



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112050618 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 05

(21) 申请号 202010775756.9

(22) 申请日 2020.08.05

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112050618 A

(43) 申请公布日 2020.12.08

(73) 专利权人 同济大学  
地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72) 发明人 成家豪 张春路 曹祥

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 陈天宝

(51) Int. Cl.

F26B 23/00 (2006.01)

F25B 30/06 (2006.01)

F25B 41/37 (2021.01)

(56) 对比文件

CN 205048939 U, 2016.02.24

CN 109737636 A, 2019.05.10

CN 106440748 A, 2017.02.22

CN 109631560 A, 2019.04.16

DE 102015103732 A1, 2016.09.15

CN 107166902 A, 2017.09.15

审查员 吕峰

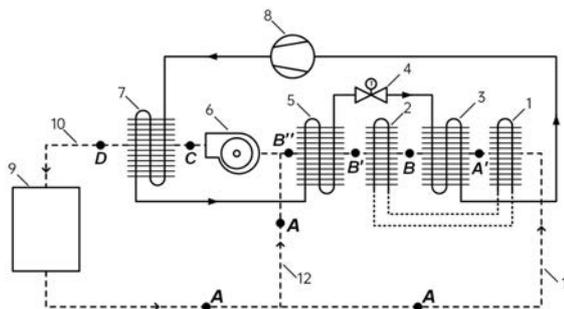
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

三效热回收型混风式热泵烘干系统及其应用

(57) 摘要

本发明涉及一种三效热回收型混风式热泵烘干系统及其应用,其中制冷剂循环中的蒸发器的前后设置有环路热管,实现回风间的能量转移,环路热管利用机械除湿后的部分冷能预冷空气循环中的回风,进行初步热湿回收;空气循环中流经至蒸发器的回风温度降低至露点,并使其中水蒸气凝结,蒸发器深度回收回风中的湿效潜热;制冷剂循环和空气循环中还包括过冷再热盘管,过冷再热盘管深度回收经过环路热管和蒸发器后回风中的剩余冷能。与现有技术相比,本发明中的烘房排风引入热泵系统后,依次采取环路热管的初步热湿回收、蒸发器的深度潜热回收和过冷再热盘管的深度冷能回收,大幅提升烘干过程中的能源利用率。



1. 一种三效热回收型混风式热泵烘干系统,包括制冷剂循环和空气循环,其特征在于,制冷剂循环中的蒸发器(3)的前后设置有环路热管,实现回风间的能量转移,所述环路热管利用机械除湿后的部分冷能预冷空气循环中的回风,进行初步热湿回收;

所述空气循环中流经至所述蒸发器(3)的回风温度降低至露点,并使其中水蒸气凝结,所述蒸发器(3)深度回收回风中的湿效潜热;

所述制冷剂循环和空气循环中还包括过冷再热盘管(5),所述过冷再热盘管(5)深度回收经过环路热管和蒸发器(3)后回风中的剩余冷能,用以过冷制冷剂;

所述制冷剂循环包括依次连接的蒸发器(3)的制冷剂通道、压缩机(8)、冷凝器(7)的制冷剂通道、过冷再热盘管(5)的制冷剂通道、节流元件(4),所述节流元件(4)与蒸发器(3)的制冷剂通道连接,构成循环;

所述环路热管包括循环连接的环路热管预冷器(1)的制冷剂通道和环路热管再热器(2)的制冷剂通道,所述环路热管循环流动制冷剂;

所述空气循环包括依次连接的烘房(9)、环路热管预冷器(1)的空气通道、蒸发器(3)的空气通道、环路热管再热器(2)的空气通道、过冷再热盘管(5)的空气通道、风机(6)、冷凝器(7)的空气通道,冷凝器(7)的空气通道与所述烘房(9)连接,构成循环;

所述空气循环中,回风从烘房(9)吹出后,分成第一回风通道(11)和第二回风通道(12),环路热管预冷器(1)、蒸发器(3)、环路热管再热器(2)和过冷再热盘管(5)的空气通道构成第一回风通道(11),烘房(9)的空气输出端与所述风机(6)的空气输入端连接,构成第二回风通道(12),第一回风通道(11)和第二回风通道(12)中的回风在风机(6)的驱动和掺混下均匀混合;

所述第一回风通道(11)或第二回风通道(12)的入口处设有流阻调节组件,以此改变第一回风通道(11)或第二回风通道(12)的进风阻力,从而调节第一回风通道(11)和第二回风通道(12)的混风比例;

所述过冷再热盘管(5)包括一级过冷再热盘管(5-1)和二级过冷再热盘管(5-2);

空气循环包括依次连接的烘房(9)、环路热管预冷器(1)的空气通道、蒸发器(3)的空气通道、一级过冷再热盘管(5-1)的空气通道、环路热管再热器(2)的空气通道、二级过冷再热盘管(5-2)的空气通道、风机(6)、冷凝器(7)的空气通道,冷凝器(7)的空气通道与所述烘房(9)连接,构成循环;

所述空气循环中的风流量为 $4 \sim 5 \text{ m}^3 / \text{s}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种三效热回收型混风式热泵烘干系统,其特征在于,所述环路热管预冷器(1)和环路热管再热器(2)间制冷剂的流动通过重力、毛细力或泵驱动中的一种。

3. 根据权利要求1所述的一种三效热回收型混风式热泵烘干系统,其特征在于,所述第一回风通道(11)的回风先流经环路热管预冷器(1)的空气通道降温,再流经蒸发器空气通道(3)冷却除湿,从蒸发器出来的低温回风经过环路热管再热器(2)和过冷再热盘管(5)的两级再热,被加热到接近正常回风温度;

第一回风通道(11)被处理后的回风与第二回风通道(12)的未处理回风混合,再由风机(6)驱动流经冷凝器(7)的空气通道,升温变成高温低湿的热空气,从冷凝器(7)的空气通道流出后再被送入烘房(9)中。

4. 如权利要求1~3中任一项所述三效热回收型混风式热泵烘干系统在大风量烘干工艺中的应用,其特征在於,所述空气循环中的风流量为 $4 \sim 5 \text{ m}^3 / \text{s}$ 。

## 三效热回收型混风式热泵烘干系统及其应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种热泵烘干系统,尤其是涉及三效热回收型混风式热泵烘干系统及其应用。

### 背景技术

[0002] 基于热泵技术的闭式烘干系统,例如CN101695404A公开的一种用于蔬菜脱水干燥的内循环式热泵,利用热泵蒸发端对烘房排风冷却除湿,从而回收干燥热风从产物中带出的大量水蒸气潜热,烘干过程的能源利用率较高,单位能耗除湿量是电加热系统的3~4倍。

[0003] 许多烘干产业有大风量的工艺需求,例如海苔/紫菜烘干,需要大量热风快速进入烘房,以保证烘制出的海苔/紫菜平整、不易破碎。在大风量条件下,受制于换热面积难以满足和压缩机难于适配的问题,简单的闭式热泵系统难以应用,需要引入混风形式(参见CN107642925B):仅分流部分回风流经蒸发器降温除湿,在蒸发器后两股回风再混合一同进入冷凝器被加热,实现蒸发器和冷凝器风量的差异化设计(参见图1)。

[0004] 然而,现有的混风式热泵烘干系统中,烘干过程的能源利用率仍有很大提升空间,主要表现在热回收不充分上:流经蒸发器的回风往往相对湿度较低,需要先被冷却到接近露点温度,再冷凝除湿。参见图2中空气工况变化,回风降温除湿后,温度很低,携带了巨大冷能(状态A→状态B),但这部分冷能在和另一股未经处理的高温回风混合中损失了,进入到冷凝器的仍是温度较高的混风(状态A+状态B→状态C)。

[0005] CN107130415B在衣物干燥领域公开了一种利用热管转移蒸发器后冷能以预冷回风的装置,但热管的特性决定了蒸发器后回风无法再热至正常回风温度(相变温度需低于回风温度),即仅能利用部分冷却除湿后的冷能。热管技术同样可以用于混风式热泵烘干系统,但热回收不充分的问题仍然存在,并更加严重,未回收冷能在混风过程中发生了损失。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供三效热回收型混风式热泵烘干系统及其应用,本发明中采用的三效热回收,是指烘房排风引入热泵系统后,依次采取环路热管的初步热湿回收(第一效热回收)、蒸发器的深度潜热回收(第二效热回收)和过冷再热盘管的深度冷能回收(第三效热回收),大幅提升烘干过程中的能源利用率。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0008] 本发明中三效热回收型混风式热泵烘干系统,包括制冷剂循环和空气循环,其特征在于,制冷剂循环中的蒸发器的前后设置有环路热管,实现回风间的能量转移,所述环路热管利用机械除湿后的部分冷能预冷空气循环中的回风,进行初步热湿回收;

[0009] 所述空气循环中流经至所述蒸发器的回风温度降低至露点,并使其中水蒸气凝结,所述蒸发器深度回收回风中的湿效潜热;

[0010] 所述制冷剂循环和空气循环中还包括过冷再热盘管,所述过冷再热盘管深度回收经过环路热管和蒸发器后回风中的剩余冷能,用以过冷制冷剂。

[0011] 进一步地,所述制冷剂循环包括依次连接的蒸发器的制冷剂通道、压缩机、冷凝器的制冷剂通道、过冷再热盘管的制冷剂通道、节流元件,所述节流元件与蒸发器的制冷剂通道连接,构成循环。

[0012] 进一步地,所述环路热管包括循环连接的环路热管预冷器的制冷剂通道和环路热管再热器的制冷剂通道,所述环路热管循环流动制冷剂。

[0013] 进一步地,所述环路热管预冷器和环路热管再热器间制冷剂的流动通过重力、毛细力或泵驱动中的一种,具体取决于实施中采用的热管类型。

[0014] 进一步地,所述空气循环包括依次连接的烘房、环路热管预冷器的空气通道、蒸发器的空气通道、环路热管再热器的空气通道、过冷再热盘管的空气通道、风机、冷凝器的空气通道,冷凝器的空气通道与所述烘房连接,构成循环;

[0015] 所述空气循环中,回风从烘房吹出后,分成第一回风通道和第二回风通道,环路热管预冷器、蒸发器、环路热管再热器和过冷再热盘管的空气通道构成第一回风通道,烘房的空气输出端与所述风机的空气输入端连接,构成第二回风通道,第一回风通道和第二回风通道中的回风在风机的驱动和掺混下均匀混合。

[0016] 进一步地,所述第一回风通道或第二回风通道的入口处设有流阻调节组件,以此改变第一回风通道或第二回风通道的进风阻力,从而调节第一回风通道和第二回风通道的混风比例。

[0017] 进一步地,所述第一回风通道的回风先流经环路热管预冷器的空气通道降温,再流经蒸发器空气通道冷却除湿,从蒸发器出来的低温回风经过环路热管再热器和过冷再热盘管的两级再热,被加热到接近正常回风温度;

[0018] 第一回风通道被处理后的回风与第二回风通道的未处理回风混合,再由风机驱动流经冷凝器的空气通道,升温变成高温低湿的热空气,从冷凝器的空气通道流出后再被送入烘房中。

[0019] 进一步地,所述环路热管的预冷器使流经的回风降温(当相变温度足够低时也可部分除湿),再热器使流经的回风升温。

[0020] 进一步地,所述的制冷剂循环中,蒸发器制冷剂通道中的低温制冷剂蒸发,使流经回风降温冷却及凝水除湿。

[0021] 进一步地,所述的制冷剂循环中,过冷再热盘管布置在冷凝器制冷剂流路的出口,用于加热流经回风、回收冷能,使制冷剂进一步冷凝及过冷。

[0022] 本发明的主要工作过程为:

[0023] 在空气循环侧:烘房出来的回风分成第一、第二回风通道,第一回风通道的回风先流经环路热管预冷器的空气通道降温,再流经蒸发器空气通道冷却除湿,从蒸发器出来的低温回风经过环路热管再热器和过冷再热盘管的两级再热,被加热到接近正常回风温度。第一回风通道被处理后的回风与第二回风通道的未处理回风混合,再由风机驱动至流经冷凝器的空气通道,升温变成高温低湿的热空气,从冷凝器的空气通道流出后再被送入烘房中,进行产物的烘制。

[0024] 在制冷剂循环侧:蒸发器的制冷剂通道流出低温低压的制冷剂气体进入压缩机,在压缩机中压缩得到高温高压的制冷剂气体,再依次流经冷凝器和过冷再热盘管的制冷剂通道中进行冷凝、过冷,变为低温高压的制冷剂液体。由过冷再热盘管的制冷剂通道流出的

低温高压的制冷剂液体经过节流元件的节流作用后,进入蒸发器的制冷剂通道中蒸发,从流经的空气中吸热,重新变为低温低压的制冷剂气体,完成制冷剂循环。

[0025] 在环路热管侧:预冷器和再热器联通,内部流动制冷剂。预冷器的空气通道中流经高温回风,使其制冷剂通道中的液态制冷剂蒸发,进而从回风中吸热,实现降温预冷的目的。再热器的空气通道中流经低温回风,使其制冷剂通道中的气态制冷剂冷凝,进而向回风放热,实现升温再热的目的。预冷器和再热器间制冷剂的流动通过重力/毛细力或泵驱动,取决于实施中采用的热管类型。

[0026] 在具体实施中,环路热管再热器和过冷再热盘管在空气循环中的前后位置可以调换,以充分利用各自的优势。在具体实施中,还可布置两级的过冷再热盘管,一级过冷再热盘管、环路热管再热器和二级过冷再热盘管沿空气流路依次排列。

[0027] 作为本发明的另一种实施方式,所述空气循环包括依次连接的烘房、环路热管预冷器的空气通道、蒸发器的空气通道、过冷再热盘管的空气通道、环路热管再热器的空气通道、风机、冷凝器的空气通道,冷凝器的空气通道与所述烘房连接,构成循环。

[0028] 作为本发明的另一种实施方式,所述过冷再热盘管包括一级过冷再热盘管和二级过冷再热盘管;

[0029] 空气循环包括依次连接的烘房、环路热管预冷器的空气通道、蒸发器的空气通道、一级过冷再热盘管的空气通道、环路热管再热器的空气通道、二级过冷再热盘管的空气通道、风机、冷凝器的空气通道,冷凝器的空气通道与所述烘房连接,构成循环。

[0030] 本发明中的三效热回收型混风式热泵烘干系统在大风量烘干工艺中有着较好的应用效果,例如海苔/紫菜烘干,需要大量热风快速进入烘房,以保证烘制出的海苔/紫菜平整、不易破碎,具体应用场景的空气循环中的风流量为 $4\sim 5\text{m}^3/\text{s}$ 。

[0031] 面向大风量的混风式热泵烘干系统,本发明采用三效热回收,提升了烘干过程的能源利用率:

[0032] 1) 环路热管的初步热湿回收:在蒸发器前后布置环路热管,实现回风间的能量转移,利用机械除湿后的部分冷能来预冷回风,进行初步热湿回收。

[0033] 2) 蒸发器的深度潜热回收:环路热管不承担或只承担少量湿负荷,蒸发器使流经的回风降低至露点并使其中水蒸气凝结,深度回收回风中的湿效潜热。

[0034] 3) 过冷再热盘管的深度冷能回收:蒸发器冷却除湿后的冷能除了少部分被热管转移用以预冷回风外,剩余的冷能被过冷再热盘管深度回收,用以过冷制冷剂。

[0035] 本发明与现有技术相比,具有以下有益效果:

[0036] 1) 和简单混风式热泵烘干系统相比,增设环路热管,不需额外耗功(重力型)或仅耗费少量泵功(制冷剂泵型),可回收冷能预冷回风,降低蒸发器中无用显热的占比,提升蒸发器中凝水潜热占比(Latent heat ratio,LHR)。

[0037] 2) 和简单混风式热泵烘干系统相比,增设过冷再热盘管,减小蒸发器后低温回风与第二回风通道中未处理回风混合的冷能损失,相反,回收该部分冷能过冷制冷剂,增大过冷度,提升了制冷剂循环能效(Coefficient of performance,COP)。

[0038] 3) 和简单混风式热泵烘干系统相比,本发明采用三效热回收,如1) 2) 所述,从蒸发器潜热占比(LHR)和制冷剂循环能效(COP)的不同角度提升了机组的除湿能效(单位能耗除湿量SMER与LHR和COP成正比,总增幅超过30%),效果相比单一技术的使用更为显著。

[0039] 4) 本发明还具备机组装机容量更小、初投资可显著降低的优势:①环路热管的再热端承担了部分回风加热量,而过冷再热盘管的进风温度低、换热温差更大,都使得机组所需换热面积减小。②除湿能效的提升,使得在相同湿负荷下可选配更小容量的压缩机。

### 附图说明

[0040] 图1为简单混风式热泵烘干系统的原理示意图。

[0041] 图2为简单混风式热泵烘干系统中空气工况的焓湿图。

[0042] 图3为本发明三效热回收型混风式热泵烘干系统实施例1的原理示意图。

[0043] 图4为本发明三效热回收型混风式热泵烘干系统实施例1中空气工况的焓湿图。

[0044] 图5为本发明三效热回收型混风式热泵烘干系统实施例2的原理示意图。

[0045] 图6为本发明三效热回收型混风式热泵烘干系统实施例2中空气工况的焓湿图。

[0046] 图7为本发明三效热回收型混风式热泵烘干系统实施例3的原理示意图。

[0047] 图8为本发明三效热回收型混风式热泵烘干系统实施例3中空气工况的焓湿图。

[0048] 图中:1、环路热管预冷器,2、环路热管再热器,3、蒸发器,4、节流元件,5、过冷再热盘管,5-1、一级过冷再热盘管,5-2、二级过冷再热盘管,6、风机,7、冷凝器,8、压缩机,9、烘房,10、送风通道,11、第一回风通道,12、第二回风通道。A、回风空气工况,A'、环路热管预冷后工况,B、蒸发器冷却除湿后工况,B'、环路热管再热后工况,B''、过冷再热盘管再热后工况,B1''、一级过冷再热盘管再热后工况,B2''、二级过冷再热盘管再热后工况,C、混风后工况,D、冷凝器再热后送风工况。

### 具体实施方式

[0049] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。在本发明各个实施例中,以海苔的烘焙工艺进行举例,若针对其它产品且采用大风量烘干工艺时,仍然适用本发明中的三效热回收型混风式热泵烘干系统。

[0050] 实施例1

[0051] 本实施例中三效热回收型混风式热泵烘干系统(参见图3),包括环路热管、制冷剂循环和空气循环。

[0052] 环路热管包括循环连接的预冷器1的制冷剂通道和再热器2的制冷剂通道。预冷器1和再热器2联通,内部流动制冷剂。预冷器1和再热器2间制冷剂的流动通过重力/毛细力或泵驱动,取决于实施中采用的热管类型。

[0053] 制冷剂循环包括依次连接的蒸发器3的制冷剂通道、压缩机8、冷凝器7的制冷剂通道、过冷再热盘管5的制冷剂通道、节流元件4,所述节流装置4与蒸发器3的制冷剂通道连接,构成循环。

[0054] 制冷剂循环中,蒸发器3制冷剂通道中的低温制冷剂蒸发,使流经回风降温冷却及凝水除湿。过冷再热盘管5布置在冷凝器7的流路出口,用于制冷剂的进一步冷凝及过冷。

[0055] 空气循环包括依次连接的烘房9、环路热管预冷器1的空气通道、蒸发器3的空气通道、环路热管再热器2的空气通道、过冷再热盘管5的空气通道、风机6、冷凝器7的空气通道,冷凝器7的空气通道与所述烘房9连接,构成循环。

[0056] 空气循环中,回风从烘房9吹出后,分成第一回风通道11和第二回风通道12。环路

热管预冷器1、蒸发器3、环路热管再热器2和过冷再热盘管5的空气通道构成第一回风通道11。烘房9的空气输出端与所述风机6的空气输入端连接,构成第二回风通道12。第一、第二回风通道中的回风在风机6的驱动和掺混下均匀混合。第一回风通道11或第二回风通道12的入口处设有流阻调节组件,以此改变该通道的进风阻力,从而调节第一回风通道11和第二回风通道12的混风比例。

[0057] 本实施例的工作流程为(参见图3、图4):

[0058] 在空气循环侧:烘房出来的回风分成第一、第二回风通道,第一回风通道11的回风先流经环路热管预冷器1的空气通道降温(状态A→A'),再流经蒸发器空气通道3冷却除湿(状态A'→B),从蒸发器出来的低温回风经过环路热管再热器2和过冷再热盘管5的两级再热,被加热到接近正常回风温度(状态B→B'→B'')。第一回风通道11被处理后的回风与第二回风通道12的未处理回风混合(状态A+B''→C),再由风机6驱动流经冷凝器7的空气通道,升温变成高温低湿的热空气(状态C→D),从冷凝器7的空气通道流出后再被送入烘房9中,实现对海苔的烘制。

[0059] 在制冷剂循环侧:蒸发器3的制冷剂通道流出低温低压的制冷剂气体进入压缩机8,在压缩机8中压缩得到高温高压的制冷剂气体,再依次流经冷凝器7和过冷再热盘管5的制冷剂通道中进行冷凝、过冷,变为低温高压的制冷剂液体。由过冷再热盘管5的制冷剂通道流出的低温高压的制冷剂液体经过节流元件4的节流作用后,进入蒸发器3的制冷剂通道中蒸发,从流经的空气中吸热,重新变为低温低压的制冷剂气体,完成制冷剂循环。

[0060] 在环路热管侧:预冷器1的空气通道中流经高温回风,使其制冷剂通道中的液态制冷剂蒸发,进而从回风中吸热,实现降温预冷的目的。再热器2的空气通道中流经低温回风,使其制冷剂通道中的气态制冷剂冷凝,进而向回风放热,实现升温再热的目的。

[0061] 实施例2

[0062] 本实施例同样采用环路热管、蒸发器和过冷再热盘管的三效热回收,其系统原理图和空气工况焓湿图如图5、图6所示。在第一回风通道11中,空气依次流经环路热管预冷器1降温和蒸发器3冷却除湿(状态A→A'→B),进而流经过冷再热盘管5和环路热管再热器2再热至正常回风温度(状态B→B''→B')。

[0063] 与实施例1相比,仅环路热管再热器2和过冷再热盘管5沿空气流路的先后顺序不同,环路热管再热器2布置在过冷再热盘管5的后面。该实施例优先满足过冷再热盘管5对冷能的深度回收,未改变环路热管及过冷再热盘管的功能。

[0064] 实施例3

[0065] 本实施例采用环路热管、蒸发器和过冷再热盘管的三效热回收,其中过冷再热盘管设置一级过冷再热盘管5-1和二级过冷再热盘管5-2的两级深度冷能回收,其系统原理图和空气工况焓湿图如图7、图8所示。在第一回风通道11中,空气依次流经环路热管预冷器1降温和蒸发器3冷却除湿(状态A→A'→B),蒸发器3后的低温回风依次经过一级过冷再热盘管5-1、环路热管再热器2和二级过冷再热盘管5-2的冷能回收(状态B→B1''→B'→B2''),被再热至正常回风温度。

[0066] 本实施例和实施例1相比,一级过冷再热盘管5-1布置在环路热管再热器2的空气流路前,能优先利用冷能过冷制冷剂的优势。和实施例2相比,在环路热管再热器2的空气流路后布置二级过冷再热盘管5-2,回收热管未能完全利用的冷能。该实施例兼顾了环路热管

的热湿回收和过冷再热盘管的深度冷能回收作用,未改变环路热管及过冷再热盘管的本质功能。

[0067] 上述实施例中未完整展示制冷剂循环和风道的所有部件,实施过程中,在制冷剂回路设置高压储液器、气液分离器、油分离、过滤器、干燥器等常见制冷辅件,在烘房的风道设置消声器,加湿器,加热器,杀菌装置等空气处理附件,选用不同的送风喷口和回风格栅,改变风机位置,或不脱离本发明技术方案的精神增加热交换器,风机和风阀等,均不能视为对本发明进行了实质性改进,应属于本发明保护范围。

[0068] 上述的对实施例的描述是为便于该技术领域的普通技术人员能理解和使用发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对这些实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,不脱离本发明范畴所做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

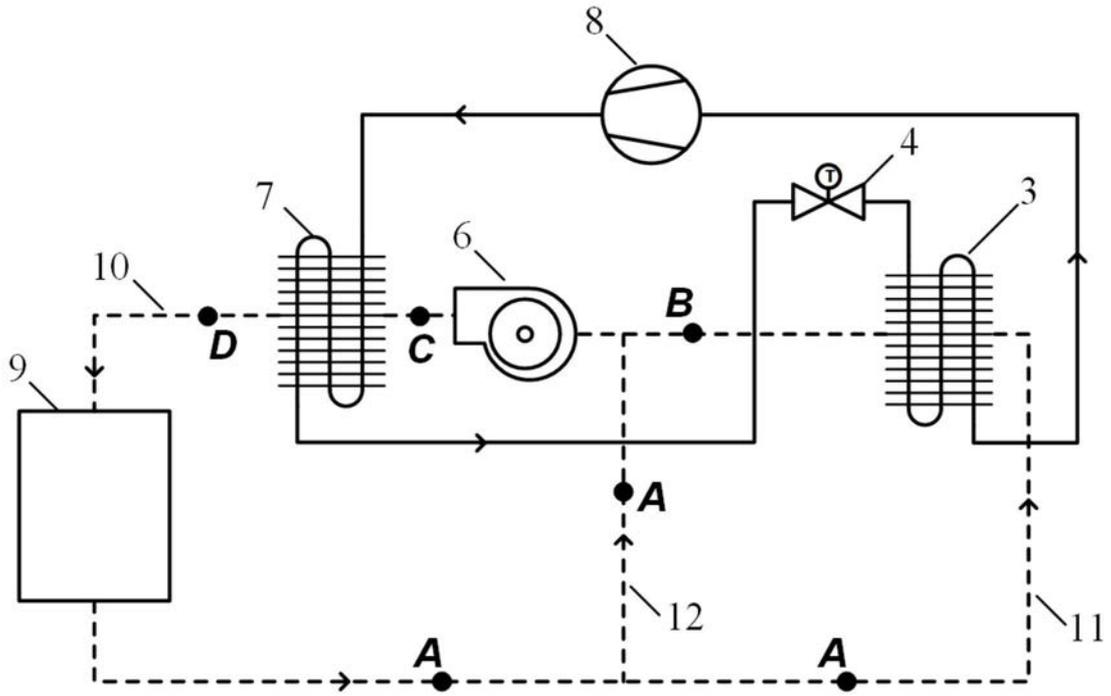


图1

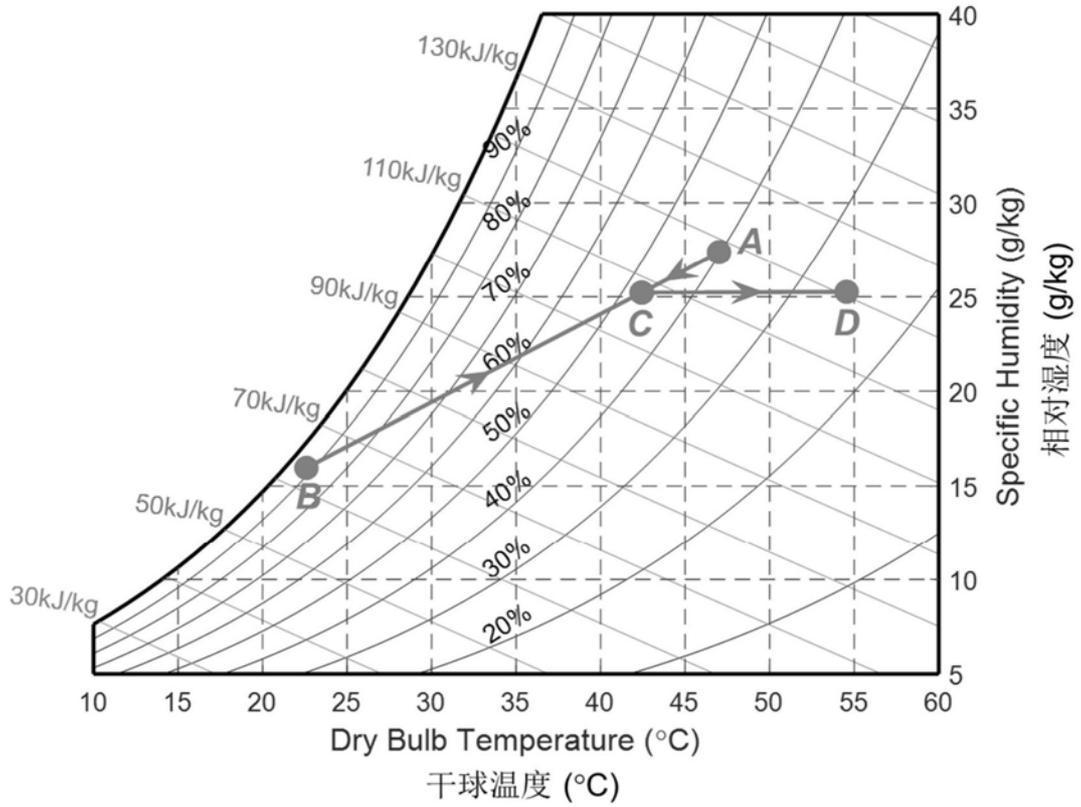


图2

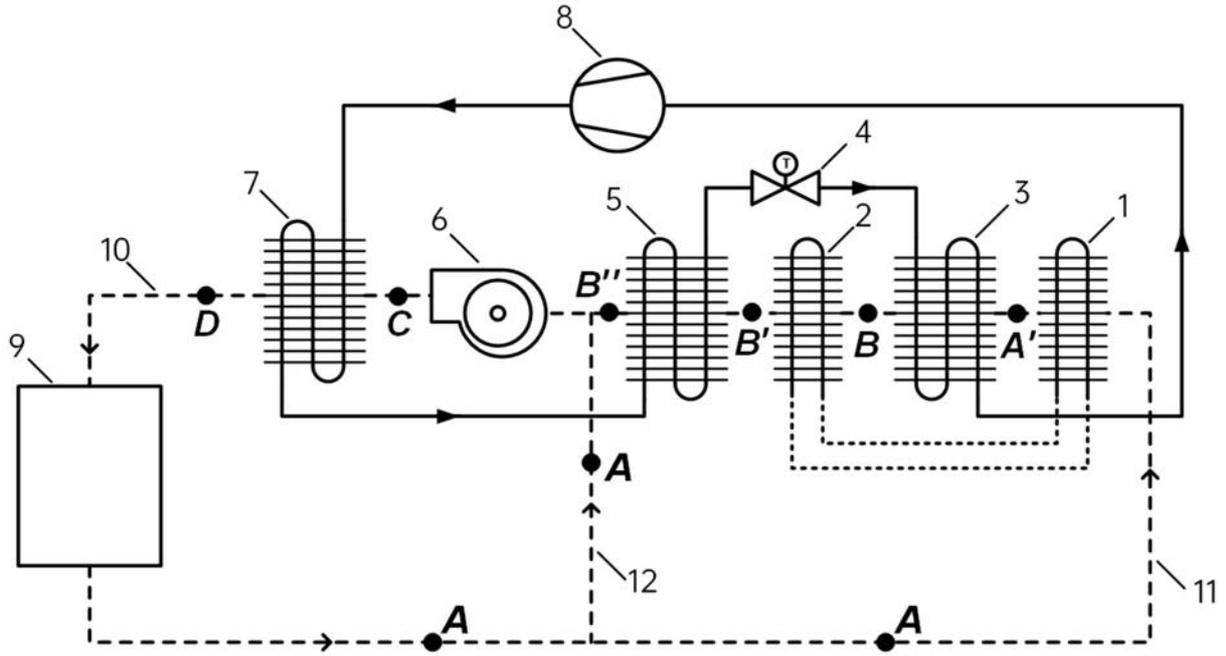


图3

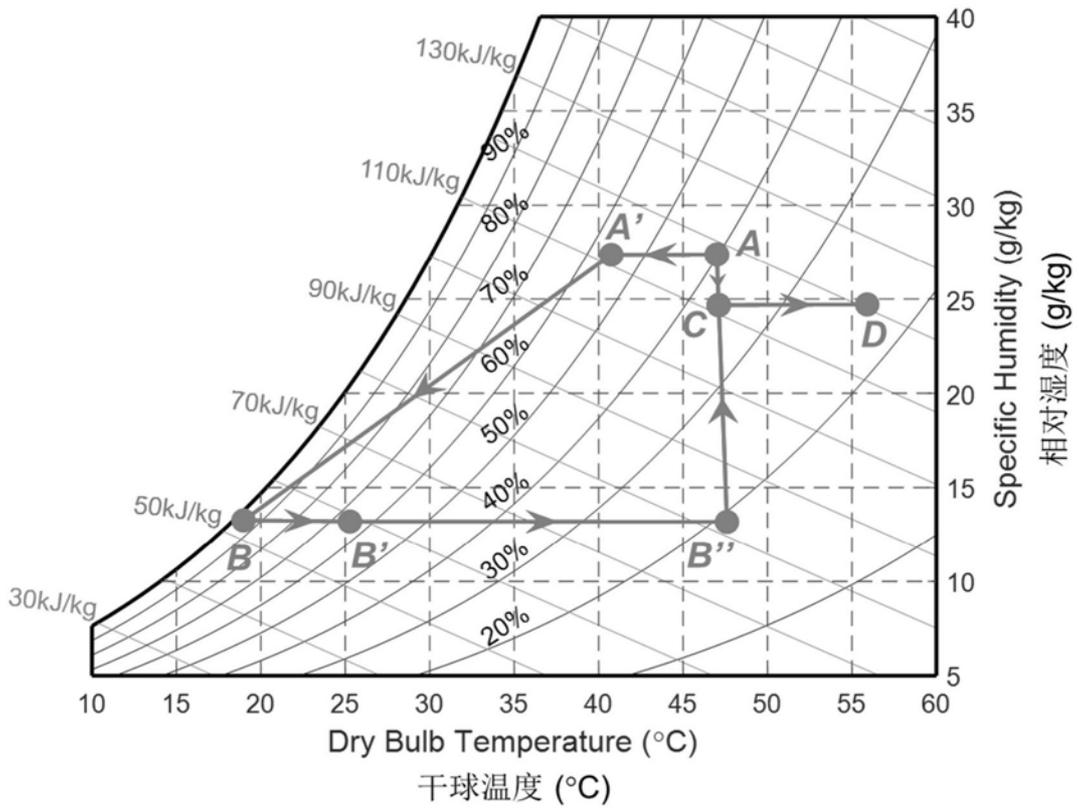


图4

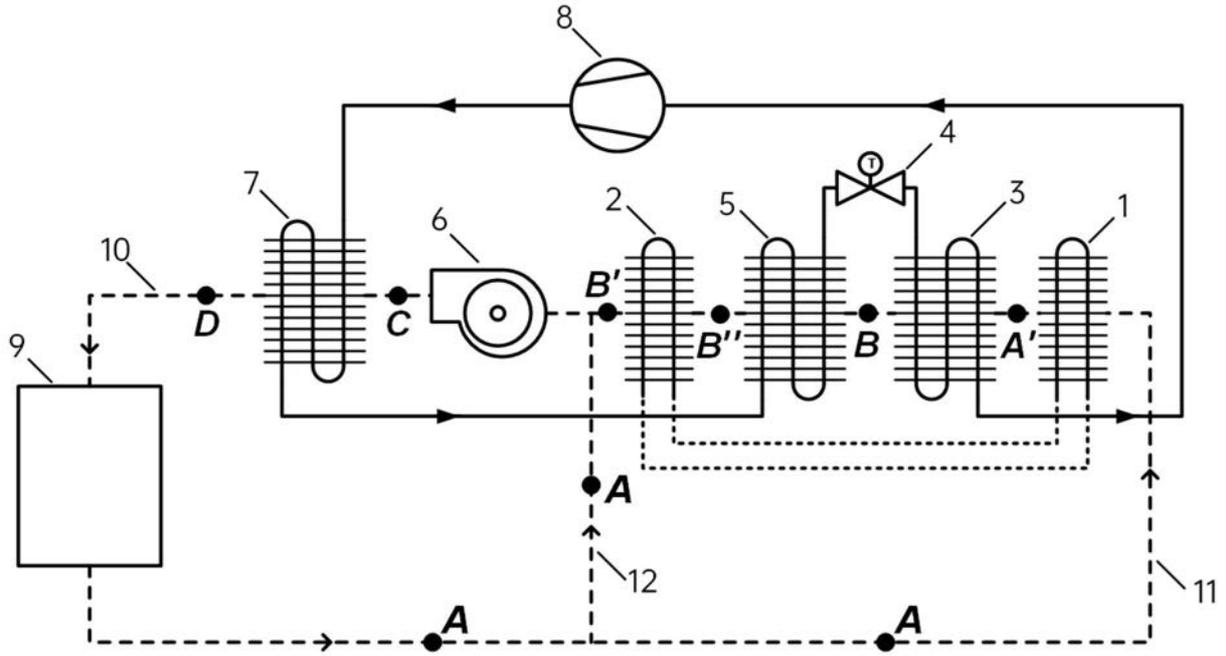


图5

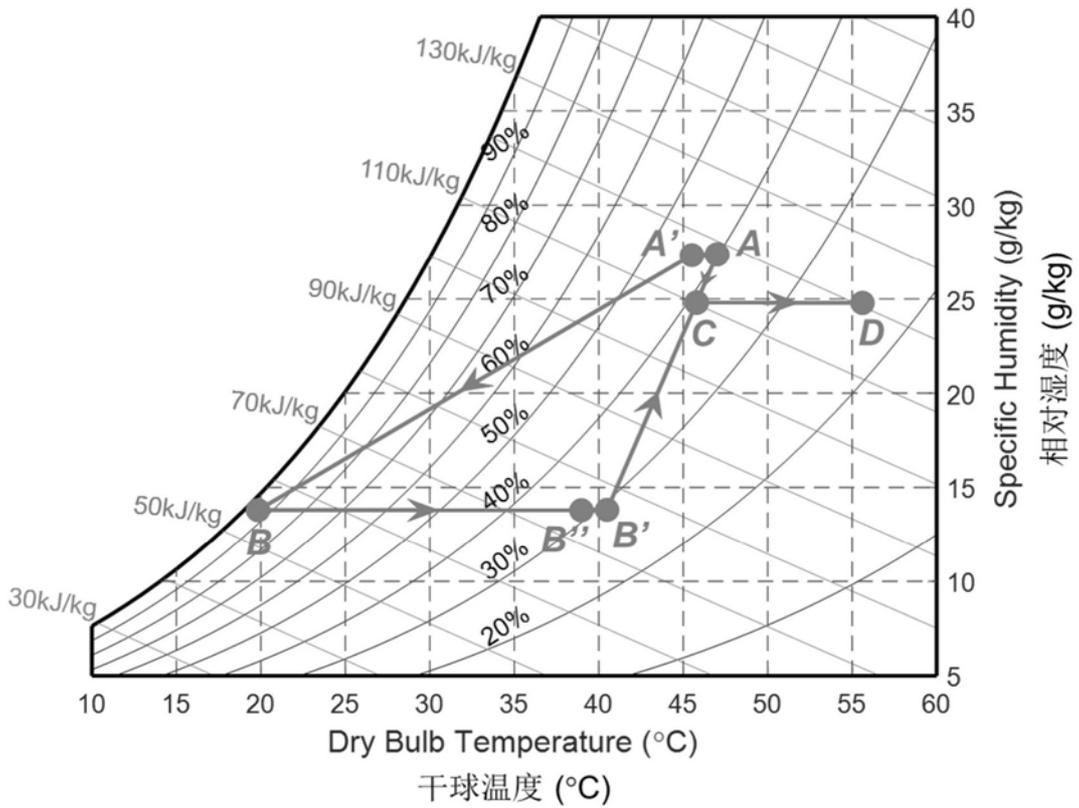


图6

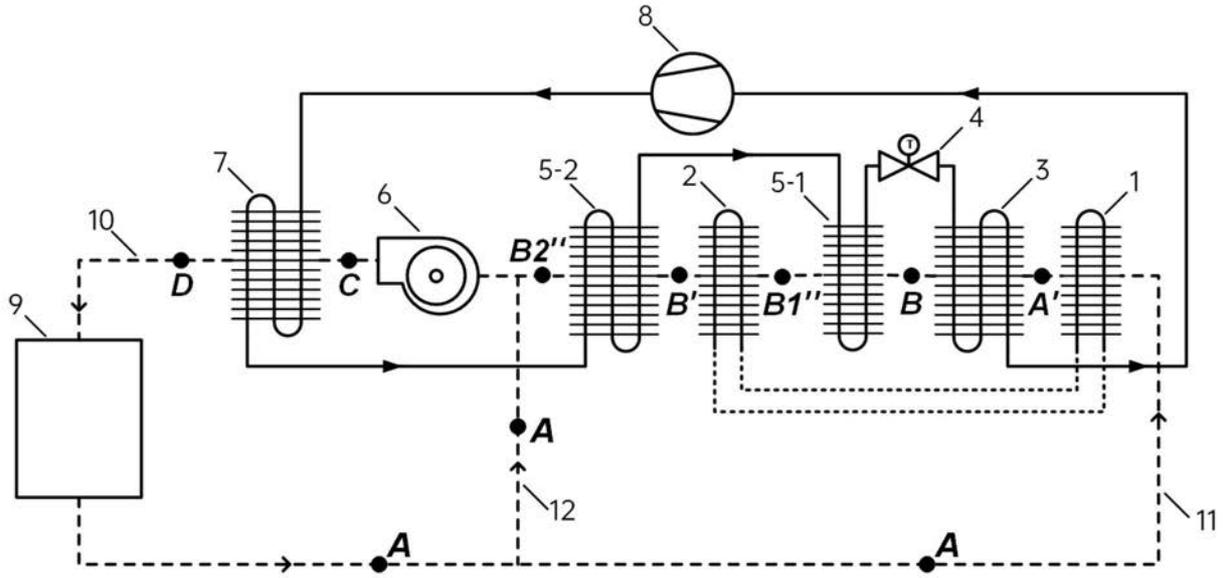


图7

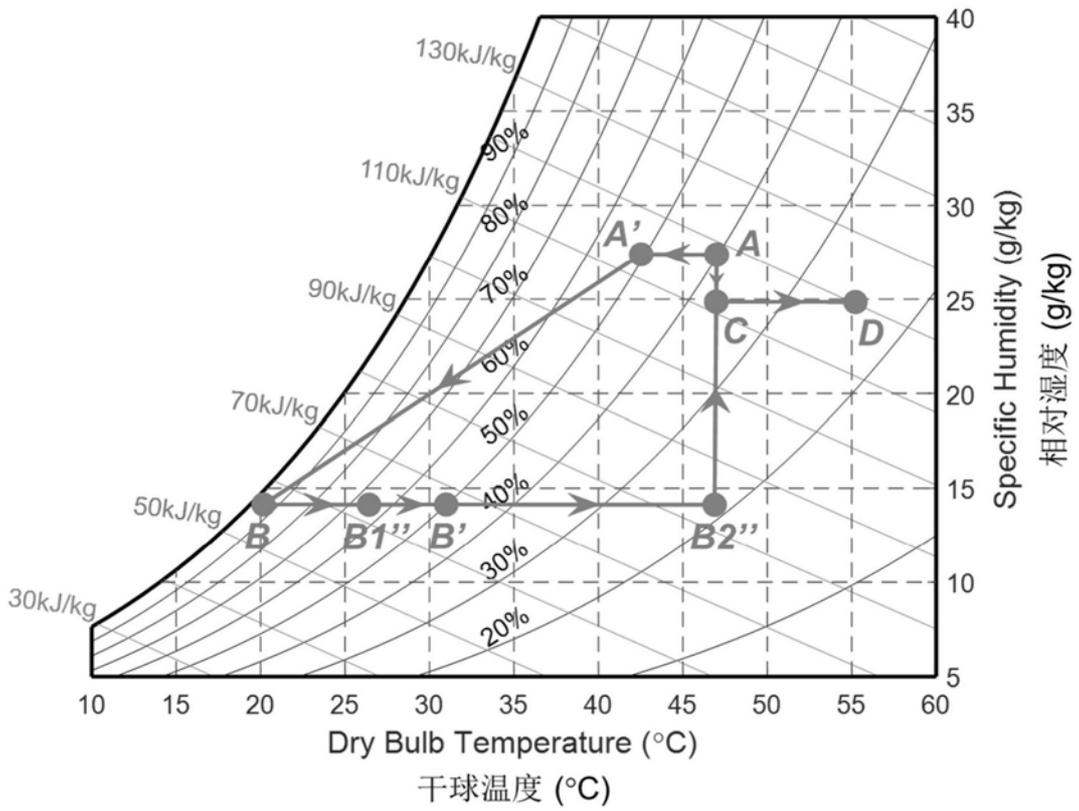


图8