200680027272. 4

(22) 申请日 2006. 06. 16

(30) 优先权数据

60/693, 421 2005. 06. 24 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 01. 25

(86) PCT申请的申请数据

PCT/SG2006/000165 2006. 06. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02006/137808 EN 2006. 12. 28

(73) 专利权人 南洋理工大学

地址 新加坡新加坡城

(72) 发明人 安托尼·G·法内

伊拉绍特·帕塔拉纳维克 黄福胜

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 顾晋伟 刘晓东

(51) Int. Cl.

B01D 61/36 (2006. 01)

C02F 3/00 (2006. 01)

C02F 9/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004000521 A1, 2004. 01. 01, 说明书
[0043]–[0091] 及附图 1.

US 4875980 A, 1989. 10. 24, 实施例 1.

CN 1153483 A, 1997. 07. 02, 实施例 1 及图
1–3.

审查员 李征

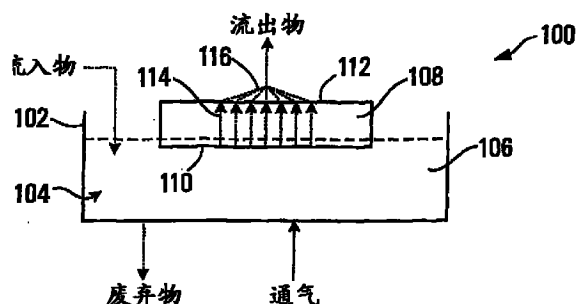
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 9 页

(54) 发明名称

利用膜蒸馏生物反应器处理受污染的流入物

(57) 摘要

提供一种膜蒸馏生物反应器 (100), 用于处理诸如废水的受污染流入物。可以如下处理受污染的流入物: 通过使用生物反应器中的生物试剂生物降解流入物中的污染物以产生较少污染物的流入物, 然后通过膜蒸馏使较少污染物的流入物蒸馏穿过与生物反应器流体连通的蒸馏膜 (108) 以产生流出物。流入物可以是废水。流出物可以是净化水。在一个实施方案中, 膜可以位于生物反应器容器 (102) 的反应室内, 并可以浸入混合液中。在适用于废水处理的实施方案中, 膜可以位于生物反应器之外。生物反应器可以是好氧或厌氧的。



1. 一种处理受污染的流入物的方法,其包括:
提供限定反应室的生物反应器容器;
提供位于所述反应室内并与出口管流体连通的蒸馏膜;
将生物试剂和所述受污染的流入物置于所述反应室内以利用所述生物试剂来生物降解所述受污染的流入物中的污染物,由此产生较少污染物的流入物;
通过膜蒸馏将所述较少污染物的流入物蒸馏穿过所述蒸馏膜以产生流出物;和
通过所述出口管将所述流出物排出所述反应室,
其中所述生物试剂包括生物质。
2. 权利要求1的方法,其中所述受污染的流入物包括废水,而所述流出物包括水。
3. 权利要求1或2的方法,其中所述生物质是活化的。
4. 权利要求1或2的方法,其中所述膜蒸馏包括直接接触膜蒸馏、气隙膜蒸馏、气扫式膜蒸馏、真空膜蒸馏和等温膜蒸馏中的至少一种。
5. 权利要求1或2的方法,其包括加热所述较少污染物的流入物。
6. 权利要求1或2的方法,其包括用气体给所述反应室通气。
7. 权利要求1或2的方法,其中所述蒸馏膜具有与所述较少污染物的流入物接触的进料侧和从其收集所述流出物的渗透侧。
8. 权利要求7的方法,其中所述蒸馏膜浸没在所述较少污染物的流入物中。
9. 权利要求7的方法,其中所述进料侧处于第一温度,所述渗透侧处于第二温度,且所述第一温度比所述第二温度高5~70℃。
10. 权利要求9的方法,其中所述第一温度在10~90℃的范围内,所述第二温度在5~30℃的范围内。
11. 权利要求1的方法,其中所述蒸馏膜是多孔的,具有0.05~5微米范围内的平均孔径。
12. 权利要求1或11的方法,其中所述蒸馏膜具有0.05~1.5mm范围内的膜厚。
13. 权利要求1或2的方法,其中所述蒸馏膜具有疏水性。
14. 一种用于处理受污染的流入物的系统,其包括:
限定反应室的生物反应器容器,其用于使用生物试剂来生物降解所述反应室中的所述受污染的流入物,以产生较少污染物的流入物;
位于所述反应室内的蒸馏膜,其用于通过膜蒸馏将所述较少污染物的流入物蒸馏穿过所述蒸馏膜以产生流出物;和
与所述蒸馏膜流体连通的出口管,其用于将所述流出物排出所述反应室,
其中所述生物试剂包括生物质。
15. 权利要求14的系统,其中所述蒸馏膜具有疏水表面。
16. 权利要求14或15的系统,其中所述蒸馏膜包括平板膜、管式膜和中空纤维膜中的至少一种。
17. 权利要求14或15的系统,其中所述蒸馏膜包括选自聚丙烯、聚偏氟乙烯和聚四氟乙烯的材料。
18. 权利要求14或15的系统,其中所述膜蒸馏包括直接接触膜蒸馏、气隙膜蒸馏、气扫式膜蒸馏、真空膜蒸馏和等温膜蒸馏中的至少一种。

19. 权利要求 14 或 15 的系统,其包括连接至所述生物反应器容器的气体注入器,用于使用气体给所述反应室通气。

20. 权利要求 19 的系统,其中所述气体包括空气。

21. 权利要求 14 或 15 的系统,其包括用于加热所述较少污染物的流入物的加热器。

22. 权利要求 14 或 15 的系统,其包括用于使运载流体流动以将所述流出物带离所述蒸馏膜的流体回路。

23. 权利要求 22 的系统,其包括用于冷却所述运载流体的冷却装置。

24. 权利要求 22 或 23 的系统,其中所述流体回路包括用于循环所述运载流体的流体回路。

25. 权利要求 14 的系统,其中所述蒸馏膜是多孔的,并具有 0.05 到 5 微米的平均孔径。

26. 权利要求 14 或 25 的系统,其中所述蒸馏膜具有 0.05 到 1.5mm 的厚度。

27. 权利要求 14 或 15 的系统,其包括选自双面平板膜组件、平板盒式膜组件、管式膜组件、中空纤维组件和螺旋缠绕膜组件的膜组件,所述膜组件包含所述蒸馏膜。

28. 权利要求 27 的系统,其中所述膜组件限定用于容纳渗透穿过所述蒸馏膜的所述流出物的内部流体通道,所述膜组件放置为浸入所述较少污染物的流入物。

29. 权利要求 14 或 15 的系统,其包括支承所述蒸馏膜的挡板。

30. 一种处理废水的方法,其包括:

提供限定反应室的生物反应器容器;

提供在所述反应室内的蒸馏膜;

用所述反应室中的生物质生物降解所述废水中的污染物以产生低污染物的废水;和
通过膜蒸馏将所述低污染物的废水蒸馏穿过所述蒸馏膜以产生净化水。

31. 权利要求 30 的方法,其中所述生物质是活化的。

32. 权利要求 31 的方法,其中所述生物质包括活性淤泥。

33. 权利要求 30 的方法,其中所述生物降解包括好氧或厌氧生物降解所述污染物。

34. 权利要求 31 的方法,其中所述生物降解包括好氧或厌氧生物降解所述污染物。

35. 权利要求 30-34 中任一项的方法,包括加热所述低污染废水。

36. 权利要求 35 的方法,其中所述生物质包括耐热细菌。

37. 一种用于处理废水的系统,其包括:

限定反应室的生物反应器容器,其用于在所述反应室中利用生物质生物降解所述废水中的污染物以产生低污染物的废水;和

在所述生物反应器容器内的蒸馏膜,其用于通过膜蒸馏将所述低污染物的废水蒸馏穿过所述蒸馏膜以产生净化水。

38. 权利要求 37 的系统,其中所述生物质是活化的。

39. 权利要求 38 的系统,其中所述活性生物质包括活性淤泥。

40. 权利要求 37 的系统,其中所述生物质能够好氧生物降解所述污染物。

41. 权利要求 37 的系统,其中所述生物质能够厌氧生物降解所述污染物。

42. 权利要求 37 的系统,其包括用于加热所述生物反应器的加热器。

43. 权利要求 42 的系统,其中所述生物质包括耐热细菌。

44. 权利要求 37 ~ 43 中任一项的系统,其中所述蒸馏膜位于所述反应室之外并且位于

所述生物反应器容器内。

45. 权利要求 44 的系统,其中使所述生物质的至少一部分循环,从所述反应室至所述蒸馏膜和然后返回所述反应室。

利用膜蒸馏生物反应器处理受污染的流入物

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2005 年 6 月 24 日提交的美国临时申请 No. 60/693, 421 的优先权, 其内容通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本发明涉及流入物的处理, 并具体涉及利用生物反应器和蒸馏膜处理受污染的流入物。

背景技术

[0004] 常规的膜生物反应器 (MBR) 已经用于处理诸如废水的流入物以获得更干净的水, 该废水含有水和污染物例如生物可降解有机物和细菌。

[0005] 在使用 MBR 的典型常规废水处理工艺中, 废水被送入生物反应器。生物反应器含有诸如活性淤泥的生物物质 (biomass), 该生物物质生物降解废水中的某些生物可降解的污染物。活性淤泥含有细菌絮凝物。废水和生物物质在生物反应器中形成混合液。混合液可包括悬浮物例如混合的液体-固体悬浮液。滤膜组件被用于纯化混合液, 其可以浸在混合液中或置于生物反应器的外部。滤膜组件中的膜具有接触混合液或“进料”的进料侧和允许从其收集渗透物的反面渗透侧。该膜具有允许液体穿过但将阻止生物物质材料如细菌絮凝物穿过的孔。当在进料侧和渗透侧之间建立压差 (例如通过在进料侧增压或在渗透侧抽吸) 时, 迫使水和其它流体物料 (包括溶解在水中的残余有机物) 穿过孔进入渗透侧的内部通道。但是, 阻止生物物质材料如细菌絮凝物穿过并使其停留在进料侧。然后收集渗透物以用于其它用途或排出。用于废水处理的常规 MBR 中的膜包括微滤 (MF) 膜 (孔径为约 0.1 ~ 0.2 微米) 和超滤 (UF) 膜 (孔径为约 0.01 ~ 0.1 微米)。

[0006] 但是, 常规 MBR 和使用 MBR 的废水处理工艺有某些缺点。例如, 虽然 MF 和 UF 膜能除去渗透物中的细菌絮凝物, 但是这些膜只提供对含有还未降解的进料有机物和代谢副产物的残余有机物的有限截留, 因为残余有机物溶解在水中并能穿过膜。尽管可以在生物反应器和膜的下游提供额外的设备来分离未降解的有机物和将它们循环回到生物反应器中, 但是这导致成本、能耗和设备体积增加。

[0007] 已经尝试用孔径更小的纳滤 (NF) 膜代替 MF 或 UF 膜来提高残余有机物的截留。但是, NF 也存在一些缺点。一个问题在于, 与具有 MF 或 UF 膜的系统相比, 具有浸入式 NF 膜的系统产生低的渗透物通量 (每单位膜面积的渗透物产生速率)。虽然具有外部 NF 膜的系统可产生较高的渗透物通量, 但是它的运行需要更多的能量和更高的成本。

[0008] 此外, 期望能够监测膜的破损, 但不使用在废水处理用的常规 MBR 系统中经常需要的昂贵且复杂的技术和设备。

[0009] 还期望为处理系统提供小的“足印” (系统占用的地面空间)。

[0010] 此外, 需要改进的处理受污染流入物的系统和方法。

发明内容

[0011] 根据本发明的一个方面,提供一种处理受污染的流入物的方法。该方法包括提供限定反应室的生物反应器容器;提供位于反应室内并与出口管流体连通的蒸馏膜;将诸如活性淤泥的生物试剂和受污染的流入物置于反应室内以利用生物试剂来生物降解受污染的流入物中的污染物,由此产生较少污染物的流入物(即具有较低的污染物浓度);通过膜蒸馏将较少污染物的流入物蒸馏穿过蒸馏膜以产生流出物;和通过出口管将流出物排出反应室。

[0012] 根据本发明的另一方面,提供一种用于处理受污染的流入物的系统。该系统包括限定反应室的生物反应器容器,其用于利用生物试剂来生物降解反应室中受污染的流入物以产生较少污染物的流入物;位于反应室内的蒸馏膜,其用于通过膜蒸馏将较少污染物的流入物蒸馏穿过蒸馏膜以产生流出物;和与蒸馏膜流体连通的出口管,其用于将流出物排出反应室。

[0013] 根据本发明的另一方面,提供一种处理废水的方法。该方法包括提供限定反应室的生物反应器容器;提供与反应室流体连通的蒸馏膜;利用反应室中的生物质生物降解废水中的污染物以产生低污染物废水;和通过膜蒸馏将低污染物废水蒸馏穿过蒸馏膜以产生净化水。

[0014] 根据本发明的另一方面,提供一种用于处理废水的系统,其包括限定反应室的生物反应器容器,其用于利用反应室中的生物质生物降解废水中的污染物以产生低污染物废水;和与生物反应器容器流体连通的蒸馏膜,其用于通过膜蒸馏将低污染物废水蒸馏穿过蒸馏膜以产生净化水。

[0015] 在结合附图阅读下列特定实施方案的说明后,本发明的其它方面和特征对于本领域的技术人员将会是显而易见的。

附图说明

[0016] 图中仅以举例的方式示出本发明的实施方案。

[0017] 图 1 ~ 3 是相应的示例性膜蒸馏生物反应器 (MDBR) 的示意截面图;

[0018] 图 4 ~ 6 是相应的示例性 MDBR 系统的示意图;

[0019] 图 7 和 8 分别是用于图 6 中的膜组件的两种可能通道布置的示意截面图;

[0020] 图 9 包括图 8 中的管式膜组件的示意侧视图和截面图;

[0021] 图 10 是具有外部膜组件的示例性 MDBR 系统的示意图;

[0022] 图 11 是图 10 的膜组件的示意截面图;

[0023] 图 12 是具有外部膜组件的另一 MDBR 系统的示意图;和

[0024] 图 13 ~ 16 分别是在相应的示例性 MDBE 系统测试期间测量的渗透物通量的数据图。

具体实施方式

[0025] 概括而言,可利用混合型膜蒸馏生物反应器 (MDBR) 来处理受污染的流入物。该系统包括用于生物降解该流入物的一种或多种污染物以产生较少污染物的流入物的生物反应器,和具有与生物反应器流体连通的蒸馏膜 (DM) 的膜蒸馏 (MD) 单元,其用于通过膜蒸馏

将较少污染物的流入物蒸馏穿过蒸馏膜以产生流出物。较少污染物的流入物中的污染物浓度比受污染的流入物中的要低。流入物可包含废水，流出物可包含处理水。在一个实施方案中，膜位于生物反应器容器内。在一个适于废水处理的的不同实施方案中，膜不需要在生物反应器容器中，而可以位于生物反应器容器之外。在流入物处理工艺中，将流入物进料到生物反应器中，生物反应器含有用于生物降解流入物中污染物的生物试剂。流入物的一种或多种污染物在生物反应器中生物降解，产生较少污染物的流入物。然后，使较少污染物的流入物膜蒸馏穿过蒸馏膜，产生污染可进一步降低的流出物。

[0026] 如所能理解的，蒸馏膜具有进料侧和渗透侧，并在进料侧和渗透侧之间限定渗透路径，用于允许期望的挥发性物质以气相从中渗透穿过，但基本阻止任何液相或固相物质通过。在膜蒸馏中，将进料引入膜的进料侧。该进料包括挥发性物质，当进料侧的蒸气压高于渗透侧的蒸气压时，该挥发性物质以气相从进料侧向渗透侧渗透穿过蒸馏膜。通过冷凝成冷却液体流或冷凝到冷却表面上来收集渗透蒸气。本发明的实施方案中使用的 MD 工艺可以是任意合适的 MD 技术，包括常规 MD 技术如直接接触 MD、气扫式 MD、气隙 MD、真空 MD、等温（或渗透）MD 等或其任意组合。本领域的技术人员可以容易地实施这些 MD 技术。

[0027] 例如，在直接接触 MD 中，渗透蒸气冷凝成接触蒸馏膜渗透侧的冷却溶液并由此收集。冷却溶液可以是冷凝渗透物的溶液，并可以循环。

[0028] 在真空 MD 中，可以利用诸如真空泵（未图示）在渗透侧维持真空。可通过真空泵收集渗透蒸气。然后从真空泵排出的渗透蒸气可以在冷凝器（未图示）中冷凝。

[0029] 在气隙 MD 中，可以在膜的渗透侧表面和冷却收集表面之间提供气隙。渗透蒸气可以穿过气隙并冷凝在冷却收集表面上。

[0030] 在气扫式 MD 中，吹扫气可流过膜的渗透侧以从膜上带走渗透气。

[0031] 在等温（或渗透）膜蒸馏中，利用具有低蒸气压的高渗透压渗透流实现蒸气压差。为回收水产品，有必要对该物流进行进一步的处理。

[0032] 如所能理解的，在每种这些 MD 技术中，在渗透侧形成较低的渗透蒸气压。如所能理解的，增加跨膜的蒸气压差可以增加渗透物通量（每单位膜面积的渗透物流量）。为增加蒸气压差，可以提高进料侧的温度。

[0033] 在本发明的实施方案中，蒸馏膜的进料侧可与较少污染物的流入物直接接触。该膜可位于生物反应器内或外，如下文将描述的。蒸馏膜可以是微孔疏水膜。它可以是管式膜、平板膜或中空纤维膜。该膜可以整合在膜组件中。膜组件可以包括管式膜或双面平板膜或中空纤维膜。该膜组件可以是浸入式组件或侧流组件。

[0034] 待处理的流入物可以包括任何流体、溶液、混合液体 - 固体悬浮液或其它任何流体物质。例如，流入物可以是预处理的或未预处理的废水或污水。

[0035] 如所能理解的，MDBR 系统可在许多应用中具有优点。例如，当用于废水回收系统时，可将混合液中的残余有机物从流出物中有效除去。事实上，混合液中的所有固体或液体污染物可以被有效除去并与渗透物分离，只要污染物在进料侧温度下具有与水蒸气压相比足够低的蒸气压。这允许混合液中的有机溶质有足够的时间在生物反应器内分解。只有在这些溶质分解后，分解的物质才可以变得可透过蒸馏膜。因此，生物可降解的有机物在生物反应器中的停留或截留时间可以非常（甚至无限）长，以保证充分生物降解。此外，即使是具有浸入式膜组件的 MDBR 系统在相似的操作条件下可以产生与常规 MF 或 UF MBR 系统相

当的渗透物通量,并且远高于常规 NF MBR 系统的渗透物通量。

[0036] 图 1 示出本发明实施方案的示例性 MDBR100。MDBR100 包括生物反应器容器 102,其限定用于容纳混合液 106 的反应室 104。具有进料侧 110 和渗透侧 112 的蒸馏膜 108 相对于室 104 布置,使得进料侧 110 接触混合液 106。膜 108 与反应室 104 流体连通,并可以位于反应室 104 内或外。膜 108 限定从进料侧 110 到渗透侧 112 的渗透路径 114。膜 108 可以是多孔的,并且其平均孔径可以选择为使得允许混合液 106 中诸如水的进料蒸气从进料侧 110 渗透穿过膜 108 到达渗透侧 112,但是基本防止或阻止混合液 106 中的任何液相或固相物质穿过从进料侧 110 到达渗透侧 112。

[0037] 生物反应器容器 102 可用合适的材料以任意合适的方式构建,并可以根据具体的应用具有常规结构。例如,可根据所进行的生物降解反应是好氧或厌氧的,而选择或构建生物反应器。用于好氧生物降解污染物的生物反应器称为好氧生物反应器,而用于厌氧生物降解污染物的生物反应器称为厌氧生物反应器。如所能理解的,好氧或厌氧生物反应器都可根据具体应用而用于本发明实施方案中。生物反应器可以是加热悬浮固体好氧生物反应器。生物反应器可以是适合用于废水处理或回收的生物反应器。生物反应器容器 102 可以是任意合适的用于容纳流体的槽或容器。槽或容器的材料可基于槽或容器中所容纳的流入物和生物质的类型来选择。当期望加热生物反应器中的混合液时,生物反应器容器 102 可由适合于高温应用的材料制成。生物反应器容器 102 可以是耐热生物反应器并且生物质可以是耐热的。如本领域的技术人员所能理解的,例如,可以培养和驯化用于生物反应器的生物质而使其耐热。如本领域的技术人员所能理解的,用于建造生物反应器容器 102 和该系统操作所需要的任何管道(未图示)的材料可能需要抵抗生物附着、微生物消化和弱酸或碱的腐蚀。

[0038] 膜 108 可以是如图所示的平板膜,或可以具有另一种合适的类型或形状,这将在下文进一步说明。膜 108 可以是膜组件或单元的形式。可以包括多于两张或层的膜。根据应用,膜组件还可以具有各种结构、形状和尺寸。膜组件可以具有任意合适的类型,例如双面平板、平板盒式、螺旋缠绕、管式、中空纤维等。

[0039] 膜 108 可由任意合适的材料制成。膜 108 的壁可以是微孔性的。膜可以具有疏水性。例如,膜 108 的表面,包括其内孔表面可以是疏水的。例如,渗透侧 112 上的表面和附近的孔表面可以是疏水的,而进料侧表面可以是疏水或亲水的。当膜材料疏水时,可以对进料侧表面进行化学或物理改性或处理以使它疏水,如本领域的技术人员所能理解的。膜可由聚合物材料制得。用于形成蒸馏膜的合适材料包括微孔、疏水和聚合物材料,例如聚丙烯(PP)、聚偏氟乙烯(PVDF)、聚四氟乙烯(PTFE)等。

[0040] 膜材料和孔结构选择为使诸如水蒸气或其它挥发性组分蒸气的气体可以渗透穿过膜壁,但是阻止液体和固体物质穿过孔。如果孔的内表面疏水使孔表面在操作期间保持干燥,则其可以是有利的。如所能理解的,完全阻止液体或固体物质进入孔会是不可能的或不必要的。孔的一些润湿或液体或固体物料的通过是可以容许的,但是使这种润湿和通过最小化或减少可以是有利的。例如,在一些实施方案中,平均孔径可以在 0.050 到 5 微米的范围内,并且壁厚可以在 0.05mm 到 1.5mm 的范围内。膜的孔隙率可以在 50 ~ 90% 的范围内。

[0041] 膜材料可以根据应用而具有其它任选或必要的特性或性能,如本领域的技术人员

所能理解的。例如,当材料抗流入物组分中的化学或生物腐蚀时可以有利的。

[0042] MDBR100 还可以包括其正确操作所需要的其它部件,为简洁和清楚的原因没有显示这些部件。本领域的技术人员可以容易地理解和提供这些必要或任选的部件。在下面其它示范性实施方案的内容中描述了这些部件中的一些。

[0043] 在操作中,将一种或多种生物降解剂置于室 104 内。例如,生物降解剂可包括生物质,例如活性淤泥或厌氧生物质。

[0044] 将诸如废水的流入物引入室 104 中。例如,该流入物可包括有机废水,例如整染废水、生活废水、农业废水等。该流入物包含一种或多种污染物,例如有机污染物、细菌等,其可以被生物降解剂生物降解。该流入物还含有挥发性进料,例如水。流入物可含有某些将从水中除去和分离的固体或流体组分。例如,废水可包括一种或多种包含固体污染物的污染物,该污染物需要除去以使处理水可以再使用。该流入物可含有悬浮固体颗粒或胶体分散体。

[0045] 生物降解剂可包括生物质,并且能够根据应用对污染物进行好氧或厌氧生物降解。

[0046] 流入物和生物降解剂在室 104 中混合形成混合液 106。混合液 106 可含有混合液体-固体悬浮物。混合液 106 可含有诸如水的溶剂,并可含有各种溶质、悬浮颗粒、胶体分散体等。混合液 106 还可含有其它处理材料,例如粉末活性碳 (PAC)、树脂粉末等或其组合。如所能理解的,诸如 PAC 和树脂粉末的微米或纳米尺寸的吸附粉末材料可以吸附有机物质并可提供细菌附着的位置。通常,处理材料悬浮在混合液中,尽管室 104 中一些悬浮材料在处理或操作期间会沉降。其它可以置于室 104 中的材料包括多孔材料,例如陶瓷、聚合物(包括聚乙烯)等。可将用于调整混合液 pH 值的缓冲剂加入室 104 中。可加入室 104 中的材料还可包括用于常规 MBR 应用的任意合适材料。

[0047] 蒸馏膜的进料含有待收集的挥发成分,例如水。进料可含有适合通过膜蒸馏产生期望渗透物的任何感兴趣流体。进料还可以包括一种以上的挥发组分。

[0048] 为易于说明和演示的目的,下文假定流入物是废水,而感兴趣的挥发组分是水。但是,应该理解还可以收集其它类型的挥发组分,如本领域的技术人员所能理解的。还假定混合液 106 含有活性淤泥。

[0049] 活性淤泥可以例如包含用于消化废水中的污染物的微生物。该淤泥可包含生物活性微生物固体,并可含有细菌和真菌的微生物絮凝物的混合物。该淤泥可以任意合适的方式获得。例如,它可以通过高温驯化从室温废水处理过程中采集的活性淤泥获得。或者,该淤泥可通过培养纯耐热细菌获得。又一备选方案是培养和驯化纯耐热细菌和得自室温废水处理过程的淤泥的混合物。

[0050] 可将流入物连续送入生物反应器容器 102 中。

[0051] 随着时间的流逝,生物反应器容器 102 中的生物质将流入物中的一些污染物生物降解,由此在生物反应器容器 102 中产生低污染物的流入物。污染物可通过任意合适的生物反应来生物降解,例如涉及代谢、生物氧化和还原、代谢-化能营养、化能有机营养、化能无机营养、电子和能量传递和投入等的生物反应。这些反应可以在 10 到 90℃ 的温度下进行。混合液的温度还可保持在 40 到 90℃ 的范围。如所能理解的,在蒸馏膜进料侧的更高温度可以产生更高的渗透物通量,因此在一些应用中可以有利的。

[0052] 在此期间,建立跨蒸馏膜 108 的足够的蒸气压差,使水蒸气渗透穿过膜 108。但是,基本阻止将液相或固相中的任何物质运送穿过膜 108。甚至液相中的水也基本被膜 108 阻止。因此,渗透穿过膜 108 的渗透物 116 具有减少的污染物。

[0053] 冷凝渗透物 116 并收集为流出物,其方式取决于任何具体实施方案中所用的 MD 技术。随后可将流出物导向期望的目标。例如,可使运载流体或冷却馏出物(未图示)流过渗透侧 112 以将渗透物 116 带离膜 108。

[0054] 为增加渗透物通量,可增加进料侧 110 和渗透侧 112 之间的温差。例如,为处理废水,温差可以在 5 到 70℃ 的范围内。可以加热混合液 106。可以冷却膜 108 的渗透侧 112。在渗透侧 112 上可提供冷却收集表面(未图示)用于冷凝和收集渗透物。该收集表面可由收集板(未图示)的表面或运载流体(未图示)提供。为正确操作膜蒸馏工艺和获得期望的渗透物通量,温差应该足够大,但是可根据应用和流入物/流出物的类型而变化。进料侧 110 处的混合液 106 可具有 10 到 90℃ 或 30 到 80℃ 的温度。渗透侧 112 的温度可以在 5 到 30℃ 的范围内。可以提供自动温度控制系统或机构(未图示)以控制生物反应器和膜的不同区域的温度。

[0055] 加热厌氧生物反应器可以有利地用于某些应用。例如,在厌氧生物反应器中,由于生物降解过程可产生甲烷,然后可使甲烷燃烧产生热量以方便地加热生物反应器,由此控制混合液 106 中的温度。

[0056] 可以周期性地或连续地将诸如废弃淤泥的废弃物从室 104 中除去。室 104 中的混合液 106 可通入气体如空气。例如可通过置于室 104 底部气体注入器或另一通气装置(未图示)将空气或另一种气体供应给混合液 106。通气可满足一个或多个目的,例如给微生物供氧、控制结垢或其它目的。

[0057] 图 2 显示另一个示例性 MDBR 100',即 MDBR 100 的变型。使用双面平板膜组件 117 代替简单的平板膜。该膜组件限定内通道 118。膜组件 117 具有平行布置的两个平板膜 108A 和 108B。每个膜的进料侧 110 面朝外,而渗透侧 112 面向内通道 118。膜组件 117 浸入生物反应器容器 102 的混合液 106 中。

[0058] MDBR 100' 可以如 MDBR 100 一样类似地操作。但是,在 MDBR 100' 中比在 MDBR 100 中有更大的膜表面暴露于混合液 106,使得可以获得更大的渗透物流量。从通道 118 收集渗透物 116。渗透物的收集将在下文中进一步说明。通道 118 可形成闭合流体回路的一部分以方便地收集渗透物 116,如将在下文中进一步说明的。

[0059] 图 3 示出 MDBR 100' 的一种可能变型。MDBR 100' 具有管式膜组件 119 来代替膜组件 117。管式膜组件 119 限定内通道 118' 并具有管式膜,该管式膜具有接触混合液 106 的进料侧 110' 和渗透侧 112',可通过内通道 118' 从渗透侧 112' 收集渗透物 116。膜组件 119 中的膜只允许挥发性物质通过渗透路径 114' 从进料侧 110' 渗透到渗透侧 112'。

[0060] 图 4 是示例性 MDBR 系统 120 的示意图。MDBR 系统 120 包括在室 104 中含有混合液 106 的生物反应器容器 102。膜组件 122 浸入混合液 106 中。

[0061] 膜组件 122 与组件 117 类似。内通道 118 伸长并沿水平定向的中央纵轴 124 延伸。因此,该膜是水平定向。

[0062] 设置流体回路 126 用于从膜组件 122 的内通道 118 冷凝和收集渗透物。流体回路 126 包括连接至内通道 118 的各自末端以在其间提供流体流动路径的流体管 128 和 130,

以及流体储槽 132。管 128 限定用于将蒸馏流出物从室 104 中经其抽出并引导流体从通道 118 流向流体储槽 132 的出口导管。管 130 引导流体从储槽 132 返回通道 118。连接到储槽 132 的流体管 134 将流出物从储槽 132 导向期望的目的地（未图示）。可以提供流体泵 136 以驱动流体在流体回路 126 中流动。可以提供冷却单元 138 以冷却在流体回路 126 中流动的流体。例如，冷却单元可以连接至管 130 用于冷却流经其中的流体。

[0063] 可使用任意合适的材料以任意合适的方式构建各种管和其它部件。用于管和其它部件的材料可根据应用来选择，如上所述。

[0064] 如所能理解的，可以提供一个或多个流体控制部件用于控制 MDBR 系统中的流体流动。例如，可提供流量表或流量计和控制阀用于控制系统的操作。

[0065] 在操作中，将诸如废水的污染流入物引入室 104。可以在室 104 中初始处理流入物，如上所述。

[0066] 初始在储槽 132 中提供运载流体例如水，并将其泵送穿过管 128 和 130 以保持通道 118 中的流体流动。可以通过泵 136 来驱动流体流动，使得流体可以从储槽 132 抽出、流经管 130、通道 118、管 128，然后返回储槽 132。由此，流体路径形成回路。储槽 132 初始可容纳清洁水或处理水。流体回路 126 中的运载流体通过冷却单元 138 来冷却。

[0067] 如上所述，可以加热混合液 106。因此，在混合液 106 和内通道 118 中的运载流体之间存在温差。该温差可以如上文关于 MDBR100 的操作所讨论的。因此，渗透物在内通道 118 中冷凝形成蒸馏净化水，如上文关于 MDBR 100' 的操作所讨论的。

[0068] 运载流体将通道 118 中的蒸馏水从膜组件 122 运走，经过管 128 送入储槽 132。

[0069] 储槽 132 中的净化水可以作为流出物经管 134 抽出并输送到期望目标，例如用于进一步处理或再使用。

[0070] 可以连续或间歇地如等间隔地从储槽 132 中抽取流出物。任选地，可根据储槽 132 中累积的流体量来抽取流出物。在一个实施方案中，可在储槽 132 中的流体达到最大液位时开始抽取流体，而在流体位于或低于最小液位时停止抽取。

[0071] 可以改变室 104 和通道 108 中的温度来控制蒸馏过程和渗透物通量。例如，可以间隔地降低温差以允许某些处理过程在经过膜组件 122 收集水之前在生物反应器容器 102 中持续更长的时间。

[0072] 为增加渗透物通量，可以采取一个或多个下列步骤。可以增加混合液 106 中的温度。可以例如用搅拌机来搅拌混合液 106，以促进其中的湍流和涡流。可以使用空气或气泡或空气喷射在膜表面引起剪切应力，或促进混合液 106 的湍流。可以通过促进微生物对在生物介质载体的附着来降低混合液 106 的粘度。可以使用超声波来引发膜表面和混合液 106 分子的振动，以防止膜表面结垢并促进膜表面上的水蒸发。还可以采取其它合适的步骤。

[0073] MDBR 系统 120 的各种变型或改进是可能的。例如，图 5 示意性示出 MDBR 系统 120 的变型。仅部分显示的 MDBR 系统 140 具有与 MDBR 系统 120 类似的部件，包括容纳混合液 106 的生物反应器容器 102 和用于使运载流体循环穿过膜组件 142 中的内通道的流体回路（未全部示出）。膜组件 142 是双面平板膜组件，与膜组件 117 类似。但是，膜组件 142 是垂直定向的而不是水平定向的，即膜的内通道的纵轴是垂直定向的。此外，提供挡板 144，其能够支承组件 142 中的平板膜并可有助于气泡流，由此导致提高的膜表面附近的流体动力

学特性。气体注入器如空气扩散器 146 位于生物反应器的室 102 底部,用于在混合液 106 中产生气泡 148。短箭头指示操作期间气泡的流动方向。提供浸入式加热器 150 以加热混合液 106。

[0074] 如所能理解的,可以不必使纵轴与垂直或水平方向严格对准。因此,应该理解,文中所用的短语“垂直定向”或“水平定向”的意思是大致沿垂直或水平方向定向。

[0075] 图 6 示意性示出另一个变型,MDBR 系统 160,其具有浸入生物反应器容器 102 的混合液 106 中并水平定向的管式(或中空纤维)膜组件 162。提供传感器 164 和 166 以监测循环流路中不同点的温度。每个传感器可以是温度计。

[0076] 膜组件 162 可以包括并行排列的膜管(或中空纤维)。内通道的截面可以布置为任意合适的图案。例如,如图 7 和 8 所示,通道 168 布置成菱形-方形图案(图 7)或八边形图案(图 8),其中箭头指示气泡流动方向。

[0077] 其中央具有更多空间用于配置管式膜的八边形布局可以是有利的。例如,八边形布局可以与混合液中的整个内部流体循环更相容,可产生更多由来自空气扩散器的鼓泡流动产生的湍流,可以更适合于额外的空气喷射,并可以方便地用于泵送流体流。可以在具有八边形图案的膜组件 162 内部进行直接的空气喷射,如图 9 中的箭头所指,其中上面显示组件正视图,下面显示组件的截面图。

[0078] 当将加热器例如加热盘管浸入混合液时,由于微生物絮凝物可能积累在加热盘管上并被“煮熟”,因此可能在加热盘管的外表面出现结垢。为减少或防止结垢,可以不时地清洁盘管,例如在短时间间隔内清洁盘管。此外,为防止絮凝物的积累,可以将气泡引导到浸没的盘管表面,并且还可以搅拌盘管表面附近的液体。

[0079] 如上讨论的,MDBR 系统中的膜组件还可以位于生物反应器之外。例子在图 10 和 11 中示出。MDBR 系统 170 包括具有加热器 150 的生物反应器容器 102 和与生物反应器容器 102 流体连通的外部蒸馏膜组件 172。

[0080] 膜组件 172 是侧流组件。膜组件 172 可以具有如图 11 中所示的横截面。如图所示,膜组件 172 具有与图 3 中所示的膜类似的管式膜 119。但是,在图示的实施方案中,沿渗透路径 114 的渗透方向是反转的-进料侧 110”面向内而渗透侧 112”面向外。流过中央内通道 118’的是进料而不是冷凝的渗透物。在外部收集通道 118”中收集渗透物 116。在不同的实施方案中,沿路径 114 的渗透方向可以如图 3 中所示,在此情况下,将进料送入外通道而从中央通道收集渗透物。

[0081] 提供用于使混合液从生物反应器容器 102 流到和穿过膜组件 172 并流回生物反应器容器 102 的流体回路,其包括用于驱动流体流动的流体泵 174、输出管 176 和返回管 178。如上述其它系统,还提供用于收集冷凝的渗透物的流体回路,其包括管 128 和 130、储槽 132 和流体泵 136。

[0082] 在操作中,混合液 106 在生物反应器容器 102 中加热并生物降解。可以对生物反应器容器 102 通气。然后将生物反应器中产生的进料从生物反应器容器 102 经管 176 泵入膜组件 172,并穿过膜组件 172 的中央通道 118’。跨膜建立渗透蒸气压差,使水蒸气从中央通道 118’穿过路径 114 向外通道 118”渗透。以类似于上述过程的方式通过冷渗透物溶液来冷凝和收集渗透物。穿过膜组件 172 的进料经过返回管 178 循环回到生物反应器容器 102。

[0083] 如所能理解的,进料可以含有可以在生物反应器容器 102 中重复使用的生物质材

料,如常规 MBR 工艺中的通常做法一样。因此,至少部分生物质从生物反应器容器 102 循环至并穿过膜组件 172 并回到生物反应器容器 102。本领域的技术人员可以理解,生物质的循环可以是有利的。

[0084] 系统 170 的变型示于图 12。MDBR 系统 180 与系统 170 相似,只是在生物反应器容器 102 和膜组件 172 之间设置有沉降槽 182,并且移除加热器 150,但是将加热器 184 仅设置在膜组件 172 上游以加热进入膜组件 172 的进料流。沉降槽 182 的结构和功能与常规废水处理厂中所用的类似。特别地,从生物反应器容器 102 中取出的混合液可含有大量悬浮固体。在将混合悬浮液在沉降槽 182 中存放一段时间后,某些悬浮物如淤泥絮凝物可以沉降到槽底部,然后可以将其循环回到生物反应器容器 102 中。从沉降槽 182 中提取并泵送穿过膜组件 172 的进料含有减少的悬浮物,并可以排放或循环回到沉降槽 182。

[0085] 如所能理解的,与系统 180 相比,系统 170 可以是有利的,因为需要较少的设备和较少的物理空间。此外,系统 170 可需要较少的能耗。为此,可以理解,具有浸入式膜组件的 MDBR 系统可以甚至更紧凑以及需要甚至更少的能量来操作。此外,这种系统可具有较低的设备和维护成本。

[0086] 此外,如所能理解的,在具有浸入 DM 的 MDBR 过程中,可以在单一处理步骤中产生高质量的渗透物。可以在不使用先进复杂技术和昂贵仪器的情况下进行 MDBR 工艺。例如,不必使用复杂和昂贵的仪器和技术来监测膜完整性如纤维断裂。由于渗透物收集通道中的液压可以高于进料侧上的液压,因此当膜或其纤维损坏时,液态水会从渗透侧返回进料侧。回流会立即导致渗透物通量的急剧下降,这可以容易地检测到。或者,如果在正常操作条件下进料和渗透物的压力相似,则可以通过测量电导率来检测损坏或润湿的膜。如所能理解的,可以连续监测电导率。

[0087] 如所能理解的,如果在正常操作条件下渗透物的压力超过进料的压力,则即使当膜破裂时,回流也会防止对容纳在渗透物贮库如储槽 132 中的渗透物的污染。

[0088] 此外,由于蒸馏膜阻止了进料中大部分的溶解残余有机物,因此所得到的渗透物或流出物可具有较少的有机污染物。比较起来,在常规 MF/UF MBR 过程中,渗透物可含有诸如残余有机物的大量流体污染物,尤其是当膜损坏时。

[0089] 使用 MDBR 系统,可以从渗透物中分离所有或几乎所有的盐、非挥发性有机化合物和微生物。MDBR 工艺中渗透物的纯度和质量可以高于常规 MBR 工艺中获得的。MDBR 系统中的渗透物质量基本与生物反应器中的混合液的生物活性无关。渗透物中的总有机碳含量(TOC)也可以降低,例如低于 0.8ppm,与之相比常规 MBR 工艺中的 TOC 为 3~10ppm。渗透物的质量可以与结合反渗透(RO)的常规 MBR 工艺所获得的一样好。

[0090] MDBR 工艺可产生较少污染的流出物,其通量相当于常规 MF 或 UF MBR 工艺中获得的渗透物通量。

[0091] MDBR 系统还可以具有快速的启动时间。

[0092] 在 MDBR 系统中,有机物保留时间(ORT)与水压保持时间(HRT)无关,并可以非常长,因为它只取决于涉及有机物的反应。比较而言,在常规 MBR 中,有机物可能随渗透物流体损失,并且 ORT 与 HRT 相同。

[0093] 此外,与结合 RO 的常规 MBR 系统相比,MDBR 系统,尤其是具有浸入式膜组件的 MDBR 系统可具有较小的“足印”,因此需要较少的占地或物理空间。

[0094] 由于 MDBR 系统中所用的管和槽可以在诸如约一个大气压的低压下操作,因此它们可以在比结合 RO 的常规 MBR 系统所需要的更低的成本下生产。

[0095] 可使用各种能源来操作 MDBR 系统,该能源可包括废热、太阳能、地热能等。MDBR 工艺不需要大量的电能,因为它是热过程,并可以利用潜热的低品位热来操作。

[0096] 与一些常规的废水处理系统相比,MDBR 系统的维护成本较低。

[0097] MDBR 工艺可用于诸如发电厂或焚化装置附近或产生废水和废热的任何工业中的废水处理。MDBR 还可以应用于废热丰富且空间有限的石油钻机、大船、空间站的废水处理。

[0098] 如所能理解的,在高温下运行生物反应器可以是有利的,不仅增加渗透物通量,而且加速耐热细菌的驯化,如果生物反应器初始在室温下运行,则该驯化可能是耗费时间的。

[0099] 在一些应用中,混合液可含有由生物反应器中的生物降解过程产生的挥发性副产物。该副产物可包括氨、乙酸、甲酸、甲醇、乙醇和酯或醚的小挥发性有机物。在这种情况下,还可以进一步处理渗透物以除去这类挥发性副产物。例如,可以提供鼓泡塔单元以从流出物中除去一些或所有不期望的挥发性组分。

[0100] 当流入物含有无机盐时,可在膜的进料侧出现盐积累。在这种情况下,可以从生物反应器中除去有限量的淤泥废料以减少盐累积,以及用于其它目的,包括常规 MBR 系统中除去淤泥废料所实现的目的。

[0101] 为进一步说明,下面说明一些具体实施例和试验结果。

[0102] 实施例 I

[0103] 第一实施例 MDBR 系统是用于废水处理的系统,其具有与图 4 中示出的系统 120 类似的布局。在该实施例系统中,所用的膜组件是双面平板膜组件,其中膜由 PVDF 制成。膜的平均孔径是约 0.22 微米。将膜浸入容纳在生物反应器中的混合液中,并将其定向使得膜板之间的内通道水平延伸。在测试期间,将生物反应器的混合液加热到约 35℃。膜的渗透侧具有约 26℃ 的温度。

[0104] 混合液中的生物混合液悬浮固体 (MLSS) 的浓度是 3g/l。化学需氧量 (COD) 是 81ppm。如上所述类似地操作该系统。渗透物的 COD 低于 3ppm。

[0105] 对渗透物通量监测 11 天。在头 6 天期间,通过通气产生的气泡不冲刷膜表面。6 天后,从底部对混合液通气以冲刷膜表面。

[0106] 观察到的渗透物通量示于图 13 中。可见,在 11 天时间期间,渗透物通量没有显著减少。实际上,当用气泡冲刷膜表面时,渗透物通量增加了约 30%。在气泡冲刷期间,平均渗透物通量为 $0.71 \pm 0.09 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$ 。

[0107] 实施例 II

[0108] 在该实施例中,检测不同类型膜组件的渗透物通量。所用的生物反应器具有 48 升的室体积。使用恒温循环器来控制温度并在混合液中提供内部循环。在不同的试验中,都使用平板和管式膜组件。所试验的膜和膜组件的具体细节分别列于表 I 和 II 中。

[0109] 所用的流入废水由人工组成。所用的流入废水的化学组成列于表 III 中。用于不同试验的流入废水的不同特性列于表 IV 中。测量结果示于表 V 和 VI 及图 14 ~ 16 中。

[0110] 表 I 试验中使用的膜

[0111]

膜	I	II	III
类型	平板	平板	管状
材料	PVDF	PTFE	PVDF
来源	Millipore™	Sartorius™	Asahi™, Pall™
孔径 (nm)	0.22	0.45	0.2
壁厚 (mm)	0.125	0.070	0.650
孔隙率	80%	70%	70%

[0112] 表 II 试验中所用的膜组件

[0113]

组件	I	II	III
类型	平板	管状	管状
总的膜尺寸	0.0134 m ²	0.0347 m ²	0.0347 m ²
有效长度	0.14 m	0.115 m	0.115 m
渗透物通道尺寸	4.5 cm	2.6 mm (ID)	2.6 mm (ID)
膜的数量		24	24
其它特征	双面 具有挡板	布置成菱形-方形 图案的管	布置成八边形 图案的管

[0114] 表 III 废水组成

[0115]

化学物质	浓度
葡萄糖	12.5 g/L
脲	6.25 g/L
NaHCO ₃	0.218 g/L
MgSO ₄	0.156 g/L
KH ₂ PO ₄	0.812 g/L
K ₂ HPO ₄	1.219 g/L
CaCl ₂	0.156 g/L

[0116] 表 IV 废水特性

[0117]

试验	试验 I	试验 II	试验 III
COD	22,341 mg O ₂ /L (总计 0.073 kg/天)	22,341 mg O ₂ /L (总计 0.073 kg/天)	45,408 mg O ₂ /L (总计 0.218 kg/天)
TOC	3,895 ppm (总计 0.013 kg/天)	3,895 ppm (总计 0.013 kg/天)	7,946 ppm (总计 0.038 kg/天)
单位生物反应器体积 的总COD装料	1.46 kg.m ⁻³ .天 ⁻¹	1.46 kg.m ⁻³ .天 ⁻¹	4.54 kg.m ⁻³ .天 ⁻¹
单位生物反应器体积 的总TOC装料	0.26 kg.m ⁻³ .天 ⁻¹	0.26 kg.m ⁻³ .天 ⁻¹	0.79 kg.m ⁻³ .天 ⁻¹
pH	6.82	6.82	6.44
电导率	2.26 s/m	2.26 s/m	3.04 s/m
MLSS	1.4 – 1.6 g/L	1.4 – 1.6 g/L	5.3 – 5.6 g/L

[0118] 表 V 膜表面上的结垢

污垢层内的材料		膜 I	膜 II
蛋白质 (mg/L)	可溶	168.10	332.53
	不溶	181.38	383.98
	总计	349.48	716.51
多糖 (mg/L)	可溶	552.75	553.68
	不溶	491.99	405.53
	总计	1044.74	959.21
胞外聚合物质 (EPS) (mg/L)	可溶	720.85	886.21
	不溶	673.37	789.51
	总计	1394.22	1675.72

[0120] 试验 I :

[0121] 在试验 I 中, MDBR 系统的设置类似于图 6 中所示的系统。所用的膜组件是膜组件 II。它浸没在混合液中并水平取向。管式膜之间的平均间隙是约 3mm。

[0122] 使用冷冻机和冷却盘管数字式控制渗透侧的温度。在膜组件的入口和出口处利用数字温度计来监测渗透物的温度。

[0123] 使用数字蠕动泵将渗透物流量控制在 1000ml/min, 其对应的雷诺数为 347。MLSS 浓度在 1.4 ~ 1.6g/L 的范围内。固体保留时间是无限的 (没有淤泥损耗)。对混合液通气, 总通气量为每 MLSS 单位体积 12.5L/min 或 0.26L/min。从空气扩散器中将 10L/min 的空气送入混合液中用于生物活性。将另外的 2.5L/min 空气流直接注入浸入式加热器下方以防止由于微生物絮状物在加热盘管上积累形成微生物絮状物饼引起的损坏。

[0124] 混合液温度为约 46℃。渗透物的温度交替设置为 25℃或 15℃, 在每个温度处保持约 3 天的连续持续时间。所测量的渗透物通量取决于渗透物的温度, 如图 14 中所示。在每个温度下渗透物通量基本恒定, 但是当降低或升高温度时, 由于水蒸气分压压差的变化, 渗透物通量显著变化。15℃下的平均渗透物通量 (约 2.6L/m²h) 比 25℃下 (约 2L/m²h) 高约 20%。在 16.8 天的操作期间, 渗透物通量相当稳定。看起来, 在该水平的渗透物通量和生物反应器温度下系统中没有出现结垢。发现渗透物中的 TOC 低于 0.7ppm, 而渗透物的 COD 低于 0.5ppm。

[0125] 约 16.8 天后, 从生物反应器中移走膜组件。检查膜组件上的任何结垢 / 饼层的沉积。据观察, 在管式膜表面没有沉积饼 / 污垢层, 但是一些小的 MLSS 絮凝物沉积在膜管封装基座的侧面。这表明: i) 在浸入式 MDBR 组件中, 封装基座附近区域的流体动力学最差且传热和传质效率低下, 和 ii) 在更高的 MLSS 浓度下, 可以预计更多的 MLSS 絮凝物将沉积在这些位置。

[0126] 试验 II :

[0127] 在试验 II 中, MDBR 系统的设置与图 5 中显示的类似。所用的膜组件属于具有不同膜材料的类型 I。混合液的温度为约 56℃。使用数字温度计监测膜组件入口和出口处的渗透物温度, 其平均温度保持恒定 25℃。使用数字蠕动泵将渗透物流量控制在 700ml/min, 其对应雷诺数为 248。MLSS 浓度在 1.4 ~ 1.6g/L 的范围内。SRT 是无限的。与试验 I 中一

样进行通气。

[0128] 发现渗透物中的 TOC 低于 0.4ppm, 而渗透物的 COD 几乎为零。

[0129] 测量不同膜材料 (PVDF 或 PTFE) 的渗透物通量, 并显示在图 15 中。所用的 PTFE 膜具有约 70 微米的厚度和约 0.45 微米的孔径。所用的 PVDF 膜具有约 125 微米的厚度和约 0.22 微米的孔径。如图所示, 对于 PVDF 和 PTFE 类型膜材料的通量都降低。PVDF 平板膜的渗透物通量在 7 天内从 12.7L/m²h 降至 1.9L/m²h。进一步的通量减少是可能的。PTFE 平板膜的渗透物通量在 10 天内从 20.1L/m²h 降至 3.6L/m²h。该通量看来似乎稳定在后一值上。PVDF 的通量衰减看起来更甚于 PTFE。在 PVDF 和 PTFE 平板膜的膜表面上都发现饼 / 污垢层。分析饼 / 污垢层中的蛋白质、多糖和胞外聚合物 (EPS) 浓度。结果示于表 V 中。尽管 PTFE 平板膜提供更高和更稳定的膜通量, 但是 PTFE 平板膜上的总蛋白和 EPS 沉积远高于 PVDF 平板膜的总蛋白和 EPS 沉积。PTFE 平板膜上的多糖沉淀浓度低于 PVDF 膜上的浓度。结果表明, 多糖可能对 MBR 工艺中膜表面的结垢起重要作用。可以预期, 由于渗透物通量的变化, 在试验 II 条件 (混合液温度为 56℃) 下的结垢可能比试验 I 条件 (混合液温度为 46℃) 下多。当使用管式膜时, 更多通气或改善流体动力学条件或两者的组合可以有效地用于控制渗透物的通量。

[0130] 试验 III :

[0131] 使用与图 6 中所示类似的设置进行试验 III。所用的膜组件是膜组件 III, 并浸没在混合液中。混合液的温度为约 56℃。试验条件在表 IV 中列出。SRT 是 137 天。渗透侧的渗透物温度控制在约 25℃。

[0132] 如图 9 所示, 对膜组件进行空气喷射。如图 9 中箭头所指示, 将两股气流注入膜管束中央的封装基座附近。每股气流具有 2.5L/min 的空气流量。这两股空气喷射流用于促进膜管束中的湍流流态和增加渗透物通量。用数字温度计监测膜组件入口和出口处渗透物的温度。使用数字蠕动泵将渗透物流量控制在 1000ml/min, 其对应雷诺数为 347。总通气量为 17.5L/min 或每 MLSS 体积 0.36L/min。通过四个空气扩散器送入 10L/min 的通气, 用于促进生物活性和混合液中的混合。将两股气流 (每股 2.5L/min) 注入膜束内部, 如上所讨论的。将另外的 2.5L/min 空气流直接注入浸入式加热器下方以防止由于加热盘管上微生物凝聚物积累形成的微生物饼引起的损坏。

[0133] 监测渗透物通量, 结果显示在图 16 中。在 15 天的试验期间, 渗透物通量几乎是恒定的。渗透物通量在 5.01 ~ 5.46L/m²h 的小范围内变化, 其平均值为 5.17L/m²h。

[0134] 提高的渗透物通量稳定性可能是由改善的流体动力学条件和膜通道的八边形布局所导致的。

[0135] 渗透物是高质量的, 其 TOC 值低于 0.2ppm, 而 COD 值几乎为零。

[0136] 试验结果显示, 加热的生物反应器中的淤泥产物相对较少, 但是生物反应器中的 TOC 是恒定的。可见耐热细菌的内源呼吸相对低。

[0137] 结果显示, 浸入式 MBR 可提供可接受的渗透物流量以及高的渗透物质量。从浸入式 MBR 获得的约 5.16L/m²h 的渗透物通量是报道的浸入式纳滤 (NF)-MBR 的 123 倍, 而渗透物 TOC 低于 0.3ppm。

[0138] 本领域的技术人员可以从本说明书和附图中理解本文中所述但上文未明确提及的实施方案的其它特征、利益和优点。

[0139] 上文引用的各参考文件的内容在此通过引用并入本文。

[0140] 当然，上文描述的实施方案旨在举例说明，而决不是限制。所述实施方案容易在形式、部件配置、细节和操作顺序方面进行多种修改。本发明试图将所有这些变型包含在其如权利要求所限定的范围内。

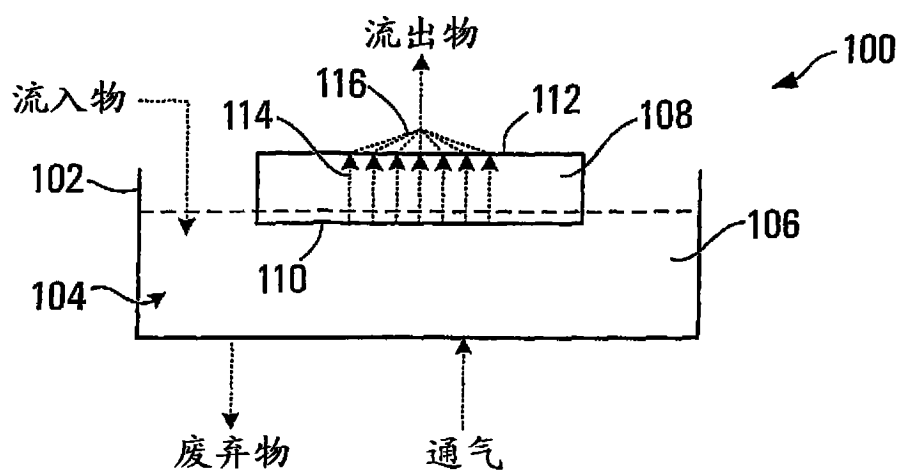


图 1

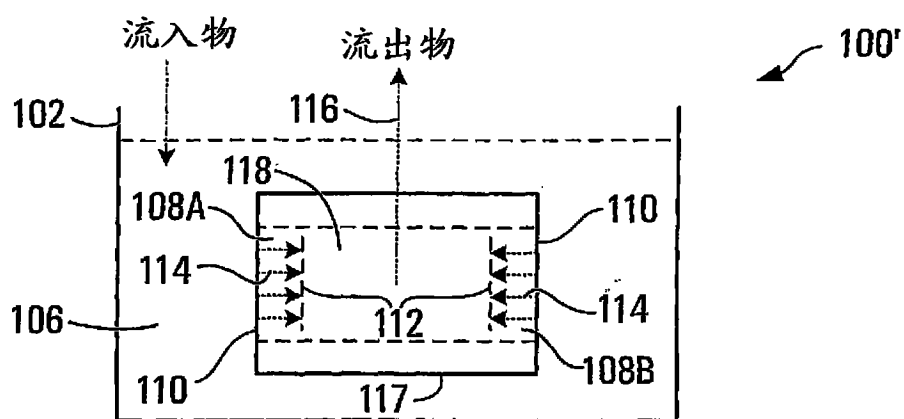


图 2

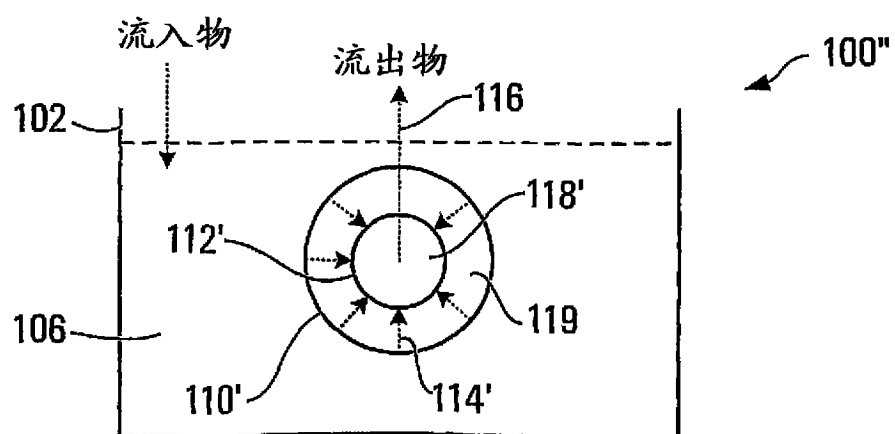


图 3

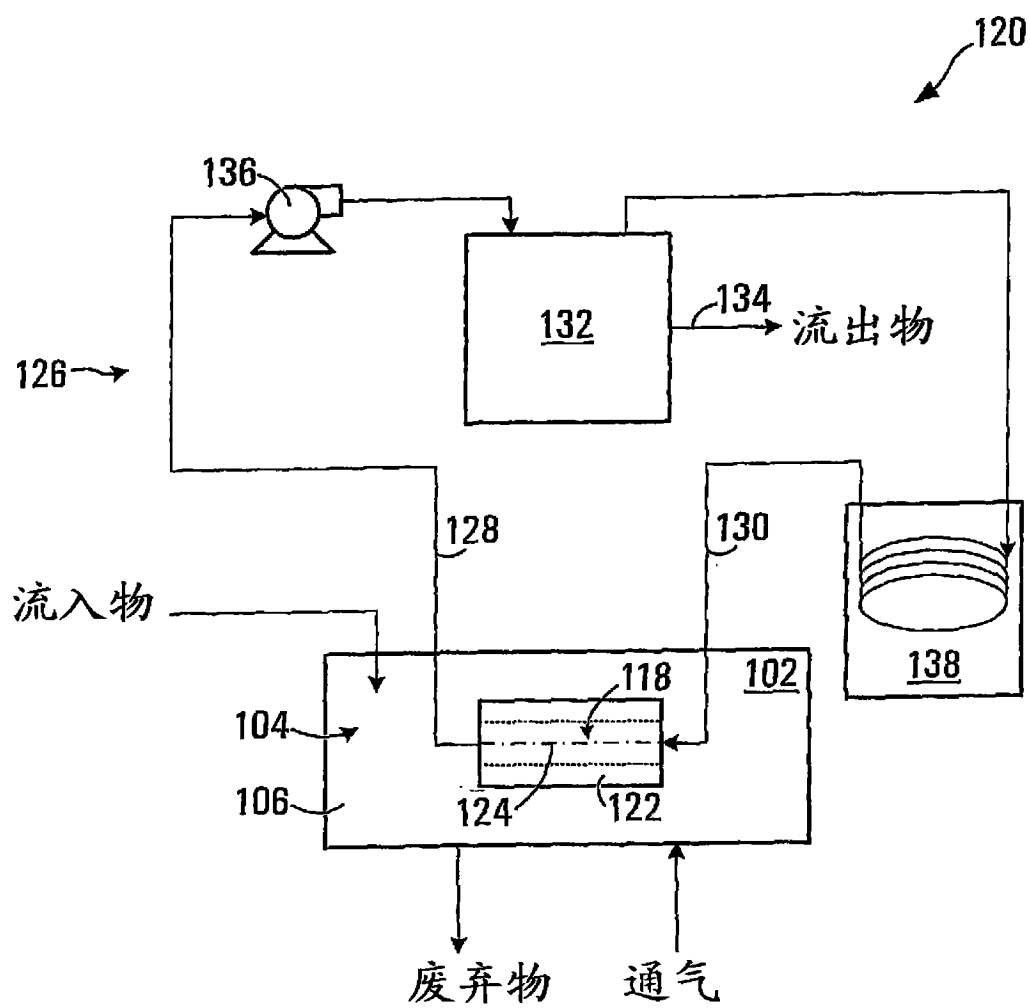


图 4

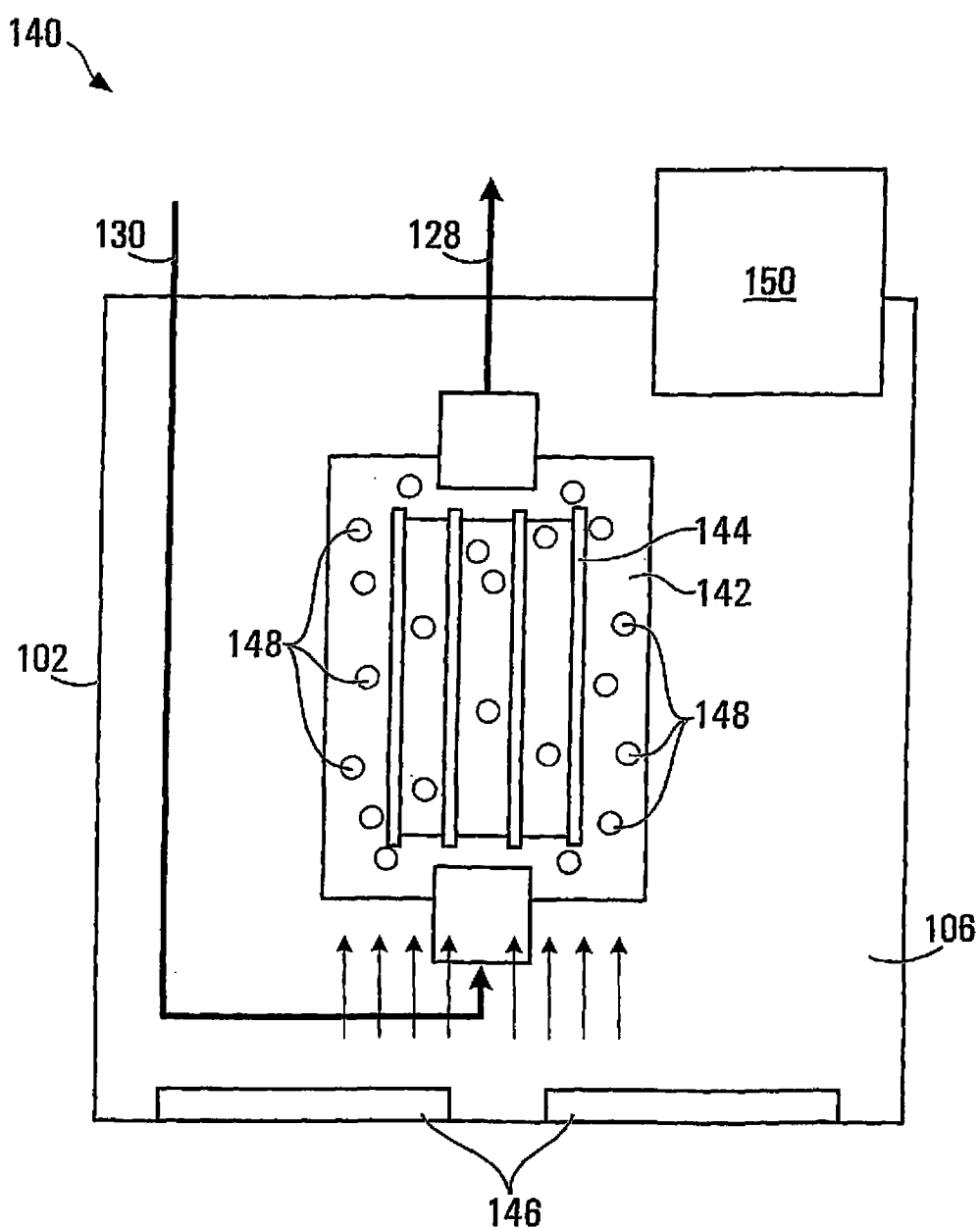


图 5

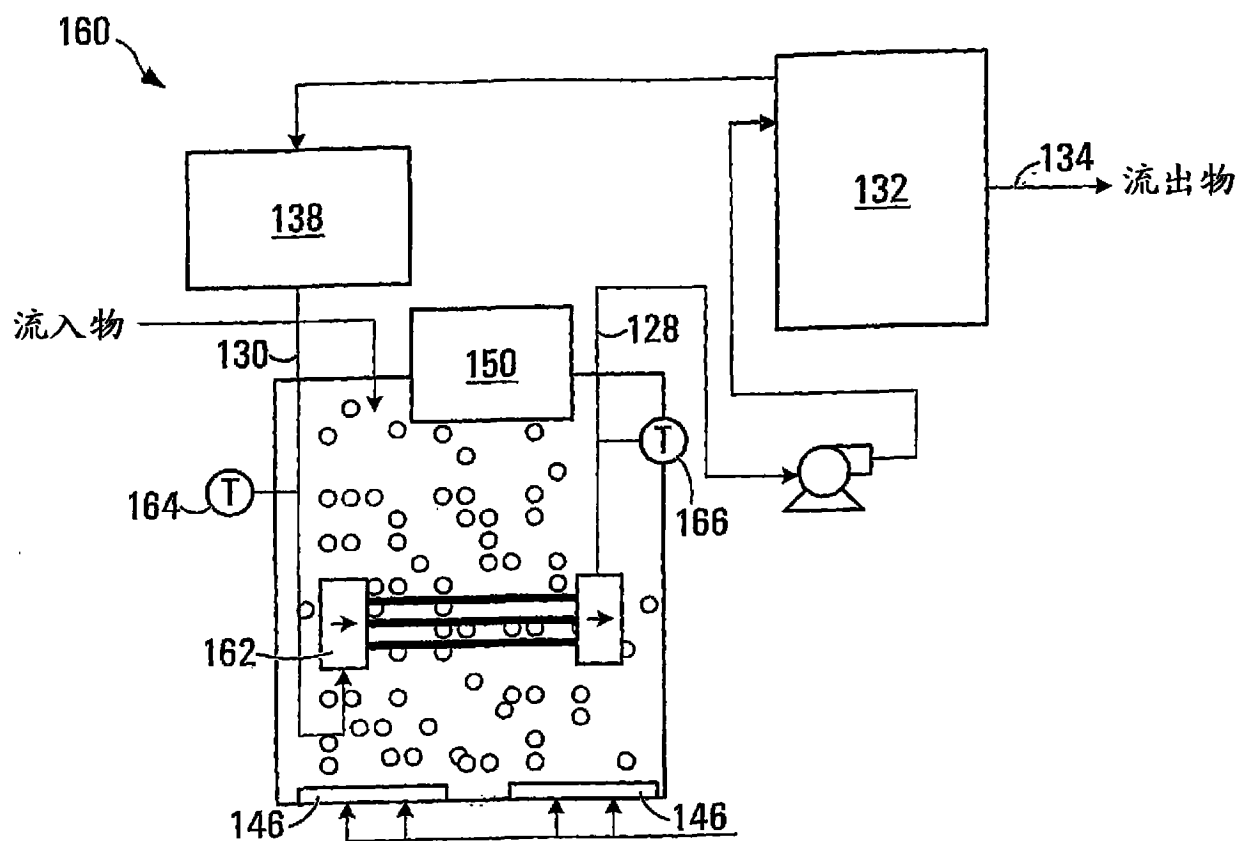


图 6

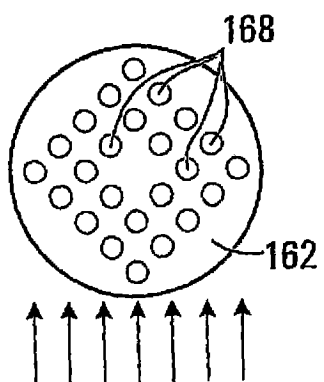


图 7

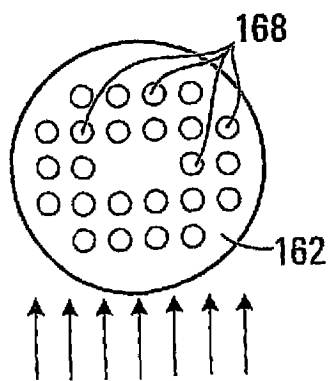


图 8

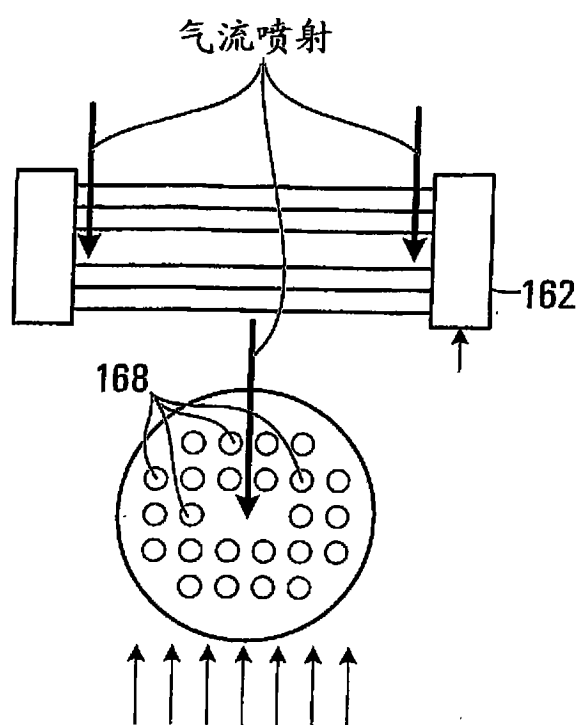


图 9

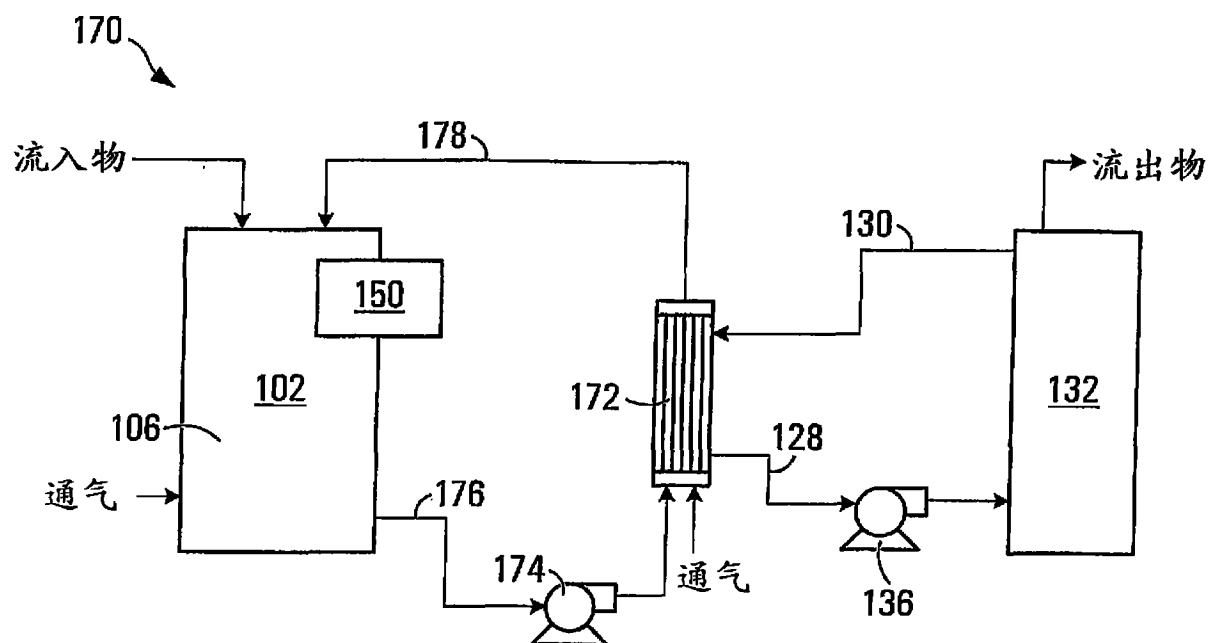


图 10

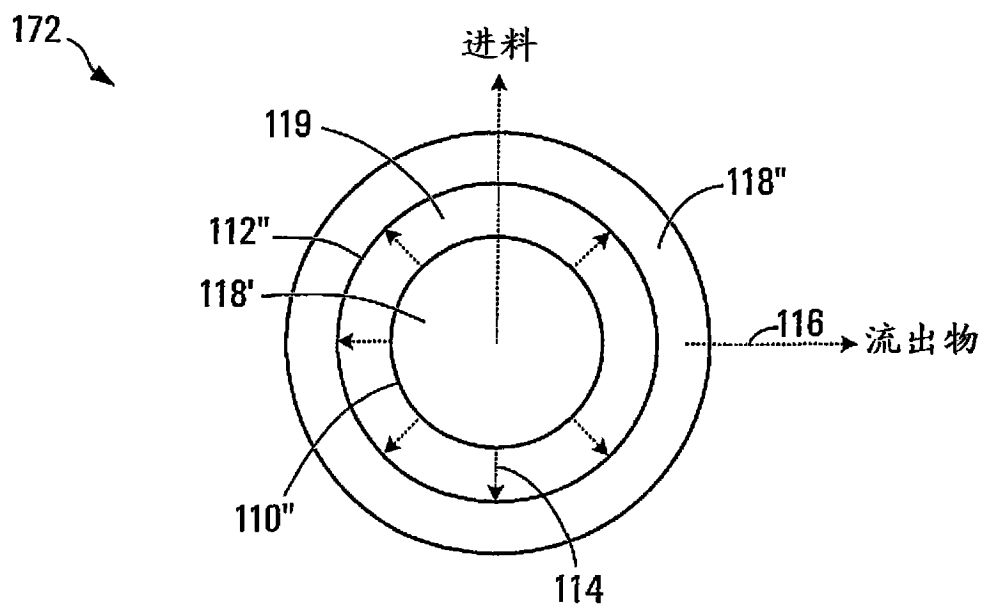


图 11

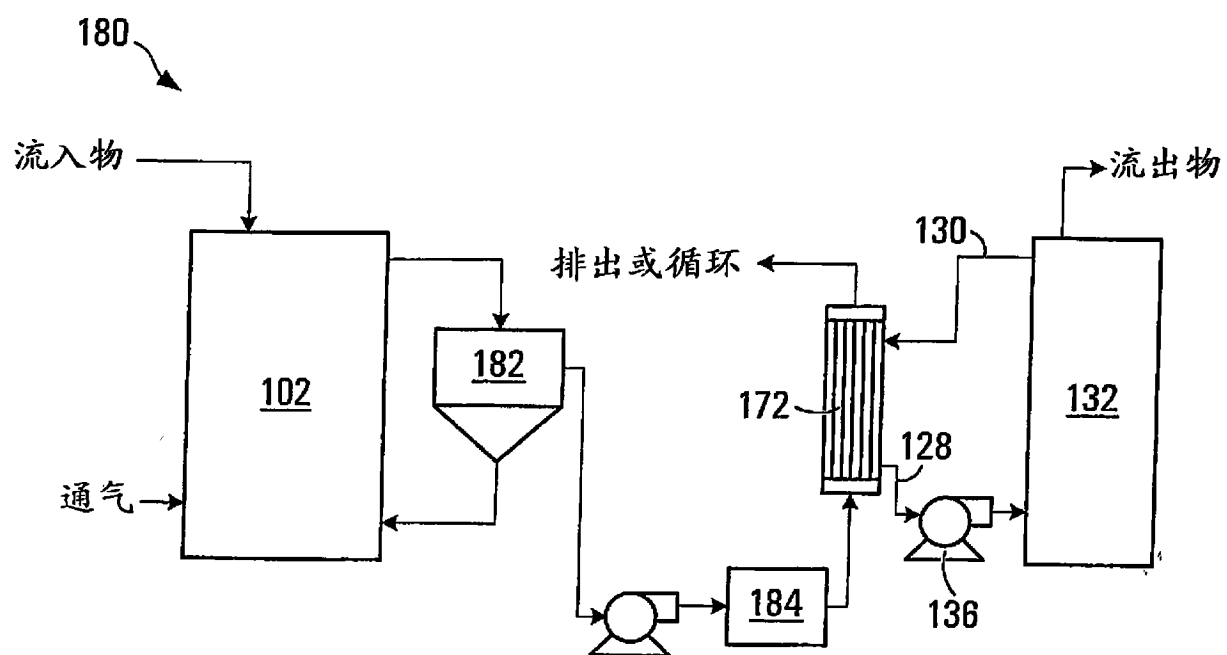


图 12

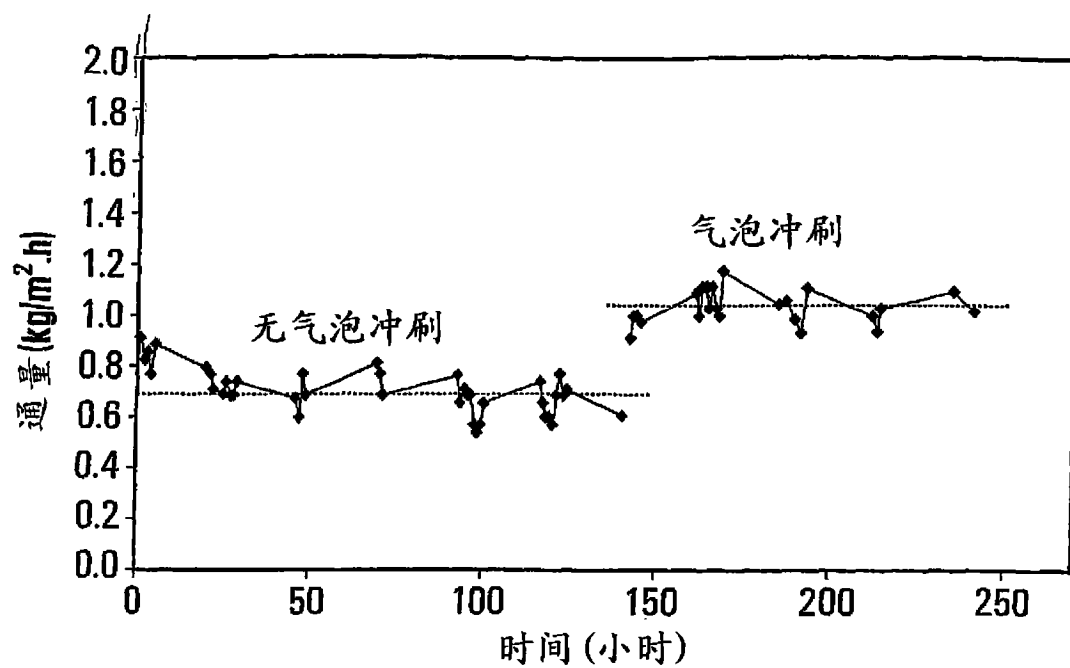


图 13

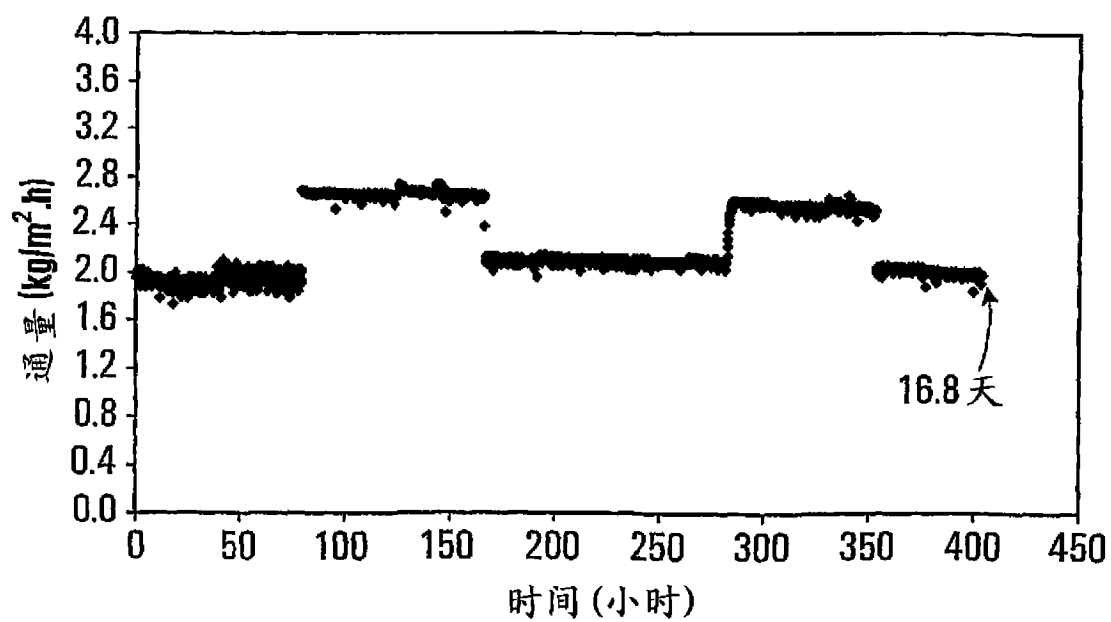


图 14

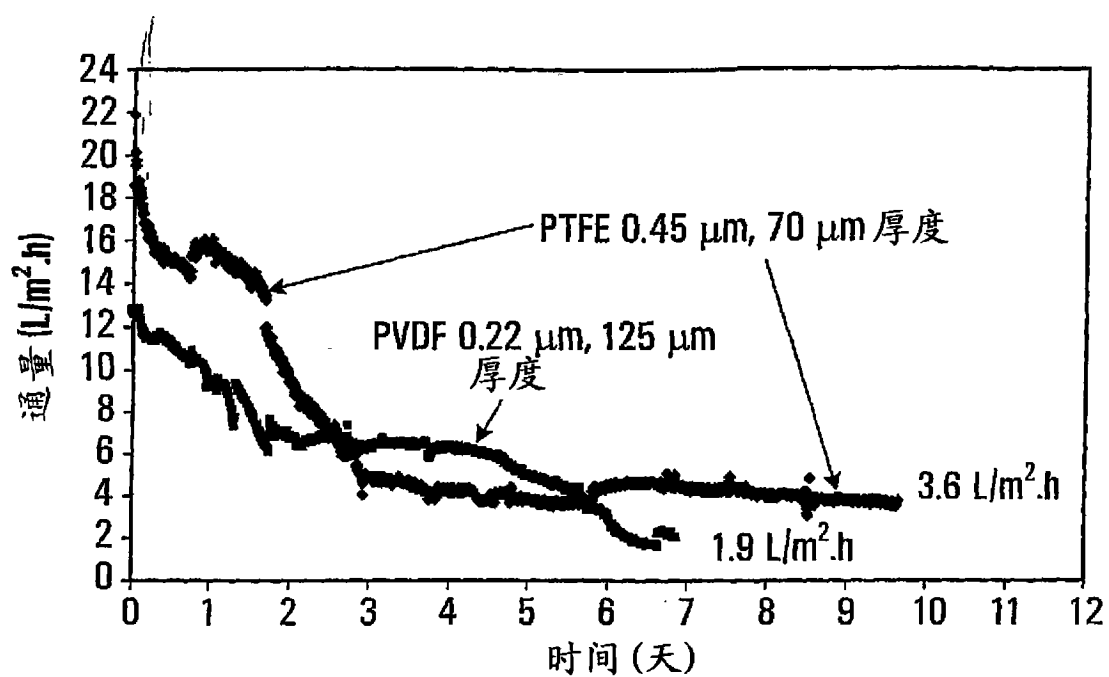


图 15

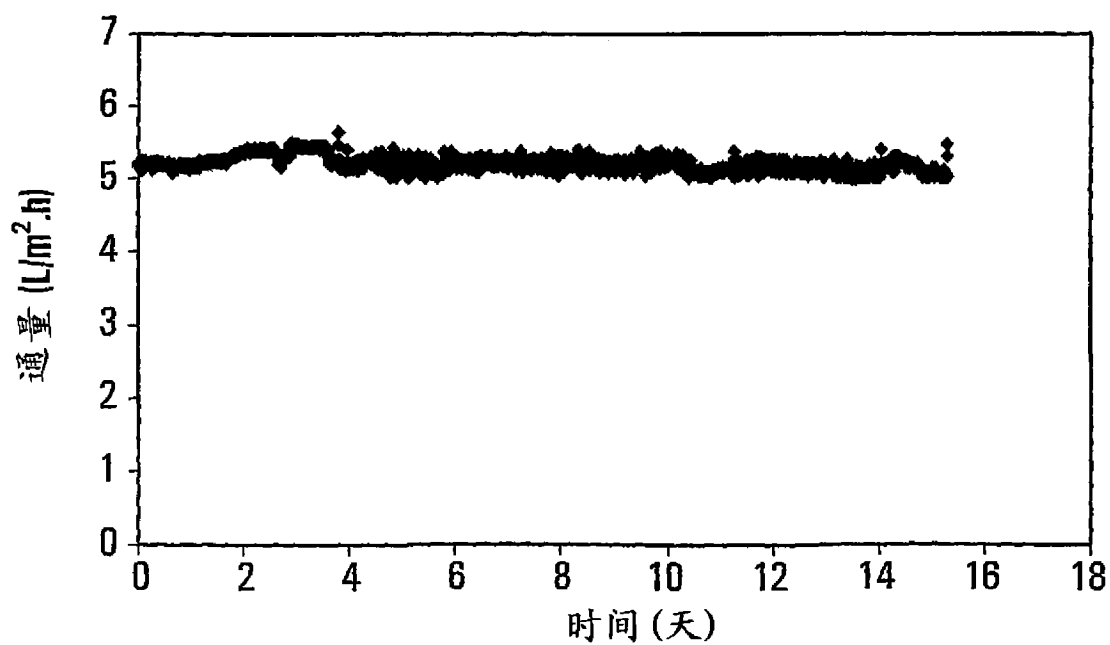


图 16