



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111537549 B

(45) 授权公告日 2021.04.13

(21) 申请号 202010514034.8

G01N 3/06 (2006.01)

(22) 申请日 2020.06.08

E21B 43/16 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

E21B 43/267 (2006.01)

申请公布号 CN 111537549 A

E21B 43/26 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.08.14

(73) 专利权人 北京大学

(56) 对比文件

地址 100000 北京市海淀区颐和园路5号

CN 110617045 A, 2019.12.27

CN 105258840 A, 2016.01.20

(72) 发明人 郑帅 温庆志 杨富康 李健

张东晓

Sanbai Li 等. "Three-Dimensional

Hydrochemical Model for Dissolutional

Growth of Fractures in Karst Aquifers".

《Water Resources Research》. 2020, 第56卷 (第3期),

(74) 专利代理机构 济南竹森知识产权代理事务  
所(普通合伙) 37270

审查员 赵鹏

代理人 吕利敏

(51) Int. Cl.

G01N 25/12 (2006.01)

G01N 3/18 (2006.01)

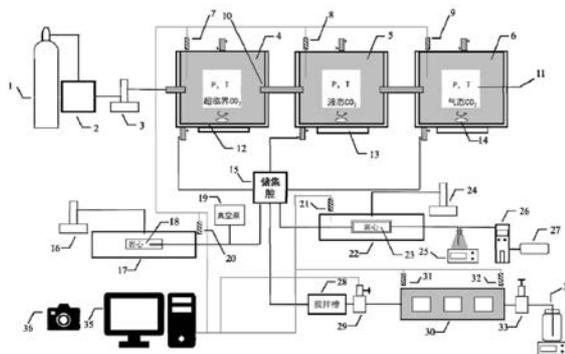
权利要求书4页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂装置和实验方法

(57) 摘要

一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,同时模拟二氧化碳的驱油封存、压裂以及支撑剂运移过程;并在二氧化碳注入之前就对相态进行了区分,三个可视化二氧化碳腔组成了二氧化碳相变系统,腔内贮存的超临界态、液态、气态的二氧化碳对于不同温压条件的状态以及相变过程可以实时观测到,进而能够研究二氧化碳细微的相态变化以及这些状态下二氧化碳对于驱油、压裂以及支撑剂运移过程的影响。



1. 一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,包括恒压注入系统,可视化二氧化碳相变系统,二氧化碳驱油封存系统,可视化二氧化碳支撑剂运移系统,二氧化碳压裂系统和信息采集控制系统;

所述恒压注入系统连接于可视化二氧化碳相变系统,为可视化二氧化碳相变系统的密封腔内提供足够压力的二氧化碳以保持压力恒定;

所述可视化二氧化碳相变系统连接于二氧化碳驱油封存系统,向其提供单相或混相的二氧化碳以驱油和封存;

所述可视化二氧化碳相变系统连接于可视化二氧化碳支撑剂运移系统,用于模拟并观察真实储层裂缝中二氧化碳携砂情况;

所述可视化二氧化碳相变系统连接于二氧化碳压裂系统,用于模拟储层条件下对岩石进行压裂实验;

所述信息采集控制系统用于对以下系统分别进行温度控制、压力采集、温度采集和重量数据采集:可视化二氧化碳相变系统、二氧化碳驱油封存系统、可视化二氧化碳支撑剂运移系统和二氧化碳压裂系统。

2. 根据权利要求1所述的一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,所述恒压注入系统包括:二氧化碳气源、空气压缩机与稳压泵,所述二氧化碳气源通过空气压缩机与稳压泵相连。

3. 根据权利要求1所述的一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,所述的可视化二氧化碳相变系统包括:通过控压单向阀依次相连的可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔;

所述可视化超临界二氧化碳腔用于制备与储存超临界二氧化碳,以观察其物态并作超临界二氧化碳恒压源;

所述可视化液态二氧化碳腔用于制备与储存液态二氧化碳,以观察其物态并作液态二氧化碳恒压源;

所述可视化气态二氧化碳腔用于制备与储存气态二氧化碳,以观察其物态并作气态二氧化碳恒压源;

在所述可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔的底部均连通有储集腔,所述储集腔用于存储单相或混相状态二氧化碳;

在所述可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔内分别设置有压力温度传感器、磁力搅拌模块和温度控制套。

4. 根据权利要求1所述的一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,所述的二氧化碳驱油封存系统包括:第四压力温度传感器、第一岩心夹持器、第一岩心、第一平流泵、液体收集器和电子天平、气体计量器和集气袋;

所述第一岩心夹持器用于夹持第一岩心,连接于二氧化碳相变系统的储集腔,所述第一平流泵连接于第一岩心夹持器,用于为第一岩心提供围压,模拟储层岩石所处的压力条件;所述液体收集器与电子天平连接于第一岩心夹持器,用于收集并称量第一岩心中驱替出的原油;所述气体计量器连接于液体收集器与电子天平,用于计量第一岩心驱替后的气体;所述集气袋连接于气体计量器,用于收集驱替后经计量的气体。

5. 根据权利要求3所述的一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特

征在于,所述的可视化二氧化碳支撑剂运移系统包括:搅拌槽、电子流量控制器、可视化裂缝模型、第五压力温度传感器、第六压力温度传感器、背压阀、气体吸收装置和图像采集装置;

所述搅拌槽连接于所述储集腔,用于混合二氧化碳与支撑剂;该电子流量控制器连接于搅拌槽,用于控制注入二氧化碳的流量;所述可视化裂缝模型连接于电子流量控制器,用于模拟和观察真实储层裂缝中二氧化碳流动状况与支撑剂的运移情况;所述第五、第六压力温度传感器连接于可视化裂缝模型,分别用来监测可视化裂缝模型入出口端的压力和温度;所述背压阀连接于可视化裂缝模型,保证了可视化裂缝模型中压力高于某一水平,以使二氧化碳处于某一相态;所述气体吸收装置连接于背压阀,用于吸收经背压阀而出的二氧化碳,并称量记录重量变化;所述图像采集装置用于采集二氧化碳流动图像与支撑剂运移图像并据此评价效果。

6. 根据权利要求3所述的一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,所述的二氧化碳压裂系统包括:第二岩心夹持器、第二岩心、第二平流泵、真空泵、第七压力温度传感器;所述第二岩心夹持器用于夹持第二岩心,连接于所述储集腔;所述第二平流泵连接于第二岩心夹持器,用于为第二岩心提供围压,模拟储层岩石所处的压力条件;所述真空泵连接于第二岩心夹持器,对第二岩心进行真空操作,以保证压裂开始前第二岩心中无杂质气体或液体;所述第七压力温度传感器连接于第二岩心夹持器,用于监测压裂实验过程中第二岩心内压力变化,以获得破裂压力。

7. 根据权利要求1所述的一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,所述的采集控制系统包括信息采集模块、数据处理模块、控制模块,所述信息采集模块包括图像采集器、时间监测记录器、所有压力温度传感器;所述数据处理模块包括计算机,且计算机中加载有处理数据软件,用于分析二氧化碳流动图像与支撑剂运移图像、温度压力,做出对应的评价结果;所述控制模块用于控制电子流量控制器与温度控制套,实现对整个系统内的流体流速进行控制、实现对整个系统内的温度进行控制,以模拟地层温度或者调节二氧化碳的相态。

8. 利用如权利要求1-7任意一项所述装置进行相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂实验方法,其特征在于,包括:配置模拟用指定相态的二氧化碳,步骤如下:

步骤1,向二氧化碳驱油封存系统的第一岩心夹持器中放入第一岩心;

步骤2,调节可视化二氧化碳相变系统的温度控制套,使其达到预设温度;

步骤3,恒压注入系统向可视化二氧化碳相变系统中注入二氧化碳达到各腔的预设压力;

步骤4,通过调节注入储集腔的不同相态的二氧化碳,形成模拟用指定相态的二氧化碳;

所述实验方法,还包括:模拟储层内埋存二氧化碳过程中二氧化碳的相态变化的方法,步骤如下:

步骤5,在所述可视化超临界二氧化碳腔中充填天然砂并压实,模拟储层内的地质条件;

步骤6,使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度;

步骤7,使用稳压泵,将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,使用图像采集器观察并记录该变化过程。

9.根据权利要求8所述的实验方法,其特征在于,还包括:通过改变二氧化碳压力,监测二氧化碳的相态变化,步骤如下:

步骤5-1,在可视化超临界二氧化碳腔中充填天然砂并压实,模拟储层内的地质条件;

步骤6-1,使用空气压缩机,将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度;

步骤7-1,使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中;

步骤8-1,二氧化碳注入完毕后,对二氧化碳进行泄压,并监测其中二氧化碳压力变化和相态变化。

10.根据权利要求8所述的实验方法,其特征在于,还包括:模拟地层进行二氧化碳驱替的方法,步骤如下:

1)取目标区块岩心作为第一岩心,并置于第一岩心夹持器中;

2)使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

3)打开第一平流泵对第一岩心施加围压;清零液体收集器与电子天平和气体计量器;

4)使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到超临界二氧化碳腔中,并保持与储集腔连通;

5)将二氧化碳注入第一岩心,对原油驱替的同时封存二氧化碳,第四压力传感器连接信息采集控制系统监测并记录驱替过程中气体压力变化;监测液体收集器与电子天平和气体计量器,对第一岩心中溢出的气体计量后存储至集气袋;

6)根据第四压力温度传感器传输的压力信息与电子天平的重量信息,监测驱替进程,待驱替完毕后关闭整个系统。

11.根据权利要求10所述的实验方法,其特征在于,所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳封存的方法,步骤如下:

1-1)取目标区块岩心作为第一岩心,并置于第一岩心夹持器中;

2-1)使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

3-1)打开第一平流泵对第一岩心施加围压;关闭第一岩心夹持器与液体收集器间的阀门;

4-1)使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,并保持与储集腔连通;

5-1)将二氧化碳注入第一岩心,持续注入;

6-1)缓慢打开第一岩心夹持器与液体收集器间的阀门,以模拟二氧化碳封存中发生的泄露;

7-1)监测并记录泄露过程中第四压力温度传感器的压力变化。

12.根据权利要求10所述的实验方法,其特征在于,所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳携砂的方法,步骤如下:

1-2) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa, 备用; 预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度, 以模拟储层的温度条件;

2-2) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到超临界二氧化碳腔中, 并保持与储集腔连通;

3-2) 在搅拌槽中加入支撑剂;

4-2) 连接储集腔与搅拌槽, 将支撑剂与二氧化碳混合均匀, 然后由电子流量控制器进入可视化裂缝模型; 过程中监测并记录第五压力温度传感器、第六压力温度传感器的压力变化, 同时使用图像采集系统采集携砂过程中的图像信息。

13. 根据权利要求10所述的实验方法, 其特征在于, 所述实验方法, 还包括: 模拟地层中利用二氧化碳进行压裂岩心的方法, 步骤如下:

1-3) 取目标区块岩心作为第二岩心, 并置于第二岩心夹持器中;

2-3) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa, 备用; 预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度, 以模拟储层的温度条件;

3-3) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔, 并保持与储集腔连通;

4-3) 使用真空泵将第二岩心内的气体抽真空; 使用稳压泵将二氧化碳腔和储集腔中的二氧化碳泵入第二岩心中, 并持续增加压力;

5-3) 利用第七压力温度传感器监测压裂过程中压力变化, 当第二岩心发生破裂, 压力瞬间跌落时停止压裂;

6-3) 根据第七压力温度传感器检测记录的压力数据得到该第二岩心的破裂压力。

14. 根据权利要求8所述的实验方法, 其特征在于, 选择目标区块岩心作为岩心样本, 对岩心样本的端面打磨后放入对应的岩心夹持器; 所述的岩心样本分别作为第一岩心和第二岩心置于对应的岩心夹持器中;

在步骤3中, 恒压注入系统向可视化二氧化碳相变系统中注入二氧化碳的方法如下:

a) 通过恒压泵向可视化超临界二氧化碳腔中持续注入二氧化碳;

b) 可视化超临界二氧化碳腔与可视化液态二氧化碳腔通过控压单向阀连通, 二氧化碳由前者通向后者;

c) 可视化液态二氧化碳腔与可视化气态二氧化碳腔通过控压单向阀连通, 二氧化碳由前者通向后者;

d) 待温度和各腔压力达到预设值并稳定后, 各腔内控压单向阀自动断开;

e) 当各腔压力不足时, 所述控压单向阀将自动接通, 邻近低压腔由邻近高压腔处获得补给, 重复步骤a) - d);

在步骤d) 中, 通过调节注入储集腔的不同相态的二氧化碳的方法包括: 遵从先连通低压腔, 后连通高压腔的原则。

## 一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂装置和实验方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置和实验方法,属于油气田开发与二氧化碳埋存的技术领域。

### 背景技术

[0002] 二氧化碳驱油是将二氧化碳注入油层以提高油田采收率的技术,目前已经成为三次采油重要的开发手段。在一定的压力、温度和原油组分条件下,二氧化碳能够与原油混溶形成混相前缘,进而提升原油的流动性能。此外二氧化碳还能够改善原油与水的流度比、萃取和气化原油中的轻烃、增能和改善储层条件,有效地提升了原油的采收率。

[0003] 二氧化碳封存是将捕集的二氧化碳注入地下储存于相对封闭的地质构造中,从而减少大气中CO<sub>2</sub>含量的一种技术。二氧化碳被注入地层后,在地层的高温高压的条件下能够以自由态的形式存储下来。为了实现CO<sub>2</sub>的高效利用,CO<sub>2</sub>压裂也是一种非常重要的方式。较常规水力压裂,CO<sub>2</sub>压裂具有无水、无污染、无残渣、易返排、对储层伤害小,并且具有增能作用,易形成复杂缝网等优点。

[0004] 在二氧化碳驱油封存和压裂过程中,二氧化碳受地层温度和压力及摩擦阻力影响,二氧化碳会发生较为复杂的连续相态变化,致使对二氧化碳和储层的作用关系难以探究。但目前的研究中尚未有相关设备能够模拟二氧化碳在储层条件下的相态连续变化,探究不同相态的二氧化碳在驱油封存和压裂过程中的差异和与岩石作用机理。

[0005] 中国专利文献CN106404549B公开了一种超临界二氧化碳压裂模拟实验装置,其特征包括压力室、真空饱和系统和二氧化碳相态转换系统。二氧化碳相态转化系统包括二氧化碳气源,冷却装置和注入泵,将二氧化碳降温液化后加压升温转换为超临界状态。但是,该专利文献只是针对超临界二氧化碳进行压裂物理实验,并未就本发明所关注的利用相态连续变化的二氧化碳进行驱油封存、携砂情况和压裂做任何技术披露。

[0006] 中国专利文献CN107632136B公开了一种致密油储层中二氧化碳扩散排油的装置,包括:控温室,用于控制扩散排油实验过程中温度的恒定,内部设有核磁共振仪,以及位于核磁共振仪内盛放致密油样品的反应釜;储气罐,用于储存二氧化碳,并将二氧化碳输送至所述反应釜;温压控制器,用于调节储存罐与控温室的温度和压力,以分析不同相态二氧化碳的扩散排油;萃取罐,用于萃取反应釜输出的二氧化碳中的石油组分,并作为气相色谱的检测样品。

[0007] 中国专利文献CN107130949A一种深层稠油二氧化碳吞吐注入过程相态变化测试方法,该方法包括:步骤1,选取深层稠油二氧化碳降粘吞吐井,在二氧化碳注入管柱的井口下面、管柱中部和油层位置安装短接式存储温度压力计;步骤2,按一定注入速度段塞式注入降粘剂和二氧化碳,然后焖井,测定注入和焖井过程管柱内二氧化碳的温度压力;步骤3,焖井结束,起出二氧化碳注入管柱和短接式存储温度压力计,读取温度压力数据;步骤4,根据二氧化碳随温度、压力变化的相变理论图版,得出注入过程井筒内二氧化碳的沿程相态

变化。

[0008] 中国专利文献CN109298162A涉及一种不同相态二氧化碳致裂页岩装置及实验方法,属于页岩气开采技术领域。该装置包括恒温油浴、常规三轴加载系统、声发射监测系统、CO<sub>2</sub>压裂系统、控制系统、变形测试系统和气体流量计组成;恒温油浴用于控制实验温度;常规三轴加载系统用于对页岩试件加载不同的轴压和围压;声发射监测系统监测不同相态二氧化碳致裂页岩全过程的声发射特征、三维损伤定位以及页岩临界起裂压力;CO<sub>2</sub>压裂系统用于向页岩试件内部注入不同相态的CO<sub>2</sub>;控制系统控制三轴压力室的轴压和围压。该装置通过调节温度和CO<sub>2</sub>压力,能够物理模拟气态、液态、超临界CO<sub>2</sub>致裂页岩机理,测试页岩致裂前后的渗透率,为CO<sub>2</sub>高效开发页岩气提供了先进的实验条件。

[0009] 上述专利文献所公开的都是研究二氧化碳在驱油、压裂或者相态变化方面的装置或方法。装置对于温压条件的控制均采用将二氧化碳和岩心密闭统一处理,通过调节整个装置体系的温度和压力控制二氧化碳的相态,因此一次只能模拟一种相态二氧化碳的驱替或压裂过程。此外上述装置控制二氧化碳相态的方法均为控制岩心密闭系统的温度和压力,但由于二氧化碳由气源注入岩心时相态变化造成的温度变化较为剧烈,监测温度与实际温度出入较大,导致相态判断不准确。

## 发明内容

[0010] 针对以上技术的不足,本发明提供了一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置。

[0011] 本发明还公开一种利用上述装置进行实验的方法。

[0012] 本发明的技术方案如下:

[0013] 一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置,其特征在于,包括恒压注入系统,可视化二氧化碳相变系统,二氧化碳驱油封存系统,可视化二氧化碳携砂系统,二氧化碳压裂系统和信息采集控制系统;

[0014] 所述恒压注入系统连接于可视化二氧化碳相变系统,为可视化二氧化碳相变系统的密封腔内提供足够压力的二氧化碳以保持压力恒定;

[0015] 所述可视化二氧化碳相变系统连接于二氧化碳驱油封存系统,向其提供单相或混相的二氧化碳以驱油和封存;

[0016] 所述可视化二氧化碳相变系统连接于可视化二氧化碳支撑剂运移系统,用于模拟并观察真实储层裂缝中二氧化碳携砂情况;

[0017] 所述可视化二氧化碳相变系统连接于二氧化碳压裂系统,用于模拟储层条件下对岩石进行压裂实验;

[0018] 所述信息采集控制系统用于对以下系统分别进行温度控制、压力采集、温度采集和重量数据采集:可视化二氧化碳相变系统、二氧化碳驱油封存系统、可视化二氧化碳携砂系统和二氧化碳压裂系统。

[0019] 根据本发明优选的,所述恒压注入系统包括:二氧化碳气源、空气压缩机与稳压泵,所述二氧化碳气源通过空气压缩机与稳压泵相连。二氧化碳由气源进入空气压缩机经压缩至目标压力并储存于空气压缩机中,所述稳压泵与空气压缩机相连,将一定压力的二氧化碳注入到该可视化二氧化碳相变系统中,保持后者内部压力恒定。

[0020] 根据本发明优选的,所述的可视化二氧化碳相变系统包括:通过控压单向阀依次相连的可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔;所述控压单向阀连接于稳压泵与可视化超临界二氧化碳腔之间,可视化超临界二氧化碳腔与可视化液态二氧化碳腔之间,可视化液态二氧化碳腔与气态二氧化碳腔之间,用于从相邻的高压二氧化碳源获得补给维持压力恒定,以模拟储层压力条件;

[0021] 所述可视化超临界二氧化碳腔用于制备与储存超临界二氧化碳,以观察其物态并作超临界二氧化碳恒压源;

[0022] 所述可视化液态二氧化碳腔用于制备与储存液态二氧化碳,以观察其物态并作液态二氧化碳恒压源;

[0023] 所述可视化气态二氧化碳腔用于制备与储存气态二氧化碳,以观察其物态并作气态二氧化碳恒压源;

[0024] 在所述可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔的底部均连通有储集腔,所述储集腔用于存储单相或混相状态二氧化碳;

[0025] 在所述可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔内分别设置有压力温度传感器、磁力搅拌模块和温度控制套;所述压力温度传感器连接于可视化超临界二氧化碳腔,可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔,用于监测各腔体内的压力和温度;所述磁力搅拌模块分别连接于可视化超临界二氧化碳腔,可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔,位于各腔体下部,为各腔体提供磁力搅拌,可混匀二氧化碳与其他添加剂;该温度控制套分别连接于可视化超临界二氧化碳腔,可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔,位于腔体外部,用于加热调控达到预设温度,以模拟储层温度条件。

[0026] 根据本发明优选的,所述的二氧化碳驱油封存系统包括:第四压力温度传感器、第一岩心夹持器、第一岩心、第一平流泵、液体收集器和电子天平、气体计量器和集气袋;

[0027] 所述第一岩心夹持器用于夹持第一岩心,连接于二氧化碳相变系统的储集腔,所述第一平流泵连接于第一岩心夹持器,用于为第一岩心提供围压,模拟储层岩石所处的压力条件;所述液体收集器与电子天平连接于第一岩心夹持器,用于收集并称量第一岩心中驱替出的原油;所述气体计量器连接于液体收集器与电子天平,用于计量第一岩心驱替后的气体;所述集气袋连接于气体计量器,用于收集驱替后经计量的气体。

[0028] 根据本发明优选的,所述的可视化二氧化碳携砂系统包括:搅拌槽、电子流量控制器、可视化裂缝模型、第五压力温度传感器、第六压力温度传感器、背压阀、气体吸收装置和图像采集装置;

[0029] 所述搅拌槽连接于所述储集腔,用于混合二氧化碳与支撑剂;该电子流量控制器连接于搅拌槽,用于控制注入二氧化碳的流量;所述可视化裂缝模型连接于电子流量控制器,用于模拟和观察真实储层裂缝中二氧化碳流动状况与支撑剂的运移情况;所述第五、第六压力温度传感器连接于可视化裂缝模型,分别用来监测可视化裂缝模型入出口端的压力和温度;所述背压阀连接于可视化裂缝模型,保证了可视化裂缝模型中压力高于某一水平,以使二氧化碳处于某一相态;所述气体吸收装置连接于背压阀,用于吸收经背压阀而出的二氧化碳,并称量记录重量变化;所述图像采集装置用于采集二氧化碳流动图像与支撑剂运移图像并据此评价效果。

[0030] 根据本发明优选的,所述的二氧化碳压裂系统包括:第二岩心夹持器、第二岩心、第二平流泵、真空泵、第七压力温度传感器;所述第二岩心夹持器用于夹持第二岩心,连接于所述储集腔;所述第二平流泵连接于第二岩心夹持器,用于为第二岩心提供围压,模拟储层岩石所处的压力条件;所述真空泵连接于第二岩心夹持器,对第二岩心进行真空操作,以保证压裂开始前第二岩心中无杂质气体或液体;所述第六压力温度传感器连接于第二岩心夹持器,用于监测压裂实验过程中第二岩心内压力变化,以获得破裂压力。

[0031] 根据本发明优选的,所述的采集控制系统包括信息采集模块、数据处理模块、控制模块,所述信息采集模块包括图像采集器、时间监测记录器、所有压力温度传感器;所述数据处理模块包括计算机,且计算机中加载有处理数据软件,用于分析二氧化碳流动图像与支撑剂运移图像、温度压力,做出对应的评价结果;所述控制模块用于控制电子流量控制器与温度控制套,实现对整个系统内的流体流速进行控制、实现对整个系统内的温度进行控制,以模拟地层温度或者调节二氧化碳的相态。

[0032] 所述信息采集模块用于采集整个系统的压力温度传感器所监测的压力和温度数据,时时监测并记录数据;所述数据处理模块用于处理数据,探明二氧化碳连续相态变化、驱油封存、支撑剂运移和压裂中的规律变化;控制模块用于控制电子流量控制器与温度控制套,用于调控流量与温度。

[0033] 利用上述装置进行相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂实验方法,其特征在于,包括:配置模拟用指定相态的二氧化碳,步骤如下:

[0034] 步骤1,向二氧化碳驱油封存系统的第一岩心夹持器中放入第一岩心;

[0035] 步骤2,调节可视化二氧化碳相变系统的温度控制套,使其达到预设温度;

[0036] 步骤3,恒压注入系统向可视化二氧化碳相变系统中注入二氧化碳达到各腔的预设压力;

[0037] 步骤4,通过调节注入储集腔的不同相态的二氧化碳,形成模拟用指定相态的二氧化碳。

[0038] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:模拟储层内埋存二氧化碳过程中二氧化碳的相态变化的方法,步骤如下:

[0039] 步骤5,在所述可视化超临界二氧化碳腔中充填天然砂并压实,模拟储层内的地质条件;

[0040] 步骤6,使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度;

[0041] 步骤7,使用稳压泵,将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,使用图像采集器观察并记录该变化过程。通过计算机分析二氧化碳相态变化特征,但是该计算机分析的方法或者软件并不是本发明所要保护的内容。

[0042] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:通过改变二氧化碳压力,监测二氧化碳的相态变化,步骤如下:

[0043] 步骤5-1,在可视化超临界二氧化碳腔中充填天然砂并压实,模拟储层内的地质条件;

[0044] 步骤6-1,使用空气压缩机,将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临

界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度;

[0045] 步骤7-1,使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动;

[0046] 步骤8-1,二氧化碳注入完毕后,打开上方泄压阀门对二氧化碳进行泄压,控制泄漏速率,并监测其中二氧化碳压力变化和相态变化。

[0047] 利用本方法可以建立虚拟模型,对上述实验开展数值模拟研究。

[0048] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳驱替的方法,步骤如下:

[0049] 1) 取目标区块岩心作为第一岩心,并置于第一岩心夹持器中;

[0050] 2) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0051] 3) 打开第一平流泵对第一岩心施加围压;清零液体收集器与电子天平和气体计量器;

[0052] 4) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到超临界二氧化碳腔中,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0053] 5) 将二氧化碳注入第一岩心,对原油驱替的同时封存二氧化碳,第四压力传感器连接信息采集控制系统监测并记录驱替过程中气体压力变化;监测液体收集器与电子天平和气体计量器,对第一岩心中溢出的气体计量后存储至集气袋;

[0054] 6) 根据第四压力温度传感器传输的压力信息与电子天平的重量信息,监测驱替进程,待驱替完毕后关闭整个系统。

[0055] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对模拟地层的二氧化碳驱替效果进行评价。

[0056] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳封存的方法,步骤如下:

[0057] 1-1) 取目标区块岩心作为第一岩心,并置于第一岩心夹持器中;

[0058] 2-1) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0059] 3-1) 打开第一平流泵对第一岩心施加围压;关闭第一岩心夹持器与液体收集器间的阀门;

[0060] 4-1) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0061] 5-1) 将二氧化碳注入第一岩心,持续注入;

[0062] 6-1) 缓慢打开第一岩心夹持器与液体收集器间的阀门,以模拟二氧化碳封存中发生的泄露;

[0063] 7-1) 监测并记录泄露过程中第四压力温度传感器的压力变化。

[0064] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对模拟地层的二氧化碳封存效果进行评价。

[0065] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳携砂的方法,步骤如下:

[0066] 1-2) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0067] 2-2) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到超临界二氧化碳腔中,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0068] 3-2) 在搅拌槽中加入支撑剂;设定电子流量控制器的流量;设定背压阀压力;

[0069] 4-2) 连接储集腔与搅拌槽,将支撑剂与二氧化碳混合均匀,然后由电子流量控制器进入可视化裂缝模型;过程中监测并记录第五压力温度传感器、第六压力温度传感器的压力变化,同时使用图像采集系统采集携砂过程中的图像信息。

[0070] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对二氧化碳携砂过程中的压力变化和视频监控图像信息进行分析,得到二氧化碳携砂运移规律。

[0071] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:模拟地层中利用二氧化碳进行压裂岩心的方法,步骤如下:

[0072] 1-3) 取目标区块岩心作为第二岩心,并置于第二岩心夹持器中;

[0073] 2-3) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0074] 3-3) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0075] 4-3) 使用真空泵将第二岩心内的气体抽真空;使用稳压泵将二氧化碳腔和储集腔中的二氧化碳泵入第二岩心中,并持续增加压力。

[0076] 5-3) 利用第七压力温度传感器监测压裂过程中压力变化,当第二岩心发生破裂,压力瞬间跌落时停止压裂;

[0077] 6-3) 根据第七压力温度传感器检测记录的压力数据得到该第二岩心的破裂压力。

[0078] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对二氧化碳压裂过程中的压力变化和视频监控图像信息进行分析:该区块岩石的强度及可压裂性。

[0079] 根据本发明优选的,选择目标区块岩心作为岩心样本,对岩心样本的端面打磨后放入对应的岩心夹持器。所述的岩心样本分别作为第一岩心和第二岩心置于对应的岩心夹持器中。

[0080] 根据本发明优选的,在步骤3中,恒压注入系统向可视化二氧化碳相变系统中注入二氧化碳的方法如下:

[0081] a) 通过恒压泵向可视化超临界二氧化碳腔中持续注入二氧化碳;

[0082] b) 可视化超临界二氧化碳腔与可视化液态二氧化碳腔通过控压单向阀连通,二氧化碳由前者通向后者;

[0083] c) 可视化液态二氧化碳腔与可视化气态二氧化碳腔通过控压单向阀连通,二氧化碳由前者通向后者;

[0084] 达到一定压力后进行气密性检查;

[0085] d) 待温度和各腔压力达到预设值并稳定后,各腔内控压单向阀自动断开;

[0086] e) 当各腔压力不足时,所述控压单向阀将自动接通,邻近低压腔由邻近高压腔处获得补给,重复步骤a)-d)。

[0087] 根据本发明优选的,在步骤d)中,通过调节注入储集腔的不同相态的二氧化碳的

方法包括：遵从先连通低压腔，后连通高压腔的原则。

[0088] 本发明的技术优势在于：

[0089] 本发明所述装置能够同时模拟二氧化碳的驱油封存、压裂以及支撑剂运移过程；并在二氧化碳注入之前就对相态进行了区分，三个可视化二氧化碳腔组成了二氧化碳相变系统，腔内贮存的超临界态、液态、气态的二氧化碳对于不同温压条件的状态以及相变过程可以实时观测到，进而能够研究二氧化碳细微的相态变化以及这些状态下二氧化碳对于驱油、压裂以及支撑剂运移过程的影响；还能够实现将不同相态的二氧化碳段塞或混相注入，以观察驱油、携砂以及压裂效果；二氧化碳相变系统的三个腔室可彼此连通，形成压力和温度的连续变化，通过调节并记录各个位置的压力和温度，可视化窗口呈现的二氧化碳相态参考理论图版，从而在室内条件下完成二氧化碳的相变测试。

### 附图说明

[0090] 图1为本发明的相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂装置的示意图；

[0091] 图2为图1中的恒压注入系统的示意图；

[0092] 图3为图1中的可视化二氧化碳相变系统的示意图；

[0093] 图4为图1中的驱油封存系统的示意图；

[0094] 图5为图1中的可视化二氧化碳携砂系统的示意图；

[0095] 图6为图1中的二氧化碳压裂系统的示意图；

[0096] 图7为图1中的信息采集控制系统的示意图；

[0097] 在图1、2中，1、二氧化碳气源；2、空气压缩机；3、稳压泵；

[0098] 在图1、3中，4、可视化超临界二氧化碳腔；5、可视化液态二氧化碳腔；6、可视化气态二氧化碳腔；7、第一压力温度传感器；8、第二压力温度传感器；9、第三压力温度传感器；10、控压单向阀；11、可视窗；12、温度控制套；13、磁力搅拌模块；14、搅拌磁子；15、储集腔；

[0099] 在图1、4中，21、第四压力温度传感器；22、第一岩心夹持器；23、第一岩心；24、第一平流泵；25、液体收集器与电子天平；26、气体计量器；27、集气袋；

[0100] 在图1、5中，28、搅拌槽；29、电子流量控制器；30、可视化裂缝模型；31、第五压力温度传感器；32、第六压力温度传感器；33、背压阀；34、气体吸收装置；

[0101] 在图1、6中，16、第二平流泵；17、第二岩心夹持器；18、第二岩心；19、真空泵；20、第七压力温度传感器；

[0102] 在图1、7中，35、计算机；36、图像采集器；

[0103] 图8为本发明10ml/min的泄漏速率下腔体各个位置CO<sub>2</sub>浓度的空间分布模拟图；

[0104] 图9为本发明可视化二氧化碳携砂实验中不同压差下二氧化碳通过裂缝时的流速。

### 具体实施方式

[0105] 下面结合实施例和说明书附图对本发明做详细的说明，但不限于此。

[0106] 实施例1、

[0107] 一种相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂的装置，包括恒压注入系统，可视化二氧化碳相变系统，二氧化碳驱油封存系统，可视化二氧化碳携砂系统，二氧化碳压裂系

统和信息采集控制系统；

[0108] 所述恒压注入系统连接于可视化二氧化碳相变系统，为可视化二氧化碳相变系统的密封腔内提供足够压力的二氧化碳以保持压力恒定；

[0109] 所述可视化二氧化碳相变系统连接于二氧化碳驱油封存系统，向其提供单相或混相的二氧化碳以驱油和封存；

[0110] 所述可视化二氧化碳相变系统连接于可视化二氧化碳支撑剂运移系统，用于模拟并观察真实储层裂缝中二氧化碳携砂情况；

[0111] 所述可视化二氧化碳相变系统连接于二氧化碳压裂系统，用于模拟储层条件下对岩石进行压裂实验；

[0112] 所述信息采集控制系统用于对以下系统分别进行温度控制、压力采集、温度采集和重量数据采集：可视化二氧化碳相变系统、二氧化碳驱油封存系统、可视化二氧化碳携砂系统和二氧化碳压裂系统。

[0113] 所述恒压注入系统包括：二氧化碳气源、空气压缩机与稳压泵，所述二氧化碳气源通过空气压缩机与稳压泵相连。二氧化碳由气源进入空气压缩机经压缩至目标压力并储存于空气压缩机中，所述稳压泵与空气压缩机相连，将一定压力的二氧化碳注入到该可视化二氧化碳相变系统中，保持后者内部压力恒定。

[0114] 所述的可视化二氧化碳相变系统包括：通过控压单向阀依次相连的可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔；所述控压单向阀连接于稳压泵与可视化超临界二氧化碳腔之间，可视化超临界二氧化碳腔与可视化液态二氧化碳腔之间，可视化液态二氧化碳腔与气态二氧化碳腔之间，用于从相邻的高压二氧化碳源获得补给维持压力恒定，以模拟储层压力条件；

[0115] 所述可视化超临界二氧化碳腔用于制备与储存超临界二氧化碳，以观察其物态并作超临界二氧化碳恒压源；

[0116] 所述可视化液态二氧化碳腔用于制备与储存液态二氧化碳，以观察其物态并作液态二氧化碳恒压源；

[0117] 所述可视化气态二氧化碳腔用于制备与储存气态二氧化碳，以观察其物态并作气态二氧化碳恒压源；

[0118] 在所述可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔的底部均连通有储集腔，所述储集腔用于存储单相或混相状态二氧化碳；

[0119] 在所述可视化超临界二氧化碳腔、可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔内分别设置有压力温度传感器、磁力搅拌模块和温度控制套；所述压力温度传感器连接于可视化超临界二氧化碳腔，可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔，用于监测各腔体内的压力和温度；所述磁力搅拌模块分别连接于可视化超临界二氧化碳腔，可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔，位于各腔体下部，为各腔体提供磁力搅拌，可混匀二氧化碳与其他添加剂；该温度控制套分别连接于可视化超临界二氧化碳腔，可视化液态二氧化碳腔和可视化气态二氧化碳腔，位于腔体外部，用于加热调控达到预设温度，以模拟储层温度条件。

[0120] 所述的二氧化碳驱油封存系统包括：第四压力温度传感器、第一岩心夹持器、第一岩心、第一平流泵、液体收集器和电子天平、气体计量器和集气袋；

[0121] 所述第一岩心夹持器用于夹持第一岩心,连接于二氧化碳相变系统的储集腔,所述第一平流泵连接于第一岩心夹持器,用于为第一岩心提供围压,模拟储层岩石所处的压力条件;所述液体收集器与电子天平连接于第一岩心夹持器,用于收集并称量第一岩心中驱替出的原油;所述气体计量器连接于液体收集器与电子天平,用于计量第一岩心驱替后的气体;所述集气袋连接于气体计量器,用于收集驱替后经计量的气体。

[0122] 所述的可视化二氧化碳携砂系统包括:搅拌槽、电子流量控制器、可视化裂缝模型、第五压力温度传感器、第六压力温度传感器、背压阀、气体吸收装置和图像采集装置;

[0123] 所述搅拌槽连接于所述储集腔,用于混合二氧化碳与支撑剂;该电子流量控制器连接于搅拌槽,用于控制注入二氧化碳的流量;所述可视化裂缝模型连接于电子流量控制器,用于模拟和观察真实储层裂缝中二氧化碳流动状况与支撑剂的运移情况;所述第五、第六压力温度传感器连接于可视化裂缝模型,分别用来监测可视化裂缝模型进出口端的压力和温度;所述背压阀连接于可视化裂缝模型,保证了可视化裂缝模型中压力高于某一水平,以使二氧化碳处于某一相态;所述气体吸收装置连接于背压阀,用于吸收经背压阀而出的二氧化碳,并称量记录重量变化;所述图像采集装置用于采集二氧化碳流动图像与支撑剂运移图像并据此评价效果。

[0124] 所述的二氧化碳压裂系统包括:第二岩心夹持器、第二岩心、第二平流泵、真空泵、第七压力温度传感器;所述第二岩心夹持器用于夹持第二岩心,连接于所述储集腔;所述第二平流泵连接于第二岩心夹持器,用于为第二岩心提供围压,模拟储层岩石所处的压力条件;所述真空泵连接于第二岩心夹持器,对第二岩心进行真空操作,以保证压裂开始前第二岩心中无杂质气体或液体;所述第六压力温度传感器连接于第二岩心夹持器,用于监测压裂实验过程中第二岩心内压力变化,以获得破裂压力。

[0125] 所述的采集控制系统包括信息采集模块、数据处理模块、控制模块,所述信息采集模块包括图像采集器、时间监测记录器、所有压力温度传感器;所述数据处理模块包括计算机,且计算机中加载有处理数据软件,用于分析二氧化碳流动图像与支撑剂运移图像、温度压力,做出对应的评价结果;所述控制模块用于控制电子流量控制器与温度控制套,实现对整个系统内的流体流速进行控制、实现对整个系统内的温度进行控制,以模拟地层温度或者调节二氧化碳的相态。

[0126] 所述信息采集模块用于采集整个系统的压力温度传感器所监测的压力和温度数据,时时监测并记录数据;所述数据处理模块用于处理数据,探明二氧化碳连续相态变化、驱油封存、支撑剂运移和压裂中的规律变化;控制模块用于控制电子流量控制器与温度控制套,用于调控流量与温度。

[0127] 实施例2、

[0128] 利用如实施例1所述装置进行相态连续变化的二氧化碳驱油封存与压裂实验方法,包括:配置模拟用指定相态的二氧化碳,步骤如下:

[0129] 步骤1,向二氧化碳驱油封存系统的第一岩心夹持器中放入第一岩心;

[0130] 步骤2,调节可视化二氧化碳相变系统的温度控制套,使其达到预设温度;

[0131] 步骤3,恒压注入系统向可视化二氧化碳相变系统中注入二氧化碳达到各腔的预设压力;

[0132] 步骤4,通过调节注入储集腔的不同相态的二氧化碳,形成模拟用指定相态的二氧

化碳。

[0133] 根据本发明优选的,所述实验方法,还包括:模拟储层内埋存二氧化碳过程中二氧化碳的相态变化的方法,步骤如下:

[0134] 步骤5,在所述可视化超临界二氧化碳腔中充填天然砂并压实,模拟储层内的地质条件;

[0135] 步骤6,使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度;

[0136] 步骤7,使用稳压泵,将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,过程中缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,使用图像采集器观察并记录该变化过程。通过计算机分析二氧化碳相态变化特征,但是该计算机分析的方法或者软件并不是本发明所要保护的内容。

[0137] 实施例3、

[0138] 如实施例2所述实验方法,还包括:通过改变二氧化碳压力,监测二氧化碳的相态变化,步骤如下:

[0139] 步骤5-1,在可视化超临界二氧化碳腔中充填天然砂并压实,模拟储层内的地质条件;

[0140] 步骤6-1,使用空气压缩机,将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度;

[0141] 步骤7-1,使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,过程中以50ml/min速率缓慢注入,尽量减小腔内温度波动;

[0142] 步骤8-1,二氧化碳注入完毕后,打开上方泄压阀门对二氧化碳进行泄压,控制泄漏速率为10ml/min,并监测其中二氧化碳压力变化和相态变化。

[0143] 利用本方法可以建立虚拟模型,对上述实验开展数值模拟研究,如图8所示,并将实验结果与数值模拟结果进行对照研究,并对数值模型的实用性进行探究。

[0144] 实施例4、

[0145] 如实施例2所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳驱替的方法,步骤如下:

[0146] 1) 取目标区块岩心作为第一岩心,并置于第一岩心夹持器中;

[0147] 2) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0148] 3) 打开第一平流泵对第一岩心施加围压;清零液体收集器与电子天平和气体计量器;

[0149] 4) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到超临界二氧化碳腔中,过程中以50ml/min速率缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0150] 5) 将二氧化碳注入第一岩心,对原油驱替的同时封存二氧化碳,第四压力传感器连接信息采集控制系统监测并记录驱替过程中气体压力变化;监测液体收集器与电子天平和气体计量器,对第一岩心中溢出的气体计量后存储至集气袋;

[0151] 6) 根据第四压力温度传感器传输的压力信息与电子天平的重量信息,监测驱替进程,待驱替完毕后关闭整个系统。

[0152] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对模拟地层的二氧化碳驱替效果进行评

价。

[0153] 实施例5、

[0154] 如实施例2所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳封存的方法,步骤如下:

[0155] 1-1) 取目标区块岩心作为第一岩心,并置于第一岩心夹持器中;

[0156] 2-1) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0157] 3-1) 打开第一平流泵对第一岩心施加围压;关闭第一岩心夹持器与液体收集器间的阀门;

[0158] 4-1) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔中,过程中以50ml/min速率缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0159] 5-1) 将二氧化碳注入第一岩心,持续注入;

[0160] 6-1) 缓慢打开第一岩心夹持器与液体收集器间的阀门,以模拟二氧化碳封存中发生的泄露;

[0161] 7-1) 监测并记录泄露过程中第四压力温度传感器的压力变化。

[0162] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对模拟地层的二氧化碳封存效果进行评价。

[0163] 实施例6、

[0164] 如实施例2所述实验方法,还包括:模拟地层进行二氧化碳携砂的方法,步骤如下:

[0165] 1-2) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0166] 2-2) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到超临界二氧化碳腔中,过程中以50ml/min速率缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0167] 3-2) 在搅拌槽中加入支撑剂;设定电子流量控制器的流量为1500ml/min;设定背压阀压力为8MPa;

[0168] 4-2) 连接储集腔与搅拌槽,将支撑剂与二氧化碳混合均匀,然后由电子流量控制器进入可视化裂缝模型;过程中监测并记录第五压力温度传感器、第六压力温度传感器的压力变化,同时使用图像采集系统采集携砂过程中的图像信息。

[0169] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对二氧化碳携砂过程中的压力差和速度的关系,如图9所示,和视频图像信息进行分析,对现场二氧化碳时支撑剂运移的最小速率及最小泵压具有重要的指导意义,并通过图像分析可得到二氧化碳携砂运移规律。

[0170] 实施例7、

[0171] 如实施例2所述实验方法,还包括:模拟地层中利用二氧化碳进行压裂岩心的方法,步骤如下:

[0172] 1-3) 取目标区块岩心作为第二岩心,并置于第二岩心夹持器中;

[0173] 2-3) 使用空气压缩机将二氧化碳压缩至大于10MPa,备用;预热可视化超临界二氧化碳腔至储层温度,以模拟储层的温度条件;

[0174] 3-3) 使用稳压泵将空气压缩机中的二氧化碳缓慢注入到可视化超临界二氧化碳腔,过程中以50ml/min速率缓慢注入,尽量减小腔内温度波动,并保持与储集腔连通;

[0175] 4-3) 使用真空泵将第二岩心内的气体抽真空;使用稳压泵将二氧化碳腔和储集腔

中的二氧化碳泵入第二岩心中,并持续增加压力。

[0176] 5-3) 利用第七压力温度传感器监测压裂过程中压力变化,当第二岩心发生破裂,压力瞬间跌落时停止压裂;

[0177] 6-3) 根据第七压力温度传感器检测记录的压力数据得到该第二岩心的破裂压力。

[0178] 使用数据处理模块处理收集到的信息,对二氧化碳压裂过程中的压力变化和视频图像信息进行分析:该区块岩石的强度及可压裂性。

[0179] 实施例8、

[0180] 如实施例2,在步骤3中,恒压注入系统向可视化二氧化碳相变系统中注入二氧化碳的方法如下:

[0181] a) 通过恒压泵向可视化超临界二氧化碳腔中持续注入二氧化碳;

[0182] b) 可视化超临界二氧化碳腔与可视化液态二氧化碳腔通过控压单向阀连通,二氧化碳由前者通向后者;

[0183] c) 可视化液态二氧化碳腔与可视化气态二氧化碳腔通过控压单向阀连通,二氧化碳由前者通向后者;

[0184] 达到一定压力后进行气密性检查;

[0185] d) 待温度和各腔压力达到预设值并稳定后,各腔内控压单向阀自动断开;

[0186] e) 当各腔压力不足时,所述控压单向阀将自动接通,邻近低压腔由邻近高压腔处获得补给,重复步骤a) -d)。

[0187] 在步骤d)中,通过调节注入储集腔的不同相态的二氧化碳的方法包括:遵从先连通低压腔,后连通高压腔的原则。

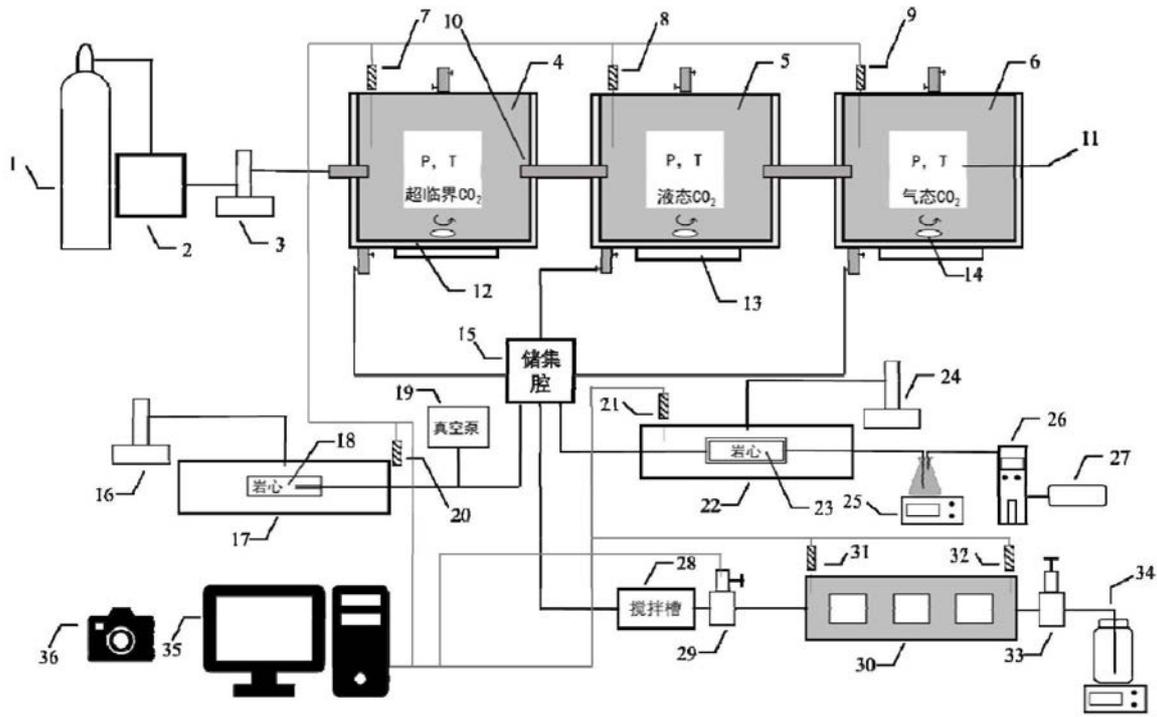


图1

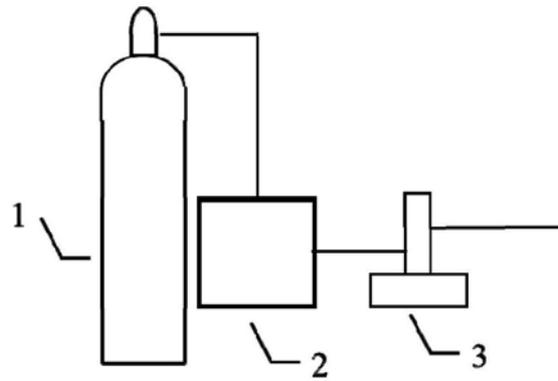


图2

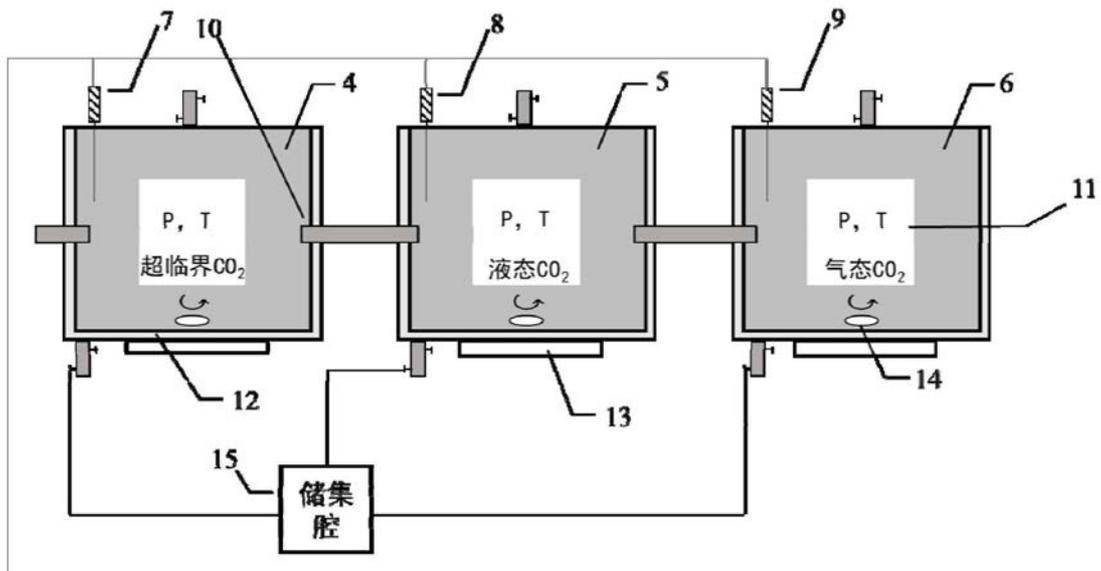


图3

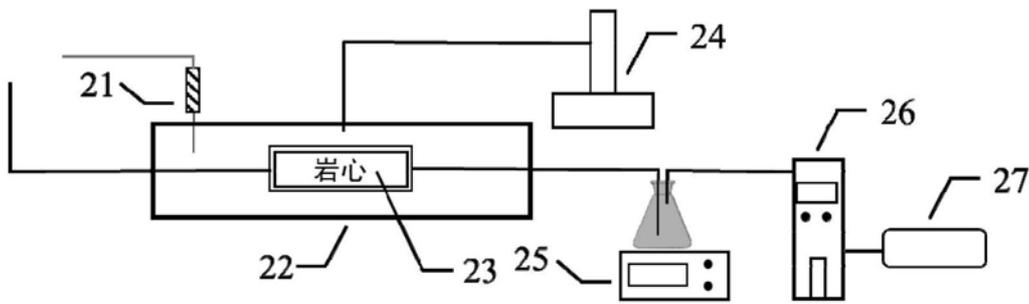


图4

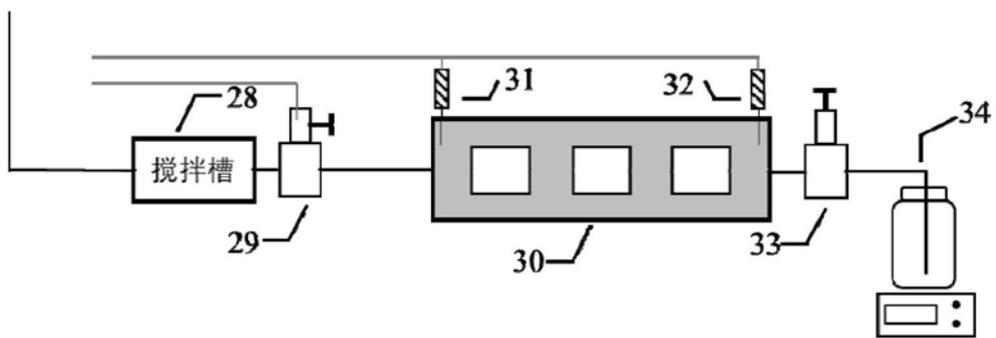


图5

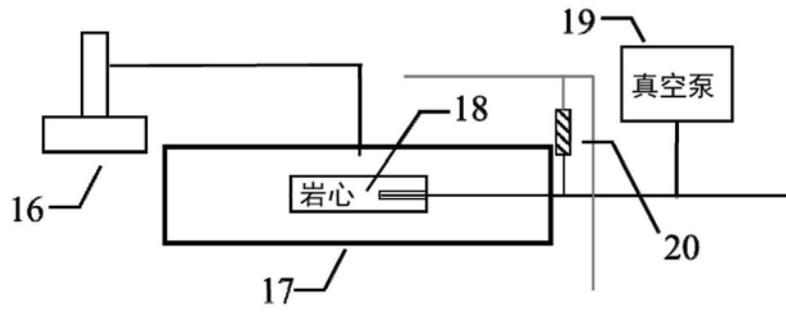


图6



图7

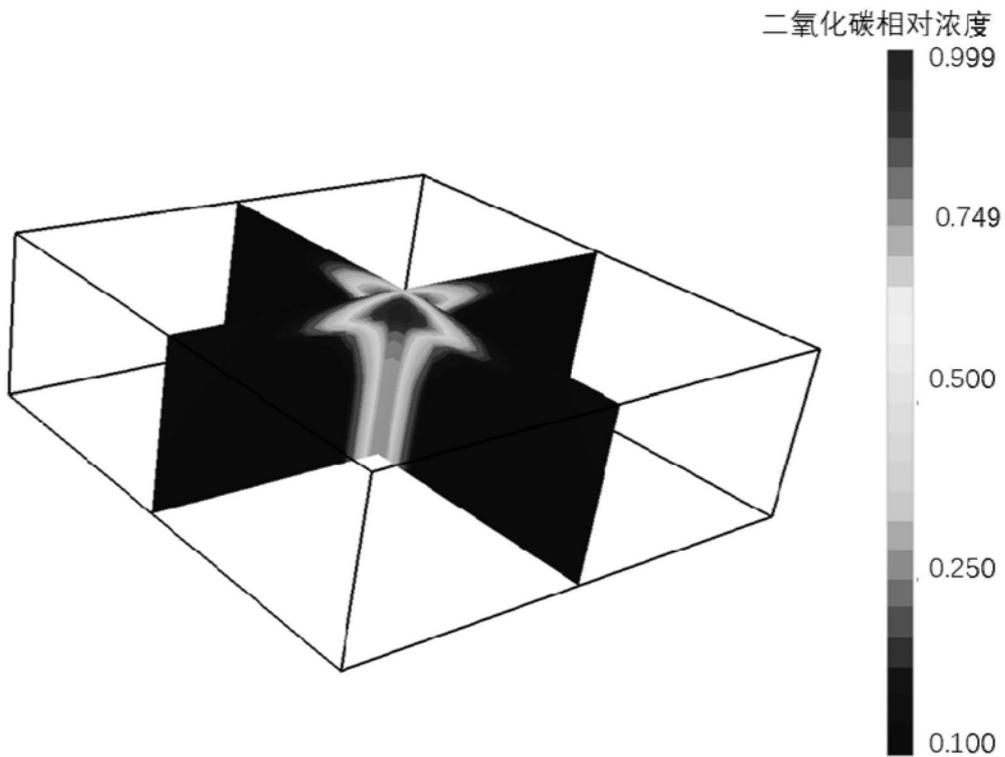


图8

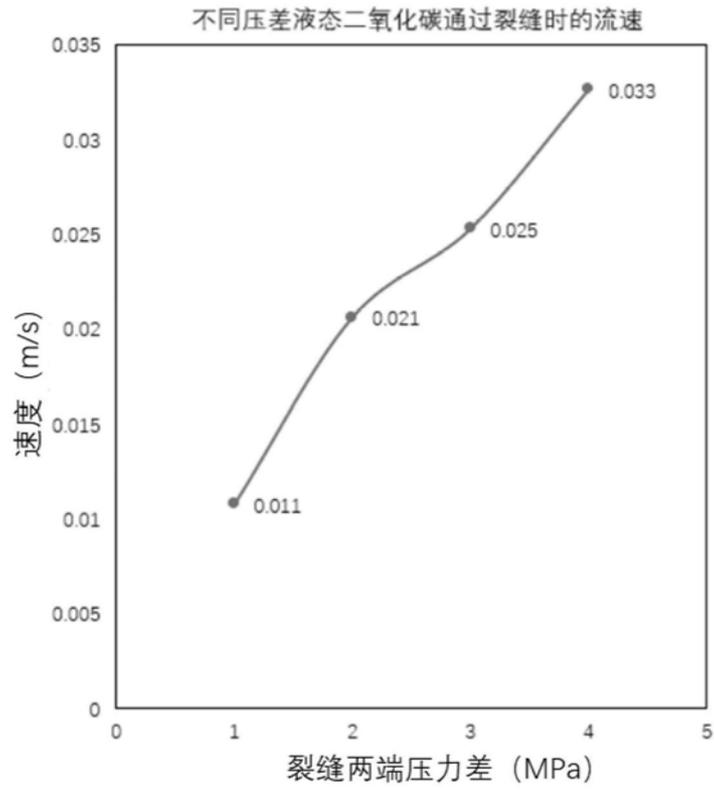


图9