

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101392736 B

(45) 授权公告日 2011.09.14

(21) 申请号 200810024294.6

(22) 申请日 2008.05.29

(73) 专利权人 中国科学技术大学
地址 230026 安徽省合肥市金寨路 96 号

(72) 发明人 裴刚 季杰 李晶

(74) 专利代理机构 合肥金安专利事务所 34114
代理人 金惠贞

(51) Int. Cl.
F03G 6/06 (2006.01)
F24J 2/04 (2006.01)
F28D 20/02 (2006.01)
F24D 17/00 (2006.01)
F24D 3/00 (2006.01)

审查员 李彩芬

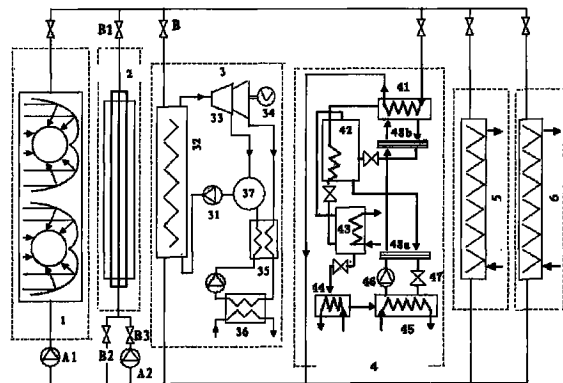
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 3 页

(54) 发明名称

太阳能低温热发电及冷热联供系统

(57) 摘要

本发明涉及一种太阳能低温热发电及冷热联供系统,解决了有低温太阳能热发电效率较低、不适合小规模应用及不能同时提供电能、冷能、暖气和热水的问题。本发明由复合抛物面集热器系统、相变蓄热系统、有机朗肯循环发电系统、吸收制冷系统、热水供给系统和暖气供给系统并联组成。其发电系统汽轮机进口连通着蒸发器有机工质出口,汽轮机出口经过回热器连通着混合器,汽轮机中部的抽气口通过管道连通着混合器另一端口,回热器另一侧串联着冷凝器;混合器第三个端口通过泵连通着蒸发器的有机工质进口,汽轮机输出端连接着发电机。本发明系统运行效率高,热电冷三联供,适合小规模应用,易于建设,成本低廉,且不需要消耗一次性能源,利于环境保护。



1. 太阳能低温热发电及冷热联供系统,包括集热器系统(1)、蓄热系统(2)、有机朗肯循环发电系统(3)、吸收制冷系统(4)、热水供给系统(5)和暖气供给系统(6)六个子系统,其特征在于:

所述六个子系统并联连接;

所述集热器系统为复合抛物面集热器系统;

所述有机朗肯循环发电系统包括泵(31)、蒸发器(32)、汽轮机(33)、发电机(34)、回热器(35)、冷凝器(36)和混合器(37),其中汽轮机(33)的进口连通着蒸发器有机工质出口,汽轮机(33)的出口经过回热器(35)连通着混合器(37),汽轮机(33)中部设有抽气口,抽气口通过管道连通着混合器(37)的另一端口,回热器(35)的另一侧串联着冷凝器(36);混合器(37)的第三个端口通过泵(31)连通着蒸发器(32)的有机工质进口,汽轮机(33)的输出端连接着发电机(34);蒸发器(32)的热源进口连通着集热器系统(1)出口,蒸发器(32)的热源出口连通着集热器系统(1)进口;

所述集热器系统的出口、蓄热系统的一端口、有机朗肯循环发电系统的蒸发器(32)的热源进口、吸收制冷系统的热源进口、热水供给系统的热源进口和暖气供给系统的热源进口处分别设有控制阀,且并联;六个子系统的热源出口端并联;

所述集热器系统的进口处设有泵(A1);

蓄热系统的另一端口串联着两个并联的控制阀,一侧控制阀的管道上串联着泵(A2)。

2. 根据权利要求1所述的太阳能低温热发电及冷热联供系统,其特征在于:所述蓄热系统为相变材料蓄热系统。

太阳能低温热发电及冷热联供系统

技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能利用领域,确切地说是太阳能热发电及冷热联供系统。

背景技术

[0002] 太阳能热发电技术是人类开发利用太阳能的一个主要手段。自从 20 世纪 70 年代初石油危机后,世界主要发达国家如美国、西班牙、德国、瑞士、法国、意大利及日本等都将太阳能热发电技术作为国家研究开发的重点,逐步开始规模发展太阳能热发电。从 1981-1991 年 10 年间,全世界建造了装机容量 500kW 以上的各种不同形式的兆瓦级太阳能热发电试验电站 20 余座,其中主要形式是塔式电站,最大发电功率为 80MW。由于单位容量投资过大,且降低造价十分困难,因此太阳能热发电站的建设逐渐冷落下来。以色列和美国联合组建了 LUZ 太阳能热发电国际有限公司从 1985 年-1991 年的 6 年间,在美国加州沙漠相继建成了 9 座槽式太阳能热发电站,总装机容量 353.8MW,并投入网营运。

[0003] 大规模的太阳能热发电站将耗费大量资金且建设时间很长。由于某些固定设备如汽轮机、发电机、换热器、太阳轨迹跟踪装置等其价格随功率波动不大,所以上述电站需要尽可能地扩大规模以降低单位 kW 功率耗费的成本。如 E. Prabhu 对槽式太阳能发电系统进行经济性能评估,当电站规模为 5MW 时,设备成本(不包括太阳场集热装置,这部分与规模成比例)为 \$1100 每千瓦;当电站规模为 1MW 时,设备成本为 \$2039 每千瓦^[1]。

[0004] 尽管数十兆瓦级太阳能热发电技术已经得到了发展(如美国的 SEGS 电站),但合适且经济性能良好,功率在几十千瓦到几百千瓦之间,适合小规模应用的太阳能热发电技术还未有。

[0005] 然而许多应用场合如抽水灌溉、冷却,家用电器耗电以及无电、少电地区等仅仅需要几千瓦到几十千瓦的电量,与其大规模的市场供电不如依靠小型的太阳能热发电装置为局部消费者提供电能。一方面在局部地区人们根据特殊需要可能愿意出比常规火力发电价更高的价格买电,另一方面小型的太阳能发电装置还能同时向附近用户提供热水及暖气等。通过适当的优化,小型的太阳能发电装置可以模块化,从而使产出经济节约,根据消费者的需要,装置规模也能进行适当调整。

[0006] 已有的太阳能集热发电系统专利中:1) 微型分布式太阳能驱动冷热电联供系统 CN200710041475.5,包括太阳能集热系统、有机物朗肯循环的热力发电系统、吸附式制冷系统、供暖和热水系统、热水分配系统以及控制系统、补燃装置,该装置采用真空管集热器和常规 ORC 发电系统,冷凝后的有机工质未得到有效预热,集热温度不高于 100℃,从而使得吸附式制冷效率及发电效率低,且系统需补燃装置,不利于环保。2) 太阳能有机朗肯循环系统(SOLAR ORGANIC RANKINE CYCLE(ORC)SYSTEM) 专利号 JP2003227315 该系统采用常规 ORC 发电系统,冷凝后的有机工质未得到有效预热,系统只有单一发电功能。

发明内容

[0007] 为了解决现有平板集热器、真空管集热器等中等温度以上(如 60℃)运行效率低

及槽式、塔式、碟式等高聚光比集热装置需跟踪太阳轨迹和成本高的问题；解决现有低温太阳能热发电效率较低的问题；解决现有太阳能热发电系统不适合小规模应用及不能同时为用户提供电能、冷能、暖气和热水的问题，本发明旨在提供一种太阳能低温热发电及冷热联供系统。

[0008] 实现上述目的的具体技术解决方案如下：

[0009] 太阳能低温热发电及冷热联供系统，包括集热器系统 (1)、蓄热系统 2、有机朗肯循环发电系统 3、吸收制冷系统 4、热水供给系统 5 和暖气供给系统 6 六个子系统，其特征在于：

[0010] 所述六个子系统并联连接，

[0011] 所述有机朗肯循环发电系统包括泵 31、蒸发器 32、汽轮机 33、发电机 34、回热器 35、冷凝器 36 和混合器 37，其中汽轮机 33 的进口连通着蒸发器有机工质出口 32，汽轮机 33 的出口经过回热器 35 连通着混合器 37，汽轮机 33 中部设有抽气口，抽气口通过管道连通着混合器 37 的另一端口，回热器 35 的另一侧串联着冷凝器 36；混合器 37 的第三个端口通过泵 31 连通着蒸发器 32 的有机工质进口，汽轮机 33 的输出端连接着发电机 34；蒸发器 32 的热源进口连通着集热器系统 (1) 出口，蒸发器 32 的热源出口连通着复合抛物面集热器系统 (1) 进口；

[0012] 所述集热器系统的出口、蓄热系统的一端口、有机朗肯循环发电系统的蒸发器 32 的热源进口、吸收制冷系统的热源进口、热水供给系统的热源进口和暖气供给系统的热源进口处分别设有控制阀，且并联；六个子系统的热源出口端并联；

[0013] 所述集热器系统的进口处设有泵 A1；

[0014] 蓄热系统的另一端口串联着两个并联的控制阀，一侧控制阀的管道上串联着泵 A2。

[0015] 所述集热器系统为复合抛物面集热器系统。

[0016] 所述蓄热系统为相变材料蓄热系统。

[0017] 本发明与现有技术相比具有几方面的优点：

[0018] 1、采用复合抛物面集热器系统 (CPC) 的优点

[0019] Winston 等指出了 CPC 作为太阳能集热器的潜力^[2]。而低聚光比 (小于 3) 的 CPC 有着极大的实用性，它们不需要追踪太阳轨迹即可接受较大角度范围内的入射光并进行聚集^[3]。Rabl 给出了 CPC 的光学和热学性质的分析方法，在对几种 CPC 评估中，指出带有平板或圆柱吸收的非真空固定 CPC 集热器经济性能良好；三年多的研究及实验数据的表明，在 100-160℃ 的温度范围内，非真空 CPC 集热器仍旧拥有很好的热效率 (40% -50%)，而每年只需对集热器倾斜角调整 12-20 次^{[4][5]}。希腊的 Y. TRIPANAGNOSTOPOULOS 等给出了双面平板吸收的非真空固定 CPC 太阳能集热器的设计、构造和测试结果。实验的结果表明，这种集热器在中等以上温度 (50℃ 以上) 条件下的集热效率优于带选择性涂层的平板集热器，且温度越高体现越明显；集热的最大效率为 0.71，获得的最高温度可达 180℃^[6]，Y. TRIPANAG-NOSTOPOULOS 还对不同的太阳能热水器 ICS (Integrated collector storage) 进行测试和评估，指出具有单个圆柱容器及对称 CPC 反射镜的 ICS 系统经济性能最好，在使用相似的太阳能吸收材料和蓄水量的情况下，其成本比当前使用广泛的 FPTU (flat plate thermosiphonic unit) 热水系统至少低 33%^[7]。T. S. Saitoch 等通过实验把双层玻璃盖板

的 CPC 与传统平板集热器,真空管集热器进行比较,指出此类型 CPC 集热器的高温(120℃以上)热性能极佳,与真空管集热器相比更适合太阳能热发电工程^[8]。T. S. Saitoch 还介绍了一种新型的无跟踪三维的 CPC 太阳能集热器(3-D CPC),由于采用六边形的结构,这种集热器能克服传统 3-D CPC 阵列间存在的“死穴”(dead-space)问题,在 180-200℃的高运行温度范围内集热效率极好(大约 60%,运行时间为中午 10:00-13:00),运用于小规模太阳能热发电系统非常地切实可行^[9]。

[0020] 在利用 CPC 集热器进行太阳能吸收制冷方面,美国萨克拉门托在 1998 年建成 CPC 双效吸收式制冷示范项目,该项目采用的是带有真空管的 ICPC 集热器^[10]。W. S. Duff 等对项目的实际运行情况进行分析,当运行的温度在 120-160℃范围内时,集热器的日效率将近 50%,瞬时效率大约能达到为 60%,日平均 COP 可达 1.1(1998 年和 1999 年);当运行温度在 75-110℃范围内时,集热器的日效率将近 55%,瞬时效率超过 60%,由于只使用单效制冷,日平均 COP 相对前者低得很多(2001 年)。

[0021] 2、采用有机朗肯循环发电系统的优点

[0022] 有机工质朗肯循环(Organic rankine cycle,简称 ORC)的主要优点在于它具有中低温度运行的良好性能。ORC 适合小规模发电站,在较低的环境温度下效率比水蒸气发电效率高,冬季夜里能够防冻,且系统内部压力易保持在大气压力之上,且适合半自动或自动运行^[11]。

[0023] Gaia M 通过实验指出 ORC 循环可以有效地利用温度在 100℃附近的地热资源发电,涡轮式发电机运行平稳,基本无需额外的人力投入^[12]。G. H. Martinus 等对目前实际运行的 ORC 地热工厂进行分析,在 100-240℃温度范围内,发电的效率为 4%-13%,总的投资为 2529/kW,根据工厂冷热端条件选择合适的循环工质可以获得最大的发电效率^[13]。Enrico Barbier 指出尽管 ORC 应用于低温地热源(85-150℃)的效率不高(2.8%-5.5%),但却是将低温地热源转换为电能最为经济且可靠的方式^[14]。Takahisa Yamanoto 等对 ORC 系统进行了设计和测试,认为 ORC 能够应用于低品味热源且 R123 可以有效地提高 ORC 系统性能^[15]。

[0024] 本发明的 ORC 发电系统对水蒸气朗肯循环中的开放型回热循环进行改进,提出了一种新型双回热的循环结构。一方面通过回热器利用汽轮机出口的过热状态有机工质给冷凝后的工质预热,另一方面通过抽气混合装置进一步降低冷凝工质与热源的平均传热温差。与相同冷热源温度下的常规 ORC 发电系统相比,效率在原有基础上提高了 20%左右。计算过程将在后面的具体实施方式中给出。

[0025] 3、采用相变蓄热系统的优点

[0026] 相变蓄热是储存热能的最有效方式之一,它能在一个较小的温度波动范围内储存与释放热量。Wolf-Dieter 等介绍了太阳能蒸汽动力系统(所需温度为 200℃-320℃)的相变蓄热问题^[16],指出在该项目的早期阶段扩大热交换面积、在相变材料(PCM)中添加高导热性能的物质、使用换热媒介等是最有应用前景的手段。早在 1952, Biswas DR 和 Telkes M 已对结晶水合物($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)进行研究^{[17][18]}, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 具有 32.4℃的熔点, 254kJ/kg 的融解热且是能够用于蓄热的最便宜材料之一。在众多的结晶水合物相变蓄热材料中,已被证明有应用价值的有 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ^[19]。 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的熔点为 117℃,与非真空 CPC 集热器温度较为匹配。Kakiuchi 列出不同相变材料的熔点、

潜热及市场价格^[20],其中赤藻糖醇的熔点为 120℃,潜热为 339.8kJ/kg, D-甘露醇熔点为 166-168℃,潜热 316.4kJ/kg,两种材料的 market 价格为 5.0-7.0 美元/千克左右,对本文介绍的 system 有很大的适用性。EPS Ltd 公司生产的 E117 和 A164(熔点分别为 117℃和 164℃,潜热分别为 169kJ/kg 和 306kJ/kg) 也很适合。

[0027] 4、太阳能低温热发电及冷热联供 system 整体优点

[0028] 本发明 system 包含的有机工质朗肯循环 (ORC) 发电 system、双效吸收制冷 system、热水供给 system 及暖气 system 4 个子 system 运行独立,互不影响,可随时根据用户需求进行调整,相变蓄热 system 增强了热源供应的稳定性和持续性。本发明 system 运行效率高,热电冷三联供,适合小规模应用,易于建设,成本低廉,且不需要消耗一次性能源,利于环境保护。

附图说明

[0029] 图 1 为本发明结构示意图,

[0030] 图 2 为复合抛物面集热器阵列 system 俯视图,

[0031] 图 3 为图 2 的 A-A 剖视图,

[0032] 图 4 为有机朗肯循环发电 system 有机工质热力循环图,

[0033] 图 5 为圆管相变蓄热 system 示意图。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图,通过实施例对本发明作进一步地描述。

[0035] 实施例:

[0036] 太阳能低温热发电及冷热联供 system 包括复合抛物面集热器 system 1、相变蓄热 system 2、有机朗肯循环发电 system 3、吸收制冷 system 4、热水供给 system 5 和暖气供给 system 6 六个子 system,所述六个子 system 并联连接,见图 1、图 2、图 3 和图 5。

[0037] 有机朗肯循环发电 system 包括泵 31、蒸发器 32、汽轮机 33、发电机 34、回热器 35、冷凝器 36 和混合器 37,其中汽轮机 33 的进口连通着蒸发器 32 的有机工质出口,汽轮机 33 的出口经过回热器 35 连通着混合器 37,汽轮机 33 中部设有抽气口,抽气口通过管道连通着混合器 37 的另一端口,回热器 35 的另一侧串联着冷凝器 36;混合器 37 的第三个端口通过泵 31 连通着蒸发器 32 的有机工质进口,汽轮机 33 的输出端连接着发电机 34;蒸发器 32 的热源进口连通着复合抛物面集热器 system 1 出口,蒸发器 32 的热源出口连通着复合抛物面集热器 system 1 进口;

[0038] 所述复合抛物面集热器 system 的出口、蓄热 system 的一端口、有机朗肯循环发电 system 的蒸发器 32 的热源进口、制冷 system 的热源进口、热水供给 system 的热源进口和暖气供给 system 的热源进口处分别设有控制阀,且并联;六个子 system 的热源出口端并联;

[0039] 复合抛物面集热器 system 的进口处设有泵 A1;

[0040] 蓄热 system 的另一端口串联着两个并联的控制阀,一侧控制阀的管道上串联着泵 A2。

[0041] 本发明的工作原理是这样的:

[0042] 如图 1 所示,复合抛物面 (CPC) 集热 system 1 接受太阳辐射能,把热量传给换热流体;换热流体通过并联管道及热交换器,一方面可以把热量传给相变蓄热 system 2,一方面又

可以把热量传给用户需求子系统 ORC 发电系统 3、双效吸收制冷系统 2、热水供给系统 5、暖气供给系统 6,每个用户需求子系统都安装有阀门,子系统需要运行的时候,对应的阀门打开,不运行时则需关闭。

[0043] 当太阳辐射能超出用户需求子系统负载时,阀门 B1、B2 打开,B3 关闭,相变蓄热系统 2 进行储能;当 CPC 系统 1 不工作时,泵 A1 停止工作,泵 A2 运行,集热系统输出端阀门及 B2 阀门关闭,B1、B3 打开,相变蓄热系统 2 释放能量;若需要 CPC 系统 1 及相变蓄热系统 2 同时工作,则泵 A1,泵 A2 运行,集热系统输 B2 阀门关闭,B1、B3 及集热系统输出端阀门打开;不需要相变蓄热系统 2 运行时,则 B1、B2、B3 均关闭,A2 停止工作。

[0044] 复合抛物面 (CPC) 集热系统工作原理

[0045] 如图 2、图 3 所示,AD 连线与中心线的夹角 θ_a 称为 CPC 的半接受角。AC 和 BD 为抛物面,抛物面上端的虚线部分的不存在反射镜,下端的实线为反射镜,虚线与实线交接处称为截断面,截断面高度 H 与 CPC 整体高度 H_{max} 之比称为截断比。接受角和截断比是 CPC 两个重要的参数,决定了 CPC 的聚光性能。CD 为集热器的底端,是放置接受器的地方。CPC 可以和不同的接受器相结合,比较常见的有平板型接受器、竖板型接受器、三角型接受器及圆管型接受器 4 种。图例采用的是平板接受器。当太阳光入射角在 CPC 接受角范围内时,光线直接或者经过反射镜 11 反射后被接受器 12 吸收;透明盖板 13 抑制 CPC 槽内对流损失;工质盘管 14 与接受器连接,由换热流体带走太阳辐射能;绝热层 15 起到保温作用。

[0046] 发明采用的复合抛物面集热系统包含但不局限于三维 CPC 集热器。

[0047] 有机朗肯循环发电 (ORC) 系统工作原理

[0048] 泵 31 把液态的有机工质打入蒸发器 32;有机工质在蒸发器 32 中定压吸热,并在出口处转为气态;高温高压的气态有机工质进入汽轮机 33 膨胀做功,带动发电机 34 发电;汽轮机 33 中部分气态工质被抽出送入混合器 37;汽轮机 33 尾部排出的有机工质经过回热器 35 初步冷却,然后进入冷凝器 36 中后定压冷凝;冷凝器 36 出口的有机工质处于液态,经过泵 31 加压至汽轮机 33 的抽气压力,然后进入回热器 35 进行预热;预热后的有机工质进入混合器 37 与汽轮机 33 抽出的过热气体混合;混合后的有机工质进入泵 31 完成一次发电循环。

[0049] 由图 4 可见,与水蒸气朗肯循环所不同的,ORC 系统所用的有机工质通常为干工质 dry fluids,干工质饱和气态温熵曲线斜率为正值湿工质如水 则为负值,这使得干工质在汽轮机内膨胀做功时保持着过热状态,不存在像水蒸气在汽轮机中凝结成液态而损坏汽轮机的问题。因此干工质进入汽轮机之前不需要过热,这对于提高温差不大的太阳能发电系统效率是很有帮助的。点 1 表示工质经冷凝器 36 出口工质的状态,点 2 表示经泵 31 加压后工质的状态,点 3 表示在混合器 37 出口工质的状态,其中点 2 与点 3 之间包含了工质经过回热器 35 预热的状态,点 4 表示混合工质经泵 31 加压后的状态,点 5 表示蒸发器 32 入口工质的状态,点 6 表示汽轮机 33 入口的工质状态,点 7a 表示被抽出工质的状态,点 7b 表示完全做功后汽轮机 33 出口工质的状态,点 8 表示冷凝器 36 入口处的工质状态。

[0050] 理想的循环过程为:

[0051] 1-2:等熵压缩,

[0052] 2-3:等压吸热,

[0053] 3-4:等熵压缩,

[0054] 4-6 ;等压吸热,

[0055] 6-7a, b ;等熵膨胀,

[0056] 7a-3 与 7b-1 ;等压放热。

[0057] 双效吸收制冷系统工作原理

[0058] 如图 1 所示高温发生器 41 的制冷溶液向换热流体吸热,达到较高温度并产生制冷蒸汽;制冷蒸汽在低温发生器 42 冷凝放热,然后经过节流阀 47 进入冷凝器 43 进一步冷凝;低温发生器 42 中产生的制冷蒸汽与高温发生器 41 的冷凝制冷剂一道进入冷凝器 43 中;冷凝器 43 中的制冷剂经过节流阀 47 后进入蒸发器 44;蒸发器 44 的制冷剂蒸发并输出冷能;制冷蒸汽被吸收器 45 中的制冷溶液吸收;高温发生器 41 中的制冷溶液进入高温热交换器 48b 放热,然后经过节流阀 47 流入低温发生器 42;然后制冷溶液进入低温热交换器 48a 放热,并经过节流阀 47 流入吸收器 45;吸收器 45 中的溶液冷却后被泵 46 打入低温换热器 48a,吸收热量并进入高温换热器 48b 获得更多热量,然后流入高温蒸发器 41,完成一次制冷循环。

[0059] 发明采用的吸收制冷系统包含但不局限于双效吸收制冷系统。

[0060] 暖气供给系统和热水供给系统工作原理

[0061] 如图 1 所示换热流体通过热交换器把热量传给水及空气,工作原理简单。

[0062] 相变蓄热系统工作原理

[0063] 图 5 以圆管型蓄热系统为例,给出了相变蓄热装置简图。相变材料 21 与换热流体 22 通过圆管 23 进行热量交换,当换热流体温度高于相变材料熔点时,相变材料吸收热量并从固态转换成液态,储存太阳辐射能;当换热流体温度低于相变材料熔点时,相变材料放出热量并液态转换成固态,为需求系统提供热能。

[0064] 本发明采用的相变蓄热系统包含但不局限于圆管结构。

[0065] 本发明系统与常规有机朗肯循环发电 (ORC) 系统效率比较:

[0066] 结合图 4,传统的 ORC 系统与本发明的 ORC 系统相比,有机工质经汽轮机做功后,直接进入冷凝器定压放热;同时有机工质经泵加压后,直接进入蒸发器定压吸热。设泵进口处有机工质焓值为 h_1 ,经泵加压后焓值为 h_2 ,蒸发器出口处焓值为 h_6 ,汽轮机出口处焓值为 h_{7b} ,则

[0067] 循环吸热量 $Q = h_6 - h_2$

[0068] 泵功率 $W_p = h_2 - h_1 \approx v(p_2 - p_1)$ (v 为比容, P_1, P_2 为冷凝器和蒸发器压力)

[0069] 循环所做净功 $W = (h_6 - h_{7b}) - (h_2 - h_1)$

[0070] 循环效率 $\eta = \frac{W}{Q}$

[0071] 以上传统循环理论效率计算公式,对于本发明的 ORC 系统,设泵进口处有机工质焓值为 h_1 ,经泵加压后焓值为 h_2 ,混合器出口处焓值为 h_3 ,经泵再次加压后焓值为 h_4 ,蒸发器出口焓值为 h_6 ,汽轮机抽出工质焓值为 h_{7a} ,汽轮机出口处焓值为 h_{7b} ,饱和和气态工质焓值为 h_8 ,则

[0072] 循环抽气量 y 满足: $y(h_{7a} - h_3) = (1-y)[(h_3 - h_2) - (h_{7b} - h_8)]$

[0073] 循环吸热量 $Q = h_6 - h_4$

[0074] 泵功率 $W_p = (1-y)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)$

[0075] 循环所做净功 $W = (h_6 - h_{7a}) + (1-y)(h_{7a} - h_{7b}) - (1-y)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)$

[0076] 循环效率 $\eta = \frac{W}{Q}$

[0077] 以有机工质 R123 为例, 取热源温度为 150℃, 冷凝温度为 30℃, 则传统循环效率 $\eta_1 = 0.21$,

[0078] 改进后的循环效率 $\eta_2 = 0.25$, 循环抽气量 $y = 22\%$

[0079] 本发明太阳能低温热发电及冷热联供系统实际电能输出评估:

[0080] 复合抛物面集热器的效率由下式近似给出, 其中 η_0 为集热器最大效率,

[0081]
$$\eta_{stc} = \eta_0 - \frac{U}{G}(T_m - T_{amb})$$

[0082] U 为热损系数, G 为辐照强度, T_m , T_{amb} 分别为集热器平均工作温度和环境温度。

[0083] 汽轮机发电效率由下式给出, 其中 ε 为汽轮机机械效率

[0084] $\eta_{tur} = \varepsilon \cdot \eta_{orc}$

[0085] 整个系统发电效率为

[0086] $\eta_{sys} = \eta_{tur} \cdot \eta_{stc}$

[0087] 取汽轮机机械效率 ε 为 0.75 (参考襄樊航华航空技术应用有限公司动力涡轮设计技术), 集热器的平均集热温度为 150℃, 效率为 0.55 (参考前面有关文献), 则

[0088] 整个系统实际发电效率 $\eta_{sys} = 0.75 * 0.25 * 0.55 = 0.10$ 。

[0089] 参考文献

[0090] 1. E. Prabhu, Solar-trough-orc, Subcontract report NREL/SR-550-39433, 2006

[0091] 1. E. Prabhu, 太阳能有机朗肯循环槽式发电系统. 美国国家可再生能源实验室转包合同报告. 550-39433, 2006 年 3 月

[0092] 2. Winston R. Solar concentrators of novel design. Solar Energy 1974; 16: 89-95.

[0093] 2. Winston R. 新型太阳能聚光器. 太阳能, 1974, 第十六卷, 89-95 页

[0094] 3. Pereira M. Design and performance of a novel non-evacuated 1.2x CPC type concentrator. Proceedings of Intersol Biennial, Congress of ISES, Montreal, Canada, vol. 2. ;1985. p. 1199-204.

[0095] 3. Pereira M. 新型非真空 1.2X 复合抛物面聚光器的设计及性能. 加拿大蒙特利尔国际太阳能协会会议论文. 1985 年第二卷, 1199-1204 页.

[0096] 4. Rabl A. Optical and thermal properties of compound parabolic collectors. Solar Energy 1976; 18: 497-511.

[0097] 4. Rabl A. 复合抛物面集热器光学及热学性质分析. 太阳能, 1976 年第 18 卷, 497-511 页.

[0098] 5. Rabl A., O' Gallagher J. and Winston R. (1980) Design and test of non evacuated solar collectors with compound parabolic concentrators. Solar Energy 25, 335-351

[0099] 5. Rabl A., O' Gallagher J. and Winston R. 非真空复合抛物面太阳能集热器设计与测试. 太阳能, 1980 年第二十五卷, 335-351 页.

- [0100] 6. Y. TRIPANAGNOSTOPOULOS †, P. YIANOULIS, S. PAPAETHIMIOU and S. ZAFEIRATOS. CPC SOLAR COLLECTORS WITH FLAT BIFACIAL ABSORBERS. SolarEnergy Vol. 69, 2000, No. 3, pp. 191-203,
- [0101] 6. Y. TRIPANAGNOSTOPOULOS †, P. YIANOULIS, S. PAPAETHIMIOU and S. ZAFEIRATOS. 具有双面平板吸收体的复合抛物面太阳能集热器. 太阳能, 2000 年第 69 卷, 第三部分 191-203 页
- [0102] 7. Y. TRIPANAGNOSTOPOULOS, M. SOULIOTIS and TH. NOUSIA. CPC TYPEINTEGRATED COLLECTOR STORAGE SYSTEMS. Solar Energy Vol. 72, 2002, No. 4, pp. 327-350,
- [0103] 7. Y. TRIPANAGNOSTOPOULOS, M. SOULIOTIS and TH. NOUSIA. 复合抛物面集热器与蓄热一体化系统. 太阳能, 2002 年第 72 卷, 第四部分 327-350 页.
- [0104] 8. Takeo S. SAITOH. PROPOSED SOLAR RANKINE CYCLE SYSTEM WITH PHASECHANGE STEAM ACCUMULATOR AND CPC SOLAR COLLECTOR. 2002 37thIntersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), Paper No. 20150
- [0105] 8. Takeo S. SAITOH. 使用相变蓄热器和复合抛物面集热器的太阳能朗肯循环系统. 2002 年第 37 届国际能源转换工程会议论文, 编号 20150.
- [0106] 9. Saitoh, T. S. ;Kato, J. ;Yamada, N. Advanced 3-D CPC solar collector for thermal electricssystem, Heat Transfer-Asian ResearchHeat Transfer-Asian Research, 2006, vol. 35 ;323-35
- [0107] 9. Sautoh, T. S, Kato, J, Yamada, N. 用于热发电系统的先进三维复合抛物面集热器. 热传递 - 亚洲研究, 2006 年第 35 卷, 323-335 页
- [0108] 10. William S. Dufur, Roland Winston, Joseph J. O, Gallagher, James Bergquam, ThomasHenkel, Performance of the Sacramento demonstration ICPC collector and doubleeffect chiller, Solar Energy 76 (2004) 175-180
- [0109] 10. William S. Duff, Roland Winston, Joseph J. O, Gallagher, James Bergquam, ThomasHenkel, 萨克拉门托复合抛物面集热器和双效吸收制冷示范工程工作性能. 太阳能, 2004 年第 76 卷, 175-180 页.
- [0110] 11. E. Prabhu, Solar-trough-orc, Subcontract report NREL/SR-550-39433, 2006
- [0111] 11. E. Prabhu. 太阳能有机朗肯循环槽式发电系统. 美国国家可再生能源实验室转包合同报告. 550-39433, 2006 年 3 月
- [0112] 12. Gaia M. The Altheim Rankine cycle TURBOGENERATOR, 1MWel organic Rankine cyclepower plant powered by low temperature geothermal water, GeothermischeEnergie, 2002vol. 36/37 (3/4) ;
- [0113] 12. Gaia M. 利用低温地热水源的 1M 瓦有机朗肯循环涡轮发电系统. 地热, 2002 年第 36 卷, 36-37 页
- [0114] 13. G. H. Martinus, M. Blesl, K. E. L. Smekens, P. Lako, M. Ohl. Technical and economiccharacterization of selected energy technologies, Contributions to the EU SAPIENTIAproject
- [0115] 13. G. H. Martinus, M. Blesl, K. E. L. Smekens, P. Lako, M. O hl. 能源科技的技术和

经济特性. 欧盟 SAPIENTIA 工程相关论文

[0116] 14. Enrico Barbier. Geothermal energy technology and current status :an overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(2002) 3-65

[0117] 14. Enrico Barbier. 地热技术及目前状况综述. 可再生与可依赖能源回顾. 2002 年第 6 卷, 3-65 页

[0118] 15. Takahisa Yamamoto, Tomohiko Furuhashi, Norio Arai, Koichi Mori. Design and testing of the Organic Rankine Cycle. Energy 26(2001) 239-251

[0119] 15. Takahisa Yamamoto, Tomohiko Furuhashi, Norio Arai, Koichi Mori. 太阳能有机朗肯循环系统设计与测试. 能源. 2001 年第 26 卷, 239-251 页

[0120] 16. Wolf-Dieter Steinmann, Rainer Tamme Latent Heat Storage for Solar Steam Systems, Journal of Solar Energy Engineering, 2008, Vol. 130

[0121] 16. Wolf-Dieter Steinmann, Rainer Tamme. 用于太阳能蒸汽系统的相变蓄热器. 太阳能工程期刊. 2008 年第 130 卷.

[0122] 17. Hasan A. Phase change material energy storage system employing palmitic acid. Solar Energy 1994 ;52 :143-54.

[0123] 17. Hasan A. 使用棕榈酸作为相变材料的能源蓄热系统. 太阳能. 1994 年第 52 卷, 143-154 页

[0124] 18. Dimaano M, Escoto A. Preliminary assessment of a mixture of capric and lauric acid for low temperature thermal energy storage. Energy 1998 ;23 :421-7.

[0125] 18. Dimaano M, Escoto A. 羊蜡酸与月桂酸混合物用于低温蓄热的初步评估. 能源. 1998 年第 23 卷, 421-427 页

[0126] 19. Mohammed M. Farid Amar M. Khudhair Siddique Ali K. Razack Said Al-Hallaj, A review on phase change energy storage : materials and applications, Energy Conversion and Management 45(2004) 1597-1615

[0127] 19. Mohammed M. Farid Amar M. Khudhair Siddique Ali K. Razack Said Al-Hallaj, 相变蓄热回顾 : 材料和应用. 能源转换与管理. 2004 年第 45 卷, 1597-1615 页.

[0128] 20. Kakuichi H, Yamazaki M, Yabe M, Chihara S, Terunuma Y, Sakata Y, et al. A study of erythrol as phase change material. In : Proceedings of the 2nd workshop IEA annex 10, phase change materials and chemical reactions for thermal energy storage, 11-13 April 1998, Sofia, Bulgaria

[0129] 20. Kakuichi H, Yamazaki M, Yabe M, Chihara S, Terunuma Y, Sakata Y, et al. 赤醇相变材料的研究. 1998 年保加利亚苏菲亚 IEA 第二次会议附件 10, 用于热能储存的相变材料及化学反应, 11-13 页.

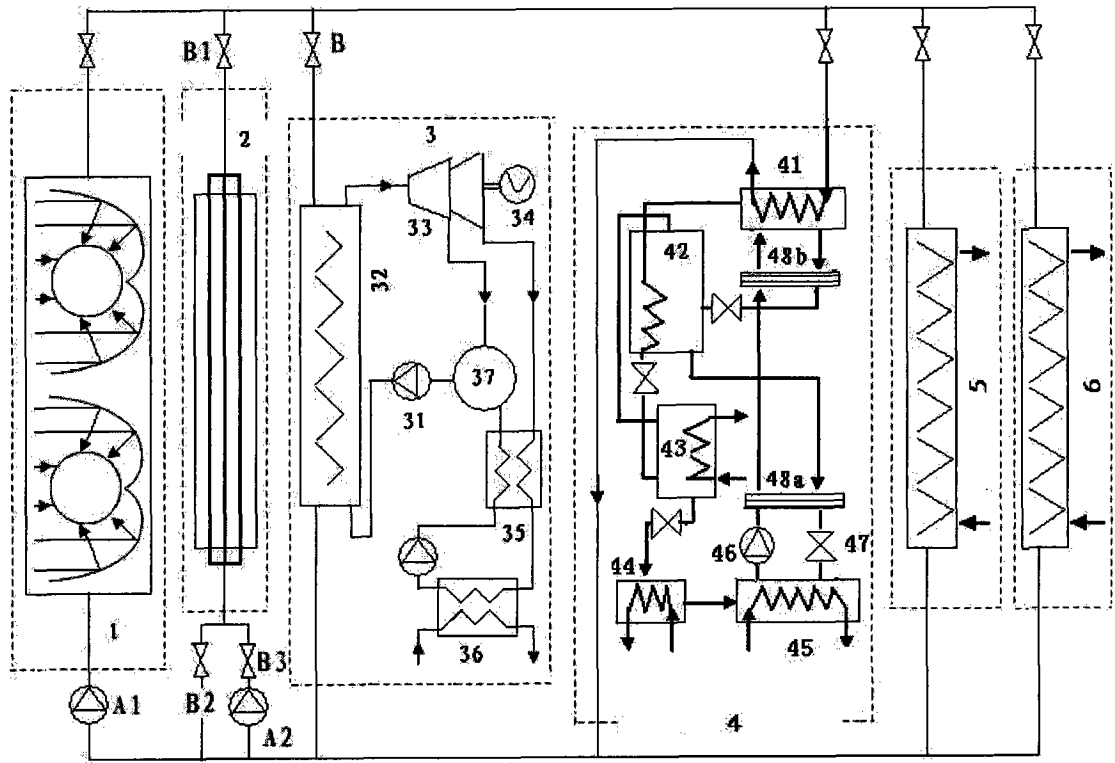


图 1

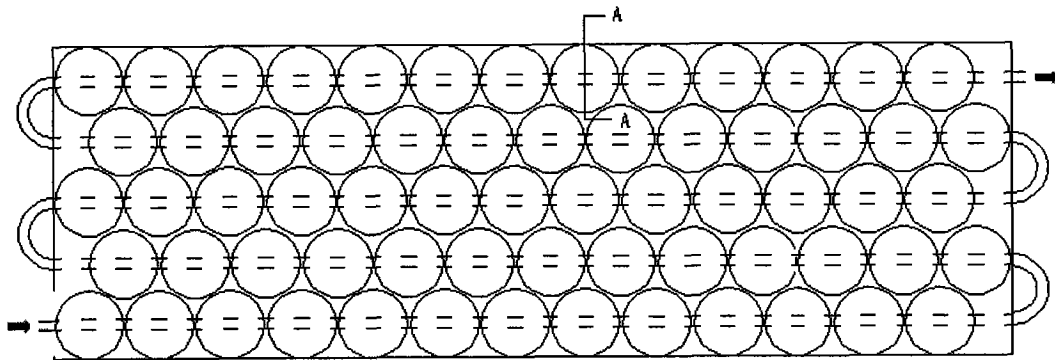


图 2

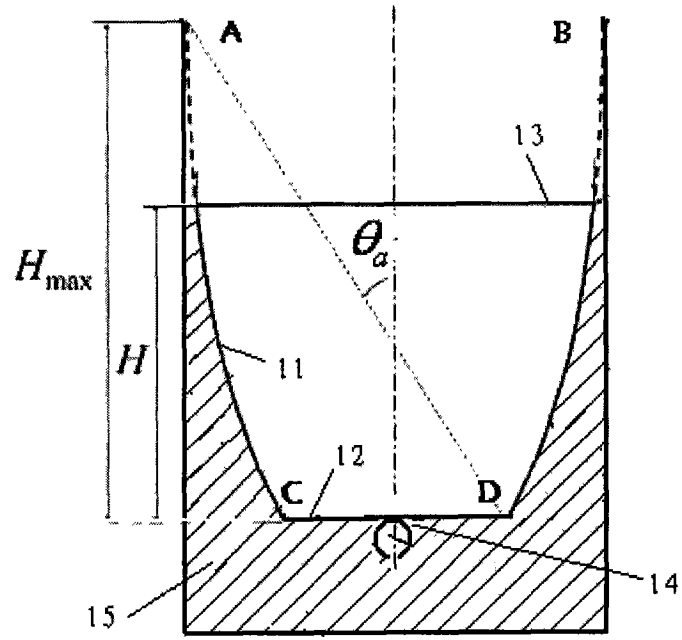


图3

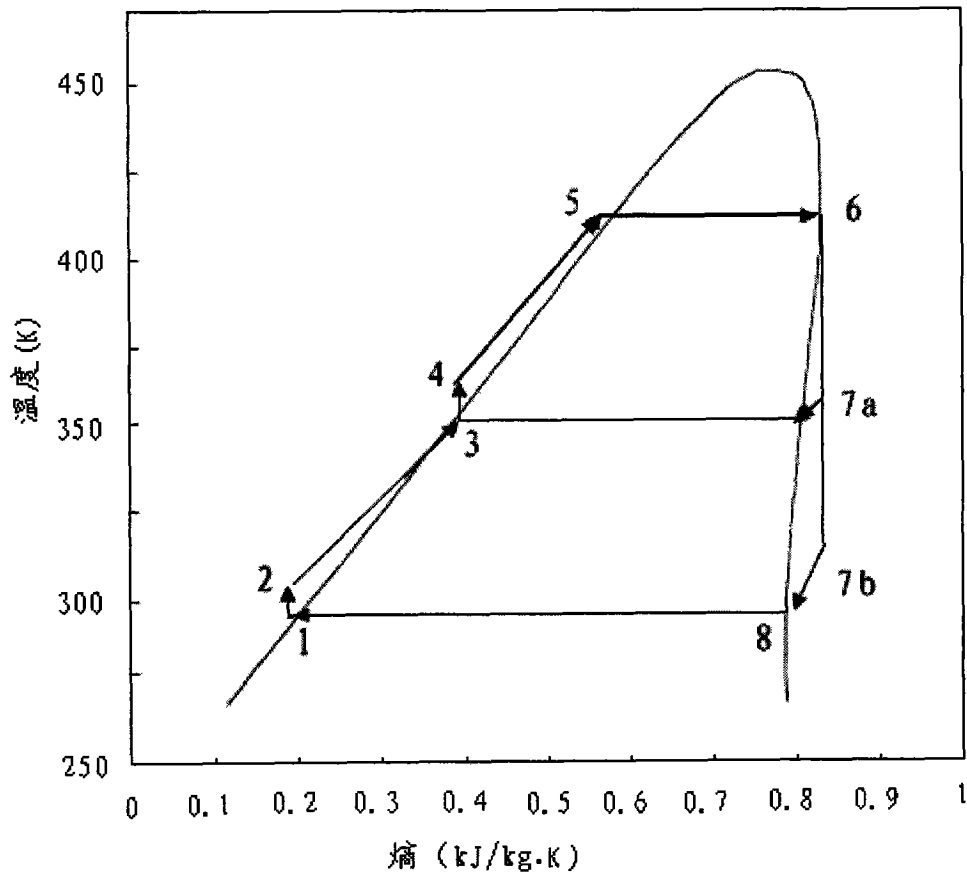


图4

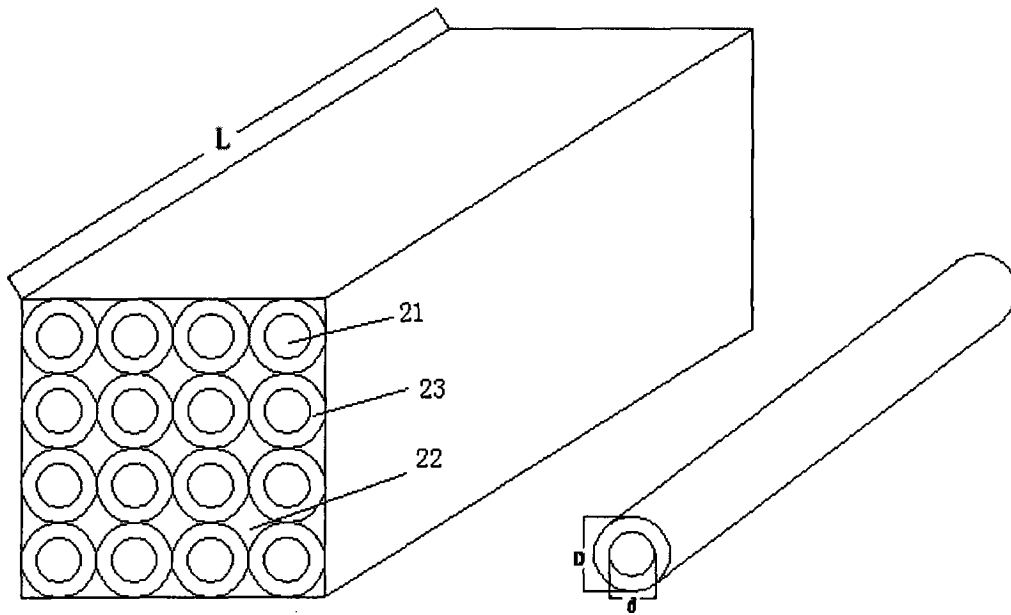


图 5