



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108698951 B

(45) 授权公告日 2021.09.28

(21) 申请号 201680071348.7

(22) 申请日 2016.10.07

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108698951 A

(43) 申请公布日 2018.10.23

(30) 优先权数据
62/239,369 2015.10.09 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.06.06

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2016/055912 2016.10.07

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/062721 EN 2017.04.13

(73) 专利权人 斯图尔特·L·保尼斯
地址 美国纽约伊萨卡高地路914号
专利权人 迈克尔·T·凯齐里安

(72) 发明人 斯图尔特·L·保尼斯
迈克尔·T·凯齐里安

(74) 专利代理机构 深圳鹰翅知识产权代理有限公司 44658

代理人 黄幸兒 高杰

(51) Int.Cl.
C07C 1/12 (2006.01)
B01J 8/00 (2006.01)
C10G 2/00 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2014100295 A1, 2014.04.10
US 6028234 A, 2000.02.22
US 2010048963 A1, 2010.02.25
US 2006272805 A1, 2006.12.07
US 2010325955 A1, 2010.12.30
JP 2004010686 A, 2004.01.15
US 2008135257 A1, 2008.06.12
US 7255540 B1, 2007.08.14
US 2013041049 A1, 2013.02.14
US 5827357 A, 1998.10.27
US 2012160839 A1, 2012.06.28

审查员 王艳君

权利要求书2页 说明书13页 附图5页

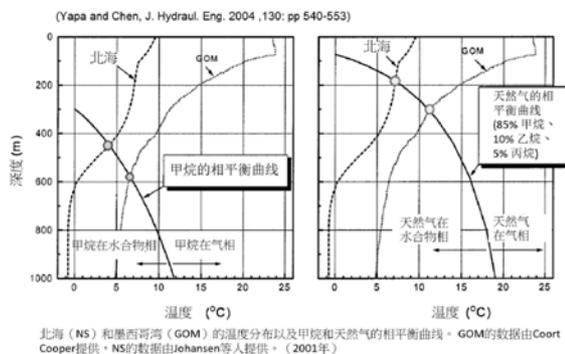
(54) 发明名称

用于从水下环境中提取滞留气体,将其转化为笼合物,并安全输送以供消耗的方法和系统

(57) 摘要

本发明提供了用于从地下环境(例如海底下)中提取滞留气体(例如天然气或氢气)或油与天然气的混合物并将其转化为诸如笼合物的固体水合物的方法和系统,包括a)提取滞留气体(例如天然气或氢气)或油与天然气的混合物;b)任选地在第一储罐或容器中将天然气从油与天然气的混合物中分离出来;c)将滞留气体输送到第二储罐或容器;d)将海水引入第二储罐或容器;e)混合滞留气体和水以形成笼形水合物/水浆;f)从笼形水合物浆中除去多余的水以形成包括笼形水合物的固体;和g)将包括笼形水合物的固体处理成可输送形式;和h)任选地将气体收集

到可运输的容器中。



1. 一种从地下环境中油和气的烃类储层中提取天然气的方法,包括以下步骤:
 - (a) 任选地在海底钻井以提取作为油与天然气的混合物的烃;
 - (c) 在分离器中将油从天然气中分离出来;
 - (d) 任选地将油输送、泵送或管道输送至海面;
 - (e) 清理碎片的天然气;
 - (f) 将天然气输送、泵送或管道输送到海底气体/笼形水合物处理设施中;
 - (g) 转化天然气以使其形成固体水合物;
 - (h) 将固体水合物集合在适于将固体水合物输送到海面的运输容器中。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括i) 在海面将运输容器清空以注入到更大的输送载体中,以输送至目的地以转化回天然气。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括i) 将含有固体水合物的运输容器输送到目的地以转化回天然气。
4. 一种从地下环境中的天然气水合物储备中提取天然气的方法,包括:
 - (a) 任选地在海底钻井以提取作为天然气的烃;
 - (b) 清理碎片的天然气;
 - (c) 将天然气输送、泵送或管道输送到海底气体/笼形水合物处理设施中;
 - (d) 转化天然气以使其形成固体水合物,并产生热;
 - (e) 将固体水合物集合在适于将固体水合物输送到海面的运输容器中。
5. 根据权利要求4所述的方法,还包括f) 将由权利要求4的方法产生的热传导回天然气水合物储备中。
6. 一种从地下环境中提取天然气并将其转化为固体水合物的方法,包括:
 - a) 提取天然气;
 - c) 将天然气输送到海底的储罐或容器;
 - d) 将海水引入储罐或容器;
 - e) 混合天然气和水以形成天然气笼形水合物NGCH/水浆;
 - f) 从NGCH浆中除去多余的水以形成包括笼合物的固体;和
 - g) 将包括笼合物的固体处理成可输送形式。
7. 根据权利要求6所述的方法,还包括h) 对包括笼合物的固体进行搅拌或施加压力波以促进笼合物颗粒的额外生长。
8. 根据权利要求6所述的方法,还包括h) 将包括笼合物的固体成形为基本上管状的形式。
9. 根据权利要求6所述的方法,还包括i) 将基本上管状形式的包括笼合物的固体放置到适于输送到海面的容器中。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述适于输送到海面的容器为袋子。
11. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,混合天然气和水以形成NGCH/水浆包括选自以下组的一种或多种方法:(i) 将水雾喷入第二储罐或容器顶部的气穴中,(ii) 从第二储罐或容器顶部的气穴抽取天然气并将其泵送到第二储罐或容器底部,天然气在那里被注入为穿过第二储罐或容器中的水上升的细小气泡,(iii) 搅拌和剪切积聚在气穴下的NGCH/水浆,从而打碎在气泡周围形成的笼形水合物壳,以及(iv) 将从第二储罐或容器内

取出的气体与海水的混合物泵入两个具有波纹表面的实心且紧密间隔的反向旋转板的中心,从而提供高剪切场和会打碎在椭圆形气泡周围形成的任何笼合物浆壳的局部脉动压力。

12. 根据权利要求6所述的方法,其中环境海水温度约为2、3、4、5、6或7°C。

13. 一种用于从地下环境中提取油与天然气的混合物并将其转化为固体水合物的海底系统,包括:

- a) 设计为用作气/油分离器的第一储罐或容器;
- b) 设计为用作NGCH处理器的第二储罐或容器;和
- c) 适合用作NGCH收集/运输容器的第三储罐或容器。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中所述地下环境为海底下,所述固体水合物为笼合物。

15. 根据权利要求13所述的系统,还包括d) 井口入口。

16. 根据权利要求13所述的系统,其中设计为用作气/油分离器的第一储罐或容器是具有4:1的长径比的高立式储罐,其具有比海水的环境压力高大1至2巴的内部压力。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中气/油混合物的入口点位于第一储罐的较上部分,并且第一储罐的顶部具有用于泵出天然气组分的出口管。

18. 根据权利要求13所述的系统,其中设计为用作NGCH处理器的第二储罐或容器是具有0.2 MPa或2 bar压力的低压型,或具有至少3.5 MPa或35 bar压力的高压型。

19. 根据权利要求13所述的系统,其中适于用作NGCH收集/运输容器的第三储罐或容器是可以被扩展的可折叠柔性袋或可收缩袋。

20. 根据权利要求19所述的系统,其中所述可以被扩展的可折叠柔性袋或可收缩袋是基本上能浮的。

用于从水下环境中提取滞留气体,将其转化为笼合物,并安全 输送以供消耗的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及从诸如深海的地下环境中提取天然气或氢之类的滞留气体 (stranded gas)。此外,本发明涉及分离油和滞留气体,并将滞留气体转化成易于输送的形式。

背景技术

[0002] 气体笼形水合物是在一定的相对高压和低温条件下由水和气体反应形成的非化学计量的结晶固体(见,例如Sloan et al.,Clathrate Hydrates of Natural Gases.3rd ed.;CRC Press,Taylor&Francis Group: Boca Raton,FL,2008)。一些努力旨在发展天然气水合物(NGH) 离岸和陆上供应链,以有效地将天然气水合物输送到再气化和最终消耗的地点(见,例如Gudmundsson et al.,Transport of Natural Gas as Frozen Hydrate.International Society of Offshore and Polar Engineers, 1995;Nogami et al.,Development Of Natural Gas Supply Chain By Means Of Natural Gas Hydrate (NGH).International Petroleum Technology Conference:2008;Rehder et al.,Energies 2012; 5 (7):2499-2523;Tamsilian et al.,J.Dispersion Sci.Technol.2013; 34 (2):259-267)。希望找到安全、高效和环保的方法从水下环境中获得天然气或氢气等滞留气体并将其安全地输送以供消耗。由于甲烷是天然气的主要组分,所以研究文献通常侧重于甲烷笼形水合物(MCH)的形成。然而,视乎产地,可能的气体组成可以是几乎纯的甲烷以至复杂的混合物,富含较重的挥发性烃。本文所述的处理更一般地指天然气笼形水合物(NGCH)的形成,其中起始天然气可以是约85重量%的甲烷、10重量%的乙烷和5重量%的丙烷。这种处理可以容易地适用于其他组成。一个关键方面是,在相同的温度下,从天然气混合物形成NGCH通常比从纯甲烷形成MCH需要更低的静水压力(图1)。另外,涉及更少甲烷和更多乙烷、丙烷、丁烷和异戊烷等的其他较不常见或人工混合的烃气体混合物也会形成固体笼形水合物,并且这些较高分子量气体组分的比例越高,所需的压力越低。然而,形成笼合物的温度范围变得更窄,对于从这些纯烃气体形成笼形水合物所需的温度和压力范围而言,其中从纯丁烷形成需要低于4°C的水温(图2)。

[0003] MCH和NGCH处理的基础是利用在海底下800米深度的6°C或更低的水温,其中相应的压力为8.24MPa (~1200psi) (图1)。在这样的压力和深度下,甲烷气泡注入海水时,像天然气一样很快形成小MCH球体和薄片(见,例如Römer et al.,Journal of Geophysical Research:Oceans 2012;117;Warzinski et al.,Geophysical Research Letters 2014; 41 (19):2014GL061665)。海洋中的温度分布在全球不同的地点有所不同。墨西哥湾往往比北海温度稍高一些,因此在类似的温度范围下前者需要更大的深度来快速形成MCH。这里要补充的另外一点是在勘探深海石油储备时,天然气被认为是不期望的组分。有时候,为了防止气体燃烧,滞留气体会被燃烧或者泵回地下。气体含量是选择生产哪个储备的标准,而气体含量过高会阻碍开发。

[0004] 在勘探深海石油储备时,天然气被认为是不期望的组分。有时候,滞留气体会被燃

烧或者泵回地下。气体含量是选择生产哪个储备的标准,而气体含量过高会阻碍开发。早期和现在也有人努力将天然气转化为陆地和海面植物中的水合物(见,例如Nakai, "Development of Natural Gas Hydrate (NGH) Supply Chain," World Gas Conference 2012, Kuala Lumpur; Rehder et al., Energies 2012; 5(7): 2499-2523)。转化过程的放热特性和对高压和高温的要求使得该过程危险、复杂且昂贵。希望提供安全和有效的方法,通过在海洋深处进行处理,将天然气(主要是甲烷)转化为固体笼形水合物(可燃冰),其中原位条件(即静水压力高和水冷)有利于笼合物的形成。这样做反过来会提供高效和环保的方式,从水下环境中获取天然气并将其安全地输送以供消耗。此外,由于转化过程具有放热特性,该过程释放的热量为勘探天然气笼合物的深海储备提供了额外的宝贵资源。

发明内容

[0005] 在第一方面,本发明提供了用于从地下环境(例如海底深处)的储层中提取滞留气体的方法。滞留气体可以是天然气或氢气,并且气体可以存在于或储存在储层中。储层可以是气体,或油与气的混合物,或者储层可以是储存为天然气笼形水合物的天然气。方法包括任选的第一步骤:在海底钻井以接触滞留气体。在一些情况下,视乎储层,所述井可能仅产生诸如天然气、氢气或其他滞留气体的滞留气体。在其他情况下,所述井可以产生滞留气体(例如天然气和油)的混合物。在油气混合物的情况下,方法具有第二步骤:分离油相和气相。这分离步骤可以例如在分离器中进行。在其他情况下,滞留气体可以以笼形水合物的形式存在。在这种情况下,第二步骤可包括通过例如加热或/和降低压力来将原始笼形水合物破坏为气和水。方法可具有第三步骤:将油组分输送、泵送或管道输送到可根据已知方法处理油组分的海面。类似地,第三步骤可以包括将油组分收集到分离的运输容器中以输送到海面。方法可具有第四步骤:清理碎片的滞留气体(天然气)。方法可具有第五步骤:将诸如天然气的滞留气体输送、泵送或管道输送到气体/笼形水合物处理设施(例如靠近海底的那个)。气体/笼形水合物处理设施可以设计成转化滞留气体(例如天然气),从而使其形成固体水合物,例如笼合物。作为第六步骤,这种固体水合物(例如笼合物)可被集合并放置在适于将固体水合物(例如笼合物)输送到海面的运输容器中。在一些情况下,固体水合物(例如笼合物)首先被集合并放置在运输容器中,所述运输容器其后在海面被清空以注入到更大的输送载体中,以输送至目的地以转化回天然气或再气化。在其他情况下,固体水合物(例如笼合物)被集合并放置在运输容器中,而这些运输容器本身被用于将诸如笼合物的固体水合物输送到目的地以转化回天然气或再气化。

[0006] 在第二方面,本发明提供了一种从地下环境(例如海底深处)中的天然气水合物储备中提取天然气的方法。方法包括任选的第一步骤:在海底钻井以提取烃。在一些情况下,视乎储层的烃组成,所述井可能仅产生天然气。方法可具有第二步骤:清理碎片的天然气。方法可具有第三步骤:将天然气输送、泵送或管道输送到气体/笼形水合物处理设施中(例如靠近海底的那个)。气体/笼形水合物处理设施可以设计成转化天然气,从而使其形成固体水合物(例如笼形水合物)。这种转化天然气以使其形成固体水合物(例如笼合物)的放热过程产生的热量可以任选地被传导或对流回到天然气源,并随后用于促进释放额外的天然气。作为第四步骤,这种固体水合物(例如笼合物)可被集合并放置在适于将固体水合物(例如笼合物)输送到海面的运输容器中。在一些情况下,固体水合物(例如笼合物)首先被集合

并放置在运输容器中,所述运输容器其后在海面被清空以注入到更大的输送载体中,以输送至目的地以转化回天然气。在其他情况下,固体水合物(例如笼合物)被集合并放置在运输容器中,而这些运输容器本身被用于将诸如笼形物的固体水合物输送到目的地以转化回天然气。

[0007] 在第三方面,本发明提供了一种用于从诸如海底下的地下环境提取天然气或油与天然气的混合物并将其转化为诸如笼合物的固体水合物的方法,包括:

[0008] a) 提取天然气或油与天然气的混合物;

[0009] b) 任选地在第一储罐或容器中将天然气从油与天然气的混合物中分离出来;

[0010] c) 将天然气输送到第二储罐或容器;

[0011] d) 将海水引入第二储罐或容器;

[0012] e) 混合天然气和水以形成NGCH/水浆;

[0013] f) 从NGCH浆中除去多余的水以形成包括笼合物的固体;和

[0014] g) 将包括笼合物的固体处理成可输送形式。

[0015] 方法还可包括h) 对包括笼合物的固体进行搅拌或施加压力波以促进笼合物颗粒的额外生长。方法还可以包括聚集较小的NGCH颗粒并使它们自然聚结形成大块。

[0016] 方法还可包括i) 将包括笼合物的固体成形为基本上管状的形式,并且方法还可包括j) 将基本上管状形式的包括笼合物的固体放置到适于输送到海面的容器(例如袋子)中。

[0017] 混合天然气和水以形成NGCH/水浆可包括一种或多种方法,包括:(i) 将水雾喷入储罐或容器顶部的气穴中,这可以包括使用从储罐或容器底部泵出的水(其可以通过将其泵入穿过浸在周围的海水中的外部热交换器来任选地冷却),以及使用随着气体量被消耗和压力下降而抽取的新鲜海水;(ii) 从顶部的气穴抽取天然气并将其泵送到储罐或容器底部,天然气可以在那里被注入为穿过储罐或容器中的水上升的细小气泡。一路上,笼形水合物可以随着气泡漂浮回到储罐或容器的顶部形成为它们周围的外壳,在气穴下形成NGCH/气体/水浆层。所述混合还可包括(iii) 搅拌和剪切积聚在气穴下的浆,从而打碎在气泡周围形成的笼形水合物壳。所述混合还可包括(iv) 将从储罐或容器内取出的气体与海水的混合物泵入两个具有波纹表面的实心且紧密间隔的反向旋转板的中心,从而提供高剪切场和也会打碎在椭圆形气泡周围形成的任何笼合物浆壳的局部脉动压力。所述混合可以包括基本上转化所有天然气,以在储罐或容器顶部形成一定体积的 NGCH和水的浆,并在储罐或容器底部形成加温的水。

[0018] 水的量可以被选择为使得多余的水(即在形成笼合物时未被消耗的水)的热容量和冷却速率足以在合理时间内限制形成笼合物的焓所引起的温度上升。环境水温可以约为2、3、4、5或6或7°C,并且温度上升可以保持足够小以保持整个系统温度低于NGCH在800m 深度(8.2MPa)的稳定温度,其可以是17°C。一般来说,选择的水越多,水的温度上升越少,但通过排出的水中吸收的气体而损失的气体就越多。

[0019] 从NGCH浆中除去多余的水以形成包括笼合物的固体可以利用较低密度笼合物会漂浮到顶部的性质。从NGCH浆中除去多余的水以形成包括笼合物的固体可以将笼合物浆泵送或输送到装置或机构中以除去多余的水。天然气可以基本转化成基本上伸长和扁平的椭圆形气泡的笼形水合物。将包括笼合物的固体处理为可输送形式可包括形成固体NGCH盘。诸如袋子之类的容器可以是可被扩展的可折叠柔性袋。

[0020] 在第四方面,本发明提供了一种用于从诸如海底下的地下环境中提取天然气或油与天然气的混合物并将其转化为诸如笼合物的固体水合物的系统,包括:

[0021] a) 设计为用作气/油分离器的第一储罐或容器;

[0022] b) 设计为用作NGCH处理器的第二储罐或容器;和

[0023] c) 适合用作NGCH收集/运输容器的第三储罐或容器。

[0024] 系统可任选地包括d) 井口入口,并且系统可任选地包括e) 涡轮 /限流器,其可以联接到限流器。设计为用作气/油分离器的第一储罐或容器。涡轮可以连接到井口的出口以产生运行电动机和机械处理装置的机械动力和电力。

[0025] 设计为用作气/油分离器的第一储罐或容器具有比海水的环境压力高大约1至2巴的内部压力。分离器可以操作为离心机,其中较重(主要是油)颗粒与较轻(主要是气)颗粒物理分离。较重的颗粒在外层聚集,并可通过相应定位的出口点除去。靠近中心的出口可能是较轻的气体颗粒被除去的地方。

[0026] 设计为用作NGCH处理器的第二储罐或容器可以是低压型(约 0.2MPa或2bar)或高压型(至少约3.5MPa或约35bar)。另外,第二储罐或容器可以被设计成以批量处理方式操作。在一些情况下,可能有多个(例如3个)较小的批量处理储罐或容器(储罐2a、储罐 2b、储罐2c等)随时间交错作为半连续处理。第二储罐或容器可以是具有垂直定向轴和高度直径比约为5:2的圆柱形储罐。第二储罐或容器可以是半柔性的,并且可以具有有阀顶部入口和/或底部出口和一个或多个温度和/或压力传感器和适于搅拌的一个或多个装置。

[0027] 适于用作NGCH收集/运输容器的第三储罐或容器可以是可被扩展的可折叠柔性袋或可收缩袋。它可以有接近中性的浮力,密度几乎与水的密度相等。

附图说明

[0028] 图1提供了就海洋深度(与压力成正比)与水温而言从甲烷和天然气形成笼形水合物的相平衡曲线(边界)。还示出了墨西哥湾和北海的温度等倾线。

[0029] 图2提供了从纯甲烷、纯乙烷、纯丙烷和纯丁烷形成笼形水合物的相平衡曲线(边界)。

[0030] 图3描述了正在建设中的壳牌Prelude浮动液态天然气处理设施。

[0031] 图4提供了发明的基本示意图。

[0032] 图5展示了反向旋转剪切板以打碎在气泡周围形成的笼合物壳。

[0033] 图6描述了圆柱体的六边形填充:左侧是一个尺寸,填充密度为 0.9069;右侧是直径比为0.1547的两个尺寸,填充密度为0.9503,这根据Kennedy的Discrete and Computational Geometry 35(2006), 255-267。

具体实施方式

[0034] 本方法和系统具有以下要素和步骤。

[0035] 基于三储罐系统的处理设计步骤:

[0036] 井口入口

[0037] 天然气或油/气混合物从海底以下数百甚至数千英尺的地下储层的钻杆上升,然后进入井口。气/油混合物在原始储层深度可能大部分是液体,其中压力可以高达70MPa,并

且温度在115℃左右(这些是马孔多油井的条件)。然而,在井口的入口点,并视乎任何随后的限流器和实际流速,压力可能较低,可能为20至30MPa,但温度将接近90℃,比储层中更低,因为随着在海底管道上行进时压力降低,气体从油中沸腾出来并绝热膨胀。

[0038] 涡轮/限流器

[0039] 联接到限流器的涡轮可以连接到井口的出口以产生机械动力和电力来运行电动机和机械处理装置。在所述流速和条件下,将有可能产生几百马力(1/3兆瓦或更多)。在离开涡轮/限流器时,气/油流的压力将是大约8.2MPa的海底压力,并且温度仍然在大约80℃,处于较低压力下,更多溶解的气体组分会从暖油中沸腾出来。

[0040] 气/油分离器储罐1

[0041] 在离开涡轮/限流器时,气/油混合物进入气油分离器储罐1,其基本上可以是长径比为4/1的高立式储罐,其内部压力比海水的环境压力高大约1至2巴(bar)。这种气/油分离器在业内是已知的和标准的。商业油/气分离器可用于分离两相。混合物可以用作离心机,使得较重的油颗粒将迁移到外部,而较轻的气体颗粒将向中心移动。油/气混合物的入口点是分离器单元的中间部分。分离器的中心是出口管,用于泵出天然气组分并将其转移到笼形水合物处理储罐。靠近储罐边缘的是出口管,用于泵出油。油将被泵入管道,其将油带到海面的接收船上。或者,可以将油泵入DSM迪尼玛(Dyneema)或Spectra 压力容器以便随后输送。这储罐可由聚氨酯基质中的UHMWPE纤维的复合缠绕制成。DSM迪尼玛UD带可用于此目的。因此,储罐本身将具有中性浮力,并且可使用远程操作的车辆(ROV)或合适的传送带系统在海洋内轻易移动,从而从海面将清空的储罐移走并将填满的储罐移回海面。所需的储罐尺寸取决于气体沸腾、起泡,以及完全与油分离所需的停留时间。对于标称基本配置,仅气体流将约为546 立方米/小时,而气体流和油流一起可能是800立方米/小时。假设在分离器中有效停留15分钟,所需的体积将是约 $V_{sep} \approx 200m^3$ 。这种给定直径为 D_{sep} 、纵横比为4/1的储罐之体积是 $V_{sep} = \pi D_{sep}^3$,这产生了 $D_{sep} \approx 4.0m$ 。这种储罐的浮力主要来自天然气体积 $V_{ng} \approx 200m^3$,所以 $F_{gas} = (\rho_w - \rho_{ng}) g V_{ng} \approx 9319 V_{ng} = 1.27MN$ 或约286,000lbf。

[0042] 储罐1的细节:

[0043] 高浮力需要在井口和附件基本结构上方设置储罐(视乎产生浮力的其他系统部件的位置),从而产生与下方管道和井口对齐的净轴向力,同时具有最小的弯矩;

[0044] 需要具有封闭带系统,其包裹在顶部并且在底部连接到与井口连接的结构;

[0045] 视乎垂直气体分布,内部压力会随着储罐中的垂直位置而稍为变化,并且壁轴向和环向张力(双轴向载荷)趋向在接近顶部是最大的,因此储罐的壁厚度特别在靠近圆顶区域可能需要更厚;

[0046] 储罐底部应该具有轴对称的“W”横截面,气/油混合物在中心高点进入,而任何沉积物或进入的水落入在其可被收集和泵出的“W”低点处落入环中。

[0047] NGCH处理器储罐2

[0048] 一旦与油分离,天然气通过在低相对压力(例如1至2bar)下并配有流量计和控制阀来精确计量的气管线泵送至储罐2。储罐2具有两个潜在版本:低压型(不超过0.2MPa或2bar)和高压型(至少3.5MPa或35bar)。此外,储罐2可能被设计为以批量处理方式操作。事实上,可能希望有多个(例如3个)较小的批量处理储罐(储罐2a、储罐2b、储罐2c等)随时间交错作为半连续处理。这会降低气体分离器储罐的浮力,这可能充当接受储罐以储存在储

罐填充物之间的气体。

[0049] 首先考虑低压版本,储罐2是具有垂直定向轴和高度直径比范围大约为2至4的圆柱形储罐。储罐将是半柔性的,并且可以由迪尼玛纤维/聚氨酯UD带缠绕。储罐最初装满冷海水,而通过有阀顶部入口引入天然气时,其充满了储罐的上部,并且水从底部被排出,直到达到期望的气水体积比;约为3份水比1份气体,尽管这是可调节的。一旦建立了期望的水气体积比,则使用单向阀将储罐与外部环境半封闭,从而如果储罐压力降至环境海水压以下并具有内爆的风险,则容许更多的冷海水进入。

[0050] 然后可以使用各种方法将水和气体混合以发展NGCH/水浆:(i) 将细水雾喷入储罐顶部的气穴中,这可以包括使用从储罐底部泵出的水(其可以通过将其泵入穿过浸在周围的海水中的外部热交换器来冷却),以及使用随着气体量被消耗和压力下降而抽取的新鲜海水;(ii) 从顶部的气穴抽取天然气并将其泵送到储罐底部,天然气在那里被注入为穿过储罐中的水上升的细小气泡,并且一路上,随着气泡漂浮回到储罐顶部在它们周围形成笼形水合物外壳,在气穴下形成NGHC/气体/水浆层;(iii) 积极地搅拌和剪切这种积聚在气穴下的浆,从而打碎在气泡周围形成的笼形水合物壳,(iv) 将从储罐内取出的气体与海水的混合物泵入两个具有波纹表面的实心且紧密间隔的反向旋转板的中心,从而提供高剪切场和也会打碎在椭圆形气泡周围形成的任何笼合物浆壳的局部脉动压力(图5)。最终所有气体都会转化为在储罐顶部形成一定体积的NGHC和水的浆,并在储罐底部形成体积较大且加温的水,其还含有少量溶解在溶液中的天然气。

[0051] 一重要方面是在加压和搅拌之前确定储罐中的初始气水比。水的量被选择为使得多余的水(即在形成笼合物时未被消耗的水)的热容量和冷却速率足以在合理时间内限制形成笼合物的焓所引起的温度上升。多余的水还用作在形成笼形水合物晶体期间排出的盐水的汇(sink)。通常环境水温约为5°C,并且温度上升必须保持足够小以保持整个系统温度低于NGCH在800m深度(8.2MPa)的稳定温度,其可以是17°C。

[0052] 最后的处理步骤是从NGCH浆中挤出剩余的多余盐水以形成固体,这部分通过以下事实来实现:较低浓度的笼合物会浮在顶部,而富含盐的盐水倾向于聚集在储罐底部。尽管如此,必须将富集的笼合物浆泵入装置或机构中以挤压或挤出多余的水以形成大的固体NGCH盘。这些盘将是圆状的、厚度均匀并且具有大的直径厚度比,并且可以被释放并堆叠在称为储罐4的高圆柱形运输袋中,如下所述。此外,为了促进后期处理NGCH以回收天然气,可以在堆叠的NGCH盘之间放置迪尼玛或聚乙烯垫片,使得它们不会熔合在一起。这些可以随后被分解以增加表面积与体积的比例,从而大大提高NGCH的“解离率”(见,例如Takeya et al., Chem. Eng. Sci. 2005; 60 (5):1383-1387; Falenty et al., Energy Fuels 2014; 28 (10):6275-6283)。这可能比追求形成直径1米和4米长的NGCH固体圆柱体并且将其有效地填充在运输容器中似乎较不期望。这需要特殊的压缩挤压或螺旋钻驱动的厚壁迪尼玛基圆柱体将NGCH处理成圆柱体。

[0053] 然后考虑高压型(相对于8.2MPa的环境海水超过3.5MPa),储罐2也可以比低压型更厚,UD带缠绕的圆柱储罐具有垂直定向轴和约5/2的高度直径比。储罐最初可以装满冷海水,而通过有阀顶部入口引入天然气时,其充满了储罐的上部,并且水从底部被排出,直到达到期望的气水体积比:约2份水比1份气体或更少,因此低于低压系统。一旦建立了期望的水气体积比,则使用单向阀将储罐与外部环境半封闭,并通过在压力下泵入更多冷海水来

压缩气体,从而加压至期望的高压。现在的绝对内部压力接近12MPa,相当于1200米的海洋深度。

[0054] 储罐2的细节:

[0055] • 必须在合理的时间内管理最佳反应的温度和压力;

[0056] • 水既用作与天然气反应以形成笼形水合物的非化学计量的量,也用作原位散热器以将温度保持在操作储罐压力下的临界笼合物稳定温度以下;

[0057] • 必须在加压和随后混合之前和期间,视乎通过热交换器处理期间冷却水的能力,准确地引入正确的水气比;

[0058] • 处理容器的体积取决于交错旋转使用了多少个容器,这又取决于天然气转化成NGCH的速度可以有多快;

[0059] • 一旦NGCH形成过程接近完成,对于一定量所注入的天然气和大部分气体已被消耗,运行第二次(甚至第三和第四次循环)注入,由此在顶部注入更多的气体,并可能从底部除去一定量加温的水以腾出空间可能是有利的;

[0060] • 所述过程将需要精确的温度和压力传感器来监测反应;

[0061] • 高浮力将与储罐2反应器相关联,正如它们与储罐1分离器那样,因此需要类似的束带系统将储罐保持在适当位置。(注意束带系统中的力传感器可以告诉我们容器中任何点上仍有多少天然气将要进行反应。)

[0062] NGCH收集/运输容器储罐3

[0063] 产生的固体NGCH的量可以例如是约 $300\text{m}^3/\text{hr}$,或 $7,200\text{m}^3/\text{天}$ 。假设是可被扩展的可折叠柔性袋,假设长径比 $L/D=4$,体积根据给定直径为 $V=\pi D^3$,因此 $D=\sqrt[3]{V/\pi}$ 。因此,如果每4小时填充一个袋子,NGCH的体积则是 $V=1,200\text{m}^3$,直径是 $D=\sqrt[3]{1200/\pi}\approx 7.3\text{m}$,长度是 $L\approx 29.2\text{m}$ 。对于每6小时填充的袋子,体积是 $V=1,800\text{m}^3$,而尺寸是 $D\approx 8.3\text{m}$ 和 $L\approx 33.2\text{m}$ 。因此,如果要用堆叠在彼此上的NGCH盘填充这种袋子,它们的直径必须至少为7米。另一方面,较小的NGCH 固体圆柱体或方形截面棱柱体的有序整齐填充是可能的方法,如下所述。

[0064] 将笼合物处理成固体圆柱体

[0065] NGCH浆可被压缩成长径比例如约为4的固体圆柱体。在这种情况下,圆柱体的体积是 $V=\pi D^3$ 。考虑到 $300\text{m}^3/\text{hr}$ 流量的固体NGCH,考虑每小时需要处理多少个和多大尺寸的固体圆柱体是有用的。例如,如果固体圆柱体的直径为1m,其长度为4m,而其体积会是 3.14m^3 。因此,可能每小时处理100个这种圆柱体,或者每36秒处理一个这种圆柱体。这可以使用厚壁迪尼玛圆柱体(以维持非常高的轴向和环向应力)和并某种螺旋钻或螺旋驱动的压机执行。有些可以平行运行,并且实际上制造不同直径的圆柱体以促进有效填充。

[0066] 考虑填充直径约为7米的袋子,其中用直径为1米的圆柱体在横截面上六角形填充(图6),并在袋中首尾相接地轴向对齐。如果袋子的外部呈六角形,那里横跨对角线将有7个圆柱体,横截面会有37个圆柱体。固体圆柱体长度为4米,袋长约为27米。将有7个圆柱体首尾相连。而且在这种情况下,填充密度会是 $\eta_{\text{hex}}=\pi/(2\sqrt{3})\approx 0.9069$,所以这些尺寸的NGCH的总体积会是 259m^3 ,所以会稍为少于 300m^3 。对于图4中的双体填充(binary packing),其中小NGCH圆柱体被填充在大圆柱体之间,直径比率为0.1547(即小圆柱体的直径为15.5cm),填

充密度增加至0.9503。尽管如此,可以用部分压缩的NGCH/水浆来填充空隙空间。

[0067] 运输袋子浮力

[0068] 4小时袋子填满时,浮力为

$$[0069] F_{b,NGCH} = (\rho_w - \rho_{NGCH}) gV = (1025 - 900) 9.81V = 1226V \text{ N} = 1226 (1200)$$

$$[0070] = 1.47\text{MN} = 330,000\text{lbf}$$

[0071] 而对于6小时袋子,则为 $F_{b,NGCH} \approx 2.21\text{MN} \approx 495,000\text{lbf}$ 。这些浮力与气/油分离器储罐1 (286,000lbf) 和处理储罐2 (613,000lbf) 的数量级相同。因此,在填充袋子时,可能需要与储罐1和2相似的束带系统。

[0072] 袋子渗透性和绝热性

[0073] NGCH容器或袋子的壁可以具有一定的渗透性,并且将具有低导热性,以防止容器被带到海面时笼形水合物随着水温上升和静水压力下降而发生再气化(熔化)。袋子部署到海底时可以在袋中内置绝热毯/套。当NGCH圆柱体到达海面时,为了避免在海面填充期间出现难以管理的体积和浮力问题,加入绝热毯是优选的。NGCH能够发展冰保护覆盖层(见,例如Takeya et al., Journal of Physical Chemistry C 2012;116 (26):13842-13848),从而进入自我保存的状态(见,例如 Stern et al., Journal of Physical Chemistry B 2001;105 (9):1756-1762),其有效地延迟了进一步的分解。此外,在发展这种保护膜之后,解离 NGCH焓较高(比融化冰每Kg高40%),这意味着如果没有连续大量的热量,它不会轻易解离,从而进一步减缓分解。此外,解离导致释放游离气体,游离气体在笼合物表面上可以牺牲性地作为绝缘体,并且如果被截留,在一定条件下也可以稳定结构。

[0074] 系统浮力

[0075] 全部3个储罐以及相关设备的最大总浮力可能高达1,300,000lbf 或更多,或650吨或590吨。这数值可以通过更密集地填充较小的袋子而有所降低,但浮力的主要来源是储罐2。为了方便说明这样的载荷,130万lbf的载荷即2条3英寸直径的钢丝绳的断裂强度的总和。另选地,对于强度为例如100,000psi的高强度钢棒,则需要 13in^2 的材料,直径会是 $D = 2\sqrt{A/\pi} = 4.1 \text{ in}$ 。显然地,这种载荷在系统连接到其上时将对井口和通往储层的管道产生主要的轴向负载需求,并且需要仔细放置部件以最小化弯曲载荷。在填满袋子时,浮力发展并需要储罐1和2中的大型束带。对称是需要的,可能有多个较小的袋子和反应器以接近轴对称几何排列/平衡。另一方面,对于封闭防喷器上的6000psi的管道压力和管道直径D,管道直径将需要是 $D = \sqrt{4F_{b,\text{total}}/(\pi p)} = \sqrt{4 \times 1.3 \times 10^6 / (\pi 6000)} = 16.6 \text{ in}$ 以抑制1,300,000lbf的喷力。

[0076] 一般描述

[0077] 本发明将滞留气体(通常为天然气(主要是甲烷)但也可能还有氢气)转化为固体笼形水合物(可燃冰),其中通过在静水压力高且水冷的海洋深处进行处理;这两种条件都是形成笼形水合物所必需的。

[0078] 本文描述的方法具有第一步骤:在海底钻井并以从深藏海底下的烃类储层(油和气)中提取天然气。视乎来自储层的烃组分,所述井可能仅产生气体,或者气和油的混合物。在油气混合物的情况下,油通过专门设计的分离器从海底的气体中分离出来。然后将油组分管道输送到海面,并按照通常的方式进行处理。气体天然气组分被清除碎片,并管道输送到

海底上的气体/笼形水合物处理设施中,其被设计为形成固体水合物,并将其放置在大型运输容器中以供输送到海面。

[0079] 刚好在海面下的出口管中的油或气压力通常远高于海底的水压。发生在海底出口点的气体膨胀(可能涉及或不涉及某种限流器)为通过涡轮产生动力(电动或机械)提供了一种手段。

[0080] 刚好在海面下的出口管中的油或气压力通常远高于海底的水压。发生在海底出口点的气体膨胀(可能涉及或不涉及某种限流器)为通过涡轮(潜在地是本发明的一部分)产生动力(电动或机械)提供了一种手段。

[0081] 本文所述的方法在井口提供天然气/油分离过程,使所得天然气形成固体NGCH的处理系统,以及用固体NGCH填充运输容器以便输送至海面。所述系统包括整个处理系统的设计和使用的材料,以及输送容器的设计和使用的材料。

[0082] 高效快速形成NGCH的技术问题:

[0083] 尽管深海似乎是形成和处理MCH和NGCH的理想环境,但要大量此类烃气体有效且连续地转化为大容器中的固体笼合物,需要克服若干技术问题。要成功地将这种容器从海底运输到海面,而它们在一段时间内必须能够保持NGCH的稳定性,也存在问题。也就是说,NGCH不应该显著和过早地分解成可能泄漏到大气中的液态水和天然气,而且这必须在没有任何繁琐的连接到容器的冷却或加压系统的情况下完成。

[0084] 将MCH和NGCH的容器实际上长途运输到笼合物处理中心也存在问题,这些处理中心必须设计成将笼合物分解成气体和基本无盐的水。除了可能会被泵入气体管道的所回收的天然气之外,所述处理通过直接接触或透过热交换器接触,从任何周围的水中吸收大量热量。事实上,这样的处理设施靠近大城市,随着笼合物融化并吸收热量,也有机会冷却建筑物。此外,所回收的水主要是无盐的,并且在淡水较少且甚至短缺的地区可能是淡水的来源。

[0085] 在混合天然气和水时,NGCH的形成过程受到周围水吸收热量的速率限制。例如,从甲烷和水形成MCH的焓每千克比将水冷冻成冰的焓高40%(形成MCH的焓为441kJ/kg,冰冻水为冰为334kJ/kg)。为了解这事实的重要性,形成1kg MCH过程中释放的热量等于将液态水从刚好在0℃冰点以上的温度加温至100℃沸腾点所需的热量。这意味着在MCH形成过程中必须有大量的冷水来吸收和传导被产生的热量。如果浸入附近海水中的热交换器被开发为与封闭的NGCH处理容器相连,就必须开发用于热交换的高水流速和大表面面积,以便将热量有效地传输到海水中。

[0086] 甲烷或天然气与水结合以形成MCH或NGCH的速度取决于反应的驱动力,其与形成条件之间的水压和温度差异和热力学稳定性边界间接相关。图1显示了海洋中的相平衡曲线(温度对压力曲线)。这些曲线左边的区域反映了形成水合物笼合物的条件,而右边则不会形成。这些曲线表示转变温度。例如,在海洋800米深处,甲烷会在水温低于9℃(48°F)时与水结合形成MCH,而在天然气的情况下,形成NGCH的转变温度有利地高于约18℃(64°F)。同时,对于在给定的转变温度9℃(48°F)形成MCH和NGCH,形成NGCH需要较少的海洋深度,仅为300米,而不是MCH所需的800米。因为有更多“净空”(headroom)可用,其在固体笼形水合物颗粒的形成位点附近的局部水中吸收形成笼合物的热(焓)。

[0087] 研究表明,通过固体MCH的传热速率和气体输送速率较慢(见,例如Kuhs et al.,

Journal of Physical Chemistry B 2006; 110 (26) :13283-13295; Shi et al., Chem. Eng. J. 2011; 171 (3) :1308-1316; Falenty et al., Journal of Physical Chemistry C 2013; 117 (16) :8443-8457), 所以MCH必须首先形成悬浮在水中的细球或薄片 (~1 mm 大小)。事实上, MCH倾向于在小气泡表面上形成固体壳, 最终在壳内截留一些气体 (见 Warzinski, et al., Geophysical Research Letters 2014; 41 (19) : 2014GL061665), 而在静止或停滞的流动中需要扩散过程以使气体穿过壳壁与外部的的水结合。这本质上是缓慢的过程。为了加速MCH形成过程, 这些笼形水合物壳在形成时不断被破碎和打碎。而且, 细长和扁平的椭圆形气泡优于球形气泡。因此, 含有气水混合物的流的高剪切速率 (例如通过积极地搅拌) 促进了这种细长形状。少量的表面活性剂 (例如十二烷基硫酸钠 (SDS)) 具有减小气泡尺寸的有益效果, 这大大增加了气泡的表面积体积比, 因此大大增加了MCH形成速率。

[0088] 中间步骤可包括在一定的内部压力下, 将一定量的天然气和冷水以某种比例引入封闭或半封闭的容器中。随着时间推移, NGCH和水的浆将与剩余的气体一起形成, 并且在此过程中, 所产生的热量将导致剩余可用水的温度上升到系统温度达到图1中相平衡线的点。在接近该温度时, 天然气和水形成NGCH的任何进一步反应暂缓。此时, 可以添加更多的冷水以降低温度并通过搅拌和将剩余的天然气再注入浆中, 笼合物形成过程继续进行。可以加入足够的水, 使得最终所有的气体转化为笼合物 (大部分) 或溶解在水中 (小部分)。可以将水挤出笼合物/水浆, 其中通过过滤笼合物/水浆, 然后压缩它以挤出水并将其排入海洋。所提取的水成为在处理期间除去热量的手段。一些量的甲烷或天然气可溶解在水中或以纳米泡沫的形式分散, 因此可能会流失到海洋中, 使得处理效率稍低。视乎图1中转变 (相平衡) 线左边可用的压力和温度范围, 所涉及的水的体积可能是所形成的固体NGCH体积的十倍, 并且多达15%天然气可能会分散或溶解到水中并排入到海洋中, 从而降低了效率。环境方面的担忧也可能增加, 尽管在这个深度, 这种微量的流失气体很可能会在海洋中被微生物进一步稀释和消耗, 并且不会触及海面 and 大气 (见 Rehder et al., Marine Chemistry 2009; 114 (1-2) : 19-30)。因此, 优选地开始时具有更少水, 一旦温度升高便将其从浆中除去, 通过将其泵入通过浸在海水中的封闭热交换器以冷却这种水, 然后将这已冷却的水再注入回封闭反应容器中的笼形水合物形成过程。最终当所有天然气都形成NGCH时, 剩余的液态水可以被挤出并注入海洋。这样, 分散和溶解的气体在海水中的损失保持在最小。无论哪种方式, 将给定量的天然气转化为固体NGCH需要除去所有产生的热量并将其消散到海洋中, 并从NGCH浆中挤出未使用的水以形成固体, 所述固体然后可以被放置在运输容器中。

[0089] 将开发反应容器来进行NGCH处理, 不仅解决了上述问题, 而且还满足了典型井实际上重要的气体流速。要这样做的话, 相关考虑因素包括:

[0090] (i) 为了加速转换过程并且将水从NLCH水浆中挤出来以形成固体, 需要具有能够将流体泵入和泵出热交换器和容器的动力, 以驱动打碎围绕气泡的笼形水合物壳的机构;

[0091] (ii) 需要一个或多个容器将天然气处理成固体NGCH, 也需要其他容器有效存储它以便运输到海面。视乎可以将甲烷或天然气从油中分离出来处理成稳定状态的NGCH的速率, 容器必须很大并且会产生很大的浮力。总之, 将1升天然气转化为大约1升NGCH所需的平均时间越长, 便必须将部分转化的气体的浮力抑制得越久。

[0092] 可以通过在井口的气体出口处安装燃气轮机来提供项目 (i), 因为沿管道向上流

动并刚好低于海面的气体的压力远高于海底的压力环境,所以气体将在巨大的压差下显著膨胀,这些压差可以被用来产生动力。项目(ii)可以通过使用近中性浮力、非常坚固、柔韧的纤维材料来实际完成,特别是用于NGCH运输容器。这种材料甚至可以允许开发可以通过遥控水下航行器轻易移动的可折叠容器。除了可能用于执行处理某些方面的较小的半永久性安装的容器之外,这些要求基本上排除了使用金属容器。

[0093] 气体流速和处理要求:

[0094] 深水地平线灾害(Deepwater Horizon Disaster)中Macondo井的井喷发生在墨西哥湾接近1500米的深度,气体组分(主要是在该深度在约15MPa下压缩的甲烷)的体积流速为 $9.372\text{m}^3/\text{min}$ 或 $562.32\text{m}^3/\text{hr}$ 。在15MPa和 4°C 的条件下,0.877升甲烷气体导致形成1升MCH。因此,大部分在高于井喷15至100米内形成的固体MCH或 NGCH的有效形成为 $10.69\text{m}^3/\text{min}$ 或 $641.21\text{m}^3/\text{hr}$ 。这种笼形水合物随后在海流中漂流并最终在向海面上升时被熔化,从而几乎所有释放的天然气都溶解到海水中并被微生物消耗掉。离开井的所有烃(气和油)中,按质量计气体组分占总量的约25%,按体积计气体组分为 60%。

[0095] 来自Macondo井的天然气流量分量较小,但与正在建设的488 米长的壳牌Prelude浮动液化天然气(FLNG)处理船的处理能力相当。建议的用途是将船浮在多个气井的上方,并使用大型冷却设备将气体温度降低至 -163°C ,以将天然气处理成液态天然气。所提取的热量(与形成每Kg NGCH的焓相当)将被排入周围的海洋(图3)。不管其规模和成本如何,所建议的Prelude将处理的天然气量(以Kg 计算)实际上只是Macondo井喷出的天然气量的5倍。“基准线计算”假设Macondo井的气体流量一半的气体流量,即大型壳牌Prelude FLNG处理的气体流量的10%。

[0096] 固体MCH密度约为 $\rho_{\text{MCH}}=900\text{kg}/\text{m}^3$,所以1升压缩的甲烷气体在1500米的深度产生约1千克MCH。与此同时,这个15MPa压力和接近 4°C 下的甲烷气体密度为 $\rho_{\text{mg}}=138\text{kg}/\text{m}^3$,大约是其形成的MCH 密度的15%。在较小的深度和压力下,气体密度较小,形成1升MCH 所需的气体体积则按比例地更大。一个重要问题是由于其低得多的密度(气体密度在该深度约为海水密度的1/7),在处理一定量的天然气(类似于Macondo井流量)期间产生的浮力可能非常大。

[0097] 用于设计计算的基线压力和气体流速

[0098] 为了从处理部件、反应速度、容器尺寸和浮力等方面确定整个过程,假设有效的气体流速和MCH的形成速率稍微低一些,而不是在 Macondo井井喷不受控制地发生的情况下进行计算。流速可以通过流量限制来控制,这基本上通过堵塞和部分封闭的防喷器而发生(据一些估计,在被切断的管道下方的完全打开的防喷器会适度增加流速约 33%)。因此,假定相当于 $5.0\text{m}^3/\text{min}$ 或 $300\text{m}^3/\text{hr}$,即稍多于Macondo 井在15MPa下的气体流量组分的一半。在 $\rho_{\text{MCH}}=900\text{kg}/\text{m}^3$ 的MCH密度(这也适用于NGCH),这产生 $4500\text{kg}/\text{min}$ 或 $270,000\text{kg}/\text{hr}$ 的固体NGCH,其必须放置在容器中以运输到海面。基准线计算中考虑的天然气量仍然是价值数十亿元的壳牌Prelude FLNG船的处理能力的 1/10,仍然相当可观。

[0099] 假设较适度的深度800米或8.24MPa,而不是Macondo井的15 MPa。在此压力下,天然气的体积是15MPa下的体积大约1.82倍,因此,其密度在此压力下将更像甲烷的密度,即 $\rho_{\text{mg}}=75\text{kg}/\text{m}^3$ 。事实上,天然气可能会有更多的乙烷和丙烷,并可能稍微更密集。因此,需要 $(0.877)(1.82)=1.6$ 升气体来生产1升或0.90Kg的NGCH。针对这些情况进行设计允许系统

可能在更广泛的海洋深度范围操作。对处理和容纳约束进行了计算。

[0100] 处理容器计算

[0101] 假设建立反应室来处理 $300\text{m}^3/\text{hr}$ 的NGCH,在 8.24MPa 的压力和例如 4°C 的温度下,这需要 $546\text{m}^3/\text{hr}$ 的气体(多个反应室的尺寸会按比例缩小)。无论处理设施的海洋深度如何,形成NGCH的每小时产生的热量大约为 $(441\text{kJ}/\text{kg}) \times (270,000\text{kg}/\text{hr}) = 1.19 \times 10^8\text{kJ}/\text{hr}$ 或 $1.99 \times 10^6\text{kJ}/\text{min}$,或 $3.31 \times 10^7\text{J}/\text{sec}$ 。(注意这相当于 33.1 兆瓦或 $44,400\text{hp}$,这让人想到城市建筑物的降温潜力,这可能源于在城市旁边的处理位置将NGCH转化回天然气所涉及的焓)。假设提取热量的温度差为 10°C (见图1,假定是 800m 的深度和典型天然气的甲烷、乙烷和丁烷的混合物)。提取这热量相当于每小时加热 $2,700,000\text{kg}$ 的海水约 10°C 。从另一方面来看,如果没有使用用于水冷热的热交换器,那么必须使用实际形成的笼合物的质量的10倍质量的海水来对笼合物的形成进行吸热。

[0102] 假设所有连续流动的天然气将在下列条件下在容器中转化成 NGCH: (i) 在半封闭容器中发生有效的半小时气体停留(这意味着容器将总是具有等于进入系统一小时的气流的一半的气体体积),和 (ii) 供应足够的水进出,以保持热交换,和 (iii) NGCH平均在容器中相当于每小时转化一半流入的气体,以及 (iv) 在任何特定时间容器中必须有NGCH 10倍的水,并流过以除去热量。在这些条件下,容器需要的体积为大约 2000m^3 ,其中大部分被用于吸收以传导所产生的热力的海水所占用。为了方便理解,即需要直径约 10m 、长 25m 的圆柱形容器。为了减小容器的尺寸,需要连续抽出加温的水,将水泵出,并使用外部热交换器将水冷却到接近 800m 深的海水的温度,然后将水泵回到交换器中,在那里与气体混合成NGCH/水浆。如果这样做的话,每停留一小时只需要 $1/5$ 的水量,那么容器的体积可能会减少到 700m^3 将流动的天然气处理成NGCH。这需要直径约 7m 、长度 18m 的相当较小的圆柱形容器。另外,循环水有利地具有饱和状态的溶液中的甲烷以帮助处理,并且减少由于泵入新鲜的冷海水而导致的损耗,并允许具有显著溶解的天然甲烷气体的加温的水逸出。

[0103] 必须处理大的浮力。这些浮力在任何给定时间主要由系统中的气体驱动,其次是系统中的MCH。假设是 800m 深度的体积为 $V_{c,\text{mg}}$ 的甲烷气体以及相应的水和甲烷气体的密度,仅气体的浮力为

$$[0104] \quad F_{c,b,\text{mg}} = (\rho_w - \rho_{\text{mg}}) g V_{c,\text{mg}} = (1025 - 75) 9.81 V_{c,\text{mg}}$$

$$[0105] \quad = 9319 V_{c,\text{mg}} = 9319 (273) = 2,544,224\text{N} = 571,735\text{lbf}$$

[0106] 对于在任何时候MCH停留在处理室中的体积 $V_{c,\text{MCH}}$,我们得到室中MCH的浮力为

$$[0107] \quad F_{c,b,\text{MCH}} = (\rho_w - \rho_{\text{MCH}}) g V_{c,\text{MCH}} = (1025 - 900) 9.81 V_{c,\text{MCH}}$$

$$[0108] \quad = 1226 V_{c,\text{MCH}} \quad \text{N} = 1226 (150) = 183,900\text{N} = 41,342\text{lbf}$$

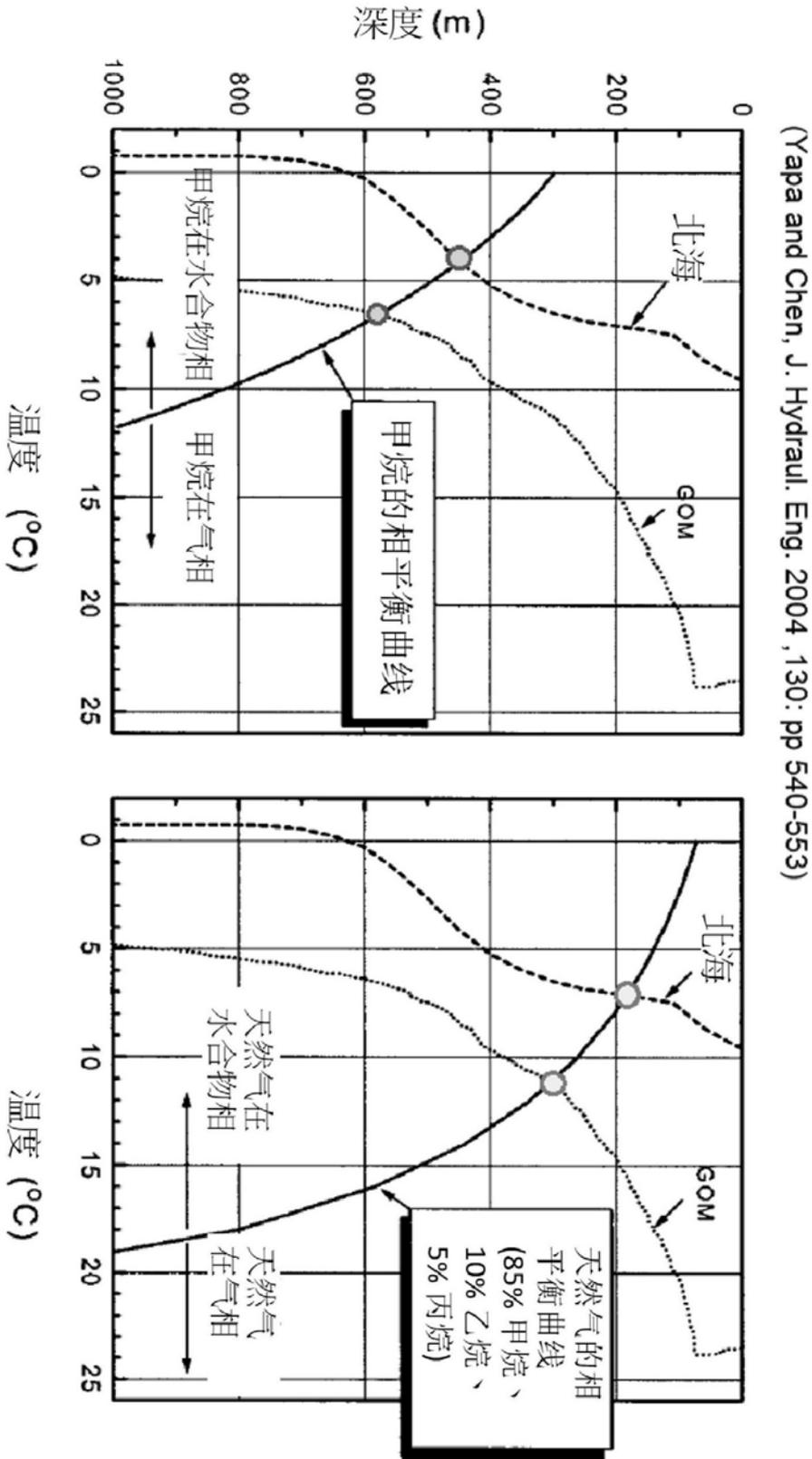
[0109] 这两者的总和约为 $613,000\text{lbf}$,这给出了需要限制处理容器的浮力的一些想法。

[0110] 承受显著额外处理压力的容器

[0111] 通过补充压力支持,可以在 800m 深度处更高效地操作,甚至在接近 0°C 冷水的情况下可以在较小深度操作。可以开发用作笼合物处理反应器的复合外包装压力容器,其在例如等于额外的 340m 深度的 3.5MPa ($\sim 500\text{psi}$)的差值压力(delta pressure)下操作。从NASA NORS T-1000碳/环氧压力容器(直径 20 英寸、 1 英寸厚的外包装壁)缩小尺寸可以提供需要什么的指示。这储罐具有 $27,000\text{psi}$ (186MPa)的爆破强度,并且我们假设工作压力是一半的 $13,500\text{psi}$ ($\text{SF}=2$)。在 500psi ,NORS容器直径缩放至 $20'' \times 0.0254 \times 13,500/500 =$

13.7米。对于5/2的长径比,这可能导致4000m³的储罐。壁厚可能会减少到 0.6英寸。这提供了对加压系统的潜力的一些想法。

[0112] 基本设计的示意图如图4所示。



北海 (NS) 和墨西哥湾 (GOM) 的温度分布以及甲烷和天然气的相平衡曲线。GOM的数据由Coort Cooper提供，NS的数据由Johansen等人提供。(2001年)

图1

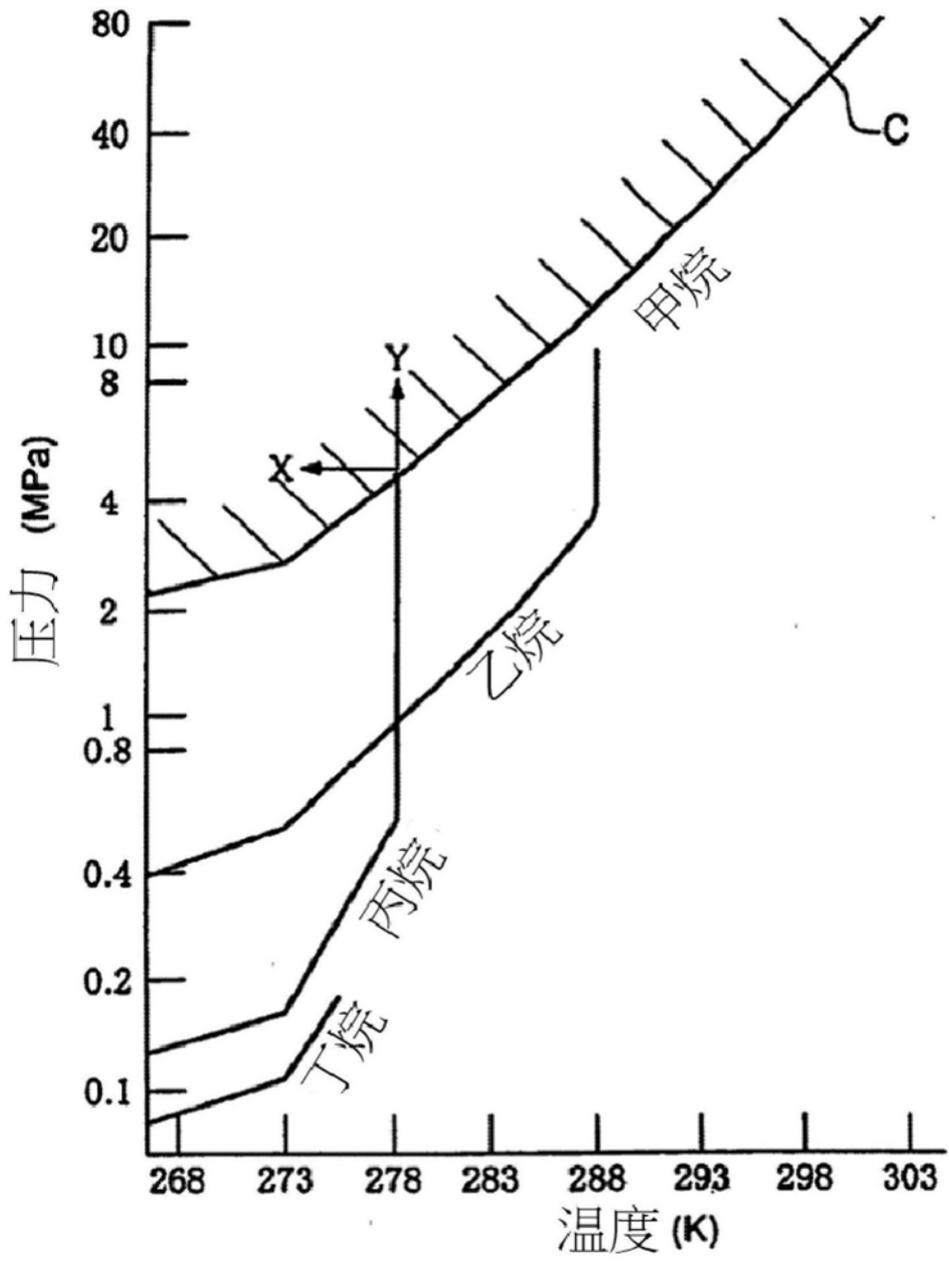


图2

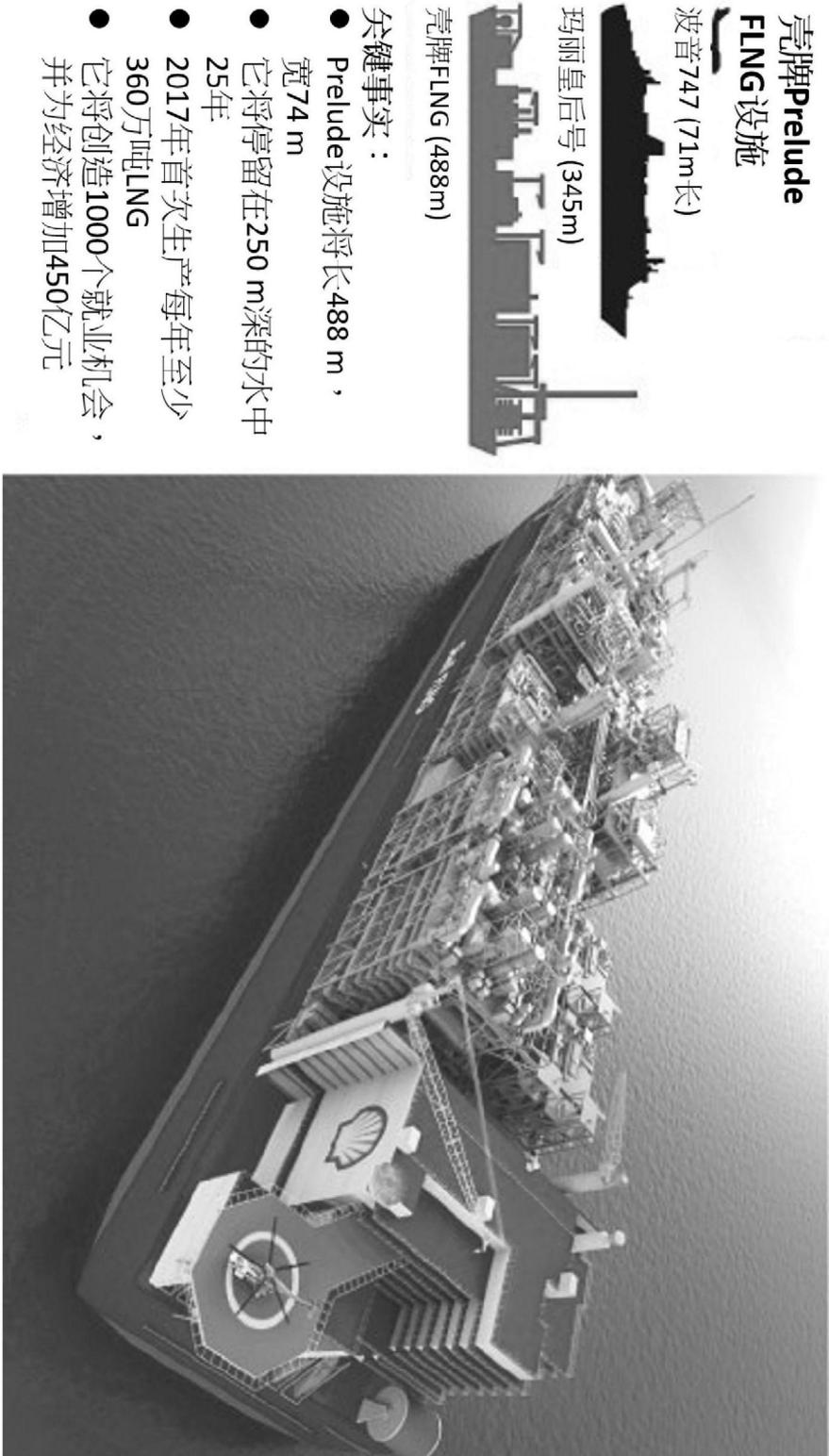


图3

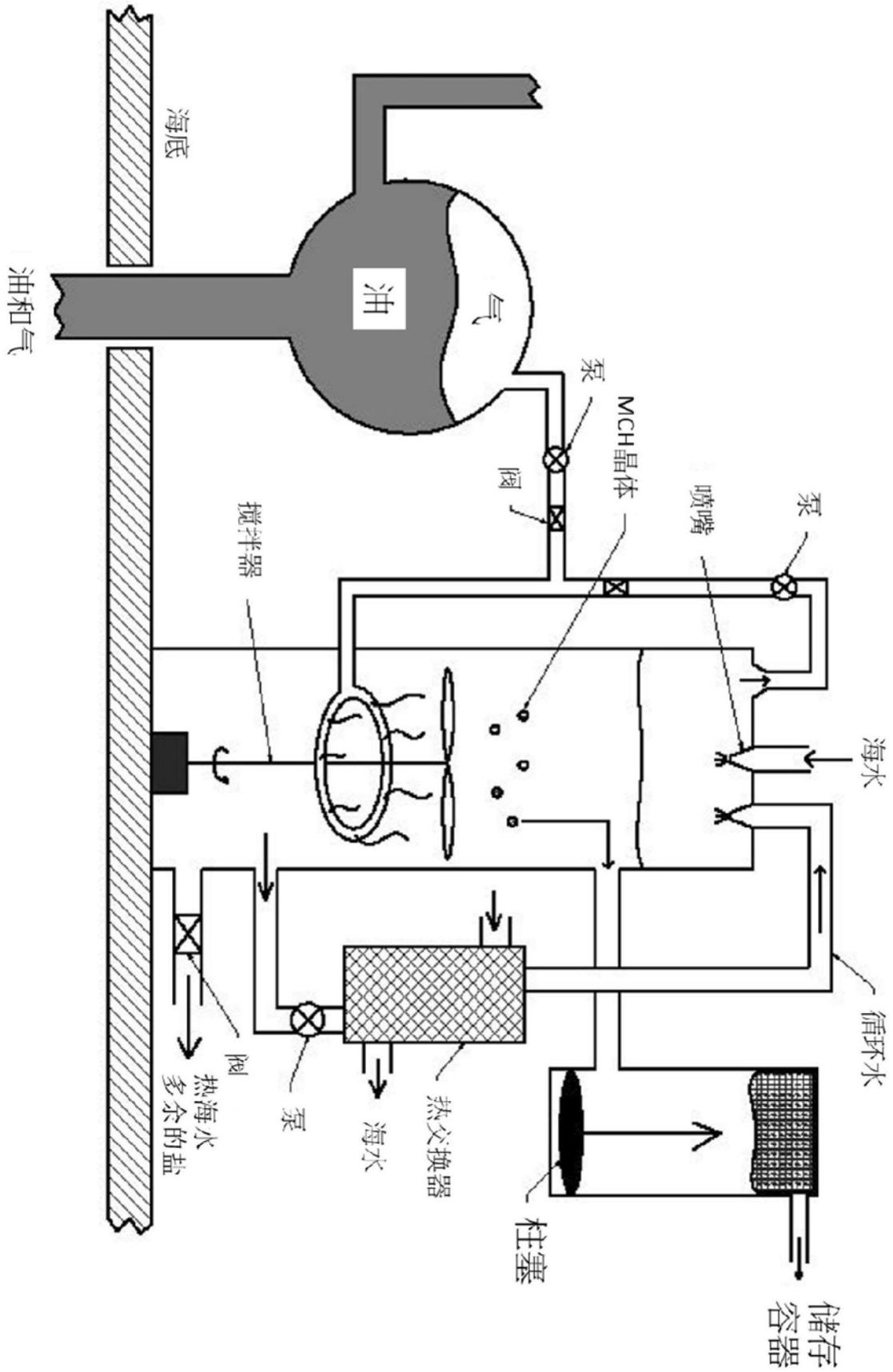


图4

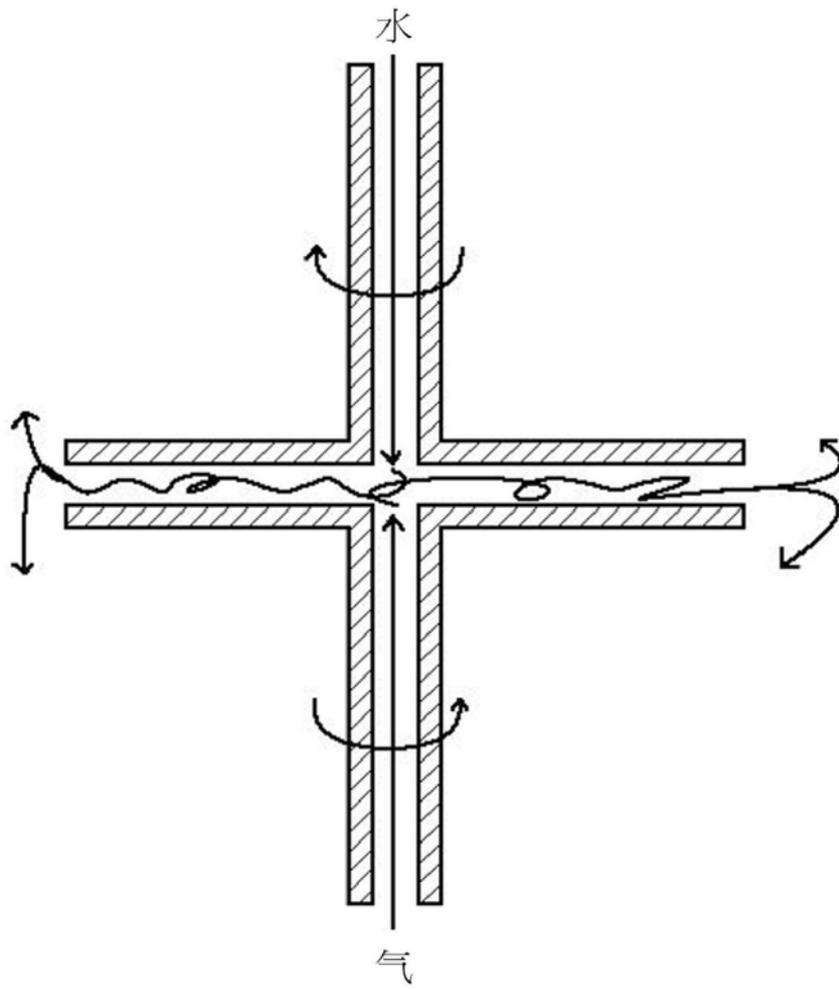


图5

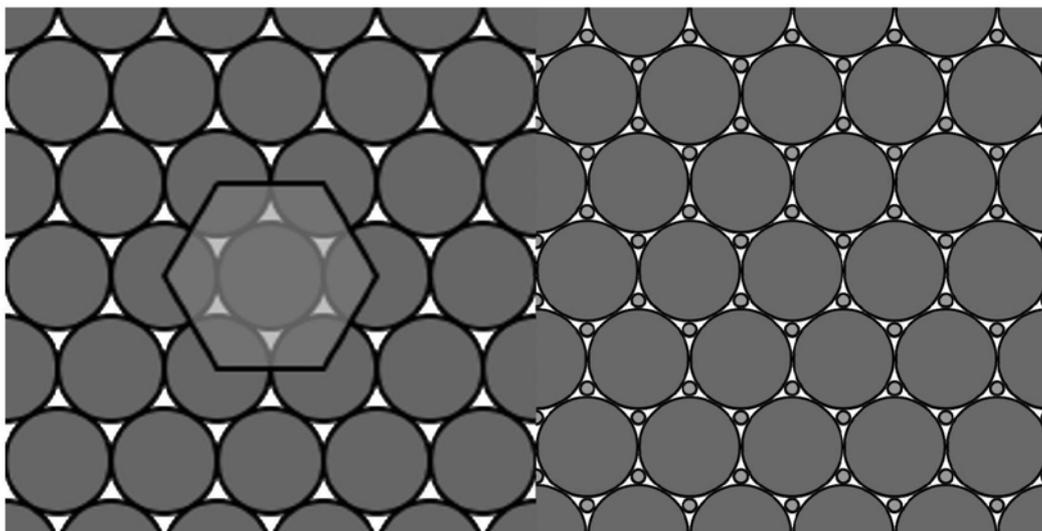


图6