



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105403672 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 16

(21) 申请号 201510831486. 8

(22) 申请日 2015. 11. 25

(71) 申请人 中国科学院广州能源研究所

地址 510640 广东省广州市天河区五山能源路 2 号

(72) 发明人 李小森 王屹 冯景春 张郁

李刚 陈朝阳 韩晗

(74) 专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限公司

公司 44001

代理人 孔德超 莫瑶江

(51) Int. Cl.

G01N 33/00(2006. 01)

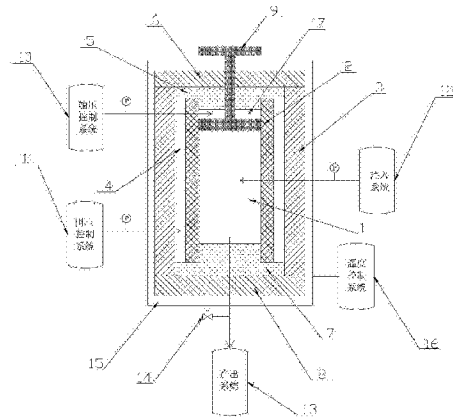
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种模拟天然气水合物开采过程地层形变实验装置,其包括反应釜、轴压活塞、釜外夹套、注入系统、轴压控制系统、围压控制系统、产出系统。本发明还公开了采用实验装置模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验方法,水合物生成过程中,使用冰粉制作系统制作合适粒径的冰粉颗粒,将冰粉与干燥后的海底沉积物颗粒混合,可以生成不同赋存形态和不同饱和度的水合物样品。开采实验中计算样品腔的轴向形变量以及产气、产水以及产沙数据。本发明可以模拟各种地质条件以及各种赋存形态条件下的水合物样品在分解过程中对地层形变的影响,获得天然气水合物分解对地层形变的影响的基础数据,为现实中开采天然气水合物提供实验基础和依据。



1. 一种模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述实验装置包括:

反应釜,所述反应釜包括带有密封容置空间的反应釜本体以及安装于反应釜本体中的内套(2),所述反应釜本体包括侧壁、上壁和下壁,其中,内套(2)、上壁和下壁围成用于放置样品的样品腔(1),内套(2)、侧壁以及上壁和下壁之间围成围压腔(4);

轴压活塞(9),所述轴压活塞(9)包括伸入样品腔(1)中的活塞本体以及连接部,所述连接部的下端固定连接于活塞本体上,其上端延伸至上壁的外侧,所述活塞本体、内套(2)和上壁之间围成不与样品腔(1)连通的轴压腔(17);

釜外夹套(15),所述釜外夹套(15)包围反应釜,所述釜外夹套(15)和反应釜之间围成浴腔,通过温度控制系统(16)改变浴腔内的温度以调节反应釜内的操作环境温度;

注入系统(12),用于向样品腔(1)内注气和注液;

轴压控制系统(10),用于向轴压腔(17)内注水或从轴压腔(17)内抽水,以改变轴压腔(17)的腔内压力;

围压控制系统(11),用于向围压腔(4)内注水或从围压腔(4)内抽水,以改变围压腔(4)的腔内压力;

产出系统(13),用于从样品腔(1)内采集产出物。

2. 根据权利要求1所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述侧壁为上、下端开口且中空的壳体(3),所述上壁为固定连接于壳体(3)上端的上法兰(6),在上法兰(6)和内套(2)的上端之间通过上密封塞(5)密封,所述下壁为固定连接于壳体(3)下端的下法兰(8),在下法兰(8)和内套(2)的下端之间通过下密封塞(7)密封。

3. 根据权利要求1所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,注入系统(12)包括:

注气单元,通过气体增压系统将气源注入样品腔(1),以检测实验装置的漏气情况以及向样品腔(1)注入生成水合物所需的反应气;

注液单元,通过平流泵将水源的去离子水注入样品腔(1),以获得和实际水合物矿藏条件一致的孔隙水饱和度。

4. 根据权利要求1所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述实验装置进一步包括一控制器,在轴压腔(17)、围压腔(4)样品腔(1)以及浴腔中分别安装有第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器和温度传感器,所述轴压活塞上安装有位移传感器,所述第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器、温度传感器以及位移传感器的信号输出端均电性连接于控制器。

5. 根据权利要求4所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述轴压控制系统(10)为手摇注水泵,当第一压力传感器测得的压力值小于轴压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵向轴压腔(17)内注水,当第一压力传感器测得的压力值大于轴压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵从轴压腔(17)内抽水。

6. 根据权利要求4所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述围压控制系统(11)为手摇注水泵,当第二压力传感器测得的压力值小于围压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵向围压腔(4)内注水,当第二压力传感器测得的压力值

大于围压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵从围压腔(4)内抽水。

7. 根据权利要求1所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述产出系统(13)包括出口压力控制器、气液固三相分离器、固体收集计量天平、液体收集计量天平以及气体流量计,其中,所述气液固三相分离器通过连通管道与样品腔(1)连通,所述出口压力控制器为安装于连通管道上的回压阀(14),所述气液固三相分离器由除砂器和气液分离器串联实现,所述固体收集计量天平通过计量除砂器质量变化记录产出砂量,所述液体收集计量天平计量气液分离器液体出口的产水质量,所述气体流量计计量气体出口的产出气量。

8. 根据权利要求1所述的模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,其特征在于,所述浴腔为循环水浴或空气浴。

9. 根据权利要求1所述的实验装置进行模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验方法,其特征在于,其包括以下步骤:

步骤1、使用制冰机在低温环境下制作冰粉颗粒;

步骤2、将冰粉颗粒与干燥后的多孔介质颗粒混合,并向样品腔中填充,整个填充的操作环境温度为零下,以保证冰粉颗粒不融化;

步骤3、通过轴压控制系统控制样品轴压,样品轴压控制过程中环境温度仍然保持零度以下;

步骤4、向样品腔中注入甲烷气,使孔隙压力高于水合物生成压力,注入甲烷气过程中保持样品腔温度低于零度,此时开始生成水合物,冰粉颗粒直接转化为甲烷水合物,当孔隙压力不再下降时,则冰粉颗粒全部反应为水合物,水合物生成完成;

步骤5、升高反应釜内温度至实际地质条件下的温度,通过注液单元向样品腔内的注液,获得所需的气液饱和度,期间保持样品腔内压力与温度保持不变;

步骤6、设定产出系统压力低于水合分解压力,并保持轴压腔压力不变,此时,开始分解水合物;

步骤7、计算样品腔轴向形变量、产沙量、产水量和产气量,以获得地层轴向形变与水合物分解的对应关系。

## 模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及天然气水合物开采领域,尤其涉及的是一种模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置和实验方法。

### 背景技术

[0002] 天然气水合物 (Natural Gas Hydrate, NGH) 是在一定条件下由轻烃、CO<sub>2</sub>及 H<sub>2</sub>S 等小分子气体与水相互作用过程中形成的白色固态结晶物质 (因遇火可以燃烧,俗称可燃冰),是一种非化学计量型晶体化合物,或称笼形水合物、气体水合物。自然界中存在的 NGH 中天然气的主要成分为甲烷 (>90%),所以又常称为甲烷水合物 (Methane Hydrate)。理论上,一个饱和的甲烷水合物分子结构内,甲烷与水的克分子比为 1:6,在标准状况下,甲烷气与甲烷水合物的体积比为 164:1,也就是说单位体积的甲烷水合物分解可产生 164 单位体积的甲烷气体,因而是一种重要的潜在未来资源。

[0003] 地球上的 NGH 蕴藏量十分丰富,大约 27% 的陆地 (大部分分布在冻结岩层) 和 90% 的海域都含有 NGH,陆地上的 NGH 存在于 200—2000m 深处,海底之下沉积物中的 NGH 埋深为 500—800m。其中海洋区域的 NGH 资源量占水合物总资源量的 99%。资源调查显示,我国南海、东海陆坡—冲绳海、青藏高原冻土带都蕴藏着 NGH。因此,研究出天然气水合物有效、快速、经济的开采方法,为大规模开采天然气水合物提供实验基础和依据,是缓解与日俱增的能源压力的有效途径。

[0004] 天然气水合物存在于永久冻土层和海底沉积层当中,常规的油气开采方法并不能直接应用于天然气水合物的开采。由于水合物都是稳定的存在于相对低温高压的环境,开采水合物主要的思想就是破坏水合物稳定存在的平衡条件,在水合物藏的原位将水合物分解,并用相应的开采装置将其开采出来,相应的开采思路主要有以下三种,即热激法,降压法和化学试剂法。

[0005] 天然气水合物是其所处储层地质结构的重要组成部分,它和沉积层中的沙石共同提供了储层地层保持稳定所需的强度。从地层稳定性的角度考虑,纯净的水合物的强度是纯冰的 20 倍,天然气水合物的存在对于地层的稳定性起着至关重要的作用。所以无论采取热激法、降压法还是注入抑制剂的方法进行开采,都不能忽略地层稳定性的问题。

[0006] 开采过程中水合物分解的同时不仅使得一部分固体组分从储层中消失,同时会生成水和气体。水的生成会导致沉积层的部分液化,从而失去抗剪能力。气体的生成和扩散则产生了附加孔隙压力,孔隙压力的增大则使得地层的有效应力显著降低,从而也降低了地层的强度。处在海平面以下较低位置的水合物藏的分解首先会造成该位置的地层沉降,变形向上方传播,上方水合物藏的上覆层土体滑坡,上覆压力减小,导致上方的水合物继续分解,产生更多的气体和液体,最终造成大范围的滑坡失稳,严重的还会诱发边坡失稳、地震以及海啸等严重的地质灾害。地层沉降和滑坡在开采井口处最为集中,容易造成开采井口的失稳和井壁的变形。这就是天然气水合物开采过程中最有可能的破坏形式。

[0007] 目前世界上的天然气水合物开采研究主要处于实验室模拟和数值模拟的阶段。对

于实验室模拟来说,目前世界上的天然气水合物开采实验模拟装置有很多,一般主要包括:高压反应釜,注液系统,注气系统,出口控制系统以及数据采集系统。但是水合物开采模拟研究主要集中在开采方法效果研究,以及开采过程的传热传质研究。还没有一种专门模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置和实验方法。因此,现有技术还有待于改进和发展。

## 发明内容

[0008] 针对现有技术的上述缺陷,本发明的目的之一在于提供一种天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,该实验装置可以模拟各种地质条件以及各种赋存形态条件下的水合物样品在分解过程中对地层形变的影响,从而使天然气水合物开采模拟实验更接近自然界条件,获得天然气水合物开采对地层形变的影响的基础数据,为现实中开采天然气水合物提供实验基础和依据。

[0009] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0010] 一种模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置,所述实验装置包括:

[0011] 反应釜,所述反应釜包括带有密封容置空间的反应釜本体以及安装于反应釜本体中的内套,所述反应釜本体包括侧壁、上壁和下壁,其中,内套、上壁和下壁围成用于放置样品的样品腔,内套、侧壁以及上壁和下壁之间围成围压腔;

[0012] 轴压活塞,所述轴压活塞包括伸入样品腔中的活塞本体以及连接部,所述连接部的下端固定连接于活塞本体上,其上端延伸至上壁的外侧,所述活塞本体、内套和上壁之间围成不与样品腔连通的轴压腔;

[0013] 釜外夹套,所述釜外夹套包围反应釜,所述釜外夹套和反应釜之间围成浴腔,通过温度控制系统改变浴腔内的温度以调节反应釜内的操作环境温度;

[0014] 注入系统,用于向样品腔内注气和注液;

[0015] 轴压控制系统,用于向轴压腔内注水或从轴压腔内抽水,以改变轴压腔的腔内压力;

[0016] 围压控制系统,用于向围压腔内注水或从围压腔内抽水,以改变围压腔的腔内压力;

[0017] 产出系统,用于从样品腔内采集产出物。

[0018] 所述反应釜本体具体有壳体、反应釜上盖和反应釜下盖组成,其中所述侧壁即是该上、下端开口且中空的壳体,反应釜上盖和反应釜下盖分别通过上法兰和下法兰固定于壳体上、下开口端,所述上壁为固定连接于壳体上端的上法兰,在上法兰和内套的上端之间通过上密封塞(如橡胶圈)密封,所述下壁为固定连接于壳体下端的下法兰,在下法兰和内套的下端之间通过下密封塞密封。样品腔内容积 100mL-10m<sup>3</sup>均可,为实现模拟真实天然气水合物地质条件,设计承压样品腔需大于 20MPa。

[0019] 注入系统包括:

[0020] 注气单元,通过气体增压系统将气源注入样品腔,以检测实验装置的漏气情况以及向样品腔注入生成水合物所需的反应气;

[0021] 注液单元,通过平流泵将水源的去离子水注入样品腔,以获得和实际水合物矿藏条件一致的孔隙水饱和度。

[0022] 所述实验装置进一步包括一控制器,在轴压腔、围压腔样品腔以及浴腔中分别安装有第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器和温度传感器,所述轴压活塞上安装有位移传感器,所述第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器、温度传感器以及位移传感器的信号输出端均电性连接于控制器。

[0023] 所述轴压控制系统为手摇注水泵,当第一压力传感器测得的压力值小于轴压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵向轴压腔内注水,当第一压力传感器测得的压力值大于轴压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵从轴压腔内抽水。

[0024] 所述围压控制系统为手摇注水泵,当第二压力传感器测得的压力值小于围压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵向围压腔内注水,当第二压力传感器测得的压力值大于围压腔设定压力值时,启动所述手摇注水泵从围压腔内抽水。

[0025] 所述产出系统包括出口压力控制器、气液固三相分离器、固体收集计量天平、液体收集计量天平以及气体流量计,其中,所述气液固三相分离器通过连通管道与样品腔连通,所述出口压力控制器为安装于连通管道上的回压阀,所述气液固三相分离器由除砂器和气液分离器串联实现,所述固体收集计量天平通过计量除砂器质量变化记录产出砂量,所述液体收集计量天平计量气液分离器液体出口的产水质量,所述气体流量计计量气体出口的产出气量。

[0026] 所述浴腔为循环水浴或空气浴。

[0027] 本发明的另一目的在于提供一种天然气水合物开采过程地层形变的实验方法,该实验方法可以模拟各种地质条件以及各种赋存形态条件下的水合物样品在分解过程中对地层形变的影响,从而使天然气水合物开采模拟实验更接近自然界条件,获得天然气水合物开采对地层形变的影响的基础数据,为现实中开采天然气水合物提供实验基础和依据,该实验方法包括以下步骤:

[0028] 步骤 1、使用制冰机在低温环境下制作冰粉颗粒;

[0029] 步骤 2、将冰粉颗粒与干燥后的多孔介质颗粒混合,并向样品腔中填充,整个填充的操作环境温度为零下,以保证冰粉颗粒不融化;

[0030] 步骤 3、通过轴压控制系统控制样品轴压,样品轴压控制过程中环境温度仍然保持零度以下;

[0031] 步骤 4、向样品腔中注入甲烷气,使孔隙压力高于水合物生成压力,注入甲烷气过程中保持样品腔温度低于零度,此时开始生成水合物,冰粉颗粒直接转化为甲烷水合物,当孔隙压力不再下降时,则冰粉颗粒全部反应为水合物,水合物生成完成;

[0032] 步骤 5、升高反应釜内温度至实际地质条件下的温度,通过注液单元向样品腔内的注液,获得所需的气液饱和度,期间保持样品腔内压力与温度保持不变;

[0033] 步骤 6、设定产出系统压力低于水合分解压力,并保持轴压腔压力不变,此时,开始分解水合物;

[0034] 步骤 7、计算样品腔轴向形变量、产沙量、产水量和产气量,以获得地层轴向形变与水合物分解的对应关系。

[0035] 本发明的有益效果是:本发明可以模拟各种地质条件以及各种赋存形态条件下的水合物样品在分解过程中对地层形变的影响,获得天然气水合物分解对地层形变的影响的基础数据,为现实中开采天然气水合物提供实验基础和依据。

## 附图说明

[0036] 图 1 为本发明实施例的天然水合物生成实验装置示意图。

[0037] 附图标记：1、样品腔；2、内套；3、壳体；4、围压腔；5、上密封塞；6、上法兰；7、下密封塞；8、下法兰；9、轴压活塞；10、轴压控制系统；11、围压控制系统；12、注入系统；13、产出系统；14、回压阀；15、釜外夹套；16、温度控制系统；17、轴压腔。

## 具体实施方式

[0038] 下面结合附图和具体实施方式对本发明的内容做进一步详细说明。

[0039] 实施例：

[0040] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确，以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0041] 如图 1 所示，一种模拟天然气水合物开采过程地层形变的实验装置，其主要包括反应釜、轴压活塞 9、釜外夹套 15、注入系统 12、轴压控制系统 10、围压控制系统 11、产出系统 13 和控制器几个部分组成，其中：

[0042] 反应釜包括带有密封容置空间的反应釜本体以及安装于反应釜本体中的内套 2，反应釜本体包括侧壁、上壁和下壁，其中，内套 2、上壁和下壁围成用于放置样品的样品腔 1，内套 2、侧壁以及上壁和下壁之间围成围压腔 4；反应釜本体具体有壳体 3、反应釜上盖和反应釜下盖组成，上述侧壁为上、下端开口且中空的壳体 3，反应釜上盖和反应釜下盖分别通过上法兰和下法兰固定于壳体上、下开口端，上壁为固定连接于壳体 3 上端的上法兰 6，在上法兰 6 和内套 2 的上端之间通过上密封塞 5（如橡胶圈）密封，下壁为固定连接于壳体 3 下端的下法兰 8，在下法兰 8 和内套 2 的下端之间通过下密封塞 7 密封。样品腔为圆柱形，其内容积 1L 均可，设计样品腔承压 20MPa。

[0043] 轴压活塞 9 包括伸入样品腔 1 中的活塞本体以及连接部，连接部的下端固定连接于活塞本体上，其上端延伸至上壁的外侧，活塞本体、内套 2 和上壁之间围成不与样品腔 1 连通的轴压腔 17。

[0044] 釜外夹套 15，釜外夹套 15 包围反应釜，釜外夹套 15 和反应釜之间围成浴腔，通过温度控制系统 16 改变浴腔内的温度以调节反应釜内的操作环境温度。浴腔为循环水浴或空气浴，所述温度控制系统是利用循环水浴或者空气浴控制整个系统的操作环境温度。

[0045] 控制器，主要是对一些传感参数进行采集，具体是：在轴压腔 17、围压腔 4 样品腔 1 以及浴腔中分别安装有第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器和温度传感器，轴压活塞上安装有位移传感器，第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器、温度传感器以及位移传感器的信号输出端均电性连接于控制器，用于分别采集轴压腔实际压力值、围压腔实际压力值、孔隙压力值、实验装置操作环境温度以及样品腔轴向形变量。

[0046] 注入系统 12，用于向样品腔 1 内注气和注液，其包括注气单元和注液单元，注气单元是通过气体增压系统将气源注入样品腔 1，以检测实验装置的漏气情况以及向样品腔 1 注入生成水合物所需的反应气；注液单元是通过平流泵将水源的去离子水注入样品腔 1，以获得和实际水合物矿藏条件一致的孔隙水饱和度。

[0047] 轴压控制系统 10,用于向轴压腔 17 内注水或从轴压腔 17 内抽水,以改变轴压腔 17 的腔内压力;轴压控制系统 10 为手摇注水泵,当第一压力传感器测得的压力值小于轴压腔设定压力值时,启动手摇注水泵向轴压腔 17 内注水,当第一压力传感器测得的压力值大于轴压腔设定压力值时,启动手摇注水泵从轴压腔 17 内抽水。

[0048] 围压控制系统 11,用于向围压腔 4 内注水或从围压腔 4 内抽水,以改变围压腔 4 的腔内压力;围压控制系统 11 为手摇注水泵,当第二压力传感器测得的压力值小于围压腔设定压力值时,启动手摇注水泵向围压腔 4 内注水,当第二压力传感器测得的压力值大于围压腔设定压力值时,启动手摇注水泵从围压腔 4 内抽水。

[0049] 产出系统 13 用于从样品腔 1 内采集产出物。产出系统 13 包括出口压力控制器、气液固三相分离器、固体收集计量天平、液体收集计量天平以及气体流量计,其中,气液固三相分离器通过连通管道与样品腔 1 连通,出口压力控制器为安装于连通管道上的回压阀 14,气液固三相分离器由除砂器和气液分离器串联实现,固体收集计量天平通过计量除砂器质量变化记录产出砂量,液体收集计量天平计量气液分离器液体出口的产水质量,气体流量计计量气体出口的产出气量。

[0050] 本发明实施例的一种基于上述所述合成海洋天然气水合物样品的实验方法,包括:

[0051] 步骤 101:使用制冰机在低温环境下制作合适粒径的冰粉颗粒。

[0052] 步骤 102:将冰粉颗粒以块状、层状、脉状、颗粒状或者分散状与干燥后的多孔介质颗粒混合,并向反应釜的样品腔中填充。整个填充的操作环境温度为零下,可以保证冰粉不融化。

[0053] 步骤 103:关闭反应釜通过轴压控制系统、围压控制系统分别控制样品轴压、围压,以模拟海底地质力学性质。过程中环境温度任然保持零度以下。

[0054] 步骤 104:注入甲烷气,令孔隙压力高于水合物生成压力,保持系统温度低于零度,开始生成水合物,冰粉颗粒直接转化为甲烷水合物。当系统压力不再下降时,认为冰粉颗粒全部反应为水合物。水合物生成完成。

[0055] 步骤 105:升高系统温度至实际地质条件下的温度,通过注液单元向反应釜内注液,获得所需的气液饱和度,期间保持压力与温度保持不变。

[0056] 步骤 106:设定出口压力低于水合分解压力,并保持轴压不变,开始分解水合物。

[0057] 步骤 107:计量轴向形变量、产沙量、产水量和产气量。从而获得地层轴向形变与水合物分解的关系。

[0058] 在上面步骤中提到的将冰粉以块状、层状、脉状、颗粒状或者分散状与干燥后的多孔介质颗粒混合填充的过程,详细介绍如下:

[0059] 当生成块状水合物时,先通过所需水合物总量计算出所需冰粉总量,然后制作出与多孔介质相似或略大的颗粒大小的冰粉,以块状集中的堆积在多孔介质中;

[0060] 当生成层状水合物时,先通过所需水合物总量计算出所需冰粉总量,然后制作出与多孔介质相似颗粒大小的冰粉,以和形态学数据相同厚度的层状的铺设在多孔介质中;

[0061] 当生成脉状水合物时,先通过所需水合物总量计算出所需冰粉总量,然后制作出与多孔介质相似颗粒大小的冰粉,以和形态学数据相同的延伸长度以及弯曲度铺设在多孔介质中;



[0062] 当生成颗粒状水合物时,先通过所需水合物总量计算出所需冰粉总量,然后制作出与多孔介质相似颗粒大小的冰粉,以和形态学数据相同颗粒大小以及分散度铺设在多孔介质中;

[0063] 当生成分散状水合物时,先通过所需水合物总量计算出所需冰粉总量,然后制作出比多孔介质颗粒小一个量级的冰粉,令冰粉与多孔介质充分混合后一起填充至样品腔中。

[0064] 需要强调的是,从安全生产的角度出发,反应釜上必须连接压力安全阀,安全压力设计略高于设计压力。是由于当水合物生成的实验中,一旦出现停电或者其他故障导致水合物分解,压力上升,可能会导致压力超过设计压力,从而损坏反应釜。

[0065] 综上所述,本发明提供了天然气水合物开采过程地层形变的实验装置和实验方法。该实验装置及实验方法可以模拟各种地质条件以及各种赋存形态条件下的水合物样品在分解过程中对地层形变的影响,获得天然气水合物分解对地层形变的影响的基础数据,为现实中开采天然气水合物提供实验基础和依据。

[0066] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

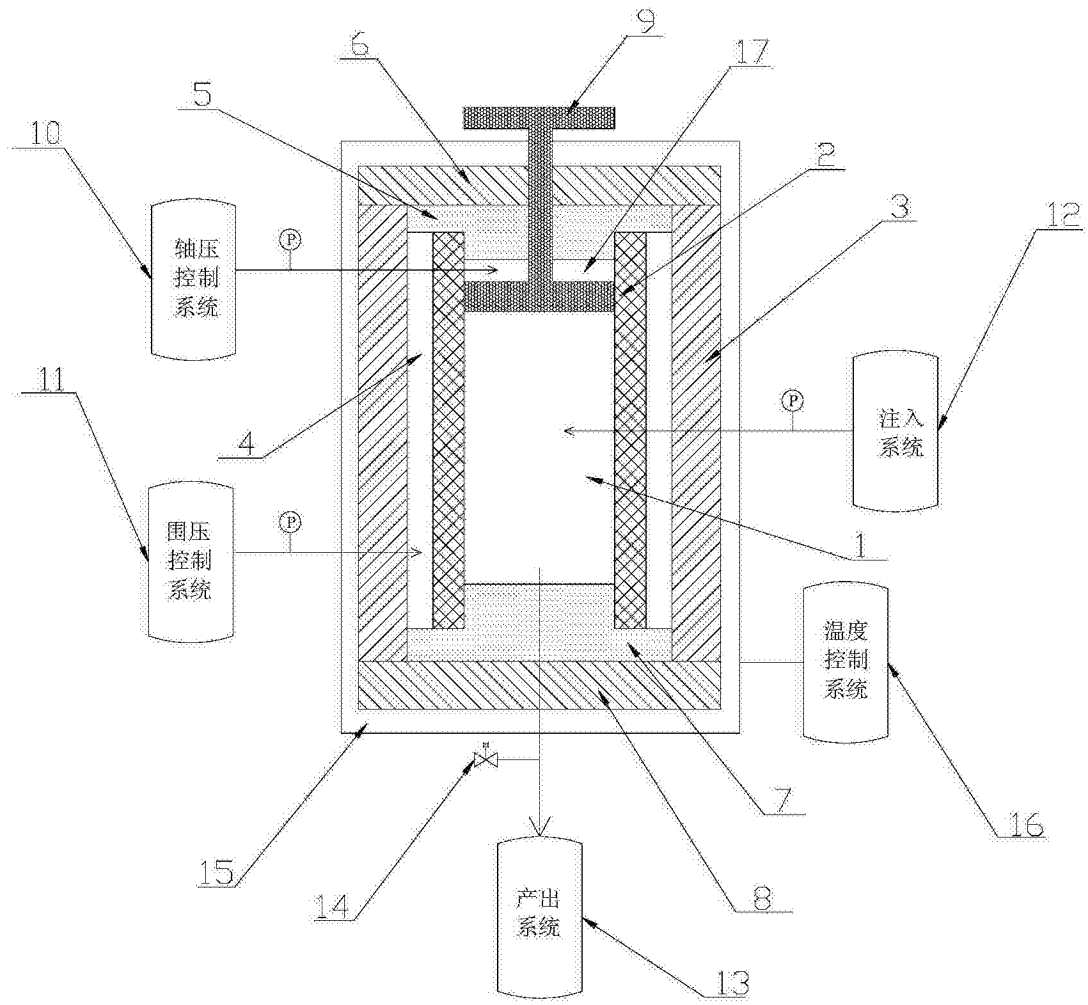


图 1