



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115264989 A

(43) 申请公布日 2022.11.01

(21) 申请号 202210926047.5

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2015.01.09

F25B 17/08 (2006.01)

(30) 优先权数据

F25B 35/04 (2006.01)

IN:81/DEL/2014 2014.01.10 IN

(62) 分案原申请数据

201580011096.4 2015.01.09

(71) 申请人 百瑞空气工程(亚洲)有限公司

地址 印度德里

(72) 发明人 D·帕赫瓦 B·B·萨哈

A·K·乔杜里 R·萨克德夫

K·S·马立克 K·桑

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理

有限公司 11280

专利代理人 王勇

权利要求书3页 说明书14页 附图16页

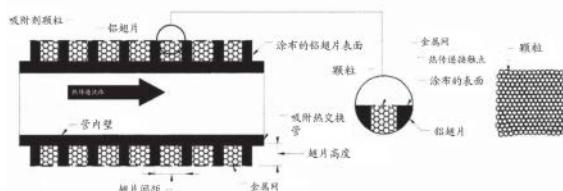
(54) 发明名称

混合吸附热交换装置和制造方法

(57) 摘要

本发明公开了混合吸附热交换装置和制造方法。本发明提供一种混合吸附热交换装置，包括：至少一个管状或微通道结构，用于传送热传递流体；所述结构的外表面在至少两个位置设置有延伸部；所述延伸部在其间形成床以用于设置一种或多种吸附材料；吸附材料的涂层被设置在所述延伸部的至少一部分上。

涂布有吸附剂和填充有吸附剂颗粒的吸附床热交换器



1. 一种混合吸附热交换装置,包括:  
至少一个管状或微通道结构,用于传送热传递流体;  
所述结构的外表面在至少两个位置设置有延伸部;  
所述延伸部在其之间形成床以用于设置一种或多种吸附材料;  
吸附材料的涂层被设置在所述延伸部的至少一部分上,  
其中,填充吸附床的所述吸附材料包括吸附剂颗粒,或者涂布或沉积或浸渍或原位生成吸附剂的板。
2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述延伸部沿着所述管状或微通道结构的全部长度纵向延伸。
3. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述延伸部围绕所述管状或微通道结构在圆周上延伸。
4. 根据权利要求1-3所述的装置,其中,每个延伸部的高度沿着其整个长度保持一致。
5. 根据权利要求1-4所述的装置,其中,所述管状或微通道结构以及所述延伸部是集成的。
6. 根据权利要求1-4所述的装置,其中,所述延伸部通过外部连接器连接至所述管状或微通道结构。
7. 根据权利要求6所述的装置,其中,所述管状或微通道结构以及所述延伸部由相同的材料制成。
8. 根据权利要求1-7所述的装置,其中,所述管状或微通道结构和/或所述延伸部包括从金属的、基于陶瓷的、基于聚合物或碳的材料选择的热传导材料。
9. 根据权利要求1所述的装置,其中,每个延伸部被涂布有与填充在所述床中的吸附剂相同或不同的吸附剂。
10. 根据权利要求9所述的装置,其中,设置在所述床中的吸附材料单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择:沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、金属有机框架、共价有机框架、以及功能吸附材料等。
11. 根据权利要求10所述的装置,其中,所述吸附材料包括具有3至100埃的范围的孔隙直径的吸附剂颗粒。
12. 根据权利要求10所述的装置,其中,所述吸附材料包括其上涂布或沉积吸附剂的波纹板。
13. 根据权利要求12所述的装置,其中,所述波纹板由从由以下组成的组中选择的热传导材料制成:铝、铜、石墨/膨胀石墨、无机或有机纤维基底或其任意组合。
14. 根据权利要求12和13所述的装置,其中,所述波纹板包括穿孔板。
15. 根据权利要求10-14所述的装置,其中,所述吸附材料包括吸附剂颗粒和涂布或沉积吸附剂的板的组合。
16. 根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述延伸部在利用吸附材料涂布之前在其外表面上是波纹形的。
17. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述延伸部利用单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择的吸附材料来涂布:沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、

硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、金属有机框架、共价有机框架、以及功能吸附材料等。

18. 根据前述权利要求中的任一项所述的装置,其中,所述热传递流体从由以下组成的组中选择:水、低级醇和油等。

19. 根据前述权利要求中的任一项所述的装置,其中,所述吸附材料被设置有单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择的一种或多种填充物:沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、金属有机框架、共价有机框架、以及功能吸附材料等。

20. 根据权利要求19所述的装置,其中,所述填充物是掺杂的填充物,其中,掺杂剂从由以下组成的组中选择:诸如氯化钙、溴化锂、氯化镁、硫酸镁、硝酸钙和氯化锰等的无机金属盐。

21. 根据前述权利要求中的任一项所述的装置,其中,除了所述床中的所述吸附材料以外,从由铜、铝和石墨/膨胀石墨等组成的组中选择的一种或多种添加剂被添加以增强热传导性。

22. 根据前述权利要求中的任一项所述的装置,其中,聚合物网被设置在所述吸附床上。

23. 根据权利要求22所述的装置,其中,所述聚合物网是聚苯胺网。

24. 一种用于制造混合吸附热交换装置的方法,所述方法包括:

-利用吸附剂涂布热传导材料的至少一部分;

-将至少部分涂布的热传导材料转换成用于传送热传递流体的管状结构,并在所述管状结构上设置两个或多个延伸部,所述延伸部与所述涂布的管状结构集成,或至少部分包括涂布吸附剂的热传导材料,所述延伸部在其间形成吸附床;

-将一种或多种吸附材料设置在所述吸附床中,

-其中,填充所述吸附床的所述吸附材料包括吸附剂颗粒,或者涂布或沉积或浸渍或原位生成吸附剂的板。

25. 根据权利要求24所述的方法,其中,每个延伸部涂布有与填充在所述床中的吸附剂相同或不同的吸附剂。

26. 根据权利要求25所述的方法,其中,设置在所述床中的所述吸附材料单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择:沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、金属有机框架、共价有机框架、以及功能吸附材料等。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中,所述吸附材料包括具有3至100埃的范围的孔隙直径的吸附剂颗粒。

28. 根据权利要求26所述的方法,其中,所述吸附材料包括其上涂布或沉积吸附剂的波纹板。

29. 根据权利要求28所述的方法,其中,所述波纹板由从由以下组成的组中选择的热传导材料制成:铝、铜、石墨/膨胀石墨、无机或有机纤维基底或其任意组合。

30. 根据权利要求28和29所述的方法,其中,所述波纹板包括穿孔板。

31. 根据权利要求26-29所述的方法,其中,所述吸附材料包括吸附剂颗粒和涂布或沉积吸附剂的板的组合。

32. 根据前述权利要求24-31中的任一项所述的方法,其中,所述延伸部在利用吸附材料涂布之前在其外表面上是波纹形的。

33. 根据权利要求24所述的方法,其中,所述延伸部利用单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择的吸附材料来涂布:沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、金属有机框架、共价有机框架、以及功能吸附材料等。

34. 根据前述权利要求24-33中的任一项所述的方法装置,其中,所述热传递流体从由以下组成的组中选择:水、低级醇和油等。

35. 根据前述权利要求24-34中的任一项所述的方法,其中,所述吸附材料被设置有单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择的一种或多种填充物:沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、金属有机框架、共价有机框架、以及功能吸附材料等。

36. 根据权利要求35所述的方法,其中,所述填充物是掺杂的填充物,其中,掺杂剂从由以下组成的组中选择:诸如氯化钙、溴化锂、氯化镁、硫酸镁、硝酸钙和氯化锰等无机金属盐。

37. 根据前述权利要求24-36中的任一项所述的方法,其中,除了所述床中的所述吸附材料以外,从由铜、铝、石墨/膨胀石墨组成的组中选择的一种或多种添加剂被添加以增强热传导性。

38. 根据前述权利要求24-37中的任一项所述的方法,其中,聚合物网被设置在所述吸附床上。

39. 根据权利要求38所述的方法,其中,所述聚合物网是聚苯胺网。

40. 根据权利要求24所述的方法,其中,所述吸附床被设置有涂布干燥剂的基底,其中,所述干燥剂被涂布或浸渍或原位生成在所述基底上。

41. 根据权利要求24所述的方法,其中,所述干燥剂经由非掩蔽粘合剂或胶或其组合被附着至所述基底。

42. 一种根据前述权利要求1-23中的任一项所述的装置,应用在需要周期或临时存储诸如水的吸附剂并随后将其释放的环境中。

43. 根据权利要求42所述的装置,吸附制冷机器、冷梁、汽车空气调节单元、家庭集成空气调节单元、以及家庭层阶式空气调节单元等。

## 混合吸附热交换装置和制造方法

[0001] 本申请是2016年8月29日提交的申请号为201580011096.4、发明名称为“混合吸附热交换装置和制造方法”的专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及混合吸附热交换装置，诸如热交换器系统。本发明的系统在吸附物需要被临时地或周期性地存储和释放的环境中是有益的。特别地，本发明涉及用于吸附冷却、热泵和脱盐应用的基于吸附剂的热交换器系统。本发明还提供用于制造这种混合吸附热交换装置的方法、以及这种热交换装置的应用。

### 背景技术

[0003] 环境污染和主要的能量损耗问题的关注需要环境良性的能量守恒技术的快速发展。其中，热供能吸附系统被认为是关键技术之一，因为这些系统可以重新获得和重新使用低温废热源，否则低温废热源将被清除至周围环境。

[0004] 认识到需要替换用于冷却或制冷目的的已有的机械或电驱动的基于蒸汽压缩的系统。这种系统通常使用诸如氢氟碳化物的气体。现在认识到的是，考虑到这些材料对环境的有害影响，需要更换这些材料的使用。

[0005] 用于更换传统的基于蒸汽压缩的系统的机构之一是使用热交换器，其利用吸附床以确保质量传递以及热传递。

[0006] 吸附材料根据它们的性质被分类成物理吸附剂、化学吸附剂、和复合吸附剂。物理吸附剂是具有不同的孔隙大小的材料。该类别的典型是介孔硅酸盐、沸石、金属磷铝、多孔碳和金属有机框架。介孔硅酸盐包括诸如合成无定形硅胶的材料，其由连接至小颗粒的含水 $\text{SiO}_4$ 的刚性的和连续的硅溶胶网组成。多孔碳包括通过利用氧化剂气化炭而获得的活性炭。沸石包括结晶微孔硅酸铝材料，并包括几个范围，诸如HZSM-5、ZSM5、沸石HY等。沸石或基于沸石的材料的优点是它们的使用多样性，以及它们对依赖于使用目的的修改的敏感性。金属有机框架是新一代的材料，其是微孔的，具有高孔隙率、均匀的孔隙大小，并具有良好定义的吸附部位和大的表面面积。这些框架通常包括连接金属中心的有机链。

[0007] 化学吸附剂包括在化学吸附中使用的物质。这些包括诸如氯化钙、氯化钡、氯化锶等的金属氯化物，盐和金属氢化物，诸如氢化锂、氢化钙、共价性质的高聚合的氢化物，和非金属分子氢化物，以及金属氧化物。

[0008] 复合吸附剂包括化学和物理吸附剂的组合，诸如金属氯化物和活性炭纤维、膨胀石墨、硅胶或沸石的组合。复合吸附剂提供增强物理吸附剂性能的优点，而不引起化学吸附剂的诸如膨胀，导电性差或结块的影响。

### 现有技术

[0010] 几种不同的热交换机构已经在该技术中视为传统的基于蒸汽压缩的制冷系统的替换。下面讨论其中一些以供参考。

[0011] 基于两床吸附剂的冷却系统包括分离的热交换器。基本上，该机构包括四个主要

部分,根据操作模式用作吸附器或解吸塔的两个反应器、蒸发器、以及冷凝器。反应器利用吸附材料包装以在吸附或解吸过程期间吸附或解吸吸附物。使用制冷阀来调节介质的流动。

[0012] 两床吸附冷却系统的一个替换是使用集成吸附机构的系统。其通常包括两个单元,其中,每个单元设置有吸附床、蒸发器和冷凝器。该装置中的热交换循环包括两个模式——已知为吸附/蒸发模式的蒸发触发的吸附以及已知为解吸/冷凝模式的解吸引起的冷凝。控制阀被提供来控制二次流体至每个单元的流动。

[0013] 另一替换机构涉及三床吸附系统。该三床吸附系统除了冷凝器和蒸发器以外还包括三个反应器。三床热交换系统能够实现连续的蒸发。该机构具有四个操作模式——预热、解吸、预冷和吸附。

[0014] 多级系统也是可获得的,其用于利用低温热源。这些系统在不适用于两床吸附冷却系统的温度下操作。

[0015] 如上所述,吸附冷却系统可以有效地利用温度通常低于100°C的低级废热或太阳热能,并可以产生有效的冷却能量。热驱动的吸附冷却循环不需要任何电力来驱动该循环,并且它是环境友好的,因为其利用天然制冷剂或基于HFC的制冷剂的替换。此外,该系统需要较小水平的维护并且也免于移动部件。然而,与传统的蒸汽压缩循环相比,低温热供能吸附冷却系统的主要缺点是,其在特定冷却能力和性能系数方面性能差以及相对较大的占地面积。

[0016] 吸附热交换器通常包括热交换器结构,其用于供给和排放热能,并与吸附材料进行热接触,吸附材料使用吸附物工作介质的相变来用于结合和释放潜在热量。通过蒸汽工作介质的凝结来释放热量。相反,经由热交换器结构供给的热能可以用于吸附物的重新蒸发。

[0017] 固体材料主要用于执行吸附物的相变,吸附物是所谓的吸附剂或吸附材料。这种吸附材料的性质是它们的具有高的表面与体积的比的开孔结构。这些材料中的内腔具有分子量级尺寸。吸附材料的效果基于将外来原子和外来分子吸附在它们的微孔结构中,并由此从气相转移至结合状态。在吸附热交换器中使用的吸附材料的示例是粘土,诸如膨润土、硅胶或沸石。水通常用作这些吸附材料的工作介质,因为它具有高冷凝热并且也容易使用。

[0018] 基于吸附的热交换系统利用多孔固体吸附剂通过吸附物蒸汽的吸附和解吸来被驱动。与由机械压缩机驱动的传统的蒸汽压缩冷却系统相比,不需要电能来驱动吸附循环。基本循环涉及吸附阶段和解吸阶段。在吸附阶段中,制冷蒸汽由吸附物质吸附,导致热量的释放。在解吸阶段中,将热量施加至吸附剂,导致制冷剂的解吸。在这些过程期间传递的热量通过热交换器在吸附剂和热传送流体(例如,水或甲醇或水-乙二醇混合物)或外部环境之间传送。吸附和解吸过程结合蒸发器/冷凝器中制冷剂的蒸发和冷凝而发生。气态制冷剂的吸附降低了蒸汽压力,促进了蒸发器中液态制冷剂的蒸发。在该蒸发期间,从要冷却的环境提取热量,从而导致制冷。通过经由热交换器将热量供给至吸附剂,所吸附的制冷剂被释放至气相,由此重新生成用于下一吸附循环的吸附材料。所产生的气态吸附物传递至冷凝器,在冷凝器处,发生至环境的热排放。如在传统的蒸汽压缩冷却中,液态制冷剂经由控制装置(例如,膨胀阀)被传递回至蒸发器,并且然后可以重复循环。

[0019] 当吸附热交换器被供给来自外部的热能时,例如,通过使载热流体流动通过其中,

从外部流入的热量需要被有效地传送至多孔吸附材料以释放位于其中的吸附工作介质。在相反情况下,热能的释放,其意味着从吸附热交换器离开的能量流动方向,由于工作介质在多孔吸附材料上的冷凝而释放的热能需要从吸附热交换器传输至外部。由于已知的多孔吸附材料示出相反的热传导性,因而吸附热交换器通常被制造为具有高热传导性的热交换器结构以及用于结合和释放工作介质的多孔吸附材料的组合。热交换器结构主要由诸如铜、铝或不锈钢的金属材料以及诸如陶瓷材料、碳材料、碳纤维增强塑料(CFRP)材料和某些塑料材料的具有高热传导性的其他材料组成。

[0020] 热交换器包括用于利用载热介质实现直接流动的腔,载热介质通常不与吸附材料直接接触。热交换器结构与吸附材料进行热接触。在最简单的情况下,这以块状材料的形式发生,其中吸附材料主要以粉末的形式或以小球的形式与粘合剂混合而存在。

[0021] 已经提出将热供能的吸附制冷机用于空间冷却应用。这些制冷机实际上没有移动部件,除了将吸附床单独地连接至蒸发器和冷凝器的制冷阀的开/关操作以外。因此,这些系统是高度可靠的并几乎不需要维护。吸附制冷机也能够被小型化,由于制冷剂至固态多孔吸附剂的吸附以及制冷剂从固态多孔吸附剂的解吸主要是表面处理,而不是体积处理。

[0022] 如所看到的,以上几个方法在本领域中被视为用于热交换机构。下面简要地论述一些参考。

[0023] 美国专利8,053,032说明了用于制造热交换器基底的方法,其中,沸石层通过直接结晶被沉积/制作在基底表面上。然而,在该专利中对于任何混合技术没有引用或教导。

[0024] 美国专利8,590,153公开了吸附热交换器,其中,粘合剂层/涂层被形成在热交换器结构上,并且交换器之后被浸入到吸附材料中以确保其粘附。涂布的方法主要包括使用成品制造的热交换器,其之后通过浸渍的过程涂布有吸附材料。应理解,该方法可以具有涂层厚度的不均匀性的限制,多孔固态材料在特定部分中的凝聚导致不均匀的涂层,由此不利地影响自身性能。

[0025] 美国专利公布2010/0136326公开了一种方法,通过该方法,由金属支撑基底和硅酸盐层组成的层复合通过利用经由溶剂热合成获得的硅酸盐层涂布基底表面来获得。在该公布中没有公开混合热交换机构的任何尝试,或者没有公开在不妥协吸附剂体积或热交换器占地面积的情况下改进热交换器的动力学性能的尝试。

[0026] 美国专利公布2011/0183836揭露了用于热交换器的包含铝的基底。磷酸铝沸石的微孔层被施加至基底,包括其他层。该公布再次着重于增大在基底上形成涂层的层的数量,其中,至少一个层是 $ALPO_4$ ,并且对于经由混合技术提高热交换器的动力学性能的尝试没有提供任何信息或指导。

[0027] 美国专利公布2012/0216563公开了一种热交换器,其中,多孔材料被设置为与交换器的管状部分接触以允许蒸汽通过。材料是纤维材料。然而,关于其对于改进性能动力学是否有用或者是否可以使用另外的混合技术仍没有公开或指导。

[0028] 美国专利公布2013/0014538公开了用于吸附制冷机的子组件。子组件设置有吸附部件,该吸附部件包括布置在堆中的多样性的板。堆中的相邻对的板的制冷剂侧限定制冷剂通道,并且吸附材料被设置在这些通道内。然而,关于该配置是否有助于或提供动力学性能的任何改进在此没有公开或指导。

[0029] 日本专利公布No.2011-240256公开了设置有多个活性碳纤维的吸附块。这些纤维

全部被定向在同一方向。提供柱形金属片，覆盖活性纤维的外周围，以轴向方向的方式。其通过利用柱形金属片覆盖纤维并在之后单向地延伸并切割该片来获得。然而，关于该配置是否有助于或提供动力学性能的任何改进在此没有公开或指导。

[0030] 日本专利公布No.2005-291528公开了具有增强的吸附容量的热交换器。热交换器包括具有特定翅片间距、翅片长度和翅片高度的板翅片管型热交换器。活性炭用作填充吸附剂，其中，木炭具有特定的蒸汽吸收能力。如此形成的床被网状材料覆盖以防止吸附材料的泄漏。然而，关于该配置是否有助于或提供动力学性能的任何改进在此没有公开或指导。此外，该公开中的着重点是关于修改翅片尺寸和调节吸附材料特性以增强吸附能力。

## 发明内容

[0031] 本发明提供一种混合吸附热交换装置，包括：至少一个管状或微通道结构，用于传送热传递流体；所述结构的外表面在至少两个位置设置有延伸部；所述延伸部在其间形成床以用于设置一种或多种吸附材料；吸附材料的涂层被设置在所述延伸部的至少一部分上。

[0032] 在一个实施例中，延伸部沿着管状结构的全部长度纵向延伸或者可以围绕管状结构在圆周上延伸，每个延伸部的高度沿着其整个长度保持大致一致。

[0033] 在另一实施例中，管状结构和延伸部是集成的，或者可以通过单独的连接部件相互连接。

[0034] 如果需要，管状结构以及延伸部由相同的材料制成，并且可以由热传导材料制成，热传导材料是金属、基于陶瓷、基于聚合物或碳的材料。

[0035] 在本发明的另一实施例中，每个延伸部被涂布有与填充在床中的吸附剂相同或不同的吸附剂。

[0036] 仍在另一实施例中，设置在所述床中的吸附材料单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择：沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、MOF（金属有机框架）、COF（共价有机框架）、以及FAM（功能吸附材料）等。

[0037] 仍在本发明的另一实施例中，吸附材料包括具有3至100埃的范围的孔隙直径的吸附剂颗粒、或者其上涂布或沉积吸附剂的平板或波纹板、或以任意预定图案设置的它们的组合。

[0038] 仍在本发明的另一实施例中，平板或波纹板由从由以下组成的组中选择的热传导材料制成：铝、铜、石墨/膨胀石墨、无机或有机纤维基底或其组合，并且可以可选地是穿孔板。

[0039] 在本发明的另一实施例中，延伸部在利用吸附材料涂布之前在其外表面上是波纹形的，以及其中涂层单独地或以任意组合从由以下组成的组中选择：沸石、介孔硅酸盐、不能溶解的金属硅酸盐、硅胶A型、硅胶RD型、硅胶S2型、活性炭纤维、颗粒活性炭、活性氧化铝、高多孔活性炭、与链接器结合的 $Zr_6O_4(OH)_4$ 、MIL-101Cr、MOF（金属有机框架）、COF（共价有机框架）、以及FAM（功能吸附材料）等。

[0040] 仍在本发明的另一实施例中，热传递流体从由以下组成的组中选择：水、低级醇和油等。

[0041] 在本发明的另一实施例中,吸附材料被设置有从由以下组成的组中选择的一种或多种掺杂物:诸如氯化钙、溴化锂、氯化镁、硫酸镁、硝酸钙、和氯化锰等无机金属盐。

[0042] 在本发明的另一实施例中,从由碳纤维、和石墨纤维等组成的组中选择的一种或多种添加剂也被添加以增强热传导性。

[0043] 如果需要,聚合物网被设置在吸附床上,其中聚合物是聚苯胺。

[0044] 本发明还提供一种用于制造混合吸附热交换装置的方法,所述方法包括:

[0045] -利用吸附剂涂布热传导材料的至少一部分;

[0046] -将至少部分涂布的热传导材料转换成用于传送热传递流体的管状结构,并在其上设置两个或多个延伸部,所述延伸部与所述涂布的管状结构集成,或至少部分包括涂布吸附剂的热传导材料,所述延伸部在其间形成吸附床;

[0047] -将一种或多种吸附材料设置在所述吸附床中。

## 附图说明

[0048] 以下特别地参考附图更详细地描述了本发明,其中:

[0049] 图1是在吸附器和解吸器的热交换器中使用的典型的翅片式块吸附器的表示。

[0050] 图1(a)是图1中标记‘A’的部分的分解视图,以及图1(b)是该部分的等距视图。

[0051] 图2是在热交换器中使用的典型的螺旋翅片式管吸附器的表示。

[0052] 图2(a)是图2中标记‘A’的部分的分解视图,以及图2(b)是该部分的等距视图。

[0053] 图3(a)是现有技术的翅片块吸附器的表示,其中,吸附床被填充/包装有颗粒吸附剂。

[0054] 图3(b)是现有技术的涂布的翅片块吸附器的表示。

[0055] 图4(a)是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括颗粒的第二吸附材料,并且利用合适的网覆盖。

[0056] 图4(b)是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括涂布干燥剂的基底的第二吸附材料。

[0057] 图4(c)是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括波纹状涂布干燥剂的基底块的第二吸附材料。

[0058] 图4(d)和图4(e)是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片被涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有第二吸附材料,第二吸附材料包括波纹状或平的涂布干燥剂的基底块以及散布在涂布干燥剂的基底块之间的吸附剂颗粒。

[0059] 图4(f)是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片被成形以增加它们的表面积并涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括吸附剂颗粒的第二吸附材料,并利用合适的网覆盖。

[0060] 图5是在从/至二次流体的热传递期间,发展温度梯度的四个热传递阻力的表示。

[0061] 图6是涂布有吸附剂的基底材料的表示,并且以预定或期望图案在其上设置穿孔。

[0062] 图7示出在水上的在此属于申请人的硅胶S2和涂布的硅胶S2/水吸附剂/制冷剂对的吸附等温线。

[0063] 图8示出在30-70°C范围的温度下针对硅胶S2/水对的吸附吸收数据。

[0064] 图9示出在5kPa和15kPa范围的压力下针对硅胶S2/水对的吸附吸收数据。

[0065] 图10是在属于申请人的硅胶S2型和商业可得到的富士RD型硅胶上的水的吸附等温线的对照表示。

[0066] 图11(a)、(b) 和 (c) 分别是在30°C、50°C 和 70°C 的吸附温度下硅胶S2/水对的吸附吸收和压力的时间曲线。

[0067] 图12是针对现有技术的吸附器的在吸附热交换器的冷却瓦特每升方面的比容量和利用本发明的不同的混合热交换器的可能的比容量的对照表示。

[0068] 图13示出使用传统的包装方法、先进的涂布吸附剂的方法和涂布吸附剂的混合热交换器的吸附制冷机的冷却能力和COP。

[0069] 图14示出针对350W/m<sup>2</sup>K的整体热传递系数的吸附制冷机的主要部件的温度曲线。

[0070] 图15示出用于颗粒、涂布吸附剂和混合热交换器的吸附制冷机的性能比较。

## 具体实施方式

[0071] 本领域中认识到的需要是要求提高在热交换器中使用的吸附床的性能以改进循环的整体性能。除其他因素以外,确定吸附床性能的效率的关键参数是热量和质量传递方面。质量传递影响了吸附容量和吸附吸收比。热传递分别对于解吸和吸附热的传送和提取是关键的。也影响吸附床性能的其他参数包括吸附剂的孔隙度和孔大小、颗粒大小和吸附剂与金属质量的比。

[0072] 热传递受到吸附床内的多级阻力。这些包括由金属至二次流体对流热传递引起的阻力、经由交换器的壁的传导热传递阻力、金属至吸附剂的接触热传递、以及经由吸附材料的传导热传递阻力。其中,由金属至吸附剂的接触界面产生的热传递阻力在影响热交换器的效率上起到主要作用,并且依赖于吸附剂与热交换器金属之间的物理接触的性质和水平。例如,在简单的颗粒填充的吸附床系统中,即使质量传递性能非常高,由于吸附剂颗粒与热交换器金属表面之间的高接触热阻,热传递性能的水平通常很低。

[0073] 可以通过以下方式来增强在吸附床中使用的吸附材料的热传递性能:将吸附剂颗粒与金属添加剂混合以增加热传导率,利用吸附剂涂布床热交换器金属并避免全部使用颗粒以消除所有的接触热阻力,利用聚苯胺网覆盖吸附剂颗粒,在金属泡沫上的吸附剂沉积,以及合并的床方法的使用。

[0074] 通过增大整体热导率来提高热传递性能的技术之一是通过将诸如铝、铜或石墨/膨胀石墨的金属颗粒添加至沸石材料的吸附剂颗粒。尽管据悉热导率显著地增大,并且该方法也容易遵循,但出现的限制是质量传递性能的降低,并且还有材料限制。后者是严重的限制,因为其限制了使用这种吸附床的应用的范围。

[0075] 在本领域中论述的作为颗粒床方法的替换的另一技术是避免它们一起使用并且代替地,利用吸附剂来涂布热交换器的金属。这通常涉及使用有机处理剂来清洁金属表面,利用有机粘合剂来形成吸附剂的悬浮液,以及之后施加在清洁的金属表面上,之后通过加热来移除残留的粘合剂。在本领域中论述和公开了几种不同的涂布技术。该方法的一个优点是其显著地避免了吸附剂和金属的热接触阻力。该方法被认为是颗粒床方法的替换。

[0076] 在本领域中论述的另一方法是在颗粒床上形成诸如聚苯胺网的聚合物网。这可以在吸附剂颗粒表面上的苯胺的原位聚合作用使用氧化就地完成。利用该方法注意的缺点是,尽管热传递阻力减小,但不利地影响了质量传递性能。

[0077] 其他尝试包括在金属泡沫上的吸附剂的沉积。该方法的一个示例包括沸石和铜金属泡沫的沉积。该方法主要包括利用环氧树脂、起泡剂和金属粉末对热交换器的金属部件的涂布。使用胶体种子溶液来沉积吸附材料。例如,在沸石的情况下,其涉及播种,之后是水热合成、清洗和干燥。据悉该方法显著改善了热传递特性,但导致了金属质量的增加。

[0078] 合并的床方法依赖于几个不同的步骤。例如,压缩的吸附剂颗粒和粘土、可膨胀石墨、模制颗粒和粘合剂的添加以及浸渍粘合剂颗粒的金属泡沫。据悉该方法引起了热传递性能的显著提高。然而,该方法在所有吸附材料的情况下可能不是有效的,并且还具有床渗透性和破裂的限制。

[0079] 如可以看到,在本领域中已经提出的方法将各种解决方案看作颗粒床方法的替换。在本领域中传统的观点是颗粒床方法不利地影响热传递性能,并且仅有的解决方案是寻找该方法的替代。

[0080] 申请人在此确定为混合方法不仅提供了作为颗粒床方法的显著优点的质量传递性能,还提供了增强的热传递性能。本发明的方法涉及对热交换器性能提高的综合的方法,其不仅涉及采用用于热交换器(或其部件)的金属部分的涂层,还确保在这种金属部件之间设置的另外的吸附材料的存在。在测试研究中已经观察到,这种基于混合吸附剂的热交换器在热和质量传递特性方面提供了显著的性能提高。

[0081] 本发明的目标是提供混合吸收热交换器,其是小型的,在转换输入的冷却功率时是效率高的,并且是负担得起的。

[0082] 本发明的本质涉及利用混合性技术的热传递增强,其包括热交换器翅片的涂布以及在翅片之间的松散的多孔吸附材料的使用。诸如水/氨/乙醇/甲醇/其他各种制冷剂的制冷剂从多孔吸附剂放热地吸附和吸热地解吸,多孔吸附剂通常包装在具有单一吸附剂的良好热传递特性的吸附床中。在吸附床中,主要的热阻来自吸附器的翅片以及可以完全通过吸附材料的涂布来消除的吸附材料。比功率(specific power)通过在涂布的翅片之间的松散的吸附剂颗粒的包装来加强。本发明组合涂布的吸附剂以及松散的吸附剂颗粒的包装或诸如玻璃纤维的可替换的部件,其中,干燥剂被原位生成或预先浸渍,或诸如颗粒和玻璃纤维的不同部件的组合。

[0083] 图1是在吸附器和解吸器的热交换器中使用的典型的翅片式块吸附器的表示。

[0084] 图2是在热交换器中使用的典型的翅片式管吸附器的表示。

[0085] 图3(a)是现有技术的翅片块吸附器的表示,其中,吸附床被填充/包装有颗粒吸附剂。从图3(a)明显的是,二次流体流过吸附器热交换管,以及翅片被设置在热交换管的外表面上。翅片之间的间隙被塞进吸附剂颗粒。管本身可以由促进热传递的诸如铜的金属制成。颗粒包装最终利用金属网覆盖。翅片通常由铝制成。

[0086] 图3(b)是现有技术的翅片块吸附器的表示。二次流体流过吸附器的热交换管,并且翅片被设置在热交换管的外表面上。翅片之间的间隙是空的。管本身可以由促进热传递的诸如铜的金属制成。颗粒包装最终利用金属网覆盖。翅片通常由铝制成并使用本领域中公开的技术用吸附材料来涂布。在本文中以某些细节论述涂布过程,并涉及树脂和粘合剂的使用以确保吸附剂在翅片上的均匀沉积。

[0087] 图4(a)是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括颗粒的第二吸附材料。第一吸附剂和第二吸附剂可以是相

同的或不同的。颗粒床之后利用金属网覆盖。涂布可以在热交换管的外表面上是均匀的。在替换方法中,仅翅片被涂布,并且两个翅片之间的热交换管的表面保持未涂布。

[0088] 图4 (b) 是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括涂布干燥剂的纸的第二吸附材料。涂布干燥剂的基底可以是干燥剂被涂布或浸渍至玻璃纤维中的基底或者可以是干燥剂被原位生成的基底。第一吸附剂和第二吸附剂可以相同或不同。涂布可以在热交换管的外表面上是均匀的。在替换方法中,仅翅片被涂布,并且两个翅片之间的热交换管的表面保持未涂布。

[0089] 图4 (c) 是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括波纹状涂布干燥剂的基底块的第二吸附材料。涂布干燥剂的基底可以是干燥剂被涂布或浸渍至玻璃纤维中的基底或者可以是干燥剂被原位生成的基底。第一吸附剂和第二吸附剂可以相同或不同。涂布可以在热交换管的外表面上是均匀的。在替换方法中,仅翅片被涂布,并且两个翅片之间的热交换管的表面保持未涂布。

[0090] 图4 (d) 和图4 (e) 是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片被涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有第二吸附材料,第二吸附材料包括波纹状或平的涂布干燥剂的基底块以及散布在涂布干燥剂的基底块之间的吸附剂颗粒。在图4 (d) 中,基底块与管轴垂直地设置,而在图4 (e) 中,基底块与管轴平行地设置。涂布干燥剂的基底可以是干燥剂被预涂布/浸渍至玻璃纤维中的基底或者可以是干燥剂被原位生成的基底。第一吸附剂和第二吸附剂可以相同或不同。涂布可以在热交换管的外表面上是均匀的。在替换方法中,仅翅片被涂布,并且两个翅片之间的热交换管的表面保持未涂布。在图4 (b) 至图4 (e) 的情况下的基底块也可以被穿孔以提高质量和热传递。

[0091] 图4 (f) 是吸附床的表示,其中,吸附器热交换管的翅片涂布有第一吸附材料,以及翅片之间的间隙空间填充有包括吸附剂颗粒的第二吸附材料。翅片在该实施例中是波纹形的,并且也可以根据需要以任何期望图案被穿孔以提高热和质量传递。第一吸附剂和第二吸附剂可以相同或不同。涂布可以在热交换管的外表面上是均匀的。在替换方法中,仅翅片被涂布,并且两个翅片之间的热交换管的表面保持未涂布。

[0092] 图5是在涂布翅片中的热传递区域的表示,并且在以下被详细描述。

[0093] 图6是涂布有吸附剂的基底材料的表示,并且以预定或期望图案在其上设置穿孔。该基底材料可以被转换成用于热交换器的外部延伸部(翅片),并且吸附材料被填充在由此形成的床中。

[0094] 本发明本质上在于混合生成吸附床以使得不仅翅片涂布有吸附材料,翅片之间的间隙也提供有另外的吸附材料。第二填充吸附材料可以与设置在涂层中的吸附材料相同或不同。例如,填充吸附材料可以是可获得的颗粒的形式,诸如沸石材料、活性炭、活性氧化铝或硅胶。可替换地,填充材料可以包括纤维或玻璃片、陶瓷、活性炭、石墨、具有通过涂布、浸渍、注入设置在其上或通过原位或任何其他方法形成的吸附材料的有机或无机基底。

[0095] 本发明的混合热交换器提供组合不同吸附剂形式的灵活性。测试确立了该混合热交换器在质量传递和热传递性能方面提供显著的增强。

[0096] 本发明的方法包括评估本领域的关于设置在未涂布翅片空间内的颗粒吸附剂的当前状态。本领域已知的是这种系统的效率(比容量)是吸附热交换器的约100瓦特每升。鉴于此,该方法将要:

[0097] a. 增大吸附热交换器体积的每升的瓦特输出,由此减小整体体积、占地面积和成本。

[0098] b. 改进吸附和解吸动力学以另外地增加每吸附器热交换器输出的瓦特数,由此进一步减小吸附制冷机的占地面积、体积和成本。本发明同时实现两者。

[0099] 为了提高和优化吸附热交换装置的性能,利用多个变量。这些包括:

[0100] 1. 基底:本发明的混合吸附器热交换器依赖于具有粘附至其的吸附剂的热交换器的一部分。根据利用来确保吸附剂至基底的粘附的粘附方法,本发明在基底选择方面提供灵活性。基底可以是铝箔、铜箔、有机金属纤维片、无机纤维片碳加强塑料等。翅片类型包括平/平坦的、波纹状、百叶式、正弦波、波动、角锥形或插销式。

[0101] 2. 基底厚度:根据基底提供至吸附剂的支持的类型以及作为整体热交换器设计的部分的热导率,基底厚度通常范围为0.5mm-2.0mm,更典型地0.1mm-1.0mm。

[0102] 3. 基底形状:根据基底的选择,基底可以是平的、波纹状的、正方正弦波、或不同地成形,例如三角形等。

[0103] 4. 吸附剂:被粘附至基底的吸附材料通常是硅胶、分子筛、复合物、或活性炭,并且还可以包括研制中的吸附剂,其具有高表面积并且是可容忍热传递流体的。例如,如果使用水作为制冷剂,则吸附剂应当是耐水的。如果在吸附制冷机中使用其他制冷剂,诸如乙醇、甲醇和氨以及基于HFC的制冷剂,则吸附剂应当对于这种制冷剂是化学惰性的。这些吸附剂中的一些已经存在,而其他的在研制中。通常,这些将来自MOF的族、磷酸铝、COF、FAM和FMM、复合物等。因为增大的表面积和体积密度是补充因素,因而选择的吸附剂可以取决于在吸附剂的边界的操作容量下的有用容量,但将具有较高的体积密度,以使得整体吸附,以及因此以kW计的每吸附热交换器的比性能 (specific performance) 被最大化。此外,吸附剂的在吸附和解吸方面的动力学、以及提高给定吸附剂的“动力学”的手段也将在吸附热交换器的瓦特每升方面对最大化整体容量起到重大的作用。

[0104] 为了提高有用容量,这些吸附剂可以进一步掺杂有掺杂剂,诸如氯化钠、氯化钙、溴化锂、氯化镁、硫酸镁、硝酸钙、氯化锰等无机金属盐。

[0105] 为了改进来自至基底的吸附剂内的热流的热导率以及整体动力学,可以少量添加如石墨、膨胀石墨、铜粉末等的高导电材料。

[0106] 在一些情况下,可以存在掺杂和添加热导材料的组合。

[0107] 5. 将吸附剂粘附至基底的一般方法:如以下列举的,存在将吸附剂粘附至基底的几种已知的方法,但本发明不限于现有的领域或方法:

[0108] a. 将干燥剂粘附至基底,特别是非渗透基底的一种方法是使用非掩蔽粘合剂或胶。胶的粘合剂可以是无机的、有机的,并且也是两者的组合。

[0109] b. 基底,特别是多孔基底,吸附剂可以通过合适的非掩蔽粘合剂/环再次被浸渍。胶的粘合剂可以是无机的、有机的,并且也是两者的组合。浸渍也可以包括浸渍涂布法。

[0110] c. 仍在另一方法中,基底,特别是多孔基底,吸附剂可以在不使用胶的粘合剂的情况下被原位合成。

[0111] d. 仍在另一方法中,从通常是铝箔的基底开始,利用基底材料作为元素之一以生长吸附晶体,吸附剂可以在基底的表面上被原位合成。

[0112] 使用诸如水的二次流体通过再生成和吸附来管理吸附床中的热传递。针对至和来

自二次流体的热传递,存在图5所示的四种传热阻力。这些阻力是:

[0113] R.1二次流体和金属壁之间的对流热传递阻力。

[0114] R.2经由热交换器的壁的热传递阻力。

[0115] R.3金属和吸附剂之间的接触热传递阻力。

[0116] R.4经由干燥剂质量的传导热传递阻力。

[0117] 如可以看到的,热交换装置设计可以影响热传递阻力。

[0118] 在上文,R3是主要的和最重要的。到目前为止,已经努力和尝试将吸附剂涂布在热交换器金属表面、通常地延伸翅片、通常为铝上。通过这样做,经由干燥剂质量的传导热传递阻力(R4)已经被忽略和消除,因为没有另外的吸附剂被放置在延伸的热交换器表面之间。尽管通过降低R3获得了益处,但存在显著的权衡和吸附容量的损失,因此,作为干燥剂的量/质量的质量传递在所施加涂层中得到限制,由此将吸附剂降低至金属质量比。

[0119] 本发明的目的在于通过组合金属/翅片的涂布干燥剂的延伸表面来将接近最佳的吸附剂维持至金属质量比,不仅通过减小R3还显著改进动力学,连同在涂布的翅片空间内使用颗粒材料,即使将遇到有限的R4,由此提供使用传统的吸附热交换器的吸附热交换器的瓦特每升方面的>35/40%的整体性能提高,其中吸附剂颗粒材料包装在热交换器翅片表面内。还存在如下文所述的填充孔隙的其他方法。

[0120] 通过使用来自一类有机的以及单独地无机粘合剂的非掩蔽粘合剂,以及也使用用于吸附剂的孔清洁剂将硅胶颗粒/粉末施加至铝箔,来将吸附剂粘附至基底。也可以使用沸石来代替硅胶。

[0121] 延伸部上的涂布可以通过诸如在美国专利8,053,032(基底上的沸石层的直接结晶)、美国专利公布2010/0136326(利用经由溶剂热合成获得的硅酸盐层来涂布基底表面)、美国专利公布2011/0183836(利用磷酸铝沸石的多孔层来涂布包含铝的基底)中所公开的已经知道的任何方法或者本领域中已知的用于涂布基底和翅片的任何其他方法来实现。

[0122] 不考虑将吸附剂粘至基底的方法或基底类型,吸附剂的量必须是最佳的,以使得太多的吸附剂不抑制从外层至热交换器的热传递。通常,根据吸附剂、将吸附剂粘附至基底的方法、吸附剂的体积密度以及粘合剂/胶(如果有的话)的使用,吸附剂量可以从10GSM至500GSM变化,但将更具体地位于150GSM至300GSM。

[0123] 在混合吸附热交换器中,尽管热交换器表面具有通过以上所述但不局限于此的手段和方法粘附的吸附剂,但在本发明中,吸附剂被填充在延伸的翅片热交换器表面的孔隙内。这种吸附剂的类型和放置方法的选择可以如下:

[0124] 1.合适筛孔尺寸的平面天然颗粒吸附剂,例如硅胶

[0125] 2.粉末形式但被制成合适筛孔的颗粒的吸附剂

[0126] 3.吸附剂粘附至基底,作为片、或作为平板玻璃,或以任何其他形状,例如,波纹状、正方形/矩形、三角形等,具有或没有掺杂,具有或没有热传导添加物,如膨胀石墨、石墨烯等。

[0127] 在混合热交换器的本发明中,已经使用颗粒硅胶进行了广泛的测试。在吸附制冷机的应用中,尽管存在吸附剂和制冷剂的许多工作对的选择,但最典型和通常使用或利用的是硅胶-水的配对。在制造商的大部分吸附制冷机以及世界各地在该领域中进行的研究中,选择的杰出的硅胶是并且已经是从日本的Fuji Syisia有限公司可得到的高密度颗粒

或珠状硅胶。根据材料是珠状或颗粒以及在筛孔侧是否是颗粒,该材料典型地具有600-800m<sup>2</sup>/g的范围的表面积以及700-900克/升的体积密度。

[0128] 本发明还检测了新的混合吸附热交换器,其具有使用富士RD型硅胶的传统的吸附热交换器。富士RD型硅胶,由于其特性和动力学,已经在商业生产和研究上在全球成为用于基于硅胶-水对的吸附制冷机的选择的吸附剂。申请人在此也开发了专有的标记为S2的硅胶,其经由广泛测试已经显示了作为用于基于硅胶-水的吸附制冷机的吸附剂的杰出的性能潜能。其性能和动力学的例子在图7-11中示出。

[0129] 吸附剂/制冷剂对的吸附容量取决于该对的吸附剂和等温特性的多孔性质(孔隙大小、孔隙体积和孔隙直径)。提出了各种沸石、硅胶、活性炭、活性氧化铝、MOF(金属有机框架)、COF(共价有机框架)以及FAM(功能吸附材料)的多孔性质,其从氮气吸附等温线确定。进行在温度77.4K的液氮下在各种吸附剂上的标准氮气吸附/解吸测量。每个吸附剂的表面积通过氮吸附数据的Brunauer,Emmett和Teller(BET)图来确定。表1示出了硅胶(A和RD型)、FX-400和A 20型的活性炭纤维、颗粒活性炭、Maxsorb III型的活性炭粉末以及两种不同的MOF的表面积、孔体积和表观密度。从表1可以看出,Maxsorb III和MIL-101Cr的BET表面积分别高达3140m<sup>2</sup>/g和4100m<sup>2</sup>/g。然而,Maxsorb III和MIL-101Cr在商业吸附制冷机中作为吸附剂的使用已经主要由于其高于USD 300每kg的成本而被阻碍。另一方面,硅胶已经在商业吸附制冷机中使用,并且硅胶样本的成本大约为10-15USD每kg。

[0130] 表1 各种可能的吸附材料的多孔性质

吸附剂	表面积 ( $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )	孔隙体积 ( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ )	表观密度 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )
硅胶 (A型)	650	0.28	0.73
硅胶 (RD型)	720	0.37	0.7
硅胶 (S2型)	700	0.34-	0.73
活性炭纤维 (FX 400)	700-2500	0.5-1.4	0.3
活性炭纤维 (A-20)	1900	1.028	0.25
颗粒活性炭	700-1500	0.5-1.0	0.4
高度多孔活性炭 (Maxsorb III)	3140	1.7	0.31
$\text{Zr}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{Linker})_6$	2064	0.97	-
MIL-101Cr	4100	2.0	

[0131]

[0132] 现在向前转向图7,图形表示显示了本发明的提高的吸附剂能力。

[0133] 图7示出针对30°C的吸附温度和从0.7kPa至3.8kPa的压力范围的母硅胶S2/水和涂布的S2/水吸附剂/制冷剂对的吸附等温线。针对所述吸附等温线,吸附剂样本温度保持恒定,而蒸发器温度逐步增大,直到相对压力达到0.9以上为止。可以从图7看出,硅胶S2/水对的吸附容量在30°C的吸附温度和约3.6kPa的压力下高达 $0.34\text{kg kg}^{-1}$ 。涂布的硅胶S2/水对的吸附容量与母S2/水对类似。可以观察到,针对母S2/水对和涂布的S2/水对,吸附容量随着整体研究范围中压力的增大而线性地增大。

[0134] 图8和9分别示出针对温度30°C-70°C以及高达5kPa和15kPa的压力的硅胶S2/水对的吸附吸收数据。前者的压力范围适于吸附冷却应用,以及需要相对较高的压力来用于吸附脱盐应用。如可以从图8和9观察到,对于所有测量的吸附温度,吸附吸收值随着压力的增大线性地增大,其暗示了母硅胶S2/水适于吸附冷却和脱盐应用。

[0135] 图10示出针对30°C至70°C之间的温度和高达5kPa的压力(其是基于硅胶/水的吸附冷却机的操作范围)的硅胶S2/水对以及硅胶RD/水对的吸附等温线。从图10显而易见的是,硅胶S2/水和硅胶RD/水对的吸附等温线数据是可比较的,并且可以根据吸附剂的成本和可用性来选择吸附剂。

[0136] 图11 (a)、11 (b) 和11 (c) 分别示出在30°C、50°C 和70°C 的吸附温度下硅胶S2/水对的吸附吸收和压力的时间曲线。从图11 (a) -11 (c) 明显的是, 所研究对的吸附动力学在吸附过程的早期阶段相对较快。此外, 多于80% 的总吸收在开始的5分钟内发生, 并且由此硅胶S2/水对好像适于吸附冷却应用。

[0137] 根据本发明的吸附热交换器的制造的起始点首先是单独制造的热交换器结构。其根据已知的方法由高热导率的材料制造。适于该目的的被证实是金属系统, 诸如由铜、铝、碳、增强塑料或特殊钢制成的金属系统。陶瓷材料或组合的金属系统也是可以的。

[0138] 合适的热交换器结构实现用于载热介质的循环系统, 载热介质与吸附热交换器的外部区域连通。另外, 加热线或其他热源可以被嵌入用于加热热交换器结构。为了制作朝向吸附材料系统的最大可能表面, 薄板或蜂窝状结构是优选的。其也可以是海绵或泡沫的形式。基于最初单独制造的该热交换器结构, 利用吸附材料的内部涂布现在如下执行。

[0139] 在第一方法步骤中, 粘合剂层被施加至热交换器的面向吸附材料的壁, 其在下文中将被称为内部壁。粘合剂用于该目的, 其首先形成固体层。为了实现所述粘合剂层, 可以使用不同的方法, 诸如浸渍、注入或喷涂。粘合剂涂布的方法步骤可以进一步被重复以用于设置最佳的层厚度。在该方面特别有利的是例如通过回火或通过利用溶剂的浓缩或蒸发来设置所施加粘合剂的粘度。可替换地, 也可以将固体粉末状态的粘合剂施加至热交换器的壁。这种粉末涂布在平面热交换器结构中特别有用。

[0140] 热交换器可以进一步首先被粉状粘合剂填充, 粉状粘合剂之后通过在热交换器的靠近壁的区域中加热热交换器结构来被激活, 以使得在靠近壁的区域中存在粘合, 非粘度粉状粘合剂材料从远离壁的区域的随后移除可以通过摇动、风吹或清洗来实现。不考虑粘合剂的选择或所选择的施加方法, 在靠近壁的区域中的粘合剂层必须至少以稳定的方式粘附, 以使得在随后的方法步骤期间, 吸附材料被引入至热交换器中, 其中存在吸附材料的粘合剂的在功能上没有削弱的混合物。

[0141] 在涂布步骤完成并且金属部分上的涂层干燥之后, 间隙空间可以利用传统的颗粒吸附材料或者利用浸渍吸附材料的玻璃纤维板来填充(或者在吸附剂使用申请人所有的技术原位形成的情况下)。相对于本领域中的公开, 该混合热交换器的热传递性能显著地高于本领域中迄今为止已知的。

[0142] 研究显示本发明的混合热交换器装置的热传递性能显著高于两个当前可获得的现有技术系统的任一个的热传递性能——其孤立地使用颗粒床或涂布翅片系统。

[0143] 吸附热泵的主要困难是吸附材料和热传递介质(即, 用于吸附过程的冷却介质和用于解吸过程的加热介质)之间的差的热传递。传统的吸附热交换器或包装吸附材料的传统方式是围绕热交换器的翅片管包装吸附剂。该方法由于制造简单和吸附剂至热交换器的翅片的附着或涂布技术中的限制而被广泛使用。

[0144] 吸附材料在热交换器的延伸表面上的有效涂布可以极大地改进吸附循环的吸附器的热和质量传递机制。涂布的吸附器热交换器的两个显著地突出的特征或优点是(1)经由有效热传递的吸附动力学的改进, 以及(2)热质量的降低。前一特征的主要贡献是循环时间的减少, 同时较少的热质量直接转化成较好的性能或性能系数(COP)。这两个特征以协同方式都积极地改进了吸附循环, 占地面积方面, 以及更重要地降低了资本成本。

[0145] 图13示出使用传统的包装方法、先进的涂布吸附剂的方法和涂布吸附剂的混合热

交换器的吸附制冷机的冷却能力和COP。应当注意，蒸发器和冷凝器针对两种情况保持相同。观察到涂布吸附剂和涂布吸附剂的混合类型提供明显的性能改进。

[0146] 先进的涂布吸附剂和涂布吸附剂的混合热交换器的整体热传递系数根据吸附器/解吸器构造大约为 $350\text{W/m}^2\text{K}$ 至 $350\text{W/m}^2\text{K}$ 。图14示出针对 $350\text{W/m}^2\text{K}$ 的整体热传递系数的吸附制冷机的主要部件的温度曲线。如可以从图14看出，全部四个热交换器有效地工作，并且制冷机由于从改进的热传递和较小的热质量产生的较快的吸附动力学而产生有效冷却。

[0147] 图15示出用于颗粒、涂布吸附剂和混合热交换器的吸附制冷机的性能比较。根据单位质量吸附剂的制冷功率 (specific cooling power, SCP)、性能系数 (COP) 以及体积效率来进行性能比较。如可以从图15看出，用于涂布的和混合型热交换器的SCP和COP值是可比较的。然而，由于较快的动力学和较小的热质量，在涂布的和混合型热交换器的情况下，SCP增大约8%，以及COP增大多于100%。另一方面，由于相同体积中的较高质量的吸附剂，其导致了更大的冷却功率，并由此显著有助于吸附系统占地面积和资金成本的降低，混合热交换器的体积效率比颗粒型热交换器高约35%，并且比涂布吸附剂的热交换器高约18%。

[0148] 从所进行的研究观察到的本发明的另一优点是本发明的混合热交换器装置的比容量显著地好于现有技术的吸附器的比容量。图12是针对现有技术的吸附器在吸附热交换器的冷却瓦特每升方面的比容量和利用本发明的不同的混合热交换器的可能的比容量的对照表示。

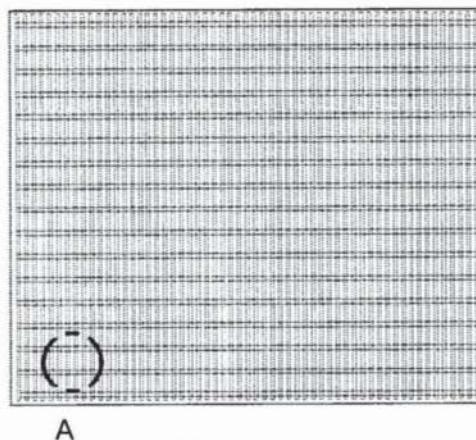


图 1

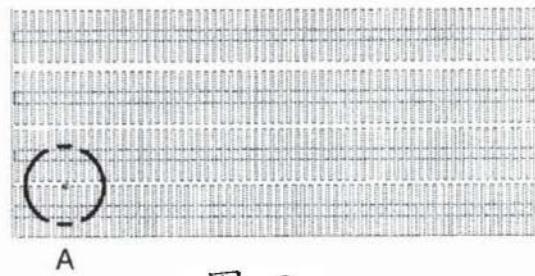


图 2

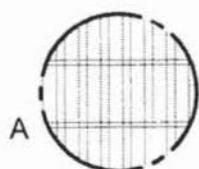


图 1(a)



图 2(a)

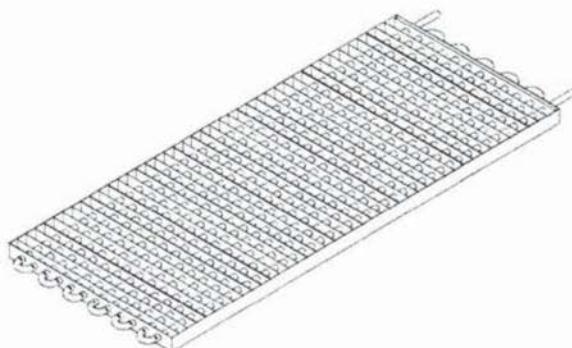


图 1(b)

翅片块吸附热交换器

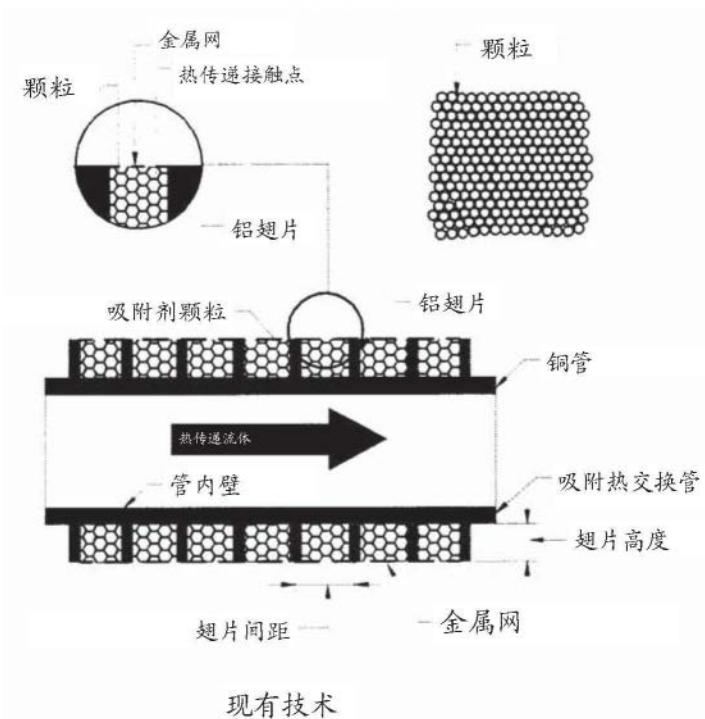


图 2(b)

螺旋翅片管吸附热交换器

典型的吸附床热交换器

## 填充有吸附剂颗粒的吸附床热交换器



现有技术

图3 (a)

## 涂布有吸附剂的吸附床

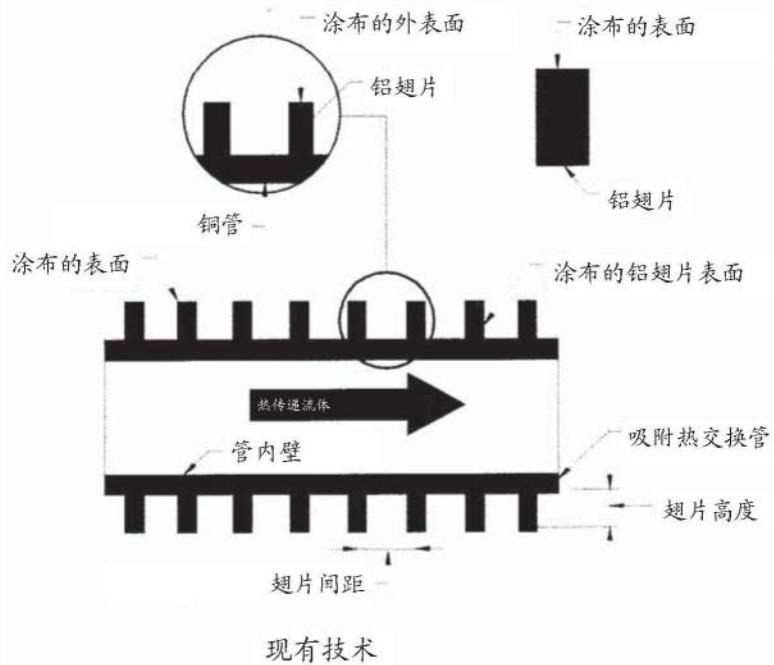


图3 (b)

## 涂布有吸附剂和填充有吸附剂颗粒的吸附床热交换器

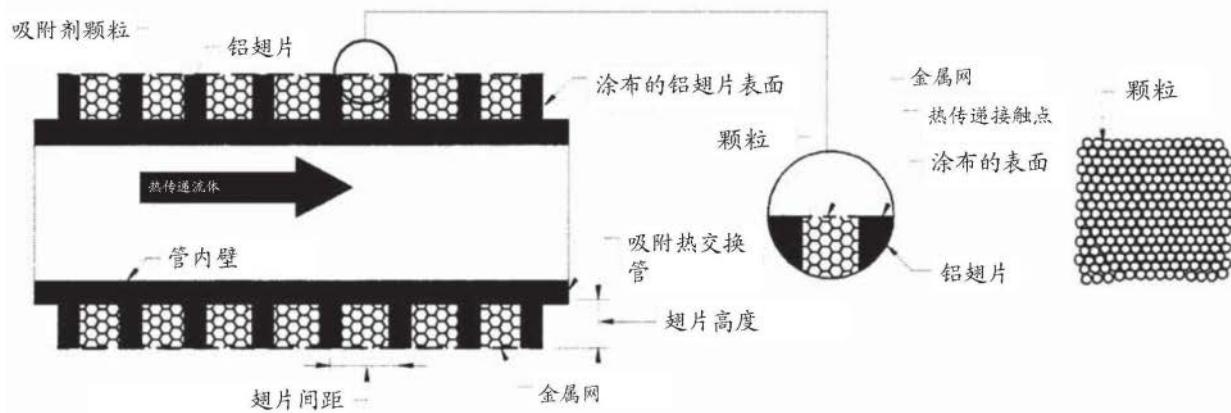


图4 (a)

涂布有吸附剂和填充有涂布吸附剂的基底的吸附  
床热交换器

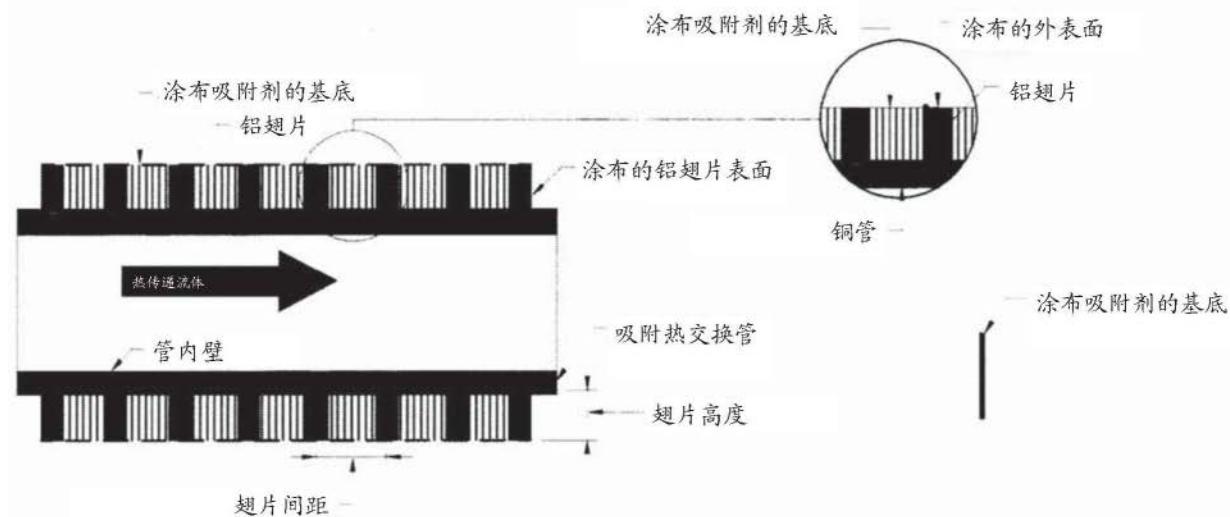


图4 (b)

涂布有吸附剂和填充有涂布吸附剂的波纹状基底的吸附  
床热交换器

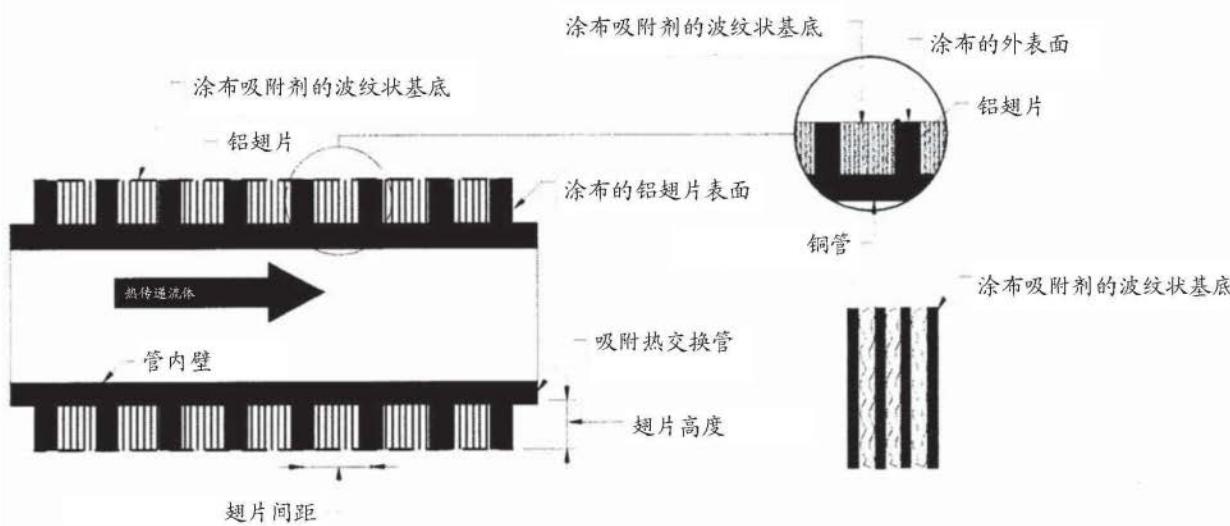


图4 (c)

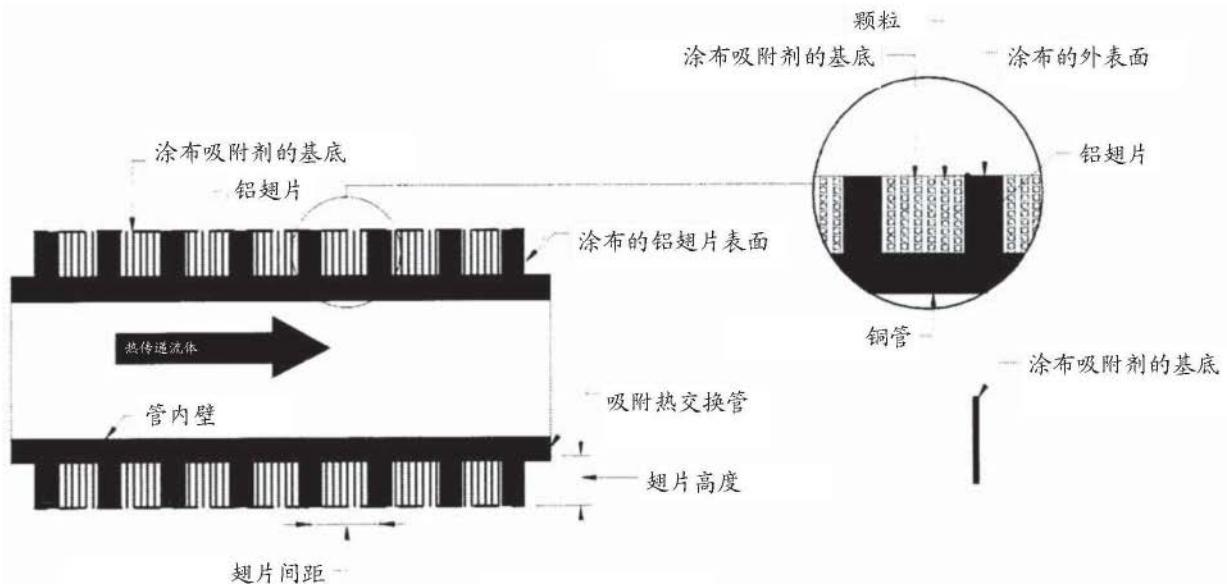


图4 (d)

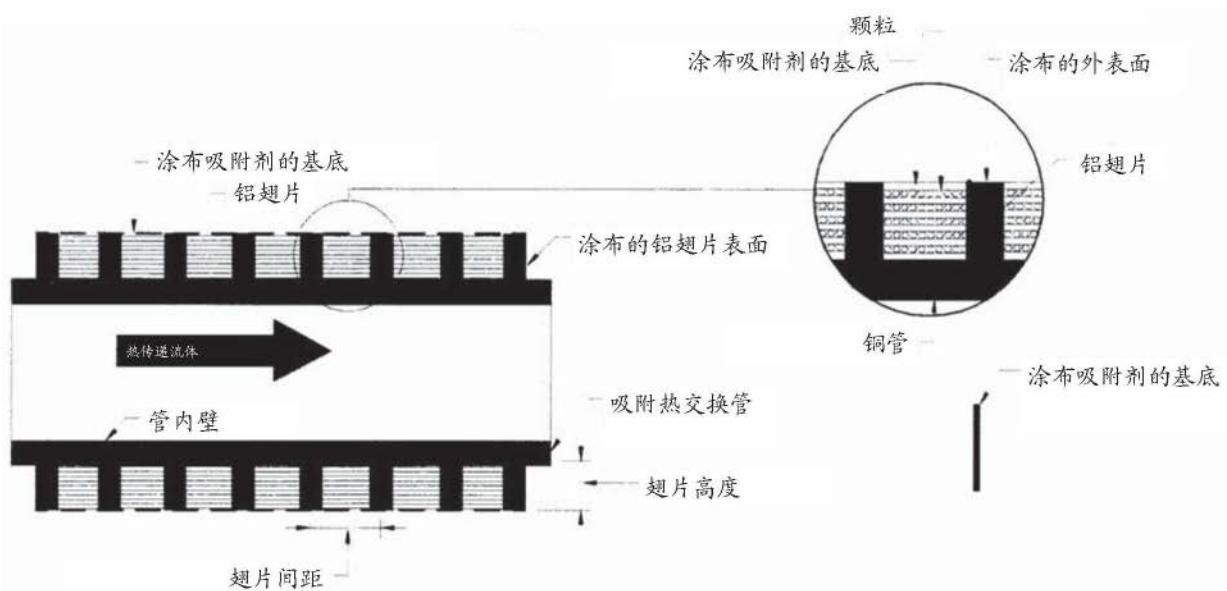


图4 (e)

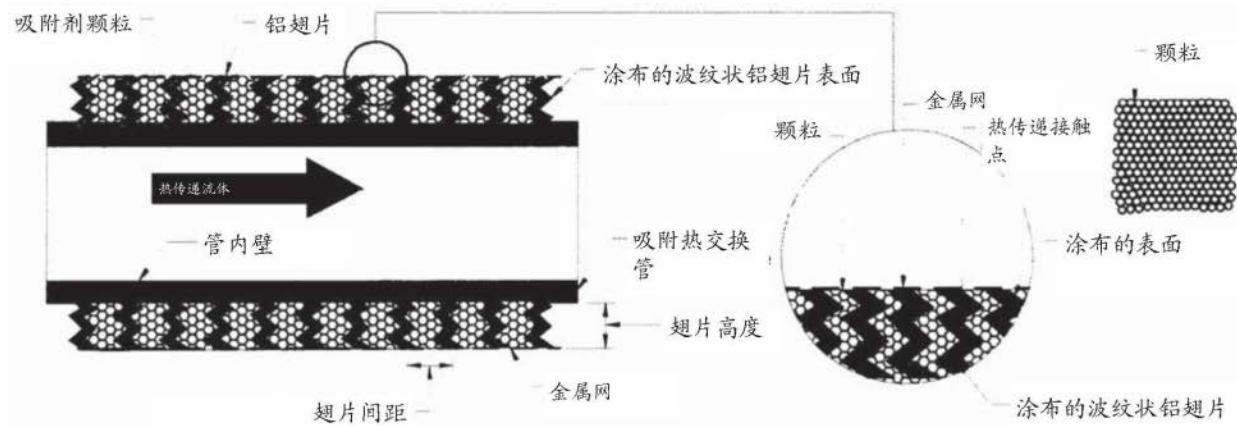


图4 (f)

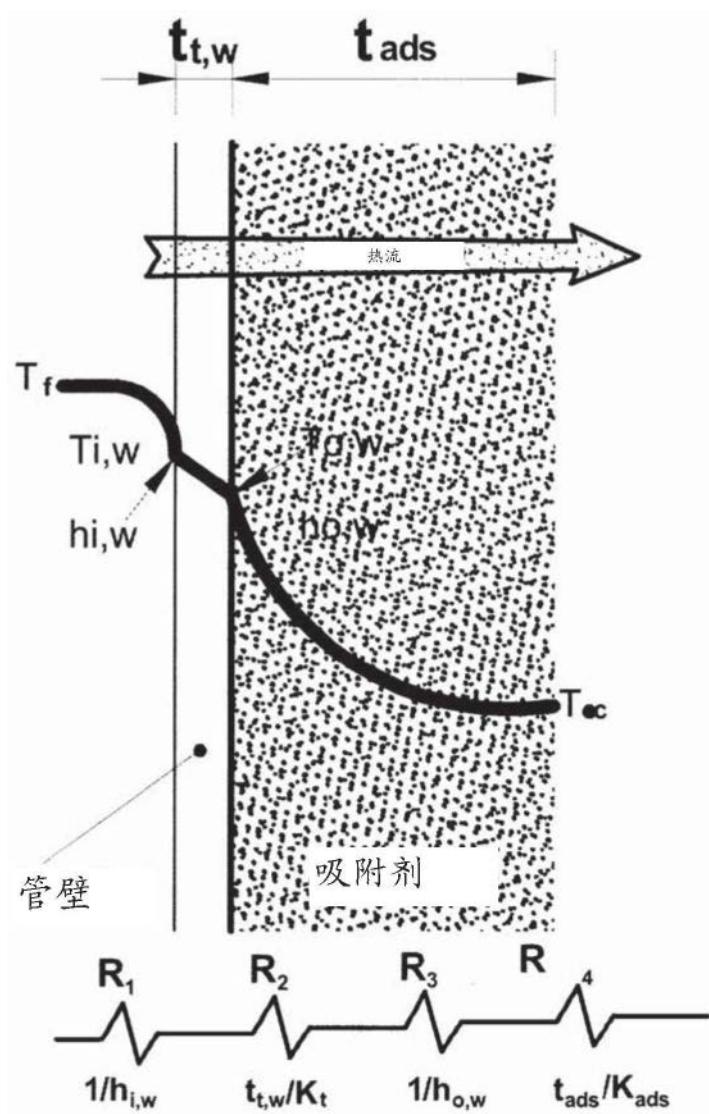


图5

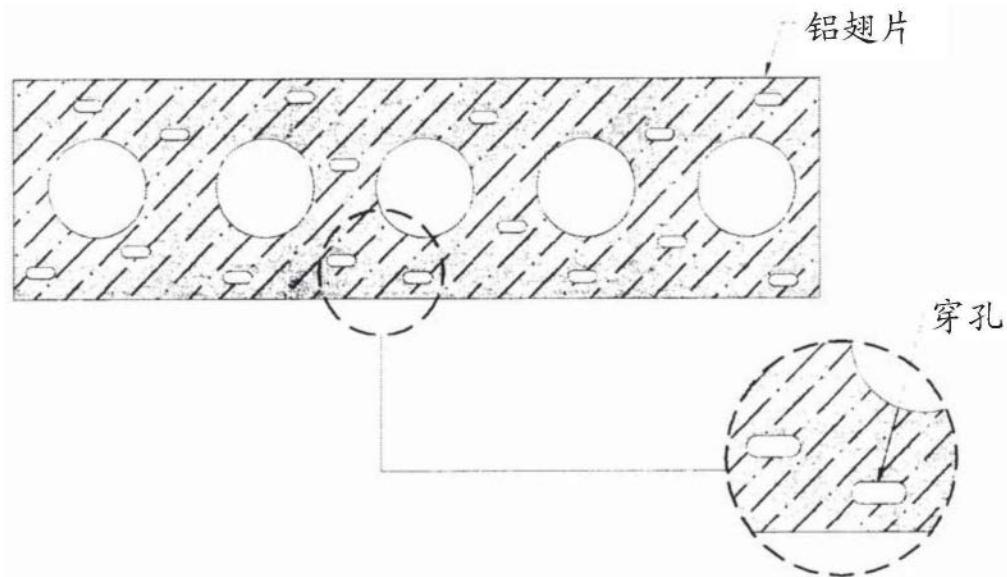
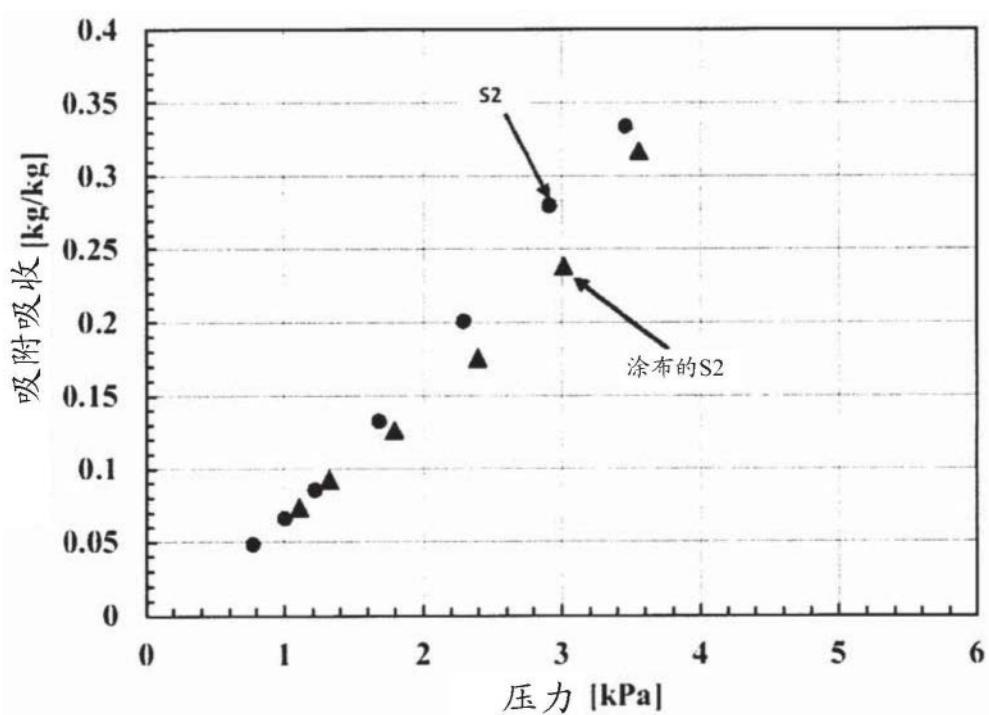
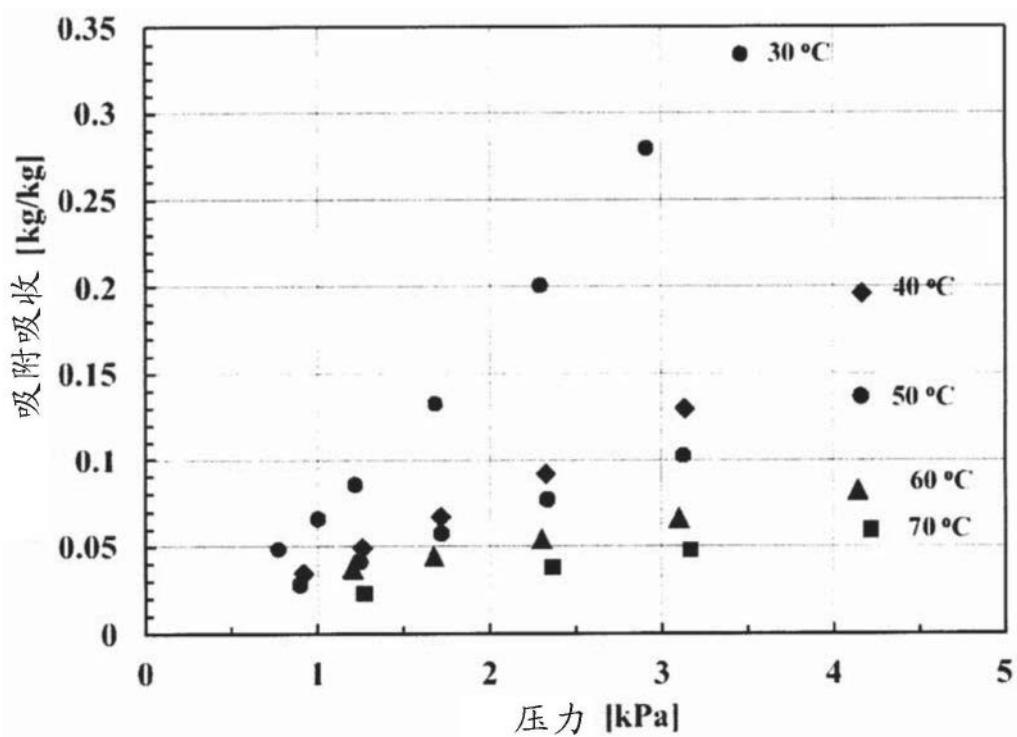


图6



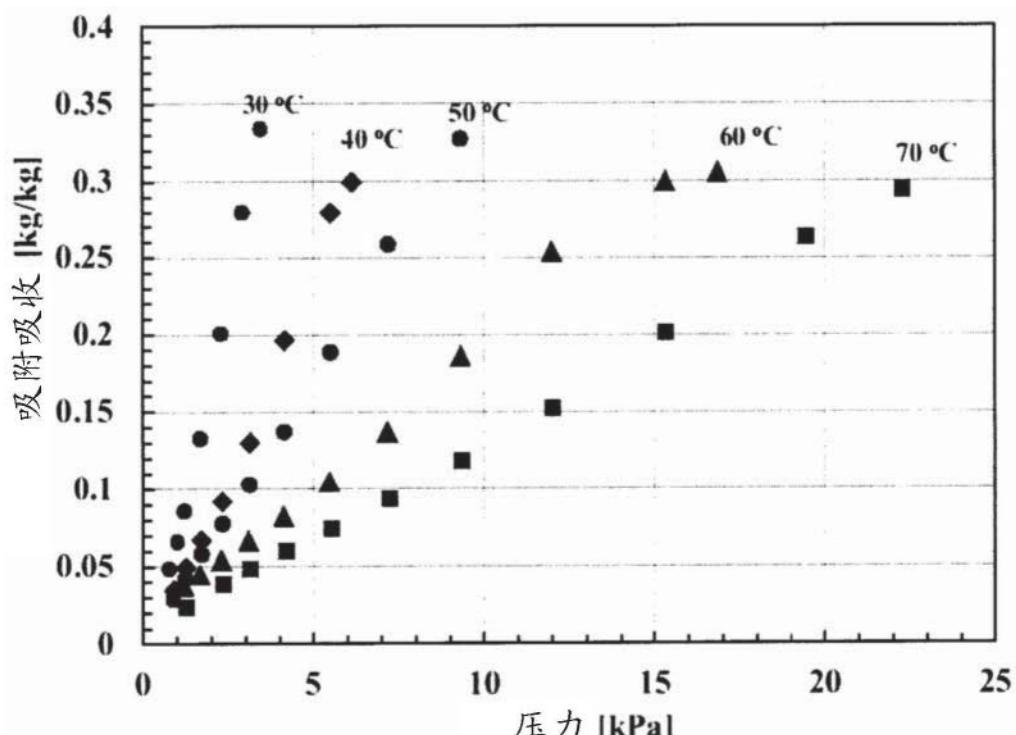
在30°C在S2和涂布的S2上的水的吸附等温线

图7



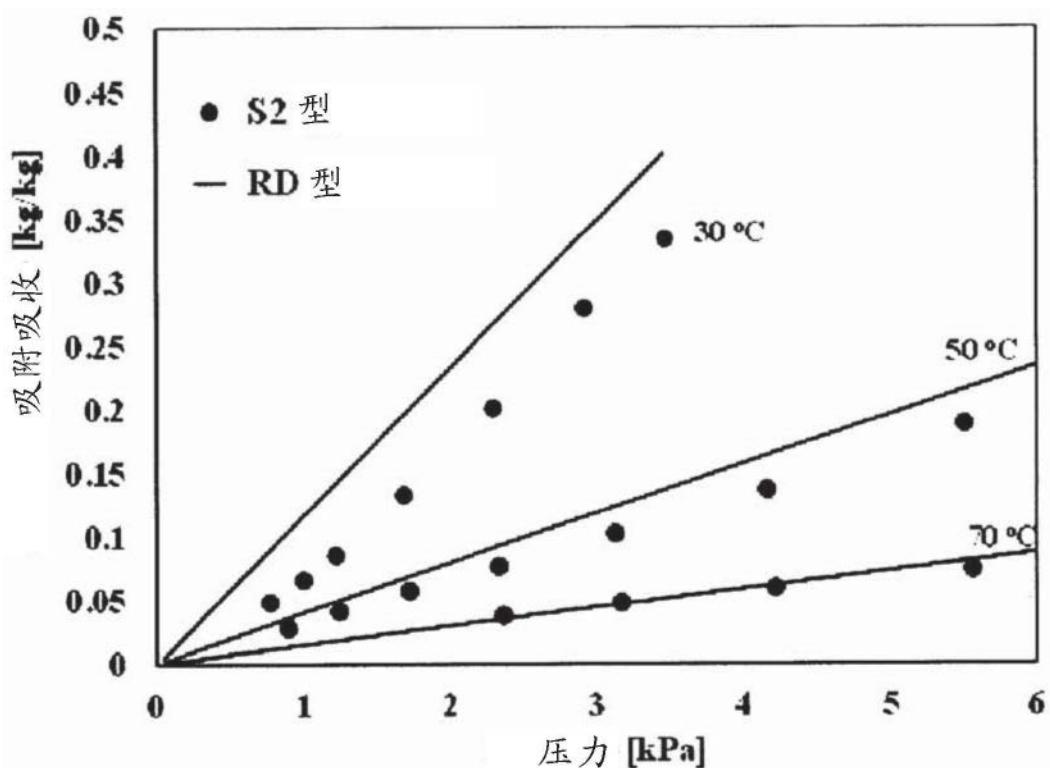
在S2吸附剂上的水的吸附等温线（高达5 kPa）

图8



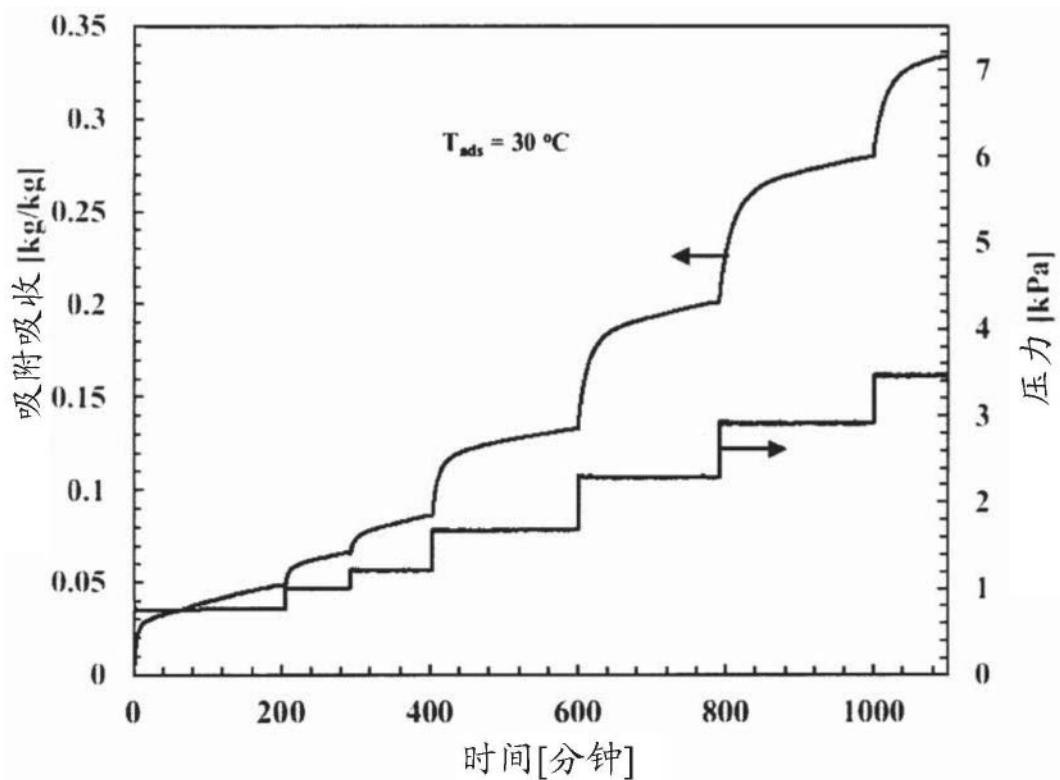
在S2吸附剂上的水的吸附等温线

图9



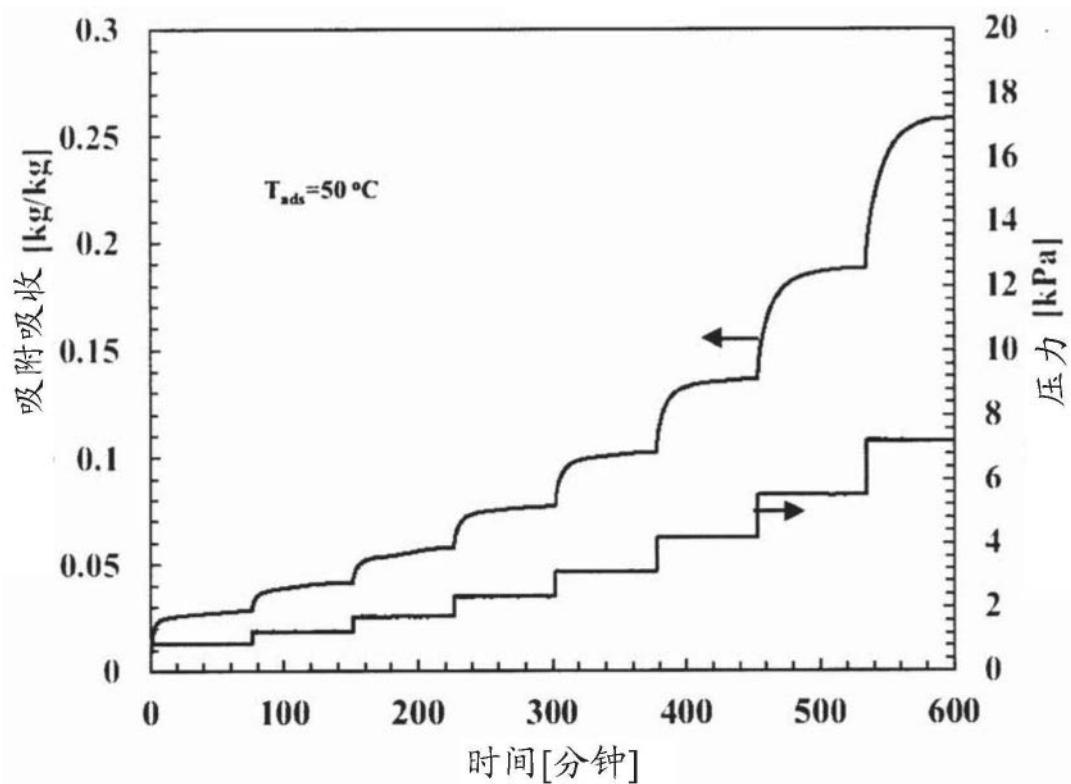
在S2型和富士RD型硅胶上的水的吸附等温线

图10



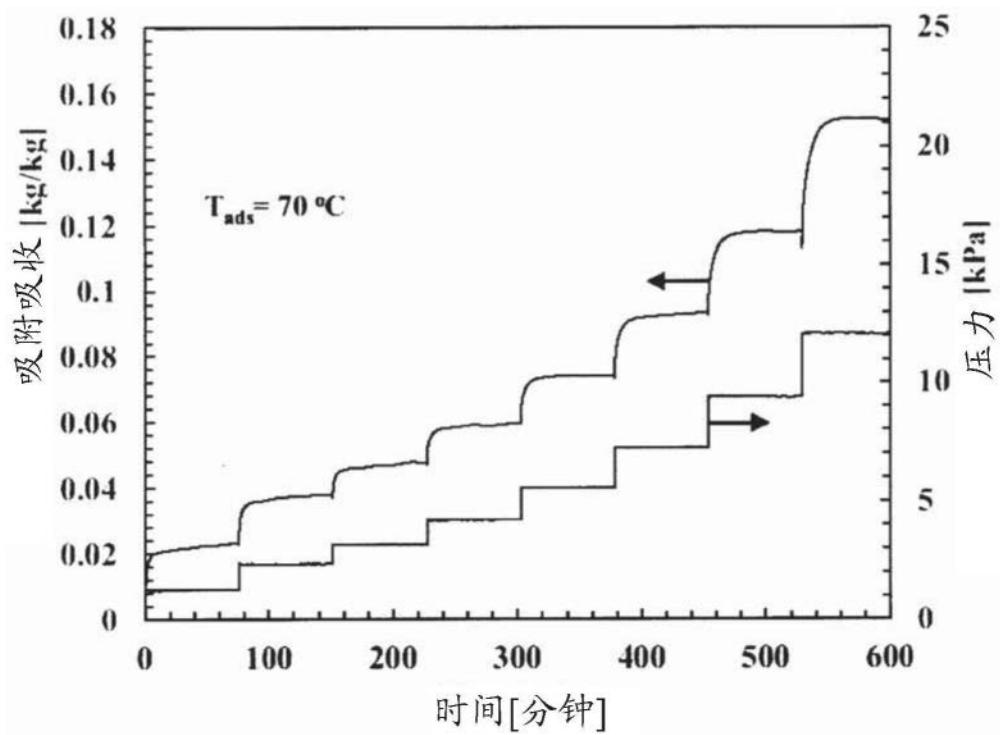
在吸附温度  $30^{\circ}\text{C}$  针对 S2 型硅胶/水对的吸附吸收和压力的曲线

图11 (a)



在吸附温度50°C针对S2型硅胶/水对的吸附吸收  
和压力的曲线

图11 (b)



在吸附温度  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$  针对 S2 型硅胶/水对的吸附吸收  
和压力的曲线

图11 (c)

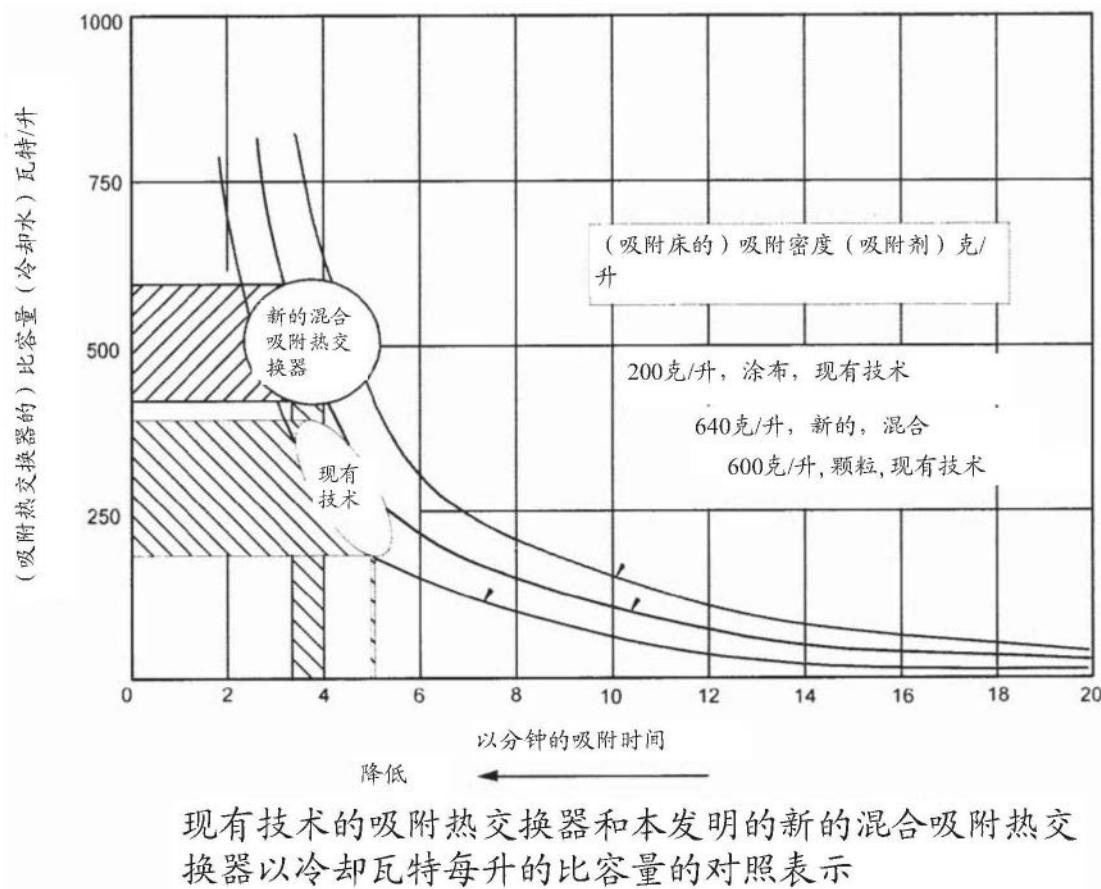
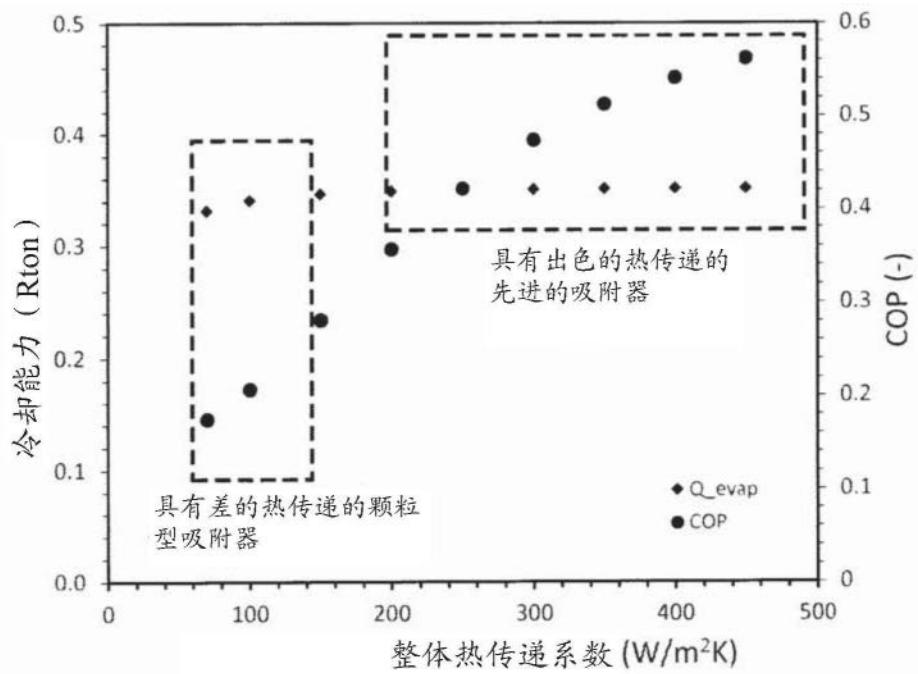
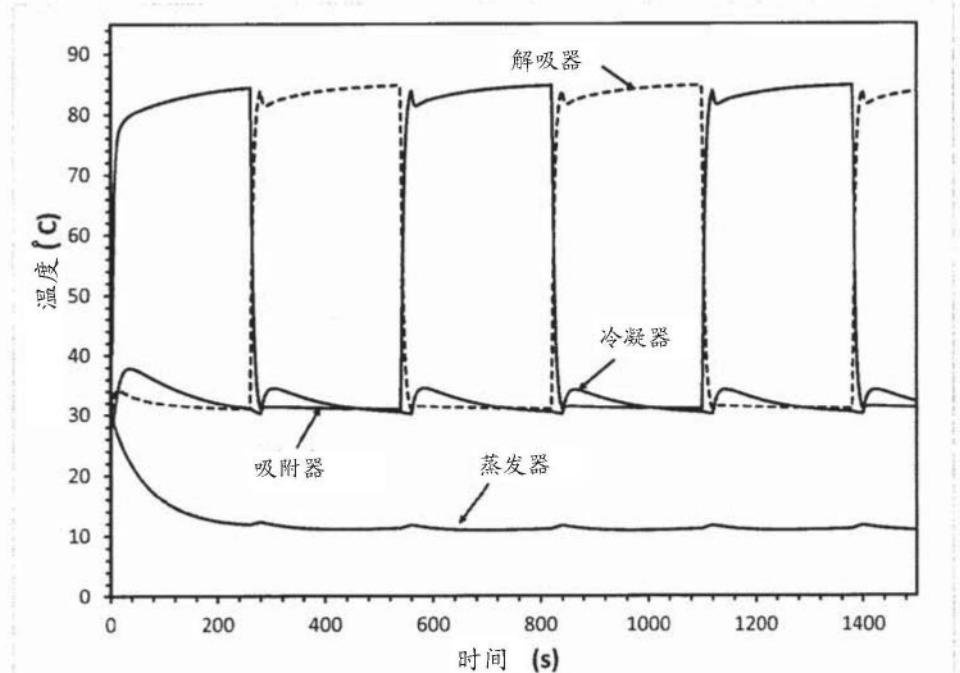


图12



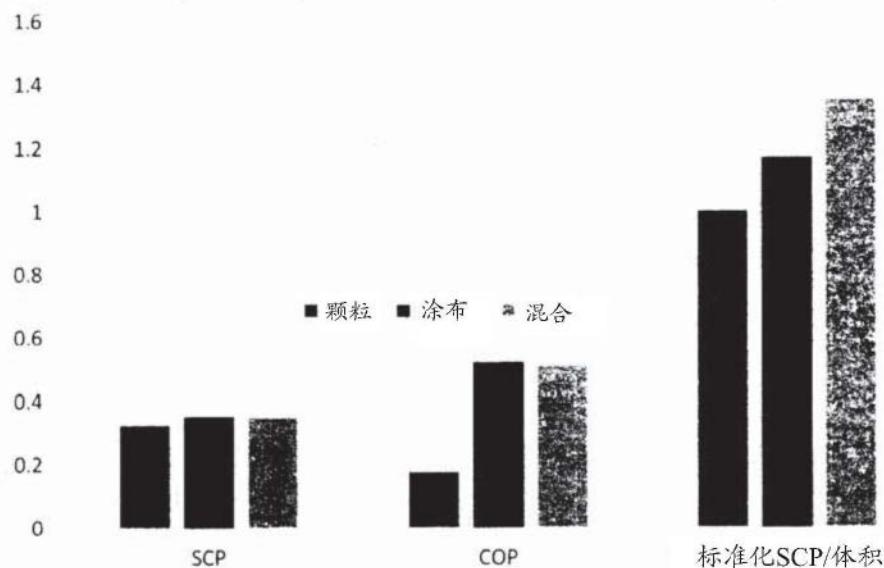
具有不同类型的吸附热交换器构造的吸附制冷机的性能和吸附器内的热传递

图13



转变为用于吸附和解吸的整体热传递系数的使用涂布型吸附剂的吸附制冷机的温度曲线 ( $U_{ads}=350 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

图14



颗粒、涂布和混合型吸附/解吸热交换器的性能比较

图15