



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104220695 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201380016388. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 01. 24

E21B 43/16(2006. 01)

(30) 优先权数据

E21B 43/12(2006. 01)

13/358, 820 2012. 01. 26 US

E21B 43/25(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 09. 24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/022884 2013. 01. 24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/112681 EN 2013. 08. 01

(71) 申请人 膨胀能量有限责任公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 戴维·班多尔

(74) 专利代理机构 北京邦信阳专利商标代理有

限公司 11012

代理人 贾博雍

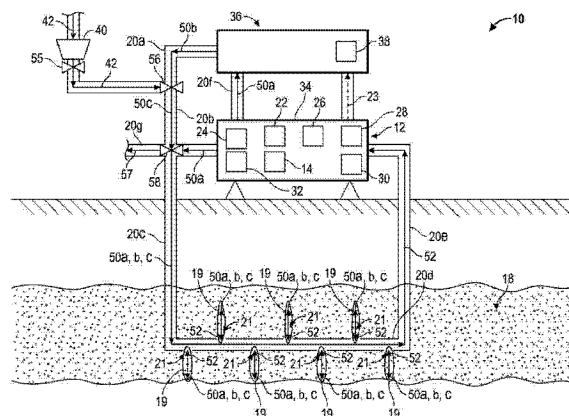
权利要求书2页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

非水力压裂系统、方法和过程

(57) 摘要

本发明提供了压裂地下地层的方法和系统，其包括将异临界相天然气泵入地下地层中，以在地层中形成或延伸一个或多个裂缝。方法和系统可进一步包括通过将更多的异临界相天然气泵入裂缝中来维持或增加地层中的异临界相天然气的压力，以使裂缝保持张开。方法和系统可进一步包括将支撑剂输送至地下地层中。所公开的方法和系统可被用于从地下地层提取烃，而无需使用液体。



1. 一种压裂地下地层的方法,其包括:  
将异临界相天然气泵入地下地层中,以在所述地层中形成或延伸一个或多个裂缝。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其进一步包括:  
通过将更多的异临界相天然气泵入所述裂缝中来维持或增加所述地层中的异临界相天然气的压力,以使所述裂缝保持张开。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其进一步包括将支撑剂输送至所述地下地层中。
4. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述支撑剂是被润滑的。
5. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述支撑剂经由热的压缩天然气被输送。
6. 如权利要求 5 所述的方法,其中通过对所述异临界相天然气进行泵送加压和加热来生产所述热的压缩天然气。
7. 如权利要求 5 所述的方法,其进一步包括释放所述压缩天然气的压力,从而所述支撑剂使所述裂缝保持张开。
8. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述裂缝在不使用水或其他液体的情况下形成并保持张开,并且所述支撑剂在不使用水或其他液体的情况下输送。
9. 如权利要求 8 所述的方法,其中压裂步骤和支撑剂输送步骤在不在于减轻液体使用的不利影响的化学添加剂的情况下进行。
10. 如权利要求 1 所述的方法,其中现场生产所述异临界相天然气。
11. 一种非水力压裂方法,其包括:  
将异临界相天然气泵入地下地层中,以在所述地层中形成或延伸一个或多个裂缝;和  
将支撑剂输送至所述地下地层中。
12. 如权利要求 11 所述的方法,其进一步包括维持或增加所述异临界相天然气的压力,以使所述裂缝保持张开。
13. 如权利要求 10 所述的方法,其中所述支撑剂是被润滑的。
14. 如权利要求 10 所述的方法,其中所述支撑剂经由热的压缩天然气被输送,通过对所述异临界相天然气进行泵送加压和加热来生产所述热的压缩天然气。
15. 如权利要求 10 所述的方法,其中所述裂缝在不使用水或其他液体的情况下形成并保持张开,而且所述支撑剂在不使用水或其他液体的情况下输送。
16. 一种非水力压裂系统,其包括:  
异临界相天然气供应装置;  
用于存储所述异临界相天然气的低温贮槽,所述低温贮槽流体连接至所述异临界相天然气供应装置;  
流体连接至所述低温贮槽的至少一个正位移装置;  
流体连接至所述至少一个正位移装置和所述低温贮槽的管道网络,其中至少一个管子延伸到地下地层中。
17. 如权利要求 16 所述的系统,其中所述异临界相天然气供应装置包括被构造为通过压缩和制冷将天然气转化成异临界相天然气的现场天然气设施。
18. 如权利要求 16 所述的系统,其中异临界相天然气流经所述管道网络进入所述地下地层中,从而所述异临界相天然气在所述地层中形成或延伸一个或多个裂缝。
19. 如权利要求 18 所述的系统,其中所述至少一个正位移装置增加了所述异临界相天

然气的压力,以使所述裂缝保持张开。

20. 如权利要求 18 所述的系统,其进一步包括支撑剂;

其中热的高压压缩天然气流经所述管道网络,并且所述支撑剂经由所述热的高压压缩天然气被输送至所述地下地层的裂缝中。

## 非水力压裂系统、方法和过程

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2012 年 1 月 26 日提交的美国申请 No. 13/358,820 的优先权,在此通过引用将其全部并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开内容涉及用于增加地下烃地层的可渗透性,从而提高提取这些烃的能力的非水力压裂系统和方法。

### 背景技术

[0004] 烃资源,如石油和天然气(“NG”),常常被发现于地下的“致密的”地质地层(例如砂岩或页岩)中。这些都需要“非常规”的钻井和完井技术,包括含烃的地质层的“压裂(fracturing)”,以允许那些烃被释放用于回收、处理、储存和分配。现有的压裂方法是水力的,也就是说,它们使用用于压裂以及用于将支撑剂输送至压裂处(fractures)的液体。

[0005] 然而,水力压裂方法受很多显著缺点的影响。目前在标准水力压裂中使用的液体(例如,在环境温度下化学改性的或处理过的水和/或低温液氮)产生被污染的液态水或含氮的气态甲烷的废物流。更具体地,使用水或氮导致了压裂流体与烃二者的污染(或不期望的混合),并且使用氮或液态二氧化碳需要发泡剂。

[0006] 所述废物流和被污染的混合物需要被处理,而充分的清洗以及适当地处置“用过的”水力压裂流体的成本在经济方面和环境方面都大大增加了水力压裂的成本。如果清洗没有被合适地完成,则水力压裂对环境的损害可能是不利的,导致管理者和/或政策制定者为回应公众的担忧而限制水力压裂的使用,正像现在一些地区已经出现的情况。水力压裂也常常导致显著的甲烷排放(甲烷是一种比 CO<sub>2</sub> 更加破坏环境的温室气体),并且可能需要用于减轻这些排放的复杂设备。

[0007] 此外,一些现有的水力压裂技术是能源和资本密集型的。例如,使用液氮需要设置用于空气分离的设施,该设施使用深度制冷以液化环境空气,然后使其分解得到氮。使用氮用于压裂通常需要大量的能量输入以实现氮的液体状态。此外,当氮(或更精确地说,液氮)被泵至高压时,如更深地层的压裂所需的那样,则发生相转变,使 N<sub>2</sub> 从其液体形式转变至其气体状态,而支撑剂在这些条件下的输送将成为问题。

[0008] 因此,需要一种不使用液体的有效压裂方法。还需要更节能的压裂过程。进一步需要不产生要求艰难的清洗措施的污染废物流的压裂方法。还进一步需要一种压裂方法,该方法通过避免使用水(烃不与其相互作用)来增加对来自地下地层的烃的回收。因此,需要非水力压裂系统和方法,其是不那么能源密集的、不需要用于压裂和输送支撑剂的液体、不给压裂过程增加污染物或废弃物,并且具有提高烃回收的潜力。

### 发明内容

[0009] 通过提供使用亚临界相(subcritical phase)天然气(其在下文中可以被称为

“异 NG (meta-NG)”) 作为压裂和支撑剂输送介质的非水力压裂系统、方法和过程,本公开内容的实施例在很大程度上减轻了已知的压裂方法的缺点。气体的异临界相是这样一组条件,其中所述气体位于其临界压力之上并且比其临界温度冷。被泵至高压的异 NG 用于在地下地层中形成或延伸裂缝并使这些裂缝保持张开以释放包含在这些地层中的烃。异 NG 被泵至高压、被加热并用于将合适的支撑剂输送至地下地层中的裂缝。

[0010] 示例性实施例包括压裂地下地层的方法,该方法包括将异 NG 泵入地下地层中以在地层中形成或延伸一个或多个裂缝。可现场生产所述异 NG。方法还可以包括通过将更多异 NG 泵入裂缝中来维持或增加地层中的异 NG 的压力,以使所述裂缝保持张开。在示例性实施例中,通过所述异 NG 将支撑剂输送至地下地层中。所述支撑剂可以是被润滑的并经由高压下的热的压缩天然气 (“CNG”) 输送。

[0011] 在示例性实施例中,通过将所述异 NG 泵送加压和加热来生产高压的热 CNG。示例性方法还可以包括释放所述 CNG 的压力,使得所述支撑剂独自使裂缝保持张开。在示例性实施例中,所述裂缝在不使用水或其他液体的情况下形成并保持张开,并且所述支撑剂在不使用水或其他液体的情况下输送。此外,压裂步骤和支撑剂输送步骤可在不存在用于减轻液体使用的不利影响的化学添加剂的情况下进行。

[0012] 非水力压裂方法的示例性实施例包括将异 NG 泵入地下地层中以在地层中形成或延伸一个或多个裂缝,以及将支撑剂输送至地下地层中。该方法可进一步包括维持或增加异 NG 的压力以使裂缝保持张开。在示例性实施例中,所述支撑剂是被润滑的,并且所述支撑剂可以经由对异 NG 进行泵送加压和加热而产生的热 CNG 输送。通过使用本文所公开的方法的示例性实施例,所述裂缝在不使用水或其他液体的情况下形成并保持张开,并且所述支撑剂在不使用水或其他液体的情况下输送。

[0013] 非水力压裂系统的示例性实施例包括异 NG 供应装置、用于存储异临界天然气的低温贮槽、至少一个正位移装置 (例如,泵或压缩机) 和管道网络 (该管道系统可包括油井套管和 / 或接合剂 (cement))。所述低温贮槽被流体连接至所述异 NG 供应装置,并且所述正位移装置被流体连接至所述低温贮槽。所述管道网络被流体连接至所述至少一个正位移装置和所述低温贮槽,并且至少一根管子延伸到地下地层中。在示例性实施例中,所述异 NG 由被构造成通过压缩和制冷的适当平衡将天然气转化成异 NG 的现场天然气设施供应。如本公开内容全文所讨论的那样,所述异 NG 可以由从地下地层返回至地上 NG 设施的 CNG 生产。

[0014] 示例性的系统被配置为:使得所述异 NG 流经管道网络进入地下地层,从而使所述异 NG 在地层中形成或延伸一个或多个裂缝。所述至少一个正位移装置增加了异 NG 的压力以使裂缝保持张开。该系统可进一步包括容纳在储存容器、料斗和 / 或允许支撑剂加入异 NG 的其他设备中的支撑剂,从而所述异 NG 能够将支撑剂输送至地下地层中的裂缝。在示例性实施例中,热的高压 CNG 流经管道网络,并且支撑剂经由热的高压 CNG 被输送到地下地层的裂缝中。

[0015] 因此,可以看出本发明提供了非水力压裂系统、方法和过程。所公开的非水力压裂系统和方法不需要用于压裂和输送支撑剂的液体,因为它们使用用于压裂地下地层的异临界相天然气以及使用由异临界相天然气生产的 CNG 作为支撑剂输送介质。所公开的系统和方法不会给压裂过程增加 (或造成) 污染物或废弃物并且是不那么能源密集的。通过阅读

下文详细的描述内容以及附图将会理解这些和其他特征和优点,在所有附图中相似的附图标记表示相似的部件。

### 附图说明

[0016] 结合附图一起研究下文的详细描述,本公开内容的上述目的和其他目的将是不言自明的,在所述附图中:

[0017] 图 1 是甲烷的相图,其作为天然气的相图的相似物;以及

[0018] 图 2 是根据本公开内容的非水力压裂系统的一个实施例的框图。

### 具体实施方案

[0019] 在下面的段落中,将参照附图以示例的方式详细地描述实施例,所述附图不按比例绘制,并且例示的部件不一定是彼此成比例地绘制。在整个说明书中,示出的实施例和示例应该被视为范例,而不是对本公开内容的限制。如本文所使用的,“本公开内容”是指本文所描述的任一实施例和任何等同物。此外,在整个申请文件中对本公开内容的各个方面的引述并不意味着所有要求保护的实施例或方法必须包括所引述的方面。

[0020] 总的来说,本公开内容的系统和方法的实施例——被称为 Vandor 冷冻气体提取 (“VRGE”)——使用低温非液体的异临界相天然气,用于非水力压裂和 / 或作为非水力压裂过程中的支撑剂输送介质。异 NG,其有时也被称为“冷的压缩天然气”或“泵送的液态天然气”,是处于异临界相的天然气。如图 1 所示,在相图上,发现流体的异临界相位于流体的临界压力之上,比流体的临界温度冷但不在固相之中。在图 1 上,所述异临界相位于液相之上、超临界相的左侧以及固相的右侧。正因为如此,异临界相流体不是真正的液体,但会表现得很像液体,最重要的是,它们可以通过液体泵(包括往复泵)以及其他这样的正位移装置被泵至更高的压力。异临界相流体的密度可以与所述流体的液相的密度几乎一样稠密(并且有时甚至更稠密)。异临界相流体不“沸腾”,因为它们位于液相之上,并且它们不需要被“冷凝”,从而允许泵送,因为它们是足够稠密的(甚至作为非液体)以至被泵“视”为液体。

[0021] 作为概述,所公开的非水力压裂系统和方法的实施例将泵送加压的低温异 NG 通过管道网络向下发送至地下地层,以在地层中形成或延伸裂缝。异 NG 在井场处由附近的管道煤气或由附近的(以前完成的)天然气井产生,而不是作为液化天然气 (“LNG”) 或液化石油气 (“LPG”) 被输送到现场。异 NG 可以通过各种已知的泵送装置被泵至任何期望的压力,将足够高的流体压力和“热冲击 (heat shock)” 输送至地下地层,从而压裂地层。

[0022] 当地层“塌陷”(或压裂)时,如地上压力监测设备所指示的那样,通过地上的泵增加压力,从而使裂缝保持张开,然后通过热的 CNG 引入和输送支撑剂。所述输送是可能的,因为异 NG 可以被泵至高压,然后被加热以产生高压 CNG 流,所述高压 CNG 流将携带支撑剂进入通过先前向下发送的异 NG 形成或延伸的裂缝中。理想的支撑剂将通过熟悉当地情况和一系列可获得的支撑剂(包括砂砾或人造支撑剂(如陶瓷球))的现场专家进行选择。支撑剂可以是被润滑的,有利于它穿过管道的输送,并避免了管道的冲刷。

[0023] 被润滑的支撑剂通过热的高压 CNG 而不是异 NG 进行输送。在输送支撑剂之后,压力可以被释放,略微使地层松弛,但裂缝将通过支撑剂保持张开,使先前向下发送的天然气

和地层中的天然气混合,并作为一个流上升至地面。在压裂过程的早期阶段中,包括输送支撑剂之前,那些返回的 NG 将被重新压缩和重新冷却以形成更多的异 NG,然后被重新循环以推进所述压裂过程。因此,用于产生所述异 NG 的 NG 将是先前向下发送的异 NG 和任何通过被压裂的地层释放的 NG 的混合物。

[0024] 对相、温度、压力和功能各不相同的所公开的实施例中的 NG 流列举如下。在本文中用数字 50a 表示异 NG;在本文中用数字 50b 表示热的高压 CNG;在本文中用数字 50c 表示 CNG- 支撑剂流。在不同的时间且出于本文中所详细描述的不同目的,将这三个流向下发送至地下地层中。在本文中用数字 52 表示从地下地层返回至地面的回流 CNG 流。

[0025] 转至图 2,将描述非水力压裂系统的一个示例性实施例。非水力压裂系统 10 包括供应异 NG 的子系统 12、用于存储所述异 NG 的低温贮槽 14 以及将地上设备连接到地下地层 18 的管道网络 20a-20g。异 NG 供应设备 12 包括一系列生产设备,其可以包括部件的不同组合,所述部件例如原动机 22(它可以是任何合适的发动机)、压缩机 24、冷却器 26、气体干燥器 28、一个或多个异 NG 热交换器 30,以及低温泵 32,以及任何其他部件,包括但不限于阀、传感器和膨胀机,它们一起组成了能够生产稠密相异 NG 的天然气设施 34。至少一个正位移装置也被包括在所述设备中,即,压缩机 24 和低温泵 32 用作正位移装置,以将所述异 NG 穿过管道 20b-20c 输送至地下地层 18 中。然而,应当注意,所述正位移装置可以是引起流体移动的任何装置,捕获固定量的流体,然后迫使(即移走)被捕获的量的流体进入排放管,所述正位移装置包括但不限于正位移泵,如往复泵,或被构造成执行“泵”工作的压缩机(例如螺杆式压缩机)。

[0026] 低温贮槽 14 经由一个或多个管道或其他导管流体连接到异 NG 供应设备 12,从而可以将产生的异 NG 存储备用。接着,一个或多个正位移装置(即,压缩机 24 和低温泵 32)流体连接到低温贮槽 14 和异 NG 供应设备 12。最后,管道网络 20a-20f 与所述正位移装置(即,压缩机 24 和低温泵 32)流体连接,所以它们可以有效地将异 NG “泵”入管道中。虽然多种配置是可能的,但在一个示例性实施例中,正位移装置(压缩机 24 和低温泵 32)被连接到管道 20b 和 / 或管道 20c。

[0027] 异 NG 供应设备 12 可以被部署成位于含有天然气(和 / 或油或冷凝物)的地下地层之上的单个单元,并使井紧邻输送异 NG 的天然气设施 34,和 / 或使另一井离开一定距离,充当“甲烷提取气孔”,其中任何热的 NG 将返回到地面。通过地面(或近地面)NG 管道将第二井连接回至第一井和所述异 NG 供应设备 12,完成“环路”。所述环路(其将包括多个压力释放阀)将允许压力在地下地层中积聚,并且将通过集成阀实现快速的压力下降。这种快速的压力下降将导致由“环路”服务的甲烷在地下裂缝中的冷却,且将起到形成地层的动态应力(因系统内 NG 的波动压力和快速冷却所导致)的作用,这将潜在地从地层中释放出更多的烃。

[0028] 一个变体可以具有相隔一定距离的两个(或更多个)异 NG 供应设备 12 配置,其通过异 NG 供应设备 12 部署之间的一个或多个地面安装的管道接头(connections)而被连接至宽阔的地下管道网络,以可提高地下地层的热冲击的方式实现来自多个方向的异 NG 注入以及热 CNG 注入的弹性区域,并将为释放出的甲烷上升到地面提供多个“阻力最小的路径”。

[0029] 所述地下管道的至少一部分在水平管子中可以具有穿孔 21,所述穿孔允许异 NG

50a 进入地下地层 18 中的裂缝 19。如下面更详细讨论的那样,可以提供双管设计,所述设计包括第一管和其周围的环带以及相隔一定距离的一对管。所述一对管可以在地面处彼此相连,并在该连接点处与异 NG 供应设备 12 相连。

[0030] 示出了地面之下的以及含烃地层中的管道,其中管子 20c 是输送用于压裂的异 NG 50a 以及后来的 CNG- 支撑剂流 50c 的垂直管道。在地面之下的一定深度处示出了穿孔的水平管道系统 20d(未按比例)。所述垂直的异 NG 管道可通过竖立管 20e 补给,这允许所述异 NG 50a(和后来的,释放出的气体、被蒸发的甲烷和 / 或回收的烃)返回至地面,如在本文中更详细讨论的那样,不加热低温管道,允许低温甲烷向下流动,而更热的被蒸发的甲烷向上流动。为清楚起见,在管子 20d 的远端处示出了自管子 20b 的一段距离。如果是这样的配置构造,则管子 20e 的地上部分将返回至异 NG 供应设备 12。

[0031] 示例性实施例可以采用图 2 中所示的双管设计。在此构造中,可发生异 NG 50a 的向下流动,同时作为被加热的 CNG 52 的回流,允许正被压裂的地下地层 18 快速冷却。双管设计的示例性实施例包括第一地上长度的管道(这里是管子 20a 和 20b),以及相隔一定距离的一对地下竖立管子 20c、20e,其中管子 20c 和穿孔的管子 20d 中充当异 NG 50a 和支撑剂 42 输送系统,并且管子 20e(位于例如约 200-500 英尺远的距离)与相同的地层形成“连通”,并充当允许返回的异 NG(作为热的回流 CNG52)加上任何从地层中释放出的 NG 上升至地面的“上升器”。管子 20e 和 20a 可以在地面处彼此相连,并在该连接点处与异 NG 供应设备 12 相连,从而允许来自管子 20e 的回流被重新冷却并被加压用于重新向下发送。在示例性实施例中,管子 20e 被流体连接至异 NG 供应设备 12,异 NG 供应设备 12 被流体连接至管子 20b。

[0032] 然而,管子 20e 可能正好位于与管子 20c 相同的井孔中。更可能的是,为了避免过度的成本,管子 20e 可以是围绕管子 20c 的环带。换句话说,可以采用同心管的布置,其中本文所述的不同形式的 NG 可以被向下发送至各个同心管中和 / 或 NG 可以在与向下发送至地下地层的 NG 不同的同心管中返回至地面。那些具有天然气回收系统的专业知识的人员可以对如何组织连接至水平管道的垂直管道作出不同的决定。

[0033] 示例性实施例还包括用于支撑剂输送过程的 CNG 系统 36。CNG 系统 36 包括部件的不同组合,所述部件例如 CNG 热交换器 38 以将高度加压的异 NG 50a 加热成高压 CNG 50b,以及阀和程序逻辑控制器。如本文中更详细讨论的那样,用于将被泵送加压的异 NG 加热成 CNG 的热源可以是来自原动机 22 的废热 23。如果需要的热量多于能够从原动机的废物流中回收的热量,则可以采用燃气点火的加热器(未示出)以补充现有的废热。还可以设置支撑剂料斗 40,其被流体连接到 CNG 系统 36 以将支撑剂 42 分发至离开 CNG 系统 36 的高压 CNG 流 50b 中。尽管为清楚起见作为独立的方块被描绘在图 2 中,但是所有的地上设备,包括异 NG 供应设备 12 和 CNG 系统 36,都可以作为单一的过程安装,而不区分异 NG 生产和 CNG 生产之间的差别。应当注意,图 2 示出一组可能的地上设备和地下的垂直管道和水平管道之间的关系。本领域的技术人员将可能发现其他几种布置,这是为本公开内容所预期的。

[0034] 在操作中,产生所述异 NG 的初步步骤由异 NG 供应设备 12 执行,并且可以通过任何已知的用于压缩和冷却 NG 的方法或系统来实现,从而将 NG 转化为异 NG 50a。制造异 NG 的过程包括对 NG 应用适当的温度和压力,并且在本文中对那些压力和温度参数进行了更详细的描述。公开的实施例的一个显著优点是,压裂介质可以在地下地层被开发的场所处



生产。更具体地,所述异 NG 50a 可以在井场处由附近的管道煤气或由附近的天然气井(其可以被“滞留”或者可以被连接至管道)生产,而不是作为 LNG 或 LPG 输送至现场。用于为原动机 22 提供燃料的进料气体和待被压缩并冷却至异 NG 的进料气体都将通过附近的 NG 井、附近的生产“伴生气体”的完成的油井、附近的管道、被输送至现场的单个批次的 LNG,或 NG 源的某些组合得到。然而,在初始启动后,向下发送至地下地层 18 中的异 NG 50a 中的大部分从目标地下地层产生或从经由管子 20e 返回至地面的 CNG 回收,不需要进一步异地输送 NG 或 LNG,并避免了对大型的现场储存容器的需求。对于许多部署而言,就近可获得的 NG 源将避免任何“输入”LPG 的需求。

[0035] 在一个示例性实施例中,用于压裂的异 NG 50a 通过异 NG 供应设备 12 生产并储存在低温的中等压力(例如,约 700-800psia)的贮槽 14 中。被存储的异 NG 用低温液体泵 32 或等效的正位移装置泵送加压。对于许多地下地层而言,这个压力将在约 4,000-12,000psia 的范围内,但是如果地层非常深,则可以大于此范围。如所理解的那样,在压裂领域中,较深的地层需要较高的压力。当向下发送高压 CNG 时,出于热冲击和/或输送支撑剂的目的,高压(被泵送的热量稍微加热)异 NG 50a 与环境温度进行热交换,低压的进料气体与异 NG 供应设备 12 热交换,冷却所述进料气体,并将流出的高压异 NG 加热为例如 30 °F 的 CNG。将所述进料气体冷却为异 NG 供应源有助于减少为产生更多的异 NG 50a 所需的工作。应当注意的是,所述异 NG 供应设备 12 为在任何温度(例如,比约 -150 °F 更冷)、在 700psia(或更大)的压力下生产异 NG 提供了灵活性,允许通过低温液体泵或等效的正位移装置将所述非液体、异临界相的天然气泵送至任何期望的压力(例如,高达约 12,000psia)。该方法避免了对使用压缩机以使冷甲烷达到高压的需要。

[0036] 所述异 NG 50a 离开异 NG 供应设备 12 并通过一个或多个正位移装置泵送加压。例如,低温泵 32 能将异 NG 50a 泵送至足以被向下发送至管子 20b-20d 中的压力,该压力将通常大于约 2,000psia。更具体地,压裂气体在管子 20a-20f 中的“环路”可以关于向下流动的异 NG 50a 的温度和压力以及关于该流动的持续时间变化。通过异 NG 供应设备 12 和正位移装置产生合适的流动速率,异 NG 50a 向下流入地面中,并经由竖直管 20c 流向地下地层 18。

[0037] 在一个示例性实施例中,在 2,800psia 或更大的压力下、在约 -170 °F 至 -220 °F 之间的温度范围内,泵送加压的异 NG 将被向下发送至地质地层,并且可能在地质地层中失去大量的压力,降至约 500psia,但是在地层中的裂缝内、在 -158 °F 下约 500psia 和 -197 °F 下 285psia 之间的条件下所述异 NG 形成部分 LNG。在另一个示例性实施例中,在 2,800psia 或更大的压力下以及约 -160 °F 至 -200 °F 之间的范围内,将泵送加压的异 NG 向下发送至地质地层,并且可能在地质地层中仅失去其一部分的压力,降至 700psia 或更大的压力并略有升温,已将其一部分的冷量释放至地质地层的“热冲击”。

[0038] 当异 NG 50a 经由阀 58 进入管子 20c 并从地上流至地下时,其会导致围绕一根或多根竖直管的地质以径向方式冻结,从而提供隔离的冷冻区。出于这个原因,无需隔离竖直管。一旦在地下地层 18 中,异 NG 50a 便通过如 21 所大致示出的穿孔离开管子 20d 并将高压和热冲击输送至地层 18。当地层 18 由于压力和冲击而压裂以形成或延伸裂缝时,地上的正位移装置便使所述异 NG 流上的压力增至使地层的裂缝保持张开(准备接收支撑剂)所需的压力。如上文所提到的,在约 4,000-12,000psia 范围内的压力是典型的,但该压力

将根据地层与含烃岩石的深度变化,非常深的地层需要更高的压力。为了维持在压裂过程中所积聚的高压,包括在管子 20e 上的控制阀将被设置为“插入”该管子中,并且不允许以逸出 NG 的方式引起压降。如压裂技术方面的专家所清楚的那样,压力积聚可以分阶段来实现,包括通过将部分井孔隔离。

[0039] 在这一点上,支撑剂 42 被输送至地下地层 18 中的裂缝 19。可以使用任何合适的支撑剂,包括但不限于砂砾、陶瓷、飞灰或者其他可能在将来被选择的这样的硬且光滑的材料。各种小尺寸的人造陶瓷球提供了均匀的、相对硬且光滑的支撑剂。此外,陶瓷球往往不会聚集在一起并堵塞裂缝,而且不会吸附被添加到支撑剂流的润滑剂。

[0040] 虽然砂砾是在水基(或基于  $N_2$  的)的水力压裂中使用的用于防止被扩大的裂缝再塌陷和闭合的标准支撑剂材料,但是其他颗粒状材料,如飞灰可能不适合于水输送(即,标准水力压裂),因为飞灰和水的组合会导致将限制 NG 流速的水泥样化合物。然而,应当注意的是,所公开的不使用水的实施例没有这样的限制。因此,示例性实施例可以使用砂砾和其他当以被润滑的方式输送时“流动”的小尺寸的、形状一致的硬颗粒作为支撑剂,它们是基本上非水性的,通过被集成在 CNG 设备 36 下游的适当设计的鼓风机输送。在示例性实施例中,所述支撑剂 42 由任何合适的无毒的和低成本的天然或合成的流体润滑,所述流体包括但不限于植物油或生物柴油。所述润滑剂用来使支撑剂 42 平顺地移动,通过管道以及进入地下地层时的摩擦低。

[0041] 被润滑的支撑剂 42 由热的高压 CNG 50b 输送。所述高压是由异 NG 的泵送实现。更具体地,CNG 将通过如下方式生产:将所述异 NG 50a 泵至高压、通过管子 20f 将其发送至 CNG 系统 36 中的热交换器 38,用于经由与 NG 流的热交换升温,从而冷却进料气体,其中来自原动机 22 的废热 23 将大致加热 NG,使其从异临界相转变为超临界状态,最终将异 NG 加热至 CNG。高压 CNG 流 50b 离开 CNG 系统 36,并且支撑剂料斗 40 通过阀 55 和 56 以受控的方式将支撑剂 42 分发至高压 CNG 流 50b 中。支撑剂 42 迎接管子 20a 中的高压 CNG 流 50b。所述热的高压 CNG 50b 将携带被润滑的支撑剂 42,很象空气在砂风暴中携带砂砾,但没有“喷砂”的研磨效果。

[0042] 然后 CNG-支撑剂流 50c 向下穿过管子 20b 和 20c 流动并且流过管子 20d,通过穿孔 21 离开以深入地流入每一个因压裂过程产生的最小裂缝中。应当注意的是,因为通过热的高压 CNG 输送,润滑剂(与支撑剂)不需要忍受深度冷却的输送条件,因此,润滑剂和支撑剂不需要完全为非水性的。此外,有利的是,将热支撑剂输送(由 CNG)至地下地层的裂缝不会导致冰晶或被润滑的支撑剂的冻结“团块”的形成。然而,高压 CNG 50b 可以足以冷至还提供乙炔冷冻粒子,所述粒子一旦加热便将在地下含烃地层中产生局部爆炸。这样的步骤可以用于在向下输送支撑剂之前改善压裂过程。

[0043] 在输送支撑剂 42 之后,CNG-支撑剂流 50c 上的压力能够得以释放,稍稍使地下地层 18 松弛。然而,通过支撑剂 42 使地层 18 中的裂缝 19 保持张开,允许先前向下发送的天然气和在地层内的天然气混合,并经由管子 20e 作为一个流上升至地面。应当注意的是,对于最佳的压裂、输送支撑剂和 NG 回收步骤的方案可以根据应用而变化,而且所述应用包括这样的因素例如地层的深度、在地层中的水平管道的长度、一种或多种目标烃,以及该地层的地质。

[0044] 在压裂过程中,所述异 NG 50a 是由地下地层 18 的环境热量加热,然后向上流过管

子 20e 或管子周围的环形空间,作为仍略被加压的升温的回流 CNG 52 返回至地面。返回(向上流动)的升温的回流 CNG 流 52(其将最终几乎完全由从地质地层释放出的 NG 构成)在其到达地面时最初将是热的,但是随着时间的推移将由于异 NG 供应设备 12 的缘故变得越来越冷。因此,当压裂持续时,地面的天然气设施 34 所需的能量输入会越来越少。在地面产生并作为越来越冷的回流 CNG 52 返回的深度冷却的异 NG 50a 的循环重复发生,直到所述压裂产生自由流动的 NG,这是在不需要将大规模的 LNG 输入现场,并且确实不需要任何用于压裂、输送支撑剂的液体或者用于减轻这样的压裂液体的影响的液体下完成的。在输送支撑剂之后,返回的 CNG 流 52 可能携带一定量的未被捕获在裂缝中的支撑剂。在输送至异地客户之前,这些颗粒会被从返回的气流中过滤掉。这种输送至异地客户可以通过管线或 LNG 或 CCNG 油罐。(“CCNG”是异 NG 的等同物,高于其临界压力并比其临界温度冷。)如果异地输送是低温的形式(LNG 或 CCNG),则现场的 CCNG 设备 34 将持续运作,甚至超出了压裂过程。

[0045] 如上所讨论的那样,当所述异 NG 在  $-170^{\circ}\text{F}$  至  $-220^{\circ}\text{F}$  的温度范围被泵至 2,800psia 或更大的压力时,所述压力随后降至约 500psia,但是在地层中的裂缝内,在  $-158^{\circ}\text{F}$  下约 500psia 和  $-197^{\circ}\text{F}$  下 285psia 之间的条件下,所述异 NG 形成部分 LNG。向下发送的异 NG 中没有一经压降便立即形成 LNG 的那部分会返回至地面,以再循环为异 NG,随后是形成 LNG 的那部分异 NG(在所述 LNG 通过地层中的热量蒸发之后)。

[0046] 当压力被稍微释放并降至天然气的临界压力(约 700psia)以下时,被液化成 LNG 的异 NG 将作为 LNG 的稍微更冷的液相渗入裂缝中,一经加热(通过周围的地层)或由于来自地上泵送设备的压力增加,LNG 将重新形成成为高压(异临界)蒸气,进一步扩大裂缝。就任何裂缝中的 LNG 形成来说,该裂缝会传播,因为液体将填充最小的裂纹,然后增加在那些点的压力,这是由于天然气的相态因来自相邻地质的热增益而从液态转变为气态。这种现象允许跨 NG 的临界压力对地层中的压力进行调节,从而“弯曲”所述地层并将 NG 的相转变(从异临界流体至液体并且返回)用作另一种用于延伸或加宽地层中的裂缝的另一“工具”。换句话说,VRGE 能够对地层造成热冲击,并通过允许 NG 在地层中跨相态地来回移动而引起疲劳裂纹。

[0047] 当在 2,800psia 或更大的压力下以及约  $-160^{\circ}\text{F}$  至  $-200^{\circ}\text{F}$  之间的范围内将泵送加压的异 NG 向下发送至地质地层时,其可能在地质地层中仅失去其一部分的压力,降至 700psia 或更大的压力并略有升温,已将其一部分的冷量释放至地质地层的“热冲击”。返回的 700psia 的 CNG 将不再是异 NG(因为它会比甲烷的临界温度热),但在 700psia 其将非常适合于再冷却成异 NG,而不需要压缩返回的流。在 NG 被用作制冷剂的实施例中,异 NG 设施 34 中的压缩机 24 将只需要压缩作为制冷的异 NG 供应过程的甲烷,而无需压缩成为异 NG 的“进料气体”,从而进一步减少了保持 VRGE 运作所需的能量输入。

[0048] 如上所提到的那样,可以在存在或不存在支撑剂时将热的高压 CNG50b 经由管子 20a-20c 向下发送至地下地层 18 中。在这种情况下,地面安装的异 NG 供应的制冷功能将被重新引导以生产高压 CNG 50b,(不产生伴随普通压缩的过度运行成本)并允许设备向下发送热的高压 CNG50b,对先前冷冻的地层产生冲击,将所述地层加热,然后当异 NG 50a(由相同的现在被重新引导的制冷设备产生)被向下发送时允许再次对所述地层产生冲击。更具体地,如果地下地层 18 的热冲击被认为是有效的,则热的高压 CNG 流 50b 会迅速遵循一个

时段的异 NG 50a 循环,并且这些步骤可以重复任意数目的次数。

[0049] 热的高压 CNG 50b 将在地质地层中循环,将地层的温度升向 600 °F (及以上),然后下迅速引入约 -200 °F 的异 NG,这将在地层中的条件和所述异 NG 之间产生约 800 °F 的温度变化。这些步骤可以重复任意数目的次数。一旦地下地层 18 通过异 NG 是足够冷的(冻结的),可以再次将热的高压 CNG 流 50b 向下发送至 20c 和 20d,对地层产生显著的热冲击,这将形成压裂,引起新的裂缝 19 的传播。在所述压裂被视为完成之后,管子 20a 将在适于驱使支撑剂 42 进入先前形成的裂缝 19 中的压力下输送装载了支撑剂的 CNG 50c。当压力被释放时,支撑剂 42 将保持在裂缝中,使所述裂缝保持张开并允许先前捕获的 NG 和其他烃(以及任何被 VRGE 使用的热的高压 CNG 50b)在管子 20e 中返回至地面。

[0050] 可以通过天然气设施 34 对升温的回流 CNG 52 再利用,用于重新制冷和压缩,如果需要的话,则再次成为异 NG 50a。更具体地,接近环境的高压气体,现在为 CNG 50b,其通过回收的压缩热被进一步加热,所述压缩热导致进料气体在异 NG 供应设备 12 中的压缩,使热的高压 CNG 50b 的温度升至高于 150 °F。热的高压 CNG 50b 的进一步加热可以通过从异 NG 供应设备 12 的原动机 22(发动机或燃气轮机)回收的废热或通过使用 NG 点火的加热器或其他热源来实现。在低温缓冲容器中产生并暂时储存的异 NG 50a 可以被泵送加压,进行“冷回收”(在被加热前从异 NG 中回收),进一步加热到高于约 600 °F,并在压力下向下发送至地下地层,以在通过高压、冷的(约 -200 °F)异 NG 对地层产生热冲击之前提高地层的温度。

[0051] 地下地层 18 中的冷的加压的异 NG 50a 可以被允许“压降”(通过地面的阀释放),这可能会导致 LNG 地层的凹陷(pockets)。在压降过程中将不会发生甲烷排放,因为低压 NG 将被返回至异 NG 供应设备 12 中的压缩机用于再压缩和制冷,得到异 NG。异 NG 50a 的冷量可被回收,以使得所述制冷产生更多的异 NG。然后将新的异 NG 50a 再次通过地下地层 18 向下发送至管子 20b 和 20c,以重复循环,这可以进一步重复任意数目的次数。通过每个这样的循环中,对地下地层 18 产生热冲击,并且所述异 NG 50a 将进一步行进到扩大的裂缝中。

[0052] 冷发送和热返回的循环可以被重复多次,唯一的运行成本是由所述异 NG 供应设备 12 产生的制冷。这些运行成本基本上将低于从异地(通常远距离的)的源购买 LNG 和将所述 LNG 输送到井场的成本。更具体地,所产生的异 NG 的绝大部分都能够用于压裂过程中,其中很小的百分比被用作燃料来运行异 NG 供应设备 12。例如,每百个单位的通过异 NG 供应设备 12 处理的天然气中,约 80 至 95 个单位将是为持续的压裂所生产的异 NG,只有约 5 至 20 个单位将被用作燃料来运行异 NG 供应设备 12。当压裂持续时,返回的 NG 会随着每次循环越来越冷,从而使对于作为运行设施的燃料消耗掉的每 5 个单位的 NG 而言,异 NG 供应设备 12 产生多达 95 个单位的异 NG。

[0053] 重要的是要注意到所公开的系统和方法中没有液体、甚至没有 LNG 被直接送入井中或送入地下地层中是很重要的。任何可能在水平管 20d 附近的地层深处中找到的水分将在向下发送异 NG 的过程中冻结,作为冰膨胀并帮助压裂地层。地层中任何这样的水分或任何甲烷水合物将在支撑剂输送过程中蒸发并且将在管子 20e 中上升至地面,作为到达异 NG 供应设备 12 的回流 NG 52 中的一小部分。在示例性实施例中,该设备可包括干燥器和 CO<sub>2</sub> 去除系统,如分子筛。较重的烃,如丙烷、乙烷、丁烷等可以在异 NG 供应设备 12 中分离(通

过制冷),并以液体形式独立于 NG 被输送至市场。还应当注意的是,只有用于压裂(以及用于支撑剂输送)的初始 NG 以及被释放的烃(无论 NG、油或冷凝物)返回至地面。

[0054] 被回收的/释放的 NG 流 57(和/或油或凝物流)是从本文所述的压裂过程和系统的实施例中回收的有价值的产品,并且,因此是 VRGE 的主要目标。NG 的温度和压力可以被校准至这样的模式,通过该模式将其从 VRGE 部署带到市场。例如,如果现场并不邻近 NG 管线,那么 NG 流 57 可以是 LNG(或异 NG),适于在低温容器中输送并经由管子 20g 输送至这样的容器。但是,如果井邻近管线,那么 NG 流 57 可以在任意合适的压力和温度下的 NG,并会经由管子 20g 输送。NG 越冷,则在任意给定压力下其将更加稠密,并且该密度对气体的温度比对气体的压力更为敏感。

[0055] 一旦地下地层 18 开始释放先前捕获的 NG,则现场的异 NG 供应设备 12 能够继续提供有用的功能。它可以从回收的 NG 产生 LNG(或异 NG),允许将被回收的 NG 输送至市场(在油罐卡车、拖车、有轨车或船舶中),甚至在没有管线的情况下。如果井位于或靠近天然气管线,则可以使用异 NG 供应设备 12 超出其压裂和输送支撑剂的功能,以通过压缩和冷却被回收的 NG 来增加被回收的 NG 流的密度,从而允许任意给定尺寸的管线带走更多的天然气。换句话说,用于压裂和输送支撑剂的设备可以被移动到新的井场以持续其压裂功能,或者它能够保持在其原来的位置,提高被回收的甲烷的密度,以便它能够更有效地被送至市场,同时增加带其走向市场的管线的容量,并且还提供可以被用来从 NG 流分离出较重的烃(丙烷、乙烷、丁烷等)的制冷。

[0056] 如上所提到的那样,公开的使用异 NG 传播新裂缝并扩大现有裂缝的非水力压裂的系统和方法将不会导致任何甲烷释放到大气中。即使在含大量的烃(包括甲烷)的深层地下烃地层的背景下这也是真实的,所述大量的烃通过覆盖层(overburden)已经被包含了数千年。相反地,在受控条件下(其中通过异 NG 供应设备 12 将所述甲烷重新冷却和/或引入将甲烷输送至客户的邻近管线(或 LNG 油罐卡车、船舶或其他 LNG 容器)中),压裂含烃地层 18 的低温甲烷将使被捕获的甲烷(连同在压裂中使用的任何甲烷)通过网络管道 20 上升至地面安装的设备。

[0057] 所公开的非水力压裂系统和过程可以通过附近的管线接入部署在井场,允许待输送至市场的 NG 以标准方式流动。或者,在离管线非常远的位置,VRGE 实现了被释放的甲烷的现场液化(或异 NG 生产),从而允许这些位置的井获得回收的产品以便在油罐卡车/拖车或船舶中输送至市场,即使在没有管线的情况下。当通过管线输送 NG 时,VRGE 将允许更大量的甲烷被输送,因为异 NG(以及甚至适度冷的 NG)具有远大于标准 NG 的密度,从而增加了这样的管线的容量。如果该产品是更稠密的,则给定直径的管线将携带更多的产品(以英镑(1bs)和英热单位(BTUs)计)。

[0058] 所公开的 VRGE 的实施例也适用于“管线质量(piping quality)”气田和适用于含有较高浓度的 CO<sub>2</sub>、水、N<sub>2</sub> 或重质烃的气体,因为 VRGE 可以包括从回收的 NG 去除非甲烷成分所需的任何程度的清洗。(通过水或液氮的水力压裂不提供该选项。)许多用于“剔除”CO<sub>2</sub>、水、N<sub>2</sub> 和重质烃的技术涉及制冷的使用。VRGE(使用地面的异 NG 生产系统)可以将其制冷容量的一部分(以及低级的“废弃”制冷输出)分配给那些剔除过程。事实上,常常被发现于 NG 流中的重质烃(通常被称为天然气液体(“NGLs”),并且包括丙烷、丁烷、异丁烷、戊烷和乙烷)具有实质性的市场价值(有时大于从相同的 NG 流中获得的甲烷的价值),而且

使用 VRGE 中所固有的致冷以分离这些待售至市场的重质烃将是 VRGE 的示例性实施例的一部分。

[0059] 对于位于超出与现有 NG 管线的成本有效连接的范围 (reach) 的含烃地层,位于邻近的管线具有有限容量的含烃地层,或者位于与终端客户处的产品价格相比 NG 的价格相对较低的含烃地层而言,用于回收的甲烷的最佳解决方案是将其液化,并在 LNG 油罐卡车(或船舶)中将其作为“增值”产品输送至管线系统之外的市场。所公开的实施例允许产生压裂流体的相同的异 NG 设施也是 LNG/ 异 NG 生产设施,所述 LNG/ 异 NG 生产设施可以将回收的甲烷转化为 LNG 或 CCNG 并被引入天然气管线网络之外的市场(经由油罐卡车或船舶)。

[0060] 还应当理解,所公开的非水力压裂的系统和方法可以适于在含有油和 / 或冷凝物的致密的地质地层中使用。关于什么时候使用异 NG(用于压裂),什么时候以及在什么温度下向下发送支撑剂,并且什么时候使用热的 CNG 以诱导油和 / 或冷凝物的流动,这样的部署将具有不同系列的方案。到达地面的液态烃将包括悬浮在液体中的“伴生的”NG,这将被允许使液体“沸腾”,从而可以与其分离。来自这种部署的输出将包括原油和 / 或液体形式的冷凝物以及能够被冷却至异 NG 或 LNG 的 NG。

[0061] 当被应用于包含比天然气更多的油的地层时,VRGE 的实施例将与交替向下的异 NG 流和热的 CNG 流一起使用,对地层产生热冲击,并输送压力,但最终步骤是通过与热的 CNG 流一起使用以诱导先前被捕获在地层中的液态烃(例如,油)的流动。上升的油将含有一定量的 CNG,其将通过众所周知的手段(如井场热处理器)分离,其中被回收的甲烷和其他气态烃用于为设备提供燃料,或作为 NG/LNG/ 异 NG/LPG/NGLs 异地发送至寻求这些产品的市场(包括天然气处理工厂)。

[0062] 因此,可以看出,提供了非水力压裂系统、方法和过程。应当理解的是,任何前述的构造和专门的部件可以与前述实施方案的任何装置或系统互换使用。尽管上文中描述了示意性实施方案,但是可以在不脱离本公开内容的范围进行各种变化和改进,这对于本领域技术人员将是显而易见的。它的目的是所附的权利要求将覆盖所有这些落入本公开内容的真实宗旨和范围内的变化和修改。

甲烷和天然气的相图

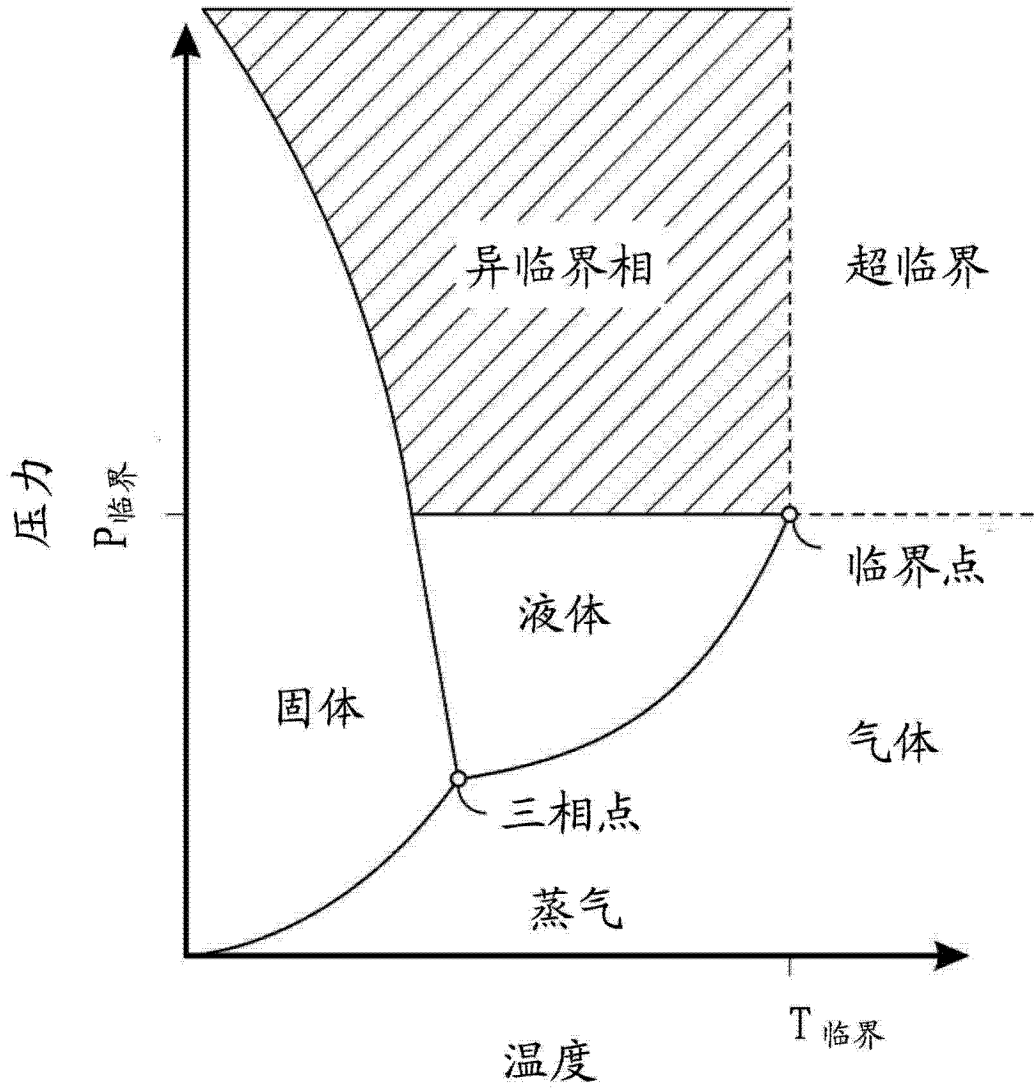


图 1

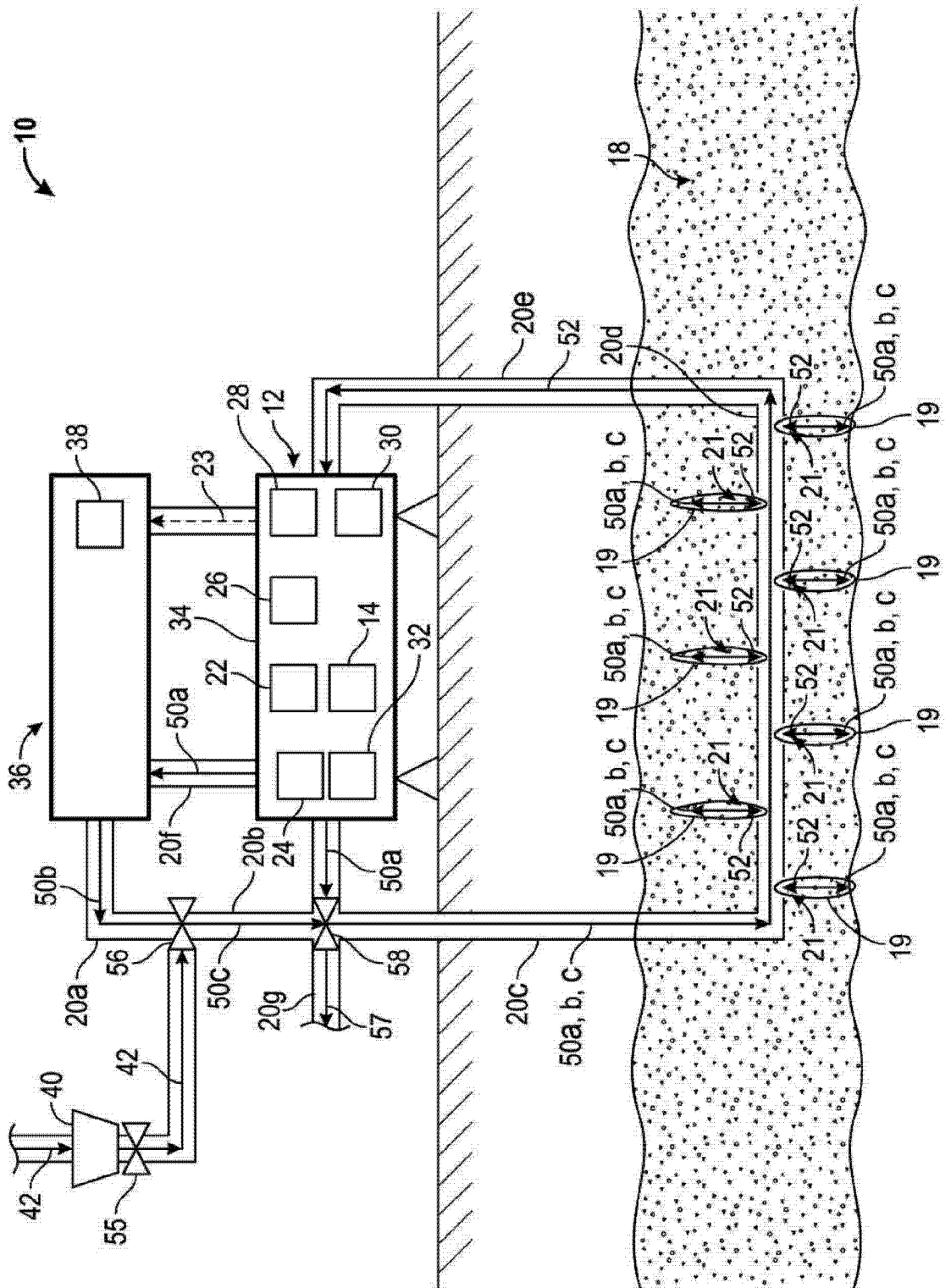


图 2