(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119604680 A
(43)申请公布日 2025.03.11

(21)申请号 202380052191.3

(22)申请日 2023.05.09

(30)优先权数据
17/662,587 2022.05.09 US
63/425,514 2022.11.15 US
63/490,405 2023.03.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2025.01.06

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2023/021447 2023.05.09

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/219996 EN 2023.11.16

(71)申请人 拉胡尔·S·纳纳
地址 美国佛罗里达州
申请人 拉斐尔·A·费里亚

(72)发明人 拉胡尔·S·纳纳
拉斐尔·A·费里亚

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
专利代理师 金拟粲

(51)Int.Cl.
F03G 7/00(2006.01)

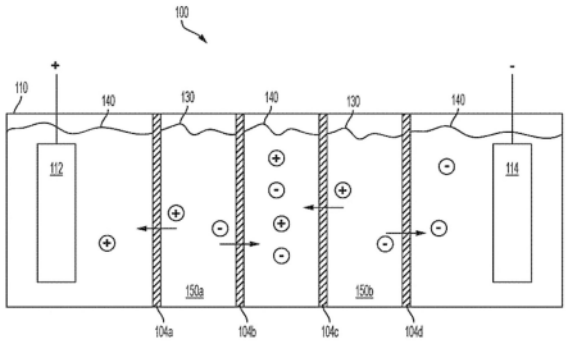
权利要求书7页 说明书23页 附图10页

(54)发明名称

反向电渗析或压力延迟渗透单元及其使用方法

(57)摘要

公开由热能生成电力或氢气的方法和系统。该方法包括通过选择性渗透膜(104)将第一盐溶液(130)与第二盐溶液(140)分离,通过第一盐溶液和/或第二盐溶液接收来自热源(305)的热能,以及使第一盐溶液与第二盐溶液以受控制的方式混合,随着第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差减小,捕获至少一些盐度梯度能作为电力。该方法进一步包括通过热泵(320)将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液,引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加。为了进一步的能源效率和发电,该方法可包括膜蒸馏、电渗析、和/或盐分解的工艺。



CN 119604680 A

1.反向电渗析系统,其包括:

阳极;

阴极;

设置在所述阳极与所述阴极之间的一个或多个单元,所述一个或多个单元的至少一者包括:

第一膜,所述第一膜配置成对阳离子选择性渗透;

第二膜,所述第二膜配置成对阴离子选择性渗透,所述第二膜与所述第一膜间隔开;以及

设置在所述第一膜与所述第二膜之间的浓盐溶液,所述第一膜和所述第二膜使所述浓盐溶液与稀盐溶液分离,使得所述第一膜选择性地允许阳离子向所述阴极迁移并且所述第二膜选择性地允许阴离子向所述阳极迁移,引起所述阴极与所述阳极之间的电压差;

热优化系统,所述热优化系统配置成向所述浓盐溶液或所述稀盐溶液传递热能;以及

包括热泵的再生系统,所述再生系统配置成:

接收来自所述一个或多个单元的所述至少一者的所述稀盐溶液;

通过所述热泵从所述稀盐溶液去除热能,引起所述稀盐溶液沉淀出盐;

在引起所述稀盐溶液沉淀出所述盐之后,将所述稀盐溶液循环至所述一个或多个单元的所述至少一者;

将所述沉淀的盐引入至所述浓盐溶液中;以及

引起所述沉淀的盐溶解于所述浓盐溶液中。

2.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中所述再生系统进一步配置成在使所述稀盐溶液中溶解的盐沉淀之后,将从所述稀盐溶液去除的至少一些热能传递回所述稀盐溶液。

3.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中所述再生系统进一步配置成将从所述稀盐溶液去除的至少一些热能传递至所述浓盐溶液,引起所述沉淀的盐溶解于所述浓盐溶液中。

4.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中热源配置成将热能传递至所述浓盐溶液,引起所述沉淀的盐溶解于所述浓盐溶液中。

5.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中所述浓盐溶液包括吸热溶液或放热溶液。

6.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中所述浓盐溶液包括具有非线性温度依赖性溶解度的物质。

7.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中所述第一膜和所述第二膜包括离子交换膜。

8.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其进一步包括:

第二单元,所述第二单元包括:

第三膜,所述第三膜配置成对阳离子选择性渗透;

第四膜,所述第四膜配置成对阴离子选择性渗透,所述第四膜与所述第三膜间隔开;以及

设置在所述第三膜与所述第四膜之间的第二浓盐溶液,所述第三膜和所述第四膜使所述第二浓盐溶液与第二稀盐溶液分离,其中:

所述浓盐溶液包括吸热溶液;

所述第二浓盐溶液包括放热溶液;并且

所述热泵配置成在所述浓盐溶液与所述第二浓盐溶液之间传递热量。

9.如权利要求1所述的反向电渗析系统,其中所述热优化系统包括控制系统,所述控制系统配置成基于一个或多个热源或所述反向电渗析系统的状态的一个或多个测量结果,通过处理器来协调所述一个或多个热源与所述反向电渗析系统之间的热量传递。

10.如权利要求9所述的反向电渗析系统,其中所述热源包括地热、工业废热、或太阳热的一种或多种。

11.由热能生成电力的方法,其包括:

通过选择性渗透膜将第一盐溶液与第二盐溶液分离;

通过所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液接收来自热优化系统的热能;

使所述第一盐溶液与所述第二盐溶液以受控制的方式混合,随着所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差减小,捕获至少一些盐度梯度能作为电力;以及

通过热泵将热能从所述第一盐溶液传递至所述第二盐溶液,引起所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差增加。

12.如权利要求11所述的方法,其进一步包括使用反向电渗析来捕获所述盐度梯度能。

13.如权利要求11所述的方法,其进一步包括使用驱动发电机的压力延迟渗透来捕获所述盐度梯度能。

14.如权利要求11所述的方法,其中所述第一盐溶液和所述第二盐溶液各自在封闭系统中循环。

15.如权利要求11所述的方法,其中将热能从所述第一盐溶液传递至所述第二盐溶液引起所述第一盐溶液沉淀出盐。

16.如权利要求15所述的方法,其进一步包括将所述沉淀的盐引入至所述第二盐溶液中,引起所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差增加。

17.如权利要求11所述的方法,其进一步包括使用所述生成的电力的一部分通过电解产生氢气。

18.如权利要求11所述的方法,其中将热能从所述第一盐溶液传递至所述第二盐溶液包括从比所述第二盐溶液更冷的所述第一盐溶液传递热能。

19.如权利要求11所述的方法,其中所述热优化系统配置成基于一个或多个热源或者所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液的状态的一个或多个测量结果,协调从所述一个或多个热源向所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液的热量传递。

20.如权利要求19所述的方法,其中所述热源包括地热、工业废热、或太阳热的一种或多种。

21.盐梯度发动机系统,其包括:

反向电渗析电池,所述反向电渗析电池包括:

阳极;

阴极;

设置在所述阳极与所述阴极之间的一个或多个单元,所述一个或多个单元的至少一者包括:

第一膜,所述第一膜配置成对阳离子选择性渗透;

第二膜,所述第二膜配置成对阴离子选择性渗透,所述第二膜与所述第一膜间隔开;以及

设置在所述第一膜与所述第二膜之间的浓盐溶液,所述第一膜和所述第二膜使所述浓盐溶液与稀盐溶液分离,使得所述第一膜选择性地允许阳离子向所述阴极迁移并且所述第二膜选择性地允许阴离子向所述阳极迁移,引起所述阴极与所述阳极之间的电压差;以及

热优化系统,所述热优化系统配置成向所述浓盐溶液或所述稀盐溶液传递热能;以及

再生系统,所述再生系统选自:盐沉淀系统、膜蒸馏系统、蒸发系统、正向渗透系统、盐分解系统、电渗析系统,及其任意组合。

22.如权利要求21所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述盐沉淀系统,所述盐沉淀系统配置成:

接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液;

通过所述热泵从所述废稀溶液去除热能,引起所述废稀溶液沉淀出盐并再生所述稀盐溶液;

在再生所述稀盐溶液之后,使所述稀盐溶液循环至所述反向电渗析电池;

将所述沉淀的盐引入到废浓溶液中;以及

引起所述沉淀的盐溶解于所述废浓溶液中并再生所述浓盐溶液。

23.如权利要求22所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统进一步配置成在引起所述稀盐溶液中溶解的盐沉淀之后,将从所述稀盐溶液去除的至少一些热能传递回所述稀盐溶液。

24.如权利要求22所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统进一步配置成将从所述废稀溶液去除的至少一些热能传递至所述废浓溶液,引起所述沉淀的盐溶解于所述废浓溶液中。

25.如权利要求22所述的盐梯度发动机系统,其中所述热源配置成将热能传递至所述废浓溶液,引起所述沉淀的盐溶解于所述废浓溶液中。

26.如权利要求21所述的盐梯度发动机系统,其中所述浓盐溶液包括具有非线性温度依赖性溶解度的物质。

27.如权利要求21所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述盐沉淀系统,并且

其中所述盐沉淀系统包括:

盐沉淀器,所述盐沉淀器配置成接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液,并且从所述废稀溶液沉淀出盐以再生所述稀盐溶液;

浓缩物罐,所述浓缩物罐配置成接收来自所述反向电渗析电池的废浓溶液,并且接收由所述盐沉淀器生成的盐以再生所述浓盐溶液;以及

一个或多个热交换器。

28.如权利要求27所述的盐梯度发动机系统,其进一步包括配置成接收来自所述盐沉淀器的所述稀盐溶液的稀释物罐。

29.如权利要求27所述的盐梯度发动机系统,其进一步包括配置成向所述浓缩物罐供应热能的热源系统。

30.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述膜蒸馏系统,并且

其中所述膜蒸馏系统包括:

包括疏水膜的膜蒸馏容器;以及

热泵,所述热泵配置成温热所述容器,并且冷却所述疏水膜的一侧,

其中所述膜蒸馏系统配置成在温热之后在所述疏水膜处产生盐梯度,并且生成超稀溶液和再生所述浓盐溶液。

31.如权利要求30所述的盐梯度发动机系统,其进一步包括:

浓缩物罐,所述浓缩物罐配置成接收来自所述反向电渗析电池的废浓溶液并且连接至所述膜蒸馏容器;

稀释物罐,所述稀释物罐配置成接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液并且连接至所述膜蒸馏容器;

其中在所述膜蒸馏容器中再生之后,所述浓缩物罐配置成接收所述浓溶液,并且所述稀释物罐配置成接收来自所述膜蒸馏容器的所述超稀溶液。

32.如权利要求30所述的盐梯度发动机系统,其中所述疏水膜包括聚四氟乙烯、聚丙烯、或聚偏二氟乙烯,并且配置成夹层单元堆叠物构造。

33.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述盐分解系统,

其中所述盐分解系统包括:

容器,所述容器配置成接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液,其中所述废稀溶液含有盐,

热泵,所述热泵配置成温热所述容器并且在所述容器中生成含有盐的气态产物,以及

吸收器,所述吸收器配置成接收来自所述反向电渗析电池的废浓溶液,并且接收所述气态产物,其中所述气态产物中的所述盐被所述废浓溶液吸收以再生所述浓盐溶液。

34.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述蒸发系统,

其中所述蒸发系统包括:

蒸发器,所述蒸发器配置成接收来自所述反向电渗析电池的废浓溶液并且产生水蒸气以再生所述浓盐溶液;

热泵,所述热泵配置成向所述蒸发器提供热能;

冷凝器,所述冷凝器配置成接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液并且接收由所述蒸发器生成的所述水蒸气,其中所述水蒸气冷凝并与所述废稀溶液混合以再生为稀盐溶液。

35.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述电渗析系统,

其中所述电渗析系统配置成接收废稀溶液和废浓溶液;并且

其中向所述电渗析系统供应电力,引起离子从所述废稀溶液移动到所述废浓溶液,以再生所述稀盐溶液和所述浓盐溶液。

36.如权利要求35所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统进一步包括盐沉淀系统,其中所述盐沉淀系统包括:

盐沉淀器,所述盐沉淀器配置成接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液,并且从所述废稀释物沉淀出盐,然后将所述废稀释物供应至所述电渗析系统;

浓缩物罐,所述浓缩物罐配置成接收来自所述反向电渗析电池的废浓溶液,并且接收由所述盐沉淀器生成的盐;

其中在通过电渗析再生之后,所述浓缩物罐配置成接收所述浓溶液,并且所述稀释物罐配置成接收来自所述电渗析系统的所述稀盐溶液。

37.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述盐沉淀系统和所述膜蒸馏系统。

38.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括电渗析系统和所述盐沉淀系统。

39.如权利要求31所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统包括所述正向渗透系统,所述正向渗透系统配置成接收来自所述反向电渗析电池的废浓溶液,并且使用可切换溶解度系统再生所述浓盐溶液。

40.如权利要求39所述的盐梯度发动机系统,其中所述再生系统进一步包括稀释物罐,所述稀释物罐配置成接收来自所述反向电渗析电池的废稀溶液并且接收来自所述可切换溶解度系统的水,其中所述水与所述废稀溶液混合以再生所述稀盐溶液。

41.如权利要求39或40所述的盐梯度发动机系统,其中所述可切换溶解度系统包括:

汲取溶液,所述汲取溶液循环通过所述正向渗透系统并产生废汲取溶液;

回收装置,所述回收装置配置成接收所述废汲取溶液并添加热量,其中释放CO_2并产生水;以及

发生器,所述发生器配置成接收来自所述回收装置的所述溶液并添加CO_2以再生所述汲取溶液。

42.如权利要求21-41任一项所述的盐梯度发动机系统,其中所述第一膜和所述第二膜包括离子交换膜。

43.如权利要求21-42任一项所述的盐梯度发动机系统,其进一步包括:

第二单元,所述第二单元包括:

第三膜,所述第三膜配置成对阳离子选择性渗透;

第四膜,所述第四膜配置成对阴离子选择性渗透,所述第四膜与所述第三膜间隔开;以及

设置在所述第三膜与所述第四膜之间的第二浓盐溶液,所述第三膜和所述第四膜使所述第二浓盐溶液与第二稀盐溶液分离,其中:

所述浓盐溶液包括吸热溶液;

所述第二浓盐溶液包括放热溶液;并且

所述热泵配置成在所述浓盐溶液与所述第二浓盐溶液之间传递热量。

44.如权利要求21-43任一项所述的盐梯度发动机系统,其中所述热优化系统包括控制系统,所述控制系统配置成基于一个或多个热源或所述反向电渗析系统的状态的一个或多个测量结果,通过处理器来协调所述一个或多个热源与所述反向电渗析系统之间的热量传递。

45.如权利要求44所述的盐梯度发动机系统,其中所述热源包括地热、工业废热、或太阳热的一种或多种。

46.如权利要求21-46任一项所述的盐梯度发动机系统,其中所述热泵为蒸气压缩循

环、热电式制冷机、化学吸收式制冷机、或本领域已知用于同时加热和冷却的其他设备。

47.用于由热能生成电力或氢气以及用于产生水的盐梯度发动机系统,其包括:

如权利要求21-46任一项所述的系统;以及

液体干燥剂除湿工艺。

48.由热能生成电力并再生第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差的方法,所述方法包括:

通过选择性渗透膜将所述第一盐溶液与所述第二盐溶液分离;

通过所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液接收来自热优化系统的热能;

使所述第一盐溶液与所述第二盐溶液以受控制的方式混合,随着所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差减小,捕获至少一些盐度梯度能作为电力;

通过热泵将热能从所述第一盐溶液传递至所述第二盐溶液,引起所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差增加;以及

通过施加选自以下的再生工艺来再生所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差:盐分解、电渗析、膜蒸馏、蒸发、正向渗透、盐沉淀、或其任意组合。

49.如权利要求48所述的方法,其进一步包括施加压力延迟渗透(PRO)系统、电容式混合(CAP)系统、或PRO和CAP系统两者以生成额外的电力。

50.如权利要求48所述的方法,其中所述方法包括通过膜蒸馏生成第三盐溶液,并且进一步包括将所述第三盐溶液混合到所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液中。

51.如权利要求48所述的方法,其进一步包括使用反向电渗析来捕获所述盐度梯度能。

52.如权利要求48所述的方法,其进一步包括使用驱动发电机的压力延迟渗透来捕获所述盐度梯度能。

53.如权利要求48所述的方法,其中所述第一盐溶液和所述第二盐溶液各自在封闭系统中循环。

54.如权利要求48所述的方法,其中将热能从所述第一盐溶液传递至所述第二盐溶液引起所述第一盐溶液沉淀出盐。

55.如权利要求54所述的方法,其进一步包括将所述沉淀的盐引入至所述第二盐溶液中,引起所述第一盐溶液与所述第二盐溶液之间的盐度差增加。

56.如权利要求48所述的方法,其进一步包括使用生成的电力的一部分通过电解产生氢气。

57.如权利要求48所述的方法,其中将热能从所述第一盐溶液传递至所述第二盐溶液包括从比所述第二盐溶液更冷的所述第一盐溶液传递热能。

58.如权利要求48所述的方法,其中所述热优化系统配置成基于一个或多个热源或者所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液的状态的一个或多个测量结果,协调从所述一个或多个热源向所述第一盐溶液和/或所述第二盐溶液的热量传递。

59.如权利要求48所述的方法,其中所述热源包括地热、工业废热、或太阳热的一种或多种。

60.如权利要求48所述的方法,其中所述再生工艺包括施加盐分解工艺,所述盐分解工艺包括:

i) 提供由所述第一盐溶液形成的废稀溶液,其中所述废稀溶液含有盐;

ii) 加热所述废稀溶液以使所述盐分解,从而制成气态产物;以及

iii) 将所述气态产物转移至吸收器;以及

iv) 使所述气态产物固化以使在所述吸收器内的废浓溶液中重新形成为盐沉淀;

其中所述盐沉淀溶解于所述废浓溶液中以再生所述第二盐溶液。

61.如权利要求60所述的方法,其中所述废稀溶液具有比所述第一盐溶液更高的盐分含量;并且

其中通过将所述气态产物转移至所述吸收器,所述废稀溶液的盐分含量降低以再生所述第一盐溶液。

62.如权利要求48所述的方法,其中所述再生工艺包括施加电渗析工艺,所述电渗析工艺包括:

i) 提供由所述第一盐溶液形成的废稀溶液,其中所述废稀溶液含有盐;

ii) 提供由所述第二盐溶液形成的废浓溶液;

iii) 供应电以使所述盐分离成离子并使离子从所述废稀溶液移动至所述废浓溶液;

其中所述废稀溶液的盐分含量降低以再生所述第一盐溶液,而所述废浓溶液的盐分含量增加以再生所述第二盐溶液。

63.如权利要求48所述的方法,其中所述再生工艺包括施加蒸发工艺,所述蒸发工艺包括:

i) 提供由所述第二盐溶液形成的废浓溶液;

ii) 加热所述废浓溶液以产生水蒸气;以及

iii) 转移所述水蒸气以与废稀溶液混合;并且

其中所述废稀溶液的盐分含量降低以再生所述第一盐溶液,而所述废浓溶液的盐分含量增加以再生所述第二盐溶液。

64.如权利要求48所述的方法,其中所述再生工艺包括施加膜蒸馏工艺,所述膜蒸馏工艺包括:

i) 提供包括疏水膜的膜蒸馏容器,所述疏水膜在所述膜的一侧具有废浓溶液并在所述膜的相反侧具有废稀溶液;以及

ii) 温热所述废浓溶液以产生水蒸气;

其中所述水蒸气渗透所述疏水膜以与所述废稀溶液混合以再生所述第一盐溶液,同时所述废浓溶液的盐分含量增加以再生所述第二盐溶液。

65.如权利要求48所述的方法,其中所述再生工艺包括施加正向渗透工艺,所述正向渗透工艺包括:

使废浓溶液和汲取溶液循环通过正向渗透系统以再生所述第二盐溶液并产生废汲取溶液;

使所述废汲取溶液循环通过可切换溶解度系统以再生所述汲取溶液并产生水。

66.如权利要求65所述的方法,所述正向渗透工艺进一步包括:

使所述水与废稀溶液混合以再生所述第一盐溶液。

反向电渗析或压力延迟渗透单元及其使用方法

技术领域

[0001] 本技术总体上涉及用于由热能生成电力和/或氢气的盐梯度热机系统和方法。

背景技术

[0002] 盐度梯度能(Salinity gradient power,盐差能)是由天然存在的两种流体(通常为淡水和盐水)之间的盐浓度差产生的能量,例如,当河流流入海洋时。反向电渗析(RED)可用于从盐度梯度回收能量,例如,通过使盐溶液和淡水经过交替的阳离子和阴离子交换膜堆叠物。盐水与淡水之间的化学势差在每个膜上生成电压,并且系统的总电势是所有膜上的电势差之和。开环RED电池需要连续的盐水和淡水源来维持盐度梯度。这种约束可能会限制商业规模的RED电池的实际位置。此外,开环RED电池容易受到水源中的矿物质、微生物、或其他异物或物质的污染。闭环RED电池不需要连续的浓和稀盐溶液源,但是需要持续再生浓溶液与稀溶液之间的盐度差,这可为能量密集的和/或低效的。

[0003] 本文件描述了涉及解决上述问题和/或其他重要问题的方法和系统。

发明内容

[0004] 公开反向电渗析系统,该反向电渗析系统包括:阳极;阴极;设置在阳极与阴极之间的一个或多个单元,该一个或多个单元的至少一者包括:第一膜,该第一膜配置成对阳离子选择性渗透;第二膜,该第二膜配置成对阴离子选择性渗透,第二膜与第一膜间隔开;以及设置在第一膜与第二膜之间的浓盐溶液,第一膜和第二膜使浓盐溶液与稀盐溶液分离,使得第一膜选择性地允许阳离子向阴极迁移并且第二膜选择性地允许阴离子向阳极迁移,引起阴极与阳极之间的电压差。该系统进一步包括热优化系统,该热优化系统配置成向浓盐溶液或稀盐溶液传递热能;以及包括热泵的再生系统。再生系统包括以下的一者或多者:盐沉淀系统、膜蒸馏系统、盐分解系统、电渗析系统、正向渗透系统、蒸发、或其任意组合。当再生系统包括膜蒸馏系统时,膜蒸馏系统包括:含有第一或第二盐溶液的至少一部分的容器,该容器被疏水膜覆盖;以及热泵(或替代地第二热泵),该热泵配置成温热容器并且使疏水膜的相反侧冷却。

[0005] 当再生系统包括盐分解系统时,盐分解系统包括:容器,该容器配置成接收由第一盐溶液形成的废稀溶液的至少一部分,其中废稀溶液含有盐;热泵(或替代地第二热泵),该热泵配置成温热容器;以及冷水料流,该冷水料流配置成接收从容器释放的至少一种气态产物。盐分解系统可配置成将盐分解然后在冷水料流中重新形成盐沉淀。

[0006] 还公开由热能生成电力的方法。该方法可包括:通过选择性渗透膜将第一盐溶液与第二盐溶液分离;通过第一盐溶液和/或第二盐溶液接收来自热优化系统的热能;使第一盐溶液与第二盐溶液以受控制的方式混合,随着第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差减小,捕获至少一些盐度梯度能作为电力;通过热泵将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液,引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加;以及以下的一者或多者:(i)施加盐分解工艺;(ii)施加电渗析以从第一盐溶液、第二盐溶液、或这两种盐溶液去除盐度;并且/或者

(iii)通过膜蒸馏生成第三盐溶液。当该方法包括通过膜蒸馏生成第三盐溶液时,该方法可进一步包括将第三盐溶液混合到第一盐溶液和/或第二盐溶液中。

[0007] 盐分解工艺可包括:提供由第一盐溶液形成的废稀溶液的至少一部分,其中废稀溶液含有盐;加热废稀溶液以使盐分解,从而制成至少一种气态产物;以及将至少一种气态产物转移至冷溶液中;以及使气态产物固化以使在冷溶液中重新形成为盐沉淀。

[0008] 该方法可包括施加压力延迟渗透(PRO)系统、电容式混合(CAP)系统、或PRO和CAP系统两者以生成额外的电力。

[0009] 公开盐梯度热机系统,该盐梯度热机系统包括:阳极;阴极;设置在阳极与阴极之间的一个或多个单元,该一个或多个单元的至少一者包括:第一膜,该第一膜配置成对阳离子选择性渗透;第二膜,该第二膜配置成对阴离子选择性渗透,第二膜与第一膜间隔开;以及设置在第一膜与第二膜之间的浓盐溶液,第一膜和第二膜使浓盐溶液与稀盐溶液分离,使得第一膜选择性地允许阳离子向阴极迁移并且第二膜选择性地允许阴离子向阳极迁移,引起阴极与阳极之间的电压差。再生系统包括以下的一者或多者:盐沉淀系统、膜蒸馏系统、盐分解系统、电渗析系统、正向渗透系统、蒸发、或其任意组合。当再生系统包括膜蒸馏系统时,膜蒸馏系统包括:含有第一或第二盐溶液的至少一部分的容器,该容器被疏水膜覆盖;以及热泵(或替代地第二热泵),该热泵配置成温热容器并且使疏水膜的相反侧冷却。膜蒸馏系统配置成在温热之后在膜处产生盐梯度,并在容器中生成第三盐溶液。疏水膜可包括聚四氟乙烯、聚丙烯、或聚偏二氟乙烯,并且任选地可配置成夹层单元堆叠物构造。

[0010] 当再生系统包括盐分解系统时,盐分解系统包括:容器,该容器配置成接收由第一盐溶液形成的废稀溶液的至少一部分,其中废稀溶液含有盐;热泵(或替代地第二热泵),该热泵配置成温热容器;以及冷水料流,该冷水料流配置成接收从容器释放的至少一种气态产物。盐分解系统可配置成将盐分解然后在冷水料流中重新形成盐沉淀。

[0011] 盐分解系统可包括:容器,该容器配置成接收来自反向电渗析电池的废稀溶液,其中废稀溶液含有盐;热泵,该热泵配置成温热容器并且在容器中生成含有盐的气态产物;以及吸收器,该吸收器配置成接收来自反向电渗析电池的废浓溶液,并且接收气态产物。气态产物中的盐可被废浓溶液吸收以再生浓盐溶液。

[0012] 盐梯度热机系统可包括盐沉淀系统和膜蒸馏系统、或电渗析系统和盐沉淀系统。盐梯度热机系统可进一步包括液体干燥剂除湿工艺。

[0013] 当再生系统包括膜蒸馏系统时,膜蒸馏系统可包括:包括疏水膜的膜蒸馏容器;以及热泵,该热泵配置成温热容器并且使疏水膜的一侧冷却。膜蒸馏系统可配置成在温热之后在疏水膜处产生盐梯度,以及生成超稀溶液并再生浓盐溶液。膜蒸馏系统可进一步包括:浓缩物罐,该浓缩物罐配置成接收来自反向电渗析电池的废浓溶液并且连接至膜蒸馏容器;稀释物罐,该稀释物罐配置成接收来自反向电渗析电池的废稀溶液并且连接至膜蒸馏容器。浓缩物罐可配置成接收来自膜蒸馏容器的浓溶液,并且稀释物罐可配置成接收来自膜蒸馏容器的超稀溶液。疏水膜可包括聚四氟乙烯、聚丙烯、或聚偏二氟乙烯,并且配置成夹层单元堆叠物构造。

[0014] 当再生系统包括蒸发系统时,蒸发系统可包括:蒸发器,该蒸发器配置成接收来自反向电渗析电池的废浓溶液并且产生水蒸气以再生浓盐溶液;热泵,该配置成向蒸发器提供热能;冷凝器,该冷凝器配置成接收来自反向电渗析电池的废稀溶液并接收由蒸发器生

成的水蒸气。水蒸气冷凝并与废稀溶液混合以再生为稀盐溶液。

[0015] 当再生系统包括电渗析系统时,电渗析系统可配置成接收废稀溶液和废浓溶液。向电渗析系统供应电力,引起离子从废稀溶液移动至废浓溶液,以再生稀盐溶液和浓盐溶液。

[0016] 再生系统可包括盐沉淀系统和电渗析系统,其中盐沉淀系统包括:盐沉淀器,该盐沉淀器配置成接收来自反向电渗析电池的废稀溶液,并且从废稀释物沉淀出盐,然后将该废稀释物供应至电渗析系统;浓缩物罐,该浓缩物罐配置成接收来自反向电渗析电池的废浓溶液,并且接收由盐沉淀器生成的盐。浓缩物罐可配置成接收浓溶液,并且稀释物罐配置成接收来自电渗析系统的稀盐溶液。

[0017] 再生系统可包括正向渗透系统,该正向渗透系统配置成接收来自反向电渗析电池的废浓溶液,并且使用可切换溶解度系统再生浓盐溶液。在正向渗透系统的情况下,再生系统可进一步包括稀释物罐,该稀释物罐配置成接收来自反向电渗析电池的废稀溶液并且接收来自可切换溶解度系统的水,其中水与废稀溶液混合以再生稀盐溶液。可切换溶解度系统可包括:汲取溶液,该汲取溶液循环通过正向渗透系统并产生废汲取溶液;回收装置,该回收装置配置成接收废汲取溶液并添加热量,其中释放CO_2并产生水;以及发生器,该发生器配置成接收来自回收装置的溶液并添加CO_2以再生汲取溶液。

[0018] 还公开由热能生成电力的方法。该方法可包括:通过选择性渗透膜将第一盐溶液与第二盐溶液分离;通过第一盐溶液和/或第二盐溶液接收来自热优化系统的热能;使第一盐溶液与第二盐溶液以受控制的方式混合,随着第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差减小,捕获至少一些盐度梯度能作为电力;通过热泵将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液,引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加;以及以下的一者或多者:(i)施加盐分解工艺;(ii)施加电渗析以从第一盐溶液、第二盐溶液、或这两种盐溶液去除盐度;并且/或者(iii)通过膜蒸馏生成第三盐溶液。当该方法包括通过膜蒸馏生成第三盐溶液时,该方法可进一步包括将第三盐溶液混合到第一盐溶液和/或第二盐溶液中。第一盐溶液和第二盐溶液方法可包括在基本上或完全封闭的封闭系统中循环溶液。

[0019] 盐分解工艺可包括:提供由第一盐溶液形成的废稀溶液的至少一部分,其中废稀溶液含有盐;加热废稀溶液以使盐分解,从而制成至少一种气态产物;以及将至少一种气态产物转移至冷溶液中;以及使气态产物固化以使在冷溶液中重新形成为盐沉淀;通过施加选自以下的再生工艺来再生第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差:盐分解、电渗析、膜蒸馏、蒸发、正向渗透、盐沉淀、或其任意组合。

[0020] 该方法可进一步包括使用反向电渗析或使用驱动发电机的压力延迟渗透来捕获盐度梯度能。

[0021] 该方法可包括将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液引起第一盐溶液沉淀出盐,并且任选地进一步包括将沉淀的盐引入到第二盐溶液中,引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加。

[0022] 该方法可包括使用生成的电力的一部分通过电解产生氢气。

[0023] 该方法可包括再生工艺,该再生法包括施加盐分解工艺,该盐分解工艺包括:提供由第一盐溶液形成的废稀溶液,其中废稀溶液含有盐;加热废稀溶液以使盐分解,从而制成气态产物;以及将气态产物转移至吸收器;以及使气态产物固化以使在吸收器内的废浓溶

液中重新形成为盐沉淀。通过将气态产物转移至吸收器,废稀溶液的盐分含量可降低以再生第一盐溶液。盐沉淀可溶解于废浓溶液中以再生第二盐溶液,并且任选地废稀溶液具有高于第一盐溶液的盐分含量;

[0024] 该方法可包括再生工艺,该再生工艺包括施加电渗析工艺,该电渗析工艺包括:提供由第一盐溶液形成的废稀溶液,其中废稀溶液含有盐;提供由第二盐溶液形成的废浓溶液;供应电力以使盐分离成离子并使离子从废稀溶液移动到废浓溶液。废稀溶液的盐分含量降低以再生第一盐溶液,而废浓溶液的盐分含量增加以再生第二盐溶液。

[0025] 该方法可包括再生工艺,该再生工艺包括施加蒸发工艺,该蒸发工艺包括:提供由第二盐溶液形成的废浓溶液;加热废浓溶液以产生水蒸气;以及转移水蒸气以与废稀溶液混合。废稀溶液的盐分含量降低以再生第一盐溶液,而废浓溶液的盐分含量增加以再生第二盐溶液。

[0026] 该方法可包括再生工艺,该再生工艺包括施加膜蒸馏工艺,该膜蒸馏工艺包括:提供包括疏水膜的膜蒸馏容器,该疏水膜在膜的一侧具有废浓溶液且在膜的相反侧具有废稀溶液;以及温热废浓溶液以产生水蒸气。水蒸气渗透疏水膜以与废稀溶液混合以再生第一盐溶液,而废浓溶液的盐分含量增加以再生第二盐溶液。

[0027] 该方法可包括再生工艺,该再生工艺包括施加正向渗透工艺,该正向渗透工艺包括:使废浓溶液和汲取溶液循环通过正向渗透系统以再生第二盐溶液并产生废汲取溶液;以及使废汲取溶液循环通过可切换溶解度系统以再生汲取溶液并产生水。

附图说明

[0028] 并入本文中并构成本说明书一部分的附图是本公开内容特定实施方式的说明,并且不限制本公开内容的范围。

[0029] 图1示出了示例性反向电渗析(RED)系统。

[0030] 图2显示了示例性再生系统。

[0031] 图3显示了示例性热优化系统。

[0032] 图4显示了示例性压力延迟渗透(PRO)系统。

[0033] 图5显示了示例性氢气生成系统。

[0034] 图6为用于由热能生成电力的方法的流程图。

[0035] 图7显示了根据一种实施方式的可用于含有或实现程序指令的内部硬件的实例的框图。

[0036] 图8为包括与盐沉淀系统结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和方法的实例,并且其连接至外部热源。

[0037] 图9为包括与盐沉淀系统结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和方法的另一实例。该系统不包括外部热源系统,但是热量例如经由热泵回路和/或废热而被添加至稀释物罐。

[0038] 图10为包括与盐分解系统结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和方法的实例。

[0039] 图11为包括与蒸发系统结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和方法的实例。

[0040] 图12为包括与电渗析系统和盐沉淀结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和

方法的实例。

[0041] 图13为并入膜蒸馏系统和盐沉淀的再生系统的实例。

[0042] 图14为并入膜蒸馏系统的再生系统的实例。

[0043] 图15为用于再生的分批系统的实例,其中所有的操作罐工作。

[0044] 图16为使用蒸气冷凝器和热泵生产水的实例。

[0045] 图17为如何使用图16的系统来产生在盐度梯度能热系统中使用的冷和热流体罐的实例。

[0046] 图18为包括与使用液体干燥剂除湿工艺的大气水生成相结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和方法的实例。

[0047] 图19为包括与正向渗透系统结合的RED或PRO电池的本公开内容的系统和方法的实例。

具体实施方式

[0048] 本公开内容涉及利用热量并由热能生成电力的盐梯度热机系统。盐梯度热机可为利用热能生成或再生盐度梯度并产生可使用的能量(例如电力和/或氢气)的任何系统。盐梯度发动机系统的实例包括RED和PRO电池。RED电池可并入多于一个选择性渗透膜以及一个或多个电极,并且在下文中更详细地讨论。PRO电池可并入一个膜,并且不需要一个或多个电极。PRO电池生成了压力,而非像RED电池那样直接由浓盐溶液与溶液之间的盐度差生成电力。PRO电池的选择性渗透膜可配置成优先地允许溶剂而非溶质穿过膜,例如从稀溶液到浓盐溶液,以便减小溶液之间的盐度差。

[0049] RED和PRO电池两者均可包括通过选择性渗透膜与稀溶液分离的浓盐溶液。而且在这两种系统中,由系统生成的功率比至少为浓盐溶液与稀溶液之间的盐度差的函数,并且也任选地为至少浓盐溶液的温度的函数。

[0050] 公开了反向电渗析系统,该反向电渗析系统包括阳极、阴极,以及设置在阳极与阴极之间的一个或多个单元。一个或多个单元的至少一者包括第一膜,该第一膜配置成对阳离子选择性渗透,以及第二膜,该第二膜配置成对阴离子选择性渗透,第二膜与第一膜间隔开。该单元进一步包括设置在第一膜与第二膜之间的浓盐溶液,第一膜和第二膜使浓盐溶液与稀盐溶液分离,使得第一膜选择性地允许阳离子向阴极迁移并且第二膜选择性地允许阴离子向阳极迁移,引起阴极与阳极之间的电压差。第一选择性渗透膜和第二选择性渗透膜可包括离子交换膜。

[0051] 本文中公开了反向电渗析系统中使用的多个(例如,2-500、2-200、10-400、或2-100个)选择性渗透膜。一些选择性渗透膜限制离子成分自由扩散的能力。相反,阳离子交换膜(和阴离子交换膜)分别允许阳离子成分和阴离子成分沿相反的方向迁移或移动。选择性渗透膜各自可由具有带电(离子)侧基的有机或无机聚合物(例如离子交换树脂)制成。每个选择性渗透膜可由石墨烯、经还原的氧化石墨烯、或氧化石墨烯制成。选择性渗透膜可包括以单层构造的石墨烯或者是任选堆叠的多层薄片材,并且任选地包括纳米孔。选择性渗透膜可包括石墨烯、经还原的氧化石墨烯、或氧化石墨烯,可为筒,例如通常用于反渗透水过滤系统中的那些。膜的渗透性可取决于石墨烯片材的构造或其他方面。可拉伸单层或多层薄片材或以其他方式构造以改变膜的渗透性。

[0052] 选择性渗透膜可为双极膜(例如,一侧为阴离子,而相反侧为阳离子),该膜在使用时由溶液中存在的盐产生酸和碱。选择性渗透膜的选择性可根据尺寸、电荷、电荷密度、相(例如,疏水的/亲水的)或极性。

[0053] 选择性渗透膜可为具有定向纳米通道的聚合物复合膜,例如WO 2022/032236中公开的那些,该专利以其整体通过引用并入本文中。例如,选择性渗透膜可为包括以下的薄膜复合膜:(i)聚合物膜状物(membrane,膜)、膜(film)或涂层,其包括具有第一表面、第二表面以及介于其之间的膜厚度的层,并且包括圆柱形聚合物纤维,该圆柱形聚合物纤维在膜内至少部分地按六方堆积圆柱体排序,平行于膜表面定向,并且作为H1中间相存在;其中该圆柱体是在圆柱体内内部交联的;并且其中该圆柱体在空间上布置成在圆柱体之间提供用于流体流动通过膜状物、膜或涂层的通道;以及(ii)与聚合物膜状物、膜或涂层接触的多孔支撑层。在实施方式中,多孔支撑层为聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯、聚砜、聚酰胺、聚酰亚胺、聚丙烯、阳极化氧化铝、醋酸纤维素、或无纺织物。

[0054] 盐梯度热机系统可包括热源,该热源配置成向浓盐溶液或稀盐溶液传递热能;以及再生系统,该再生系统包括热泵。热泵可为本领域中已知用于同时加热和冷却的任何设备,并且任选地产生大于约1、或约1至约10、约1至约6、或约3至约4的性能系数。热泵可为蒸气压缩循环、热电式制冷机、化学吸收式制冷机等。蒸气压缩循环可为螺杆式、声波式、空气调节器。本文中使用的热泵可包括发生或不发生相变的制冷剂。制冷剂可为CO_2、氦气、或任何其他已知用于热泵的制冷剂。热泵可包括热力循环。热力循环可包括提供同时加热和冷却的能力的制冷剂和/或非制冷剂循环的任何组合。热泵可为热声热泵,例如由Equium开发的热声热泵(https://www.pv-magazine.com/2023/01/02/residential-thermo-acoustic-heat-pump-produces-water-up-to-80-c/)。热泵可为标题为“Heat Source Optimization System”的美国专利号9,915,436、或标题为“Heat Source Optimization System”的美国专利号11,067,317中公开的系统。前述专利各自以其整体通过引用并入本文中。在一些实施方式中,加湿器、除湿器、双向换气扇、和/或湿式制冷机可与热泵结合使用以驱动反向电渗析。热泵可由任何已知的热交换流体推动(fuel),例如但不限于水、制冷剂、乙二醇、或油。

[0055] 传统上,湿度不利于HVAC冷却,因为其给系统增加了静负荷;能量由于使水蒸气冷凝而消耗,从而浪费能量并导致能源效率低下。典型地,当在温控器上设定冷却所期望的温度时,任何冷凝水蒸气所花费的能量都是原本可用于冷却空气的能量。在这种情况下,将能量消耗以使蒸气冷凝成冷凝物,并且HVAC单元对抗蒸发的潜热而工作。

[0056] 相比之下,根据本公开内容,环境中的湿度可为高度有利的,因为湿度向系统提供了额外的能量,该能量可以用于驱动反向电渗析工艺并生成电、氢气、氧气,及其任意组合。例如,可将湿度引入至系统中,并且可捕获水蒸气的潜热并用于驱动反向电渗析和生成电。类似地,随着冰的形成,水的热结晶可用于驱动反向电渗析工艺以产生电、氢气、氧气、或其任意组合。

[0057] 再生系统可配置成接收来自一个或多个单元的至少一者的稀盐溶液,并且(通过热泵)去除该稀盐溶液的热能,引起稀盐溶液沉淀出盐。再生系统可配置成在引起稀盐溶液沉淀出盐之后,使稀盐溶液循环至一个或多个单元的至少一者,将沉淀的盐引入至浓盐溶液中,并引起沉淀的盐溶解于该浓盐溶液中。

[0058] 再生系统可配置成在引起稀盐溶液中溶解的盐沉淀之后,将从稀盐溶液去除的至少一些热能传递回稀盐溶液。再生系统可配置成将从稀盐溶液去除的至少一些热能传递至浓盐溶液,引起沉淀的盐溶解于浓盐溶液中。热源可配置成将热能传递至浓盐溶液,引起沉淀的盐溶解于浓盐溶液中。浓盐溶液可包括吸热溶液或放热溶液。浓盐溶液可以包括具有非线性温度依赖性溶解度的物质。

[0059] 可采用一个或多个其他再生系统。再生系统可包括电渗析。除了反向电渗析系统之外,电渗析可进一步用于水纯化。在电渗析的情况下,稀盐溶液可使用电渗析进一步脱盐。例如,当沉淀盐时,稀盐溶液的浓度受到溶解度曲线的限制。为了进一步稀释稀盐溶液,可采用电渗析。可使用任何可再生电力(例如,太阳能/风能等)来迫使电渗析,以从稀盐溶液分离盐并产生进一步稀释的料流。这提供能量存储。在太阳出来的数小时期间,可充满利用电渗析的盐梯度,然后在日落之后利用来自该盐梯度的能量。电渗析可使用的电池/罐与反向电渗析所使用的相同。图12为包括电渗析和RED/PRO电池的系统的实例,其在下文进一步讨论。

[0060] 反向电渗析系统可进一步包括控制系统,该控制系统配置成基于一个或多个热源或反向电渗析系统的状态的一个或多个测量结果来协调一个或多个热源与反向电渗析系统之间的热量传递。热源包括地热、工业废热、或太阳热的一种或多种。

[0061] 盐梯度热机系统可包括盐分解系统以产生盐梯度。盐分解可与反向电渗析一起采用而不是本文中公开的盐沉淀工艺。例如,可将废稀溶液(由RED电池供应)加热至在盐分解的温度(例如,碳酸氢铵在约60℃左右分解成CO_2和氨)以上的温度。当加热溶液时,盐分解并作为气态产物离开废稀溶液,这降低了废稀溶液中的盐浓度,从而产生了再生的稀溶液。真空或任选的施加风扇可有助于气态产物向冷料流移动。可将气态产物(例如,CO_2和氨)驱入冷水料流中以反应并沉淀回固体盐形式(例如,CO_2、氨和冷水成碳酸氢铵盐)。可将溶液中沉淀的固体盐(例如,碳酸氢铵)递送至RED电池中的浓盐溶液。在该工艺中,热泵可分别用于加热和冷却废稀溶液和冷水蒸汽。热泵可与本文所公开的反向电渗析系统的其他步骤中使用的热泵相同或不同。任选地,当气态产物在冷料流中沉淀时,可将热能提取并传递至废稀溶液以分解盐。另外,热能可用于增加经沉淀的溶液的温度,以增加溶解度并允许超浓溶液。图10为盐分解工艺的实例,其显示了在RED电池与盐分解工艺的容器之间的溶液流动,并且在下文中进一步详细讨论。通过施加盐分解工艺,通过并入盐分解来再生浓和稀盐溶液是可能的。

[0062] 反向电渗析系统可包括第二单元。第二单元可包括配置成对阳离子选择性渗透的第三膜以及配置成对阴离子选择性渗透的第四膜,第四膜与第三膜间隔开。第二单元可包括设置在第三膜与第四膜之间的第二浓盐溶液,第三膜和第四膜使第二浓盐溶液与第二稀盐溶液分离。浓盐溶液可包括吸热溶液,第二浓盐溶液可包括放热溶液,并且热泵可配置成在浓盐溶液与第二浓盐溶液之间传递热量。

[0063] 反向电渗析系统可包括膜蒸馏系统。膜蒸馏(MD)是热驱动的分离工艺,其中液体被拒斥,并且仅蒸气分子渗透穿过多孔疏水膜。MD工艺中的驱动力是由跨越疏水膜的温度差产生的蒸气压差。疏水膜必须本质上为疏水的,或者其表面可被改性成疏水的。用于MD的疏水膜可为聚四氟乙烯(PTFE)、聚丙烯(PP)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、或其任意组合。大表面积的疏水膜可用于类似于RED堆叠物的夹层单元堆叠物设计中。疏水膜的堆叠物可仅包括

一种或多种类型的疏水膜而没有电极。利用热泵可通过同时加热和冷却来提高MD工艺的效率,从而产生强温度梯度驱动力。例如,热泵可用于同时在疏水膜的一侧将废浓溶液或废稀溶液加热到约40℃至约80℃,同时在疏水膜的另一侧提供冷却手段(例如冷却料流热交换器、具有制冷剂的蒸发器、或冷却水)以产生稀溶液并且获取热量,例如从环境条件、地热、太阳能、工业废热。膜蒸馏允许利用热泵的功率有效地产生盐梯度,该梯度可用于本文中公开的反向电渗析系统中。热泵可与本文中公开的反向电渗析系统的其他步骤中使用的热泵相同或不同。膜蒸馏可用于生成浓盐溶液以及任选地稀盐溶液,用于引入至RED电池中。图13为膜蒸馏系统的实例,其显示了MD系统与RED系统之间的溶液流动。通过引入膜蒸馏来再生浓和稀盐溶液是可能的。

[0064] 本文中利用的膜蒸馏工艺可为直接接触式MD(DCMD)、气隙式MD(AGMD)、真空式MD(VMD)、吹扫气体式MD(SWGMD)、真空多效膜蒸馏(V-MEMD)、渗透间隙式MD(PGMD)、或其组合。

[0065] 膜蒸馏系统可包括:含有第一或第二盐溶液的至少一部分的容器,该容器被允许蒸气渗透的疏水膜覆盖;热泵,该热泵配置成温热容器;以及冷却膜的相反侧。膜蒸馏系统可配置成在温热之后在膜处产生盐梯度,并在容器中生成第三盐溶液(即,浓缩的)。膜蒸馏系统可包括第二热泵以温热容器,以及任选地在膜的与容器相反的侧上的冷却装置。冷却装置可为冷料流、热交换器、制冷剂回路,或者以其他方式操作例如以使蒸气冷凝回液体。图13为膜蒸馏工艺的实例,其显示在温热的浓溶液与冷的稀溶液之间产生盐梯度的疏水膜,如在下文中进一步详细讨论。膜蒸馏系统可包括:由允许蒸气渗透的疏水膜分离的第一或第二盐溶液的至少一部分。在该实施方式中,将溶液提供在疏水膜的任一侧,且热泵配置成温热膜的一侧;同时在膜的相反侧提供冷却装置来冷却溶液。

[0066] 反向电渗析系统可包括微生物反向电渗析电解单元(MREC),如美国专利号9,112,217中公开的,该专利以其整体通过引用并入本文中。在该实施方式中,微生物产生电力来驱动RED系统。MREC可包括设置在RED电池中的多种产电微生物,这些微生物可通过阳极上的有机物氧化和阴极上的氧气还原来协助产生氢气和电。由于微生物在较温暖的条件下蓬勃生长,使用热泵可能增加微生物去除电极超电势的能力。由于热力学上不利的电极反应,电极超电势促进显著的能量损失。另外,由热泵提供的杠杆热能促进更大的反应动力学,这减少了在RED中产生相同量的能量所需的膜的量。例如,在居住环境中,有机废物(例如来自化粪池的污水)可通过使用微生物反向电渗析转化为可用的能量。紫外光可用于本文中公开的任何盐梯度热机系统,以限制系统内的任何微生物生长/污垢。

[0067] 在盐梯度热机系统中,RED和PRO可一起连续地操作或在分批系统中操作。当在分批系统中操作时,反向电渗析系统可包括以并联或堆叠排列的多个沉淀器、和/或多个罐。当在分批系统中操作时,沉淀器、罐以及堆叠物作为整体可为不同的尺寸,并且以串联、并联或两者的组合操作,并且可以逆流、错流或同向流(co-flow,共流)操作。例如,系统可包括两个或多个沉淀器,每个沉淀器产生再生的稀溶液,该再生的稀溶液在流入RED电池之前合并;并且/或者系统可包括两个或更多个溶解罐,每个溶解罐产生再生的浓盐溶液,这些浓盐溶液在流入RED电池之前合并。当作为分批系统操作时,盐溶液可通过RED电池堆叠物数次(多次通过)以提高效率。这提供了在系统的一部分中停止操作的能力,例如为了维修,同时维持在系统的其余部分中操作。

[0068] 在一种实施方式中,一个容器可既是沉淀器(例如,由废溶液沉淀出盐并去除再生

的稀溶液)又是溶解罐(例如,将废溶液添加至含有沉淀的盐的容器,然后使盐溶解到该溶液中为了可以再生浓溶液)。此处,盐保留在容器中并用于制备再生的浓盐溶液,而不是去除沉淀的盐。

[0069] 浓溶液和稀溶液将处于分离的回路中。然而,可存在这两种溶液的一些受控制的混合(在RED/PRO堆叠物中的受控制的混合)。另外,在RED/PRO堆叠物内的浓缩液与稀溶液之间可能发生一些不受控制的混合渗透(水流)。由于渗透,稀溶液中的某一部分水可能转移或迁移至RED/PRO堆叠物中的浓溶液中。因为由于渗透所致的水的这种移动,可存在起平衡稀释物罐和浓缩物罐中的体积总量的受控制的流动。否则,浓缩物罐中的体积继续增加。回路之间的受控制的混合或流动可通过并入阀来控制,该阀操作以确保两个回路具有相同的溶液体积。

[0070] 公开了由热能生成电力的方法。该方法包括通过选择性渗透膜将第一盐溶液与第二盐溶液分离。该方法包括通过第一盐溶液和/或第二盐溶液接收来自热源的热能。该方法包括使第一盐溶液与第二盐溶液以受控制的方式混合,随着第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差减小,捕获至少一些盐度梯度能作为电力。该方法包括通过热泵将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液,引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加。

[0071] 该方法可包括使用反向电渗析来捕获盐度梯度能。该方法可进一步包括使用驱动发电机的压力延迟渗透来捕获盐度梯度能。在一些实施方式中,第一盐溶液和第二盐溶液各自在封闭系统中循环。将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液可使第一盐溶液沉淀出盐。该方法可包括将沉淀的盐引入至第二盐溶液中,引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加。该方法可包括使用生成的电力的一部分通过电解产生氢气以及任选地氧气。在一些实例中,将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液包括从比第二盐溶液更冷的第一盐溶液传递热能。

[0072] 该方法可进一步包括基于一个或多个热源或者第一盐溶液和/或第二盐溶液的状态的一个或多个测量结果,协调从一个或多个热源向第一盐溶液和/或第二盐溶液的热量传递。热源可包括地热、工业废热(例如,发电厂)、来自运输车辆(例如,汽车、轮船、卡车)的废气、或太阳热的一种或多种。

[0073] 该方法可包括使封闭系统中的第一盐溶液和第二盐溶液的循环流动反向。这可通过在封闭回路系统的两端施加电磁阀来实现。循环流动的反向不会停止能量的产生,并且延长了选择性渗透膜的使用,使得膜在其两个相反的横向侧上基本上等同地磨损。

[0074] 以下讨论省略或仅简要描述了本领域的技术人员显而易见的所公开技术的常规特征。对多种实施方式的引用并不限制所附权利要求的范围。另外,本说明书中所阐述的任何实例意图为非限制性的,并且仅阐述了所附权利要求的许多可能实施方式中的一些。此外,本文中描述的特定特征可与多种可能的组合和排列的每一者中的其他描述的特征组合使用。本领域的普通技术人员将知道如何与常规实验组合使用本发明,以实现在实施例或实施方式中未具体公开的其他结果。

[0075] 还理解,本说明书中使用的术语仅出于描述特定形式或实施方式的目的,而不意图为限制本公开内容的范围,本公开内容的范围将仅由所附权利要求限制。除非本文中另有具体定义,否则所有术语均应给予其最宽泛可能的解释,包括由本说明书所隐含的含义以及本领域技术人员理解的含义和/或如词典、论文等中定义的含义。除非另有定义,否则

本文中使用的所有技术和科学术语具有与本领域普通技术人员通常理解的相同的含义。尽管与本文中描述的那些类似或等同的任何方法、装置和材料均可用于本公开内容实施方式的实践或测试,现在描述优选的方法、装置和材料。本文中提及的所有参考文献均以其整体通过引用并入。

[0076] 如在说明书以及包括所附权利要求中使用的,单数形式“一个(种)(不定冠词a,an)”和“所述(该)”包括复数,并且除非上下文另有明确规定,否则对特定数值的提及至少包括该特定值。范围可在本文中表示为从“约”或“大约”一个特定值和/或至“约”或“大约”另一特定值。当表示这样的范围时,另一实施方式包括从一个特定值和/或至其他特定值。类似地,当通过使用先行词“约”将值表示为近似值时,将理解该特定值形成另一实施方式。还理解,所有空间提及,例如,水平、竖直、顶部、上部、下部、底部、左侧和右侧,仅出于说明性目的,并且可在本公开内容的范围内改变。例如,提及“上部”和“下部”是相对的,并且仅在上下文中相对另一者使用,而不一定是“靠上的”和“靠下的”。一般地,不同方面或部件的类似空间提及指示类似的空间取向和/或定位,即,每个“第一端”位于或指向装置的同一端。

[0077] 本公开内容中描述的系统和方法总体上涉及经由两种溶液的精确安排和受控制的混合,从两种溶液之间的盐浓度差有效地提取可用能量。该系统可用于直接生成电力,或者生成氢气、或氢气与氧气,其可用作用于生成机械(和/或电)功率的燃料,或者生成压力和/或重力势能,它们中的任一者可用于驱动涡轮机或执行其他有用工作。该系统涵盖了一系列尺寸和功率输出。一些实施方式可配置成在单个住宅或商业建筑的规模上生成动力。在一些实例中,该系统包括向地区或国家电网提供电力的工业发电系统。在一些实例中,该系统提供氢燃料,例如,为车队提供动力,以及(或代替)生成电力。

[0078] 图1显示了由盐度梯度生成电力的示例性系统100。示例性系统100包括反向电渗析(RED)电池110。RED电池110包括由一个或多个单元150(150a、150b)分离的阴极112和阳极114。每个单元150含有盐溶液130,即,溶剂与盐的液体混合物,该盐已溶解为其阴离子和阳离子组成组分,使得离子成分相对于彼此自由移动。每个离子可具有单电荷,或者可具有多种改变。在一些实例中,溶剂和溶质分别为水和氯化钠(NaCl)。NaCl的离解离子为各自具有单电荷的Na^+和Cl^-。可使用也形成液体混合物的其他溶剂和溶质,该液体混合物包括相对于彼此自由移动的阴离子和阳离子。溶剂可为有机或无机液体,包括但不限于水、醇、苯、甘油。盐溶液可为放热的或吸热的。即,当溶液形成时,溶液可吸收热量,例如当氯酸钾($KClO_3$)或硝酸钾(KNO_3)溶解于水中时,或放出热量例如当氯化钙($CaCl_2$)溶解于水中时。

[0079] 如图1所示,盐溶液130与稀溶液140(即,溶质浓度低于盐溶液的溶液)由选择性渗透膜104(104a-d)分离。盐溶液130在单元150的一侧由阳离子交换膜(104a、104c)并且在单元150的另一侧由阴离子交换膜(104b、104d)与稀溶液140分离,该阴离子交换膜与阳离子交换膜(104a、104c)是间隔开的。盐溶液130设置在阳离子交换膜(104a、104c)与阴离子交换膜(104b、104d)之间的空间中。在不存在这些膜104的情况下,盐溶液130将自由地扩散至稀溶液140中,从而使这两种溶液的盐度相等。带负电的离子向阳极114的移动和带正电的离子向阴极112的移动引起跨越单元150的电势差(电压)。电池110的总电压包括每个单元150的电压。

[0080] 离子可能倾向于积聚在膜104附近。这种积聚可能会阻碍发电的过程。为了抵消这

种积聚,系统100可向盐溶液130和/或稀溶液140施加搅动或混合力,引起离子更平均地(均匀地)分布在整个溶液130、140中。在一些实例中,系统100向一个或多个溶液130、140施加声振动,以增强溶液130、140的均匀性。系统100可向单元150的离子积聚区域(例如,一个或多个膜104附近)施加声振动,以有效地增强一个或多个溶液130、140的均匀性。

[0081] 如图1所示,电极(例如,阴极112、阳极114)被稀溶液140围绕。替代地,电极112、114可被冲洗溶液(rinse solution,极水液)围绕,该冲洗溶液在电极112、114之间的封闭回路中循环,使得冲洗溶液与盐溶液130和稀溶液140分离。在这样的布置中,外部选择性渗透膜104(即,最靠近RED电池110的相应电极112、114的膜104)为相同的类型(例如,两个阴离子交换膜或两个阳离子交换膜)。例如,阳离子交换膜104可将阴极112周围的冲洗溶液与盐溶液130分离,并且阳离子交换膜104也可将阳极114周围的冲洗溶液与稀溶液140分离。在这种布置中,从盐溶液130迁移至阴极112周围的电解质中的阳离子被再循环至阳极114,其中阳离子可穿过阳离子交换膜104并进入稀溶液140中。类似地,最靠近相应电极112、114的膜104可两者均为阴离子交换膜,在这种情况下,阴离子从阳极114循环(在冲洗溶液中)至阴极112,其中阴离子穿过阴离子交换膜104进入稀溶液130。在任一构造中,在阴极112处发生还原反应,并且在阳极114处发生平衡氧化反应。在一些实例中,冲洗溶液包括支持电解质,以增强电极112、114处的反应。因为在该布置中电极112、114两者均被相同的电解质(冲洗溶液)围绕,冲洗溶液可能在电极112、114之间形成电流可流过的电阻性负载,从而导致RED电池110的功率输出降低。在一些实例中,冲洗溶液和/或相关联的循环系统可配置成相对于RED电池110的输出负载或RED电池110的单元150的内部电阻具有高电阻。例如,冲洗溶液循环路径可配置成相对较长。

[0082] 由电池110产生的电流是离子移动速率的函数,并且离子移动速率是数个因素的函数,包括盐度梯度(即,盐溶液130与稀溶液140之间的盐度差)和(至少)盐溶液130的温度,以及膜104的方面。盐溶液130的温度影响盐溶液130中的离子向膜104移动(并跨越)的速率,这是由于在较高温度下离子的动能增加。根据能斯特方程,所产生的功率是盐溶液130和稀溶液140的盐度比的对数的函数。然而,随着离子从盐溶液130移动至稀溶液140,稀溶液140的盐度增加,而盐溶液130的盐度降低。因此,“废”盐溶液130与“废”稀溶液140之间的梯度减小。为了维持电池110的电流(并因此,功率输出),可通过更新废盐溶液130和/或废稀溶液140来连续地再生盐度差。为此,废盐溶液130和/或废稀溶液140可在RED电池110与再生系统之间循环(例如,以封闭回路)。替代地,废盐溶液130和/或废稀溶液140可连续地例如从天然来源例如河流和海洋或海湾补充。

[0083] 图2显示了示例性再生系统200。示例性再生系统200包括盐去除子系统210。再生系统200使废稀溶液140在封闭回路中从RED电池110循环通过盐去除子系统210,并作为更新的稀溶液140回到RED电池110。在一些实例中,盐去除子系统210使稀溶液140的溶剂蒸发然后冷凝,然后使冷凝的溶剂作为更新的稀溶液140循环回到RED电池110。该系统可使溶剂蒸发,直到剩余的稀溶液140接近或甚至小于溶解限度。然后可将剩余的稀溶液140重新引入至废盐溶液130中以更新盐溶液130。在一些实例中,盐去除子系统210使盐溶液130的溶剂蒸发然后冷凝,然后使冷凝的溶剂作为更新的稀溶液140循环回到RED电池110。在闭环RED电池110中,盐去除子系统210可使盐溶液130和稀溶液140两者蒸发、然后冷凝,使冷凝的溶剂作为更新的稀溶液140从这两种溶液循环回到RED电池110,并且使剩余的溶液作为

更新的(浓)盐溶液130循环回到RED电池110。在一些实例中,盐去除子系统210通过盐沉淀的工艺而不是蒸发(或除此之外)来降低稀溶液140的盐度,以再生RED电池110中盐溶液130与稀溶液140之间的盐度差。再生盐度梯度的其他方法包括冷冻废稀溶液140,例如通过共晶冷冻结晶(Eutectic Chilled Crystallization,ECC)、或使用微滤和/或膜分离。在一些实例中,将多种方法有利地组合。例如,可通过随后膜过滤阶段来增强沉淀或冷冻阶段,以便优化从废稀溶液140分离盐所需的总能量。

[0084] 如图2所示,示例性盐去除子系统210通过引起盐沉淀来从废稀溶液140去除盐。一般地,溶剂溶解溶质的能力随着温度的升高而增加。相反地,将溶液的温度降低至称为饱和点的温度(溶液处于其最大盐度时的温度)以下一般会引起溶质沉淀。示例性盐去除子系统210包括传热装置216,该传热装置配置成使废稀溶液140冷却至饱和点以下的温度。如果废稀溶液140为放热溶液,则稀溶液140将随着盐沉淀而进一步冷却。在一些实例中,传热装置216也将更新的稀溶液140加热例如回到冷却之前的废稀溶液140的温度。即,传热装置216可将从废稀溶液140去除的一些或全部热能传递回更新的稀溶液140,如与图2的传热装置216相关联的箭头所示。这样,进入RED电池110的更新的稀溶液140的温度与离开RED单元150的废稀溶液140的温度基本上相同。

[0085] 在示例性盐去除子系统210中,沉淀的盐212沉降到盐去除子系统210的底部,例如以致密固体形式。在一些实例中,盐去除子系统210包括输送装置230,该输送装置配置成将沉淀的盐212从盐去除子系统210传输离开。输送装置230可为传送带、泵、阿基米德螺旋、或配置成将沉淀的盐212从盐去除子系统210物理传输离开的其他装置或系统。例如,如果盐为固体形式,则输送装置230可为能够传输固体材料的机械系统。在一些实例中,将去除的盐212输送至盐补充子系统220,在该盐补充子系统处将盐重新引入(例如,重新溶解)至废盐溶液130中,从而更新废盐溶液130。以类似于再生系统200如何循环稀溶液140的方式,再生系统200也可使废盐溶液130在封闭回路中从RED电池110循环通过盐补充子系统220,并作为更新的盐溶液130回到RED电池110。盐补充子系统220可通过重新溶解被盐去除子系统210去除的盐的工艺来增加盐溶液130的盐度,从而再生RED电池110中盐溶液130与稀溶液140之间的盐度差。

[0086] 如上所述,溶剂溶解溶质的能力一般随着温度的增加而增加。因此,盐溶液130的较高温度允许较高的盐度水平并伴随着盐溶液130与稀溶液140的盐度之间的较大差异。溶解度曲线是特定量的溶剂可溶解的溶质的量作为温度的函数的图。在一些实例中,与溶液相关联的溶解度曲线为线性的。即,溶剂可溶解的溶质的量可在宽的温度范围内(例如,该溶剂为液体的整个范围)随温度改变而线性改变。在一些实例中,溶剂可溶解的溶质的量随着温度改变而非线性改变。在这些情况下,即使在窄的温度范围内,溶剂可溶解的溶质的量可增加例如五倍或更多倍。系统100可配置成在高的盐溶液130的盐度的温度范围内操作RED电池110。溶解额外的盐可能需要向盐溶液130传递额外的热量。此外,系统100可使RED电池110的温度维持在溶解度点以上的点处,以提供“安全裕度”,以避免如果盐溶液130冷却到溶解度点以下时的不希望的沉淀。

[0087] 盐补充子系统220可接收来自一个或多个热源的热能,该一个或多个热源配置成使盐溶液130的温度增加,例如,以允许额外的盐溶解。例如,盐补充子系统220可接收来自盐去除子系统210的传热装置216的废热。盐补充子系统220也可配置成也接收来自其他热

源的热能,如与图2的盐补充子系统220相关联的箭头所示。热源的实例包括但不限于地热、工业废热、太阳热、燃烧热、蒸气压缩循环废热(例如,来自热泵)、化学反应热、或无法容易地或有效地通过常规手段(例如通过驱动涡轮机)转化为可使用的形式的其他形式的热。

[0088] 热优化系统可用于优化关于本文中描述的发电系统100的热能的使用。热优化系统进一步描述于美国专利号11,067,317中,该专利以其整体通过引用并入。热优化系统可将热能从一个或多个热源传递至一个或多个散热器。散热器的实例包括在一年中较冷季节期间居住或办公空间的内部、温水游泳池、桑拿浴室和蒸汽房。在这些实例中,该系统可配置成通过调节热能向散热器的传递来调控温度。例如,热优化系统可监测所加热的空间和/或所热水的温度,并使用基于处理器的逻辑来调节热量传递,例如(但不限于)运行一个或多个PID反馈回路和/或专家系统。在较热的季节期间,内部空间可为热源。在这种情况下,基于处理器的调控系统可调节从这些空间离开的热能的传递,从而调控温度。

[0089] 图3显示了示例性热优化系统300。示例性优化系统300包括一个或多个热源305、一个或多个散热器310,以及一个或多个如上所述的RED电池110。在一些实例中,发电系统100包括压力延迟渗透(PRO)系统(下文更详细地讨论)、或由盐度梯度生成电力的其他系统(例如,电容式混合(CAP))而不是RED电池110(或除此之外)。优化系统300可包括一个或多个泵320,该泵配置成将热量从一个位置传递至另一个位置。在一些实例中,优化系统300使用蒸气压缩制冷将热量从热源传递至散热器。即,优化系统300可压缩制冷剂以将热能从制冷剂传递至散热器(例如,通过出于吸收和分配热能的目的而配置的热交换器)。优化系统300然后可将经压缩的制冷剂(例如,通过经由出于该目的而配置的管道泵送经压缩的制冷剂)传递至热源并允许制冷剂膨胀,从而从热源吸收热能(例如,经由出于提供来自热源的热能的目的而配置的热交换器)。蒸气压缩制冷系统可包括换向阀或使热能的传递改变方向的其他可控装置。优化系统300可控制换向阀以改变热传递方向,例如,在白天期间当环境温度相对高时冷却内部空间,然后在夜间随着环境温度下降使热流反向以加热内部空间。

[0090] 热优化系统300的操作可由具有处理器的控制系统350协调,例如,如下文关于图7描述的。该处理器执行指令,引起控制系统350例如基于当时(prevailing)条件来协调热源305、散热器310以及RED电池110(或PRO或CAP系统)之间的热传递。控制系统350也可协调发电系统100内的热传递,例如,在子系统如盐去除子系统210与盐补充子系统220之间。控制系统350可向或从热源305、散热器310和RED电池110(或PRO或CAP系统)传送或接收信号352(352a-c)。控制系统350可接收指示例如热源305、散热器310和RED电池110(或PRO系统)的一种或多种状况或状态的信号352。例如,信号352可指示测量的量,例如温度和/或压力,或者信号可指示用户输入,例如加热的内部空间的目标温度。与发电系统100相关联的温度可分别包括在RED电池中、在盐去除子系统210中、和/或在盐补充子系统220中的盐溶液130和稀溶液140的温度。

[0091] 控制系统350可用于传送控制信号,例如,以控制压缩机和/或泵的速度、换向阀的方向、盐输送/转移装置230的操作速度等,以实现指定的目标温度和/或功率输出。例如,控制系统350可将盐溶液的温度调节至处于或接近其溶解限度。这样,控制系统350可基于当时条件和用户设置而有效地同时控制和调节数个热源305与散热器310之间的热传递,同时优化发电系统100的输出。此外,控制系统350可影响由一个或多个热泵320生成的蒸气压缩

循环废热的水平并将废热传递至一个或多个散热器和/或RED电池110,因此有效地再捕获其自身废热以用于发电或其他目的。这样,优化系统300可在多种动态条件下(例如,随着全年或全天条件的变化)和/或基于RED电池110的需求,从多种热源中的任一种或全部传递热量。此外,控制系统350可将发电系统100配置成存储过量的能量。例如,当对于电能的需求低时,控制系统350可将RED电池110配置成使其能量输出的一部分作为氢气产生以在稍后时间用作燃料,而不是作为在生成之时使用的电能。此外,在PRO系统的情况下,控制系统350可配置将压力转化为电力的速率,例如通过控制经过涡轮机的流的速率。这样,控制系统350可在对于电力的需求低时以例如重力势能的形式保留一些能量,并且在对于电力的需求高时将较大量的重力势能转化为电能。

[0092] 在一些实施方式中,系统100包括PRO系统,而不是上述RED电池110(或除此之外)。图4显示了示例性PRO系统120。示例性PRO系统120也包括通过选择性渗透膜104c与稀溶液140分离的盐溶液130,类似于上述RED电池110。然而,PRO系统生成可采取重力势能形式的压力,而不是直接由盐溶液130与稀溶液140之间的盐度差生成电力。因此,PRO系统可不包括电极。PRO系统的选择性渗透膜可配置成优先地允许溶剂而不是溶质穿过膜,例如从稀溶液140至盐溶液130,以便减小溶液之间的盐度差。在PRO系统中,选择性渗透膜可为允许水而不是盐渗透的中空纤维膜。在PRO系统中,选择性渗透膜可为中空纤维膜、螺旋卷式膜、平板膜、或其组合。结果,随着溶剂跨越膜104c迁移至盐溶液130中,盐溶液130中溶剂的压力和/或平均高度可随时间推移增加。系统100可使盐溶液130的增加的压力和/或重力势能转化成更可使用的动力形式,例如电能,例如通过引导(升高的)盐溶液130通过涡轮机、桨轮、或其他适合用于产生电力的机械装置。然后,系统100可使废盐溶液130循环通过类似于上述盐去除子系统210的溶剂去除系统。例如,溶剂回收系统可通过蒸发(任选地在部分真空中以降低沸点)和随后的冷凝来去除过量的溶剂。然后,溶剂回收系统可使冷凝的溶剂循环回到PRO系统120作为更新的或“补足的”稀溶液140,并使更新的盐溶液(在去除过量的溶剂之后)循环回到PRO系统120作为更新的盐溶液130。替代地(或另外地),溶剂回收系统可引起溶质从废盐溶液130中沉淀出,然后使废盐溶液循环回到PRO系统120作为“补足的”稀溶液140,并将沉淀的盐引入回盐溶液130中,例如,经由图2的输送装置230。与上述RED电池110一样,PRO系统120发电速率至少为盐溶液130与稀溶液140之间的盐度差以及至少盐溶液130的温度的函数。

[0093] RED系统可为电容式(CAP)系统,而不是RED电池和/或PRO系统(或除此之外)。CAP系统是用于由盐度梯度产生电能的基于电极的技术。使用CAP系统的电生成基于充电和放电电极的循环。CAP系统中的电极依次暴露至具有大的盐度差的两种溶液中。CAP系统以盐度梯度的形式充入能量并从盐度差提取能量,并且受益于当其盐溶液的盐浓度改变时浸入盐溶液中的两个电极之间发生的电压上升。功率产生主要取决于每个电极的以下性质:盐度改变时电势上升的幅度,以及高盐度溶液中的电势。电极可为相同的,使得系统的流动可反转并且极性可改变而不停止电生成。CAP系统可包括一个或多个如本文中公开的选择性渗透膜。

[0094] 如图1所示,盐溶液130在单元150的一侧由阳离子交换膜(104a、104c)并且在单元150的另一侧由阴离子交换膜(104b、104d)与稀溶液140分离。替代地,盐溶液130和稀溶液140可由单个选择性渗透膜140(例如,阳离子交换膜或阴离子交换膜)分离。离子跨越单个

膜140的选择性移动引起跨越膜140的电势差(电压)。与图1的实施方式类似,由RED单元150的单个膜实施方式(例如,流量泵)产生的电流也是离子移动速率的函数,并且离子运动速率是数个因素的函数,包括盐溶液130与稀溶液140之间的盐度梯度、(至少)盐溶液130的温度(由于离子在高的温度下的动能增加),以及单个膜104的方面。

[0095] 在一些实施方式中,该系统包括配置成使用放热盐溶液130a的第一RED电池110a,以及配置成使用吸热盐溶液130b的第二RED电池110b。该系统可将通过使放热盐溶液130a中的溶质溶解而生成的热量传递至吸热溶液130b以替换在溶解溶质同时吸收的热量。

[0096] 在一些实施方式中,生成的电力的一部分用于产生氢气,例如,经由通过电解来分解水。例如,当稀溶液为水时,可对水施加1.23伏的电势差以使水分解成氢气和氧气。可将氧气供应和泵送到空间例如建筑物或其他室内区域中。可存储氢气和/或氧气以供稍后使用,例如作为电池。盐溶液或者稀溶液(或两者)可通过电解分解。图5显示了配置成生成氢气的示例性RED电池110。释放的氢气和氧气可“起泡”至RED电池110的相应的阴极112和阳极114附近的表面。系统100可分离氧气和氢气(例如,通过物理上分离阴极112和阳极114),捕获并存储氢气(例如,当氢气起泡至阴极附近的表面时捕获氢气),然后通过适当的手段将氢气传输至适当的位置,以用作燃料。在这些情况下,系统100必须补充或“补足”因电解而损失的溶剂,例如,从溪流或其它淡水源。RED电池110可配置成使得电解自然发生。即,RED电池110可配置成生成足够的电势差以引起其溶剂电解。在一些实例中,再生系统使用电解来更新废盐溶液130的盐度,同时补足淡水作为更新的稀溶液140循环至RED电池110(或PRO或CAP系统)。在一些实例中,该系统包括用于通过电解而生成氢气的水的单独的贮存器(例如,不是电解RED电池或PRO或CAP系统的溶剂)。当RED电池或PRO系统保持封闭的回路时,单独的水贮存器可具有其自身的“补足”源。在这些实施方式中,水的贮存器也可充当热贮存器或在热优化工艺中发挥其他作用。

[0097] 图6显示了用于由热能生成电力的示例性方法的流程图600。在步骤602,该示例性方法包括通过选择性渗透膜104将第一盐溶液130与第二盐溶液140分离。选择性渗透膜104可配置成提供第一盐溶液130与第二盐溶液140的受控制的混合,以便在混合发生时以更有用的形式捕获盐度梯度能。在一些实例中,选择性渗透膜104配置成优先地允许第一盐溶液130的溶剂穿过该膜并进入到分离的第二盐溶液140中,例如,如在PRO系统中。在一些实例中,选择性渗透膜104配置成优先地允许第一盐溶液130的阴离子或阳离子穿过膜并进入到分离的第二盐溶液140中,例如,如在RED电池110中。

[0098] 在步骤604处,该示例性方法包括接收来自热源的热能。由RED电池110(或PRO系统)生成的功率是温度的函数。接收的热能可允许RED电池110继续操作(例如,产生电)。在一些实例中,控制系统350配置成调节接收到的热能的量并配置何种热源305提供热能。在一些实例中,控制系统350配置成将废热从一个或多个热泵320传递至RED电池110。在一些实施方式中,发电系统100提供一些或全部功率来使一个或多个热泵320运行。作为预言性实例,RED电池110可具有约30%的效率(即,传递至RED电池110的热能的30%被转化成电或其他可使用的能量形式)。热泵320可具有在3至4之间的性能系数(COP)(即,热泵320可需要1 KW的功率来从热源吸收2-3 KW的功率并将3-4 KW传递至散热器(输入功率和从热源吸收的热功率的总和)。例如,COP为4的热泵320可需要1 KW的功率来将总共4 KW的热量传递至RED电池110。热泵320可传递来自低品位或“废”热源(例如,不容易转化成有用形式的能量的

源,例如小于300℃的热源)的热量。在一些预测的实例中,热源可为工业过程的结果,否则该工业过程只会将废热输出到环境。在30%的效率的情况下,RED电池110可从4 KW的传递的热量产生1.2 KW的电力。在该预测性实例中,1 KW的电力可用于为热泵320提供动力,留下200 W的电力用于其他目的。因此,在该预测性实例中,RED电池110和热泵320的组合系统100产生200 W的电力净输出,并且除了3 KW的“废”热之外没有净功率输入。在废热是工业过程的结果的情况下,预计RED电池110和热泵320的组合系统110产生200 W的净输出,同时提供在将废热输出到环境之前将废热冷却3 KW的益处。组合系统110的预期净效率可随着对RED电池110效率的改进而进一步放大。

[0099] 此外,发电系统100可通过捕获由一个或多个热泵产生的一些废能并将废能转化成电能以对热泵320供以动力来提高热泵320(例如,用于加热或冷却居住空间的热泵)的有效性能系数(COP)。例如,加热COP为3的热泵可需要1.5 KW的功率来将3 KW的热量从源泵送到散热器。如果散热器不需要全部4.5 KW的功率(3 KW的泵送热量加上最高达1.5 KW的废热),则控制系统350可将优化系统300配置成使一些或全部的废热传递至RED电池110,为了转化为用于热泵320的功率,增加热泵320的有效COP。此外,控制系统350可将发电系统100配置成使一些量的废能转化为能够存储以备稍后使用的形式,例如,如果对于电力的瞬时需求大于可产生的电力的量。例如,PRO系统可以未释放的压力和/或重力势能的形式保留废能,以在将来时间释放,例如,当对于电能的需求较大时。类似地,作为产生一定量电能的代替,RED电池110可产生氢气以在将来时间用作燃料。因此,可将来自热泵320的废热灵活地捕获和释放,从而进一步增加热泵的有效COP。

[0100] 在步骤606处,该示例性方法包括以受控制的方式混合第一盐溶液130与第二盐溶液140。在步骤608处,该示例性方法包括捕获至少一些盐度梯度能作为电力。如上所述,RED电池110或PRO系统或CAP系统可配置成使得随着溶液(130、140)混合,将盐度梯度能转化成更有用的形式。在步骤610处,该示例性方法包括通过热泵320将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液。在步骤612处,该示例性方法包括引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加。如上所述,热泵320可冷却废稀溶液140,引起盐从稀溶液140沉淀,因此更新稀溶液。热泵可将热量从废稀溶液140传递至废盐溶液130,增强了引入至盐溶液130中的盐溶解的过程。替代地(或另外),热泵320可加热废盐溶液140,引起盐溶液140蒸发,因此更新盐溶液。当溶剂蒸气作为更新的稀溶液循环回到RED电池110时,可使蒸发的溶剂冷凝(例如,通过热泵冷却)。

[0101] 图8显示了包括盐沉淀系统的示例性再生系统。在该实施方式中,盐沉淀系统包括盐沉淀器880、三个热交换器882、884、838(尽管替代实施方式可包括一个热交换器、两个热交换器或多于三个热交换器)和外部热源系统890。该再生系统使废稀溶液840在封闭回路中从RED或PRO电池810循环通过盐沉淀系统,并作为更新的稀溶液845回到RED或PRO电池810。任选地,更新的稀溶液845可在被引导到RED或PRO电池810之前,在用于容纳稀溶液的罐846中存储一段时间。将废稀溶液840引导至盐沉淀器880中,其中施加热交换器884以从废稀溶液840去除热能,引起盐885沉淀,这进一步稀释了盐沉淀器880内的溶液,从而提供再生的稀溶液845(其也可称为更新的稀溶液)。将盐885引导至容纳废浓溶液830的浓缩物罐836(或配置成再生废浓溶液的罐)。在浓缩物罐836内,任选地在经由热交换器838等施加热能的情况下,将盐885溶解于废浓溶液830中以增加盐浓度并制成再生的浓溶液835(其也

可称为更新的浓溶液)。

[0102] 盐沉淀系统通过盐沉淀工艺而不是蒸发(或除此之外)来降低废稀溶液840的盐度,并使用沉淀的盐885来增加废浓溶液830的盐度,以再生浓溶液835与稀溶液845之间的盐度差,使得可将料流引导至并用于RED或PRO电池810中。

[0103] 如图8所示,示例性盐沉淀系统通过引起盐沉淀来从废稀溶液840去除盐。将溶液的温度降低到称为饱和点的温度(溶液处于其最大盐度时的温度)以下一般会引起溶质沉淀。该系统包括传热装置(作为热交换器884示于图8中),该传热装置配置成使废稀溶液840冷却到在低于饱和点以下的温度。热交换器882被动地在更新的稀溶液845与废稀溶液840之间交换热量。热交换器882加热更新的稀溶液845,例如,回到废稀溶液840冷却之前的温度,因为稀释物罐846中溶液的温度可最佳地为约30℃至约50℃。即,热交换器882可将从废稀溶液840去除的一些或全部热能传递回更新的稀溶液845。废稀溶液840可为约30℃至约40℃,并且其将在沉淀器中降低至约5℃。这样,进入电池810的更新的稀溶液845的温度与离开电池810的废稀溶液840的温度基本上相同。热交换器882可起到如前所述的冷却和加热两者的作用,或者其可定位在系统中以仅在再生的稀溶液845离开沉淀器880之后对其加热。例如,其可通过在其上吹扫热空气来加热再生的稀溶液845的料流。控制阀811、812包括在系统中以控制和平衡溶液流的体积。泵813、814包括在系统中以使溶液移动并允许流至RED或PRO电池810。泵813、814可为本领域中已知的用于对流体作功以移动流体的任何的这样的泵或装置,例如但不限于隔膜泵或离心泵、蠕动泵。控制阀和热泵的数量在本公开内容的系统之间可有所不同。本领域的技术人员将理解,一个或多个控制阀可添加到本公开内容的任何实施方式中。热交换器884、838将热量从沉淀器880或罐836分别传递至热源系统890中。热交换器884、838可为分别浸渍在沉淀器880或罐836中的盘管,其中液体在盘管内循环,或者每个热交换器可为本领域已知的任何其他热交换器,例如壳式或管式热交换器。

[0104] 图8包括外部热源系统890,该外部热源系统包括向系统中添加热量的热交换器891以及热泵892。外部热源系统890可与盐沉淀系统一起使用,以向浓缩物罐836供应热能。外部热源系统890被描述为具有封闭回路,任选地制冷剂回路,以产生沉淀器880与浓缩物罐836的温热和冷却。热交换器891任选地直接从空气或外部热源吸入低品位热量(例如,在约100℃以下、或在约200℃以下)或超低品位热量(例如,环境空气、或在约80℃以下)。外部热源向热源系统890中供应外部热量,该外部热量最终可被RED/PRO电池810转化成电。

[0105] 在其他实施方式中,热源系统890不存在,相反,可将高品位热量(例如,蒸汽、或来自供应在约100℃以上热量的任何源)直接添加到浓缩物罐中以对其加热。图9显示了包括盐沉淀系统而不具有图8中所包括的外部热源系统的再生系统的实例。在图9中,当盐沉淀器880被冷却时,释放热能,任选地作为热量991。可将热量991通过本领域已知的任何方式去除并引导至任何源、释放、或经由热量992引导回系统中。可从环境能量、热泵、或系统中的其他地方(例如,热量991)将热量992、993引入系统中。

[0106] 图10显示了包括盐分解系统的示例性再生系统。在该实施方式中,盐分解系统包括吸收器1080、盐分解容器1081、两个热交换器1082、1084(尽管替代实施方式可包括一个热交换器、或多于两个热交换器)和热泵1013。将热量添加至该盐分解。该再生系统使废稀溶液1040在封闭回路中从RED或PRO电池1010循环通过盐分解容器1081,其中施加热量以将罐温热并形成蒸气和气态盐1085,并作为更新的稀溶液1045回到RED或PRO电池1010。热交

换器1084定位成在废稀溶液料流1040和更新的稀溶液料流1045之间以传递热能。废浓溶液1030在封闭回路中从RED或PRO电池1010循环通过吸收器1080,并随后作为更新的浓溶液1035回到RED或PRO电池1010。热交换器1082定位成在废浓溶液料流1030和更新的浓溶液料流1035之间传递热能。当向容器1081施加热量时,气态产物(例如,分解的气态盐)1085从容器释放并被吸附器1080接收,其中在蒸气内分解的盐被吸收到废浓溶液1035中,以增加溶液的盐浓度。在盐分解容器1081中,盐从废稀溶液1040中去除,留下再生的稀释料流1045。可将热量992、993从环境能量、热泵、或系统中的其他地方引入系统中。可将热量991去除并用于热泵中、或释放。热泵1013可同时加热和冷却(参见热量输入991和热量输出993),并使用来自另一源的热量/热能994。控制阀1011包括在系统中以控制和平衡溶液流的体积。盐分解容器1081从液体分离气体;其可包括闪蒸罐或汽提塔来分解溶液中的盐。盐分解容器1081和吸收器1080可为任何容器或容器组、罐和/或塔,并且实现本文中描述的功能,并且容易被本领域的技术人员理解。

[0107] 图11为包括蒸发系统的再生系统的另一实例。图11与图10的实施方式的不同之处在于其并入了蒸发器1091和冷凝器1090。在该实例中,废浓溶液1030在封闭回路中从RED或PRO电池1010循环通过蒸发器1091,其中施加热量992、993,引起溶液沸腾并且水作为蒸气1093蒸发,从而留下更浓的溶液,即,引导回到RED或PRO电池1010的更新的浓溶液。蒸气1093从蒸发器1091引导至冷凝器1090,其中将容器冷却并且将蒸气冷凝成水并与废稀溶液1040混合以制成更新的稀溶液1045,该更新的稀溶液在封闭回路中引导回到RED或PRO电池1010。热泵1013对冷凝器1090产生制冷效果。传统地,将使用冷水回路代替该热泵,并将损失投入该系统中的任何热量。通过并入如所示的热泵,将热量回收,这使得该工艺更节能。蒸发器1091和冷凝器1090可为实现本文中描述的功能的任何罐、容器、塔、或其组合,并且容易被本领域的技术人员理解。

[0108] 图12为包括电渗析和盐沉淀的再生系统的实例。将稀溶液1141和浓溶液1131引导至电渗析系统1190,其中供应电力以通过使离子从稀释物移动至浓缩物来迫使盐从稀溶液1141中分离,这产生超稀溶液1147。通过使用电渗析,将电用于生成更浓溶液1132和超稀溶液1147。废稀溶液1140在沉淀器1180中去除盐,留下稀溶液1141(具有比废稀溶液1140更低的盐分浓度)。通过使用电渗析,使稀溶液1141进一步稀释到溶解度曲线之外,以产生超稀溶液1147并产生更大的盐梯度。如图12中所描绘的,超稀溶液从电渗析罐流向稀释物储罐1146,在此其与来自沉淀器1180的稀溶液1141(如果有的话)混合。在一个替代实施方式中,该系统可配置成使超稀溶液1147直接流入电池1110,其中采用阀门并且定位成改变溶液的流动,如本领域的技术人员容易想到的。

[0109] 将废稀溶液1140引导至冷却的(去除热量1191)盐沉淀器1180中。从废稀溶液1140去除热能引起盐1185沉淀,这进一步稀释了盐沉淀器1180内的溶液,从而提供稀溶液1147,可将该稀溶液送至储罐1146并且/或者通过经电渗析处理进一步稀释。再生的稀溶液1145(其也可称为更新的稀溶液)具有与超稀溶液1147相同的盐分浓度,或者在罐1146中与超稀溶液1147混合之后具有比稀溶液1141更低的盐分浓度。再生的稀溶液1145流回电池1110以利用盐度梯度。将盐1185与废浓溶液1130合并以增加其盐度,然后引导到浓缩物储罐1136中。在浓缩物储罐1136内,任选地通过施加任何热量1192或其他热能源,将盐1185溶解于废浓溶液1130中以增加盐浓度并制成浓溶液1131,将其然后引导到电渗析系统1190中以增加

其盐分浓度并产生更浓溶液1132。更浓溶液1132可具有比再生的浓溶液1135(其也可称为更新的浓溶液)更高或相等的盐分浓度。浓缩物罐1136可在其底部具有过量的盐(未示出),如果存在,其可用作电池以允许该工艺能够在暂时不可获得过量的热量时继续操作。

[0110] 盐沉淀系统通过盐沉淀工艺,而不是蒸发(或除此之外)来降低废稀溶液1140的盐度,并使用沉淀的盐1185来增加废浓溶液1130的盐度,以增加浓溶液1131与稀溶液1141之间的盐度差。在该实施方式中,与图2不同,浓溶液1131和稀溶液1141在重新引入至电池1110中之前通过电渗析进一步处理来增加溶液之间的盐度差。由RED或PRO电池1110生成的电1171可以本领域已知的任何手段使用、存储、和/或用作用于操作电渗析系统1190的电1170。

[0111] 而在图12中,电渗析系统1190使用的罐与RED或PRO电池1110不同,而在其他实施方式中,电渗析可使用的罐与反向电渗析所使用的相同。

[0112] 图13是并入膜蒸馏系统1390(电渗析系统1190在图12中所在之处)和盐沉淀的再生系统的实例。膜蒸馏系统1390包括热泵(未示出),该热泵使水蒸发,该水能够渗透穿过多孔疏水膜(未示出)进入稀溶液中以降低其盐分浓度,从而产生超稀溶液1347。超稀溶液1347可直接进入电池1110或如所示的稀释物罐,其中采用并定位阀门以改变料流的流动。如图13中描绘的,超稀溶液1137从膜蒸馏系统1390流向稀释物储罐1146,在此其与来自沉淀器1180的稀溶液1141(如果有的话)混合。在一个替代实施方式中,该系统可配置成使超稀溶液1347直接流入电池1110,其中采用并定位阀门以改变溶液的流动,如本领域的技术人员容易想到的。

[0113] 在浓缩物储罐1136内,任选地通过施加任何热量1192或其他热能源,将盐1185溶解于废浓溶液1130中以增加盐浓度并制成浓溶液1131,然后将其引导到膜蒸馏系统1390中以增加其盐分浓度并产生更浓溶液1332。更浓溶液1332可具有比再生的浓溶液1135(其也可称为更新的浓溶液)更高或相等的盐分浓度。

[0114] 图14是并入膜蒸馏系统1390而无盐沉淀的再生系统的实例。将废稀溶液1140引导至稀释物储罐1146,在此将其冷却(即,去除热能1191)并引导至膜蒸馏系统1390。将废浓溶液1130引导至浓缩物储罐1136,在此将其温热(即,将热能1192投入系统中)并引导至膜蒸馏系统1390。储罐的加热和冷却可任选地由一个或多个热泵(未示出)供应。将废稀料流1140和废浓料流1130引导到膜蒸馏系统1390中,该系统使用跨越疏水膜(未示出)的料流之间的温度差产生的蒸气压差来操作。通过膜蒸馏系统1390的操作产生再生的稀溶液1445和再生的浓溶液1435,然后它们循环回到RED或PRO电池1110中,任选地通过储罐1146、1136返回,如图14所示。

[0115] 图15是与再生系统组合的RED/PRO罐的实例,其中多个罐在分批系统中操作。操作罐1501、1502、1503、1504各自可为冷却罐(即,沉淀器)、加热罐(即,溶解罐),或者可在任何给定时间不运转。例如,罐1501可首先作为冷却罐操作以从废稀溶液沉淀盐,留下再生的稀溶液1545,然后可将该再生的稀溶液引导至稀释物罐1546。然后,罐1501的操作可改变为加热罐,其中将废浓溶液1530引导至容纳沉淀的盐的罐中,然后温热以使盐溶解到溶液中,留下再生的浓溶液1535,然后可将该再生的浓溶液引导至浓缩物罐1536。在其他时候,罐1501在其需要维修时或者出于任何其他原因可不运转。这种操作的改变可根据需要应用于分批系统中的任何操作罐。

[0116] 阀系统1520将罐与RED/PRO电池1510分开,并且通过将废稀溶液1540和废浓溶液1530的每一者的全部或一部分的流引导至一个或多个操作罐1501、1502、1503、1504来操作。第二阀系统1522将操作罐1501、1502、1503、1504与储罐分开,并且通过将再生的稀溶液1545和再生的浓溶液1535的流引导至相应的储罐1546、1536来操作:稀释物罐1546接收并容纳再生的稀溶液1545,并且浓缩物罐1536接收并容纳再生的浓溶液1535。虽然该图15显示了四个操作罐,但是可将少于或多于四个罐连接至该系统并在分批系统中工作。

[0117] 图16显示了利用蒸气冷凝器1601、压缩机或热泵1602和蒸发器1603生产水的方法。制冷剂1612循环通过蒸气冷凝器1601、热泵1602以及蒸发器1603。如所示,蒸发器1603去除来自环境空气的水蒸气,释放出水和比进入的环境空气更冷且更干燥的空气。冷凝器释放潜热,该潜热可用于本文中公开的盐度梯度能系统1610。例如,该系统可用于家庭或其他建筑中,以对环境空气除湿(或从环境空气抽出水),并任选地产生热量,该热量可由RED/PRO电池转化为电。

[0118] 图17并入图16的系统作为产生热水罐1620和冷水罐1625的方法,其可用于温热和冷却本文中公开的盐度梯度热机(engine heat)系统1610中使用的溶液;任选地包括再生系统(例如图8-15中所示的任何那些)。蒸发器1603冷却水以制成冷罐1625,而冷凝器1601加热水以制成热罐1620。传热介质1613(例如,水、乙二醇、油、制冷剂)在封闭回路中从冷罐1625流动通过盐度梯度发动机系统1610,并且传热介质1614在封闭回路中从热罐1620流动通过盐度梯度热机系统1610。虽然是任选的,但将散热器1640示出并用于吸收或消散来自系统的过量的热量。如果系统产生比所需更多的热量,则可将其传递至散热器,该散热器例如可将热量1631释放到大气中。虽然是任选的,但显示了向系统中提供热能或热1631的其他热源1630。每个其他热源可为本领域已知的任何手段,例如但不限于热交换器、工业蒸汽、暖气片、环境、盘管、对流。

[0119] 本文中公开的盐度梯度系统可产生水(本文中也称为大气水生成)。大气水生成是使用多种技术,例如冷凝、吸附和冷却从空气提取水的工艺。大气水生成的概念是基于这样的事实,即使在干旱和沙漠地区,大气环境也含有显著量的水蒸气。当这与RED/PRO电池、热泵和封闭回路工艺相结合时,可产生能量和水。

[0120] 大气水生成的一种手段是通过冷凝,其涉及使空气冷却到露点/冷凝温度以下的温度,使得空气中的水蒸气冷凝成液态水。该方法通常用于热力循环,例如除湿机和热泵。该过程取决于空气的温度和湿度,这是本领域的普通技术人员容易理解的,例如,通过查阅焓湿图(psychometric chart)。

[0121] 大气水生成的另一手段是通过吸附,其使用干燥剂材料例如硅胶、或沸石从空气吸收水分。一旦干燥剂材料已吸收水分并任选地变得饱和,就可将其加热以释放水,可将该水收集并使用。以类似的方式,液体干燥剂是对于水分子具有高亲和力的物质,可用于从空气去除水分,这可称为液体干燥剂除湿工艺。该方法可包括:使空气(任选地具有中至高的湿度含量,例如,超过约30%;不干燥或不干旱)经过涂覆有液体干燥剂的表面上,该液体干燥剂从空气吸收水分。当吸收的水从液体干燥剂去除时,其可再生到其原始状态。本领域已知的任何固体干燥剂材料或液体干燥剂都可在本文中使用。

[0122] 液体干燥剂除湿工艺可为闭环系统,该闭环系统包括两个单独的空气处理单元:一个单元用于除湿(也称为调节器),而另一个单元用于再生(也称为发生器)。除湿单元典

型地由吸收器组成,其中将液体干燥剂喷涂或涂覆到表面上,并且风扇或鼓风机使湿空气在表面上循环。当空气经过表面时,液体干燥剂从空气吸收水分,留下干燥的空气排放到受调节的空间中。

[0123] 再生系统可包括含有使用过的液体干燥剂的单独容器,以及热源(在这种情况下为热泵)。在该实施方式中,所吸收的水分通过称为再生的工艺从液体干燥剂去除,其中将热量施加到液体干燥剂以驱除吸收的水。去除的水蒸气可经由热泵冷凝以产生水(在添加过滤(例如,反渗透或用于本领域中的任何其他已知系统)的情况下,可为饮用水),或者可将其添加至稀溶液以增加RED/PRO电池的盐度梯度。该产生的水可另外或替代地用于生成氢气,因为其可用作用于电解和/或RED的进料。

[0124] 典型地,大气水生成是高度能量密集型的,因为其对抗水蒸发的潜热来生成水。与封闭回路盐度梯度发动机系统例如RED相结合,可将该潜热可利用并转化为氢气和/或电,而不是排放到大气中。液体干燥剂除湿工艺的一些优点包括其在炎热和潮湿气候下从低湿度水平提取水的能力,以及其使用废热、太阳能和/或热泵进行再生的能力。单独使用热泵来冷凝来自干燥炎热气候地区的水蒸气将远比将干燥剂与热泵结合使用要困难得多。液体干燥剂除湿工艺与热泵和盐度梯度发动机系统的组合即使在非常干燥和炎热的气候下也允许产生大量的水和能量。

[0125] 图18是使用液体干燥剂除湿工艺的大气水生成的实例。在该实例中,将水从空气抽出并且被调节器1812内的干燥剂吸收。将使用过的(弱化的)干燥剂1820转移至发生器1811,其中干燥剂通过水的蒸发而再生,从而再生强干燥剂1821,将该强干燥剂重新引导回到调节器1812。采用热泵1882以在弱化干燥剂料流1820与再生的强干燥剂料流1821之间传递热量。可将从发生器1811去除的蒸气1884引导至蒸气冷凝器1815,在此将其冷却和液化以制成用于任何目的的水1885,包括可饮用水(应用过滤系统)。

[0126] 图18利用产生热水罐1813和冷水罐1814的方法,该热水罐1813和冷水罐1814可用于温热和冷却用于本文中公开的盐度梯度热机系统1810中的溶液(例如,水);任选地包括再生系统(例如图8-15中所示那些的任一)。热交换器1884冷却水以制成冷罐1814,而热交换器1883加热水以制成热罐1813。传热介质1816(例如,水、乙二醇、油、制冷剂)在封闭回路中从热交换器1883、1884流入热泵1802。可并入一个或多个散热器和其他热源,以向热罐1813或冷罐1814中的一者或两者提供加热或冷却。热罐1813在封闭回路中向发生器1811以及盐梯度热机系统1810提供热水作为热供应料流1830,该热供应料流在较低温度下作为料流1831返回热罐1813。冷罐1814在封闭回路中向蒸气冷凝器1815、调节器1812以及盐梯度热机系统1810提供冷水作为冷供应料流1832,该冷供应料流在较高温度下作为料流1833返回冷罐1814。

[0127] 本文中公开的盐度梯度系统可包括正向渗透(FO)作为从RED/PRO电池再生废稀溶液和废浓溶液的手段,即,再生系统。在正向渗透系统中,进料溶液(例如废浓溶液)可放置于半透膜的一侧,并且汲取溶液可放置于半透膜的另一侧。汲取溶液可为具有比进料溶液更高的渗透压的任何溶液;其可包括不同的盐、合成盐,或者其可与进料溶液基本上相同,但浓度更高。产生盐梯度以将水从废浓溶液中抽出,然后通过并入汲取溶液的可切换溶解度系统再生。由汲取溶液产生的渗透压梯度从进料溶液抽出水分子穿过膜,同时将盐和其他污染物留在具有进料溶液的一侧。这允许浓溶液的再生,可将该浓溶液引导回到RED/PRO

电池中。用于FO系统的膜可为可用于PRO电池的任何膜。然而,对于FO,膜不必设计成能承受像PRO膜那样高的压力。

[0128] 正向渗透系统可并入可切换溶解度系统,该系统利用汲取溶液以及二氧化碳(CO_2)与水之间的可逆反应来产生具有可切换溶解度性质的溶液。这些可切换溶解度溶液能够在疏水形式与亲水形式之间切换。制备可切换溶解度溶液的方法可包括:使胺溶解在水中,并产生具有特定pH水平的溶液。例如,胺可为1-环己基哌啶、N-甲基二丙基胺、4-(二乙基氨基)丁酸乙酯、N,N-二甲基苯乙胺、N,N-二乙基丁胺等。如本文中提及的,汲取溶液是具有高渗透压或浓度以将水跨越半透膜抽出的溶液。因此,可切换溶解度溶液可为正向渗透系统中的汲取溶液。当将CO_2引入到可切换溶解度溶液中时,其与胺反应形成盐,这引起溶液的pH下降。这种pH的变化引起胺的溶解度改变,使其易溶或难溶于水中。因此,胺的溶解度可由CO_2的存在而改变,并且通过施加热量来逆转。具体地,在低pH下(例如,低于约7、或在7至1之间),胺变得易溶于溶液中。相反,当pH较高时(例如,高于7),胺变得难溶于水,并且很难溶解于溶液中。CO_2的溶解度是温度依赖性的。随着温度增加,CO_2溶解度降低,并且允许水和CO_2从胺溶液分离出来。一旦去除水,将溶液冷却以增加CO_2溶解度,以允许胺完全溶解并增加溶解度。

[0129] 使用如上所述的可切换溶解度系统允许汲取溶液再生,同时还利用热泵的功率,该热泵可同时提供加热和冷却。当汲取溶液的溶解度降低时,可将水分离并送出,并与来自RED/PRO电池的废稀溶液混合。通过去除水,这使用于正向渗透系统中的汲取溶液浓缩和再生,从而再生来自RED/PRO电池的废浓溶液。

[0130] 当盐度梯度发动机系统在工业设施例如发电厂附近操作时,其可提供多种益处。发电厂在该过程中产生过量的废热并释放CO_2作为不希望的副产物。该工业CO_2可用于本文中公开的正向渗透系统中,以控制汲取溶液的溶解度。

[0131] 在图19中,该再生系统使废稀溶液1940在封闭回路中从RED或PRO电池1910循环通过稀释物罐1946,在此添加水1970以制成再生的稀溶液1945,将该再生的稀溶液引导回到RED或PRO电池1910。废浓溶液1930也在封闭回路中从RED或PRO电池1910循环通过正向渗透系统1980,以制成再生的浓溶液1935,将该再生的浓溶液引导回到RED或PRO电池1910。还描绘了可切换溶解度系统1920。使汲取溶液1955循环通过正向渗透系统1980并用于操作系统,产生废汲取溶液1950。在回收装置1960中,将热量1992添加到废汲取溶液1950并且释放CO_2,使得废汲取溶液的溶解度下降,并且可将水1970分离并倾析。当将CO_2添加回发生器1965中的系统中时,汲取溶液中溶质的溶解度增加(例如,盐可重新溶解于溶液中;其应当被浓缩以使得渗透压高)。为了增加CO_2的溶解度,将溶液冷却(从系统中排除热能1991)。

[0132] 应理解,本文中公开的各个方面可以与说明书和附图中具体呈现的组合不同的组合来组合。还应理解,根据实例,本文中描述的任何工艺或方法的一些动作或事件可以不同的顺序实施,可被添加、合并、或一起省去(例如,所有描述的动作或事件对于实现该技术可能并非必须的)。另外,虽然为了清楚起见,本公开内容的一些方面被描述为由单个模块或单元实施,但应理解,本公开内容的技术可由与例如RED电池、PRO系统、CAP系统、氢生成子系统、盐沉淀子系统、蒸发子系统等相关联的单元或模块的组合来实施。

[0133] 在一个或多个实例中,所描述的技术可以硬件、软件、固件、或其任意组合来实现。如果以软件实现,则功能可作为一个或多个指令或代码存储在计算机可读介质上,并且由

基于硬件的处理单元执行。计算机可读介质可包括非暂态计算机可读介质,其对应于有形介质例如数据存储介质(例如,RAM、ROM、EEPROM、闪存、或可用于存储指令或数据结构形式的期望程序代码并可由计算机访问的任何其他介质)。

[0134] 指令可由一个或多个处理器执行,如一个或多个数字信号处理器(DSP)、通用微处理器、专用集成电路(ASIC)、现场可编程逻辑阵列(FPGA)、或其他等效的集成或分立的逻辑电路。因此,如本文中使用的,术语"处理器"可指任何前述结构或者适合用于实现所描述技术的任何其他物理结构。而且,这些技术可在一个或多个电路或逻辑元件中完全实现。

[0135] 图7示出了可用于含有或实现程序指令的示例性硬件。总线710充当互连硬件的其他示出的组件的主要信息通路(highway)。中央处理单元(CPU)705是系统的中央处理单元,实施执行程序所需的计算和逻辑操作。单独的或与图7中公开的一个或多个其他元件相结合的CPU 705是处理器(像这样的术语在本公开内容中使用)的实例。只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM)构成非暂态计算机可读存储介质720、存储装置或数据存储(像这样的术语在本公开内容中使用的)的实例。

[0136] 用于提供接口并实施与一个或多个数据集相关联的任何查询或分析的程序指令、软件或交互模块可存储在存储装置720中。任选地,程序指令可存储在有形非暂态计算机可读介质上,例如光盘、数字盘、闪存、存储卡、通用串行总线(USB)驱动器、光盘存储介质和/或其他记录介质。

[0137] 可选的显示接口730可允许来自总线710的信息以音频、视频、图形或字母数字格式显示在显示器735上。与外部装置的通信可使用多种通信端口740进行。通信端口740可连接至通信网络,例如互联网或内联网。

[0138] 硬件可进一步包括接口745,其允许从输入装置例如键盘750或其他输入装置755例如触摸屏、遥控器、定点装置、视频输入装置和/或音频输入装置接收数据。

[0139] 将理解,各种以上所公开的和其他特征和功能、或其替代方案可理想地组合到许多其他不同的系统或应用或系统和应用的组合中。而且,本领域的技术人员随后可在其中作出多种目前未预见或未预料到的替代、修改、变型或改进,这些也意图被以下权利要求所涵盖。

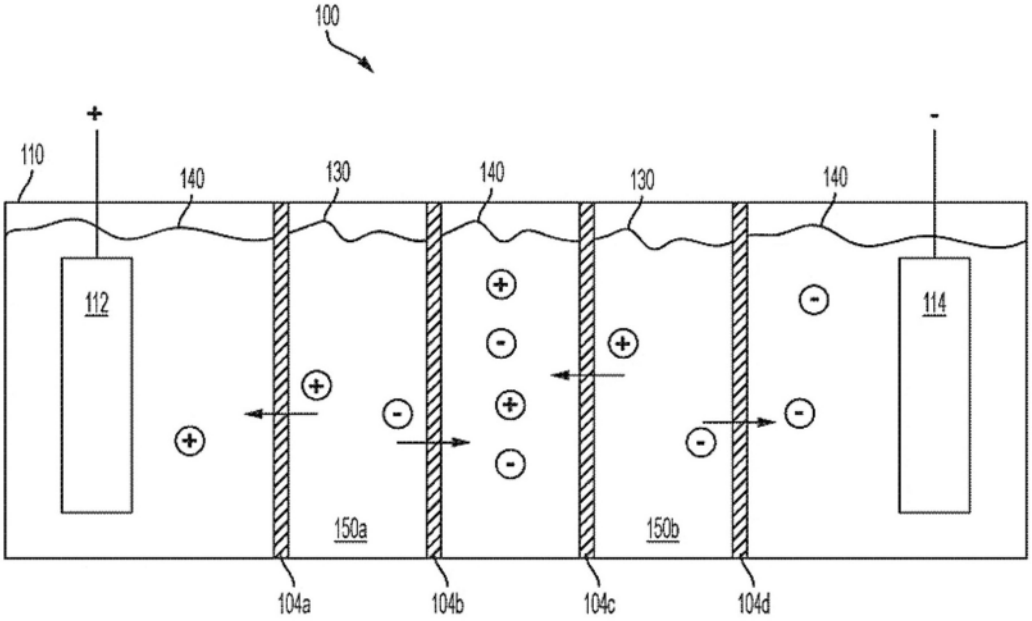

100
+
-
110
140
130
140
130
140
112
114
150a
150b
104a
104b
104c
104d

图1

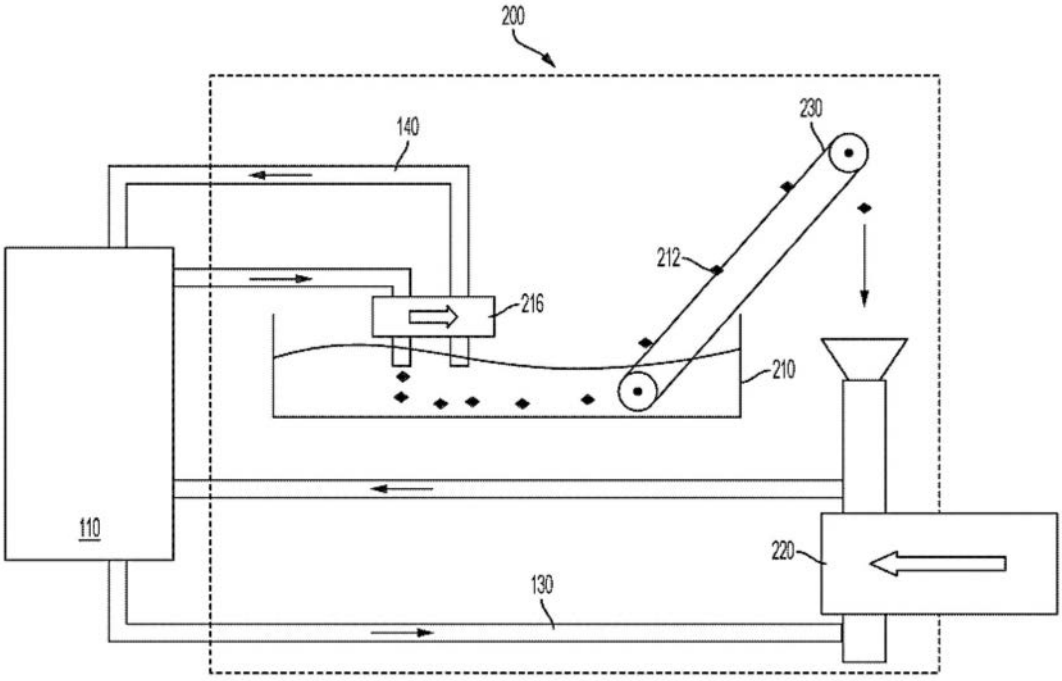

200
140
230
212
216
210
110
220
130

图2

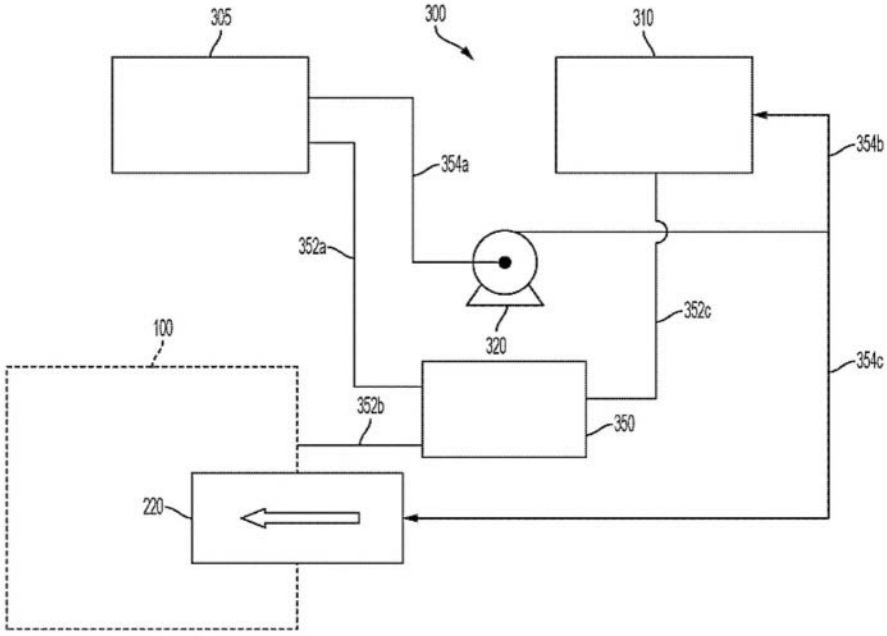

305
300
310
354a
354b
352a
320
352c
100
354c
352b
350
220

图3

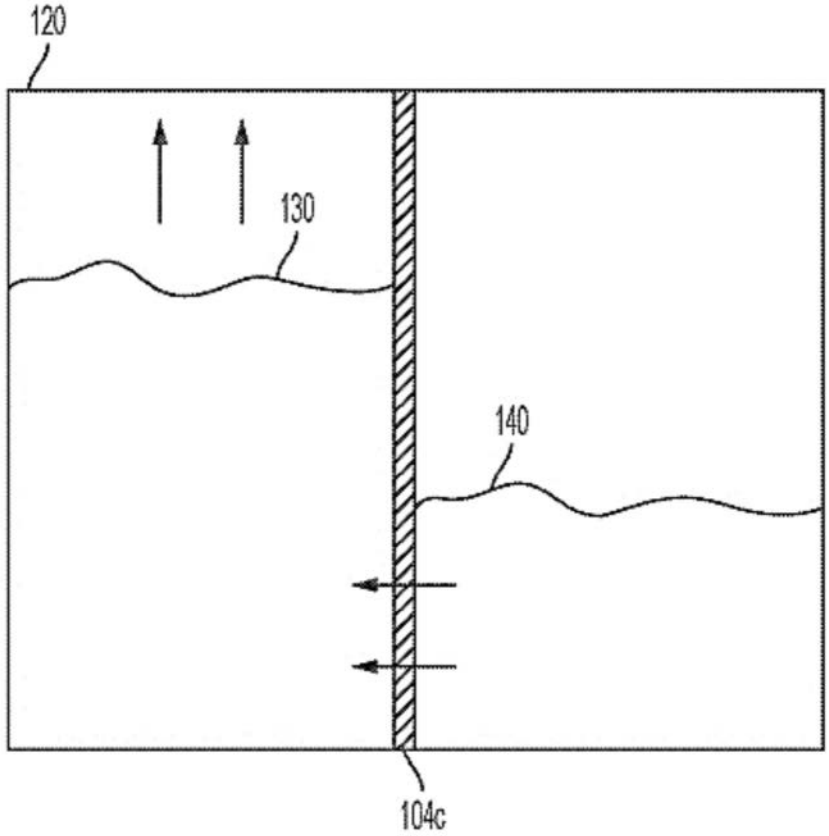

120
130
140
104c

图4

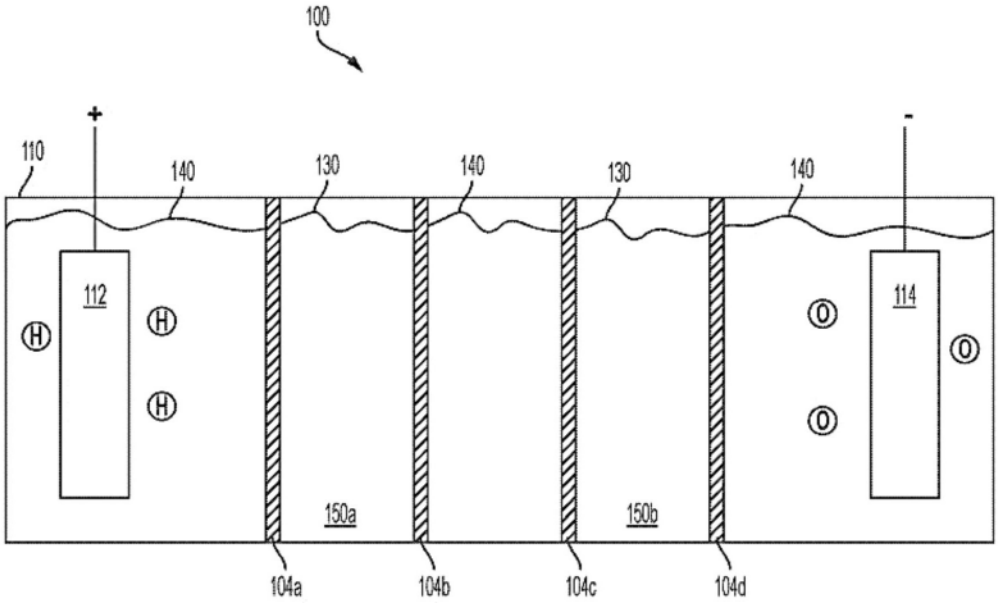

100
+
-
110
140
130
140
130
140
112
114
H
H
H
O
O
O
150a
150b
104a
104b
104c
104d

图5

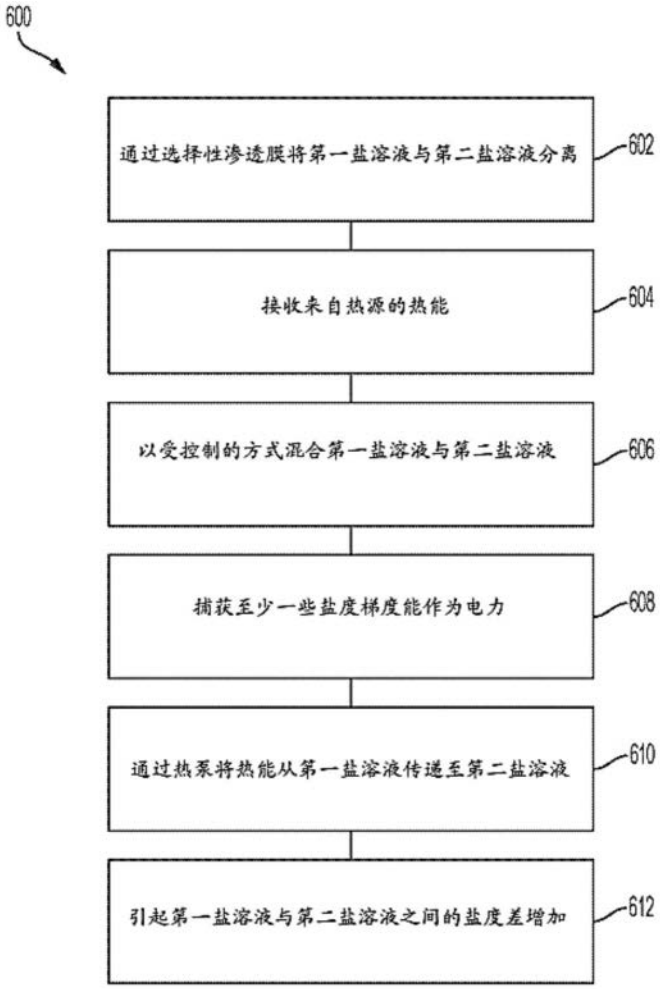

600
通过选择性渗透膜将第一盐溶液与第二盐溶液分离
602
接收来自热源的热能
604
以受控制的方式混合第一盐溶液与第二盐溶液
606
捕获至少一些盐度梯度能作为电力
608
通过热泵将热能从第一盐溶液传递至第二盐溶液
610
引起第一盐溶液与第二盐溶液之间的盐度差增加
612

图6

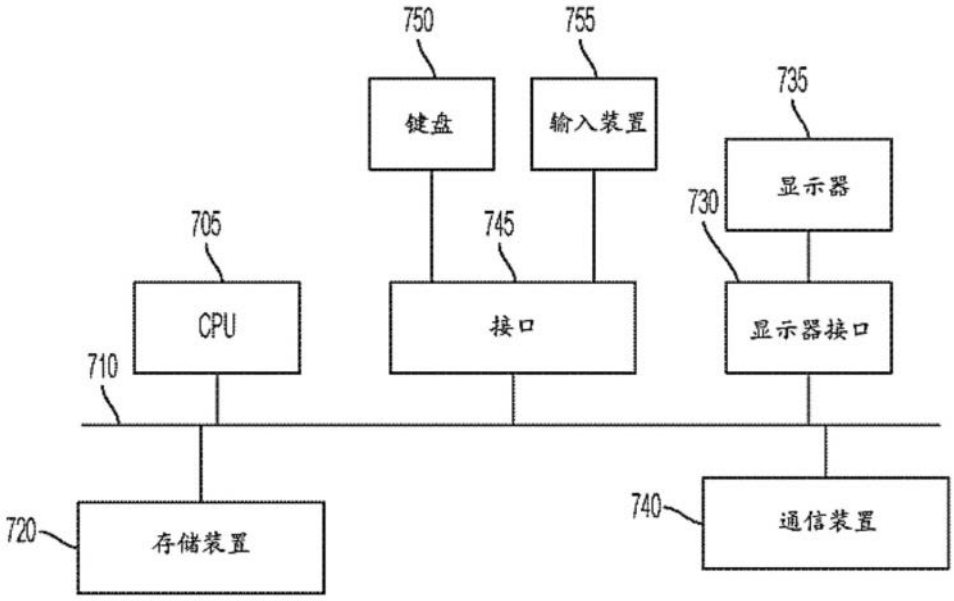

750
755
735
键盘
输入装置
显示器
730
705
745
CPU
接口
显示器接口
710
720
存储装置
740
通信装置

图7

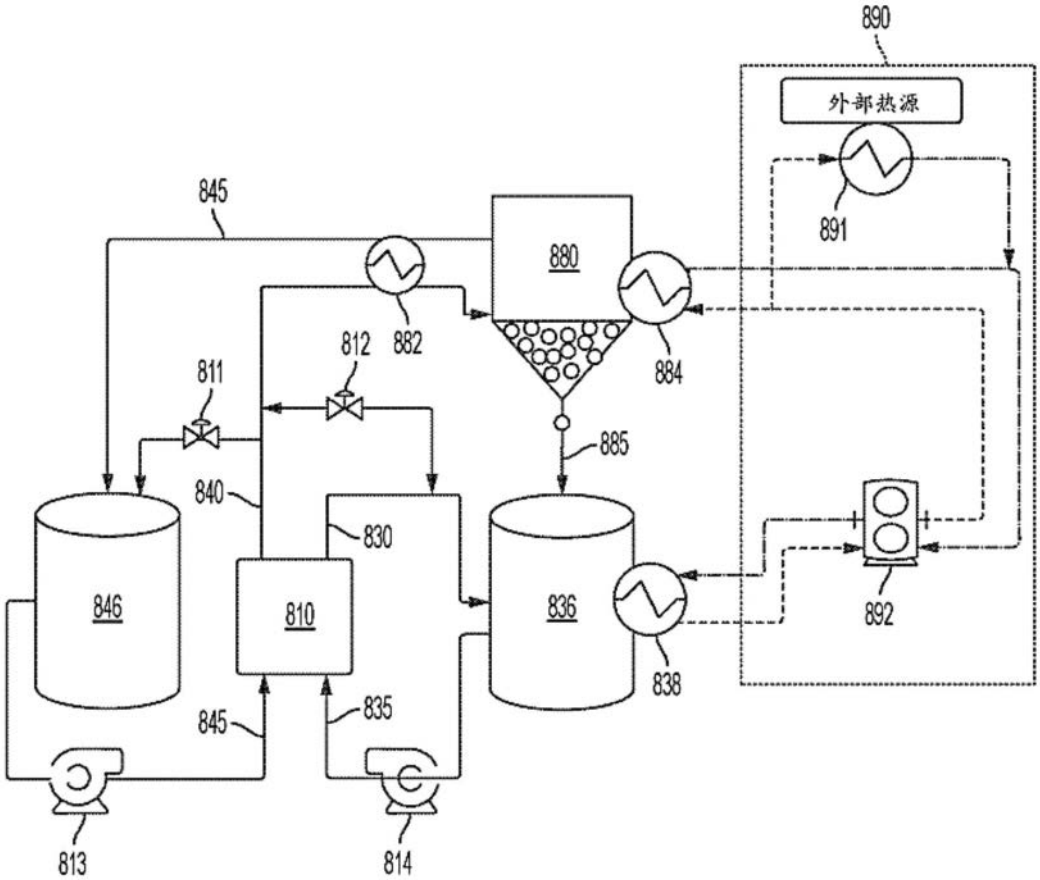

890
外部热源
891
845
880
882
884
812
811
885
840
830
846
810
836
892
838
845
835
813
814

图8

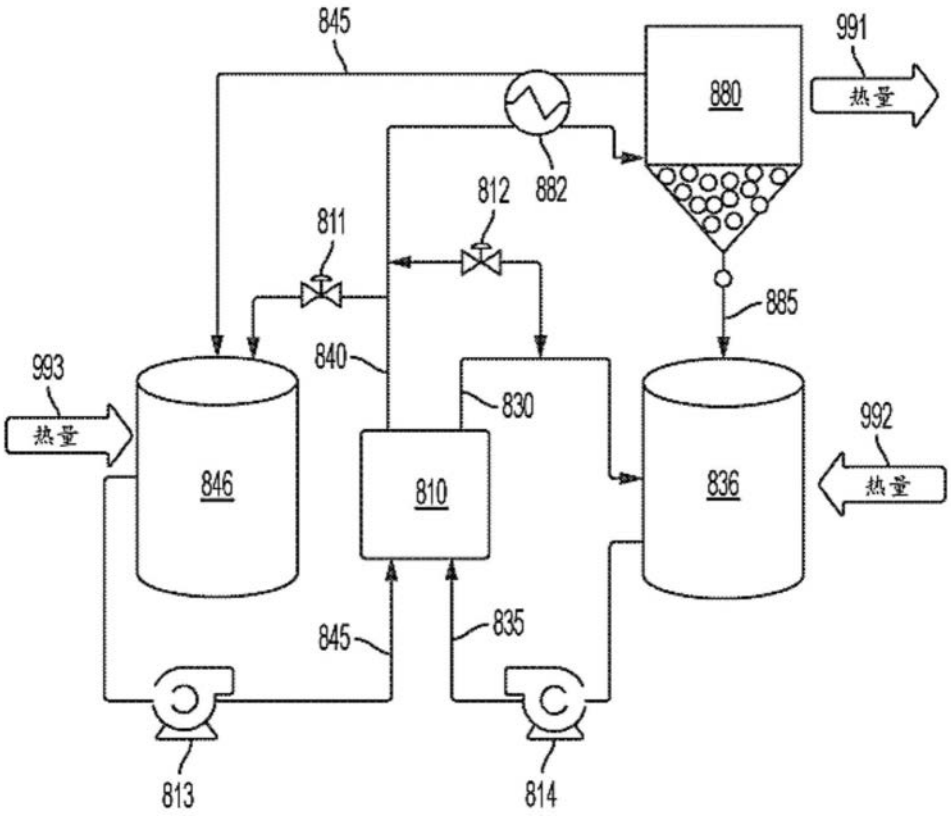

845
991
880
热量
882
812
811
885
840
830
993
热量
846
810
836
992
热量
845
835
813
814

图9

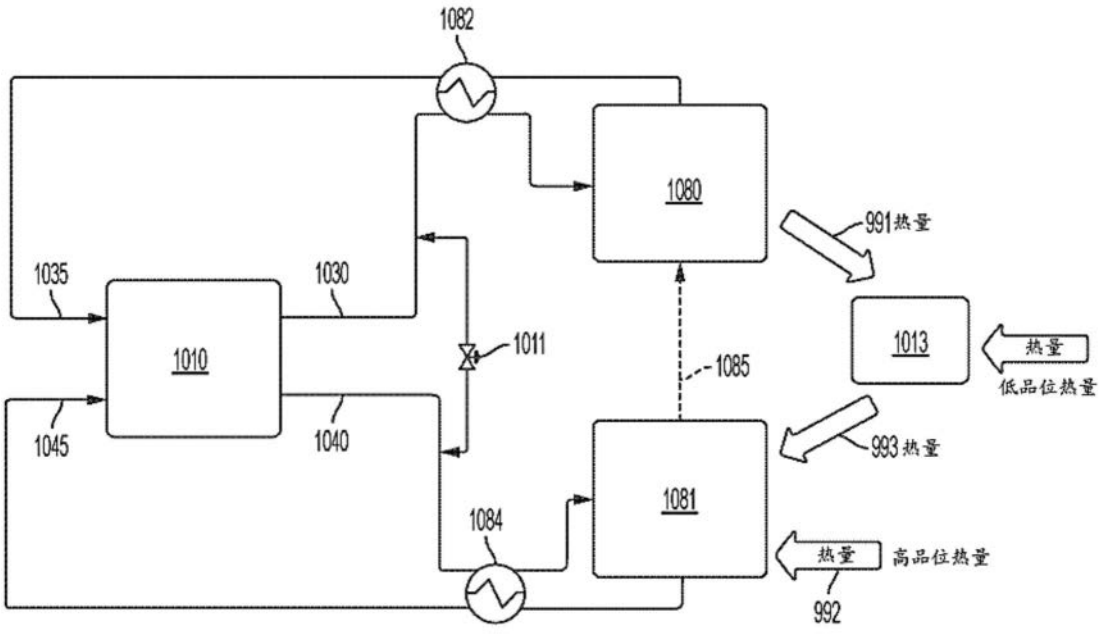

1082
1080
991热量
1035
1030
1013
热量
低品位热量
1010
1011
1085
1045
1040
993热量
1081
1084
热量
高品位热量
992

图10

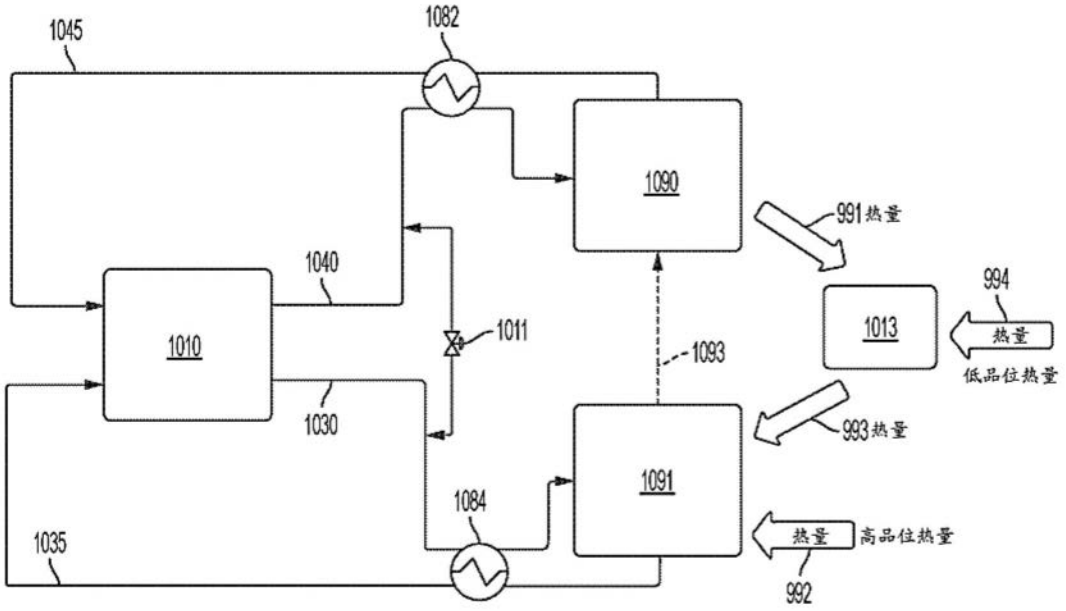

1045
1082
1090
991热量
1040
1010
1011
1093
1013
994
热量
低品位热量
1030
993热量
1091
1084
1035
热量
高品位热量
992

图11

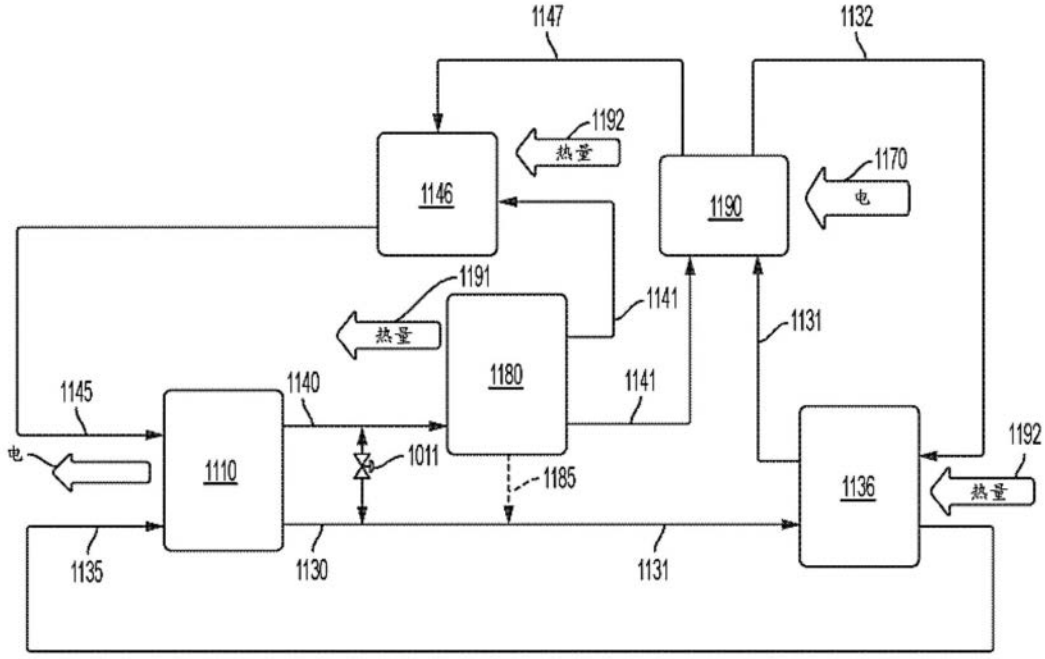

1147
1132
1192
热量
1146
1190
1170
电
1191
热量
1141
1131
1180
1145
1140
1141
电
1110
1011
1185
1136
1192
热量
1135
1130
1131

图12

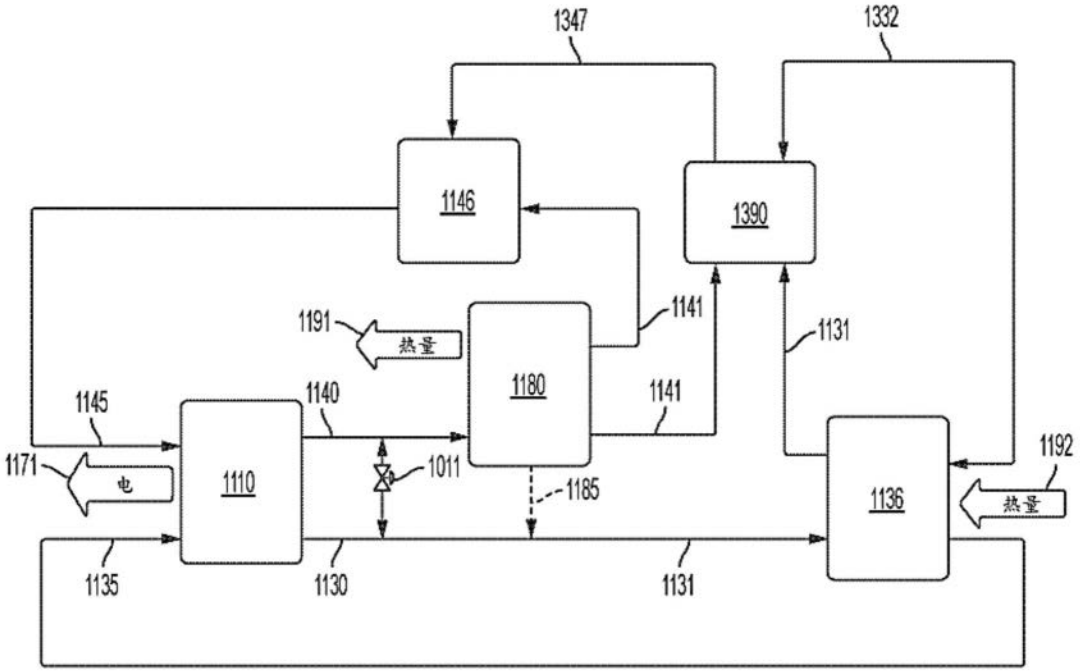

1347
1332
1146
1390
1191
热量
1180
1141
1131
1145
1140
1141
1171
电
1110
1011
1185
1136
1192
热量
1135
1130
1131

图13

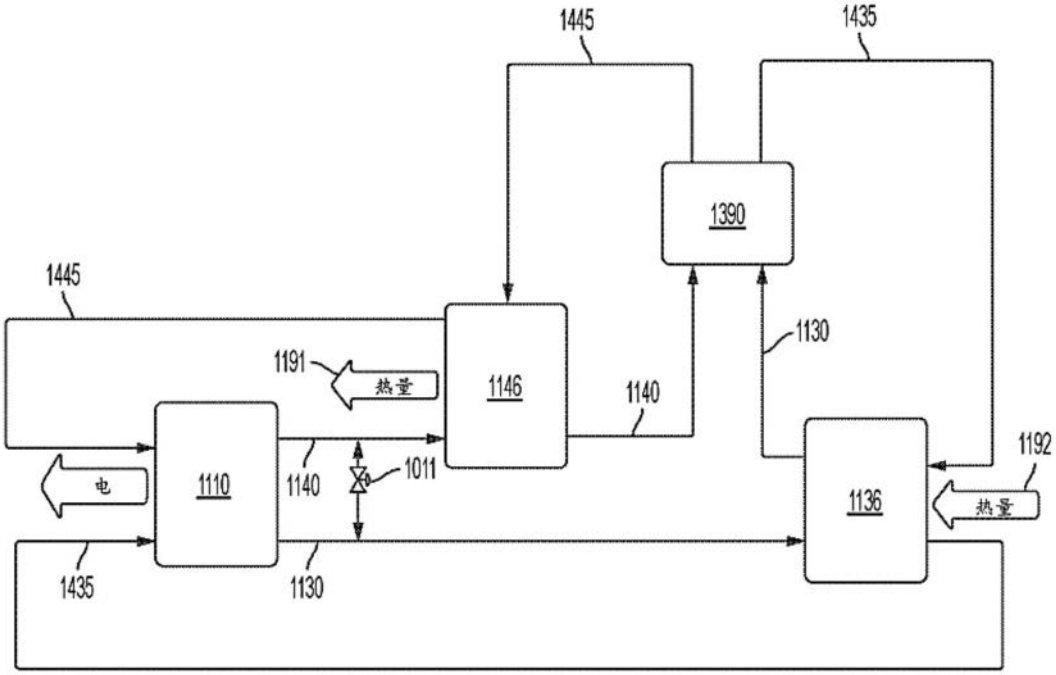

1445
1435
1390
1445
1130
1191
热量
1146
1140
电
1110
1140
1011
1136
1192
热量
1435
1130

图14

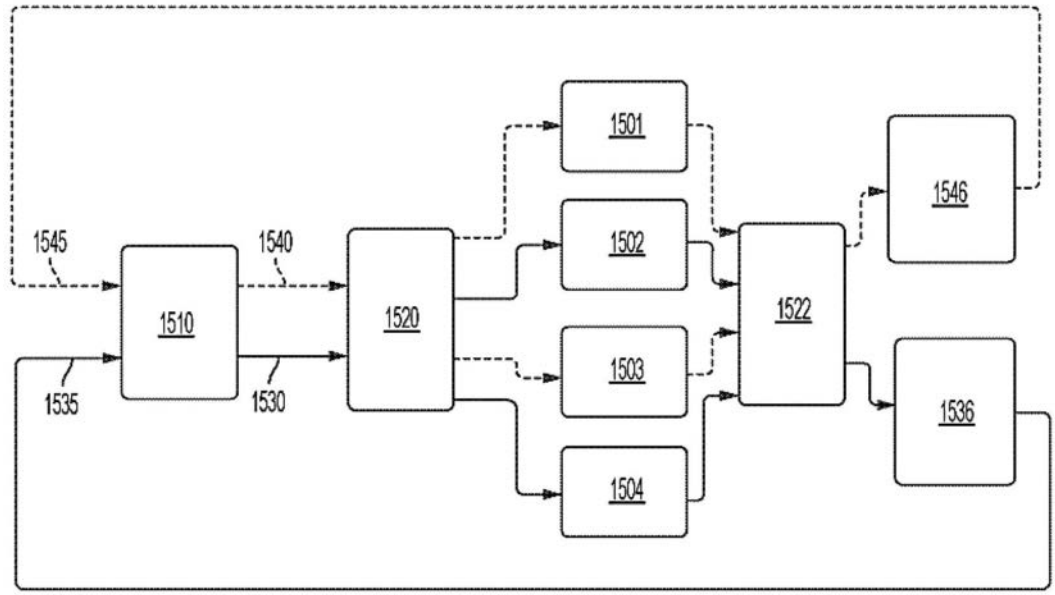

1501
1502
1503
1504
1545
1540
1510
1520
1522
1546
1536
1535
1530

图15

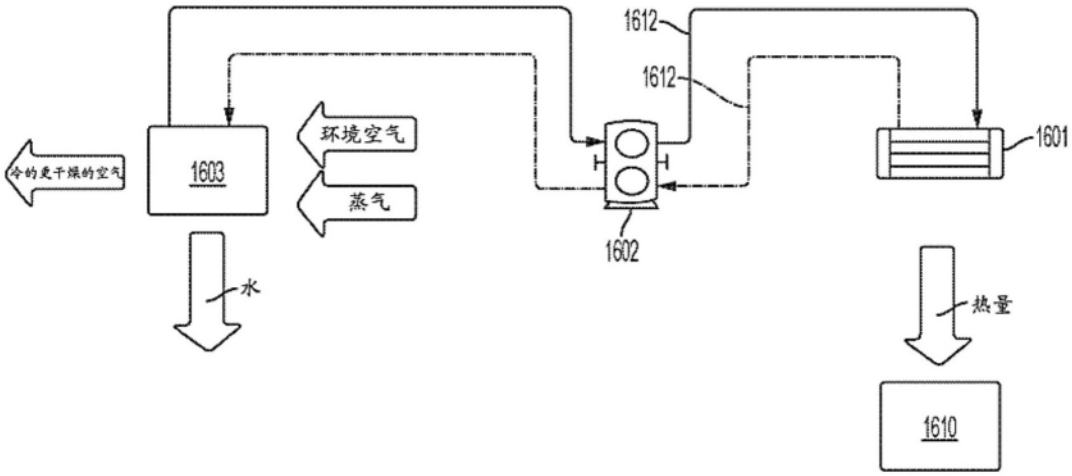

1612
1612
1601
环境空气
蒸气
1603
1602
水
热量
1610

图16

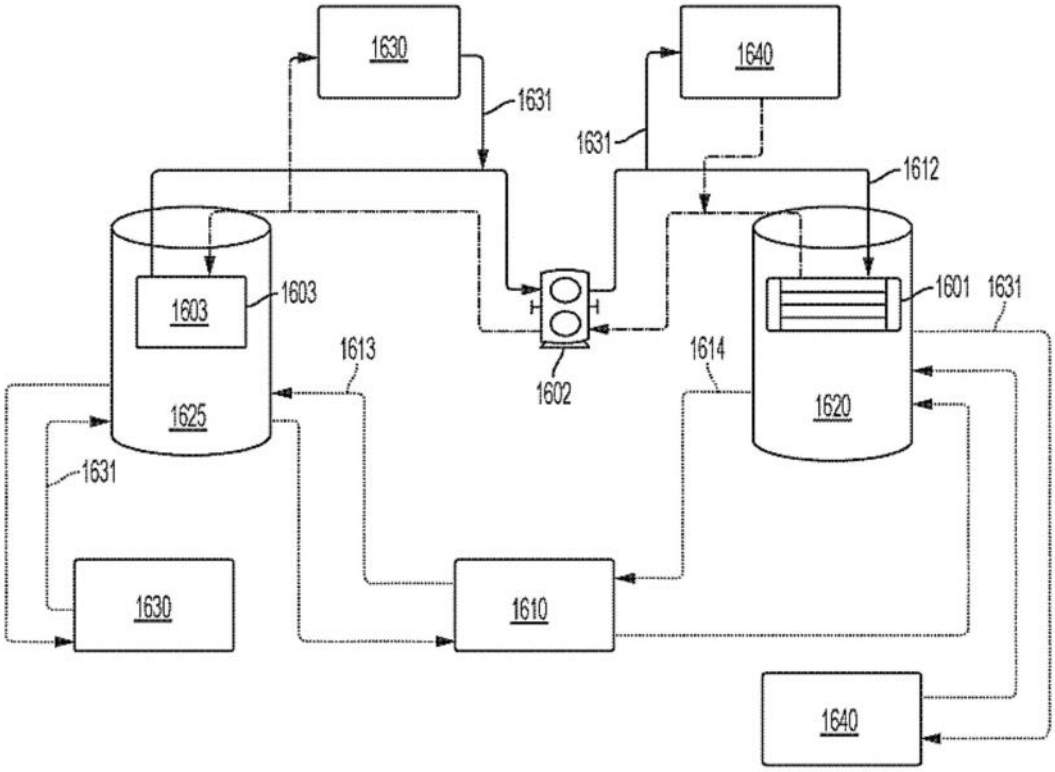

1630
1631
1640
1631
1612
1603
1603
1601
1631
1602
1613
1614
1625
1620
1631
1630
1610
1640

图17

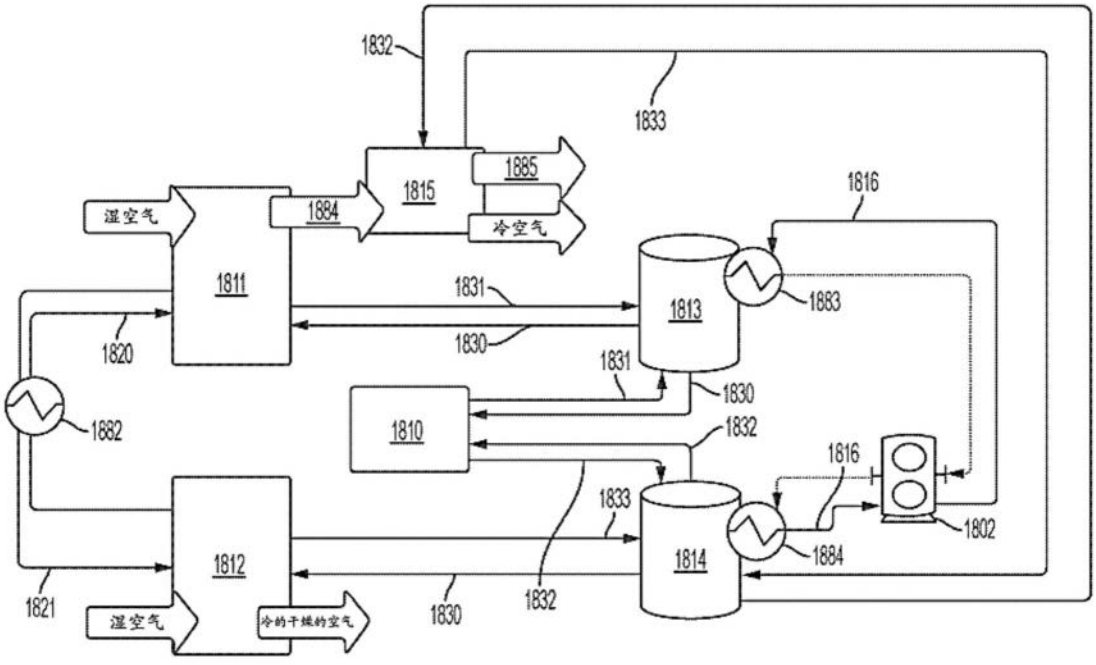

1832
1833
1815
1885
1816
湿空气
1884
冷空气
1811
1831
1813
1883
1820
1830
1831
1882
1830
1810
1832
1816
1833
1802
1812
1814
1884
1821
湿空气
冷的干燥的空气
1830
1832

图18

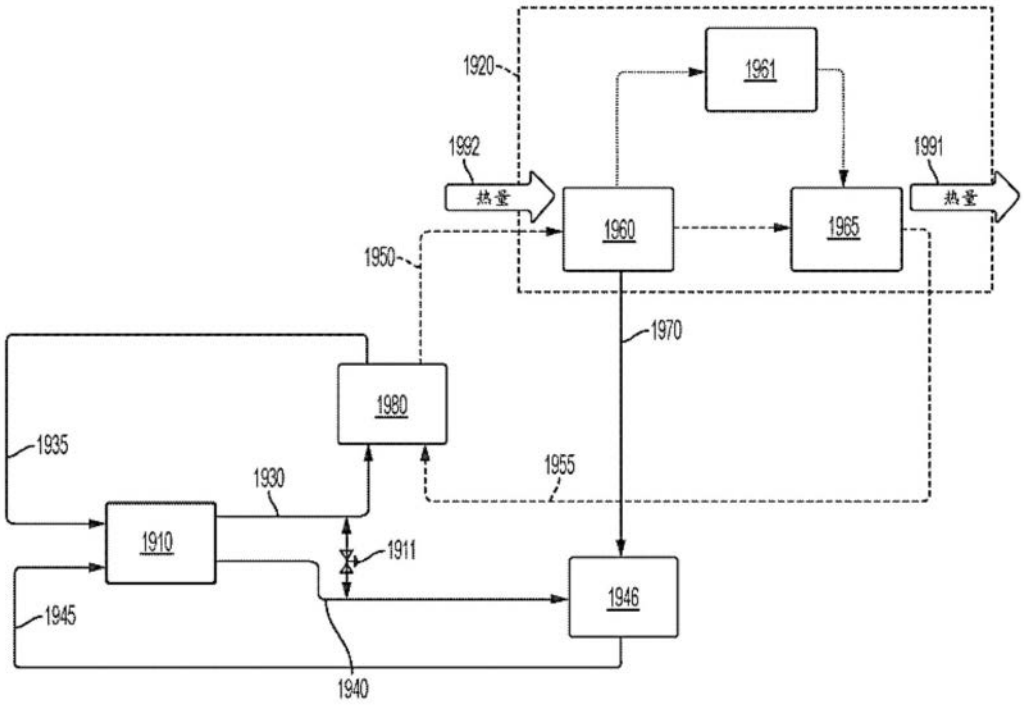

1920
1961
1992
热量
1991
热量
1960
1965
1950
1970
1980
1935
1930
1955
1910
1911
1946
1945
1940

图19