



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104088612 B

(45)授权公告日 2016.10.05

(21)申请号 201410278000.8

C10L 3/08(2006.01)

(22)申请日 2014.06.20

审查员 廖娜

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104088612 A

(43)申请公布日 2014.10.08

(73)专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 樊栓狮 闫素贞 温永刚 郎雪梅
王燕鸿

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限
公司 44102

代理人 何淑珍

(51)Int.Cl.

E21B 43/16(2006.01)

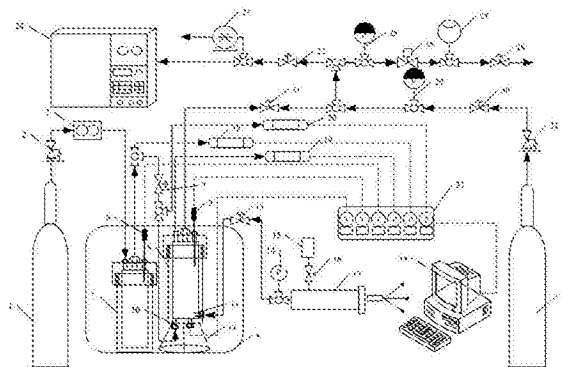
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种开采天然气水合物的实验模拟装置及
方法

(57)摘要

本发明公开了一种开采天然气水合物的实验模拟装置及方法,所述实验模拟装置包括稳压供气供液模块、反应器、控制模块、数据测量模块、数据采集及处理模块;所述方法是在水合物生成之后将未反应的气体等压排出,然后将水合物压缩成致密的水合物片,在水合物片的一侧通入CO₂气体,另一侧进行降压,实现了CO₂置换和降压两种开采天然气水合物的方法结合。本发明既克服了CO₂置换开采天然气水合物效率低,速率慢等缺点,又解决了降压开采天然气水合物可能引起地质灾害的难题,提高了天然气水合物开采的效率,并且结构简单,成本低。



1. 一种开采天然气水合物的实验模拟装置,其特征在于:包括稳压供气供液模块、反应器(8)、控制模块、数据测量模块、数据采集及处理模块,其中:

所述反应器(8)包括釜体(48)、与釜体(48)内壁密封配合且能上下移动的活塞(37)、连接设置于釜体(48)顶部的釜盖(47),支撑设置于釜体(48)底部的支架(12),所述釜盖(47)上设置有可接至釜体(48)内腔的压力检测接口(44)、气体进出口(45)、温度检测接口(46),所述釜体(48)内腔靠近釜盖(47)的一端装有微孔过滤片(35),所述活塞(37)上设置第三温度传感器(38)和单向阀(36),所述单向阀(36)的输入端依次连接硬质管线(42)和延伸至釜体(48)外的高压软管(40),所述硬质管线(42)的外壁与设置于釜体(48)底部的CO₂进气口(10)的内壁滑动配合且始终保持密封,所述第三温度传感器(38)一端固定在活塞(37)下端面上,随活塞(37)来回运动,另一端连接有耐压套管(39),所述第三温度传感器(38)的信号传输线(41)设置在耐压套管(39)内,所述耐压套管(39)与设置于釜体(48)底部的套管接口(43)的内壁滑动配合且始终保持密封,所述釜体(48)底部的侧壁上还设置有注液口(11);

所述稳压供气供液模块包括CH₄气瓶(32)、CH₄减压阀(31)、CO₂气瓶(1)、CO₂减压阀(2)、缓冲罐(5)、第七阀门(30)、第二阀门(13)、手摇泵(17),CH₄气瓶(32)内的CH₄依次经过CH₄减压阀(31)、第七阀门(30)、第四阀门(21)连接到反应器(8)的气体进出口(45),CO₂气瓶(1)内的CO₂气体依次经过CO₂减压阀(2)、质量流量计(3)进入到缓冲罐(5),所述缓冲罐(5)的输出端通过管路依次连接第一阀门(7)和高压软管(40),为反应提供稳定的气源,所述手摇泵(17)的输出端通过第二阀门(13)连接注液口(11);

所述数据测量模块包括第一温度传感器(6)、第二温度传感器(9)、第一压力传感器(18)、第二压力传感器(19)、第三压力传感器(20)、质量流量计(3)、湿式流量计(27),气相色谱(24)、第一压力表(25)、第二压力表(29)、液压表(14)、量杯(15);所述质量流量计(3)设置在CO₂减压阀(2)和缓冲罐(5)输入口之间的管路上;所述湿式流量计(27)连接在回压阀(26)和第六阀门(28)之间的管路上,用于测量注入到反应器(8)底部的液体量的量杯(15)通过第三阀门(16)连接手摇泵(17);所述气相色谱(24)通过第五阀门(22)连接在第四阀门(21)和第七阀门(30)之间的管路上,所述第一压力传感器(18)连接缓冲罐(5)的输出口,所述第二压力传感器(19)连接反应器(8)的压力检测接口(44),所述第三压力传感器(20)连接在第一阀门(7)和高压软管(40)之间的管路上;所述第一温度传感器(6)连接在缓冲罐(5)的温度测量接口上,所述第二温度传感器(9)连接在反应器(8)的温度检测接口(46)上,所述第一压力表(25)设置在回压阀(26)输入端的管路上,所述第二压力表(29)设置在第七阀门(30)和第四阀门(21)之间的管路上,所述液压表(14)设置在所述手摇泵(17)的输出端;

所述数据采集及处理模块包括数据采集仪(33)和电脑(34),所述第一温度传感器(6)、第二温度传感器(9)、第三温度传感器(38)、第一压力传感器(18)、第二压力传感器(19)、第三压力传感器(20)均通过信号线连接数据采集仪(33),所述数据采集仪(33)连接着电脑(34),在电脑(34)上显出各个温度和压力的读数;

所述控制模块分为环境控制单元和压力控制单元,包括用于控制环境温度的恒温槽(4)和用于控制压力的回压阀(26)及真空泵(23),所述缓冲罐(5)和反应器(8)置于恒温槽(4)内,恒温槽内装有乙醇溶液,通过制冷和循环保持环境温度恒定;所述回压阀(26)的输入端连接在第四阀门(21)和第七阀门(30)之间的管路上,控制反应器(8)出口压力恒定,所

述回压阀(26)的输出端通过管路连接第六阀门(28),所述真空泵(23)连接在第五阀门(22)和气相色谱(24)之间的管路上。

2. 根据权利要求1所述的开采天然气水合物的实验模拟装置,其特征在于:所述微孔过滤片(35)的孔径为 $10\mu\text{m}\sim 90\mu\text{m}$ 。

3. 根据权利要求2所述的开采天然气水合物的实验模拟装置,其特征在于:所述釜盖(47)和釜体(48)通过螺纹或法兰相连接。

4. 一种采用如权利要求1至3任一项所述的实验模拟装置开采天然气水合物的方法,其特征在于,包括步骤:

(1)生成水合物:将活塞(37)置于反应器(8)最底部,向反应器(8)内加入一定量的十二烷基硫酸钠溶液,抽真空,打开第四阀门(21)、第七阀门(30),往反应器(8)内充 CH_4 至压力为 $4\text{MPa}\sim 12\text{MPa}$,调节恒温槽(4)的温度,在温度为 $1^\circ\text{C}\sim 10^\circ\text{C}$ 和压力为 $4\text{MPa}\sim 12\text{MPa}$ 条件下,反应时间为 $1\text{h}\sim 100\text{h}$ 后生成水合物;

(2) CO_2 储备:在生成水合物时,关闭第一阀门(7),将 CO_2 气体充入缓冲罐(5),缓冲罐(5)体积为 $100\sim 800\text{ml}$,并用质量流量计(3)测量进入缓冲罐(5)内的 CO_2 的量;

(3)等压排气:水合物生成之后,打开第二阀门(13)、第三阀门(16),用手摇泵(17)将配好的一定质量分数的盐水从注液口(11)注入反应器(8)底部,推动活塞(37)向上运动,同时将第四阀门(21)、第六阀门(28)打开,将反应器(8)内未反应的 CH_4 气体等压排出,并用湿式流量计(27)测量排出的 CH_4 量;

(4)水合物压片:排出未反应的 CH_4 后,关闭第四阀门(21)、第六阀门(28),并通过注液口(11)继续注入盐水,进一步推动活塞(37)向上移动,使生成的水合物压缩成片,然后关闭第二阀门(13);

(5)充 CO_2 气体:打开第一阀门(7),将缓冲罐(5)内的 CO_2 气体通过 CO_2 进气口(10)、单向阀(36)充入位于活塞(37)上方的反应器(8)内,同时将连接反应器(8)底部注液口(11)的第二阀门(13)打开,当充入反应器(8)内的 CO_2 压力达到 $1\text{MPa}\sim 4\text{MPa}$ 后,关闭第一阀门(7)、第二阀门(13);

(6)降压:充入 CO_2 之后,将第四阀门(21)、第六阀门(28)打开,在水合物片另一侧进行降压,并用回压阀(26)控制气体进出口(45)的压力恒定在 $1\text{MPa}\sim 4\text{MPa}$;

(7)开采天然气水合物:反应时间为 $70\text{h}\sim 200\text{h}$,每隔2-6小时用气相色谱(24)测量气体的组分,直至测得的 CH_4 的含量恒定不变;

(8)水合物完全分解:当 CH_4 的含量不再变化时,关闭第四阀门(21),提高恒温槽(4)的温度,使反应后的水合物完全分解,并用气相色谱(24)测量分解后气体的组分,测得的 CH_4 的含量,并通过与步骤7中测得的恒定 CH_4 含量相比较,获得天然气水合物开采率数据;

(9)活塞回位:反应完全结束后,从气体进出口(45)充入 N_2 或空气,将活塞(37)推到反应器(8)底部。

5. 根据权利要求4所述的开采天然气水合物的方法,其特征在于,所述盐水的浓度为 $1\text{wt}\%\sim 10\text{wt}\%$ 。

一种开采天然气水合物的实验模拟装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及天然气水合物开采技术领域,尤其是一种开采天然气水合物的实验模拟装置及方法。

背景技术

[0002] 天然气水合物是一种非化学计量的笼状晶体水合物,由天然气和水在一定的温度条件下形成。天然气水合物广泛的存在于深海海底及冻土区,据估计,全球深度在2000m以内的岩石圈浅部所含的天然气水合物的量,相当于已探明的常规矿物燃料总和的2倍。因此,天然气水合物的开采也越来越受到人们的关注。传统的开采天然气水合物的方法主要包括降压法、热激法、化学试剂法及上述方法的联用。这些方法都是通过外部刺激破坏天然气水合物的平衡条件,这些方法存在的共同缺点是导致水合物矿藏的破坏,可能引起水合物所在区域的地层坍塌。

[0003] CO₂置换天然气水合物既可以开采出CH₄,回收CO₂,又可以稳定水合物区的地层结构。因此,它被认为是一种新型的天然气开采方法。随着空气中CO₂含量的日益增加,该方法也备受关注。目前,该方法主要处于实验室研究阶段。

[0004] 针对CO₂置换开采天然气水合物,李小森等人曾公开发明了专利“一种二氧化碳置换开采天然气水合物模拟方法及实验装置”,但此发明的方法中生成水合物之后,排出多余的气体方法是通过降温至水合物自保护效应的温度范围内,仍有部分水合物会发生分解。且此发明仍不能解决CO₂置换天然气水合物的置换效率低,置换速率慢等缺点。

[0005] 针对以上技术难题,本发明提供了一种CO₂置换和降压联合开采天然气水合物的实验模拟装置及方法,在水合物生成之后将未反应的气体等压排出,然后将水合物压缩成致密的水合物片,在水合物片的一侧通入CO₂气体,另一侧进行降压,实现了CO₂置换和降压两种开采天然气水合物的方法结合,结构简单,操作方便,成本低,效率高。

发明内容

[0006] 针对以上技术难题,本发明提供了一种CO₂置换和降压联合开采天然气水合物的实验模拟装置及方法,在水合物生成之后将未反应的气体等压排出,然后将水合物压缩成致密的水合物片,在水合物片的一侧通入CO₂气体,另一侧进行降压,实现了CO₂置换和降压两种开采天然气水合物的方法结合,结构简单,操作方便,成本低,效率高。

[0007] 本发明目的通过以下技术方案来实现:

[0008] 一种开采天然气水合物的实验模拟装置,包括稳压供气供液模块、反应器、控制模块、数据测量模块、数据采集及处理模块,其中:

[0009] 所述反应器包括釜体、与釜体内壁密封配合且能上下移动的活塞、连接设置于釜体顶部的釜盖,支撑设置于釜体底部的支架,所述釜盖上设置有可接至釜体内腔的压力检测接口、气体进出口、温度检测接口,所述釜体内腔靠近釜盖的一端装有微孔过滤片,所述活塞上设置第三温度传感器和单向阀,所述单向阀的输入端依次连接硬质管线和延伸至釜

体外的高压软管,所述硬质管线的外壁与设置于釜体底部的CO₂进气口的内壁滑动配合且始终保持密封,所述第三温度传感器一端固定在活塞下端面上,随活塞来回运动,另一端连接有耐压套管,所述第三温度传感器的信号传输线设置在耐压套管内,所述耐压套管与设置于釜体底部的套管接口的内壁滑动配合且始终保持密封,所述釜体底部的侧壁上还设置有注液口;

[0010] 所述稳压供气供液模块包括CH₄气瓶、CH₄减压阀、CO₂气瓶、CO₂减压阀、缓冲罐、第七阀门、第二阀门、手摇泵,CH₄气瓶内的CH₄依次经过CH₄减压阀、第七阀门、第四阀门连接到反应器的气体进出口,CO₂气瓶内的CO₂气体依次经过CO₂减压阀、质量流量计进入到缓冲罐,所述缓冲罐的输出端通过管路依次连接第一阀门和高压软管,为反应提供稳定的气源,所述手摇泵17的输出端通过第二阀门连接注液口;

[0011] 所述数据测量模块包括第一温度传感器、第二温度传感器、第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器、质量流量计、湿式流量计,气相色谱、第一压力表、第二压力表、液压表、量杯;所述质量流量计设置在CO₂减压阀和缓冲罐输入口之间的管路上;所述湿式流量计连接在回压阀和第六阀门之间的管路上,用于测量注入到反应器底部的液体量的量杯通过第三阀门连接手摇泵;所述气相色谱通过第五阀门连接在第四阀门和第七阀门之间的管路上,监测反应进行的程度,所述第一压力传感器连接缓冲罐的输出口,所述第二压力传感器连接反应器的压力检测接口,所述第三压力传感器连接在第一阀门和高压软管之间的管路上;所述第一温度传感器连接在缓冲罐的温度测量接口上,所述第二温度传感器连接在反应器的温度检测接口上,所述第一压力表设置在回压阀输入端的管路上,所述第二压力表设置在第七阀门和第四阀门之间的管路上,所述液压表设置在所述手摇泵的输出端;

[0012] 所述数据采集及处理模块包括数据采集仪和电脑,所述第一温度传感器、第二温度传感器、第三温度传感器、第一压力传感器、第二压力传感器、第三压力传感器均通过信号线连接数据采集仪,所述数据采集仪连接着电脑,在电脑上显出各个温度和压力的读数;

[0013] 所述控制模块分为环境控制单元和压力控制单元,包括用于控制环境温度的恒温槽和用于控制压力的回压阀及真空泵,所述缓冲罐和反应器置于恒温槽内,恒温槽内装有乙醇溶液,通过制冷和循环保持环境温度恒定;所述回压阀的输入端连接在第四阀门和第七阀门之间的管路上,控制反应器出口压力恒定,所述回压阀的输出端通过管路连接第六阀门,所述真空泵连接在第五阀门和气相色谱之间的管路上;

[0014] 进一步地,所述微孔过滤片的孔径为10 μ m~90 μ m。

[0015] 进一步地,所述釜盖和釜体通过螺纹或法兰相连接。

[0016] 本发明还提供了一种开采天然气水合物的方法,包括步骤:

[0017] (1)生成水合物:将活塞置于反应器最底部,向反应器内加入一定量的十二烷基硫酸钠溶液,抽真空,打开第四阀门、第七阀门,往反应器内充CH₄至压力为4MPa~12MPa,调节恒温槽的温度,在温度为1 $^{\circ}$ C~10 $^{\circ}$ C和压力为4MPa~12MPa条件下,反应时间为1h~100h后生成水合物;

[0018] (2)CO₂储备:在生成水合物时,关闭第一阀门,将CO₂气体充入缓冲罐,缓冲罐体积为100 ml~800ml,并用质量流量计测量进入缓冲罐内的CO₂的量;

[0019] (3)等压排气:水合物生成之后,打开第二阀门、第三阀门,用手摇泵将配好的一定

质量分数的盐水从注液口注入反应器底部,推动活塞向上运动,同时将第四阀门、第六阀门打开,将反应器内未反应的CH₄气体等压排出,并用湿式流量计测量排出的CH₄量;

[0020] (4)水合物压片:排出未反应的CH₄后,关闭第四阀门、第六阀门,并通过注液口继续注入盐水,进一步推动活塞向上移动,使生成的水合物压缩成片,然后关闭第二阀门;

[0021] (5)充CO₂气体:打开第一阀门,将缓冲罐内的CO₂气体通过CO₂进气口、单向阀充入位于活塞上方的反应器内,同时将连接反应器底部注液口的第二阀门打开,当充入反应器内的CO₂压力达到1MPa~4MPa后,关闭第一阀门、第二阀门;

[0022] (6)降压:充入CO₂之后,将第四阀门、第六阀门打开,在水合物片另一侧进行降压,并用回压阀控制气体进出口的压力恒定在1MPa~4MPa;

[0023] (7)开采天然气水合物:反应时间为70 h ~200h,每隔2-6小时用气相色谱测量气体的组分,直至测得的CH₄的含量恒定不变;

[0024] (8)水合物完全分解:当CH₄的含量不再变化时,关闭第四阀门,提高恒温槽的温度,使反应后的水合物完全分解,并用气相色谱测量分解后气体的组分,测得的CH₄的含量,并通过与步骤7中测得的恒定CH₄含量相比较,获得天然气水合物开采率数据;

[0025] (9)活塞回位:反应完全结束后,从气体进出口充入N₂或空气,将活塞推到反应器底部。

[0026] 进一步地,所述盐水的浓度为1 wt%~10wt%。

[0027] 本发明与现有技术相比,具有如下优点:

[0028] 1、本发明提供了一种开采天然气水合物的方法,使CO₂置换开采天然气水合物和降压开采天然气水合物在水合物片两侧同时进行。

[0029] 2、本发明在水合物生成之后,推动活塞可将未反应的气体等压排出,防止水合物因为压力降低而分解。

[0030] 3、本发明能够实现二氧化碳驱替开采甲烷水合物的直观测定,便于研究。

[0031] 4、本发明提供了一种开采天然气水合物的实验模拟装置,能够模拟CO₂置换和降压联合开采天然气水合物的过程。

[0032] 5、本发明提供的一种开采天然气水合物的实验模拟装置,结构简单,便于操作,成本低,效率高。

附图说明

[0033] 图1为本发明装置的结构示意图;

[0034] 图2为本发明装置的反应器的结构图。

[0035] 图中所示为:CO₂气瓶1,CO₂减压阀2,质量流量计3,恒温槽4,缓冲罐5,第一温度传感器6,第一阀门7,反应器8,第二温度传感器9,CO₂进气口10,注液口11,支架12,第二阀门13,液压表14,量杯15,第三阀门16,手摇泵17,第一压力传感器18,第二压力传感器19,第三压力传感器20,第四阀门21,第五阀门22,真空泵23,气相色谱24,第一压力表25,回压阀26,湿式流量计27,第六阀门28,第二压力表29,第七阀门30,CH₄减压阀31,CH₄气瓶32,数据采集仪33,电脑34,微孔过滤片35,单向阀36,活塞37,第三温度传感器38,耐压套管39,高压软管40,信号传输线41,硬质管线42,管套接口43,压力检测接口44,气体进出口45,温度检测接口46,釜盖47,釜体48。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图和具体实施例对本发明的发明目的作进一步详细地描述,实施例不能在此一一赘述,但本发明的实施方式并不因此限定于以下实施例。

[0037] 实施例一

[0038] 如图1所示,一种开采天然气水合物的实验模拟装置,包括稳压供气供液模块、反应器8、控制模块、数据测量模块、数据采集及处理模块,其中:

[0039] 所述反应器8包括釜体48、与釜体48内壁密封配合且能上下移动的活塞37、连接设置于釜体48顶部的釜盖47,支撑设置于釜体48底部的支架12,所述釜盖47上设置有可接至釜体48内腔的压力检测接口44、气体进出口45、温度检测接口46,所述釜体48内腔靠近釜盖47的一端装有微孔过滤片35,实现压力的均匀分布,所述活塞37上设置第三温度传感器38和单向阀36,所述单向阀36的输入端依次连接硬质管线42和延伸至釜体48外的高压软管40,所述硬质管线42的外壁与设置于釜体48底部的CO₂进气口10的内壁滑动配合且始终保持密封,所述第三温度传感器38一端固定在活塞37下端面上,随活塞37来回运动,另一端连接有耐压套管39,所述第三温度传感器38的信号传输线41设置在耐压套管39内,所述耐压套管39与设置于釜体48底部的套管接口43的内壁滑动配合且始终保持密封,所述釜体48底部的侧壁上还设置有注液口11;

[0040] 所述稳压供气供液模块包括CH₄气瓶32、CH₄减压阀31、CO₂气瓶1、CO₂减压阀2、缓冲罐5、第七阀门30、第二阀门13、手摇泵17,CH₄气瓶32内的CH₄依次经过CH₄减压阀31、第七阀门30、第四阀门21连接到反应器8的气体进出口45,CO₂气瓶1内的CO₂气体依次经过CO₂减压阀2、质量流量计3进入到缓冲罐5,所述缓冲罐5的输出端通过管路依次连接第一阀门7和高压软管40,为反应提供稳定的气源,所述手摇泵17的输出端通过第二阀门13连接注液口11;

[0041] 所述数据测量模块包括第一温度传感器6、第二温度传感器9、第一压力传感器18、第二压力传感器19、第三压力传感器20、质量流量计3、湿式流量计27,气相色谱24、第一压力表25、第二压力表29、液压表14、量杯15;所述质量流量计3设置在CO₂减压阀2和缓冲罐5输入口之间的管路上;所述湿式流量计27连接在回压阀26和第六阀门28之间的管路上,用于测量注入到反应器底部的液体量的量杯15通过第三阀门16连接手摇泵17;所述气相色谱24通过第五阀门22连接在第四阀门21和第七阀门30之间的管路上,所述第一压力传感器18连接缓冲罐5的输出口,所述第二压力传感器19连接反应器8的压力检测接口44,所述第三压力传感器20连接在第一阀门7和高压软管40之间的管路上;所述第一温度传感器6连接在缓冲罐5的温度测量接口上,所述第二温度传感器9连接在反应器8的温度检测接口46上,所述第一压力表25设置在回压阀26输入端的管路上,所述第二压力表29设置在第七阀门30和第四阀门21之间的管路上,所述液压表14设置在所述手摇泵17的输出端;各温度传感器和压力传感器分别实时监测缓冲罐5、反应器8的温度和压力变化,各压力表分别测量各管路的压力变化;所述质量流量计3测量充入缓冲罐5CO₂的量;所述湿式流量计27测量反应器8排出的气体量;所述量杯15测量注入到反应器8底部的液体量;

[0042] 所述数据采集及处理模块包括数据采集仪33和电脑34,所述第一温度传感器6、第二温度传感器9、第三温度传感器38、第一压力传感器18、第二压力传感器19、第三压力传感器20均通过信号线连接数据采集仪33,所述数据采集仪33连接着电脑34,在电脑34上显出

各个温度和压力的读数,如在电脑34上输出温度-时间曲线、压力-时间曲线;

[0043] 所述控制模块分为环境控制单元和压力控制单元,包括用于控制环境温度的恒温槽4和用于控制压力的回压阀26及真空泵23,所述缓冲罐5和反应器8置于恒温槽4内,恒温槽内装有乙醇溶液,通过制冷和循环保持环境温度恒定;所述回压阀26的输入端连接在第四阀门21和第七阀门30之间的管路上,控制反应器8出口压力恒定,所述回压阀26的输出端通过管路连接第六阀门28;所述真空泵23连接在第五阀门22和气相色谱24之间的管路上,用于对反应器8抽真空。

[0044] 进一步地,所述微孔过滤片35的孔径为 $10\mu\text{m}\sim 90\mu\text{m}$,本实施例的孔径为 $10\mu\text{m}$,也可根据需要采用孔径为 $30\mu\text{m}$ 、 $60\mu\text{m}$ 或 $90\mu\text{m}$ 的微孔过滤片35。

[0045] 进一步地,所述釜盖47和釜体48通过螺纹或法兰相连接,本实施例采用螺纹想连接,加工方便,操作简单。

[0046] 实施例二

[0047] 一种开采天然气水合物的方法,包括步骤:

[0048] (1)生成水合物:将活塞37置于反应器8最底部,向反应器8内加入一定量的十二烷基硫酸钠溶液,抽真空,打开第四阀门21、第七阀门30,往反应器8内充 CH_4 至压力为 4MPa ,调节恒温槽4的温度,在温度为 1°C 和压力为 4MPa 条件下,反应时间为 100h 后生成水合物;

[0049] (2) CO_2 储备:在生成水合物时,关闭第一阀门7,将 CO_2 气体充入缓冲罐5,缓冲罐5体积为 100ml ,并用质量流量计3测量进入缓冲罐5内的 CO_2 的量;

[0050] (3)等压排气:水合物生成之后,打开第二阀门13、第三阀门16,用手摇泵17将配好的一定质量分数的盐水从注液口11注入反应器8底部,推动活塞37向上运动,同时将第四阀门21、第六阀门28打开,将反应器8内未反应的 CH_4 气体等压排出,并用湿式流量计27测量排出的 CH_4 量;

[0051] (4)水合物压片:排出未反应的 CH_4 后,关闭第四阀门21、第六阀门28,并通过注液口11继续注入盐水,进一步推动活塞37向上移动,使生成的水合物压缩成片,然后关闭第二阀门13;

[0052] (5)充 CO_2 气体:打开第一阀门7,将缓冲罐5内的 CO_2 气体通过 CO_2 进气口10、单向阀36充入位于活塞37上方的反应器8内,同时将连接反应器8底部注液口11的第二阀门13打开,当充入反应器8内的 CO_2 压力达到 1MPa 后,关闭第一阀门7、第二阀门13;

[0053] (6)降压:充入 CO_2 之后,将第四阀门21、第六阀门28打开,在水合物片另一侧进行降压,并用回压阀26控制气体进出口45的压力恒定在 1MPa ;

[0054] (7)开采天然气水合物:反应时间为 70h ,每隔2小时用气相色谱24测量气体的组分,直至测得的 CH_4 的含量恒定不变;

[0055] (8)水合物完全分解:当 CH_4 的含量不再变化时,关闭第四阀门21,提高恒温槽4的温度,使反应后的水合物完全分解,并用气相色谱24测量分解后气体的组分,测得的 CH_4 的含量,并通过与步骤7中测得的恒定 CH_4 含量相比较,获得天然气水合物开采率数据;

[0056] (9)活塞回位:反应完全结束后,从气体进出口45充入 N_2 或空气,将活塞37推到反应器8底部。

[0057] 进一步地,所述盐水的浓度为 $1\text{wt}\%$ 。

[0058] 实施例三

[0059] 一种开采天然气水合物的方法,包括步骤:

[0060] (1)生成水合物:将活塞37置于反应器8最底部,向反应器8内加入一定量的十二烷基硫酸钠溶液,抽真空,打开第四阀门21、第七阀门30,往反应器8内充 CH_4 至压力为8MPa,调节恒温槽4的温度,在温度 6°C 和压力8MPa条件下,反应时间为50h后生成水合物;

[0061] (2) CO_2 储备:在生成水合物时,关闭第一阀门7,将 CO_2 气体充入缓冲罐5,缓冲罐5体积为500ml,并用质量流量计3测量进入缓冲罐5内的 CO_2 的量;

[0062] (3)等压排气:水合物生成之后,打开第二阀门13、第三阀门16,用手摇泵17将配好的一定质量分数的盐水从注液口11注入反应器8底部,推动活塞37向上运动,同时将第四阀门21、第六阀门28打开,将反应器8内未反应的 CH_4 气体等压排出,并用湿式流量计27测量排出的 CH_4 量;

[0063] (4)水合物压片:排出未反应的 CH_4 后,关闭第四阀门21、第六阀门28,并通过注液口11继续注入盐水,进一步推动活塞37向上移动,使生成的水合物压缩成片,然后关闭第二阀门13;

[0064] (5)充 CO_2 气体:打开第一阀门7,将缓冲罐5内的 CO_2 气体通过 CO_2 进气口10、单向阀36充入位于活塞37上方的反应器8内,同时将连接反应器8底部注液口11的第二阀门13打开,当充入反应器8内的 CO_2 压力达到3MPa后,关闭第一阀门7、第二阀门13;

[0065] (6)降压:充入 CO_2 之后,将第四阀门21、第六阀门28打开,在水合物片另一侧进行降压,并用回压阀26控制气体进出口45的压力恒定在3MPa;

[0066] (7)开采天然气水合物:反应时间为130h,每隔4小时用气相色谱24测量气体的组分,直至测得的 CH_4 的含量恒定不变;

[0067] (8)水合物完全分解:当 CH_4 的含量不再变化时,关闭第四阀门21,提高恒温槽4的温度,使反应后的水合物完全分解,并用气相色谱24测量分解后气体的组分,测得的 CH_4 的含量,并通过与步骤7中测得的恒定 CH_4 含量相比较,获得天然气水合物开采率数据;

[0068] (9)活塞回位:反应完全结束后,从气体进出口45充入 N_2 或空气,将活塞37推到反应器8底部。

[0069] 进一步地,所述盐水的浓度为5wt%。

[0070] 实施例四

[0071] 一种开采天然气水合物的方法,包括步骤:

[0072] (1)生成水合物:将活塞37置于反应器8最底部,向反应器8内加入一定量的十二烷基硫酸钠溶液,抽真空,打开第四阀门21、第七阀门30,往反应器8内充 CH_4 至压力为12MPa,调节恒温槽4的温度,在温度 10°C 和压力12MPa条件下,反应时间为1h后生成水合物;

[0073] (2) CO_2 储备:在生成水合物时,关闭第一阀门7,将 CO_2 气体充入缓冲罐5,缓冲罐5体积为800ml,并用质量流量计3测量进入缓冲罐5内的 CO_2 的量;

[0074] (3)等压排气:水合物生成之后,打开第二阀门13、第三阀门16,用手摇泵17将配好的一定质量分数的盐水从注液口11注入反应器8底部,推动活塞37向上运动,同时将第四阀门21、第六阀门28打开,将反应器8内未反应的 CH_4 气体等压排出,并用湿式流量计27测量排出的 CH_4 量;

[0075] (4)水合物压片:排出未反应的 CH_4 后,关闭第四阀门21、第六阀门28,并通过注液口11继续注入盐水,进一步推动活塞37向上移动,使生成的水合物压缩成片,然后关闭第二

阀门13;

[0076] (5)充CO₂气体:打开第一阀门7,将缓冲罐5内的CO₂气体通过CO₂进气口10、单向阀36充入位于活塞37上方的反应器8内,同时将连接反应器8底部注液口11的第二阀门13打开,当充入反应器8内的CO₂压力达到4MPa后,关闭第一阀门7、第二阀门13;

[0077] (6)降压:充入CO₂之后,将第四阀门21、第六阀门28打开,在水合物片另一侧进行降压,并用回压阀26控制气体进出口45的压力恒定在4MPa;

[0078] (7)开采天然气水合物:反应时间为200h,每隔6小时用气相色谱24测量气体的组分,直至测得的CH₄的含量恒定不变;

[0079] (8)水合物完全分解:当CH₄的含量不再变化时,关闭第四阀门21,提高恒温槽4的温度,使反应后的水合物完全分解,并用气相色谱24测量分解后气体的组分,测得的CH₄的含量,并通过与步骤7中测得的恒定CH₄含量相比较,获得天然气水合物开采率数据;

[0080] (9)活塞回位:反应完全结束后,从气体进出口45充入N₂或空气,将活塞37推到反应器8底部。

[0081] 进一步地,所述盐水的浓度为10wt%。

[0082] 本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

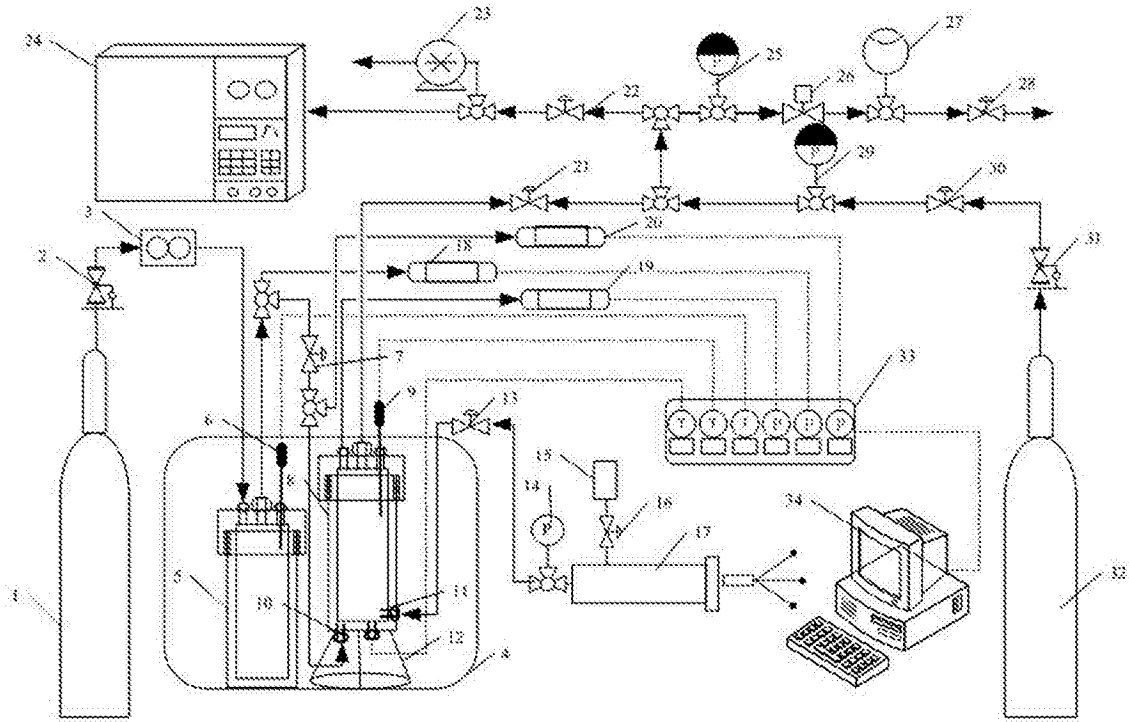


图1

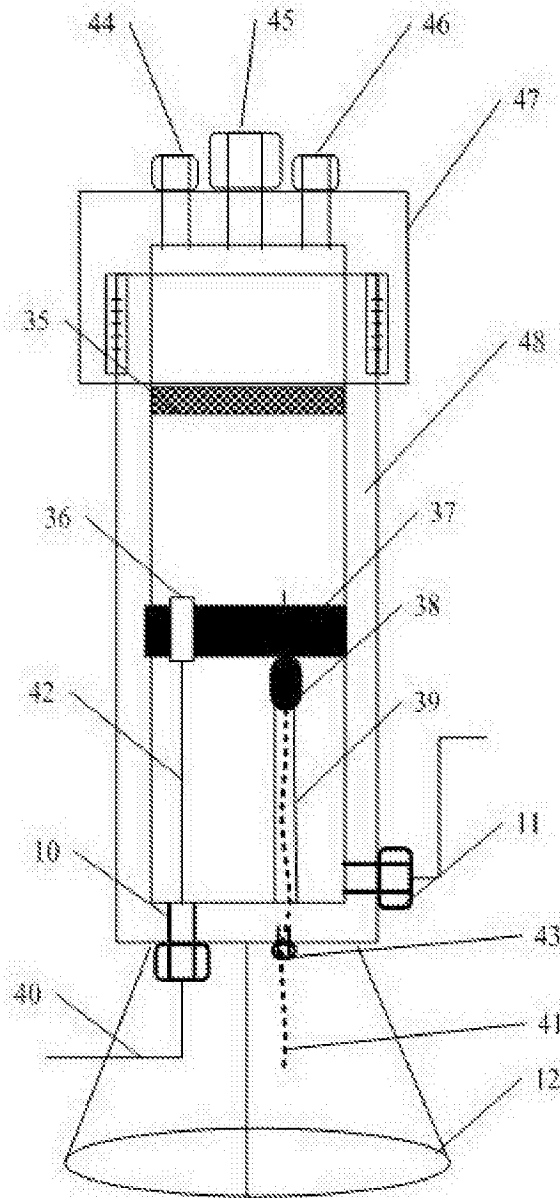


图2