



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104612765 B

(45) 授权公告日 2016.06.01

(21) 申请号 201410777771.1

(22) 申请日 2009.07.13

(30) 优先权数据

08162614.5 2008.08.19 EP

(62) 分案原申请数据

200980132794.4 2009.07.13

(73) 专利权人 ABB 研究有限公司

地址 瑞士苏黎世

(72) 发明人 J. 赫姆勒勒 M. 默坎戈茨 C. 奥勒

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

72001

代理人 张金金 姜甜

(51) Int. Cl.

F01K 3/12(2006.01)

F01K 11/04(2006.01)

F24H 7/02(2006.01)

F01K 3/00(2006.01)

(56) 对比文件

US 4089744 A, 1978.05.16, 全文.

CN 1853075 A, 2006.10.25, 全文.

US 5269145 A, 1993.12.14, 全文.

FR 797473 A, 1936.04.27, 全文.

CN 101000175 A, 2007.07.18, 全文.

CN 101033707 A, 2007.09.12, 全文.

审查员 靳文强

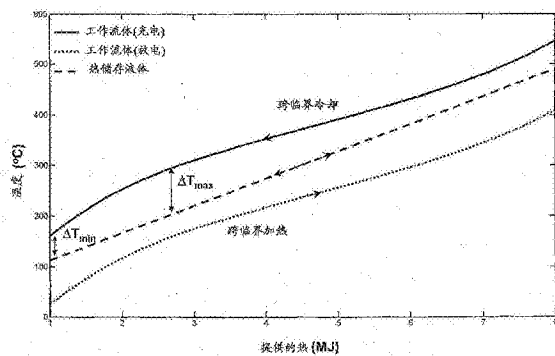
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

用于储存热电能的热电能储存系统和方法

(57) 摘要

描述热电能储存的系统和方法。热电能储存系统(22,36)具有包含热储存介质的热交换器(30),和用于使工作流体循环通过该热交换器(30)用于与该热储存介质热传递的工作流体回路。该工作流体当它与该热储存介质交换热时在充电期间经历跨临界冷却并且在放电循环期间经历跨临界加热。提高的充放来回效率通过在操作循环期间最小化该工作流体和该热储存介质之间的最大温差(ΔT_{max})来获得。



1. 一种用于在充电循环中将电转换成热、储存热以及在放电循环中将热能提供给热力机以用于通过发电而将热转换回的热电能储存系统,所述热电能储存系统包括:

包含热储存介质的热交换器,

用于使工作流体循环通过所述热交换器以用于与所述热储存介质进行热传递的工作流体回路,

其中所述工作流体在热传递期间经历跨临界过程,其特征在于,

所述系统包括冷库,其配置成用作:

- i) 所述充电循环的热源,以及
- ii) 所述放电循环的吸热装置。

2. 如权利要求1所述的系统,其中在所述热电能储存系统的充电循环期间,在进入所述热交换器时,所述工作流体处于超临界状态。

3. 如权利要求1或2所述的系统,其中在所述热电能储存系统的放电循环期间,在离开所述热交换器时,所述工作流体处于超临界状态。

4. 如权利要求1或2所述的系统,其中在所述热电能储存系统在运行时,所述工作流体在所述充电循环期间在所述热交换器中经历跨临界冷却。

5. 如权利要求1或2所述的系统,其中在所述热电能储存系统在运行时,所述工作流体在所述热电能储存系统的放电循环期间在所述热交换器中经历跨临界加热。

6. 如权利要求1或2所述的系统,进一步包括:

膨胀器,其放置在所述工作流体回路中以用于在所述充电循环期间从所述工作流体中恢复能量,其中所恢复的能量被供应给所述工作流体回路中的压缩机以用于将所述工作流体压缩到超临界状态。

7. 如权利要求1或2所述的系统,进一步包括压缩机,其配置成在所述充电循环中将所述工作流体压缩以及加热到超临界状态。

8. 如权利要求7所述的系统,进一步,其特征在于,所述工作流体回路将所述压缩机的工作流体出口与所述热交换器的工作流体入口相连。

9. 如权利要求1、2或8所述的系统,进一步地,其特征在于,所述系统包括用于所述充电循环和所述放电循环的不同的热交换器。

10. 如权利要求1、2或8所述的系统,其特征在于,所述工作流体是CO₂。

11. 一种用于在热电能储存系统中储存热电能的方法,所述热电能储存系统用于在充电循环中将电转换成热、储存热以及在放电循环中将热能提供给热力机以用于通过发电而将热转换回,所述方法包括:

使工作流体循环通过热交换器用于与热储存介质热传递,以及在跨临界过程中与所述热储存介质传递热,

其特征在于,还包括步骤:使用专用冷库作为

- i) 所述充电循环的热源,以及
- ii) 所述放电循环的吸热装置。

12. 如权利要求11所述的方法,进一步,其特征在于,

g) 在所述冷库的充电期间产生冰-水混合物,以及

h) 使用所储存的冰-水混合物而在所述放电循环中冷凝所述工作流体。

13. 如权利要求11或12所述的方法,进一步包括以下步骤:

- i) 增加用于充电的所述冷库的温度,以及/或者
- j) 降低用于放电的所述冷库的温度。

14. 如权利要求11或12所述的方法,进一步包括以下步骤:

在所述充电循环中,通过压缩机将所述工作流体压缩以及加热到超临界状态。

15. 如权利要求11或12所述的方法,其中所述传递热的步骤包括在所述热能储存系统的充电循环期间所述工作流体的跨临界冷却。

16. 如权利要求11或12所述的方法,其中所述传递热的步骤包括在所述热能储存系统的放电循环期间所述工作流体的跨临界加热。

17. 如权利要求11或12所述的方法,进一步包括以下步骤:修改热能储存系统参数以保证在充电和放电期间最小化所述工作流体和所述热储存介质之间的最大温差(ΔT_{max})。

18. 如权利要求11或12所述的方法,进一步,其特征在于,利用不同的工作流体用于所述充电循环和所述放电循环。

19. 如权利要求11或12所述的方法,其特征在于,所述工作流体是CO₂。

用于储存热电能的热电能储存系统和方法

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及电能的储存(storage)。它特别地涉及用于在热能储存器中储存采用热能形式的电能的系统和方法。

背景技术

[0002] 例如核电站等基底负载发电机(base load generator)和例如风力涡轮机和太阳能电池板等具有随机性、间歇性能源的发电机在低电力需求时段期间生成多余的电力。大型电能储存系统是将该多余的能量转移到峰值需求时段并且平衡整体发电和消耗的设备。

[0003] 在较早的专利申请EP1577548中,申请人描述了一种热电能储存(TEES)系统的想法。TEES在充电循环(charging cycle)中将多余的电转换成熟,储存该热,并且在必要的时候在放电循环(discharging cycle)将该热转换回电力。这样的能量储存系统是耐用的、紧凑的、不依赖场所的并且适合于储存大量电能。热能可以通过温度变化采用显热(sensible heat)形式或通过相变以潜热形式或二者组合的形式来储存。显热的储存介质可以是固体、液体或气体。潜热的储存介质通过相变来发生并且可以包含这些相中的任一种或它们的连续或并行组合。

[0004] 电能储存系统的充放来回效率(round-trip efficiency)可以限定为与对储存器充电所使用的电能相比的可以从储存器放电的电能的百分比(假设放电之后能量储存系统的状态返回至对储存器充电之前的它的初始状况)。有必要指出,所有的电能储存技术本质上具有有限的充放来回效率。从而,对于用于将储存器充电的每单位电能,当放电时仅恢复一定百分比的电能。电能的剩余部分被损失。如果在TEES系统中被储存的热例如通过电阻加热器来提供,则它具有大约40%充放来回效率。由于来源于热力学第二定律的各种原因,热电能储存的效率是有限的。首先,在热机中热到机械功的转换被限制在卡诺效率(Carnot efficiency)。其次,任何热泵的性能系数随输入和输出温度水平之间增加的差异而下降。再者,从工作流体到热储存器以及反之的任何热流量的发生需要温差。该事实不可避免地降低温度水平并且从而降低热做功的能力。

[0005] 注意到许多工业过程涉及提供热能和热能储存。示例是冷冻装置、热泵、空气调节装置和过程设备(process industry)。在太阳能热电站中,提供热,其可能被储存并且转换成电能。然而,所有这些应用与TEES系统不同,因为它们不关注将热作为储存电的唯一目的。

[0006] 还注意到TEES系统的充电循环也称为热泵循环并且TEES系统的放电循环也称为热机循环。在TEES概念中,在热泵循环期间需要从热的工作流体传送热量到热储存介质并且在热机循环期间将热量从储存介质传回工作流体。热泵需要功以使热能从冷源移动到较暖的吸热源(heat sink)。由于沉积在热侧的能量的量比等于从冷侧提取的能量的量所需要的功要大,因此与电阻生热相比,热泵将使热“增多”。热输出和功输入的比率叫做性能系数,并且它是大于1的值。如此,热泵的使用将增加TEES系统的充放来回效率。

[0007] 为TEES充电和放电选择的热力循环影响储存器的许多实际方面。例如,当环境用

作放电的吸热源时,在TEES充电期间储存给定量的电能需要的热能储存量取决于热储存器的温度水平。热储存器温度相对于环境越高,无法恢复成电功的储存热能的相对比例将越低。因此,当采用具有相对低的最高温度的充电循环时,与具有相对较高的最高温度的充电循环相比,需要储存更大量的热来储存相同量的电能。

[0008] 图1图示已知TEES系统的温度轮廓。横坐标代表系统中的焓变,纵坐标代表温度,并且在曲线图上的线是等压线(isobar)。实线指示在常规TEES充电循环中工作流体的温度轮廓,并且示出降低过热(desuperheating)10、冷凝12和过冷14的阶梯阶段(从右至左)。虚线指示在常规TEES放电循环中工作流体的温度轮廓,并且示出预热16、沸腾18和过热20的阶梯阶段(从左至右)。直角虚线指示在常规TEES循环中热储存介质的温度轮廓。热仅可以从较高温度流向较低温度。因此,在充电循环中冷却期间工作流体的特性轮廓必须在热储存介质的特性轮廓之上,而在放电循环中的加热期间热储存介质的特性轮廓必须在工作流体的特性轮廓之上。

[0009] 热力学不可逆因素是在大的温差上的热传递,这一点是成立的。在图1中,可以观察到在充电轮廓的冷凝部分12期间和在放电轮廓的沸腾部分18期间,工作流体温度保持恒定。这导致热储存介质和工作流体之间(无论充电或放电)相对大的最大温差,指示为 ΔT_{max} ,由此降低充放来回效率。为了使该最大温差最小化,相对大的热交换器可以构建或相变材料可以用于热储存。问题在于,这些技术方案导致高资本成本并且因此一般是不实用的。

[0010] 从而,存在提供高效的热电能储存器的需要,其具有高的充放来回效率,同时使热交换器的面积和需要的热交换介质的量最小化,并且也使资本成本最低。

发明内容

[0011] 本发明的目的是提供一种用于将电能转换成热能以供储存并且转换回电能的具有提高的充放来回效率的热电能储存系统。该目的通过一种热电能储存系统和根据本申请的在热电能储存系统中储存热电能的方法来实现。优选实施例从本申请是明显的。

[0012] 根据本发明的第一方面,提供一种热电能储存系统,其包括包含热储存介质的热交换器,用于使工作流体循环通过热交换器用于与热储存介质进行热传递的工作流体回路,并且其中该工作流体在热传递期间经历跨临界过程(transcritical process)。

[0013] 在优选实施例中,热储存介质是液体。在另外的优选实施例中,热储存介质是水。

[0014] 工作流体在热电能储存系统的充电循环期间在热交换器中经历跨临界冷却。当热电能储存系统处于充电(或“热泵”)循环时,该系统包括膨胀器、蒸发器和压缩机。

[0015] 工作流体在热电能储存系统的放电循环期间在热交换器中经历跨临界加热。当热电能储存系统处于放电(或“热机”)循环时,该系统包括泵、冷凝器和涡轮机。

[0016] 在优选实施例中,工作流体在热电能储存系统的充电循环期间在进入热交换器时处于超临界状态。另外,工作流体在热电能储存系统的放电循环期间在离开热交换器时处于超临界状态。

[0017] 在另外的优选实施例中,本发明的第一方面的系统进一步包括放置在工作流体回路中的膨胀器用于在充电循环期间从工作流体中恢复能量,其中恢复的能量供应给在工作流体回路中的压缩机以用于将工作流体压缩到超临界状态。

[0018] 有利地,基于跨临界循环的TEES系统可以在没有冷库(即,通过与环境、而不是与冷的热储存器进行交换热量)并且没有相变材料的情况下工作,同时为高充放来回效率提供合理的回功比(back-work ratio)。

[0019] 在本发明的第二方面,提供一种用于在热电能储存系统中储存热电能的方法,该方法包括使工作流体循环通过热交换器以用于与热储存介质进行热传递,和在跨临界过程中与热储存介质传递热量。

[0020] 优选地,传递热的步骤包括在热电能储存系统的充电循环期间工作流体的跨临界冷却。

[0021] 另外,传递热的步骤包括在热电能储存系统的放电循环期间工作流体的跨临界加热。

[0022] 优选地,本发明的第二方面的方法进一步包括修改热电能储存系统参数以保证在充电和放电期间最小化工作流体和热储存介质之间的最大温差的步骤。

[0023] 为了保证工作流体和热储存介质之间的最大温差在充电和放电循环期间最小化,可修改下列系统参数:操作温度和压力水平、使用的工作流体的类型、使用的热储存介质的类型、热交换器面积。

[0024] 基于热泵-热机的TEES系统和操作方法的重要目的是为了实现热力循环的尽可能接近可逆的操作。由于循环通过热储存机制并且因此通过温焓图联接,通过热储存介质轮廓来近似工作流体轮廓是实现可逆操作的重要要求。

附图说明

[0025] 本发明的主旨将参照优选的示范性实施例(其在附图中图示)在下列正文中更详细地说明,其中:

[0026] 图1示出来自常规TEES系统中的循环的热传递的热能-温度图;

[0027] 图2示出热电能储存系统的充电循环的简化示意图;

[0028] 图3示出热电能储存系统的放电循环的简化示意图;

[0029] 图4示出来自本发明的TEES系统中的循环的热传递的热能-温度图;

[0030] 图5a是在本发明的TEES系统中的循环的焓-压力图;

[0031] 图5b是在本发明的TEES系统中的循环的熵-温度图;

[0032] 为了一致,相同的标号用于指示在整个附图中图示的相似元件。

具体实施方式

[0033] 图2和3分别示意地描绘根据本发明的实施例的TEES系统的充电循环系统和放电循环系统。

[0034] 在图2中示出的充电循环系统22包括功恢复膨胀器24、蒸发器26、压缩机28和热交换器30。工作流体如由图2中具有箭头的实线指示地循环通过这些部件。另外,包含流体热储存介质的冷流体储存罐32和热流体储存罐34通过热交换器联接在一起。

[0035] 在操作中,充电循环系统22执行跨临界循环并且工作流体采用下列方式围绕TEES系统流动。在蒸发器26中的工作流体从环境或从冷库中吸热并且蒸发。蒸发的工作流体循环到压缩机28中并且利用多余的电能以将工作流体压缩和加热到超临界状态。(在这样的

超临界状态中,流体高于临界温度和临界压力。)该步骤构成跨临界循环的关键特征。工作流体被馈送通过热交换器30,在热交换器30中,工作流体将热能排到热储存介质中。

[0036] 注意到在热交换器中,工作流体压力将高于临界压力,然而工作流体温度可低于临界温度。因此,尽管工作流体在超临界状态进入热交换器,它在亚临界状态离开热交换器30。

[0037] 压缩的工作流体离开热交换器30并且进入膨胀器24。这里工作流体膨胀至蒸发器的较低的压力。工作流体从膨胀器24流回蒸发器26。

[0038] 由在图2中的虚线代表的热储存介质从冷流体储存罐32被抽吸以通过热交换器30到达热流体储存罐34。从工作流体排出到热储存介质的热能以显热形式储存。

[0039] 跨临界循环被限定为热力循环,其中工作流体经历亚临界和超临界状态二者。在超临界压力以上的气相和蒸汽相之间没有区别并且因此在跨临界循环中没有蒸发或沸腾(在正常意义上)。

[0040] 在图3中示出的放电循环系统36包括泵38、冷凝器40、涡轮机42和热交换器30。工作流体循环通过如由在图3中具有箭头的点线指示的这些部件。另外,包含流体热储存介质的冷流体储存罐32和热流体储存罐34通过热交换器30联接在一起。由在图3中的虚线代表的热储存介质从热流体储存罐34被抽吸以通过热交换器30到达冷流体储存罐32。

[0041] 在操作中,放电循环系统36也执行跨临界循环并且工作流体采用下列方式围绕TEES系统流动。热能从热储存介质传递到工作流体,使工作流体经历跨临界加热。工作流体然后以超临界状态离开热交换器30并且进入涡轮机42,在涡轮机42中,工作流体膨胀由此使涡轮机产生电能。接着,工作流体进入冷凝器40,在冷凝器40中,工作流体通过与环境或冷库交换热能而被冷凝。冷凝的工作流体经由出口离开冷凝器40并且再次通过泵38被抽吸到它的临界压力以上并进入热交换器40。

[0042] 尽管图2的充电循环系统22和图3的放电循环系统36单独图示,热交换器30、冷流体储存罐32、热流体储存罐34和热储存介质对于二者是共有的。充电和放电循环可连续而不是同时地进行。这两个完整的循环在焓-压力图中清楚地示出,例如图5a等。

[0043] 在本实施例中,热交换器30是逆流热交换器,并且循环的工作流体优选地是二氧化碳。另外,热储存介质是流体,并且优选地是水。本实施例的压缩机28是电动压缩机。

[0044] 在本发明的优选实施例中,逆流热交换器30可具有5K的最小近似温度(approach temperature), ΔT_{min} (即,交换热的两个流体之间的最小温差是5K)。近似温度应该尽可能低。

[0045] 图4示出根据本发明在TEES系统中循环期间在热交换器中的热传递的热能-温度图。实线指示在TEES充电循环中工作流体的温度轮廓。点线指示在TEES放电循环中工作流体的温度轮廓。虚线指示在TEES循环中热储存介质的温度轮廓。热仅可以从较高温度流向较低温度。因此,在充电循环中的冷却期间工作流体的特性轮廓必须在热储存介质的特性轮廓之上,进而在放电循环中的加热期间热储存介质的特性轮廓必须在工作流体的特性轮廓之上。

[0046] 由于在热储存介质中的显热储存,温度轮廓在时间上是不变的。从而,尽管在热交换器中的热储存介质的体积保持恒定,储存在热流体和冷流体储存罐中的热和冷的热储存介质的体积改变。并且,在热交换器中的温度分布保持恒定。

[0047] 在图4中,可以观察到在TEES系统的充电循环期间,平滑的跨临界冷却发生并且当工作流体冷却下来时不经历冷凝阶段。相似地,在TEES系统的放电循环期间,平滑的跨临界加热发生并且当工作流体加热时不经历沸腾阶段。这导致热储存介质和工作流体之间相对减小的最大温差 ΔT_{\max} (无论充电或放电),由此增加充放来回效率并且更近地接近可逆操作。

[0048] 在图5a的焓-压力图中示出的实线四边形代表本发明的TEES系统的充电和放电循环二者。具体地,充电循环遵循逆时针方向,并且放电循环遵循顺时针方向。现在描述跨临界充电循环。对于该示范性实施例,工作流体假定是二氧化碳。

[0049] 循环在点I开始,其对应于在从蒸发器接收热之前的工作流体状态。在该点,工作流体具有相对低的压力并且温度可在 0°C 和 20°C 之间。蒸发在点II在恒定的压力和温度下发生,并且然后工作流体蒸汽在压缩机中被等熵地压缩到状态III。在状态III,工作流体是超临界的并且可在大约 90°C 至 150°C 之间的温度,并且工作流体压力可高达大约20MPa。然而,这取决于利用的工作流体和热储存介质的组合,以及达到的温度。当工作流体通过热交换器时,来自工作流体的热能在等压过程中被传递到热储存介质,由此冷却工作流体。这在图5a中表示为从点III至点IV的部分。当工作流体然后通过膨胀器并且从点IV膨胀至点I时,恢复能量。该恢复的能量可通过机械或电力线路用于共同为压缩机提供动力。以此方式,工作流体达到它的原始低压状态。

[0050] 跨临界放电循环遵循在图5a中示出的相同路径,但在顺时针方向,因为每个过程都是反向的。应该注意到在点I和点IV之间的压缩阶段优选地是等熵压缩。

[0051] 在备选的实施例中,从点IV至点I的充电循环的阶段(该阶段中工作流体膨胀)可利用绝热膨胀阀。在该实施例中,能量由于这样的绝热等熵膨胀过程的不可逆性而损失。

[0052] 在图5b的熵-温度图中示出的实线四边形代表本发明的TEES系统的充电和放电循环二者。具体地,跨临界充电循环遵循逆时针方向,并且跨临界放电循环遵循顺时针方向。对于该示范性实施例工作流体假定是二氧化碳。在该图中,可以清楚地看到随着在点I和点II之间的熵增加的恒定温度并且还可以清楚地看到随着在点II和点III之间的温度增加的恒定熵。在图5b中示出的示范性实施例中,在充电循环中,工作流体的熵在点III(在 120°C)和点IV(在 42°C)之间的平滑跨临界冷却期间从 $1.70\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ 降到 $1.20\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ 。从点IV至点I的转变随着温度下降而发生并且工作流体的熵保持恒定。

[0053] 技术人员将知道如在图2和3中图示的TEES系统可采用若干不同的方式实现。备选实施例包括:

[0054] ●不同的工作流体可用于充电和放电循环以便最大化充放来回效率。可使用的工作流体的示例是具有在循环的低和高温水平之间的临界温度的任何制冷剂。

[0055] ●不同的热交换器可用于充电和放电循环以便优化过程,并且可取决于操作的优选设置。

[0056] ●代替环境,专用冷库可以用作充电循环的热源和放电循环的吸热源。该冷库可以通过在储存器充电期间产生冰水混合物并且使用该储存的冰水混合物以在放电循环期间冷凝工作流体来实现。在当冷库的温度可以对于充电过程提高(例如使用太阳池或由本地可用的废热的额外加热)或对放电过程降低时的情况下,这可以用于增加充放来回效率。

[0057] ●由于循环接近工作流体的临界点,在膨胀阀中的膨胀功恢复在靠近临界点情况

下可以是相当大一部分的压缩功。因此,膨胀功恢复可纳入TEES系统的设计中。

[0058] ●尽管热储存介质一般是水(如果必要的话,放在加压容器中),也可使用例如油或熔盐等其他材料。有利地,水具有相对好的热传递和输运性能以及高热容,并且因此对于预定的热储存容量需要相对小的体积。明显地,水是不可燃、无毒和环境友好的。廉价热储存介质的选择将有助于较低的整体系统成本。

[0059] 技术人员将知道在TEES系统中的冷凝器和蒸发器可用可以承担这两个作用的多用途热交换器装置代替,因为在充电循环中蒸发器(26)的使用和在放电循环中冷凝器(40)的使用将在不同的时段执行。相似地,涡轮机(42)和压缩机(28)作用可以由能够完成这两个任务的相同的机器(本文称为热力机)执行。

[0060] 本发明的优选工作流体是二氧化碳;主要由于二氧化碳作为天然工作流体的亲和性,即不可燃、没有臭氧消耗可能性、没有健康危害等以及在热传递过程中更高的效率。

[0061] 具体如上所述的本发明的优选实施例可以在如下所列的项目中详细实现,有利地与如上所述特征中的一个或多个相结合。

[0062] 1.一种用于将热能提供给热力机以发电的热电能储存系统(22,36),所述热电能储存系统包括:

[0063] 包含热储存介质的热交换器(30),

[0064] 用于使工作流体循环通过所述热交换器(30)以用于与所述热储存介质进行热传递的工作流体回路,以及

[0065] 其中所述工作流体在热传递期间经历跨临界过程。

[0066] 2.如项目1所述的系统,其中所述工作流体在所述热电能储存系统(22)的充电循环期间在所述热交换器(30)中经历跨临界冷却。

[0067] 3.如项目1或2所述的系统,其中所述工作流体在所述热电能储存系统(36)的放电循环期间在所述热交换器(30)中经历跨临界加热。

[0068] 4.如项目1-3中任一项所述的系统,其中在所述热电能储存系统(22)的充电循环期间,在进入所述热交换器(30)时,所述工作流体处于超临界状态。

[0069] 5.如权利要求1-4中任一项所述的系统,其中在所述热电能储存系统(36)的放电循环期间,在离开所述热交换器(30)时,所述工作流体处于超临界状态。

[0070] 6.如项目1-5中任一项所述的系统,进一步包括:

[0071] 膨胀器(24),其放置在所述工作流体回路中以用于在所述充电循环期间从所述工作流体中恢复能量,其中所恢复的能量被供应给所述工作流体回路中的压缩机以用于将所述工作流体压缩到超临界状态。

[0072] 7.一种用于在热电能储存系统中储存热电能的方法,所述方法包括:

[0073] 使工作流体循环通过热交换器用于与热储存介质热传递,以及

[0074] 在跨临界过程中与所述热储存介质传递热。

[0075] 8.如项目7所述的方法,其中所述传递热的步骤包括在所述热电能储存系统的充电循环期间所述工作流体的跨临界冷却。

[0076] 9.如项目7或8所述的方法,其中所述传递热的步骤包括在所述热电能储存系统的放电循环期间所述工作流体的跨临界加热。

[0077] 10.如项目7-9中任一项所述的方法,进一步包括以下步骤:修改热电能储存系统

参数以保证在充电和放电期间最小化所述工作流体和所述热储存介质之间的最大温差(ΔT_{\max})。

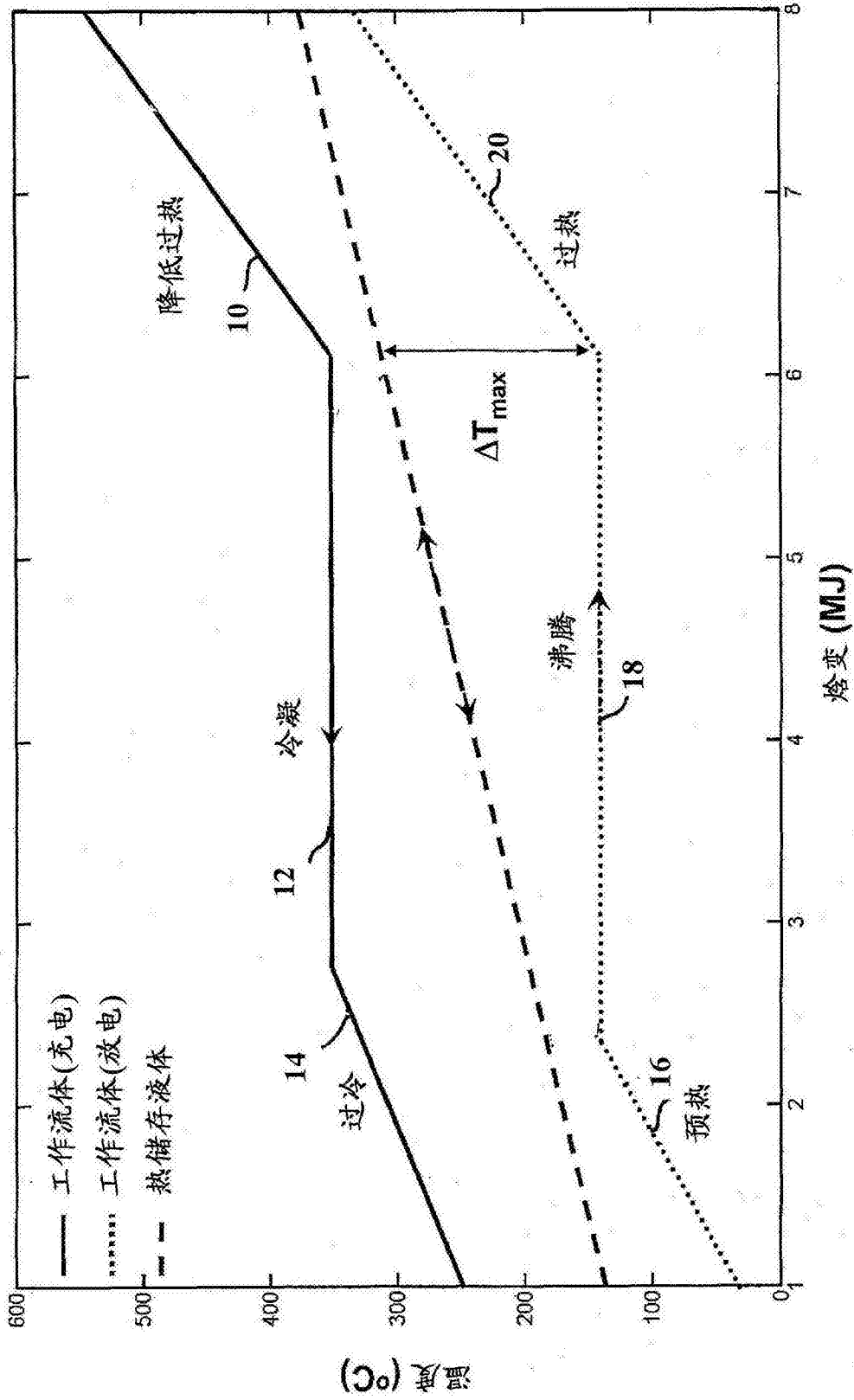


图1

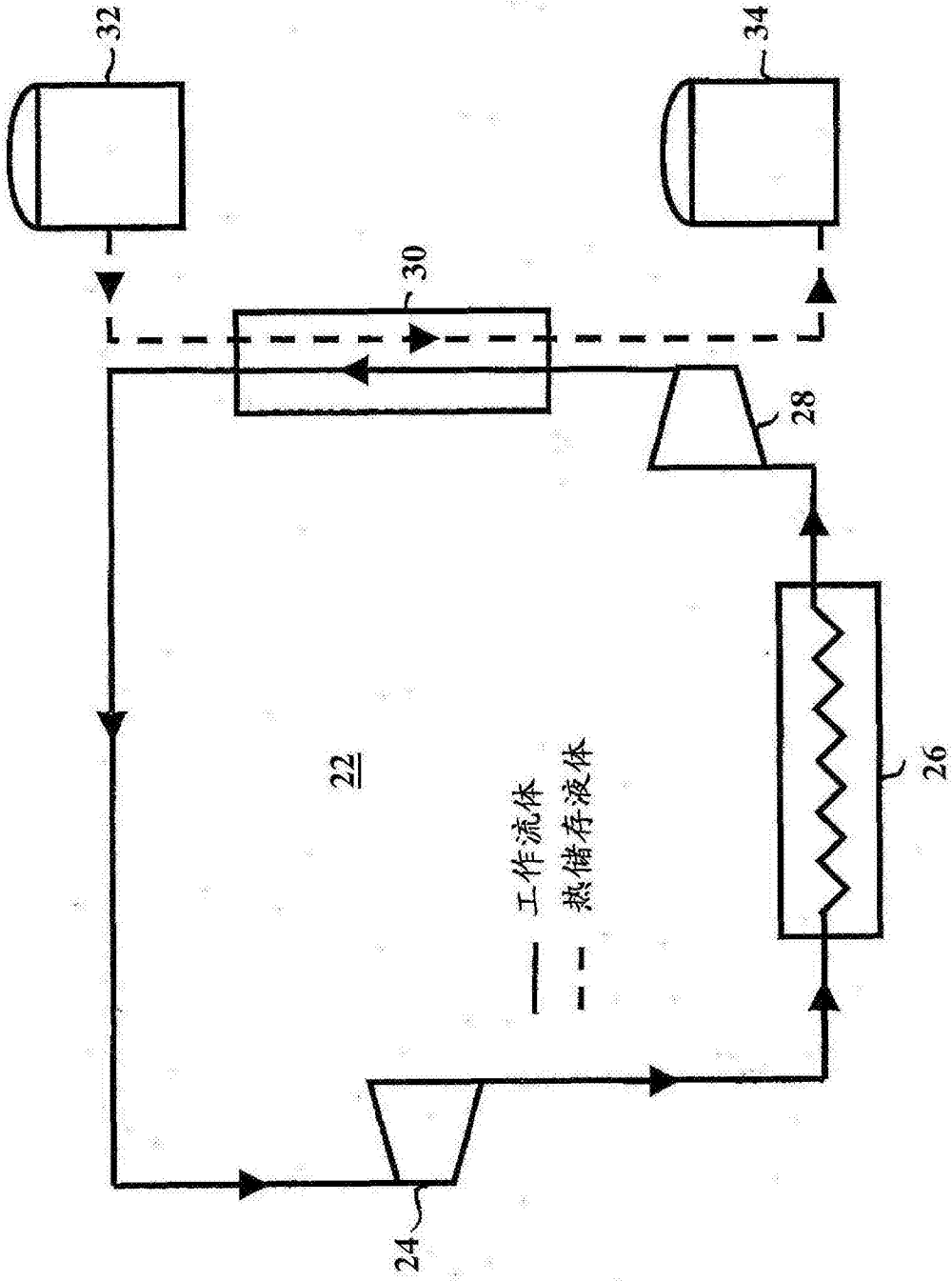


图2

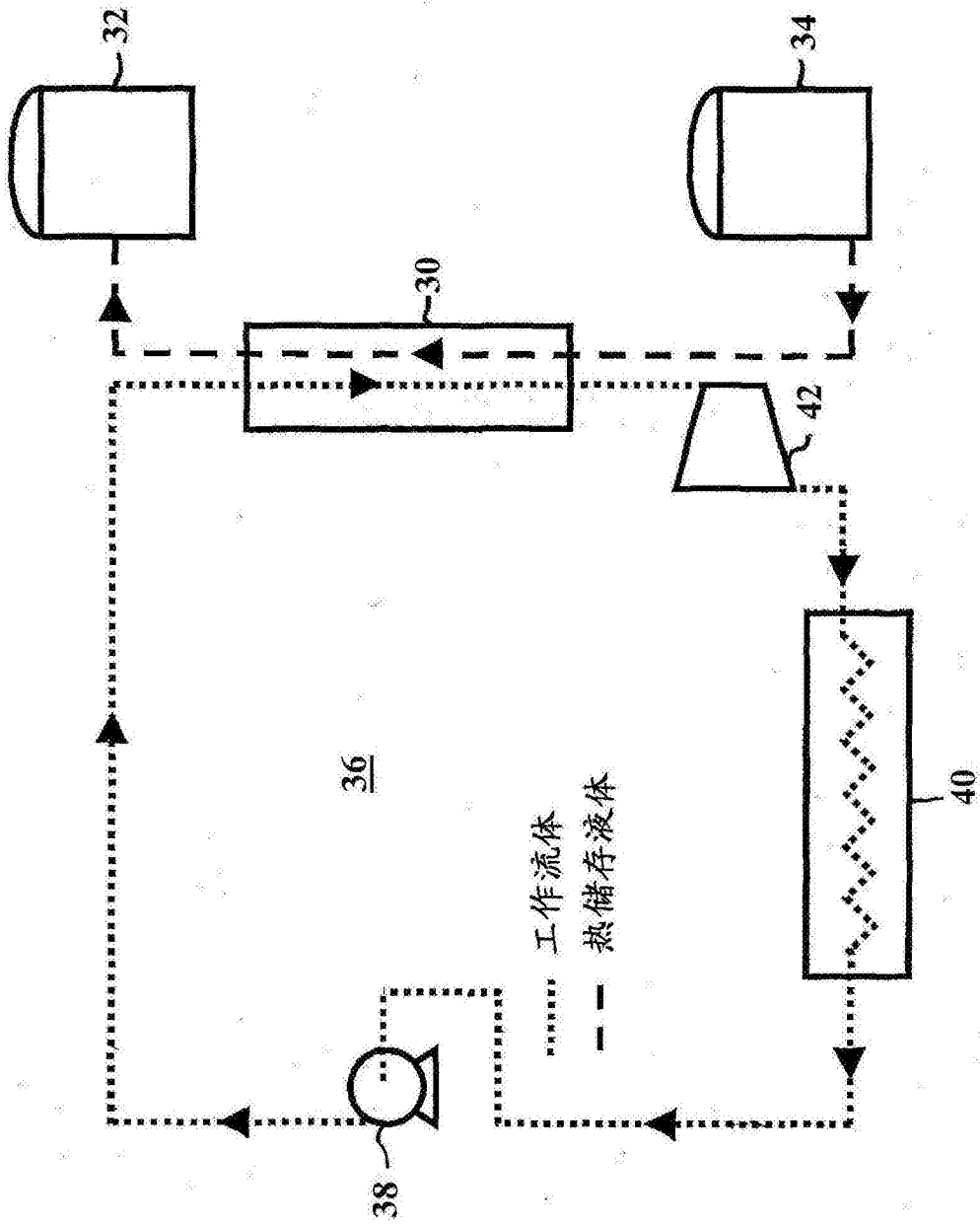


图3

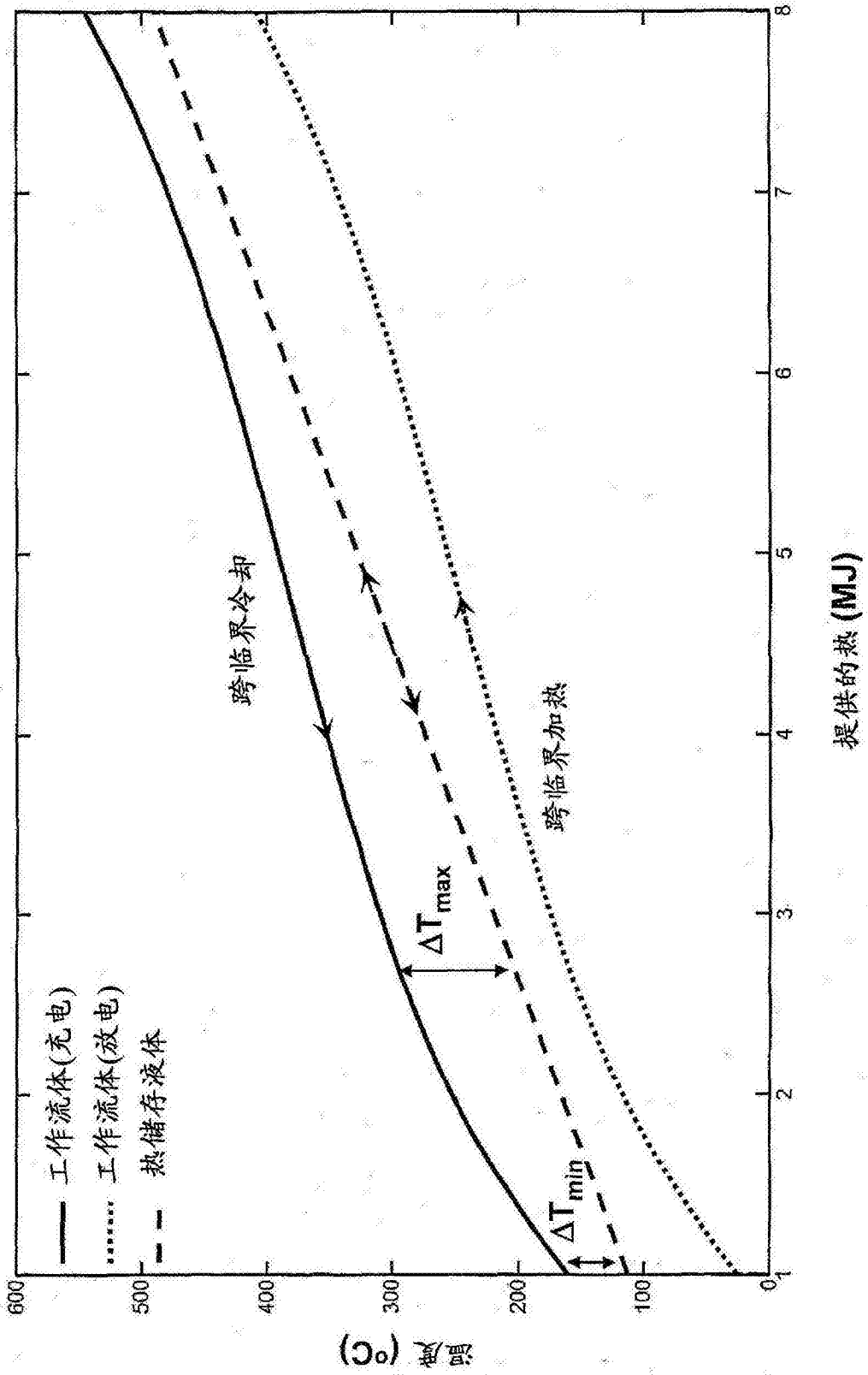


图4

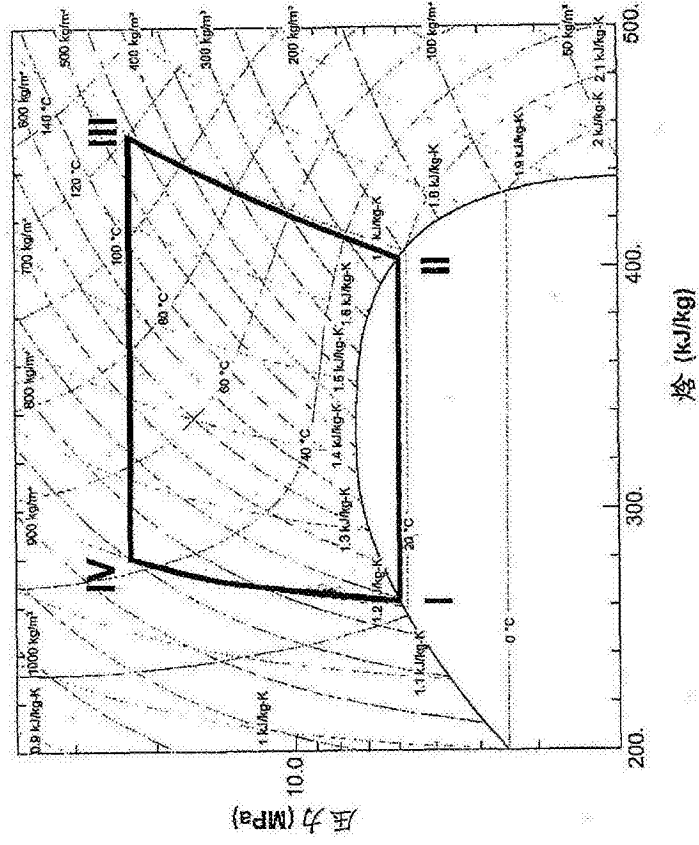


图5a

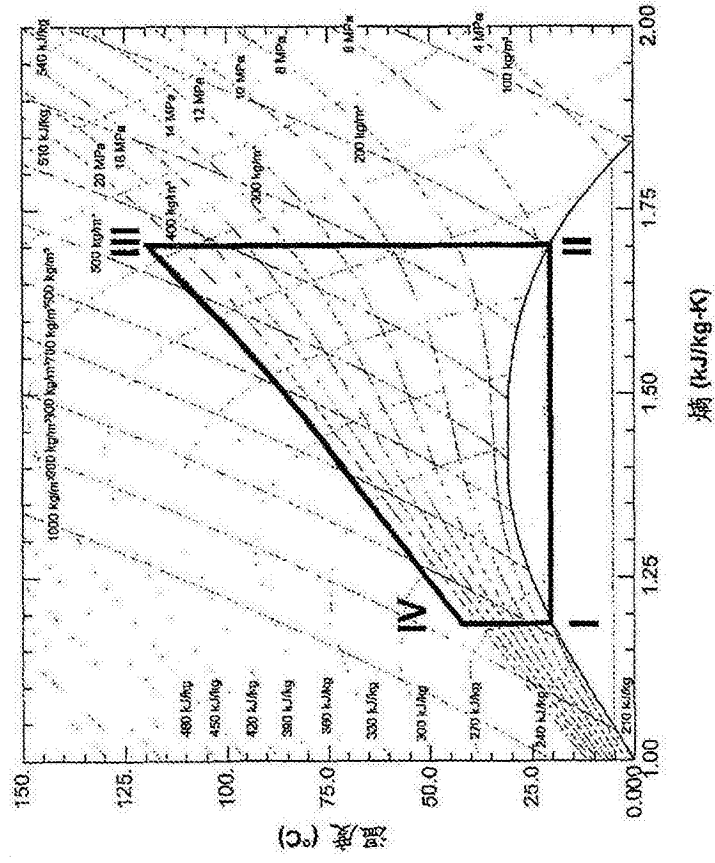


图5b