

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102733871 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 17

(21) 申请号 201210244845. 6

(22) 申请日 2012. 07. 16

(71) 申请人 郑州大学

地址 450001 河南省郑州市科学大道 100 号

(72) 发明人 魏新利 马新灵 孟祥睿 王慧

(74) 专利代理机构 郑州红元帅专利代理事务所  
(普通合伙) 41117

代理人 黄军委

(51) Int. Cl.

F01K 25/10(2006. 01)

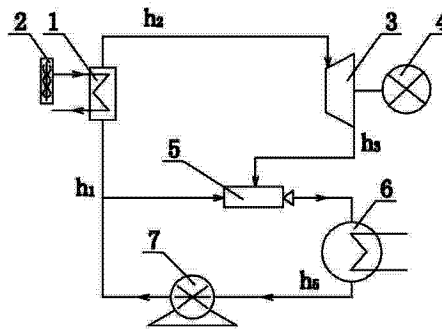
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

低温余热发电系统

(57) 摘要

本发明提供了一种低温余热发电系统,它包括蒸发器、膨胀机、与所述膨胀机连接的发电机、冷凝器、工质泵和喷射器,其中,所述工质泵的出口连接所述蒸发器的进口,所述蒸发器的出口与所述膨胀机的入口连接,所述工质泵的出口或所述蒸发器的出口连接所述喷射器的高压入口,所述膨胀机的出口与所述喷射器的低压入口连接,所述喷射器的中压出口与所述冷凝器的入口连接,所述冷凝器的出口与所述工质泵的入口连接。该低温余热发电系统具有设计科学、实用性强、发电效率高和低温余热利用率高的优点。



1. 一种低温余热发电系统,包括蒸发器、膨胀机、与所述膨胀机连接的发电机、冷凝器和工质泵,其特征在于:它还包括喷射器,其中,所述工质泵的出口连接所述蒸发器的进口,所述蒸发器的出口与所述膨胀机的入口连接,所述工质泵的出口或所述蒸发器的出口连接所述喷射器的高压入口,所述膨胀机的出口与所述喷射器的低压入口连接,所述喷射器的中压出口与所述冷凝器的入口连接,所述冷凝器的出口与所述工质泵的入口连接。

## 低温余热发电系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种有机朗肯循环系统,具体的说,涉及了一种低温余热发电系统。

### 背景技术

[0002] 有机朗肯循环是以低沸点有机物为工质的闭式朗肯循环,由于其蒸发和冷凝温度较低、热效率高及设备相对简单,被认为是一种有效的低温余热发电技术。如图 1 所示:传统的有机朗肯循环系统由蒸发器 1、膨胀机 3、与所述膨胀机 3 连接的发电机 4、冷凝器 6 和工质泵 7 五个主要设备组成。液态工质在蒸发器中从低温热源 2 中吸收热量产生有机蒸气,有机蒸气推动膨胀机旋转做功,带动发电机发电,在膨胀机内做完功的乏气进入冷凝器中重新被冷却为液体,由工质泵升压后打入蒸发器,完成一个动力循环。由于回收的是低温热源的热量,这种循环系统的效率较低。

[0003] 传统的有机朗肯循环系统的热效率:

$$\eta_1 = \frac{W_{net}}{Q_1} = \frac{W_e - W_p}{h_2 - h_1} = \frac{(h_2 - h_{3'}) - (h_5 - h_1)}{h_2 - h_1}$$

其中,  $w_e$  表示膨胀机输出功量,  $w_p$  表示工质泵消耗功量,  $h_1$  表示工质进入蒸发器前的焓值,  $h_2$  表示工质经过蒸发器后的焓值,  $h_{3'}$  表示工质经过膨胀机后的焓值,  $h_5$  表示工质进入冷凝器后的焓值,  $\eta_1$  表示循环系统的热效率。

[0004] 根据传统有机朗肯循环系统的研究情况,工质泵消耗的功量  $w_p$  相比膨胀机输出的功  $w_e$  来说,要小得多,可忽略不计。所以,上述式子可简化为:

$$\eta_1 = \frac{(h_2 - h_{3'}) - (h_5 - h_1)}{h_2 - h_1} \approx \frac{h_2 - h_{3'}}{h_2 - h_1}$$

对于 120℃ 的热源,系统的热效率只有 8% 左右。为了解决循环系统效率低下的问题,人们一直在寻求理想的技术解决方案。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是针对现有技术的不足,从而提供一种设计科学、实用性强、发电效率高和低温余热利用率高的低温余热发电系统。

[0006] 为了实现上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种低温余热发电系统,包括蒸发器、膨胀机、与所述膨胀机连接的发电机、冷凝器、工质泵和喷射器,其中,所述工质泵的出口连接所述蒸发器的进口,所述蒸发器的出口与所述膨胀机的入口连接,所述工质泵的出口或所述蒸发器的出口连接所述喷射器的高压入口,所述膨胀机的出口与所述喷射器的低压入口连接,所述喷射器的中压出口与所述冷凝器的入口连接,所述冷凝器的出口与所述工质泵的入口连接。

[0007] 本发明相对现有技术具有突出的实质性特点和显著进步,具体的说,本发明在传统的有机朗肯循环系统基础上增加了喷射器,所述喷射器的高压入口连接所述工质泵的出口或所述蒸发器的出口,所述喷射器的低压入口连接所述膨胀机的出口,所述喷射器的中压出口连接所述冷凝器的入口,利用该喷射器使得膨胀机出口乏气的压力低于传统有机朗肯循环系统膨胀机出口乏气的压力,从而使膨胀机的膨胀比变大,膨胀机出口的工质焓值降低,单位工质的做功能力变大;另一方面,通过喷射器中压出口的混合流体的压力也会升高,即,进入冷凝器的工质的压力升高,则工质在工质泵中的压升降低,使得工质泵的耗功量减少,单位质量工质的净做功量增加,进而,提高了整个系统的工作效率;其具有设计科学、实用性强、发电效率高和低温余热利用率高的优点。

#### 附图说明

[0008] 图 1 是传统有机朗肯循环系统的结构示意图。

[0009] 图 2 是实施例 1 中本发明的结构示意图。

[0010] 图 3 是实施例 2 中本发明的结构示意图。

#### 具体实施方式

[0011] 下面通过具体实施方式,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

[0012] 实施例 1

如图 2 所示,一种低温余热发电系统,它包括蒸发器 1、膨胀机 3、冷凝器 6、工质泵 7 和喷射器 5,其中,所述工质泵 7 的出口分别连接所述蒸发器 1 的工质进口和所述喷射器 5 的高压入口,所述蒸发器 1 的工质出口与所述膨胀机 3 的入口连接,所述膨胀机 3 的出口与所述喷射器 5 的低压入口连接,所述膨胀机 3 连接发电机 4,所述喷射器 5 的中压出口与所述冷凝器 6 的入口连接,所述冷凝器 6 的出口与所述工质泵 7 的入口连接。

[0013] 该系统采用闭式朗肯循环,使用有机物液态 R245fa 代替水作为循环工质,提高换热效率,有机工质进入所述蒸发器 1 从所述低温热源 2 中迅速吸热汽化。

[0014] 本发明的循环过程,液态工质在工质泵 7 中升压,一部分进入蒸发器 1 中从低温热源 2 中吸收热量产生有机蒸气,一部分进入所述喷射器 5 的高压入口,有机蒸气推动膨胀机 3 旋转做功,带动发电机 4 发电,在膨胀机 3 内做完功的有机蒸气变为乏气进入所述喷射器 5 的低压入口,所述乏汽被所述喷射器 5 的高压入口的液态工质引射升压,然后通过所述喷射器 5 的中压出口进入所述冷凝器 6,在所述冷凝器 6 中重新被冷却为液态工质,液态工质进入所述工质泵 7 升压后打入蒸发器 1 和所述喷射器 5 中,完成一个动力循环。

[0015] 由于进入所述喷射器 5 的高压入口的工质是液态的,所以所述喷射器 5 形成一个液体喷射器。在所述喷射器 5 的作用下,使得所述膨胀机 3 出口乏气的压力低于传统有机朗肯循环系统膨胀机出口乏气的压力,从而使膨胀机 3 的膨胀比变大,膨胀机 3 出口的工质焓值降低,单位工质的做功能力变大;另一方面,在喷射器 5 的中压出口的混合流体的压力也会升高,既进入冷凝器 6 的工质的压力升高了,则工质在工质泵 7 中的压升降低了,工质泵 7 的耗功量减少了,单位质量工质的净做功量增加了,提高了整个系统的工作效率。

[0016] 本实施例中的新循环的热效率:

$$\eta_2 = \frac{W_{net}}{q_1} = \frac{W_e - W_p}{h_2 - h_1} = \frac{\mu(h_2 - h_3) - (1 + \mu)(h_5 - h_1)}{\mu(h_2 - h_1)}$$

其中,  $w_e$  表示新循环中膨胀机输出功量,  $w_p$  表示新循环中工质泵消耗功量,  $h_1$  表示新循环中工质进入蒸发器前的焓值,  $h_2$  表示新循环中工质经过蒸发器后的焓值,  $h_3$  表示新循环中工质经过膨胀机后的焓值,  $h_5$  表示新循环中工质进入冷凝器后的焓值,  $\mu$  表示喷射系数,  $\eta_2$  表示新循环的热效率。

[0017] 根据传统有机朗肯循环系统的研究情况, 工质泵消耗的功量  $w_p$  相比膨胀机输出的功  $w_e$  来说, 要小得多, 可忽略不计。所以, 上述式子可简化为:

$$\eta_2 = \frac{\mu(h_2 - h_3) - (1 + \mu)(h_5 - h_1)}{\mu(h_2 - h_1)} \approx \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

由于新循环中所述膨胀机 3 的膨胀比变大, 所述膨胀机 3 出口的工质焓值  $h_3$  降低,  $h_2 - h_3 > h_2 - h_3'$ , 所以单位工质的做功能力变大, 热效率  $\eta_2$  大于热效率  $\eta_1$ 。

[0018] 在本技术领域, 所述喷射器 5 包括高压入口、低压入口和中压出口, 所述喷射器 5 内部两头大中间小, 设置在该系统中, 高压液态工质或气态工质进入高压入口, 由于流道变窄, 工质流动速度提升, 相当于对低压入口的乏气抽吸, 产生低压, 混合后由中压出口进入冷凝器 6, 低压入口与膨胀机 3 的出口连接, 相当于增加了膨胀机 3 的压差和焓值, 从而提高有机蒸汽的热功转化效率。但是由于需要消耗部分高压有机工质进入喷射器做功, 因而需要合理分配两者间的比例。另外由于降低的压力最低也就是绝对压力为 0, 因此该循环对低温热源的有机朗肯循环系统能有效提升效率, 但是对于热源温度较高时, 效率提升并不明显。

#### [0019] 实施例 2

本实施与实施例 1 的区别在于: 如图 3 所示, 一种低温余热发电系统, 所述工质泵 7 的出口连接所述蒸发器 1 的工质进口, 所述蒸发器 1 的工质出口分别连接所述喷射器 5 的高压入口和所述膨胀机 3 的入口。

[0020] 本发明的循环过程, 液态工质在工质泵 7 中升压, 进入蒸发器 1 中从低温热源 2 中吸收热量产生有机蒸气, 一部分有机蒸气进入所述喷射器 5 的高压入口, 一部分有机蒸气推动膨胀机 3 旋转做功, 带动发电机 4 发电, 在膨胀机 3 内做完功的有机蒸气变为乏气进入所述喷射器 5 的低压入口, 所述乏汽被所述喷射器 5 的高压入口的有机蒸气引射升压, 然后通过所述喷射器 5 的中压出口进入所述冷凝器 6, 在所述冷凝器 6 中重新被冷却为液态工质, 液态工质进入所述工质泵 7 升压后打入蒸发器 1 完成一个动力循环。

[0021] 由于进入所述喷射器 5 的高压入口的工质是气态的, 所以所述喷射器 5 形成一个气体喷射器。在所述喷射器 5 的作用下, 使得所述膨胀机 3 出口乏气的压力低于传统有机朗肯循环系统膨胀机出口乏气的压力, 从而使膨胀机 3 的膨胀比变大, 膨胀机 3 出口的工质焓值降低, 单位工质的做功能力变大; 另一方面, 在喷射器 5 的中压出口的混合流体的压力也会升高, 既进入冷凝器 6 的工质的压力升高了, 则工质在工质泵 7 中的压升降低了, 工质泵 7 的耗功量减少了, 单位质量工质的净做功量增加了, 提高了整个系统的工作效率。

[0022] 本实施例中的新循环的热效率:

$$\eta_3 = \frac{w_{e3}}{q_1} = \frac{w_e - w_p}{h_2 - h_1} = \frac{\mu (h_2 - h_3) - (1 + \mu)(h_5 - h_1)}{(1 + \mu)(h_2 - h_1)}$$

其中,  $w_e$  表示新循环中膨胀机输出功量,  $w_p$  表示新循环中工质泵消耗功量,  $h_1$  表示新循环中工质进入蒸发器前的焓值,  $h_2$  表示新循环中工质经过蒸发器后的焓值,  $h_3$  表示新循环中工质经过膨胀机后的焓值,  $h_5$  表示新循环中工质进入冷凝器后的焓值,  $\mu$  表示喷射系数,  $\eta_3$  表示新循环的热效率。

[0023] 根据传统有机朗肯循环系统的研究情况, 工质泵消耗的功量  $w_p$  相比膨胀机输出的功  $w_e$  来说, 要小得多, 可忽略不计。所以, 上述式子可简化为:

$$\eta_3 = \frac{\mu (h_2 - h_3) - (1 + \mu)(h_5 - h_1)}{(1 + \mu)(h_2 - h_1)} \approx \frac{\mu (h_2 - h_3)}{(1 + \mu)(h_2 - h_1)}$$

由于新循环中所述膨胀机 3 的膨胀比变大, 所述膨胀机 3 的出口的工质焓值  $h_3$  降低, 只要喷射系数  $\mu$  选择合适的值, 本实施例中热效率  $\eta_3$  也会大于热效率  $\eta_1$ 。

[0024] 最后应当说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制; 尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细的说明, 所属领域的普通技术人员应当理解: 依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者对部分技术特征进行等同替换; 而不脱离本发明技术方案的精神, 其均应涵盖在本发明请求保护的技术方案范围当中。

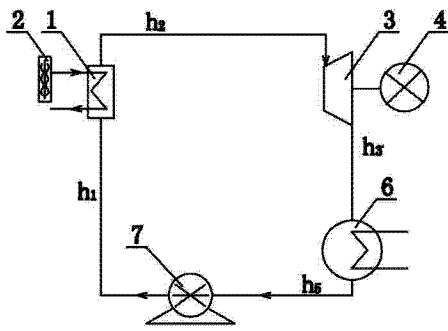


图 1

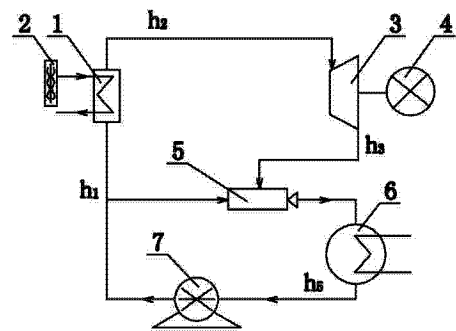


图 2

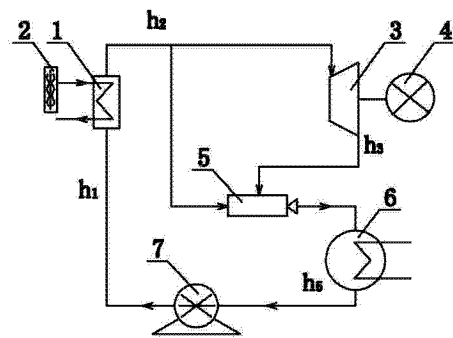


图 3