



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103527271 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 22

(21) 申请号 201310496376. 1

(22) 申请日 2013. 10. 21

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 翁一武 薄泽民 吕小静 耿孝儒

(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 林君如

(51) Int. Cl.

F01K 25/00 (2006. 01)

F01D 15/10 (2006. 01)

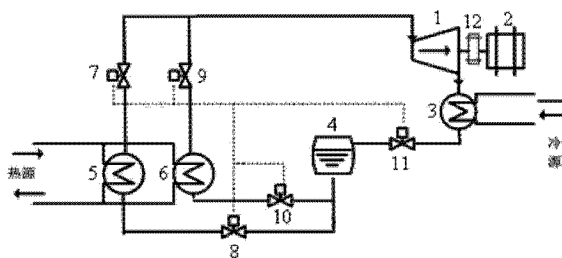
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

非能动式低温热能有机工质发电方法

(57) 摘要

本发明涉及非能动式低温热能有机工质发电方法,利用第一蒸发器及第二内的有机工质受热蒸发,当有机工质的压力达到设定压力时,蒸发器出口的自力式压控阀在工作压力触发下打开,有机工质蒸汽进入透平,推动透平做功,带动发电机输出电能,做功后的低压低温乏气进入冷凝器冷凝,通过第一蒸发器、二轮流输出工作蒸汽,连续带动透平做功,输出电能。与现有技术相比,本发明性能可靠、依靠工质在密闭空间受热蒸发实现压力的升高进行运转。



1. 非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

(1) 第一蒸发器内的有机工质受热蒸发,第一蒸发器温度和压力不断增加,当有机工质的压力达到设定压力时,第一蒸发器出口的第一自力式压控阀在工作压力触发下打开,有机工质蒸汽进入透平,推动透平做功,带动发电机输出电能,做功后的低压低温乏气进入冷凝器冷凝;

(2) 冷凝后的有机工质流入储液罐,随着第一蒸发器中有机工质消耗待尽,蒸发器中的压力下降到自力式压控阀的设定值,第一自力式压控阀和第五自力式压控阀自动关闭,第二自力式压控阀自动开启,在重力的作用下,储液罐中的有机工质流入第一蒸发器中,经过一段时间后第二自力式压控阀再次关闭,第五自力式压控阀开启,第一蒸发器内的有机工质被加热升压等待下一次循环;

(3) 在第一蒸发器重新填充液体工质时,第二蒸发器内工质被加热至设定压力,第三自力式压控阀自动开启,接替第一蒸发器继续输出工作蒸汽,带动透平和发电机输出电能,第二蒸发器填充工质方法与第一蒸发器相同,第三自力式压控阀、第五自力式压控阀自动关闭,第四自力式压控阀自动开启,有机工质在重力作用下从储液罐流入第二蒸发器,填充完毕后,第四自力式压控阀自动关闭,第五自力式压控阀自动开启;

(4) 第二蒸发器填充有机工质与被加热至工作点期间,第一蒸发器内有机工质压力按设计已被加热至设定值,接替第二蒸发器输出工作蒸汽,第一蒸发器、二轮流输出工作蒸汽,连续带动透平做功,输出电能。

2. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,所述的有机工质为 R245fa、R600、R600a、R141b 或 R142b 中的一种或几种。

3. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,第一蒸发器中的有机工质受热蒸发,温度达到 60°C - 180°C ,压力达到设定压力 0.5MPa - 5MPa 。

4. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,第二蒸发器中的有机工质受热蒸发,温度达到 60°C - 180°C ,压力达到设定压力 0.5MPa - 5MPa 。

5. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,所述的透平入口的蒸汽温度为 60°C - 180°C ,压力为 0.5MPa - 5MPa 。

6. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,所述的透平出口压力为 0.2MPa - 1.0MPa ,出口温度为 30°C - 120°C 。

7. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,所述的储液罐比第一蒸发器及第二蒸发器的位置高 200 - 2000mm ,利用重力势能差传输液体工质。

8. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,对蒸发器进行加热的热源为地热、太阳光热或工业余热,热源温度为 $85 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

9. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,对冷凝器进行冷凝的冷源为地下水、河水、海水或空气,冷源温度为 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

10. 根据权利要求1所述的非能动式低温热能有机工质发电方法,其特征在于,所述的透平的膨胀比范围为 $1.5 \sim 15$ 。

非能动式低温热能有机工质发电方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种发电方法,尤其是涉及一种非能动式低温热能有机工质发电方法。

背景技术

[0002] 低温热源通常指温度在 200℃ 以下的热源,其种类丰富,总量巨大,主要包括太阳能热、地热及工业余热等。据统计,我国有三分之二的国土年太阳辐射总量大于每平米 5000MJ,全国可采地热资源量约为 33 亿吨标准煤,工业能耗占全国能源总量的 70% 左右,而工业余热约占工业能耗的 15%。由于低温热源难以通过常规的发电设备进行回收利用,绝大多数的低温热源被白白排放到环境之中,造成极大的浪费和环境污染。因此,如何高效回收利用这部分总量巨大的能源成为了当前能源技术领域的一个热点。其中,有机工质朗肯发电系统采用低沸点工质,工质蒸汽能以较高的压力进入透平膨胀做功,整体装置结构简单,技术切实可行,热源利用率高,比传统水蒸汽朗肯循环发电系统更适合用于利用这些低温热源。

[0003] 早在 1924 年,科学家就开始研究采用低沸点有机工质二苯醚作为工质的有机朗肯循环。随着人们对世界性能源危机意识的加强,引起各国政府和能源科技工作者对有机朗肯循环的重视,美国、日本、以色列、意大利、德国、法国等发电国家相继投入大量的人力、物力,争相研发有机朗肯循环发电技术。目前,有机工质朗肯发电系统主要应用于地热电站、太阳光热、工业余热和生物质能热发电。国外,掌握有机朗肯循环发电技术的公司主要有 Electra Therm、Turboden、Eneftech、Ormat、Freepower、Green Energy Australasia 和 Infinityturbine 等。我国有机工质朗肯循环发电技术及系统的研制始于 20 世纪 70 年代初期。虽然我国的有机工质朗肯循环发电技术已开发多年,但是我国在该技术上仍未能取得实质性的突破。

[0004] 常规的有机工质发电方法是在外部动力作用下才能工作,需要由工质泵加压后保持正常发电状态,而工质泵本身需要消耗大量的电能,导致系统总体效率降低,此外控制过程也需要外部提供电力。所以常规的有机朗肯循环发电系统对外部条件依赖度大,装置维护成本高,同时工质泵等部件能耗较高使得装置系统效率低。

发明内容

[0005] 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一种性能可靠、依靠工质在密闭空间受热蒸发实现压力的升高进行运转的非能动式低温热能有机工质发电方法。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0007] 非能动式低温热能有机工质发电方法,包括以下步骤:

[0008] (1) 第一蒸发器内的有机工质受热蒸发,第一蒸发器温度和压力不断增加,当有机工质的压力达到设定压力时,第一蒸发器出口的第一自力式压控阀在工作压力触发下

打开,有机物工质蒸汽进入透平,推动透平做功,带动发电机输出电能,做功后的低压低温乏气进入冷凝器冷凝;

[0009] (2) 冷凝后的有机物工质流入储液罐,随着第一蒸发器中有机物工质消耗待尽,蒸发器中的压力下降到自力式压控阀的设定值,第一自力式压控阀和第五自力式压控阀自动关闭,第二自力式压控阀自动开启,在重力的作用下,储液罐中的有机物工质流入第一蒸发器中,经过一段时间后第二自力式压控阀再次关闭,第五自力式压控阀开启,第一蒸发器内的有机物工质被加热升压等待下一次循环;

[0010] (3) 在第一蒸发器重新填充液体工质时,第二蒸发器内工质被加热至设定压力,第三自力式压控阀自动开启,接替第一蒸发器继续输出工作蒸汽,带动透平和发电机输出电能,第二蒸发器填充工质方法与第一蒸发器相同,第三自力式压控阀、第五自力式压控阀自动关闭,第四自力式压控阀自动开启,有机物工质在重力作用下从储液罐流入第二蒸发器,填充完毕后,第四自力式压控阀自动关闭,第五自力式压控阀自动开启;

[0011] (4) 第二蒸发器填充有机物工质与被加热至工作点期间,第一蒸发器内有机物工质压力按设计已被加热至设定值,接替第二蒸发器输出工作蒸汽,第一蒸发器、二轮流输出工作蒸汽,连续带动透平做功,输出电能。

[0012] 所述的有机物工质为 R245fa、R600、R600a、R141b 或 R142b 中的一种或几种。

[0013] 第一蒸发器中的有机物工质受热蒸发,温度达到 60°C - 180°C ,压力达到设定压力 0.5MPa - 5MPa 。

[0014] 第二蒸发器中的有机物工质受热蒸发,温度达到 60°C - 180°C ,压力达到设定压力 0.5MPa - 5MPa 。

[0015] 所述的透平入口的蒸汽温度为 60°C - 180°C ,压力为 0.5MPa - 5MPa 。

[0016] 所述的透平出口压力为 0.2MPa - 1.0MPa ,出口温度为 30°C - 120°C 。

[0017] 所述的储液罐比第一蒸发器及第二蒸发器的位置高 200 - 2000mm ,利用重力势能差传输液体工质。

[0018] 对蒸发器进行加热的热源为地热、太阳光热或工业余热,热源温度为 $85 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

[0019] 对冷凝器进行冷凝的冷源为地下水、河水、海水或空气,冷源温度为 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

[0020] 所述的透平的膨胀比范围为 $1.5 \sim 15$ 。

[0021] 与现有技术相比,本发明利用重力传输液体工质,系统无工质泵,依靠工质在密闭空间受热蒸发实现压力的升高;通过自力式压控阀对发电过程进行控制实现发电,整个发电系统结构简单、性能可靠且成本较低,易于实现小型化、实用化。

附图说明

[0022] 图 1 为该方法采用的装置的结构示意图。

[0023] 图中:1 为透平、2 为发电机、3 为冷凝器、4 为储液罐、5 为第一蒸发器、6 为第二蒸发器、7 为第一自力式压控阀、8 为第二自力式压控阀、9 为第三自力式压控阀、10 为第四自力式压控阀、11 为第五自力式压控阀门、12 为联轴器。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0025] 非能动式有机工质发电装置的结构如图 1 所示,包括:透平 1、发电机 2、冷凝器 3、储液罐 4、第一蒸发器 5、第二蒸发器 6、第一自力式压控阀 7、第二自力式压控阀 8、第三自力式压控阀 9、第四自力式压控阀 10、第五自力式压控阀 11 和联轴器 12,其中外部低温热源流体通过管道分别与第一蒸发器 5 和第二蒸发器 6 热源侧的进出口相连,加热蒸发器中的有机工质,第一蒸发器 5 工质侧出口经过第一自力式压控阀 7 与透平 1 入口相连,第一蒸发器 5 工质侧入口经过第二自力式压控阀 8 与储液罐 4 底部出口相连,第二蒸发器 6 工质侧出口经过第三自力式压控阀 9 与透平 1 入口相连,第二蒸发器 6 工质侧入口经过第四自力式压控阀 10 与储液罐 4 底部出口相连,透平 1 的轴通过联轴器 12 与发电机 2 的轴相连,透平 1 的出口和冷凝器 3 工质侧入口相连,冷凝器 3 工质侧出口经过第五自力式压控阀 11 与储液罐 4 顶部入口相连,冷凝器 3 冷源侧进出口分别通过管道与外部冷源流体相连。

[0026] 本发明采用的有机工质有:R245fa、R600、R600a、R141b、R142b 等或混合物。本发明的储液罐比蒸发器的相对位置高 200-2000MM,利用重力势能差传输液体工质。

[0027] 在使用时,第一蒸发器 5、第二蒸发器 6 内的有机工质受热蒸发,使蒸发器内温度和压力不断增加。通过合理设计,第一蒸发器 5 内工质压力先达到透平 1 设计工作压力,第一蒸发器 5 出口的第一自力式压控阀 7 在工作压力触发下打开,工作蒸汽进入透平 1,推动透平 1 做功,带动发电机 2 输出电能,做功后的低压低温乏气进入冷凝器 3 冷凝。冷凝后的液态工质流入储液罐 4。随着第一蒸发器 5 中工作蒸汽的消耗,蒸发器中的压力逐渐下降到自力式压控阀的设定值,第一自力式压控阀 7 和第五自力式压控阀 11 自动关闭,第二自力式压控阀 8 自动开启,在重力的作用下,储液罐 4 中的液体工质重新流入第一蒸发器 5 中,然后第二自力式压控阀 8 再次关闭,第五自力式压控阀 11 开启,第一蒸发器 5 内工质在密闭容器内被热源加热升压等待下一次的循环。第一蒸发器 5 重新填充时,也就是第一自力式压控阀 7、第五自力式压控阀 11 关闭和第三自力式压控阀 9 开启时,第二蒸发器 6 内工质压力已被加热至设计值,第三自力式压控阀 9 自动开启,接替第一蒸发器 5 继续输出工作蒸汽,带到透平和发电机输出电能。第二蒸发器 6 填充工质方法与第一蒸发器 5 相同,第三自力式压控阀 9、五 11 自动关闭,第四自力式压控阀 10 自动开启,液态工质在重力作用下从储液罐 4 流入第二蒸发器 6,填充完毕后,第四自力式压控阀 10 自动关闭,第五自力式压控阀 11 自动开启。第二蒸发器 6 填充工质与被加热至工作点期间,第一蒸发器 5 内工质压力按设计已被加热至设计值,正好接替第一蒸发器 5 输出工作蒸汽。第一蒸发器 5、二 6 轮流输出工作蒸汽,从而能连续带动透平做功,输出电能。

[0028] 本实施例可利用太阳能、地热、低温余热等温度范围在 $60^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 的低温热能作为热源,蒸发器的工作压力为液体工质在热源温度在 $60 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 时对应的饱和压力。以地下水、河水、海水或空气为冷源,冷源温度范围为 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$,冷凝器的工作压力为液体工质在冷却水或冷却空气温度在 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 时对应的饱和压力。本装置可依靠地下水、河(海)水或空气作为冷源进行工作,可以实现的发电功率可由数千瓦到数百千瓦,以下进行具体操作。

[0029] 实施例 1

[0030] 工质 R600a,热源温度 120°C ,冷却水温度为 20°C 。蒸发器蒸发温度为 100°C ,蒸发压力为 1.98MPa ,蒸汽产生速率为 1.8kg/s ;冷凝气冷凝温度为 30°C ,冷凝压力为 0.403MPa ,换热器效率为 0.9 ;透平膨胀比为 5.0 ,透平效率为 0.8 。此外,第一、第二蒸发器内部容积

为 0.2m³, 储液罐内部容积为 0.4m³, 储液罐内部初始储液量为 120kg。本发明通过以下步骤进行工作:

[0031] (1) 第二自力式压控阀自动打开, 储液罐中约 30℃ 的液体工质在重力的作用下流入第一蒸发器, 液位平衡后第二自力式压控阀关闭, 将 60kg 的液体工质密闭在第一蒸发器中;

[0032] (2) 第一蒸发器中液体工质受热蒸发, 工质温度和压力不断增加, 达到 100℃, 1.98MPa, 这一参数为透平入口蒸汽参数;

[0033] (3) 第一蒸发器出口的第一自力式压控阀在压力作用下自动打开, 工作蒸汽以 1.8kg / s 的质量流速进入透平膨胀做功, 带到发电机输出电能, 透平出口压力和温度分别为 0.403MPa 和 47.4℃;

[0034] (4) 工质在冷凝器中冷凝为 30℃ 的饱和液态, 随后流入储液罐。

[0035] (5) 在发电过程中, 第一蒸发器中的液体工质不断受热蒸发, 约 26s 后完全蒸发。此后工质压力迅速下降至冷凝压力, 此时第二自力式压控阀自动开启, 第一自力式压控阀和五自动关闭, 储液罐中的饱和液态工质在重力作用下流入蒸发器中。当第一蒸发器填充工质过程结束后, 第二自力式压控阀自动关闭, 第五自力式压控阀自动开启, 工质在第一蒸发器中受热增压, 待达到设计工作点时接替第二蒸发器, 继续输出工作蒸汽。

[0036] (6) 当第一蒸发器填充工质时, 第二蒸发器内工质按设计已达到工作点, 第三自力式压控阀在第二蒸发器内工作压力的触发下自动开启, 接替第一蒸发器输出工作蒸汽, 带动透平和发电机输出电能。当第二蒸发器内工质蒸发完全时, 第二蒸发器需重新填充工质, 其方法与第一蒸发器样, 第三自力式压控阀、第五自力式压控阀自动关闭, 第四自力式压控阀开启, 储液罐中工质在重力作用下进入第二蒸发器; 与此同时, 第一蒸发器内工质按设计已达到工作点, 第一自力式压控阀自动开启, 接替第二蒸发器, 继续输出工作蒸汽, 带动透平和发电机输出电能。

[0037] (7) 本发明采用两个蒸发器, 第一蒸发器与第二蒸发器轮流输出高温高压蒸汽, 驱动透平, 带动发电机, 从而保证装置能连续地输出电能。

[0038] 该实例下, 系统热效率为 13.7%, 发电功率为 56.8KW。

[0039] 实施例 2

[0040] 工质 R245fa, 热源温度 120℃, 冷却水温度为 20℃。蒸发器蒸发温度为 100℃, 蒸发压力为 1.26MPa, 蒸汽产生速率为 4kg/s; 冷凝气冷凝温度为 30℃, 冷凝压力为 0.177MPa, 换热器效率为 0.9; 透平膨胀比为 7.1, 透平效率为 0.8。此外, 第一、第二蒸发器内部容积为 2m³, 储液罐内部容积为 3m³, 储液罐内部初始储液量为 2400kg。本发明通过以下步骤进行工作:

[0041] (1) 第二自力式压控阀自动打开, 储液罐中约 30℃ 的液体工质在重力的作用下流入第一蒸发器, 液位平衡后第二自力式压控阀关闭, 将 1200kg 的液体工质密闭在第一蒸发器中;

[0042] (2) 第一蒸发器中液体工质受热蒸发, 工质温度和压力不断增加, 最总到达 100℃, 1.26MPa, 这一参数为透平入口蒸汽参数;

[0043] (3) 第一蒸发器出口的第一自力式压控阀在压力作用下自动打开, 工作蒸汽以 4kg/s 的质量流速进入透平膨胀做功, 带到发电机输出电能, 透平出口压力和温度分别为

0.177MPa 和 49.5℃；

[0044] (4) 工质在冷凝器中冷凝为 30℃的饱和液态,随后流入储液罐。

[0045] (5) 在发电过程中,第一蒸发器中的液体工质不断受热蒸发,260s 后完全蒸发。此后工质压力迅速下降至冷凝压力,此时第二自力式压控阀自动开启,第一自力式压控阀和五自动关闭,储液罐中的饱和液态工质在重力作用下流入蒸发器中。当第一蒸发器填充工质过程结束后,第二自力式压控阀自动关闭,第五自力式压控阀自动开启,工质在第一蒸发器中受热增压,待达到设计工作点时接替第二蒸发器,继续输出工作蒸汽。

[0046] (6) 当第一蒸发器填充工质时,第二蒸发器内工质按设计已达到工作点,第三自力式压控阀在第二蒸发器内工作压力的触发下自动开启,接替第一蒸发器输出工作蒸汽,带动透平和发电机输出电能。当第二蒸发器内工质蒸发完全时,第二蒸发器需重新填充工质,其方法与第一蒸发器样,第三自力式压控阀、第五自力式压控阀自动关闭,第四自力式压控阀开启,储液罐中工质在重力作用下进入第二蒸发器;与此同时,第一蒸发器内工质按设计已达到工作点,第一自力式压控阀自动开启,接替第二蒸发器,继续输出工作蒸汽,带动透平和发电机输出电能。

[0047] (7) 本发明采用两个蒸发器,第一蒸发器与第二蒸发器轮流输出高温高压蒸汽,驱动透平,带动发电机,从而保证装置能连续地输出电能。

[0048] 该实例下,系统热效率为 15.5%,发电功率为 92.6KW。

[0049] 实施例 3

[0050] 工质 R141b,热源温度 120℃,冷却水温度为 20℃。蒸发器蒸发温度为 100℃,蒸发压力为 0.675MPa,蒸汽产生速率为 20kg/s;冷凝气冷凝温度为 30℃,冷凝压力为 0.094MPa,换热器效率为 0.9;透平膨胀比为 7.2,透平效率为 0.8。此外,第一、第二蒸发器内部容积为 2m³,储液罐内部容积为 3m³,储液罐内部初始储液量为 2400kg。本发明通过以下步骤进行工作:

[0051] (1) 第二自力式压控阀自动打开,储液罐中约 30℃的液体工质在重力的作用下流入第一蒸发器,液位平衡后第二自力式压控阀关闭,将 1200kg 的液体工质密闭在第一蒸发器中;

[0052] (2) 第一蒸发器中液体工质受热蒸发,工质温度和压力不断增加,最总到达 100℃,0.675MPa,这一参数为透平入口蒸汽参数;

[0053] (3) 第一蒸发器出口的第一自力式压控阀在压力作用下自动打开,工作蒸汽以 4kg/s 的质量流速进入透平膨胀做功,带到发电机输出电能,透平出口压力和温度分别为 0.094MPa 和 44.5℃;

[0054] (4) 工质在冷凝器中冷凝为 30℃的饱和液态,随后流入储液罐。

[0055] (5) 在发电过程中,第一蒸发器中的液体工质不断受热蒸发,55.9s 后完全蒸发。此后工质压力迅速下降至冷凝压力,此时第二自力式压控阀自动开启,第一自力式压控阀和五自动关闭,储液罐中的饱和液态工质在重力作用下流入蒸发器中。当第一蒸发器填充工质过程结束后,第二自力式压控阀自动关闭,第五自力式压控阀自动开启,工质在第一蒸发器中受热增压,待达到设计工作点时接替第二蒸发器,继续输出工作蒸汽。

[0056] (6) 当第一蒸发器填充工质时,第二蒸发器内工质按设计已达到工作点,第三自力式压控阀在第二蒸发器内工作压力的触发下自动开启,接替第一蒸发器输出工作蒸汽,带

动透平和发电机输出电能。当第二蒸发器内工质蒸发完全时,第二蒸发器需重新填充工质,其方法与第一蒸发器样,第三自力式压控阀、第五自力式压控阀自动关闭,第四自力式压控阀开启,储液罐中工质在重力作用下进入第二蒸发器;与此同时,第一蒸发器内工质按设计已达到工作点,第一自力式压控阀自动开启,接替第二蒸发器,继续输出工作蒸汽,带动透平和发电机输出电能。

[0057] (7) 本发明采用两个蒸发器,第一蒸发器与第二蒸发器轮流输出高温高压蒸汽,驱动透平,带动发电机,从而保证装置能连续地输出电能。

[0058] 该实例下,系统热效率为 13.7%,发电功率为 560KW。

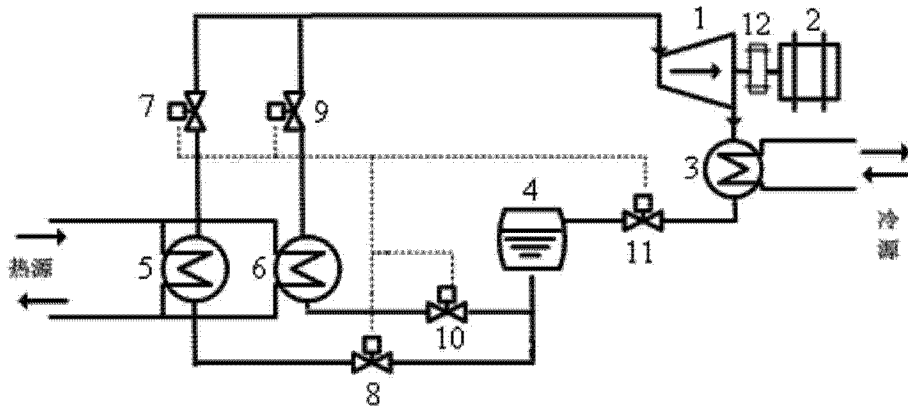


图 1