



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203349573 U

(45) 授权公告日 2013. 12. 18

(21) 申请号 201320325507. 5

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2013. 06. 07

(30) 优先权数据

61776809 2013. 03. 12 US

(73) 专利权人 庞怡

地址 苏州市常熟经济技术开发区四海路 11 号科创园 103

(72) 发明人 庞怡

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心 32203

代理人 朱显国

(51) Int. Cl.

F25B 30/00 (2006. 01)

F25B 29/00 (2006. 01)

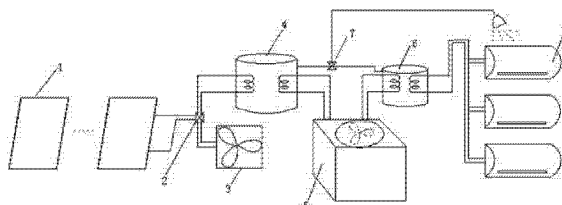
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种联合热泵及太阳能热水暖通系统

(57) 摘要

本实用新型属于太阳能应用技术领域,公开了一种联合热泵及太阳能热水暖通系统。联合热泵的压缩机连接在第一三通阀和第二三通阀之间,冷凝器输入端连接第一三通阀,冷凝器输出端连接膨胀阀,膨胀阀连接蒸发器的输入端,蒸发器的输出端连接第二三通阀,第一三通阀的另一路入口和第二三通阀的另一路出口与吸收单元相连;控制电路控制第一三通阀和第二三通阀;当太阳能集热器未吸收足够热能时,通过阀体将压缩机两端串联连接到冷凝器和蒸发器,吸收单元关闭,由压缩机作用提供暖通和热水;当太阳能集热器吸收足够热能时,在冬天,由太阳能热直接提供热水以及暖通,在夏天,由太阳能热直接提供热水并且能够通过吸收单元为内机空调提供致冷功能。



1. 一种联合热泵,其特征包括冷凝器、膨胀阀、蒸发器、第一三通阀、第二三通阀、压缩机和吸收单元,所述的吸收单元包括发生器、热交换器、膨胀阀、泵、吸收器,压缩机连接在第一三通阀和第二三通阀之间,冷凝器输入端连接第一三通阀,冷凝器输出端连接膨胀阀,膨胀阀连接蒸发器的输入端,蒸发器的输出端连接第二三通阀,第一三通阀的另一路入口和第二三通阀的另一路出口与吸收单元相连;控制电路控制第一三通阀和第二三通阀;在需要制冷并当太阳能收集器吸收足够热能时,第一三通阀和第二三通阀将蒸发器和冷凝器连接到吸收单元,压缩机关闭,来自太阳能收集器的热能加在发生器上,使吸收了冷媒的弱溶液释放冷媒,高压的气态冷媒经过冷凝器后成为高压的液态冷媒并释放热量,经过膨胀阀减压后在蒸发器内蒸发并吸收热量,低压的气态冷媒进入吸收器被强溶液吸收形成弱溶液,由泵经过热交换器送往发生器内,释放了冷媒的强溶液又流回吸收器,并将余热由热交换器交给送往发生器的弱溶液;在太阳能收集器未吸收足够热能时,第一三通阀和第二三通阀将冷凝器和蒸发器连接到压缩机上,冷凝器释放热量,蒸发器吸收热量,吸收单元关闭。

2. 一种联合热泵,其特征包括冷凝器、膨胀阀、蒸发器、四通阀、压缩机和吸收单元,所述的吸收单元包括发生器、热交换器、膨胀阀、泵、吸收器;压缩机与冷凝器、膨胀阀、蒸发器、四通阀依次串联,四通阀的另一路入口和出口与吸收单元连接;控制电路控制四通阀;在需要制冷并当太阳能收集器吸收了足够热能时,四通阀将吸收单元与压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器依次相连,形成串联回路,来自太阳能收集器的热能加在发生器上,使吸收了冷媒的弱溶液释放冷媒,冷媒再由压缩机进一步加压,高压的气态冷媒经过冷凝器后成为高压的液态冷媒并释放热量,经过膨胀阀减压后在蒸发器内蒸发并吸收热量,低压的气态冷媒进入吸收器被强溶液吸收形成弱溶液,由泵经过热交换器送往发生器内,释放了冷媒的强溶液又流回吸收器,并将余热由热交换器交给送往发生器的弱溶液;在太阳能收集器未吸收足够热能时,四通阀关闭与吸收单元连接通道,关闭吸收单元,将蒸发器的输出与压缩机的输入相连。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的联合热泵,其特征是:冷媒为空调冷媒。

4. 根据权利要求 3 所述的联合热泵,其特征是:空调冷媒为 R134a。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的联合热泵,其特征是:在其内部有一个热交换器,它通过膨胀阀和外部的热交换器相连,这两个热交换器的另外的端口通过一个四通阀与压缩机/吸收单元组合相连;这两个热交换器分别起到冷凝器和蒸发器的作用,并通过四通阀的切换,这两个热交换器的作用可以互换,从而使联合热泵产热或制冷;当外部热交换器作用为蒸发器时,联合热泵为制冷模式,当外部热交换器作用为冷凝器时,联合热泵为制热模式。

6. 一种太阳能热水暖通系统,其特征包括如权利要求 5 所述的联合热泵、太阳能收集器、第一三通阀和第二三通阀、热水箱、散热器、冷水箱、内机;第一三通阀控制太阳能收集器连通散热器或热水箱,联合热泵连通热水箱和冷水箱,第二三通阀连接内机至热水箱或冷水箱,控制热水或冷水传送到内机制冷或供热;热水箱的热水也作为生活用热水传送到室内;当太阳能收集器热能较低时,控制电路启动联合热泵内的压缩机为热水箱加热以及在有需要的情况下为冷水箱制冷;当太阳能收集器吸收足够热能时,联合热泵在有需要的情况下由吸收单元为冷水箱制冷;第一三通阀将太阳能收集器连接到热水箱,为热水

箱提供热能；当太阳能收集器过热时，第一三通阀联通散热器，为太阳能收集器散热。

7. 一种太阳能热水暖通系统，其特征在于包括如权利要求 5 所述的联合热泵，太阳能收集器、第一三通阀和第二三通阀、热水箱、散热器、冷 / 热水箱、内机；第一三通阀控制太阳能收集器连通散热器或热水箱，联合热泵连通热水箱和冷 / 热水箱，第二三通阀连接并控制热水箱或冷 / 热水箱的水流入室内；冷 / 热水箱连接内机；太阳能收集器吸收的热量传递给热水箱；当太阳能收集器产生足够的热能时，在有需要的情况下联合热泵的吸收单元用热水箱的热为冷 / 热水箱制冷；当太阳能收集器热能不足时，联合热泵的压缩机为热水箱加热并在有需要的情况下为冷 / 热水箱制冷；冷 / 热水箱的水传递到内机；当太阳能收集器过热时，第一三通阀联通散热器，为太阳能收集器散热；第二三通阀在冬天用冷 / 热水箱的水，其余时间用热水箱的水作为室内的生活用热水。

8. 根据权利要求 7 所述的太阳能热水暖通系统，其特征在于：冷 / 热水箱和室内机的循环是封闭的，用工质进行循环。

9. 根据权利要求 8 所述的太阳能热水暖通系统，其特征在于：冷 / 热水箱和室内机的循环工质为纯净水。

## 一种联合热泵及太阳能热水暖通系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型属于太阳能应用技术领域,更具体地涉及一种联合热泵及太阳能热水及暖通系统。

### 背景技术

[0002] 近年来,人类社会经济发展迅猛,煤、电、石油、天然气等能源日益短缺,能源危机、环境污染等问题日渐突显,已成为威胁人类生存的头等大事,对新能源的开发利用显得尤为重要,特别是对太阳能的开发利用。太阳能作为一种可再生的清洁能源具有其它能源无可比拟的优势。

[0003] 目前国内家庭广泛采用太阳能热水器,太阳能热水器做为一个节能环保设备,在目前国家导向下具有很好的市场前景。目前市场上的太阳能热水器的品牌繁多,基本结构却没有多大变化,最常见太阳能热水器主要包括太阳能集热管、架体、水箱、和辅助电加热,水在集热管内受热后对流进入水箱内从而实现加热。在阳光不足的时候,太阳能热水器的辅助电加热启动来满足生活用热水需要。而电是昂贵和高品位的能量,用电来制作生活用热水这样的低品位能量的确很浪费。此外太阳能热除了作为生活热水使用外,还可以有更充分和更广泛的利用,比如冬天的供暖和夏天的空调。

### 实用新型内容

[0004] 1、本实用新型的目的。

[0005] 本实用新型提供一种联合热泵及太阳能热水及暖通系统,能够充分利用太阳能热能。在阳光充足的时候,充分利用太阳能的热能,不仅能够提供生活用水,还能够提供室内空间冬天的供暖和夏天的空调;在阳光不足的情况下也能够用联合热泵高效地提供充足热水、供暖和空调。

[0006] 2、本实用新型所采用的技术方案。

[0007] 联合热泵包括冷凝器、膨胀阀、蒸发器、第一三通阀、第二三通阀、压缩机和吸收单元,所述的吸收单元包括发生器、热交换器、膨胀阀、泵、吸收器;压缩机连接在第一三通阀和第二三通阀之间,冷凝器输入端连接第一三通阀,冷凝器输出端连接膨胀阀,膨胀阀连接蒸发器的输入端,蒸发器的输出端连接第二三通阀,第一三通阀的另一路入口和第二三通阀的另一路出口与吸收单元相连;控制电路控制第一三通阀和第二三通阀;在太阳能收集器吸收足够热能并需要制冷时,第一三通阀和第二三通阀将蒸发器和冷凝器连接到吸收单元,压缩机关闭,来自太阳能收集器的热能加在发生器上,使吸收了冷媒的弱溶液释放冷媒,高压的气态冷媒经过冷凝器放热后成为高压的液态冷媒,经过膨胀阀减压后在蒸发器内蒸发吸热,低压的气态冷媒进入吸收器被强溶液吸收形成弱溶液,由泵经过热交换器送往发生器内,释放了冷媒的强溶液又流回吸收器,并将余热由热交换器交给送往发生器的弱溶液;在太阳能收集器未吸收足够热能并需要制冷时,第一三通阀和第二三通阀将冷凝器和蒸发器连接到压缩机上,吸收单元关闭。

[0008] 另一种联合热泵,包括冷凝器、膨胀阀、蒸发器、四通阀、压缩机和吸收单元,所述的吸收单元包括发生器、热交换器、膨胀阀、泵、吸收器;压缩机与冷凝器、膨胀阀、蒸发器、四通阀依次串联,四通阀的另一路入口和出口与吸收单元连接;控制电路控制四通阀;在需要制冷并当太阳能收集器吸收了足够热能时,四通阀将吸收单元与压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器依次相连,形成串联回路,来自太阳能收集器的热能加在发生器上,使吸收了冷媒的弱溶液释放冷媒,冷媒再由压缩机进一步加压,高压的气态冷媒经过冷凝器后成为高压的液态冷媒,经过膨胀阀减压后在蒸发器内蒸发吸热,低压的气态冷媒进入吸收器被强溶液吸收形成弱溶液,由泵经过热交换器送往发生器内,释放了冷媒的强溶液又流回吸收器,并将余热由热交换器交给送往发生器的弱溶液;在太阳能收集器未吸收足够热能并需要制冷时,四通阀关闭与吸收单元连接通道,将蒸发器的输出与压缩机的输入相连。

[0009] 以上两种联合热泵的冷媒均需要同时能在同时用于吸收单元和压缩机,优选的冷媒为空调冷媒,可以为 R134a。

[0010] 以上两种联合热泵的冷凝器和蒸发器通常是一个在联合热泵的内部,另一个在联合热泵的外部。当蒸发器在联合热泵的外部时,联合热泵的作用为制冷;当冷凝器在联合热泵的外部时,联合热泵的作用为产热,这可以通过一个四通阀做到实时切换。具体为在联合热泵的内部和外部各有一个热交换器,内部的热交换器通过膨胀阀和外部的热交换器相连,这两个热交换器的另外的端口通过一个四通阀与压缩机/吸收单元组合相连;这两个热交换器分别起到冷凝器和蒸发器的作用,并通过四通阀的切换对两个热交换器的作用互换,从而使联合热泵产热或制冷。

[0011] 一种太阳能热水暖通系统,包括上述的任意一种联合热泵、太阳能收集器、第一三通阀和第二三通阀、热水箱、散热器、冷水箱、内机;第一三通阀控制太阳能收集器连通散热器或热水箱,联合热泵连通热水箱和冷水箱,第二三通阀连接内机至热水箱或冷水箱,控制热水或冷水传送到内机制冷或供热;热水箱的热水也作为生活热水传送到室内;当太阳能收集器热能较低时,联合热泵的压缩机为热水箱加热,在需要的时候为冷水箱制冷;当太阳能收集器吸收足够热能时,在需要的时候联合热泵由吸收单元用热水为冷水箱制冷,其余时间关闭。第一三通阀将太阳能收集器连接到热水箱,为热水箱提供热能;当太阳能收集器过热时,第一三通阀联通散热器,为太阳能收集器散热。

[0012] 另一种比较适合于寒冷地区的太阳能热水暖通系统,包括上述的任意一种联合热泵,太阳能收集器、第一三通阀和第二三通阀、热水箱、散热器、冷/热水箱、内机;第一三通阀控制太阳能收集器连通散热器或热水箱,联合热泵连通热水箱和冷/热水箱,第二三通阀连接室内的热水管至热水箱或冷/热水箱,控制热水箱或冷/热水箱流入室内;冷/热水箱连接内机,按季节为内机提供热水或冷水;由于冷/热水箱和室内机的循环是封闭的,可用工质或纯净水进行循环。当太阳能收集器产生足够的热能时,在冬天联合热泵的压缩机以热水箱为热源,并加热冷/热水箱,在夏天,联合热泵的吸收单元用热水箱的热为冷/热水箱制冷;当太阳能收集器热能不足时,在夏天联合热泵的压缩机为冷/热水箱制冷和为热水箱加热,在冬天联合热泵以外界空气或地源为热源加热冷/热水箱;冷/热水箱的水传递到内机,冬天为其提供热水,夏天提供冷水;当太阳能收集器过热时,第一三通阀联通散热器,为太阳能收集器散热;第二三通阀在冬天用冷/热水箱的水,其余时间用热水箱的水作为室内的生活用热水。

[0013] 3、本实用新型的有益效果。

[0014] 本实用新型提出的联合热泵和太阳能热水暖通系统,通过联合热泵设置,能够有效的利用太阳能的热能。在有阳光的日子里用太阳能提供热水、以及冬天所需的室内空间供暖或夏天所需的室内空调,在没有阳光的日子里,可以用电驱动联合热泵的压缩机提供热水、供暖或空调,现代热泵的热能效比(COP)一般都在3或者以上,它比直接用电加热要节省很多。本实用新型可以替代现有普通的水热水器以及暖通系统,并且成本接近,从而使太阳能利用的初期投资大大降低。

#### 附图说明

[0015] 图1是联合热泵的示意图。

[0016] 图2是串联式联合热泵的示意图。

[0017] 图3是冷凝器和蒸发器通过四通阀作用互换示意图。

[0018] 图4是太阳能暖通系统的示意图。

[0019] 图5是寒冷地区太阳能暖通系统的示意图。

#### 具体实施方式

[0020] 实施例1

[0021] 本实用新型的核心部分是联合热泵,如图1所示。在没有阳光的日子,两个三通阀将压缩机两端分别连接到冷凝器和蒸发器,吸收单元关闭。联合热泵此时的作用就和一台普通的热泵一样用电驱动压缩机。在夏天有太阳的日子里,两个三通阀将蒸发器和冷凝器连接到吸收单元,压缩机关闭。

[0022] 联合热泵具体结构包括冷凝器、第一膨胀阀11、蒸发器、第一三通阀21、第二三通阀22、压缩机3和吸收单元4,所述的吸收单元4包括发生器、热交换器6、第二膨胀阀12、泵5、吸收器,压缩机3连接在第一三通阀21和第二三通阀22之间,冷凝器输入端连接第一三通阀21,冷凝器输出端连接膨胀阀11,第一膨胀阀11连接蒸发器的输入端,蒸发器的输出端连接第二三通阀22,第一三通阀21的另一路入口和第二三通阀22的另一路出口与吸收单元4相连;控制电路控制第一三通阀21和第二三通阀22;在夏天当太阳能收集器吸收足够热能时,第一三通阀21和第二三通阀22将蒸发器和冷凝器连接到吸收单元,压缩机3关闭,来自太阳能收集器的热能加在发生器上,使吸收了冷媒的弱溶液释放冷媒,高压的气态冷媒经过冷凝器后成为高压的液态冷媒,经过第二膨胀阀22减压后在蒸发器内蒸发吸热,低压的气态冷媒进入吸收器被强溶液吸收形成弱溶液,由泵经过热交换器送往发生器内,释放了冷媒的强溶液又流回吸收器,并将余热由热交换器交给送往发生器的弱溶液,其中冷媒为空调冷媒,比如R134a;在太阳能收集器未吸收足够热能时,第一三通阀21和第二三通阀22将冷凝器和蒸发器连接到压缩机3上,压缩机由电驱动工作,吸收单元关闭。

[0023] 对实施例1中的吸收单元,其吸收循环是单效的,能效比COP只有0.55~0.7左右,吸收循环需要比较高的温度( $\geq 70^\circ\text{C}$ )。在这样的温度下,如果热能是从太阳能光伏-光热联产(PV/T)系统来的,光伏的效率会比较低。一个解决方案是用半效吸收循环,也就是将两个单效循环的混合体,各自的工作压力不同,但如此一来,吸收单元就会双倍复杂,并且能效比COP会降得更低,只有0.42~0.48,而且,发生器所需的温度仍然要高于 $60^\circ\text{C}$ 。

### [0024] 实施例 2

[0025] 如图 2 所示另一种联合热泵的示意图。这里如果吸收热泵启动时,它和压缩机是串联的。在夏天有阳光的日子里,四通阀将发生器的输出与压缩机的输入连接,并将蒸发器的输出与吸收器连接,从而使吸收单元与压缩机成串联模式。在没有阳光的日子里,蒸发器的输出直接连到压缩机的输入,吸收单元不起作用。

[0026] 联合热泵具体结构包括冷凝器、第一膨胀阀 11、蒸发器、四通阀 7、压缩机 3 和吸收单元 4,所述的吸收单元 4 包括发生器、热交换器 6、第二膨胀阀 12、泵 5、吸收器;压缩机 3 与冷凝器、第一膨胀阀 11、蒸发器、四通阀 7 依次串联,四通阀 7 的另一路入口和出口与吸收单元 4 连接;控制电路控制四通阀 7。

[0027] 在夏天有阳光的日子,四通阀连通吸收单元,使吸收单元与压缩机成串联模式。当吸收单元工作时,发生器不需要很高温度的热量输入。在相对低温热供应下,发生器释放的气态冷媒的压力也不会太高,必须要由压缩机进一步升压。当然,由于吸收单元的作用,压缩机的能效比 COP 会大幅度提高,并使得它足以制造冰块,从而大大提升冷水箱的储能量。

### [0028] 实施例 3

[0029] 如图 3 所示,(图中虚线方框为联合热泵的范围),代表实施例 1 和 2 的两种联合热泵的冷凝器和蒸发器的两个热交换器一个在联合热泵的内部,一个在联合热泵的外部,两者通过膨胀阀相连,它们另外的端口通过四通阀与压缩机/吸收单元组合相连。当四通阀为图中的实线方式连接时,外部热交换器的作用为蒸发器,联合热泵的作用为制冷;当四通阀为图中虚线方式连接时,外部热交换器的作用为冷凝器,联合热泵的作用为产热。

### [0030] 实施例 4

[0031] 如图 4 所示,太阳能暖通系统,包括实施例 3 的联合热泵、太阳能收集器 1、第一三通阀 2 和第二三通阀 7、热水箱 4、散热器 3、冷水箱 6、内机 8;第一三通阀 2 控制太阳能收集器 1 连通散热器 3 或热水箱 4,联合热泵 5 连通热水箱 4 和冷水箱 6,第二三通阀 7 连接热水箱 3 和冷水箱 6,控制热水或冷水传送到内机 8 供热或制冷,热水箱 4 的热水也传送到室内作为生活热水。

[0032] 在没有阳光的日子里或太阳能收集器 1 热能较低时,控制电路启动联合热泵 5 内的压缩机为热水箱 4 加热,并在夏天时为冷水箱制冷;当太阳能收集器 1 吸收足够热能时,在夏天联合热泵 5 的吸收单元用热水箱的热能为冷水箱制冷,其余时间关闭。第一三通阀 2 将太阳能收集器 1 连接到热水箱 4,为热水箱 4 提供热能;当太阳能收集器 1 过热时,第一三通阀 2 联通散热器 3,为太阳能收集器 1 散热。

[0033] 在冬天,第二三通阀 7 将热水箱的热水连到内机 8(和地暖地板),用于室内空间供暖。

[0034] 在夏天,如果热水箱的温度不是太高,第一三通阀 2 连接太阳能收集器 1 到热水箱 4,不然就将它连接到散热器 3,为太阳能收集器 1 降温。热水箱 4 同时也是联合热泵吸收单元的动力源,用来为冷水箱制冷或制冰。

[0035] 在夏天没有太阳的日子,制冷工作由联合热泵的压缩机单独完成。第二三通阀 7 的作用是将冷水箱的冷水提供给内机为室内提供空调。联合热泵也可以间隙性地为热水箱加热。由于夏天热水需求量很小,环境温度高,热泵给热水箱的加热时间不会很长。

[0036] 冷水箱一般情况可以比较小,只要能提供足够的冷水循环就行。但如果它也用来

储能,使得联合热泵在夜间制冷/制冰给白天用,那么冷水箱的容积就不能太小。当然冰可以使冷水箱的储能能力大幅提高。在这样的运行模式下,由于夜间环境温度低,联合热泵的能效比 COP 会比较高;而且夜间的电费(谷电)比白天的峰电也更便宜很多。

[0037] 实施例 5

[0038] 另一种适合于寒冷地区的太阳能热水暖通系统,包括实施例 1 和实施例 2 任意一种联合热泵 5,太阳能收集器 1、第一三通阀 2 和第二三通阀 7、热水箱 4、散热器 3、冷/热水箱 6、内机 8;第一三通阀 2 控制太阳能收集器 1 连通散热器 3 或热水箱 4,联合热泵 5 连通热水箱 4 和冷/热水箱 6,第二三通阀 7 连接热水箱 4 和冷/热水箱 6 之间,控制热水箱 4 或冷/热水箱 6 的水流入室内,在冬天用冷/热水箱的水,其余时间用热水箱的水作为室内的生活用热水;冷/热水箱 6 连接内机 8,冬天提供热水,夏天提供冷水;由于冷/热水箱 6 和室内机 8 的循环是封闭的,可用工质或纯净水进行循环,可避免水垢的形成。当太阳能收集器产生足够的热能时,在冬天联合热泵的压缩机以热水箱为热源,并加热冷/热水箱,在夏天,联合热泵的吸收单元用热水箱的热能为冷/热水箱制冷;当太阳能收集器过热时,第一三通阀联通散热器,为太阳能收集器散热;当太阳能收集器热能不足时,在夏天联合热泵的压缩机为冷/热水箱制冷和为热水箱间隙性地加热,在冬天联合热泵以外界空气或地源为热源加热冷/热水箱。

[0039] 在寒冷地区(气温在 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下),普通的空气源热泵不能工作或能效比很低。本实用新型的太阳能热水暖通系统比较适合于寒冷地区的太阳能暖通系统。在冬天太阳能收集器只起到给热水箱预热的作用。联合热泵的压缩机用热水箱作为热源加热第二个冷/热水箱。这种系统也很适合电-热联产的太阳能收集器。由于热水部分的工作温度不高,光伏的效率会比较高。而在太阳的作用下,由于热源的温度比环境温度高很多,因而压缩机的能效比 COP 也会比较高。另外,这个系统也可以产出比较高温的热水。

[0040] 在夏天,冷/热水箱用来储存冷水或冰水。作为可夜间运行的储能装置,它可通过提高系统的能效比和降低电费来大大降低运行成本。这个系统的另一个好处是冷/热水箱和室内机的循环是封闭的,因此可以用纯净水或其他工质,这样可避免水垢的形成。

[0041] 上述实施例不以任何方式限制本实用新型,凡是采用等同替换或等效变换的方式获得的技术方案均落在本实用新型的保护范围内。



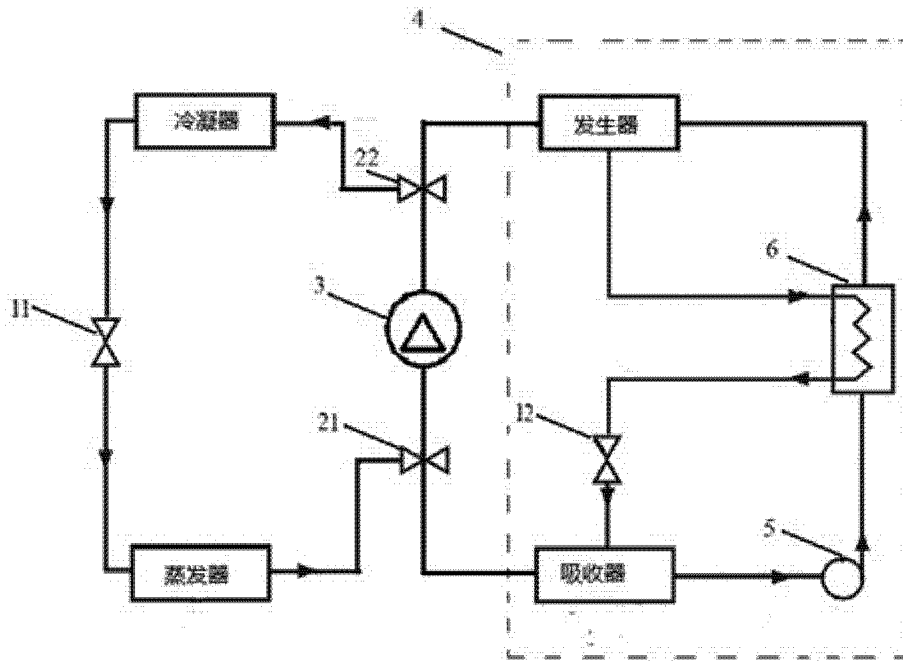


图 1

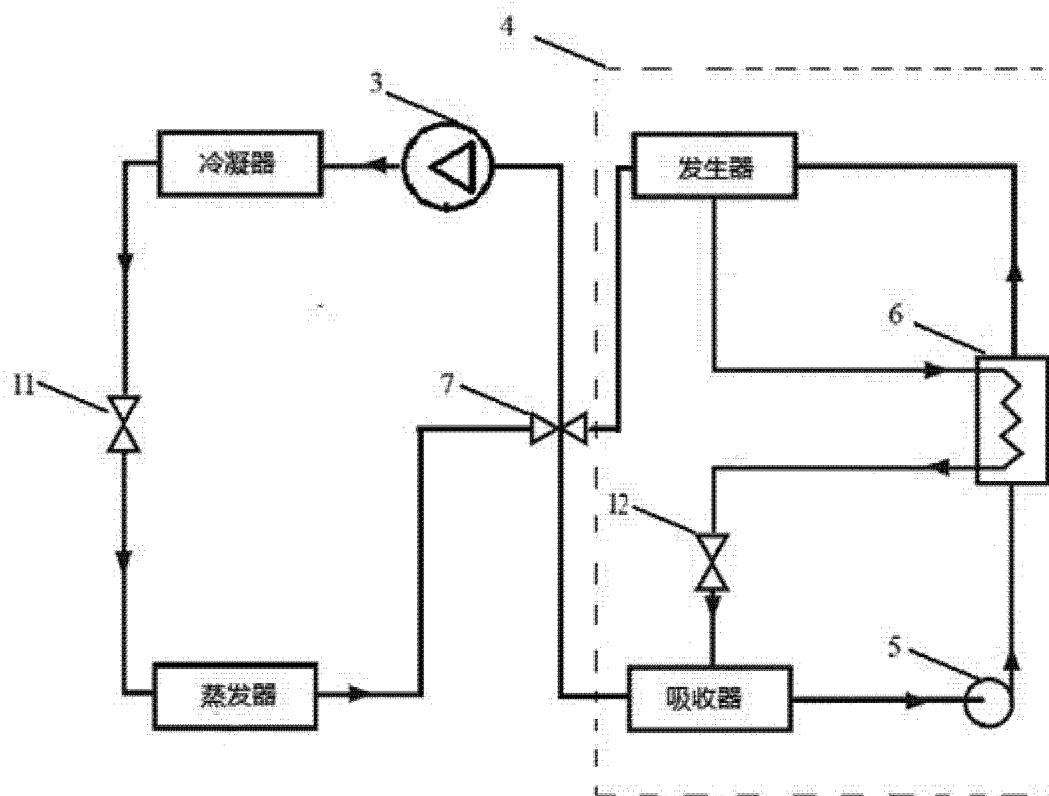


图 2

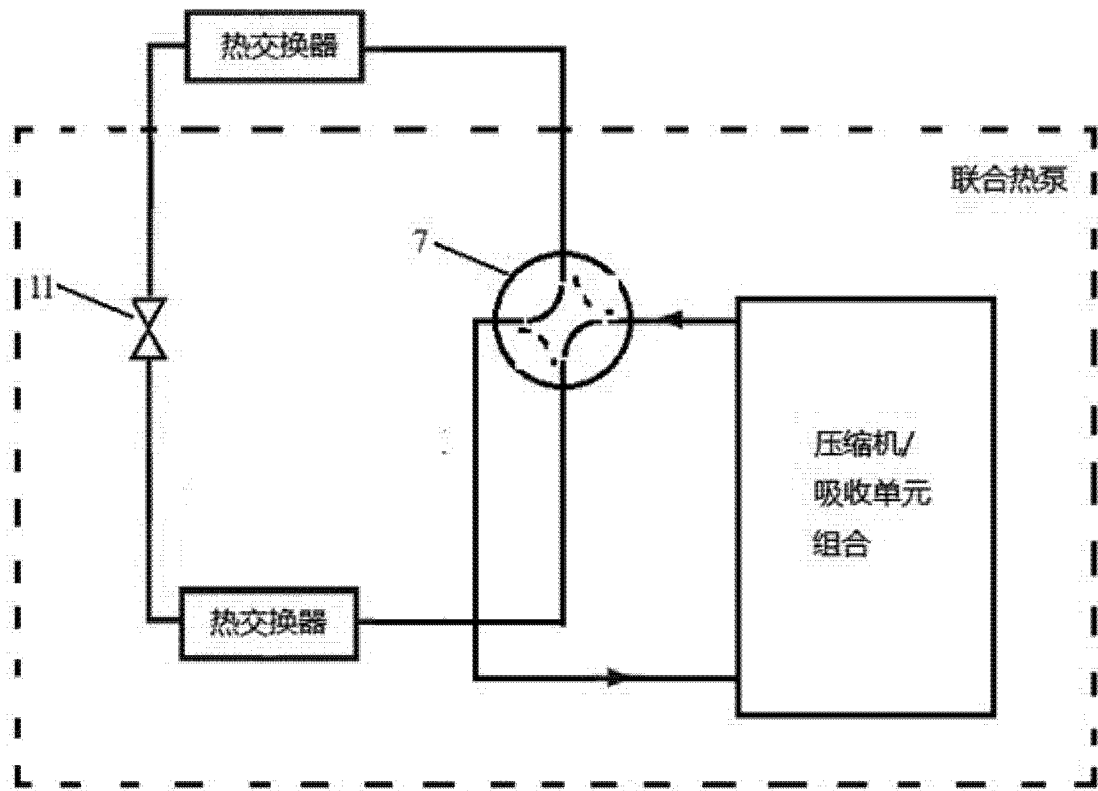


图 3

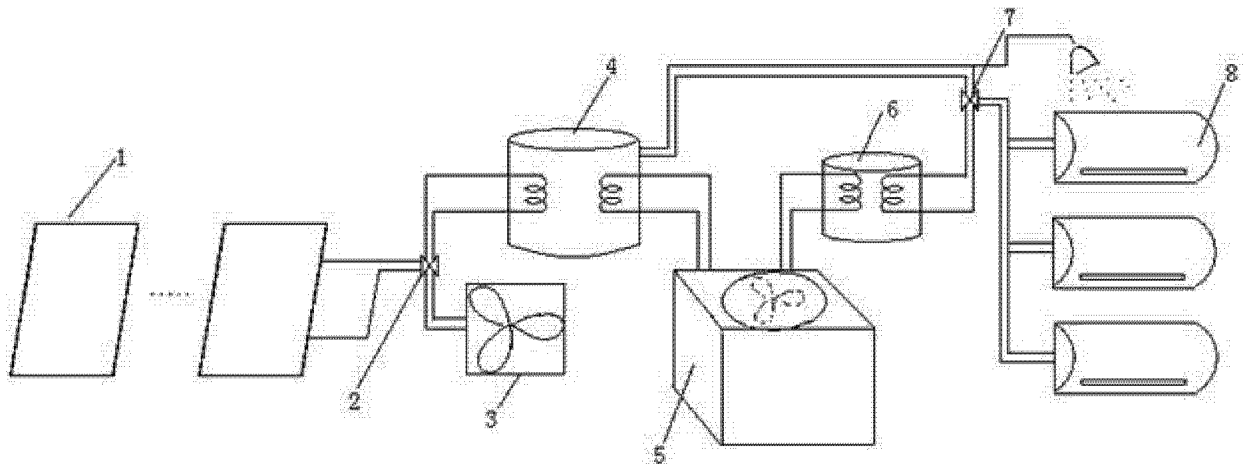


图 4

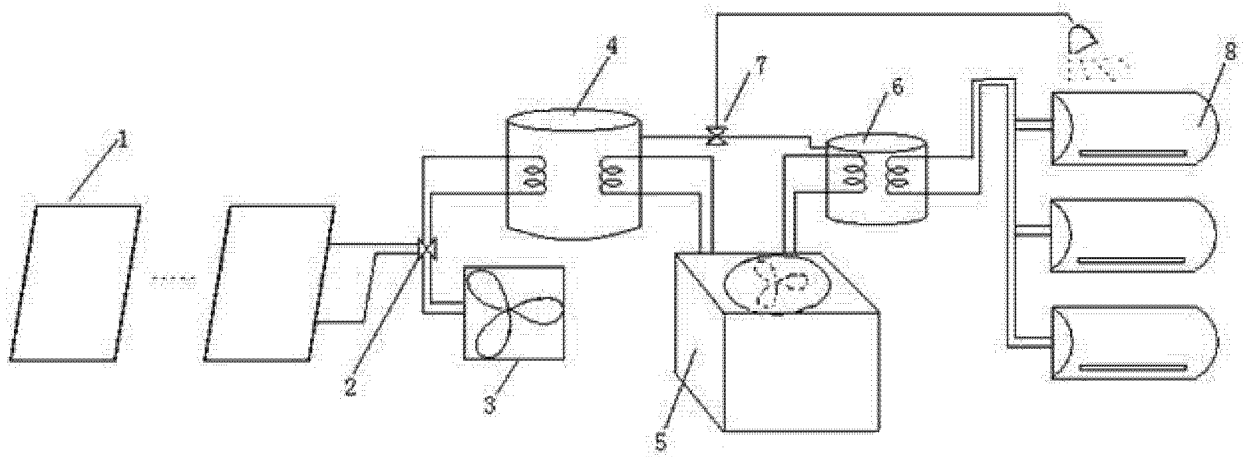


图 5