

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780045589.5

[51] Int. Cl.

C02F 1/04 (2006.01)

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/26 (2006.01)

B01D 1/28 (2006.01)

F04F 5/46 (2006.01)

C02F 1/20 (2006.01)

[43] 公开日 2010年1月27日

[11] 公开号 CN 101636354A

[51] Int. Cl. (续)

C02F 1/42 (2006.01)

C02F 1/66 (2006.01)

C02F 103/08 (2006.01)

[22] 申请日 2007.10.10

[21] 申请号 200780045589.5

[30] 优先权

[32] 2006.10.10 [33] US [31] 60/828,882

[86] 国际申请 PCT/US2007/080954 2007.10.10

[87] 国际公布 WO2008/045943 英 2008.4.17

[85] 进入国家阶段日期 2009.6.10

[71] 申请人 得克萨斯 A&M 大学系统

地址 美国得克萨斯州

共同申请人 斯坦罗特公司

[72] 发明人 马克·T·豪特扎普尔

乔治·A·拉博克尔 朱力

乔格·H·J·拉拉·瑞兹

桑姆萨克·瓦塔那瓦纳威特

[74] 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有
限责任公司

代理人 王安武 南霆

权利要求书7页 说明书17页 附图25页

[54] 发明名称

脱盐系统

[57] 摘要

根据具体实施例，脱盐系统包括多个蒸发器。多个蒸发器包括至少第一蒸发器和最终蒸发器。多个蒸发器以级联方式布置，使得随着盐水溶液从第一蒸发器朝向最终蒸发器经过所述多个蒸发器，盐水溶液中的盐浓度升高。脱盐系统还包括多个热交换器。每个蒸发器的输入部连接至多个热交换器中的至少一个。该系统还包括连接至多个蒸发器中的至少一个的蒸汽源。

1. 一种脱盐系统，包括：

多个蒸发器，其包括以级联方式布置的至少第一蒸发器和最终蒸发器，使得随着盐水溶液从所述第一蒸发器朝向所述最终蒸发器经过所述多个蒸发器，所述盐水溶液中的盐浓度升高；

多个热交换器，每个蒸发器的输入部连接至所述多个热交换器中的至少一个；以及

蒸汽源，其连接至所述多个蒸发器中的至少一个。

2. 根据权利要求 1 所述的系统，其中热交换器中的每个都被配置为使得在所述盐水溶液进入所述各个蒸发器之前，所述盐水溶液的温度升高。

3. 根据权利要求 1 所述的系统，其中热交换器中的每个都被配置为使得在所述盐水溶液进入所述各个蒸发器之前，所述盐水溶液的温度降低。

4. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述多个蒸发器还以级联方式布置，使得每个蒸发器的压力从所述第一蒸发器向所述最终蒸发器升高。

5. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述多个蒸发器还以级联方式布置，使得每个蒸发器的压力从所述第一蒸发器向所述最终蒸发器降低。

6. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括连接至所述第一蒸发器的泵，所述泵可工作将所述盐水溶液供应给所述第一蒸发器。

7. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括连接至所述最终蒸发器的泵，所述泵可工作将所述盐水溶液供应给所述最终蒸发器。

8. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述蒸汽源包括压缩机，其可工作以将流体与蒸汽一起压缩。

9. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述蒸汽源包括兰金循环压缩机。

10. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述蒸汽源包括布雷顿循环发动机。

11. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述蒸汽源包括喷气式喷射器。

12. 根据权利要求 10 所述的系统，其中将来自蒸汽锅炉的高压蒸汽供应给所述喷气式喷射器。

13. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述蒸汽源连接至所述最终蒸发器。

14. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述蒸汽源连接至所述最终蒸发器和至少一个另外的蒸发器，但是连接至少于所述多个蒸发器。

15. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述多个蒸发器包括多个蒸发器板体对，所述蒸发器板体对布置在所述蒸发器内，其中所述蒸发器板体对中的第一蒸发器板体包括多个半球形的窝坑，所述蒸发器板体对的第二蒸发器板体包括多个半球形的窝坑，每个窝坑具有凹部，以防止所述蒸发器板体的横向移动。

16. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述多个蒸发器包括多个涂覆了疏水材料层的蒸发器板体对。

17. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括在所述多个蒸发器中的每个蒸发器内的多个喷气式喷射器，所述喷气式喷射器可工作以在所述各个蒸发器内搅动所述盐水溶液。

18. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括离子交换器，所述盐水溶液在进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前经过所述离子交换器，所述离子交换器可工作以选择性地去除硫酸根离子。

19. 根据权利要求 18 所述的系统，还包括包含酸溶液的混合箱，所述盐水溶液在进入所述离子交换器之前与所述酸溶液混合。

20. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括真空抽离器，其可工作以在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前从所述盐水溶液去除二氧化碳。

21. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括研磨材料分离器，其可工作以在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前将研磨材料添加至所述盐水溶液。

22. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括沉淀材料分离器，其可工作以在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前将沉淀材料添

加至所述盐水溶液。

23. 一种脱盐系统，包括：

多个蒸发器，其包括以级联方式布置的至少第一蒸发器和最终蒸发器，使得随着盐水溶液从所述第一蒸发器朝向所述最终蒸发器经过所述多个蒸发器，所述盐水溶液中的盐浓度升高；以及

多个蒸汽源，每个蒸汽源连接至所述多个蒸发器中的至少一个。

24. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸发器的数量等于所述多个蒸汽源的数量，并且所述多个蒸发器中的每个蒸发器连接至所述多个蒸汽源中的不同蒸汽源。

25. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸汽源中的至少一个蒸汽源连接至所述多个蒸发器中的第一数量个蒸发器，所述第一数量大于一。

26. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括第二数量个热交换器，所述第二数量小于所述第一数量，所述第二数量个热交换器中的每个均连接至所述多个蒸发器中的一个蒸发器，使得所述第二数量个热交换器中的每个热交换器在所述第一数量个蒸发器中的两个蒸发器之间工作。

27. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括连接至所述第一蒸发器并在所述盐水溶液进入所述第一蒸发器之前加热所述盐水溶液的热交换器。

28. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸汽源包括具有布置在其中的涡轮的多个渐缩/渐扩管。

29. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸汽源包括多个文氏管，每个文氏管包括推进器。

30. 根据权利要求 29 所述的系统，还包括多个流动校直器，每个流动校直器位于所述多个文氏管中的一个内并在所述推进器的下游。

31. 根据权利要求 29 所述的系统，其中所述推进器包括可用于螺旋桨飞机的叶轮。

32. 根据权利要求 29 所述的系统，其中所述推进器包括可用于飞机的喷气式发动机的导管风扇。

33. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸汽源包括多个喷气

式喷射器。

34. 根据权利要求 33 所述的系统，其中将来自压缩机的高压蒸汽馈送给所述多个喷气式喷射器中的每个。

35. 根据权利要求 34 所述的系统，其中将来自所述多个蒸发器中的每个的低压蒸汽馈送给所述压缩机。

36. 根据权利要求 34 所述的系统，其中将来自所述多个喷气式喷射器的中压蒸汽馈送给所述压缩机。

37. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸发器包括多个蒸发器板体对，所述蒸发器板体对布置在所述蒸发器内，其中所述蒸发器板体对中的第一蒸发器板体包括多个半球形的窝坑，所述蒸发器板体对的第二蒸发器板体包括多个半球形的窝坑，每个窝坑具有凹部，以防止所述蒸发器板体的横向移动。

38. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述多个蒸发器包括多个涂覆了疏水材料层的蒸发器板体对。

39. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括在所述多个蒸发器中的每个蒸发器内的多个喷气式喷射器，所述喷气式喷射器可工作以在所述各个蒸发器内搅动所述盐水溶液。

40. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括离子交换器，所述盐水溶液在进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前经过所述离子交换器，所述离子交换器可工作以选择性地去除硫酸根离子。

41. 根据权利要求 40 所述的系统，还包括包含酸溶液的混合箱，所述盐水溶液在进入所述离子交换器之前与所述酸溶液混合。

42. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括真空抽离器，其可工作以在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前从所述盐水溶液去除二氧化碳。

43. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括研磨材料分离器，其可工作以在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前将研磨材料添加至所述盐水溶液。

44. 根据权利要求 23 所述的系统，还包括沉淀材料分离器，其可工作

以在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前将沉淀材料添加至所述盐水溶液。

45. 一种用于使盐水脱盐的方法，包括：

接收盐水溶液；

在非蒸馏水进入多个蒸发器中的第一蒸发器之前加热所述盐水溶液；

将所述盐水溶液蒸馏为一部分蒸馏液体和减量的盐水溶液，所述减量的盐水溶液比进入所述第一蒸发器之前的所述盐水溶液更浓缩；

将所述减量的盐水溶液泵动通过所述多个蒸发器；其中将所述减量的盐水溶液泵动通过所述多个蒸发器的步骤包括：

在所述减量的盐水溶液进入所述多个蒸发器中的随后的蒸发器之前加热所述减量的盐水溶液；以及

将所述减量的盐水溶液蒸馏为一部分蒸馏液体和进一步减量的盐水溶液，所述进一步减量的盐水溶液比进入所述随后的蒸发器之前的所述减量的盐水溶液更浓缩；以及

在所述多个蒸发器中的最终蒸发器蒸馏所述进一步减量的盐水溶液时，将所述进一步减量的盐水溶液作为浓缩产物排出。

46. 根据权利要求 45 所述的方法，还包括：

产生第一蒸汽流；

将所述第一蒸汽流传送至所述多个蒸发器中的所述最终蒸发器；以及

对于所述多个蒸发器中的每个蒸发器：

在所述蒸发器内产生第二蒸汽流；以及

将所述第二蒸汽流传送至随后的蒸发器。

47. 根据权利要求 46 所述的方法，其中产生所述第一蒸汽流的步骤包括在压缩机内将盐水溶液或蒸馏液体与蒸汽混合。

48. 根据权利要求 46 所述的方法，其中产生所述第一蒸汽流的步骤包括：

产生高压蒸汽流；以及

在喷气式喷射器内将所述高压蒸汽流与来自所述最终蒸发器的低压蒸汽流混合，所述混合产生所述第一蒸汽流。

49. 根据权利要求 45 所述的方法，还包括：

产生第一蒸汽流；

将所述第一蒸汽流传送至所述多个蒸发器中的所述第一蒸发器；以及

对于所述多个蒸发器中的每个蒸发器：

在所述蒸发器内产生第二蒸汽流；以及

将所述第二蒸汽流传送至随后的蒸发器。

50. 根据权利要求 45 所述的方法，其中产生所述第一蒸汽流的步骤包括在压缩机内将盐水溶液或蒸馏液体与蒸汽混合。

51. 根据权利要求 45 所述的方法，其中产生所述第一蒸汽流的步骤包括：

产生高压蒸汽流；以及

在喷气式喷射器内将所述高压蒸汽流与来自所述第一蒸发器的低压蒸汽流混合，所述混合产生所述第一蒸汽流。

52. 根据权利要求 51 所述的方法，还包括在所述多个蒸发器中的每个蒸发器内用多个喷气式喷射器搅动所述多个蒸发器中的每个蒸发器内的所述盐水溶液。

53. 根据权利要求 51 所述的方法，还包括在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前，在离子交换器中交换所述盐水溶液内的离子。

54. 根据权利要求 53 所述的方法，还包括在所述盐水溶液进入所述离子交换器之前将酸溶液与所述盐水溶液混合。

55. 根据权利要求 45 所述的方法，还包括在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前从所述盐水溶液去除二氧化碳。

56. 根据权利要求 45 所述的方法，还包括在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前，将研磨材料添加至所述盐水溶液。

57. 根据权利要求 45 所述的方法，还包括在所述盐水溶液进入所述多个蒸发器中的任意蒸发器之前，将沉淀材料添加至所述盐水溶液。

58. 一种喷气式喷射器，包括：

路径，其包括位于第一端的第一入口和位于与所述第一端相反的第二

端的第一出口，所述第一入口可工作以接收低压蒸汽流，所述第一出口可工作以排出中压蒸汽流；以及

高压输送机构，其连接至所述路径，并可工作以将高压蒸汽流分级释放到所述低压蒸汽流中，其中第一级在最终级的上游。

59. 根据权利要求 58 所述的喷气式喷射器，其中所述高压输送机构包括多个喷嘴，其中所述多个喷嘴中的第一数量个喷嘴绕至少一个额外喷嘴的周围布置，所述至少一个额外喷嘴位于所述多个喷嘴中的所述第一数量个喷嘴的下游。

60. 根据权利要求 58 所述的喷气式喷射器，其中所述高压输送机构包括绕第四喷嘴的周围布置的三个喷嘴，使得绕所述周围的所述三个喷嘴彼此等间隔，并位于所述第四喷嘴的上游。

61. 根据权利要求 58 所述的喷气式喷射器，其中：

所述路径还包括限制通路，所述限制通路比所述第一端和所述第二段窄，并沿着所述路径的一部分延伸的长度小于所述路径的长度；并且

所述高压输送机构连接至所述路径，使得所述高压输送机构可工作以从所述限制通路内将所述高压蒸汽流释放到所述通路内。

脱盐系统

技术领域

本发明一般地涉及脱盐系统，并更具体而言，涉及使用级串联蒸发器的脱盐系统。

背景技术

为了从盐水复原饮用水或脱盐水，已经设计出了脱盐系统。虽然已经使用了不同类型的设计，但是使用水的蒸汽压力的热力学属性的蒸发系统已经被广泛接受。在原理上这是由于通过蒸发处理产生的水的相对较高纯度。一种系统涉及单个热交换器的使用，其从热交换器的一端获取蒸汽，使其通过压缩机并接着在另一侧返回到热交换器。这可以称为单效蒸发器。单效蒸发器的缺点是压差非常小（例如，1.03 或 1.05 至 1 的压缩比）。因此压缩机基本上用作送风机，而实际上不是压缩机。此外，通过该系统产生的全部蒸馏水必须作为蒸汽经过送风机。

发明内容

根据具体实施例，脱盐系统包括多个蒸发器。多个蒸发器包括至少第一蒸发器和最终蒸发器。多个蒸发器以级联方式布置，使得随着盐水溶液从第一蒸发器朝向最终蒸发器经过所述多个蒸发器，盐水溶液中的盐浓度升高。脱盐系统还包括多个热交换器。每个蒸发器的输入部连接至多个热交换器中的至少一个。该系统还包括连接至多个蒸发器中的至少一个的蒸汽源。

根据所实现的具体特征，本发明的具体实施例可以实现以下技术优点中的一些或全部，或不实现以下技术优点。各种实施例能够提供改善的由海水或盐水进行的脱盐处理。所揭示的实施例描述了对于盐水的级联式的蒸发处理，其有效地使用了变化的蒸汽压力，以有效利用输入至系统的能

量或工作。此外，分级去除蒸馏水，其可以减少为去除蒸馏水所需的工作量。

此外，某些实施例可以提供分级式脱盐系统，其构造和维护相对廉价。

根据附图、说明书和权利要求书，其他技术优点将对本领域的技术人员而言清楚。

附图说明

通过结合附图进行的详细说明，对具体实施例的更完整理解将变得清楚，附图中：

图 1 是根据具体实施例的使用单个蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 2 是根据具体实施例的另一使用单个蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 3 是根据具体实施例的使用多个蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 4 是根据具体实施例的另一使用多个蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 5A 是可以在图 1 至图 4 的实施例的情况下使用的压缩机的一个实施例的侧剖视图；

图 5B 是可以在图 5A 的压缩机的情况下使用的推进器的一个实施例的正视图；

图 5C 是可以在图 5A 的压缩机的情况下使用的导管风扇的一个实施例的正视图；

图 6 是根据具体实施例的另一使用多个喷气式喷射器作为蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 7 是根据具体实施例的另一使用多个喷气式喷射器作为蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 8 是根据具体实施例的另一使用多个喷气式喷射器作为蒸汽源的脱盐系统的示意图；

图 9A 是可以在图 6 至 8 的实施例的情况下使用的喷气式喷射器的一个实施例的侧剖视图；

图 9B 是可以在图 6 至 8 的实施例的情况下使用的喷气式喷射器的另

一实施例的侧剖视图；

图 9C 是可以图 6 至 8 的实施例的情况下使用的喷气式喷射器的另一实施例的侧剖视图；

图 9D 是沿着图 9C 的线 192 所取的正剖视图；

图 10A 是根据具体实施例的蒸发器的平面剖视图；

图 10B 是根据具体实施例的蒸发器的侧剖视图；

图 11 是根据具体实施例的蒸发器的正剖视图；

图 12A 是根据具体实施例、在蒸发器你使用的盒和喷气式喷射器的立体图；

图 12B 是图 12A 的喷气式喷射器的正剖视图；

图 13A 是可以热交换器的正剖视图，该热交换器用于形成图 12A 的盒中的一个盒的一部分；

图 13B 是图 13A 的热交换器板体的正剖视图，其中边缘沿着如图 13A 所示的热交换器板体的虚线弯折；

图 13C 是图 13B 的热交换器板体的侧剖视图；

图 13D 是图 13B 的热交换器板体的侧剖视图；

图 14A 是另一热交换器的正剖视图，该热交换器可以用于形成图 12A 的盒中的一个的一部分；

图 14B 是图 14A 的热交换器板体的正剖视图，其中边缘沿着如图 14A 所示的热交换器板体的虚线弯折；

图 14C 是图 14B 的金属片的侧剖视图；

图 14D 是图 14B 的金属片的侧剖视图；

图 15A 是根据具体实施例的盒组件的局部立体图；

图 15B 是图 15A 的局部放大立体图，示出了形成在边缘上的突片；

图 15C 是图 15A 的局部放大侧视图；

图 16A 是根据具体实施例的另一盒组件的局部立体图；

图 16B 是图 16A 的局部放大立体图，其示出了边缘；

图 16C 是图 16A 的局部放大侧视图；

图 17A 是组装在一起的两个热交换器板体的放大局部平面图，示出了

具有平坦表面的窝坑；

图 17B 是组装在一起的两个热交换器板体的放大局部平面图，示出了在数个窝坑中具有凹部；

图 18A 是已经使用焊接点接合在一起的两个热交换器的放大局部平面图；

图 18B 是已经使用硬钎焊接合在一起的两个热交换器的局部平面图；

图 18C 是已经使用卷边夹接合在一起的两个热交换器的局部平面图；

图 18D 已经使用卷边夹接合在一起的两个热交换器的局部平面图，其中热交换器板体的边缘突出，使得卷边夹可靠地保持到位；

图 18E 是已经使用铆钉或螺钉接合在一起的两个热交换器的局部平面图；

图 18F 是已经使用延伸突片接合在一起的两个热交换器的局部平面图，延伸突片一体地形成在一个热交换器板体的边缘上；

图 19 是根据具体实施例的使用离子交换系统的脱盐系统的示意图；

图 20 是根据具体实施例的使用研磨材料的脱盐系统的示意图；

图 21 是根据具体实施例的使用研磨材料和沉淀材料的脱盐系统的示意图；

图 22 是根据具体实施例的脱盐系统的示意图，其中离开最终蒸发器的蒸汽被冷凝并排出；

图 23 是根据具体实施例的另一脱盐系统的示意图，其中离开最终蒸发器的蒸汽被冷凝并排出；

图 24 是根据具体实施例的使用两个蒸汽源的脱盐系统的示意图，其中离开最终蒸发器的蒸汽被冷凝并排出；

图 25 是根据具体实施例的脱盐系统的示意图，其中离开最初蒸发器的蒸汽被冷凝并排出；并且

图 26 是示出作为冷凝侧温度和冷凝蒸汽与沸水之间的总温差的函数的总热传递系数的图。

具体实施方式

现在参考附图，图 1 是根据具体实施例的使用单个蒸汽源的脱盐系统的示意图。脱盐系统 10 适于在除气馈送输入部 12 处接收盐水，从盐水蒸馏出至少一部分蒸馏水，在蒸馏水输出管线 14 处提供蒸馏水，并在浓缩盐水管线 16 处提供浓缩盐水。脱盐系统 10 具有数个水蒸发器 20、位于各个水蒸发器 20 之间的数个热交换器 22、连接至各个水蒸发器 20 的压缩机 24。压缩机 24 连接至处于级联方式的水蒸发器 20 中的每一个，使得每个水蒸发器 20 均比上游的水蒸发器 20 具有相对更低的工作压力和温度。这样，可以将水从盐水逐渐去除或蒸发。

上游水蒸发器 20 中的冷凝蒸汽使得更多的蒸汽从盐水汽化。此蒸汽级联至接下来的下游水蒸发器 20，在该下游水蒸发器 20 处，蒸汽冷凝并使更多的水蒸发。因此，随着蒸汽从蒸发器 20d 朝向蒸发器 20a 行进，其温度降低，并且随着盐水从蒸发器 20a 朝向蒸发器 20d 行进，盐浓度升高。因此，使用更高温度的蒸汽来使更高浓度的盐水汽化，而用更冷的蒸汽来使较低浓度的盐水汽化。这利用了从较低浓度的盐水提取水相对容易（并相应地较少工作量）的情况。蒸发器之间的温差可以小至一度的一小部分。在一些实施例中，水蒸发器 20 之间的温差在在一与六华氏温度之间。

如所示的，除气盐水引入导除气馈送输入部 12 中，并引入到热交换器 26 中，热交换器 26 具有沿相反方向流动的浓缩盐水和蒸馏水。热交换器 26 可以在盐水溶液进入蒸发器 20a 之前帮助将盐水溶液预热。除气盐水进入第一水蒸发器 20a，在第一水蒸发器 20a 处，水的一部分汽化。剩余的盐水（其现在比在除气馈送输入部 12 处时具有更高的盐浓度）被泵抽通过对流热交换器 22a 进入第二水蒸发器 20b，在第二水蒸发器 20b 处，额外的水汽化。对流热交换器 22a 在盐水进入比水蒸发器 20a 具有更高温度和压力的水蒸发器 20b 之前帮助加热盐水。此处理根据需要重复多次。在图 1 中，示出了总共四个水蒸发器 20a、20b、20c 和 20d；但是，可以使用任意数量的水蒸发器 20。通过使用四个蒸发器，即四级，每引入水蒸发器 20d 一磅蒸汽，可以产生四磅液体（蒸馏水 14）产物。因此，初始能量循环了四次，使得进入的蒸汽的冷凝热被供应至四个水蒸发器 20 中的

每个。四季的另一优点是由水蒸发器 20 使用的蒸汽的仅四分之一实际通过压缩机 24。因此，压缩机 24 可以是单级脱盐系统所需的压缩机的尺寸的四分之一。

从第一热交换器 20a 汽化的盐水进入压缩机 24 的入口 28。如果需要，可以将雾化液态水添加到压缩机入口 28 以保持压缩机 24 较冷。这可以帮助防止蒸汽过热。因为压缩机 24 针对四级中的每级进行压缩，所以假如仅为单级，则压缩比将高得多（每增加一级，总压缩比将乘以该增加的一级的压缩比）。常规的压缩机通常将在以更高压缩比进行压缩时过热。相比非过热的蒸汽，这需要更多的能量输入到系统中以克服过热蒸汽的问题。这是基于如下观念：压缩机中的气体越热，需要越多的能量来压缩该气体。因此，在具体实施例中，并未任由蒸汽过热，而是将液体喷洒到压缩机中将其保持在饱和曲线（saturation curve）上，并避免过热。根据工作需要、期望或优选，喷洒到压缩机中的液体可以是盐水或蒸馏水。显然通过将水引入到压缩机 24 中，一些水将汽化，从而产生将会被冷凝的额外蒸汽。因此，在所示实施例中，供应至压缩机 24 的是盐水，不仅水将保持压缩机 24 较冷，而且还将同时使一部分盐水脱盐。因此，显然，压缩机 24 不仅能够处理蒸汽，还能够处理液体。例如，在具体实施例中，可以使用可从 StarRotor Corporation 获取的摆线压缩机（gerotor compressor）。

如果过多的液态水被添加到压缩机 24，则可将过多部分移除到分离鼓 30 中。除气馈送输入部 12 的一部分还可以馈送到分离鼓 30 中。此液体的供应将用于对压缩机 24 进行喷洒。虽然在所描绘的分离鼓 30 示出为具有盐水，但是在其他实施例中，分离鼓可以填充有蒸馏水。

雾化水可以是任意类型的水。在一个实施例中，雾化水可以是盐水。当水在压缩机 24 中汽化时，盐浓度升高。必须从系统将此浓缩盐的一部分净化，并从浓缩盐水管线 16 复原为浓缩产物。增加新的除气馈送部 32，以补偿从分离鼓 30 净化的浓缩盐。分离鼓 30 的一个功能可以是保持喷洒到压缩机 24 中的盐水与在其中冷凝的蒸汽一起进入水蒸发器 20d。

从压缩机 24 输出的高压蒸汽被馈送至以最高压工作的蒸发器 20d。被

供应至蒸发器 20d 的此蒸汽可以具有比供应至蒸发器 20c 的蒸汽更高的温度。当这些蒸汽冷凝时，他们使得水从盐水汽化。比馈送给蒸发器 20d 处于更低温度的这些蒸汽被传递给以较低压力工作的接下来的蒸发器 20c，并在蒸发器 20c 处冷凝。对于配置在系统中的其他蒸发器 20b 和 20a 全部均重复此处理。在蒸汽大体从蒸发器 20d 朝向蒸发器 20a 移动，并在各级处逐渐冷却时，除气馈送输入部 12 供应盐水，所述盐水大体从蒸发器 20a 朝向蒸发器 20d 移动。作为盐水朝向蒸发器 20d 移动的结果，随着水的汽化，盐浓度逐渐升高。当盐水最终离开蒸发器 20d 时，其被相对浓缩并处于相对高温。该较热的浓缩流体接着经过热交换器 22 和热交换器 26，然后作为浓缩产物 16 排出。当其经过热交换器 22 和 26 时，浓缩产物被冷却。从浓缩产物移除的热被用于升高进入各个水蒸发器 20 的盐水的温度。根据脱盐系统 10 的操作者的需要，可以收集浓缩产物 16 和/或蒸馏水 14 以备使用。

利用除气馈送输入管线 12 进入的任意非冷凝物（例如，空气或气体）必须从系统净化。如图 1 所示，假定全部热交换器在 1 大气压（atm）以上工作，所以非冷凝物可以被直接净化。如果系统在 1 大气压以下工作，则需要真空泵（未具体示出）来去除非冷凝物。在任一情况下，冷凝器泵 36 位于净化之前，使得可以在去除非冷凝物之前可以使水蒸汽复原。在一些实施例中，可以作为最终排出到外界的缓慢滴流来将非冷凝物从脱盐系统净化。泵 36 确保可以与非冷凝物混合的任何水蒸汽在非冷凝物排出之前被复原。如果脱盐系统在高压下工作，则可以在涡轮 56 中将能量复原。此能量可以再次投入到用于对除气馈送输入部 12 加压的泵 57 中。

压缩机 24 可以由诸如发动机或电动机之类的任意驱动装置驱动。在图 1 中，由诸如布雷顿循环发动机 40 和兰金循环发动机 42 之类的复合循环气体涡轮来驱动压缩机 24。在布雷顿循环发动机 40 中，利用空气量传感器 44 来压缩空气，并将燃料添加到燃烧室 46 中的压缩空气中，并进行燃烧，较热的高压气体通过膨胀器 48 发生膨胀。排出的低压气体非常热，并能够用于使兰金发动机（在此情况下，热交换器 50）中的液体在其

后循环 (bottoming cycle) 期间汽化。

在兰金循环发动机 42 中, 高压流体在 50 中被加热。换热的高压流体在膨胀器 52 中膨胀, 在膨胀器 52 处进行一定的工作。从膨胀器 52 排出的蒸汽在冷凝器 54 中冷凝为液体, 液体接着被泵动回到热交换器 50。

理想地, 兰金膨胀器 52 允许液体在膨胀处理期间冷凝在膨胀器 52 中。如果发生此情况, 则减小了膨胀器 52 上的热负荷, 这使膨胀器 52 的物理尺寸减小, 并使得循环更有效, 这是因为其使得一些潜热被转换以发挥作用。在一个实施例中, 可以是摆线 (gerotor) 膨胀器。在另一实施例中, 可以从位于 Bryan, Texas 的 StarRotor Corporation 获取摆线膨胀器。

在原理上, 可以使用兰金流体, 但是, 一些流体比其他流体更优。通过选择在进入膨胀器时处于超临界压力以上的流体 (例如, 甲醇), 因为由来自布雷顿循环的排出气体相逆地提取热能, 所以在流体中仅具有可感测的热改变。这使得所实现温度在热交换器上非常均匀, 这提高了系统效率。如果流体在高温热交换器中经历潜热改变, 则在热交换器中需要较高的实现温度, 这降低了系统效率。

图 2 是根据具体实施例的另一使用单个蒸汽源的脱盐系统的示意图。除气馈送输入部 12、蒸馏水输出管线 14、浓缩盐水管线 16、水蒸发器 20、热交换器 22、压缩机 24、布雷顿循环发动机 40 和兰金循环发动机 42 与图 1 的实施例相似。但是, 脱盐系统 60 不同之处在于除气馈送输入部 12 连接至以最高压力和温度工作的蒸发器 20d。在除气馈送物具有相反溶解特性的成分的情况下, 此实施例是所期望的。例如, 碳酸钙随着其变热而更少地溶解。

显然, 通过在蒸发器 20d 处引入除气馈送, 盐水的浓度随着其从蒸发器 20d 朝向水蒸发器 20a 移动而降低。这与图 1 中蒸发器 20 之间的盐浓度改变的方式相反。但是, 温度和压力仍从最左侧的水蒸发器 20a 向最右侧的水蒸发器 20d 升高。

图 3 是根据具体实施例的使用多个蒸汽源的脱盐系统的示意图。脱盐系统 70 与图 1 的脱盐系统 10 的相似之处在于脱盐系统 70 也使用一系列蒸发器 20, 每个蒸发器均在不同的盐浓度的情况下工作。但是, 在此具体实

施例中，每个蒸发器 20 具有其专用的压缩机 24。在此情况下，可以使每个蒸发器以几乎相同的温度工作，这可以省去对各个蒸发器级之间的热交换器的需求。如图 3 所示的压缩机可以通过任意方式来驱动；在此情况下，示出了电动机 72。与先前实施例相似，盐浓度随着其经过各个蒸发器而缓慢升高。因此，溶液在蒸发器 20a 处是最大程度浓缩的状态，并在水蒸发器 20d 处是最小程度浓缩的状态。因此，情况可以是，用于水蒸发器 20a 的压缩机 24 可以具有最大难度的工作，这是因为该压缩机在最大程度浓缩的溶液的情况下进行工作。在一些实施例中，压缩机 24 可以在 1.05 或 1.03 比 1 的较低压缩比的情况下非常高效地工作。

图 4 是根据具体实施例的另一使用多个蒸汽源的脱盐系统的示意图。脱盐系统 80 与图 3 的脱盐系统 70 的相似之处在于，脱盐系统 80 也使用一系列蒸发器 20，每个蒸发器均在不同的盐浓度的情况下工作。但是，在此具体实施例中，每个压缩机 24 用于多个蒸发器 20。在此具体实施例中，每个压缩机 24 用于两个水蒸发器 20。此外，单个压缩机 24 所针对的水蒸发器 20 可以在不同的温度下工作。可以通过利用在由单个压缩机 24 所针对的级之间的对流热交换器 22 来帮助实现此情况。

图 5A 是可以在图 1 至图 4 的实施例的情况下使用的压缩机的一个实施例的侧剖视图；图 5B 和 5C 是可以在图 5A 的压缩机的情况下使用的不同类型的推进器的示例的正视图。压缩机 24 可以在上述脱盐系统 10、60、脱盐系统 70 和 80 的情况下使用。根据实施例，压缩机 24 可以设计用于相对较低的压力但是较高的速率。压缩机 24 可以具有在喉部分 24c 处连接在一起的渐缩管部分 24a 和渐扩管部分 24b。这可以与文氏管相似。推进器 24d 被设置为产生通过压缩机 24 的流动。推进器 24d 可以是叶轮 24d' 或导管风扇 24d"。此外，可以设置流动校直器 24e 来去除蒸汽的耗能旋转运动。为了节省开发成本，叶轮 24d' 或导管风扇 24d" 可以来自航空应用领域。例如，叶轮 24d' 可以是在螺旋桨飞机上使用的叶轮，而导管风扇 24d" 可以来自喷气发动机。这可以通过调节蒸发器压力使得蒸汽的密度与叶轮 24d' 或导管风扇 24d" 被设计为工作所处的高度处的空气相似，来实现。与所使用的推进器 24d 的类型无关，压缩机 24 可以使用推进器 24d 来使蒸汽

的流动加速，使得蒸汽以高速运动。因为流动校直器 24e 在推进器 24d 的下游，所以能够减少蒸汽中的旋转量。这是所期望的，因为旋转运动是几乎不提供益处的浪费能量。在蒸汽移动经过流动校直器 24e 时，压缩机 24 的直径开始增大，因此蒸汽的速度开始减慢。速度的降低被转换为压能。

图 6 是根据具体实施例的另一使用多个喷气式喷射器作为蒸汽源的脱盐系统的示意图。除气馈送输入部 12、蒸馏水输出管线 14、浓缩盐水管线 16 和水蒸发器 20 与图 1 的实施例相似。但是，脱盐系统 90 的不同之处在于，利用喷气式喷射器 92 来实现各个压缩机。在某些实施例中，喷气式喷射器 92 的优点可以在于，它们能够压缩较大的蒸汽提及，这允许脱盐系统 90 在降低的温度和压力下工作。这降低了容器成本并减小了用现有的盐水和蒸馏水对馈送水进行预加热的敏感热交换器的尺寸。通过机械压缩机 94 来供应每个喷气式喷射器 92 所需的动能。如图 6 所示，向机械压缩机 94 引入的蒸汽从各个喷气式喷射器 92 通过低压流体管线 96 供应。在具体实施例中，压缩机 94 可以从低压流体管线 96 接收低压流体，并以五或六比一的比率将其压缩。此高压蒸汽接着被引入到喷气式喷射器 92 的喉部。高压蒸汽用于产生为各个蒸发器 20 所需的压缩。

图 7 是根据具体实施例的另一使用多个喷气式喷射器作为蒸汽源的脱盐系统的示意图。除了由各个喷气式喷射器 92 通过高压管线 102 来对压缩机 24 进行供应之外，脱盐系统 100 与脱盐系统 90 相似。换言之，喷气式喷射器 92 可以帮助对将要进入压缩机 24 的蒸汽进行预压缩。这样处理的一个可能的优点在于，因为将要进入压缩机 24 的蒸汽已经被略微预压缩了，所以可以使压缩机 24 的尺寸/功率要求稍小一些。

图 8 是根据具体实施例的另一使用多个喷气式喷射器作为蒸汽源的脱盐系统的示意图。除气馈送输入部 12、蒸馏水输出管线 14、浓缩盐水管线 16 和水蒸发器 20 与图 1 所示的实施例相似。但是，在此具体实施例中，每个喷气式喷射器 92 用于多个蒸发器 20。此外，由单个压缩机所针对的水蒸发器 20 可以在不同的温度的情况下工作。这可以通过利用由单个喷气式喷射器 92 所针对的级之间的对流热交换器 22 来实现。

图 9A-9C 是可以在图 6 至 8 的实施例的情况下使用的不同的喷气式喷

射器的侧剖视图，并且图 9D 是沿着图 9C 的线 192 所取的正剖视图。图 9A-9C 所示的喷气式喷射器。图 9A-9C 所示的喷气式喷射器通常包括两个入口和一个出口。第一入口位于喷气式喷射器 92 的左侧并接收低压低速蒸汽。第二入口通过输入管线 93 提供高压高速蒸汽。这两个输入在喷气式喷射器 92 的缩小的喉部中混合，并产生具有处于来自两个输入的蒸汽的压力和速度之间的压力和速度。喷气式喷射器 92 可以在其以 1.03 或 1.05 比 1 的压缩比进行压缩时具有相对较高的效率。

图 9A 所示的喷气式喷射器示出了恒定截面喷气式喷射器 92a，其中运动流体以单级进行馈送。运动流体可以通过输入管线 93 进行供应。在具体实施例中，运动流体可以是高压蒸汽。

图 9B 示出了喷气式喷射器 92b 的另一实施例，其具有适于允许逐渐添加运动流体的两级喷嘴 92b'。两级喷嘴 92b' 允许以两级引入高压蒸汽，其减小了从左侧进入喷气式喷射器 92 的低速蒸汽和通过两级喷嘴 92b' 进入的高速蒸汽之间的速度差。因此两级喷嘴的第一级可以帮助在低速蒸汽达到第二级之前对其预加速。虽然在图 9B 中示出了两级，但是其他实施例可以使用更多级。

图 9C 描绘了使用两级喷嘴 92c' 的另一喷气式喷射器 92c。两级喷嘴 92c' 包括四个单独的喷嘴末端，即中心喷嘴末端 92c'' 和周围喷嘴末端 92c'''。如图 9D 可见，一个中心喷嘴末端 92c'' 被三个等间隔的周围喷嘴末端 92c''' 围绕。中心喷嘴末端 92c'' 比周围喷嘴末端 92c''' 延伸到更下游的位置。因此，高压蒸汽以两级排出，首先通过周围喷嘴末端 92c'''，然后在下游通过中心喷嘴末端 92c''。虽然描绘了三个周围喷嘴末端 92c'''，但是其他实施例可以使用更多或更少周围喷嘴末端。此外，一些实施例可以使喷嘴末端以不同的方式交错，例如，中心喷嘴末端 92c'' 可以在周围喷嘴末端 92c''' 的上游，或者全部四个喷嘴末端可以具有相同长度（例如，它们全部等距离地延伸到喷气式喷射器 92 中）。

图 10A 是根据具体实施例的蒸发器的平面剖视图，图 10B 是根据具体实施例的蒸发器的侧剖视图。热交换器 22 可以包含在封闭管道 120 内。在此具体实施例中，热交换器 26 可以分布在每个水蒸发器 20 内，使得可

以从每个水蒸发器 20 进行有效的水蒸汽的汽化。如图 10B 所示，除气馈送输入部 12 为盐水提供了进入点。因为水在水蒸发器 20 中汽化，所以设置了端口 98'，其提供了蒸馏水蒸汽的出口。水泵 24 被设置为使盐水从除气馈送输入部 12 向多个喷气式喷射器 92 中的每个行进。喷气式喷射器 92 可以在盐水中引起一些流动，以帮助使液体移动。这可以帮助热传递，并使得水蒸发器更小。利用此处理，水可以从盐水中汽化，以获得蒸馏水。

图 10A 示出了水蒸汽通过水蒸发器 20 所经过的路径。通过端口 98" 进入的蒸汽经过板体，引起盐水加热并沸腾。在使盐水沸腾的过程中，蒸汽遵循蜿蜒路径通过蒸发器 20，最终作为冷凝水通过出口（例如，图 11 的出口 14）排出。随着蒸汽逐渐从左向右，挡板变得越来越接近。这尽管由冷凝而损失了蒸汽，但可以帮助保持相对恒定的速度（例如，约 5ft/s）。那些非冷凝物可以通过出口 74 清除。因此，来自水蒸发器 20 的蒸馏水蒸汽可以用于加热随后的水蒸发器 20 中的盐水。蒸馏水输出管线（例如，图 11 的出口 14）提供了用于冷凝蒸馏水从脱盐系统排出的出口。

图 11 是根据具体实施例的蒸发器的正剖视图。上下扇形部 122 和 124 包含低压盐水，左右扇形部 128 和 130 包含高压蒸汽和蒸馏水。水从盐蒸发并从上部通过出口 98' 排出。低压盐水与高压水蒸汽之间的压差可以由压缩机或喷气式喷射器（图 11 中未具体示出）提供。左右扇形部 128 和 130 被供应有高压蒸汽，其在板体内侧冷凝。冷凝物在左右扇形部 128 和 130 的底部汇集，并通过端口 14 排出。在一个实施例中，热交换器板体的角部可以利用膨胀型垫圈密封至管道。

图 12A 示出了从封闭管道 120 拆卸的水蒸发器 20 和喷气式喷射器 92。图 12B 示出了图 12A 的喷气式喷射器 92 的正剖视图，喷气式喷射器 92 使得液态水通过热交换器循环，其可以提高热传递。

现在将描述集成的水蒸发器 20 和热交换器 26。图 13A 示出了可以形成图 12 的集成的水蒸发器 20 和热交换器 26 的一部分的金属片 140。金属片 140 在图 13A 中被示出为已经切割为期望的形状，并在其中形成有许多窝坑 142。此外，在金属片 140 的四个角部中一体地形成突片 146。图 13B 示出了图 13A 的金属片 140，其中已经沿着虚线 144 在金属片 140 中形成

了弯折。图 13C 和 13D 分别示出了沿着线 13C 和 13D 所取的片 140 的剖视图。

图 15A 示出了利用彼此堆叠的许多金属片 140 构造的图 13 的水蒸发器 20 和热交换器 26 的组装部分。图 15B 示出了图 15A 的放大局部视图，对由各个突片 146 形成的结构进行了描绘。图 15C 示出了图 15A 的放大侧剖视图。

图 16A 示出了利用彼此堆叠的许多金属片 150 构造的图 14 的水蒸发器 20 和热交换器 26 的组装部分。图 16B 示出了图 16A 的放大局部视图，对由两个匹配的片 150 的角部进行了描绘。图 16C 示出了图 16A 的放大侧剖视图。

图 17A 示出了构成本发明的一个方面的窝坑形状 142 或 152 的一个实施例。如图所示，窝坑 142 或 152 中的每个具有平坦区域 156，使得当另一个片 140 或 150 与其相邻放置时，不会有侧滑的趋势，否则如果末端是圆形或点状，则可能发生侧滑。在如图 17B 所示的另一个实施例中，一个片 140 或 150 的窝坑 142 或 152 可以形成有凹部 158，凹部 158 适于与另一个片 140 或 150 的另一个相匹配的窝坑 142 或 152 的外轮廓相共形。

图 18A 至 18F 示出了可以用于将一个片 140 或 150 安装至另一个片的各种类型的接合部。图 18A 示出了焊接接合部 160。图 18B 示出了硬钎焊接合部。图 18C 示出了用于将端部安装在一起的卷边夹 164。图 18D 示出了卷边夹 164 的另一个实施例，其中片 140 或 150 的边缘突起，由此卷边夹可靠地保持到位。图 18E 示出了用于将片 140 或 150 的边缘安装在一起的铆钉或螺钉 168。图 18F 示出了一体地形成在一个片 140 或 150 的边缘上的突片 170。在组装期间，此突片绕相邻的片 140 或 150 的边缘弯折。

图 19 是根据具体实施例的使用离子交换系统的脱盐系统的示意图。脱盐系统 180 提供了选择性地去除硫酸根离子的离子交换系统。能够用于去除硫酸根离子的示例树脂是 Purolite A-830W（可从 Purolite 公司获取）和 Relite 电动机 MG1/P（可从 Residdion S.R.L., Mitsubishi Chemical 公司获取）。

在图 19 中，将酸添加到混合箱 182 中的新鲜原料馈送部，以减小 pH

值。可以使用任意合适的酸材料，例如盐酸、磷酸、或硫酸。在一个实施例中，硫酸由于其相对较低的成本而得到使用。此酸化水被添加至装载有氯离子的排出离子交换床 184。结果，水通过排出离子交换床 184，硫酸根离子被结合，而氯离子被释放。可以去除约 95% 的硫酸根离子。从排出离子交换床 184 排出的 pH 值是约 5.0 至 5.2。此脱硫酸水流向真空分离器 186，在真空抽离器 186 处，去除溶解的二氧化碳；添加低压蒸汽作为载体。在一些实施例中，可以使用其他除气技术，例如使用真空以将气体吸引经过隔膜的设备。从真空抽离器 186 排出的液体具有约 7.0 至 7.2 的 pH 值。其包含较低浓度的硫酸根和碳酸根离子，这减少了热交换器中的水垢的问题。除气盐水流入脱盐系统 188。能够采用许多不同类型的脱盐系统，例如脱盐系统 10、60、70、80、90、100 或 110。但是，图 19 示出为使用脱盐系统 70。从蒸发器 20 排出的浓缩盐水用于对再生离子交换床进行再生。通常，盐水浓度比馈送盐水浓 2.5 至 4 倍。

图 20 是根据具体实施例的使用研磨材料的脱盐系统的示意图。脱盐系统 200 可以用于通过包括研磨材料，来减少热交换器表面上水垢的形成，研磨材料例如是与盐水一起的小橡胶球或小片的碎线。研磨材料可以在管线 204 处引入到盐水中，并在管线 206 处利用研磨材料分离器 202 从浓缩盐水回收，研磨材料分离器 202 采用合适的方法，例如过滤、沉淀或磁体。

图 21 是根据具体实施例的使用研磨材料和沉淀材料的脱盐系统的示意图。脱盐系统 210 提供了两个系统，来减少水蒸发器 20 和热交换器 26 内表面上的水垢形成。在一个实施例中，研磨材料分离器 202 可以实现为以与图 20 的研磨材料分离器 202 相似的方式发挥作用。具体实施例提供了沉淀分离器 230，其在管线 232 处将沉淀材料分布到盐水中，并从管线 234 回收沉淀物。将小颗粒的沉淀物添加到盐水中以用作提供成核位置的种晶。随着盐水过饱和，沉淀物将优先形成在种晶上而不是发生在金属表面上，这是因为其表面积远大于金属表面。此外，与金属表面不同，种晶具有与新形成的沉淀物相似的晶体结构，其使沉淀物相比形成在金属表面而言更容易形成在晶体上。在分离器 230 中，通过合适方法（例如，过

滤、离心)来去除沉淀物。沉淀物的一部分作为种晶返回,并且多余的部分从系统清除。

图 22 是根据具体实施例的脱盐系统的示意图,其中离开最终蒸发器的蒸汽被冷凝并排出。脱盐系统 220 适于在盐水输入管线 12 处接收盐水,从盐水蒸馏出至少一部分蒸馏水,并在蒸馏水输出管线 14 处提供蒸馏水,在浓缩盐水输出管线 16 处提供浓缩盐水。水脱盐系统 220 具有数个水蒸发器 20,数个连接在各个水蒸发器 20 之间的热交换器 22,以及连接至水蒸发器 20d 中的一个(其可以用作蒸汽压缩蒸发器)的喷气式喷射器 92。加压蒸汽可以供应至处于级联方式的其他水蒸发器 20a、20b 和 20c,使得各个相继的水蒸发器 20a、20b 和 20c(其可以用作多效蒸发器)具有比上游的水蒸发器 20d 相对更低的工作压力。以此方式,可以逐渐从盐水将水去除或汽化。

如所示的,除气盐水被引入到除气馈送输入部 12 中,并被引入到对流热交换器 26 中,对流热交换器 26 使浓缩盐水和蒸馏水沿相反方向流动。除气盐水进入第一水蒸发器 20d,在第一水蒸发器 20d 处,一部分水汽化。剩余的盐水通过对流热交换器 22c 被泵动到第二水蒸发器 20c 中,在第二水蒸发器 20c 处,额外的水被汽化。此处理可以根据需要重复多次。如所示的,示出了总计四个水蒸发器 20a、20b、20c 和 20d;但是,可以使用任意数量的水蒸发器 20。

诸如可以从锅炉供应的蒸汽那样的高压蒸汽通过管线 93 进入喷气式喷射器 92,并提供了为将来自入口管线 28 的水蒸汽压向输出管线 30 所需的动能。输出管线 30 连接至水蒸发器 20d。因此,水蒸发器 20d 中得到的高压使得水蒸汽冷凝。随着这些蒸汽冷凝,它们使水从盐水汽化。这些蒸汽在接下来的在低压下工作的蒸发器 20c 中冷凝。对于系统中配置的全部其他蒸发器 20b 和 20a 重复此处理。

利用盐水入口部 12 进入的任意非冷凝物可以从系统清除。如图 22 所示,假定全部热交换器在 1 大气压(atm)以上工作,因此可以直接清除非冷凝物。如果系统在 1 大气压以下工作,则需要真空泵(未具体示出)来去除非冷凝物。在任一情况下,冷凝器 36 位于清污器调节器管 38 之

前，由此可以在去除冷凝物之前去除水蒸汽。喷气式喷射器 92 用于将来自入口管线 28 的水蒸汽压向输出管线 30。

图 23 是根据具体实施例的另一个脱盐系统的示意图，其中从最终蒸发器离开的蒸汽被冷凝并排出。盐水入口管线 12、水输出管线 14、浓缩盐水输出管线 16、水蒸发器 20、热交换器 22 和喷气式喷射器 92 与图 22 的脱盐系统 210 相似。但是，脱盐系统 230 的不同之处在于喷气式喷射器 92 的输入管线连接至第二水蒸发器 24c。

图 24 是根据具体实施例的使用两个蒸汽源的脱盐系统的示意图，其中离开最终蒸发器的蒸汽被冷凝并排出。此实施例与图 22 的脱盐系统 210 相似之处在于脱盐系统 240 也使用一系列蒸发器 20，每个蒸发器 20 在不同的盐浓度的情况下工作。但是，在此具体实施例中，数个水蒸发器 20c 和 20d 具有其自身专用的喷气式喷射器 92。在图 24 中，第一和第二水蒸发器 20d 和 20c 每个都示出未具有其自身专用的喷气式喷射器 92。但是，可以理解，水蒸发器 24a、24b、24c 或 24d 中的任一个均可以配置有其自身的喷气式喷射器 92。

图 25 是根据具体实施例的脱盐系统的示意图，其中离开初始蒸发器的蒸汽被冷凝并排出。盐水入口管线 12、蒸馏水输出管线 14、浓缩盐水管线 16 和水蒸发器 20 与图 22 的脱盐系统相似。但是，脱盐系统 250 的不同之处在于除气馈送输入部 12 连接至并未直接与喷气式喷射器 92 连接的水蒸发器 20a。即，除气馈送输入部 12 连接至位于级联水蒸发器 20 系列下游的随后的水蒸发器 20a。

图 26 是示出作为冷凝侧温度和冷凝蒸汽与沸腾水之间的总温差 (ΔT) 的函数的总热传递系数的图。该图示出了作为冷凝侧温度和冷凝蒸汽与沸腾水之间的总温差 (ΔT) 的函数的总热传递系数。此图示出了随着冷凝侧温度升高至约 340°F，总热传递系数急剧增大。在此温度以上，难以保持逐滴冷凝 (drop-wise condensation)，其比薄层冷凝 (film-wise condensation) 具有显著更好的热传递。利用疏水表面 (例如，金、铬、银、氮化钛、特氟纶 (Teflon)) 来促进逐滴冷凝。优选的疏水表面是通过利用重盐化学将疏水有机化合物直接共价键合到金属热交换器的表面来

产生的。

在 248°F (120°C) 以上，存在海水在热交换器表面上沉积水垢的趋势。通常而言，理想的是，热交换器的盐水侧应该具有不粘性。在 248°F (120°C) 以上，如果水中存在钙、镁、硫酸根和碳酸根离子，则不粘表面特别有用。如果热交换器由钛制成，则其自然具有不粘表面。还可以使金属涂覆有不粘表面，例如如下所述：

- a. 将特氟纶涂覆到金属上。用于厨具的都彭银石 (Dupont Silverstone) 特氟纶可以承受 290°C 的温度。
- b. 铝可以在硬阳极氧化之后内含 PTFE (聚四氟乙烯)。
- c. 在硬阳极氧化和内含 PTFE 之后，碳钢进行真空镀铝。
- d. 用 PPS (聚苯硫醚) 或 PPS/PTFE 复合材料对铝、碳钢或海军黄铜进行冲击涂覆 (impact coating)。
- e. 由物理汽相沉积施加氮化钛、碳化钛或硼化钛。

这种涂覆将应用于热交换器的暴露于热盐水的一侧。理想地，基体金属将包括耐盐水材料，例如海军黄铜 (naval or admiralty brass)。利用此方案，即使涂层失效，热交换器可能被污染，但不会被穿孔或产生泄漏。

在低温下 (<ca. 120°C)，不粘表面可以不是必须的，但是，可以通过在其他金属 (例如铝或碳钢) 上阴极电弧汽相沉积钛，来产生耐盐水性。

作为对金属表面进行涂覆的可替换方案，可以使用粘接剂和/或热层叠来接合聚合物薄膜 (例如 PVDF (聚偏二氟乙烯) 或 PTFE)。

如果产生污垢，则热交换器可以暂时被取出停止工作，以用稀酸或其他合适清洁剂来清洁表面。

虽然已经用数个实施例描述了本发明，但是可以启示本领域的技术人员许多更改、修改、替换、变形和改变，并且本发明意在包括落在所附权利要求的精神和范围内的这些更改、修改、替换、变形和改变。

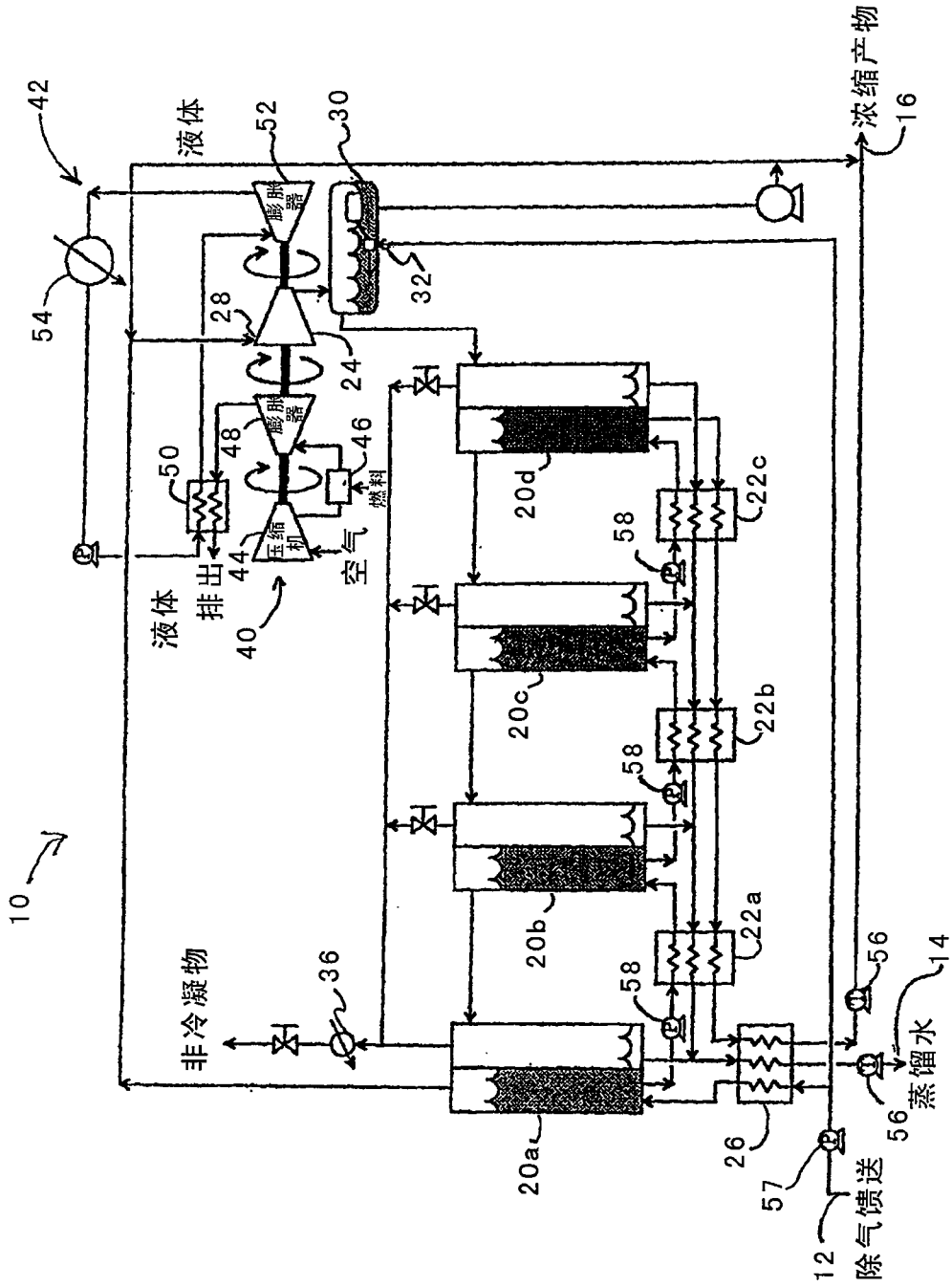


图1

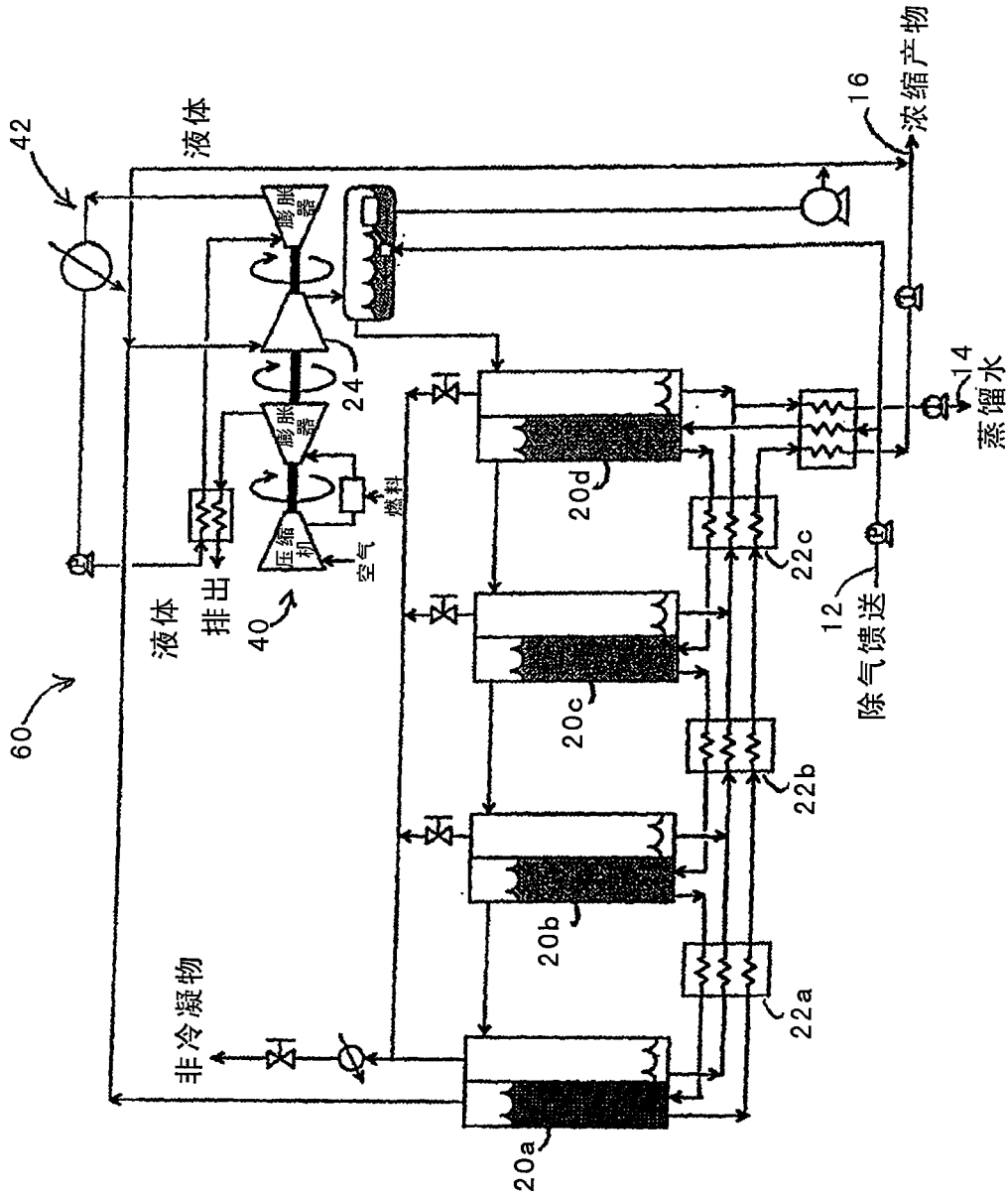


图2

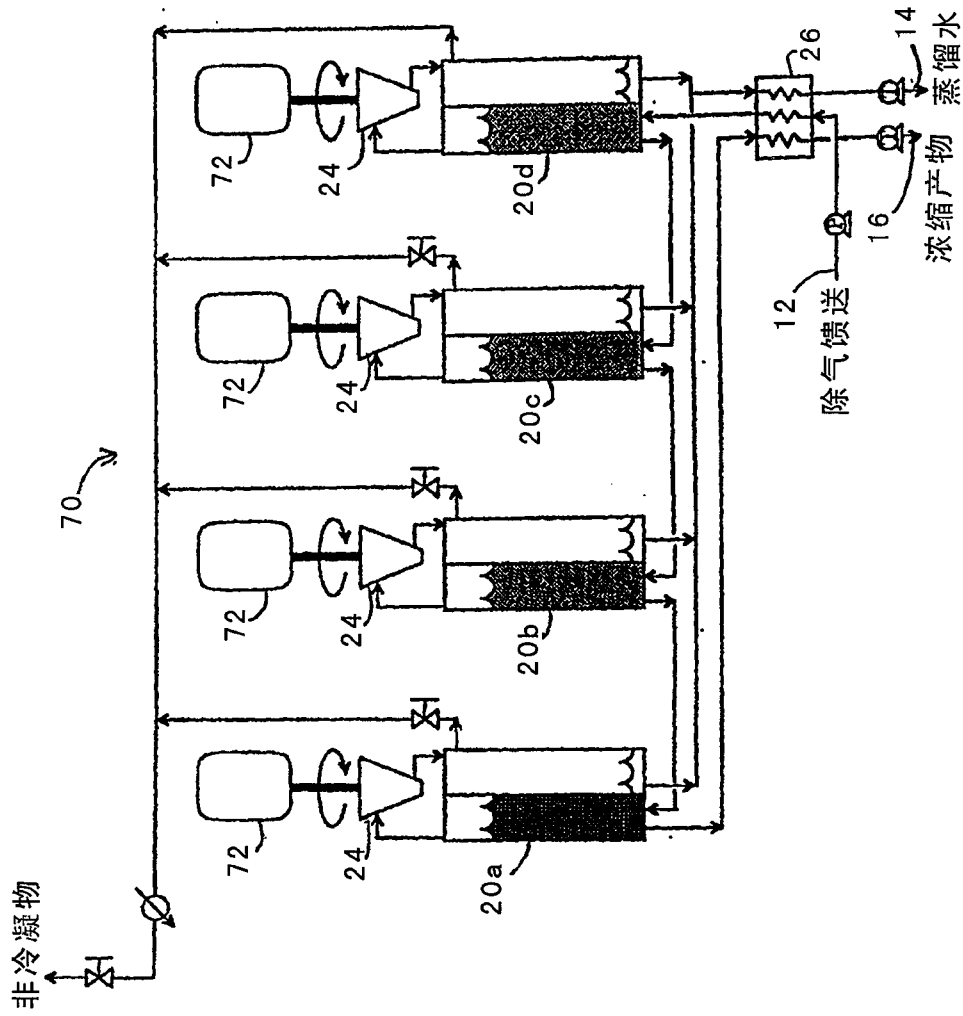


图3

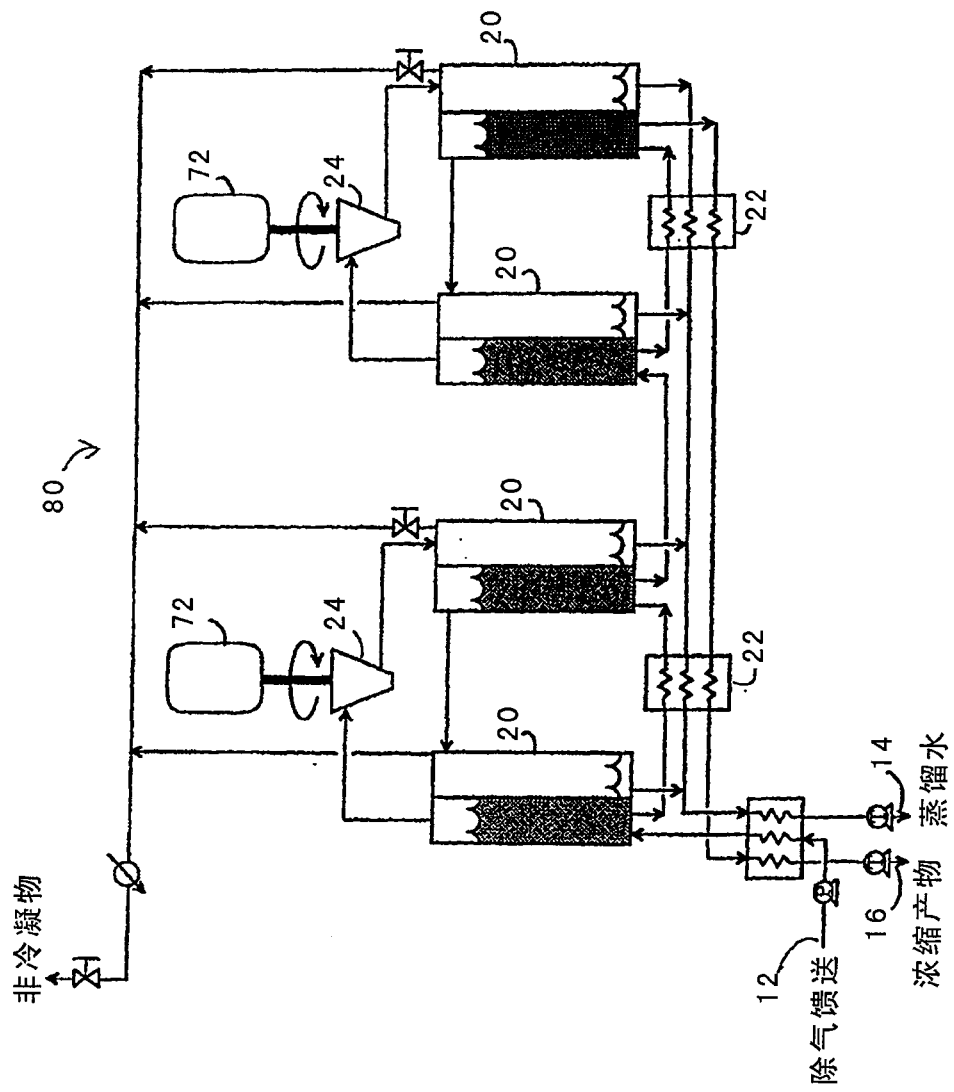


图4

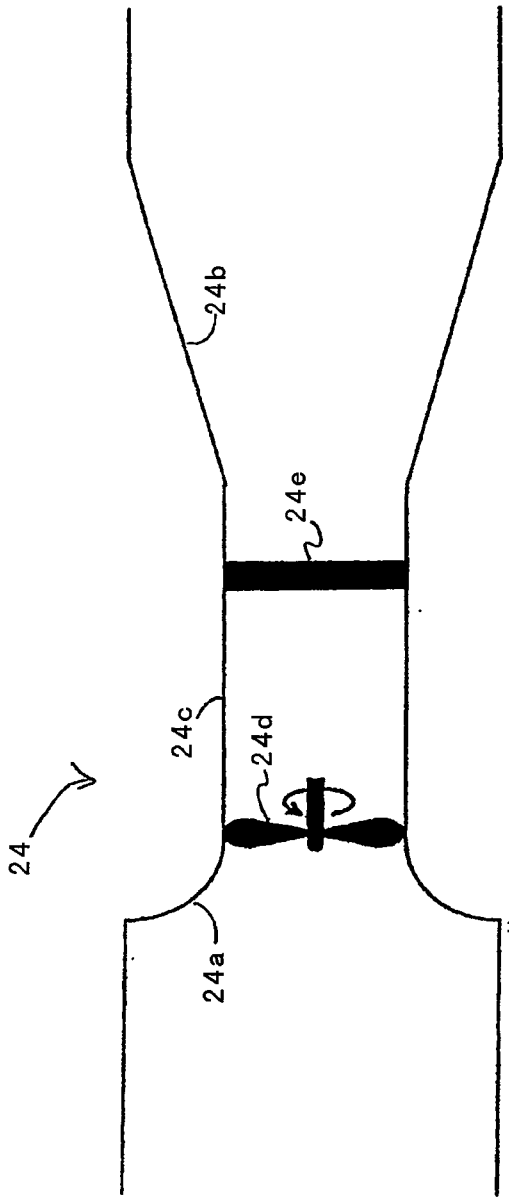


图5A

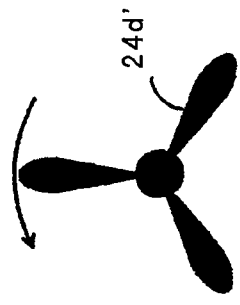


图5B

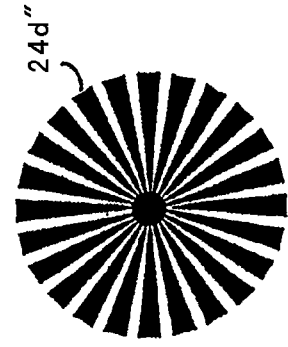


图5C

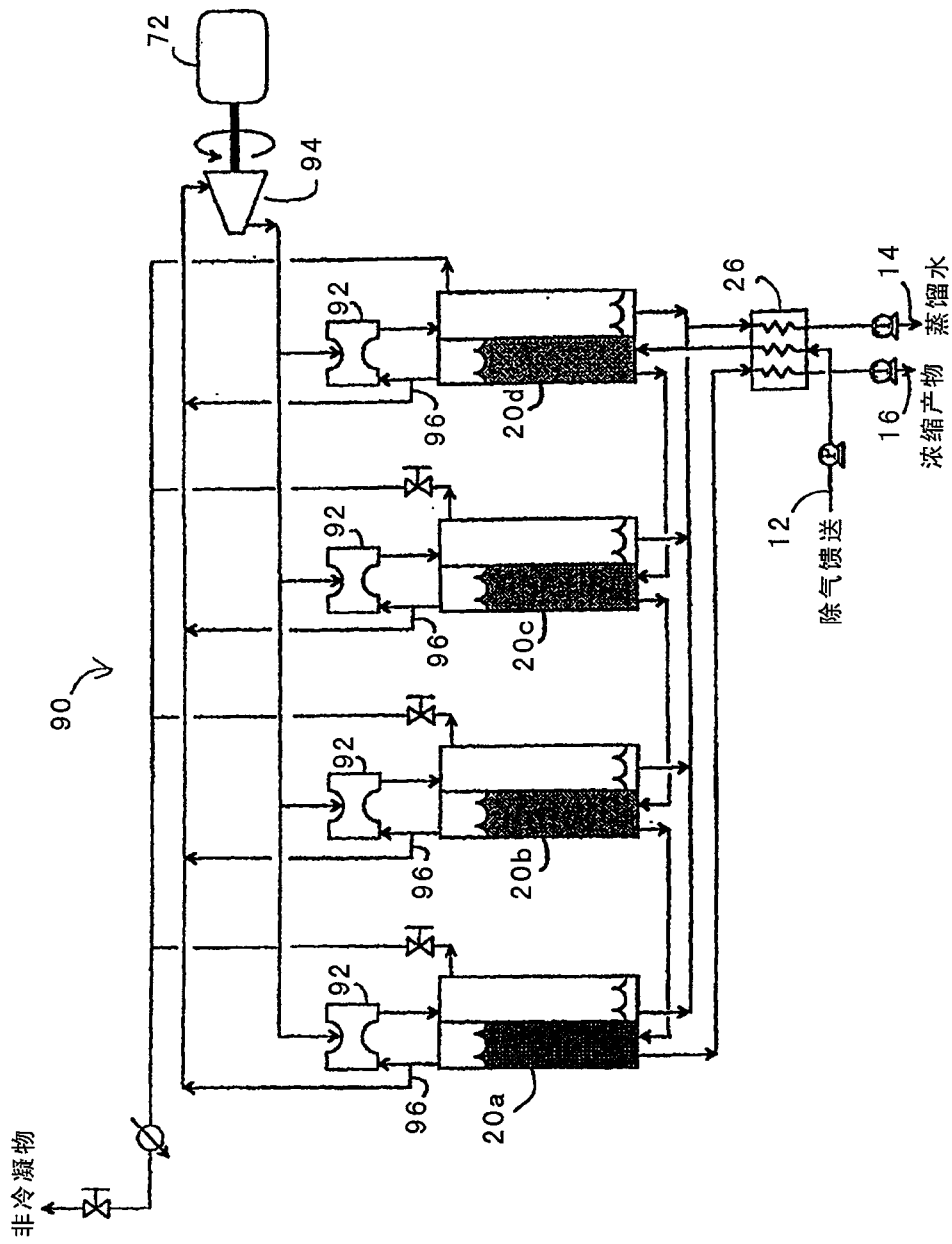


图6

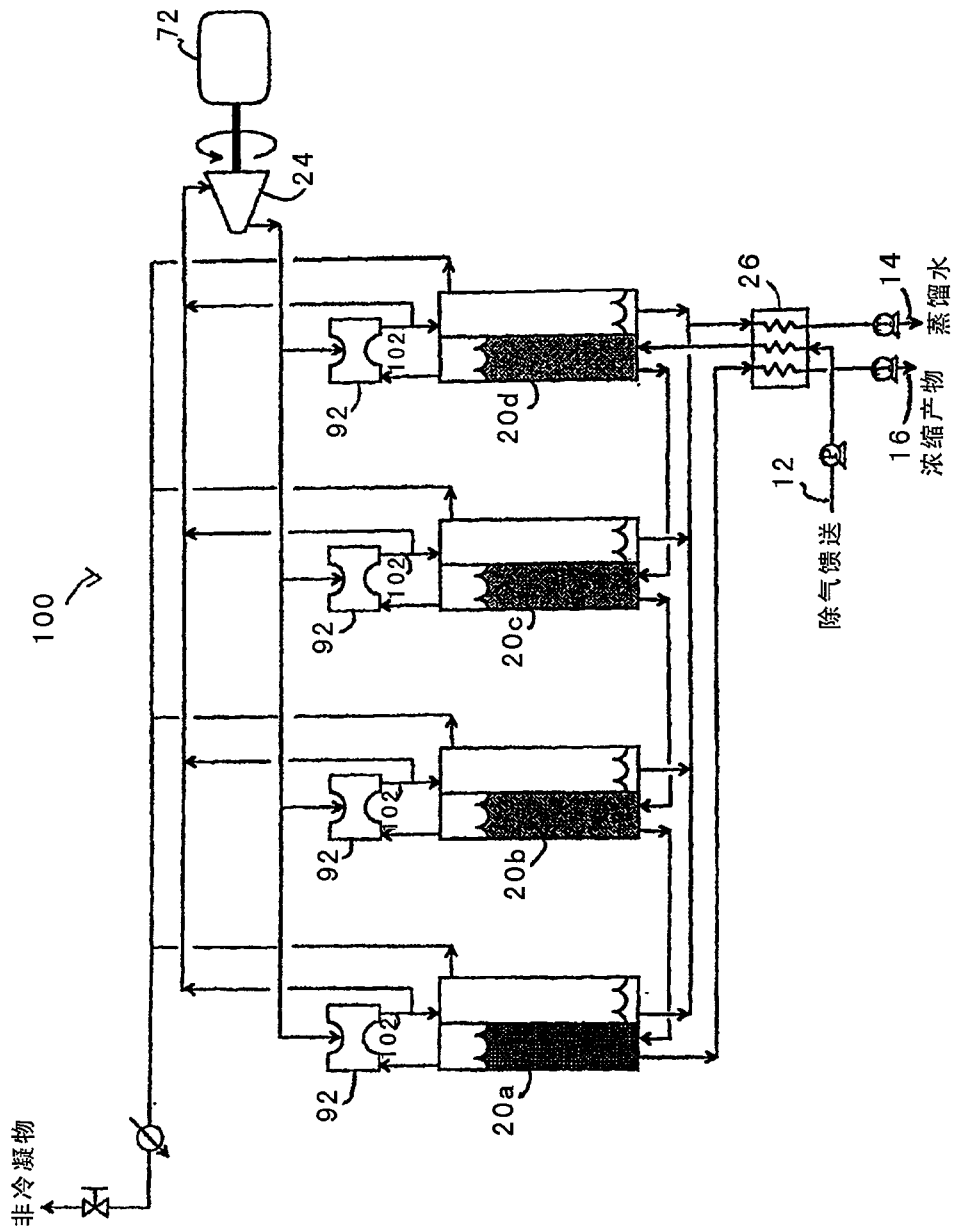


图7

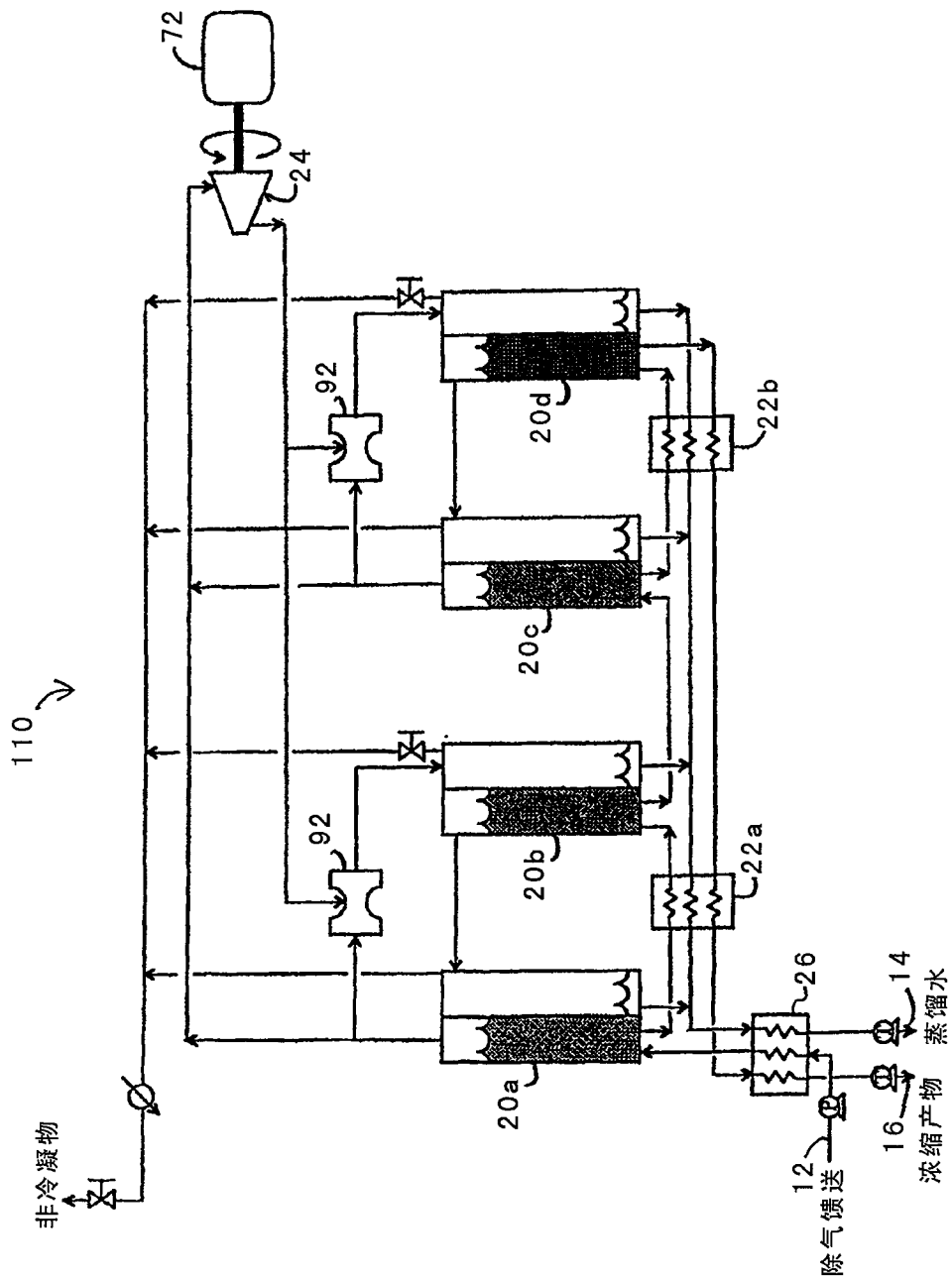


图8

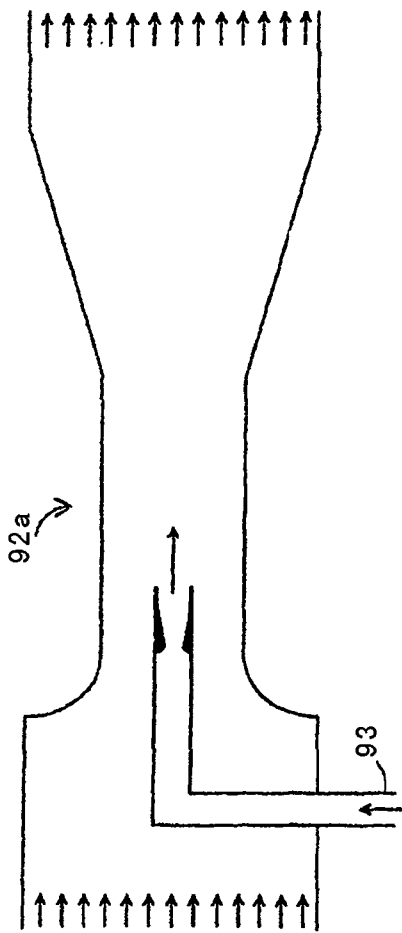


图9A

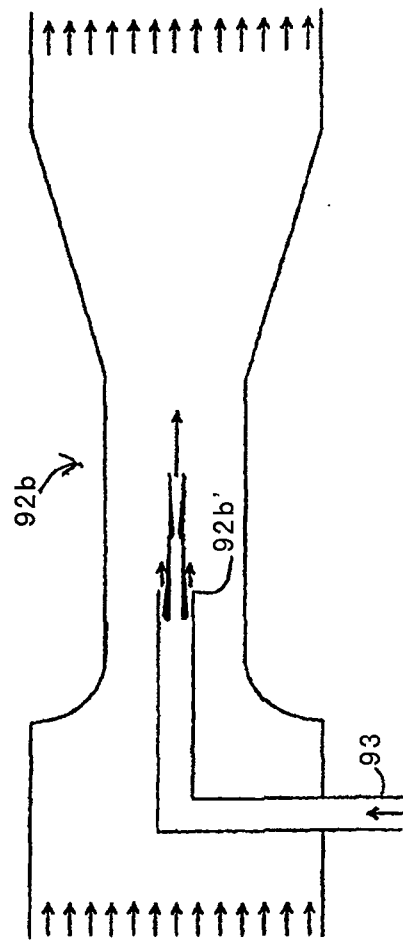


图9B

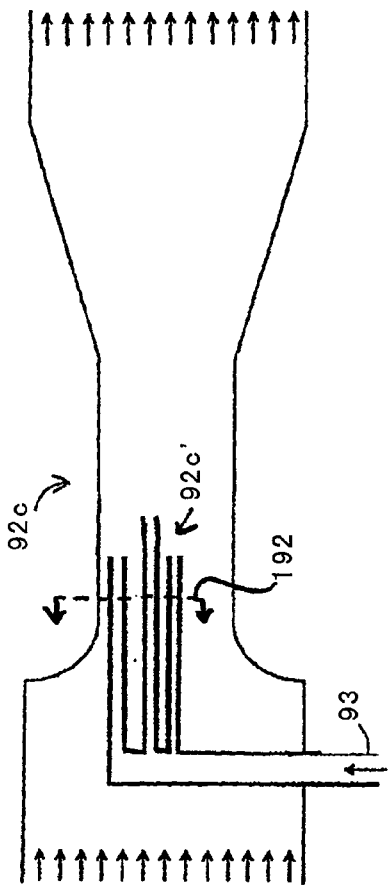


图9C

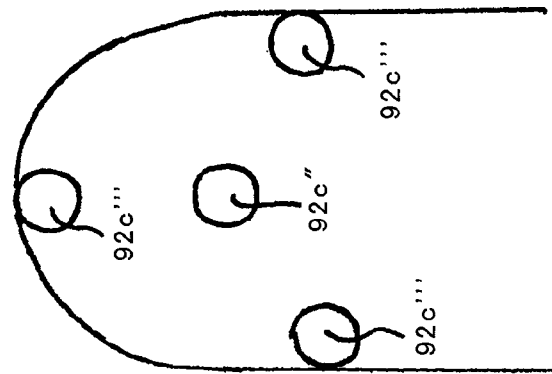


图9D

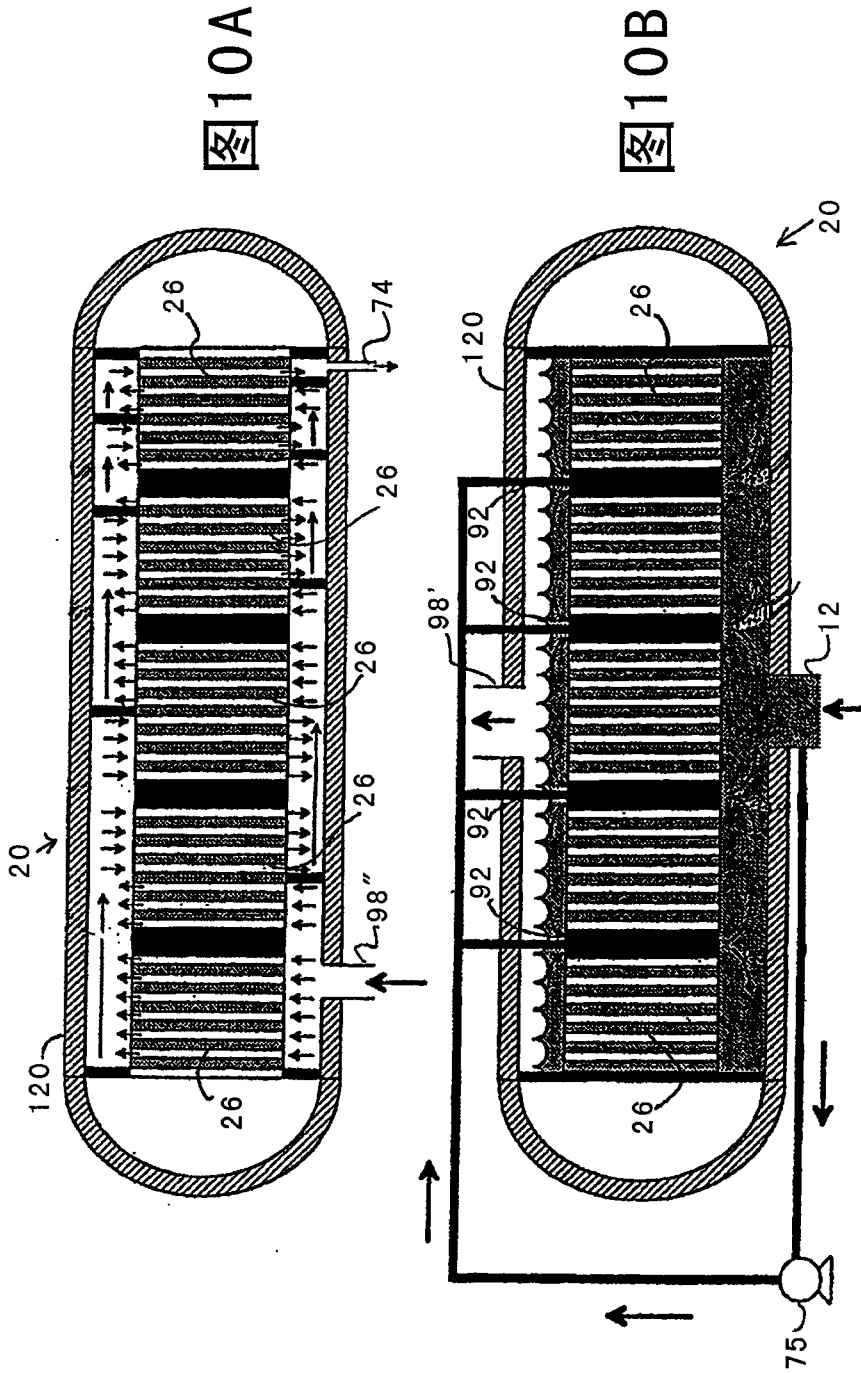


图10A

图10B

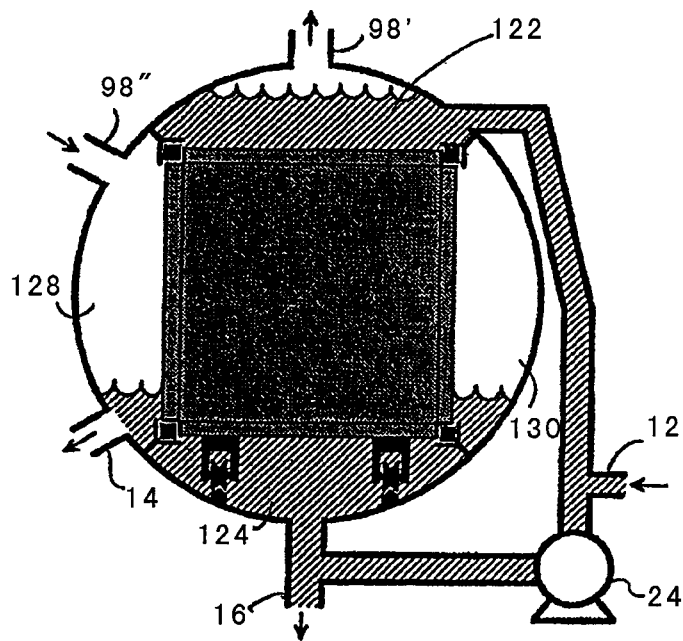
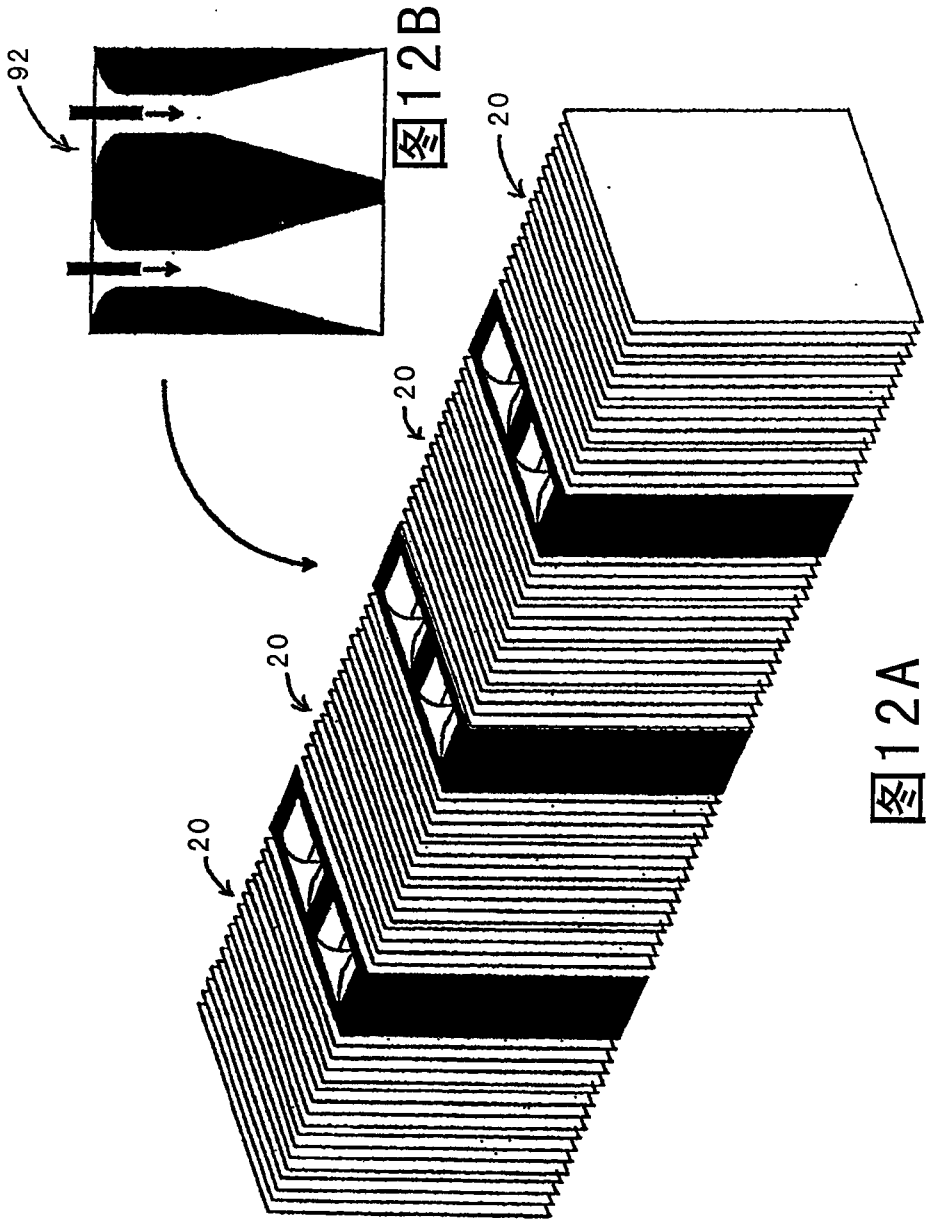
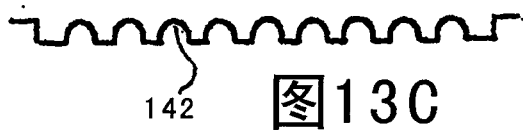
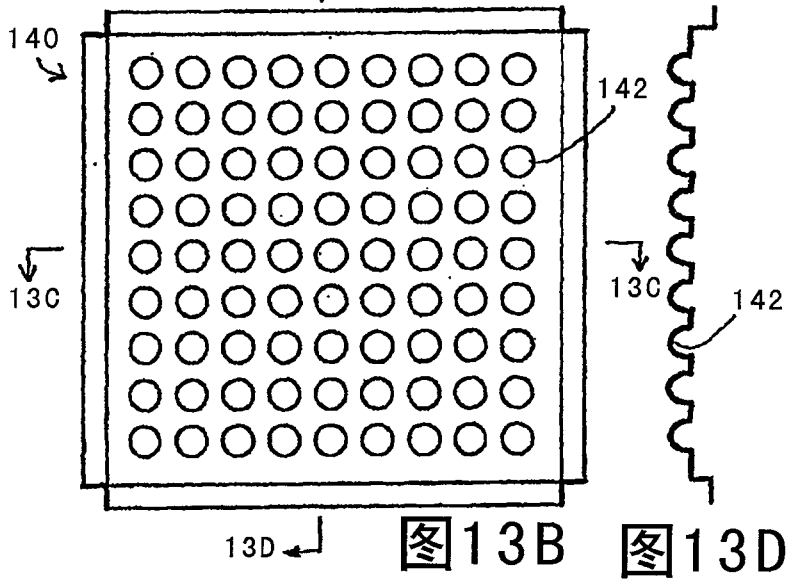
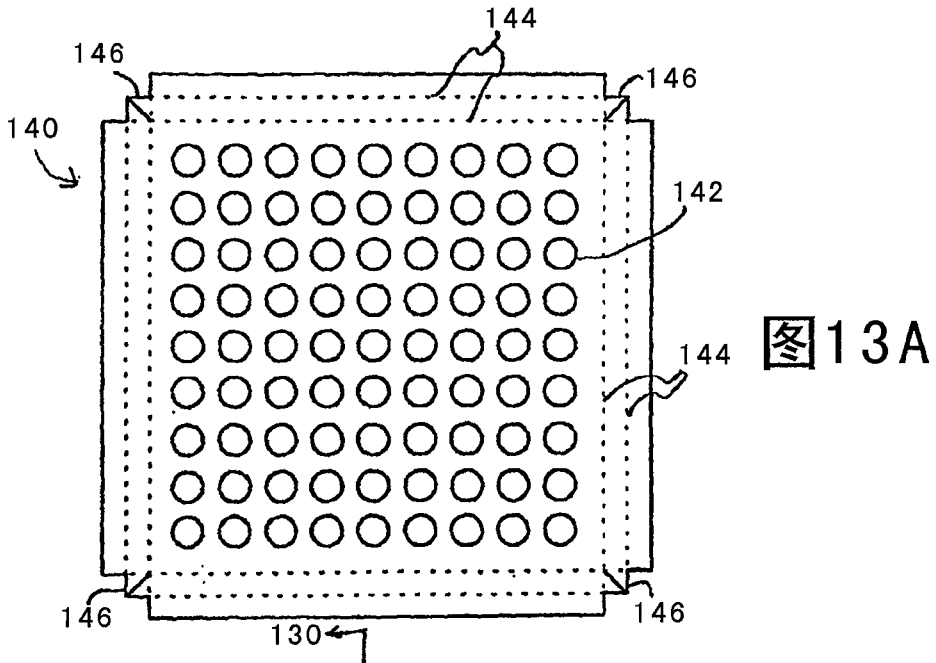


图11





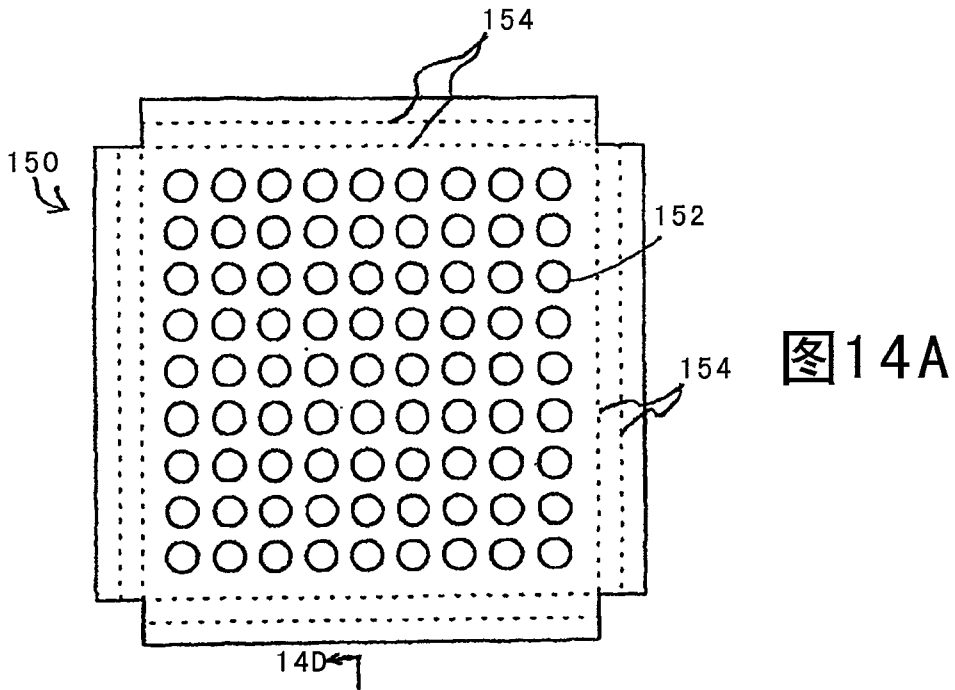


图14A

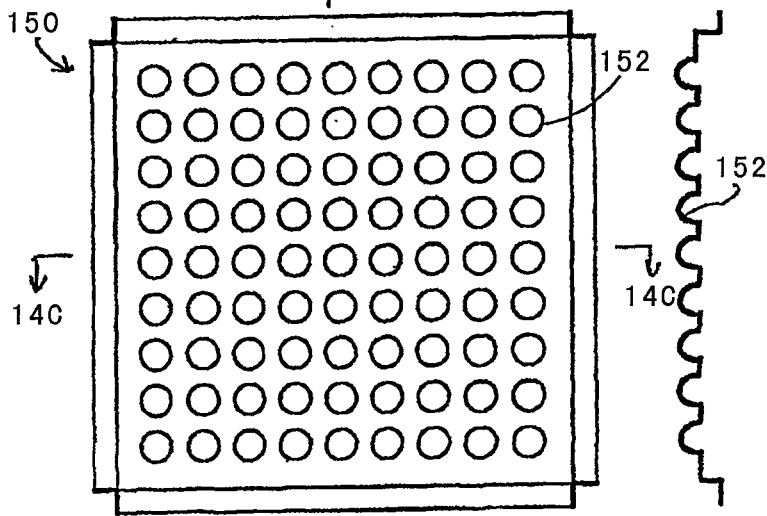


图14B

图14D



图14C

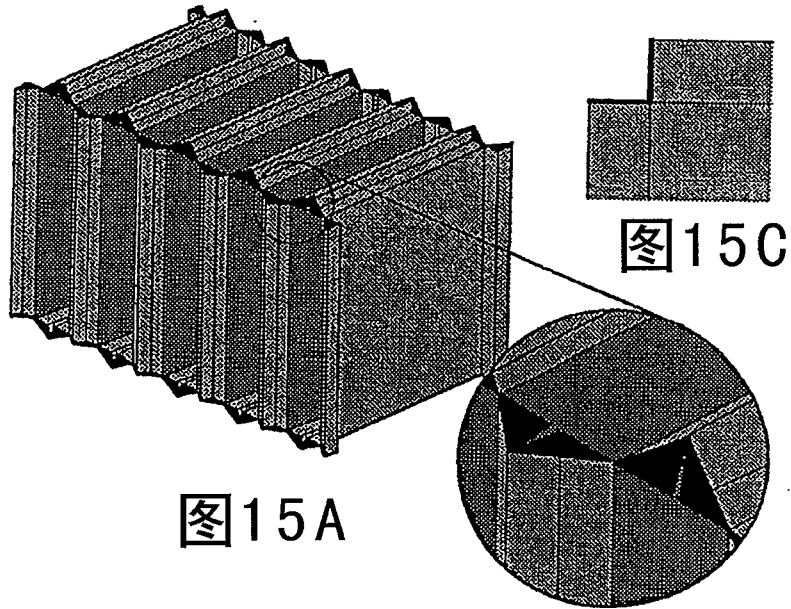


图15A

图15B

图15C

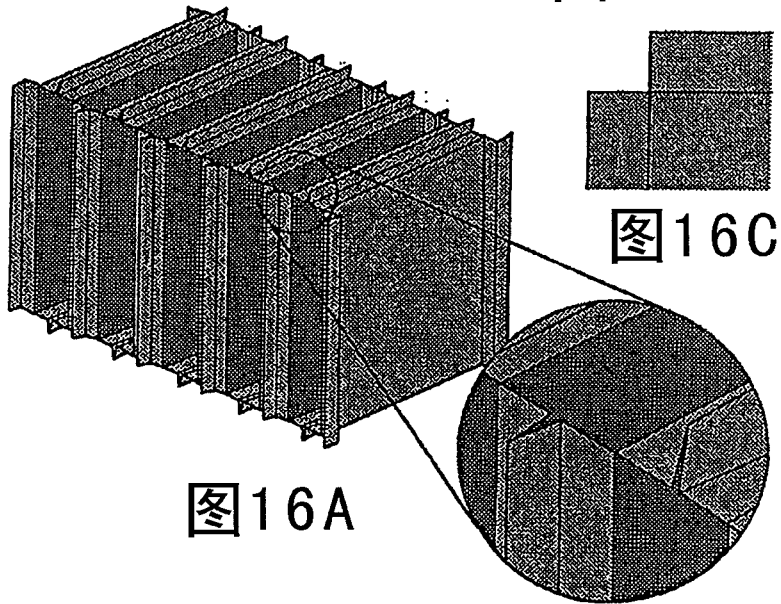


图16A

图16B

图16C

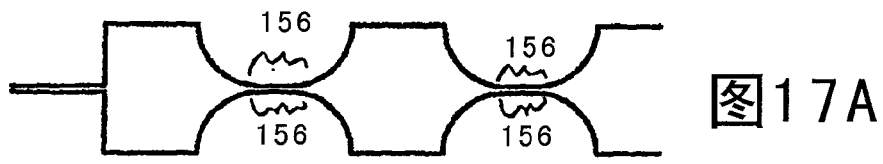


图17A

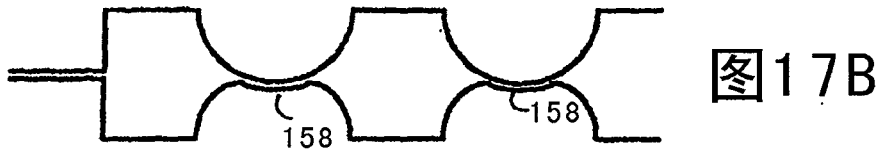


图17B

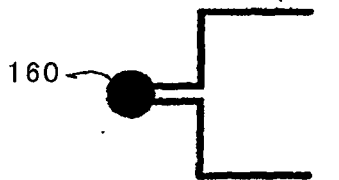


图18A

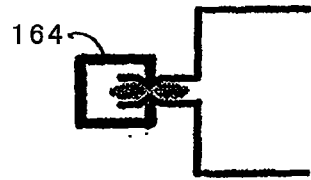


图18D

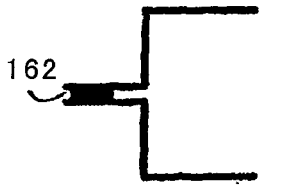


图18B

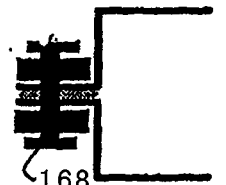


图18E

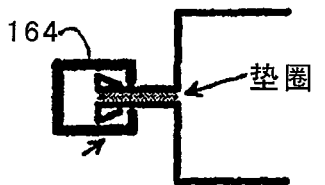


图18C

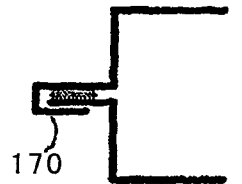


图18F

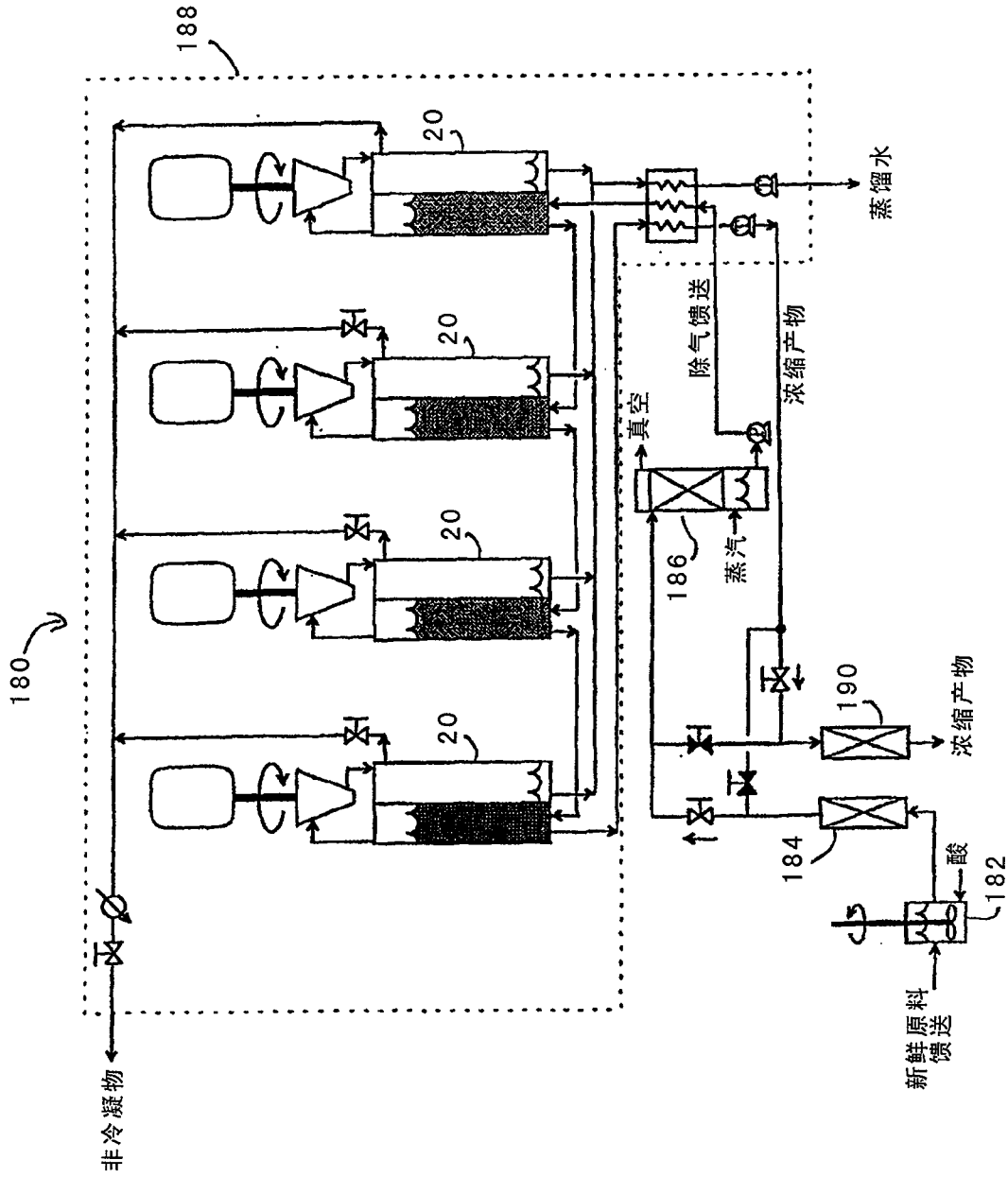


图19

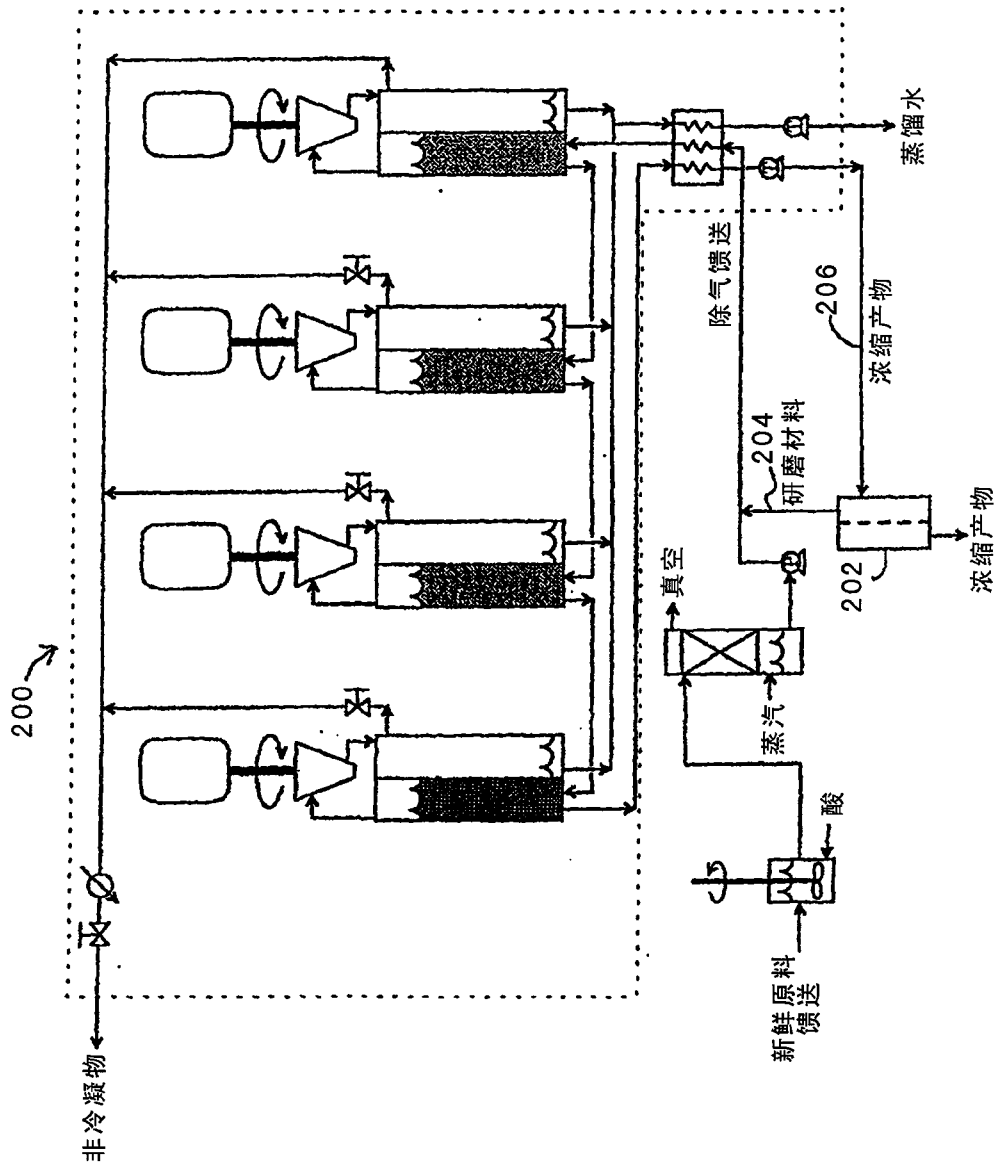


图20

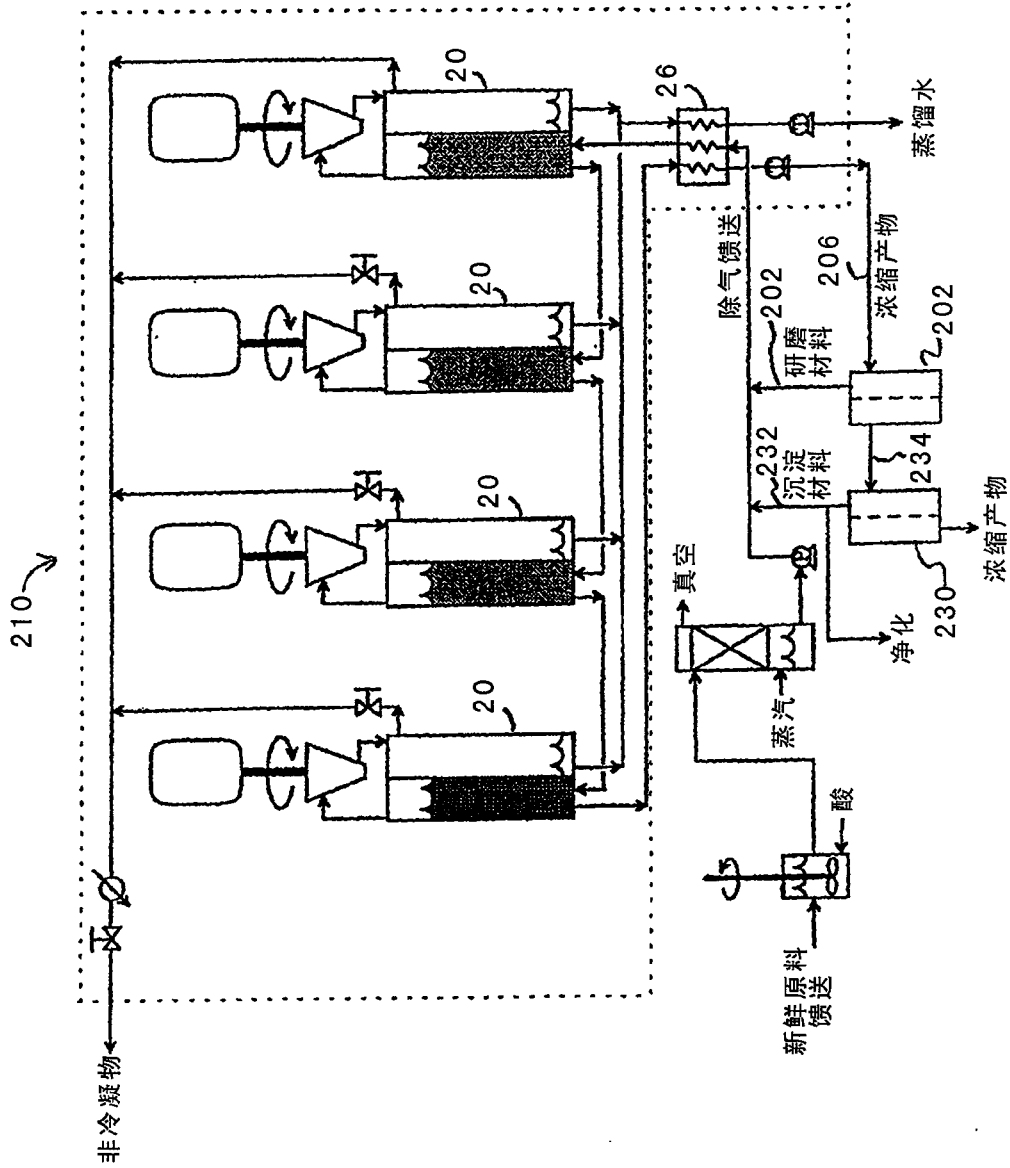


图21

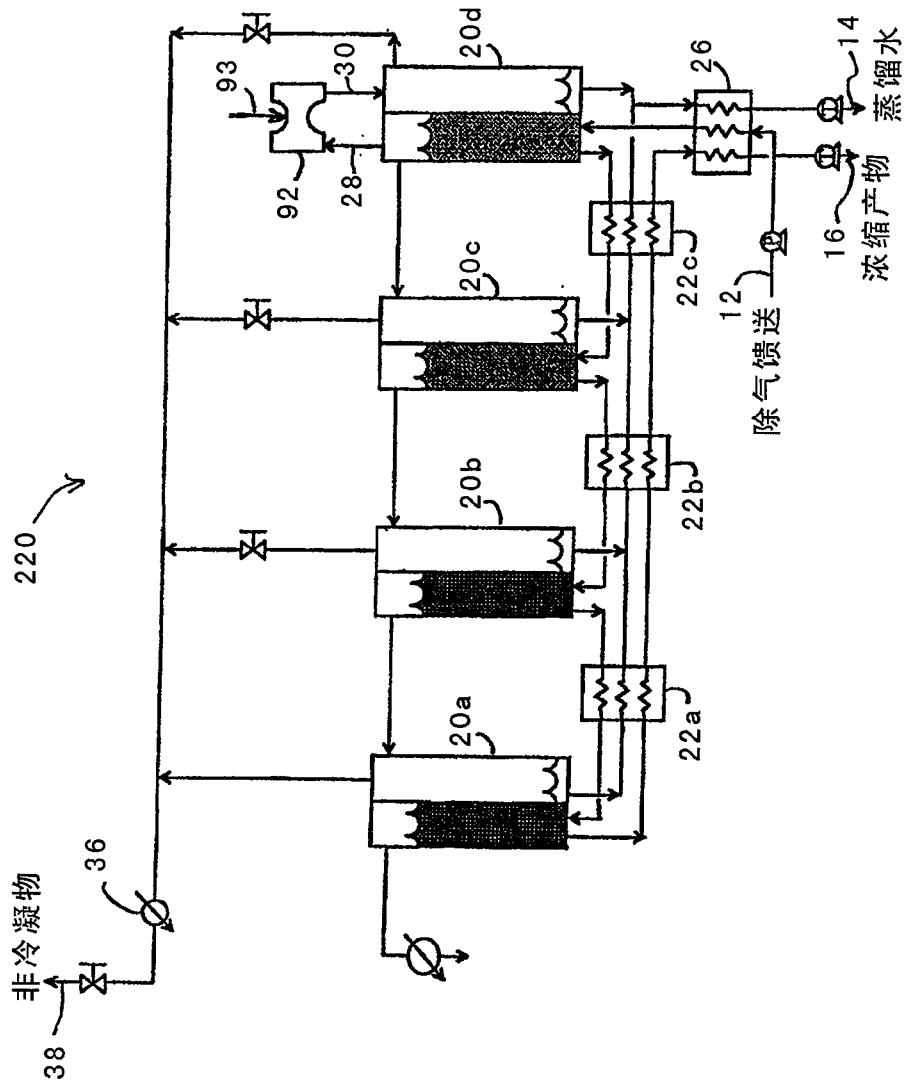


图22

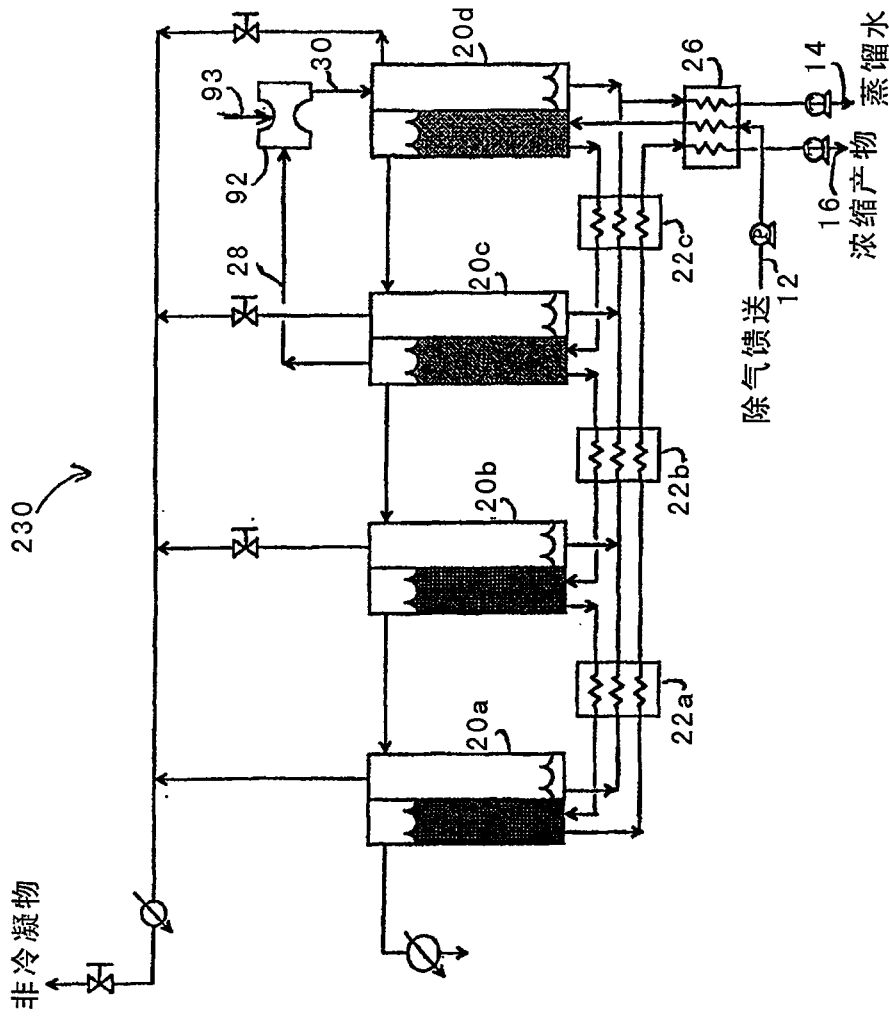


图23

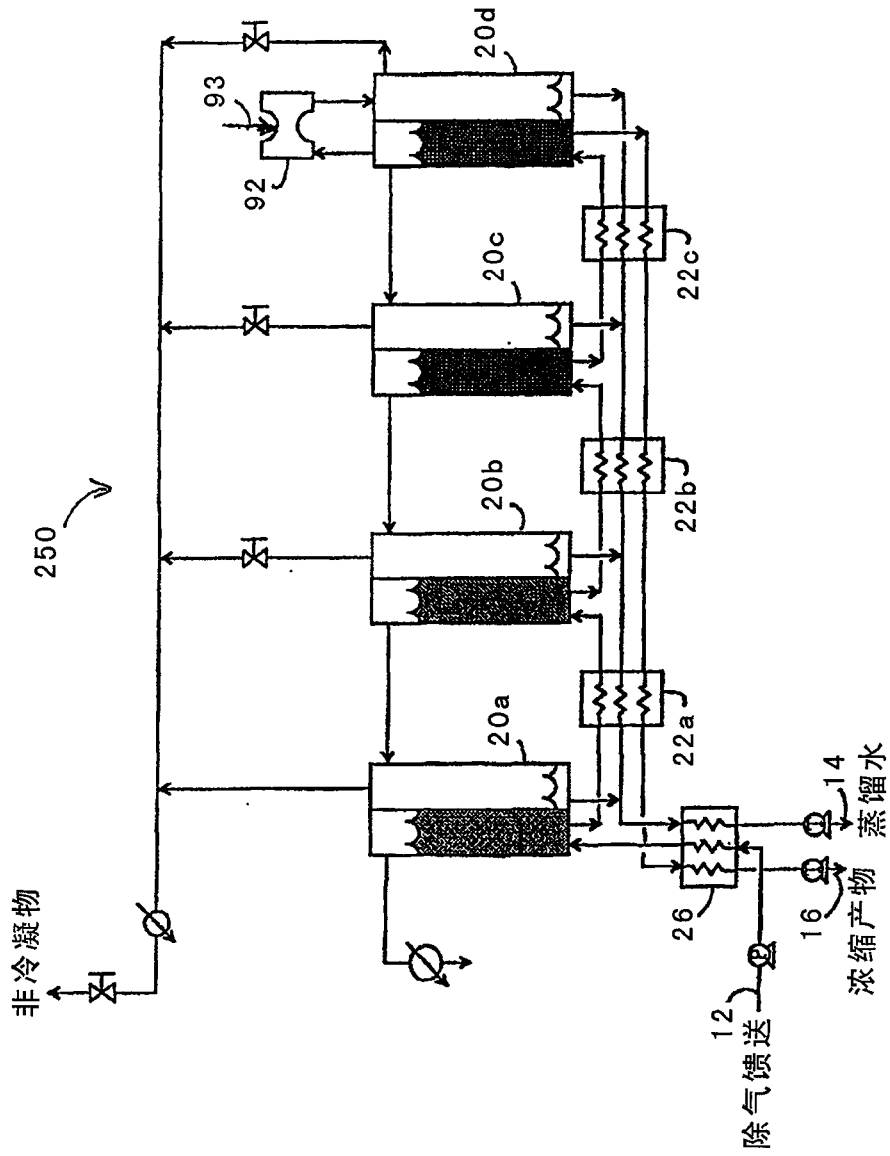


图25

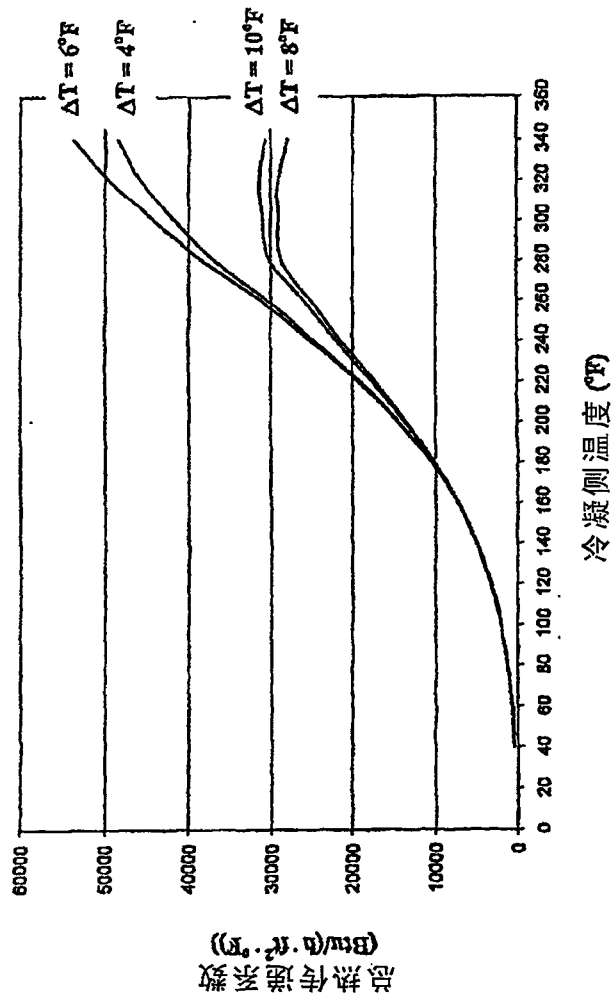


图 26