



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1993536 B

(45) 授权公告日 2011. 09. 14

(21) 申请号 200580011333. 3

(22) 申请日 2005. 04. 13

(30) 优先权数据

102004018627. 8 2004. 04. 16 DE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006. 10. 16

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2005/051617 2005. 04. 13

(87) PCT申请的公布数据

W02005/100755 DE 2005. 10. 27

(73) 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 乔尔格·伦格特

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 杨梧 郝俊梅

(51) Int. Cl.

F01K 25/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 10-205308 A, 1998. 08. 04, 全文.

CN 1275707 A, 2000. 12. 06, 全文.

CN 1109141 A, 1995. 09. 27, 全文.

US 2004/0055302 A1, 2004. 03. 25, 说明书第 [0028] 段、附图 2.

EP 1070830 A1, 2001. 01. 24, 说明书第

[0022] 段、表 3、说明书第 [0013]—[0014] 段、附图 3.

审查员 吴斐

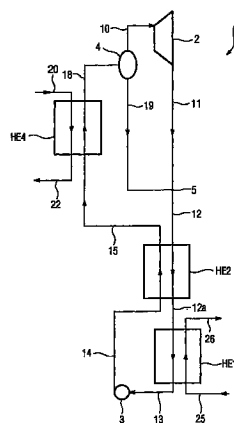
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于执行热力学循环的方法和装置

(57) 摘要

按照本发明为了减少循环的复杂性一种液体工作介质流 (13) 被置于提高的压力上并通过一种膨胀减压的工作介质流 (12) 的部分冷凝产生第一部分汽化的工作介质流 (15)。通过利用外部热源 (20) 传递的热量使第一部分汽化的工作介质流 (15) 继续地汽化, 产生第二至少部分汽化的工作介质流 (18)。在这个第二至少部分汽化的工作介质流 (18) 情况下汽化相 (10) 被与液体相分离, 接着汽化相 (10) 的能量被转化为一个可利用的形式, 并且一个膨胀减压的汽化相 (11) 与液体相 (19) 混合从而构成膨胀减压的工作介质流 (12)。通过使部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 (12a) 完全地冷凝再次获得该液体工作介质流 (13)。



1. 一种用于执行热力学循环的方法,具有至少如下的方法步骤:
 - 将液体工作介质流 (13) 泵压到提高的压力上并形成加压的液体工作介质流 (14);
 - 通过膨胀减压的工作介质流 (12) 的部分冷凝使该加压的液体工作介质流 (14) 加热并部分地汽化,从而由所述加压的液体工作介质流 (14) 产生第一部分汽化的工作介质流 (15) 并由所述膨胀减压的工作介质流 (12) 产生部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 (12a);
 - 利用从外部热源 (20) 传递的热量使第一部分汽化的工作介质流 (15) 继续汽化,并且产生第二至少部分汽化的工作介质流 (18);
 - 使该第二至少部分汽化的工作介质流 (18) 的液体相 (19) 与汽化相 (10) 分离;
 - 使汽化相 (10) 膨胀减压,将其能量转换为一种可利用的形式并产生一个膨胀减压的汽化相 (11);
 - 使液体相 (19) 与膨胀减压的汽化相 (11) 混合并形成所述膨胀减压的工作介质流 (12);
 - 使所述部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 (12a) 完全地冷凝并产生所述液体工作介质流 (13)。
2. 按权利要求 1 的方法,其中,所述汽化相 (10) 的压力小于 24bar。
3. 按权利要求 1 或 2 的方法,其中,所述汽化相 (10) 的压力是膨胀减压的汽化相 (11) 的压力的 3 至 4 倍。
4. 按权利要求 1 的方法,其中,应用一种多料混合物作为工作介质流中的工作介质。
5. 按权利要求 4 的方法,其中,作为所述多料混合物应用一种双料混合物。
6. 按权利要求 5 的方法,所述双料混合物是氨-水混合物。
7. 按权利要求 1 的方法,其中,作为所述外部热源 (20) 应用一种地热液体。
8. 按权利要求 7 的方法,所述地热液体是热水。
9. 按权利要求 1 的方法,其中,所述外部热源 (20) 具有 100℃至 140℃的温度。
10. 一种用于实施按照上述权利要求之一的执行热力学循环的方法的装置,该装置至少具有
 - 用于将液体工作介质流 (13) 泵压到一个提高的压力并产生加压的液体工作介质流 (14) 的泵 (3);
 - 第一热交换器 (HE2),用于通过膨胀减压的工作介质流 (12) 的部分冷凝以加热并部分地汽化该加压的液体工作介质流 (14) 从而由所述加压的液体工作介质流 (14) 产生第一部分汽化的工作介质流 (15) 并由所述膨胀减压的工作介质流 (12) 产生部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 (12a);
 - 第二热交换器 (HE4),用于借助由外部热源 (20) 传递的热量通过使第一部分汽化的工作介质流 (15) 继续汽化以产生第二至少部分汽化的工作介质流 (18);
 - 分离器,用于使该第二至少部分汽化的工作介质流 (18) 的液体相 (19) 与汽化相 (10) 分离;
 - 用于使汽化相 (10) 膨胀减压、将其能量转化为一种可利用的形式并且产生膨胀减压的汽化相 (11) 的装置 (2);
 - 混合器 (5),用于使液体相与膨胀减压的汽化相混合并且产生所述膨胀减压的工作

介质流 (12) ;

- 第三热交换器 (HE1), 用于使所述部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 (12a) 完全地冷凝并产生所述液体工作介质流 (13)。

11. 按权利要求 10 的装置, 其中, 所述用于使汽化相 (10) 膨胀减压、将其能量转化为一种可利用的形式并且产生膨胀减压的汽化相 (11) 的装置 (2) 是涡轮。

12. 按权利要求 10 的装置, 其中, 所述汽化相 (10) 的压力小于 24bar。

13. 按权利要求 10 或 12 的装置, 其中, 所述汽化相 (10) 的压力是所述膨胀减压汽化相 (11) 的压力的 3 至 4 倍。

14. 按权利要求 10 的装置, 其中, 工作介质流中的工作介质由一种多料混合物组成。

15. 按权利要求 14 的装置, 其中, 所述多料混合物是一种双料混合物。

16. 按权利要求 15 的装置, 其中, 所述双料混合物是氨 - 水混合物。

17. 按权利要求 10 的装置, 其中, 利用一种地热液体作为所述外部热源 (20)。

18. 按权利要求 17 的装置, 其中, 所述地热液体是热水。

19. 按权利要求 10 的装置, 其中, 所述外部热源 (20) 具有 100℃ 至 140℃ 的温度。

用于执行热力学循环的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于执行热力学循环的一种方法和一种装置。

背景技术

[0002] 热力机利用热力学循环以将热量转换为机械能或电能。传统的热力机通过燃烧燃料（首先是化石类载能体煤、油和燃气）来产生热能。其中，循环例如基于典型的用水作为工作介质的朗肯 (Rankine) - 循环被运行。然而，它的高沸点使得水首先在利用具有 100° 至 200°C 之间温度的热源例如地热液体时或者利用由燃烧过程放热的情况，都由于缺少经济性而是无吸引力的。

[0003] 对于具有这种较低温度的热源，在最近数年里开发了最不相同的技术，这些技术能使它们的热量以好的效率转换为机械能或电能。除了用有机工作介质的郎肯 - 循环 (organic rankine cycle, 有机的郎肯循环 ORC) 以外，首先是所谓的卡里纳 (Kalina) - 循环相对典型的郎肯 - 循环表现出了明显较好效率。在卡里纳 - 循环的基础上，发展了各种各样的循环用于最不同的应用场合。这些循环应用了一种双料混合物（例如氨和水）作为工作介质以代替水，其中，利用了该混合物的非等温的沸腾及凝结过程，以便与郎肯 - 循环相比提高循环效率。

[0004] 对于 100 至 140°C 的热源温度，优选地应用卡里纳 - 循环 KCS 34 (卡里纳循环系统 34)，其例如被应用在地热电厂 Husavik/Island 中（也参见 EP1070830A1）。在这个循环（也参见图 3）中一种液体的工作介质被泵送到第一热交换器中，其中它通过一个膨胀减压 (entspannt) 的工作介质流的部分冷凝被加热。由此产生的被加热的工作介质流然后通过第二热交换器中部分汽化的工作介质流的液体相的冷却被继续加热，并接着在第三热交换器中通过应用由一个外部热源（例如一种地热液体）传递的热量被部分地汽化（例如直到一个为 14-18% 的液体含量）。此后，在一个分离器中从部分汽化的工作介质流中将该液体相与汽相分离。

[0005] 汽相在一个涡轮中膨胀减压并且其能量被应用于产生电流。液相被导引通过第二热交换器并应用于继续加热已被加热的工作介质流。在一个混合器中液相和减压的汽相被导引一起并构成已提及的膨胀减压的工作介质流。然后，该膨胀减压的工作介质流在第一热交换器中被部分地冷凝并最终在一个冷凝器中被完全地冷凝，因此，产生开头提及的液体工作介质流并结束该循环。

发明内容

[0006] 从这个公知的循环出发，本发明要解决的技术问题是，提供用于执行热力学循环的一种方法和一种装置，其能在相同的外部热源和冷水温度及基本上保持相同的设备成本情况下实现一个相同的或甚至更高的机械和 / 或电能的效益，不过，其中所述方法和装置表现出减小的复杂性。

[0007] 本发明涉及一种用于执行热力学循环的方法，具有至少如下的方法步骤：将液体

工作介质流 13 泵压到提高的压力上并形成加压的液体工作介质流 14 ;通过膨胀减压的工作介质流 12 的部分冷凝使该加压的液体工作介质流 14 加热并部分地汽化,从而由所述加压的液体工作介质流 14 产生第一部分汽化的工作介质流 15 并由所述膨胀减压的工作介质流 12 产生部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12a ;利用从外部热源 20 传递的热量使第一部分汽化的工作介质流 15 继续汽化,并且产生第二至少部分汽化的工作介质流 18 ;使该第二至少部分汽化的工作介质流 18 的液体相 19 与汽化相 10 分离 ;使汽化相 10 膨胀减压,将其能量转换为一种可利用的形式并产生一个膨胀减压的汽化相 11 ;使液体相 19 与膨胀减压的汽化相 11 混合并形成膨胀减压的工作介质流 12 ;使部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12a 完全地冷凝并产生所述液体工作介质流 13。

[0008] 本发明还涉及一种用于实施上述的执行热力学循环的方法的装置,该装置至少具有 :用于将液体工作介质流 13 泵压到一个提高的压力并产生加压的液体工作介质流 14 的泵 3 ;第一热交换器 HE2,用于通过膨胀减压的工作介质流 12 的部分冷凝以加热并部分地汽化该加压的液体工作介质流 14 从而由所述加压的液体工作介质流 14 产生第一部分汽化的工作介质流 15 并由所述膨胀减压的工作介质流 12 产生部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12a ;第二热交换器 HE4,用于借助由外部热源 20 传递的热量通过使第一部分汽化的工作介质流 15 继续汽化以产生第二至少部分汽化的工作介质流 18 ;分离器,用于使该第二至少部分汽化的工作介质流 18 的液体相 19 与汽化相 10 分离 ;用于使汽化相 10 膨胀减压、将其能量转化为一种可利用的形式并且产生膨胀减压的汽化相 11 的装置 2 ;混合器 5,用于使液体相与膨胀减压的汽化相混合并且产生膨胀减压的工作介质流 12 ;第三热交换器 HE1,用于使部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12a 完全地冷凝并产生所述液体工作介质流 13。

[0009] 按照本发明,通过膨胀减压的工作介质流的部分冷凝,被加压的液体工作介质流不仅被加热,而且甚至部分地被汽化。这点是如下实现的 :与开头提及的循环 KCS34 相比,放弃第二热交换器并由此放弃该部分汽化的工作介质流的液体相为用于继续加热或部分汽化已被加热的工作介质流的热量传递。因此从液体相提取了较小的热量,其接着被应用于通过膨胀减压工作介质流的部分冷凝更好地加热及部分地汽化该被加压的液体工作介质流。

[0010] 通过对保留的热交换器的热表面和另外循环参数的适当的调整就能够,在机械能和 / 或电能方面的效益不仅能与公知循环相比保持相同,而且甚至还会提高。因此,对在保留的热交换器中可能增高的加热表面需求的成本,能够通过省去第二热交换器及进而简化的管道铺设被相当大程度地补偿了,从而设备成本基本上保持相同。

[0011] 通过放弃开头提及的第二热交换器或放弃一个从液体相到第一部分汽化的工作介质流的热量传递,体现了本发明装置的特征或者本发明方法的特征在于一个与现有技术相比较的较少的复杂性。

[0012] 该被加压的液体工作介质流通过膨胀减压的工作介质流的部分冷凝造成的部分汽化可以如下被促进,即,汽化相的压力小于 24bar 并且因此明显地小于在迄今已知循环中一般的 33bar。因此在循环中总的压力水平可以下降,从而又可以减小工作介质的沸腾温度。

[0013] 如果进入涡轮前汽化相的压力是膨胀减压汽化相的压力 3 倍大,则此外可能的是,应用传统的单级膨胀涡轮。这种膨胀涡轮具有直达 88% 的效率,并因此具有比迄今在这

类循环中应用的以最大压力例如 33bar 配置的多级涡轮所具有约 75% 的效率要明显更高的效率。因此,随着压力水平的下降或者膨胀涡轮的较小压力比的下降可能带来的循环的效率损失,更多地通过改善的涡轮效率和更大可能的工作介质流量来补偿,其允许从热水中获取相对更多的能量。

[0014] 此外,在应用一个传统的单级膨胀涡轮情况下还省去了用于第二涡轮级的成本或用于高压差上的特殊涡轮配置的更多成本。

[0015] 按照本发明的一种结构方案应用一种多料-混合物作为工作介质。多料-混合物最好是一种双料-混合物,特别是一种氨-水-混合物。由于这种混合物的非-等温的汽化和冷凝能够实现一个特别高的循环效率。

[0016] 一个特别益于环境的能量获取可通过应用地热的液体、特别是出自一个地热源的热水作为热源来实现。但是,作为热源也可以应用燃气和/或蒸汽透平设备的排气(废气)或在工业生产过程中(例如在钢生产中)产生的热量。

[0017] 在此,一种高的循环效率可以如下实现,即,热源具有 100℃至 200℃的温度,特别是 100℃至 140℃的温度。

附图说明

[0018] 下面借助附图中的具体实施例详细阐述本发明以及本发明的另外优选的结构方案。附图中:

[0019] 图 1 以简化示意图示出了一个用于执行热力学循环的本发明装置的线路图,

[0020] 图 2 是图 1 装置的一个循环参数计算,

[0021] 图 3 以简化示意图示出了一个用于实现一个热力学循环的现有技术已知装置的线路图,

[0022] 图 4 是图 3 装置的一个循环参数计算。

具体实施方式

[0023] 图 1 中示出的用于执行热力学循环的装置 1 具有一个(回收)热交换器 HE4,其在初级侧被一个未详细描述的地热源的热的热水 20 所流过并且在次级侧一方面与热交换器 HE2 和另一方面与分离器 4 相连接。分离器 4 用于使一种部分汽化的工作介质的汽相与液相分离。分离器 4 的一个蒸汽侧出口与一个涡轮 2 连接。涡轮 2 在出口侧与一个混合器 5 连接,其还与分离器 4 的一个液体出口连接。混合器 5 在出口侧与一个(回收)热交换器 HE2 的次级侧连接,热交换器 HE2 的次级侧又与一个次级侧被冷水流过的冷凝器 HE1 的初级侧连接。冷凝器 HE1 在它的初级侧出口上在给定情况下通过一个冷凝罐,通过一个泵 3 与热交换器 HE2 的初级侧连接。热交换器 HE2 的初级侧又与已被提及的热交换器 HE4 的次级侧连接。

[0024] 作为工作介质在装置 1 中应用一个由水和氨组成的混合物,其因此具有一个非等温的汽化和冷凝。该工作介质在冷凝器 HE1 之后处于液体状态作为液体工作介质流 13。借助泵 3,该总的液体工作介质流 13 被泵压到一个提高的压力上并且产生一个加压的液体工作介质流 14。

[0025] 加压的液体工作介质流 14 被输送到热交换器 HE2 的初级侧并通过一个在次级侧

导流经过该热交换器 HE2 的膨胀减压的工作介质流 12 的部分冷凝被加热且部分地被汽化，因此在初级侧的热交换器 HE2 之后存在一个第一部分汽化的工作介质流 15 和在次级侧存在一个部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12a。在第一部分汽化的工作介质流 15 中蒸汽份额计为例如 15%。

[0026] 第一部分汽化的工作介质流 15 没有另外加热地被输送到热交换器 HE4 的次级侧。

[0027] 热交换器 HE4 在初级侧被热的热水 20 贯穿流过。在热交换器 HE4 中第一部分汽化的工作介质流 15 通过热水 20 的降温被进一步汽化并且产生一个第二部分汽化的工作介质流 18。该第二部分汽化的工作介质流 18 被输送到分离器 4 中，其中汽化相 10 被与第二部分汽化的工作介质流 18 的液体相 19 分离。汽化相 10 接着在涡轮 2 中膨胀减压并且其能量被转换为一个可利用的形式例如通过一个未示出的发电机转换为电流和产生一个膨胀减压的汽化相 11。

[0028] 在混合器 5 中该膨胀减压的汽化相 11 和在分离器 4 中分离出的液体相 19 又被混合并构成一个膨胀减压的工作介质流 12。

[0029] 在此，没有提供从液体相 19 到第一部分汽化的工作介质流 15 的有针对性的热传递（例如借助一个专门为此设置的热交换器）。因此该部分汽化的工作介质流 15 在热交换器 HE4 中继续地汽化之前具有基本上如它通过膨胀减压的工作介质流 12 的部分冷凝形成之后相同的温度。此处，关于“基本上相同的温度”被理解为，该温度差仅仅为很少几个开尔文（绝对温度），并且例如通过从热交换器 HE2 离开的第一部分汽化的工作介质流的由于到热交换器 HE4 的连接管中的热损失导致的一个轻微冷却所引起。

[0030] 膨胀减压的工作介质流 12 在热交换器 HE2 中被部分冷凝并形成一部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12a。接着该部分冷凝的膨胀减压的工作介质流 12 在冷凝器 HE1 中借助（流入的）冷却水流 25 被冷凝并且形成液体工作介质流 13。通过膨胀减压工作介质流 12a 的冷凝传递给冷却水流 25 的热量则通过流出的冷却水流 26 被排出。

[0031] 图 2 显示了一个用于实现该热力学循环的装置的循环参数计算，其基本上对应于图 1 中描述的装置 1 并且还另外只补充了几个阀门 27。作为用于计算的初始条件假设一个在水中 95%（在液体的完全冷凝的工作介质情况下）的氨浓度和一个具有 120℃温度的热水流 20 以及一个 141.8kg/s 的质量流。冷却水流 25 的温度为 9.4℃。如由图 1 和 2 看出，除了在外热源的热量传递到两相中后通过汽相与液相的分离所产生的不同氨浓度以外，没有提供该氨浓度的改变，以便提高效率。

[0032] 表 1 示出了对于该循环的几个被选出的流的循环参数计算的结果，其中按照表 2 选择了热交换器的功率。

[0033] 表 1：

[0034]	流	温 度 (°C)	焓 (kJ/kg)	质量流 (kg/s)	压 力 (bar)
	10	106.7	1507.8	27.59	22.3
	11	56.51	1355.9	27.59	7.158
	13	13.13	24.8	27.6	6.9
	15	53.52	221.4	27.6	23.26
	20	119.9	-1997.8	141.8	20
	22	57.45	-2250.6	141.8	19.61

[0035] 表 2：

[0036]

热交换器	功率 (kW)
HE1 (冷凝器)	31.0
HE2	5.3
HE4	34.5
总和	70.8

[0037] 该第一部分汽化的工作介质流 15 的温度在进入热交换器 HE4 之前为 53.52°C，并且因此为在离开热交换器 HE2 之后相同的温度。在这个条件下借助涡轮 2 可产生的电功率为 4033kW。

[0038] 汽化相 10 在进入涡轮 2 之前的压力为 22.3bar，而从涡轮 2 出来后膨胀减压的汽化相 11 的压力计为 7.158bar。通过选择的入口压力为 22.3bar 和在涡轮 2 的前面与后面汽化相压力之间的压力比约为 3.1，作为涡轮 2 就可以采用一个传统的单级高效率涡轮，这样即结合了相应的成本及效率优点。

[0039] 与此相对，图 3 示出了一个在现有技术中作为 KCS 34 (卡里纳循环系统 34) 公知的用于执行热力学循环的装置 30 的线路图。为了使公知的装置 30 与图 1 中描述的本发明装置更好地作比较，相互对应的部件和流都被设有相同的参考标记。装置 30 与图 1 中示出的本发明装置的区别在于，一个附加的初级侧连接在热交换器 HE2 和热交换器 HE4 之间而次级侧连接在分离器 4 和混合器 5 之间的热交换器 HE3。借助热交换器 HE2，通过膨胀减压的工作介质流 12 的部分冷凝被加压的液体工作介质流 14 被加热并且产生一个被加热的 (液体) 工作介质流 15。接着，已被加热的工作介质流 15 借助热交换器 HE3 通过液体相 19 的冷却被进一步加热并因此产生一个被进一步加热的工作介质流 15a。

[0040] 图 4 示出了一个对应于现有技术中公知装置的循环参数计算，其基本上与图 3 中描述的装置 30 对应，并且还另外只补充了几个阀门 27。作为用于计算的初始条件假定一个在水中 89.2% 的氨浓度并且 (如图 2 循环计算的情况一样) 一个具有 120°C 温度的热水流

20 以及一个 141.8kg/s 的质量流。冷却水流 25 的温度为 9.4℃。

[0041] 表 3 示出了对于该循环的几个被选择的流的循环过程计算的结果,其中按表 4 选择了热交换器的功率。

[0042] 表 3:

[0043]

流	温 度 (°C)	焓 (kJ/kg)	质量流 (kg/s)	压 力 (bar)
10	115	1487.2	20.71	32.41
11	43.23	1294.5	20.71	6.775
13	13.16	-18.52	24.3	6.5
15	39	105.4	24.3	34.4

[0044]

15a	48.67	153.5	24.3	33.72
20	119.9	-1997.8	141.8	20
22	70.46	-2196.3	141.8	19.61

[0045] 表 4:

[0046]

热交换器	功率 (kW)
HE1 (冷凝器)	24. 1
HE2	2. 7
HE3	1. 2
HE4	28. 1
总和	55. 1

[0047] 其中可产生的电功率只为 3818kw。因此,在按图 1 和 2 的本发明循环中可实现的电功率比现有技术中公知循环的情况中提高了 5.6%。

[0048] 离开热交换器 HE2 具有温度 39℃的被加热的工作介质流 15 在热交换器 HE3 中通过液体相 19 的冷却被继续加热到 48.87℃并且作为工作介质流 15a 被输送到热交换器 HE4 中。

[0049] 在公知的情况中排出的热水 22 还为 70.46℃,而在按照图 2 的本发明循环的情况中排出的热水却还只有 57.45℃的温度。因此,在本发明循环的情况下可以从热水中获取相对更多的能量。

[0050] 由于在涡轮 2 的入口处汽化相 10 的压力为 32.41bar 以及在涡轮 2 的入口处汽化

相压力与在涡轮 2 的出口处膨胀减压的汽化相的压力之间的压力比为 4.8, 在图 4 的循环的情况下就不可能应用传统的单级涡轮。因此, 要么必须采用两个前后连接的传统的单级涡轮或者必须应用一个单独的专门适用于高压和大于 4 的压力比的涡轮, 这两个情况都相对于一个单独的传统涡轮而具有更高的成本和效率损失。

[0051] 由于提高的热交换器功率提高了 28.5% 的加热表面需求也导致一个增加的投资需求。但这些提高的成本可以大部分地通过简化的管道铺设和通过省去热交换器 HE3 被补偿, 使得设备成本总体上保持基本相同。

[0052] 上面已经借助优选实施例描述了本发明, 但是一般不能被视为局限到这些具体实施例上。相反, 本发明或这些具体实施例具有许多变型和改型的可能方案。例如, 如在图 2 的线路实施例中所做的那样, 可以在线路中接入附加的阀门。

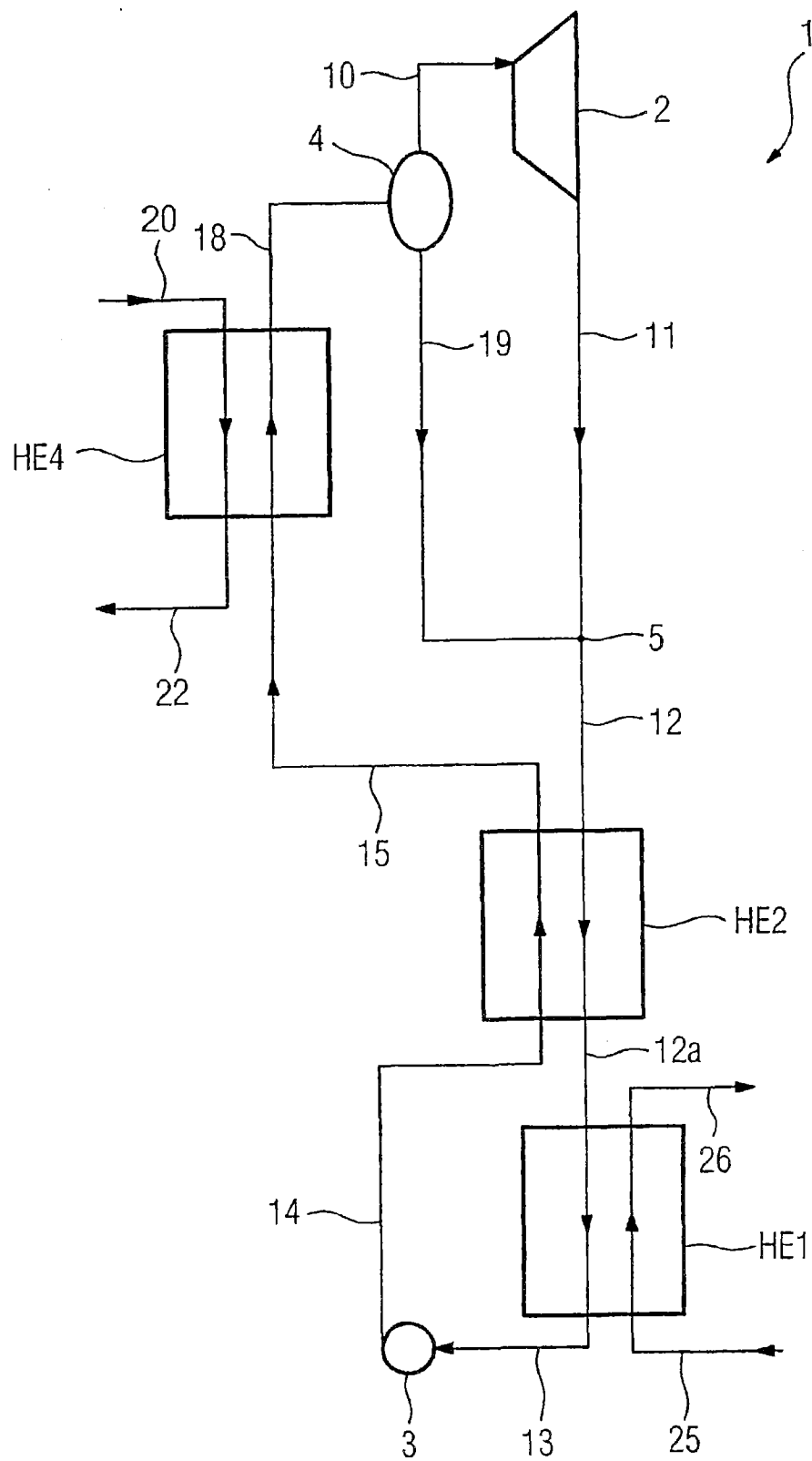


图 1

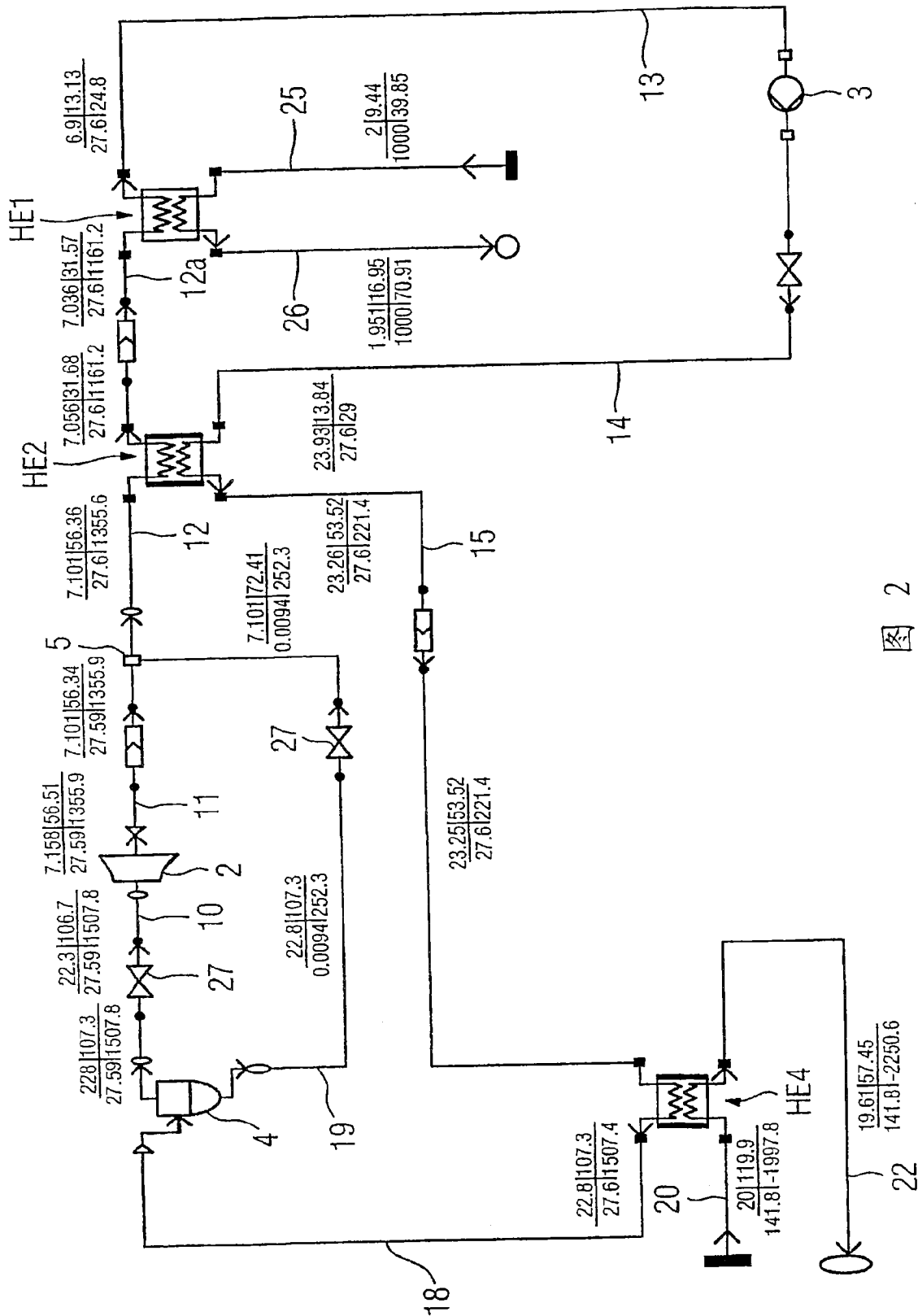
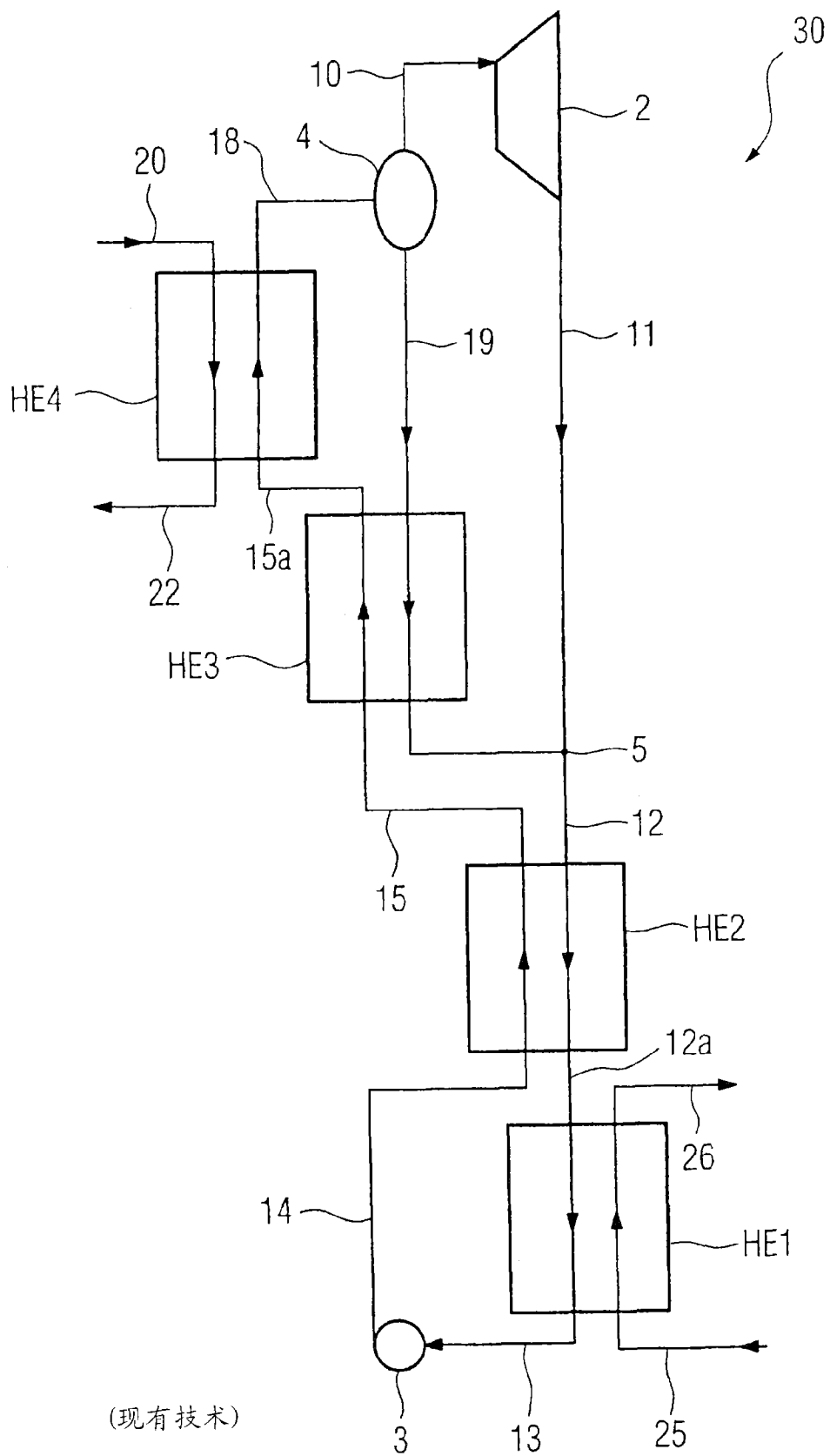


图 2



(现有技术)

图 3

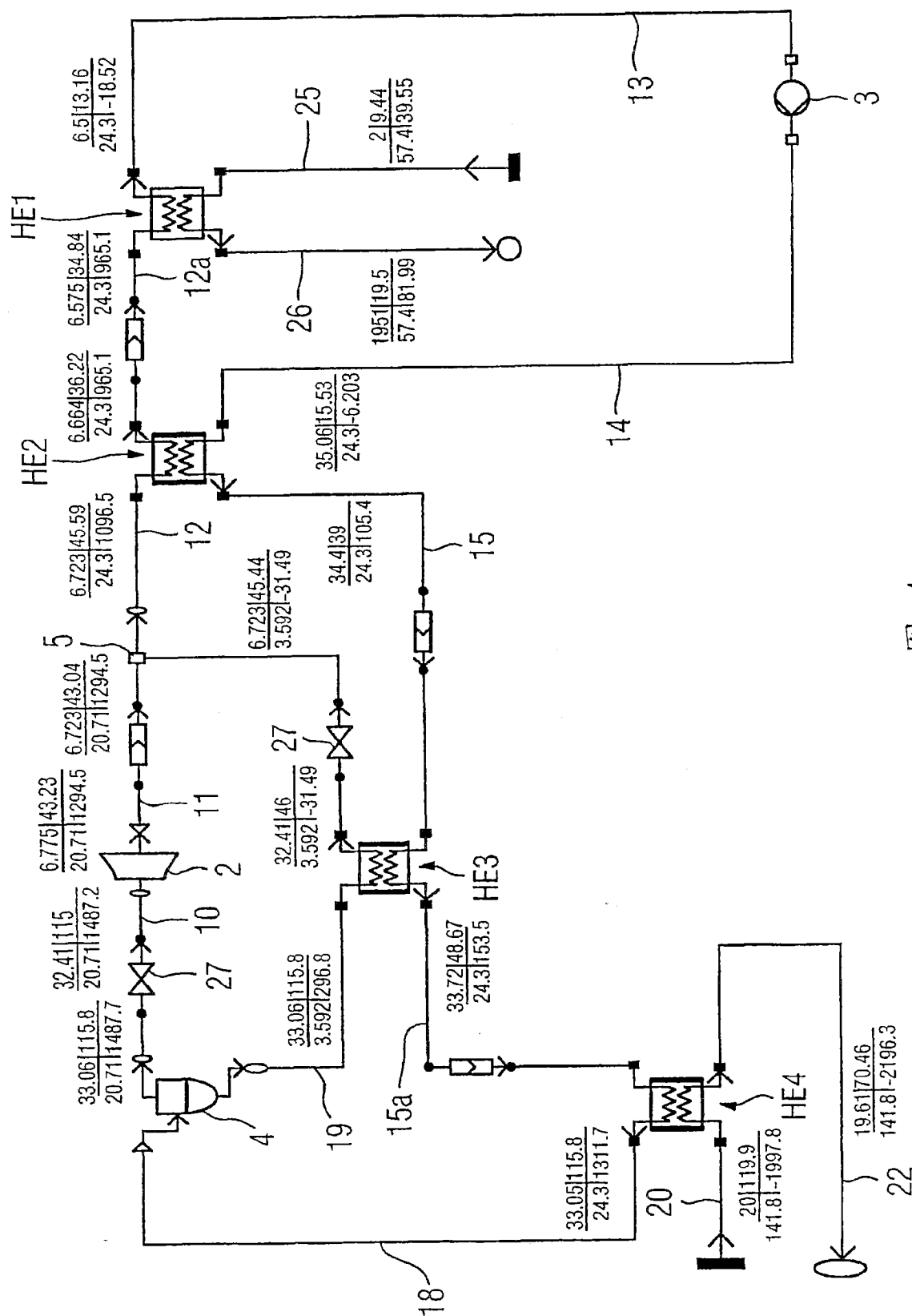


图 4
(现有技术)