



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113994167 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 30

(21) 申请号 202080042115.0  
 (22) 申请日 2020.06.12  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 113994167 A  
 (43) 申请公布日 2022.01.28  
 (30) 优先权数据  
 20190723 2019.06.12 NO  
 20190853 2019.07.05 NO  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2021.12.07  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/N02020/050159 2020.06.12  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02020/251373 EN 2020.12.17

(72) 发明人 马丁·斯科特尼  
 克里斯多佛·约翰·格赖纳  
 帕尔·G·贝甘 尼尔斯·豪维克  
 (74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理  
 有限公司 11262  
 专利代理师 艾娟 杨明钊

(51) Int. Cl.  
 F28D 20/00 (2006.01)  
 F01K 1/10 (2006.01)  
 F01K 1/12 (2006.01)

(56) 对比文件  
 CN 102483263 A, 2012.05.30  
 CN 102944131 A, 2013.02.27  
 审查员 郑雨晨

(73) 专利权人 挪威能源公司  
 地址 挪威比尔林格斯泰德

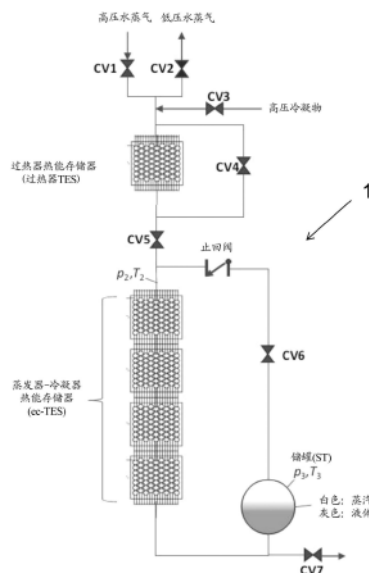
权利要求书2页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

热能电池

(57) 摘要

一种热能电池,包括:蒸发器-冷凝器热能存储器(ec-TES),其具有用于蒸汽的一端和用于液体的一端,该ec-TES包括存储被存储在ec-TES内的热能的至少70%的单相固定材料;用于蒸汽和液体的储罐(ST),其具有位于较高高度的蒸汽部分和位于较低高度的液体部分;蒸汽管线,其被布置在ec-TES的蒸汽端,用于蒸汽的入口和出口;液体管线,其被布置在ec-TES的液体端和ST的液体部分之间;罐蒸汽管线,其被布置成从ST的蒸汽部分到蒸汽管线或ec-TES的蒸汽端;以及在罐蒸汽管线中的蒸发控制阀(CV6)。



1. 一种热能电池,其特征在于,所述热能电池包括:

蒸发器-冷凝器热能存储器,其具有蒸汽端和液体端,所述蒸发器-冷凝器热能存储器包括存储被存储在蒸发器-冷凝器热能存储器内的热能的至少70%的单相固定材料,

用于蒸汽和液体的储罐,其具有位于较高高度的蒸汽部分和位于较低高度的液体部分,

蒸汽管线,其被布置在所述蒸发器-冷凝器热能存储器的所述蒸汽端,所述蒸汽管线用于蒸汽的入口和出口,

被布置在所述蒸发器-冷凝器热能存储器的所述液体端和储罐的所述液体部分之间的液体管线,

罐蒸汽管线,其被布置成从所述储罐的所述蒸汽部分到所述蒸汽管线或所述蒸发器-冷凝器热能存储器的所述蒸汽端,以及

位于所述罐蒸汽管线中的蒸发控制阀CV6。

2. 根据权利要求1所述的热能电池,还包括以下中的一者或两者:

位于所述罐蒸汽管线中的止回阀,其对于沿着来自所述储罐的方向的流动是打开的并且对于沿着相反方向的流动是关闭的,以及

位于所述蒸汽管线中的流量控制部件,其位于蒸汽源/接收器和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间。

3. 根据权利要求1所述的热能电池,还包括过热器热能存储器,所述过热器热能存储器包括存储至少70%的被存储在过热器热能存储器内的热能的单相固定材料,所述过热器热能存储器在源/接收器和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间布置成与所述蒸汽管线串联或布置到所述蒸汽管线。

4. 根据权利要求1所述的热能电池,其中朝向源/接收器的所述蒸汽管线包括独立的入口蒸汽管线和独立的出口蒸汽管线,其中所述独立的入口蒸汽管线和所述独立的出口蒸汽管线中的每一个包括流量控制部件。

5. 根据权利要求1所述的热能电池,还包括:

被布置在所述蒸汽管线中的阀CV1,其控制高压蒸汽向入口的供应;

被布置在所述蒸汽管线中的阀CV2,其控制来自出口的低压蒸汽的输送;

具有阀CV3的管线,其用于将高压冷凝物注入所述蒸汽管线,具有所述阀CV3的所述管线:当存在过热器热能存储器时,用于源和过热器热能存储器之间的温度控制以避免过热,或者当不存在过热器热能存储器时,用于所述源和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间的温度控制以避免过热;以及

具有阀的排放管线,其被布置成来自所述液体管线。

6. 根据权利要求3所述的热能电池,还包括:

具有阀CV4的过热器旁路管线,所述过热器旁路管线被布置成用于旁通流过串联布置到所述蒸汽管线的所述过热器热能存储器的蒸汽流的部分或全部;

位于所述蒸汽管线中的阀CV5,所述阀CV5位于所述过热器热能存储器和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间。

7. 根据权利要求1所述的热能电池,其中,所述蒸发器-冷凝器热能存储器由固态材料组成并且是固态材料显热热能储存器,如果存在过热器热能存储器,所述过热器热能存储

器由固态材料组成并且是固态材料显热热能储存器。

8. 根据权利要求1所述的热能电池,其中,至少所述储罐的所述液体部分位于与所述蒸发器-冷凝器热能存储器的所述液体端相同的高度或更低的高度。

9. 根据权利要求8所述的热能电池,其中,所述储罐被水平地布置或者布置为并行的几个竖直罐。

10. 根据权利要求1所述的热能电池,还包括:

在所述储罐内部的用于用电力充入的电阻加热元件;

当存在过热器热能存储器时,电过热器被布置在从所述储罐的所述蒸汽部分到蒸汽接收器和所述过热器热能存储器之间的所述蒸汽管线的管线中。

11. 根据权利要求10所述的热能电池,还包括用于在充入期间供应液体的通向所述储罐的所述液体部分的液体管线。

12. 根据权利要求6所述的热能电池,其中,如果存在所述过热器热能存储器的话,所述蒸发器-冷凝器热能存储器和所述过热器热能存储器包括:许多被紧密地布置的混凝土热能存储元件,所述混凝土热能存储元件具有管道热交换器,所述管道热交换器在所述混凝土热能存储元件的同一端或同一部分中完全被嵌入管道热交换器入口和管道热交换器出口之间的混凝土中;外壳,是混凝土浇筑形式、环形铠装和流体泄漏限制器,其中所述混凝土热能存储元件被水平地定向但被竖直地堆叠,其中所述蒸发器-冷凝器热能存储器的蒸汽管线处于较高或最高的高度并且所述蒸发器-冷凝器热能存储器的液体管线处于较低或最低的高度。

13. 根据权利要求12所述的热能电池,其中,所述外壳为金属壳。

14. 一种操作根据权利要求1-13中任一项所述的热能电池的方法,其特征在于以下步骤:

通过所述蒸汽管线从源供应高压蒸汽、较高压蒸汽来进行充入,其中通过关闭的或部分关闭的蒸发控制阀或者位于所述罐蒸汽管线中的止回阀来关闭或部分地关闭用于蒸汽的所述罐蒸汽管线,直至达到最大或所需的压力和温度,并且

通过所述蒸汽管线将低压蒸汽、较低压蒸汽放出到接收器,所述放出能够至少通过所述蒸发控制阀控制,直到达到最小或所需的温度和压力。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,放出由所述蒸发控制阀来控制,通过保持在饱和状态之上,以防止液体到达所述蒸发器-冷凝器热能存储器的所述蒸汽端。

16. 根据权利要求14所述的方法,其中,在所述蒸发控制阀关闭的情况下发生充入,由此在所述蒸发器-冷凝器热能存储器中冷凝的蒸汽的全部或大部分通过自然过程在所述储罐中积聚为液体。

17. 根据权利要求14所述的方法,其中,在所述蒸发控制阀打开并且止回阀安装在所述罐蒸汽管线中的情况下发生充入,由此在所述蒸发器-冷凝器热能存储器中冷凝的蒸汽的全部或大部分通过自然过程在所述储罐中积聚为液体。

18. 一种根据权利要求1-13中任一项所述的热能电池的用途,所述热能电池用于存储来自源的热能并且将热能输送给接收器。

## 热能电池

### 技术领域

[0001] 本发明涉及热能电池及其操作。更具体地,本发明提供了一种用于集成到发电厂中或联接到发电厂的热能电池,能量存储系统或能量输送系统,或其任意组合。热能电池根据需求可以进行热能充电、存储和放出饱和或过热蒸汽,并且可以在没有任何泵或压缩机作为热能电池的一部分的情况下运行。

### 背景技术

[0002] 对于被广泛地使用并且主导电力生产的全球市场的基于蒸汽的发电(steam-based electricity production)来说,在关闭、启动和扩大或缩小生产规模时,存储来自过热蒸汽或其他蒸汽的热能的可能性将代表一大优势。

[0003] 基于蒸汽的发电通常与基于燃烧的能源有关,无论该能源是基于化石燃料还是生物燃料,以及核能。此外,太阳热能是相关的。

[0004] 对于能源密集型的工业,其通常被集成到蒸汽网络中,在蒸汽网络中蒸汽被用作传热流体,其中热量消耗器遵循分批次的过程(batch processes),直接从蒸汽中存储热能的可能性将代表一个很大的优势,既减少废蒸汽,而且还稳定蒸汽网(steam grid),在蒸汽网中,由于锅炉的有限灵活性或由于在系统中在不同能量过程中的时移(time-shift),分批次的过程会产生波动。

[0005] 减少能量浪费被认为是能量供应的成本降低的一个关键因素,能量供应源自所有类型的可再生能源、基于燃烧的能源和基于核能的能量以及能源密集型的工业。

[0006] 此外,用于促进向可持续能源生产转变的一个缺失环节是以负担得起的成本实现的能量存储。风能和太阳能是可变的,并且对于能量存储的降低成本将增强风能和太阳能的利用。被集成到发电厂中的能量存储系统将增强发电厂的灵活性,这进而能够实现来自太阳能和风能的更多周期性的电力生产。具有能量存储的集成的工业电气化是另一个环节,其中在低电价时期期间,当太阳能和风能过剩时,蒸汽将由电力产生并被存储在存储装置中。

[0007] 有了负担得起的能量存储,能量浪费能够被减少,并且可再生能源能够被更广泛地利用,取代化石燃料。所连接的发电机能够更容易地在最佳运行点运行。存储能够在本地被分配,从而减轻了电网的负担。

[0008] 此外,如果可以实现,发电厂的简化、关于运行参数的增加的通用性、降低成本和复杂性也将是有益的。

[0009] 目前,热能电池通常是潜热电池,其基于用于热能存储的固-液相变材料,且作为基本部件。例如,CCT(气候变化技术有限公司,Climate Change Technologies Pty Ltd)的储能TED热能设备(Energy Storage TED-thermal energy device)是基于潜热作为功能性的基本部件,参见专利公布WO 2018/201193 A1。在专利公布US 2015/0219403 A1中描述和说明了另一个示例。在US 2015/0219403 A1的第18段和第19段中,描述了混凝土中的直接的热能存储已经被发现会产生可靠性问题和低效率。此外,描述了具有根据现有技术的直

接蒸汽产生的储热系统比使用热油的储热系统更复杂,并因此对于大型供电设备来说,它们的估计成本更高。

[0010] 本发明的目标是提供一种替代的热能电池。

[0011] 显热热能存储的技术水平可能是申请人现有的存储技术。相关技术在专利公布WO 2015/093980 A1、WO 2016/099289 A1、WO 2016/099290 A1和WO 2019/110655 A1中被描述和说明。

[0012] 发明概述

[0013] 本发明通过提供一种热能电池来满足该目标,该热能电池包括:

[0014] 蒸发器-冷凝器热能存储器(ec- TES),其具有用于蒸汽的一端和用于液体的一端,该蒸发器-冷凝器热能存储器包括存储被存储在ec- TES内的热能的至少70%的单相固定材料。

[0015] 用于蒸汽和液体的储罐(ST),其具有在较高高度的蒸汽部分和在较低高度的液体部分,

[0016] 蒸汽管线,其被布置在ec- TES的蒸汽端,该管线用于蒸汽的入口和出口,

[0017] 液体管线,其被布置在ec- TES的液体端和ST的液体部分之间,

[0018] 罐蒸汽管线,其被布置成从ST的蒸汽部分到蒸汽管线或ec- TES的蒸汽端,以及

[0019] 在罐蒸汽管线中的蒸发控制阀CV6。

[0020] 在许多实施例中,蒸汽和液体分别是水蒸气和水。在其他实施例中,蒸汽和液体是有机化合物或多种化合物的混合物。环戊烷是一个示例。异丁烷是另一个示例。可用于在有机朗肯循环中使用的混合物,如R134a或R134a和异丁烷,是另外的示例。

[0021] 短语“被布置成从ST的蒸汽部分到蒸汽管线的罐蒸汽管线”意指用于实现这样的流体流动的任何可操作的布置。蒸汽管线和罐蒸汽管线的ec- TES的蒸汽端的组合联接是一个实施例,另一个是在蒸汽管线中在高度高于、等于或低于ec- TES的蒸汽端的三通联接。另一个实施例是独立的蒸汽管线和罐蒸汽管线到ec- TES的蒸汽端的入口,其中将所述蒸汽管线联接组合到ec- TES的蒸汽端的内部。在优选实施例中,即使ec- TES的蒸汽端应该处于最高高度,三通联接也能够位于较低高度。实际上,在跳闸的情况下,当喷水继续向系统供给冷凝物并且水蒸气源管线被关闭时,三通联接优选地处于比ec- TES的蒸汽部分更低的高度,其中冷水将进入容器而不是ec- TES。

[0022] 术语,如蒸汽端、液体端、蒸汽部分、液体部分、蒸汽管线、罐蒸汽管线和液体管线,是指在正常运行条件下单元或其部分/端或管线/导管的内容物。蒸汽端意指在正常运行时朝向充满蒸汽的ec- TES的一端的一部分、一段。液体端意指在正常运行时朝向充满液体的ec- TES的一端的一部分、一段。液体端和蒸汽端通常在长形的ec- TES中相反地定向,但不是必须的。

[0023] 术语如高的高度和低的高度,较高高度和较低高度,是在一个单元内相对而言的。

[0024] 在运行中,ec- TES将容纳作为传热流体(Heat Transfer Fluid,HTF)的两相气液,其具有在蒸汽端的单相蒸汽以及单相液体或以物质液体的形式。最初,液体质量分数能够是10%-20%,在快速循环中,液体质量分数可以稳定在通常40%-60%,但是对于更长的循环,在液体端为70%或80%。压力-温度和由此产生的蒸发和冷凝以及ec- TES内的HTF的流动,通常控制提供ec- TES的液体端和蒸汽端的过程。如果蒸汽端处于较高高度并且液体端

处于较低高度,这不是必须的,则重力将有助于在ec- TES内的所述过程。

[0025] “蒸发器-冷凝器热能存储器(ec- TES),包括存储被存储在ec- TES内的热能的至少70%的单相固定材料”,意指在正常运行期间ec- TES不是容纳充满HTF的更大容积的储罐,并且不是容纳除了HTF之外的相变材料的热能存储,HTF是被用于充入(charging)和放出(discharging)热能的传热流体。更具体地说,如果忽略模块之间或模块周围以及模块内的元件的HTF、热绝缘、支撑结构和空间(通常是空气),则ec- TES仅由单相热能存储材料组成,优选地为固体单相材料,按重量计高达90%或100%,并且按体积计高于60%,更优选地高于70%或80%。不考虑在ec- TES的模块之间或模块周围以及模块内的元件的热绝缘和空间,唯一不是用于单相热能存储材料的ec- TES的容积是用于HTF和结构材料的流动的导管内的容积,通过研究进一步的描述这将会清楚。此外,不考虑HTF本身固有的次要存储效应,被存储在ec- TES中的所有热能都是显热热能,该显热热能通常被存储在混凝土、岩石、石头、变压器油中,或者最优选地,存储在混凝土和钢的组合物中,其中混凝土作为主要部分材料并且钢用于管道、加强件和结构框架/元件。在充满HTF的典型ec- TES中,HTF本身固有的次要热能存储约为5%,而约95%被存储在ec- TES的固态单相材料中。与ec- TES内的HTF体积相比,单相热能存储材料的体积大,优选地更大,更优选地大2倍、3倍、5倍或10倍。

[0026] 过热器存储器(如果包括的话),优选地具有与ec- TES相同或相似的结构设计,但是能够根据需求具有不同的尺寸或规模。

[0027] HP-较高压和LP-较低压是相对的术语。全部充入有例如高压水蒸气的本发明的热能电池,能够在接近高压条件下最初放出所述水蒸气,之后压力朝向低压条件的消耗器降低。

[0028] 蒸发控制阀能够仅通过操作所述阀来控制放出。在没有蒸发控制阀且没有罐蒸汽管线的情况下,ST被串联连接到ec- TES,并且在这种配置下,在放出期间,在ec- TES的蒸汽端会有冷凝物或两相蒸汽/冷凝物。为了向蒸汽接收器供应干燥水蒸气,可在疏水阀中将冷凝物与水蒸气分离,在疏水阀处冷凝物必须通过泵被排放到或返回到ST。这种解决方案将比具有ST蒸汽管线效率更低、更复杂并且成本更高。为了在放出期间控制蒸汽端处的干燥单相蒸汽,蒸汽必须从ST释放,以将冷凝物温度降低到低于ec- TES温度。热传递需要在ec- TES和蒸汽/冷凝物之间的温差,其中所需的温差随着功率一起增加。

[0029] 热能电池优选地还包括以下中的一者或两者:

[0030] 位于罐蒸汽管线中的止回阀,对于来自ST的方向的流动是打开的,并且对于相反方向的流动是关闭的,以及

[0031] 位于蒸汽管线中的流量控制部件,其位于蒸汽源/接收器和蒸汽管线与罐蒸汽管线的连接点之间。

[0032] 止回阀在低充入流速期间能够实现自然循环,用于在ST和ec- TES之间的更有效的热平衡。然而,热能电池可以在没有止回阀的情况下被操作,通过在充入过程期间保持蒸发控制阀关闭而实现,在水蒸气进入ST之前引导水蒸气流过ec- TES。

[0033] 被布置在源/接收器和蒸汽管线与罐蒸汽管线的连接点之间的在蒸汽管线中的流量控制部件提供了增强的功能。控制阀、压缩机和涡轮机是流量控制元件的示例。

[0034] 对于许多实施例,热能电池优选地包括过热器热能存储器(过热器TES),其包括存储被存储在过热器TES内的热能的至少70%的单相固定材料,该过热器TES在源/接收器和

蒸汽管线与罐蒸汽管线的连接点之间布置成与蒸汽管线串联或布置到蒸汽管线。所有具有输送源和/或用户可用的过热蒸汽(如过热水蒸气)的电力系统可以利用本发明的具有过热器TES的热能电池。过热器TES能够充入、存储和输送过热蒸汽,其中过热器TES中的HTF是饱和水平以上的蒸汽相,如过热水蒸气,用于有效发电。过热器TES在充入时还提供蒸汽的去过热,从而确保来自蒸汽源的蒸汽不会对ec-TES造成热冲击。在一些优选的实施例中,蒸汽管线包括入口和/或用于非过热蒸汽的出口,分别地用于源和不输送或不需要过热蒸汽的用户。在一些优选的实施例中,过热器TES包括管道热交换器和所谓的超级合金的管道部件,超级合金典型地是基于镍的合金,如铬镍铁合金(Inconel),这能够实现比碳钢更高的温度和/或压力。

[0035] ec-TES和过热器TES都将包含单相固定材料,用于不同于或独立于上述HTF的热能存储。热能在充入期间从HTF被传递到存储材料,并且相反地,在放出期间从存储材料被传递到HTF。

[0036] 在一些实施例中,热能电池包括用于蒸汽的入口和出口的独立的蒸汽管线,其中罐蒸汽管线优选地被布置到出口蒸汽管线,该出口蒸汽管线被布置到ec-TES的蒸汽端,并且每个蒸汽管线包括流量控制部件。这可以提供增加的通用性,例如当本发明的许多热电池被并联布置时,或者处于不同的压力-温度水平时。在一个压力-温度水平内,被定义为在电池的入口和出口的压力和温度内,本发明的若干热能电池可以被并联布置。

[0037] 当存在几个压力水平时,如在联合循环发电厂中,热能电池可以具有独立的蒸汽入口和出口,以达到发电厂中的不同压力水平。例如,充入的第一部分可以用IP(中压)管线作为水蒸气源被操作,并且充入的最后一部分可以用HP(高压)管线作为水蒸气源被操作。充入的第一部分可以用中压管线(或中压涡轮机的入口)作为水蒸气接收器被操作,放出的最后一部分可以用LP(低压)管线或低压涡轮机被操作。除了高压和低压管线之外,通过用中压管线操作,热能电池的效率将会提高。

[0038] 热能电池优选地还包括以任意组合的形式的以下一个或更多个特征:

[0039] 对于具有过热器TES的实施例,具有阀CV4的过热器旁路管线,被布置成用于旁通部分或所有的蒸汽,而不是流过被串联布置到蒸汽管线的过热器TES;

[0040] 对于具有过热器TES的实施例,阀CV5,位于过热器TES和蒸汽管线与罐蒸汽管线的连接点之间的蒸汽管线中;

[0041] 被布置在蒸汽管线中的阀CV1,其控制HP(高压)蒸汽向入口的供应;

[0042] 被布置在蒸汽管线中的阀CV2,其控制来自出口的LP(低压)蒸汽的输送;

[0043] 具有阀CV3的管线,其用于将高压冷凝物注入蒸汽管线,以用于温度控制以避免过热,该管线位于源和过热器TES之间,或者对于不具有过热器TES的实施例,该管线位于源和蒸汽管线与罐蒸汽管线的连接点之间;

[0044] 具有阀CV7的排放管线(drainage line),其被布置成来自液体管线;以及

[0045] 电加热器,其位于用于液体和蒸汽的储罐-ST-中,位于储罐的较低液体部分中,并且优选地,其中ST的较低液体部分处于比ec-TES的液体端或液体部分更低的高度。

[0046] ec-TES和过热器TES(如果存在的话)优选地由单相材料组成,更优选地由固态单相材料组成,这意味着所述存储器是显热热能存储器,其中热能存储材料总是处于固态。然而,被用于充入和放出的流体,传热流体(HTF)是蒸汽,在充入时通过入口被接收,并且在放

出时通过出口被输送,其中所述入口和所述出口,是组合的入口和出口或独立的入口和出口,被布置在热能电池的蒸汽侧。HTF将部分冷凝,并且所有或大部分的已冷凝的HTF将被存储在用于蒸汽和液体的储罐中,而已冷凝的HTF中的一些可能被存储在ec- TES的较低高度部分中,即ec- TES的液体端,根据下面的描述这将是清楚的。

[0047] 优选地,ST,至少其液体部分/较低部分,位于与ec- TES的液体端相同高度或更低的高度处。

[0048] 优选地,ec- TES的蒸汽端的高度高于,优选地远高于ST的蒸汽部分

[0049] 在一些使用情况下,能源是电力,而不是来自外部蒸汽循环的废热或其他种类的水蒸气源。然后有两种选项,第一种是使用外部常规电锅炉,并且以与任何其他水蒸气源相同的方式给热能电池充电,而不影响或改变所述的热能电池。另一种选项是将电阻加热元件直接地集成到现有的ST内部,在该过程中需要热能电池的少量扩展。使用该选项,通向ST的新液体管线是优选的,其中在充入循环期间ST将被充满液体。ST内部的加热元件会将热量传递给液体和蒸汽,由此液体会沸腾和蒸发。蒸汽将优选地通过自然循环流过ec- TES,从而优选的是在现有液体管线上串联布置止回阀。可替代地,通过串联布置在现有液体管线上的循环泵来辅助循环。对于具有过热器TES的实施例,需要新管线,该新管线被布置成从ST的蒸汽部分到在过热器TES和蒸汽接收器之间的蒸汽管线。在这根管线内,常规的电过热器将向过热器TES提供所需水平的过热蒸汽。在放出期间,两根附加管线(液体供应管线和对于具有过热器TES的实施例中的电过热器管线)将被关闭,加热元件被关掉,并且热能电池以与正常运行相同的方式被运行。

[0050] ec- TES和过热器TES(如果存在的话)可以具有许多实施例。然而,ec- TES和过热器TES(如果存在的话),优选地包括许多被紧密地布置的混凝土热能存储元件。所有或大部分的混凝土热能存储元件优选地包括管道热交换器,该管道热交换器在元件的同一端或同一部分中完全地嵌入管道热交换器入口和管道热交换器出口之间的混凝土中,外壳,优选地为金属壳,是混凝土浇铸形式、环形铠装和流体泄漏限制器,其中ec- TES蒸汽管线处于较高或最高高度,并且ec- TES液体管线处于较低或最低高度。这些元件优选地被布置在被称为盒子的框架结构中,从而使得每个盒子能够作为一个单元进行预制、测试、运输和安装,该盒子可以被紧密堆叠或紧密布置,优选地,其中所有管道和联接仅位于一端或一侧。混凝土,元件的热能存储材料,由每个热能存储元件的重量的多于70%、更优选地至少80%或90%组成。

[0051] 本发明的热能电池被优选地布置在热绝缘内。

[0052] 本发明还提供了操作本发明的热能电池的一种方法。该方法通过以下步骤被区分:通过蒸汽管线从源供应高压蒸汽、较高压蒸汽来进行充入,其中通过关闭的或部分地关闭的蒸发控制阀或在罐蒸汽管线中的止回阀,用于蒸汽的罐蒸汽管线被关闭或部分被关闭,直到达到最大或期望的压力和温度,并且

[0053] 通过蒸汽管线将低压蒸汽、较低压蒸汽放出到接收器,该放出至少通过蒸发控制阀可控,直到达到最低或期望的温度和压力。

[0054] 蒸发控制阀通过控制水蒸气的闪蒸和流过ec- TES的冷凝物来控制蒸发/沸腾过程,并且从而影响存储材料和HTF之间的温差。

[0055] “其中通过关闭的或部分地关闭的蒸发控制阀或在罐蒸汽管线中的止回阀,用于



蒸汽的罐蒸汽管线被关闭或部分地被关闭”这一特征意味着,在充入期间,所有或实质上所有的HTF都沿着该方向流动:蒸汽管线、ec- TES、液体管线、ST,并且如果打开,蒸汽进一步流动通过罐蒸汽管线,并且进入用于进一步冷凝的ec- TES,直到在ec- TES和ST之间达到压力-温度平衡。

[0056] 优选地,放出由蒸发控制阀控制,以便保持超过饱和状态,以防止液体到达ec- TES的蒸汽端。

[0057] 优选地,在蒸发控制阀被关闭的情况下发生充入,由此在ec- TES中冷凝的蒸汽的全部或大部分通过自然过程被积聚成ST中的液体,可替代地,在蒸发控制阀打开并且止回阀安装在罐蒸汽管线中的情况下发生充入,以实现自然循环,并且因此增强在ec- TES和ST之间的热平衡

[0058] 本发明还提供了本发明的热能电池的用途,本发明的热能电池用于存储来自源的热能并且将热能输送到接收器。

[0059] 通过研究详细描述和说明的实施例,可实现本发明的更深入的理解。

[0060] 附图的简要描述

[0061] 图1示出了本发明的优选的实施例,具有过热器TES。

[0062] 图2示出了本发明的优选的实施例,不具有过热器TES。

[0063] 发明的详细描述

[0064] 参考图1,示出了本发明的热能电池及其操作的优选方法,其中水蒸气/水作为传热流体。CV意指控制阀,该控制阀基于诸如压力、温度、流量或液位的参数(这些参数是可测量的,利用可操作地布置的商用传感器(未示出)来测量)进行控制,如下所述。

[0065] o充入:

[0066] oCV1控制高压水蒸气的流速

[0067] oCV2和CV7被关闭

[0068] o如果需要的话, CV3控制来自HP(高压)冷凝器的喷水,以将蒸汽温度降低至碳钢极限

[0069] oCV4将在过热器TES中的流速控制在最大极限以下,以防止流动加速腐蚀(Flow Accelerated Corrosion, FAC)

[0070] oCV5是100%打开的

[0071] o如果不包括止回阀, CV6(蒸发控制阀)被关闭;或者如果包括止回阀, CV6打开

[0072] o放出:

[0073] oCV2、CV4和CV5同时操作,以控制出口水蒸气流的流速和温度两者

[0074] oCV1、CV3和CV7被关闭

[0075] oCV6(蒸发控制阀)控制T2比饱和温度高几度(给出的示例,但不限于10°C-20°C)。

目的是确保没有冷凝物会到达ec- TES的出口

[0076] o停止:

[0077] oCV7将排放系统中剩余的水(ST优选地位于ec- TES的最低高度处)。由于系统中的热量损失,一些少量的水可能不会被蒸发和放出,尤其是在长的闲置时间之后。

[0078] o热能电池的进一步解释如下:

[0079] o充入:

- [0080] o水蒸气在过热器TES中被去过热,并且在ec-TES中被冷凝。
- [0081] o对于高流速,摩擦压力损失高于静水压力, $p_2 > p_3$ 。任何未被冷凝的水蒸气将在ST中被分离,并且导致压力累积。
- [0082] o由于在显热存储材料和饱和度之间的温差(delta temperature)较大,压力累积增加在ec-TES中的冷凝速率。
- [0083] o当流速被降低或冷凝速率高时,进一步的过程取决于止回阀:
- [0084] o在罐蒸汽管线中没有止回阀的系统:所有水蒸气将在ec-TES中被冷凝和过冷。过冷水进入ST并且与饱和水混合。通过这种方式,ec-TES中的较冷温度被转移到ST中的较高温度,并且随着时间的推移,温度变得相等。
- [0085] o在罐蒸汽管线中具有止回阀的系统:静水压力变得高于摩擦压力损失, $p_2 < p_3$ ,并且水蒸气通过止回阀被循环并且进一步被冷凝。这种自然循环持续直到ec-TES的显热存储材料和饱和温度相等,并且压力稳定为止。这种温度均衡的过程比上面描述的没有止回阀的过程更快。
- [0086] o当压力达到最大运行压力时,存储器被完全充入。
- [0087] o放出:
- [0088] o通过放出低压水蒸气,优选地由CV2和CV5控制,存储器被减压。
- [0089] o最初,来自压力容器的水蒸气通过打开CV6(蒸发控制阀)被释放。这导致在显热存储材料和冷凝物之间的温差更大,此外,CV6控制直接进入过热器TES的水蒸气量和通过ec-TES的冷凝物量。
- [0090] o在ST中的水蒸气体积将扩大,并且推动冷凝物通过ec-TES。
- [0091] o如果一些冷凝物更靠近ec-TES的水蒸气端,则T2温度将会被降低。然后水蒸气通过CV6被释放,并且两相冷凝物/水蒸气区域稳定在ec-TES的水蒸气端下方一定距离处。
- [0092] o出口水蒸气流速和温度优选地由CV2、CV4和CV5控制。由于具有高压降的控制阀的高温降,出口温度可以由CV2和CV5控制在给定的范围内。旁通阀CV4可以将该范围扩大到更低的温度。通过控制出口温度,即使在过热器TES中的显热存储材料的温度被降低,在整个放出循环期间恒定的温度也能够被提供给热消耗器。可替代地,水蒸气出口温度能够由CV3通过水温度调节(attemperation)来控制(而流速由CV2控制),并且在这种情况下CV4和CV5能够被移除。与可以由CV4和CV5进行温度控制相比,采用这种替代方案,恒定的水蒸气出口温度将会更低。
- [0093] o当因为低压而存储器被全部放出时,放出水蒸气流将会停止。阀CV2和CV5被完全打开,并且流速降至低于目标值。
- [0094] 本发明的热能电池能够例如被集成到CCPP(联合循环发电厂)中。高压入口能够被联接以接收来自上游的高压涡轮机的高压水蒸气。低压出口能够被联接以将低压水蒸气输送至低压涡轮机。HP(高压或更高压)和LP(低压或更低压)是彼此相对的。高压通常为30巴-180巴。低压通常为1巴至20巴-40巴。高压温度通常为150°C-420°C。ec-TES和ST的运行温度通常为150°C-350°C,对应于在运行压力下的饱和状态。过热器TES通常会将低压出口处的温度升高到高于饱和温度30°C-120°C。高压和低压之间的压力差值通常最小为20巴,以在ec-TES内获得令人满意的存储容量。当这个差值被增加时,更多的能量能够被存储在ec-TES中。

[0095] 原则上,能够使用任何高压水蒸气源,并且能够连接任何低压水蒸气源,或者任何可行的汽-液。

[0096] 在本发明的热能电池中,流动不需要泵或压缩机。由压力来驱动在高压入口和低压出口之间的流动。在许多实施例中,高压入口和低压出口是独立的结构,或者在充入或放出二者择一是可接受的情况下,高压入口和低压出口是相同的结构。更具体地说,在ec- TES和储罐中的冷凝物导致流体(水蒸气/蒸气)体积的显著收缩,减缓了加压过程,从而导致在充入期间允许更多的水蒸气/蒸气流入存储器中的效果,在充入期间显热单相介质的温度升高并且冷凝物积聚在储罐(ST)中。当储罐充满冷凝物并且系统压力达到水蒸气源的压力时,存储器被完全充入,因此不需要泵或压缩机,因为水蒸气通过水蒸气/蒸汽源和系统内部的压差流入存储器中。当对存储器进行放出时,相反的过程发生,其中在ec- TES和储罐中的蒸发显著地增加了流体体积,减缓了去压过程,从而允许水蒸气/蒸气流回到水蒸气消耗器中,例如兰金循环(Rankine cycle)。当储罐中没有冷凝物并且系统压力达到水蒸气消耗器的压力时,存储器被完全卸空,因此不需要泵或压缩机,因为水蒸气通过压差流出存储器。

[0097] 在充入和放出的所有操作期间,热能电池的较低端是封闭的,因此在正常操作期间没有液体进入或离开热能电池。蒸气或水蒸气确实从一端进入电池,并且从同一端离开电池;热能电池的蒸汽端。在充入和放出期间,ec- TES和ST关于温度方面实质上彼此跟随,上升或下降二者均如此。在充入期间,由于止回阀或已关闭的蒸发控制阀,水蒸气流入ec- TES中,而不是流入ST中。在充入期间,水蒸气/冷凝物逆时针流动(与图示相关,不是实际上的)进入ec- TES并且然后进入ST中。止回阀通过自然循环过程使来自ST的再循环水蒸气能够与来自热源的水蒸气混合。在没有止回阀并且蒸发控制阀打开的情况下,只有当存在来自热源的低充入流时,才能通过与上面所描述的方向相同方向的自然循环进行水蒸气再循环。

[0098] 可行性研究已经完成,其中本发明的热电池中的水蒸气被集成到CCPP中。热能电池在从5巴-75巴下运行,总共存储154兆瓦时,其中34%的热能被存储在ST中,并且66%的热能被存储在ec- TES中和过热器TES中。结果是,在关闭和启动期间,所有被倾倒的水蒸气被完全存储,并且工厂的灵活性显著地提高。这消除了辅助锅炉的燃料消耗,并且在电网上实现了可再生能源。

[0099] 来自太阳能和风能源的电力能够被转换成热能,用于输入到兰金循环发电厂,优选地是热电联合发电厂,其中本发明的一个或更多个热能电池被连接到发电厂,用于使生产适应需求并且使来自风能源和太阳能的生产平稳变化。

[0100] 电池允许充入流速有很大的变化。对于最高流速,两相水蒸气/水可能从ec- TES的液体端流出,然而,水蒸气和水在ST中被分离。可能也有必要将部分水蒸气直接地从旁路进入ST,以将ec- TES的流速限制在用于两相流的被定义的最大值以下。在充入流速完成后,通过打开蒸发控制阀并且实现自然循环,来自ST中的未冷凝水蒸气的热量能够被传递至ec- TES。本发明的热能电池具有高压容器和固态热能存储器的组合,正如所描述和所示出的与控制阀一起被操作,使得能够实现操作流速的这种高变化,因为在充入操作期间没有冷凝物从系统被返回。这种具有过热器模块(过热器TES)和蒸发器/冷凝器模块(ec- TES)以及压力容器(ST)的组合的设计有几个优点:

[0101] 操作灵活性高。由于上述原因,流速的高变化是可被接受的。

[0102] 高效:在压力容器中的能量密度高,并且在热能电池中没有热水被浪费。优质能量(蒸发和过热)主要地被存储在模块中。

[0103] 低成本:模块和压力容器的组合使热能电池的尺寸最小化。在压力容器中,部分水蒸气在容器本身中被蒸发,就像水蒸气积聚器一样,而大部分水蒸气通过将容器向蒸发器模块中排放而被蒸发。以这种方式,压力容器的全部容积被有效地利用,并且模块仅被用于容器排放的蒸发和水蒸气的过热。这种组合将热能电池的尺寸和资本支出(CAPEX)降至最低。

[0104] 容易控制蒸发速率,在放出期间,通过单个阀来控制在压力容器中的水蒸气的闪蒸并且通过蒸发器模块的冷凝物排放。

[0105] 高放出温度:过热器模块能够被设计成向水蒸气消耗器提供所需的温度(受碳钢的最高温度的限制)

[0106] 总之,组合了高压容器(ST)和固态热能存储器的本发明的热能电池代表了创造性的解决方案,其基于以下内容:

[0107] 固态TES的缓慢动态被ST克服,因为这能够积累所有未被转移到ec-TES中的固态材料的能量,并且允许通过自然循环重新分配这些能量。高冷凝率是通过ec-TES和水蒸气之间的高温差以及ec-TES内用于热传递的大的表面积来实现的。此外,通过允许以其他方式完全排放液体的“死体积(dead volume)”,并且将该液体作为“供给水(feedwater)”供应用于在ec-TES中将液体蒸发成蒸汽,克服了将容器用作水蒸气积聚器的低效率。在过热蒸汽是有需求的和/或有益的情况下,固态存储器能够进一步使所有蒸汽过热。因此,组合解决方案分别地克服了两种技术的主要挑战,同时获得了两种技术的主要益处,从而为在两相液-气系统中的热能存储提供了最具成本效益的解决方案。

[0108] 过热器TES以及ec-TES,根据申请人的设计是优选的,如专利公布WO 2015/093980 A1、WO 2016/099289 A1和WO 2016/099290 A1中所描述和所说明的,所有这些专利据此通过引用以其整体并入。然而,还有的其他显热热存储器/电池也是可行的。

[0109] 进一步参考图2,示出了没有过热器TES的本发明的热能电池的实施例,用于没有过热蒸汽的源。该实施例在原理上与图1的实施例相同,除了不包括过热器,并且可选地不包括止回阀。流量控制部件对应于CV5,并且蒸发控制阀对应于CV6。

[0110] 本发明还提供了以下条款:

[0111] 1.一种热能电池,其特征在于,所述热能电池包括:

[0112] 蒸发器-冷凝器热能存储器(ec-TES),其具有用于蒸汽的一端和用于液体的一端,所述蒸发器-冷凝器热能存储器包括存储被存储在ec-TES内的热能的至少70%的单相固定材料,

[0113] 用于蒸汽和液体的储罐(ST),其具有位于较高高度的蒸汽部分和位于较低高度的液体部分,

[0114] 蒸汽管线,其被布置在所述ec-TES的所述蒸汽端,所述蒸汽管线用于蒸汽的入口和出口,

[0115] 液体管线,其被布置在所述ec-TES的所述液体端和ST的所述液体部分之间,

[0116] 罐蒸汽管线,其被布置成从所述ST的所述蒸汽部分到所述蒸汽管线或所述ec-TES

的所述蒸汽端,以及

[0117] 位于所述罐蒸汽管线中的蒸发控制阀CV6。

[0118] 2. 根据条款1所述的热能电池,还包括以下中的一者或两者:

[0119] 位于所述罐蒸汽管线中的止回阀,其对于沿着来自所述ST的方向的流动是打开的并且对于沿着相反方向的流动是关闭的,以及

[0120] 位于所述蒸汽管线中的流量控制部件,其位于蒸汽源/接收器和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间。

[0121] 3. 根据条款1所述的热能电池,还包括过热器热能存储器(过热器TES),所述过热器热能存储器包括存储被存储在过热器TES内的热能的至少70%的单相固定材料,所述过热器TES在源/接收器和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间布置成与所述蒸汽管线串联或布置到所述蒸汽管线。

[0122] 4. 根据条款1所述的热能电池,其中朝向源/接收器的所述蒸汽管线包括独立的入口蒸汽管线和独立的出口蒸汽管线,其中所述蒸汽管线中的每一个包括流量控制部件。

[0123] 5. 根据条款1所述的热能电池,还包括:

[0124] 被布置在所述蒸汽管线中的阀CV1,其控制高压(HP)蒸汽向入口的供应;

[0125] 被布置在所述蒸汽管线中的阀CV2,其控制来自出口的低压(LP)蒸汽的输送;

[0126] 具有阀CV3的管线,其用于将高压冷凝物注入所述蒸汽管线,具有所述阀CV3的所述管线用于源和过热器TES之间的温度控制以避免过热,或者对于没有过热器TES的实施例,用于所述源和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间的温度控制以避免过热;以及

[0127] 具有阀的排放管线,其被布置成来自所述液体管线。

[0128] 6. 根据条款1所述的热能电池,还包括:

[0129] 对于具有过热器TES的实施例,具有阀CV4的过热器旁路管线,所述过热器旁路管线被布置成用于旁通流过串联布置到所述蒸汽管线的所述过热器TES的蒸汽流的部分或全部;

[0130] 对于具有过热器TES的实施例,位于所述蒸汽管线中的阀CV5,所述阀CV5位于所述过热器TES和所述蒸汽管线与所述罐蒸汽管线的连接点之间。

[0131] 7. 根据条款1所述的热能电池,其中,所述ec-TES由固态材料组成并且是固态材料显热热能储存器,如果存在过热器TES的话,所述过热器TES由固态材料组成并且是固态材料显热热能储存器。

[0132] 8. 根据条款1所述的热能电池,其中,所述ST,至少所述ST的所述液体部分,位于与所述ec-TES的所述液体端相同的高度或更低的高度,优选地被水平地布置或者布置为并行的几个竖直罐。

[0133] 9. 根据条款1所述的热能电池,还包括:

[0134] 在所述ST内部的用于用电力充入的电阻加热元件;

[0135] 优选地还包括通向所述ST的所述液体部分的液体管线,所述液体管线用于在充入期间供应液体;

[0136] 对于具有过热器TES的实施例,电过热器被布置在从所述ST的所述蒸汽部分到蒸汽接收器和所述过热器TES之间的所述蒸汽管线的管线中。

[0137] 10. 根据条款6所述的热能电池,其中,如果存在所述过热器TES的话,所述ec-TES和所述过热器TES包括:许多被紧密地布置的混凝土热能存储元件,所述混凝土热能存储元件具有管道热交换器,所述管道热交换器在所述元件的同一端或同一部分中完全被嵌入管道热交换器入口和管道热交换器出口之间的混凝土中;外壳,优选地为金属壳,是混凝土浇铸形式、环形铠装和流体泄漏限制器,其中所述元件被水平地定向但被竖直地堆叠,其中所述ec-TES的蒸汽管线处于较高或最高的高度并且所述ec-TES的液体管线处于较低或最低的高度。

[0138] 11. 一种操作根据条款1-10所述的热能存储电池的方法,其特征在于以下步骤:

[0139] 通过所述蒸汽管线从源供应高压蒸汽、较高压蒸汽来进行充入,其中通过关闭的或部分关闭的蒸发控制阀或者位于所述罐蒸汽管线中的止回阀来关闭或部分地关闭用于蒸汽的所述罐蒸汽管线,直至达到最大或所需的压力和温度,并且

[0140] 通过所述蒸汽管线将低压蒸汽、较低压蒸汽放出到接收器,所述放出能够至少通过所述蒸发控制阀控制,直到达到最小或所需的温度和压力。

[0141] 12. 根据条款11所述的方法,其中,放出由所述蒸发控制阀来控制,通过保持在饱和状态之上,以防止液体到达所述ec-TES的所述蒸汽端。

[0142] 13. 根据条款11所述的方法,其中,在所述蒸发控制阀关闭的情况下发生充入,由此在所述ec-TES中冷凝的蒸汽的全部或大部分通过自然过程在所述ST中积聚为液体。

[0143] 14. 根据条款11所述的方法,其中,在所述蒸发控制阀打开并且止回阀安装在所述罐蒸汽管线中的情况下发生充入,由此在所述ec-TES中冷凝的蒸汽的全部或大部分通过自然过程在所述ST中积聚为液体。

[0144] 15. 一种根据条款1-10中任一项所述的热能电池的用途,所述热能电池用于存储来自源的热能并且将热能输送给接收器。

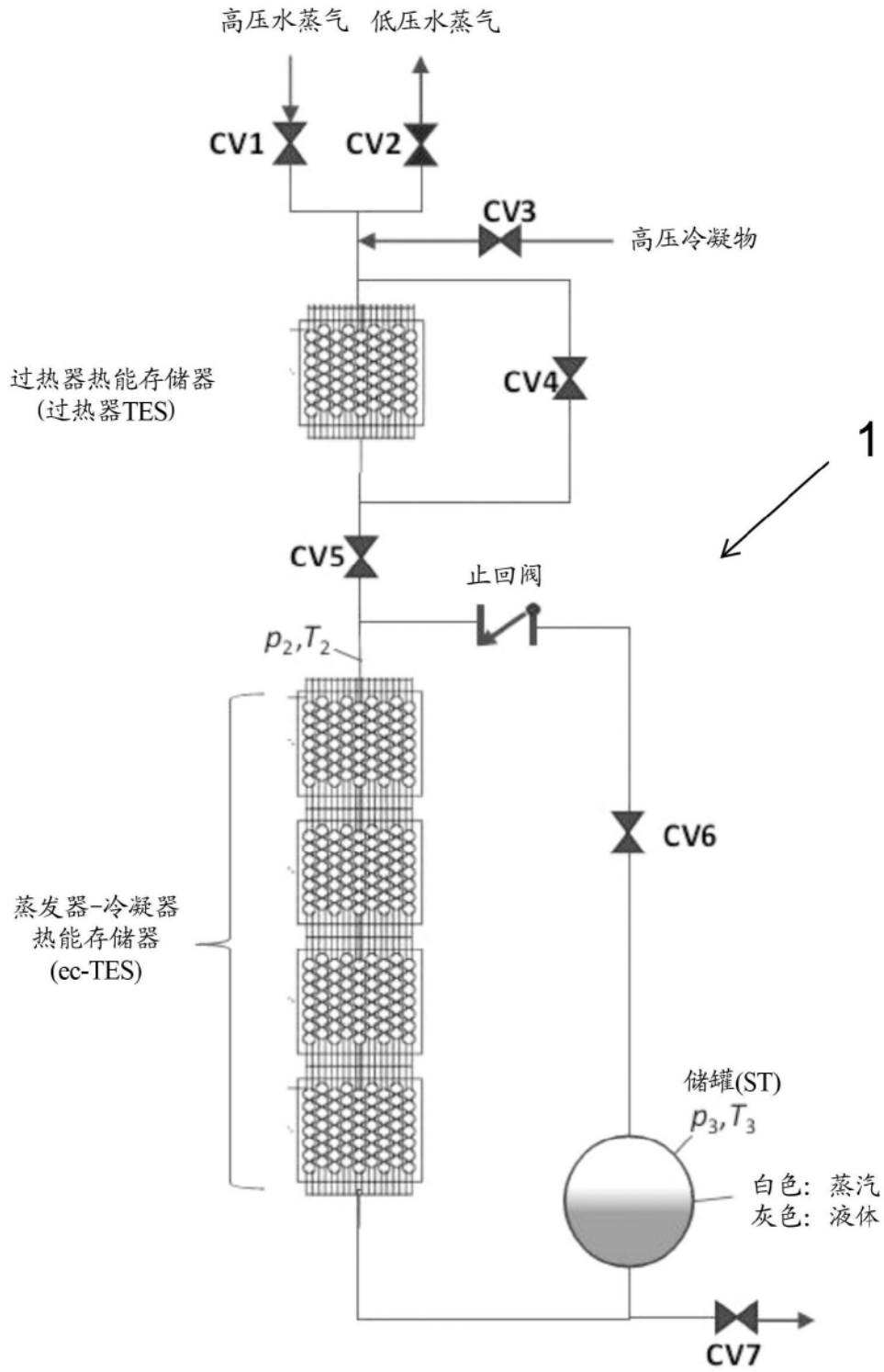


图1

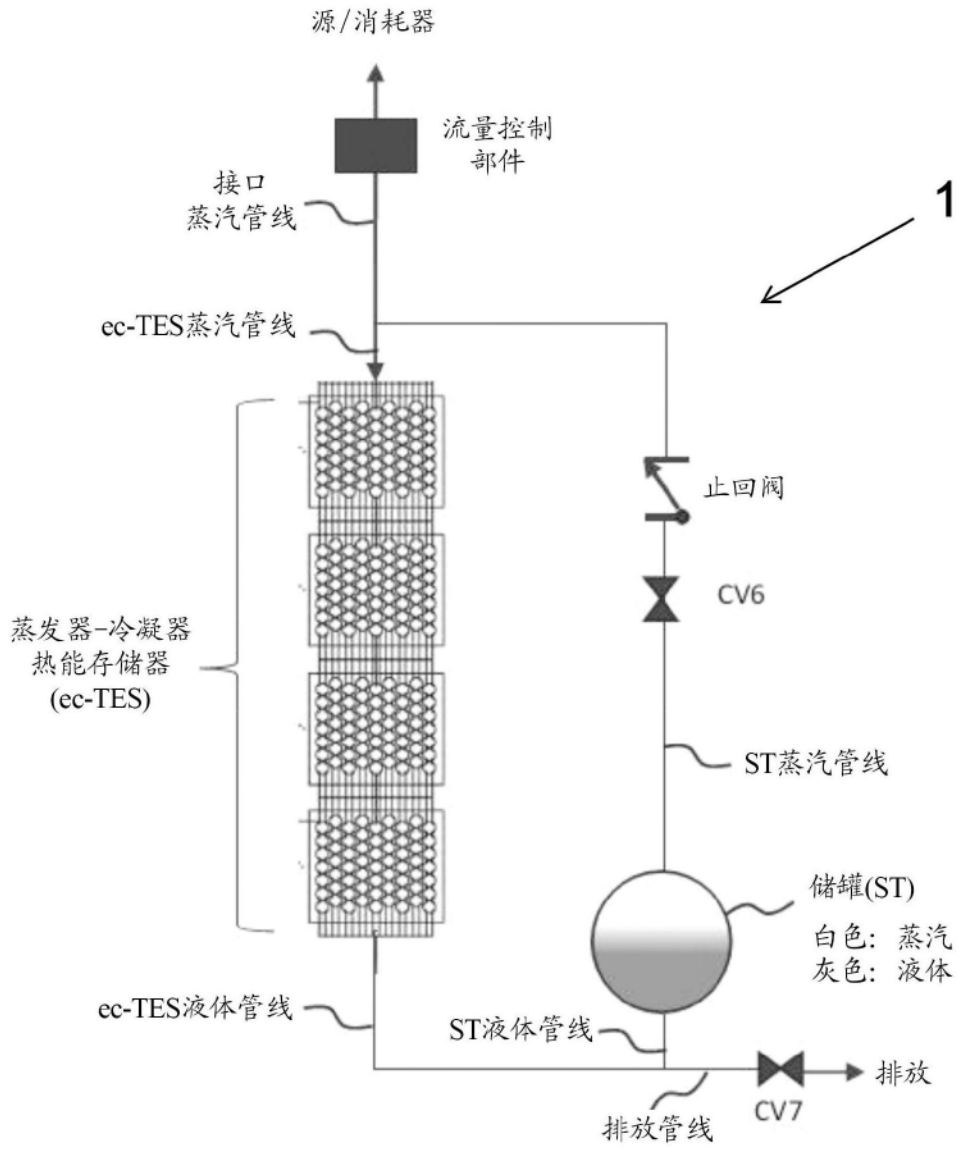


图2